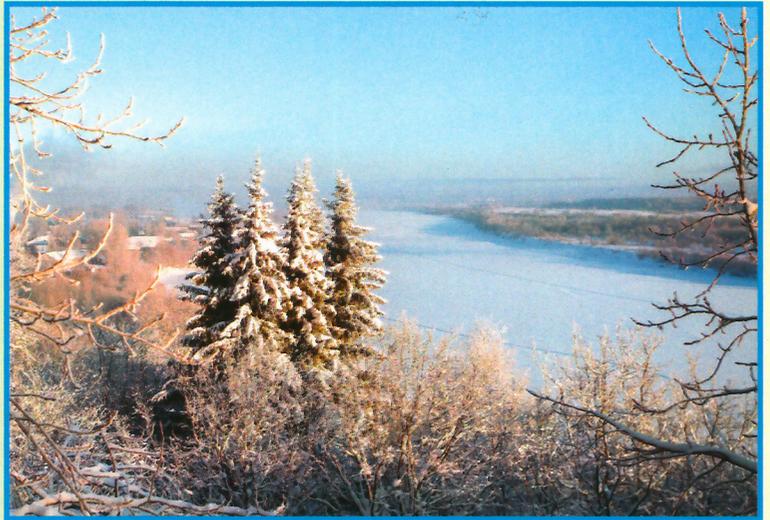


ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

Научный журнал
Федерального аграрного
научного центра
Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого



Том 23
№ 6
2022

Vol. 23
No. 6
2022

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»
(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Издание зарегистрировано
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных
технологий и массовых
коммуникаций

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

Цель журнала – публикация и распространение результатов фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых по научному обеспечению сельского и охотничьего хозяйств при приоритетном освещении проблем рационального природопользования и адаптации агроэкосистем северных территорий к меняющимся климатическим условиям.

Целевая аудитория – научные работники, преподаватели, аспиранты, докторанты, магистранты, специалисты АПК из России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (Растениеводство. Защита растений. Сельскохозяйственная микробиология и микология. Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. Земледелие, агрохимия, мелиорация. Кормопроизводство: полевое и луговое, кормление сельскохозяйственных животных. Зоотехния. Ветеринарная медицина. Звероводство, охотоведение. Механизация, электрификация, автоматизация. Экономика.)
- ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- РЕЦЕНЗИИ
- ХРОНИКА

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



Главный редактор – Сысуйев Василий Алексеевич, д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Зам. главного редактора – Рубцова Наталья Ефимовна, к.с.-х.н., доцент, зав. научно-организационным отделом ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,

Шемуранова Наталья Александровна – к.с.-х.н., зав. лабораторией кормления сельскохозяйственных животных, старший научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев Николай Руфеевич

д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», г. Москва, Россия

Багиров Вугар Алиевич

д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России, г. Москва, Россия

Баталова Галина Аркадьевна

д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Гурьянов Александр Михайлович

д.с.-х.н., профессор, директор Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

Дёгтева Светлана Владимировна

д.б.н., чл.-корр. РАН, директор Института биологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

Джавадов Эдуард Джавадович

д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия

Домский Игорь Александрович

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

Еремин Сергей Петрович

д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Иванов Дмитрий Анатольевич

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Тверь, Россия

Казакевич Пётр Петрович

д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь

Косолапов Владимир Михайлович

д.с.-х.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», г. Москва, Россия

Костяев Александр Иванович

д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Куликов Иван Михайлович

д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», г. Москва, Россия

Леднев Андрей Викторович

д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, руководитель Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения ФГБНУ «Удмуртский ФИЦ УрО РАН», г. Ижевск, Россия

Никонова Галина Николаевна

д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела прогнозирования трансформации экономических структур и земельных отношений Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Пашкина Юлия Викторовна

д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Савченко Иван Васильевич

д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела растительных ресурсов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», г. Москва, Россия

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Журнал включен в базы данных РИНЦ, ВИНТИ, AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) на ведущей мировой платформе Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, EBSCO

Полные тексты статей доступны на сайте электронных научных библиотек:

eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
ЭНЦХБ:

<http://www.cnsb.ru/elbib.shtm>;

CYBERLENINKA:

<https://cyberleninka.ru/>;

журнала:

<http://www.agronauka-sv.ru>

Оформить подписку можно на сайте "Объединенного каталога "Пресса России" www.pressa-rrf.ru по подписному индексу 58391, а также подписаться через интернет-магазин «Пресса по подписке» <https://www.akc.ru>

Электронная версия журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Адрес издателя и редакции:
610007, г. Киров,
ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25;
тел. (8332) 33-07-21

www.agronauka-sv.ru

E-mail:
agronauka-esv@fanc-sv.ru

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

На первой странице обложки:
первое и третье фото сверху и
на 4-й странице обложки фото
А. Широких

Подписано к печати
15.12.2022 г.

Дата выхода в свет
26.12.2022.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 19,76.

Тираж 100 экз. Заказ 21.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

**Самоделькин
Александр
Геннадьевич**

д.б.н., профессор, руководитель аграрно-экологического направления АНО «Нижегородский научно-образовательный центр», г. Нижний Новгород, Россия

**Сисягин
Павел Николаевич**

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

**Титова
Вера Ивановна**

д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

**Токарев
Антон Николаевич**

д.в.н., доцент, зав. кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Россия

**Урбан
Эрома Петрович**

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, заместитель генерального директора по научной работе РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», г. Жодино, Республика Беларусь

**Цой
Юрий Алексеевич**

д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

**Широких
Ирина Геннадьевна**

д.б.н., главный научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

**Щеникова
Ирина Николаевна**

д.с.-х.н., доцент, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, зав. лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Changzhong Ren

Президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР), иностранный член РАН, г. Байчен, Китай

Ivanovs Semjons

д.т.н., Латвийский университет естественных наук и технологий, г. Елгава, Латвия

Marczuk Andrzej

д.т.н., профессор, декан факультета Люблинского природоведческого университета, г. Люблин, Польша

Náhlik András

профессор, ректор, Университет Шопрона, Институт охраны дикой природы и зоологии позвоночных, г. Шопрон, Венгрия

Poutanen Kaisa

профессор VTT технического исследовательского центра Финляндии, г. Эспоо, Финляндия

Romaniuk Wazlaw

д.т.н., профессор, Технологическо-природоведческий институт, г. Варшава, Польша

Yu Li

профессор, научный руководитель Цилинского аграрного университета, иностранный член РАН, член инженерной академии наук Китая, г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

**Алешкин Алексей
Владимирович**

д.т.н., профессор, профессор кафедры механики и инженерной графики ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

**Брандорф
Анна Зиновьевна**

д.с.-х.н., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр по пчеловодству», г. Рыбное, Россия

**Бурков Александр
Иванович**

д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотрудник, зав. лабораторией зерно- и семяочистительных машин ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

**Егошина Татьяна
Леонидовна**

д.б.н., профессор, зав. отделом экологии и ресурсосведения ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

**Ивановский
Александр
Александрович**

д.в.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией ветеринарной биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

**Козлова Людмила
Михайловна**

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом земледелия, агрохимии и мелиорации ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

**Костенко Ольга
Владимировна**

к.э.н., доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета и финансов ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Россия

**Рябова Ольга
Вениаминовна**

к.б.н., доцент кафедры микробиологии ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия», г. Пермь, Россия

**Савельев Александр
Павлович**

д.б.н., главный научный сотрудник отдела экологии животных ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

**Товстик Евгения
Владимировна**

к.б.н., доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические технологии и системы» ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

**Филатов
Андрей Викторович**

д.в.н., профессор кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Россия

**Шешегова
Татьяна Кузьмовна**

д.б.н., старший научный сотрудник, зав. лабораторией иммунитета и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

**Юнусов Губейдулла
Сибяттулович**

д.т.н., профессор кафедры механизации производства и переработки с.-х. продукции Аграрно-технологического института ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола, Россия

© The founder of the journal is Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 610007, Kirov, Lenin str., 166a

The publication is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

Aim of the Journal – publication and distribution of results of fundamental and applied researches conducted by native and foreign scientists for scientific support of agricultural and hunting sectors, with focus on the problems of rational use of natural resources and adaptation of agroecosystems of northern territories to changing climatic conditions.

Target audience – scientists, university professors, graduate students, postdoctoral, masters, specialists of agro-industrial complex from Russia, countries of CIS and far-abroad countries.

Headings

- REVIEWS
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant Growing. Plant protection. Agricultural Microbiology and Mycology. Storage and Processing of Agricultural Production. Agriculture, Agrochemistry, Land Improvement. Fodder Production: Field and Meadow; Livestock Feeding. Zootechny. Veterinary Medicine. Fur Farming and Hunting. Mechanization, Electrification, Automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CHRONICLE

All the materials of the «Agricultural Science Euro-North-East» journal are available under Creative Commons Attribution 4.0 License



Editor-in-chief – Vasily A. Sysuev, Dr. of Sci. (Engineering), the professor, academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, academic advisor of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Deputy editor-in-chief – Natalya E. Rubtsova, Cand. of Sci. (Agricultural), associate professor, Head of the Science and Organization Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, engineer of scientific and technical information, the Science and Organization Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia,

Natalia A. Shemuranova, Cand. of Sci. (Agricultural), Head of the Laboratory of Feeding Farm Animals, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

Nikolay R. Andreev Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia

Vugar A. Bagirov Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia

Galina A. Batalova Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Alexander M. Guryanov Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Director of Mordovia Agricultural Research Institute –Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, Russia

Svetlana V. Degteva Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Eduard D. Dzhavadov Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

Igor A. Domskiy Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director at Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Sergey P. Eremin Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Dmitriy A. Ivanov Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the All-Russian Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Tver, Russia

Petr P. Kazakevich Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus

Vladimir M. Kosolapov Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the Director of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia

Aleksandr I. Kostjaev Dr. of Sci. (Economics), professor, academician of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Ivan M. Kulikov Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Andrei V. Lednev Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

Galina N. Nikonova Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Forecasting Changes in Economic Structures and Land Relations of the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Yulia V. Pashkina Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Ivan V. Savchenko Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, chief researcher All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia

The Journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications, where research results from «Candidate of Science» and «Doctor of Science» academic degree dissertations have to be published

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) on the world's leading platform Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ, EBSCO

The full texts of articles are available on the websites of the following journals and scientific electronic libraries: eLIBRARY.RU, Electronic Scientific Agricultural Library, CYBERLENINKA, Google Scholar

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), Abstract journal and databases of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information

One can subscribe for the print edition of the journal «Agricultural Science Euro-North-East» at the site of the Union catalogue «Press of Russia» www.pressa-rr.ru by the index 58391 or via the Internet shop «Pressa po Podpiske (Press by subscription)» <https://www.akc.ru>
Electronic version of the journal: <http://www.agronauka-sv.ru>

Publisher and editorial address:
610007, Kirov, Lenin str., 166a,
tel./fax (8332) 33-10-25;
tel. (8332) 33-07-21

www.agronauka-sv.ru

E-mail: agronauka-esv@fanc-sv.ru

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

On the first page of the cover:
the first and third photos from
above and on the 4th page
of the cover photo
A. Shirokikh

Passed for printing
15.12.2022 г.

Date of publication
26.12.2022.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. l. 19.76.

Circulation 100 copies. Order 21.
Free price.

Address of the printing house:
FGBNU FARC North-East. 610007,
Kirov, Lenin str., 166a

- Alexander G. Samodelkin** Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the agricultural and Environmental direction of the Nizhny Novgorod Scientific and Educational Center, Nizhny Novgorod, Russia
- Pavel N. Sisyagin** Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhniy Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Vera I. Titova** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Anton N. Tokarev** Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, Head of the Department of Veterinary-Sanitary Inspection Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
- Eroma P. Urban** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus
- Yuriy A. Tsoy** Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia
- Irina G. Shirokikh** Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, Head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Irina N. Shchennikova** Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Changzhong Ren** President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China
- Semjons Ivanovs** Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia
- Andrzej Marczuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland
- András Náhlik** The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary
- Kaisa Poutanen** Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland
- Vaclav Romaniuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland
- Li Yu** professor, chief scientific officer, Jilin Agricultural University, foreign member of RAS, member of the Chinese Academy of Sciences, Changchun, China

Editorial Board

- Aleksey V. Aleshkin** Dr. of Sci. (Engineering), professor, the Department of Mechanics and Engineering Drawing, Vyatka State University, Kirov, Russia
- Anna S. Brandorf** Dr. of Sci. (Agricultural), the director of the Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoe, Russia
- Alexander I. Burkov** Dr. of Sci. (Engineering), professor, chief researcher, the Honored Inventor of the Russian Federation, head of the Laboratory of Grain- and Seed-Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Tatyana L. Egoshina** Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
- Alexander A. Ivanovsky** Dr. of Sci. (Veterinary), leading researcher, head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Lyudmila M. Kozlova** Dr. of Sci. (Agricultural), leading researcher, head of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Land Improvement, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Olga V. Kostenko** Cand. of Sci. (Economics), associate professor, associate professor at the Department of Accounting and Finance, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
- Olga V. Ryabova** Cand. of Sci. (Biology), associate professor at the Department of Microbiology, Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, Russia
- Alexander P. Saveljev** Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
- Evgeniya V. Tovstik** Cand. Sci. (Biology), associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia
- Andrey V. Filatov** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry, Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia
- Tatyana K. Sheshhegova** Dr. of Sci. (Biology), senior researcher, head of the Laboratory of Immunity and Plants Protection, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Gubeidulla S. Junusov** Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Agricultural Technologies of Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

В. А. Бызов

Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор)..... 757

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

В. А. Бирюкова, В. А. Жарова, Н. А. Чалая, И. В. Шмыгля, Е. В. Роззина

Молекулярные маркеры как инструмент в селекции на устойчивость к Y-вирусу картофеля..... 777

В. Т. Синеговская, С. Е. Низкий, Е. Е. Науменко

Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы..... 788

А. А. Тевченков, З. С. Федорова

Оценка пригодности различных сортов сои к возделыванию в условиях Центрального района Нечерноземья РФ..... 796

О. Г. Лысенко, В. Ф. Лысенко, Е. Н. Пасынкова

Сорт люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) Меценат..... 805

Т. Г. Леконцева, А. В. Федоров

Влияние оксида кремния (SiO₂) на адаптацию микрорастений роз (*Rose* L.) сорта Reine Sammut..... 814

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

М. Т. Упадышев

Действие препарата Фармайод при оздоровлении растений груши от вирусов методом термотерапии... 822

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

Г. Ш. Мурзагулова, А. Р. Мецеров, О. А. Гоголева, С. Н. Пономарев, М. Л. Пономарева,

В. Ю. Горшков

Фунгицид-резистентность штаммов *Microdochium nivale* и ее взаимосвязь с вирулентностью..... 832

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

А. В. Семенова, В. Г. Гольдштейн, В. А. Дегтярев, А. А. Морозова, А. К. Королева

Изучение состава картофеля по хозяйственно ценным признакам, определяющим его пригодность к промышленной переработке..... 841

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Д. С. Фомин, Н. Н. Яркова, С. С. Полякова

Урожайность ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации в условиях Среднего Предуралья..... 852

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ

Н. В. Барашкова, В. В. Устинова, А. И. Федорова, Л. К. Габышева

Влияние последствия минеральных удобрений на продуктивность долголетнего фитоценоза в условиях Привилуйского агроландшафта среднетаежной подзоны Якутии..... 860

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

И. Н. Жданова, Н. А. Морозков

Использование лезвев сафлоровидной при выращивании тёлоч черно-пестрой породы..... 868

ЗООТЕХНИЯ

Е. В. Парыгина, Н. А. Худякова, О. В. Тулинова, А. А. Первухина, И. В. Селькова,

И. С. Кожевникова, М. А. Кудрина

Ассоциация генотипов коров холмогорской породы по бета-казеину с молочной продуктивностью..... 877

А. Д. Лемякин, А. Н. Тяжченко, К. Д. Сабетова, А. А. Чаицкий, П. О. Щеголев, А. А. Королев

Воспроизводительная способность коров отечественных молочных пород с различными аллельными вариантами гена лептина..... 884

С. В. Титова

Влияние голштинизации на воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы..... 896

Н. А. Шемуранова, Н. А. Гарифуллина

Влияние введения Ламарин *Salmonum* в рационы коров в сухостойный и лактационный периоды на их продуктивность и репродуктивную способность..... 904

А. В. Харламов, А. Н. Фролов, О. А. Завьялов

Оценка влияния предубойной голодной выдержки бычков на качественные характеристики мяса..... 912

ХРОНИКА..... 920

CONTENTS

REVIEWS

- Vasily A. Byzov*
System analysis of the state and prospects of the development of inulin production (review)..... 757

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Victoria A. Biryukova, Vera A. Zharova, Nadezhda A. Chalaya, Irina V. Shmyglya, Elena V. Rogozina*
Molecular markers as tools in breeding for resistance to Potato Virus Y..... 777
- Valentina T. Sinegovskaya, Sergey E. Nizkii, Evgenii E. Naumenko*
Chlorophyll as a criterion of soybean resistance to prolonged soil flooding..... 788
- Alexander A. Tevchenkov, Zoya S. Fedorova*
Evaluation of suitability of different soybean varieties for cultivation in the conditions of the Central part of the Non-Chernozem region of the Russian Federation..... 796
- Olga G. Lysenko, Valery F. Lysenko, Elena N. Pasyukova*
Variety of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) Metsenat..... 805
- Tatyana G. Lekontseva, Alexander V. Fedorov*
Influence of silicon oxide (SiO₂) on the adaptation of microplants of roses (*Rose* L.) cv. Reine Sammut..... 814

PLANT PROTECTION

- Mikhail T. Upadyshev*
The effect of the Pharmaiod preparation in the virus elimination of pear plants using the thermotherapy method.. 822

AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

- Guzaliya Sh. Murzagulova, Azat R. Meshcherov, Olga A. Gogoleva, Sergey N. Ponomarev, Mira L. Ponomareva, Vladimir Y. Gorshkov*
Fungicide resistance of *Microdochium nivale* strains and its interconnection with virulence..... 832

STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

- Anastasia V. Semenova, Vladimir G. Goldstein, Vladimir A. Degtyarev, Anastasia A. Morozova, Alina K. Koroleva*
Study of the composition of potatoes by agronomic traits which determine its suitability for industrial Processing..... 841

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Denis S. Fomin, Nadezhda N. Yarkova, Sofia S. Polyakova*
The yield of spring barley depending on the hydrothermal conditions of vegetation in the conditions of the Middle Trans-Urals..... 852

FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

- Natalya V. Barashkova, Vasyona V. Ustinova, Alexandra I. Fedorova, Lyubov K. Gabysheva*
Influence of the aftereffect of mineral fertilizers on the productivity of a long-term phytocenosis in the conditions of the Privilyui agrolandscape of the middle taiga subzone of Yakutia..... 860

FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

- Irina N. Zhdanova, Nikolay A. Morozkov*
Use of *R. carthamoides* in feeding black-and-white cattle heifers..... 868

ZOOTECHNY

- Ekaterina V. Parygina, Natalya A. Khudyakova, Olga V. Tulinova, Anastasia A. Pervukhina, Iya V. Selkova, Irina S. Kozhevnikova, Marina A. Kudrina*
Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity..... 877
- Alexander D. Lemyakin, Alexander N. Tyazhchenko, Ksenia D. Sabetova, Alexey A. Chaitsky, Pavel O. Schegolev, Anton A. Korolev*
Reproductive ability of cows of domestic dairy breeds with different allelic variants of the leptin gene..... 884
- Svetlana V. Titova*
The influence of Holstein crossbreeding on the reproductive qualities of Black-and-White cows..... 896
- Natalia A. Shemuranova, Natalia A. Garifullina*
Effect of introducing Lamarine Saldonum into the diets of cows during dry period and period of lactation on their productivity and reproductive ability..... 904
- Anatoly V. Kharlamov, Alexei N. Frolov, Oleg A. Zavyalov*
Assessment of the effect of pre-slaughter fasting period of young bulls on the qualitative characteristics of meat 912

- CHRONCLE**..... 920

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776>

УДК 615.244:636.2.034



Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор)

© 2022. В. А. Бызов ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Московская обл., Российская Федерация

В данной обзорной статье на основе системного анализа приведены результаты исследований по применению инулина в качестве биоактивного пребиотика в функциональных продуктах питания, косметических и фармацевтических препаратах, как носителя противоопухолевых средств. Отмечена устойчивая тенденция мирового роста производства инулина 8-10 % в год. Цель обзора – раскрыть и проанализировать эффект системного комплекса производства инулина в последовательной цепи от синтеза инулина, его накопления в растениях и извлечения. Топинамбур – наиболее перспективный вид сырья, имеющий высокую урожайность клубней до 40 т/га и содержание инулина до 20 %. В биосинтезе инулина активно участвует сахароза и синтезирующие ферменты: 1-SST и 1-FFT, гены которых могут редактироваться с целью изменения содержания инулина. При селекции топинамбура перспективным направлением является межвидовая гибридизация на примере топинамбур-солнечника с урожайностью клубней 40 т/га. В семеноводстве топинамбура исследованы новые способы клонального микро-размножения клубней и их выращивания на азотсодержащей среде с достижением содержания инулина не менее 20 %. При выращивании топинамбура вид сорта является определяющим для максимальной урожайности клубней при ширине междурядий 90 см и интервале между клубнями в рядке 30 см. Наименьшие потери веса клубней и содержания в них инулина при длительном хранении достигаются при температуре от -5 до 0 °С. Технология переработки клубней топинамбура на инулин предложена как система частично оптимизированных технологических операций: от очистки и мойки клубней до получения порошкообразного инулина и олигофруктозного сиропа. Предложен системный комплекс в виде структурной топологической модели, объединяющей 4 системы: «Селекция и семеноводство», «Агротехнология», «Уборка и хранение клубней», «Технология переработки клубней» с взаимосвязями в форме технологических требований и выходных параметров каждой системы и в целом всего комплекса, что является основанием для разработки аграрно-пищевой технологии инулина из топинамбура и других видов сырья.

Ключевые слова: топинамбур, рынок инулина, биосинтез инулина, семеноводство, агротехнология, технология инулина, олигофруктозный сироп

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (тема № (FGGM-2022-0007).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бызов В. А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):757-776. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776>

Поступила: 22.08.2022

Принята к публикации: 21.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

System analysis of the state and prospects of the development of inulin production (review)

© 2022. Vasily A. Byzov ✉

All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation

The review informs on the results of the research of the application of inulin as a bioactive prebiotic in functional nutritional products, in cosmetic formulations and pharmaceuticals as the excipient of anticancer agents on the basis of the system analysis. The steady trend of the world growth of inulin production of 8-10 % a year has been noted. The aim of the research is to reveal and to analyze the effect of the system complex of inulin production in sequential chain from the inulin synthesis, its accumulation in plants and extraction. The Jerusalem artichoke is the most advanced kind of raw material which has the high crop yield of tubers up to 40 t/ha and inulin content up to 20 %. The sucrose and the synthesizing enzymes 1-SST and 1-FFT take an active part in the inulin biosynthesis as their genes can be edited with the purpose of changing the inulin content. At the Jerusalem artichoke breeding the most prospective trend is the cross-species hybridization drawing on the example of a topsinflow-

er with the crop yield of tubers of 40 t/ha. In the Jerusalem artichoke seed breeding the new methods of clonal micropropagation of tubers and its cultivation in the airhydroponic environment with the achievement of the inulin content no less than 20 % have been studied. At Jerusalem artichoke cultivation the breed is significant for the maximum crop yield of tubers with the row width of 90 cm and with the interval between tubers in a row – 30 cm. The least loss of the tubers weight and the inulin content in them under the long-term storage is achieved at the temperatures from -5 to 0 °C. The technology of the Jerusalem artichoke tubers processing into inulin is suggested as the system of partly optimized technological operations from peeling and washing the tubers to receiving the powdered inulin and the oligofructose syrup. The system complex is suggested in the form of the structural topological model combining 4 systems: «Selection and seed breeding», «Agritechnologies», «Harvesting and storage of tubers», «The tubers processing technologies» with the interrelations in the form of the technological requirements and the output data of every system and of the complex as a whole, which is the basis for the development of the agri-food technology of inulin from Jerusalem artichoke and other kinds of raw materials.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin market, inulin biosynthesis, seed breeding, agritechnology, inulin technology, oligofructose syrup

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Russian Potato Research Centre (theme No. FGGM-2022-0007).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declared no conflict of interest.

For citation: Byzov V. A. System analysis of the state and prospects for the development of the production of inulin (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(6):757-776. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776>

Received: 22.08.2022

Accepted for publication: 21.11.2022

Published online: 16.12.2022

Системный подход к проведению исследований. Системный анализ – это сложный теоретический и практический вопрос, который требует оптимального решения и соединения элементов в системный комплекс с формулировкой проблемной ситуации, определения целей и критериев их достижения, построения структурных топологических моделей, отражающих взаимные связи между объектами, не зависящие от их геометрических свойств. Главной целью любого системного анализа, а также отправной точкой любого проектирования должно быть определение системообразующего фактора, т. е. зачем, для чего существует или проектируется система. Из всех имеющихся методов системного анализа наиболее универсальным является системно-объектный детерминантный (СОДА), объединяющий систему-классов (родовидовая классификация) и систему-явлений (мерономия), что соответствует требованиям объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООАД) и позволяет вскрыть полную архитектуру системы, т. е. структуру классов и структуру объектов [1, 2].

Для системного анализа агропромышленного производства используют стратифицированные модели для решения локальных задач возделывания сырья, послеуборочной доработки, хранения и переработки на конечные продукты. Весьма актуальным является применение системного анализа для определения и прогнозирования научных направлений технологического развития АПК России, имеющим большое число разнородных систем –

автономных технологий производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции [2, 3].

В данной работе рассматривается проблема отсутствия производства инулина в стране и его импорт в объеме 2 тыс. тонн в год.

Методологией решения проблемной ситуации является системный анализ мирового производства инулина, его применения, проведение исследований источников инулинсодержащего сырья, его селекции и производства, хранения и переработки с разработкой модели системного комплекса производства инулина.

Цель обзора – раскрыть и проанализировать эффект системного комплекса, возникающего под действием различных системообразующих факторов при объединении в единое целое производящих и перерабатывающих технологий АПК России на примере производства инулина.

Материал и методы. Изучены материалы научных исследований в области селекции и семеноводства, производства и переработки инулинсодержащего сырья для получения инулина и олигофруктозы. Поиск источников данных осуществляли в научных электронных библиотеках и поисковых системах: eLIBRARY.RU, Science Direct, БД Scopus, медицинской базе данных PubMed, портале ResearchGate. Поиск запросы выполняли по следующим ключевым словам на русском и английском языках: системный анализ, инулин, инулинсодержащее сырьё, семеноводство, рынок инулина, агротехнология, технология инулина, топинамбур, олигофруктозный сироп.

Основная часть.

1. Свойства инулина и его производных.

Инулин – это природный полисахарид, который содержится во многих растительных семействах мира, является естественным пребиотиком со способностью избирательно стимулировать в желудочно-кишечном тракте рост и метаболическую активность определенных видов бактерий (бифидобактерий и лактобацилл), снижать число патогенных бактерий, а также повышать иммунитет, улучшать усвоение кальция, магния, снижать уровень холестерина. Эти же функции выполняет и олигофруктоза (фруктоолигосахарид), являющаяся продуктом частичного ферментативного гидролиза инулина со степенью полимеризации 2-10. Калорийность инулина всего 1,0-1,5 ккал/г, благодаря чему он используется в качестве заменителя высококалорийных составляющих различных продуктов питания [4, 5, 6].

Инулин образует с водой кремообразный гель с жироподобной текстурой, данное свойство позволяет имитировать присутствие жира в обезжиренных продуктах [7, 8, 9].

Основными потребителями инулина являются: молочная промышленность, производство детского питания, зерновых продуктов, каш быстрого приготовления, иммуностимулирующих соков [10, 11, 12].

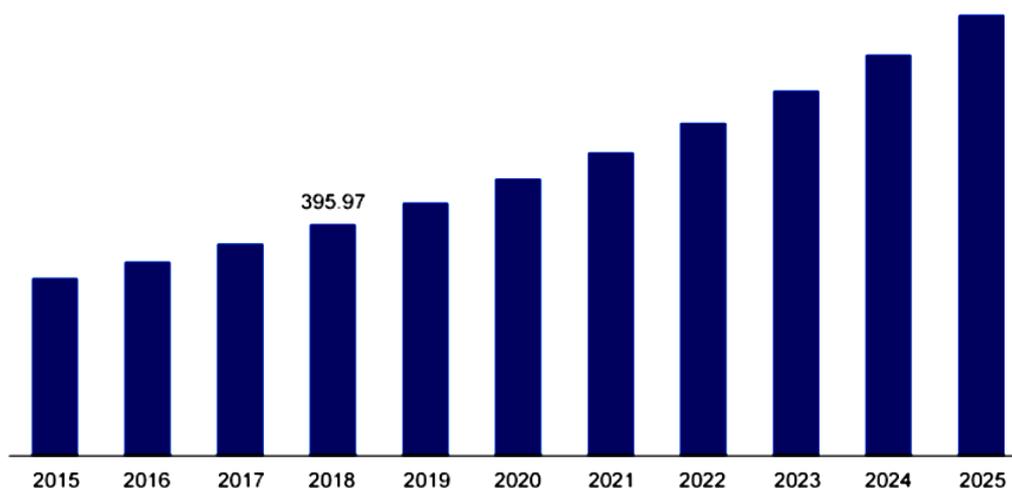
Экстрагированный из клубней топинамбура инулин проявляет эффективную противо-

опухолевую активность и применяется в качестве средств доставки лекарств, иммуностимуляторов и адьюванта вакцины [13, 14, 15, 16, 17].

Инулин нашел свое применение и в косметической промышленности, его используют как биологически активное вещество (БАВ) в производстве масок для лица, увлажняющих кремов, бальзамов.

2. Тенденции мирового производства инулина. Инулин обладает высокими пребиотическими свойствами, его производство превышает 400 тыс. т в год (рис. 1) и ежегодно увеличивается на 10 %, а по прогнозу на 2021-2025 гг. рост составит 8,23 % [18].

В период 2019-2020 гг. мировой экспорт инулина вырос на 20,2 % с 232 до 279 млн долл.¹ Анализ мирового производства функциональных продуктов питания с инулином и олигофруктозой показывает, что за последние годы было организовано производство более 2000 разнообразных продуктов с данными ингредиентами. В России, как и во всем мире, постоянно растет интерес к расширению сырьевой базы для производства продуктов питания с применением инулина. Несмотря на достаточно высокую потребность в инулине и его производных, производство их в нашей стране отсутствует. Объем поставок инулина и олигофруктозы в Россию по импорту составляет около 2000 тонн в год на сумму более 20 млн долл. [19].



Adroit Market Research © 2019

Рис. 1. Мировой рынок инулина, 2015-2025 гг. (в килотоннах) Источник: Market Adroit Research / Fig. 1. Global inulin market, 2015-2025 (in kilotons), Source: Market Adroit Research

¹The Observatory of Economic Complexity. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/LxbpW> (дата обращения: 02.07.2022).

На российском рынке в качестве биологически активных добавок (БАД) чаще всего применяются высушенный и измельченный топинамбур и цикорий или концентрированные экстракты из них для добавки в различные пищевые продукты (хлебобродушки, напитки и др.), но ограниченного применения в диетических и диабетических продуктах, поэтому научно обоснованная организация производства инулина в стране является актуальной задачей [20, 21, 22].

Сложившаяся в настоящее время экологическая ситуация, связанная с загрязнением окружающей среды, приводит к увеличению

заболеваемости населения. В связи с этим весьма необходимы исследования, которые позволят расширить производство неприхотливых культур, не накапливающих примеси тяжелых металлов и не требующих особых агротехнических приемов, являющихся при этом источником ценных веществ для использования в пищевых и кормовых целях [23].

3. *Системный анализ последовательной цепи от синтеза инулина до его извлечения в виде готового продукта.* Системный анализ производства инулина предложено провести по трём основным системным блокам, представленным на рисунке 2.



Рис. 2. Блок-схема системного анализа получения инулина /
Fig. 2. Block diagram of the system analysis of inulin production

3.1. *Синтез инулина.* Инулин (C₆H₁₀O₅)_n представляет собой полидисперсный по степени полимеризации фруктан (фруктозан), в котором остатки D-фруктозы связаны цепью, причем каждая цепь с нередуцированного конца заканчивается молекулой глюкозы. В биосинтезе инулина исходным соединением является сахароза, её концентрация в клетках клубней и активное участие синтезирующих ферментов: 1-фруктозилтрансфераза (1-SST) и фруктан:фруктан-1-фруктозилтрансфераза (1-FFT), гены которых используются в качестве мишени в геномной инженерии и геномном редактировании с целью изменения содержания инулина. Большая концентрация сахарозы является условием для более быстрого накопления инулина [24, 25, 26].

Синтезируется несколько типов инулина, которые различаются по степени полимеризации и молекулярной массе в зависимости от вида растений, времени сбора и условий обработки [27, 28].

У инулинсодержащих растений к концу вегетационного периода наблюдается интенсивная полимеризация и повышается содержание высокомолекулярных фруктанов, что имеет практическое значение для установления оптимальных сроков уборки растительного сырья, наиболее богатого этими ценными биологически активными соединениями [29, 30].

3.2. *Сырьевые источники инулина.* Инулин является самым распространённым после крахмала запасным природным полисахаридом и служит резервным источником энергии у многих растений семейства астровых (*Asteraceae*) и колокольчиковых (*Campanulaceae*): цикорий, топинамбур, лопух, агавы, девясил и других. Инулин содержится в таких растениях, как лук, чеснок, якон, одуванчик, больше всего его в цикории, топинамбуре и девясилах. В настоящее время основным инулинсодержащим сырьем для промышленной переработки являются клубни топинамбура и корнеплоды

цикория. Содержание инулина в цикории и топинамбуре незначительно различается и составляет в среднем 14-18 %. Однако промышленное значение имеют лишь те источники, которые позволяют получать инулин с низкой себестоимостью и по простой технологии [31, 32].

В мировом земледелии площадь посевов топинамбура составляет 2,5 млн га, из них в США – 700 тыс. га, во Франции – 500 тыс. га, в Австрии – 130 тыс. га, средняя урожайность – 50-60 тонн клубней с 1 га [33]. Увеличиваются площади выращивания топинамбура в Англии, Германии, Венгрии, Польше, Японии и Китае. В России топинамбур выращивают почти повсеместно, но на небольших площадях. Несмотря на то, что топинамбур является южным растением, он обладает высокой холодостойкостью и морозостойкостью. Клубни не теряют жизнеспособности, находясь под слоем снега при температурах -40°C .

Все больший удельный вес по объемам производства в мире занимает инулин, выделенный из клубней топинамбура (производитель – Китай). Это связано с тем, что топинамбур достаточно легко культивируется, растение не страдает различными заболеваниями, в отличие от цикория. Поэтому при возделывании топинамбура не используются пестициды и высокие дозы удобрений, что в результате позволяет получать экологически чистое сырье.

Исследования химического состава клубней, надземной массы топинамбура в последние два десятилетия стали объектом изучения в разных странах Европы, а также Китае, России, США и других. Интерес к данной культуре вызван ее высокой продуктивностью и возможностью многоцелевого использования. В некоторых странах разработаны технологии инулина и его производных из топинамбура: фитопрепаратов, биологических активных добавок, продуктов функционального питания, биокорректоров, биоэтанола и другой продукции [33].

В России топинамбур является одним из самых перспективных источников инулина, так как он широко распространен и культивируется в различных климатических районах страны, обладает высокой устойчивостью как к холоду, так и засухе. Топинамбур по сравнению с цикорием не уступает многим кормовым культурам из-за простоты агротехники, возможности перезимовки и переработки в весенний период, высокой урожайности клубней, а также

зелёной массы, которая используется как полноценный корм для животноводства [34].

3.3. *Селекция и семеноводство топинамбура.* Анализ исследований по межсортовой гибридизации свидетельствует, что у топинамбура, как у растения с перекрестным опылением, образование семян с жизнеспособным зародышем в парных скрещиваниях варьирует от 0 до 98 %.

По наблюдениям, проведенным на Майкопской опытной станции ВИР, лучшими родительскими формами, обеспечивающими наибольший процент завязавшихся семян, являются сорта топинамбура Венгерский, Тамбовский красный и Горно-Алтайский. При гибридизации отмечается явление гетерозиса, которое сохраняется и при вегетативном размножении [35].

В результате проводимой межвидовой гибридизации топинамбура и подсолнечника в нашей стране удалось получить растения, называемые топинсолнечником. На Майкопской опытной станции ВИР выведен гибрид Восторг (ЗМ-1-156) с новыми биологическими свойствами для промышленной переработки. Клубни у этого гибрида крупные, овальные, с гладкой поверхностью. Их урожай достигает 40 т/га и более, зелёной массы – 60 т/га.

Такие гибриды лучше возделывать в севооборотах, они не будут засорять посеы последующих культур. Клубни и зеленая масса некоторых гибридов отличаются более высоким содержанием углеводов, в том числе инулина, пектина, белка и других питательных веществ. Получены также растения с высокой холодоустойчивостью и морозостойкостью, устойчивые к болезням. Рассматривая межсортовую и межвидовую гибридизацию как систему, следует отметить, что выходными параметрами должны быть гибриды с высоким содержанием углеводов и стабильной урожайностью крупных клубней с гладкой поверхностью, устойчивых к болезням, что достигается поиском и выбором сортов для парного скрещивания с образованием семян (до 98 %) и сохранением гетерозиса родительских форм.

В семеноводстве топинамбура применение технологии микроклонального размножения *in vitro* является прогрессивным и имеет большое значение для получения достаточного количества высококачественного посадочного материала. Преимущества клонального микро-размножения топинамбура в сравнении с традиционными методами: получение генетически однородного посадочного материала; оздоров-

ление растений от грибных и бактериальных патогенов, вирусных, микоплазменных инфекций; высокий коэффициент размножения – за шесть месяцев можно получить 10-15 тыс. растений; возможность проведения работ в течение года, так как рост и развитие растений *in vitro* практически не зависят от сезонных изменений; экономия площадей, необходимых для выращивания посадочного материала.

В оригинальном семеноводстве исследованы новые методы клонального микроразмножения топинамбура с усовершенствованным способом получения пробирочных микроклубней, позволившим успешно использовать их для выращивания миниклубней на аэрогидропонном устройстве без предварительного подрачивания. Перед высадкой растения тщательно очищали от остатков агаризованной среды для предотвращения попадания остатков агар-агара в систему питательного раствора с содержанием макро- и микросолей: азота, фосфора, калия, марганца и других [36]. Общее количество миниклубней топинамбура, полученных с 20 растений сорта Скороспелка, высаженных на площади 0,72 м², составило 347 шт. Миниклубни получили размером до 55 мм в длину и до 17 мм в поперечном сечении.

Рассматривая семеноводство топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами здесь являются клоны и миниклубни с заданными размерами и формой, высоким содержанием инулина – не менее 20 %, что достигается клональным микроразмножением селекционных гибридов с последующим выращиванием миниклубней на регулируемой аэрогидропонной среде [37].

3.4. *Агротехнология топинамбура.* Агротехнология топинамбура аналогична технологии картофеля и предусматривает предпосадочную обработку поля в зависимости от плотности почвы: вспашку, фрезерование или культивацию. При ширококорядной посадке плотность почвы ниже, что способствует получению более высоких урожаев клубней у разных сортов. Густота посадки клубней топинамбура на 15...30 % ниже, чем картофеля и зависит от размера клубневого гнезда [38]. Выращенные клубни топинамбура должны соответствовать ГОСТ Р 55757-2013².

В зависимости от сорта семенного топинамбура с высоким содержанием инулина агротехнология должна обеспечить основные характеристики клубней: сроки созревания; урожайность; размер и форму клубней; компактность клубневого гнезда; прочность соединения клубней с корневой системой.

В Федеральном исследовательском центре картофеля имени А. Г. Лорха проведены исследования на основе планирования эксперимента с выходным параметром «урожайность клубней топинамбура» и технологическими факторами: ширина междурядий, расстояние между посадочными клубнями в рядке, сорта топинамбура.

В результате опытной посадки и возделывания топинамбура было установлено, что максимальная урожайность клубней достигается при ширине междурядий 90 см и интервале между клубнями в рядке 30 см, который определяется размером клубневых гнезд. При увеличении расстояния между клубнями при посадке урожайность сначала повышается, поскольку пространство для питания растения увеличивается, а затем начинает снижаться из-за того, что пространство питания растения используют недостаточно эффективно. Компактные клубневые гнезда формировались у сортообразцов Вильгортский – 10472 см³, Бланк Брекос – 12479, Виолет де Ренсе – 10800 см³. Самое большое клубневое гнездо отмечено у сортов Шпиндель – 47058 см³, Корневский – 42768 и Калужский – 41366 см³ [39].

Проведённые исследования показали, что углеводный состав топинамбура при созревании претерпевает значительные изменения. При этом меняется соотношение низкомолекулярной и высокомолекулярной фракций инулина. При непрерывном нарастании содержания сухого вещества в клубне происходит накопление инулина с сопутствующими полифруктозанами. В сентябре наблюдается максимальное накопление инулина в клубнях как у особенно скороспелых, так и позднеспелых сортов. Общее содержание сухих веществ в клубнях топинамбура составляет 25,0-26,4 %. Наибольшее содержание инулина отмечено у сортов: Калужский (18,7 %), Бланк Брекос (16,7 %), Новость ВИРа (15,8 %), Корневский (15,0 %), Диетический (14,7 %), Находка (14,1 %). Общая кормовая ценность составила 37,0-103,4 тыс. МДж/га метаболизированной энергии [40].

²ГОСТ Р 55757-2013. Топинамбур (клубни). Материал посадочный. Сортные и посадочные качества. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 15 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105913>

Рассматривая агротехнологию топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами является урожайность созревших клубней топинамбура с заданными размерами, формой и содержанием инулина. Эффективность применённой технологии возделывания клубней топинамбура следует оценивать не только по урожайности массы клубней, но и по массе образования инулина на 1 га.

3.5. *Уборка клубней топинамбура.* Способ и сроки уборки топинамбура существенно влияют на качество переработки и хранения. Механические повреждения клубней при уборке сокращают сроки хранения и снижают качество сырья, а задержка с уборкой приводит к снижению содержания инулина и фруктозы в клубнях в разной степени в зависимости от сорта. Чтобы получать высокий выход углеводов с 1 га и эффективно использовать их при выработке продуктов функционального питания, клубни скороспелых сортов целесообразно убирать в конце октября, позднеспелых – в апреле, мае.

Проблема уменьшения механических повреждений клубней топинамбура при машинной технологии его производства и особенно при уборке клубнеуборочными комбайнами – одна из важнейших во всем цикле производства топинамбура, в том числе и на грядках. Машинная технология производства топинамбура предусматривает в качестве основного способа уборки урожая клубней комбайнами с обрезиненными сепарирующими рабочими органами для снижения травмирования клубней и улучшения сепарации от земли [41].

Рассматривая уборку топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами являются клубни картофеля согласно ГОСТ 32790-2014³ с диаметрами не менее 25 мм, с механическими повреждениями не более 1,5 %, с массовой долей земли не более 5 %, что достигается формой и скоростью рабочих органов уборочных машин, состоянием почвы в гребнях.

3.6. *Хранение клубней топинамбура.* Главной проблемой, связанной с использованием культуры топинамбура, является проблема длительного хранения. Одним из простых и дешевых является способ хранения клубней в почве с выкапыванием их по мере необходимости. Выкопанные клубни топинамбура не

отличаются лёжкостью из-за отсутствия в коже клубней пробкового слоя и на открытом воздухе быстро усыхают и легко поражаются гнилью. За 10 дней хранения клубней при комнатной температуре потери в весе составляют в среднем 7,0 %, за 20 дней – 14,2 % [42].

В северных районах клубни топинамбура хранят в буртах, кучах или ямах с укрытием землёй. Клубни должны быть сухими, неповреждёнными, без ботвы и примесей.

Уборку топинамбура производят в сентябре-ноябре в зависимости от сорта. Свойство топинамбура переносить многократное замораживание и оттаивание без потери жизнеспособности и всхожести является большим преимуществом по сравнению с другими видами инулинсодержащего сырья. В период зимнего хранения углеводный комплекс топинамбура претерпевает значительные изменения за счёт воздействия собственной ферментной системы клубней. Происходит изменение качественного состава углеводов, содержащихся в клубнях, выражающееся в увеличении содержания фруктозы и снижении содержания инулина и других полифруктозанов.

Для снижения потерь в клубнях топинамбура и повышения устойчивости к гнили перед хранением их обрабатывают препаратом Милеконс, создающим наноразмерную пленку, или более эффективным Артафитом. Предложено использовать в качестве упаковочных материалов полипропиленовые мешки и поддерживать в хранилище температуру от +2 до +5 °С [42], по данным Му Ювен с соавт. (Y. Mu et al.) [43], оптимальная температура при хранении должна быть от -5 до 0 °С.

Рассматривая хранение топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами системы являются: отходы, потери массы клубней и снижение содержания инулина при длительном хранении.

Условия хранения клубней топинамбура для обеспечения их сохранности с минимальными потерями углеводов недостаточно изучены и требуют дальнейших исследований. Учитывая тесные взаимосвязи отдельных систем уборки и хранения клубней топинамбура, целесообразно рассматривать их как одну систему с входными и выходными параметрами, определяющими качество клубней.

³ГОСТ 32790-2014. Топинамбур свежий. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2015. 9 с.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112296>

3.7. *Технология переработки клубней топинамбура на инулин.* Анализ зарубежной и отечественной литературы по способам получения инулина из инулинсодержащего сырья, в частности топинамбура, показал наличие значительного количества научных статей и патентов, посвящённых этому вопросу [44]. В отличие от существующих упрощённых технологий переработки клубней топинамбура, таких как получение порошков из высушенных клубней и сиропов из измельченных и отпрессованных клубней [44, 45], технология чистого порошкообразного инулина является сложной системой с многофакторным воздействием на технологические процессы. Входными параметрами системы являются клубни топинамбура с характеристиками, соответствующими выходным параметрам предыдущей системы «уборка и хранение клубней», а именно с диаметрами клубней не менее 25-30 мм, механическими повреждениями не более 1,5 %, массовой долей земли не более 5 % [46].

Дополнительно к входным параметрам следует добавить в качестве фильтров приёмки содержание инулина не менее 14 % и ограничение содержания отходов в виде сорной примеси и повреждённых, подгнивших клубней не более 5 %.

Технологические схемы производства инулина, представленные в различных литературных источниках, можно сгруппировать по следующим основным технологическим операциям: очистка и мойка клубней; измельчение; экстрагирование инулина; коагуляция примесей; механическое фильтрование; очистка активным углем; концентрирование; ионообменная очистка; мембранное разделение с выделением фракции олигофруктозный сироп и его концентрирование; фракцию инулина также концентрируют для распылительной сушки. Стушённый олигофруктозный сироп и сухой порошкообразный инулин направляют на упаковку [47].

Следует более подробно рассмотреть каждую операцию с анализом возможных вариантов по входным и выходным параметрам.

Технологическая операция мойки клубней. После предварительной сухой очистки от примесей клубни подают с загрязнённостью до 10 % на мойку, снабжённую щётками и системой подачи воды под высоким давлением, для достижения остаточной загрязнённости 1,5 % рекомендуется двукратная или трехкратная мойка.

Клубни топинамбура после мойки подают на инспекционный транспортер, где происходит его сортировка. Испорченные, гнилые, раздавленные клубни удаляют во избежание ухудшения качества готового продукта в соответствии с ГОСТ 32790-2014⁴.

Измельчение клубней топинамбура и экстрагирование инулина. Применяются два основных способа для измельчения клубней топинамбура: тонкое измельчение на тёрках и резание стружек по аналогии со свеклосахарным производством. При тонком измельчении из полученной каши прессованием выделяют сок, а мезгу промывают для дополнительного извлечения инулина, выход сока при однократном прессовании достигает 70 %, при настаивании и повторном прессовании – 80 %. Однако такой способ выделения инулина из тонкоизмельчённой каши приводит к увеличению выхода примесей из сырья и образованию красящих веществ.

Измельчение клубней топинамбура в стружку является более прогрессивным для извлечения инулина методом экстрагирования по аналогии с переработкой сахарной свёклы на сахар. Процесс экстрагирования протекает за счёт диффузии из клеток экстрагируемых веществ, имеющих разную концентрацию. От того, насколько качественно осуществлено экстрагирование, зависит выход инулина и, следовательно, его качество. Экстрагирование проводят преимущественно горячей водой температурой около 80 °С при различных гидромодулях (соотношение массы стружки и воды). При переработке свежей стружки (гидромодуль – 1:2), сухой стружки (1:10) используются экстракторы непрерывного действия, среди которых следует отметить установку ВНИИ крахмалопродуктов, включающую шнековый диффузионный аппарат с противоточным движением воды и стружки топинамбура [48].

Предложено несколько способов повышения эффективности экстрагирования инулина из топинамбура:

– обработка клубней перед измельчением СВЧ-полем мощностью 750 Вт/кг, позволяющая предотвратить воздействие собственной ферментной системы топинамбура;

– вибрационное воздействие на инулинсодержащее сырьё при частоте вибрационного воздействия до 23,4 Гц. Выход инулина достигает 96 %, что на 28 % больше, чем в контрольном образце [49];

⁴ГОСТ 32790-2014.

– применение ультразвуковой обработки при частоте излучения 20-22 кГц сокращает продолжительность процесса экстрагирования и значительно увеличивает выход инулина, а также снижается температура процесса на 5-10 °С [50, 51];

– обработка измельчённой массы топинамбура 5%-ным раствором лимонной кислоты с последующей экстракцией в роторно-кавитационном экстракторе при температуре 75-80 °С в течение 10-15 минут. Выход инулина составляет 95 % от теоретически возможного.

– проведение водной экстракции инулина противоточным методом с введением уксусной кислоты до рН 4,5-4,6 при температуре 65-90 °С. Содержание сухих веществ в полученном экстракте составляет 10-17 %.

Очистка экстракта инулина. При экстрагировании инулина в экстракт переходят большое количество растворимых веществ как углеводного, так и неуглеводного характера (растворимые примеси). Вследствие этого происходит образование и выделение в экстракт побочных продуктов, в том числе различных форм биологически активных природных веществ, включая и низкомолекулярные углеводы: сахарозу, фруктозу и глюкозу, а взаимодействие углеводов и белковых соединений при высокой температуре вызывает реакцию Майера, что приводит к повышению цветности и требует дополнительных технологических операций по очистке экстракта.

Для очистки экстракта инулина используются различные технологические приёмы: дефекосатурационная обработка; адсорбционная очистка активным углём и ионообменными смолами; ультрафильтрационное и хроматографическое разделение.

Дефекосатурационный способ извлечения инулина из водного раствора с обработкой карбонатом кальция при 85 °С. Дефекация экстракта инулина известью позволяет провести очистку с коагуляцией белковых и красящих веществ, а последующая обработка углекислым газом – адсорбировать растворимые вещества. При этом осаждаются соединения анионов, дающих нерастворимые соли с ионом кальция. С другой стороны, гидроксид кальция, добавляемый в экстракт при дефекации, помимо нейтрализации свободных кислот, вызывает осаждение солей железа, магния и алюминия. Недостатком данного способа очистки является то, что избыток щёлочи способствует разложению фруктозанов, редуцирующих веществ,

пектинов, аминокислот и белков, поэтому очистку экстракта, содержащего большое количество олиго-, ди- и моносахаров, не следует проводить с дефекосатурацией.

Кислотно-термическая обработка экстракта для коагуляции высокомолекулярных примесей применяется с использованием соляной кислоты при температуре 80-85 °С и доведением рН 4,2-4,7 в течение 3 мин для получения осадка, содержащего протеин и высокомолекулярные примеси.

Очистку экстракта от осадка осуществляют механическим фильтрованием, мембранным разделением, ультрафильтрацией обратным осмосом с оценкой по содержанию сухого вещества, примесей (протеин, зола) и углеводного состава продуктов.

При ультрафильтрационном разделении сока клубней топинамбура с применением мембран рулонного типа ЭР (размер пор 5 и 8 кДа) можно выделить свыше 97 % содержащихся в соке нативных растительных белков и очистить сок топинамбура до 98 % [52].

Исследования по очистке экстракта от красящих веществ проводили порошкообразным активным углем марки ОУ-Б при дозировке 4 % и гранулированным углём «Норит». Установлено, что эти угли имеют более высокую адсорбционную способность по протеину и золе.

Ионообменная очистка экстракта после коагуляции и обработки активным углем является завершающей стадией и проводится в определённой последовательности: катионит – анионит – катионит, позволяющей эффективно очищать экстракты инулина при температуре не более 30 °С для предотвращения гидролиза инулина на катионите. Рекомендовано для получения концентрата инулина высокого качества проводить две стадии очистки экстракта: активным углем и ионообменными смолами [53].

Мембранное разделение экстракта инулина. Несмотря на глубокую очистку экстракта инулина от высокомолекулярных примесей в нём остаются и накапливаются низкомолекулярные вещества в виде дисахаридов и моносахаридов фруктозы и глюкозы, для их выделения используется нанофильтрация из двух ступеней: извлечение инулина путем отделения моно- и дисахаров, содержащихся в сиропе, и концентрирование пермеата (основное вещество инулин) с использованием обратноосмотических мембран, и получения в конечном продукте содержание моносахаров

не более 3 %, содержание сухого вещества экстракта инулина – 18-20 % при зольности 0,2-0,5 %. По исследованиям Т. В. Бархатовой [49], применение мембран с размерами пор 2, 3 и 5 кДа позволяет получить три фракции инулина с разной степенью полимеризации фруктозы (DP): низкомолекулярную (DP = 2...10), среднемолекулярную (DP = 11...18) и высокомолекулярную (DP = 19...35).

Хроматографическое разделение сиропов инулина из топинамбура, полученных после ионообменной очистки с применением сульфокатионита в кальциевой форме марки «Финекс», позволяет получить 3 фракции с выходом от общего объема элюата: 1 – высокомолекулярный инулин – 57 %; 2 – смесь углеводов, состоящую из инулина, олигосахаридов и дисахаридов – 23 %; 3 – смесь дисахаридов и фруктозы – 20 %, а при разделении на две фракции получить не менее 90 % инулина в одной фракции и не более 10 % дисахаридов в другой фракции, что важно при разработке технологии инулина [54].

При хроматографическом разделении можно получить олигофруктозу, соответствующую требованиям к углеводному составу: сумма высокомолекулярных олигофруктозидов – не менее 93 %, сумма низкомолекулярных сахаридов (ди- и моносахаридов) – не более 7 % [55].

Олигофруктозные сиропы из инулинсодержащего сырья можно получить также ферментативным гидролизом инулина препаратом эндоинулиназы марки «Новозим 960» в дозировке 0,3...0,4 ед. INU/г СВ сиропа с углеводным составом: массовая доля фруктоолигосахаридов – 73,04 %; олигофруктозидов – 22,79 %; дисахаридов – 1,74 %; фруктозы – 2,43 % [56].

Концентрирование растворов инулина и олигофруктозы. Все технологические операции по извлечению инулина и его очистке проводятся при низком содержании сухих веществ – не более 12 %, поэтому при доведении растворов до уровня СВ не менее 72 % с целью получения инулина в порошкообразном виде требуется его концентрация для последующей кристаллизации или распылительной сушки.

Частичное концентрирование очищенного экстракта инулина с содержанием 10-12 % СВ происходит при мембранном сепарировании до 20 % содержания СВ, а при хроматографическом – до 30 %.

Но основное концентрирование осуществляют на выпарных аппаратах с выносной поверхностью нагрева до содержания СВ

не менее 30 %. Температура в процессе уваривания не должна превышать 60 °С для предотвращения образования красящих веществ [57].

Способы получения инулина в сухом виде. Кристаллизацию раствора инулина с содержанием 56,5 % СВ осуществляют при температуре 8 °С в течение 12-18 ч, затем инулин отделяют от маточного раствора центрифугированием при факторе разделения, равном 6600. Полученный влажный фугат сушат до влажности 5,9 % и содержания инулина по СВ 97,2 % [57].

Проведенными исследованиями распылительной сушки инулинового раствора с исходным содержанием влаги в пределах $W_h = 0,75-0,95$ кг/кг и конечном содержании влаги в продукте $W_k = 0,1$ кг/кг был установлен оптимальный режим сушки при температуре $T = 423$ К [58].

При сравнении способов получения из растворов порошкообразного инулина следует, что распылительный способ сушки включает наименьшее количество операций и не имеет отходов в виде слабо кристаллизирующихся низкомолекулярных полисахаридов.

Интегрирование операционных параметров системы. Рассматривая «Технологию переработки клубней топинамбура на инулин» как систему связанных технологических операций, частично оптимизированных по данным литературных источников, то эту систему можно представить с входными и выходными параметрами каждой операции (рис. 3) от характеристик исходного сырья до получения конечных продуктов: порошкообразного инулина и олигофруктозного сиропа. Отличительными особенностями предлагаемой системной технологии являются: экстрагирование инулина из стружки клубней с противоточной промывкой; возможность совмещения технологических операций механического фильтрования и угольной очистки; применение хроматографического способа выделения низкомолекулярных сахаридов, которые накапливаются в виде олиго- и дисахаридов, моносахаридов фруктозы и глюкозы при очистке экстракта.

4. *Системный комплекс производства инулина из топинамбура*. Систему «Технология переработки клубней топинамбура на инулин», имеющую входные параметры по сырью и выходные параметры по готовой продукции, можно представить в составе системного комплекса в виде структурной топологической модели (рис. 4), объединяющего проведение

анализа источников инулинсодержащего сырья, его селекции и семеноводства (система А), агротехнологии (система В), уборки и хранения (система С), переработки клубней топинамбура

и производства инулина (система D). Системообразующим фактором этого комплекса является инулин: его синтез, накопление, хранение и извлечение.

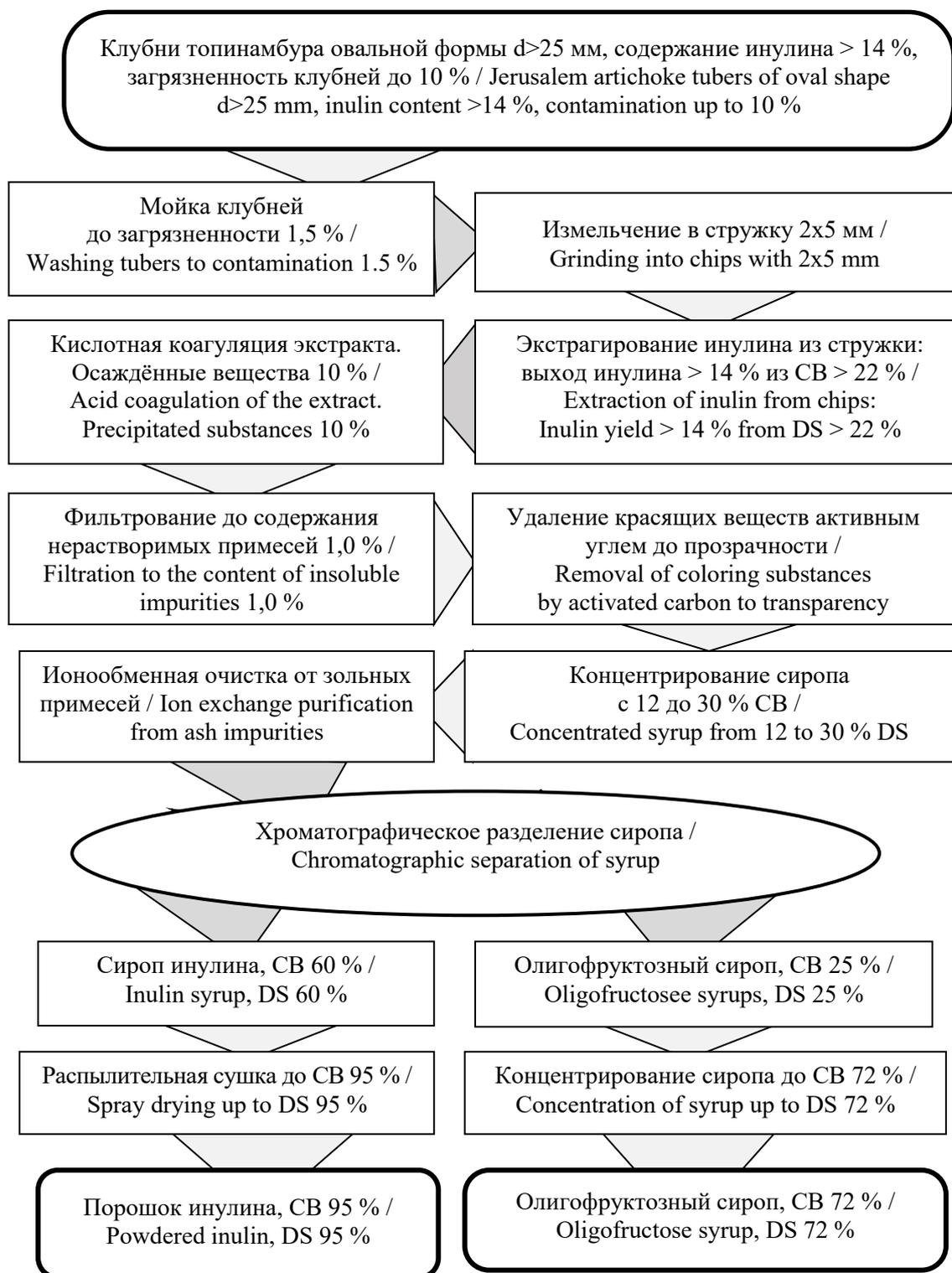


Рис. 3. Операционная блок-схема переработки клубней топинамбура на инулин и олигофруктозный сироп /

Fig. 3. Operating block-diagram of the Jerusalem artichoke tubers processing into inulin and oligofructose syrup

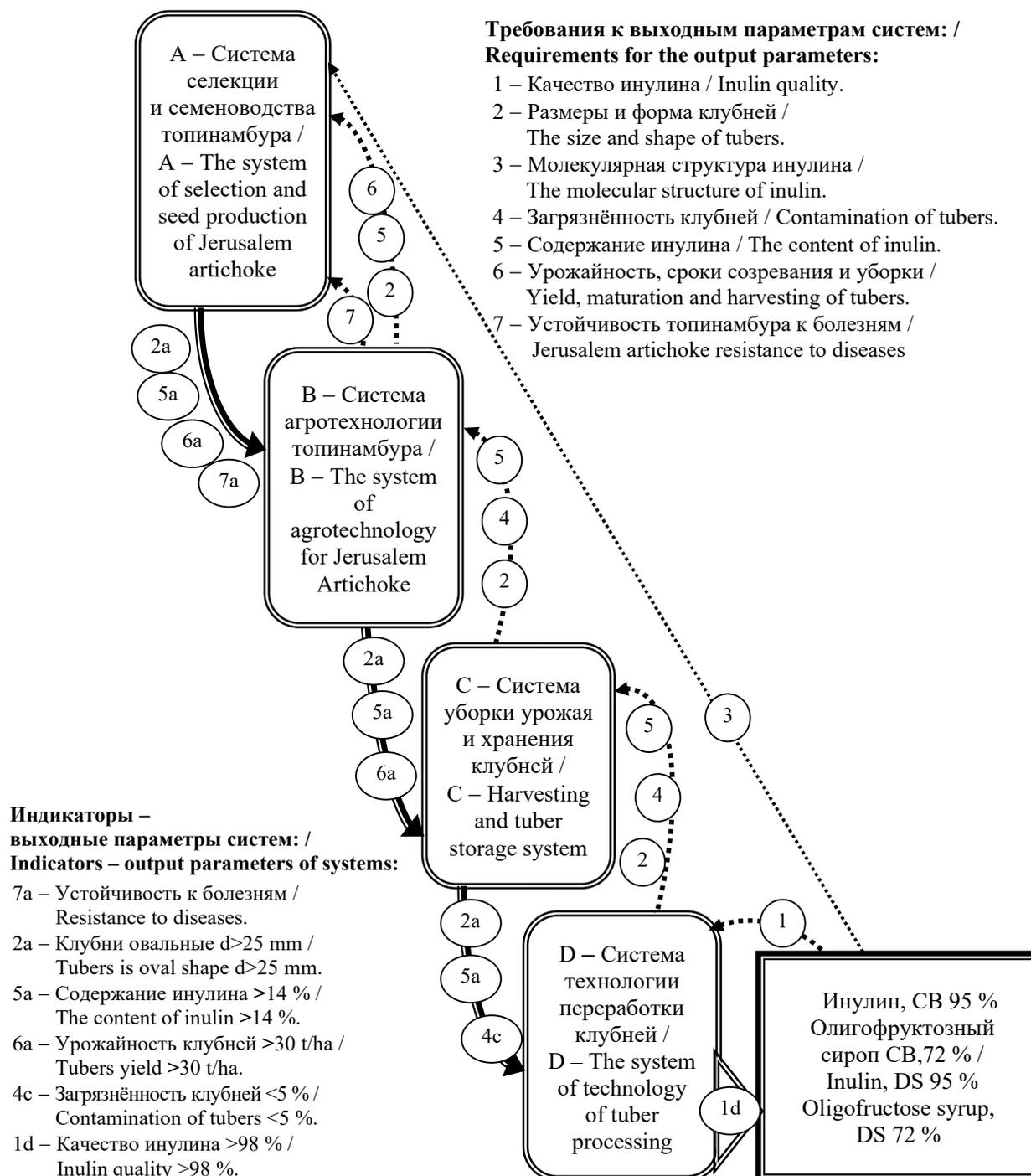


Рис. 4. Структура системного комплекса производства инулина /
Fig. 4. The structure of the inulin production system complex

Система D является определяющей качеством конечной продукции: доброкачественность инулина > 95 % с содержанием СВ < 8 % и олигофруктозного сиропа с СВ 72 %. Для обеспечения качества продукции с учётом оптимизированных технологических процессов и максимальным извлечением инулина > 90 % определены требования к входным параметрам

системы D: размер и форма клубней, их загрязнённость, содержание инулина > 14 %, что должно соответствовать выходным параметрам системы C (уборка и хранение клубней). Входными параметрами системы C являются выходные параметры системы B (агротехнология топинамбура), требования к которым складываются из предыдущих систем D и C.

Система А (селекция и семеноводство) объединяет все требования от предыдущих систем комплекса и дополнительные требования к урожайности клубней, молекулярной структуре инулина, устойчивости топинамбура к болезням.

Установленные в системном комплексе взаимосвязи систем в форме технологических требований и выходных параметров каждой системы и в целом всего комплекса являются основанием для разработки аграрно-пищевой технологии инулина из топинамбура.

Основные положения системного подхода к перспективности развития технологических комплексов в агропромышленном хозяйстве страны, разработанные В. А. Панфиловым [3, 59], предусматривают объединение процессов сельскохозяйственной технологии и процессов пищевой перерабатывающей технологии в единый системный комплекс «Аграрно-пищевая технология» с формулировкой основных принципов создания указанного комплекса:

- адресность производства сельскохозяйственной продукции;

- усиление технологичности свойств сельскохозяйственного сырья и формирование качества выходных продуктов в процессе выращивания сырья;

- повышение технологической дисциплины в сельскохозяйственном производстве, перерабатывающей и пищевой промышленности;

- развитие ресурсосбережения и экологичности процессов по всей технологической цепи комплекса.

Этим принципам отвечает предлагаемый «Системный комплекс производства инулина», однако имеются сложности его разработки и применения, так как в сельском хозяйстве закономерности, описывающие строение, функционирование и развитие технологических процессов, гораздо сложнее, чем закономерности технологических процессов на перерабатывающих и пищевых предприятиях, и носят преимущественно вероятностный характер, что обусловлено особенностями главного средства производства – земли, свойства которой сильно изменяются от погодных условий. При благоприятных климатических условиях для успешного функционирования «Системного комплекса производства инулина» необходима разработка дополнения в форме экономической модели системы селекции и семеноводства, выращивания, хранения и переработки топинамбура

на инулин с жесткими производственными и финансовыми связями и направленной целью – получение инулина с низкой себестоимостью и высокими потребительскими свойствами.

Заключение. Отсутствие промышленного производства пищевого и фармацевтического инулина в стране и его импорт явилось проблемной ситуацией, для решения которой использована методология системного анализа мирового производства инулина, его применения, проведения исследований по селекции и производству источников инулинсодержащего сырья, его хранению и переработке для производства инулина.

Отмечена устойчивая тенденция мирового роста производства инулина 8-10 % в год и многочисленные результаты исследований применения инулина в качестве биоактивного пребиотика в функциональных продуктах питания, косметических и фармацевтических препаратах как носителя противоопухолевых средств.

Топинамбур определён как наиболее перспективный и распространённый вид инулинсодержащего сырья с высокой урожайностью клубней до 40 т/га и содержанием инулина до 20 %, при биосинтезе которого гены синтезирующих ферментов 1-SST и 1-FFT могут редактироваться с целью изменения содержания инулина и степени его полимеризации. При селекции топинамбура перспективным направлением является межвидовая гибридизация на примере топинамбурника с урожайностью клубней 40 т/га.

В семеноводстве топинамбура исследованы новые способы клонального микро-размножения клубней и их выращивания на аэрогидропонной среде с достижением содержания инулина не менее 20 %. Максимальная урожайность клубней топинамбура зависит от сорта и ширины междурядий 90 см с интервалом клубней в рядке 30 см. При хранении клубней топинамбура наименьшие потери веса клубней и содержания в них инулина при длительном хранении достигаются при температуре от -5 до 0 °С.

На основе системного анализа предложена «Технология переработки клубней топинамбура на инулин», включающая частично оптимизированные технологические операции: очистку и мойку клубней; измельчение; экстрагирование инулина; коагуляцию примесей; фильтрование; очистку активным углем; ионообменную очистку; хроматографическое

разделение с выделением фракции олигофруктозного сиропа; концентрирование и сушку инулина.

Предложен системный комплекс в виде структурной топологической модели, объединяющей 4 системы: «Селекция и семеноводство», «Агротехнология», «Уборка и хранение клубней», «Технология переработки клубней топинамбура» с взаимосвязями в форме технологических требований и выходных параметров каждой системы и в целом всего комплекса.

«Системный комплекс производства инулина» должен быть дополнен разработкой экономической модели с устойчивыми производственными и финансовыми связями систем с направленной целью – получение инулина с низкой себестоимостью и высокими потребительскими свойствами, что осуществимо в рамках создаваемых агропромышленных объединений, кластеров и решения проблемы производства инулина в стране и его импортозамещения.

Список литературы

1. Маторин С. И., Михелёв В. В. Системно-объектный детерминантный анализ. Построение таксономии предметной области. Искусственный интеллект и принятие решений. 2021;(1):15-24. DOI: <https://doi.org/10.14357/20718594210102>
2. Михелёв В. В. Системно-объектный подход к системному анализу: особенности и преимущества. Экономика. Информатика. 2022;49(1):145-152. DOI: <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2022-49-1-145-152>
3. Панфилов В. А. Аграрно-пищевая технология: эффект системного комплекса. Известия КГТУ. 2014;(35):93-105. Режим доступа: https://kgtu.ru/science/magazine/news_kstu/2014_35/
4. Le Bastard Q., Chapelet G., Javaudin F., Lepelletier D., Batard E., Montassier E. The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies. European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases. 2019;39:403-413. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10096-019-03721-w>
5. Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H. R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. Carbohydrate Polymers. 2016;147:444-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
6. Коденцова В. М., Леоненко С. Н., Бекетова Н. А., Кошелева О. В., Вржесинская О. А., Сокольников А. А., Шевякова Л. В., Рисник Д. В. Инулин как компонент обогащенных пищевых продуктов: влияние на микронутриентный статус организма. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2022;25(3):34-42. DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-03-05>
7. Петров С. М., Подгорнова Н. М., Григорьев Д. А. Инулин как перспективный натуральный пребиотик многоцелевого использования. Пищевая промышленность. 2022;(7):66-74.
8. Kulushtayeva B., Nurymkhan G., Burakovskaya N., Shadrin M., Smirnova T., Sagina O., Mirgorodskaya M., Smirnov S. Physical and chemical profile and food safety of gluten free bread. Eurasian journal of biosciences. 2019;13(2):1081-1087. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41875795>
9. Сухарева Т. Н., Польшкова А. В. Творожный продукт на основе творога, топинамбура и яблок. Наука и Образование. 2019;2(2):255. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38578485>
10. Схашок Р. З., Филиппенко Ю. Н., Тарасенко Н. А. Оптимизация содержания инулина в рецептуре мягких вафель на основе пшеничных пищевых волокон. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020;(5-6(377-378)):53-56. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.12>
11. Неменуцкая Л. А. Технологии производства конкурентоспособных продуктов питания повышенной пищевой ценности из доступного местного сырья. Техника и оборудование для села. 2018;(4):34-36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32847412>
12. Rubel I. A., Iraporda C., Manrique G. D., Genovese D. B., Abraham A. G. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Biology. Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021;26:100281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100281>
13. Mazraeh R., Azizi-Soleiman F., Jazayeri S. M. H. M., Noori S. M. A. Effect of inulin-type fructans in patients undergoing cancer treatments: A systematic review. Pakistan Journal of Medical Sciences. 2019;35(2):575-580. DOI: <https://doi.org/10.12669/pjms.35.2.701>
14. Haiping D., Zhao A., Qi W., Yang X., Ren D. Supplementation of inulin with various degree of polymerization ameliorates liver injury and gut microbiota dysbiosis in high fat-fed obese mice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020;68(3):779-787. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06571>
15. Song J., Li Q., Everaert N., Liu R., Zheng M., Zhao G., Wen J. Effects of inulin supplementation on intestinal barrier function and immunity in specific pathogen-free chickens with Salmonella infection. Journal of Animal Science. 2020;98(1):skz396. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz396>
16. Shao T., Yuan P., Dou D., Liu C., Han J., Chen K., Wang G., Zhang W., Wang F., Hao C. Preparation and characterization of sulfated inulin-type fructans from jerusalem artichoke tubers and their antitumor activity. Carbohydrate Research. 2021;509:108422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108422>

17. Насридинов А. С., Ашууров А. И., Холов Ш. Ё., Исмоилов И. Б., Усманова С. Р., Мухидинов З. К. Самоагрегирующие свойства инулина в разбавленном растворе. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнологии. 2022;12:1(40):38-49. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-38-49>
18. Надежкина М. С., Сагина О. А. Инулин: свойства, применение. Мировой рынок инулина. Modern Science. 2020;(1-2):76-80. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42315930>
19. Будько Д. Рынок инулина: Европа лидирует в мировом производстве, Россия подсчитывает упущенные возможности. Бизнес пищевых ингредиентов. 2019;(2):46-47.
20. Кайшев В. Г., Лукин Н. Д., Серегин С. Н., Корниенко А. В. Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественного производства. Пищевая промышленность. 2018;(5):8-17.
21. Манохина А. А., Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Мишуров Н. П., Неменушая Л. А., Аллаяров Ж. Ж. Конкурентоспособные технологии производства функциональных продуктов из топинамбура: аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 84 с. Режим доступа: <https://rosinformagrotech.ru/data/send/5-rastenievodstvo/1412-konkurentosposobnye-tehnologii-proizvodstva-funktsionalnykh-produktov-iz-topinambura-2020>
22. Титова Л. М., Алексанян И. Ю. Технология инулина: основные тенденции развития отрасли и спорные вопросы. Пищевая промышленность. 2016;(1):46-51.
23. Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Звягинцев П. С., Лазунин Ю. Т. Топинамбур – культура многоцелевого использования. Пищевая промышленность. 2013;(4):22-25.
24. Сербаява Э. Р., Якупова А. Б., Магасумова Ю. Р., Фархутдинова К. А., Ахметова Г. Р., Кулуев Б. Р. Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение. Биомика. 2020;12(1):57-79. DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5>
25. Леонтьев В. Н., Дубарь Д. А., Лугин В. Г., Феськова Е. В., Игнатовец О. С., Титок В. В. Биологический потенциал топинамбура как исходного сырья для пищевой и фармацевтической промышленности. Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2014;(4):227-230. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27386373>
26. Barloy J., Fernandez J. Synthesis on Jerusalem artichoke projects, in Topinambour (Jerusalem Artichoke). Report EUR13405, Grassi, G. and Gosse, G., Eds. Commission of the European Communities. Luxembourg, 1991. pp. 3-14.
27. BeMiller J. N. 10 – Inulin and Konjac Glucomannan. In: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. Amsterdam: Elsevier Inc., AACCC International. 2019. pp. 253-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00010-8>
28. Шаззо Р. И., Кайшев В. Г., Гиш Р. А., Екутеш Р. И., Корнена Е. П. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра). Под ред. Р. И. Шаззо. Краснодар: Издательский дом – Юг, 2013. 184 с.
29. Васфилова Е. С., Воробьева Т. А. Динамика накопления фруктозо-содержащих углеводов в подземных органах растений различных семейств. Химия растительного сырья. 2022;(1):71-80. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220110140>
30. Леонтьев В. Н., Титок В. В., Дубарь Д. А., Игнатовец О. С., Лугин В. Г., Феськова Е. В. Инулин из топинамбура: биосинтез, структура, свойства, применение. Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2014;9(1):180-185. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36554236>
31. Найда Н. М. Некоторые особенности роста и развития цикория обыкновенного в условиях культуры в Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018;(50):11-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741848>
32. Schittenhelm S. Agronomic performance of root chicory, Jerusalem artichoke, and sugarbeet in stress and nonstress environments. Crop Science. 1999;39(6):1815-1823. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961815x>
33. Захарова И. И. Топинамбур – ценная культура для функционального питания. Агропродовольственная экономика. 2022;(1):7-13. DOI: https://doi.org/10.54092/24122521_2022_1_7
34. Пасько Н. М. Топинамбур – биотехнологический потенциал для пищевых, лечебных, технических, кормовых и экологических целей. Агропромышленный портал Юга России. [Электронный ресурс]. URL: http://www.agroyug.ru/page/item/_id=2476 (дата обращения: 02.07.2022).
35. Breton C., Киру С. Д., Bervillé A., Анушкевич Н. Ю. Селекция топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) для нетрадиционного использования: ретроспектива, подходы и перспективы. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(5):940-951. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.940rus>
36. Хутинаев О. С., Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Манохина А. А., Шабанов Н. Э., Колесова О. С. Выращивание миниклубней картофеля и топинамбура в условиях водно-воздушной культуры с использованием искусственного освещения. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018;(4(86)):7-14. DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14>

37. Манохина А. А., Старовойтова О. А., Старовойтов В. И. Оригинальное семеноводство топинамбура. Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2018;(1(10)):61-65.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35192538>
38. Старовойтова О. А., Старовойтов В. И., Манохина А. А. Агротехника выращивания топинамбура. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2017;(1(77)):7-13.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28292515>
39. Старовойтова О. А. Инновационная грядочная технология выращивания топинамбура и картофеля. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2015;(1(65)):11-14.
40. Manokhina A. A., Dorokhov A. S., Kobozeva T. P., Fomina T. N., Starovoitova O. A. Varietal characteristics of jerusalem artichoke as a high nutritional value crop for herbivorous animal husbandry. Applied Sciences (Switzerland). 2022;12(9):4507. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12094507>
41. Михеев В. В., Ерёмченко В. И., Ерёмин П. А., Зернов В. Н., Петухов С. Н. Машина для уборки клубней топинамбура: пат. № 2637785 Российская Федерация. № 2017111786: заяв. 07.04.2017; опубл. 07.12.2017. Бюл. №34. 6 с.
42. Старовойтова О. А., Старовойтов В. И., Манохина А. А. Особенности хранения топинамбура. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018;(3(85)):7-12.
DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-7-12>
43. Mu Y., Gao W., Lv S., Li F., Lu Y., Zhao C. The antioxidant capacity and antioxidant system of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures. Industrial Crops and Products. 2021;161:113411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113411>
44. Лисовой В. В., Першакова Т. В., Купин А. Г., Ачмиз А. Д., Викторова Е. П. Современные способы производства инулина из растительного сырья. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016;118:1363-1376.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25983929>
45. Eryomenko D. O., Osmanova Yu. V. The influence of technological parameters of drying on the content of inulin in chicory and jerusalem artichoke powder. Modern science and innovation. 2021;(1(33)):71-77.
DOI: <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.1.10>
46. Пучкова Т. С., Бызов В. А., Пихало Д. М., Карасева О. М. Технология инулина и его производных для получения функциональных ингредиентов диетического и лечебно-профилактического назначения. Все о мясе. 2020;(5S):273-280. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280>
47. Гулюк Н. Г., Лукин Н. Д., Пучкова Т. С., Пихало Д. М. Переработка инулинсодержащего сырья на инулин и его производные. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(8):76-79.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30053606>
48. Гулюк Н. Г., Михайленко А. А., Ананских В. В., Лукин Н. Д., Пучкова Т. С., Пихало Д. М., Бызов В. А. Диффузионный аппарат непрерывного действия: пат. № 2643243 Российская Федерация. № 2016124463: заяв. 21.06.2016; опубл. 31.01.2018. Бюл. №4. 6 с.
49. Kozhukhova M. A., Nazarenko M. N., Barkhatova T. V., Khripko I. A. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus*) tubers. Foods and Raw Materials. 2015;3(2):13-22.
DOI: <https://doi.org/10.12737/13115>
50. Karetkin V. A., Panfilov V. I., Baurin D. V., Shakir I. V. Ultrasonic artichoke: Optimization of conditions, purification methods, c-13nmr spectroscopy of the product. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2015;1(6):641-648.
DOI: <https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B61/S25.087>
51. Муцаев Р. В., Алексанян И. Ю., Титова Л. М. Способы получения инулина из растительного сырья. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015;(10-3):433-436.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113191>
52. Мамай Д. С. Ультрафильтрационное разделение сока клубней топинамбура. Инновационное развитие АПК Северного Зауралья: сб. мат-лов региональной науч.-практ. конф. молодых ученых. ГАУ Северного Зауралья. Тюмень, 2013. С. 44-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23260327>
53. Пучкова Т. С., Пихало Д. М., Варицев П. Ю. Использование ионообменных смол для очистки инулинсодержащих сиропов из топинамбура. Пищевая промышленность. 2018;(12):38-42.
54. Пучкова Т. С., Бызов В. А., Пихало Д. М., Карасева О. М. Исследование хроматографического разделения углеводов инулина и олигофруктозы. Пищевая промышленность. 2021;(7):14-19.
55. Гулюк Н. Г., Пучкова Т. С., Пихало Д. М. Хроматографическое разделение углеводов инулинсодержащих сиропов. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(9):74-78.
DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10916>

56. Лукин Н. Д., Пучкова Т. С., Пихало Д. М., Карасева О. М. Гидролиз инулина ферментным препаратом эндоинулиназы марки «Новозим 960» для производства олигофруктозы. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(6):89-91. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10617>
57. Rubel I. A., Iraporda C., Novosad R., Genovese D. B., Manrique G. D. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods. Food Research International. 2018;103:226-233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.041>
58. Муцаев Р. В., Нугманов А. Х.-Х., Алексанян А. И. Интенсификация процесса сушки инулинового раствора, полученного экстракцией из растительного сырья. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2018;(1(21)):63-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36809867>
59. Баутин В. М., Панфилов В. А. Парадигма развития технологий АПК. Экономика сельского хозяйства России. 2017;(6):18-31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29425218>

References

- Matorin S. I., Mikhelev V. V. System-object determinant analysis. constructing a taxonomy of the subject area. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy*. 2021;(1):15-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14357/20718594210102>
- Mikhelev V. V. System-object approach to system analysis: features and benefits. *Ekonomika. Informatika = Economics. Information technologies*. 2022;49(1):145-152. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2022-49-1-145-152>
- Panfilov V. A. The agrarian-food technology: the effect of the system complex. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2014;(35):93-105. (In Russ.). URL: https://klgtu.ru/science/magazine/news_kstu/2014_35/
- Le Bastard Q., Chapelet G., Javaudin F., Lepelletier D., Bataud E., Montassier E. The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*. 2019;39:403-413. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10096-019-03721-w>
- Shoab M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H. R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*. 2016;147:444-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
- Kodentsova V. M., Leonenko S. N., Beketova N. A., Kosheleva O. V., Vrzhesinskaya O. A., Sokolnikov A. A., Shevyakova L. V., Risnik D. V. Inulin as a component of fortified foodstuffs: influence on the micronutrient status. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii = Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2022;25(3):34-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-03-05>
- Petrov S. M., Podgornova N. M., Grigor'ev D. A. Inulin as a promising natural prebiotic multipurpose use. *Pishchevaya promyshlennost' = Food Industry*. 2022;(7):66-74. (In Russ.).
- Kulshatayeva B., Nurymkhan G., Burakovskaya N., Shadrin M., Smirnova T., Sagina O., Mirgorodskaya M., Smirnov S. Physical and chemical profile and food safety of gluten free bread. *Eurasian journal of biosciences*. 2019;13(2):1081-1087. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41875795>
- Sukhareva T. N., Polshkova A. V. Custom product on the basis of creator, topinambur and apples. *Nauka i Obrazovanie*. 2019;2(2):255. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38578485>
- Skhashok R. Z., Filippenko Yu. N., Tarasenko N. A. Optimization of inulin content in the formulation of soft wafers on based wheat fiber. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya = Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2020;(5-6(377-378)):53-56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.12>
- Nemenushaya L. A. Technology for manufacture of competitive food having an increased nutrition value from available local raw materials. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;(4):34-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32847412>
- Rubel I. A., Iraporda C., Manrique G. D., Genovese D. B., Abraham A. G. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. *Biology. Bioactive carbohydrates and dietary fibre*. 2021;26:100281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100281>
- Mazraeh R., Azizi-Soleiman F., Jazayeri S. M. H. M., Noori S. M. A. Effect of inulin-type fructans in patients undergoing cancer treatments: A systematic review. *Pakistan Journal of Medical Sciences*. 2019;35(2):575-580. DOI: <https://doi.org/10.12669/pjms.35.2.701>
- Haiping D., Zhao A., Qi W., Yang X., Ren D. Supplementation of inulin with various degree of polymerization ameliorates liver injury and gut microbiota dysbiosis in high fat-fed obese mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(3):779-787. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06571>
- Song J., Li Q., Everaert N., Liu R., Zheng M., Zhao G., Wen J. Effects of inulin supplementation on intestinal barrier function and immunity in specific pathogen-free chickens with Salmonella infection. *Journal of Animal Science*. 2020;98(1):skz396. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz396>

16. Shao T., Yuan P., Dou D., Liu C., Han J., Chen K., Wang G., Zhang W., Wang F., Hao C. Preparation and characterization of sulfated inulin-type fructans from jerusalem artichoke tubers and their antitumor activity. *Carbohydrate Research*. 2021;509:108422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108422>
17. Nasridinov A. S., Ashurov A. I., Kholov S. E., Ismoilov I. B., Usmanova S. R., Mukhidinov Z. K. Self-aggregating properties of inulin in a dilute solution. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologii* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2022;12(1):38-49. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-38-49>
18. Nadezhkina M. S., Sagina O. A. Inulin: properties, application. *Global Inulin Market. Modern Science*. 2020;(1-2):76-80. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42315930>
19. Budko D. Inulin market: Europe leads in global production, Russia reads missed opportunities. *Biznes pishchevykh ingredientov*. 2019;(2):46-47. (In Russ.).
20. Kaishev V. G., Lukin N. D., Seregin S. N., Kornienko A. V. Inulin market in Russia: possibilities of raw materials base development and necessary resources for creation of modern domestic production. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2018;(5):8-17. (In Russ.).
21. Manokhina A. A., Starovoytov V. I., Starovoytova O. A., Mishurov N. P., Nemenushchaya L. A., Allayarov Zh. Zh. Competitive Technologies for Making Functional Products from Jerusalem Artichoke, Analytical Overview. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2020. 84 p. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/send/5-rasteniyevodstvo/1412-konkurentosposobnye-tehnologii-proizvodstva-funktsionalnykh-produktov-iz-topinambura-2020>
22. Titova L. M., Alexanyan I. Yu. Inulin technology: key industry trends and issues. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2016;(1):46-51. (In Russ.).
23. Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Zvyagintsev P. S., Lazunin Yu. T. Jerusalem artichokes - the culture of multipurpose use. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2013;(4):22-25. (In Russ.).
24. Serbaeva E. R., Yakupova A. B., Magasumova Yu. R., Farkhutdinova K. A., Akhmetova G. R., Kuluev B. R. Inulin: natural sources, features of metabolism in plants and practical application. *Biomika* = Biomics. 2020;12(1):57-79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5>
25. Leontev V. N., Dubar D. A., Lugin V. G., Feskova E. V., Ignatovets O. S., Titok V. V. Biological potential of jerusalem artichoke as a feedstock for the food and pharmaceutical industry. *Trudy BGTU. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya*. 2014;(4):227-230. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27386373>
26. Barloy J., Fernandez J. Synthesis on Jerusalem artichoke projects, in Topinambour (Jerusalem Artichoke). Report EUR13405, Grassi, G. and Gosse, G., Eds. Commission of the European Communities. Luxembourg, 1991. pp. 3-14.
27. BeMiller J. N. 10 – Inulin and Konjac Glucomannan. In: *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Amsterdam: Elsevier Inc., AACC International. 2019. pp. 253-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00010-8>
28. Shazzo R. I., Kayshev V. G., Gish R. A., Ekutech R. I., Kornena E. P. Jerusalem Artichoke: biology, agrotechnics of cultivation, place in the ecosystem, processing technologies (yesterday, today, tomorrow). *Pod red. R. I. Shazzo*. Krasnodar: *Izdatel'skiy dom – Yug*, 2013. 184 p.
29. Vasilova E. S., Vorob'eva T. A. Dynamics of the accumulation of fructose-containing carbohydrates in the underground organs of plants from different families. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2022;(1):71-80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220110140>
30. Leontev V. N., Titok V. V., Dubar D. A., Ignatovets O. S., Lugin V. G., Feskova E. V. Inulin of jerusalem artichoke: biosynthesis, structure, properties, application. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funktsionirovaniya biosystem* = Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences. 2014;9(1):180-185. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36554236>
31. Nayda N. M. Some features of the growth and development of wild chicory in the conditions of the crop in the Leningrad region. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2018;(50):11-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741848>
32. Schittenhelm S. Agronomic performance of root chicory, Jerusalem artichoke, and sugarbeet in stress and nonstress environments. *Crop Science*. 1999;39(6):1815-1823. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961815x>
33. Zakharova I. I. Jerusalem artichoke is a valuable crop for functional nutrition. *Agroprodovol'stvennaya ekonomika* = Agro production and economics journal. 2022;(1):7-13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.54092/24122521_2022_1_7
34. Pasko N. M. Jerusalem artichoke is biotechnological potential for food, medical, technical, feed and environmental purposes. Agro-industrial portal of the South of Russia. Available at: <http://www.agroyug.ru/page/item/id=2476> (accessed: 02.07.2022).
35. Breton C., Kiru S. D., Bervillé A., Anushkevich N. Yu. Breeding of jerusalem artichoke with the desired traits for different directions of use: retrospective, approaches, and prospects (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(5):940-951. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.940rus>

36. Khutinaev O. S., Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Manokhina A. A., Shabanov N. E., Kolesova O. S. Growing minitubers of potato and jerusalem artichoke in a water-air environment under artificial lighting. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2018;(4(86)):7-14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14>
37. Manokhina A. A., Starovoitova O. A., Starovoitov V. I. Original seed art of jerusalem artichoke. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaystvennoy produkcii*. 2018;(1(10)):61-65. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35192538>
38. Starovitova O. A., Starovoitov V. I., Manokhina A. A. Agrotechnique cultivation of jerusalem artichoke. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2017;(1(77)):7-13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28292515>
39. Starovoitova O. A. Innovative ridge technology of jerusalem artichoke and potato cultivation. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2015;(1(65)):11-14. (In Russ.).
40. Manokhina A. A., Dorokhov A. S., Kobozeva T. P., Fomina T. N., Starovoitova O. A. Varietal characteristics of jerusalem artichoke as a high nutritional value crop for herbivorous animal husbandry. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022;12(9):4507. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12094507>
41. Mikheev V. V., Eremchenko V. I., Eremin P. A., Zernov V. N., Petukhov S. N. Jerusalem Artichoke Tubers Harvesting Machine: Patent RF, no. 2637785, 2017.
42. Starovoitova O. A., Starovoitov V. I., Manokhina A. A. Specific conditions of storing jerusalem artichoke. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2018;(3(85)):7-12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-7-12>
43. Mu Y., Gao W., Lv S., Li F., Lu Y., Zhao C. The antioxidant capacity and antioxidant system of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures. *Industrial Crops and Products*. 2021;161:113411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113411>
44. Lisovoy V. V., Pershakova T. V., Kupin A. G., Achmiz A. D., Viktorova E. P. Application of emf shf in processing technologies for vegetable material and secondary resources. *Politematicheskij setevoj elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2016;118:1363-1376. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25983929>
45. Eryomenko D. O., Osmanova Yu. V. The influence of technological parameters of drying on the content of inulin in chicory and jerusalem artichoke powder. *Modern science and innovation*. 2021;(1(33)):71-77. DOI: <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.1.10>
46. Puchkova T. S., Byzov V. A., Pikhalo D. M., Karaseva O. M. Technology of inulin and its derivatives for obtaining functional ingredients for dietary and medical-preventive purpose. *Vse o myase*. 2020;(5S):273-280. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280>
47. Gulyuk N. G., Lukin N. D., Puchkova T. S., Pikhalo D. M. Processing of inulin-containing raw materials for inulin and its derivatives. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(8):76-79. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30053606>
48. Gulyuk N. G., Mikhaylenko A. A., Ananskikh V. V., Lukin N. D., Puchkova T. S., Pikhalo D. M., Byzov V. A. Continuous diffusion apparatus: Patent RF, no. 2643243, 2018 г.
49. Kozhukhova M. A., Nazarenko M. N., Barkhatova T. V., Khripko I. A. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus*) tubers. *Foods and Raw Materials*. 2015;3(2):13-22. DOI: <https://doi.org/10.12737/13115>
50. Karetkin B. A., Panfilov V. I., Baurin D. V., Shakir I. V. Ultrasonic artichoke: Optimization of conditions, purification methods, c-13nmr spectroscopy of the product. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2015;1(6):641-648. DOI: <https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B61/S25.087>
51. Mutsaev R. V., Aleksanyan I. Yu., Titova L. M. Methods of obtaining polyfruktans from vegetable raw materials. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied And Fundamental Research. 2015;(10-3):433-436. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113191>

52. Mamay D. S. Ultrafiltration separation of Jerusalem artichoke tuber juice. Innovative development of the agro-industrial complex of the Northern Trans-Urals: collection of materials of the regional scientific- practical conf. of young scientists. GAU of the Northern Trans - Urals. Tyumen', 2013. С. 44-46.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23260327>

53. Puchkova T. S., Pikhalo D. M., Varitsev P. Yu. The use of ion exchange resins in the purification of inulin-containing jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) syrups. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2018;(12):38-42. (In Russ.).

54. Puchkova T. S., Byzov V. A., Pikhalo D. M., Karaseva O. M. Study of chromatographic separation of carbohydrates of inulin and oligofruc-tose. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2021;(7):14-19. (In Russ.).

55. Gulyuk N. G., Puchkova T. S., Pikhalo D. M. Chromatographic separation of inulin-containing syrups carbohydrates. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(9):74-78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10916>

56. Lukin N. D., Puchkova T. S., Pikhalo D. M., Karaseva O. M. Hydrolysis of inulin by the enzyme endoinulinase preparation of novozim 960 for the production of oligofructose. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(6):89-91. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10617>

57. Rubel I. A., Iraporda C., Novosad R., Genovese D. B., Manrique G. D. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods. *Food Research International*. 2018;103:226-233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.041>

58. Mutsaev R. V., Nugmanov A. Kh.-Kh., Aleksanyan A. I. Intensification of drying process of inulin solution obtained by extraction from plant material. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* = Technologies for the Food and Processing Industry of AIC – Healthy Food. 2018;(1(21)):63-72. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36809867>

59. Bautin V. M., Panfilov V. A. Paradigma of development of technologies of agrarian and industrial complex. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2017;(6):18-31. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29425218>

Сведения об авторе

✉ **Бызов Василий Аркадьевич**, кандидат с.-х. наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, п. Красково, г. о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1918-4455>, e-mail: byzov1966@yandex.ru

Information about the author

✉ **Vasily A. Byzov**, PhD in Agricultural Science, Director, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, st. Nekrasov, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1918-4455>, e-mail: byzov1966@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.777-787>

УДК 631.527.823:635.21

Молекулярные маркеры как инструмент в селекции на устойчивость к Y-вирусу картофеля

© 2022. В. А. Бирюкова¹✉, В. А. Жарова¹, Н. А. Чалая², И. В. Шмыгля¹, Е. В. Рогозина²

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Московская обл., г.о. Люберцы, п. Красково, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для картофеля, как вегетативно размножаемой культуры, Y-вирус (YBK) является экономически важным патогеном. Крайняя устойчивость ко всем штаммам YBK детерминирована Ry-генами, которые интродуцированы в современные сорта картофеля от ограниченного числа источников устойчивости – *Solanum stoloniferum* Schlecht. et Behe., *Solanum andigenum* Juz. et Buk., *Solanum chacoense* Bitt. Использование новых видов *Solanum* и межвидовых гибридов на их основе позволяет расширить существующий генофонд картофеля в селекции на устойчивость к YBK. Традиционная селекция на устойчивость к вирусам по-прежнему имеет большой потенциал, однако является длительным и трудоемким процессом. Для повышения эффективности в практическую селекцию широко интегрируются молекулярные маркеры, сцепленные с Ry-генами. Проведенные ранее исследования позволили выявить ряд недостатков при применении молекулярных маркеров Ry-генов. Для оценки прогностических способностей молекулярных маркеров RYSC3, M45, M6 гена *Ry_{adg}* и YES3-3A гена *Ry_{sto}* устойчивости к YBK изучено поколение F1 двух популяций картофеля, в создании которых использовались межвидовые гибриды. Характер расщепления 5:3, полученный по фенотипу, показал, что исходные родительские формы могут являться источниками не только ранее выявленных, но и не идентифицированных Ry-генов, а также Nu-генов сверхчувствительности. Коэффициент корреляции между наличием маркеров и устойчивостью к YBK для YES3-3-маркера составил 0,64 (79 % совпадений), а для маркеров RYSC3, M45, M6 – 0,54 (76 % совпадений). Обнаружены случаи «ложноположительных» (наличие маркера в восприимчивых генотипах) результатов исследования, которые указывают на недостаточную эффективность используемых маркеров. Расщепление по маркерам, наблюдаемое в популяциях, соответствует хроматидному расщеплению, подтверждающему симплексный характер наследования Ry-генов от устойчивых родителей. Соотношение генотипов с присутствием/отсутствием маркеров составило 0,86:1.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., гены устойчивости, маркер-вспомогательная селекция, молекулярные маркеры

Благодарности: Фенотипирование родительских форм и гибридных популяций выполнено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР) (№ 0481-2022-0004).

Генотипирование родительских форм и гибридных популяций выполнено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (FNRZ-2019-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бирюкова В. А., Жарова В. А., Чалая Н. А., Шмыгля И. В., Рогозина Е. В. Молекулярные маркеры как инструмент в селекции на устойчивость к Y-вирусу картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):777-787. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.777-787>

Поступила: 27.07.2022

Принята к публикации: 14.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Molecular markers as tools in breeding for resistance to Potato Virus Y

© 2022. Victoria A. Biryukova¹✉, Vera A. Zharova¹, Nadezhda A. Chalaya², Irina V. Shmyglya¹, Elena V. Rogozina²

¹Russian Potato Research Center, Moscow region, Lyubertsy, Kraskovo, Russian Federation,

²Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russian Federation

Potato virus Y (PVY) is an economically important pathogen of potato as a vegetatively propagated crop. High resistance to all strains of PVY is determined by Ry-genes, which are introgressed into modern potato varieties from a limited number of sources of resistance – *Solanum stoloniferum* Schlecht. et Behe., *Solanum andigenum* Juz. et Buk., *Solanum*

chacoense Bitt. Use of new species *Solanum* and interspecific hybrids based on them provides for the expansion of existing potato gene pool in breeding for resistance to PVY. Traditional breeding for resistance to viruses has still a great potential, though, it is a long and laborious process. Molecular markers linked to *Ry*-genes are widely integrated in order to increase the effectiveness of practical breeding. Previous studies have revealed a number of shortcomings in using the molecular markers of *Ry*-genes. To assess the predictive abilities of molecular markers *RYSC3*, *M45*, *M6* of the *Ry_{adg}* gene and *YES3-3A* of the *Ry_{sto}* gene for resistance to PVY, the F1 generation of two potato populations was studied, in the creation of which interspecific hybrids were used. The nature of segregation 5:3 obtained by phenotype showed that the original parental forms can be the sources of not only previously identified, but also unidentified *Ry*-genes and *Ny*-genes of hypersensitivity. Correlation coefficient between the presence of markers and resistance to PVY was 0.64 for the *YES3-3* marker (79 % matching) and 0.54 for *RYSC3*, *M45*, *M6* markers (76 % matching). There have been revealed the cases of "false positive" results of the study (the presence of a marker in susceptible genotypes), which indicate to the insufficient effectiveness of the markers used. The marker segregation observed in the populations was consistent with chromatid segregation, confirming the simplex nature of *Ry*-genes inheritance from resistant parents. The ratio of genotypes with the presence/absence of markers was 0.86:1.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., resistance genes, marker-assistant selection, molecular markers

Acknowledgements: Phenotyping of parental lines and hybrid progenies was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) (theme No.0481-2022-0004).

Genotyping of parental lines and hybrid progenies was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Russian Potato Research Center (theme No. FNRZ-2019-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: authors declared no conflict of interest.

For citation: Biryukova V. A., Zharova V. A., Chalaya N. A., Shmyglya I. V., Rogozina E. V. Molecular markers as tools in breeding for resistance to Potato Virus Y. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):777-787. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.777-787>

Received: 27.07.2022

Accepted for publication: 14.11.2022

Published online: 16.12.2022

Y-вирус картофеля (YBK) является одним из наиболее экономически значимых вирусов у *Solanaceae* (семейства Пасленовых) и основным вирусным патогеном картофеля, снижающим урожайность до 80 % [1]. Устойчивость к YBK – приоритетное качество для современных сортов картофеля. YBK часто передается тлями, контактным способом и имеет несколько штаммов. У картофеля различают два главных типа устойчивости к YBK: крайняя (обусловленная *Ry*-генами) и сверхчувствительность (обусловленная *Ny*-генами). Источники *Ry*- и *Ny*-генов обнаружены среди культурных и дикорастущих видов *Solanum*. Основные известные *Ry*-гены – *Ry_{adg}* из *Solanum andigenum* Juz. et Buk., *Ry_{chc}* из *S. chacoense* Bitt. и *Ry_{sto}* из *S. stoloniferum* Schlecht. et Bche, обеспечивающие защиту картофеля к целому ряду штаммов патогена, в том числе и некротическим рекомбинантным штаммам – NTN (PVY^{NTN}) и Wilga (PVY^{N-Wi}) [2]. Валидационные испытания молекулярно-генетических маркеров показали, что большинство современных отечественных сортов картофеля, устойчивых к YBK, содержат гены *Ry_{adg}* и *Ry_{sto}*. Маркер *Ry186* гена *Ry_{chc}* встречается реже [3, 4, 5].

Ген *Ry_{adg}* картирован в проксимальной области XI-хромосомы. Ближайший маркер TG508 находится на расстоянии 1,3 см от *Ry_{adg}* в тесной связи с шестью другими маркерами,

включая ADG2 [6]. ADG2 использовался для разработки двух SCAR-маркеров, *RYSC3* и *RYSC4*, предсказывающих наличие гена *Ry_{adg}*. Согласно исследованиям К. Касаи с соавт. (K. Kasai et al.) [7], первоначально SCAR-маркер *RYSC3* показал более полную корреляцию с наличием гена *Ry_{adg}* (*RYSC3* был идентифицирован в 14 устойчивых генотипах и отсутствовал во всех восприимчивых генотипах), в то время как корреляция по фенотипу с маркером *RYSC4* составила только 96,1 %. Высокая прогностическая способность *RYSC3*-маркера также была подтверждена исследованиями Б. Д. Сагредо с соавт. (B. D. Sagredo et al.) [8], Ф. Ортега и С. Лопез-Вискон (F. Ortega and C. Lopez-Vizcon) [9] и А. С. Фулладолса с соавт. (A. C. Fulladolsa et al.) [10]. Однако ряд других исследователей указывали на недостаточно высокий уровень сцепления маркера *RYSC3* с геном *Ry_{adg}*. Так, М. Далла Ризза с соавт. (M. Dalla Rizza et al.) сообщили об отсутствии *RYSC3* в селекционной линии 94138.1, крайняя устойчивость у которой, согласно анализу родословной, контролируется геном *Ry_{adg}* [11]. Скрининг селекционных популяций, проведенный Р. Дж. Оттоман с соавт. (R. J. Ottoman et al.), обнаружил 3,6%-ное несоответствие между встречаемостью *RYSC3*-маркера и результатами ELISA [12]. Р. Лопес-Пардо с соавт. (R. Lopez-Pardo et al.) выявили

14 % (12 из 86) несоответствий между наличием RYSC3-маркера и фенотипической устойчивостью. Принимая во внимание только маркер-положительные генотипы, даже если они восприимчивы по фенотипу, частота снижения точности молекулярного анализа для RYSC3-маркера составила 3,5 % (3 из 86) [13]. Присутствие маркера RYSC3 в восприимчивом к YBK клоне А6 и отсутствие RYSC3 в устойчивом к YBK сорте I-1039 обнаружили М. Д. Р. Эррера с соавт. (M. D. R. Herrera et al.) [14].

Кроме RYSC3, были идентифицированы два AFLP-маркера – М6 и М45, более тесно сцепленные с геном *Ry_{adg}*. Маркер М6 был разработан сравнительно недавно, и пока недостаточно данных для оценки его прогностических способностей. Совместное использование маркеров RYSC3 и М45 выявило устойчивые к YBK образцы картофеля с наличием только маркера М45 [6, 11]. Среди гибридов популяции 2150 (Диво х Киви (от 128-6)) выделился устойчивый генотип 2150-103, в котором присутствует М45 и отсутствуют два других маркера – М6 и RYSC3 (неопубликованные данные). Несмотря на совместную сегрегацию М45 и гена *Ry_{adg}* встречаются единичные случаи потери ассоциации «маркер-признак». Так, маркеры М45 и RYSC3 обнаружены в восприимчивом сорте Emma [6]. Однако на сегодняшний день маркеры RYSC3, М45 и М6 продолжают широко использоваться в селекции картофеля в качестве простого и дешевого метода тестирования генотипов на устойчивость к YBK.

Ген *Ry_{sto}* крайней устойчивости к YBK картирован на XII-хромосоме. Локус гена *Ry_{sto}* ко-сегрегирует с молекулярным маркером STM0003 [1, 15]. Ю.-С. Сонг и А. Шварцфисшер (Y.-S. Song and A. Schwarzfischer) разработали два STS-маркера гена *Ry_{sto}*, YES3-3A (341 п.н.) и YES3-3B (286 п.н.), демонстрирующие точность отбора сортов и MPI (Max Plank Institute)-линий картофеля с крайней устойчивостью к YBK [1]. Для маркера YES3-3A также описаны случаи несоответствия «маркер-признак». YES3-3A отсутствует в устойчивом к YBK и происходящем от *S. stoloniferum* клоне A06862-11VR и 11 гибридах, которые представляют его потомство [16]. Установлено, что сорта и MPI-линии, в которых были обнаружены маркеры YES3-3A и YES3-3B, обладают мужской стерильностью, ассоциирован-

ной с W/γ-типом цитоплазматического генома. Наряду с маркерами *Ry*-генов, маркеры типов цитоплазмы широко используются для изучения разнообразия отечественных и зарубежных сортов и селекционных линий картофеля [4, 17].

Цель исследования – изучить поколение F1 популяций картофеля, в создании которых использовались межвидовые гибриды – источники *Ry*-генов, полученные на основе образцов видов *Solanum* из коллекции ВИР, с помощью молекулярных маркеров и традиционных методов селекции на устойчивость к YBK.

Научная новизна. Результаты исследования позволяют установить характер расщепления по фенотипу и присутствию/отсутствию молекулярных маркеров в потомстве F1, оценить прогностические способности молекулярных маркеров *Ry*-генов и целесообразность их использования в качестве инструмента отбора в практической селекции картофеля.

Материал и методы. Растительный материал. Изучено поколение F1 двух гибридных популяций картофеля, полученных с участием устойчивых к YBK родительских форм: межвидовых гибридов ВИР – 99-10-1 и 135-5-2005, в которых ранее были обнаружены молекулярные маркеры *Ry*-генов [5, 18, 19]. Популяция 2107 от скрещивания гибрида 99-10-1 (*Ry_{sto}*) и сорта Русский сувенир включает 111 генотипов, популяция 2132 от скрещивания клона 135-5-2005 (*Ry_{adg}*) и сорта Бриз – 90 генотипов.

Устойчивые к YBK гибриды 99-10-1 и 135-5-2005 созданы в ВИР на основе клона 3-29-2, отобранного среди семян образца дикого южноамериканского вида картофеля *S. chacoense* к-19759. Гибрид 99-10-1 выделен в поколении F1 (Bobr × *S. chacoense* к-19759, 3-29-2), гибрид 135-5-2005 – в поколении F1 (*S. okadae* к-20921 × *S. chacoense* к-19759, 3-29-2). Установить источник маркера RYSC3 гена *Ry_{adg}*, ассоциированного с устойчивостью потомства клона 135-5-2005 к YBK, не представляется возможным, так как исходные генотипы образцов *S. okadae* к-20921 и *S. chacoense* к-19759, использованные для скрещивания, не сохранились. Маркер YES3-3A гена *Ry_{sto}* у клона 99-10-1 очевидно унаследован от сорта Bobr, в родословной которого кроме *S. stoloniferum* указаны виды *S. andigenum*, *S. demissum* [5]. Помимо устойчивости к Y-вирусу, межвидовые гибриды 99-10-1 и 135-5-2005 характе-

ризуются комплексом важных хозяйственно ценных признаков и являются эффективными донорами.

Растения сеянцев и клубневых поколений популяций 2107 (99-10-1 × Русский сувенир) и 2132 (135-5-2005 × Бриз) выращивали в теплице при температуре 20-23 °С при естественном освещении и относительной влажности воздуха от 70 до 100 %. Каждый генотип в первой и последующих клубневых репродукциях был представлен в двукратной повторности.

Фитопатологический тест. Оценка на устойчивость к УВК проведена в оранжерее методом искусственного заражения (двукратная механическая инокуляция) соком растений *Nicotiana tabacum* L, сорт Samsun, предварительно инфицированных УВК-штаммами: УВК^О (обычный) и УВК^Н (некротический). Диагностику вируса в растениях проводили, оценивая визуально и методом ИФА, используя наборы ООО «Агроцентр Коренево». Диагностику проводили дважды – спустя три недели после заражения и повторно на следующий год. При повторной диагностике анализировали побеги, выращенные из клубневой репродукции, которую получили от растений, подвергнутых искусственному заражению. Растения, у которых УВК не выявили, подвергали вторичной инокуляции вирусом, результаты которой также оценивали методом ИФА.

Выделение ДНК. Геномную ДНК выделяли по протоколу, основанному на СТАВ-методе с изменениями. Световые ростки клубней межвидовых гибридов (200-250 мг) гомогенизировали с 1 мл 2×-СТАВ буфера, содержащего 2 % (v/v) 2-меркаптоэтанол [1].

ПЦР-анализ. Для молекулярного анализа гибридов F1 популяций использовали молекулярные маркеры генов устойчивости к УВК – маркер YES3-3A гена *Ry_{sto}* [1], маркеры RYSC3 [7], M6 и M45 [14] гена *Ry_{adg}*. Амплификацию ДНК проводили в термоциклере PTC-100 (MJ Research, США). Стандартная реакционная смесь объемом 25 мкл содержала 10X буфер для Taq ДНК-полимеразы (Синтол), 2,5 мМ смесь dNTP (Хеликон), 25 мМ водный раствор хлорида магния (Fermentas), 5-10 пкмоль каждого праймера (Синтол), 0,2 мкл (5 е.а. /мкл) Taq ДНК-полимеразы (Синтол), 20 нг пробы ДНК и 13-10 мкл автоклавированной бидистиллированной воды. Для детекции молекулярных маркеров RYSC3, M6 и M45, фланки-

рующих ген *Ry_{adg}*, использовали мультиплексную ПЦР [14]. Устойчивые к УВК родительские формы – межвидовые гибриды 135-5-2005 – использовались в качестве «положительного контроля» для обнаружения *Ry_{adg}* с помощью маркеров RYSC3, M45 и M6, а межвидовой гибрид 99-10-1 – в качестве «положительного контроля» для обнаружения *Ry_{sto}* с помощью YES3-3A. «Отрицательным контролем» были сорта Русский сувенир, Бриз, в которых молекулярные маркеры отсутствовали.

Присутствие специфических фрагментов детектировали электрофоретическим разделением продуктов амплификации в 1,5-2,0%-ном агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. Электрофорез проводили с помощью оборудования для электрофореза Bio-Rad при 75 W (Вт) в течение не менее 30 минут.

Математическую обработку данных проводили с использованием стандартных показателей статистического анализа – критерия хи-квадрат и коэффициента корреляции для альтернативных признаков.

Результаты и их обсуждение. *Фитопатологическая оценка.* В целом проанализировано около 200 генотипов поколения F1 двух популяций картофеля. В результате искусственного заражения у большинства растений гибридов F1 через две недели после механической инокуляции отмечены симптомы поражения УВК. Наблюдали мозаику, некроз жилок или точечные некрозы на листьях (рис. 1), некроз верхушки побега. На вторично инфицированных растениях (выращенных из клубней, которые собирали от растений, подвергнутых искусственному заражению) при поражении УВК наблюдали отставание в росте, хлороз, крапчатость, морщинистую мозаику (рис. 2). Растения без симптомов поражения и с отрицательной реакцией на УВК, после двукратного искусственного заражения, идентифицированы как устойчивые к УВК. Результаты искусственного заражения были подтверждены методом ИФА. С помощью ИФА УВК обнаружен в 39 гибридах популяции 2107 (99-10-1 × Русский сувенир), в 31 гибриде популяции 2132 (135-5-2005 × Бриз).

Доля генотипов, устойчивых к УВК, незначительно превышала долю восприимчивых генотипов в каждой популяции. Установлено сходное соотношение устойчивых к восприимчивым гибридам в F1 поколении популяций 2107 и 2132 (табл. 1).

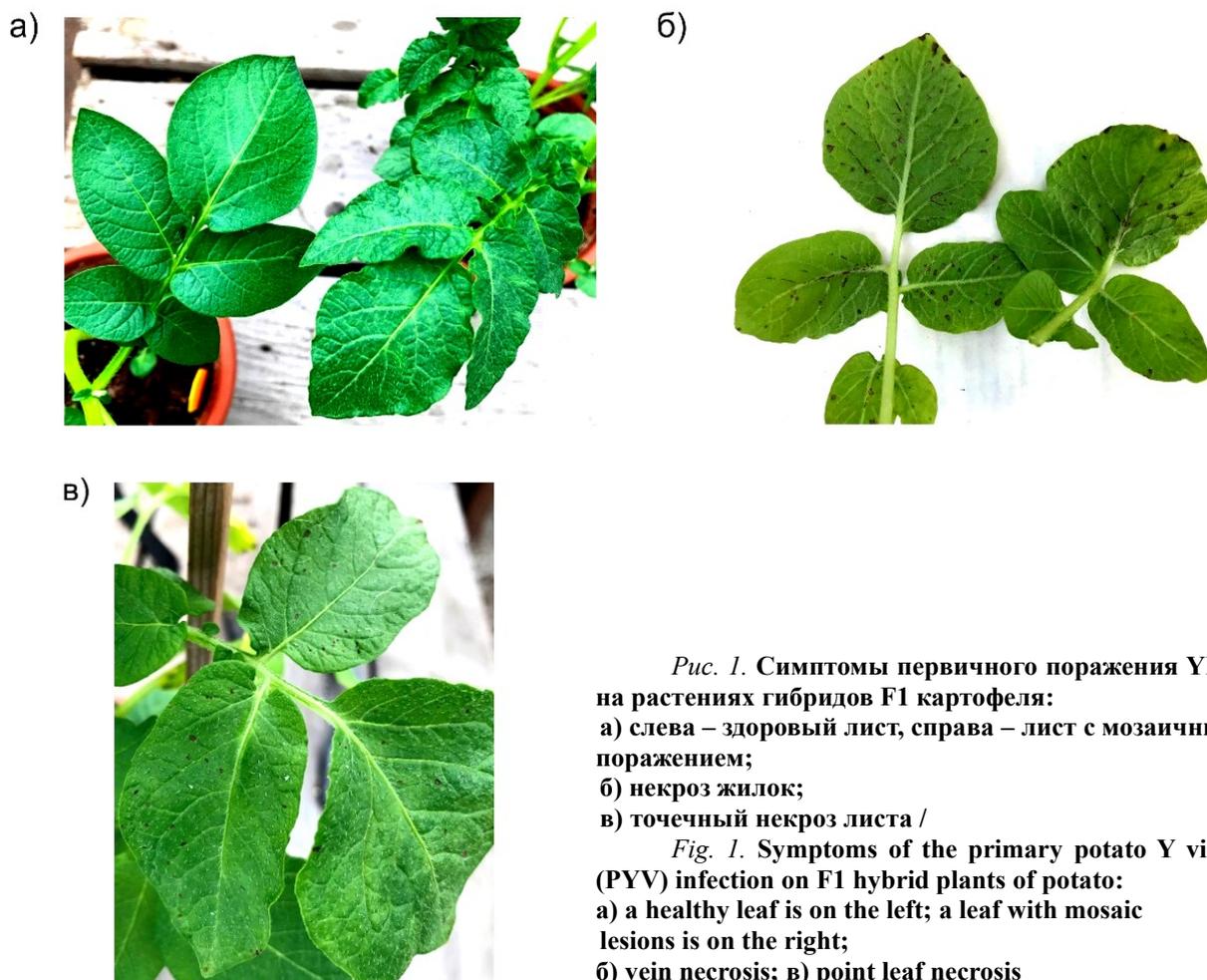


Рис. 1. Симптомы первичного поражения УВК на растениях гибридов F1 картофеля:

а) слева – здоровый лист, справа – лист с мозаичным поражением;

б) некроз жилок;

в) точечный некроз листа /

Fig. 1. Symptoms of the primary potato Y virus (PYV) infection on F1 hybrid plants of potato:

а) a healthy leaf is on the left; a leaf with mosaic lesions is on the right;

б) vein necrosis; в) point leaf necrosis

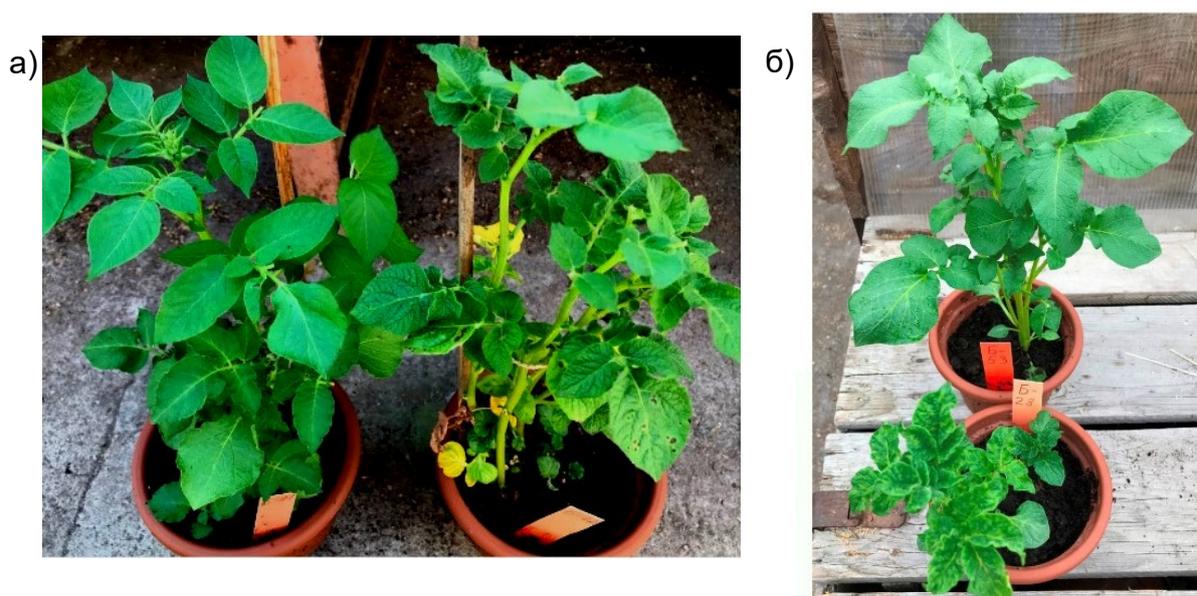


Рис. 2. Симптомы вторичной инфекции УВК на растениях гибридов F1 картофеля: а) слева – здоровое растение, справа – пораженное УВК; б) сверху – здоровое растение, внизу – пораженное УВК /

Fig. 2. Symptoms of secondary PYV infection on F1 hybrid plants of potato: а) a healthy plant is on the left; a plant with PYV infection is on the right; б) a healthy plant is at the top; a plant with PYV infection is below

Анализ расщепления в обеих популяциях по устойчивости к Y-вирусу картофеля не выявил соответствия какому-либо из вариантов расщепления фенотипов, возможных при моногибридном скрещивании картофеля: 35:1, 11:1, 5:1, 3:1 или 1:1. В популяциях 2107 и 2132

отношение устойчивых и восприимчивых гибридов соответствует расщеплению 5:3, которое теоретически возможно в потомстве от скрещивания форм гетерозиготных по двум генам или при комплементарном взаимодействии генов [20]

Таблица 1 – Результаты фитопатологической оценки на устойчивость к YВК в поколении F1 гибридных популяций картофеля /

Table 1 – Results of phytopathological assessment for resistance to PYV in F1 generation of hybrid populations of potato

Популяция / Population	N	Отношение устойчивых к неустойчивым / The ratio of resistant to susceptible			χ^2	P	Предполагаемые генотипы родительских форм / Putative genotypes of parental forms
		наблюдаемое / observed ratio	теоретически ожидаемое / theoretically expected ratio	кратное / multiple			
2107 (99-10-1 x Русский сувенир) / 2107 (99-10-1 x Russkiy souvenir)	111	69:42	69,4:41,6	5:3	0,006	0,9	AAaaBbbb x aaaaBbbb
2132 (135-5-2005 x Бриз) / 2132 (135-5-2005 x Briz)	90	57:33	56,3:33,7	5:3	0,024	0,75-0,9	AAaaBbbb x aaaaBbbb

Примечания: N – количество генотипов, оцененных в потомстве F1; χ^2 – критерий хи-квадрат; P – вероятность значения χ^2 / Notes: N – is the number of evaluated genotypes in F1 progeny; χ^2 – is the chi-square test; P – is the probability of the value χ^2

Молекулярно-генетический анализ. Молекулярный анализ поколения F1 популяций показал, что ген Ry_{sto} в гибриде 99-10-1 и ген Ry_{adg} в гибриде 135-5-2005 находятся в симплексном аллельном состоянии (Rrr). Согласно критерию χ^2 (хи-квадрат), полученное соотношение генотипов с присутствием/отсутствием молекулярных маркеров Ry -генов в популяциях наиболее точно соответствует теоретически ожидаемому хроматидному расщеплению 0,86:1 (при N = 1, P = 0,5-0,9) (табл. 2). Хроматидное расщепление характерно для Ry -генов, поскольку известно, что Ry -гены (хотя они расположены на разных хромосомах) достаточно удалены от центромеры (расположены дистально от неё). Поэтому между Ry -геном и центромерой довольно часто происходит кроссинговер. Так, при хроматидном расщеплении соотношение генотипов незначительно сдвигается в сторону рецессивных форм. Симплексная форма Rrr в результате хроматидного расщепления, вместо гамет RR + rr (1:1), формирует три типа гамет в отношении RR:12Rr:15rr. В нашем случае наблюдается небольшое увеличение числа (на 6-9) генотипов с отсутствием молекулярных маркеров [6, 21].

В результате сравнения данных фитопатологического и молекулярного анализов установлено, что уровень корреляции между фено-

типической устойчивостью и наличием маркеров RYSC3, M45 и M6 гена Ry_{adg} составил 76 % (68 совпадений из 90); между фенотипической устойчивостью и наличием маркера YES3-3A гена Ry_{sto} – 79 % (88 совпадений из 111). Соответственно обнаружено 24 % (22 из 90) несоответствий с результатами фитопатологической оценки для маркеров RYSC3, M45, M6 гена Ry_{adg} и 21 % (23 из 111) несоответствий для маркера YES3-3 гена Ry_{sto} . Коэффициент корреляции для YES3-3-маркера составил 0,64, а для маркеров RYSC3, M45, M6 – 0,54 (табл. 3).

Маркеры RYSC3, M45, M6 отсутствовали в 20 гибридах, а маркер YES3-3A – в 22, которые согласно результатам фитопатологического тестирования обладали устойчивостью к YВК. В то же время в потомстве клона 135-5-2005 маркеры RYSC3, M6 и M45 детектированы у четырех из 33, а в потомстве клона 99-10-1 маркер YES3-3A детектирован у одного из 42 восприимчивых к YВК гибридов. Установлено совместное присутствие маркеров RYSC3, M6 и M45 во всех гибридах в потомстве клона 135-5-2005. Однако результаты ряда зарубежных исследований указывают на недостаточно высокий уровень сцепления между маркерами RYSC3, M6 и M45 [6, 11].

Таблица 2 – Результаты расщепления генотипов по присутствию/отсутствию маркеров Ry-генов в поколении F1 гибридных популяций картофеля /

Table 2 – Results of segregation of genotypes by presence/absence of diagnostic markers of Ry genes in the F1 generation of hybrid populations of potato

Популяция / Population	N	Маркер / Marker	Отношение устойчивых форм к неустойчивым / The ratio of resistant to susceptible			χ^2	P
			теоретически ожидаемое / theoretically expected ratio	наблюдаемое / observed ratio	кратное / multiple		
2107 (99-10-1 x Русский сувенир) / 2107 (99-10-1 x Russkiy souvenir)	111	YES3-3A	51:60	48:63	0,86:1	0,16	0,5-0,75
2132 (135-5-2005 x Бриз) / 2132 (135-5-2005 x Briz)	90	RYSC3	42:48	43:47	0,86:1	0,02	0,9
		M45	42:48	43:47	0,86:1	0,02	0,9
		M6	42:58	43:47	0,86:1	0,02	0,9

Примечания: N – количество генотипов, оцененных в потомстве F1; χ^2 – критерий хи-квадрат; P – вероятность значения χ^2 / Notes: N – is the number of evaluated genotypes in F1 progeny; χ^2 – is the chi-square test; P – is the probability of the value χ^2

Таблица 3 – Свод результатов молекулярного и фитопатологического анализов для определения корреляции «маркер-признак» /

Table 3 – Summary of the results of molecular and phytopathological analyses for determining the "marker-trait" correlation

Популяция / Population	Наличие ДНК-маркера / Presence of DNA marker		Устойчивость по фенотипу / Phenotypic resistant			r	Процент совпадений / Matching percentage
			R	S	всего / total		
2107 (99-10-1 x Русский сувенир) / 2107 (99-10-1 x Russkiy souvenir)	YES3-3A	+	47	1	48	0,64	79
		-	22	41	63		
		Всего / Total	69	42	111		
2132 (135-5-2005 x Бриз) / 2132 (135-5-2005 x Briz)	RYSC3	+	39	4	43	0,54	76
		-	18	29	47		
		Всего / Total	57	33	90		
	M45	+	39	4	43	0,54	76
		-	18	29	47		
		Всего / Total	57	33	90		
	M6	+	39	4	43	0,54	76
		-	18	29	47		
		Всего / Total	57	33	90		
-		2	6	8			
Всего / Total		6	6	12			

Примечания: R – устойчивые генотипы; S – восприимчивые генотипы; r – коэффициент корреляции / Notes: R – resistant genotypes; S – susceptible genotypes; r – correlation coefficient

Случаи несоответствия «маркер-признак» можно объяснить ошибками в интерпретации результатов, возникающими при проведении фитопатологического тестирования, а также ИФА- и ПЦР-анализов [13]. Несмотря на то, что фитопатологическая оценка проводится в течение нескольких лет, она может быть не вполне объективной, если в процессе заражения был использован недостаточно жесткий инфекционный фон. Случаи несоответствия «маркер-признак» могут быть также связаны с рекомбинацией между маркером и *Ry*-геном. Рекомбинация между используемыми в исследовании маркерами и *Ry*-генами возможна, поскольку мы имеем дело с «фланкирующими» маркерами. Маркеры, недостаточно тесно сцепленные (ассоциированные) с функциональными генами, располагаются не внутри нуклеотидной последовательности гена, а фланкируют ген по бокам. Так, маркер RYSC3 расположен в ADG2 фрагменте, а не внутри последовательности гена *Ry_{adg}*. ADG2 является последовательностью гена *Y-1*, который ко-сегрегирует с геном *Ry_{adg}*, но не обеспечивает устойчивость к YBK [13]. Маркер YES3-3A в результате рекомбинации вероятно будет находиться приблизительно в 1 сМ от гена *Ry_{sto}*. Такое событие может произойти в 1 % случаев скрещиваний устойчивой формы от *S. stoloniferum* с восприимчивым родителем [1, 6]. Несущественные отклонения в наблюдаемом соотношении генотипов по маркерам (табл. 2) также могут быть связаны с рекомбинацией [6, 21].

Диагностическая ценность ДНК-маркеров зависит и от точности идентификации нужного фенотипа по его генотипу. Для практической селекции отнести восприимчивые к YBK гибриды к категории устойчивых является более серьезной ошибкой, нежели, чем выбраковка устойчивого материала как восприимчивого [13]. В то же время при создании сортов картофеля ценен любой уникальный генотип, поскольку устойчивость является лишь приоритетным, но не главным качеством сорта.

Важно отметить, что расщепление «устойчивых» и «восприимчивых» к YBK генотипов в поколении F1 популяций 2107 (09-10-1 x Русский сувенир) и 2132 (135-5-2005 x Бриз), полученное в результате фитопатологической оценки, не совпадает с расщеплением генотипов по молекулярным маркерам. Согласно результатам фитопатологического тестирования,

наблюдаемое расщепление соответствует расщеплению 5:3, которое теоретически возможно в потомстве от скрещивания форм гетерозиготных по двум генам и при комплементарном взаимодействии генов. Тогда как в результате молекулярно-генетического анализа наблюдается расщепление, характерное для случаев, когда устойчивость контролируется одним *Ry*-геном, находящимся в симплексном аллельном состоянии (Rrrr). Такие разногласия в результатах молекулярного и фитопатологического анализов, вероятно, можно объяснить наличием у исходных родительских форм не только ранее обнаруженных *Ry*-генов, но и неидентифицированных ранее *Ry*-генов, а также *Ny*-генов сверхчувствительности. Донорами *Ny*- и неидентифицированных ранее *Ry*-генов могут быть не только межвидовые гибриды – 99-10-1, 135-5-2005, но и сорта Бриз и Русский сувенир, которые, по данным оригинаторов, обладают устойчивостью к вирусным болезням. Известно, что в происхождении сорта Русский сувенир, участвует *S. chacoense* f. *Garciae* K2727 (ВИР), характеризующийся сверхчувствительностью к YBK.

При механической инокуляции YBK не всегда удается различить фенотипическое проявление генов крайней устойчивости и генов сверхчувствительности. С возможным вкладом в устойчивость *Ny*- и других *Ry*-генов также связано наличие большого (14 из 90 и 21 из 111) количества устойчивых генотипов с отсутствием маркеров в поколении F1 популяций 2107 и 2132, что сказалось на значении коэффициентов корреляции и уровне ассоциации «маркер-признак» (табл. 3). Поэтому для получения более объективной оценки прогностических способностей маркеров *Ry*-генов необходим параллельный скрининг популяций 2107 и 2132 на наличие *Ny*-генов.

Заключение. Расщепление по фенотипу показало, что устойчивость к YBK у исходных родительских форм, от которых получены популяции картофеля, обусловлена не только ранее обнаруженными *Ry*-генами. Поэтому невозможно объективно оценить уровень корреляции «маркер-признак», поскольку случаи «ложноотрицательных» (отсутствие маркеров в устойчивых генотипах) результатов исследований могут быть связаны с действием неидентифицированных ранее *Ry*-генов, а также *Ny*-генов сверхчувствительности.

В то же время наличие случаев «ложноположительных» результатов исследования (т. е. присутствие молекулярных маркеров в восприимчивых генотипах) подтверждает недостаточную эффективность маркеров M45, RYSC3, M6, YES3-3A для селекции картофеля на устойчивость к YBK. Однако RYSC3, M6, M45

и YES3-3A могут быть использованы как альтернатива SNP-маркерам в качестве недорогого и простого инструмента отбора генотипов на устойчивость к YBK и для пирамидирования *Ry*-генов в селекционных клонах картофеля. Также необходим поиск эффективных маркеров *Ny*-генов.

Список литературы

1. Song Y.-S., Schwarzfischer A. Development of STS markers for selection of extreme resistance (*Ry_{sto}*) to PVY and maternal pedigree analysis of extremely resistant cultivars. American Journal of Potato Research. 2008;85:159-170. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9012-8>
2. Valkonen J. P. T. Elucidation of virus-host interactions to enhance resistance breeding for control of virus diseases in potato. Breeding Science. 2015;65(1):69-76. DOI: <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.69>
3. Бекетова М. П., Соколова Е. А., Рогозина Е. В., Кузнецова М. А., Хавкин Э. Е. Два ортолога гена *R1* устойчивости к фитофторозу у дикорастущих и культурных форм картофеля. Физиология растений. 2017;64(5):372-382. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330317050025>
4. Гавриленко Т. А., Клименко Н. С., Алпатьева Н. В., Костина Л. И., Лебедева В. А., Евдокимова З. З., Апаликова О. В., Новикова Л. Ю., Антонова О. Ю. Генетическое разнообразие сортов картофеля российской селекции и стран ближнего зарубежья по типам цитоплазм. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(6):753-764. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.534>
5. Бирюкова В. А., Шмыгля И. В., Жарова В. А., Бекетова М. П., Рогозина Е. В., Митюшкин А. В., Мелёшин А. А. Молекулярные маркеры генов экстремальной устойчивости к Y вирусу картофеля в сортах и гибридах *Solanum tuberosum* L. Российская сельскохозяйственная наука. 2019;(5):17-22. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019517-22>
6. Slater A. T., Schultz L., Lombardi M., Rodoni B. C., Bottcher C., Cogan N. O. I., Forster J. W. Screening for Resistance to PVY in Australian Potato Germplasm. Genes. 2020;11(4):429. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11040429>
7. Kasai K., Morikawa Y., Sorri V. A., Valkonen J. P. T., Gebhardt C., Watanabe K. N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ry_{adg}* based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*. 2000;43(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.1139/g99-092>
8. Sagredo B. D., Mathias R. M., Barrientos P. C., Acuña B. I., Kalazich B. J., Rojas J. S. Evaluation of a SCAR RYSC3 marker of the *Ry_{adg}* gene to select resistant genotypes to potato virus Y (PVY) in the INIA potato breeding program. Chilean Journal of Agricultural Research. 2009;69(3):305-315. URL: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chiljar/v69n3/at02.pdf>
9. Ortega F., Lopez-Vizcon C. Application of Molecular Marker-Assisted Selection (MAS) for Disease Resistance in a Practical Potato Breeding Programme. Potato Research. 2012;55:1-13 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-011-9202-5>
10. Fulladolsa A. C., Navarro F. M., Kota R., Severson K., Palta J. P., Charkowski A. O. Application of Marker Assisted Selection for Potato Virus Y Resistance in the University of Wisconsin Potato Breeding Program. American Journal of Potato Research. 2015;92(3):444-450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9431-2>
11. Dalla Rizza M., Vilar F. L., Torres D. G., Maeso D. Detection of PVY Extreme Resistance Genes in Potato Germplasm from the Uruguayan Breeding Program. Amer J of Potato Res. 2006;83:297-304. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02871590>
12. Ottoman R. J., Hane D. C., Brown C. R., Yilma S., James S. R., Mosley A. R., Crosslin J. M., Vales M. I. Validation and Implementation of Marker-Assisted Selection (MAS) for PVY Resistance (*Ry_{adg}* gene) in a Tetraploid Potato Breeding Program. American Journal of Potato Research. 2009;86:304-314. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-009-9084-0>
13. Lopez Pardo R., Barandalla L., Ritter E., de Galarreta J. I. R. Validation of molecular markers for pathogen resistance in potato. Plant Breeding. 2013;132(3):246-251. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12062>
14. Herrera M. D. R., Vidalon L. J., Montenegro J. D., Riccio C., Guzman F., Bartolini I., Ghislain M. Molecular and genetic characterization of the *Ry_{adg}* locus on chromosome XI from Andigena potatoes conferring extreme resistance to potato virus Y. Theoretical and Applied Genetics. 2018;131(9):1925-1938. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3123-5>
15. Gebhardt C., Valkonen J. P. T. Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. Annual Review of Phytopathology. 2001;39: 79-102. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.79>
16. Elison G. L., Hall D. G., Novy R. G., Whitworth J. L. Development and Application of a Multiplex Marker Assay to Detect PVY Resistance Genes in *Solanum tuberosum*. American Journal of Potato Research. 2020;97:289-296. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09777-1>
17. Sanetomo R., Gebhardt C. Cytoplasmic genome types of European potatoes and their effects on complex agronomic traits. BMC Plant Biology. 2015;15(162):162. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0545-y>
18. Рогозина Е. В., Бирюкова В. А., Симаков Е. А., Жарова В. А., Чалая Н. А., Кузнецова М. А., Рогожин А. Н., Бекетова М. П., Фаина О. А., Хавкин Э. Е. Межвидовые гибриды как родительские формы для упреждающей селекции картофеля на устойчивость к болезням и вредителям. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(1):26-31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10105>

19. Рогозина Е. В., Терентьева Е. В., Потокина Е. К., Юркина Е. Н., Никулин А. В., Алексеев Я. И. Идентификация родительских форм для селекции картофеля, устойчивого к болезням и вредителям, методом мультиплексного ПЦР-анализа. *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(1):19-30.
DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.19rus>

20. Склярва Н. П., Яшина И. М. Аутотетраплоидное наследование у картофеля. *Картофель и овощи*. 1970;10:11-14.

21. Ермишин А. П., Свиточ О. В., Воронкова Е. В., Гукасян О. Н., Лукша В. И. Определение состава и аллельного состояния генов устойчивости к болезням и вредителям у родительских линий картофеля с помощью ДНК-маркеров. *Генетика*. 2016;52(5):569-578. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675816050052>

References

1. Song Y.-S., Schwarzfischer A. Development of STS markers for selection of extreme resistance ($R_{y_{sta}}$) to PVY and maternal pedigree analysis of extremely resistant cultivars. *American Journal of Potato Research*. 2008;85:159-170. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9012-8>

2. Valkonen J. P. T. Elucidation of virus-host interactions to enhance resistance breeding for control of virus diseases in potato. *Breeding Science*. 2015;65(1):69-76. DOI: <https://doi.org/10.1270/jsbbs.65.69>

3. Beketova M. P., Sokolova E. A., Rogozina E. V., Kuznetsova M. A., Khavkin E. E. Two orthologs of late blight resistance gene *r1* in wild and cultivated potato. *Fiziologiya rasteniy*. 2017;64(5):372-382. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0015330317050025>

4. Gavrilenko T. A., Klimenko N. S., Alpatieva N. V., Kostina L. I., Lebedeva V. A., Evdokimova Z. Z., Apalikova O. V., Novikova L. Y., Antonova O. Yu. Cytoplasmic genetic diversity of potato varieties bred in Russia and FSU countries. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):753-764. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.534>

5. Biryukova V. A., Shmiglya I. V., Zharova V. A., Beketova M. P., Rogozina E. V., Mityushkin A. V., Meleshin A. A. Molecular markers of genes for extreme resistance to potato virus Y in varieties and hybrids *Solanum tuberosum* L. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2019;(5):17-22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019517-22>

6. Slater A. T., Schultz L., Lombardi M., Rodoni B. C., Bottcher C., Cogan N. O. I., Forster J. W. Screening for Resistance to PVY in Australian Potato Germplasm. *Genes*. 2020;11(4):429. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11040429>

7. Kasai K., Morikawa Y., Sorri V. A., Valkonen J. P. T., Gebhardt C., Watanabe K. N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ryadg* based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*. 2000;43(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.1139/g99-092>

8. Sagredo B. D., Mathias R. M., Barrientos P. C., Acuña B. I., Kalazich B. J., Rojas J. S. Evaluation of a SCAR *RYSC3* marker of the *Ryadg* gene to select resistant genotypes to potato virus Y (PVY) in the INIA potato breeding program. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2009;69(3):305-315. URL: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chiljar/v69n3/at02.pdf>

9. Ortega F., Lopez-Vizcon C. Application of Molecular Marker-Assisted Selection (MAS) for Disease Resistance in a Practical Potato Breeding Programme. *Potato Research*. 2012;55:1-13 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-011-9202-5>

10. Fulladolsa A. C., Navarro F. M., Kota R., Severson K., Palta J. P., Charkowski A. O. Application of Marker Assisted Selection for Potato Virus Y Resistance in the University of Wisconsin Potato Breeding Program. *American Journal of Potato Research*. 2015;92(3):444-450. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-015-9431-2>

11. Dalla Rizza M., Vilar F. L., Torres D. G., Maeso D. Detection of PVY Extreme Resistance Genes in Potato Germplasm from the Uruguayan Breeding Program. *Amer J of Potato Res*. 2006;83:297-304. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02871590>

12. Ottoman R. J., Hane D. C., Brown C. R., Yilma S., James S. R., Mosley A. R., Crosslin J. M., Vales M. I. Validation and Implementation of Marker-Assisted Selection (MAS) for PVY Resistance (*Ryadg* gene) in a Tetraploid Potato Breeding Program. *American Journal of Potato Research*. 2009;86:304-314. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-009-9084-0>

13. Lopez Pardo R., Barandalla L., Ritter E., de Galarreta J. I. R. Validation of molecular markers for pathogen resistance in potato. *Plant Breeding*. 2013;132(3):246-251. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbr.12062>

14. Herrera M. D. R., Vidalon L. J., Montenegro J. D., Riccio C., Guzman F., Bartolini I., Ghislain M. Molecular and genetic characterization of the *Ryadg* locus on chromosome XI from Andigena potatoes conferring extreme resistance to potato virus Y. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(9):1925-1938. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3123-5>

15. Gebhardt C., Valkonen J. P. T. Organization of genes controlling disease resistance in the potato genome. *Annual Review of Phytopathology*. 2001;39: 79-102. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.79>

16. Elison G. L., Hall D. G., Novy R. G., Whitworth J. L. Development and Application of a Multiplex Marker Assay to Detect PVY Resistance Genes in *Solanum tuberosum*. *American Journal of Potato Research*. 2020;97:289-296. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09777-1>

17. Sanetomo R., Gebhardt C. Cytoplasmic genome types of European potatoes and their effects on complex agronomic traits. *BMC Plant Biology*. 2015;15(162):162. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0545-y>

18. Rogozina E. V., Biryukova V. A., Simakov E. A., Zharova V. A., Chalaya N. A., Kuznetsova M. A., Rogozhin A. N., Beketova M. P., Fadina O. A., Khavkin E. E. Interspecific hybrids as parental lines in anticipatory breeding for potato resistant to disease and pests. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;32(1):26-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10105>

19. Rogozina E. V., Terentjeva E. V., Potokina E. K., Yurkina E. N., Nikulin A. V., Alekseev Ya. I. Multiplex PCR-based identification of potato genotypes as donors in breeding for resistance to diseases and pests. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2019;54(1):19-30. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.19rus>

20. Sklyarova N. P., Yashina I. M. Autotetraploid inheritance in potatoes. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 1970;10:11-14. (In Russ.).

21. Yermishin A. P., Svitoch O. V., Voronkova E. V., Gukasian O. N., Luksha V. I. Determination of the composition and the allelic state of disease and pest resistance genes in potato parental lines using DNA markers. *Genetika* = Russian Journal of Genetics. 2016;52(5):569-578. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0016675816050052>

Сведения об авторах

✉ **Бирюкова Виктория Александровна**, кандидат биол. наук, зав. лабораторией молекулярных методов анализа генома, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23, литер В, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7521-6883>, e-mail: vika_biryukova@inbox.ru

Жарова Вера Александровна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела экспериментального генофонда картофеля, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23, литер В, д.п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7854-2526>

Чалая Надежда Александровна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), ул. Б. Морская, д. 42, 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

Шмыгля Ирина Валентиновна, старший научный сотрудник лаборатории молекулярных методов анализа генома, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23, литер В, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4727-7141>

Рогозина Елена Вячеславовна, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), ул. Б. Морская, д. 42, 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190000, e-mail: secretary@vir.nw.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2743-068X>

Information about the authors

✉ **Victoria A. Biryukova**, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Molecular Methods for Genome Analysis, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7521-6883>, e-mail: vika_biryukova@inbox.ru

Vera A. Zharova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Experimental Potato Gene Pool, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7854-2526>

Nadezhda A. Chalaya, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Bolshaya Morskaya str., 42-44, St. Petersburg, Russian Federation, 190037, e-mail: secretary@vir.nw.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

Irina V. Shmyglya, senior researcher, the Laboratory of Molecular Methods for Genome Analysis, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4727-7141>

Elena V. Rogozina, DSc in Biological Science, leading researcher, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Bolshaya Morskaya str., 42-44, St. Petersburg, Russian Federation, 190037, e-mail: secretary@vir.nw.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2743-068X>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы

© 2022. В. Т. Синеговская✉, С. Е. Низкий, Е. Е. Науменко

ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Российская Федерация

Длительное затопление растений сои водой приводит к их гибели из-за наступления гипоксии корней, поэтому поиск маркеров устойчивости к этому фактору позволит создавать сорта, способные противостоять данному стрессу. В этой связи целью наших исследований было изучение реакции растений трех сортов сои селекции ВНИИ сои на длительное затопление по показателю содержания в листьях сои хлорофилла а и в. Исследования проводили в 2019-2021 гг. в лабораторных опытах при выращивании растений на гидропонных установках при 24-суточном затоплении почвы (контроль – почва с оптимальной влажностью). Сорта сои Евгения и Куханна, зарегистрированные как устойчивые к переувлажнению почвы, различались по содержанию форм хлорофилла в листьях при 24-суточном затоплении поверхности почвы водой слоем 1-2 см. Установлено, что увеличение хлорофилла а в листьях растений сорта Евгения при затоплении связано с обеспечением устойчивости растений этого сорта к перенесению стрессового фактора. Наличие хлорофилла в в листьях этого сорта до фазы спелости указывает на то, что он в большей степени может служить индикатором устойчивости растений к гипоксии корней, так как растения продолжали расти и развиваться. У сорта Куханна содержание обеих форм хлорофилла при оптимальной влажности почвы контрольного варианта было выше или находилось на уровне показателей растений варианта с затоплением, что не может служить критерием устойчивости этого сорта к гипоксии корней. У сорта Китросса, устойчивость которого к переувлажнению селекционерами не отмечена, выявлены волнообразные колебания в соотношении хлорофилла а и в в течение первых 10 суток затопления. Колебания обусловлены изменениями в содержании хлорофилла в, концентрация которого сначала возрастала, а потом снижалась. Наиболее четко такая волнообразность отмечена на графике изменений соотношения между хлорофиллом а и в, что может служить маркером определения устойчивости сортов сои к длительному затоплению почвы.

Ключевые слова: сорт, лист, переувлажнение, стресс, гидропоника, гипоксия корней

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» (тема № 0548-2019-0009).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Синеговская В. Т., Низкий С. Е., Науменко Е. Е. Хлорофилл как критерий устойчивости растений сои к длительному затоплению почвы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2022;23(6):788-795. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.788-795>

Поступила: 27.09.2022

Принята к публикации: 28.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Chlorophyll as a criterion of soybean resistance to prolonged soil flooding

© 2022. Valentina T. Sinegovskaya✉, Sergey E. Nizkii, Evgenii E. Naumenko

Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russian Federation

Prolonged inundation of soybean plants leads to their death because of root hypoxia. Therefore, the search for markers of resistance to this factor will provide the opportunity to develop the varieties able to resist this stress. The research was aimed at the study of response of 3 varieties bred by Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean to prolonged flooding according to the indicator of chlorophyll a and b content in soybean leaves. The study was carried out in 2019-2021 in laboratory experiments when growing plants on hydroponic installations with 24-day soil flooding (control - soil with optimal moisture content). In soybean varieties Evgeniya and Kukhanna, registered as resistant to overwatering soil, the response by content of chlorophyll forms in leaves under 24-day flooding of the soil surface with 1-2 cm layer of water differed. It was found that increase of chlorophyll a in leaves of Evgeniya variety under flooding was connected with providing the ability of this variety plants to resist the stressful flooding factor. The presence of chlorophyll b in the leaves of this variety before the ripeness phase indicates that it can serve as an indicator of plant resistance to root hypoxia to a greater extent, since the plants continued to grow and develop. In the Kukhanna variety, the content of both forms of chlorophyll at optimum soil moisture of the control variety was higher or at the same level as in the variant with flooding, that cannot serve as the criterion of resistance of this variety to root hypoxia. In the Kitrossa variety, the resistance of which to overwatering has not been noted by the breeders yet there were revealed wavy fluctuations in chlorophyll a/b ratio during the first 10 days of flooding. The fluctuations were caused by changes in the content of chlorophyll b, the concentration of which increased first and then

decreased. This fluctuation is most clearly seen in the graph of the change in the ratio between chlorophyll a and b, that may serve as a marker for determination of resistance of soybean varieties to prolonged soil flooding.

Keywords: *variety, leaf, overwatering, stress, hydroponics, root hypoxia*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean (theme No. 0548-2019-0009).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citations: Sinegovskaya V. T., Nizkii S. E., Naumenko E. E. The role of chlorophyll in determining the resistance of soybean plants to prolonged soil flooding. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):788-795. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.788-795>

Received: 27.09.2022

Accepted for publication: 28.11.2022

Published online: 16.12.2022

В основе продукционного процесса растений лежит фотосинтез, который является основным накопителем энергии и первоисточником органических субстратов для формирования урожая [1, 2]. Главным компонентом в фотосинтетическом комплексе является хлорофилл – зеленый пигмент растений, который играет ведущую роль в процессе фотосинтеза и служит важным фактором метаболизма растительного организма в целом [3]. По современным представлениям хлорофилл *a* содержится как в реакционных центрах фотосистем, так и светособирающем комплексе (ССК). Хлорофилл *b* рассматривается как дополнительный пигмент, находящийся преимущественно в ССК. Соотношение хлорофиллов *a* и *b* варьируется в зависимости от вида и условий произрастания растений, но в большинстве случаев эта величина близка к четырем, на что указывал еще К. А. Тимирязев¹. Более низкое значение соотношения хлорофилла *a* к *b* может свидетельствовать о росте содержания хлорофилла *b* и «включении» его синтеза для повышения устойчивости растения и увеличения количества ССК фотосистем [4]. Некоторые исследователи полагают, что хлорофилл *b* оказывает экранирующее действие на фотосинтетически активный хлорофилл *a* [5]. Поэтому увеличение содержания хлорофилла *b* может характеризовать приспособительные возможности растений [6]. Хлорофилл *b* увеличивается в концентрации при состоянии экологического неблагополучия, в этом случае снижение отношения Хл *a* и Хл *b* может свидетельствовать о повышении устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды [7]. Увеличение содержания фотосинтетических пигментов является одной из неспе-

цифических реакций адаптации в условиях действия стрессовых факторов [8]. Эти данные, как и результаты других исследователей² [9, 10], предполагают возможность поиска маркеров устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды на основании анализа динамики накопления фотосинтетических пигментов в условиях стресса растительного организма [11, 12].

В условиях муссонного характера климата южной зоны Амурской области в июле и августе наблюдается выпадение обильных осадков [13]. При выращивании сои длительные переувлажнения, приводящие к затоплению посевов, становятся серьезной угрозой снижения урожайности, что существенно повышает необходимость создания сортов сои, устойчивых к этому стрессу. В этой связи создание сортов, адаптированных к длительному затоплению, на основе изучения реакции фотосинтетической системы растений сои на стресс, вызванный затоплением посевов, имеет не только научное, но и практическое значение для Дальнего Востока.

Цель исследований – изучение динамики содержания хлорофиллов *a* и *b*, их соотношения в листьях сортов сои в зависимости от продолжительности затопления растений.

Новизна исследований – получены новые данные о накоплении хлорофиллов и изменении соотношения Хл *a* к Хл *b* в листьях амурских сортов сои в условиях длительного затопления корневой системы, свидетельствующие о возможности использования показателей пигментного комплекса для индикации адаптивных реакций фотосинтетического аппарата и выявления устойчивости растений сои к недостатку кислорода.

¹Тимирязев К. А. Избранные сочинения в 4 томах: Солнце, жизнь и хлорофилл. М., 1948. Т.1. С. 388-389.

²Третьяков Н. Н., Кошкин Е. И., Макрушин Н. М. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. Под ред. Н. Н. Третьякова. М.: Колос, 2000. С. 101-109.

Материал и методы. Исследования проводили в 2019-2021 гг. со среднеспелыми сортами сои Евгения, Куханна и Китросса селекции Всероссийского научно-исследовательского института сои. Сорта Евгения и Куханна по оценкам селекционеров устойчивы к переувлажнению³, у сорта Китросса устойчивость к переувлажнению селекционерами не выявлена. Опыт проводили в лабораторных условиях с 2-кратным повторением во времени и 4-кратным в пространстве для каждого сорта. Растения выращивали в пластиковых сосудах емкостью 1 л на гидропонной установке ПГС 2-3 при комнатной температуре 24 °С и влажности воздуха 56%, искусственном освещении с использованием люминесцентных ламп (3350 Лм). В каждый сосуд помещалось по 1,0 кг луговой черноземовидной почвы с исходной влажностью 35,3 % полной полевой влагоемкости (ППВ). Перед посевом во всех сосудах влажность почвы доводилась до 80 % ППВ.

Для всех сортов обеспечивали влажность почвы в сосудах по схеме:

1. Контроль – оптимальная влажность почвы (80 % ППВ весь период вегетации).

2. Затопление водой – влажность почвы до фазы R₁ (начало цветения) 80 % ППВ, затем от фазы R₁ и до фазы R₇ (начало спелости) – влажность почвы поддерживалась на уровне 120 % ППВ, при этом на поверхности почвы постоянно находился слой воды в 1-2 см.

В опыте проводили фенологические наблюдения с регистрацией фаз роста и развития растений по В. Р. Фэр с соавт. (W. R. Fehr et al.) [14].

В вариантах опыта с различной влажностью почвы каждый сорт выращивали в 3 сосудах (по 2 растения) в 4-кратной повторности. При появлении на растениях примордиальных листьев (фаза вегетативного развития V₁) и затем в каждую последующую репродуктивную фазу, начиная с фазы R₁ (начало цветения), отбирали образцы листьев для определения в них содержания хлорофилла *a* и *b*. Отбор образцов и затопление продолжалось вплоть до фазы R₇ (начало спелости). В каждом варианте опыта, с 24 растений одного сорта, отбирали по 4 образца листьев общей массой

1 г, в которых определяли содержание Хл *a* и Хл *b* в расчете на сырое вещество⁴ с использованием спектрофотометра Cary-50 фирмы Varian (США). Образец разделяли на две аналитические пробы, в которых определяли содержание хлорофиллов *a* и *b*. По каждому из этих показателей рассчитывали среднее квадратичное отклонение с оценкой полученных результатов по критерию Стьюдента (*t*-критерий для уровня значимости $p < 0,05$)⁵.

Результаты и их обсуждение. У растений сортов Евгения и Китросса, произрастающих в оптимальных условиях увлажнения почвы контрольного варианта, концентрация Хл *a* и Хл *b* с фазы V₁ постепенно возрастала до максимальной величины к фазе R₂ (полное цветение). При этом у сорта Евгения содержание Хл *a* за 20-25 дней роста и развития растений увеличилось от 1,80 до 5,20 мг/г, а Хл *b* – от 0,48 до 1,35 мг/г (табл. 1). Аналогичные изменения отмечены по этим показателям и у сорта Китросса.

Содержание обеих форм хлорофилла достигало максимума у растений сорта Евгения в фазу R₂ (полное цветение), а у сорта Китросса содержание Хл *a* было максимальным уже к фазе R₁ (начало цветения). Разница между этими фазами роста и развития по времени составляла 3-4 дня. После достижения максимальных значений содержание хлорофилла у растений сои обоих сортов начинало постепенно снижаться. К концу вегетации в фазу R₇ (начало спелости) содержание Хл *a* снизилось до 1,32 мг/г у сорта Евгения, у сорта Китросса наблюдалось менее интенсивное снижение – до 2,20.

В варианте с затоплением у растений сорта Евгения содержание Хл *a*, достигнув максимального уровня в фазу R₃, начинало постепенно снижаться (табл. 2). В контрольном варианте снижение произошло с фазы R₃ (начало образования бобов), а при затоплении – с фазы R₄ (формирование бобов).

В то же время в контрольном варианте содержание Хл *a* в листьях этого сорта к фазе R₇ (начало спелости) было в 1,8 раза меньше, чем у растений в варианте с затоплением.

³Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Синеговский М. О., Синеговская В. Т., Клеткина О. О. Каталог сортов сои. Под общ. ред. академика РАН В. Т. Синеговской. Благовещенск: ООО «ИНК «ОДЕОН», 2021. С 22-36.

⁴Кудряшов А. П., Дитченко Т. И., Молчан О. В., Смолич И. И., Яковец О. Г. Физиология растений: лабораторный практикум для студентов биологического факультета. Минск: БГУ, 2011. С. 33-35.
URL: http://www.bio.bsu.by/fbr/files/plant-phys_metod_2011.pdf

⁵Лакин Г. Ф. Биометрия: учебное пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. С. 111-113.

Таблица 1 – Содержание хлорофилла в листьях сои в течение вегетации при оптимальной влажности почвы, мг/г (среднее за 2019-2021 гг.) /

Table 1 – Chlorophyll content in soybean leaves during the growing season at optimal soil moisture, mg/g (average for 2019-2021)

Сорт сои / Soybean variety	Форма хлорофилла / Form of chlorophyll	Фаза роста и развития растений / Plant growth and development phase							
		V ₁	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇
Евгения / Evgeniya	a	1,80±0,08	4,18±0,44	5,20±0,32	4,83±0,36	4,87±0,28	3,64±0,28	2,52±0,12	1,32±0,01
	b	0,48±0,04	1,00±0,03	1,35±0,03	1,31±0,12	1,21±0,04	1,17±0,02	0,59±0,01	-
Китросса / Kitrossa	a	1,86±0,020	4,34±0,24	3,80±0,20	3,63±0,40	3,51±0,24	3,41±0,20	3,00±0,18	2,20±0,24
	b	0,48±0,04	1,08±0,02	1,37±0,04	1,27±0,04	1,14±0,12	0,97±0,02	0,87±0,01	-

Примечания: V₁ – Первый узел; R₁ – Начало цветения; R₂ – Полное цветение; R₃ – Начало образования бобов; R₄ – Формирование бобов; R₅ – Начало формирования семян; R₆ – Наллив семян; R₇ – Начало спелости /

Notes: V₁ – The first node; R₁ – Beginning of blossom; R₂ – Full blossom; R₃ – Beginning of pod formation; R₄ – Pod formation; R₅ – Beginning of seed formation; R₆ – Seed filling; R₇ – Beginning of maturity

Таблица 2 – Динамика содержания форм хлорофилла в листьях сои при затоплении, мг/г (среднее за 2019-2021 гг.) /

Table 2 – Dynamics of the content of chlorophyll forms in soybean leaves during flooding, mg/g (average for 2019-2021)

Сорт сои / Soybean variety	Форма хлорофилла / Form of chlorophyll	Продолжительность затопления, сутки (фаза роста и развития растений) / Flooding duration, days (plant growth and development phase)					
		3 (R ₂)	6 (R ₃)	10 (R ₄)	15 (R ₅)	20 (R ₆)	24 (R ₇)
Евгения / Evgeniya	a	3,55±0,28	3,86±0,40	3,15±0,28	2,66±0,12	2,52±0,12	2,34±0,25
	b	0,92±0,08	1,31±0,12	0,97±0,08	0,72±0,02	0,61±0,04	0,56±0,02
Китросса / Kitrossa	a	3,30±0,14	3,48±0,14	2,48±0,12	2,22±0,16	2,09±0,20	1,36±0,08
	b	1,48±0,01	0,89±0,04	1,26±0,08	0,60±0,01	0,58±0,04	0,32±0,04

Увеличение Хл *a* в листьях растений при затоплении возможно связано с обеспечением устойчивости растений этого сорта к перенесению стрессового фактора затопления. Содержание Хл *b* в листьях сорта Евгения увеличилось на 6-е сутки после затопления (фаза R₃) на 0,39 мг/г, а на 10-е сутки этот показатель стал снижаться, достигнув к фазе R₇ 0,56 мг/г, тогда как в контрольном варианте Хл *b* в эту фазу не был обнаружен. Следовательно, обе формы хлорофилла обеспечивали устойчивость растений сорта Евгения к гипоксии корней и сохранность растений, так как они продолжали расти и развиваться.

В листьях растений сорта Китросса, не зарегистрированного по устойчивости к переувлажнению, в период затопления изменение содержания Хл *a* было практически аналогич-

ным сорту Евгения: максимальное значение (3,48 мг/г), достигнутое на 6-е сутки после затопления (фаза R₃), постепенно и плавно снижалось, составив к фазе R₇ (полная спелость) 1,36 мг/г. В целом такая динамика соответствовала показаниям контрольного варианта. В то же время динамика содержания Хл *b* в листьях этого сорта при затоплении существенно отличалась от контроля. Если к фазе R₂ (начало цветения) содержание Хл *b* у сорта Китросса в варианте с затоплением составило 1,48 мг/г (на 7 % выше контроля), то к последующей фазе роста и развития R₃ (начало образования бобов), через трое суток, содержание Хл *b* снизилось до 0,89 мг/г (почти на 40 %). Затем, на десятые сутки затопления, этот показатель увеличился на 41 %, составив 1,26 мг/г. Регистрируемые колебания в содержании Хл *b*

при этом статистически достоверны при 95%-ном уровне вероятности. Таким образом, у сорта Китросса выявлена волнообразность в изменении содержания Хл *b* при затоплении. В опытах с сортами сои Евгения (табл. 2) и Куханна (рис. 1), устойчивыми к переувлажнению,

различия в динамике накопления обеих форм хлорофилла при затоплении не обнаружены.

У сорта Евгения существенных различий между вариантами опытов по соотношению Хл *a* и Хл *b* не выявлено в течение всего периода вегетации (рис. 2).

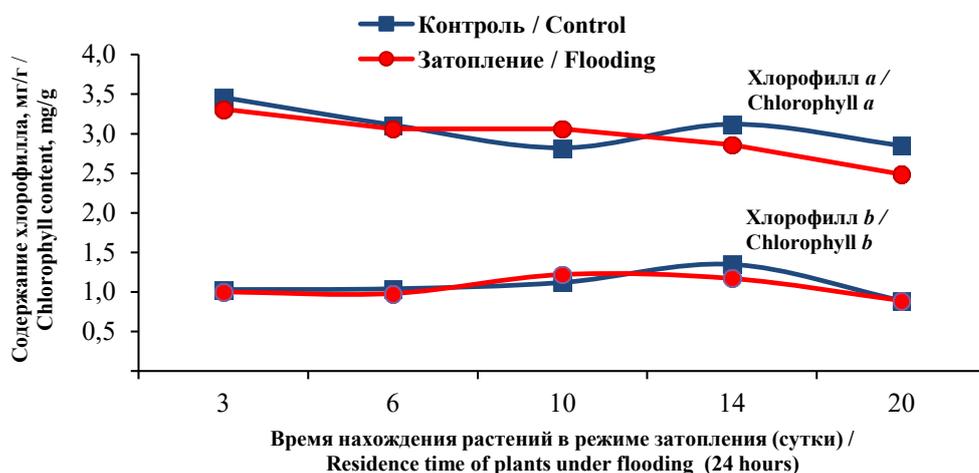


Рис. 1. Динамика содержания хлорофилла *a* и *b* в листьях сои сорта Куханна при затоплении (среднее за 2019-2021 гг.) /

Fig. 1. Dynamics in chlorophyll *a* and *b* content in the leaves of Kukhanna soybean variety under flooding, average for 2019-2021

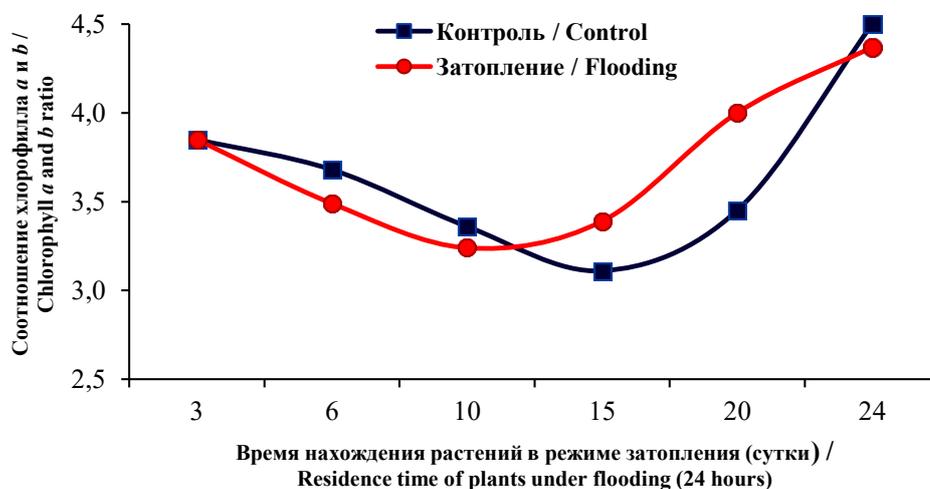


Рис. 2. Динамика соотношения хлорофилла *a* и *b* в листьях сои сорта Евгения в контроле и при затоплении, среднее за 2019-2021 гг. /

Fig. 2. Dynamics in chlorophyll *a* and *b* ratio in the leaves of Eugeniya soybean variety in control and under flooding, average for 2019-2021

В обоих вариантах опыта отмечено постепенное снижение соотношения между Хл *a* и Хл *b*, начавшееся с первого дня затопления в фазу R₁ (начало цветения) и продолжавшееся до 15-ти суток затопления (фаза R₅ – начало формирования семян). Затем величина Хл *a* / Хл *b* вновь повышалась, что было обусловлено более быстрым снижением концентрации Хл *b*.

Изучение динамики соотношения двух форм хлорофилла в растениях сорта Китросса при затоплении и в контроле позволило выявить более выраженную волнообразность изменения данного показателя в варианте с затоплением, что вероятно, больше связано с динамикой содержания хлорофилла *b* (рис. 3).

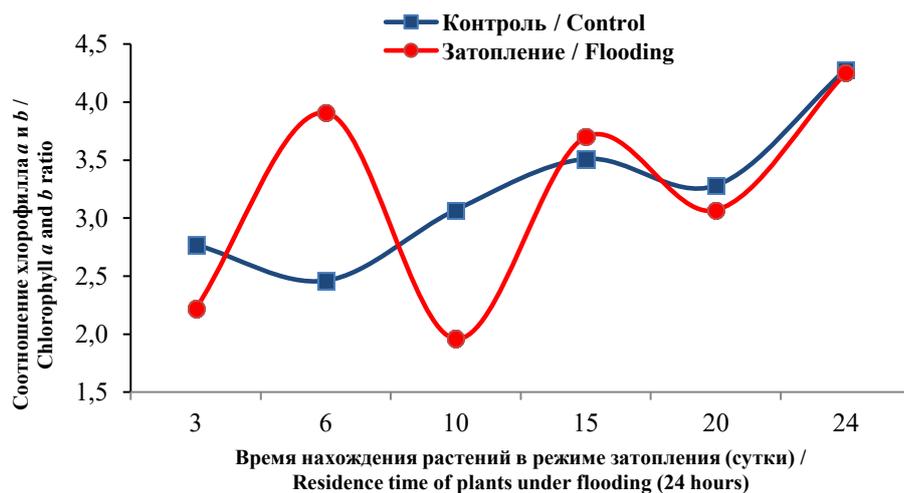


Рис. 3. Динамика соотношения форм хлорофилла в листьях сои сорта Китросса в контроле и при затоплении (среднее за 2019-2021 гг.)

Fig. 3. Dynamics in chlorophyll a and b form ratios in the leaves of Kitrossa soybean variety in control and under flooding (average for 2019-2021)

Заключение. Выявлена сортовая специфичность сои по динамике содержания форм хлорофилла при длительном затоплении почвы. Установлено, что устойчивость растений сорта Евгения к стрессовому воздействию – гипоксии в зоне корней, подтверждается увеличением содержания хлорофилла *a* и сохранением хлорофилла *b* в листьях до фазы R₇ (начало спелости) при затоплении. У сорта Куханна содержание обеих форм хлорофилла при затоплении снижалось или находилось на

уровне показателей для растений контрольного варианта. Реакция растений сорта Китросса на стресс проявлялась в волнообразном изменении величины содержания Хл *a* и Хл *b* в течение первых 10 суток затопления. Полученные результаты позволяют заключить, что закономерные изменения в содержании хлорофилла *b* и соотношении Хл *a* к Хл *b* в листьях различных сортов сои могут служить критерием для оценки устойчивости растений к воздействию длительного затопления.

Список литературы

1. Коломейченко В. В., Беденко В. П. Теория продукционного процесса растений и фитоценоза. Вестник ОрелГАУ. 2008;(4):17-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12888060>
2. Шестакова Е. О., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Оганян Л. Р., Чернова И. В. Влияние различных элементов технологии возделывания на содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и ее урожайность. Аграрный вестник Урала. 2020;(5(196)):27-37. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44161470>
3. Кабашникова Л. Ф. Хлорофилл – зеленое вещество жизни. Наука и инновации. 2018;(1(179)):65-69. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35086632>
4. Дерендовская А., Жосан С. Хлорофильные показатели и их связь с продуктивностью растений озимого ячменя. Stiinta Agricola. 2008;(1):3-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14779104>
5. Головина Е. В. Эколого-генетическая изменчивость содержания пигментов в листьях сортов сои северного экотипа. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019;(3(31)):74-79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39562102>
6. Зеленцов С. В., Мошненко Е. В., Бубнова Л. А., Будников Е. Н., Трунова М. В., Рамазанова С. А. Среднеранний теневыносливый сорт сои Вилана бета. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2020;(1(181)):140-146. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-1-181-140-146>
7. Петухова А. С., Хритохин Н. А., Петухова Г. А. Оценка содержания пигментов фотосинтеза у растений разных видов в условиях антропогенного стресса. Международный студенческий научный вестник. 2017;(6):166. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32374189>
8. Рыктор И. А., Зубкова Ю. Н., Погромская Я. А., Бутогин А. В. Влияние буроугольных гуминовых удобрений на антистрессовую устойчивость растений. Аграрный вестник Урала. 2012;(12(104)):45-47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18882163>

9. Абуразакова З. Л., Юнусханов Ш., Абзалов М. Ф., Курбанбаев И. Д. Содержание хлорофиллов в листьях растений сои на различных фазах их развития. Роль физиологии и биохимии в интродукции и селекции сельскохозяйственных растений: сб. мат-лов V Международ. научн.-метод. конф. М.: РУДН, 2019. Т. 1. С. 234-236.

10. Davison P. A., Hunter C. N., Horton P. Over expression of β -carotene hydroxylase enhances stress tolerance in Arabidopsis. *Nature*. 2002;418(6894):203-206. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/60032.pdf>

11. Головина Е. В., Зотиков В. И. Влияние погодных условий на фотосинтетическую деятельность и зерновую продуктивность сортов сои северного экотипа. *Земледелие*. 2012;(5):44-46.

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-fotosinteticheskuyu-deyatelnost-i-zernovuyu-produktivnost-sortov-soi-severnogo-ekotipa/viewer>

12. Романцова С. В., Гладышева И. В., Вервекина Н. В., Нагорнов С. А., Ликсутина А. П., Корнев А. Ю. Химический стресс сельскохозяйственных растений и способ его снижения. *Наука в центральной России*. 2021;(4(52)):64-73. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-64-73>

13. Синеговская В. Т. Посевы сои в Приамурье как фотосинтезирующие системы. Благовещенск: изд-во «Зея», 2005. С. 6-7.

14. Fehr W. R., Caviness Ch. E. Stages of Soybean Development. Special Report 80. Agriculture and Home Economics Experiment Station IOWA STATE UNIVERSITY of Science and Technology. 1977. 13 p.

URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/83024475.pdf>

References

1. Kolomeychenko V. V., Bedenko V. P. The theory of the plant production process and phytocenosis. *Vestnik OrelGAU = Vestnik OrelGAU*. 2008;(4):17-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12888060>

2. Shestakova E. O., Eroshenko F. V., Storzhak I. G., Oganyan L. R., Chernova I. V. Influence of various elements of cultivation technology on the chlorophyll content in winter wheat plants and its yield. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;(5(196)):27-37. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44161470>

3. Kabashnikova L. F. Chlorophyll is the green substance of life. *Nauka i innovatsii = The Science and Innovations*. 2018;(1(179)):65-69. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35086632>

4. Derendovskaya A., Zhosan S. Chlorophyll indicators and their relationship with the productivity of winter barley plants. *Stiinta Agricola*. 2008;(1):3-7. (In Moldova). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14779104>

5. Golovina E. V. Ecological and genetic variability of pigment content in the leaves of soybean varieties of the northern ecotype. *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2019;(3(31)):74-79. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39562102>

6. Zelentsov S. V., Moshnenko E. V., Bubnova L. A., Budnikov E. N., Trunova M. V., Ramazanova S. A. A middle-early shade tolerant soybean cultivar vilana beta. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK*. 2020;(1(181)):140-146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-1-181-140-146>

7. Petukhova A. S., Khritokhin N. A., Petukhova G. A. Assessment of photosynthetic pigments content in plants of various species grown under anthropogenic stress. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2017;(6):166. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32374189>

8. Ryktor I. A., Zubkova Yu. N., Pogromskaya Ya. A., Butyugin A. V. The influence of lignite humic fertilizers on antistress stability of plants. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2012;(12(104)):45-47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18882163>

9. Aburazakova Z. L., Yunus Khanov Sh., Abzalov M. F., Kurbanbaev I. D. The content of chlorophyll in the leaves of soybean plants at various stages of the development. The role of physiology and biochemistry in the introduction and breeding of agricultural plants: collection of Proceedings of the 5th International scientific.-method. conf. Moscow: RUDN, 2019. Vol. 1. pp. 234-236.

10. Davison P. A., Hunter C. N., Horton P. Over expression of β -carotene hydroxylase enhances stress tolerance in Arabidopsis. *Nature*. 2002;418(6894):203-206. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/60032.pdf>

11. Golovina E. V., Zotikov V. I. Weather conditions and their influence on photosynthetic activity and grain productivity of northern ecotype of soya varieties. *Zemledelie*. 2012;(5):44-46. (In Russ.).

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-pogodnyh-usloviy-na-fotosinteticheskuyu-deyatelnost-i-zernovuyu-produktivnost-sortov-soi-severnogo-ekotipa/viewer>

12. Romantsova S. V., Gladysheva I. V., Vervekina N. V., Nagornov S. A., Liksutina A. P., Kornev A. Yu. Chemical stress of agricultural plants and method of its reduction. *Nauka v tsentral'noy Rossii = Science in Central Russia*. 2021;(4(52)):64-73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-64-73>

13. Sinegovskaya V. T. Soybean crops in the Amur River Region as photosynthetic systems. Blagoveshchensk: *izd-vo «Zeya»*, 2005. pp. 6-7.

14. Fehr W. R., Caviness Ch. E. Stages of Soybean Development. Special Report 80. Agriculture and Home Economics Experiment Station IOWA STATE UNIVERSITY of Science and Technology. 1977. 13 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/83024475.pdf>

Сведения об авторах

✉ **Синеговская Валентина Тимофеевна**, доктор с.-х. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», ул. Игнатьевское ш., 19, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9048-3119>, e-mail: valsini09@gmail.com

Низкий Сергей Евгеньевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», ул. Игнатьевское ш., 19, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1451-5422>

Науменко Евгений Евгеньевич, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», ул. Игнатьевское ш., 19, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4149-584X>

Information about the authors

✉ **Valentina T. Sinegovskaya**, DSc in Agricultural Science, professor, Academician of RAS, chief researcher, the Laboratory of Plants Physiology and Biochemistry, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Ignatievskoe shosse 19, Blagoveshchensk, Amur Region, Russian Federation, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9048-3119>, e-mail: valsini09@gmail.com

Sergey E. Nizkii, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Ignatievskoe Shosse 19, Blagoveshchensk, Amur Region, Russian Federation, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1451-5422>

Evgenii E. Naumenko, junior researcher, the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Research Center All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Ignatievskoe Shosse 19, Blagoveshchensk, Amur Region, Russian Federation, 675025, e-mail: info@vniisoi.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4149-584X>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка пригодности различных сортов сои к возделыванию в условиях Центрального района Нечерноземья РФ

© 2022. А. А. Тевченков¹ ✉, З. С. Федорова²

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», г. Краснодар, Российская Федерация,

²Калужский филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Калуга, Российская Федерация

В статье представлены данные полевого опыта (2016-2019 гг.) по изучению сортов сои для определения пригодности их возделывания в условиях Калужской области (Центральный район Нечерноземья РФ) и использования в качестве источников хозяйственно полезных признаков для дальнейшей селекции. Объекты исследований – сорта сои российской (Магева, Светлая, Касатка, Малета, Окская, Георгия) и белорусской (Припять и Волма) селекции. Продвижение сои в северные районы страны ограничено периодом вегетации сортов. В ходе наблюдений выявлен источник признака раннеспелости – сорт Касатка с самым коротким периодом вегетации (109 суток, на 10 суток меньше сорта-стандарта Магева). По высоте растений выделены сорта Припять (93,5 см) и Окская (92,7 см). Отмечена устойчивая тенденция к увеличению накопления сухого вещества растениями сортов Малета, Припять и Волма по сравнению с контрольным сортом. Урожайность растений является важнейшим показателем при оценке пригодности сортов сои для зоны возделывания. Установлена тесная корреляционная связь урожайности сортов Светлая и Окская с показателями влагообеспеченности за вегетационный период (сумма осадков и гидротермический коэффициент) ($r = 0,9$). Урожайность сортов белорусской селекции Волма и Припять имеет прямую связь средней тесноты с осадками ($r = 0,5-0,7$) и ГТК ($r = 0,4-0,6$), что свидетельствует о возможности их возделывания в Нечерноземье. Самым урожайным в среднем за годы исследований (2,0 т/га, на 21 % выше стандарта) отмечен сорт Припять белорусской селекции, который может служить источником признака повышенной урожайности в селекции сои.

Ключевые слова: вегетационный период, полевая всхожесть, высота растений, урожайность, корреляционная связь, хозяйственно полезные признаки

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта» (тема № 0528(0767)-2019-0088).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тевченков А. А., Федорова З. С. Оценка пригодности различных сортов сои к возделыванию в условиях Центрального района Нечерноземья РФ. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):796-804. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.796-804>

Поступила: 16.08.2022

Принята к публикации: 30.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Evaluation of suitability of different soybean varieties for cultivation in the conditions of the Central part of the Non-Chernozem region of the Russian Federation

© 2022. Alexander A. Tevchenkov¹ ✉, Zoya S. Fedorova²

¹V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar, Russian Federation,

²Kaluga Branch of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Kaluga, Russian Federation

The article provides the data of the field experiment (2016-2019) on studying soybean varieties in order to determine their suitability for cultivation in Kaluga region (the central part of the Non-Chernozem region of the Russian Federation) and their use as a source of agronomic traits for further breeding work. The objects for the research were the soybean varieties of Russian (Mageva, Svetlaya, Kasatka, Maleta, Okskaya, Georgia) and Belarusian (Pripyat and Volma) breeding. Cultivation of soybean varieties in the northern regions of the country is limited due to the short growing season. During the research, the source of early ripening trait has been identified – Kasatka variety had the shortest vegetation period (109 days, 10 days less than Mageva standard variety). According to the plant height Pripyat (93.5 cm) and Okskaya (92.7 cm) varieties have been noted. In comparison to the control, Maleta, Pripyat and Volma varieties showed a steady dynamics towards dry matter accumulation increase. Plant yield index is the most important indicator in assessing soybean varieties genotype

suitability for the certain cultivation area. A close correlation has been established between Svetlaya and Okskaya varieties yield indices and moisture availability indicators during the growing season (the amount of precipitation and the hydrothermal coefficient) ($r = 0.9$). The yield of the Belarusian Volma and Pripyat varieties showed a strong correlation between the average density and precipitation ($r = 0.5-0.7$) and HTC ($r = 0.4-0.6$), which proved the possibility of their cultivation in the Non-Chernozem region. On average over the research Pripyat variety has been the most productive one (2.0 t/ha, 21 % higher than the standard), which makes it useful as a source for increased productivity trait in soybean breeding.

Keywords: *vegetation season, field germination, plant height, yield, correlation, agronomic traits*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops (theme No. 0528(0767)-2019-0088).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Tevchenkov A. A., Fedorova Z. S. Evaluation of suitability of different soybean varieties for cultivation in the conditions of the Central part of the Non-Chernozem region of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):796-804. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.796-804>

Received: 16.08.2022

Accepted for publication: 30.11.2022

Published online: 16.12.2022

Соя – культура известная с глубокой древности, на сегодняшний день является одной из наиболее распространенных белково-масличных культур в мире. Обладая адаптивностью к различным условиям выращивания, произрастает на всех континентах нашей планеты, кроме Антарктиды. В мировом земледелии общая площадь, занятая соей, достигает 120 млн га при средней урожайности 2,6 т/га зерна. В Российской Федерации отмечается увеличение площадей под соей, и по итогам 2021 г. она составила 3,07 млн га при средней урожайности 1,68 т/га [1].

В Нечерноземной зоне России соя пока относится к малораспространенным культурам, но имеются большие перспективы развития её производства в Московской, Тверской, Рязанской, Смоленской, Ивановской, Владимирской и Ярославской областях [2]. В настоящее время созданы и рекомендованы к возделыванию в Калужской области сорта сои [3], но продвижение культуры идет медленно по ряду причин.

Возделывание сои в Калужской области связано с адаптацией к стрессовым условиям – пониженным температурам и напряженности инсоляции, повышенной кислотности почв, частым возвратом весенних и ранним наступлением осенних заморозков и многим другим факторам [4]. Аграрии области увеличивают посевные площади под данную культуру, но её урожайность остаётся пока невысокой.

Продуктивность растений сои подвержена значительным колебаниям, что связано

с их высокой реакцией на изменения условий внешней среды. Реализация биологического потенциала продуктивности сортов сои зависит от их адаптации к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам. Только селекционным путем, используя богатый генофонд этой культуры, можно создать сорта, удовлетворяющие требованиям производства конкретного региона [5, 6].

Научно-исследовательские работы по изучению сои в Калужской области были начаты ещё в 1987 г. на опытном поле Калужского филиала Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева. Изучались сорта коллекции ВИР в сравнении с сортами Рязанского НИПТИ АПК. Было оценено около 400 скороспелых форм и сортов сои отечественной и зарубежной селекции. Отобранные формы имели как положительные, так и отрицательные признаки¹.

Цель исследований – изучение сортов сои отечественной и зарубежной селекции для определения пригодности их возделывания в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ и использования в качестве источников хозяйственно полезных признаков для дальнейшей селекции.

Научная новизна – выделение сортов сои в качестве источников хозяйственно полезных признаков для их последующего использования в практической селекции в качестве родительских форм при выведении новых сортов, пригодных для промышленного возделывания в Центральном районе Нечерноземной зоны РФ.

¹Федорова З. С. Влияние регуляторов роста на симбиотическую активность и семенную продуктивность сои: дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2000. 131 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15881032>

Материал и методы. Полевые опыты по изучению сортов сои проводили в 2016-2019 гг. в Спас-Деменском районе Калужской области в географическом пункте 54°41' северной широты, 34°02' восточной долготы. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы (0-20 см): слабокислая реакция среды ($pH_{\text{сол}} = 5,2$); содержание гумуса (по Тюрину) – 1,6 %, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 100 мг/кг почвы, обменного калия (по Кирсанову) – 65 мг/кг почвы, азота легкогидролизуемого (по Тюрину) – 50 мг/кг почвы.

Погодные условия в годы проведения исследований различались, но вполне подходили для роста и развития изучаемых сортов сои в условиях Калужской области. В 2016 и 2017 гг. за вегетационный период среднесуточная температура воздуха была выше средних многолетних данных на 1,4-2,4 °С, количество осадков – в 2 раза выше нормы. Гидротермические условия вегетации в 2018 г. были близки к среднемноголетней норме.

Вегетационный период 2019 г. по температурному режиму мало отличался от средних многолетних данных, но осадков выпало почти в 2 раза больше.

Объектами исследований служили скороспелые и среднеспелые сорта сои: Магева, Светлая, Касатка, Малета, Окская и Георгия (Россия, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»), Припять и Волма (Беларусь, ООО «Соя-Север Ко»). Все изучаемые сорта различались по морфологическим признакам, характеру роста и развития, продолжительности прохождения фенотипа.

Испытания сортов осуществлялись по общепринятым методикам². Посев проводили механизировано в оптимальные сроки для Центральных областей Нечерноземной зоны, норма высева 500 тыс. всхожих семян на гектар при ширине междурядий 15 см.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием алгоритмов вычисления выборочных средних, коэффици-

ентов вариации ($V, \%$), прямолинейной корреляции Пирсона (r) в изложении Б. А. Доспехова³.

Результаты и их обсуждение. Продолжительность вегетационного периода – это один из основных и важных признаков, определяющих возможность возделывания сорта в различных агроклиматических условиях [7, 8, 9].

Соя в Центральном Нечерноземье – интродуцируемая культура и продолжительность вегетационного периода имеет решающее значение для её возделывания за пределами естественного ареала [10, 11, 12].

В наших исследованиях самый короткий период вегетации (в среднем за 4 года) при различных погодных условиях отмечали у сорта Касатка – 109 суток, что на 10 суток меньше в сравнении со стандартным Магева. Самый продолжительный период вегетации выявлен у сортов Малета, Окская, Припять и Волма – 129 суток, у Светлая и Георгия на уровне контроля (119 сут).

Особенности погодных условий по годам исследований оказывали влияние на растения сои. В период «всходы-цветение» происходит рост и развитие в основном вегетативных органов, способствующих накоплению общей биомассы растений. В наших исследованиях этот период изменялся от 38 до 47 суток. Наименьшая продолжительность периода «всходы-цветение» была у сорта Касатка – 38 суток, что на 4 суток меньше в сравнении со стандартом (сорт Магева).

В генеративный период развития растения сои формируют репродуктивные органы – бобы и семена. Адаптацию культуры к зонам возделывания обеспечивают время цветения и созревания [13]. Продолжительность этого периода у изучаемых сортов сои, в среднем за годы исследований, варьировала от 71 до 82 суток.

Сорт Касатка имел самый короткий период вегетации и может быть источником признака раннеспелости, что также отмечено в работе [14].

Полевую всхожесть и сохранность растений к уборке сортов сои учитывали в фазу полных всходов и перед уборкой урожая (табл. 1).

²Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами. В. М. Лукомец, Н. М. Тишков, В. Ф. Баранов [и др.]. Под общ. ред. В. М. Лукомца. 2-е изд., перераб. и доп. Краснодар: ВНИИ масличных культур им. В. С. Пустовойта, 2010. 327 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21792553>; Синеговская В. Т., Наумченко Е. Т., Кобозева Т. П. Методы исследований в полевых опытах с соей: учебно-методическое пособие. Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2016. 115 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25852691>

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Таблица 1 – Полевая всхожесть сортов сои и сохранность растений к уборке (в среднем за 2016-2019 гг.) / Table 1 – Field germination of soybean varieties and plant viability to the harvest period (average for 2016-2019)

<i>Copm / Variety</i>	<i>Число растений, тыс. шт/га / Number of plants, thousand pcs/ha</i>		<i>Полевая всхожесть, % / Field germination, %</i>	<i>Сохранность, % / Viability, %</i>
	<i>начало вегетации / the beginning of vegetation</i>	<i>конец вегетации / end of vegetation</i>		
Магева – ст. / Mageva – st.	409	375	81,9	75,0
Светлая / Svetlaya	408	373	81,5	74,6
Касатка / Kasatka	412	377	82,4	75,4
Малета / Maleta	417	381	83,4	76,2
Окская / Okskaya	394	361	78,9	72,2
Геоργия / Georgia	401	367	80,3	73,4
Припять / Pripyat	406	378	81,1	75,6
Волма / Volma	407	379	81,4	75,8
НСП ₀₅ / LSD ₀₅	24,4	22,4	-	-

Примечание: норма высева – 500 тыс. всх. семян на гектар / Note: seeding rate – 500 thousand germinated seeds per hectare.

В разные годы исследований густота стояния растений несколько изменялась, но в среднем, в фазе «полные всходы» из 500 тыс. всх. семян, высеянных на гектар, проросло около 400 тыс., в среднем полевая всхожесть составляла 81 %, что является хорошим показателем для всех сельскохозяйственных культур. К уборке урожая, после воздействия на посеvy сои многочисленных биотических и абиотических факторов, оставалось, в среднем, 370 тыс. растений на гектар.

Чаще всего полевая всхожесть положительно коррелирует с сохранностью растений [15]. Все изучаемые сорта показали почти одинаковую сохранность растений к уборке. В целом, полевая всхожесть семян сои по сортам (78,9-83,4 %) и сохранность растений перед уборкой (72,2-76,2 %) в 4-летних исследованиях оставались достаточно высокими.

Высота растений сои считается одним из основных признаков, который определяет технологичность сортов и пригодность к механизированному возделыванию. Отмечено, что высота растений у сои связана с продолжительностью её вегетации. У среднеспелых сортов обычно формируется более высокий главный стебель по сравнению со скороспелыми (табл. 2).

Максимальная высота растений в фазе третьего тройчатосложного листа у сорта Окская составила 35 см, что выше контроля на 8 см. У остальных сортов высота превы-

шала стандарт на 2,9-6,0 см. Самым низкорослым в этот период отмечен сорт Касатка – 25,0 см, что ниже высоты стандартного сорта Магева на 2,1 см.

Аналогичная зависимость наблюдалась в фазе «цветение»: максимальная высота растений, превышающая стандарт на 12,9 см, была выявлена у сорта Окская, минимальная – у сорта Касатка.

В фазе «формирование бобов» самыми высокорослыми были сорта Припять (93,5 см) и Окская (92,7 см), которые превышали стандартный сорт Магева на 20,1 и 19,3 см соответственно.

Исследования по изучению высоты растений сортов сои отечественной и белорусской селекций показали, что самым короткостебельным выделился сорт Касатка, самыми высокорослыми – Припять и Окская. Остальные изучаемые сорта следует отнести к среднестебельным, по высоте они были близки, или немного превышали стандартный сорт Магева.

Уровень развития растений сортов сои в наибольшей мере обусловлен накоплением сухого вещества, что является конечным результатом их взаимодействия с факторами внешней среды и позволяет судить об условиях роста и развития. В наших опытах накопление растениями сухого вещества увеличивалось в течение всей вегетации, и максимальные значения отмечены в фазу «образование бобов» (табл. 3).

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 2 – Динамика высоты растений сортов сои по фазам роста и развития, см /
Table 2 – Dynamics of soybean varieties plant height by phases of growth and development, cm

Фаза / Phase	Год / Year	Магева – стандарт / Mageva – standart	Светлая / Svetlaya	Касатка / Kasatka	Малета / Maleta	Окская / Okskaya	Геоorgia / Georgia	Припять / Pripyat	Волма / Volma
3-й тройчатосложный лист / 3rd tricomound leaf	2016	25,9	29,2	24,2	32,4	34,1	31,8	32,5	31,4
	2017	23,8	29,2	25,4	31,1	34,8	30,0	32,1	31,0
	2018	29,6	29,0	26,1	35,1	36,9	27,2	35,5	34,1
	2019	29,2	32,4	24,1	30,7	34,0	30,4	33,0	31,6
	Среднее / Average	27,1	30,0	25,0	32,3	35,0	29,9	33,3	32,0
Цветение / Flowering	2016	38,9	43,8	36,3	48,6	51,2	47,7	48,8	47,1
	2017	39,7	48,8	42,4	52,6	58,8	50,1	57,8	55,8
	2018	52,7	51,6	46,5	62,5	65,7	48,4	63,2	60,7
	2019	43,8	48,6	48,6	46,1	51,0	45,6	49,5	47,4
	Среднее / Average	43,8	48,2	43,4	52,4	56,7	48,0	54,8	52,7
Образование бобов / Bean formation	2016	64,1	72,3	59,9	80,2	84,4	78,7	80,4	77,7
	2017	67,6	82,9	72,1	86,7	97,0	85,2	98,2	94,9
	2018	89,6	87,8	83,6	103,1	105,4	87,1	113,7	109,3
	2019	72,3	80,2	59,6	76,0	84,2	75,2	81,7	78,2
	Среднее / Average	73,4	80,8	68,8	86,5	92,7	81,6	93,5	90,0

Таблица 3 – Динамика накопления сухого вещества (в среднем за 2016-2019 гг.), т/га /
Table 3 – Dynamics of dry matter accumulation (average for 2016-2019), t/ha

Сорт / Variety	Фаза роста и развития / Growth and development phase		
	3-й тройчатосложный лист / 3rd tricomound leaf	цветение / flowering	образование бобов / bean formation
Магева – ст. / Mageva – st.	0,76	1,53	1,86
Светлая / Svetlaya	0,77	1,53	1,86
Касатка / Kasatka	0,76	1,52	1,85
Малета / Maleta	0,80	1,60	1,97
Окская / Okskaya	0,76	1,52	1,84
Геоorgia / Georgia	0,75	1,54	1,83
Припять / Pripyat	0,83	1,65	2,02
Волма / Volma	0,82	1,64	2,00
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,24	0,29	0,31

У растений сортов Малета, Припять и Волма во все фазы роста и развития отмечается тенденция к повышенному накоплению сухого вещества в сравнении со стандартом.

Заключительным этапом оценки и выделения генотипов сои в почвенно-климатических и эколого-географических условиях Нечерно-

зёмной зоны РФ на широте 54° для их дальнейшего включения в селекционный процесс является анализ их урожайности (табл. 4).

Учеты урожайности изучаемых сортов сои в течение четырёх лет, которые различались по метеоусловиям, позволили нам сделать нижеследующие выводы.

Таблица 4 – Урожайность сортов сои в условиях Калужской области на широте 54° /
Table 4 – Productivity of soybean varieties in the conditions of the Kaluga region at a latitude of 54°

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha				Среднее, т/га / Average, t/ha	Отклонение от стандарта / Deviation from the standard		Коэффициент вариации, V, % / Coefficient of variation, V, %
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.		т/га / t/ha	%	
Магева – ст. / Mageva – st.	1,81	1,61	1,65	1,54	1,65	-	-	9,0
Светлая / Svetlaya	1,84	1,58	1,74	1,64	1,70	0,05	3,0	12,3
Касатка / Kasatka	1,50	1,49	1,71	1,61	1,57	-0,08	-4 8	15,7
Малета / Maleta	2,10	1,68	1,78	1,72	1,82	0,17	10,3	11,4
Окская / Okskaya	2,30	1,54	1,77	1,69	1,86	0,21	12,7	19,8
Георгия / Georgia	2,33	1,54	1,86	1,75	1,87	0,22	13,3	17,3
Припять / Pripyat	2,51	1,69	1,99	1,81	2,00	0,35	21,2	17,0
Волма / Volma	2,23	1,66	1,99	1,72	1,90	0,25	15,3	16,2
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,18	0,20	0,25	0,19	-	-	-	-

В 2016 году определили, что достоверно наименьшую урожайность сформировал сорт Касатка, у сорта Светлая она была на уровне стандарта. Остальные изучаемые сорта сои по урожайности существенно превосходили его (+0,29-0,70 т/га), максимальную урожайность сформировал сорт Припять.

В 2017 году урожайность всех изучаемых сортов получена ниже, чем в 2016 г., так как в начале вегетации (в мае-июне) растениям существенно недоставало тепла, температура была ниже климатической нормы на 1,5-2,1 °С при избыточном количестве осадков, превышающем климатическую норму в 1,8-3,1 раза. Повышенная урожайность относительно контроля выявлена у сортов Малета, Волма и Припять, но превышение было несущественным.

В более благоприятном по метеоусловиям 2018 году урожайность всех изучаемых сортов была выше, чем у сорта-стандарта Магева, но существенное превышение (+0,34 т/га) отмечено у сортов Припять и Волма. В 2019 году наблюдали такую же закономерность, достоверно превысили урожайность стандарта сорта Георгия и Припять (+0,21...0,27 т/га).

В сложившихся погодных условиях 2016-2019 гг. коэффициент вариации урожайности изучаемых сортов изменялся от 9,0-11,4 % (Магева и Малета) до 17,0-19,8 % (Припять, Георгия и Окская). Сорта с большей вариабельностью сформировали более высокую среднюю урожайность по сравнению с сортом-стандартом.

При оценке урожайности изучаемых сортов, в среднем за 4 года, самую высокую урожайность (на 21,2 % выше стандарта) показал сорт белорусской селекции Припять, который может служить источником признака повышенной урожайности в селекции сои для Нечерноземья на широте 54°. Сорта Малета, Окская, Волма и Георгия сформировали урожай семян выше стандарта на 10-15 %, сорт Светлая – на уровне сорта-стандарта Магева, сорт Касатка – ниже стандарта.

Для оценки реакции изучаемых сортов сои на особенности агрометеорологических условий Нечерноземья провели корреляционный анализ (табл. 5 и 6).

Длительность прохождения вегетативного и генеративного периодов, формирования элементов продуктивности и зерновой урожайности растений сои зависит от сумм активных температур воздуха. Результаты корреляционного анализа выявили сильную зависимость урожайности сорта Малета в годы проведения исследований от сумм активных температур в вегетативный период ($r = 0,9$), что свидетельствует о высокой требовательности сорта к условиям теплообеспеченности в ранние сроки развития (табл. 5).

В то же время сорт сои Малета – это единственный сорт, который показал обратную сильную связь ($r = -0,9$) урожайности с суммой активных температур в генеративный период, когда в регионах Нечерноземной зоны для сои может не хватать тепла.

Таблица 5 – Коррелятивная зависимость урожайности сортов сои от сумм активных температур по периодам вегетации в условиях Калужской области (2016-2019 гг.) /

Table 5 – Correlative dependence of soybean variety yield on the sums of active temperatures during the growing seasons in the conditions of the Kaluga region (2016-2019)

<i>Copm / Variety</i>	<i>Период / Period</i>		
	<i>вегетативный / vegetative</i>	<i>генеративный / generative</i>	<i>вегетационный / vegetation</i>
Магева – ст. / Mageva – st.	0,1	0,4	0,5
Светлая / Svetlaya	0,3	-0,5	-0,6
Касатка / Kasatka	-0,3	-0,2	-0,4
Малета / Maleta	0,9	-0,9	-0,1
Окская / Okskaya	-0,4	-0,1	-0,1
Геоργия / Georgia	-0,7	0,4	0,3
Припять / Pripyat	-0,6	0,2	0,1
Волма / Volma	-0,8	0,4	0,2

В вегетативный период развития сои сильная обратная зависимость урожайности от сумм активных температур отмечена у сорта Волма ($r = -0,8$), средняя – у сортов Припять ($r = -0,6$) и Геоργия ($r = -0,7$).

Урожайность сорта Касатка в условиях Калужской области по периодам вегетации слабо зависела от сумм активных температур, поэтому он наиболее приспособлен к агроклиматическим условиям Нечерноземной зоны, что также отмечается в работе авторов [3].

Таблица 6 – Коэффициенты корреляции между урожайностью сортов сои и агрометеорологическими показателями вегетации (Калужская область, 2016-2019 гг.) /

Table 6 – Correlation coefficients (r) between soybean variety yield and agrometeorological indices of vegetation (Kaluga region, 2016-2019)

<i>Copm / Variety</i>	<i>Сумма осадков, мм / The amount of precipitation, mm</i>	$\sum t > 10 \text{ }^\circ\text{C}$	<i>ГТК / Hydrothermal coefficient</i>
Магева – ст. / Mageva – st.	0,1	-0,9	0,3
Светлая / Svetlaya	0,9	-0,7	0,9
Касатка / Kasatka	-0,6	-0,4	-0,5
Малета / Maleta	-0,7	0,0	-0,6
Окская / Okskaya	0,9	0,1	0,8
Геоργия / Georgia	0,6	0,3	0,4
Припять / Pripyat	0,7	0,0	0,6
Волма / Volma	0,5	0,2	0,4

При вычислении коэффициента прямолинейной корреляции Пирсона (r) между урожайностью сортов Светлая и Окская и показателями влагообеспеченности (сумма осадков и ГТК) вегетационного периода за 2016-2019 гг. была установлена тесная корреляционная

зависимость (в ранее проведенных исследованиях В. К. Храмого и Т. Д. Сихарулидзе по изучению температурного режима на урожайность сои в условиях Центрального Нечерноземья было установлено отсутствие прямой зависимости между температурой воздуха в период генеративного развития сои и урожаем семян [16]. Корреляционный анализ между урожайностью изучаемых сортов сои в наших исследованиях также подтверждает отсутствие прямой зависимости между этими показателями (табл. 6).

зависимость ($r = 0,8-0,9$) в отличие от стандартного сорта.

Корреляционная связь средней тесноты отмечена у сортов Геоργия ($r = 0,6$) и Припять ($r = 0,7$). Урожайность сорта Малета, в целом за вегетацию, связана с величиной осадков

($r = -0,7$) и ГТК ($r = -0,6$) обратной корреляционной зависимостью средней степени, что говорит об устойчивости сорта к недостатку влаги.

У менее восприимчивого к изменениям погоды сорта Касатка выявлена отрицательная корреляционная зависимость урожайности с агрометеорологическими показателями в течение вегетационного периода.

Заключение. Проведенные исследования выявили сорта со средней степенью зависимости урожайности от осадков и ГТК, как наиболее пригодные к возделыванию в условиях Калужской области (Центральный район Нечерноземной зоны РФ): Волма и Припять (Беларусь), Георгия и Касатка (РФ).

Возделывание сортов Светлая и Окская (РФ) возможно в условиях обеспеченности вегетации достаточным количеством тепла и влаги ($r = 0,8-0,9$), сорта Малета (РФ) – в засушливых условиях, исходя из обратной зависимости его урожайности от осадков ($r = -0,7$) и ГТК ($r = -0,6$).

Выделены сорта с хозяйственно полезными признаками для включения в селекционный процесс в качестве родительских форм: Касатка с самым коротким периодом вегетации (109 дней) – источник раннеспелости; Припять и Окская с максимальной высотой (93,5 и 92,7 см соответственно) – источники высокорослости; Припять с урожайностью семян на уровне 2,0 т/га (на 21,2 % выше стандарта) – источник повышенной урожайности.

Список литературы

1. Синеговский М. О. Роль правовой защиты новых сортов сои в современных условиях. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022;(3):9-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48559874>
2. Лукомец В. М., Кочегура А. В., Баранов В. Ф., Махонин В. Л. Соя в России – действительность и возможность. Краснодар: ВНИИ масличных культур им. В. С. Пустовойта, 2013. 99 с.
3. Бельшклина М. Е., Кобозева Т. П., Гуреева Е. В. Рост и развитие сортов сои северного экотипа в зависимости от влияния лимитирующих факторов вегетационного периода. Аграрный научный журнал. 2020;(9):4-9. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i9pp4-9>
4. Федоров В. Ф., Федорова З. С. Перспективы интродукции сои в Калужской области. Земледелие. 2006;(6):32-33.
5. Гуреева Е. В. Изучение и подбор исходного материала сои для создания новых сортов. Аграрная наука. 2018;(4):38-40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34855839>
6. Гуреева Е. В. Влияние метеорологических условий на хозяйственно ценные признаки сои. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021;(1):28-31. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/28-31>
7. Лукомец В. М., Зеленцов С. В., Бочкарев Н. И., Трунова М. В. Адаптивная селекция масличных культур. Теория и практика адаптивной селекции растений (Жученковские чтения VI): сб. научн. тр. мат-лов Международ. научн.-практ. конф. Краснодар: Кубанский ГАУ имени И. Т. Трубилина, 2021. С. 22-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47173019>
8. Трунова М. В. Признаки отбора сортов сои в селекционном питомнике в зависимости от продолжительности вегетационного периода. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(4(176)):23-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36853193>
9. Зеленцов С. В., Мошненко Е. В., Бубнова Л. А., Зеленцов В. С. Некоторые аспекты устойчивости растений к отрицательным температурам на примере сои и масличного льна. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(2(174)):55-70. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-2-174-55-70>
10. Зеленцов С. В. Методические основы селекционного процесса у сои и его улучшающие модификации во ВНИИМК (обзор). Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2020;(2(182)):128-143. DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-128-143>
11. Гуреева Е. В. Оценка селекционных номеров сои. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019;(1):24-26. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/1/24-26>
12. Самсалиев А. Б., Самсалиев К. А., Тунгучбаева Р. Н., Намазбекова С. Ш. Новые районированные отечественные сорта сои. Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина. 2018;(2):64-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34908196>
13. Вишнякова М. А., Сеферова И. В., Самсонова М. Г. Требования к исходному материалу для селекции сои в контексте современных биотехнологий (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2017;52(5):905-916. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.5.905rus>
14. Жаркова С. В., Манылова О. В. Формирование густоты стояния растений и урожайности семян сои в условиях Алтайского края. Овощи России. 2021;(6):92-97. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-6-92-97>
15. Шафигуллин Д. Р., Романова Е. В., Гинс М. С., Пронина Е. П., Гинс В. К. Оценка и подбор исходного материала для селекции сои на хозяйственно ценные признаки в условиях Центрального района Европейской части России. Овощи России. 2016;(2):28-32. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-2-28-32>
16. Сихарулидзе Т. Д., Храмой В. К. Влияние температурного режима на продолжительность вегетационного периода и урожайность сои в условиях Центрального Нечерноземья. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017;(4):32-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30538587>

References

1. Sinegovskiy M. O. The role of legal protection of new soybean varieties in current conditions. *Vestnik rossiyской sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2022;(3):9-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48559874>
2. Lukomets V. M., Kochegura A. V., Baranov V. F., Makhonin V. L. Soybean in Russia – reality and possibility. Krasnodar: *VNI maslichnykh kul'tur im. V. S. Pustovoyta*, 2013. 99 p.
3. Belyshkina M. E., Kobozeva T. P., Gureeva E. V. Growth and development of soybean varieties of the northern ecotype depending on the influence of limiting factors of the growing season. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(9):4-9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.v2020i9pp4-9>
4. Fedorov V. F., Fedorova Z. S. Prospects for the introduction of soybeans in the Kaluga region. *Zemledelie*. 2006;(6):32-33. (In Russ.).
5. Gureeva E. V. Study and selection of soy initial material for the development of new varieties. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2018;(4):38-40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34855839>
6. Gureeva E. V. Vliyaniye meteorologicheskikh usloviy na khozyay-stvenno tsennyye priznaki soi. *Vestnik rossiyской sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2021;(1):28-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/1/28-31>
7. Lukomets V. M., Zelentsov S. V., Bochkarev N. I., Trunova M. V. Adaptive breeding of oil crops. Theory and practice of adaptive plant breeding (Zhuchenkov readings VI): Collection of Proceedings of the International scientific and practical Conference. Krasnodar: *Kubanskiy GAU imeni I. T. Trubilina*, 2021. pp. 22-25. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47173019>
8. Trunova M. V. Traits for soybean selection in a breeding nursery depending on duration of the vegetative period. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskyy byulleten' Vserossiyского nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2018;(4(176)):23-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36853193>
9. Zelentsov S. V., Moshnenko E. V., Bubnova L. A., Zelentsov V. S. Some aspects of plant resistance to negative temperatures on an example of soybean and oil flax. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskyy byulleten' Vserossiyского nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2018;(2(174)):55-70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-2-174-55-70>
10. Zelentsov S. V. Methodological fundamentals of the breeding process in soybean and its improving modifications at VNIIMK (review). *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskyy byulleten' Vserossiyского nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2020;(2(182)):128-143. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-2-182-128-143>
11. Gureeva E. V. assessment of soybean selection numbers. *Vestnik rossiyской sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2019;(1):24-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/1/24-26>
12. Samsaliev A. B., Samsaliev K. A., Tunguchbaeva R. N., Namazbe-kova S. Sh. The new native varieties of the soybeans. *Vestnik Kyrgyzskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta im. K. I. Skryabina*. 2018;(2):64-69. (In Kyrgyzstan). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34908196>
13. Vishnyakova M. A., Seferova I. V., Samsonova M. G. Genetic sources required for soybean breeding in the context of new biotechnologies (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(5):905-916. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.905rus>
14. Zharkova S. V., Manylova O. V. Formation of plants density and seed yield of soybean varieties in Altai Krai. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2021;(6):92-97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-6-92-97>
15. Shafigullin D. R., Romanova E. V., Gins M. S., Pronina E. P., Gins V. K. Evaluation and selection of different varieties and lines of soybean for breeding for valuable traits in the central European part of Russia. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2016;(2):28-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-2-28-32>
16. Sikharulidze T. D., Khramov V. K. Effect of temperature mode on vegetation period length and soybean yield in the Central non-black soil zone. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2017;(4):32-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30538587>

Сведения об авторах

✉ **Тевченков Александр Андреевич**, младший научный сотрудник отдела технологий возделывания рапса и других сельскохозяйственных культур, Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта», Боевой проезд, д. 26, г. Липецк, Липецкая область, Российская Федерация, 398037, e-mail: info@lniir.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3582-5558>, e-mail: 79066414882@yandex.ru

Федорова Зоя Степановна, кандидат с.-х. наук, доцент, Калужский филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», ул. Вишневого, д. 27, г. Калуга, Калужская область, Российская Федерация, 248007, e-mail: directorat@kaluga.timacad.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-1853>

Information about authors

✉ **Alexander A. Tevchenkov**, junior researcher, the Department of Rapeseed and Other Crops Cultivation Technologies, Lipetsk Rapeseed Research Institute – Branch of V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Bolevoy proezd, 26, Lipetsk, Lipetsk region, Russian Federation, 398037, e-mail: info@lniir.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3582-5558>, e-mail: 79066414882@yandex.ru

Zoya S. Fedorova, PhD in Agricultural Science, associate professor, Kaluga branch of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Vishnevsky st., 27, Kaluga, Kaluga region, Russian Federation, 248007, e-mail: directorat@kaluga.timacad.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6939-1853>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.805-813>
УДК 633.367.2:631.526.32



Сорт люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) Меценат

© 2022. О. Г. Лысенко, В. Ф. Лысенко, Е. Н. Пасынкова ✉

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха»,
г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация

Цель исследования – создание раннеспелого сорта люпина узколистного с урожайностью семян и зеленой массы выше стандарта, устойчивого к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды Северо-Западного региона Российской Федерации. В результате многолетней селекционной работы создан раннеспелый сорт люпина узколистного Меценат. В конкурсном сортоиспытании, проведенном в условиях Ленинградской области, урожайность семян сорта Меценат в среднем за 2015–2017 гг. составила 4,3 т/га, что на 1,1 т/га выше показателей стандарта (сорт Кристалл), урожайность зеленой укосной массы – 48,4 т/га (на 13,9 т/га выше стандарта). По результатам структурного анализа растений сорт Меценат характеризовался повышенным количеством семян с растения (90,4 шт.) и хорошей обсемененностью боба (4,4 шт.). Сорт универсального использования, с низким содержанием алкалоидов (0,0072 %), технологичен, устойчив к полеганию (7 баллов), растрескиванию бобов и осыпанию семян на корню, устойчив к антракнозу (9 баллов). Характеризуется быстрым темпом роста растений в начальный период вегетации. В 2018 году сорт Меценат включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации, допущенных к использованию в сельскохозяйственном производстве по 12 регионам (Патент № 9559).

Ключевые слова: селекция люпина, гибридизация, конкурсное сортоиспытание, продуктивность, урожайность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ Ленинградского НИИСХ «Белогорка» (тема № 0597-2019-0025).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лысенко О. Г., Лысенко В. Ф., Пасынкова Е. Н. Сорт люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) Меценат. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):805-813.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.805-813>

Поступила: 12.10.2022 Принята к публикации: 24.11.2022 Опубликована онлайн: 16.12.2022

Variety of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) Metsenat

© 2022. Olga G. Lysenko, Valery F. Lysenko, Elena N. Pasyunkova ✉

Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation

The purpose of the study was to create of an early ripening variety of narrow-leaved lupine with a seed and green mass yield above the standard, resistant to unfavorable biotic and abiotic environmental factors in the North-West region of the Russian Federation. As the result of many years of breeding, an early ripening variety of narrow-leaved lupine Metsenat has been developed. In a competitive varietal trial conducted in the conditions of the Leningrad Region, the seed yield of the variety Metsenat averaged 4.3 t/ha in 2015–2017 that was 1.1 t/ha higher than the standard (Kristall), the yield of green hay was 48.4 t/ha (13.9 t/ha higher than the standard). According to the results of the structural analysis of plants, the variety Metsenat was characterized by an increased number of seeds per plant (90.4 pcs.) and a good seeding of the beans (4.4 pcs.). It is a variety of universal use, with a low content of alkaloids (0.0072 %), it is technological, resistant to lodging (7 points), to cracking of beans and shedding of seeds on the vine, resistant to anthracnose (9 points). It is characterized by a rapid growth rate of plants in the initial period of vegetation. In 2018 the Metsenat variety was included into the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation approved for use in agricultural production in 12 regions (Patent No. 9559).

Keywords: lupin breeding, hybridization, competitive varietal trial, productivity, yield

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russia Federation within the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Leningrad Research Institute of Agriculture "Belogorka" (theme No. 0597-2019-0025).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Lysenko O. G., Lysenko V. Ф., Pasyunkova E. N. Variety of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) Mezenat. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(6):805-813. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.805-813>

Received: 12.10.2022 Accepted for publication: 24.11.2022 Published online: 16.12.2022

В сельскохозяйственном производстве возделывается три вида однолетнего люпина: узколистый (*Lupinus angustifolius* L.); желтый (*Lupinus luteus* L.); белый (*Lupinus albus* L.). Люпин узколистый (*Lupinus angustifolius* L.) является средоулучшающей, кормовой и ресурсосберегающей культурой в системе биологизации земледелия Нечерноземной зоны России, он обладает высокой технологичностью, скороспелостью, нетребовательностью к почвенному плодородию и выгодно отличается от других бобовых культур содержанием белка в зерне (до 40 %), соотношением аминокислот, практически отсутствием ингибиторов трипсина [1, 2, 3]. Люпин узколистый также может использоваться как высокоэффективное зеленое удобрение, ценность которого заключается в том, что оно служит источником дешевого экологически безопасного биологического азота. Люпин узколистый имеет наивысшую азотфиксирующую способность среди однолетних бобовых культур. При нормальном развитии растений посевы люпина фиксируют в среднем 160...180 кг/га атмосферного азота, а при благоприятных почвенно-климатических условиях – до 400 кг/га, что соответствует 5...10 ц аммиачной селитры [4]. Зеленое удобрение – это дешевый, постоянно возобновляемый источник пополнения органического вещества почвы [2]. Узколистый люпин относительно устойчив к антракнозу – грибковому заболеванию, сильно поражающему другие окультуренные виды люпина. Благодаря способности фиксировать атмосферный азот люпин сохраняет плодородие почвы, что выгодно сельхозпроизводителям в энергетическом и экологическом аспектах [5, 6]. Эффективность люпиносеяния во многом зависит от сортового ассортимента этой культуры, который усилиями селекционеров постоянно совершенствуется. Одним из приоритетных направлений в селекции является объединение в одном генотипе экологической устойчивости, продуктивности и скороспелости [4]. Признак скороспелости имеет исключительно важное значение для всех зон люпиносеяния, так как от него зависит успех в расширении посевных площадей и увеличении семенной продуктивности люпина. Скороспелые сорта люпина должны также обладать интенсивными темпами роста растений, что дает возможность быстрее наращивать биомассу, избежать последствий летнего дефицита влаги, конкурировать с сорной растительностью [7].

Современные сорта узколистого люпина, имея высокий потенциал продуктивности и благодаря скороспелости, могут выращиваться в различных регионах Российской Федерации, в том числе в регионах с коротким периодом вегетации, для получения белкового корма и поддержания почвенного плодородия [8].

Для органического производства в бинарных посевах кормовых зерновых культур в качестве бобового компонента актуально использовать люпин узколистый, который существенно повышает урожайность и качество зерна. Сочетание азотфиксирующей и фосфатмобилизующей способностей люпина узколистого позволяет выращивать его без применения минеральных удобрений при обеспечении сохранения почвенного плодородия, в совместных посевах со злаковыми культурами – без использования гербицидов [9, 10].

В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, по состоянию на 2021 год включены 27 сортов люпина узколистого, 7 из них – за последние пять лет (все сорта российской селекции) [11]. Учеными Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» к 2018 году создано четыре сорта люпина узколистого, включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию [2].

Для Северо-Западного региона России характерны: весенняя засуха, пониженные температуры воздуха в начальный период вегетации и переувлажнение в период созревания. Сорта люпина узколистого, устойчивые к недостатку влаги и тепла в начальный период развития и к избыточному увлажнению в конце вегетации, обеспечат более полную реализацию потенциала культуры по урожайности и качеству продукции в условиях Северо-Западного региона [12]. Дальнейшее повышение потенциала адаптивности этой культуры в условиях меняющегося климата достигается селекционным путем.

Цель исследования – создание раннеспелого сорта люпина узколистого с урожайностью семян и зеленой массы выше стандарта, устойчивого к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды Северо-Западного региона Российской Федерации.

Новизна исследований – создан новый сорт люпина узколистого Меценат универсального направления использования для всех регионов России.

Материал и методы. Исследования по созданию сорта люпина узколистного проведены на опытной базе Ленинградского НИИСХ «Белогорка» – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (д. Белогорка, Гатчинского района, Ленинградской области) в течение 2009-2017 гг., в питомниках: коллекционный, гибридный, селекционный, контрольный и конкурсного сортоиспытания.

Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая окультуренная с глубиной пахотного слоя 22 см и средним уровнем плодородия (содержание гумуса 2,1...2,5 % по И. В. Тюрину, реакция почвенного раствора pH_{KCl} 5,3...5,5, содержание подвижного фосфора (P_2O_5) 120...180, обменного калия (K_2O) 70...150 мг/кг почвы по А. Г. Кирсанову).

Материалом для исследования в питомниках конкурсного сортоиспытания в 2015...2017 гг. послужила гибридная популяция 219х310 (сорт Меценат) люпина узколистного, полученная в 2009 г. в результате сложных внутривидовых ступенчатых скрещиваний с последующим отбором. Посев проводили кассетной сеялкой с нормой высева 1,4 млн шт. всхожих семян/га в 4-кратной повторности 15, 16 и 19 мая соответственно по годам изучения. Площадь делянки – 10 м². Предшественник – яровые зерновые. При уборке урожая использовали малогабаритный комбайн ХЕГЕ-125.

Во всех питомниках селекционного процесса ежегодно давали оценку морфологических признаков растений в соответствии с Международным классификатором СЭВ¹. Фенологические наблюдения, полевые учеты проведены согласно методике госсортоиспытания².

В питомнике конкурсного сортоиспытания Меценат оценивали в сравнении со стандартом Кристалл (селекция ВИК им. В. Р. Вильямса, Московская область, районирован в 1998 г.) на адаптивную способность, стабильность, урожайность семян и зеленой массы и другие хозяйственно полезные признаки.

В годы испытаний в конкурсном питомнике (2015-2017 гг.) погодные условия в вегетационный период люпина узколистного были различны по температурному режиму и выпавшим осадкам.

Рост и развитие люпина узколистного в 2015 году проходили на фоне благоприятных

климатических условий, температура воздуха и количество выпавших осадков незначительно отличались от средних многолетних показателей.

Метеоусловия вегетационного периода 2016 года характеризовались неустойчивой погодой, с выпадением осадков выше нормы в два раза и температурой воздуха выше средней многолетней.

В 2017 году в период вегетации отмечали недостаток тепла, с температурой воздуха ниже средней многолетней, сумма выпавших осадков превышала среднюю многолетнюю в полтора раза во второй половине вегетации.

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа³ с применением пакета статистических программ (MS Excel).

Результаты и их обсуждение. В процессе создания сорта Меценат люпина узколистного использовали индивидуальный отбор на ранних этапах и метод межсортовой ступенчатой гибридизации с последующим многократным отбором (рис. 1).

При гибридизации для создания нового исходного материала люпина узколистного используют не только сорта и линии местного происхождения с известными характеристиками, но также инорайонный материал отдаленных эколого-географических групп, получаемый в рамках сотрудничества и научного обмена [12, 13, 14, 15].

Так, в создании сорта Меценат в качестве исходных форм для гибридизации использовали экологически и географически разнокачественные линии и сорта из России и Австралии.

Сорт LP₂ (Австралия) представляет интерес в селекционной работе как источник многих положительных хозяйственно-биологических признаков – скороспелости, засухоустойчивости, стабильной продуктивности, пластичности, устойчивости к полеганию, растрескиванию бобов и осыпанию семян на корню.

Л01020 (Россия) – линия собственной селекции, получена методом индивидуального отбора от отечественного сидерального сорта Сидерат 38 и отличается от него по окраске цветков и семян. Характеризуется низким содержанием алкалоидов и очень хорошей облиственностью, ветвлением от корневой шейки по всему стеблю, адаптивностью к стрессовым условиям среды, устойчивостью к полеганию и осыпанию семян на корню.

¹Международный классификатор СЭВ рода *Lupinus* L. Л., 1985. 47 с.

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1985. 269 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. М., 1985. 351 с.

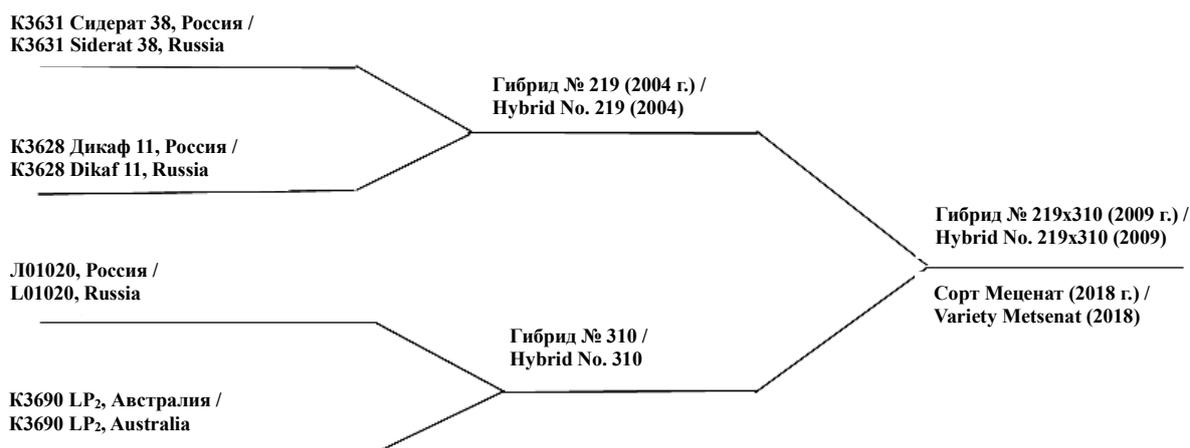


Рис. 1. Генеалогия сорта люпина узколистного Меценат / Fig. 1. Genealogy of the narrow-leaved lupine variety Metsenat

Сорта Сидерат 38 и Дикаф 11 (Россия) также являются прародителями сорта Меценат и несут признаки высокой продуктивности семян и раннеспелости. Сидерат 38 – высокоалкалоидный, индетерминантный. Дикаф 11 – малоалкалоидный, детерминантный. При скрещивании этих двух сортов в 2004 году получен гибрид № 219 – среднерослый, хорошо облиственный, алкалоидный, индетерминантный, среднеранний, с высокой продуктивностью семян.

При скрещивании Л01020 (Россия) и К3690 (Австралия) получили в 2006 году гибрид № 310 – детерминантный, ранний, низкоалкалоидный, технологичный, устойчивый к полеганию и осыпанию семян на корню, с высокой продуктивностью семян. В 2013 году прошел государственное сортоиспытание как сорт Белогорский 310 кормового назначения.

В результате скрещивания гибридных номеров 219 и 310 в 2009 году получили перспективную гибридную комбинацию 219x310, которая прошла изучение и отбор в гибридном,

селекционном и контрольном питомниках. В 2015 году селекционный номер 219x310 под рабочим названием Меценат был включен в питомник конкурсного сортоиспытания, где прошел заключительный этап изучения в сравнении с контролем (сорт Кристалл селекции Всероссийского НИИ кормов имени В. Р. Вильямса) в 4-кратной повторности. В таблице 1 представлены результаты трехлетнего конкурсного испытания сорта Меценат универсального типа использования.

Основным признаком, характеризующим хозяйственно экономическую ценность сорта, является его урожайность. За три года изучения в конкурсном сортоиспытании получен средний урожай семян 4,3 т/га, зеленой массы 48,4 т/га. Прибавка урожая семян к стандарту составила – 1,1 т/га, зеленой массы – 13,9 т/га.

Сбор сухого вещества зеленой массы сорта Меценат (5,4 т/га) превысил контроль на 1,4 т/га. Содержание белка в семенах выявлено на уровне стандарта – 30 % (табл. 2).

Таблица 1 – Урожайность люпина узколистного в конкурсном испытании в 2015-2017 гг. / Table 1 – The yield of narrow-leaved lupine in the competitive trial in 2015-2017

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha							
	зерно / grain				зеленая масса / green mass			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее / average	2015 г.	2016 г.	2017 г.	среднее / average
Кристалл, ст. / Kristall, st.	3,6	2,8	3,2	3,2	41,2	27,3	35,0	34,5
Меценат / Metsenat	4,8	3,6	4,5	4,3	54,6	42,3	48,4	48,4
Среднее / Average	4,2	3,2	3,9	-	47,9	34,8	41,7	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,9	0,4	0,6	-	4,9	4,8	5,1	-

Таблица 2 – Хозяйственно-биологическая характеристика нового сорта люпина узколистного Меценат по результатам конкурсного сортоиспытания (среднее за 2015-2017 гг.) /

Table 2 – Economic and biological characteristics of the new variety of narrow-leaved lupine Metsenat according to the results of competitive varietal trial (average for 2015-2017)

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>Кристалл, стандарт / Kristall, standard</i>	<i>Меценат / Metsenat</i>	<i>По отношению к стандарту, (±) / In relation to the standard, (±)</i>
Сбор сухого вещества, т/га / Dry matter collection, t/ha	4,0	5,4	+1,4
Период вегетации, дни / Growing season, days	98	105	+7
Высота растений, см / Height of plants, cm	54	60	+6
Количество продуктивных веток, шт. / Number of productive branches, pcs.	3	5	+2
Количество на растении, шт. / Number per plant, pcs.			
- бобов / beans	13,3	26,4	+13,1
- семян / seeds	43,1	90,4	+47,3
Число семян в бобе, шт. / Number of seeds in a pod, pcs.	3,2	4,4	+1,2
Масса семян с растения, г / Weight of seeds per plant, g	6,0	10,8	+4,8
Темп роста, балл / Growth rate, points	7	7	0
Полегаемость, балл / Lodging, points	7	7	0
Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	150	136	-14
Содержание в зерне, % / Content in grain, %			
- сырой протеин / raw protein	30	30	0
- алкалоиды / alkaloids	0,060	0,072	+0,012

В зависимости от погодных условий в годы испытаний продолжительность вегетационного периода сорта Меценат варьировала от 95 до 110 дней и в среднем по трем годам составила 105 дней, что уступает стандарту в среднем на 7 дней. Сорт Меценат относится к ранней группе скороспелости. Технологическая спелость зеленой массы для запашки наступает через 45-50 дней от всходов.

Сорт люпина узколистного Меценат отличался интенсивным начальным ростом: в первой декаде июня его рост увеличивался на 10-15 см, во второй декаде июня – на 19-30 см и достигал к концу вегетации в среднем 60 см, выше стандартного сорта. Новый сорт имеет развитое боковое ветвление 2-3 порядка и до 5 шт. продуктивных веток (больше сорта-стандарта). Относится к обычному ветвистому морфотипу с хорошей облиственностью.

Новый сорт Меценат по показателям продуктивности бобов и семян на 1 растение, обсемененности боба превышал стандартный,

по средней массе 1000 семян – уступал сорту-стандарту.

Количественное содержание алкалоидов в семенах за годы испытаний менялось в зависимости от почвенно-климатических условий от 0,065 до 0,077 %, в среднем составило 0,072, что выше контрольного показателя на 0,012 %. Требования принятого в РФ стандарта по ГОСТ Р 54632-2011⁴ на содержание алкалоидов в кормовом зерне люпина первого класса составляют 0,1 %, второго – 0,2 %, третьего – 0,3 %. По этому показателю сорт Меценат относится к группе с низким содержанием алкалоидов и может использоваться в кормлении всех видов животных и птицы без опасений.

За три года изучения (2015-2017 гг.) в питомнике конкурсного сортоиспытания новый сорт Меценат превысил стандартный Кристалл по многим параметрам: урожайности семян и зеленой массы, сбору сухого вещества, высоте растений, количеству продуктивных веток, продуктивности самого растения.

⁴ГОСТ Р 54632-2011. Люпин кормовой. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 8 с.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093158>

Устойчивость растений люпина узколистного к антракнозу (наиболее вредоносному заболеванию) сортов Кристалл и Меценат в различные по метеоусловиям годы была одинаковой и составила 9 баллов (поражение отсутствует или очень слабое, менее 2,5 %)⁵. Полегания растений в годы испытаний не наблюдалось.

Всходы однолетнего люпина узколистного Меценат имеют зеленый цвет без антоциановой окраски. Лист зелёный. Антоциановая окраска стебля в фазе «бутонизация» отсутствует или очень слабая. Растение прямостоячее,

индетерминантное. Верхушечный листочек короткий, узкой ширины – узкий. Цветок белый, кончик лодочки жёлтый. Зерно белое, орнаментация имеется. Лист пальчатый из 7 листочков, листочки узколинейные, зелёные. Форма растения кустовая. Строение стебля с прямым окончанием. Бобы образуются как на главных, так и на боковых побегах. Форма боба слабоизогнутая, в фазе полной спелости цвет светло-коричневый.

Внешний вид растений люпина узколистного сорта Меценат представлен на рисунках 2-5.



*Рис. 2. Сорт люпина узколистного Меценат, фаза «цветение» /
Fig. 2. Narrow-leaved lupine Metsenat variety, "flowering" phase*



*Рис. 3. Сорт люпина узколистного Меценат, фаза «созревание бобов» /
Fig. 3. Narrow-leaved lupine Metsenat variety, "bean ripening phase"*

⁵Международный классификатор СЭВ рода *Lupinus* L., 1985.



Рис. 4. Сорт люпина узколистного Меценат, растение /

Fig. 4. Narrow-leaved lupine Metsenat variety, plant



Рис. 5. Сорт люпина узколистного Меценат, репродуктивные органы /
Fig. 5. Narrow-leaved lupine Metsenat variety, reproductive organs

Заключение. В результате целенаправленных скрещиваний генетически, экологически и географически разнокачественных генотипов, продолжительного отбора, подбора линий и их группировки по адаптивным свойствам был создан раннеспелый, высокопродуктивный, технологичный, адаптированный индетерминантный сорт люпина узколистного Меценат универсального назначения. Сорт характеризуется скороспелостью, быстрым темпом роста, большим количеством семян с растения, хорошей обсемененностью боба. Урожайность семян составила 4,3 т/га, что на

1,1 т/га больше стандарта сорта Кристалл, урожайность зеленой массы – 48,4 т/га, выше стандарта на 13,9 т/га.

Новый сорт Меценат с 2018 года включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации⁶ и по результатам госсортоиспытания допущен к использованию в сельскохозяйственном производстве по 12 регионам. Устойчив к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам внешней среды, способный эффективно использовать почвенно-климатические ресурсы Северо-Западного региона Российской Федерации.

⁶Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 646 с. URL: <https://gossortrf.ru/gosreestr/>

Список литературы

1. Лукашевич М. И., Агеева П. А., Новик Н. В., Захарова М. В. Достижения и перспективы селекции люпина. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(2):29-32. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10207>
2. Лысенко О. Г. Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) – сидеральная культура. Научные труды по агрономии. 2019;(2):45-50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41619431>
3. Ступницкий Д. Н., Бопш В. Л., Мистратова Н. А. Оценка продуктивности одновидовых и бинарных посевов с люпином для органического земледелия. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021;14(4(71)):86-92. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_86
4. Агеева П. А., Матюхина М. В., Почутина Н. А., Громова О. М. Результаты и перспективы селекции сидеральных сортов узколистного люпина во Всероссийском научно-исследовательском институте люпина. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020;(2(34)):59-63. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11170>
5. Агеева П. А., Почутина Н. А. Результаты, состояние и перспективы селекции узколистного люпина во Всероссийском НИИ люпина. Новые сорта люпина, технология их выращивания и переработки, адаптация в системы земледелия и животноводство: сб. тр. Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 30-летию со дня основания ВНИИ люпина. Брянск: ЗАО «Издательство «Читай-город», 2017. С. 47-59. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29724499>
6. Агеева П. А., Почутина Н. А. Белорозовый 144 – новый сорт кормового узколистного люпина. Зернобобовые и крупяные культуры. 2021;(3(39)):119-124. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-119-124>
7. Наумкин В. Н., Артюхов А. И., Лукашевич М. И., Куренская О. Ю., Агеева П. А. Агробиологическая оценка сортов и сортообразцов кормового люпина в условиях центрально-черноземного региона. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(2(18)):127-133. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26280841>
8. Агеева П. А., Почутина Н. А. Результаты испытания сортов узколистного люпина. Зернобобовые и крупяные культуры. 2018;(3(27)):77-81. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11037>
9. Такунов И. П., Слесарева Т. Н. Безгербицидная ресурсоэнергосберегающая технология возделывания люпина и злаковых культур в смешанных посевах: научно-практические рекомендации. Брянск: изд-во «Читай-город», 2007. 61 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25334418>
10. Слесарева Т. Н., Лукашевич М. И. Люпин и некоторые вопросы технологии его возделывания. Защита и карантин растений. 2018;(7):12-16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35161478>
11. Вишнякова М. А., Власова Е. В., Егорова Г. П. Генетические ресурсы люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) и их роль в доместикации и селекции культуры. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(6):620-630. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.070>
12. Агеева П. А., Почутина Н. А. Актуальные требования к новым сортам узколистного люпина в условиях меняющегося климата. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(1(17)):99-103. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25800917>
13. Тарануха Г. И. Методы селекции люпина. Эффективность научных исследований по генетике и селекции зернобобовых культур: сб. статей. Орел: ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, 1978. С. 141-145.
14. Ястребова А. В., Коконов С. И., Меднов А. В., Рябова Т. Н., Мильчакова А. В. Агробиологическая оценка сортов и сортообразцов люпина узколистного (*Lupinus angustifolius*) в условиях Удмуртской Республики. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021;4(67):79-82. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47405585>
15. Радкевич М. Л. Накопление сухого вещества и линейный рост растений люпина узколистного в зависимости от условий питания. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(2):125-129. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35184791>

References

1. Lukashevich M. I., Ageeva P. A., Novik N. V., Zakharova M. V. Achievements and prospects of lupine breeding. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2018;32(2):29-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10207>
2. Lysenko O. G. Narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) – sidereal culture. *Nauchnye trudy po agronomii = Research papers on agronomy*. 2019;(2):45-50. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41619431>
3. Stupnitskiy D. N., Bopp V. L., Mistratova N. A. Estimation of harvest of a single-crop and binary sowings with lupine for organic farming. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2021;14(4(71)):86-92. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_4_86
4. Ageeva P. A., Matyukhina M. V., Pochutina N. A., Gromova O. M. Results and outlook of breeding of sidereal narrow-leaved lupin varieties in the Russian lupin research institute. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2020;(2(34)):59-63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11170>
5. Ageeva P. A., Pochutina N. A. Results, Conditions and Outlook of Narrow-Leafed Lupin Breeding in the Russian Lupin Research Institute. New varieties of lupine, the technology of their cultivation and processing, adaptation to farming systems and animal husbandry: Proceedings of International scientific.-practical conf., dedicated to the 30th anniversary of the founding of the Lupin Research Institute. Bryansk: ZAO «Izdatel'stvo «Chitay-gorod», 2017. pp. 47-59. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29724499>

6. Ageeva P. A., Pochutina N. A. Belorozovy 144 is a new feed narrow-leaved lupin variety. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2021;(3(39)):119-124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-119-124>
7. Naumkin V. N., Artyukhov A. I., Lukashevich M. I., Kurenskaya O. Yu., Ageeva P. A. Agrobiological estimation of breeds of fodder lupine in the conditions of central chernozem region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2016;(2(18)):127-133. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26280841>
8. Ageeva P. A., Pochutina N. A. Results of the narrow-leaved lupin testing. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2018;(3(27)):77-81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11037>
9. Takunov I. P., Slesareva T. N. Herbicide-free resource-saving technology of cultivation of lupine and cereals in mixed crops: scientific and practical recommendations. Bryansk: *izd-vo «Chitay-gorod»*, 2007. 61 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25334418>
10. Slesareva T. N., Lukashevich M. I. Lupine and some issues of technology for its cultivation. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2018;(7):12-16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35161478>
11. Vishnyakova M. A., Vlasova E. V., Egorova G. P. Genetic resources of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) and their role in its domestication and breeding. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(6):620-630. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.070>
12. Ageeva P. A., Pochutina N. A. Actual demands to narrow-leaved lupin varieties under changeable climate conditions. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2016;(1(17)):99-103. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25800917>
13. Taranukho G. I. Methods of lupin breeding. The effectiveness of scientific research on genetics and selection of leguminous crops: collection of articles. Orel: *VNI zernobobovykh i krupyanykh kul'tur*, 1978. pp. 141-145.
14. Yastrebova A. V., Kokonov S. I., Mednov A. V., Ryabova T. N., Milchakova A. V. Agrobiological evaluation of varieties and hybrids of blue lupin (*Lupinus angustifolius*) in the Udmurt Republic. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;4(67):79-82. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47405585>
15. Radkevich M. L. Accumulation of dry matter and linear growth of narrow-leaved lupine plants depending on nutrition conditions. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2018;(2):125-129. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35184791>

Сведения об авторах

Лысенко Ольга Георгиевна, старший научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства зерновых, зернобобовых и рапса, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Институтская, д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Российская Федерация, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7661-2474>

Лысенко Валерий Федорович, старший научный сотрудник, отдела селекции и первичного семеноводства зерновых, зернобобовых и рапса, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Институтская, д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Российская Федерация, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-3744>

✉ **Пасынкова Елена Николаевна**, доктор биол. наук, главный научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства зерновых, зернобобовых и рапса, Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Институтская, д. 1, д. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская область, Российская Федерация, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6588-8368>, e-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Information about the authors

Olga G. Lysenko, senior researcher, the Department of Breeding and Primary Seed production of Cereals, Legumes and Rapeseed, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, Institutskaya str., 1, Belogorka v., Gatchina district, Leningrad region, Russian Federation, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7661-2474>

Valeriy F. Lysenko, senior researcher, the Department of Breeding and Primary Seed production of Cereals, Legumes and Rapeseed, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, Institutskaya str., 1, Belogorka v., Gatchina district, Leningrad region, Russian Federation, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-3744>

✉ **Elena N. Pasynkova**, DSc in Biological Science, chief researcher, the Department of Breeding and Primary Seed production of Cereals, Legumes and Rapeseed, Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre, Institutskaya str., 1, Belogorka v., Gatchina district, Leningrad region, Russian Federation, 188338, e-mail: lenniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6588-8368>, e-mail: pasynkova.elena@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние оксида кремния (SiO₂) на адаптацию микрорастений роз (Rose L.) сорта Reine Sammut

© 2022. Т. Г. Леконцева ✉, А. В. Федоров

ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

Исследования посвящены оптимизации методики адаптации микрорастений роз сорта Reine Sammut с применением оксида кремния (SiO₂) путем опрыскивания и полива. Для проведения опыта применяли стандартные микрорастения, полученные методом клонального микроразмножения, соответствующие ГОСТ 29105.1-91-29105.3-91. Перед посадкой на адаптацию микрорастения были очищены от нижних листьев, корни промыты от азаризованной питательной среды в децимолярном растворе марганцовокислого калия и подрезаны до 15-20 мм. Адаптация проводилась в микропарниках на торфяном питательном субстрате, изготовленном согласно ТУ 20.12.80-001-41790563-2020, в условиях светоконнаты (влажность 36 %, температура 23...25 °С, продолжительность светопериода 16 часов, освещенность 8000 Лк). С целью обеззараживания субстрата был использован биофунгицид «Триходерма вериде» (1,5 мл/л). Микрорастения после посадки на адаптацию пролиты и опрысканы в соответствии с вариантами опыта: 1) дистиллированная вода (контроль); 2) 0,01%-ный раствор SiO₂; 3) 0,005%-ный раствор SiO₂; 4) 0,0025%-ный раствор SiO₂. При продолжительном проветривании микропарников у 28 % растений контрольного варианта было отмечено подсыхание листьев, которое отсутствовало при применении растворов оксида кремния. По визуальной диагностике самый привлекательный вид растений отмечен при поливе и опрыскивании 0,01%-ным оксидом кремния. Данная концентрация оксида кремния при адаптации растений, по сравнению с контролем, способствовала существенному увеличению высоты растений и длины побега на 50,0 и 42,6 мм соответственно (НСР₀₅ = 36,1 и 28,3) и тенденции увеличения количества листьев на 1,6 шт., массы побега в 2,0 и корней в 1,8 раза.

Ключевые слова: клональное микроразмножение, микрорастение, адаптация, морфометрические параметры, надземная часть, корневая система

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (регистрационный № НИОКТР 1021032422389-7-1.6.20).

Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела физики и химии наноматериалов Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН – главному научному сотруднику, доктору физико-математических наук Светлане Федоровне Ломаевой и старшему научному сотруднику, кандидату физико-математических наук Анатолию Анатольевичу Шакову – за предоставленный для исследований оксид кремния.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Леконцева Т. Г., Федоров А. В. Влияние оксида кремния (SiO₂) на адаптацию и микрорастений роз (Rose L.) сорта Reine Sammut. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):814-821.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.814-821>

Поступила: 14.09.2022

Принята к публикации: 23.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Influence of silicon oxide (SiO₂) on the adaptation of microplants of roses (Rose L.) cv. Reine Sammut

© 2022. Tatyana G. Lekontseva ✉, Alexander V. Fedorov

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

The research is devoted to the optimization of the method of adaptation of Reine Sammut microplants of roses using silicon oxide (SiO₂) by spraying and watering. For the experiment, there have been used standard microplants obtained by the method of clonal micropropagation, corresponding to GOST 29105.1-91-29105.3-91. Before planting for adaptation, the microplants were cleared from the lower leaves, the roots were washed from the agar nutrient medium in a decimolar solution of potassium permanganate and trimmed to 15-20 mm. Adaptation was carried out in micro-greenhouses on a peat nutrient substrate, made in accordance with TU 20.12.80 001 41790563 2020, in a light room (humidity 36 %, temperature 23...25 °C, light period duration 16 hours, illumination 8000 Lx). In order to disinfect the substrate, the biofungicide "Trichoderma veride" (1.5 ml/l) was used. Microplants after planting for adaptation were shed and sprinkled in accordance with the experiment options: 1) distilled water (control); 2) 0.01% SiO₂ solution; 3) 0.005% SiO₂ solution; 4) 0.0025% SiO₂ solution. With prolonged ventilation of micro-greenhouses, 28 % of plants in the control variant showed drying of the leaves, which did not occur when using silicon oxide solutions. According to visual diagnostics, the most attractive plant species was when watered and sprayed with 0.01% silica. This concentration of silicon oxide during plant adaptation compared to the control

contributed to a significant increase in plant height and shoot length by 50.0 mm and 42.6 mm, respectively ($LSD_{05} = 36.1$ and 28.3), and a tendency to increase the number of leaves by 1.6 pcs., shoot weight 2.0 and roots 1.8 times.

Keywords: clonal micropropagation, microplant, adaptation, morphometric parameters, aerial part, root system

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 1021032422389-7-1.6.20).

The authors express their gratitude to the staff of the Department of Physics and Chemistry of Nanomaterials of the Physical-Technical Institute of the UdmFRC, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, DSc in Physical and Mathematical Sciences Lomaeva Svetlana Fedorovna and senior researcher, PhD in Physical and Mathematical Sciences Anatoly Anatolyevich Shakov for providing silicon oxide for research.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Lekontseva T. G., Fedorov A. V. Influence of silicon oxide (SiO_2) on the adaptation of microplants of roses (*Rose* L.) cv. Reine Sammut. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(6):814-821. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.814-821>

Received: 14.09.2022

Accepted for publication: 23.11.2022

Published online: 16.12.2022

В современных условиях развития питомниководства все большее внимание уделяется наукоемкому способу вегетативного размножения растений – методу клонального микроразмножения. Микроразмножение проводят в стерильных условиях (*in vitro*) на специальных питательных средах со стимуляторами роста для получения и ускоренного размножения безвирусного посадочного материала¹. Метод клонального микроразмножения по сравнению с традиционными имеет множество преимуществ: высокий коэффициент размножения; производство микрорастений в течение всего года на сравнительно небольших лабораторных площадях; возможность планирования выхода посадочного материала к определенному сроку; низкая себестоимость при условии отработанной методики *in vitro* и т. д.

Во всем мире выращивается около 500 млн микрорастений в год, из них 350 млн шт. – декоративные [1].

Методика клонального микроразмножения состоит из четырех этапов: введение в стерильную культуру; собственно размножение; укоренение; адаптация микрорастений к нестерильным условиям окружающей среды.

Растения, выращенные в культуре *in vitro*, имеют ряд анатомических и физиологических особенностей, которые следует учитывать в технологии проведения операций. Для них характерны более мелкие и тонкие листья, слабо развитая кутикула, нарушенная работа устьиц, закрытая проводящая система из элементов ксилемы, тип питания чаще миксо- или гетеротрофный².

Процесс адаптации пробирочных растений к почвенным условиям является наиболее

важной, дорогостоящей и трудоемкой операцией. В конечном итоге от этого зависит результативность применения способа клонального микроразмножения. Нередко после пересадки микрорастений в почву наблюдается остановка в росте, опадение листьев и их гибель. Это связано, в первую очередь, с тем, что у пробирочных растений нарушена деятельность устьичного аппарата, вследствие чего происходит потеря большого количества воды. Во-вторых, у некоторых растений в условиях *in vitro* не происходит образования корневых волосков, что приводит, в свою очередь, к нарушению поглощения воды и минеральных солей из почвы. К факторам, влияющим на жизнеспособность микрорастений в период адаптации, относятся тип субстрата, влажность воздуха, инфекционная нагрузка, дисбаланс между листовым аппаратом и корневой системой [2].

С целью повышения эффективности адаптации применяется опрыскивание микрорастений различными регуляторами роста, в том числе содержащими кремний. Совместное применение «НВ-101» и «Рибав-Экстра» достоверно повышало приживаемость, выход адаптированных растений жимолости, улучшило показатели их роста и развития [2, 3]. Положительные результаты получены при использовании микроудобрения «Силиплант» при адаптации микрорастений жимолости синей [4, 5]. Согласно нашим исследованиям, некорневое применение «Силипланта» также способствовало повышению выхода адаптированных микрорастений розы сорта Анжелика по сравнению с контролем (вода) [6].

¹Дорошенко Т. Н. Биологические основы размножения плодовых растений. Краснодар: КубГАУ, 2015. 136 с.

²Князьков И. Е., Сахно О. Н. Клеточная инженерия растений: учебное пособие. Владимир: Аркаим, 2016. 84 с.

Кремний по распространенности на Земле является вторым элементом после кислорода. Содержание кремния в глинистых почвах достигает 35 %, в песчаных – 49 % [7]. Являясь макроэлементом зольного типа, кремний и его соединения входят в группу неотъемлемых компонентов любого растительного организма. Его содержание в золе культурных растений колеблется в среднем от 0,16 до 8,4 %. Наибольшее количество Si содержится в злаковых культурах, достигая 8-16 %, а в растениях риса – до 15-20 % SiO₂ [8].

Водорастворимые формы кремния широко применяются в сельском хозяйстве как за рубежом, так и в нашей стране. Это связано с их высокой доступностью для растений, удобством применения и низкой ценой. Они также менее токсичны для теплокровных и не летучи. Их можно использовать как для обработки семенного материала [9, 10], так и для некорневых подкормок в период вегетации [11, 12].

Почти все растения (за редким исключением) могут быть выращены без кремния в питательной среде, даже кремнефильные растения – рис и пшеница. Несмотря на меньшую в целом способность накапливать кремний у двудольных, его роль в жизнедеятельности и повышении устойчивости к стрессам у этих культур не менее велика. Кремний выполняет множество функций в растительном организме: улучшает рост, развитие, способствует улучшению качества продукции и повышению урожайности³. Одна из важных функций кремния в растениях – формирование и поддержка природной защиты от внешних неблагоприятных био- и абиотических факторов: загрязнения, болезней, насекомых-вредителей, заморозков, нехватки воды и питательных элементов и т. д. [13, 14, 15]. Выявлена устойчивость растений кукурузы к пятнистости листьев *macrospora*, вызываемой грибом *Stenocarpella macrospora*, которые получали кремний при поливе [16]. В почве силикат натрия увеличивал численность бактериальных сообществ, уменьшал количество и разнообразие грибов, снижал заболеваемость рассады огурцов фузариозным увяданием, улучшал ее

рост и повышал активность ферментов в корнях [17]. Согласно обзорной статье П. Каушик, Д. Саини (P. Kaushik, D. Saini) [18], включающей 149 источников, кремний способствует защите множества видов растений от неблагоприятных факторов: биотических (грибковые и бактериальные патогены, насекомые и нематоды); абиотических (засоление, засуха и другие стресс-факторы); токсичность металлов. Также отмечен положительный эффект кремнийсодержащих материалов на свойства почвы, состояние посевов и урожайность зерновых культур [19].

По общепринятой методике после высадки микрорастений на адаптацию необходимо поддерживать высокую влажность воздуха, так как велика вероятность их гибели вследствие транспирации. Для поддержания высокой влажности используют мелкодисперсное опрыскивание водой или туманообразующую установку. На этапе адаптации микрорастений важно оценить возможность применения стимуляторов роста, доступных и эффективных, которые бы повышали приживаемость, способствовали росту и развитию растений *ex vitro*. Важным моментом является наличие гетеротрофного питания у микрорастений в культуре *in vitro*. Применение кремнийсодержащих стимуляторов роста, как было отмечено выше, однозначно обладает положительным стимулирующим эффектом. Однако по составу это сложные многокомпонентные стимуляторы, в то время как в растворе оксида кремния основным действующим элементом является кремний. Его можно применять традиционно при поливе и путем опрыскивания. Некорневое использование обладает более быстрым эффектом. Кремний усваивается корневой системой (до 5 %) и максимально, до 30-40 %, усваивается листовой поверхностью⁴.

Цель исследований – оптимизация методики адаптации микрорастений роз с применением оксида кремния.

Новизна исследований. Показана эффективность применения в методике адаптации микрорастений роз 0,01%-го раствора оксида кремния путем полива и опрыскивания.

³Крамарев С. М., Полянчиков С. П., Ковбель А. И. Кремний и защита растений от стресса: теория, практика, перспективы. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrosil.ru/novoe-pokolenie-biologicheskii-aktivnyx-regulyatorov-rosta/> (дата обращения: 06.06.2022).

⁴Матыченков В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва – растение: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пушино, 2008. 34 с. URL: <https://new-disser.ru/avtoreferats/01004402860.pdf>

Материал и методы. Объектом исследования служили микрорастения розы сорта Reine Sammut, полученные методом клонального микроразмножения. Выбранный сорт относится к шрамам ремонтантного цветения, характеризуется высокой декоративностью и зимостойкостью, низкой поражаемостью болезнями и вредителями, его можно рекомендовать как высокоперспективный для озеленения городской среды. Для проведения опыта применяли стандартные микрорастения, соответствующие ГОСТ 29105.3-91⁵. Длина основного побега более 2 см, количество листьев и корней более 4 и 5 шт. соответственно.

Адаптация проводилась в микропарниках на торфяном питательном субстрате, изготовленном ООО «Русская торфяная компания» согласно ТУ 20.12.80-001-41790563-2020,



а / а

следующего состава: азота ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) – 120 мг/л; фосфора (P_2O_5) – 130; калия (K_2O) – 220 мг/л; рН солевой суспензии 5,5. Субстрат перед посадкой пролили раствором «Триходерма вериде» в дозе 1,5 мл/л. Микрорастения были очищены от нижних листьев, корни промыты от агаризованной питательной среды в децимолярном растворе марганцовокислого калия [6].

При подготовке микрорастений для высадки на адаптацию было проведено укорачивание корней до 15-20 мм. Длинные корни при высадке в грунт погибают, что не способствует повышению эффективности адаптации. Обрезка корней перед высадкой на адаптацию стимулирует развитие боковых корней. На рисунке 1, б приведен внешний вид разросшихся корней после обрезки одного корня.



б / б

Рис. 1. Внешний вид корней микрорастений роз в культуре *in vitro* (а) и разросшегося в почвогрунте одного корня через 28 суток после обрезки (б) /

Fig. 1. Appearance of the roots of rose microplants in *in vitro* culture (а) and one root that has grown in the soil 28 days after pruning (б)

После посадки в субстрат микрорастения проливали в дозе 1,5-2,0 мл/растение и опрыскивали до полного смачивания листьев водой (контроль) и растворами оксида кремния разных концентраций (согласно вариантам опыта).

Схема опыта: 1) дистиллированная вода (контроль); 2) 0,01%-ный раствор SiO_2 ; 3) 0,005%-ный раствор SiO_2 ; 4) 0,0025%-ный раствор SiO_2 .

Оксид кремния для исследований был предоставлен сотрудниками отдела физики и химии наноматериалов Физико-технического института УдмФИЦ УрО РАН.

Для поддержания влажности крышки микропарников ежедневно опрыскивали водой. В микропарники высаживали по 60 шт. микрорастений. Один микропарник – один вариант опыта. Опыт был заложен 25.02.2022 г., морфометрические данные сняты 25.03.2022 г.

Адаптацию проводили в условиях световой комнаты при температуре 23...25 °С, продолжительность светопериода – 16 часов, влажность – 36 %, освещенность – около 8000 Лк.

⁵ГОСТ 29105.3-91. Микрочеренки укорененные адаптированные. Технические условия. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 7 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/10346/>

Исследовали следующие параметры: успешность адаптации (%); длина побега и растения в целом (мм); количество развившихся листьев (шт.); масса надземной части и корней (г); количество (шт.) и длина корней (мм).



Рис. 2. Внешний вид адаптированных растений роз сорта Reine Sammut через 28 суток после высадки на адаптацию: 1 – вода (контроль); 2 – 0,01%-ный раствор SiO_2 ; 3 – 0,0025%-ный раствор SiO_2 ; 4 – 0,005%-ный раствор SiO_2 /

Fig. 2. Appearance of adapted Reine Sammut rose plants 28 days after planting for adaptation: 1 – water (control); 2 – 0.01% SiO_2 solution; 3 – 0.0025% SiO_2 solution; 4 – 0.005% solution of SiO_2

Успешность адаптации микрорастений роз во всех вариантах опыта составила 100%. По визуальной диагностике самый привлекательный вид растений отмечен при поливе и опрыскивании 0,01%-ным раствором оксида кремния. По сравнению с другими вариантами опыта растения были выше, имели плотный крепкий и более толстый стебель с кожистыми блестящими листьями.

В контроле (вода) и при применении меньших концентраций растворов оксида кремния (0,0025%-ного и 0,005%-ного) растения имели меньший габитус.

Согласно методике адаптации микро-растений, на первоначальном этапе высокую влажность в микропарниках поддерживали регулярным опрыскиванием крышек водой. В дальнейшем влажность уменьшали, растения постепенно приучали к условиям светокomнаты. По истечении 18 суток после выведения микрорастений роз на адаптацию крышки с микропарников удаляли на полтора часа. Отметим, в условиях светокomнаты влажность была 36%. В контроле (полив и опрыскивание водой) у 28% растений края нежных вегетирующих листьев свернулись вверх, частично засохли (рис. 2 (1)). В других вариантах опыта с применением оксида кремния растения не

Статистическая обработка данных проведена дисперсионным методом по Б. А. Доспехову⁶.

Результаты и их обсуждение. Внешний вид микропарников с адаптированными растениями приведен на рисунке 2.

пострадали. Согласно многочисленным исследованиям [13, 14, 15], кремний является анти-стрессовым элементом, способствующим повышению природной защиты растений к неблагоприятным условиям окружающей среды, в частности защите молодых листьев от подсыхания при низкой влажности воздуха адаптационной комнаты.

Полив и опрыскивание адаптируемых растений 0,01%-ным раствором оксида кремния по сравнению с контролем способствовали существенному увеличению высоты растений и длины побега соответственно на 50,0 и 42,6 мм ($\text{НСР}_{05} = 36,1$ и 28,3, табл. 1).

При более низких концентрациях оксида кремния данные параметры были лучше по сравнению с контролем, однако различия были несущественными.

Количество развившихся листьев при применении 0,01%-ного раствора оксида кремния, по сравнению с контролем, было больше на 1,6 шт., масса побега увеличилась в 2 раза. Корневая система адаптированных растений в вариантах с применением растворов оксида кремния в 0,01- и 0,005-процентных концентрациях имела тенденцию лучшего развития (табл. 2, рис. 3).

⁶Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.

URL: https://www.studmed.ru/view/dospheov-ba-metodika-polevogo-opyta_9733259bddc.html

Таблица 1 – Морфометрические параметры надземной части адаптированных растений роз сорта Reine Sammut /

Table 1 – Morphometric parameters of the aerial parts of adapted rose plants of the Reine Sammut variety

Вариант / Variant	Высота растений, мм / Plant height, mm	Длина побега, мм / Shoot length, mm	Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs.	Масса побега, г / Shoot mass, g
Вода (к) / Water (с)	71,0	41,4	8,8	0,3
Концентрация SiO ₂ , % / Concentration SiO ₂ , %				
0,01	121,0	84,0	10,4	0,6
0,005	85,2	62,0	8,4	0,5
0,0025	73,8	46,6	7,4	0,4
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	36,1	28,3	F _{факт.} < F ₀₅ / F _{факт.} < F ₀₅	

Таблица 2 – Морфометрические параметры корневой системы адаптированных растений роз сорта Reine Sammut /

Table 2 - Morphometric parameters of the root system of adapted rose plants of the variety Reine Sammut

Вариант / Variant	Масса корней, г / Mass of roots, g	Количество корней, шт. / Number of roots, pcs.	Средняя длина корня, мм / Average root length, mm
Вода (контроль) / Water (control)	0,133	9,6	59,0
Концентрация SiO ₂ , % / Concentration SiO ₂ , %			
0,01	0,236	10,0	57,9
0,005	0,204	10,4	59,2
0,0025	0,110	9,0	52,5
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		F _{факт.} < F ₀₅ / F _{факт.} < F ₀₅	

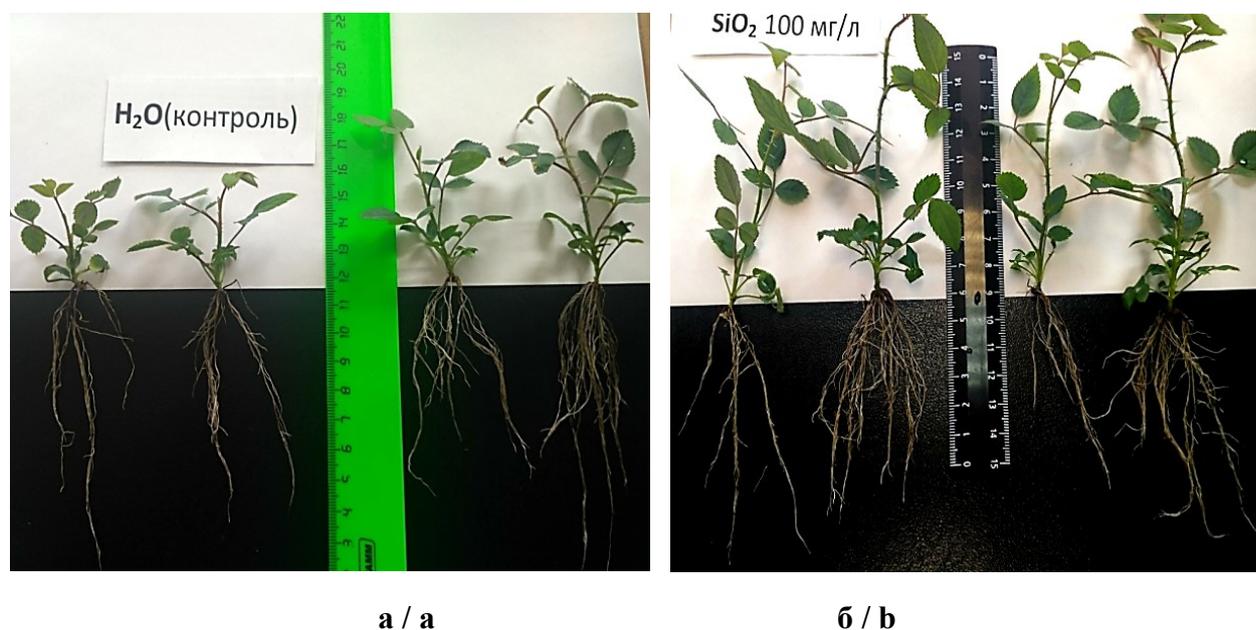


Рис. 3. Внешний вид адаптированных микрорастений роз сорта Reine Sammut через 28 суток после выведения на адаптацию: а) полив и опрыскивание водой (контроль); б) полив и опрыскивание 0,01%-ным раствором SiO₂ /

Fig. 3. Appearance of adapted microplants of Reine Sammut roses 28 days after introduction for adaptation, a) watering and spraying with water (control); b) watering and spraying with 0.01% SiO₂ solution

Применение 0,01%-го раствора оксида кремния, по сравнению с контролем, оказало лучшее стимулирующее действие на развитие корневой системы микрорастений, в частности масса корней увеличилась в 1,8 раза.

Кремний является одним из главных элементов, входящих в минеральный состав коронарных клеток корневого чехлика и выделяемых корневыми волосками слизей. Вследствие этого оптимизация кремниевого питания растений приводит к увеличению биомассы корней, их объема, общей и рабочей адсорбирующей поверхности [15].

Заключение. Таким образом, полив и опрыскивание 0,01%-ным раствором оксида кремния, по сравнению с контролем (дистиллированная вода), способствовали существенному увеличению высоты растений и длины побега, лучшей облиственности и повышению массы надземной части и корней в 2,0 и 1,8 раза соответственно. Использование оксида кремния при адаптации микрорастений на примере роз сорта Reine Sammut является перспективным: способствовало увеличению габитуса растений, повышало устойчивость листового аппарата к пониженной влажности адаптационной комнаты.

Список литературы

1. Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Кондратьева О. В., Федоров А. Д., Слинко О. В. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 88 с. Режим доступа: <https://rosinformagrotech.ru/data/download/5-rastenievodstvo/1358-analiz-sostoyaniya-i-perspektivnye-napravleniya-razvitiya-pitomnikovodstva-i-sadovodstva-2019>
2. Несмелова Н. П., Сомова Е. Н. Влияние состава субстрата и внекорневых обработок регуляторами роста на выход адаптированных растений жимолости синей. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2015;(3(36)):25-31. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24214885>
3. Маркова М. Г., Сомова Е. Н. Получение стандартного посадочного материала жимолости синей с использованием биотехнологических методов. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2018;(1(46)):43-51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32723610>
4. Высоцкий В. А., Валиков В. А. Клональное микроразмножение жимолости в производственных условиях. Садоводство и виноградарство. 2014;(6):18-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22762511>
5. Семенова Н. А., Акимова С. В., Аладина О. Н. Влияние препарата силиплант на рост и развитие ex vitro растений жимолости съедобной на этапах адаптации и доращивания. Плодоводство и ягодоводство России. 2015;41:325-329. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23589203>
6. Леконцева Т. Г., Худякова А. В., Исаева А. Н., Федоров А. В. Оптимизация некоторых этапов микрклонального размножения чайно-гибридной розы сорта Анжелика. Вестник Пермского университета. Серия биология. 2017;(3):240-244. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30592244>
7. Самсонова Н. Е. Кремний в растительных и животных организмах. Агрехимия. 2019;(1):86-96. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010071>
8. Козлов А. В., Куликова А. Х., Яшин Е. А. Роль и значение кремния и кремнийсодержащих веществ в агроэкосистемах. Вестник Мининского университета. 2015;(2(10)):23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23526053>
9. Ложникова В. Н., Сластия И. В. Рост растений ярового ячменя и активность эндогенных фитогормонов под действием кремния. Сельскохозяйственная биология. 2010;45(3):102-107.
10. Смывалов В. С., Захарова Д. А. Влияние кремнийсодержащих материалов на урожайность и качество продукции яровой пшеницы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(4(36)):55-59. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632776>
11. Зейслер Н. А. Влияние силатранов на прорастание семян хлебных злаков. Интеллектуальный потенциал XXI: ступени познания. 2016;(31):6-10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25501734>
12. Немцова А. В., Харин А. В., Разлуга И. А., Выхорь Т. П. Влияние аморфного диоксида кремния «Ковелос» на урожайность, морфометрические и физиологические показатели овощных культур. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2019;21(2):95-100. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39188901>
13. Безручко Е. В. Кремний – недооцененный элемент питания растений. Земледелие. 2020;(4):40-46. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10411>
14. Матыченков В., Бочарникова Е., Ходырев В. Кремний питает растения. Наука и жизнь. 2015;(8):28-31. Режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/26738/>
15. Козлов А. В., Уромова И. П., Фролов Е. А., Мозолева К. Ю. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов. Международный студенческий научный вестник. 2015;(1):39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23215679>
16. Hawerth C., Araujo L., Bermudez-Cardona M. Silicon-mediated maize resistance to macrospora leaf spot. Tropical Plant Pathology. 2018;44:192-196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0247-8>
17. Zhou X., Shen Y., Fu X., Wu F. Application of Sodium Silicate Enhances Cucumber Resistance to Fusarium Wilt and Alters Soil Microbial Communities. Frontiers in Plant Science. 2018;9:624. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00624>
18. Kaushik P., Saini D. Silicon as a Vegetable Crops Modulator – A Review. Plants. 2019;8(6):148. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8060148>
19. Куликова А. Х., Козлов А. В., Смывалов В. С. Влияние кремнийсодержащих материалов на свойства почвы, состояние посевов и урожайность зерновых культур в условиях Среднего Поволжья. Агрехимия. 2019;(4):60-69. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040082>

References

1. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Kondratieva O. V., Fedorov A. D., Slinko O. V. Analysis of the state and perspective directions of development of nursery and horticulture: scientific. analyte. review. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2019. 88 p. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/download/5-rastenievodstvo/1358-analiz-sostoyaniya-i-perspektivnye-napravleniya-razvitiya-pitomnikovodstva-i-sadovodstva-2019>
2. Nesmelova N. P., Somova E. N. Influence of growing medium composition and leaf fertilizing with growth regulators on adaptive sweet-berry honeysuckle yield. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2015;(3(36)):25-31. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24214885>
3. Markova M. G., Somova E. N. Standard planting stock of sweet-berry honeysuckle applying biotechnological methods. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2018;1(46):43-51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32723610>
4. Vysotskiy V. A., Valikov V. A. Clonal micropropagation of honey suckle for commercial purposes. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2014;(6):18-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22762511>
5. Semenova N. A., Akimova S. V., Aladina O. N. Siliplant influence on ex vitro honeysuckle growth and development on adaptation stage and following growing. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 2015;41:325-329. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23589203>
6. Lekontseva T. G., Khudyakova A. V., Isaeva A. N., Fedorov A. V. Optimization of some stages of microclonal propagation of a tea-hybrid rose of angelic sort. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya biologiya* = Bulletin of Perm University. Biology. 2017;(3):240-244. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30592244>
7. Samsonova N. E. Silicon in soils, plant and animal organisms. *Agrokimiya*. 2019;(1):86-96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119010071>
8. Kozlov A. V., Kulikova A. Kh., Yashin E. A. Role and value of silicon and siliceous substances in agroecosystems. *Vestnik Mininskogo universiteta* = Vestnik of Minin University. 2015;(2(10)):23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23526053>
9. Lozhnikova V. N., Slastya I. V. The growth of spring barley plants and the activity of endogenous phytohormones under the action of silicon. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2010;45(3):102-107. (In Russ.).
10. Smyalov V. S., Zakharova D. A. Influence of silicon-containing materials on yield and product quality of spring wheat. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2016;(4(36)):55-59. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27632776>
11. Zeysler N. A. The effect of silatrans on the germination of grain seeds. *Intellektual'nyy potentsial XXI: stupeni poznaniya*. 2016;(31):6-10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25501734>
12. Nemtsova A. V., Kharin A. V., Razlugo I. A., Vykhor' T. P. The influence of amorphous silicon dioxide "Kovelos" on yield and growth characteristics of some crops. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019;21(2):95-100. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39188901>
13. Bezruchko E. V. Silicon is an underestimated plant nutrient. *Zemledelie*. 2020;(4):40-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10411>
14. Matychenkov V., Bocharnikova E., Khodyrev V. Silicon nourishes plants. *Nauka i zhizn'*. 2015;(8):28-31. (In Russ.). URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/26738/>
15. Kozlov A. V., Uromova I. P., Frolov E. A., Mozoleva K. Yu. Physiological value of silicon in ontogenesis of cultural plants and at their protection against phytopathogens. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*. 2015;(1):39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23215679>
16. Hawerth C., Araujo L., Bermudez-Cardona M. Silicon-mediated maize resistance to macrospora leaf spot. *Tropical Plant Pathology*. 2018;44:192-196. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0247-8>
17. Zhou X., Shen Y., Fu X., Wu F. Application of Sodium Silicate Enhances Cucumber Resistance to Fusarium Wilt and Alters Soil Microbial Communities. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:624. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00624>
18. Kaushik P., Saini D. Silicon as a Vegetable Crops Modulator – A Review. *Plants*. 2019;8(6):148. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8060148>
19. Kulikova A. Kh., Kozlov A. V., Smyalov V. S. Influence of silicon-containing materials on soil properties, crop condition and yield of grain crops in the conditions of middle Volga region. *Agro-khimiya*. 2019;(4):60-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119040082>

Сведения об авторах

✉ **Леконцева Татьяна Германовна**, научный сотрудник, отдел интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6659-0504>, e-mail: t.lekontseva@udman.ru

Федоров Александр Владимирович, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, отдел интродукции и акклиматизации растений, ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2759-2037>

Information about authors

✉ **Tatyana G. Lekontseva**, researcher, Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the RAS, 34, T. Baramzina St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6659-0504>, e-mail: t.lekontseva@udman.ru

Alexander V. Fedorov, DSc in Agricultural Science, chief researcher, Department of Introduction and Acclimatization of Plants, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the RAS, 34, T. Baramzinoj St., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2759-2037>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.822-831>

УДК 632.3:632.981:634.13

Действие препарата Фармайод при оздоровлении растений груши от вирусов методом термотерапии

© 2022. М. Т. Упадышев ✉

ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», г. Москва, Российская Федерация

Основными методами оздоровления плодовых культур от вирусов в настоящее время являются суховоздушная термотерапия, культура меристем и хемотерапия. Использование комплекса физических и химических методов позволяет повысить эффективность оздоровления. Совершенствование методов оздоровления необходимо осуществлять применительно к определенным видам вирусов, биологическим особенностям культуры и сорта. Цель исследований – изучение действия препарата Фармайод на биометрические, физиологические параметры и выход свободных от основных вредоносных вирусов растений груши в процессе суховоздушной термотерапии. Оздоровление растений груши сортов Летняя Забава, Золотой Витязь, гибридов Р-11-9, Р-10-3 и Р-2-4 от вредоносных латентных вирусов борозчатости древесины яблони (ASGV), ямчатости древесины яблони (ASPV), хлоротической пятнистости листьев яблони (ACLSV), мозаики яблони (ApMV) проводили в 2020-2021 гг. при температуре 38 °С в течение 3 месяцев с применением термокамеры конструкции ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Биометрические параметры у растений груши зависели от сортовых особенностей, длительности терапии и концентрации препарата Фармайод. На большинстве изученных сортов и форм через 3 месяца термотерапии препарат Фармайод в концентрации 1 мл/л способствовал увеличению длины одного побега растений груши в 1,4-3,1 раза по сравнению с контролем. В условиях термокамеры по комплексу показателей наибольшей жаростойкостью характеризовались гибриды груши Р-11-9 и Р-10-3, средней жаростойкостью – сорта Летняя Забава и Золотой Витязь, низкой – гибрид Р-2-4. Для более жаростойких сортов и форм был характерен более сдержанный рост побегов в длину по сравнению с менее жаростойкими. Установлена средняя отрицательная существенная на 5%-ном уровне значимости корреляция между содержанием воды в листьях и длиной одного побега ($r = -0,52$). Выход свободных от вирусов растений груши зависел от вида вируса. Выход свободных от 4 основных вредоносных вирусов растений груши в результате суховоздушной термотерапии без применения препарата Фармайод составил 50 %, с применением – 60 %.

Ключевые слова: *Pyrus comminis* L., вирусные болезни, суховоздушная термотерапия, хемотерапия

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (тема № 0432-2021-0002).

Автор благодарит старших научных сотрудников ФГБНУ ФНЦ Садоводства Н. Ю. Свистуну и Н. Ю. Джура за помощь в выполнении данной работы.

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Упадышев М. Т. Действие препарата Фармайод при оздоровлении растений груши от вирусов методом термотерапии. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):822-831.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.822-831>

Поступила: 29.07.2022

Принята к публикации: 17.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

The effect of the Pharmaiod preparation in the virus elimination of pear plants using the thermotherapy method

© 2022. Mikhail T. Upadyshev ✉

Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russian Federation

Currently, the main methods of virus elimination of fruit crops are dry-air thermotherapy, meristem culture and chemotherapy. The use of a complex of physical and chemical methods makes it possible to increase the efficiency of virus elimination. Improving the methods of recovery must be carried out in relation to certain types of viruses, the biological characteristics of the crop and variety. The purpose of the research is to study the effect of the Pharmaiod preparation on biometric, physiological parameters and the release of harmful viruses-free pear plants in the process of dry-air thermotherapy. Improvement of pear plants of varieties Letnyaya Zabava, Zolotoy Vityaz, hybrids R-11-9, R-10-3 and R-2-4 from harmful latent viruses of Apple stem grooving virus (ASGV), Apple stem pitting virus (ASPV), Apple chlorotic leaf spot virus (ACLSV), Apple mosaic virus (ApMV) were carried out in 2020-2021 at the temperature of 38 °C for 3 months using a thermal chamber designed by the Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery. Biometric parameters

in pear plants depended on varietal characteristics, the duration of therapy and the concentration of the Pharmaiod preparation. In most of the varieties and forms studied, after 3 months of thermotherapy, the Pharmaiod preparation at a concentration of 1 ml/l contributed to an increase in the length of 1 shoot of pear plants by 1.4-3.1 times compared with the control. Under the conditions of a thermal chamber, according to a set of indicators, pear hybrids R-11-9 and R-10-3 were characterized by the highest heat resistance; medium heat resistance was shown by Letnyaya Zabava and Zolotoy Vityaz varieties; low – by R-2-4 hybrid. Higher heat-resistant varieties and forms were characterized by a more restrained growth of shoots in length compared to lower heat-resistant ones. An average negative significant correlation at the 5% significance level was established between the water content in the leaves and the length of 1 shoot ($r = -0.52$). The yield of virus-free pear plants depended on the type of virus. The yield of pear plants free from 4 major harmful viruses as a result of dry-air thermotherapy without the use of the Pharmaiod preparation was 50 %, with the use of the drug it was 60 %.

Keywords: *Pyrus communis L., viral diseases, dry-air thermotherapy, chemotherapy*

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Organization "Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery" (theme No. 0432-2021-0002).

The author thanks N. Yu. Svistunova and N. Yu. Jura, senior researchers of FSBSO ARHC BAN for their help in this work.

The author is grateful to reviewers for their contribution to expert assessment of the work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Upadyshev M. T. The effect of the Pharmaiod preparation in the virus elimination of pear plants using the thermotherapy method. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(6):822-831. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.822-831>

Received: 29.07.2022

Accepted for publication: 17.11.2022

Published online: 16.12.2022

Груша является ценной культурой, плоды которой характеризуются высокими вкусовыми, диетическими качествами и содержат биологически активные соединения фенольной природы (в сумме 100-250 мг%), включая арбутин (6,1-12,0 %) и хлорогеновую кислоту (108-124 мг%) [1].

В настоящее время актуальной задачей является увеличение обеспеченности населения плодовой продукцией отечественного производства. В Российской Федерации на долю семечковых культур в структуре площадей плодовых и ягодных насаждений приходится 48,7 %, из них яблоня занимает 42,2 %, груша – 6,1 % [2, 3]. При этом важной задачей является увеличение доли отечественных сортов в структуре промышленных насаждений, в которой груша занимает 30,9 % (на зарубежные сорта приходится 52,2 %, несортные насаждения – 16,9 %) [4].

Значительный вред груше наносят латентные вирусы ямчатости древесины яблони (ASPV), борозчатости древесины яблони (ASGV), хлоротической пятнистости листьев яблони (ACLSV), мозаики яблони (ArMV) [5, 6]. Груша относится к культурам, насаждения которой характеризуются высокой распространенностью латентных вирусов. В условиях Московской области распространенность вирусов на растениях груши составляет 48 % с преобладанием вредоносных ASPV (31,6 %) и ASGV (21 %) [7]. Поэтому актуальна разработка

высокоэффективных технологий производства оздоровленного посадочного материала груши [8].

Основными методами оздоровления плодовых культур от вирусов в настоящее время являются суховоздушная термотерапия, культура меристематических верхушек и хемотерапия *in vitro*¹ [6]. Суховоздушную термотерапию проводят путем обработки растений воздухом с температурой 38 °С в течение 1-3 месяцев в камерах с контролируемыми условиями температуры, влажности и освещенности [9, 10].

Выход здоровых растений при термотерапии зависит от свойств вирусов (в первую очередь, их термостабильности), длительности обработки, адаптационной способности растений к высоким температурам [11]. Увеличение длительности термотерапии до 2-3 месяцев необходимо при оздоровлении от термотолерантных вирусов ASPV и ASGV, однако такое длительное высокотемпературное воздействие приводит к появлению некрозов листьев и побегов, увеличению гибели растений, снижению приживаемости верхушек после прививки на семенные подвои [6, 12].

Сорта груши характеризуются различной жаростойкостью. В экспериментах Б. Б. Корнилова с соавторами пять форм груши отличались средней устойчивостью к высоким температурам, одна форма – низкой [13]. Из 8 сортов и форм груши высокой жаростойкостью выделялись 3, средней – 2 и 3 – низкой [14].

¹Упадышев М. Т., Метлицкая К. В., Донецких В. И., Борисова А. А., Селиванов В. Г., Пискунов О. А., Юдина С. Н. Технология получения оздоровленного от вирусов посадочного материала плодовых и ягодных культур: методические указания. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 92 с.

В последние годы появились препараты, способные оказывать антивирусное действие на интактные растения. Положительные результаты достигнуты при использовании препарата Фармайод в борьбе с вирусами на яблоне [15], винограде [16], картофеле [17], томате [18]. Обработка деревьев сливы в условиях открытого грунта препаратом Фармайод приводила к снижению индекса зараженности вирусом некротической кольцевой пятнистости косточковых (PNRSV) в 14,9-17,6 раза, ACLSV – в 2,4 раза, скручивания листьев черешни (CLRV) – в 2,8 раза, карликовости сливы (PDV) – в 5,8 раза по сравнению с необработанными деревьями [19]. Однако действие препарата Фармайод в отношении растений груши в условиях термокамеры и латентных вирусов изучено недостаточно.

Цель исследований – изучение действия препарата Фармайод на биометрические, физиологические параметры и выход свободных от основных вредоносных вирусов растений груши в процессе суховоздушной термотерапии.

Новизна исследований заключается в изучении параметров жаростойкости и эффективности оздоровления от вирусов растений груши разных сортов в зависимости от применения термо- и хемотерапии.

Материал и методы. Суховоздушную термотерапию растений груши сортов Летняя Забава, Золотой Витязь, гибридов Р-11-9, Р-10-3 и Р-2-4 осуществляли в 2020-2021 гг. при температуре 38 °С в течение 3 месяцев по методике². Оздоровление растений груши проводили от вредоносных латентных вирусов бороздчатости древесины яблони (ASGV), ямчатости древесины яблони (ASPV), хлоротической пятнистости листьев яблони (ACLSV), мозаики яблони (ArMV) с применением термокамеры конструкции ФГБНУ ФНЦ Садоводства с капельным поливом, системой увлажнения воздуха и освещением светодиодными светильниками (рис. 1).

В процессе термотерапии применяли обработку растений груши препаратом Фармайод производства ООО «Фармбиомед»³ в концентрациях 0,5 и 1 мл/л. После завершения термотерапии верхушки побегов груши величиной 2-3 см прививали на свободные от вирусов семенные подвои.



Рис. 1. Растения груши в процессе суховоздушной термотерапии /

Fig. 1. Pear plants in the process of dry-air thermotherapy

Растения тестировали на наличие вирусов методом ИФА с применением диагностических наборов фирмы Loewe (Германия) в соответствии с инструкцией производителя перед началом термотерапии и через 1 год после прививки верхушек. В качестве образцов использовали листья. Регистрацию результатов ИФА проводили на планшетном фотометре Stat Fax 2100 при длине волны 405 нм. Индекс зараженности определяли как отношение экстинкции образца (A_o) к экстинкции серонегативного контроля (A_k): при A_o/A_k > 2,0 образец считали зараженным вирусом, 1,60-1,99 – требующим дополнительной проверки на наличие вируса, менее 1,59 – свободным от вируса.

Содержание воды в листьях, водный дефицит и восстановление оводненности определяли по методикам [20, 21]. В качестве образцов использовали листья со средней части побега растений в условиях термокамеры. Показатели жаростойкости определяли после моделирования теплового шока в течение 1,5 ч при температуре 50 °С в условиях термостата ТС-1/80 СПУ. Число листьев в пробе – 3, число повторностей – 3.

²Упадышев М. Т., Метлицкая К. В., Донецких В. И., Борисова А. А., Селиванов В. Г., Пискунов О. А., Юдина С. Н. Указ. соч.

³Фармайод, 10%. Официальный сайт ООО НПЦ «Фармбиомед». [Электронный ресурс]
URL: <https://pharmbiomed.ru/product/farmajod-10> (дата обращения: 15.06.2022).

Результаты и их обсуждение. Биометрические параметры у растений груши зависели от сортовых особенностей, длительности терапии и концентрации препарата Фармайод. Число побегов у груши сорта Золотой Витязь

через 2 месяца термотерапии в вариантах с обработкой препаратом Фармайод было меньше по сравнению с контролем, а через 3 месяца терапии существенно не зависело от концентрации препарата (табл. 1).

Таблица 1 – Число побегов у растений груши в зависимости от длительности суховоздушной термотерапии и действия препарата Фармайод, шт. /

Table 1 – The number of shoots in pear plants depending on the duration of dry-air thermotherapy and the action of the Pharmaiod preparation, pcs.

Сорт, гибрид / Variety, hybrid	Длительность терапии, мес. / Duration of therapy, months	Концентрация препарата Фармайод, мл/л / Pharmaiod concentration, ml/l			HCP ₀₅ / LSD ₀₅
		0 (контроль) / 0 (control)	0,5	1,0	
Золотой Витязь / Zolotoy Vityaz	2	5	4	3	0,5
	3	5	4	4	F _φ < F ₀₅
Летняя Забава / Letnyaya Zabava	2	2	3	6	0,7
	3	4	5	3	0,4
P-10-3 / R-10-3	2	4	5	4	F _φ < F ₀₅
	3	6	5	4	0,6
P-11-9 / R-11-9	2	4	6	5	0,5
	3	6	3	6	0,7
P-2-4 / R-2-4	2	5	3	4	0,4
	3	7	3	1	0,6

У сорта Летняя Забава по мере увеличения длительности терапии отмечали увеличение числа побегов в контроле и при обработке низкой (0,5 мл/л) концентрацией препарата Фармайод, увеличение его концентрации до 1 мл/л приводило к уменьшению числа побегов в 2 раза вследствие их отмирания.

У растений груши гибридов P-10-3, P-11-9 и P-2-4 в контроле с увеличением длительности термотерапии с 2 до 3 месяцев происходило увеличение числа побегов в 1,4-1,5 раза. У гибрида P-10-3 в вариантах с Фармайодом число побегов не изменялось в зависимости от срока терапии. У гибрида P-11-9 число побегов при увеличении длительности терапии снизилось в 2 раза в варианте с концентрацией Фармайода 0,5 мл/л и увеличилось на 20 % в варианте с 1 мл/л препарата. У гибрида P-2-4 отмечено значительное (в 4 раза) снижение числа побегов в варианте с 1 мл/л Фармайода при терапии на протяжении 3 месяцев по сравнению с 2 месяцами.

Препарат Фармайод в испытанных концентрациях ингибировал суммарный прирост побегов у растений груши сорта Золотой Витязь

на протяжении всего процесса термотерапии, причем приросты почти не изменялись в зависимости от длительности терапии (табл. 2).

У сорта Летняя Забава через 3 месяца терапии различия между приростами при использовании разных концентраций Фармайода в сравнении с контролем отсутствовали. В отличие от сорта Золотой Витязь, у растений гибрида P-10-3 Фармайод в обеих концентрациях способствовал увеличению прироста побегов. У растений гибрида P-2-4 Фармайод в концентрации 1 мл/л приводил к снижению прироста побегов в 2,6-4,0 раза по сравнению с контролем, в концентрации 0,5 мл/л влияния на данный показатель не оказывал, у гибрида P-11-9 максимальный прирост побегов отмечен в варианте с концентрацией Фармайода 1 мл/л.

Наибольшую длину одного побега через 3 месяца термотерапии у сорта Летняя Забава и трех гибридов обеспечивал препарат Фармайод в концентрации 1 мл/л (увеличение в 1,4-3,1 раза по сравнению с контролем), у сорта Золотой Витязь различия между вариантами отсутствовали (табл. 3).

Таблица 2 – Суммарный прирост побегов у растений груши в зависимости от длительности суховоздушной термотерапии и действия препарата Фармайод, см /

Table 2 – The total increase in the shoots of pear plants, depending on the duration of dry-air thermotherapy and the action of the Pharmaiod preparation, cm

Сорт, гибрид / Variety, hybrid	Длительность терапии, мес. / Duration of therapy, months	Концентрация препарата Фармайод, мл/л / Pharmaiod concentration, ml/l			HCP ₀₅ / LCD ₀₅
		0 (контроль) / 0 (control)	0,5	1,0	
Золотой Витязь / Zolotoy Vityaz	2	75,9	55,3	55,6	8,9
	3	73,0	56,0	57,0	7,6
Летняя Забава / Letnyaya Zabava	2	33,0	38,3	25,2	4,1
	3	20,0	22,0	21,0	F _φ < F ₀₅
P-10-3 / R-10-3	2	23,1	32,2	53,3	6,2
	3	25,0	38,0	52,0	5,5
P-11-9 / R-11-9	2	20,1	42,0	62,5	7,9
	3	22,0	8,0	60,0	7,2
P-2-4 / R-2-4	2	48,0	39,7	11,9	5,6
	3	51,0	49,0	20,0	5,8

Таблица 3 – Длина одного побега у растений груши в зависимости от длительности суховоздушной термотерапии и действия препарата Фармайод, см /

Table 3 – The length of one shoot in pear plants, depending on the duration of dry-air thermotherapy and the action of the Pharmaiod preparation, cm

Сорт, гибрид / Variety, hybrid	Длительность терапии, мес. / Duration of therapy, months	Концентрация препарата Фармайод, мл/л / Pharmaiod concentration, ml/l			HCP ₀₅ / LCD ₀₅
		0 (контроль) / 0 (control)	0,5	1,0	
Золотой Витязь / Zolotoy Vityaz	2	15,2	13,8	18,5	2,0
	3	14,6	14,0	14,3	F _φ < F ₀₅
Летняя Забава / Letnyaya Zabava	2	16,5	12,8	4,2	1,8
	3	5,0	4,4	7,0	0,6
P-10-3 / R-10-3	2	5,8	6,4	13,3	1,5
	3	4,2	7,6	13,0	1,2
P-11-9 / R-11-9	2	5,0	7,0	12,5	1,0
	3	3,7	2,7	10,0	0,7
P-2-4 / R-2-4	2	9,6	13,2	3,0	1,4
	3	7,3	16,3	20,0	2,2

В контроле при увеличении длительности терапии с 2 до 3 месяцев у всех сортов и гибридов происходило снижение средней длины одного побега, тогда как применение Фармайода в концентрации 1 мл/л у большинства форм приводило к увеличению данного показателя или отсутствию значительных различий.

Установлена средняя положительная ($r = 0,48$) существенная на 5%-ном уровне значимости корреляция между концентрацией Фармайода и длиной одного побега. Корре-

ляция между концентрацией Фармайода и числом побегов, а также суммарной длиной побегов была слабой несущественной.

Следовательно, на большинстве изученных сортов и форм препарат Фармайод в концентрации 1 мл/л оказывал положительное действие на длину одного побега у растений груши.

Для нормального функционирования растений в условиях высокотемпературного стресса важным критерием является жаро-

стойкость. В условиях термокамеры по комплексу показателей наибольшей жаростойкостью характеризовались гибриды груши

P-11-9 и P-10-3, средней жаростойкостью – сорта Летняя Забава и Золотой Витязь, низкой – гибрид P-2-4 (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели жаростойкости растений груши в зависимости от концентрации препарата Фармайод в процессе сувоздушной термотерапии, % / Table 4 – Indicators of heat resistance of pear plants depending on concentration of the Pharmaiod preparation in the process of dry-air thermotherapy, %

Сорт, гибрид / Variety, hybrid	Содержание воды в листьях / Water content in leaves			Водный дефицит после теплового шока / Water deficit after heat shock			Восстановление оводненности после теплового шока / Restoration of water content after heat shock		
	0 (контроль) / 0 (control)	0,5*	1,0*	0 (контроль) / 0 (control)	0,5*	1,0*	0 (контроль) / 0 (control)	0,5*	1,0*
Золотой Витязь / Zolotoy Vityaz	42,4	53,7	31,2	42,4	45,3	39,0	33,0	55,2	20,0
Летняя Забава / Letnyaya Zabava	43,4	47,9	36,6	56,0	69,9	68,4	43,2	50,7	40,0
P-10-3 / R-10-3	62,7	57,8	44,5	52,8	49,3	37,9	69,9	61,5	36,6
P-11-9 / R-11-9	63,7	57,5	63,3	51,6	51,2	61,6	80,8	63,3	75,2
P-2-4 / R-2-4	33,3	32,3	37,2	38,8	37,9	54,9	23,2	25,0	38,3

*Концентрация препарата Фармайод, мл/л / *Concentration of the Pharmaiod preparation, ml/l

Эффективность обработки йодсодержащим препаратом в концентрации 0,5 мл/л зависела от сортовых особенностей: у сорта Золотой Витязь жаростойкость повышалась, гибрид P-11-9 – снижалась, сорта Летняя Забава, гибридов P-10-3, P-2-4 – существенное влияние отсутствовало. Увеличение концентрации Фармайода до 1 мл/л приводило к снижению жаростойкости у сортов Золотой Витязь, Летняя Забава, гибридов P-10-3, P-11-9 и повышению жаростойкости у гибрида P-2-4 по сравнению с контролем.

Установлена средняя отрицательная существенная на 5%-ном уровне значимости корреляция между содержанием воды в листьях и длиной одного побега ($r = -0,52$), между водным дефицитом и длиной одного побега

($r = -0,55$), между восстановлением оводненности и длиной одного побега ($r = -0,58$). Следовательно, для более жаростойких сортов и форм характерен более сдержанный рост побегов в длину.

На растениях груши сорта Летняя Забава Фармайод в концентрации 0,5 мл/л в условиях термокамеры стимулировал открытие устьиц (рис. 2), в то время как увеличение концентрации препарата до 1 мл/л приводило к их закрытию (рис. 3).

Выход свободных от вирусов растений груши зависел от вида вируса. Наибольший выход свободных растений (100 % в вариантах с Фармайодом вне зависимости от его концентрации) отмечен для термолабильного вируса ACLSV (табл. 5).

Таблица 5 – Выход свободных от вирусов растений груши после термотерапии через 1 год после прививки в зависимости от концентрации Фармайода (в среднем по 5 сортам и гибридным формам) / Table 5 – The yield of virus-free pear plants after the thermotherapy method 1 year after ingrafting, depending on the concentration of Pharmaiod preparation (average for 5 varieties and hybrid forms)

Концентрация препарата, мл/л / Pharmaiod concentration, ml/l	Число тест-растений, шт / Number of test plants, pcs	ACLSV		ASPV		ASGV		ApMV		Все вирусы / All viruses	
		ЧР* / NP*	%	ЧР* / NP*	%						
0 (контроль) / 0 (control)	6	5	83,3	4	66,7	5	83,3	5	83,3	3	50,0
0,5	5	5	100	4	80,0	5	100	4	80,0	3	60,0
1,0	5	5	100	4	80,0	3	60,0	4	80,0	3	60,0

ЧР* – число свободных от вируса растений, шт. / NP* – number of virus-free plants, pcs.

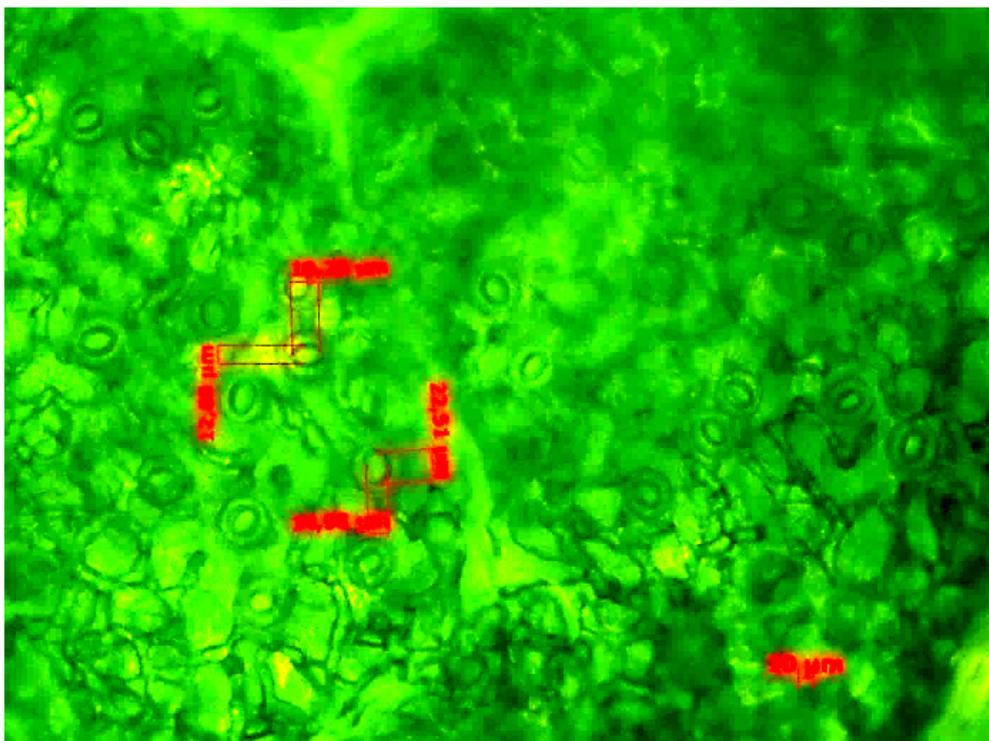


Рис. 2. Открытые устьица на листе груши сорта Летняя Забава в условиях термокамеры под действием препарата Фармайод в концентрации 0,5 мл/л (увеличение x20, микроскоп Axioscop 40) /
Fig. 2. Open stomata on a pear leaf of the Letnyaya Zabava variety in a thermal chamber under the action of the Pharmaiod preparation at a concentration of 0.5 ml/l (x20 magnification, Axioscop 40 microscope)

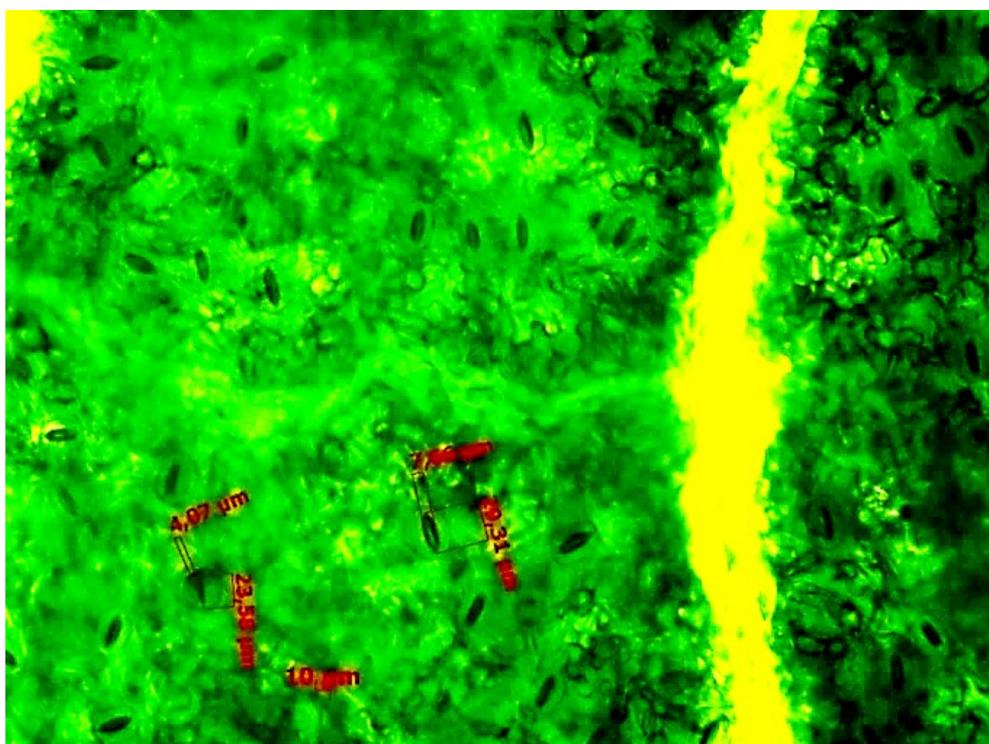


Рис. 3. Закрытые устьица на листе груши сорта Летняя Забава в условиях термокамеры под действием препарата Фармайод в концентрации 1 мл/л (увеличение x20, микроскоп Axioscop 40) /
Fig. 3. Closed stomata on a pear leaf of the Letnyaya Zabava variety in a thermal chamber under the action of the Pharmaiod preparation at a concentration of 1 ml/l (x20 magnification, Axioscop 40 microscope)

От вируса АрMV удалось освободить относительно высокое число растений во всех вариантах опыта (80,0-83,3 %) в связи с его термолабильностью. Наименьший выход свободных от вируса растений в контроле (без препарата) отмечен в отношении вируса ASPV (66,7 %), что обусловлено термостабильностью данного вируса. Вместе с тем в вариантах с Фармайодом выход свободных от вируса ASPV растений груши увеличился на 13,3 % по сравнению с контролем. Выход свободных от вируса ASGV растений варьировал от 60 до 100 % в зависимости от варианта опыта. В целом с использованием метода суховоздушной термотерапии без применения препарата Фармайод выход свободных от 4 основных вредоносных вирусов растений составил 50 %, с применением препарата – 60 %.

Механизм действия термотерапии связан с замедлением репликации вирусов в тканях растений, нарушением их транспортных функций и усилением деградации вирусных частиц [6, 11, 12]. Поэтому в верхушках побегов концентрация вирусов значительно снижается, а иногда происходит полная элиминация вирусов.

Выводы. 1. Биометрические параметры у растений груши зависели от сортовых особенностей, длительности терапии и концентрации препарата Фармайод. На большинстве изученных сортов и форм препарат Фармайод в концентрации 1 мл/л оказывал положительное

действие на длину одного побега у растений груши. Установлена средняя положительная корреляция между концентрацией Фармайода и длиной одного побега.

2. В условиях термокамеры по комплексу показателей наибольшей жаростойкостью характеризовались гибриды груши Р-11-9 и Р-10-3, средней жаростойкостью – сорта Летняя Забава и Золотой Витязь, низкой – гибрид Р-2-4.

3. Для более жаростойких сортов и форм характерен более сдержанный рост побегов в длину по сравнению с менее жаростойкими. Установлена средняя отрицательная существенная на 5%-ном уровне значимости корреляция между содержанием воды в листьях и длиной одного побега ($r = -0,52$), между водным дефицитом и длиной одного побега ($r = -0,55$), между восстановлением оводненности и длиной одного побега ($r = -0,58$).

4. Выход свободных от вирусов растений груши зависел от вида вируса. Наибольший выход свободных от вирусов растений отмечен для термолабильных ACLSV (83,3-100 %) и АрMV (80-83,3 %), меньший выход – для термостабильных вирусов ASPV (66,7-80 %) и ASGV (60-100 %). Выход свободных от 4 основных вредоносных вирусов растений груши в результате суховоздушной термотерапии без применения препарата Фармайод составил 50 %, с применением – 60 %.

Список литературы

1. Савельев Н. И., Макаров В. Н., Чивилев В. В., Акимов М. Ю. Груша. Мичуринск: ООО рекламно-издательская фирма «Кварта» (Воронеж), 2006. 160 с.
2. Куликов И. М., Минаков И. А. Развитие садоводства в России: тенденции, проблемы, перспективы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017;(1(56)):9-15. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28318036>
3. Куликов И. М., Минаков И. А. Проблемы и перспективы развития садоводства в России. *Садоводство и виноградарство*. 2018;(6):40-46. DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2018-6-40-46>
4. Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Кондратьева О. В., Федоров А. Д., Слинько О. В. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: научный аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 88 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41204680>
5. Саунина И. И., Упадышев М. Т., Гребнева Е. В. Распространенность и вредоносность вирусов на груше в условиях Московской области. *Садоводство и виноградарство*. 2008;(3):16-19.
6. Приходько Ю. Н., Магомедов У. Ш. Вирусы семечковых и косточковых плодовых культур: монография. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2011. 468 с.
7. Петрова А. Д., Упадышев М. Т., Метлицкая К. В. Распространенность латентных вирусов в насаждениях груши в условиях Московской области. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2018;5(1):99-101. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35267970>
8. Куликов И. М., Завражнов А. И., Упадышев М. Т., Борисова А. А., Тумаева Т. А. Научно-методические основы индустриальной агротехнологии производства сертифицированного посадочного материала плодовых и ягодных культур в Российской Федерации. *Садоводство и виноградарство*. 2018;(1):30-35. DOI: <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.1.10500>
9. Зиза Р. Итальянская система сертификации. Добровольная генетическая и фитосанитарная сертификация плодовых культур. *Садоводство и виноградарство*. 2018;(2):49-53. DOI: <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.2.12307>

10. Дадю К. Я., Чернец А. М., Калашян Ю. А., Проданюк Л. Н. Внедрение системы сертификации посадочного материала садовых культур в Республике Молдова. Садоводство и виноградарство. 2018;(2):58-60. DOI: <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.2.12309>
11. Li X. L., Li M. J., Zhou J., Wei Q. P., Zhang J. K. Acquisition of Virus Eliminated Apple Plants by Thermo-therapy and the Factors Influenced the Eliminating Efficiency. Erwerbs-Obstbau. 2020;62:257-264. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00480-3>
12. Упадышев М. Т., Куликов И. М., Петрова А. Д., Метлицкая К. В., Донецких В. И. Современные методы оздоровления плодовых и ягодных культур от вредоносных вирусов. М.: ФГБНУ ВСТИСП, 2019. 168 с.
13. Корнилов Б. Б., Ожерельева З. Е., Долматов Е. А., Хрыкина Т. А. Жаро- и засухоустойчивость некоторых декоративных сортообразцов груши генофонда ВНИИСПК. Современное садоводство. 2018;(3):39-45. DOI: <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10306>
14. Упадышев М. Т. Жаростойкость растений груши в процессе оздоровления от латентных вирусов с применением метода суховоздушной термотерапии. Садоводство и виноградарство. 2022;(1):44-51. DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-1-44-51>
15. Борисова И. П., Приходько Ю. Н., Подгорная М. Е. Испытание фунгицида фармайод, ГР для контроля вирусных болезней яблони. Садоводство и виноградарство. 2019;(3):52-56. DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-3-52-56>
16. Базоян С. С., Радчевский П. П. Эффективность фармайода против вирусных заболеваний винограда. Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ: сб. тр. конф. Краснодар: Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина, 2016. Т. 1. Вып. 1. С. 230-233. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32696328>
17. Кольчихина М. С., Белошапкина О. О. Защита картофеля от вирусов в полевых условиях. Картофель и овощи. 2017;(8):27-30. Режим доступа: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/%E2%84%968_2016.pdf
18. Борисова И. П., Терешонкова Т. А., Приходько Ю. Н., Живаева Т. С., Петра И. К. Эффективность препарата фармайод, ГР против вирусных болезней томата. Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. Краснодар: ИП Дедкова С. А. (типография «Гранат»), 2018. Вып. 1. С. 169-171. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35596943>
19. Туть Е. А., Упадышев М. Т., Петрова А. Д. Вредоносные вирусы на косточковых культурах и методы оздоровления. Аграрная наука. 2021;354(11-12):92-96. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-92-96>
20. Леонченко В. Г., Евсеева Р. П., Жбанова Е. В., Черенкова Т. А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов: методические рекомендации. Мичуринск: ВНИИ генетики и селекции плодовых растений им. И. В. Мичурина, 2007. 72 с.
21. Прудников П. С., Ожерельева З. Е. Физиолого-биохимические методы диагностики устойчивости плодовых культур к засухе и гипертермии: методические рекомендации. Орел: ВНИИСПК, 2019. 47 с.

References

1. Savelev N. I., Makarov V. N., Chivilev V. V., Akimov M. Yu. Pear. Michurinsk: *OOO reklamno-izdatel'skaya firma «Kvarta» (Voronezh)*, 2006. 160 p.
2. Kulikov I. M., Minakov I. A. The development of horticulture in Russia: trends, problems, prospects. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(1(56)):9-15. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28318036>
3. Kulikov I. M., Minakov I. A. Problems and prospects of development of horticulture in Russia. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and viticulture*. 2018;(6):40-46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2018-6-40-46>
4. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Kondrateva O. V., Fedorov A. D., Slinko O. V. Analysis of the state and perspective directions of development of nursery and horticulture. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2019. 88 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41204680>
5. Saunina I. I., Upadyshev M. T., Grebneva E. V. The prevalence and harmfulness of viruses on pears in the conditions of the Moscow region. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and viticulture*. 2008;(3):16-19. (In Russ.).
6. Prikhod'ko Yu. N., Magomedov U. Sh. Viruses of pome and stone fruit crops. Voronezh: *IPTS «Nauchnaya kniga»*, 2011. 468 p.
7. Petrova A. D., Upadyshev M. T., Metlitskaya K. V. Prevalence of latent harmful viruses on pear in Moscow region. *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*. 2018;5(1):99-101. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35267970>
8. Kulikov I. M., Zavrazhnov A. I., Upadyshev M. T., Borisova A. A., Tumaeva T. A. Scientific and methodological foundations of industrial agrotechnology for the production of certified planting stock of fruit and small fruit crops in the Russian Federation. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and viticulture*. 2018;(1):30-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.1.10500>

9. Zisa R. Italian certification system. Voluntary genetic and phytosanitary certification for fruit species. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2018;(2):49-53. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.2.12307>

10. Dadu K. I., Chernets A. M., Kalashian I. A., Prodaniuk L. N. Introduction of certification system for fruit planting material in the Republic of Moldova. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2018;(2):58-60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.2.12309>

11. Li X. L., Li M. J., Zhou J., Wei Q. P., Zhang J. K. Acquisition of Virus Eliminated Apple Plants by Thermo-therapy and the Factors Influenced the Eliminating Efficiency. *Erwerbs-Obstbau*. 2020;62:257-264.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00480-3>

12. Upadyshev M. T., Kulikov I. M., Petrova A. D., Metlitskaya K. V., Do-netskiikh V. I. Modern methods of healing fruit and small fruit crops from harmful viruses. Moscow: *FGBNU VSTISP*, 2019. 168 p.

13. Kornilov B. B., Ozhereleva Z. E., Dolmatov E. A., Khrykina T. A. Heat and drought resistance of some ornamental pear genotypes from VNIISPK gene pool. *Sovremennoe sadovodstvo* = Cotemporary horticulture. 2018;(3):39-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10306>

14. Upadyshev M. T. Heat resistance of pear plants during recovery from latent viruses using dry-air thermo-therapy. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2022;(1):44-51. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2022-1-44-51>

15. Borisova I. P., Prihodko Yu. N., Podgornaya M. E. Test of fungicide Farmaiod, GS for apple tree viral diseases control. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and viticulture. 2019;(3):52-56. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-3-52-56>

16. Bazoyan S. S., Radchevskiy P. P. The effectiveness of Farmaiod against viral diseases of grapes. Bulletin of scientific and technical creativity of youth of the Kuban State Agrarian University: collection of works. Krasnodar: *Kubanskiy GAU imeni I. T. Trubilina*, 2016. Vol. 1. Iss. 1. pp. 230-233. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32696328>

17. Kolychikhina M. S., Beloshapkina O. O. Protection of potato against viruses in the field. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2017;(8):27-30. (In Russ.).

URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/%E2%84%968_2016.pdf

18. Borisova I. P., Tereshonkova T. A., Prihodko Yu. N., Zhivaeva T. S., Petra I. K. The effectiveness of the Farmaiod preparation, GR against viral diseases of tomato. Biological plant protection - the basis for the stabilization of agroecosystems: Proceedings of International scientific and practical. Conf. Krasnodar: *IP Dedkova S. A. (tipografiya «Granat»)*, 2018. Iss. 1. pp. 169-171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35596943>

19. Tut E. A., Upadyshev M. T., Petrova A. D. Harmful viruses on stone fruit crops and sanitation methods. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;354(11-12):92-96. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-92-96>

20. Leonchenko V. G., Evseeva R. P., Zhbanova E. V., Cherenkova T. A. Preliminary selection of promising genotypes of fruit plants for ecological stability and biochemical value of fruits: methodological recommendations. Michurinsk: *VNI genetiki i selektsii plodovykh rasteniy im. I. V. Michurina*, 2007. 72 p.

21. Prudnikov P. S., Ozhereleva Z. E. Physiological and biochemical methods for diagnosing the resistance of fruit crops to drought and hyperthermia: methodological recommendations. Orel: *VNIISPК*, 2019. 47 p.

Сведения об авторе

✉ **Упадышев Михаил Тарьевич**, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, лаборатория защиты растений, ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», ул. Загорьевская, 4, г. Москва, Российская Федерация, 142718, e-mail: fncsad@fncsad.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1069-3771>, e-mail: virlabor@mail.ru

Information about the author

✉ **Mikhail T. Upadyshev**, DSc in Agricultural Science, chief researcher, the Laboratory of Plant Protection, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, st. Zagoryevskaya 4, Moscow, Russian Federation, 142718, e-mail: fncsad@fncsad.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1069-3771>, e-mail: virlabor@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.832-840>
УДК 632.4.01/.08



Фунгицид-резистентность штаммов *Microdochium nivale* и ее взаимосвязь с вирулентностью

© 2022. Г. Ш. Мурзагулова¹, А. Р. Мещеров¹, О. А. Гоголева¹,
С. Н. Пономарев², М. А. Пономарева²✉, В. Ю. Горшков¹

¹Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Российская Федерация,

²Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Российская Федерация

Цель исследования – анализ устойчивости 21 штамма *Microdochium nivale* (грибов-возбудителей розовой снежной плесени озимых зерновых культур), обитающих в пределах одного ареала и одной культуры (озимая рожь), к фунгицидам, различающимся по химической природе и механизмам действия, а также проверка взаимосвязи между уровнями вирулентности и фунгицид-резистентности штаммов. Вирулентность штаммов *M. nivale* определяли на отсеченных листьях растений ржи сорта Огонек, а также на целых растениях, выращенных в стерильных условиях *in vitro*. Устойчивость штаммов к фунгицидам Провизор (д. в. азоксистробин) и Феразим (д. в. карбендазим) определяли по ингибированию роста мицелия. В результате экспериментов штаммов, способных расти в присутствии фунгицида Провизор, выявлено значительно больше (13), чем Феразим-резистентных штаммов (2); однако Феразим-резистентные штаммы имели больший уровень устойчивости (ингибирование роста на 5-16 %), чем штаммы, устойчивые к Провизору (ингибирование роста на 63-94 %). Обнаружена отрицательная корреляция (ранговый коэффициент корреляции Спирмена -0,604 и -0,532) между уровнем вирулентности штаммов *M. nivale* и уровнем их восприимчивости к Провизору. Это, по всей видимости, означает, что приобретение штаммами *M. nivale* устойчивости к Провизору сопровождается увеличением их вирулентности. Корреляций между фунгицид-резистентностью штаммов *M. nivale* и их принадлежностью к той или иной филогенетической группе, к которой штаммы отнесены на основании нуклеотидной последовательности региона ITS2 (внутренний транскрибируемый спейсер 2), не выявлено. Проведенное исследование свидетельствует о том, что при выборе стратегии применения фунгицидов необходимо анализировать присутствие в популяциях фитопатогенных грибов штаммов, обладающих одновременно высокой вирулентностью и устойчивостью к разным фунгицидам, а также учитывать, что адаптация грибов к определенным фунгицидам может сопровождаться повышением их вирулентности, что негативно скажется на фитопатологическом состоянии агроценоза.

Ключевые слова: розовая снежная плесень, устойчивость к фунгицидам, озимая рожь, фитопатогенность, внутривидовое разнообразие фитопатогенных грибов, химические средства защиты растений, инфекционные заболевания растений

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (тема № 121110200046-2).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мурзагулова Г. Ш., Мещеров А. Р., Гоголева О. А., Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Горшков В. Ю. Фунгицид-резистентность штаммов *Microdochium nivale* и ее взаимосвязь с вирулентностью. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):832-840. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.832-840>

Поступила: 13.11.2022

Принята к публикации: 06.12.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Fungicide resistance of *Microdochium nivale* strains and its interconnection with virulence

© 2022. Guzaliya Sh. Murzagulova¹, Azat R. Meshcherov¹, Olga A. Gogoleva¹, Sergey N. Ponomarev², Mira L. Ponomareva²✉, Vladimir Y. Gorshkov¹

¹Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Tatarstan, Russian Federation,

²Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Tatarstan, Russian Federation

The aim of the study was to analyze the resistance of 21 *Microdochium nivale* strains (fungi that cause pink snow mold in winter crops), living within a single area and a single crop (winter rye), to fungicides that differ in chemical nature and mechanisms of action as well as to test the interconnection between levels of virulence and fungicide resistance of strains. The virulence of *M. nivale* strains was determined on detached leaves of rye (*Ogonek* variety) plants as well as on whole plants grown under sterile conditions *in vitro*. The resistance of strains to fungicides (Provissor (a.s. azoxystrobin) and Ferazim (a.s. carbendazim)) was determined by inhibition of mycelium growth. As a result of the experiments, more strains (13) capable of growing in the presence of Provissor were revealed than Ferazim-resistant strains (2); however, Ferazim-resistant strains had a greater level of resistance (5-16% of growth inhibition) than Provissor-resistant strains (63-94 % of growth inhibition). A negative correlation (Spearman's correlation coefficient -0.604 and -0.532) between the level of virulence of *M. nivale* strains and the level of their susceptibility to Provissor was found. This evidently means that the acquisition of resistance to Provissor by *M. nivale* strains is accompanied by an increase in their virulence. No correlations were found between the fungicide resistance of *M. nivale* strains and their attribution to one or another phylogenetic group, to which the strains were assigned based on the nucleotide sequence of the ITS2 (internal transcribed spacer 2) region. The study shows that for choosing the fungicide application strategy, it is necessary to analyze phytopathogen populations for the presence of strains that are simultaneously characterized by high virulence and resistance to various fungicides and also take into account that the adaptation of fungi to certain fungicides can be accompanied by an increase in their virulence, which will negatively affect the phytopathological state of agrocenosis.

Keywords: pink snow mold, fungicide resistance, winter rye, phytopathogenicity, intraspecific diversity of phytopathogenic fungi, plant protection chemicals, plant infectious diseases

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (theme No. 121110200046-2).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citations: Murzagulova G. Sh., Meshcherov A. R., Gogoleva O. A., Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Gorshkov V. Y. Fungicide resistance of *Microdochium nivale* strains and its interconnection with virulence. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):832-840. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.832-840>

Received: 13.11.2022

Accepted for publication: 06.12.2022

Published online: 16.12.2022

Отказ от средств химической защиты растений, в том числе фунгицидов, привел бы к потерям более трети урожая культурных растений. Однако в последние десятилетия наблюдается тенденция к снижению эффективности пестицидов вследствие адаптации к ним фитопатогенов. У 250 видов фитопатогенных грибов обнаружена резистентность хотя бы к одному из 30 наиболее часто применяемых в сельском хозяйстве фунгицидов (Fungicide Resistance Action Committee, <https://www.frac.info/home>). При этом формирование фунгицид-резистентности фитопатогенов часто сопровождается увеличением их вирулентности [1, 2]. Более того, описаны случаи, когда обработка фунгицидами не только не сдерживает, а даже стимулирует

развитие заболеваний у сельскохозяйственных растений [3, 4, 5].

Химическая защита растений имеет особенно важное значение в отношении тех заболеваний, для которых ограничен набор источников устойчивости в генофондах культурных растений вследствие сложного полигенного наследования признаков устойчивости. К таким заболеваниям относится высокоуровневая и широко распространенная в РФ розовая снежная плесень озимых зерновых культур, вызываемая холодоустойчивым фитопатогенным грибом *Microdochium nivale* [6]. Пик паразитической активности *M. nivale* приходится на период залегания снега и первые недели после его таяния. На территории ряда Поволжских республик РФ в «многоснежном» 2019 году был введен режим ЧС из-за гибели озимых

культур вследствие эпифитотии снежной плесени [7]. Причем ситуацию 2019 года нельзя назвать случайной, поскольку практически каждый второй год распространение снежной плесени на посевах озимой ржи в Республике Татарстан превышает эпифитотийный уровень [6]. Вредоносность *M. nivale* не ограничивается зимне-весенним периодом, поскольку этот гриб может вызывать ряд других заболеваний в течение всего вегетационного сезона [8].

Большинство фунгицидных препаратов не обладает достаточной продолжительностью действия, чтобы подавлять развитие вызывающих снежную плесень грибов в течение более 100 дней (в период залегания снега). Поэтому список фунгицидов против снежной плесени ограничен, а их применение возможно только в превентивной форме. Все это служит дополнительным фактором формирования фунгицид-резистентных форм патогенов. Фунгициды (ипродиион) постепенно утрачивали эффективность против снежной плесени, а большинство изолятов, выделенных из территорий, обрабатываемых фунгицидами, проявляли к ним резистентность [9]. Продемонстрирована взаимосвязь между частотой использования ипродиона и пропиконазола в разных регионах Канады и долей изолятов *M. nivale*, устойчивых к этим фунгицидам. Для подавления развития снежной плесени ранее широко применяли фунгициды на основе бензимидазола; однако с течением времени у штаммов *M. nivale* сформировалась резистентность к этим фунгицидам [10].

На сегодняшний день не установлено, насколько фунгицид-резистентность может быть представлена в отдельных популяциях *M. nivale*, которые являются гетерогенными, то есть представленными различающимися генетически и фенотипически формами [7, 11]. Кроме того, не выяснено, насколько фунгицид-резистентность штаммов *M. nivale* коррелирует с уровнем их вирулентности.

Цель исследований – анализ устойчивости штаммов *M. nivale*, обитающих в пределах одного ареала и одной культуры (озимая рожь), к фунгицидам, различающимся по химической природе и механизмам действия, а также проверка взаимосвязи между уровнями вирулентности и фунгицид-резистентности штаммов.

Научная новизна. Впервые показано, что популяции грибов-возбудителей снежной

плесени представлены штаммами *M. nivale*, различающимися по уровню устойчивости к фунгицидам. Впервые показано, что устойчивость возбудителей розовой снежной плесени к фунгициду «Провизор» (д. в. азоксистробин) коррелирует с уровнем вирулентности штаммов.

Материал и методы. Объектом исследования служил 21 штамм *M. nivale* из коллекции фитопатогенных грибов лаборатории инфекционных заболеваний растений Казанского института биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН. Штаммы выделены в 2019 г. из одной культуры в одной географической точке, а именно из озимой ржи сорта Огонек, пораженного розовой снежной плесенью, выращиваемой на стационаре конкурсного сортоиспытания, расположенного в Лаишевском районе Республики Татарстан. Растения, из которых выделены штаммы, выращивали из семян, обработанных фунгицидом Шансил, КЭ (д. в. тебуконазол); предшественник – чистый пар. Подтверждение принадлежности штаммов к *M. nivale*, а также разделение штаммов на филогенетические группы в зависимости от нуклеотидной последовательности региона ITS2 (внутренний транскрибируемый спейсер 2) проведено нами ранее с помощью высокопроизводительного секвенирования [7].

Для оценки фунгицид-резистентности штаммов *M. nivale* были выбраны препараты двух основных групп фунгицидов из списка разрешенных к использованию в Российской Федерации и рекомендованных для подавления снежной плесени: ингибитор дыхания Провизор¹ (д. в. азоксистробин) и блокатор β -тубулина Феразим² (д. в. карбендазим). Штаммы культивировали на 1,5%-ном картофельно-сахарозном агаре (КСА). Фунгициды добавляли в растопленную среду КСА до 1 мМ д.в. при 60 °С, перемешивали и разливали в чашки Петри. Концентрация фунгицидов подобрана, исходя из рекомендованного регламента воздействия препаратом. После застывания агаризованной среды в центр чашки Петри помещали агаровый блок диаметром 5 мм, вырезанный из периферийной части колоний грибов. Количественные показатели устойчивости штаммов к фунгицидам определяли на основе сопоставления скорости роста штаммов в присутствии и отсутствии фунгицидов. Скорость роста

¹Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/provizor-sk.html> (дата обращения: 18.11.2022).

²Там же.

определяли на основании результатов посуточного измерения двух взаимно-перпендикулярных радиусов растущей колонии гриба. На основании этих значений строили кривые роста и соответствующие им аппроксимирующие прямые. Для уравнений функций аппроксимирующих прямых вычисляли производные, значения которых отражали скорость роста гриба (мм/сут).

Оценку вирулентности штаммов проводили на растениях озимой ржи (*Secale cereale* L.) сорта Огонек с помощью двух тестов: на отсеченных листьях растений, выращенных в стерилизованном грунте, и целых растениях, выращенных в стерильных условиях *in vitro*. Растения выращивали при 16-часовом световом дне, температуре 20 °С и влажности 60 %. Для тестирования на отсеченных листьях использовали сегменты листьев длиной 3 см. Сегменты помещали в пластиковые контейнеры на стеклянные предметные стекла и прижимали с обеих сторон двумя слоями ваты, смоченной в 0,004%-ном водном растворе бензимидазола. Листья опрыскивали стерильной водой, чтобы предотвратить высыхание. Агаровый блок диаметром 5 мм, вырезанный с периферии колонии гриба, выращенного на КСА, помещали на середину сегмента листа. Вирулентность каждого штамма проанализирована на 40 листовых сегментах (40 повторностей) в рамках одного эксперимента. На листья контрольных растений помещали стерильный агаровый блок. После инокуляции листьев контейнеры закрывали стеклянной пластиной, помещали в климатическую камеру Binder 720 МК (E5) (Германия) и инкубировали при 16-часовом световом дне, температуре 20 °С и влажности 60 %. Зону поражения листовых сегментов измеряли, начиная с 4 суток после инокуляции через двухдневные интервалы (то есть через 4, 6, 8, 10 дней после инокуляции). На основании измерений строили кривую развития болезни. Уровень вирулентности определяли по площади под кривой развития болезни (ПКРБ), которую вычисляли по формуле:

$$\text{ПКРБ} = \frac{1}{2} (x_1 + x_2) (t_2 - t_1) + \dots + (x_{n-1} + x_n) (t_n - t_{n-1}),$$

где x_1, x_2, x_n – процент поражения сегмента листовой пластинки при первом, втором и n -ом измерении; $t_2 - t_1$ – время между вторым и первым измерением; $t_n - t_{n-1}$ – время между последним и

предпоследним измерением; n – количество измерений.

ПКРБ для штамма, вызывавшего наибольшее поражение листовой пластинки (штамм №11), принимали за единицу.

Для оценки вирулентности штаммов на целых растениях, семена промывали и стерилизовали 1,0%-ным додецилсульфатом натрия (2 раза по 10 мин), 0,01%-ным перманганатом калия (10 мин) и 1,0% и 5,0%-ным гипохлоритом натрия (5 мин). Стерилизованные семена проращивали в течение 2 суток в темноте при температуре 28 °С. Затем проростки переносили в индивидуальные стерильные стеклянные пробирки объемом 50 мл с 7 мл разбавленной в 4 раза среды Мурасигэ-Скуга без органического углерода. Четырехдневные проростки инфицировали, помещая в пробирку агаровый блок диаметром 8 мм, вырезанный из периферийной части колоний штаммов *M. nivale*. Каждым штаммом инфицировали по 15 растений в рамках одного эксперимента. Пробирки с контрольными растениями помещали в стерильный агаровый блок. Вирулентность штаммов оценивали через 21 день после инфицирования по массе корневой системы инфицированных растений (относительно контрольных неинфицированных растений), поскольку этот параметр наиболее точно отражает степень развития исследуемого заболевания [7] (рис.1).

Наличие или отсутствие корреляций определяли по методу Спирмена, достоверность которых оценивали с помощью теста-Стьюдента ($p \leq 0,05$) (рис. 1). Корреляционный анализ проводили с помощью программного обеспечения XLSTAT версия 2016.02.2845.

Результаты и их обсуждение. Из 21 штамма *M. nivale* восемь оказались полностью восприимчивыми к фунгициду Провизор (д. в. азоксистробин), который ингибировал рост штаммов № 2-4, 12, 16-19 на 100 % (рис. 2, табл.). У 13 штаммов была в той или иной степени выражена устойчивость к Провизору: уровень ингибирования роста этих штаммов этим фунгицидом составлял от 63 до 94 % (рис. 2, табл.).

К фунгициду Феразиму (д. в. карбендазим) из 21 штамма 19 были полностью восприимчивы. При этом у двух штаммов (№ 1 и 3) была сильно выражена устойчивость к этому фунгициду, который ингибировал рост этих штаммов лишь на 5-16 % (табл.).

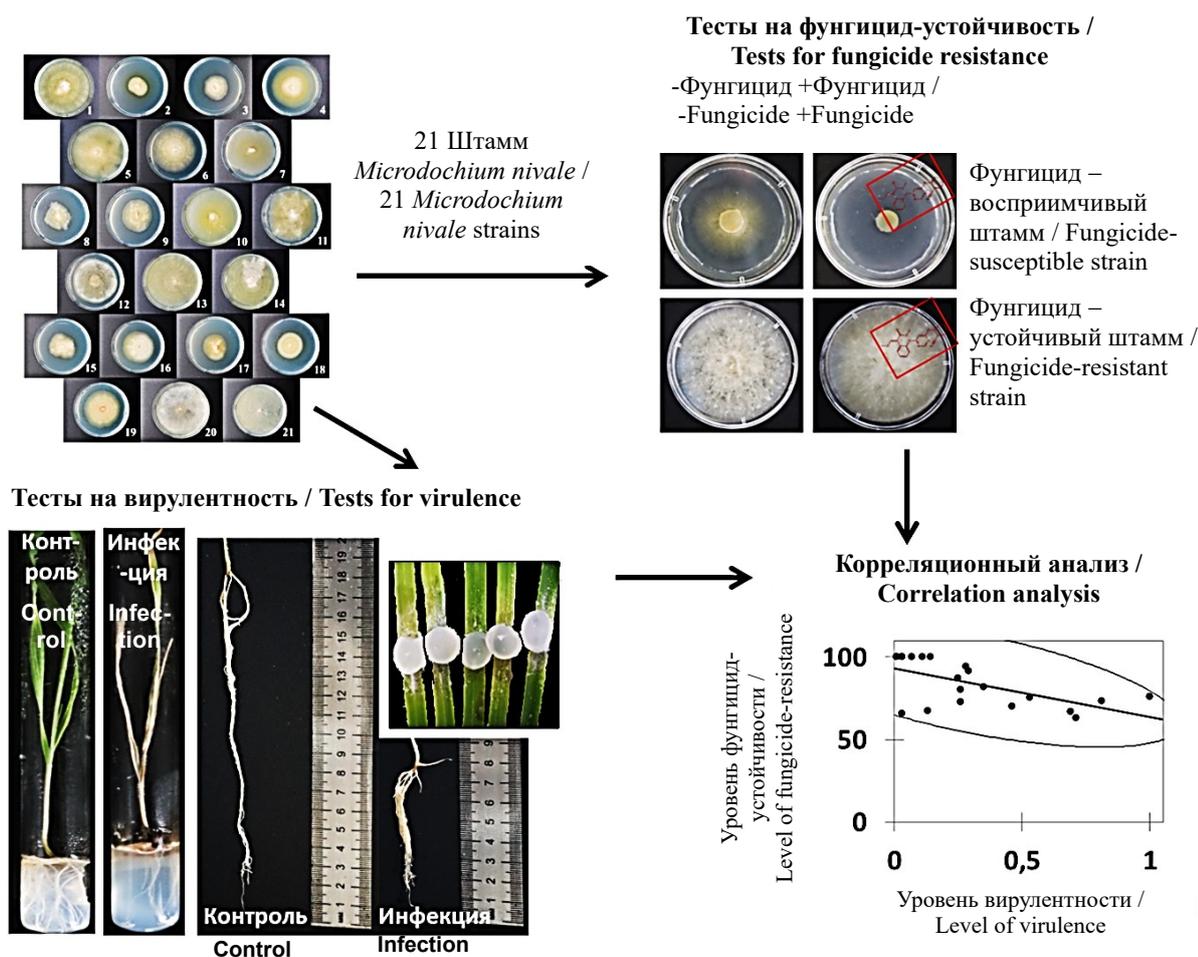


Рис. 1. Схема эксперимента / Fig. 1. Scheme of the experiment

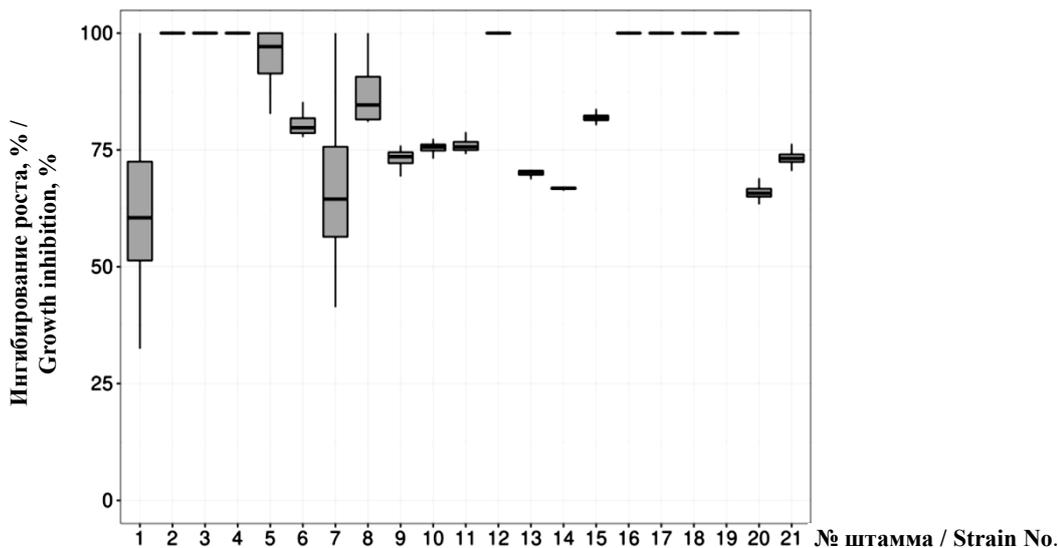


Рис. 2. Ингибирование роста штаммов *Microdochium nivale* в присутствии фунгицида Провизор (1 мМ д.в. азоксистробина) / Fig. 2. Growth inhibition of the *Microdochium nivale* strains in the presence of fungicide Provisor (1 mM a.s. azoxystrobin)

Таблица – Вирулентность и устойчивость к фунгицидам штаммов *Microdochium nivale*, относящихся к разным генетическим группам, различающимся нуклеотидными последовательностями региона ITS2. M.OTU – *Microdochium* Operational taxonomic unit (операционная таксономическая единица) / Table – Virulence and resistance to fungicides of *Microdochium nivale* strains belonging to different genetic groups differing in the nucleotide sequences of the ITS2 region. M.OTU - *Microdochium* Operational taxonomic unit

№ штамма / No. of strains	№ штамма в коллекции / No. of strains	Вариант последовательности ITS2 / Variant nucleotide sequences of the ITS2 region	Вирулентность / Virulence		Ингибирование роста на фунгицидах, % / Growth inhibition on fungicides, %	
			на целых растениях* / on whole plants*	на отсеченных листьях** / on detached plant leaves**	Феразим / Ferazim	Провизор / Provisor
1	F00608	M.OTU 1	81,4	0,71	4,6	63,4
2	F00609	M.OTU 1	11,2	0,01	100	100,0
3	F00610	M.OTU 2	38,1	0,14	15,75	100,0
4	F00611	M.OTU 1	24,7	0,01	100	100,0
5	F00612	M.OTU 1	80,5	0,28	100	94,2
6	F00613	M.OTU 1	77,9	0,26	100	80,6
7	F00614	M.OTU 1	45,0	0,13	100	67,6
8	F00615	M.OTU 5	82,8	0,25	100	87,6
9	F00616	M.OTU 2	82,2	0,26	100	73,1
10	F00617	M.OTU 2	55,4	0,53	100	75,4
11	F00618	M.OTU 4	85,7	1,00	100	76,1
12	F00619	M.OTU 1	78,8	0,29	100	100,0
13	F00620	M.OTU 1	73,6	0,46	100	70,9
14	F00621	M.OTU 1	76,6	0,69	100	66,8
15	F00622	M.OTU 1	75,3	0,35	100	81,9
16	F00623	M.OTU 2	57,6	0,07	100	100,0
17	F00624	M.OTU 2	29,4	0,11	100	100,0
18	F00625	M.OTU 1	27,3	0,03	100	100,0
19	F00626	M.OTU 1	24,2	0,03	100	100,0
20	F00627	M.OTU 2	47,6	0,03	100	65,9
21	F00628	M.OTU 2	88,3	0,81	100	73,3

*На целых растениях, выращенных в стерильных условиях *in vitro*; ** На отсеченных листьях растений / *On whole plants grown under *in vitro* sterile conditions; ** On detached plant leaves

Устойчивость штаммов *M. nivale* к соединениям из классов бензимидазолов (к которым относится карбендазим) и стробилуринов (к которым относится азоксистробин) ранее описывали [10, 12, 13]. Мы обнаружили, что в рамках одной гетерогенной популяции присутствуют штаммы, имеющие разные уровни устойчивости к фунгицидам Феразим (д. в. карбендазим) и Провизор (д. в. азоксистробин). При этом штаммов, способных расти в присутствии Провизора, выявлено значительно больше (13), чем Феразим-резистентных штаммов (2); однако Феразим-резистентные штаммы имели боль-

ший уровень устойчивости (ингибирование роста на 5-16 %), чем устойчивые к Провизору (ингибирование роста на 63-94 %). Это согласуется с тем, что ранее для фунгицидов, содержащих азоксистробин, описан сильный фунгистатический эффект в отношении штаммов *M. nivale* [13]. Только один из проанализированных нами штаммов (№ 3) оказался способен расти в присутствии обоих исследованных фунгицидов.

Исследованные штаммы *M. nivale* существенно различались по вирулентности при их тестировании как на целых растениях, так и на отсеченных листьях. При этом количе-

ственные данные о степени вирулентности штаммов на целых растениях и отсеченных листьях значимо коррелировали друг с другом (коэффициент корреляции Спирмена = 0,79, $p < 0,001$). Наибольший уровень вирулентности был характерен для штаммов № 1, 11, 21, наименьший – № 2, 4, 18, 19 (табл. 1). Из двух штаммов, устойчивых к Феразиму, один был высоковирулентный (№ 1), а другой низковирулентный (№ 3). Для того чтобы оценить возможную взаимосвязь между устойчивостью штаммов к Провизору и их вирулентностью проведен корреляционный анализ, который показал, что уровень вирулентности штаммов

имеет отрицательную корреляцию с уровнем ингибирования роста штаммов в присутствии Провизора (рис. 3). Это означает, что резистентные к Провизору штаммы имеют большую вирулентность, чем штаммы, восприимчивые к этому фунгициду. В связи с этим логично предположить, что приобретение штаммами *M. nivale* устойчивости к Провизору сопровождается увеличением их вирулентности. Это согласуется с тем, что для ряда видов фитопатогенных грибов ранее продемонстрирована взаимосвязь между устойчивостью к различным фунгицидам и повышенной вирулентностью [1, 2, 4, 5].

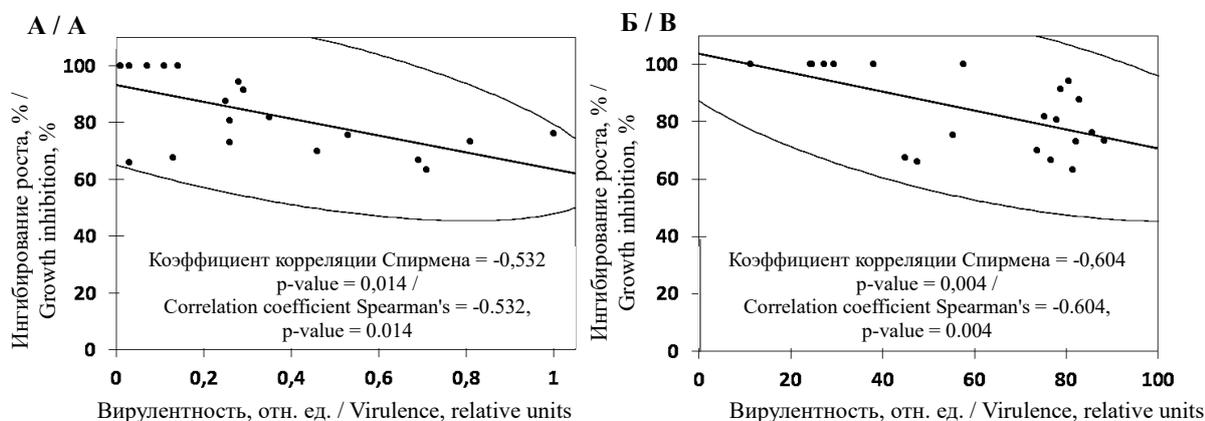


Рис. 3. Диаграмма рассеяния, демонстрирующая статистически значимую корреляцию между вирулентностью штаммов *Microdochium nivale* и их устойчивостью к фунгициду Провизор. Вирулентность штаммов определяли с помощью расчета ПКРБ (площадь под кривой развития болезни) на отсеченных листьях растений ржи (А) и процента сухой массы корней инфицированных растений ржи от сухой массы корней контрольных растений (Б). Коэффициент корреляции – ранговый коэффициент корреляции Спирмена, $p\text{-value} \leq 0,05$ /

Fig. 3. Scatterplot showing a statistically significant correlation between the virulence of *Microdochium nivale* strains and their resistance to fungicide Provisor. The virulence of the strains was determined by calculating the area under the disease progress curve (AUDPC) on cut leaves of rye plants (A), and the dry weight percentage of the roots of infected rye plants relative to the dry weight of the roots of control plants (B). Correlation coefficient – Spearman's rank correlation coefficient, $p\text{-value} \leq 0,05$

Корреляций между фунгицид-резистентностью штаммов *M. nivale* и их принадлежностью к той или иной филогенетической группе, к которой штаммы отнесены на основании нуклеотидной последовательности региона ITS2, не выявлено. Это свидетельствует о том, что разные филогенетические группы могут со сходной эффективностью адаптироваться к действию фунгицидов.

Выводы. Проведенные исследования показали, что в гетерогенных популяциях возбудителей розовой снежной плесени *M. nivale* присутствуют штаммы, устойчивые к разным фунгицидам, в том числе и высоковирулентные.

Это означает, что при выборе стратегии применения фунгицидов необходимо анализировать присутствие в популяции штаммов, обладающих одновременно высокой вирулентностью и устойчивостью к разным фунгицидам. Существует положительная корреляция между уровнем вирулентности штаммов *M. nivale* и уровнем их устойчивости к фунгициду Провизор (д. в. азоксистробин). Следовательно, важно учитывать, что адаптация к определенным фунгицидам может сопровождаться повышением вирулентности, что негативно скажется на фитопатологическом состоянии агроценоза.

Список литературы

1. De Ramón-Carbonell M., López-Pérez M., González-Candelas L., Sánchez-Torres P. PdMFS1 transporter contributes to *Penicillium digitatum* fungicide resistance and fungal virulence during citrus fruit infection. *Journal of Fungi*. 2019;5(4):100. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof5040100>
2. Hu M., Chen S. Non-target site mechanisms of fungicide resistance in crop pathogens: A review. *Microorganisms*. 2021;9(3):502. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030502>
3. Жуковский А. Г. Чувствительность изолятов гриба *Fusarium nivale*, возбудителя снежной плесени озимой тритикале, к протравителям. *Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сэрыя аграрных навук*. 2005;(5):109.
4. Yang L., Gao F., Shang L., Zhan J., McDonald B. A. Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*. 2013;8(3):e59568. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568>
5. Siah A., Deweer C., Tisserant B., Randoux B., Halama P., Reignault P. Relationship between pathogenicity and fungicide tolerance in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2015;80(3):589-593. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27141758/>
6. Ponomareva M. L., Gorshkov V. Y., Ponomarev S. N., Korzun V., Miedaner T. Snow mold of winter cereals: A complex disease and a challenge for resistance breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(2):419-433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
7. Gorshkov V., Osipova E., Ponomareva M., Ponomarev S., Gogoleva N., Petrova O., Gogoleva O., Meshchero A., Balkin A., Vetchinkina E., Potapov K., Gogolev Y., Korzun V. Rye snow mold-associated *Microdochium nivale* strains inhabiting a common area: Variability in genetics, morphotype, extracellular enzymatic activities, and virulence. *Journal of Fungi*. 2020;6(4):335. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof6040335>
8. Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П., Орина А. С. Хорошая новость – грибы микродохим не продуцируют микотоксины! Защита и карантин растений. 2017;(5):9-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29239969>
9. Chastagner G. A., Vasey W. E. Occurrence of iprodione-tolerant *Fusarium nivale* under field conditions. *Plant Disease*. 1982;66:112-114. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-66-112>
10. Буга С. Ф., Радына А. А., Боярчук В. Е. Резистентность популяции гриба *Fusarium nivale* к фундазолу. *Вестник защиты растений*. 2001;2:39-42.
11. Abdelhalim M., Brurberg M. B., Hofgaard I. S., Rognli O. A., Tronsmo A. M. Pathogenicity, host specificity and genetic diversity in Norwegian isolates of *Microdochium nivale* and *Microdochium majus*. *European Journal of Plant Pathology*. 2020;156:885-895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01939-5>
12. Olvang H. Chemical control of winter damaging fungi in cereals. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*. 1992;7:55-61.
13. Орина А. С., Гагкаева Т. Ю., Гаврилова О. П., Усольцева М. Ю. Действие фунгицидов на рост грибов, вызывающих снежную плесень злаков. *Агротехника*. 2021;(5):52-61. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050094>

References

1. De Ramón-Carbonell M., López-Pérez M., González-Candelas L., Sánchez-Torres P. PdMFS1 transporter contributes to *Penicillium digitatum* fungicide resistance and fungal virulence during citrus fruit infection. *Journal of Fungi*. 2019;5(4):100. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof5040100>
2. Hu M., Chen S. Non-target site mechanisms of fungicide resistance in crop pathogens: A review. *Microorganisms*. 2021;9(3):502. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9030502>
3. Zhukovskiy A. G. Sensitivity of isolates of *Fusarium nivale* fungus, the causative agent of winter triticale snow mold, to protectants. *Vestni Natsyonal'nay akademii navuk Belarusi. Seriya agrarnykh navuk*. 2005;(5):109. (In Belarus).
4. Yang L., Gao F., Shang L., Zhan J., McDonald B. A. Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*. 2013;8(3):e59568. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568>
5. Siah A., Deweer C., Tisserant B., Randoux B., Halama P., Reignault P. Relationship between pathogenicity and fungicide tolerance in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2015;80(3):589-593. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27141758/>
6. Ponomareva M. L., Gorshkov V. Y., Ponomarev S. N., Korzun V., Miedaner T. Snow mold of winter cereals: A complex disease and a challenge for resistance breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(2):419-433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-020-03725-7>
7. Gorshkov V., Osipova E., Ponomareva M., Ponomarev S., Gogoleva N., Petrova O., Gogoleva O., Meshchero A., Balkin A., Vetchinkina E., Potapov K., Gogolev Y., Korzun V. Rye snow mold-associated *Microdochium nivale* strains inhabiting a common area: Variability in genetics, morphotype, extracellular enzymatic activities, and virulence. *Journal of Fungi*. 2020;6(4):335. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof6040335>
8. Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P., Orina A. S. Good news – microdochium sp. of fungi do not produce mycotoxins! *Zashchita i karantin rasteniy*. 2017;(5):9-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29239969>
9. Chastagner G. A., Vasey W. E. Occurrence of iprodione-tolerant *Fusarium nivale* under field conditions. *Plant Disease*. 1982;66:112-114. DOI: <https://doi.org/10.1094/PD-66-112>
10. Buga S. F., Radyna A. A., Boyarchuk V. E. Resistance of the *Fusarium nivale* fungi population to fundazole. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2001;2:39-42. (In Russ.).
11. Abdelhalim M., Brurberg M. B., Hofgaard I. S., Rognli O. A., Tronsmo A. M. Pathogenicity, host specificity and genetic diversity in Norwegian isolates of *Microdochium nivale* and *Microdochium majus*. *European Journal of Plant Pathology*. 2020;156:885-895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-020-01939-5>
12. Olvang H. Chemical control of winter damaging fungi in cereals. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*. 1992;7:55-61.
13. Orina A. S., Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P., Usoltseva M. Yu. Effect of fungicides on the growth of fungi causing snow mold of cereals. *Agrokimiya*. 2021;(5):52-61. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050094>

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ
И МИКОЛОГИЯ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY**

Сведения об авторах

Гузалия Шаукатовна Мурзагулова, младший научный сотрудник лаборатории инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-9521>

Азат Рустемович Мещеров, младший научный сотрудник лаборатории инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3718-3528>

Ольга Александровна Гоголева, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2841-1720>

Сергей Николаевич Пономарев, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции озимой ржи и тритикале, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

✉ **Мира Леонидовна Пономарева**, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник, зав. лабораторией селекции озимой ржи и тритикале, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>, e-mail: smponomarev@yandex.ru

Владимир Юрьевич Горшков, кандидат биол. наук, заведующий лабораторией инфекционных заболеваний растений, Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Лобачевского, 2/31, а/я 261, г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9577-2032>

Information about the authors

Guzaliya Sh. Murzagulova, junior researcher, the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-9521>

Azat R. Meshcherov, junior researcher, the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3718-3528>

Olga A. Gogoleva, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2841-1720>

Sergey N. Ponomarev, DSc in Agricultural Science, chief researcher, the Laboratory of Breeding of Winter Rye and Triticale, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8898-4435>

✉ **Mira L. Ponomareva**, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, Head of the Laboratory of Breeding of Winter Rye and Triticale, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Orenburg tract, 48, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420059, e-mail: tatniva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1648-3938>, e-mail: smponomarev@yandex.ru

Vladimir Y. Gorshkov, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Plant Infectious Diseases, Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Lobachevskiy str., 2/31, PO-box 261, Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation, 420111, e-mail: kibmail@kibb.knc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9577-2032>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851>

УДК 633.491:635.2:664.22



Изучение состава картофеля по хозяйственно ценным признакам, определяющим его пригодность к промышленной переработке

© 2022. А. В. Семенова^{1✉}, В. Г. Гольдштейн¹, В. А. Дегтярев¹,
А. А. Морозова¹, А. К. Королева²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Люберцы, Московская обл., Российская Федерация,
²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Люберцы, Московская обл., Российская Федерация

Проведено исследование биохимических показателей качества 26 новых гибридов картофеля с целью определения пригодных для переработки на крахмал и картофелепродукты, использования в качестве столовых сортов. Содержание сухих веществ (СВ) определяли экспресс-методом, общую крахмалистость клубней – методом Эверса, массовую долю редуцирующих сахаров – поляриметрическим методом и с использованием глюкометра, гликоалкалоидов и неорганического фосфора – спектрофотометрическим методом. Выделено 5 гибридов, пригодных для промышленной переработки и в качестве исходного материала для селекции. Гибрид картофеля 303 к с содержанием СВ – 25,06 %, крахмала – более 18,22 % соответствовал требованиям, предъявляемым к картофелю для переработки на крахмал и крахмалопродукты; 317 к – с содержанием СВ – 22,40 %, крахмала – 16,18 %, редуцирующих сахаров – 0,23 %, гликоалкалоидов – 62,0 мг/кг может быть рекомендован для производства обжаренных картофелепродуктов. Три исследуемых гибрида с содержанием СВ – более 22 %, крахмала – не менее 16 %, редуцирующих сахаров – 0,2...0,4 %, гликоалкалоидов – 60...126 мг/кг могут представлять интерес для производства других видов картофелепродуктов. Остальные гибриды могут быть рекомендованы только для использования в качестве столового картофеля. Выявлены взаимосвязи между показателями, влияющими на качество картофелепродуктов. Установлены корреляционные зависимости между массовыми долями: сухих веществ и крахмала ($r = 0,98$) – высокая корреляция; редуцирующих сахаров и гликоалкалоидов ($r = 0,68$); сухих веществ клубня и гликоалкалоидов ($r = 0,59$); сухих веществ и глюкозы ($r = -0,61$); крахмала и глюкозы ($r = -0,58$) – средние корреляции. Установлено, что массовая доля редуцирующих сахаров и направление вращения плоскости поляризации света сахарами изменяются нелинейно при различных температурных условиях хранения образцов.

Ключевые слова: фитохимические соединения картофеля, анализ, продукты на основе картофеля, выявление пригодности, корреляционная зависимость, сухие вещества, крахмалистость, редуцирующие сахара, питательная ценность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» Федеральной научной программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг.

Авторы признательны сотрудникам лаборатории клеточных и геномных исследований ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» за предоставленные сортообразцы картофеля для исследования.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Семенова А. В., Гольдштейн В. Г., Дегтярев В. А., Морозова А. А., Королева А. К. Изучение состава картофеля по хозяйственно ценным признакам, определяющим его пригодность к промышленной переработке. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):841-851. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851>

Поступила: 01.07.2022

Принята к публикации: 15.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Study of the composition of potatoes by agronomic traits which determine its suitability for industrial processing

© 2022. Anastasia V. Semenova¹✉, Vladimir G. Goldstein¹, Vladimir A. Degtyarev¹, Anastasia A. Morozova¹, Alina K. Koroleva²

¹All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation,

²Russian Potato Research Center, Moscow region, Russian Federation

The study of biochemical quality indicators of 26 new potato hybrids was carried out in order to determine the ones mostly suitable for processing into starch and potato products and for use as table variety. An express method was used to determine dry matter (DM), Evers method was used to determine the total starch content of tubers, the polarimetric method and a glucometer test were used to determine reducing sugars, glycoalkaloids and inorganic phosphorus were determined by spectrophotometric method. There have been selected 5 hybrids suitable for industrial processing and as a source material for breeding. One potato hybrid with 25,06 % content of DM, more than 18,22 % of starch met the requirements for potatoes used for processing into starch and starch products; another potato hybrid can be recommended for the production of fried potato products according to the parameters: DM – 22.40 % starch – 16.18 %, reducing sugars – 0.23 %, glycoalkaloids – 62,0 mg/kg. Three of the studied hybrids with the content of DM of more than 22 %, starch not less than 16%, reducing sugars 0.2-0.4 % and glycoalkaloids 60-126 mg / kg may be used for the production of other types of potato products. The rest of the hybrids can only be recommended for use as table potatoes. The relationship between indicators affecting the quality of potato products has been revealed. Correlations were established between the mass fractions of: dry matter and starch in the tuber ($r = 0.98$) – high correlation; reducing sugars and glycoalkaloids ($r = 0.68$); tuber dry matter and glycoalkaloids ($r = 0.59$); dry matter and glucose ($r = -0.61$); starch and glucose ($r = -0.58$) – average correlations. It has been established that the mass fraction of reducing sugars and the direction of rotation of the plane of polarization of light by sugars change non-linearly under different temperature conditions of sample storage.

Keywords: phytochemical potato compounds, analysis, potato-based products, suitability assessment, correlation, dry matter, total starch content, reducing sugars, nutritional value

Acknowledgements: the research was carried out under the support of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as a part of subroutine «Development of selection and seed production of potato in Russian Federation» of The Federal scientific and technical program of agricultural development in 2017-2025 years.

The authors are grateful to the employees of the Laboratory of Cellular and Genomic Research of the Russian Potato Research Centre for the potato assortments provided for the study.

The authors are grateful to the reviewers for their contribution to the expert review of the work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Semenova A. V., Goldstein V. G., Degtyarev V. A., Morozova A. A., Koroleva A. K. Study of the composition of potatoes by agronomic traits determining its suitability for industrial processing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):841-851. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851>

Received: 01.07.2022

Accepted for publication: 15.11.2022

Published online: 16.12.2022

На сегодняшний день активно развивается тенденция производства картофеля для переработки, расширяется рынок картофелепродуктов [1].

В целях эффективного ведения отрасли необходимо наращивать объемы производства отечественных сортов, обеспечивающих высокую урожайность, устойчивых к болезням и пригодных для переработки [2].

Картофель и картофелепродукты обладают высокой энергетической и питательной ценностью вследствие значительного содержания углеводов, белка и жира [3]. К картофелепродуктам относят замороженный, сушеный, консервированный, приготовленный картофель, а также муку, хлопья и гранулы [2].

Содержание крахмала – важный показатель качества картофеля, величина которого в значительной степени влияет на его вкусовые

и питательные качества. Кроме того, картофельный крахмал широко используют в промышленности и в таких новых областях, как нанотехнологии и биоинженерия [4].

Известно, что при 14%-ной крахмалистости клубней расход исходного сырья на производство 1 т крахмала составляет 6,7 т картофеля, при крахмалистости 25 % – 3,7 т. Поэтому для переработки на крахмал рекомендуются сорта и гибриды картофеля с содержанием его более 18 % [5].

Пригодность картофеля для переработки на картофелепродукты определяют такие показатели, как содержание сухих веществ (более 20 %), массовые доли редуцирующих сахаров (0,2...0,5 %) и крахмала (не менее 16 %), концентрация гликоалкалоидов в клубне (не более 200 мг/кг) [6].

С ростом интереса потребителей к здоровому питанию, все больше внимания уделяется работе с фитонутриентным составом картофеля. Помимо макронутриентов, клубни содержат антиоксиданты, жизненно важные витамины и минералы [7].

С помощью селекционных, биотехнологических, лабораторных подходов становится возможным значительно увеличить содержание полезных фитохимических соединений, а значит, и питательную ценность картофеля [8].

Однако среди основных биохимических компонентов в клубнях есть и такие, присутствие которых в больших концентрациях нежелательно для переработки – это редуцирующие сахара и гликоалкалоиды.

Редуцирующие сахара сконцентрированы, в основном, в периферийных частях клубня [9]. В процессе обжарки они интенсивно реагируют со свободными аминокислотами, вследствие чего образуется большое количество темноокрашенных соединений, появляется горьковатый привкус. В связи с этим для производства полуфабрикатов непригодны сорта с массовой долей сахаров более 0,4...0,5 %. В процессе хранения клубней, в результате гидролиза крахмала, наблюдается накопление моносахаров, что также может негативно повлиять на качество картофелепродуктов [10, 11].

Основное негативное влияние повышенного содержания редуцирующих сахаров (главным образом, глюкозы и фруктозы) на качество обжаренных картофелепродуктов заключается в образовании нейротоксического соединения акриламида – продукта реакции с аминокислотой аспарагин. Снизить его образование возможно путем отбора картофеля с низкой массовой долей сахаров, использования специальных приемов при возделывании, уборке и хранении картофеля, ингибирования реакции Майяра (реакции сахаров с аминокислотами, приводящей к образованию акриламида) [12].

Кроме того, в составе клубней картофеля могут присутствовать такие антиалиментарные вещества, как гликоалкалоиды. Это сильнодействующие яды, вследствие чего допустимый предел их содержания в свежих клубнях составляет 200 мг/кг картофеля [13]. Массовая доля гликоалкалоидов значительно повышается под воздействием света (в особенности, искусственного освещения) и при механических

повреждениях клубней. Максимальное их накопление в клубнях происходит примерно после 11 дней хранения на свету, также концентрация гликоалкалоидов увеличивается при хранении предварительно вымытых клубней. Это вызвано тем, что остатки почвы на кожуре создают защитный барьер от воздействия света и повреждений, который снимается при промывке [14].

Как полезные полифенольные соединения картофеля, так и токсичные для организма человека гликоалкалоиды образуются в растениях в качестве вторичных метаболитов и служат естественным фактором защиты от вредителей и патогенной микрофлоры [15, 16]. Корреляции между концентрациями этих групп веществ не наблюдается [16].

Исходя из изложенного, можно сделать вывод о необходимости комплексного подхода к оценке фитохимических свойств, качества картофеля и анализу его пригодности к переработке.

Цель исследования – изучение биохимических показателей качества гибридов картофеля для оценки целесообразности их переработки на крахмал, картофелепродукты и дальнейшего использования в качестве исходного материала для селекции.

Для ее достижения решали следующие задачи:

- проанализировать основные биохимические показатели новых экспериментальных гибридов для оценки целесообразности переработки на крахмал и картофелепродукты;
- выявить изменения количественного состава редуцирующих сахаров при различных режимах хранения образцов;
- по результатам статистической обработки полученных данных выявить основные взаимозависимости между составными компонентами в образцах картофеля;
- определить гибриды, наиболее интересные для дальнейшего использования в качестве исходного материала для селекции.

Новизна исследований – изучены основные компоненты химического состава новых гибридов картофеля, из которых выделены наиболее перспективные для переработки и дальнейшей селекции. Получены новые данные о корреляционных зависимостях между составными компонентами клубней картофеля.

Материал и методы. Исследовали 26 экспериментальных гибридов картофеля, переданных лабораторией клеточных и геномных исследований ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха».

Перед проведением исследования клубни хранили в темном месте при температуре 5 °С. Анализ массовой доли редуцирующих сахаров и глюкозы осуществляли после предварительного выдерживания клубней при температуре 22 °С в течение 21 суток.

Анализ изменения массовой доли редуцирующих сахаров в процессе хранения проводили следующим образом: определяли величину этого показателя после хранения в течение 2 и 21 суток при температуре 22 °С. Затем картофельные соки замораживали и в течение 7 суток выдерживали в морозильной камере при температуре -18 °С. После этого вновь оценивали массовую долю редуцирующих сахаров. Для проведения анализа были отобраны образцы гибридов картофеля с массовой долей редуцирующих веществ 0,02...0,17 %.

Массовую долю сухих веществ в картофеле определяли путем высушивания на приборе Кварц-21 М-33. Содержание общего крахмала в клубнях картофеля измеряли по методу Эверса, общего содержания редуцирующих сахаров – поляриметрическим методом, оба анализа проводили с использованием поляриметра Polartronic-N¹.

Массовую долю глюкозы в клеточном соке определяли с использованием глюкометра Contour plus [17] с последующим пересчетом показаний в проценты; гликоалкалоидов – спектрофотометрическим методом² в модификации Гусевой и Пасешниченко с использованием УФ-3200 спектрофотометра; неорганического фосфора – спектрофотометрическим методом³ с реактивами набора «ФН-ОЛЬВЕКС», предназначенного для определения ионов фосфора в сыворотке и плазме крови.

Для определения массовой доли сухих веществ и крахмала клубни измельчали до состояния каши на бытовой картофелетерке. Содержание редуцирующих сахаров, глюкозы, гликоалкалоидов и неорганического фосфора определяли в клеточном соке, приготовленном на соковыжималке Gastrorag.

Исследования проводили в 5-кратной повторности. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента, различия считали достоверными при пороге надежности $V1 = 0,95$ с уровнем статистической значимости $p \leq 0,05$. Рассчитывали средние значения (M) и ошибки средних значений ($\pm m$).

Для установления корреляционных зависимостей между величинами различных показателей использовали программу Statistica 12.

Результаты и их обсуждение. Из 26 исследуемых гибридов (табл. 1) отбирали те образцы, которые по своим биохимическим показателям удовлетворяют требованиям переработчиков на крахмал и картофелепродукты [18].

По результатам анализа полученных данных, найдено несколько корреляционных зависимостей между различными характеристиками образцов. Высокая корреляция ($r = 0,98$) наблюдается между значениями массовой доли сухих веществ и общей крахмалистости клубней (рис. 1, а).

Корреляции между массовой долей глюкозы в картофеле, измеренной с использованием глюкометра, и общей массовой долей сахаров, выявленной поляриметрическим методом, не установлено. Такая ситуация обусловлена тем, что в составе сахаров картофеля, кроме глюкозы, присутствуют фруктоза, фосфорные эфиры моносахаридов, сахароза, в случае прорастания или подмораживания клубней – мальтоза. Следовательно, при селекции на переработку картофеля следует обращать большее внимание на общее содержание сахаров.

Установлена прямолинейная положительная средняя корреляция между двумя нежелательными для переработки на картофелепродукты величинами: массовой долей редуцирующих сахаров и гликоалкалоидов (рис. 1, б). Для исследуемых гибридов она равна $r = 0,68$. Это несколько упрощает отбор в процессе селекции. Между концентрациями сухих веществ и гликоалкалоидов (рис. 1, в) в сортаобразцах также отмечена положительная средняя корреляция ($r = 0,59$). Наличие такой зависимости создает ограничения при создании пригодных для переработки генотипов.

¹Лукин Н. Д., Кирюхина И. И., Костенко В. Г. Общие методы анализа в технологическом контроле производства крахмала и крахмалопродуктов. М.: Россельхозакадемия, 2007. 158 с.

²Ладыгина Е. А. Гликоалкалоиды в картофеле и методы их определения. М.: Россельхозакадемия, 2009. 25 с.

³Henry R. J. Clinical Chemistry, Principles and Techniques. 2nd ed. Hagerstown, MD: Harper and Row, 1974. P. 525

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Таблица 1 – Качественные показатели исследуемых гибридов картофеля /
Table 1 – Qualitative indicators of the studied potato hybrids

Образец / Sample	Цвет мякоти / Color of pulp	Сухие вещества, % / Dry matter, %	Массовая доля крахмала в клубне, % сырой массы / Mass fraction of starch in a tuber, % of raw weight	Массовая доля редуциру- ющих сахаров, % сырой массы / Mass fraction of reducing sugars, % of raw weight	Массовая доля глюкозы в пересчете на сырую массу, % / Mass fraction glucose in recalculation on raw weight, %	Концентрация гликоал- калоидов, мг/кг картофеля / Concentra-tion of glycoalka- loids, mg/kg potatoes	Концентрация фосфора, мг/л клеточного сока / Phosphorus concentration, mg/L cell sap
300 к	Желтый / Yellow	23,87±0,10	17,16±0,30	0,74±0,07	0,09±0,01	172,2±8,0	566,8±7,9
301 к	Бежево-желтый / Beige-yellow	17,09±0,40	11,65±0,60	0,51±0,03	0,15±0,01	83,2±5,1	595,0±6,3
302 к	Светло-бежевый / Light-beige	22,88±0,30	16,00±0,90	0,36±0,04	0,11±0,01	60,8±4,3	525,8±5,9
303 к	Светло-бежевый / Light-beige	25,06±0,40	18,22±0,50	1,29±0,06	0,09±0,01	309,7±20,3	602,0±11,2
304 к	Золотисто-бежевый / Golden-beige	19,61±0,30	13,96±0,90	0,33±0,04	0,18±0,02	113,9±8,2	491,1±3,9
305 к	Желтовато-кремовый / Yellowy-cream	21,19±0,10	14,94±0,80	0,11±0,02	0,23±0,02	58,0±5,3	585,3±8,4
306 к	Белый / White	21,43±0,20	15,38±0,60	0,06±0,01	0,10±0,01	100,8±10,0	456,1±3,2
307 к	Желтый / Yellow	18,93±0,20	12,71±0,30	0,27±0,02	0,16±0,02	93,5±8,1	568,9±5,3
308 к	Светло-кремовый / Pale-cream	20,87±0,20	14,89±0,50	0,24±0,01	0,08±0,01	82,0±7,9	485,5±5,0
309 к	Бежево-желтый / Beige-yellow	20,43±0,20	14,40±0,70	0,29±0,04	0,12±0,01	167,2±14,3	536,0±9,2
310 к	Желтовато-кремовый / Yellowy-cream	21,42±0,10	15,38±0,40	0,66±0,05	0,14±0,01	188,1±9,1	593,1±6,9
311 к	Светло-бежевый / Light-beige	21,17±0,30	14,85±0,70	0,65±0,04	0,12±0,01	31,0±3,9	532,6±8,1
312 к	Кремовый / Cream	16,88±0,30	10,49±0,80	0,45±0,03	0,18±0,02	42,4±7,2	588,9±6,0
313 к	Белый / White	19,06±0,20	12,45±0,60	0,12±0,03	0,14±0,01	71,9±6,4	537,0±5,2
314 к	Бледно-кремовый / Pale-cream	21,69±0,20	15,47±0,50	0,17±0,03	0,12±0,01	97,2±8,9	493,7±6,2
315 к	Золотисто-бежевый / Golden-beige	19,19±0,10	13,16±0,40	0,44±0,03	0,22±0,02	68,8±7,2	456,1±4,3
316 к	Кремовый / Cream	15,28±0,30	9,25±0,60	0,59±0,02	0,20±0,02	114,0±10,1	599,4±7,1
317 к	Бежево-желтый / Beige-yellow	22,40±0,20	16,18±0,50	0,23±0,02	0,11±0,01	62,0±4,9	546,8±4,3
318 к	Желтовато-кремовый / Yellowy-cream	22,17±0,40	16,18±0,50	0,41±0,06	0,12±0,01	126,1±5,2	540,0±8,3
319 к	Кремово-желтый / Cream-yellow	20,89±0,20	15,20±0,80	0,02±0,01	0,12±0,01	128,3±11,9	474,0±3,1
320 к	Бледно-кремовый / Pale-cream	19,00±0,30	13,34±0,70	0,08±0,02	0,10±0,01	76,8±8,2	533,6±4,1
321 к	Кремово-желтый / Cream-yellow	17,74±0,20	12,71±0,40	0,29±0,02	0,26±0,02	64,7±7,1	528,4±9,2
322 к	Белый / White	19,23±0,20	13,96±0,70	0,38±0,05	0,15±0,01	73,6±4,3	502,4±4,2
323 к	Золотистый / Golden	21,31±0,10	14,94±0,80	0,37±0,06	0,09±0,01	121,4±11,0	544,7±9,2
324 к	Зеленовато-кремовый / Greenish-cream	20,46±0,30	14,22±0,60	0,88±0,05	0,19±0,02	110,1±9,3	523,7±7,1
325 к	Желтый / Yellow	19,56±0,10	13,34±0,70	0,48±0,04	0,15±0,01	126,1±11,3	548,4±5,2

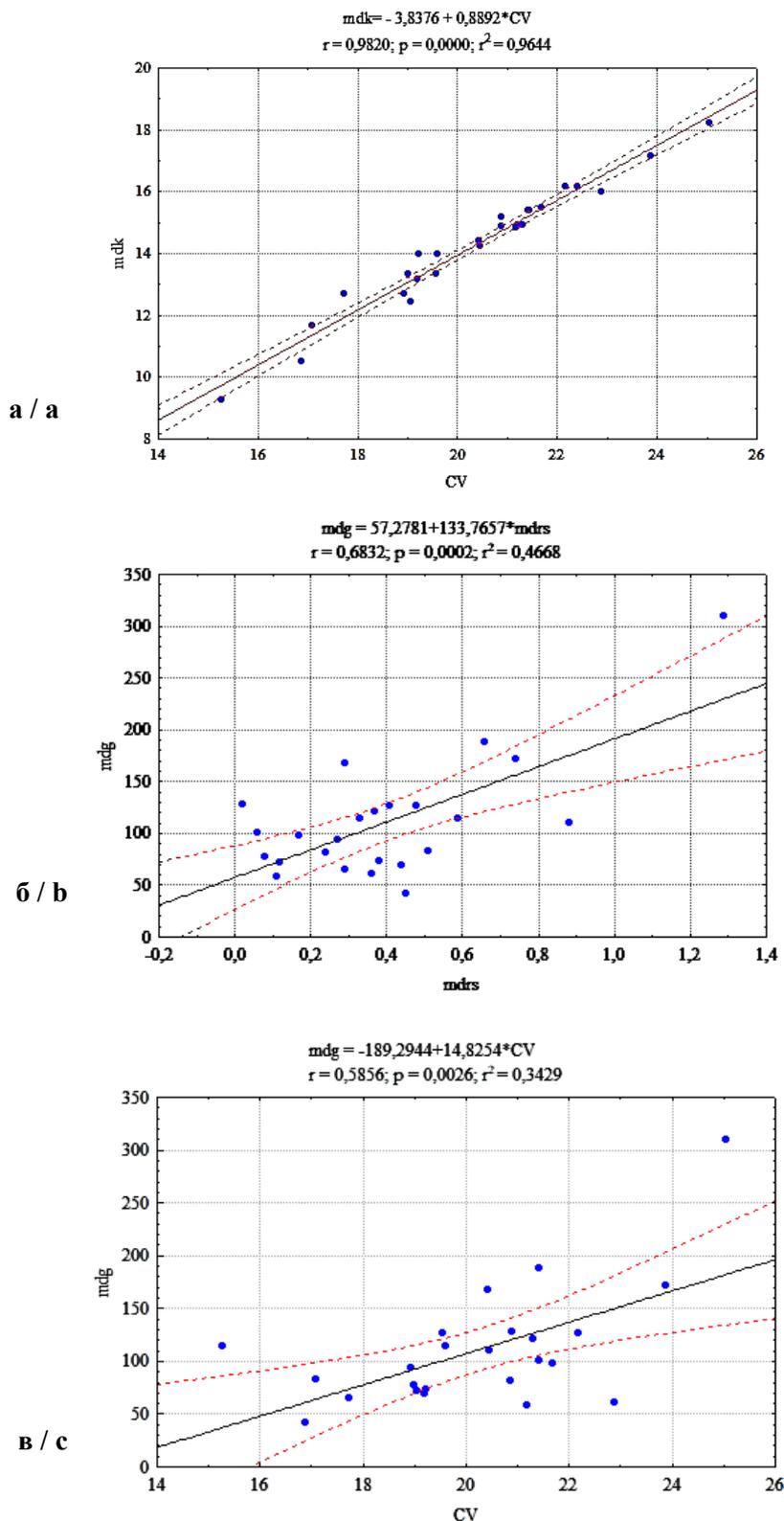


Рис. 1. Графики корреляционной зависимости между: а) массовыми долями СВ (CV, %) и крахмала (mdk, %); б) массовыми долями редуцирующих сахаров (mdrs, % сырой массы) и гликоалкалоидов (mdg, мг/кг); в) массовыми долями СВ (CV, %) и гликоалкалоидов (mdg, мг/кг) в картофеле /

Fig. 1. Correlation graphs: a) between mass fractions of DM (CV, %) and starch (mdk, %); b) between mass fractions of reducing sugars (mdrs, % raw weight) and glycoalkaloids (mdg, mg/kg); c) between mass fractions of DM (CV, %) and glycoalkaloids (mdg, mg/kg) in potato

Температура хранения образцов картофеля по-разному влияла на массовую долю редуцирующих сахаров, в зависимости от сорта (табл. 2). В образцах 319 к и 320 к изменялось и направление вращения плоскости поляризации света сахарами, что можно объяснить изменением структурированности воды и таутомерного равновесия растворенных в ней веществ при понижении температуры [19]. Левовращающие формы сахаров (знак «-») при выдерживании при комнатной температуре переходили в правовращающие, а при замораживании соков – обратно в левовращающие. В образцах

305 к, 313 к и 314 к такого не наблюдалось. Такая ситуация может быть связана с инверсией сахарозы. Сахароза, вращающая плоскость поляризации вправо, при гидролизе образует глюкозу, которая также вращает плоскость вправо, и фруктозу, которая вращает ее влево. Смесь эквимолекулярных количеств этих моносахаридов вращает плоскость поляризации. Исследуемые образцы картофеля характеризуются различным содержанием редуцирующих сахаров, и вследствие преобладания глюкозы или фруктозы могут проявляться различия во вращении плоскости поляризации.

Таблица 2 – Изменение массовой доли редуцирующих сахаров в процессе хранения клубней картофеля / Table 2 – Changes in the mass fraction of reducing sugars during storage

Образец / Sample	Массовая доля редуцирующих сахаров, % сырой массы / Mass fraction of reducing sugars, % of raw weight		
	через 2 суток при температуре 22 °C / after 2 days at 22 °C	через 21 сутки при температуре 22 °C / after 21 days at 22 °C	через 7 суток нахождения нативных соков при температуре -18 °C / after 7 days of keeping the native juices at -18 °C
320 к	(-) 0,12±0,01	0,08±0,01	(-) 0,02±0,01
313 к	0,30±0,01	0,12±0,01	0,14±0,01
319 к	(-) 0,10±0,01	0,02±0,01	(-) 0,09±0,01
305 к	(-) 0,09±0,01	(-) 0,11±0,01	(-) 0,13±0,01
314 к	(-) 0,10±0,01	(-) 0,17±0,01	(-) 0,08±0,01

Для исследуемых образцов картофеля установлена прямолинейная отрицательная корреляция между массовыми долями СВ и глюкозы ($r = -0,61$), крахмала и глюкозы ($r = -0,58$). Полученная при обработке данных в программе Statistica 12 зависимость массовой доли глюкозы от содержания сухих веществ и крахмала в картофеле может быть представлена в виде формулы:

$$\text{mdGl} = 1,5055 - 0,3921 \cdot \text{CV} + 0,3871 \cdot \text{mdk} + 0,0279 \cdot (\text{CV})^2 - 0,0529 \cdot (\text{CV}) \cdot (\text{mdk}) + 0,024 \cdot (\text{mdk})^2,$$

где mdGl – массовая доля глюкозы, %;
CV – массовая доля сухих веществ, %;
mdk – массовая доля крахмала, %.

В результате анализа этой зависимости и с учетом прямолинейной корреляции между содержанием крахмала и сухих веществ в картофеле установлено, что по мере повышения массовой доли сухого вещества и крахмалистости образование глюкозы в клубнях снижается вследствие синтеза крахмала (рис. 2).

Из 26 экспериментальных образцов картофеля, переданных для исследования лабораторией клеточных и геномных исследований ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха», только один гибрид под номером 303 к с содержанием СВ – 25,06 %, крахмала – более 18,22 % соответствовал требованиям, предъявляемым к картофелю для переработки на крахмал и крахмалопродукты. Высокая массовая доля редуцирующих сахаров – 1,29 % сырой массы картофеля и гликоалкалоидов – 309,7 мг/кг сырой массы картофеля не позволяет использовать гибрид 303 к в производстве картофелепродуктов и в качестве столового картофеля.

В наших исследованиях наибольшая массовая доля СВ отмечена у гибрида 303 к – 25,06 %, более 20 % она была у образцов 317 к, 300 к, 319 к, 305 к, 302 к, 314 к, 309 к, 310 к, 318 к, 306 к, 311 к, 308 к, 323 к, 324 к. По массовой доле крахмала для переработки на картофелепродукты подходят образцы 318 к, 302 к, 300 к, 317 к, так как качественные показатели этих гибридов полностью соответствуют требованиям переработчиков [18].

$$\text{mdGl} = 1,5055 - 0,3921 * x + 0,3871 * y + 0,0279 * x * x - 0,0529 * x * y + 0,024 * y * y$$

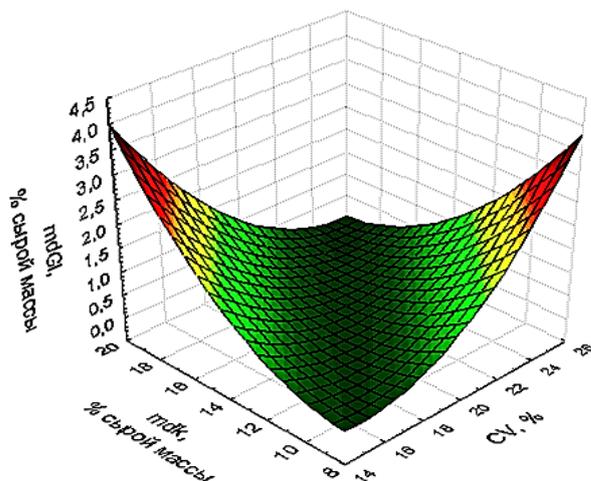


Рис. 2. Зависимость массовой доли глюкозы (mdGl, %) от содержания СВ (CV, %) и крахмала (mdk, %) в сыром картофеле /

Fig. 2. Dependence of mass fraction of glucose (mdGl, %) on DM content (CV, %) and starch (mdk, %) in raw potatoes

Общее содержание редуцирующих сахаров, при котором клубни можно использовать в качестве сырья для производства обжаренных картофелепродуктов (не более 0,25 %), отмечено у гибридов 320 к, 313 к, 319 к, 305 к, 314 к, 306 к, 308 к, 317 к. У образцов 304 к, 309 к, 318 к, 321 к, 302 к, 307 к, 322 к, 323 к, 312 к, 325 к оно находится в интервале 0,25...0,50 % (норма для производства других видов картофелепродуктов). По массовой доле гликоалкалоидов только гибрид 303 к не соответствовал требованиям (не более 200 мг/кг картофеля).

Для производства обжаренных картофелепродуктов может быть рекомендован только образец 317 к, у которого содержание сухого вещества составляло 22,40 %, крахмала – 16,18 %, редуцирующих сахаров – 0,23 %, гликоалкалоидов – 62,0 мг/кг. Для производства других видов картофелепродуктов представляют интерес гибриды 318 к, 302 к и 317 к с содержанием сухого вещества – более 22 %, крахмала – не менее 16 %, редуцирующих веществ – 0,2...0,4 % и гликоалкалоидов – 60...126 мг/кг.

Остальные гибриды можно отнести к картофелю столового назначения. В образцах с низким содержанием гликоалкалоидов наблюдали бледное, слабое окрашивание на холоде в присутствии серной кислоты и формалина. Образцы с высоким содержанием гликоалкалоидов (303 к) давали реакцию с ярко-малиновым окрашиванием.

Показатели массовой доли фосфора для всех гибридов картофеля были идентичны и находились в диапазоне 456...602 мг/л картофельного сока. Это свидетельствует о высокой

питательной ценности изученных образцов, поскольку соединения фосфора в картофеле могут компенсировать до 10...15 % суточной нормы потребности человека в этом минеральном элементе [20].

Заключение. Из 26 изученных образцов картофеля требованиям, предъявляемым к картофелю для переработки на крахмал и крахмалопродукты, соответствовал только один (303 к) с содержанием СВ – 25,06 % и крахмала – более 18,22 %. При этом высокая массовая доля редуцирующих сахаров (1,29 % сырой массы) и гликоалкалоидов (309,7 мг/кг сырой массы) не позволяют использовать его в производстве картофелепродуктов и в качестве столового картофеля.

Для производства обжаренных картофелепродуктов может быть рекомендован только образец 317 к с содержанием СВ – 22,40 %, крахмала – 16,18 %, редуцирующих сахаров – 0,23 %, гликоалкалоидов – 62,0 мг/кг. Для производства других видов картофелепродуктов могут представлять интерес гибриды 318 к, 302 к и 317 к, у которых содержание СВ превышает 22 %, крахмала – 16 %, массовая доля редуцирующих веществ находится в диапазоне 0,2...0,4 %, концентрация гликоалкалоидов – 60...126 мг/кг. Остальные гибриды могут быть рекомендованы только для использования в качестве столового картофеля.

В результате корреляционного анализа установлено, что с увеличением массовой доли сухих веществ и редуцирующих сахаров повышается концентрация гликоалкалоидов в клубнях, а при снижении массовой доли сухих веществ и крахмала в клубнях увеличивается массовая доля глюкозы.

Массовая доля редуцирующих сахаров и направление вращения плоскости поляризации света сахарами нелинейно изменяются при различных температурных режимах хранения образцов, что может быть связано с различным содержанием редуцирующих сахаров в клубнях.

Корреляционные зависимости, выявленные в результате оценки селекционного материала по технологическим показателям, могут быть использованы для дальнейшей селекции генотипов картофеля, пригодных для промышленной переработки.

Список литературы

1. Молявко А. А., Марухленко А. В., Еренкова Л. А., Борисова Н. П., Белоус Н. М., Ториков В. Е. Качество картофеля и картофелепродуктов в зависимости от минерального питания. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;5(75):10-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41161788>
2. Тульчев В. В., Желова С. В., Овэс Е. В. Стратегия развития рынка картофеля и продуктов его переработки в России. Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество: мат-лы XIX Национальной научн. конф. с междунар. участием. М.: ИНИОН РАН, 2020. Вып. 3. Ч. 1. С. 432-436. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-razvitiya-rynka-kartofelya-i-produktov-ego-pererabotki-v-rossii>
3. Jaiswal A. Nutritional significance of processed potato products. Potato. Nutrition and Food Security. Springer, 2020. pp. 247-270. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_14
4. Wang F., Wang C., Song Sh., Xie Sh., Kang F. Study on starch content detection and visualization of potato based on hyperspectral imaging. Food Science & Nutrition. 2021;9(8):4420-4430. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2415>
5. Андреев Н. Р., Малеева Е. Н., Лукина Н. С. Развитие технологии производства картофельного крахмала. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(12):104-106. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147505>
6. Гольдштейн В. Г., Дегтярев В. А., Коваленок В. А., Семенова А. В., Морозова А. А. Определение пригодности различных сортов картофеля (*Solanum Tuberosum* L.) с белой и пигментированной мякотью для переработки на картофелепродукты. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(1):98-109. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109>
7. Семенова А. В., Морозова А. А. Оценка качественных показателей картофеля для промышленной переработки. Пищевые системы. 2021;4(3S):261-265. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-261-265>
8. Коршунов А. В., Филиппова Г. И., Гаитова Н. А., Митюшкин А. В., Кутовенко Л. Н. Управление содержанием крахмала в картофеле. Аграрный вестник Урала. 2011;(2(81)):47-50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17855374>
9. Camps C., Camps Z.-N. Optimized Prediction of Reducing Sugars and Dry Matter of Potato Frying by FT-NIR Spectroscopy on Peeled Tubers. Molecules. 2019;24(5):967. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24050967>
10. Волков Д. И., Ким И. В., Гисюк А. А., Клыков А. Г. Оценка клубней сортов картофеля на содержание редуцирующих сахаров и лежкость. Дальневосточный аграрный вестник. 2021;(1(57)):5-13. DOI: <https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-1-5-13>
11. Sun X., Liu J., Zhu K. Nondestructive detection of reducing sugar of potato flours by near infrared spectroscopy and kernel partial least square algorithm. Journal of Food Measurement and Characterization. 2019;13(2):231-237. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9936-8>
12. Devaux A., Goffart J. P., Kromann P., Andrade-Piedra J., Hareau G. G., Polar V. The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems. Potato Research. 2021;64(4):681-720. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
13. Friedman M., McDonald G. M. Potato Glycoalkaloids: chemistry, analysis, safety, and plant physiology. Critical Reviews in Plant Sciences. 1997;16(1):55-132. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689709701946>
14. Rymuza K., Gugała M., Zarzecka K., Sicorska A., Findura P., Malaga-Toboła U., Kapela K., Radzka E. The effect of light exposures on the Content of Harmful Substances in Edible Potato Tuber. Agriculture. 2020;10(5):139. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10050139>
15. Uluwaduge D. Glycoalkaloids, bitter tasting toxicants in potatoes: A review. International Journal of Food Science and Nutrition. 2018;3(4):188-193. URL: https://www.researchgate.net/publication/327287132_Glycoalkaloids_bitter_tasting_toxicants_in_potatoes_A_review
16. Kowalczewski P. L., Zembrzuska J., Drożdżyńska A., Smarzyński K., Radzikowska-Kujawska D., Kieliszek M., Jezowski P., Sawinska Z. Influence of Potato Variety on Polyphenol Profile Composition and Glycoalkaloid Contents of Potato Juice. Open Chemistry. 2021;19(1):1225-1232. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0109>
17. Olsen N. L., Frazier M. J., Woodell L. K., Frazier M., Thornton M., Karasev A. Simple tools for rapid diagnostics and decision making. American Journal of Potato Research. 2021;98(1):1-4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09812-1>

18. Симаков Е. А., Митюшкин Ал-ей. В., Митюшкин Ал-др. В., Журавлев А. А. Современные требования к сортам картофеля различного целевого использования. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(11):45-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28140587>
19. Штыков С. Н., Паршина Е. В. Микроокружение и свойства органических реагентов в растворах ПАВ. Журнал аналитической химии. 1995;50(7):740-746.
20. Капитонова Э. К. Ода картофелю. Медицинские новости. 2015;(10):42-45
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25449347>

References

1. Molyavko A. A., Marukhlenko A. V., Erenkova L. A., Borisova N. P., Belous N. M., Torikov V. E. The dependence of quality of potato and its products on mineral nutrition. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2019;5(75):10-15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41161788>
2. Tulcheev V. V., Zhevora S. V., Oves E. V. Strategy for the development of the potato market and its processed products in Russia. Greater Eurasia: development, security, cooperation: Proceedings of the XIX National Scientific Conference with international participation. Moscow: *INION RAN*, 2020. Iss. 3. Part. 1. pp. 432-436. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-razvitiya-rynka-kartofelya-i-produktov-ego-pererabotki-v-rossii>
3. Jaiswal A. Nutritional significance of processed potato products. *Potato. Nutrition and Food Security*. Springer, 2020. pp. 247-270. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_14
4. Wang F., Wang C., Song Sh., Xie Sh., Kang F. Study on starch content detection and visualization of potato based on hyperspectral imaging. *Food Science & Nutrition*. 2021;9(8):4420-4430. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2415>
5. Andreev N. R., Maleeva E. N., Lukina N. S. Development of technology of potato starch production. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(12):104-106. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28147505>
6. Goldstein V. G., Degtyarev V. A., Kovalenok V. A., Semenova A. V., Morozova A. A. Determination of suitability of different potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties with white and pigmented pulp for processing into potato products. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(1):98-109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109>
7. Semenova A. V., Morozova A. A. Evaluation of quality indicators of potatoes for industrial processing. *Pishchevye sistemy* = Food systems. 2021;4(3S):261-265. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-261-265>
8. Korshunov A. V., Filippova G. I., Gaitova N. A., Mityushkin A. V., Kutovenko L. N. Control of starch content in potato. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;(2(81)):47-50. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17855374>
9. Camps C., Camps Z.-N. Optimized Prediction of Reducing Sugars and Dry Matter of Potato Frying by FT-NIR Spectroscopy on Peeled Tubers. *Molecules*. 2019;24(5):967. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24050967>
10. Volkov D. I., Kim I. V., Gisyuk A. A., Klykov A. G. Evaluation of potato tubers of the reducing sugar content and keeping quality. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2021;(1(57)):5-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-1-5-13>
11. Sun X., Liu J., Zhu K. Nondestructive detection of reducing sugar of potato flours by near infrared spectroscopy and kernel partial least square algorithm. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2019;13(2):231-237. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9936-8>
12. Devaux A., Goffart J. P., Kromann P., Andrade-Piedra J., Hareau G. G., Polar V. The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems. *Potato Research*. 2021;64(4):681-720. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>
13. Friedman M., McDonald G. M. Potato Glycoalkaloids: chemistry, analysis, safety, and plant physiology. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 1997;16(1):55-132. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689709701946>
14. Rymuza K., Gugala M., Zarzecka K., Sicorska A., Findura P., Malaga-Toboła U., Kapela K., Radzka E. The effect of light exposures on the Content of Harmful Substances in Edible Potato Tuber. *Agriculture*. 2020;10(5):139. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10050139>
15. Uluwaduge D. Glycoalkaloids, bitter tasting toxicants in potatoes: A review. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 2018;3(4):188-193. URL: https://www.researchgate.net/publication/327287132_Glycoalkaloids_bitter_tasting_toxicants_in_potatoes_A_review
16. Kowalczewski P. L., Zembrzuska J., Drożdżyńska A., Smarzyński K., Radzikowska-Kujawska D., Kieliszek M., Jezowski P., Sawinska Z. Influence of Potato Variety on Polyphenol Profile Composition and Glycoalkaloid Contents of Potato Juice. *Open Chemistry*. 2021;19(1):1225-1232. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0109>

17. Olsen N. L., Frazier M. J., Woodell L. K., Frazier M., Thornton M., Karasev A. Simple tools for rapid diagnostics and decision making. *American Journal of Potato Research*. 2021;98(1):1-4.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-020-09812-1>

18. Simakov E. A., Mityushkin Al-ey. V., Mityushkin Al-dr. V., Zhuravlev A. A. Modern requirements to potato varieties of different target use. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(11):45-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28140587>

19. Shtykov S. N., Parshina E. V. Microenvironment and properties of organic reagents in surfactant solutions. *Zhurnal analiticheskoy khimii = Journal of Analytical Chemistry*. 1995;50(7):740-746. (In Russ.).

20. Капитонова Е. К. The ode on potato. *Meditsinskie novosti*. 2015;(10):42-45. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25449347>

Сведения об авторах

✉ **Семенова Анастасия Владимировна**, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова 11, г. о. Люберцы, д. п. Красково, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0905-0111>, e-mail: semnast97@mail.ru

Гольдштейн Владимир Георгиевич, кандидат техн. наук, зав. отделом, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова 11, г. о. Люберцы, д. п. Красково, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>

Дегтярев Владимир Алексеевич, зав. лабораторией технологии переработки картофеля, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова 11, г. о. Люберцы, д. п. Красково, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0233-4090>

Морозова Анастасия Алексеевна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова 11, г. о. Люберцы, д. п. Красково, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1937-3539>

Королева Алина Кирилловна, аспирант, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, дом 23, литера «В», д. п. Красково, г. о. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7647-848X>

Information about the authors

✉ **Anastasia V. Semenova**, junior researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 11, Nekrasov Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0905-0111>, e-mail: semnast97@mail.ru

Vladimir G. Goldstein, PhD in Engineering, leading researcher, Head of the Department, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 11, Nekrasov Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2042-0681>

Vladimir A. Degtyarev, senior researcher, Head of the Laboratory of Potato Processing Technology, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 11, Nekrasov Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0233-4090>

Anastasia A. Morozova, junior researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 11, Nekrasov Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1937-3539>

Alina K. Koroleva, postgraduate, Russian Potato Research Centre, 23 «В», Lorkh Street, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: mail@potatocentre.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7647-848X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859>

УДК 633.16:631.52 (571.12)

Урожайность ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации в условиях Среднего Предуралья© 2022. Д. С. Фомин¹, Н. Н. Яркова², С. С. Полякова^{1,2} ✉

¹Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация,
²ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет», г. Пермь, Российская Федерация

Цель исследований – изучить в условиях Среднего Предуралья влияние гидротермических условий вегетации 2011-2022 гг. на урожайность ярового ячменя сорта Родник Прикамья. Ячмень возделывали в традиционном полевом зерноотраважнопаровом севопольном севообороте на двух фонах минерального питания (без удобрений, N₆₀P₃₀K₆₀). В условиях длительного стационарного опыта проанализировано влияние на урожайность ячменя показателей влаго- и теплообеспеченности вегетационных периодов (температуры воздуха, суммы осадков, гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова) и минеральных удобрений. Проведенный анализ доказывает достоверность связи, а уравнения регрессии для криволинейной зависимости позволяют прогнозировать урожайность ярового ячменя по обоим фонам минерального питания в типичных для Среднего Предуралья почвенно-климатических условиях. Для варианта с внесением минерального питания, с точностью прогнозирования 84,56 %: $Y = -1,22163X^2 + 0,69X + 4,01388626$, где Y – прогнозируемая урожайность, т/га, X – гидротермический коэффициент мая. Для варианта без внесения минеральных удобрений: $Y = -0,080X^2 + 0,5844X + 2,5506$, где Y – прогнозируемая урожайность, т/га, X – гидротермический коэффициент июня. Точность прогнозирования урожайности ярового ячменя по гидротермическому коэффициенту июня месяца составляет 77,89 %.

Ключевые слова: сорт Родник Прикамья, минеральные удобрения, погодно-климатические условия, корреляция

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (темы № АААА-А19-119032190059-8 и 122032200247-7).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Фомин Д. С., Яркова Н. Н., Полякова С. С. Урожайность ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий в условиях Среднего Предуралья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):852-859. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859>

Поступила: 07.11.2022

Принята к публикации: 01.12.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

The yield of spring barley depending on the hydrothermal conditions of vegetation in the conditions of the Middle Trans-Urals© 2022. Denis S. Fomin¹, Nadezhda N. Yarkova², Sofia S. Polyakova^{1,2} ✉

¹Perm Agricultural Research Institute, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Krai, Russian Federation,
²Perm State Agro-Technological University, Perm, Russian Federation

The purpose of the research is to study the influence of hydrothermal conditions of vegetation of 2011-2022 on the yield of spring barley of the Rodnik Prikamya variety in the conditions of the Middle Trans-Urals. Barley was cultivated in a traditional field grain-grassfallow seven-field crop rotation against two backgrounds of mineral nutrition (without fertilizers, N₆₀P₃₀K₆₀). In the conditions of a long stationary experiment, the influence of indicators of moisture and heat supply of vegetation periods (air temperature, precipitation amount, G. T. Selyaninov hydrothermal coefficient) and mineral fertilizers on barley yield was analyzed. The analysis proves the reliability of the relationship, and the regression equations for the curvilinear dependence make it possible to predict the yield of spring barley for both backgrounds of mineral nutrition in typical soil and climatic conditions for the Middle Trans-Urals. For the variant with the introduction of mineral nutrition, with a prediction accuracy of 84.56 %: $Y = -1.22163X^2 + 0.69X + 4.01388626$, where Y is the predicted yield, t/ha, X is the hydrothermal coefficient of May. For the variant

without mineral fertilizers: $Y = -0.080X^2 + 0.5844X + 2.5506$, where Y is the predicted yield, t/ha, X is the hydrothermal coefficient of June. The accuracy of forecasting the yield of spring barley by the hydrothermal coefficient of June is 77.89 %.

Keywords: *Rodnik Prikamjya variety, mineral fertilizers, weather and climatic conditions, correlation*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (topic No. AAAA19-119032190059-8 and 122032200247-7).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Fomin D. S., Yarkova N. N., Polyakova S. S. Yield of spring barley depending on the hydrothermal conditions of vegetation in the conditions of the Middle Trans-Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):852-859. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859>

Received: 07.11.2022

Accepted for publication: 01.12.2022

Published online: 16.12.2022

Ранее проведёнными исследованиями установлено, что неблагоприятные природные условия приводят к снижению продуктивности зернофуражных культур, в частности ярового ячменя. Задача повышения продуктивности ячменя – одна из приоритетных в Пермском крае ввиду развитой отрасли животноводства и необходимости получения высокобелковых зернофуражных кормов [1, 2, 3, 4, 5].

Валовой сбор ярового ячменя на территории Пермского края не превышает 0,5 % от общероссийских объемов производства. Министерством агропромышленного комплекса Пермского края поставлена задача к 2024 г. довести производство ячменя до 137,9 тыс. тонн, при средних значениях за 2018-2022 гг. 102,8 тыс. тонн и урожайности 1,74 т/га, площади возделывания – 60453 га, отмечается нестабильность валовых сборов и урожайности данной культуры, что не позволяет достигнуть запланированных показателей¹. Поставленную задачу планируется осуществить путем вовлечения в оборот новых земель, использования современных сортов, возделывания культуры в севооборотах с применением удобрений и т. д. Помимо этого, очень важно учитывать особенности влияния погодных факторов на продуктивность ячменя для достижения эффективности его возделывания [5, 6, 7, 8, 9].

Гидротермический коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинова² является одним из наиболее часто используемых показателей в агрометеорологии, в том числе для оценки потенциала возделываемых сельскохозяйственных культур. Ячмень – засухоустойчивая культура, однако на фоне минеральных удобрений он

в разной степени реагирует на влагообеспеченность и температурные показатели вегетации [10].

Цель исследований – изучение влияния гидротермических условий на урожайность ярового ячменя на разных фонах минерального питания в длительном стационарном опыте в условиях Среднего Предуралья.

Новизна исследований. Проведен статистический анализ данных за двенадцать лет исследований, выявлены зависимости урожайности ярового ячменя от гидротермических условий вегетации по двум фонам минерального питания.

Материал и методы. Исследования проводили в 2011-2022 гг. на центральном опытном поле Пермского НИИСХ – филиала Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук в длительном стационарном опыте.

Объект исследований – яровой ячмень Родник Прикамья, возделываемый в традиционном для Среднего Предуралья полевом зернотравянопаровом семипольном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар (+ навоз в дозе 42 т/га) – озимая рожь – яровая пшеница с подсевом клевера – клевер 1 года пользования – клевер 2 года пользования – яровой ячмень – овёс.

В опыте были изучены варианты:

1. Без удобрений (контроль).
2. N₆₀P₃₀K₆₀.

Доза внесения фосфора обосновывается высоким содержанием подвижного фосфора в почве.

¹Официальный сайт Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. URL: <https://mcx.gov.ru> (дата обращения: 10.10.2022).

²Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;(20):165-177.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая. Агрохимические показатели почвы перед проведением опыта в 2010 году: рН_{кол.} – 4,8; содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91) – 2,5 %, подвижного фосфора – 351,0 мг/кг почвы, подвижного калия – 188,4 мг/кг почвы.

Агротехника в опыте общепринятая для яровых зерновых культур в Пермском крае. Обработка почвы включала зяблевую вспашку, ранневесеннее боронование, предпосевную культивацию с боронованием в два следа при физической спелости почвы. Удобрения вносили согласно схеме опыта. Посев проводили в течение суток после предпосевной культивации рядовым способом сеялкой СЗ-3,6 (в 2011-2020 гг.) и Amazone D9-4000 (2021, 2022 гг.) кондиционными семенами районированного с 2010 года для Пермского края сорта Родник Прикамья в течение всего периода исследований. Норма высева 5,5 млн всх. семян/га. Уход за посевами состоял из однократной обработки посевов гербицидом Гербитокс, ВРК (1 л/га) в фазе кущения. Учет урожайности проводили прямым комбайнированием комбайном Sampo SR 2010 в фазе твердой спелости.

Опыт ведётся в соответствии с методикой опытного дела. Учетная площадь делянки 75 м². Повторность трехкратная. Математическую обработку данных с использованием дисперсионного и корреляционного анализов проводили по Б. А. Доспехову³.

Оценку условий увлажнения и расчет суммы положительных температур проводили по данным, полученным на метеостанции г. Перми. ГТК рассчитывали по Г. Т. Селянину⁴.

Результаты и их обсуждение.

В результате исследований, проведенных в 2011-2022 гг., отмечено, что метеорологические условия значительно различались по годам (табл. 1).

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.
⁴Селянин Г. Т. Указ. соч.

Таблица 1 – Метеорологические условия за период вегетации и урожайность ярового ячменя сорта Родник Прикамья /
Table 1 – Meteorological conditions during the growing season and the yield of spring barley Rodnik Prikamya

Год / Year	Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm		Сумма эффективных температур, °С / Sum of effective temperatures, °C		ГТК / Hydrothermal coefficient						Урожайность, т/га / Productivity, t/ha	
	май-август / may-august	май-август / may-august	май-август / may-august	май-август / may-august	май / may	июнь / june	июль / july	август / august	среднее / average	0	NRK	среднее / average
2011	307,2	2060,3	1,11	2,71	1,07	0,38	1,49	2,91	3,28	2,91	3,64	3,28
2012	331,1	2212,6	1,37	1,74	1,27	1,27	1,50	2,96	3,04	2,96	3,12	3,04
2013	268,8	2136,9	0,94	0,75	1,32	1,37	1,26	3,43	3,67	3,43	3,91	3,67
2014	259,0	1892,9	0,34	1,82	2,19	1,04	1,37	4,24	4,10	4,24	3,95	4,10
2015	380,6	2024,3	0,92	1,07	2,64	4,27	1,88	2,32	2,77	2,32	3,22	2,77
2016	190,0	2247,9	0,05	2,02	0,27	0,58	0,85	2,06	2,02	2,06	1,97	2,02
2017	417,6	1775,2	0,52	2,86	3,77	1,29	2,35	2,53	2,03	2,53	1,53	2,03
2018	237,1	1883,1	1,00	1,93	0,74	1,70	1,26	3,70	3,82	3,70	3,94	3,82
2019	490,7	1846,8	1,39	1,67	2,73	5,70	2,66	1,68	2,02	1,68	2,35	2,02
2020	276,3	2040,9	2,00	2,20	0,60	1,43	1,35	4,26	4,31	4,26	4,36	4,31
2021	303,2	2237,6	0,46	1,14	2,51	0,42	1,36	1,47	1,38	1,47	1,28	1,38
2022	131,0	1869,0	2,11	1,54	0,13	0,20	1,49	1,98	2,39	1,98	2,80	2,39
Среднее / Average	299,4	2019,0	1,02	1,79	1,60	1,64	-	2,80	2,91	2,80	3,02	2,91

По данным Гидрометцентра установлено, что засушливыми погодными условиями характеризовались 2013, 2014, 2016, 2018, 2020 и 2022 гг.: сумма осадков варьировала от 131 до 268,8 мм за вегетационный период культуры при среднемноголетних значениях 286 мм. Избыточным увлажнением отличались 2015, 2017 и 2019 гг.: сумма осадков изменялась от 380,6 до 490,7 мм. Оптимальные годы по количеству осадков – 2011, 2012, 2021 гг., с суммой осадков 307,2 мм, 331,1 и 299,4 мм соответственно.

Температурный режим в годы исследований также значительно различался в период вегетации ячменя, сумма эффективных температур изменялась от 1775 до 2247 °С, при среднемноголетних – 1800 °С.

Величины ГТК Селянинова за вегетационные периоды 2011-2022 гг. существенно различались, что позволило выявить влияние количества осадков и температуры на урожайность ярового ячменя. Отмечено, что лишь 2016 г. – засушливый (ГТК = 0,85), слабо засушливые – 2013 и 2018 год (ГТК = 1,26), влажные – 2011, 2012, 2014, 2020-2022 гг. (ГТК = 1,35-1,50) и избыточно влажные – 2015, 2017, 2019 гг. (ГТК = 1,88-2,66). Таким образом, засушливые и слабозасушливые условия наблюдались только в 25 % рассматриваемого периода (2011-2022 гг.).

Урожайность – основной показатель для оценки продуктивности возделываемой культуры. Урожайность ярового ячменя в среднем

за 2011-2022 гг. в контрольном варианте была существенно ниже (на 0,22 т/га, или 7,4 %), чем в варианте с применением минеральных удобрений (2,80 т/га и 3,02 т/га соответственно, при НСР₀₅ = 0,20 т/га). Наименьшая урожайность ярового ячменя при внесении удобрений была выявлена в 2016, 2017 и 2021 гг., когда в мае наблюдался резкий дефицит увлажнения.

Стоит отметить, что в 2014 г. май характеризовался как недостаточно увлажнённый, однако осадки в первой декаде мая позволили получить высокие урожаи, и в целом период вегетации проходил в достаточно увлажнённых условиях (табл. 2). Результаты полевого опыта показали, что урожайность в годы исследований значительно изменялась (1,38...4,31 т/га) в зависимости от погодных условий.

С целью анализа зависимостей было рассчитано корреляционное отношение урожайности ярового ячменя от метеоусловий вегетационного периода на разных фонах минерального питания (табл. 3).

В результате корреляционного анализа была выявлена криволинейная зависимость урожайности ярового ячменя от обеспеченности вегетационного периода влагой, суммой эффективных температур, значений гидротермического коэффициента.

Корреляционная связь урожайности (средней по вариантам) и гидротермических условий за 12 лет исследований представлена на рисунке.

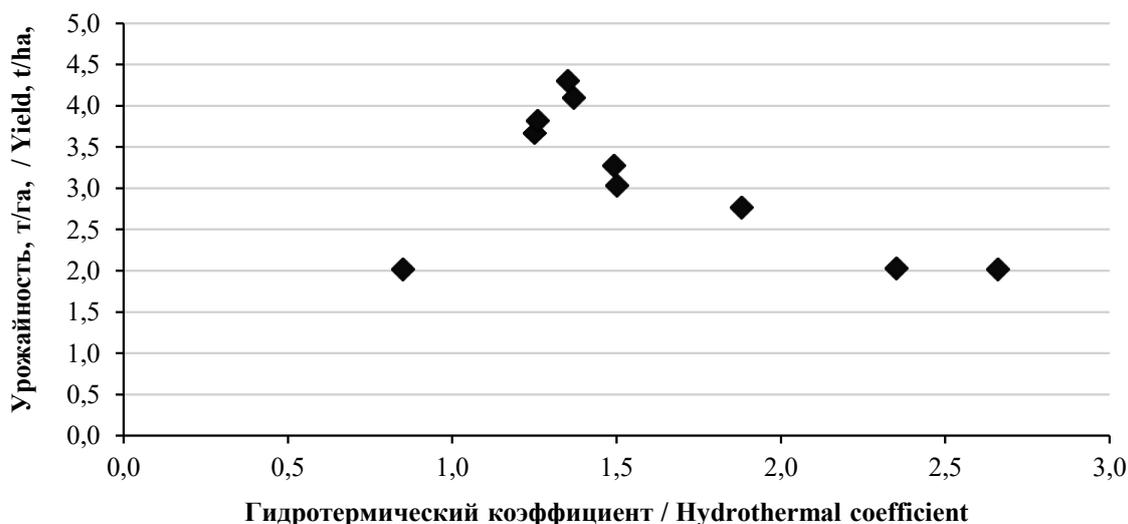


Рис. Корреляционная связь урожайности ярового ячменя сорта Родник Прикамья и ГТК (2011-2022 гг.) / Fig. Correlation of the yield of spring barley Rodnik Prikamjya and hydrothermal coefficient (2011-2022)

Таблица 2 – Гидротермический коэффициент по декадам вегетации ярового ячменя сорта Родник Прикамья / Table 2 – Hydrothermal coefficient by decades of the growing season of spring barley Rodnik Prikamya

Год / Year	Месяц, декада / Month, decade											
	май / may			июнь / june			июль / july			август / august		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2011	0,16	1,26	1,67	4,38	5,34	0,11	0,30	3,17	0,36	0,16	0,27	1,11
2012	2,86	0,52	1,69	1,97	2,12	1,14	0,65	1,64	1,48	0,42	2,16	1,49
2013	8,51	1,53	0,09	2,66	0,13	0,07	1,83	1,10	1,02	1,01	0,92	2,22
2014	1,04	0,08	0,37	1,95	2,96	0,77	3,56	1,47	1,12	0,02	1,37	1,90
2015	0,42	0,81	1,14	1,19	1,00	1,05	2,40	2,78	2,68	3,50	6,53	0,65
2016	0,10	0,07	0,03	2,77	0,01	3,81	0,01	0,67	0,15	0,34	0,05	1,53
2017	0,39	0,02	1,14	3,77	2,05	3,17	5,87	1,75	4,17	0,90	2,43	0,75
2018	0,00	1,51	0,48	1,18	2,33	1,93	0,66	0,84	0,72	3,07	0,86	1,06
2019	1,78	0,90	1,43	1,52	0,87	2,41	4,16	2,00	2,20	6,08	5,34	5,83
2020	0,07	0,49	4,51	0,02	3,52	4,05	0,11	0,60	1,08	0,90	4,04	0,22
2021	0,61	0,00	0,99	0,01	1,13	1,91	2,93	2,07	4,35	1,10	0,00	0,20
2022	0,74	2,00	3,26	1,81	1,56	1,18	0,31	0,09	0,01	0,38	0,18	0,04
Среднее / Average	1,39	0,77	1,40	1,94	1,92	1,80	1,90	1,52	1,61	1,49	2,01	1,42

Таблица 3 – Корреляционное отношение между урожайностью зерна ярового ячменя сорта Родник Прикамья и метеорологическими показателями (2011-2022 гг.) / Table 3 – Correlation of the yield of spring barley Rodnik Prikamya and meteorological indicators (2011-2022)

Показатель / Indicator	Фон питания / Nutrition background			Период вегетации / Growing period					
	май / may	июль / june	июль / july	август / august	август / august	июль / july	июль / june	июль / july	среднее / average
Сумма эффективных температур, °С / Sum of effective temperatures, °C	0	0,82	0,67	0,66	0,66	0,70	0,67	0,70	0,71
	НРК	0,63	0,62	0,57*	0,57*	0,71	0,62	0,71	0,63
	Среднее / Average	0,73	0,65	0,62	0,62	0,71	0,65	0,71	0,68
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	0	0,62	0,82	0,83	0,83	0,90	0,82	0,90	0,79
	НРК	0,72	0,73	0,74	0,74	0,95	0,73	0,95	0,79
	Среднее / Average	0,67	0,78	0,79	0,79	0,93	0,78	0,93	0,79
ГТК / Hydrothermal coefficient	0	0,52*	0,77	0,88	0,88	0,93	0,77	0,93	0,78
	НРК	0,82	0,64*	0,79	0,79	0,86	0,64*	0,86	0,78
	Среднее / Average	0,67	0,71	0,84	0,84	0,90	0,71	0,90	0,71

* При $t_{0,95} = 2,23$ и $t_{0,99} = 3,17$ связь на обоих уровнях достоверной вероятности не достоверна / At $t_{0,95} = 2,23$ and $t_{0,99} = 3,17$, the relationship at both confidence levels is not reliable

Сильная связь урожайности ярового ячменя с суммой эффективных температур (0,71) наблюдалась в варианте без применения удобрений за весь вегетационный период, в варианте с внесением удобрений – лишь в июле.

Гидротермический коэффициент, отражающий соотношение тепла и осадков, может дать более точный прогноз урожайности возделываемой культуры. Так, установлена сильная связь урожайности ярового ячменя с ГТК мая в варианте с внесением минеральных удобрений (0,82), однако в контрольном варианте достоверность такого влияния не доказана. С показателем ГТК июня урожайность ячменя тесно связана только в варианте без удобрений, при внесении NPK эта взаимосвязь становится незначимой.

Влияние ГТК за весь период вегетации ярового ячменя на урожайность по двум фоновым минерального питания сильное, поэтому необходимость выявления влияния ГТК по декадам на урожайность ярового ячменя является актуальным вопросом, т. к. в различных метеорологических условиях показатель варьируется от 1,47 до 4,26 т/га по фону без минерального питания и от 1,28 до 4,36 т/га по комплексному фону минерального питания при прочих равных условиях.

Для более полного анализа зависимости урожайности зерна ярового ячменя от гидротермического коэффициента был произведен расчет корреляционного отношения по декадам (табл. 4).

Таблица 4 – Корреляционное отношение между урожайностью зерна ярового ячменя сорта Родник Прикамья и гидротермическим коэффициентом по декадам вегетации (2011-2022 гг.) /

Table 4 – Correlation of the yield of spring barley Rodnik Prikamjya and hydrothermal coefficient by decades of vegetation (2011-2022)

Фон минерального питания / Mineral nutrition background	Месяц / Декада / Month / Decade											
	Май / May			Июнь / June			Июль / July			Август / August		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0,77	0,68	0,74	0,57*	0,87	0,48*	0,45*	0,74	0,88	0,72	0,83	0,58
NPK	0,72	0,82	0,83	0,41*	0,76	0,61*	0,56*	0,73	0,95	0,56	0,74	0,56
Среднее / Average	0,75	0,75	0,79	0,49*	0,82	0,55*	0,51*	0,74	0,92	0,64	0,79	0,57

*При $t_{0,95} = 2,23$ и $t_{0,99} = 3,17$ связь на обоих уровнях доверительной вероятности не достоверна /

*At $t_{0,95} = 2.23$ and $t_{0,99} = 3.17$, the relationship at both confidence levels is not reliable

Стоит отметить, что внесение минеральных удобрений благоприятно сказалось на фазах развития культуры – кущение и выход в трубку, как основополагающих в формировании урожайности. Установлено, что в варианте без внесения удобрения эти фазы проходили с отставанием в 2-3 недели, на что указывает корреляционное отношение между урожайностью и ГТК. Максимальные значения в контрольном варианте были выявлены в третьей декаде мая, а с удобрениями – во второй и третьей декадах мая.

В связи с тем, что проведенный анализ выявил сильную и достоверную связь, было составлено два уравнения регрессии для криволинейной зависимости, благодаря которым можно прогнозировать урожайность ярового ячменя сорта Родник Прикамья по обоим фоновым минерального питания в типичных для Среднего Предуралья почвенно-климатических условиях.

Для варианта с внесением минеральных удобрений (на основе метеорологических условий мая):

$$Y = -1,22163X^2 + 0,69X + 4,01388626,$$

где Y – прогнозируемая урожайность, т/га, X – гидротермический коэффициент мая.

Точность прогнозирования урожайности ярового ячменя по гидротермическому коэффициенту мая составляет 84,56 %.

Для контрольного варианта без удобрений (на основе метеорологических условий июня):

$$Y = -0,080X^2 + 0,5844X + 2,5506,$$

где X – гидротермический коэффициент июня.

Точность прогнозирования урожайности ярового ячменя по гидротермическому коэффициенту июня составляет 77,89 %.

Поиск взаимосвязей между признаками и урожайностью усложняется неустойчивостью метеорологических показателей в течение вегетационного периода и по годам. В зависимости от условий вегетации на уро-

жайность ярового ячменя будут влиять различные лимитирующие факторы и свойства культуры. Возможно, что для уточнения уравнений регрессии необходимо проанализировать более длительный временной период, однако полученные уравнения уже позволяют делать относительно точные прогнозы по урожайности ярового ячменя сорта Родник Прикамья на типичных дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах Среднего Предуралья как с учётом внесения минеральных удобрений, так и без их внесения, основываясь на погодных условиях начала вегетационного периода.

Выводы. Таким образом, корреляционный анализ данных за 12-летний период исследований выявил сильную связь (0,78) между урожайностью ярового ячменя сорта Родник Прикамья, возделываемого на типичных для Среднего Предуралья дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах в традиционном

полевом зернотравянопаром семипольном севообороте на двух фонах минерального питания, и погодными условиями вегетации.

Проведённый анализ доказывает достоверность связи, а уравнения регрессии для криволинейной зависимости позволяют прогнозировать урожайность ярового ячменя по обоим фонам минерального питания в типичных для Среднего Предуралья почвенно-климатических условиях. Для варианта с внесением минеральных удобрений точность прогнозирования урожайности ярового ячменя по гидротермическому коэффициенту мая составила 84,56 %, для варианта без внесения минеральных удобрений по ГТК июня – 77,89 %.

Уравнения регрессии позволяют с высокой точностью прогнозировать урожайность ячменя, основываясь на гидротермических условиях возделывания культуры в начале вегетационного периода.

Список литературы

1. Бессонова Л. В., Вяткина Р. И., Фомин Д. С. Агробиологическая оценка новых сортов ячменя в Пермском крае. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;(5(79)):87-89. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41288884>
2. Тетерлев И. С., Фомин Д. С., Косолапова А. И., Олехов В. Р. Урожайность ячменя и плодородие дерново-подзолистой почвы Предуралья в зависимости от предшественников и минеральных удобрений. Плодородие. 2015;(3(84)):6-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23648739>
3. Яркова Н. Н., Елисеев С. Л. Урожайность и посевные качества семян ячменя в Предуралье. Актуальные проблемы науки и агропромышленного комплекса в процессе европейской интеграции: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 95-летию высшего сельскохозяйственного образования на Урале: в 3 частях. Ч. 1. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. С. 148-151.
4. Бессонова Л. В., Майсак Г. П., Фомин Д. С., Вяткина Р. И. Научная и организационная основа производства семян зерновых, зернобобовых и многолетних трав в Пермском крае. АгроЭкоИнфо. 2019;(4):25-25. Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2019/st_417_annot.html
5. Елисеев С. Л. Адаптивные сорта ячменя для Пермского края. Пермский аграрный вестник. 2018;(1(21)):53-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32664914>
6. Лыскова И. В. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, урожайность и качество зерновых культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(6(61)):35-40. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.35-40>
7. Бурунов А. Н., Васин В. Г., Стрижаков А. О., Васин А. В. Влияние системы применения стимулирующих препаратов Мегамикс на продуктивность посевов ярового ячменя. Самара АгроВектор. 2021;1(1):10-22. DOI: https://doi.org/10.55170/77962_2021_11_10
8. Козубовская Г. В. Адаптация голозерных сортов ярового ячменя в условиях сухостепной зоны нижнего Поволжья. Научно-агрономический журнал. 2019;(2(105)):36-40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38564996>
9. Пасынков А. В., Пасынкова Е. Н. Урожайность зерна ячменя и ее зависимость от минерального питания и гидротермических условий в период вегетации. Агрехимический вестник. 2019;(2):33-38. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10024>
10. Левакова О. В. Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):327-333. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333>

References

1. Bessonova L. V., Vyatkina R. I., Fomin D. S. Agrobiological assessment of new varieties of spring barley in Perm region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;(5(79)):87-89. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41288884>
2. Teterlev I. S., Fomin D. S., Kosolapova A. I., Olekhov V. R. Influence of predecessors and mineral fertilizers on barley productivity and soddy-podzolic soil fertility in the Cis-Urals. *Plodorodie*. 2015;(3(84)):6-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23648739>

3. Yarkova N. N., Eliseev S. L. The productivity and the sowing properties of barley seeds in Preduralye. Current problems of science and agro-industrial complex in the process of European integration: Proceedings of International Scientific-practical conf., dedicated to the 95th anniversary of higher agricultural education in the Ural: in 3 parts. Part. 1. Perm: *FGBOU VPO Permskaya GSKhA*, 2013. pp. 148-151.
4. Bessonova L. V., Maysak G. P., Fomin D. S., Vyatkina R. I. Scientific and organizational basis of the production of seeds of cereals, legumes and perennial grasses in the Perm region. *AgroEkoInfo = AgroEcoInfo*. 2019;(4):25-25. (In Russ.). URL: http://agroecoinfo.ru/TEXT/RUSSIAN/2019/st_417_annot.html
5. Eliseev S. L. Adaptive varieties of barley for perm krai. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2018;(1(21)):53-58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32664914>
6. Lyskova I. V. Influence of mineral fertilizers on fertility of sod-podzolic soil, productivity and quality of grain crops. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;(6):35-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.35-40>
7. Burunov A. N., Vasin V. G., Strizhakov A. O., Vasin A. V. Influence of the system of application of stimulating preparations Megamix on the productivity of crops of spring barley. *Samara AgroVektor*. 2021;1(1):10-22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55170/77962_2021_1_1_10
8. Kozubovskaya G. V. Adaptation of bare barley varieties of spring barley in the dry steppe zone of the lower Volga region. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal = Scientific Agronomy Journal*. 2019;(2(105)):36-40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38564996>
9. Pasyukov A. V., Pasyukova E. N. Yield of barley grain and its dependence on level of mineral nutrition and hydrothermal conditions during vegetation period. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*. 2019;(2):33-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10024>
10. Levakova O. V. Variability of the elements of spring barley yield structure depending on the hydrothermal conditions of vegetation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(3):327-333. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333>

Сведения об авторах

Фомин Денис Станиславович, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12а, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>

Яркова Надежда Николаевна, кандидат с.-х. наук, доцент кафедры растениеводства, Пермский государственный аграрно-технологический университет, ул. Петропавловская, д. 23, г. Пермь, Пермский край, Российская Федерация, 614990, e-mail: kaf.rast@pgsha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3178-6600>

✉ **Полякова София Сергеевна**, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, 12а, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, аспирант кафедры растениеводства, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет», ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, Пермский край, Российская Федерация, 614990, e-mail: kaf.rast@pgsha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8639-4060>, e-mail: ss.polyakova@yandex.ru

Information about the authors

Denis S. Fomin, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Research Institute of Agriculture, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury str., 12a, Lobanovo village, Perm Krai, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8261-7191>

Nadezhda N. Yarkova, PhD in Agricultural Science, associate professor at the Department of Plant Growing, Perm State Agro-Technological University, Petropavlovskaya str., 23, Perm, Perm Krai, Russian Federation, 614990, e-mail: kaf.rast@pgsha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3178-6600>

✉ **Sofia S. Polyakova**, junior researcher, the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Research Institute of Agriculture, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury str., 12a, Lobanovo village, Perm Krai, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, postgraduate student of the Department of Plant Growing, Perm State Agro-Technological University, Petropavlovskaya str., 23, Perm, Perm Krai, Russian Federation, 614990, e-mail: kaf.rast@pgsha.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8639-4060>, e-mail: ss.polyakova@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ / FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.860-867>



УДК 581.552:631.811(571.56-25)

Влияние последействия минеральных удобрений на продуктивность долголетнего фитоценоза в условиях Привильюйского агроландшафта среднетаежной подзоны Якутии

© 2022 Н. В. Барашкова¹, В. В. Устинова²✉, А. И. Федорова¹, Л. К. Габышева¹

¹Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Якутск, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», г. Якутск, Российская Федерация

В статье представлены исследования, проведенные в период с 2011 по 2019 год по изучению длительного влияния последействия 36-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность и питательность долголетних луговых фитоценозов. В стационарном опыте с коренным улучшением лугов изучали следующие варианты внесения минеральных удобрений (с 1974 по 2010 год): минимальный уровень – N₆₂P₆₀K₁₁ (контроль); средний – N₂₀₂P₁₇₅K₄₃; максимальный – N₃₁₈P₃₆₂K₁₈₉. В условиях Привильюйского агроландшафта среднетаежной подзоны Якутии длительное последействие удобрений (с 2011 по 2019 год) способствовало сохранности в травостое основного доминанта – пырея ползучего (*Elymus repens* (L.) Nevski) до 27,4-42,1 % и содоминанта – ячменя короткоостистого (*Hordeum brevisubulatum* (Trin) Link.) до 14,7-24,3 %. За период последействия удобрений урожайность злаково-разнотравного фитоценоза составила в среднем 1,71-2,03 т/га сена, что выше урожайности естественных лугов в 2,1-2,5 раза. При этом сенокосный корм содержал обменной энергии до 8,9-9,1 МДж, кормовых единиц – до 0,62-0,65, переваримого протеина – до 80-90 г, что соответствует зоотехнической норме.

Ключевые слова: мерзлотные почвы, луговые фитоценозы, сенокосное использование, последействие удобрений, урожайность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Института биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» по проекту НИР 0297-2021-0023 (№ АААА-А21-121012190038-0).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Барашкова Н. В., Устинова В. В., Федорова А. И., Габышева Л. К. Влияние последействия минеральных удобрений на продуктивность долголетнего фитоценоза в условиях Привильюйского агроландшафта среднетаежной подзоны Якутии. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):860-867.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.860-867>

Поступила: 12.07.2022

Принята к публикации: 05.12.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Influence of the aftereffect of mineral fertilizers on the productivity of a long-term phytocenosis in the conditions of the Privilyuyi agrolandscape of the middle taiga subzone of Yakutia

© 2022. Natalya V. Barashkova¹, Vasyona V. Ustinova²✉, Alexandra I. Fedorova¹, Lyubov K. Gabysheva¹

¹Institute for Biological Problems of the Permafrost of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate subdivision of the Federal Research Center "Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Yakutsk, Russian Federation,

²Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russian Federation

The article provides the research of 2011-2019 on studying the long-term influence of the aftereffect of 36-year application of mineral fertilizers on the productivity and nutritional value of long-term meadow phytocenoses. In a stationary experiment with a radical improvement of meadows, the following variants for applying mineral fertilizers were studied from

1974 to 2010: the minimum level was $N_{62}P_{60}K_{11}$ (control), the average level was $N_{202}P_{175}K_{43}$, and the maximum level was $N_{318}P_{362}K_{189}$. In the conditions of the Privilyui agrolandscape of the middle taiga subzone of Yakutia, a long-term aftereffect of fertilizers (from 2011 to 2019) contributed to the preservation of the main dominant in the grass stand - couch grass (*Elymus repens* (L.) Nevski) up to 27.4-42.1 % and codominant – short-awned barley (*Hordeum brevisubulatum* (Trin) Link.) up to 14.7-24.3 %. During the aftereffect of fertilizers, the yield of cereal-forb phytocenosis averaged 1.71-2.03 t/ha of hay, which is 2.1-2.5 times higher than the yield of natural meadows. At the same time, hay forage contained up to 8.9-9.1 MJ of exchange energy, up to 0.62-0.65 feed units, and up to 80-90 g of digestible protein, which corresponds to the zootechnical norm.

Keywords: permafrost soils, meadow phytocenoses, haymaking, aftereffect of fertilizers, productivity

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Institute for Biological Problems of the Permafrost of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate subdivision of the Federal Research Center "Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences under the project NIR 0297-2021-0023 (No. AAAA-A21-121012190038-0).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Barashkova N. V., Ustinova V. V., Fedorova A. I., Gabysheva L. K. Influence of the aftereffect of mineral fertilizers on the productivity of a long-term phytocenosis in the conditions of the Privilyui agrolandscape of the middle taiga subzone of Yakutia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022; 23(6):860-867. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.860-867>

Received: 12.05.2022

Accepted for publication: 05.12.2022

Published online: 16.12.2022

Важнейшими составными отраслями агропромышленного комплекса Якутии являются животноводство и кормопроизводство, в которых луговое кормопроизводство выполняет ресурсосберегающую, средообразующую и природоохранную роль. Значительная площадь лугопастбищных угодий расположена в среднетаежной подзоне Якутии (90 %), где сосредоточено более 70 % крупного рогатого скота и 45 % лошадей. Лугопастбищные угодья Якутии служат в экономическом плане важнейшим источником поддержания аграрного сектора и жизнеобеспечения местного населения.

В адаптивно-ландшафтном земледелии применение удобрений регулирует круговорот веществ в агроландшафтах, оптимизирует элементы питания в зависимости от доз удобрений и влияет на продукционный процесс сельскохозяйственных культур в агроценозе. Определяющее значение в обеспечении луговых растений элементами питания имеют минеральные удобрения, способные оптимизировать процессы роста и развития луговых фитоценозов в условиях криолитозоны.

В период интенсификации сельского хозяйства появились большие возможности поставки минеральных удобрений на лугопастбищные угодья Якутии, что требовало разработки зональной системы удобрения на научной основе с учетом особенностей физики и химии мерзлотных почв [1]. В интенсификации северного луговодства из-за особенностей мерзлотных почв велика роль удобрений, особенно азотных. Это в значительной мере связано с их положительным влиянием на биологическую активность мерзлотных почв и минимальным содержанием минерального

азота в почвах северных лугов [2]. В условиях среднетаежной подзоны Якутии азотные удобрения повышают целлюлозолитическую активность мерзлотных почв и заметно ослабляют отрицательное влияние пониженных температур на усвоение удобрений и питательных веществ из почвы. Установлено, что при пониженной температуре почвы (ниже 10 °С) замедляется продвижение ассимилятов, снижается усвоение растениями сначала фосфора, затем азота, уменьшается транспирация воды растениями, увеличивается осмотическое давление клеточного сока и подавляется синтез питательных веществ в корнях, что задерживает рост растений [3, 4].

Многолетние исследования по применению различных доз минеральных удобрений в агрофитоценозах из адаптивных злаковых трав в условиях Привильского агроландшафта среднетаежной подзоны Якутии доказывают их высокую эффективность и экологическую флуктуацию в зависимости от условий тепло- и влагообеспеченности вегетационных периодов в течение 36-летнего сенокосного использования [5, 6].

Цель исследований – изучить влияние длительного последствия 36-летнего внесения минеральных удобрений на продуктивность и качество сенокосных фитоценозов в условиях мерзлотных черноземно-луговых почв Привильского агроландшафта Якутии.

Новизна исследований. Получены новые данные по влиянию длительного последствия минеральных удобрений на продуктивное долголетие злаково-разнотравных фитоценозов, их урожайность и ценность сырьевой массы для производства объемистого корма.

Материал и методы. Исследования по изучению влияния последствий минерального режима питания на урожайность злаково-разнотравного фитоценоза проводили в период 2011-2019 гг. на Нюрбинском стационаре Института биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук (ИБПК СО РАН). Согласно адаптивно-ландшафтному районированию рискованного земледелия Якутии Нюрбинский стационар расположен в Привилуйском агроландшафте с развитым растениеводством и животноводством. Площадь сельскохозяйственных угодий Привилуйского агроландшафта составляет 379,6 тыс. гектаров, в т. ч. пашни – 13,3, сенокосных угодий – 197,8, пастбищ – 168,5 тыс. га. Северная граница ограничивается границей среднетаежной зоны. Значительная часть территории агроландшафта занимает группа земель ровных и повышенных межаласий с мерзлотными таежными палевыми осолоделыми и оподзоленными почвами. Площадь данной агроэкологической группы земель составляет 36,3 % от всей территории. Умеренно и слабодренированные переувлажненные (заболоченные) земли поймы и низких надпойменных террас р. Вилюй занимают 24,9 % равнины. Распаханность поймы р. Вилюй достигает 5,5 %. В сельском производстве в основном используются земли ровных и повышенных межаласий древних террас р. Вилюй, аласов и эрозионные земли склонов с небольшим уклоном¹.

Климат террасированной равнины Привилуйского агроландшафта континентальный. Абсолютная минимальная температура воздуха в зимний период в среднем достигает -61...-64° С, максимальная в летний период – 35-38 °С. Продолжительность безморозного периода в воздухе длится 56-85 дней. Сумма среднесуточных температур выше 10 °С в среднем составляет 1376 °С, что достаточно для выращивания зерновых, картофеля и многолетних трав. В теплый период отрицательно влияют на растения низкие ночные температуры и заморозки. Годовое количество осадков в Привилуйской агроландшафте составляет 317 мм. Пространственное распределение осадков внутри агроландшафтного района крайне неравномерное, так в западной части в Вилюйске выпадает 310 мм, Сангаре – 378 мм и восточной части в Батамае до 326 мм. Коэффициент увлажнения для террасированной

равнины Привилуйского агроландшафта равен 1,08, то есть климат характеризуется как умеренно дефицитный.

Засушливость климата, короткий теплый период, слабое разложение органического вещества мерзлотных почв обеспечивает низкое содержание в них подвижных форм азота, фосфора и среднее – калия. Пойменные слоистые почвы низкой поймы бедны питательными веществами, и поэтому в хозяйствах они используются как пастбища и сенокосы. Преобладающими почвами на увалах первой и второй надпойменных террас являются мерзлотные лугово-черноземные. Они имеют слабощелочную реакцию среды, высокий валовой запас азота, фосфора и калия, но подвижных форм азота и фосфора недостаточно для растений. Растения испытывают недостаток влаги, особенно в засушливые годы. В целом, террасированная равнина Привилуйского агроландшафта по термическим условиям умеренно теплая, по увлажненности – умеренно засушливая, летом – острозасушливая. Обеспеченность растений подвижными формами основных питательных элементов по мезоформам рельефа различная, луговые растения в первую очередь испытывают недостаток азотных и фосфорных удобрений, особенно в первой половине лета [7, 8].

Нюрбинский стационар ИБПК СО РАН, расположен в аласной зоне левобережья Вилюйского бассейна, в 6 км от г. Нюрба на аласе Эрделлях. До коренного улучшения разнотравно-злаковый аласный луг формировал урожайность 0,82 т/га сена и использовался хозяйствами как сенокос. В 1974 г. на Нюрбинском стационаре проведена закладка трехфакторного «Большого» полевого опыта путем коренного улучшения. Залужение проведено следующими видами трав: одновидовые посевы костреца безостого сорта Камалинский 14; пырейника волокнистого местной популяции; пырейника сибирского сорта Камалинский 7 и их травосмесью.

При изучении влияния минеральных удобрений на урожайность и продуктивное долголетие луговых фитоценозов в качестве контроля (минимальный уровень) использовали рекомендованную экологическую дозу удобрений – N₆₂P₆₀K₁₁ кг/га д. в. [9]. На планируемый урожай сена 5,6-6,4 т/га были рассчитаны дозы удобрений среднего уровня – N₂₀₂P₁₇₅K₄₃

¹Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха Якутия на период 2016-2020 годы: методическое пособие. Якутск, 2017. 415 с.

и максимального – $N_{318}P_{362}K_{189}$ с учетом агрохимических показателей мерзлотных почв. В качестве азотного удобрения использовали мочевины, фосфорного – двойной гранулированный суперфосфат, калийного – калий хлористый. С 2003 г. простые минеральные удобрения заменены на комплексное удобрение – азофоску со средним содержанием элементов питания (N:P:K=16:16:16). В период с 2003 по 2010 год комплексные удобрения вносили согласно схеме опыта с пересчетом на установленные дозы один раз весной.

Исследования по влиянию минерального режима питания на продуктивное долголетие луговых трав в 1974-2001 гг. проводили в условиях орошения и на богаре. После 26 лет эксплуатации оросительной системы ДДА-100 и в связи с зарастанием тальником оросительных канав орошение было прекращено, и как фактор изучения исключен с 2001 года. Дальнейшие исследования проводили в условиях естественного увлажнения с учетом выпавших осадков. С 2011 года, в связи с отсутствием доставки минеральных удобрений, исследования направлены на изучение последствий 36-летнего внесения минеральных удобрений на продуктивное долголетие злаково-разнотравного луга. Режим использования сенокосный – скашивание травостоя в фазу «начало цветения». Размер делянок 60 кв. м, учетная площадь 30 кв. м, размещение рендомизированное в четырехкратной повторности.

Почвы опытного участка на Нюрбинском стационаре типичные для Привилуйского агроландшафта аласно-таежной провинции и определены как мерзлотные черноземно-луговые, слабозасоленные, среднесуглинистые [10]. В начале наших исследований (2011 г.) результаты агрохимических анализов изучаемых почв показали, что в пахотном слое 0-20 см гумуса содержится 4,6 %, подвижного фосфора – до 255 мг (повышенное) и подвижного калия – до 107 мг (среднее) на кг почвы, $pH_{вод.}$ – 7,2.

Объектом изучения служили долголетние злаково-разнотравные фитоценозы при сенокосном использовании в период последствий минеральных удобрений (2011-2019 гг.). Учеты и наблюдения проводили в соответствии с методическими указаниями по луговодству и кормопроизводству². Потенциальную продуктивность луговых фитоценозов определяли по сбору обменной энергии, кормовых единиц и сырого протеина с 1 га. Химический состав сенокосного корма определяли в лаборатории

биохимии Якутского НИИСХ СО РАСХН на инфракрасном анализаторе «Инфранид 61».

Результаты и их обсуждение. Систематическое ежегодное внесение различных норм минеральных удобрений в период с 1974 по 2010 год существенно повлияло на формирование продуктивности и качество сенокосного фитоценоза в условиях Привилуйского агроландшафта. Мониторинговые исследования 35-летней динамики видового состава установили, что экологическая флуктуация фитоценозов сохранилась, и главным образом зависела от условий увлажнения вегетационных периодов. В 2010 году злаково-разнотравный фитоценоз при минимальном уровне внесения минеральных удобрений (контроль) и урожайностью сена 2,49 т/га состоял из дикорастущих злаков: пырея ползучего (*Elymus repens* (L.) Nevski) – 23 %, ячменя короткоостистого (*Hordeum brevisubulatum* (Trin) Link.) – 19 %, мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) – 10 %, лисохвоста тростниковидного (*Alopecurus arundinaceus* Poir.) – 2 %; и разнотравья до 44 % сухого вещества (СВ): полыни монгольской (*Artemisia mongolica* (Besser) Fisch. ex Nakai), лапчатки гушиной (*Potentilla anserina* L.), смолевки (*Silene vulgaris* (Moench) Garcke), сосюреи (*Saussurea* DC), одуванчика обыкновенного (*Taraxacum* F.H. Wigg). При среднем уровне внесения удобрений травостой с урожайностью 3,06 т/га состоял из дикорастущих злаков: пырея ползучего (*Elymus repens* (L.) Nevski) – 14 %; ячменя короткоостистого (*Hordeum brevisubulatum* (Trin) Link. – 47 %; мятлика лугового (*Poa pratensis* L.) – 6 %; лисохвоста тростниковидного (*Alopecurus arundinaceus* Poir.) – 3 % и разнотравья – 30 % СВ. При максимальном уровне применения удобрений (урожайность сена 3,48 т/га) содержание в травостое пырея ползучего достигало 48 %, ячменя короткоостистого – 22 %, мятлика лугового – 3 %, лисохвоста тростниковидного – 4 % и разнотравья – 23 % СВ.

Полученные результаты по динамике видового состава за период длительного последствий удобрений (2011-2019 гг.) подтвердили установленную флуктуационную изменчивость и сохранность в травостое основного доминанта – пырея ползучего (*Elymus repens* (L.) Nevski) от 27,4 до 42,1 % и содоминанта – ячменя короткоостистого (*Hordeum brevisubulatum* (Trin) Link.) от 14,7 до 24,3 % в зависимости от влагообеспеченности вегетационных периодов.

²Методическое пособие по агроэнергетической оценке технологий и систем кормопроизводства. М.: ВНИИК, 2000. 52 с.

В 2011 году, первый год последействия минеральных удобрений, на 36-году сенокосного использования злаково-разнотравных фитоценозов их урожайность снизилась в контроле с 2,49 до 1,48 т/га, т. е. в 1,7 раза по сравнению с 2010 годом при внесении удобрений (табл. 1).

Аналогичное снижение урожайности сена отмечалось также при среднем и максимальном уровнях последействия удобрений с 3,06 до 2,03 т/га и с 3,48 до 2,02 т/га сена, соответственно, несмотря на то, что в 2011 г. наблюдалась повышенная тепло- и влагообеспеченность вегетационного периода (ГТК = 1,13). В среднем за годы исследований при последействии минимального и максимального уровней применения удобрений урожайность злаково-разнотравного фитоценоза составила соответственно 2,03 и 2,04 т/га сена, что ниже на 81,5 и 58,6 %, чем при действии минеральных удобрений в последний год их внесения. При этом следует отметить, что урожайность в этих вариантах опыта превышала на 0,33 т/га (59 %) урожайность сена, полученную по последействию внесения средних доз удобрений.

В последующие годы осадки выпадали крайне неравномерно и были ниже многолетней нормы, хотя при этом обеспечивали сравнительно одинаковые величины урожайности, сохраняя тенденцию превышения последействия минимального и максимального уровней применения удобрений.

Длительное последействие минеральных удобрений показало, что формирование продуктивности и питательности луговых растений на 36-45 годы жизни во многом зависело от степени теплообеспеченности и увлажненности вегетационных периодов. За 2011-2019 гг. исследований погодные условия в Привиллойском агроландшафте отличались по характеру выпадения осадков и температурному режиму, что повлияло на формирование, рост и развитие 36-45-летнего фитоценоза на фоне последействия разных уровней минерального питания. За период исследований наиболее влажными вегетационными периодами отмечены 2011 г. (ГТК = 1,13) и 2012 г. (ГТК = 0,94), когда осадков выпало соответственно 217 и 181 мм по сравнению со среднемноголетним значением – 191 мм (ГТК = 0,91). Переменно-влажными были 5 лет (2013-2017 гг.) с неравномерно выпадающими осадками – от 124 до 181 мм, ГТК = 0,62...0,87.

Таблица 1 – Урожайность долголетнего фитоценоза в периоды действия и последействия минеральных удобрений в условиях Привиллойского агроландшафта Якутии, т/га СВ / Table 1 – Productivity of a long-term phytocenosis during the periods of action and aftereffect of mineral fertilizers in the conditions of the Privilyui agrolandscape of Yakutia t/ha DM

Уровень внесения удобрений / Level of fertilizer application	Последействие минеральных удобрений / Aftereffect of the mineral fertilizers										Среднее за 2011-2019 гг. / Average for 2011-2019
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	
Минимальный N ₆₂ P ₆₀ K ₁₁ – Контроль / Minimum N ₆₂ P ₆₀ K ₁₁ – Control	2,49	1,48	4,45	1,35	1,72	2,74	2,15	1,57	1,02	1,25	2,03
Средний N ₂₀₂ P ₁₇₅ K ₄₃ / Medium N ₂₀₂ P ₁₇₅ K ₄₃	3,06	2,03	3,08	1,39	1,40	2,32	1,72	1,40	1,04	1,02	1,71
Максимальный N ₃₁₈ P ₃₆₂ K ₁₈₉ / Maximum N ₃₁₈ P ₃₆₂ K ₁₈₉	3,48	2,02	4,83	1,60	1,46	1,83	2,67	1,53	1,05	1,34	2,04
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,3	0,7	0,5	0,3	0,1	0,6	0,7	0,1	0,1	0,1	0,2

Самый неблагоприятный вегетационный период сложился в 2018 г., когда за сезон выпало только 113 мм осадков (ГТК = 0,56), и установилась жаркая, засушливая погода в первой половине лета, что отрицательно повлияло на формирование урожайности 44-летнего сенокосного фитоценоза.

Результаты полученных данных по длительному влиянию последствий минеральных удобрений показали, что при внесении минерального удобрения в 2010 г. урожайность злаково-разнотравного сенокоса составила 2,49-3,48 т/га сена, а при длительном последствии она снизилась в 1,2-1,8 раза (табл. 2). При этом содержание сырого протеина в сено-

косном корме достигало 14,3 % СВ, так как в травостое преобладали дикорастущие злаки (57,4 %) – пырей ползучий (*Elymus repens* (L.) Nevski) 29,4 %, ячмень короткоостистый (*Hordeum brevisubulatum* (Trin) Link.) 17,3 %, мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) 6,4 %, лисохвост тростниковидный (*Alopecurus arundinaceus* Poir.) 4,3 % – и разнотравье (42,6 %).

Стабильная и повышенная продуктивность сенокосного фитоценоза формировалась по последствию минимального и максимального уровней внесения удобрений, что выше последствии среднего уровня доз в 1,4 раза, в пределах статистической достоверности.

Таблица 2 – Продуктивность долголетнего фитоценоза в период последствия удобрений в условиях Привильюйского агроландшафта Якутии (среднее за 2011-2019 гг.) /

Table 2 – Productivity of a long-term phytocenosis during the aftereffect of fertilizers in the conditions of the Privilyui agrolandscape of Yakutia (average for 2011-2019)

Уровень внесения удобрений (1974-2010 гг.) / Level of fertilizer application (1974-2010)	Средняя урожайность, т/га СВ / Average yield, t/ha DM	Содержание сырого протеина, % / Content of crude protein, %	Произведено с 1 га / Produced from 1 hectare		
			ОЭ, ГДж / Exchange Energy, GJoules	корм. ед. / feed unit	сырого протеина, ц / crude protein, centner
Минимальный N ₆₂ P ₆₀ K ₁₁ – Контроль / Minimum N ₆₂ P ₆₀ K ₁₁ – Control	2,03	14,3	16,0	1100	2,5
Средний N ₂₀₂ P ₁₇₅ K ₄₃ / Medium N ₂₀₂ P ₁₇₅ K ₄₃	1,71	12,8	14,0	970	2,2
Максимальный N ₃₁₈ P ₃₆₂ K ₁₈₉ / Maximum N ₃₁₈ P ₃₆₂ K ₁₈₉	2,04	14,3	16,5	1150	2,3
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,2	-	-	-	-

Таблица 3 – Энергетическая питательность сенокосного корма при длительном последствии удобрений (среднее за 2011-2019 гг.) /

Table 3 – Energy nutritional value of hay forage at long-term aftereffect of fertilizers (average for 2011-2019)

Уровень внесения удобрений (1974-2010 гг.) / Level of fertilizer application (1974-2010)	Средняя урожайность, т/га СВ / Average yield, t/ha DM	Содержится в 1 кг СВ / Contains in 1 kg of dry matter		Содержится переваримого протеина в 1 корм. ед., г / Contains digestible protein in 1 feed unit, g	Классность сена по ОСТ-0243-2000 / Classification of hay according to the industry standard-0243-2000
		ОЭ, МДж / Exchange Energy, MJoules	корм. ед. / feed unit		
Минимальный N ₆₂ P ₆₀ K ₁₁ – Контроль / Minimum N ₆₂ P ₆₀ K ₁₁ – Control	2,03	9,1	0,63	90	2
Средний N ₂₀₂ P ₁₇₅ K ₄₃ / Medium N ₂₀₂ P ₁₇₅ K ₄₃	1,71	8,9	0,62	90	2
Максимальный N ₃₁₈ P ₃₆₂ K ₁₈₉ / Maximum N ₃₁₈ P ₃₆₂ K ₁₈₉	2,04	9,1	0,65	80	2
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,2	-	-	-	-

Энергетическая питательность сенокосного корма при длительном последствии минеральных удобрений позволяет сохранить в 1 кг сухого вещества до 8,9-9,1 МДж обменной энергии и кормовых единиц до 0,62-0,65 (табл. 3). При этом содержание переваримого протеина в 1 корм. ед. составило в пределах 80-90 г, что чуть ниже зоотехнической нормы. Следует отметить, что в условиях криолитозоны отмечается низкое содержание переваримого протеина в сенокосном корме до 45-70 г [11, 12, 13, 14, 15]. Классность сена по ОСТ-10243-2000³ позволяет полученный объемистый корм отнести ко второму классу, из-за повышенной концентрации сырой клетчатки (35,2-35,9 %).

Заключение. Длительное последствие различных уровней внесения минеральных удобрений в условиях Привилуйского агроландшафта среднетаежной подзоны Якутии способствует сохранению продуктивного долголетия и питательности злаково-разнотравного фитоценоза с содержанием обменной энергии до 8,9-9,1 МДж, кормовых единиц до 0,62-0,65, что позволяет произвести до 1150 корм. ед. с 1 га и сено 2 класса качества. При этом средняя урожайность многолетних злаково-разнотравных фитоценозов сохраняется на уровне от 1,71-2,04 т/га сена, что выше урожайности естественных лугов в 2,1-2,5 раза.

Список литературы

1. Иванов И. А., Винокурова В. С., Игнатъева В. В. Особенности использования удобрений в Якутии. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. 131 с.
2. Чевычелов А. П., Барашкова Н. В., Захарова О. Г., Устинова В. В., Аржакова А. П. Влияние длительного применения удобрений на урожайность растений и изменение свойств мерзлотной лугово-черноземной почвы. *Агрохимический вестник*. 2018;(3):26-31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10007>
3. Петров К. А. Криорезистентность растений: эколого-физиологические и биохимические аспекты. Новосибирск: Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2016. 273 с.
4. Журавская А. Н. Адаптация к экстремальным условиям среды и радиочувствительность растений Якутии. Новосибирск: Наука, 2011. 104 с.
5. Денисов Г. В., Стрельцова В. С. Экология и эволюция сеяных лугов в криолитозоне. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2005. 239 с.
6. Барашкова Н. В., Федорова А. И., Габышева Л. К. Флуктуационная изменчивость многолетнего сенокосного фитоценоза при разных уровнях минерального питания в условиях Вилюйской зоны Якутии. *Успехи современной науки*. 2016;1(4):6-11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26094882>
7. Слепцова Н. А., Иванова Л. С. Полевые кормовые культуры в адаптивно-ландшафтном земледелии среднетаежной зоны Якутии. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2021. 172 с. Режим доступа: http://www.cnsrb.ru/Vexhib/vex_news/2022/vex_220305/0405976X.pdf
8. Иванова Л. С. Агрорландшафтное районирование и агроэкологическая группировка земель среднетаежной подзоны Якутии для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Новосибирск, 2018. 113 с.
9. Якушев Д. В. Научные основы улучшения и использования сенокосов и пастбища Якутии. Якутск, 1986. 172 с.
10. Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.
11. Егоров А. Д. Химический состав кормовых растений Якутии. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. 336 с.
12. Барашкова Н. В., Устинова В. В. Биохимические особенности естественного разнотравно-злакового фитоценоза при разных уровнях питания в условиях Центральной Якутии. *Наука и образование*. 2016;(2):107-114. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460607>
13. Барашкова Н. В., Устинова В. В. Луговое кормопроизводство и ресурсосберегающие приемы повышения продуктивности кормовых угодий Якутии (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(3):303-316. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.303-316>
14. Барашкова Н. В., Якушев Д. В. Создание и рациональное использование сеяных травостоев в Центральной Якутии. Новосибирск, 2002. 152 с.
15. Абрамов А. Ф. Эколого-биохимические основы производства кормов и рационального использования пастбищ в Якутии. Новосибирск, 2000. 205 с.

References

1. Ivanov I. A., Vinokurova V. S., Ignateva V. V. Features of the use of fertilizers in Yakutia. *Yakutsk: Izd-vo YaNTs SO RAN*, 2008. 131 p.
2. Chevychelov A. P., Barashkova N. V., Zakharova O. G., Ustinova V. V., Arzhakova A. P. The effect of long-term use of fertilizers on crop yields and changes in the properties of permafrost meadow-chernozem soil. *Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald*. 2018;(3):26-31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10007>
3. Petrov K. A. Cryoresistance of plants: ecological, physiological and biochemical aspects. *Novosibirsk: Izd-vo Sibirskogo otdniya Rossiyskoy akad. nauk*, 2016. 273 p.

³ОСТ-10243-2000. Сено. Технические условия. URL: http://koapp.narod.ru/pay/ty/ost/ost_10243_2000.htm

4. Zhuravskaya A. N. Adaptation to extreme environmental conditions and radiosensitivity of Yakutia plants. Novosibirsk: *Nauka*, 2011. 104 p.
5. Denisov G. V., Streltsova V. S. Ecology and evolution of seeded meadows in the cryolithozone. Yakutsk: *Izd-vo YaNTs SO RAN*, 2005. 239 p.
6. Barashkova N. V., Fedorova A. I., Gabysheva L. K. Fluctuating mutation of a longstanding and meadow phytocenosis in the equal conditions of mineral alimentation in Yakutia and its zone Viluy. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2016;1(4):6-11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26094882>
7. Sleptsova N. A., Ivanova L. S. Field fodder crops in adaptive landscape agriculture of the Middle taiga zone of Yakutia. Yakutsk: *Izdatel'skiy dom SVFU*, 2021. 172 p. URL: http://www.cnsib.ru/Vexhib/vex_news/2022/vex_220305/0405976X.pdf
8. Ivanova L. S. Agro-landscape zoning and agroecological grouping of the lands of the Middle Taiga subzone of Yakutia for the design of adaptive landscape farming systems. Novosibirsk, 2018. 113 p.
9. Yakushev D. V. Scientific bases of improvement and use of hayfields and pastures of Yakutia. Yakutsk, 1986. 172 p.
10. Elovskaya L. G. Classification and diagnostics of permafrost soils of Yakutia. Yakutsk: *Izd-vo YaF SO AN SSSR*, 1987. 172 p.
11. Egorov A. D. Chemical composition of fodder plants of Yakutia. Moscow: *Izd-vo Akad. nauk SSSR*, 1960. 336 p.
12. Barashkova N. V., Ustinova V. V. The biochemical specialties of natural and poaceos plant formation in the different degrees of alimentation in conditions of Central Yakutia. *Nauka i obrazovanie = The Education and Science Journal*. 2016;(2):107-114. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460607>
13. Barashkova N. V., Ustinova V. V. Meadow forage production and resource-saving methods for increasing the productivity of forage lands in Yakutia (review). *Agricultural Science Euro-North-East = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(3):303-316. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.303-316>
14. Barashkova N. V., Yakushev D. V. Creation and rational use of seeded grass stands in Central Yakutia. Novosibirsk, 2002. 152 p.
15. Abramov A. F. Ecological and biochemical bases of feed production and rational use of pastures in Yakutia. Novosibirsk, 2000. 205 p.

Сведения об авторах

Барашкова Наталья Владимировна, доктор с.-х. наук, профессор, Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», проспект Ленина, д. 41, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация, 677000, e-mail: bio@ibpc.ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0449-3482>

✉ **Устинова Васёна Васильевна**, кандидат с.-х. наук, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет, Сергеляхское шоссе, д.3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация, 677007, e-mail: info@agatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1155-2244>, e-mail: vasyona_8@mail.ru

Федорова Александра Ивановна, младший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», проспект Ленина, д. 41, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677000, e-mail: bio@ibpc.ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1136-8367>

Габышева Любовь Кимовна, лаборант, Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», проспект Ленина, д. 41, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Российская Федерация, 677000, e-mail: bio@ibpc.ysn.ru

Information about authors

Natalya V. Barashkova, DSc in Agricultural Science, professor, Institute for Biological Problems of the Permafrost of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate subdivision of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Research Center "Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Lenin Avenue, 41, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation, 677000, e-mail: bio@ibpc.ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0449-3482>

✉ **Vasyona V. Ustinova**, PhD in Agricultural Science, Arctic State Agrotechnological University, Sergelyakhskoye Shosse 3, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation, 677007, e-mail: info@agatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1155-2244>, e-mail: vasyona_8@mail.ru

Alexandra I. Fedorova, junior researcher, Institute for Biological Problems of the Permafrost of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate subdivision of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Research Center "Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Lenin Avenue, 41, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation, 677000, e-mail: bio@ibpc.ysn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1136-8367>

Lyubov K. Gabysheva, laboratory assistant, Institute for Biological Problems of the Permafrost of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – a separate subdivision of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Research Center "Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Lenin Avenue, 41, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation, 677000, e-mail: bio@ibpc.ysn.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.868-876>



УДК 636.084:636.086.2:636.237.21:619

Использование лезвев сафлоровидной при выращивании тёлоч черно-пёстрой породы

© 2022. И. Н. Жданова ✉, Н. А. Морозков

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

В статье представлены результаты исследований по влиянию доз скармливания витаминно-травяной муки (ВТМ) из зелёной массы лезвев на динамику роста и биохимический состав крови молодняка крупного рогатого скота. Исследования проводили в 2022 г. на молочном комплексе ООО «Соколово» (Пермский край). Объектом исследования служили ремонтные тёлки голштинизированной черно-пёстрой породы в возрасте 12-15-ти месяцев. Тёлкам I и II опытных групп в течение 92 дней дополнительно в составе основного рациона скармливали ВТМ из лезвев сафлоровидной в дозе соответственно 150 и 300 г на голову в сутки. Использование азота от поступившего и от переваренного было больше у тёлоч I и II опытных групп на 0,74-1,09 %абс. ($p < 0,05$) и 2,17-3,64 %абс. ($p < 0,01$) по сравнению с контрольной группой. В 15-месячном возрасте тёлочки I и II опытных групп по живой массе превосходили животных контрольной группы соответственно на 2,80 и 18,20 кг ($p < 0,001$) по абсолютному приросту на 4,86 и 11,61 % соответственно. В конце экспериментального периода в сыворотке крови тёлочек II опытной группы, где применялась максимальная доза ВТМ, увеличилось содержание общего белка – на 11,43 %, альбуминов – на 14,01 %, каротина – на 28,57 %, снизился уровень резервной щёлочности – на 18,01 %. Во всех случаях разница с контролем подтвердилась статистически ($p < 0,05-0,001$). Таким образом, проведённые исследования свидетельствуют о некоторой биологической доступности ВТМ и её положительном влиянии на физиологическое состояние опытных животных, которое складывается из нормализации обмена веществ и улучшения биохимических показателей крови, что позволяет рекомендовать вводить в рационы молодняка крупного рогатого скота ВТМ из лезвев сафлоровидной из расчёта 300 г на голову в сутки.

Ключевые слова: биологически активные вещества, витаминно-травяная мука, каротин, 20-гидроксиэкизон, биохимия крови, рацион

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № АААА-А19-119032190060-4).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Жданова И. Н., Морозков Н. А. Использование лезвев сафлоровидной при выращивании тёлоч черно-пёстрой породы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):868-876.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.868-876>

Поступила: 03.11.2022

Принята к публикации: 08.12.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Use of *R. carthamoides* in feeding black-and-white cattle heifers

© 2022. Irina N. Zhdanova ✉, Nikolay A. Morozkov

Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation

*The article presents the results of studies on the effect of feeding doses of vitamin-herbal flour made of the green mass of *R. carthamoides* on the growth dynamics and biochemical composition of the blood of young cattle. The studies were carried out in 2022 at the dairy complex of Sokolovo LLC (Perm Krai). The objects of the study were replacement heifers of the Holsteinized Black-and-White breed at the age of 12-15 months. For 92 days, heifers of I and II experimental groups were additionally fed vitamin-herbal flour made of *R. carthamoides* in the dose of 150 and 300 g per head per day as part of the main diet. The use of nitrogen from the incoming and from the digested one was more in heifers of the I and II experimental groups by 0.74-1.09 %abs. ($p < 0.05$) and 2.17-3.64% abs. ($p < 0.01$) compared with the control group. At the age of 15 months, heifers of I and II experimental groups in terms of live weight exceeded the animals of the control group by*

2.80 and 18.20 kg ($p < 0,001$) by absolute gain by 4.86 and 11.61% respectively. At the end of the experimental period, in the blood serum of heifers of the II experimental group, where the maximum dose of vitamin-herbal flour was used, the content of total protein increased by 11.43 %, albumin – by 14.01 %, carotene - by 28.57 %, the level of reserve alkalinity – by 18.01 %. In all cases, the difference with the control was confirmed statistically ($p < 0.05-0.001$). Thus, the studies carried out testify to some bioavailability of vitamin-herbal flour and its positive effect on the physiological state of experimental animals, which consists of the normalization of metabolism and improvement of biochemical parameters of blood, which makes it possible to recommend introducing vitamin-herbal flour made of *R. carthamoides* into the diets of young cattle at the rate of 300 g per head per day.

Key words: biologically active substances, vitamin-herbal flour, carotene, 20-hydroxyecdzone, blood biochemistry, diet

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. AAAAA-A19- 119032190060-4).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Zhdanova I. N., Morozkov N. A. Use of *R. carthamoides* in feeding black-and-white cattle heifers. *Agrar-naya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):868-876. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.868-876>

Received: 03.11.2022

Accepted for publication: 08.12.2022

Published online: 16.12.2022

Пополнение каталога кормовых растений более целебными и высококалорийными видами из дикорастущих популяций будет являться прорывом для улучшения качества и масштабного производства кормов.

Анализ научных источников показал, что в отдельных растениях содержатся вещества, способные укрепить иммунный статус человека и животного, повысить возможности организма в борьбе со многими заболеваниями. Безусловно, необходимо обратить внимание на биоактивные вещества растений, имеющих антиоксидантную защиту перед различными болезнями. Травяная мука содержит полноценный белок. По энергетической ценности она уступает зерновым кормам, но в 1,5-2 раза превосходит их по полноценности протеина, концентрации витаминов и БАВ. Это объясняется тем, что в травяной муке достаточный уровень всех незаменимых аминокислот. Направление настоящих исследований относится к экологически чистому безопасному животноводству [1, 2, 3, 4, 5].

В лаборатории биологически активных кормов Пермского НИИСХ с 1969 г. ведутся исследования сортов растений, обладающих биологически активными веществами для повышения иммунного статуса и увеличения реализации генетически заложенного потенциала у продуктивных животных [3, 4, 6, 7]. Преимуществом выращиваемых нами растений, обладающих адаптогенными свойствами, является возможность их применения без предварительного иммунологического обследования животных. Эти растения способствуют регуляции иммунного статуса.

Левзея – рапontiкум сафлоровидный (*Rhaponticum carthamoides*, *Leuzea*, маралий корень или рапонтик) является ценным кормовым и лекарственным растением [8, 9, 10], препараты, изготовленные на его основе, используются в качестве иммуномодуляторов [1, 11].

Однако, несмотря на достигнутые успехи в этой области, остаётся открытой проблема, связанная с обязательным введением в рацион экологически безопасных добавок для укрепления иммунного статуса, повышения сохранности сельскохозяйственных животных и качества получаемой продукции. Особенно это важно при производстве продукции животноводства, где промышленная технология содержания, не всегда оптимальная, приводит к снижению иммунных функций организма животных и на этом фоне – к интенсивному развитию всевозможных заболеваний.

В кормлении сельскохозяйственных животных левзея сафлоровидная используется в виде зеленого корма, сенажа, силоса, а также витаминно-травяной муки (ВТМ). По требованиям ГОСТ Р 56383-2015¹, травяная мука представляет собой белково-витаминный продукт, содержащий витамины и минералы, по питательности не уступающий концентратам [12]. ВТМ из левзеи сафлоровидной обладает большим набором биологически активных веществ.

Цель исследований – определить дозы скармливания витаминно-травяной муки из зелёной массы левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoide* (Willd.) Piiin) с наибольшим влиянием на динамику роста и биохимический состав крови тёлочек 12-15-месячного возраста.

¹ГОСТ Р 56383-2015. Корма травяные искусственно высушенные. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2020. 6 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119861>

Были поставлены задачи:

- определить химический состав сырья, обладающего иммуностимулирующим действием на организм тёлки;
- рассчитать баланс азота в организме тёлки;
- выявить динамику роста тёлки за период научно-производственного опыта;
- провести анализ биохимического состава крови экспериментальных тёлки.

Научная новизна исследований – получены экспериментальные данные о влиянии биологически активных веществ новой для зоны Урала перспективной кормовой культуры левзеи сафлоровидной на динамику роста и биохимический состав крови молодняка крупного рогатого скота.

Материал и методы. Научно-производственные эксперименты были проведены в условиях молочного комплекса ООО «Соколово» Пермского района в 2022 году. Для проведения экспериментальных работ методом пар-аналогов по методике А. И. Овсянникова² было отобрано 30 голов тёлочек голштинизированной чёрно-пёстрой породы, из которых сформировано 3 экспериментальных группы по 10 голов в каждой.

При подборе животных для научного эксперимента учитывалась живая масса, возраст и линейная принадлежность. Рационы кормления животных даны в таблице 1. В рационе тёлки контрольной группы отсутствовала ВТМ. Тёлкам I и II опытных групп в дополнение к основному рациону было включено соответственно 150 и 300 г ВТМ из левзеи сафлоровидной. Продолжительность скамливания – 92 дня.

Анализ химического состава скамливаемых кормов и кормовой добавки растительного происхождения проводили по общему зоотехническому анализу в лаборатории Пермского НИИСХ в начале и в течение опыта (при изменении вида или качества корма) по общепринятым ГОСТам и методикам³.

Корм каждому животному задавался индивидуально. Ежедневный учёт съеденных животными кормов и анализ их фактического химического состава позволили установить количество питательных веществ, потребленных за период опыта (табл. 1).

Для увеличения содержания сахара в рационах животных использовали экструдат зерна озимой ржи, что позволило повысить содержание сахара в рационах тёлки всех экспериментальных групп. Сахаро-протеиновое отношение в рационах было практически на одном уровне от 0,62 до 0,65.

В витаминно-травяной муке из зелёной массы левзеи сафлоровидной определено содержание биологически активных веществ (эстрогенов) на кафедре физиологии растений Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) по методике В. В. Пунегова и Н. С. Савиновской [13].

Кровь и её сыворотку исследовали в начале и конце опыта с целью контроля обменных процессов в организме животных под влиянием испытываемой добавки. Кровь у животных каждой группы брали утром из яремной вены до кормления.

Биохимические исследования крови проводились общепринятыми методиками на базе аккредитованного ГБУВК «Пермский ВДЦ»⁴.

Полученные в опытах экспериментальные данные статистически обработаны с помощью программы Microsoft Office Excel 2007, достоверность подтверждена по t-критерию Стьюдента. Разницу считать достоверной по критерию Стьюдента-Фишера по Н. А. Плохинскому⁵.

Результаты и их обсуждение. Для добавления в рацион кормления молодняка крупного рогатого скота кормов, обладающих иммуномодулирующими свойствами, на опытном поле Пермского НИИСХ была выращена кормовая культура левзея сафлоровидная, высушена и размолота до состояния муки. Проведены исследования по определению химического состава и содержания экистероидов в ВТМ (табл. 2).

²Овсянников А. И. Основы опытного дела. М.: Колос, 1976. 304 с.

³Петухова Е. А., Бессарабова Р. Ф., Халенева Л. Д., Антонова О. А. Зоотехнический анализ кормов. М.: Колос, 1981. 256 с. URL: <https://library.tou.edu.kz/fulltext/buuk/b1707.pdf>

⁴Кондрахин И. П., Архипов А. В., Левченко В. И., Таланов Г. А., Фролова Л. А., Новиков В. Э. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник. М.: КолосС, 2004. 520 с.

⁵Плохинский Н. А. Биометрия: учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с. URL: <https://search.rsl.ru/record/01007326466>

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

*Таблица 1 – Рационы кормления тёлочек 15-месячного возраста (после скармливания) с живой массой 360-380 кг, со среднесуточным приростом 850 г, по фактическому потреблению кормов, кг/гол. ($\bar{X} \pm S\bar{x}$) /
Table 1 – Feeding rations for 15-month-old heifers (after feeding) with a live weight of 360-380 kg, with an average daily gain of 850 g, according to the actual feed intake, kg/head ($\bar{X} \pm S\bar{x}$)*

Показатель / Indicator	Норма / Standard	Группа / Group		
		контрольная / control	I опытная / Experimental group I	II опытная / Experimental group II
Сенаж, кг / Haylage, kg	-	4,00±0,18	3,80±0,21	3,75±0,31
Силос, кг / Silage, kg	-	12,50±0,11	13,10±0,07	13,30±0,06
Типовой комбикорм, кг / Standard compound feed, kg	-	1,00±0,02	1,00±0,01	1,00±0,03
Экструдат зерна озимой ржи, кг / Winter rye grain extrudate, kg	-	1,00±0,04	1,00±0,02	1,00±0,01
Витаминно-травяная мука из зелёной массы левзеи сафлоровидной, г / Vitamin-herbal flour made of <i>R. carthamoides</i> green mass, g	-	-	0,150	0,300
Соль поваренная, г / Table salt, g	-	30	30	30
<i>В рационе содержится / The diet contains</i>				
ЭКЕ / EFU	7,35	7,47	7,51	7,53
Обменной энергии, МДж / Metabolic energy, MJ	73,50	74,70	75,15	75,31
Сухого вещества, кг / Dry matter	7,60	7,65	7,72	7,78
Сырого протеина, г / Crude protein, g	1035	1063	1074	1086
Переваримого протеина, г / Digestible protein, g	706	725	728	732
Сырой клетчатки, г / Crude fiber, g	1672	2015	2060	2102
Кальция, г / Calcium, g	52	54,81	58,26	61,48
Фосфора, г / Phosphorus, g	31	33,34	33,78	34,06
Крахмала, г / Starch, g	678	850	775	700
Сахара, г / Sugar, g	474	449	462	475
Сырого жира, г / Crude fat, g	250	262	278	280
Каротина, мг / Carotene, mg	193	186	267	283
Отношение Са:Р / Ca:P	1,67:1	1,64:1	1,72:1	1,80:1
Сахаро-протеиновое отношение / Sugar-proteic ratio	0,85:1	0,62	0,63	0,65

Содержание 20-гидроксиэкдизона в составе левзеи сафлоровидной в первом укосе составляет 0,38 % при норме 0,25-0,45 % действующих веществ в сухом веществе продукта.

Анализируя данные химического состава сухого вещества витаминно-травяной муки из левзеи сафлоровидной, следует отметить, что содержание каротина в ВТМ было на уровне

197,9 мг/кг. Уровень сырого протеина составил 19,32 %, при норме⁶ 19,0 %.

Тёлки I опытной группы с кормом потребили каротина на 43,5 %, а во II опытной – на 52,2 % больше, по сравнению с контрольной, что, полагаем, будет способствовать улучшению обменных процессов в организме.

⁶ГОСТ Р 56383-2015. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119861>

Таблица 2 – Химический состав ВТМ из зелёной массы левзеи сафлоровидной (на а.с.), 2022 год /
Table 2 – Chemical composition of VHF made of the green mass of *R. carthamoides* (on a.s.v.), 2022

Показатель / Indicator	Сухое в-во, % / Dry matter, %	Сырой жир, % / Grude fat, %	Сырой протеин, % / Grude protein, %	Сырая клетчатка, % / Grude fiber, %	Сахар, % / Sugar, %	Кальций, г/кг / Calcium, g/kg	Фосфор, г/кг / Phosphorus, g/kg	Каротин, мг/кг / Carotene, mg/kg	Кормовые единицы, кг / Feed units kg	Обменная энергия, МДж / Exchange energy, MJ	20-гидро- ксиэтизон, % / 20-hydro- xyefysone, %
ВТМ из зелёной массы левзеи сафлоровидной, 1-й укос / VHF made of the green mass of <i>R. Carthamoides</i> , 1 st cutting	88,59±0,1	34,4±0,04	19,32±0,2	23,27±0,1	3,1±0,02	2,2±0,03	0,6±0,01	197,9±0,1	0,8±0,1	10,02±0,1	0,38±0,1
Норма в 1 кг сухого вещества ⁷ / Norm in 1 kg of dry matter	88,0	-	19,0	23,0	-	-	-	-	0,8	10,0	0,25-0,45

Об использовании протеина телками в эксперименте можно судить по балансу азота в организме животного. Потребление азота из суточного рациона телками I и II опытных групп было большим на 6,56 и 8,48 г (на 3,8 и 4,9 %) соответственно, по сравнению с животными контрольной группы. В процентном отношении от поступившего азота и от переваренного больше отложено азота в теле телками I и II опытных групп на 0,74 и 1,09 %абс. ($p < 0,05$) и на 2,17 и 3,64 %абс. ($p < 0,01$), по сравнению с контрольной (табл. 3).

В результате проведения опыта установлено, что скармливание молодняку крупного рогатого скота витаминно-травяной муки из зелёной массы левзеи сафлоровидной в составе экструдата зерна озимой ржи благоприятно повлияло на использование азота кормов рациона телками опытных групп.

Оценкой сбалансированности и полноценности кормления молодняка крупного рогатого скота является их рост и развитие. В таблице 4 представлены показатели роста подопытных животных в период научно-хозяйственного опыта.

Постановочная живая масса подопытного молодняка крупного рогатого скота находилась в пределах 291,9-292,5 кг, то есть разность между ними не превысила 1,10 %, что подтверждает правильность подбора аналогов по живой массе.

В результате проведения эксперимента выявлено влияние скармливания ВТМ на динамику роста телок. В 15-месячном возрасте телочки I и II опытных групп по живой массе превосходили животных контрольной на 2,80 и 18,20 кг ($p < 0,001$) соответственно. За период опыта по абсолютному приросту телки I и II опытных групп превысили соответственно на 4,86 и 11,61 % контрольную. По среднесуточному приросту живой массы телки контрольной группы уступали сверстникам I и II опытных групп на 39 г ($p < 0,05$) и 94 г ($p < 0,001$) соответственно.

На основе полученных данных за период проведения эксперимента можно предположить, что включение витаминно-травяной муки из зелёной массы левзеи сафлоровидной в состав рациона телок I и II опытных групп повлияло на увеличение их абсолютного прироста.

⁷ГОСТ Р 56383-2015.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200119861>

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 3 – Влияние витаминно-травяной муки из *R. carthamoides* на баланс и использование азота подопытными животными (тёлками) (г/гол.) ($\bar{X} \pm S\bar{x}$)

Table 3 – The effect of vitamin-grass flour made of *R. carthamoides* on the balance and use of nitrogen in experimental animals (heifers) (g/heads) ($\bar{X} \pm S\bar{x}$)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контрольная / control	I опытная / Experimental group I	II опытная / Experimental group II
Поступило с кормом, г / Received with feed, g	170,08±1,65	176,64±1,67*	178,56±1,87**
Выделено с калом, г / Isolated with feces, g	68,63±0,18	67,97±0,91	69,08±0,19
Переварено, г / Digested, g	104,45±0,44	108,67±0,34***	109,48±0,41***
Выделено с мочой, г / Excreted in urine, g	39,23±0,19	44,52±0,15***	42,06±0,43***
Отложено в теле (баланс), г / Deposited in the body (balance), g	60,52±0,35	64,15±0,27***	67,42±0,19***
Отложено в теле, % / Postponed in the body, %:			
от принятого / from received	35,58±0,25	36,32±0,16	37,75±0,20*
от переваренного / from digested	57,94±0,06	59,03±0,14	61,58±0,09**

*p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001 в сравнении с контрольной /
*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 compared with the control

Таблица 4 – Влияние витаминно-травяной муки из *R. carthamoides* на живую массу и её прирост у подопытных ремонтных тёлочек ($M \pm m$, n = 10) /

Table 4 – Influence of vitamin-grass flour made of *R. carthamoides* on live weight and its gain in experimental replacement heifers ($M \pm m$, n = 10)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контрольная / control	I опытная / Experimental group I	II опытная / Experimental group II
Живая масса (кг) в возрасте, мес. / Live weight (kg) at the age, months			
12 мес. / 12 months	292,5±0,44	291,7±0,62	292,1±0,63
13 мес. / 13 months	317,5±1,12	317,9±1,43	320,5±1,95
14 мес. / 14 months	341,4±0,92	347,5±1,12***	358,2±1,92***
15 мес. / 15 months	366,6±2,15	369,4±2,17	384,8±2,95***
Абсолютный прирост, кг / Absolute gain, kg	74,1±1,86	77,7±2,13	82,7±1,66**
Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g	805±11,97	844±12,07*	899±11,96***

*p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001 в сравнении с контрольной /
*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 compared with the control

Биохимическими исследованиями установлено, что применение ВТМ из левзеи сафлоровидной оказало положительное влияние на динамику содержания общего белка и фракционного состава сыворотки крови подопытных животных (табл. 5).

В сыворотке крови динамика была заметна у животных I и II опытных групп, где наблюдалось достоверное повышение общего белка в конце опыта на 10,34 и 11,43 % (p<0,001) соответственно, по сравнению с контролем.

До опыта в крови животных всех опытных групп содержание альбуминов было в пределах физиологической нормы. В конце эксперимента содержание альбуминов в сыворотке крови у животных I и II опытных групп повысилось на 14,67 и 14,09 % (p<0,001) по сравнению с контрольной.

Положительная динамика уровней α - и β -глобулинов в крови по завершению опыта отмечена у тёлочек всех групп. Достаточно отметить, что величина α - и β -глобулинов у молодняка контрольной группы повысилась на 40,51 и 41,56 %, I опытной – на 31,72 и 19,40 %, II опытной – на 31,72 и 19,40 %.

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

β-глобулинов у II опытной – на 3,17 %. Содержание γ-глобулинов увеличивалось на 21,2 и

3,02 % в обеих опытных группах по сравнению с исходными показателями.

Таблица 5 – Влияние витаминно-травяной муки из *R. carthamoides* на биохимические показатели сыворотки крови тёлочек (M±m, n = 3) /

Table 5 – The effect of vitamin-herbal flour made of *R. carthamoides* on biochemical parameters in the blood serum of heifers (M±m, n = 3)

Показатель / Indicator		Группа / Group		
		контрольная / control	I опытная / Experimental group I	II опытная / Experimental group II
В начале опыта / At the beginning of the experiment				
Общий белок, г/л / Total protein, g/l		71,5±0,14	72,0±0,98	68,9±0,84*
Протеино- грамма, % / Proteinogram, %	Альбумины, % / Albumins, %	37,5±0,38	38,1±0,29	37,3±0,17
	α-глобулины, % / α-globulins, %	11,6±0,23	9,9±0,32**	15,9±0,41***
	β-глобулины, % / β-globulins, %	9,0±0,12	10,8±0,44*	12,2±0,31***
	γ-глобулины, % / γ-globulins, %	38,9±0,17	27,8±0,25***	32,1±0,16***
Щелочной резерв, об.% CO ₂ / Alkaline reserve, vol.% CO ₂		44,1±3,31	54,9±0,93*	59,7±0,42**
Витамин Е, ммоль/л / Vitamin E, mmol/l		19,6±0,29	16,8±0,41**	23,7±0,52**
Каротин, ммоль/л / Carotene, mmol/l		7,20±0,22	7,80±0,68	7,40±0,48
В конце опыта / At the end of the experiment				
Общий белок, г/л / Total protein, g/l		72,8±0,23	81,2±0,31***	82,2±0,74***
Протеино- грамма, % / Proteinogram, %	Альбумины, % / Albumins, %	37,8±0,13	44,3±0,32***	44,0±0,21***
	α-глобулины, % / α-globulins, %	19,5±0,15	14,5±0,62**	11,4±0,14***
	β-глобулины, % / β-globulins, %	15,4±0,25	13,4±0,43*	12,6±0,31**
	γ-глобулины, % / γ-globulins, %	35,6±0,17	35,2±0,69	33,1±0,34**
Щелочной резерв, об.% CO ₂ / Alkaline reserve, vol.% CO ₂		50,7±0,33	46,6±0,22***	48,9±0,15**
Витамин Е, ммоль/л / Vitamin E, mmol/l		24,6±0,95	19,9±0,64*	23,7±0,79
Каротин, ммоль/л / Carotene, mmol/l		5,5±0,32	6,4±0,29	7,7±0,13**

*p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001 в сравнении с контрольной в тот же период /

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001 compared to control in the same period

Уровень резервной щёлочности снизился в I опытной группе на 15,12 %, во II – на 18,01 %, но во всех экспериментальных группах находился в пределах физиологической нормы (46-66 об.% CO₂)

Небольшие изменения витамина Е в сыворотке крови у тёлочек, получавших разные дозы испытываемой ВТМ, не выходили за рамки физиологической нормы и мало отличались от контрольных показателей.

Увеличивалось количество каротина в крови после скармливания витаминно-травяной муки в I и II опытных группах на 14,06 и 28,57 % (p<0,01) соответственно, по сравнению с кон-

тролем. Это связано с возможным воздействием анаболического и иммуномодулирующего эффектов левзеи сафлоровидной на витаминно-минеральный обмен в организме тёлочек.

Выводы. Витаминно-травяная мука из левзеи сафлоровидной имеет высокие кормовые достоинства на уровне корма первого класса.

Использование азота от поступившего и переваренного отмечено больше у телок I и II опытных групп на 0,74 и 1,09 %абс. (p<0,05) и на 1,77 и 3,64 %абс. (p<0,01), по сравнению контрольной.

Учитывая результаты исследования, можно сделать вывод о том, что применение

адаптогенов растительного происхождения (левзея сафлоровидная) в качестве добавки к основному рациону ремонтных тёлочек в возрасте 12-15 месяцев стимулирует их рост, способствуя ускоренному достижению максимальной живой массы. Тёлки I и II опытных групп по живой массе превосходили аналогов контрольной на 2,80 и 18,20 кг ($p < 0,001$) по абсолютному приросту на 4,86 и 11,61 % соответственно.

Введение в рацион молодяку крупного рогатого скота витаминно-травяной муки из левзеи сафлоровидной не оказало отрицательного влияния на исследуемые показатели крови. После скармливания тёлочкам ВТМ в крови возрастало содержание общего белка

(на 11,43 %) $p < 0,001$, альбуминов (на 14,01 %) $p < 0,001$ и каротина (на 28,57 %) $p < 0,01$.

Анализируя рацион фактического потребления кормов экспериментальными животными, установлено, что скармливание тёлкам II опытной группы ВТМ из левзеи сафлоровидной в дозе 300 г способствовало большему потреблению сухого вещества рациона, а вместе с ним и обменной энергии. Тёлки II опытной группы потребили сухого вещества рациона больше, по сравнению с тёлками I опытной и контрольной групп, на 0,92 и на 1,70 % соответственно, в результате в возрасте 15 месяцев достигли большей живой массы по сравнению с остальными группами.

Список литературы

1. Ивановский А. А., Латушкина Н. А. Применение Фитодобавки лактирующим коровам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(2):255-262. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262>
2. Козлов А. С., Мошкина С. В. Роль оптимизации кормовой базы, технологий приготовления и скармливания кормов в молочном скотоводстве. Актуальные проблемы заготовки, хранения и рационального использования кормов: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения доктора с.-х. наук, профессора С. Я. Зафрена. Сергиев Посад: ФГБОУ ДПО «Федеральный центр сельскохозяйственного консультирования и переподготовки кадров агропромышленного комплекса», 2009. С. 15-118. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25705647>
3. Волошин В. А., Матолинец Д. А., Морозков Н. А., Майсак Г. П. Роль левзеи сафлоровидной в кормлении молочных коров. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019;5(49):52-60. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-5-7>
4. Морозков Н. А., Суханова Е. В. Усовершенствованная система оценки качества кормов и кормовых добавок, влияющих на повышение продуктивности сельскохозяйственных животных. Пермь: ОТ и ДО, 2020. 62 с. Режим доступа: http://www.cnsnb.ru/Vexhib/vex_news/2021/vex_210424/0396468X.pdf
5. Морозков Н. А., Суханова Е. В., Терентьева Л. С. Влияние разных доз экстракта ржи на переваримость рациона и биохимические показатели рубцовой жидкости и крови у ремонтных тёлочек. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(4):496-507. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.496-506>
6. Матолинец Д. А., Волошин В. А. Биологические особенности и элементы технологии возделывания левзеи сафлоровидной в условиях Пермского края. *Кормопроизводство*. 2018;(1):21-25. Режим доступа: <https://kormoproizvodstvo.ru/1-2018/1-2018-03-1177/>
7. Жданова И. Н. Морфобиохимические показатели крови и молочная продуктивность у коров при скармливании витаминно-травяной муки из эспарцета песчаного. *Аграрная наука*. 2021;(3):56-59. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-56-59>
8. Тимофеев Н. П. Накопление и изменчивость содержания экидистероидов в лекарственном сырье левзеи сафлоровидной. *Сельскохозяйственная биология*. 2009;(1):106-117. Режим доступа: <http://www.agrobiology.ru/5-2010timofeev.html>
9. Некратова А. Н., Некратова Н. А. Выращивание марального корня как ценного лекарственного растения в условиях Томской области. Особо охраняемые природные территории. Интродукция растений: мат-лы заочной междунар. научн.-практ. конф. Воронеж, 2014. С. 179-181. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22423220>
10. Todorova V., Ivanov K., Ivanova S. Comparison between the Biological Active Compounds in Plants with Adaptogenic Properties (*Rhaponticum carthamoides*, *Lepidium meyenii*, *Eleutherococcus senticosus* and *Panax ginseng*). *Plants*. 2022;11(1):64. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11010064>
11. Głazowska J., Kamiński M. M., Kamiński M. Chromatographic separation, determination and identification of ecdysteroids: Focus on Maral root (*Rhaponticum carthamoides*, *Leuzea carthamoides*). *Journal of Separation Science*. 2018;41(23):4304-4314. DOI: <https://doi.org/10.1002/jssc.201800506>
12. Костомахин Н. Травяная мука – белковый и витаминный корм. *Комбикорма*. 2013;(6):71-73. Режим доступа: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/6_13/06_2013_071-073.pdf
13. Пунегов В. В., Савиновская Н. С. Метод внутреннего стандарта для определения экидистероидов в растительном сырье и лекарственных формах с помощью ВЭЖХ. *Растительные ресурсы*. 2001;37(1):97-102. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26647074>

References

1. Ivanovsky A. A., Latushkina N. A. The use of Phytoadditive in lactating cows. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):255-262. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262>

2. Kozlov A. S., Moshkina S. V. The role of optimization of the feed base, technologies of preparation and feeding of feed in dairy cattle breeding. Actual problems of harvesting, storage and rational use of feed: Proceedings of the International scientific.-practical conf., dedicated to the 100th anniversary of Doctor of Agricultural Science, Professor S. Ya. Zafren. Sergiev Posad: FGBOU DPO «Federal'nyy tsentr sel'skokhozyaystvennogo konsul'tirovaniya i perepodgotovki kadrov agropromyshlennogo kompleksa», 2009. pp. 15-118. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25705647>

3. Voloshin V. A., Matolinets D. A., Morozkov N. A., Maysak G. P. The role of rhaponticum carthamoides in feeding of dairy cows. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2019;49(5):52-60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-5-7>

4. Morozkov N. A., Sukhanova E. V. An improved system for assessing the quality of feed and feed additives that affect the productivity of farm animals. Perm': OT i DO, 2020. 62 p. URL: http://www.cnsrb.ru/Vexhib/vex_news/2021/vex_210424/0396468X.pdf

5. Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Terentyeva L. S. The effect of different doses of rye extrudate on the digestibility of the diet feeds and biochemical parameters of rumen fluid and blood in replacement heifers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):496-506. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.496-506>

6. Matolinets D. A., Voloshin V. A. Biological features and cultivation of maral root on the perm territory. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2018;(1):21-25. URL: <https://kormoproizvodstvo.ru/1-2018/1-2018-03-1177/>

7. Zhdanova I. N. Morphobiochemical indicators of blood and dairy productivity in cows when feeding vitamin-herbal flour from sand esparcet. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;(3):56-59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-56-59>

8. Timofeev N. P. Growth and biosynthesis of ecdysteroids in *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) iljin under the influence of edaphic factors. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2009;(1):106-117. (In Russ.). URL: <http://www.agrobiology.ru/5-2010timofeev.html>

9. Nekratova A. N., Nekratova N. A. Cultivation of the maral root as a valuable medicinal plant in the conditions of the Tomsk region. Specially protected natural areas. Introduction of plants: Proceedings of distant International scientific.-practical conf. Voronezh, 2014. pp. 179-181. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22423220>

10. Todorova V., Ivanov K., Ivanova S. Comparison between the Biological Active Compounds in Plants with Adaptogenic Properties (*Rhaponticum carthamoides*, *Lepidium meyenii*, *Eleutherococcus senticosus* and *Panax ginseng*). *Plants*. 2022;11(1):64. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11010064>

11. Glazovska J., Kamiński M. M., Kamiński M. Chromatographic separation, determination and identification of ecdysteroids: Focus on Maral root (*Rhaponticum carthamoides*, *Leuzea carthamoides*). *Journal of Separation Science*. 2018;41(23):4304-4314. DOI: <https://doi.org/10.1002/jssc.201800506>

12. Kostomakhin N. Herbal flour is protein and vitamin feed. *Kombikorma*. 2013;(6):71-73. (In Russ.). URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/6_13/06_2013_071-073.pdf

13. Punegov V. V., Savinovskaya N. S. The method of the internal standard for the determination of ecdysteroids in growing raw materials and dosage forms using HPLC. *Rastitel'nye resursy* = Rastitelnye Resursy. 2001;37(1):97-102. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26647074>

Сведения об авторах

✉ **Жданова Ирина Николаевна**, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniiish@rambler.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0260-6917>, e-mail: saratov_perm@mail.ru

Морозков Николай Александрович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniiish@rambler.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3454-7843>

Information about the authors

✉ **Irina N. Zhdanova**, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Laboratory of Biologically Active Feeds, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniiish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0260-6917>, e-mail: saratov_perm@mail.ru

Nikolay A. Morozkov, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Biologically Active Feeds, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniiish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3454-7843>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>

УДК 636.082.2

Ассоциация генотипов коров холмогорской породы по бета-казеину с молочной продуктивностью© 2022. Е. В. Парыгина¹, Н. А. Худякова¹✉, О. В. Тулинова², А. А. Первухина¹, И. В. Селькова¹, И. С. Кожевникова¹, М. А. Кудрина¹¹ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация,²Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Цель исследования – выявление частоты встречаемости различных аллельных вариантов и генотипов бета-казеина у коров холмогорской породы и их связи с молочной продуктивностью. Задачи: генотипирование крупного рогатого скота холмогорской породы по локусу бета-казеина и установление его связи с качественными и количественными показателями молочной продуктивности. Объект и методы: 150 коров 1, 2 и 3-ей лактаций. Для идентификации A1 и A2 бета-казеина использован аллель-специфичный вариант метода ПЦР (АС-ПЦР). Результаты: в исследуемой части стада выявлено 23 % животных с генотипом A2A2, 43 % – с генотипом A1A1 и 34 % – с генотипом A1A2. За 100 дней первой лактации наибольшее значение по удою показали животные с генотипом A1A2. Животные с генотипом A2A2 за 305 дней лактации имели самый высокий удой и количество молочного белка, однако разница статически не значима по сравнению с животными с генотипом A1A2. Генотип A1A1 имеет более низкие по всем исследуемым параметрам показатели, с достоверной разницей относительно генотипов A1A2 и A2A2. Таким образом, изучение CSN2 является перспективным направлением научных изысканий, а результаты исследования генотипов по бета-казеину могут быть использованы в качестве маркерной селекции при совершенствовании стад холмогорской породы.

Ключевые слова: молочный белок, генотип, частота встречаемости, корова, Архангельская область

Благодарности: работа подготовлена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Разработка системы производства полноценной и экологически безопасной продукции отрасли молочного животноводства в АЗ РФ на основе использования генотипированных племенных животных» (FUUW-2021-0005) (регистрационный номер 121122800216-6).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Парыгина Е. В., Худякова Н. А., Тулинова О. В., Первухина А. А., Селькова И. В., Кожевникова И. С., Кудрина М. А. Ассоциация генотипов коров холмогорской породы по бета-казеину с молочной продуктивностью. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2022;23(6):877-883. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>

Поступила: 25.07.2022

Принята к публикации: 10.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity© 2022. Ekaterina V. Parygina¹, Natalya A. Khudyakova¹✉, Olga V. Tulinova², Anastasia A. Pervukhina¹, Iya V. Selkova¹, Irina S. Kozhevnikova¹, Marina A. Kudrina¹¹Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Archangelsk, Russian Federation²Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Saint-Petersburg, Russian Federation

The aim of the study is to identify the frequency of occurrence of various allelic variants and genotypes of beta-casein in cows of the Kholmogory breed and their relationship with dairy productivity. The tasks of the research are genotyping of cattle of the Kholmogory breed by the beta-casein locus and establishing its connection with qualitative and quantitative indicators of dairy productivity. As the objects for the research there were taken 150 cows of the 1st, 2nd and 3rd

lactation. An allele-specific variant of the PCR method (AS-PCR) was used to identify A1 and A2 beta-casein. As the result it had been established that in the studied part of the herd, 23 % of animals had the A2A2 genotype, 43 % of animals had the A1A1 genotype and 34 % of animals had the A1A2 genotype. For 100 days of the first lactation, animals with A1A2 genotype showed the highest value in milk yield. Animals with A2A2 genotype for 305 days of lactation had the highest milk yield and the amount of milk protein, however, the difference was not statistically significant compared to the animals with A1A2 genotype. Genotype A1A1 has lower indicators by all the parameters studied, with a significant difference relative to genotypes A1A2 and A2A2. Thus, the study of CSN2 is a promising area of scientific research, and the results of the study of beta-casein genotypes can be used as a marker selection in improving the herds of the Kholmogory breed.

Keywords: milk protein, genotype, frequency of occurrence, cow, Arkhangelsk region

Acknowledgements: the research is carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the FECIAR UrB RAS "Development of the system of production of balanced and environmentally safe dairy products in the Arctic Zone of the Russian Federation based on the use of genotyped breeding animals" (FUUW-2021-0005) (registration number 121122800216-6).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Parygina E. V., Khudyakova N. A., Tulinova O. V., Pervukhina A. A., Selkova I. V., Kozhevnikova I. S., Kudrina M. A. Association of genotypes of cows of the Kholmogory breed by beta-casein with milk productivity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):877-883. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.877-883>

Received: 25.07.2022

Accepted for publication: 10.11.2022

Published online: 16.12.2022

На сегодняшний день молочное скотоводство в Российской Федерации является одним из ведущих направлений сельского хозяйства. Архангельская область не стала исключением, здесь осуществляется разведение отечественной породы крупного рогатого скота – холмогорской, которая обладает важными качествами, необходимыми для жизни в условиях русского севера [1].

Вопросом комплексного мониторинга популяций скота холмогорской породы по важным хозяйственно ценным признакам с целью повышения экономической эффективности разведения животных занимаются разные исследователи [2, 3]. При этом особое внимание уделяется генетическому полиморфизму бета-казеина.

Бета-казеин является одним из основных казеиновых белков коровьего молока и составляет приблизительно 45 % от общего числа белков. Полиморфизм гена бета-казеина (CSN2) в последние годы стал ценным хозяйственно полезным признаком, так как варианты A1 и A2 бета-казеина имеют значение как в отношении качественных и количественных показателей молока, так и в отношении полезных свойств продукта для потребителя [4, 5].

Считается, что A2 является исходным бета-казеиновым белком, а A1 это результат мутации, произошедшей у европейского крупного рогатого скота несколько тысяч лет назад [6, 7]. «Молоко A2», полученное от коров с генотипами A2A2, является перспективным продуктом для производства, так как в отличие от «молока A1» не вызывает негативных

последствий для организма человека: воспаление кишечника, обострение желудочно-кишечных симптомов [8, 9, 10, 11, 12].

Можно предположить, что «Молоко A2» будет пользоваться спросом среди потребителей Архангельской области из-за своих качеств и положительного влияния на здоровье человека. Производителями молока A2 могут считаться только коровы с комбинацией аллелей A2A2. Какое молоко производит корова – A1 или A2, целиком и полностью зависит от ее генетики. Ни за счет кормления, ни за счет содержания получить молоко A2 невозможно. Поэтому генотипирование животных по бета-казеину становится насущной задачей.

Цель исследования – оценка частоты встречаемости различных аллельных вариантов CSN2 у коров холмогорской породы и выявление их ассоциаций с признаками молочной продуктивности.

Научная новизна: впервые было проведено генотипирование маточного поголовья крупного рогатого скота холмогорской породы ООО «Агрофирма Холмогорское» на ген бета-казеина и исследованы ассоциации разных генотипов животных.

Материал и методы. Для определения полиморфизма CSN2 в стаде ООО «Агрофирма «Холмогорская» Архангельской области из 410 коров было отобрано 150 голов разных возрастных групп, из них 74 первотелки, введенные в основное стадо в 2021-2022 гг. Животные были как чистопородные холмогорские, так и помесные по голштинской породе. По оценке молочной продуктивности животных

за первые 100 дней лактации, в выборке участвовало 145 голов, т. к. у 5 животных не было показателей по данным параметрам.

Кровь, полученную из яремной вены животных, отбирали в пробирки со 100 мМ ЭДТА до конечной концентрации 10 мМ. Геномную ДНК выделяли с помощью набора реагентов «ДНК-Экстран-2».

Для определения аллелей А1 и А2 бета-казеина применяли аллель-специфичный вариант метода ПЦР (АС-ПЦР) [13].

Для проведения ПЦР были использованы праймеры синтезированные ЗАО «Синтол» с нуклеотидной последовательностью [13]:

GBhF: 5'-СТТ-ССС-TGG- GCC-CAT-ССА-3' (прямой праймер аллеля А1);

IGBhF: 5'-СТТ-ССС-TGG-GCC-CAT-ССС-3' (прямой праймер аллеля А2);

IGBhR: 5'-АГА-СТГ-GAG-CAG-АGG-CAG-АГ-3' (обратный праймер А1, А2).

ПЦР-программа проходила в температурно-временном режиме: начальная денатурация – 5 минут при 94 °С; следует 5 циклов: 30 секунд при 94 °С; 30 секунд – 66 °С, 30 секунд – 72 °С; следует 30 циклов: 30 секунд при 94 °С; 30 секунд – 64 °С, 30 секунд – 72 °С; финальная достройка – 5 минут при 72 °С.

Визуализация результатов проведения аллель-специфичной ПЦР осуществлялась путем электрофореза амплификатов в 2 % агарозном геле (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика фрагментов ДНК аллельных вариантов CSN2 / Table 1 – Characteristics of DNA fragments of allelic variants of CSN2

<i>Генотип CSN2 / CSN2 genotype</i>	<i>1 амплификат CSN2, (п.н) / 1 CSN2 amplification, (bp)</i>	<i>2 амплификаты CSN2, (п.н) / 2 CSN2 amplification, (bp)</i>
A1A1	A1 – 244	A2 – нет амплификата / A2 – no amplification
A1A2	A1 – 244	A2 – 244
A2A2	A1 – нет амплификата / A1 – no amplification	A2 – 244

Частоту встречаемости генотипов рассчитывали согласно Е. К. Меркурьевой по формуле¹:

$$P = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

где P – частота определенного генотипа, n – количество животных, имеющих определенный генотип, N – общее число животных.

Частоту отдельных аллелей определили по формулам²:

$$P^A = \frac{(2n_{AA} + n_{AB})}{2N}; \quad (2)$$

$$Q^B = \frac{(2n_{BB} + n_{AB})}{2N}, \quad (3)$$

где P^A – частота аллеля А, Q^B – частота аллеля В, n_{AA} , n_{AB} , n_{BB} – количество животных с определенным генотипом, N – общее число животных.

Результаты и их обсуждение. Анализ аллелофонда генотипированных коров ($n = 150$) показал, что частота встречаемости аллеля А1 по локусу бета-казеина составляла – 0,6, аллеля А2 – 0,4. То есть, на момент проведения

генотипирования животные холмогорской породы исследуемой части стада имели относительно высокую долю аллеля А2.

По возрастным группам частота встречаемости животных с генотипом А2А2 изменяется из года в год, что видно из данных таблицы 2, где показано увеличение относительной численности коров с генотипом А1А1 на 16 % и снижение доли коров с генотипом А1А2 с 52 до 31 %. Вероятно, этот процесс, а также увеличение на 17 % и дальнейшее снижение на 11 % доли коров с генотипом А2А2 зависит от производителей, закрепляемых за маточным поголовьем стада в тот или иной период времени, и отбора коров для ремонта основного стада по показателю молочной продуктивности.

С целью выявления наиболее перспективных генотипов для данного стада определена взаимосвязь показателей молочной продуктивности 145 животных разных возрастных групп и генотипов по бета-казеину.

¹Меркурьева Е. К., Шангин-Березовский Г. Н. Генетика с основами биометрии. М.: Колос, 1983. 400 с.

²Там же.

**Таблица 2 – Частота встречаемости генотипов бета-казеина в разных возрастных группах коров (n = 150) /
Table 2 – Frequency of occurrence of beta-casein genotypes in different age groups of cows (n = 150)**

Год первой лактации / The year of the first lactation	№ ПЗ лактации / No. of lactation	Количество животных (n) / Number of animals (n)	Частота встречаемости генотипов, % / Frequency of occurrence of genotypes, %		
			A1A1	A1A2	A2A2
2019-2020	3	21	34	52	14
2020-2021	2	55	40	29	31
2021-2022	1	74	49	31	20
2019-2022	1-3	150	43	34	23

В таблице 3 представлены данные по удою коров разных возрастов и генотипов за первые 100 дней лактации. Самые высокие показатели имели коровы генотипа A1A2, которые были введены в основное стадо в

период 2021-2022 гг. Данные показывают, что эти животные имеют значительное превосходство по величине удоя (2281±60) над аналогами с генотипом A1A1 и A2A2 на 285 и 150 кг соответственно.

**Таблица 3 – Средний удой коров за первые 100 дней первой лактации, кг /
Table 3 – Average milk yield of cows for the first 100 days of the first lactation, kg**

Год первой лактации / The year of the first lactation	Количество животных (n) / Number of animals (n)	Генотип / Genotype					
		A1A1		A1A2		A2A2	
		n	удой / milk yield	n	удой / milk yield	n	удой / milk yield
Кровность по голштинской породе, % / Holstein bloodlines, %	145	62	34,8±4,0	50	47,6±3,0	33	46,4±3,0
2019-2020	20	7	1765±99	11	1781±70	2	1695±351
2020-2021	51	19	1929±64	16	2127±81	16	2026±85
2021-2022	74	36	1996±47	23	2281±60*	15	2131±58
По выборке	145	62	1950±36	50	2122±49*	33	2053±54
95% ДИ / By samples 95% CI	-	-	1880-2020	-	2026-2218	-	1948-2158

Примечание: различия достоверны по отношению к группе коров с генотипом A1A1 в аналогичный период при * $p \leq 0,05$ /

Note: differences are reliable in relation to the group of cows with A1A1 genotype in the same period at * $p \leq 0.05$

Доверительные интервалы (ДИ) удоя коров с генотипами A2A2 и A1A2 перекрывались, различие в удое коров этих групп было статистически незначимое ($p > 0,05$). Статистически незначимое различие было и в удое коров двух гомозигот (A2A2, A1A1), т. к. доверительные интервалы этих групп также перекрывались. Статистически значимые различия отмечены только между группами животных с генотипами A1A1 и A1A2 с годом первой лактации 2021-2022 на 14,28 %, и в целом по выборке между теми же группами (A1A1 и A1A2) на 8,82 % в пользу последних.

В таблице 4 представлены данные по признакам молочной продуктивности первотелок за 305 дней лактации с разными генотипами.

Различие в удое коров с генотипами A1A2 и A2A2 было статистически незна-

чимым. У коров с генотипом A1A1 удой получили на 461 кг ниже ($p < 0,05$) по сравнению с животными с генотипом A1A2 и на 506 кг ниже ($p < 0,05$) по сравнению с генотипом A2A2.

Различие по количеству молочного жира у коров с генотипами A1A2 и A2A2 было статистически незначимым. Коровы с генотипом A1A1 по этому показателю имели достоверные различия по сравнению с животными с генотипами A1A2 (на 22 кг больше) и A2A2 (на 18 кг больше).

Различие по количеству молочного белка у коров с генотипами A1A2 и A2A2 было статистически незначимым. Коровы с генотипом A1A1 достоверно уступали аналогам с генотипом A1A2 на 14 кг (10,00 %), а с генотипом A2A2 на 19 кг (13,57 %).

Таблица 4 – Характеристика молочной продуктивности за 305 дней первой лактации животных с разными генотипами бета-казеина /

Table 4 – Characteristics of milk productivity for 305 days of the first lactation of animals with different beta-casein genotypes

Показатель / Indicator	Генотип / Genotype		
	A1A1 (n = 29)	A1A2 (n = 27)	A2A2 (n = 20)
Кровность по голштинской породе, % / Holstein bloodlines, %	31,3±3,0	45,4±3,0	42,5±3,0
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	4556±133	5017±154*	5062±201*
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	3,71±0,04	3,83±0,05	3,70±0,05
Количество молочного жира, кг / Amount of milk fat, kg	169±5	191±6*	187±7*
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	3,06±0,03	3,08±0,03	3,16±0,04
Количество молочного белка, кг / Amount of milk protein, kg	140±4	154±4*	159±6*

* Различия достоверны по отношению к группе коров с генотипом A1A1 при $p \leq 0,05$ /

* Differences are reliable in relation to the group of cows with A1A1 genotype at $p \leq 0.05$

При исследовании белкомолочности выявлено, что животные-носители генотипа A2A2 являются самыми ценными (3,16 %±0,04), имея незначительное превосходство по белку по сравнению со сверстницами с другими генотипами (+0,1 и +0,08 %).

Анализ результатов величины удоев за 305 дней первой лактации показал, что наивысшую продуктивность имеют гомозиготные животные по аллелю A2 (5062±201 кг) и гетерозиготные (5017±154 кг) со значительным превосходством над коровами с генотипом A1A1.

По качественному составу молока самую высокую жирномолочность (3,83 %) за 305 дней первой лактации показали животные с генотипом A1A2, что превосходит данный показатель по сравнению со сверстницами с генотипами A1A1 и A2A2 на 0,12 и 0,13 %, соответственно. Животные этого генотипа превышают стандарт по холмогорской породе на 0,13 %. По количеству молочного жира подтверждается тенденция преимущества коров с генотипом A1A2 (191±6 кг) по сравнению с A1A1 на 22 кг и A2A2 – на 4 кг.

На результаты наших исследований, можно предположить, оказало влияние то,

что в группах с генотипами A2A2 и A1A2 доля кровности по голштинской породе была выше по сравнению с группой, имеющей генотип A1A1.

Заключение. Холмогорская порода крупного рогатого скота является перспективной для целенаправленного производства «Молоко А2» в Архангельской области. Исследования полиморфизма CSN2 у скота холмогорской породы показали его связь с количественными показателями молока в изучаемой части стада. При генотипировании зафиксировано 23 % животных с генотипом A2A2. За 100 дней первой лактации наибольшее значение по удою показали животные с генотипом A1A2. Животные с генотипом A2A2 за 305 дней лактации имели самый высокий удой и количество молочного белка, однако разница статически незначима по сравнению с животными с генотипом A1A2. Генотип A1A1 имеет более низкие по всем исследуемым параметрам показатели.

Таким образом, изучение CSN2 является перспективным направлением научных изысканий, а результаты исследования генотипов по бета-казеину могут быть использованы в качестве маркерной селекции при совершенствовании стад холмогорской породы.

References

1. Прожерин В. П., Ялуга В. Л. Холмогорская порода. Молочное и мясное скотоводство. 2020;(7):10. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44347183>
Prozherin V. P., Yaluga V. L. Kholmogory breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2020;(7):10. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44347183>
2. Матюков В. С., Жариков Я. А., Зиновьева Н. А. Генетическая история и ценность генофонда исчезающей холмогорской породы. Молочное и мясное скотоводство. 2018;(2):2-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34859644>
Matyukov V. S., Zharikov Ya. A., Zinovieva N. A. Genetic history and value of the gene pool appearing holmogosky breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018;(2):2-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34859644>
3. Калашникова Л. А., Хабибрахманова Я. А., Багаль И. Е., Ялуга В. Л., Прожерин В. П. Оценка полиморфизма комплексных генотипов CSN3, LGB, PRL, GH, LEP и молочной продуктивности у холмогорских коров. Молочное и мясное скотоводство. 2019;(2):14-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37304535>
Kalashnikova L. A., Khabibrakhmanova Ya. A., Bagal I. E., Yaluga V. L., Prozherin V. P. Assessment of polymorphism of complex genotypes CSN3, LGB, PRL, GH, LEP and dairy productivity in kholmogory cows. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2019;(2):14-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37304535>
4. Валитов Ф. Р. Ассоциация полиморфизма гена бета-казеина с молочной продуктивностью коров плановых пород Республики Башкортостан. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(1(63)):207-209. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28767185>
Valitov F. R. Association of the beta-casein gene polymorphism with milk yields of planned cow breeds in the Republic of Bashkortostan. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(1(63)):207-209. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28767185>
5. Andiç S., Ayaz R. M., Oğuz Ş. A1 milk and beta-casomorphin-7. Food Health. 2021;7(2):128-137. DOI: <https://doi.org/10.3153/FH21014>
6. Malarmathi M., Senthil K. T., Parthiban M., Muthuramalingam T. T. Using allele specific PCR in Kangeyam and Holstein Friesian crossbred cattle in Tamil Nadu. Indian journal of veterinary and animal sciences and research. 2014;(43):310-315. URL: https://www.researchgate.net/publication/301341851_ANALYSIS_OF_ss-CASEIN_GENE_FOR_A1_AND_A2_GENOTYPE_USING_ALELE_SPECIFIC_PCR_IN_KANGEYAM_AND_HOLSTEIN_FRIESIAN_CROSSBRED_CATTLE_IN_TAMIL_NADU
7. Mumtaz S., Javed K., Dawood M., Imran M., Ali A., Ramzan N. β casein Polymorphism in Indigenous and Exotic Cattle Breeds of Pakistan. Pakistan Journal of Zoology. 2022;54(3):1451-1454. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20190307030303>
8. He M., Sun J., Jiang Z. Q., Yang Y. X. Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in Chinese adults: a multicentre, randomised controlled study. Nutrition journal. 2017;16:72. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12937-017-0275-0>
9. De Gaudry D. K., Lohner S., Schmucker C., Kapp P., Motschall E., Horrlein S., Roger C., Meerpohl J. J. Milk A1 β -casein and health-related outcomes in humans: a systematic review. Nutrition reviews. 2019;77(5):278-306. DOI: <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy063>
10. Ramakrishnan M., Eaton T., Sermet O., Savaiano D. A Single meal of milk containing A2 β -casein causes fewer symptoms and lower gas production than milk containing both A1 and A2 β -casein among lactose intolerant individuals. Current Developments in Nutrition. 2020;12(12):3855. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12123855>
11. Schettini G. P., Lambert S. M., Da Silva Souza B. M. P., Costa R. B., De Camargo G. M. F. Genetic potential of Sindhi cattle for A2 milk production. Animal Production Science. 2020;60(7):893-895. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN18677>
12. Ping F., Xiaojing D., Tie G., Ruyun D., Hongxu C. Determination of A2 β -casein and total β -casein in cow milk and milk powder by capillary zone electrophoresis. Chinese Journal of Chromatography. 2020;38(6):722-729. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34213205/>
13. Ganguly I., Gaur G. K., Singh U., Kumar S., Kumar S., Mann S. Beta-casein (CSN2) polymorphism in Ongole (Indian zebu) and Frieswal (HF \times Sahiwal crossbred) cattle. Indian Journal of Biotechnology. 2013;12(2):195-198. URL: https://www.researchgate.net/publication/280059679_Beta-casein_CSN2_polymorphism_in_Ongole_Indian_zebu_and_Frieswal_HF_X_Sahiwal_crossbred_cattle

Сведения об авторах

Парыгина Екатерина Васильевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8236-1122>

✉ **Худякова Наталья Александровна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1302-2965>, e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

Тулинова Ольга Васильевна, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией генетики и разведения крупного рогатого скота, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, д. 55а, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7731-509X>

Первухина Анастасия Александровна, младший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0246-3936>

Селькова Ия Витальевна, научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru

Кожевникова Ирина Сергеевна, кандидат биол. наук, зав. лабораторией инновационных технологий в АПК, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

Кудрина Марина Александровна, младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Российская Федерация, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8255-2989>

Information about the authors

Ekaterina V. Parygina, junior researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8236-1122>

✉ **Natalya A. Khudyakova**, PhD in Agricultural Science, researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1302-2965>, e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

Olga V. Tulinova, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Genetics and Cattle Breeding, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moskovskoe shosse, 55a, Tyarlevo settlement, Saint Petersburg, Russian Federation, 196610, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7731-509X>

Anastasia A. Pervukhina, junior researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0246-3936>

Iya V. Selkova, researcher, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru

Irina S. Kozhevnikova, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Innovative Technologies in the AIC, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7194-9465>

Marina A. Kudrina, junior researcher, the Laboratory of Innovative Technologies in the AIC, Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000, e-mail: dirnauka@fciarctic.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8255-2989>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Воспроизводительная способность коров отечественных молочных пород с различными аллельными вариантами гена лептина

© 2022. А. Д. Лемякин, А. Н. Тяжченко, К. Д. Сабетова[✉], А. А. Чаицкий, П. О. Щеголев, А. А. Королев

ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», г. Кострома, Российская Федерация

Проведение генетических исследований отечественных локальных пород крупного рогатого скота является актуальным ввиду того, что они являются носителями ценных хозяйственно полезных признаков и обладают высокой адаптационной способностью к местным условиям. Цель исследования – изучить ассоциацию полиморфных вариантов гена лептина с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота костромской, черно-пестрой и ярославской пород, разводимых в Костромской области. Генотипирование проводили методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) с применением HRM-анализа. Установлено, что в костромской и ярославской породах наибольшей частотой по локусу LEP-A80V обладал генотип AV (0,546 и 0,452 соответственно), а в черно-пестрой – генотип AA (0,550). В разрезе полиморфизма Y7F гена лептина среди животных всех исследуемых пород коров преобладал генотип YY. По локусу LEP-R25C наибольшая частота встречаемости регистрировалась у особей с генотипом RC (0,486), в то время как у крупного рогатого скота ярославской и черно-пестрой породы – генотип RR (0,690 и 0,483 соответственно). Однако не было найдено статистически значимых различий по показателям воспроизводительной способности между коровами различных генотипов по гену лептина. Есть основания полагать, что у крупного рогатого скота костромской породы желательным генотипом является AV, ярославской – AA (LEP-A80V), у черно-пестрой – RR (LEP-R25C). Наблюдаемые тенденции к наличию более высоких воспроизводительных качеств у носительниц аллелей LEP-A80V^A и LEP-R25C^R в изучаемых породах крупного рогатого скота подтверждаются исследованиями других авторов. Поэтому изучение влияния полиморфизма гена лептина на воспроизводительные способности коров отечественных молочных пород необходимо продолжить с привлечением существенно большего поголовья животных.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, маркерная селекция, ген, фертильность, Костромская область

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (тема №121121300347-5).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лемякин А. Д., Тяжченко А. Н., Сабетова К. Д., Чаицкий А. А., Щеголев П. О., Королев А. А. Воспроизводительная способность коров отечественных молочных пород с различными аллельными вариантами гена лептина. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):884-895. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.884-895>

Поступила: 21.07.2022

Принята к публикации: 10.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Reproductive ability of cows of domestic dairy breeds with different allelic variants of the leptin gene

© 2022. Alexander D. Lemyakin, Alexander N. Tyazhchenko, Ksenia D. Sabetova[✉], Alexey A. Chaitsky, Pavel O. Schegolev, Anton A. Korolev

Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russian Federation

Conducting genetic studies of domestic local breeds of cattle is relevant due to the fact that they are carriers of valuable economic traits and have a high adaptive ability to local conditions. The aim of the research is to study the association of polymorphic variants of the leptin gene with the reproductive ability of cattle of the Kostroma, Black-and-White and Yaroslavl breeds bred in the Kostroma region. Genotyping was performed by real-time polymerase chain reaction (RT-PCR) using HRM analysis. It was found that in the Kostroma and Yaroslavl breeds, the AV genotype (0.546 and 0.452, respectively) had the highest frequency for the LEP-A80V locus, and the AA genotype (0.550) in the Black-and-White breed. In terms of polymorphism Y7F of the leptin gene, the YY genotype prevailed among animals of all the studied breeds of cows. For the LEP-R25C locus, the highest frequency of occurrence was recorded in individuals with the RC genotype (0.486), while in cattle of the Yaroslavl and Black-and-White breeds, the RR genotype (0.690 and 0.483, respectively). However, no statistically significant differences were found in terms of reproductive ability between cows of different genotypes for the leptin gene. There is reason to believe that in cattle of the Kostroma breed the desired genotype is AV, in Yaroslavl cattle it is AA (LEP-A80V), and in Black-and-White cattle it is RR (LEP-R25C). The observed tendencies towards the presence of higher reproductive qualities in the carriers of the LEP-A80V^A and LEP-R25C^R alleles in the studied cattle breeds are confirmed by the studies of other authors. Therefore, the study of the effect of leptin gene polymorphism on the reproductive abilities of cows of domestic dairy breeds must be continued with the involvement of a significantly larger number of animals.

Keywords: cattle, marker breeding, gene, fertility, Kostroma region

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (№ 121121300347-5)

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Lemyakin A. D., Tyazhchenko A. N., Chaitsky A. A., Sabetova K. D., Schiogolev P. O., Korolev A. A. Reproductive ability of cows of domestic dairy breeds with different allelic variants of the leptin gene. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):884-895. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.884-895>

Received: 21.07.2022

Accepted for publication: 10.11.2022

Published online: 16.12.2022

На современном этапе развития сельского хозяйства скотоводство является ведущей отраслью животноводства, на долю которой приходится более половины производства продуктов питания животного происхождения. Уровень производства продуктов животноводства находится в прямой зависимости от интенсивности размножения сельскохозяйственных животных. Известно, что нарушение воспроизводительной функции отрицательно влияет на сроки и интенсивность использования крупного рогатого скота. В связи с этим повышение воспроизводительных качеств коров в настоящее время представляет большой научно-практический интерес, особенно среди высокопродуктивных животных [1, 2].

Высокая молочная продуктивность, особенно в начале лактации, увеличивает напряженность обменных процессов в организме коровы, что значительно ослабляет проявление репродуктивной функции [3].

Исследования последних лет свидетельствуют, что высокие удои, к примеру, у коров голштинской породы часто сопряжены с такими проблемами воспроизводства, как абортирование, мертворождение, сокращение продолжительности продуктивного использования. Для предотвращения проблем, связанных с нарушением воспроизводительной функции у животных, необходим тщательный мониторинг всех этапов этого процесса коров [4].

Для оценки воспроизводительной функции коров используют такие показатели, как возраст и масса при первом плодотворном осеменении, сервис- и межотельный периоды. Одним из самых важных параметров воспроизводства является возраст 1-го осеменения, которое проводят в возрасте 16-18 месяцев, отел в зависимости от породы должен произойти в возрасте до 27 месяцев. Слишком раннее осеменение приводит к замедлению развития животного и отодвигает срок максимального раздоя.

Не менее важен такой этап воспроизводительного цикла, как сервис-период, оптимальной продолжительностью которого у коров считается 60-90 дней. Другим важным слагаемым воспроизводства является межотельный период, оптимальный срок которого составляет 12-13 месяцев (365-395 дней). По данным ученых, изучавших этот вопрос, удлинение межотельного периода приводит к потерям молока на каждый дополнительный день бесплодия [5].

В нашей стране в подавляющем большинстве хозяйств превышение оптимальных сроков воспроизводства является распространенной проблемой, которая в комплексе с влиянием нежелательного генотипа вызывает серьезные нарушения воспроизводительной способности крупного рогатого скота [6].

Мониторинг воспроизводительного процесса стад крупного рогатого скота, с учетом указанных выше показателей, является традиционным, однако не удовлетворяет современным потребностям в интенсификации селекционного процесса. Среди комплекса мероприятий, направленных на повышение эффективности животноводческой отрасли, важная роль отводится методам молекулярной генетики, в основе которых лежит анализ наследственной информации, позволяющей сохранять и накапливать в породах желательные генотипы, стойко передающие свой наследственный потенциал из поколения в поколение. Это способствует получению особо ценного селекционного материала, являющегося основой при совершенствовании желаемых хозяйственно полезных признаков существующих пород крупного рогатого скота [7, 8].

Развитие современных методов молекулярной генетики открыло возможности изучения вопроса влияния гена, его участков и полиморфных вариантов на различные хозяйственно полезные признаки, ускорив при этом отбор по наиболее ценным из них.

Одним из перспективных генов-кандидатов для оценки воспроизводительной спо-

способности крупного рогатого может рассматриваться ген лептина (LEP) [9]. У крупного рогатого скота LEP расположен на 4 хромосоме. Он состоит из трех экзонов и двух интронов, из которых только два экзона транслируются в белок. Структурно ген лептина представляет собой протеин, состоящий из 167 аминокислот и включающий 21 аминокислотную сигнальную последовательность. Продуктом экспрессии гена лептина является одноименный гормон.

Лептин обеспечивает критическую связь между энергетическим гомеостазом, аппетитом и репродуктивной функцией, а также сигнализирует о запасах жировых отложений в организме. Предполагается, что плейотропное воздействие благоприятного аллеля на такие признаки, как иммунитет, фертильность и молочную продуктивность в более поздние периоды лактации может способствовать получению высоких удоев без отрицательного влияния на плодовитость [10, 11].

Плейотропные эффекты лептина дополнительно подтверждаются ассоциациями между полиморфизмом гена LEP и перинатальной смертностью телят, продолжительностью межотельного периода, репродуктивной функцией. Среди множества полиморфизмов гена лептина наибольший интерес, с точки зрения селекции, представляют собой следующие локусы: A80V, Y7F, R25C [12, 13].

Исследование гена лептина, проведенное ирландским ученым Л. Гиблином (L. Giblin) показало наличие ассоциации между полиморфными вариантами гена лептина и показателями воспроизводства. Для полиморфизма варианта LEP R25C это признаки трудности отела и достоверно более продолжительная стельность коров ($P < 0,05$) [14].

В другом исследовании данного полиморфизма, по информации ученого Н. Бховмика (N. Bhowmik) с соавторами, коровы голштинской породы с генотипом RC гена LEP R25C при первом осеменении в $24 \pm 2,4$ месяца и межотельным периодом $374 \pm 4,6$ дня обладали более высоким индексом фертильности $0,93 \pm 0,01$ [15].

Информации об ассоциациях LEP Y7F с воспроизводительными качествами крупного рогатого скота среди авторов отечественных и зарубежных научных исследований практически нет, однако в работе ученого Л. Гиблина (L. Giblin) [13] имеется упоминание об ассоци-

ации LEP Y7F с перинатальной смертностью телят ($P < 0,01$).

Согласно информации многих зарубежных авторов, полиморфный вариант LEP A80V связан с такими показателями воспроизводства, как возраст первого осеменения и продолжительность сервис-периода, а также с индексом фертильности коров. В исследовании британского ученого А. М. Клемпсона с соавт. (A. M. Clempson et. al.) [5] было установлено, что в возрасте 1-го осеменения $16 \pm 4,3$ месяцев ($P < 0,05$) животные голштинской породы с генотипом VV гена LEP A80V обладали более высоким индексом фертильности. Также ими была выявлена достоверная связь между возрастом 1-го осеменения и плодовитостью коров голштинской породы английской селекции ($P < 0,05$). В то же время в материалах Н. В. Ковалюк с соавторами утверждается, что животные голштинской породы с генотипом AV обладали более высоким индексом фертильности относительно других генотипов [16].

Ирландским ученым А. Херави Мусави с соавт. (A. Heravi Moussavi et. al.) [17] было установлено, что голштинские коровы с генотипом AV гена LEP A80V имели тенденцию к лучшим показателям репродуктивной способности. Также было выяснено, что присутствие аллеля V в генотипе может способствовать более высокой продуктивности без негативного влияния на фертильность животных.

Таким образом, исследования связи гена лептина и воспроизводительной способности крупного рогатого скота являются малочисленными и в основном представлены зарубежными учеными, следовательно, изучение данных ассоциаций на отечественном крупном рогатом скоте является актуальным вопросом. Данная информация представляет большой научно-практический интерес для совершенствования и корректировки селекционно-племенных программ молочных пород крупного рогатого скота Костромской области.

Цель исследования – изучить ассоциацию полиморфных вариантов гена лептина с воспроизводительной способностью крупного рогатого скота отечественных молочных пород, разводимых в Костромской области.

Задачи исследования:

1. Провести генотипирование коров костромской, черно-пестрой и ярославской пород по локусам гена лептина.

2. Сопоставить полученные данные с показателями воспроизводства – живая масса при первом плодотворном осеменении, возраст первого осеменения, продолжительность сервис-периода.

3. Рассчитать коэффициенты воспроизводства и провести анализ результатов.

Научная новизна исследований – разработка нового способа генотипирования крупного рогатого скота по трем локусам LEP, и изучение ассоциативных связей полиморфных вариантов гена лептина с показателями воспроизводства коров отечественных молочных пород.

Материалы и методы. Объектом исследования служили коровы костромской (n = 33), черно-пестрой (n = 60) и ярославской (n = 40) пород племенных хозяйств Костромской области.

Данные зоотехнического учета были получены с использованием программы ИАС «СЕЛЭКС». В выборках животных разных хозяйств были отобраны образцы периферической крови. Из биоматериала с помощью набора «DNeasy Blood & Tissue Kit» (Германия)

получали очищенную ДНК и проводили генотипирование методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) по трем локусам: LEP-R25C (аллели – R, C; генотипы – RR, RC, CC), LEP-A80V (аллели – A, V; генотипы – AA, AV, VV), LEP-Y7F (аллели – Y, F; генотипы – YY, YF, FF).

Определение полиморфных вариантов R25C (rs29004488 C>T), A80V (rs29004508 C>T), Y7F (rs29004487 C>T) гена LEP проводили методом HRM-анализа с использованием амплификатора «DTprime» (Россия). Для амплификации целевых фрагментов гена LEP применяли праймеры, исключая образование неспецифических ПЦР-продуктов. Размер целевых ПЦР-продуктов составил 70 п.н. В качестве флуоресцентного ДНК-интеркалирующего красителя в составе ПЦР-смеси использовали «EvaGreen» (США).

Условия амплификации и плавления продуктов реакции были оптимизированы для достижения наиболее стабильных результатов HRM-исследования. Амплификацию проводили по следующей программе (табл. 1).

Таблица 1 – Программа амплификации / Table 1 – Amplification program

Блок / Block	Температура, °C / Temperature, °C	Продолжительность, мин:сек / Duration, min:sec	Кол-во циклов / Number of cycles	Режим оптических измерений / Optical measurement mode	Тип блока / Block type
1	94	5:00	1		Цикл / Cycle
2	94	0:30	5	V	Цикл / Cycle
	64	0:15			
3	94	0:05	30	V	Цикл / Cycle
	64	0:15			
4	94	1:00	1		Цикл / Cycle
5	45	0:15	4	V	Цикл / Cycle
6	70 → 90	0:10	100	V	Плавление / Melting

Учет и анализ результатов проводили с помощью ПО RealTime_PCR, с применением модуля HRM-анализа. Результаты предварительных HRM-протоколов были верифицированные методом прямого секвенирования по Сэнгеру с применением пар праймеров, позволяющих амплифицировать более длинные фрагменты целевых последовательностей LEP, чем праймеры для HRM-исследований.

Пример результата HRM-анализа полиморфизма R25C (rs29004488 C>T) гена LEP с помощью ПО RealTime_PCR приведен на рисунке.

Частоту генотипов рассчитывали по формуле:

$$p = \frac{m}{N},$$

где p – частота генотипа; m – количество особей, имеющих определенный генотип; N – общее число особей.

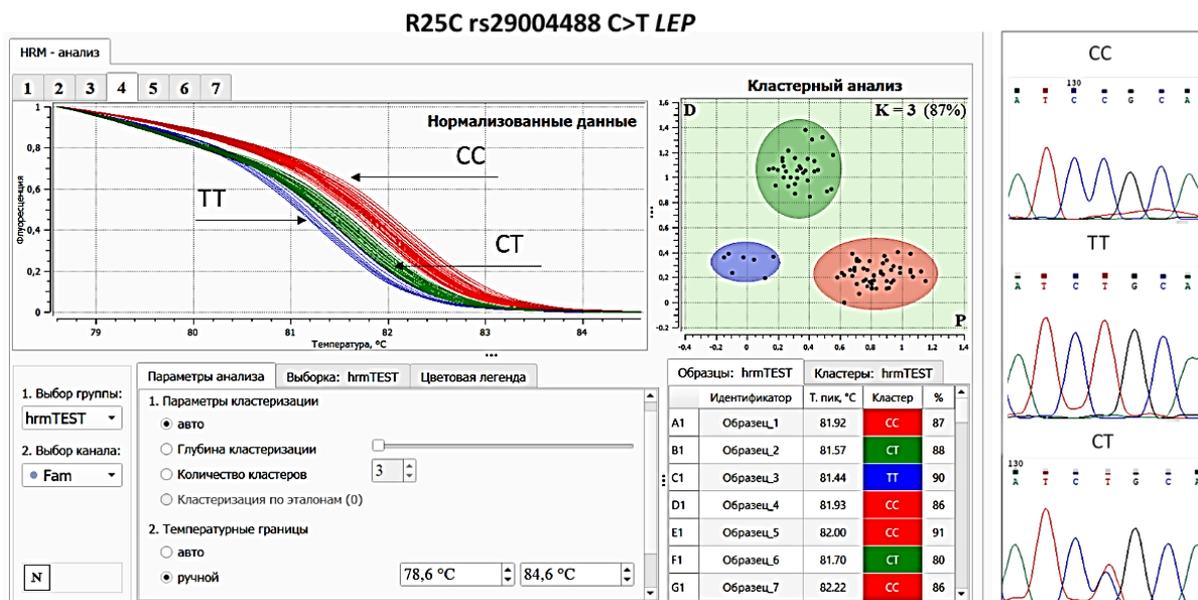


Рис. Пример протокола HRM при генотипировании по полиморфизму R25C (rs29004488 C > T) гена LEP с применением ПО RealTime_PCR /

Fig. An example of the HRM protocol for genotyping for the R25C polymorphism (rs29004488 C > T) of the LEP gene using the RealTime_PCR software

У генотипированных животных рассчитывали коэффициент воспроизводительной способности (КВС) по Н. М. Крамаренко¹:

$$КВС = \frac{365}{МОП},$$

где 365 – число дней в году; МОП – продолжительность межотельного периода, дни.

Для нормального уровня плодовитости коров характерен коэффициент воспроизводительной способности в пределах 0,95-1,0².

Индекс воспроизводительной способности (ИВС) коровы находили по формуле³:

$$ИВС = \frac{Ч}{В - 2},$$

где Ч – число отелов за весь период использования; В – возраст использования, уменьшенный на 2 года⁴.

Индекс плодовитости (Т) – показатель воспроизводительной способности отдельных коров и популяции в целом определяли по формуле, предложенной венгерским ученым И. Дохи⁵:

$$Т = 100 - (К + 2 \times МОП),$$

где К – возраст коровы при первом отеле, мес.; МОП – средний межотельный период, мес.

Исходя из этой формулы, оценка коров по их воспроизводительной способности определяется:

Т = 48 и выше – хорошая;

Т = 41-47 – средняя;

Т = 40 и менее – низкая.

Статистическую обработку результатов исследования выполняли в табличном процессоре Excel офисного пакета Microsoft Office 2019 Pro. Показатели воспроизводительной способности по каждой группе животных определенного генотипа в таблицах приводятся в виде среднего арифметического (\bar{x}) с указанием стандартной ошибки среднего арифметического ($s_{\bar{x}}$).

Для проверки гипотезы о равенстве средних показателей между группами животных-носителей различных генотипов гена LEP использовали t-критерий Стьюдента при уровне значимости P<0,05. При множественном сравнении средних показателей при определении статистической значимости применяли поправку Бонферрони для множественного тестирования гипотез (m = 3), при этом P<0,017.

¹Родионов Г. В., Костомахин Н. М., Табакова Л. П. Скотоводство: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2017. 213 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/131074>

²Иванова И. П., Троценко И. В. Планирование селекционно-племенной работы: учебное пособие. Омск: Омский ГАУ, 2021. 84 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/170277>

³Родионов Г. В., Костомахин Н. М., Табакова Л. П. Указ. соч.

⁴Там же.

⁵Там же.

Результаты и их обсуждение. В результате генотипирования исследуемых групп животных по локусам LEP-A80V, LEP-Y7F и LEP-R25C установлено, что наибольшей гете-

розиготностью по локусам A80V и R25C отличались коровы костромской породы, у черно-пестрой и ярославской пород она была существенно меньше (табл. 2).

Таблица 2 – Частота встречаемости генотипов различных полиморфизмов гена лептина в исследуемых группах коров /

Table 2 – Frequency of occurrence of genotypes of the leptin gene various polymorphisms in the studied groups of cows

Группа коров / Group of cows	n	Полиморфизм / Polymorphism								
		A80V			Y7F			R25C		
		AA	AV	VV	YY	YF	FF	RR	RC	CC
СПК «Гридино» / SPK «Gridino»	15	0,467	0,533	0	1,0	0	0	0,467	0,333	0,200
СПК «Колхоз «Родина» / SPK «Kolkhoz «Rodina»	18	0,444	0,556	0	1,0	0	0	0,389	0,611	0
Костромская порода / Kostroma breed	33	0,454	0,546	0	1,0	0	0	0,424	0,486	0,092
СПК «Яковлевское» / SPK «Yakovlevskoe»	45	0,578	0,378	0,04	0,933	0	0,067	0,511	0,289	0,200
СПК «Расловское» / SPK «Raslovskoe»	15	0,467	0,533	0	0,800	0	0,200	0,400	0,467	0,133
Черно-пестрая порода / Black and motley breed	60	0,550	0,417	0,033	0,900	0	0,100	0,483	0,333	0,183
ООО «Ладыгино» / ООО «Ladygino»	42	0,429	0,452	0,119	0,929	0	0,071	0,690	0,310	0
Ярославская порода / Yaroslavl breed	42	0,429	0,452	0,119	0,929	0	0,071	0,690	0,310	0

Как видно из данных таблицы 2, в результате генотипирования исследуемых коров по локусу LEP-A80V во всех группах наблюдалось почти полное отсутствие генотипа VV. В обеих группах животных костромской и черно-пестрой пород в СПК «Расловское» данный генотип полностью отсутствовал, в СПК «Яковлевское» он детектировался только у 4 % животных, а наибольшая доля генотипа VV наблюдалась у коров ярославской породы в ООО «Ладыгино» – 11,9 %. Примечательно, что почти во всех группах доля гетерозиготных коров была наибольшей (41,7-55,6 %), в СПК «Яковлевское», наоборот, преобладал гомозиготный генотип AA.

Полиморфизм по локусу LEP-Y7F у коров костромской породы отсутствовал – у них обнаружен только генотип YY. В остальных группах коров были найдены носители генотипа FF, их доля в группе СПК «Расловское» была наибольшей (20 %), в СПК «Яковлевское» и ООО «Ладыгино» – значительно меньшей – и составляла 6,7 и 7,1 % соответственно.

Генетическая структура исследуемых групп по локусу LEP-R25C характеризовалась полным отсутствием носителей генотипа CC

у коров ярославской (ООО «Ладыгино») и костромской пород СПК «Колхоз «Родина». В остальных группах генотип CC присутствовал у небольшой доли особей (13,3-20,0 %). Для большинства групп (СПК «Гридино», СПК «Яковлевское» и ООО «Ладыгино») было характерно преобладание доли носительниц гомозиготного генотипа RR (46,7 %, 51,1 и 69,0 % соответственно), в СПК «Колхоз «Родина» и СПК «Расловское» наибольшую долю составляли гетерозиготные коровы 46,7-61,1 %.

Таким образом, установлено, что в костромской и ярославской породах наибольшей частотой по локусу LEP-A80V обладал генотип AV (0,546 и 0,452 соответственно), в черно-пестрой – генотип AA (0,550). В разрезе полиморфизма Y7F гена лептина среди животных всех исследуемых пород коров преобладал генотип YY. По локусу LEP-R25C наибольшая частота встречаемости регистрировалась у особей с генотипом RC (0,486), у крупного рогатого скота ярославской и черно-пестрой пород – генотип RR (0,690 и 0,483 соответственно).

Для того чтобы оценить воспроизводительную способность коров различных генотипов по гену LEP, были сопоставлены данные

генотипирования и зоотехнического учета крупного рогатого скота разных пород. Воспроизводительные качества животных

костромской породы СПК «Гридино» и СПК колхоз «Родина» по локусам гена LEP и их генотипам даны в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели воспроизводства коров костромской породы СПК «Гридино» и СПК колхоз «Родина» с разными генотипами гена лептина ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$) /

Table 3 – Indicators of reproduction of cows of Kostroma breed of SPK «Gridino» and SPK Kolkhoz «Rodina» with different genotypes of the leptin gene ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Показатель / Index	Полиморфизм / Polymorphism								
	A80V			Y7F			R25C		
	AA	AV	VV	YY	YF	FF	RR	RC	CC
СПК «Гридино» / SPK «Gridino»									
n	7	8	-	15	-	-	7	5	3
ИВС / IRA	0,717± 0,138	0,833± 0,125	-	0,788± 0,133	-	-	0,809± 0,128	0,729± 0,154	0,794± 0,09
КВС / CRA	0,911± 0,189	0,963± 0,112	-	0,910± 0,157	-	-	0,895± 0,08	0,921± 0,195	0,997± 0,09
Индекс Дохи / Doha Index	43,08± 7,86	47,2± 5,25	-	44,47± 6,67	-	-	44,67± 3,99	44,3± 7,57	48,10± 2,86
СПК колхоз «Родина» / SPK «Kolkhoz «Rodina»									
n	8	10	-	18	-	-	7	11	-
ИВС / IRA	0,783± 0,172	0,740± 0,141	-	0,751± 0,153	-	-	0,751± 0,173	0,751± 0,148	-
КВС / CRA	0,912± 0,161	0,971± 0,201	-	0,947± 0,176	-	-	0,950± 0,214	0,945± 0,158	-
Индекс Дохи / Doha Index	43± 5,41	44,5± 9,05	-	43,9± 7,27	-	-	43,1± 10,42	44,4± 4,88	-

Примечание: ИВС – индекс воспроизводительной способности; КВС – коэффициент воспроизводительной способности /

Notes: IRA – Index of reproductive ability; CRA – Coefficient of reproductive ability.

Анализ данных таблицы 3 по костромской породе показал, что достоверных различий обнаружено не было, однако были отмечены тенденции на увеличение воспроизводительных показателей у животных с разными генотипами. Так, по гену LEP A80V в стаде коров СПК «Гридино» среди двух установленных аллельных вариантов гена наиболее высокими показателями воспроизводительной способности характеризовались коровы-носители генотипа AV, значения ИВС, КВС и индекса Дохи которых были сравнительно выше, чем у гомозигот AA на 14,0 %, 6,0 и 9,0 % соответственно. Такая же тенденция была отмечена и среди животных СПК колхоз «Родина», где коровы с генотипом AV на 6,0 и 3,0 % превосходили сверстниц с генотипом AA по показателю КВС и индексу Дохи, а показатель ИВС был на 13 % выше у носителей генотипа AA. По данным ученого А. М. Клемпсона (А. М. Clempson) [5], особи крупного рогатого скота, в геноме которых присутствует аллель

V LEP A80V, характеризуются более высоким уровнем воспроизводительной способности.

В локусе гена LEP Y7F в обоих хозяйствах был установлен всего один, самый распространенный генотип – YY, в то время как аллель F является достаточно редким, и эти сведения подтверждаются в исследованиях Н. В. Ковалюк [18].

При исследовании показателей гена LEP R25C было установлено, что у крупного рогатого скота, несущего в своем геноме аллельный вариант CC в СПК «Гридино», показатели коэффициента воспроизводительной способности на 10,2 и 7,6 % и индекса Дохи на 7,1 и 7,9 % выше, чем у сверстниц с генотипами RR и RC соответственно. Однако индекс воспроизводительной способности был выше на 10,0 и 2,0 % у носительниц генотипа RR. В свою очередь, в СПК колхоз «Родина» у коров с генотипами RR и RC, показатели ИВС и КВС находились примерно на одном уровне, а индекс Дохи был на 3 % выше у представителей с генотипом RC. Н. Бховмик с соавт.

(N. Bhowmik et. al.) [15] приводят сведения по голштинским коровам, где отмечается, что С-аллель в генотипе R25C ассоциирован с меньшей продолжительностью межотельного периода.

Среди выборки коров черно-пестрой породы СПК «Яковлевское» и СПК «Расловское» были получены следующие результаты (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели воспроизводства коров черно-пестрой породы СПК «Яковлевское» и СПК «Расловское» с разными генотипами гена лептина ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$) / Table 4 – Indicators of reproduction of cows of the Black-and-White breed of SPK «Yakovlevskoye» and SPK «Raslovskoye» with different genotypes of the leptin gene ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Показатель / Index	Полиморфизм / Polymorphism								
	A80V			Y7F			R25C		
	AA	AV	VV	YY	YF	FF	RR	RC	CC
СПК «Яковлевское» / SPK «Yakovlevskoye»									
n	26	17	2	42	-	3	23	13	9
ИВС / IRA	0,844± 0,167	0,930± 0,121	0,813± 0,03	0,900± 0,189	-	0,899± 0,146	0,919± 0,135	0,857± 0,174	0,906± 0,130
КВС / CRA	0,665± 0,249	0,780± 0,179	0,815± 0,129	0,800± 0,110	-	0,696± 0,257	0,769± 0,252	0,652± 0,198	0,683± 0,178
Индекс Дохи / Doha Index	48,3± 12,63	48,83± 4,80	46,4± 2,71	47,46± 7,47	-	47,33± 6,10	48,16± 5,86	45,61± 7,54	47,66± 4,12
СПК «Расловское» / SPK «Raslovskoye»									
n	7	8	-	12	-	3	6	7	2
ИВС / IRA	0,658± 0,140	0,656± 0,157	-	0,589± 0,01	-	0,687± 0,155	0,722± 0,175	0,667± 0,08	0,507± 0,140
КВС / CRA	0,742± 0,255	0,800± 0,164	-	0,517± 0,07	-	0,842± 0,162	0,846± 0,102	0,787± 0,249	0,530± 0,06
Индекс Дохи / Doha Index	36,82± 16,97	42,54± 8,76	-	25,85± 12,58	-	43,92± 10,81	45,09± 7,05	40,26± 15,35	26,13

Примечание: ИВС – индекс воспроизводительной способности; КВС – коэффициент воспроизводительной способности /

Notes: IRA – Index of reproductive ability; CRA – Coefficient of reproductive ability.

Данные, представленные в таблице 4, не позволяют говорить о наличии статистически значимых различий между средними показателями воспроизводительной способности коров различных генотипов. В то же время, воспроизводительная способность у коров черно-пестрой породы, имеющих в своем геноме аллель V локуса LEP-A80V, имела тенденцию к повышению, что соотносится с исследованиями А. Херави Мусави (A. Heravi Moussavi) [17]. Наиболее высокие показатели КВС были зафиксированы у носителей аллельного варианта VV – 0,815. Однако максимальное значение ИВС и индекса Дохи отмечено у животных с генотипом AV – 0,930 и 42,54 соответственно. Среди коров племенного репродуктора СПК «Расловское» индекс воспроизводительной способности у сверстниц с генотипами AA и AV был на одном уровне, а коэффициент воспроизводительной

способности и индекс Дохи были выше у носительниц генотипа AV – 0,800 и 42,54 соответственно.

При изучении показателей гена LEP Y7F были отмечены противоположные тенденции. В СПК «Яковлевское» наивысшие показатели по КВС и индексу Дохи получены у представителей с генотипом YY – 0,800 и 47,46 соответственно. У коров черно-пестрой породы СПК «Расловское» наблюдали тенденцию к увеличению показателей ИВС, КВС и индекса Дохи с генотипом FF, которые составили 0,687; 0,842 и 43,92 соответственно.

При анализе показателей гена LEP R25C была отмечена общая закономерность для черно-пестрой породы, разводимой в СПК «Яковлевское» и СПК «Расловское», – тенденция на увеличение воспроизводительной способности у коров с генотипом RR. В СПК «Яковлевское» воспроизводительные показате-

тели ИВС, КВС и индекс Дохи у животных с гомозиготным генотипом RR находились на уровне 0,919, 0,769 и 48,16, в СПК «Расловское» – 0,722, 0,846 и 45,09 соответственно.

В племрепродукторе по ярославской породе ООО «Ладыгино» вследствие генотипирования животных были получены результаты, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели воспроизводства коров ярославской породы с генотипами по разным локусам лептина в ООО «Ладыгино» ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$) /

Table 5 – Indicators of reproduction of Yaroslavl breed cows with genotypes at different leptin loci in LLC «Ladygino» ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$)

Показатель / Index	Полиморфизм / Polymorphism								
	A80V			Y7F			R25C		
	AA	AV	VV	YY	YF	FF	RR	RC	CC
n	18	19	5	39	-	3	29	13	-
ИВС / IRA	0,584± 0,220	0,625± 0,163	0,538± 0,117	0,615± 0,165	-	0,386± 0,350	0,613± 0,172	0,570± 0,219	-
КВС / CRA	0,985± 0,164	0,925± 0,114	0,878± 0,113	0,943± 0,150	-	0,913± 0,118	0,939± 0,106	0,933± 0,126	-
Индекс Дохи / Doha Index	43,65± 9,45	43,71± 9,25	41,1± 3,02	42,55± 7,54	-	44,09± 6,88	42,77± 7,6	44,29± 11,91	-

Анализ параметров воспроизводства животных ярославской породы, представленных в таблице 5, не показал статистически значимых различий по всем исследуемым локусам гена лептина. Показатели воспроизводства коров с гомозиготным вариантом VV имели тенденцию к снижению относительно сверстниц с другими генотипами. При этом носительницы генотипа AV по индексу воспроизводительной способности превосходили показатели генотипов AA и VV на 6,6 % и 14,0 % соответственно, по индексу Дохи на 6,0 % коров с генотипом VV. Животные с генотипом AA по показателю КВС превосходили группы животных с AV и VV-генотипами на 6,1 и 11,0 % соответственно.

У коров с генотипами YY и FF гена LEP Y7F достоверных различий выявлено не было, однако наиболее высокий ИВС и КВС среди них наблюдали у особей генотипа YY, что на 37,2 % и 3,2 % больше, чем у сверстниц FF генотипа, по индексу Дохи показатели животных с генотипом FF на 3,5 % были выше.

При изучении полиморфизма гена LEP R25C достоверных различий также не было обнаружено, но отмечалась тенденция у гетерозиготных животных к повышению показателей воспроизводительной способности по сравнению со сверстницами RR-генотипа: индекса Дохи на 3,4 %, а индекса и коэффициента воспроизводительной способности – на 7,0 и 0,6 % соответственно.

Заключение. Таким образом, в результате научных исследований был разработан и апробирован новый способ генотипирования крупного рогатого скота по трем локусам LEP. У коров костромской и ярославской пород установлена наибольшая частота встречаемости генотипа AV (0,546 и 0,452 соответственно) полиморфизма LEP A80V и RC (0,486 и 0,690 соответственно) полиморфизма R25C, а у коров черно-пестрой породы, напротив, – генотипа AA (0,550) и RR (0,483). Однако не было определено статистически значимых отличий по показателям воспроизводительной способности между коровами различных генотипов по гену лептина. Есть основания полагать, что у крупного рогатого скота костромской породы желательным генотипом является AV, ярославской – AA (LEP-A80V), у черно-пестрой породы – RR (LEP-R25C). Наблюдаемые тенденции к наличию более высоких воспроизводительных качеств у носительниц аллелей LEP-A80V^A и LEP-R25C^R в изучаемых породах крупного рогатого скота подтверждаются исследованиями других авторов. Поэтому изучение влияния полиморфизма гена лептина на воспроизводительные способности коров отечественных молочных пород необходимо продолжить с привлечением существенно большего поголовья животных.

Список литературы

1. Юдина О. П., Ефимов И. А., Гегамян Н. С., Кракосевич Т. В. Репродуктивные показатели дочерей быков голштинской породы в зависимости от генотипа быка по гену каппа-казеина. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018;(4):140-144.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36707649>
2. Щеголев П. О., Сабетова К. Д., Чаицкий А. А., Сорокина А. Связь полиморфизма гена лептина (LEP) с хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота. Аграрный вестник Нечерноземья. 2021;(1):25-32. DOI: https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_01_25
3. Харитоновна А. С., Ильиничева Т. Г., Шендаков А. И. Воспроизводительные способности голштинских коров-первотелок разной линейной принадлежности. Наука и Образование. 2020;3(2):167.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43830322>
4. Белозерцева С. Л., Петрухина Л. Л. Влияние межотельного периода на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы. Новые сорта и инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур - основа повышения эффективности сельскохозяйственного производства: мат-лы междунаро. научн.-практ. конф. Иркутск: Иркутский ГАУ им. А. А. Ежевского, 2019. С. 109-114.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41377850>
5. Clempson A. M., Pollott G. E., Brickell J. S., Bourne N. E., Munce N., Wathes D. C. Evidence that leptin genotype is associated with fertility, growth, and milk production in Holstein cows. J. Dairy Sci. 2011;94(7):3618-3628. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3626>
6. Мачульская Е. В., Ковалюк Ю. Ю., Шахназарова В. Ф., Сацук А. А., Сермягин А. В., Доцев А. В. Связь генотипов LEP с племенной ценностью по показателям молочной продуктивности. Научные основы повышения продуктивности сельскохозяйственных животных. Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2017;6(1):82-88
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29883206>
7. Blüher S., Mantzoros C. S. Leptin in reproduction. Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity. 2007;14(6):458-464. DOI: <https://doi.org/10.1097/med.0b013e3282f1cfdc>
8. Buchanan F. C., Fitzsimmons C. J., Van Kessel A. G., Thue T. D., Winkelman-Sim D. C., Schmutz Sh. M. Association of a missense mutation in the bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels. Genetic Selection Evolution. 2002;34:105. DOI: <https://doi.org/10.1051/gse:2001006>
9. Komisarek J. Impact of LEP and LEPR gene polymorphisms functional traits in Polish Holstein Friesian cattle. Animal Science Paper and Reports. 2010;28(2):133-141.
URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77954068399&partnerID=MN8TOARS>
10. Souza F. R., Mercadante M. E., Fonseca L. F. S., Ferreira L. M. S., Regatieri I. C., Ayres D. R., Tonhati H., Silva S. L., Razook A. G., Albuquerque L. G. Assessment of *DGATI* and *LEP* gene polymorphisms in three Nelore (*Bos indicus*) lines selected for growth and their relationship with growth and carcass traits. Journal of Animal Science. 2013;88(2):435-441. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2174>
11. Brickell J. S., Pollott G. E., Clempson A. M., Otter N., Wathes D. C. Polymorphisms in the bovine leptin gene associated with perinatal mortality in Holstein-Friesian heifers. Journal of Dairy Sciences. 2010;93(1):340-347. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2457>
12. Almeida S. E. M., Almeida E. A., Moraes J. C. F., Weimer T. A. Molecular markers in the LEP gene and reproductive performance of beef cattle. Journal of Animal Breeding and Genetics. 2003;120(2):106-113. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2003.00377.x>
13. Giblin L., Butler S. T., Kearney B. M., Waters S. M., Callanan M. J., Berry D. P. Association of bovine leptin polymorphisms with energy output and energy storage traits in progeny tested Holstein-Friesian dairy cattle sires. BMC Genetics. 2010;11:73. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-73>
14. Liefers S. C., Veerkamp R. F., Te Pas M. F. W., Chilliard Y., Van der Lende T. Genetics and physiology of leptin in periparturient dairy cows. Domest. Anim. Endocrinol. 2005;29(1):227-238.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2005.02.009>
15. Bhowmik N., Ringwall K. A., Dahlen C. R., Swanson K. C., Clapper J. A., Ward A. K., Hulsman Hanna L. L. The role of leptin in reproductive characteristics of commercial beef cows and heifers. Translational animal science. 2019; 3(S-1):1764-1768. DOI: <https://doi.org/10.1093/tas/txz083>
16. Ковалюк Н. В., Сацук В. Ф., Мачульская Е. В., Шахназарова Ю. Ю. Возможные причины и последствия распространения отдельных аллельных вариантов гена LEP в группах айрширского и голштинского скота. Генетика. 2018;54(12):1442-1447. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0016675818120068>
17. Heravi Moussavi A., Ahouei M., Nassiri M. R., Javadmanesh A. Association of Leptin Polymorphism with Production, Reproduction and Plasma Glucose Level in Iranian Holstein Cows. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2006;19(5):627-631. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.627>
18. Ковалюк Н. В., Гырнец Е. А. Полиморфизм аллель гена LEP как генетический маркер функционального долголетия крупного рогатого скота. Universum: химия и биология. 2016;6(24).
Режим доступа: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/3257>

References

1. Yudina O. P., Efimov I. A., Gegamyayn N. S., Krakosevich T. V. Reproductive performance of holstein bulls' daughters depending on the genotype of the bull for the kappa - casein gene. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(4):140-144. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36707649>
2. Shehegolev P. O., Sabetova K. D., Chaitskiy A. A., Sorokina A. Relationship of leptin gene polymorphism (LEP) with economically useful traits of cattle. *Agrarnyy vestnik Nechernozem'ya = Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem region*. 2021;(1):25-32. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_01_25
3. Kharitonova A. S., Ilyinicheva T. G., Shendakov A. I. Reproduction abilities of golstein cows-primers of various linear affiliation. *Nauka i Obrazovanie = The Education and Science Journal*. 2020;3(2):167. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43830322>
4. Belozertseva S. L., Petrukhina L. L. The influence of period between the calvings on milk productivity of cows of black-and-white breed. New varieties and innovative technologies of cultivation of agricultural crops are the basis for increasing the efficiency of agricultural production: Proceedings of International scientific and practical Conference. Irkutsk: *Irkutskiy GAU im. A. A. Ezhevskogo*, 2019. pp. 109-114. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41377850>
5. Clempson A. M., Pollott G. E., Brickell J. S., Bourne N. E., Munce N., Wathes D. C. Evidence that leptin genotype is associated with fertility, growth, and milk production in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2011;94(7):3618-3628. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3626>
6. Machulskaya E. V., Kovalyuk Yu. Yu., Shakhnazarova V. F., Satsuk A. A., Sermyagin A. V., Dotsev A. V. The relationship of the LEP genotypes with breeding value by milk productivity indices. *Sbornik nauchnykh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva*. 2017;6(1):82-88. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29883206>
7. Bluher S., Mantzoros C. S. Leptin in reproduction. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity*. 2007;14(6):458-464. DOI: <https://doi.org/10.1097/med.0b013e3282f1cfdc>
8. Buchanan F. C., Fitzsimmons C. J., Van Kessel A. G., Thue T. D., Winkelman-Sim D. C., Schmutz Sh. M. Association of a missense mutation in the bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels. *Genetic Selection Evolution*. 2002;34:105. DOI: <https://doi.org/10.1051/gse:2001006>
9. Komisarek J. Impact of LEP and LEPR gene polymorphisms functional traits in Polish Holstein Friesian cattle. *Animal Science Paper and Reports*. 2010;28(2):133-141. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77954068399&partnerID=MN8TOARS>
10. Souza F. R., Mercadante M. E., Fonseca L. F. S., Ferreira L. M. S., Regatieri I. C., Ayres D. R., Tonhati H., Silva S. L., Razook A. G., Albuquerque L. G. Assessment of *DGAT1* and *LEP* gene polymorphisms in three Nelore (*Bos indicus*) lines selected for growth and their relationship with growth and carcass traits. *Journal of Animal Science*. 2013;88(2):435-441. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2174>
11. Brickell J. S., Pollott G. E., Clempson A. M., Otter N., Wathes D. C. Polymorphisms in the bovine leptin gene associated with perinatal mortality in Holstein-Friesian heifers. *Journal of Dairy Sciences*. 2010;93(1):340-347. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2457>
12. Almeida S. E. M., Almeida E. A., Moraes J. C. F., Weimer T. A. Molecular markers in the LEP gene and reproductive performance of beef cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2003;120(2):106-113. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2003.00377.x>
13. Giblin L., Butler S. T., Kearney B. M., Waters S. M., Callanan M. J., Berry D. P. Association of bovine leptin polymorphisms with energy output and energy storage traits in progeny tested Holstein-Friesian dairy cattle sires. *BMC Genetics*. 2010;11:73. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-73>
14. Liefers S. C., Veerkamp R. F., Te Pas M. F. W., Chilliard Y., Van der Lende T. Genetics and physiology of leptin in periparturient dairy cows. *Domest. Anim. Endocrinol.* 2005;29(1):227-238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2005.02.009>
15. Bhowmik N., Ringwall K. A., Dahlen C. R., Swanson K. C., Clapper J. A., Ward A. K., Hulsman Hanna L. L. The role of leptin in reproductive characteristics of commercial beef cows and heifers. *Translational animal science*. 2019; 3(S-1):1764-1768. DOI: <https://doi.org/10.1093/tas/txz083>
16. Kovalyuk N. V., Satsuk V. F., Machulskaya E. V., Shakhnazarova Yu. Yu. Possible causes and consequences of the distribution of separate allelic variants of the LEP gene in the groups of ayrshire and holstein cattle. *Genetika = Russian Journal of Genetics*. 2018;54(12):1442-1447. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0016675818120068>
17. Heravi Moussavi A., Ahouei M., Nassiri M. R., Javadmanesh A. Association of Leptin Polymorphism with Production, Reproduction and Plasma Glucose Level in Iranian Holstein Cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2006;19(5):627-631. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.627>
18. Kovalyuk N. V., Gyrnets E. A. Polymorphism of lep gene allele as a genetic marker of functional longevity of ayrshire cattle. *Universum: khimiya i biologiya*. 2016;6(24). (In Russ.). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/3257>

Сведения об авторах

Лемякин Александр Дмитриевич, магистрант, техник лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Тяжченко Александр Николаевич, магистрант, техник лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6414-7269>

✉ **Сабетова Ксения Дмитриевна**, кандидат вет. наук, зав. лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>, e-mail: ksenyiasabetova@mail.ru

Чаицкий Алексей Александрович, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Щеголев Павел Олегович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и ДНК технологий регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Королев Антон Александрович, кандидат с.-х. наук, селекционер-зоотехник регионального информационно-селекционного центра, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», ул. Учебный городок, 34, п. Караваево, Костромской район, Костромская область, Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1561-5449>

Information about the authors

Alexander D. Lemyakin, Master's student, technician of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Uchebny Gorodok str., Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7737-6351>

Alexander N. Tyazhchenko, Master's student, technician of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Uchebny Gorodok str., Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6414-7269>

✉ **Ksenia D. Sabetova, PhD in Veterinary Sciences**, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Uchebny Gorodok str., Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-4779>, e-mail: ksenyiasabetova@mail.ru

Alexey A. Chaitsky, post-graduate student, junior researcher, the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Uchebny Gorodok str., Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5853-3809>

Pavel O. Shchegolev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Genetics and DNA Technologies of the Regional Information and Breeding Center, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Uchebny Gorodok str., Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3552-8457>

Anton A. Korolev, PhD in Agricultural Science, animal science specialist of the Regional Information and breeding center, Kostroma State Agricultural Academy, 34, Uchebny Gorodok str., Karavaevo village, Kostroma district, Kostroma region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1561-5449>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние голштинизации на воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы

© 2022. С. В. Титова 

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – изучить основные показатели признаков воспроизводительной способности черно-пестрых коров в зависимости от доли голштинских генов. Материалом для исследований служили данные племенного и зоотехнического учета коров черно-пестрой породы ЗАО племзавод «Семеновский» Республики Марий Эл. Результаты исследований показали, что с повышением доли кровности по голштинской породе у коров улучшалась воспроизводительная способность. Так, у первотелок с низкой долей голштинских генов (до 12,5 %) наблюдался наиболее поздний возраст первого плодотворного осеменения и первого отела (21,9 и 32,3 мес.). С долей кровности до 87,6 % и выше возраст первого осеменения сократился на 7,7 месяцев (31,8 %), возраст первого отела – на 7,4 месяца (21,8 %), индекс плодовитости повысился на 5,8 (14,6 %). Вместе с этим у высококровных животных увеличилась продолжительность сервис-периода на 18,8-26,4 дня (15,8-23,8 %). Продолжительность межотельного периода у коров всех генетических групп превышала оптимальные сроки и менялась в соответствии с изменением сервис-периода. Наиболее длительный межотельный период отмечен у коров с долей кровности 87,6 % (13,8 мес.), что больше по сравнению с животными других генетических групп на 0,1-0,7 месяца. Отмечается невысокий коэффициент воспроизводительной способности исследуемых животных – 0,91-0,93. Установлено достоверное влияние голштинских генов на возраст первого плодотворного осеменения ($\eta^2 = 9,57\%$), первого отела ($\eta^2 = 8,80\%$) и плодовитость коров ($\eta^2 = 1,98\%$) ($P \leq 0,05$). Влияние генотипа на продолжительность сервис- и межотельного периодов было слабым ($\eta^2 = 0,09\%$ и $\eta^2 = 0,26\%$) и недостоверным.

Ключевые слова: голштинская порода, генотип, плодовитость, сервис-период, межотельный период, коэффициент воспроизводства

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0003).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Титова С. В. Влияние голштинизации на воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):896-903. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.896-903>

Поступила: 22.07.2022

Принята к публикации: 11.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

The influence of Holstein crossbreeding on the reproductive qualities of Black-and-White cows

© 2022. Svetlana V. Titova 

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The purpose of the research was to study the main indicators of the reproductive ability of Black-and-White cows, depending on the proportion of Holstein genes. As the material for the research there were taken the data of breeding and zootechnical records of cows of Black-and-White breed of CJSC Semenovskiy Breeding Plant of the Mari El Republic. The results of the research showed that with an increase in the proportion of thorough-bredness on the Holstein breed the reproductive ability of cows improved. Thus, the first-calf heifers with a low proportion of Holstein genes (up to 12.5 %) had the latest age of the first fruitful insemination and the first calving (21.9 months and 32.3 months). With an increase in thorough-bredness up to 87.6 % and more, the age for the first insemination decreased by 7.7 months (31.8 %), the age of the first calving - by 7.4 month (21.8 %), fertility index increased by 5.8 (14.6 %). At the same time, the duration of the service period in high-blooded animals increased by 18.8-26.4 days (15.8-23.8 %). The duration of the calving interval in all genetic groups exceeded the optimal time and changed in accordance with the change in the service period. The longest calving interval was in cows with the thorough-bredness degree of 87.6 % (13.8 months), which was 0.1-0.7 months longer than in animals of other genetic groups. There was a low coefficient of reproductive ability of the studied animals of all genetic groups – 0.91-0.93. The significant influence of Holstein genes on the age for the first fruitful insemination ($\eta^2 = 9.57\%$), the first calving ($\eta^2 = 8.80\%$) and the fertility of cows ($\eta^2 = 1.98\%$) ($P \leq 0.05$) was established. The effect of the genotype on the duration of the service period and calving interval was weak ($\eta^2 = 0.09\%$ and $\eta^2 = 0.26\%$) and unreliable.

Key words: Holstein breed, genotype, fertility, service period, calving interval, reproduction coefficient

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0003).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Titova S. V. The influence of Holstein crossbreeding on the reproductive qualities of Black-and-White cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):896-903. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.896-903>

Received: 22.07.2022

Accepted for publication: 11.11.2011

Published online: 16.12.2022

Современный этап развития молочного скотоводства характеризуется существенным ухудшением такого показателя животноводческой отрасли, как эффективность воспроизводства высокопродуктивного скота молочного направления продуктивности [1, 2]. Без получения необходимого количества приплода увеличение производства животноводческой продукции, осуществляемое за счет повышения продуктивности скота, эффективного использования кормов, улучшения условий содержания и кормления животных, а также совершенствования селекционно-племенной работы является невозможным [3].

Процесс воспроизводства стада во многом зависит от объективно существующих физиологических закономерностей, которые обуславливают плодовитость и интенсивность роста или хозяйственную скороспелость животных. В соответствии с современными представлениями воспроизводительные функции на 10% обусловлены генетическими факторами и на 90% – факторами внешней среды [4].

На показатели воспроизводительной способности в значительной мере влияют физиологические и продуктивные особенности животных, которым после высокой производительности требуется восстановление функции воспроизведения. Нарушение воспроизводительной функции коров влечет за собой сокращение количества приплода, срока их хозяйственного использования, снижение уровня молочной продуктивности и, следовательно, рентабельности производства отрасли в целом [1, 5, 6, 7].

Использование лучших производителей мирового генофонда при скрещивании с местными районированными породами молочного скота позволило повысить генетический потенциал продуктивности. В работах некоторых исследователей указывается на то, что межпородное скрещивание повышает жизнеспособность и долголетие молочного скота, скороспелость и воспроизводительную способность [8], способствует улучшению морфофункциональных свойств вымени и типа

телосложения. С повышением кровности по голштинской породе увеличивается продуктивность животных с сохранением хороших воспроизводительных способностей [9]. По мнению других авторов, массовая голштинизация негативно отразилась на приспособительных способностях животных, что привело, в свою очередь, к потере генетических ресурсов породы [10, 11]. А также указывается на то, что скрещивание молочных и молочно-мясных пород с голштинами снижает воспроизводительные качества помесных животных. С повышением кровности по голштинской породе у них значительно увеличивается продолжительность сервис-периода [12], несколько ухудшается плодовитость помесей и в большинстве случаев наблюдается отрицательная корреляция с молочной продуктивностью [1, 13].

Воспроизводительная способность молочных коров складывается из относительно независимых признаков – возраста хозяйственной зрелости, т. е. возраста первого осеменения, возраста первого отела, регулярности отелов и т. д., причем каждый из них формируется в результате реализации генотипа под влиянием условий окружающей среды [14, 15, 16].

Исследования ученых по вопросу влияния кровности по голштинской породе на воспроизводительные качества коров дают разные результаты. Поэтому уже много лет при использовании генофонда голштинской породы в России вопрос кровности получаемых животных не перестает быть актуальным не только с теоретической точки зрения, но и с практической [17]. В этой связи изучение влияния генотипа на величину, характер и направление изменчивости признаков воспроизводительной способности в каждой отдельной популяции коров является актуальным, что и определило направление наших исследований.

Цель исследований – оценить влияние уровня голштинских генов на признаки воспроизводительной способности черно-пестрых коров.

Научная новизна – проведен анализ и дана оценка влияния генотипа на изменчивость

основных признаков воспроизводительной способности коров и селекционно-генетических параметров популяции в зависимости от принадлежности животных к генетическим группам с разной долей голштинской крови.

Материал и методы. Исследования выполнены на поголовье крупного рогатого скота ЗАО Племязавод «Семеновский» Республики Марий Эл. Объектом исследований служили помесные черно-пестрые коровы разных генотипов, полученные от скрещивания с быками голштинской породы. Исходным материалом послужили сведения первичного племенного и зоотехнического учета коров (индивидуальные карточки формы 2-мол) и данные электронной базы «Селэкс – Молочный скот» (n = 4848). Животных по частоте голштинских генов распределили на 8 групп: 1 – до 12,5 % голштинских генов; 2 – 12,6-25,0 %; 3 – 25,1-37,5 %; 4 – 37,6-50,0 %; 5 – 50,1-62,5 %; 6 – 62,6-75,0 %; 7 – 75,1-87,5 %; 8 – 87,6 % и выше. Воспроизводительную способность оценивали по возрасту первого осеменения, возрасту первого отела, продолжительности сервис-периода, межотельного периода, коэффициенту воспроизводительной способности, индексу плодовитости (индексу Дохи). Для изучения влияния кровности на воспроизводительные качества коров проводили анализ

однофакторных дисперсионных комплексов количественных признаков для больших групп^{1, 2}. Статистическую обработку и биометрический анализ полученных данных проводили общепринятыми методами вариационной статистики с применением программного пакета анализа MS Excel-2007.

Результаты и их обсуждение. Существенным фактором, влияющим на эффективность хозяйственного использования коров, является возраст первого оплодотворения и, соответственно, возраст первого отела.

В исследуемой популяции средний возраст первого отела составил 27,1 мес. и варьировал, в зависимости от кровности животных, от 26,5 до 33,9 мес. Наибольший возраст первого отела отмечен у коров первой генетической группы с долей кровности 12,5 % – 33,9 мес., что больше среднего значения по выборке на 7,3 мес. (P<0,001). У коров четвертой генетической группы (37,6-50,0 % голштинских генов) возраст первого отела сократился на 4,1 мес. и составил 29,8 мес., шестой генетической группы (62,6-75,0 %) – на 5,7 мес., в группе коров с кровностью 87,6 % и выше возраст отела сократился на 7,4 мес. (P<0,001) по сравнению с животными первой генетической группы и на 0,6 мес. (P<0,001) – со средним значением по выборке (табл. 1).

Таблица 1 – Возраст первого осеменения и отела коров черно-пестрой породы в зависимости от кровности по голштинской породе /

Table 1 – The age of the first calving and insemination of Black-and-White cows, depending on the thoroughbredness on the Holstein breed

Генетические группы / Genetic groups	Кровность по голштинам, % / Thoroughbredness on the Holstein breed, %	n	Кровность по голштинам, % (среднее по группе) / Thoroughbredness on the Holstein breed, %, (group average)	Возраст, мес. / Age, months					
				первого осеменения / the first insemination			первого отела / the first calving		
				X±mx	σ	Cv, %	X±mx	σ	Cv, %
1	0...12,5	7	10,0	24,2±2,1	5,04	20,8	33,9±2,1	5,07	14,0
2	12,6...25,0	6	20,3	20,7±1,6	4,03	19,5	30,7±1,7	4,20	13,7
3	25,1...37,5	17	33,4	21,9±1,1	4,45	20,3	32,3±1,1	4,52	14,0
4	37,6...50,0	129	48,2	19,7±0,4	4,18	21,3	29,8±0,4	4,18	14,0
5	50,1...62,5	71	57,6	21,4±0,5	4,25	19,9	31,6±0,5	4,37	13,8
6	62,6...75,0	547	71,7	18,1±0,2	3,82	21,1	28,2±0,2	4,01	14,2
7	75,1...87,5	744	88,3	17,2±0,1	3,09	17,9	27,3±0,1	3,28	12,0
8	87,6 и выше	3327	94,7	16,5±0,1	2,78	16,9	26,5±0,1	2,94	11,1
Среднее по выборке / Average by the sample		-	88,1	16,9±0,1	3,21	18,9	27,1±0,1	3,37	12,5

¹Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 255 с.

²Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1970. 423 с.

Возраст при первом плодотворном осеменении имел, практически, те же межгрупповые различия, что и возраст при первом отёле. Наименьший возраст первого осеменения (16,5 мес.) был у первотелок восьмой генетической группы, что было достоверно меньше на 0,4 мес. среднего значения по выборке и на 7,7 мес. по сравнению с животными первой генетической группы. Несколько выше возраст первого осеменения (17,2 и 18,1 мес.) отмечен у коров шестой и седьмой генетических групп, средняя частота голштинских генов в которых составляла 71,7 и 88,3 %. Наибольший возраст первого осеменения (24,2 мес.) был у первотелок с низкой частотой голштинских генов, отелы которых проходили на 7,3 мес. позже, чем в среднем по породе ($P < 0,001$). Таким образом, с увеличением кровности по голштинской породе имела место тенденция сокращения возраста первого плодотворного осеменения и возраста первого отела.

Считается, что продолжительность сервис-периода служит надежным критерием оценки воспроизводительной способности коров, оптимальной продолжительностью которого принято считать 80-85 дней [18]. Как видно из данных таблицы 2, показатель средней продолжительности сервис-периода во всех группах значительно превышал допустимые нормы. Средняя продолжительность сервис-периода по выборке составила 131,1 дня. Самый короткий сервис-период (111,1 и 111,9 дня) отмечен в группах животных с низким уровнем голштинских генов (12,6 и 37,5 %). С долей кровности у коров до 87,6 % и выше продолжительность сервис-периода увеличилась на 14,1-21,7 дня (11,9-19,5 %). Наиболее длительный сервис-период 137,5 дня наблюдали в группе коров с долей кровности 37,6-50,0 %, что больше по сравнению с первой, второй и третьей генетическими группами на 18,8-26,4 дня (15,8-23,8 %).

Таблица 2 – Динамика величины сервис- и межотельного периодов с нарастанием доли голштинских генов /

Table 2 – Dynamics of the service periods and calving intervals with an increase in the proportion of Holstein genes

Генетические группы / Genetic groups	Кровность по голштинам, % / Thorough-bredness on the Holstein breed, %	n	Кровность по голштинам, % (среднее по группе) / Thorough-bredness on the Holstein breed, %, (group average)	Сервис-период, дни / Service period, days			Межотельный период, мес / Calving interval, months		
				$X \pm mx$	σ	$C_v, \%$	$X \pm mx$	σ	$C_v, \%$
1	0...12,5	7	10,0	118,7 \pm 12,6	30,90	26,0	13,3 \pm 0,4	0,91	6,8
2	12,6...25,0	6	20,3	111,9 \pm 10,1	24,78	22,1	13,1 \pm 0,3	0,82	6,2
3	25,1...37,5	17	33,4	111,1 \pm 9,9	40,88	36,8	13,2 \pm 0,3	1,33	10,1
4	37,6...50,0	129	48,2	137,5 \pm 6,8	76,96	56,0	13,7 \pm 0,3	2,61	19,0
5	50,1...62,5	71	57,6	130,5 \pm 6,5	54,83	42,0	13,7 \pm 0,2	1,81	13,3
6	62,6...75,0	547	71,7	124,0 \pm 3,2	70,26	56,7	13,4 \pm 0,1	2,39	17,8
7	75,1...87,5	744	88,3	129,4 \pm 3,1	78,14	60,4	13,5 \pm 0,1	2,65	19,6
8	87,6 и выше	3327	94,7	132,8 \pm 1,6	84,31	63,5	13,8 \pm 0,1	2,78	20,2
Среднее по выборке / Average by the sample		-	88,1	131,3 \pm 1,3	80,79	61,6	13,7 \pm 0,22	1,90	14,1

В процессе воспроизводства стада существенным фактором является продолжительность межотельного цикла коров. Экономически оправданная продолжительность периода между отелами 365-395 дней. Межотельный период – количественный признак, имеющий непрерывную изменчивость, включает в себя все случаи нарушения воспроизводительной функции коров и имеет важное экономическое значение при планировании

отёлов на определённый сезон года [12]. Его длительность зависит от продолжительности стельности коровы и сервис-периода, с одной стороны, и продолжительности лактации и сухостойного периода – с другой. Если учесть, что продолжительность стельности – величина довольно постоянная и в среднем для крупного рогатого скота составляет 280-285 дней, то большее влияние на межотельный цикл оказывает сервис-период [19].

Во всех генетических группах исследуемой выборки средние значения межотельного периода превышали нормативные зоотехнические показатели. Наиболее длительный межотельный период отмечен у коров восьмой генетической группы с частотой голштинских генов 87,6 % и выше. В этой группе животных период между отелами составил 13,8 мес., что превышало среднее значение по выборке на 0,1 мес. (0,7 %). В 1-7 группах период между отелами сократился на 0,2-0,6 мес. (1,5-2,9 %), разница статистически недостоверна.

Для оценки воспроизводительной способности животных рассчитан индекс плодовитости. Полученные данные свидетельствуют о том,

что с увеличением доли кровности повышается индекс плодовитости. В среднем по выборке он составил 45,0, при котором воспроизводительная способность оценивается как средняя. Низкой плодовитостью обладали коровы первой генетической группы с долей кровности 12,5 % – индекс плодовитости составил 39,6, более высокие показатели индекса (45,1-45,4) имели животные седьмой и восьмой генетических групп с частотой голштинских генов 75,1 % и выше. В этих группах индекс плодовитости превышал среднее значение по выборке на 0,1-0,4 (0,2-0,9 %) и превосходил первую генетическую группу на 5,5-5,8 (13,9-14,6 %) (табл. 3).

**Таблица 3 – Оценка воспроизводительной способности коров в зависимости от генотипа /
Table 3 – Evaluation of the reproductive ability of cows depending on the genotype**

Генетические группы / Genetic groups	Кровность по голштинам, % / Thorough-bredness on the Holstein breed, %	n	Кровность по голштинам, % (среднее по группе) / Thorough-bredness on the Holstein breed, % (group average)	Индекс плодовитости (T) / Fertility Index (T)			Коэффициент воспроизводительной способности / Coefficient of reproductive capacity		
				$X \pm mx$	σ	Cv, %	$X \pm mx$	σ	Cv, %
1	0...12,5	7	10,0	39,6±2,27	5,55	14,0	0,92±0,02	0,06	6,6
2	12,6...25,0	6	20,3	43,1±2,08	5,09	11,8	0,93±0,02	0,06	6,1
3	25,1...37,5	17	33,4	40,8±1,19	4,75	11,6	0,93±0,02	0,10	10,4
4	37,6...50,0	129	48,2	42,7±0,62	6,94	16,2	0,91±0,01	0,13	14,64
5	50,1...62,5	71	57,6	40,8±0,67	5,45	13,4	0,90±0,01	0,10	11,5
6	62,6...75,0	547	71,7	44,4±0,31	6,55	14,8	0,93±0,01	0,17	17,4
7	75,1...87,5	744	88,3	45,1±0,28	6,60	14,6	0,93±0,01	0,14	15,5
8	87,6 и выше	3327	94,7	45,4±0,14	6,57	14,5	0,91±0,00	0,15	16,5
Среднее по выборке / Average by the sample	-	-	88,1	45,0±1,43	6,40	13,9	0,92±0,00	0,15	15,9

Оптимальная величина коэффициента воспроизводительной способности составляет 1,0-1,5 и зависит от продолжительности межотельного периода [18]. В анализируемых группах коэффициент воспроизводительной способности был ниже физиологической нормы и варьировал от 0,90 до 0,93. Достоверной разницы между группами по данному признаку не установлено.

Существующие в генетических группах тенденции увеличения и снижения величины признаков с нарастанием кровности свидетельствовали о наличии взаимосвязи. Положительные корреляции наблюдались между частотой голштинских генов и продолжитель-

ностью сервис- и межотельного периодов ($r = 0,02$ и $r = 0,03$). Это подтверждает, что с увеличением кровности у животных увеличивается длительность сервис-периода и периода между отелами.

Между кровностью и возрастом первого плодотворного осеменения и первого отела обнаружена обратная связь ($r = -0,34$ и $r = -0,30$), которую можно рассматривать как следствие положительной корреляции между кровностью и возрастом первого осеменения и отела. Другими словами, чем выше уровень голштинских генов, тем раньше животных можно осеменять, следовательно, меньше возраст первого отела.

Коэффициент корреляции показывает степень связи между признаками. Не менее важным показателем является коэффициент регрессии, который показывает, как изменяется величина хозяйственно полезных признаков при увеличении кровности. Из полученных данных следует, что с каждым увеличением кровности по голштинской породе на 12,5 %, продолжительность сервис-периода увеличивается на 0,47 дня, межотельного периода – на 0,02 месяца, возраст первого осеменения снижается в среднем на 0,26 месяца, первого отела – на 0,25 месяца.

На основании проведенных исследований установлено достоверное влияние голштинских генов на возраст первого плодотворного осеменения ($\eta^2 = 9,57\%$), возраст первого отела ($\eta^2 = 8,80\%$) и плодовитость коров ($\eta^2 = 1,98\%$) ($P \leq 0,05$). Влияние генотипа на продолжительность сервис- и межотельного периодов было незначительным и недостоверным ($\eta^2 = 0,09\%$ и $\eta^2 = 0,26\%$).

Заключение. Результаты исследований свидетельствуют о том, что по мере увеличения доли голштинских генов у коров черно-пестрой породы улучшались признаки воспроизводительной способности. Животные с долей кровности 75,1 % и выше обладали ранним возрастом первого плодотворного осеменения (16,5 мес.) и первого отела (26,5 мес.), что связано с их высокой скороспелостью. Помеси с кровностью более 87,6 % имели наивысший показатель индекса плодовитости – 45,4, но в то же время проявили наиболее длительные сервис-период – 132,8 дня и межотельный период – 13,8 месяца. Коэффициент воспроизводительной способности, независимо от принадлежности к генетической группе, получили меньше единицы (0,90-0,93). Корреляционная связь между признаками воспроизводительной способности коров и уровнем голштинских генов во всех случаях была невысокой.

Список литературы

1. Гавриленко В. П., Катмаков П. С., Прокофьев А. Н. Воспроизводительная способность коров разных генотипов, использованных в стаде скота симментальской породы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(1(41)):74-78. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-1-74-78>
2. Калмагамбетов М. Б., Спанов А. А., Алентаев А. С., Баймуханов Д. А. Эффективность использования сексированного семени в воспроизводстве молочного скота. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021;7(1(25)):40-49. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-1-40-49>
3. Бекенов Д. М., Спанов А. А., Кенчинбаева Н. С. Основные причины низкой воспроизводительной функции коров молочного направления продуктивности в условиях Восточно-Казахстанской области. Вестник ХГУ им. Н. Ф. Катанова. 2019;(2(28)):41-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41335906>
4. Бабич Е. А., Овчинникова Л. Ю. Влияние происхождения на воспроизводительные показатели животных черно-пестрой породы внутривидового типа «Каратомар». Аграрный вестник Урала. 2017;(10(164)):4-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32299244>
5. Дунин И., Данкверт А., Кочетков А. Состояние и потенциал развития племенной базы скотоводства в Российской Федерации. Молочное и мясное скотоводство. 2012;(7):2-5. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18760002>
6. Sahin A., Ulutas Z., Adkinson A. Y., Adkinson R. V. Genetic parameters of first lactation milk yield and fertility traits in Brown swiss cattle. Annals of Animal Science. 2014;14(3):545-557. URL: https://www.researchgate.net/publication/272263666_Genetic_Parameters_of_First_Lactation_Milk_Yield_and_Fertility_Traits_in_Brown_Swiss_Cattle
7. Holodova L. V., Novoselova K. S., Mikhalev E. V., Onegov A. V., Chirgin E. D. The effect of age on milk productivity and reproductive qualities of dairy cows. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;315(2):022087. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022087>
8. Гриценко С. Связь воспроизводительной способности с удоом коров. Молочное и мясное скотоводство. 2007;(3):20-22.
9. Соловьева О. И., Крестьянинова Е. И., Халикова Т. Ю. Продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы разного происхождения. Главный зоотехник. 2020;(12(209)):24-33. DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03>
10. Вельматов А. А., Дунин И. М., Тишкина Т. Н. Особенности воспроизводства у коров в условиях промышленной технологии производства молока. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(2(54)):207-213. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-207-213>

11. Катмаков П. С., Анисимова Е. И. Методы подбора как генетический источник формирования внутривидовых типов. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015;(2(30)):94-100. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24099592>
12. Прудов А. И., Бальцанов А. И. Использование голштинской породы для интенсификации селекции молочного скота. М.: Нива России, 1992. 192 с.
13. Васильева О. К., Виноградова Н. Д. Взаимосвязь молочной продуктивности и воспроизводительных способностей у коров разной кровности по голштинской породе. Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса: мат-лы 70-й Международ. научн.-практ. конф. 23 мая 2019 г. Рязань: изд-во Рязанского государственного агротехнологического университета, 2019. Ч. I. С. 16-20.
14. Rahman M. M., Gofur M. R., Rahman M. S., Bari F. Y., Juyena N. S. Effect of Genotype on Reproductive and Productive Performances of Dairy Cows under Rural Context in Bangladesh. International Journal of Livestock Research. 2016;6(6):9-24. DOI: <https://doi.org/10.5455/ijlr.20160412082206>
15. Navratil S., Falta D., Muller L., Chladek G. The influence of genotype on the yield, quality and technological properties of milk of cows kept under identical conditions. 2016:250-253. URL: <https://mendelnet.cz/pdfs/mnt/2016/01/44.pdf>
16. Федулова Д. Г., Шендаков А. И. Влияние генетических и паратипических факторов на воспроизводительные качества чёрно-пёстрых коров. Биология в сельском хозяйстве. 2016;(3(12)):25-30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27369693>
17. Костомахин Н. М., Воронкова О. А., Габедава М. А. Молочная продуктивность и воспроизводительная способность коров разной кровности по голштинской породе. Вестник Курганской ГСХА. 2021;(3(39)):43-50. DOI: https://doi.org/10.52463/22274227_2021_39_43
18. Вильвер Д. С. Взаимосвязь хозяйственно-полезных признаков коров различных генотипов. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(4):41-43. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23374011>
19. Санганаева А. В., Склярская Т. В. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров разного возраста. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019;(57):71-79. DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-14071>

References

1. Gavrilenko V. P., Katmakov P. S., Prokofiev A. N. Reproductive capability of cows of different genotypes used in the herd of simmental breed. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2018;(1(41)):74-78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-1-74-78>
2. Kalmagambetov M. B., Spanov A. A., Alentaev A. S., Baymukanov D. A. Efficiency of the use of sexed semen in the dairy cattle reproduction. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2021;7(1(25)):40-49. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-1-40-49>
3. Bekenov D. M., Spanov A. A., Kenchinbayeva N. S. On the key reasons for the low reproductive function of dairy cows under the conditions of east Kazakhstan region. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. F. Katanova*. 2019;(2(28)):41-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41335906>
4. Babich E. A., Ovchinnikova L. Yu. Influence of origin on reproductive indicators of cattle of black-and-white breed of the inter-breed type «Karatomar». *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2017;(10(164)):4-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32299244>
5. Dunin I., Dankvert A., Kochetkov A. Condition and potential development of pedigree cattle base in the Russian Federation. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2012;(7):2-5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18760002>
6. Sahin A., Ulutas Z., Adkinson A. Y., Adkinson R. V. Genetic parameters of first lactation milk yield and fertility traits in Brown swiss cattle. *Annals of Animal Science*. 2014;14(3):545-557. URL: https://www.researchgate.net/publication/272263666_Genetic_Parameters_of_First_Lactation_Milk_Yield_and_Fertility_Traits_in_Brown_Swiss_Cattle
7. Holodova L. V., Novoselova K. S., Mikhalev E. V., Onegov A. V., Chirgin E. D. The effect of age on milk productivity and reproductive qualities of dairy cows. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;315(2):022087. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022087>
8. Gritsenko S. Svyaz' vosproizvoditel'noy sposobnosti s udoem korov. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2007;(3):20-22. (In Russ.).
9. Solovyova O. I., Krestyaninova E. I., Khalikova T. Yu. Productivity and reproductive traits of cows of holstein breed of different origin. *Glavnyy zootekhnik*. 2020;(12 (209)):24-33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03>

10. Velmatov A. A., Dunin I. M., Tishkina T. N. Cow reproduction features under the conditions of industrial technology of milk production. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyay-stvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(2(54)):207-213. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-207-213>

11. Katmakov P. S., Anisimova E. I. Metody podbora kak geneti-cheskiy istochnik formirovaniya vnutriporodnykh tipov. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2015;(2(30)):94-100. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24099592>

12. Prudov A. I., Baltsanov A. I. The use of the Holstein breed for the intensification of dairy cattle breeding. Moscow: *Niva Rossii*, 1992. 192 p.

13. Vasileva O. K., Vinogradova N. D. The relationship of milk productivity and reproductive abilities in cows of different thorough-bredness on the Holstein breed. Contribution of University agrarian science to the innovative development of the agro-industrial complex: Proceedings of the 70th International scientific and practical Conference, May 23th, 2019. Ryazan': *izd-vo Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta*, 2019. Part. I. pp.16-20.

14. Rahman M. M., Gofur M. R., Rahman M. S., Bari F. Y., Juyena N. S. Effect of Genotype on Reproductive and Productive Performances of Dairy Cows under Rural Context in Bangladesh. *International Journal of Livestock Research*. 2016;6(6):9-24. DOI: <https://doi.org/10.5455/ijlr.20160412082206>

15. Navratil S., Falta D., Muller L., Chladek G. The influence of genotype on the yield, quality and technological properties of milk of cows kept under identical conditions. 2016:250-253.

URL: <https://mendelnet.cz/pdfs/mnt/2016/01/44.pdf>

16. Fedulova D. G., Shendakov A. I. The influence of genetic and environmental factors on reproductive qualities of black-motley cows. *Biologiya v sel'skom khozyaystve* = Biology in agriculture. 2016;(3(12)):25-30. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27369693>

17. Kostomakhin N. M., Voronkova O. A., Gabedava M. A. Milk productivity and reproductive traits of cows of different portions of blood of holstein breed. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2021;(3(39)):43-50. (In Russ.).

DOI: https://doi.org/10.52463/22274227_2021_39_43

18. Vilver D. S. Interrelation of economic traits of cows with different genotypes. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2015;29(4):41-43. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23374011>

19. Sanganaeva A. V., Sklyarskaya T. V. Milk productivity and reproductive qualities of cows of different age. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2019;(57):71-79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-14071>

Сведения об авторе

✉ **Титова Светлана Викторовна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: via@mari-el.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8651-9545>, e-mail: svetlanatitova19143@gmail.ru

Information about the author

✉ **Svetlana V. Titova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: via@mari-el.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8651-9545>, e-mail: svetlanatitova19143@gmail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние введения Ламарин Saldonum в рационы коров в сухостойный и лактационный периоды на их продуктивность и репродуктивную способность

© 2022. Н. А. Шемуранова ✉, Н. А. Гарифуллина

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены данные о влиянии биодобавки Ламарин Saldonum на воспроизводительную функцию и молочную продуктивность коров при использовании в разные периоды: за 30 и 60 дней до отела (группы С1 и С2), со дня отела (группа С3) в сравнении с контролем (группа К4). В опыте были задействованы высокопродуктивные коровы черно-пестрой голштинизированной породы. Добавку скармливали в дозе 0,4 г на 1 кг живой массы на протяжении 60 дней. Установлено, что в группе С2 продолжительность беременности была достоверно меньше, чем в С1 и К4 на 6,2 и 8,2 дня соответственно, оставаясь в границах физиологической нормы. Наименее короткий индифферент-период в сравнении с К4 наблюдали в группах С1 и С3, достоверная разница составила соответственно 15,25 и 18,39 %. Меньше всего дней от отела до плодотворного осеменения регистрировалось в группе С1, в сравнении с контролем статистически значимые отличия составили 37,16 %, в сравнении с группами С2 и С3 – 28,82 и 27,67 %, что позволило достоверно сократить период бесплодия на 57,33 % по отношению к значениям группы К4, а также 47,90 и 46,49 % относительно показателей групп С2 и С3. Наибольшие среднесуточные удои отмечены в группе С1: в первый месяц лактации разница с группами С2, С3 и К4 составила 5,74 %, 14,01 и 17,06 % ($p < 0,05$), во второй (при $p < 0,05$) – 14,53 %, 16,52 %, 15,19 %, в третий – 9,57 % ($p < 0,05$), 13,06 %, 10,94 % ($p < 0,05$), за первые 100 дней лактации – 11,90 %, 16,86 % ($p < 0,05$) и 13,28 % ($p < 0,01$) соответственно. Таким образом, для стимуляции воспроизводительной функции и молочной продуктивности коров наиболее оптимально применение Ламарин Saldonum за 30 дней до предполагаемого отела.

Ключевые слова: Ламинария японская, расторопша пятнистая, воспроизводство, молоко, крупный рогатый скот

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528(0767)-2019-0088).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шемуранова Н. А., Гарифуллина Н. А. Влияние введения Ламарин Saldonum в рационы коров в сухостойный и лактационный периоды на их продуктивность и репродуктивную способность. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):904-911. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.904-911>

Поступила: 05.08.2022

Принята к публикации: 11.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Effect of introducing Lamarine Saldonum into the diets of cows during dry period and period of lactation on their productivity and reproductive ability

© 2022. Natalia A. Shemuranova ✉, Natalia A. Garifullina

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article presents the data on the effect of the Lamarine Saldonum additive on reproductive function and milk productivity of cows when used in different periods: 30 days and 60 days before calving (groups S1 and S2), beginning from the day of calving (group S3) compared with the control (group C4). Highly productive black and white Holstein breed cows were used in the experiment. The additive was fed at a dose of 0.4 g per 1 kg of live weight during 60 days. It was found that S2 group had significantly shorter duration of pregnancy than S1 and C4 groups by 6.2 and 8.2 days, respectively, remaining within the limits of the physiological norm. The shortest indifference-period compared to C4 was observed in groups S1 and S3, the significant difference being 15.25 % and 18.39 %, respectively. The least number of days from calving to fruitful insemination was recorded in group S1, compared to control the statistically significant differences were 37.16 %, compared to groups S2 and S3 – 28.82 % and 27.67 %, which reliably reduced the period of infertility by 57.33 % relative to the values of group C4, as well by 47.90 % and 46.49 % relative to the indicators of groups S2 and S3. The highest average daily milk yields were recorded in group S1: in the first month of lactation, the difference with groups S2, S3 and C4 was 5.74 %, 14.01 % and 17.06 % ($p < 0.05$), in the second (at $p < 0.05$), 14.53 %, 16.52 %, 15.19 %, in the third 9.57 % ($p < 0.05$), 13.06 %, 10.94 % ($p < 0.05$), in the first 100 days of lactation 11.90 %, 16.86 % ($p < 0.05$) and 13.28 % ($p < 0.01$), respectively. Thus, the most optimal scheme of application of Lamarine Saldonum for stimulation of reproductive function and milk productivity of cows is 30 days before the expected calving.

Keywords: Lamarine Saldonum, milk thistle, reproduction, milk, cattle

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528(0767)-2019-0088).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Shemuranova N. A., Garifullina N. A. Effect of introducing Lamarine Saldonum into the diets of cows during dry period and period of lactation on their productivity and reproductive ability. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(6):904-911. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.904-911>

Received: 05.08.2022

Accepted for publication: 11.11.2022

Published online: 16.12.2022

Увеличение продуктивности, жизнеспособности и плодовитости животных в целях обеспечения продовольственной безопасности и независимости страны было и остается первоочередной задачей, стоящей перед отечественным животноводством. Особая нагрузка при этом ложится на отрасль молочного скотоводства, так как от ее развития зависит не только насыщение потребительского рынка молоком и молочными продуктами, но и мясом вследствие недостаточно развитого мясного скотоводства.

На сегодняшний день валовое производство молока в России составляет 32,2 млн тонн в год¹, что позволяет ей занимать ведущее место в мировом рейтинге производителей. Однако обеспечение потребностей населения страны молочной продукцией за счет собственного производства составляет около 80 %. Тенденция последних лет показывает, что увеличение производства молока происходит главным образом за счет роста продуктивности животных, при сокращении общего поголовья коров [1]. Так в 2021 году надой молока на одну корову в среднем по стране составил 7671 кг², что на 14 % выше аналогичного показателя 2020 года³.

Дальнейшее повышение молочной продуктивности и реализация генетического потенциала разводимых в нашей стране пород определяется организацией биологически полноценного кормления с обеспечением рационов необходимым количеством обменной энергии, протеина, минеральных веществ и витаминов [2, 3]. Особое внимание необходимо уделять кормлению коров в транзитный период – время перехода от поздней стадии стельности к началу лактации, так как от состояния обменных процессов в данный период зависит благополучие отелов и сохранность новорожденных телят, сроки возобновления полноценных половых циклов и плодотворное осеменение, а так же будущая молочная продуктивность [4, 5, 6, 7].

В последнее время для нормализации обменных процессов в организме актуальность приобретают многофункциональные комплексы биологически активных веществ (БАВ) на основе растительных компонентов. Благодаря своему уникальному составу они оказывают стимулирующее действие на работу пищеварительной, иммунной и эндокринной систем, повышают стрессоустойчивость организма [8], обладают противовоспалительными, противовирусными и бактерицидными свойствами [9, 10, 11].

Растительные кормовые добавки по сравнению с химическими аналогами имеют более низкую токсичность, что дает возможность их длительного использования без вреда для организма животных, сделав получаемую продукцию экологически чистой и безопасной для человека [12, 13]. Также установлено, что устойчивость микроорганизмов к бактерицидному действию лекарственных растений появляется значительно медленнее, чем к антибиотикам [14, 15].

Цель исследований – разработка оптимальной схемы применения биологически активной добавки Ламарин Saldonum для стимуляции репродуктивной функции коров, а также оценка их молочной продуктивности в период раздоя при скармливании добавки в разные физиологические периоды.

Для осуществления поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- 1) оценить влияние разных схем применения изучаемой добавки на продолжительность беременности у коров;
- 2) изучить показатели воспроизводительной функции самок при включении в рационы Ламарин Saldonum в разные физиологические периоды;
- 3) оценить влияние разных вариантов применения биодобавки на молочную продуктивность коров.

¹Материалы круглого стола на тему «О мерах государственной поддержки развития молочной отрасли в Российской Федерации» 28 января 2022 года. г. Москва. [Электронный ресурс]. URL: <https://komitet2-20.km.duma.gov.ru> (дата обращения: 25.07.2022).

²Основные показатели сельского хозяйства в России. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13276> (дата обращения: 25.07.2022).

³Сельское хозяйство в России. 2021: стат. сб. М., 2021. 100 с. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S-X_2021.pdf (дата обращения: 25.07.2022).

Научная новизна. Впервые научно обоснованы варианты применения биологически активной добавки Ламарин Saldonum в рационах высокопродуктивных коров, на этом фоне оценена воспроизводительная функция и молочная продуктивность животных.

Материал и методы. Научно-хозяйственный эксперимент проводили на базе лаборатории кормления сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и в СПК колхозе «Искра» Котельничского района Кировской области.

В эксперименте участвовало 40 коров черно-пестрой голштинизированной породы в возрасте 2-6 лактации с удоем за 305 дней предыдущей законченной лактации 7500 кг. В период проведения опыта все животные находились на одинаковом основном рационе (ОР), по питательности соответствующем нормам ВИЖ, состав которого указан в таблице 1. Кормовые добавки включали трикальций-фосфат, Кауфит Драй ПЛЮС и ЛактоНэо.

Таблица 1 – Основной рацион коров, используемый на предприятии в разные физиологические периоды, % сухого вещества /

Table 1 – Basic diet of cows used at the enterprise in different physiological periods, % of dry matter

Вид корма / Type of feed	Сухостойный период / Interlactation period		Период раздоя / Increasing the milk yield	Стабилизация лактации / Lactation stabilization
	1	2		
Грубые / Coarse	36,66	39,32	24,01	24,07
Сочные / Succulent	52,96	16,26	18,68	21,49
Концентрированные / Concentrated	7,86	36,93	51,14	51,51
Кормовые добавки / Feed additives	2,52	7,49	6,17	2,93

По принципу аналогичных групп животных разделили на три опытные и 1 контрольную группы по 10 голов в каждой. Животным опытных групп в основной рацион добавляли биологически активную добавку Ламарин Saldonum в дозе 0,4 г на 1 кг живой массы ежедневно на протяжении 60 дней. Скармливание добавки в группах производилось следующим образом:

Вариант № 1 (группа С1) – за 30 дней до предполагаемого отела, ежедневно на протяжении 60 дней.

Вариант № 2 (группа С2) – за 60 дней до даты предполагаемого отела, ежедневно на протяжении 60 дней.

Вариант № 3 (группа С3) – начало применения добавки – в день отела, скармливание ежедневно на протяжении 60 дней.

Контрольная (группа К4) – только основной рацион, характерный для физиологического периода.

Для оценки воспроизводительной функции у животных всех четырех групп учитывали продолжительность беременности, индифференс-период, количество дней от отела до плодотворного осеменения, индекс осеменения и количество дней бесплодия. Данные получали

из журналов первичной документации зооветеринарных специалистов и программы ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот. Индекс осеменения рассчитывали по общепринятой методике.

При оценке молочной продуктивности учитывались показатели среднесуточных удоев посредством контрольных доек. Данные об удое за 100 дней лактации получали из программы ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот.

Статистическая обработка данных проведена с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel путем вычисления среднего значения и его ошибки, с применением t-критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. В процессе исследований установлено, что влияние изучаемой добавки на продолжительность стельности животных зависит от времени введения ее в рацион. Так, применение Ламарин Saldonum за 60 дней до предполагаемого отела достоверно сокращало количество дней беременности по отношению к группам С1 и контрольной на 6,2 и 8,2 дня соответственно (рис. 1). При этом продолжительность стельности в группе С2 оставалась в пределах физиологической нормы $273,90 \pm 1,73$ дня.

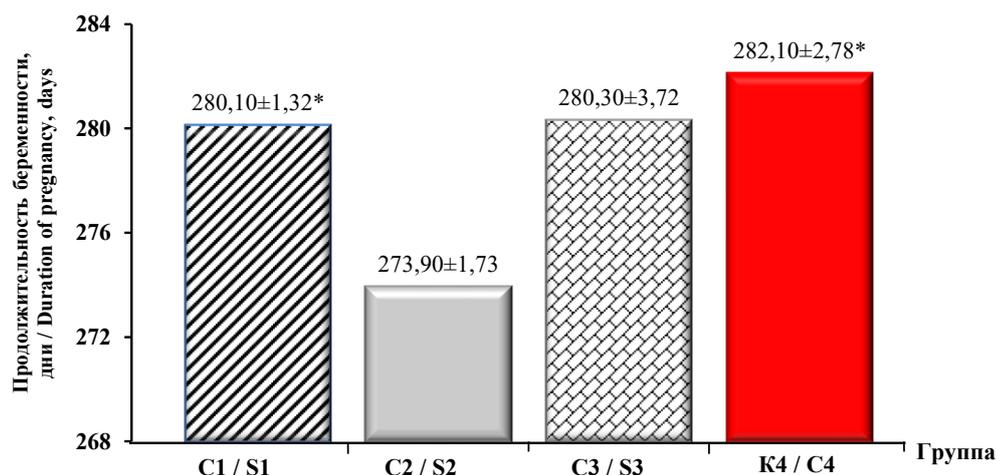


Рис. 1. Продолжительность беременности коров в зависимости от периода введения Ламарин Saldonum в их рационы. *Различия статистически значимы по отношению к показателям группы С2 при $p < 0,05$ /

Fig. 1. Duration of pregnancy of cows depending on the period of introduction of Lamarin Saldonum into the diets. * The differences are statistically significant in relation to the indicators of group S2 at $p < 0.05$

Применение биодобавки Ламарин Saldonum животным группы С3 не оказало влияния на продолжительность беременности, т. к. она использовалась только после отела. При этом статистически значимых различий с группами С1 и К4 не выявлено, беременность в этих трех группах продолжалась в среднем $280,10 \pm 1,32 - 282,10 \pm 2,78$ дня.

При изучении репродуктивной функции коров после отела было установлено, что использование Ламарин Saldonum в группах С1 и С3 привело к сокращению у них индифферес-периода в сравнении с группой К4 на 15,25 % ($p < 0,05$) и 18,39 % ($p < 0,05$) соответственно. В группе С2 сокращение данного показателя составило 9,55 % и не имело статистически значимых отличий с интактными животными (табл. 2).

Таблица 2 – Восстановление репродуктивной функции коров после отела в зависимости от периода введения Ламарин Saldonum в их рационы (n = 10) /

Table 2 – Restoration of reproductive function of cows after calving, depending on the period of introduction of Lamarin Saldonum into the diets (n = 10)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	C1 / S1	C2 / S2	C3 / S3	K4 / C4
Индифферес-период, дни / Indifference period, days	72,80±3,65*	77,70±6,97	70,10±5,40*	85,90±4,78
Индекс осеменения / Insemination index	1,80±0,25*	2,30±0,21	2,60±0,16***	3,10±0,41
Период от отела до плодотворного осеменения, дни / The period from calving to fruitful insemination, days	107,20±12,46*	150,60±11,96**	148,20±12,70**	170,60±22,74
Период бесплодия, дни / Infertility period, days	47,20±12,46*	90,60±11,96**	88,20±12,70**	110,60±22,74

* Различия достоверны по отношению к контрольной группе при $p < 0,05$; ** по отношению к первой опытной группе при $p < 0,05$ /

* The differences are significant at $p < 0.05$ in relation to the control group; ** at $p < 0.05$ – in relation to the first experimental group

Наряду с сокращением индифферес-периода, животные, которым добавку начинали скармливать за 30 и 60 дней до отела, лучше оплодотворялись: после первого и второго

осеменений в этих группах была подтверждена беременность у 80 % коров, тогда как в группах С3 и К4 данный показатель составил только 40 и 30 % соответственно (рис. 2).

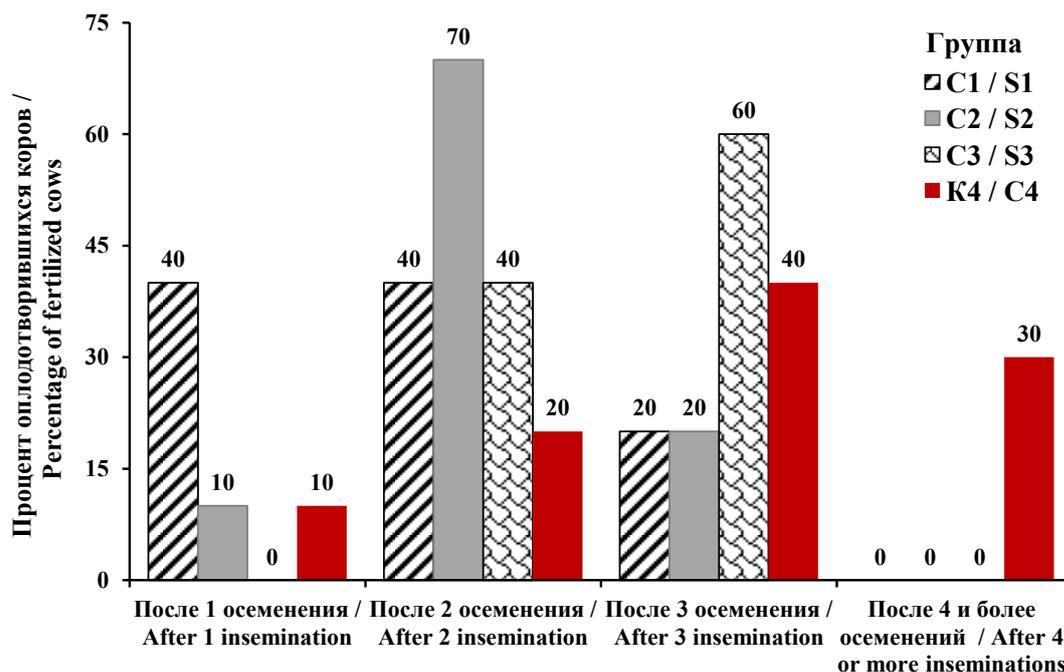


Рис. 2. Оплодотворяемость коров на фоне разных вариантов применения биодобавки Ламарин Saldonum /

Fig. 2. Fertilization of cows against the background of different variants of application of the Lamarin Saldonum bioadditive

Наиболее оптимальным для сокращения количества дней от отела до плодотворного осеменения являлось применение добавки за 30 дней до предполагаемых родов (группа C1), позволившее статистически значимо сократить данный показатель по сравнению с группой C2 на 28,82 %, C3 – на 27,67 %, K4 – на 37,16 %.

Наименьший период бесплодия также регистрировали в группе C1 – $47,20 \pm 12,46$ дня, что достоверно ниже, чем в группе C2 на 47,90 %, C3 – на 46,49 % и на 57,33 % в сравнении с группой K4.

Для комплексной оценки действия добавки и раннего выявления возможных негативных последствий нами была оценена молочная продуктивность коров в первые три месяца лактации при использовании разных вариантов. Как видно из данных таблицы 3, использование Ламарин Saldonum в разные физиологические периоды не оказывает отрицательного влияния на молочную продуктивность коров. Так, начало применения добавки за 30 дней до отела (группа C1) оказалось самым оптимальным не только для коррекции воспроизводительной функции, но и способствовало увеличению производства молока в натуральной жирности в первые три месяца лактации. В первый месяц раздоя у коров данной группы были получены

наибольшие среднесуточные удои: разница с группами C2, C3 и K4 составила соответственно 5,74 %, 14,01 и 17,06 % ($p < 0,05$).

С течением времени наблюдалась аналогичная динамика: превосходство самок группы C1 над коровами групп C2, C3 и K4 составило соответственно 14,53 % ($p < 0,05$), 16,52 и 15,19 % ($p < 0,05$) во второй месяц раздоя.

К третьему месяцу лактации различия несколько сократились, но остались статистически значимыми в отношении группы C2 – 9,57 % ($p < 0,05$) и K4 – 10,94 % ($p < 0,05$). Что касается разницы в удоях групп C1 и C3, то здесь она составляла 13,06 %, однако была статистически не значима.

При учете удоя за первые 100 дней лактации установлено, что наибольшей молочной продуктивностью отличались коровы группы C1, превосходившие аналогов C2, C3 и K4 на 11,90 %, 16,86 % ($p < 0,05$) и 13,28 % ($p < 0,01$) соответственно. Стоит отметить, что применение биодобавки с первого дня отела не оказало существенного влияния на молочную продуктивность коров, статистически значимых отличий с группой K4 за весь период раздоя зарегистрировано не было, а за первые 100 дней лактации различия между указанными группами составили 3,07 % в пользу контроля, хотя и без достоверности.

Таблица 3 – Показатели молочной продуктивности коров в натуральной жирности в период раздоя в зависимости от периода введения Ламарин Saldonum в их рационы, кг (n = 10) /

Table 3 – Indicators of milk productivity of cows in natural fat during the milking period depending on the period of introduction of Lamarin Saldonum into their diets, kg (n = 10)

<i>Месяц лактации / Month of lactation</i>	<i>Группа/Group</i>			
	<i>C1 / S1</i>	<i>C2 / S2</i>	<i>C3 / S3</i>	<i>K4 / C4</i>
1	35,00±1,67	33,10±2,68	30,70±1,45	29,90±1,39*
2	40,20±1,52	35,10±1,72*	34,50±1,73*	34,90±1,35*
3	35,50±1,12	32,40±0,91*	31,40±2,29	32,00±1,02*
Удой за первые 100 дней лактации / Milk yield for the first 100 days of lactation	3659,00±125,06	3270,00±144,68	3131,00±154,43*	3230,00±69,30**

Различия достоверны по отношению к первой группе при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ /

The differences are significant at * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ in relation to the first group

Заключение. Проведенные исследования показали, что применение в рационах коров Ламарин Saldonum в разные физиологические периоды не оказывает отрицательного влияния на продуктивность и воспроизводительную функцию коров. Вместе с тем, при начале использования добавки за 60 дней до отела (группа С2) наблюдается сокращение продолжительности беременности у самок на 2,26 % ($p < 0,05$) и 2,99 % ($p < 0,05$) по отношению к животным групп С1 и К4, при этом количество дней стельности остается в пределах физиологической нормы.

Также установлено, что наиболее оптимальным является начало включения биодобавки Ламарин Saldonum в рационы высокопродуктивных коров за 30 дней до предполагаемого отела, что позволяет улучшить воспроиз-

водительную функцию животных, достоверно снизив количество дней от отела до первого прихода в охоту по отношению к интактной группе на 15,25 %, индекса осеменения – на 41,94 %, дней от отела до плодотворного осеменения и дней бесплодия на 37,16 и 57,33 % соответственно.

Кроме того, использование добавки коровам в поздний сухостойный и новотельный периоды (вариант №1) способствует повышению производства молока, что также подтверждается достоверным увеличением среднесуточных удоев в сравнении с группой К4 в первые три месяца раздоя соответственно на 15,19 %, 10,94 и 13,28 %, за первые 100 дней лактации – на 13,28 %.

Список литературы

1. Китаёва О. В., Ужик В. Ф. Отечественные тенденции развития молочного скотоводства в России. Московский экономический журнал. 2021;(12):144-155. DOI: <https://doi.org/10.24412/2413-046X-2021-10720>
2. Гамко Л. Н., Лемеш Е. А., Кубышкин А. В., Будникова О. Н. Влияние качества кормов на продуктивность дойных коров с высоким генетическим потенциалом. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2020;(2(78)):24-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42708996>
3. Миколайчик И. Н., Морозова Л. А., Морозов В. А. Повышение генетического потенциала высокопродуктивных коров за счет использования в рационах энергетических добавок. Аграрный вестник Урала. 2019;(1(180)):21-26. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43117542>
4. Романенко Л. В., Волгин В. И. Особенности кормления и системы рационов для высокопродуктивных молочных коров. Сельскохозяйственная биология. 2007;42(4):20-28.
5. Середин В. А., Шахмурзов М. М., Кагермазов Ц. Б., Кадыкоев Р. Т. Особенности кормления высокопродуктивных коров в критические периоды воспроизводительной функции. Аграрная Россия. 2010;(5):25-32. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23173127>
6. Литвищенко Л. О., Піщан І. С., Гончар А. О., Піщан С. Г. Реалізація генетичного потенціалу продуктивності голштинських корів різного віку на промисловому комплексі з виробництва молока. Зернові культури. 2018;2(2):360-369. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41416247>
7. Данилов М. С., Воробьев А. Л. Фитотерапия при маститах у коров. Ветеринария. 2012;(2):41-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17663502>

8. Короткий В. П., Юрина Н. А., Юрин Д. А., Буряков Н. П., Рыжов В. А., Марисов С. С. Опыт применения фитобиотической кормовой добавки в летних условиях юга России. Эффективное животноводство. 2020;(4(161)):121-123. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43117542>
9. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Chapter 15 – Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
10. Багно О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. И., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2018;53(4):687-697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>
11. Шемуранова Н. А., Гарифуллина Н. А. Растения как основа для создания экологически безопасных высокофункциональных биодобавок для животных (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(5):483-502. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.483-502>
12. Tsiplakou E., Pitino R., Manuelian C. L., Simoni M., Mitsiopoulou C., De Marchi M., Righi F. Plant Feed Additives as Natural Alternatives to the Use of Synthetic Antioxidant Vitamins in Livestock Animal Products Yield, Quality, and Oxidative Status: A Review. Antioxidants (Basel). 2021;10(5):780. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10050780>
13. Artuso-Ponte V., Pastor A., Andratsch M. Chapter 17 – The effects of plant extracts on the immune system of livestock: The isoquinoline alkaloids model. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 295-310. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00017-0>
14. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Chapter 5 – Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro/in vivo mechanisms of action. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
15. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. Archives of Toxicology. 2021;(95):673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>

Reference

1. Kitayova O. V., Uzhik V. F. Domestic trends in the development of dairy cattle breeding in Russia. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* = Moscow journal. 2021;(12):144-155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2413-046X-2021-10720>
2. Gamko L. N., Lemesh E. A., Kubyshekin A. V., Budnikova O. N. The influence of feed quality on the productivity of dairy cows with high genetic potential. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2020;(2(78)):24-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42708996>
3. Mikolaychik I. N., Morozova L. A., Morozov V. A. Increase of genetic potential of high-productive cows by using in energy supplement rations. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2019;(1(180)):21-26. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43117542>
4. Romanenko L. V., Volgin V. I. Specificity of feeding and systems of rations for high productive dairy cows. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2007;42(4):20-28. (In Russ.).
5. Seredin V. A., Shakhmurzov M. M., Kagermazov Ts. B., Kadykoev R. T. Features of feeding highly productive cows during critical periods of reproductive function. *Agrarnaya Rossiya* = Agrarian Russia. 2010;(5):25-32. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23173127>
6. Litvishchenko L. O., Pishchan I. S., Gonchar A. O., Pishchan S. G. Realization of genetic potential productivity of holstein cows of different age on the industrial complex of milk production. *Зернові культури* = Grain Crops. 2018;2(2):360-369. (In Ukraine). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41416247>
7. Danilov M. S., Vorobyov A. L. Phitotherapy for treatment mastitis of cows. *Veterinariya* = Veterinary. 2012;(2):41-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17663502>
8. Korotkiy V. P., Yurina N. A., Yurin D. A., Buryakov N. P., Ryzhov V. A., Marisov S. S. The experience of using a phytobiotic feed additive in the summer conditions of the south of Russia. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020;(4(161)):121-123. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43117542>
9. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Chapter 15 – Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health. Academic Press, 2020. pp. 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
10. Bagnо O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. I., Dyadichkina T. V. Use of phytobiotics in farm animal feeding (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2018;53(4):687-697. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>

11. Shemuranova N. A., Garifullina N. A. Plants as the basis for the development of environmentally friendly highly functional bioadditives for animals (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(5):483-502. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.483-502>
12. Tsiplakou E., Pitino R., Manuelian C. L., Simoni M., Mitsiopolou C., De Marchi M., Righi F. Plant Feed Additives as Natural Alternatives to the Use of Synthetic Antioxidant Vitamins in Livestock Animal Products Yield, Quality, and Oxidative Status: A Review. *Antioxidants* (Basel). 2021;10(5):780. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10050780>
13. Artuso-Ponte V., Pastor A., Andratsch M. Chapter 17 – The effects of plant extracts on the immune system of livestock: The isoquinoline alkaloids model. *Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health*. Academic Press, 2020. pp. 295-310. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00017-0>
14. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Chapter 5 – Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro/in vivo mechanisms of action. *Feed Additives. Aromatic Plants and Herbs in Animal Nutrition and Health*. Academic Press, 2020. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
15. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. *Archives of Toxicology*. 2021;(95):673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>

Сведения об авторах

✉ Шемуранова Наталья Александровна, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией кормления сельскохозяйственных животных, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3501-9348>, e-mail: nashem85@yandex.ru

Гарифуллина Наталья Аркадьевна, младший научный сотрудник лаборатории кормления сельскохозяйственных животных, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1325-4507>

Information about the authors

✉ Natalia A. Shemuranova, PhD in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Feeding Farm Animals, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3501-9348>, e-mail: nashem85@yandex.ru

Natalia A. Garifullina, junior researcher, the Laboratory of Feeding Farm Animals, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1325-4507>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка влияния предубойной голодной выдержки бычков на качественные характеристики мяса

© 2022. А. В. Харламов, А. Н. Фролов , О. А. Завьялов

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», г. Оренбург, Российская Федерация

Целью исследования являлась оценка влияния технологической операции «предубойная голодная выдержка» на качественные характеристики мяса бычков. Исследования выполняли на 2 группах бычков айширской породы 18-месячного возраста, живой массой $435 \pm 3,25$ кг: I ($n = 10$) – убой без голодной выдержки на убойном пункте, II ($n = 10$) – убой с 24-часовой голодной выдержкой на убойном пункте. Общее расстояние от фермы до пункта взвешивания животных и уоя составляло 97 км, время в пути 1 час 43 минуты. Температура окружающей среды на момент транспортировки минус 13-15 °С, влажность воздуха 79 %, скорость ветра 6 м/с. Установлено, что технологическая операция в виде голодной выдержки после транспортировки в течение 24 часов повлияла на качественные показатели длиннейшего мускула спины – увеличилось содержание сухого вещества на 2,45 %, белка – на 2,64 %, олеиновой жирной кислоты – на 2,65 %, концентрация гликогена – на 38,9 %, влагоемкость – на 11,01 % при снижении содержания влаги – на 2,48 %, рН – на 3,5 % миристиновой жирной кислоты на 0,95 %, пальмитолеиновой – на 0,42 %, стеариновой – на 1,35 % по сравнению с группой бычков без голодной выдержки. Таким образом, предубойная 24-часовая голодная выдержка бычков улучшает качественные характеристики мяса по сравнению с животными, убитыми без выдержки.

Ключевые слова: айширская порода, стресс, качество мяса, жирнокислотный состав, гликоген

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (тема № 0761-2019-0006).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харламов А. В., Фролов А. Н., Завьялов О. А. Влияние времени предубойной выдержки бычков на качественные характеристики мяса. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):912-919.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.912-919>

Поступила: 27.10.2022

Принята к публикации: 16.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

Assessment of the effect of pre-slaughter fasting period of young bulls on the qualitative characteristics of meat

© 2022. Anatoly V. Kharlamov, Alexei N. Frolov , Oleg A. Zavyalov

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

The purpose of the study was to evaluate the effect of the technological operation “pre-slaughter fasting period” on the qualitative characteristics of the meat of young bulls. The studies were carried out in two groups of Ayrshire bulls of 18 months of age, with a live weight of 435 ± 3.25 kg: I ($n = 10$) – slaughter without fasting period at the slaughter station, II ($n = 10$) – slaughter with 24-hour fasting period at the slaughter station. The total distance from the farm to the animal weighing and slaughter station was 97 km, and the travel time was 1 hour 43 minutes. The ambient temperature at the time of transportation was minus 13-15 °C, air humidity was 79 %, wind speed was 6 m/s. It has been established that the technological operation in the form of fasting period during 24 hours after transportation affected the qualitative indicators of the longissimus dorsi muscle, namely, there increased: the dry matter content by 2.45 %, protein – by 2.64 %, glycogen concentration – by 38.9 %, moisture capacity – by 11.01 %, oleic fatty acid – by 2.65 % with a decrease in moisture content – by 2.48 %, pH – by 3.5 %, myristic fatty acid by 0.95 %, palmitoleic acid – by 0.42 %, stearic acid – by 1.35 % compared to the group of bulls without fasting period. Thus, pre-slaughter 24-hour fasting period of young bulls improves the qualitative characteristics of meat compared to animals slaughtered without it.

Keywords: Ayrshire breed, stress, meat quality, fatty acid composition, glycogen

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (theme No. 0761-2019-0006).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Kharlamov A. V., Frolov A. N., Zavyalov O. A. Assessment of the effect of pre-slaughter fasting period of young bulls on the qualitative characteristics of meat. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(6):912-919. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.912-919>

Received: 27.10.2022

Accepted for publication: 16.11.2022

Published online: 16.12.2022

Обеспечение населения качественными, экологически безопасными продуктами питания является стратегической задачей агропромышленного комплекса страны. Без понимания биохимических явлений: метаболических, протеолитических, апоптотических и окислительных процессов, происходящих в период транспортировки и созревания мяса, невозможно добиться качественной мясной продукции [1, 2, 3, 4].

Предубойные манипуляции со скотом, включающие погрузку, разгрузку, транспортировку, выдержку на убойном пункте, нахождение в незнакомой обстановке и другие, неизбежно приводят животных в стрессовое состояние [5, 6].

Уровень стрессовой нагрузки на животное зависит от характера, интенсивности и продолжительности негативных раздражителей в сочетании с восприимчивостью самих животных [7, 8]. В конечном итоге это приводит к снижению качественных характеристик мяса: нежности, цветности, рН и других [9, 10, 11]. Пренебрежение такими факторами, как сезон года, время предубойной выдержки приводят к порокам мясной продукции, характеризующимся, в первую очередь, высоким рН (> 5,8) после 24-часового созревания за счет истощения запасов гликогена в мышечной ткани во время стрессовых нагрузок [12].

В связи с этим исследования, направленные на поиск решений улучшения качественных характеристик мяса, за счет определения оптимального срока предубойного содержания, являются актуальными и представляют большую практическую значимость.

Цель исследования – оценка влияния технологической операции «24-часовая предубойная голодная выдержка» на качественные характеристики мяса бычков айширской породы.

Научная новизна исследования состоит в том, что впервые изучены качественные характеристики, включая жирнокислотный и минеральный состав мяса и печени крупного рогатого скота, в зависимости от технологической операции «предубойная голодная выдержка».

Материал и методы. Объект исследования – бычки, айширская порода, туша, длиннейшая мышца спины, печень.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и

рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных»¹), протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009²). Все процедуры над животными выполняли в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Схема эксперимента. Оценка влияния технологических факторов (погрузка животных на скотовоз, транспортировка до пункта взвешивания скота, разгрузка, взвешивание, погрузка, транспортировка до убойного пункта) и время предубойной выдержки бычков на качественные характеристики мяса проведена в условиях ЗАО «Птицефабрика Оренбургская». Для этого было сформировано 2 группы 18-месячных бычков айширской породы, живой массой 435±3,25 кг: I (n = 10) – убой без голодной выдержки на убойном пункте; II (n = 10) – убой с голодной выдержкой в течение 24 часов на убойном пункте. Общее расстояние от фермы до взвешивания животных и убойного пункта составило 97 км, время в пути 1 час 43 минуты. Температура окружающей среды на момент транспортировки минус 13-15 °С, влажность воздуха 79 %, скорость ветра 6 м/с.

Для определения химического состава и качественных показателей длиннейшей мышцы спины от каждой левой полутуши после 24 часов охлаждения брали среднюю пробу массой 250 г на уровне 9-11 ребра. Оцениваемые показатели в образцах длиннейшей мышцы спины: влага, сухое вещество, белок, жир, зола, рН, триптофан и оксипролин, влагоемкость, белковый качественный показатель, гликоген, цветность, микроэлементы – Zn, Mn, Fe, Cu, Cd, Pb, жирнокислотный состав.

Печень отбирали от каждого животного сразу после убоя, весом не менее 150 грамм с одного и того же топографического места левой доли, в дальнейшем освобождая от соединительной ткани и кровеносных сосудов. Оцениваемые показатели в образцах печени: сухое вещество, влага, жир, зола, белок, микроэлементы – Zn, Mn, Fe, Cu, Cd, Pb, жирнокислотный состав.

¹Приказ Минздрава СССР от 12.08.1977 №755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» [Электронный ресурс].

URL: http://primatologia.ru/images/NII/GLP/3_2_prikaz_minzdrawa_o_merah_zhiwotnyh.pdf (дата обращения: 01.11.2022).

²Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075972> (дата обращения: 01.11.2022).

Величину рН определяли с помощью рН-метра. Количество гликогена определяли путем гидролиза белков щелочью, выделения гликогена из раствора этанолом, промывания гликогена и его растворения, реакции с антроном (развитие окраски) и измерения интенсивности окраски с помощью фотоэлектрочелюметра.

Определение качественных характеристик длинной мышцы спины и печени проводили в ЦКП БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>) с помощью следующего оборудования: весы лабораторные SE224-C; весы электронные Pioneer PA413; спектрометр атомно-абсорбционный КВАНТ-2АТ; хроматограф газовый «Кристалл 2000М».

Все статистические анализы выполнены с использованием программ Microsoft Excel 2016 (формирование базы данных) и Statistica 10.0.

(обработка данных). Нормальность распределения данных проверяли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Закон распределения исследуемых числовых показателей не отличался от нормального, поэтому достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (P), критический уровень значимости принимался $\leq 0,05$. Во всех приведенных таблицах показаны средние значения (M) и их стандартные отклонения (\pm STD).

Результаты и их обсуждение. Для объективной оценки качества мяса, полученного от бычков с различным временем предубойной голодной выдержки, нами изучен химический состав и качественные характеристики длинной мышцы спины (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние предубойной голодной выдержки на химический состав и качественные характеристики длинной мышцы спины бычков /

Table 1 – The effect of pre-slaughter fasting period on chemical composition and qualitative characteristics of longissimus dorsi muscle of young bulls

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	I	II
Сухое вещество, % / Dry matter, %	21,01 \pm 0,40	23,46 \pm 0,57***
Влага, % / Moisture, %	78,99 \pm 0,40	76,51 \pm 0,57***
Жир, % / Fat, %	1,14 \pm 0,14	0,98 \pm 0,18
Белок, % / Protein, %	18,88 \pm 0,70	21,52 \pm 0,34***
Зола, % / Ash, %	0,99 \pm 0,00	0,99 \pm 0,00
рН	5,78 \pm 0,09	5,58 \pm 0,03**
Гликоген, мг% / Glycogen, mg%	129,11 \pm 19,29	179,35 \pm 21,34*
Цветность, Ед. эксц / Chromaticity, Exc.	195,00 \pm 19,15	173,75 \pm 23,58
Влагоемкость, % / Moisture capacity, %	55,88 \pm 4,54	66,89 \pm 4,65*
Микроэлементы, мг/кг / Trace elements, mg/kg		
Zn	118,53 \pm 10,93	130,83 \pm 12,52
Mn	0,09 \pm 0,03	0,16 \pm 0,09
Fe	18,36 \pm 1,06	36,08 \pm 26,63
Cu	2,32 \pm 0,90	1,33 \pm 0,32
Cd	0,06 \pm 0,03	0,03 \pm 0,03
Pb	0,03 \pm 0,05	0,04 \pm 0,12

* P \leq 0,05, **P \leq 0,001 по сравнению с первой группой / * P \leq 0,05, **P \leq 0.001 compared to group I

Технологическая операция в виде голодной выдержки после транспортировки в течение 24 часов на убойном пункте позволила повысить в данном биосубстрате содержание сухого вещества на 2,45 % (P \leq 0,001), белка – на 2,64 % (P \leq 0,001), концентрацию гликогена – на 38,9 % (P \leq 0,05); влагоемкость

– на 11,01 % (P \leq 0,05) при снижении содержания влаги – на 2,48 %, рН – на 3,5 % по сравнению с группой без голодной выдержки. Изменения остальных показателей были не столь существенными и не имели статистически значимых различий между сравниваемыми группами.

В рамках оценки влияния голодной выдержки на жирнокислотный состав длин-

нейшего мускула спины, нами проведена оценка изменений основных жирных кислот (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние предубойной голодной выдержки на жирнокислотный состав длиннейшей мышцы спины бычков, % к сумме жирных кислот /

Table 2 – The effect of pre-slaughter fasting period on fatty acid composition of longissimus dorsi muscle of young bulls, % to the sum of fatty acids

<i>Жирная кислота / Fatty acid</i>	<i>Группа / Group</i>	
	<i>I</i>	<i>II</i>
Миристиновая (C14:0) / Myristic (C14:0)	2,98±0,17	2,03±0,13**
Пальмитиновая (C16:0) / Palmitic (C16:0)	26,48±0,22	26,15±1,05
Пальмитолеиновая (C16:1) / Palmitoleic (C16:1)	3,48±0,29	3,05±0,17*
Стеариновая (C18:0) / Stearic (C18:0)	22,65±0,40	21,30±0,14**
Олеиновая (C18:1) / Oleic (C18:1)	40,83±0,19	43,48±0,47**
Линолевая (C18:2) / Linoleic (C18:2)	3,60±0,08	3,50±0,18

* P≤0,05, **P≤0,001 по сравнению с первой группой / * P≤0.05, **P≤0.001 compared to group I

В длиннейшем мускуле спины бычков I группы больше содержалось жирных кислот: миристиновой на 0,95 % (P≤0,001), пальмитолеиновой – на 0,42 % (P≤0,05), стеариновой – на 1,35 % (P≤0,001) при меньшем содержании олеиновой – на 2,65 % (P≤0,001) по сравнению со II группой.

Для оценки качества белка в длиннейшем мускуле спины нами определено содержание заменимой аминокислоты – оксипролина и незаменимой – триптофана, на основании этих данных вычислен белково-качественный показатель (БКП) (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние предубойной голодной выдержки на биологическую ценность белка в длиннейшей мышце спины бычков /

Table 3 – The effect of pre-slaughter fasting period on biological value of protein in the of longissimus dorsi muscle of young bulls

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>Группа / Group</i>	
	<i>I</i>	<i>II</i>
Триптофан, мг/% / Tryptophan, mg/%	342,16±6,78	361,53±9,77
Оксипролин, мг/% / Oxypoline, mg/%	46,03±1,14	45,08±1,31
БКП / Protein quality indicator	7,43	8,02

Анализ полученных данных показал, что время предубойной выдержки не оказывает существенного влияния на концентрацию оксипролина и триптофана, а также вычисленный на их основании белково-качественный показатель. При этом можно отметить тенденцию к улучшению соотношения аминокислот за счет технологической операции – 24-часовой голодной выдержки.

В связи с тем, что печень является важным центром для многочисленных физиологических процессов, включая метаболизм липидов, аминокислот, детоксикацию и иммунную

защиту [13], нами проведены исследования по изучению ее химического состава и качественных характеристик (табл. 4).

Как видно из полученных данных, 24-часовая голодная выдержка на убойном пункте не оказала заметного влияния на характеристики печени, исключением являлось только содержание меди, которое снизилось по сравнению с группой бычков, убитых без выдержки на 34,65 %.

В связи с тем, что в печени происходит метаболизм жирных кислот нами изучен ее жирнокислотный состав (табл. 5).

Таблица 4 – Влияние предубойной голодной выдержки на химический состав и качественные характеристики печени бычков /

Table 4 – The effect of pre-slaughter fasting period on chemical composition and qualitative characteristics of the liver of young bulls

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	I	II
Сухое вещество, % / Dry matter, %	25,69±0,92	25,42±0,47
Влага, % / Moisture, %	74,31±0,92	74,58±0,47
Жир, % / Fat, %	1,76±0,11	1,84±0,23
Зола, % / Ash, %	1,06±0,00	1,04±0,00
Белок, % / Protein, %	22,87±1,04	22,54±0,25
Микроэлементы, мг/кг / Trace elements, mg/kg		
Zn	129,10±19,51	133,23±19,12
Mn	2,54±0,13	2,78±0,16
Fe	134,30±8,96	157,13±41,18
Cu	156,65±29,45	102,37±46,25*
Cd	0,14±0,013	0,12±0,015
Pb	0,18±0,13	0,38±0,13

* P≤0,05 по сравнению с I группой / * P≤0.05 compared to group I

Таблица 5 – Влияние предубойной голодной выдержки на жирнокислотный состав печени бычков, % к сумме жирных кислот /

Table 5 – The effect of pre-slaughter fasting period on fatty acid composition of liver of young bulls, % to the sum of fatty acids

Жирная кислота / Fatty acid	Группа / Group	
	I	II
Миристиновая (C14:0) / Myristic (C14:0)	1,08±0,21	1,18±0,13
Пальмитиновая (C16:0) / Palmitic (C16:0)	15,98±0,88	17,80±1,09*
Пальмитолеиновая (C16:1) / Palmitoleic (C16:1)	2,90±0,83	1,23±0,19**
Стеариновая (C18:0) / Stearic (C18:0)	37,60±0,48	37,30±1,89
Олеиновая (C18:1) / Oleic (C18:1)	27,55±1,14	26,65±2,20
Линолевая (C18:2) / Linoleic (C18:2)	15,50±1,86	15,50±1,49

* P≤0,05; ** P≤0,01 по сравнению с I группой / * P≤0.05; ** P≤0.01 compared to group I

В печени бычков I группы больше содержалось жирных кислот пальмитолеиновой на 1,68 %, пальмитиновой меньше – на 1,83 % по сравнению с показателями II группы.

Транспортировка и обращение с животными во время взвешивания, погрузки и разгрузки приводят к стрессовым нагрузкам на организм. Прежде всего это связано с физическим и психологическим стрессами: лишение пищи; усталость из-за транспортировки; применение специального оборудования; смешивание групп; предубойное содержание; незнакомая обстановка и другие вызывает поведенческие и физиологические изменения, которые

оказывают влияние на качественные характеристики мяса [14, 15, 16].

Имеющиеся данные по влиянию времени предубойного содержания на благополучие животных и качество мяса противоречивы и зависят от производственных систем и общего контекста цепочки производства мяса. Так, ряд авторов утверждают о положительном влиянии времени предубойного содержания [17, 18, 19], по их мнению, это позволяет крупному рогатому скоту пополнить концентрацию мышечного гликогена, уменьшить обезвоживание тканей тела и потерю веса туши, а также отдохнуть и восстановиться после транспортировки.

Другая часть авторов считает, что среда предубойного содержания сама по себе может подавлять способность крупного рогатого скота отдыхать или восстанавливаться после последствий ограничения корма и воды, и по этой причине поступивших животных на убойный пункт следует забивать сразу после их приемки на мясоперерабатывающем предприятии [20, 21, 22]. Такие противоречия возникают из-за различной подготовки животных к убою на ферме, погодных условий, расстояния и времени транспортировки, породных особенностей и темперамента [17].

В связи с этим нами проведена оценка влияния температурных факторов и времени предубойной выдержки на количественные и качественные характеристики мяса.

Предубойная 24-часовая голодная выдержка на убойном предприятии позволила увеличить в длиннейшей мышце спины процент сухого вещества на 2,45 %, за счет повышения содержания белка на 2,64 % по сравнению бычками без голодной выдержки, прежде всего это объяснимо снижением потребления воды и выводом ее из тканей и органов [23].

Аденозинтрифосфат (АТФ) является непосредственным источником энергии для процессов, происходящих в мышечных волокнах. Центральным результатом внутриклеточного энергетического метаболизма в мышцах является поддержание клеточной концентрации АТФ. После смерти животного производство АТФ продолжается посредством преобразования гликогена [24].

В нормальном процессе посмертного биохимического обмена после убоя продолжают биохимические реакции, но поскольку кровь уже не циркулирует, глюкоза и кислород не доставляются к мышце. В результате гликоген, хранящийся локально в мышцах, используется в качестве источника энергии и катаболизи-

руется анаэробно [25]. В связи с этим концентрация гликогена является важным показателем оценки качества говядины. Наши исследования показали, что технологическая операция, заключающаяся в 24-часовой предубойной выдержке в зимний период, позволяет увеличить концентрацию гликогена в мышечной ткани на 38,9 %, которая составила 179,35 мг% после 24 часов после убоя животных.

Еще одним важным показателем качества мяса является величина рН. На степень снижения рН влияет концентрация мышечного гликогена перед убоем. А поскольку повышенная физическая активность и психологический стресс за день или несколько часов до убоя требуют энергии и могут привести к истощению запасов гликогена в мышцах, что неминуемо приведет к высокому рН и, в конечном итоге, порокам мяса DFD ((Dark, Firm, Dry) темный, твердый и сухой) [26].

В наших исследованиях после 24 часов после убоя в опытных группах рН составил 5,58-5,78, что ниже рекомендуемых 5,8 [27, 28], отвечающих требованиям ГОСТ Р 55445-2013³, с более низким показателем у бычков после 24-часовой предубойной выдержки.

Заключение. Мясо, полученное от опытных животных, убитых в зимний период времени, при транспортировке на расстояние 97 км соответствует требованиям ГОСТ Р 55445-2013. Применение технологической операции в виде 24-часовой голодной выдержки при убое животных улучшает качественные характеристики мяса, а именно способствует повышению в длиннейшем мускуле спины содержание сухого вещества на 2,45 %, белка – на 2,64 %, гликогена – на 38,9 %, олеиновой жирной кислоты – на 2,65 %, влагоемкости – на 11,01 % при снижении содержания влаги – на 2,48 %, рН – на 3,5 по сравнению с животными, убитыми без выдержки.

References

1. Ажмулдинов Е. А., Харламов А. В., Кизаев М. А., Титов М. Г. Влияние транспортировки и сезона убоя на качество мяса животных (обзор). Животноводство и кормопроизводство. 2021;104(2):33-45.

DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-2-33>

Azhmudinov E. A., Kharlamov A. V., Kizaev M. A., Titov M. G. The impact of transportation and the slaughter season on beef quality (review). *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(2):33-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-2-33>

2. Казова А. М., Казова З. М. Агропромышленный комплекс и его роль в обеспечении национальной продовольственной безопасности. Обеспечение устойчивого и биобезопасного развития АПК: Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция. Нальчик: ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, 2022. С. 399-402.

³ГОСТ Р 55445-2013 Мясо говядины высококачественная. М.: Стандартиформ, 2013. 15 с.

URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293777/4293777686.pdf>

Kazova A. M., Kazova Z. M. Agro-industrial complex and its role in ensuring national food security. Ensuring sustainable and biosafety development of agro-industrial complex: All-Russian (National) scientific and practical Conference. Nal'chik: *FGBOU VO Kabardino-Balkarskiy GAU*, 2022. pp. 399-402.

3. Кудряшов Л. С., Кудряшова О. А. Влияние предубойного содержания крупного рогатого скота на качество мяса. *Мясная индустрия*. 2021;(2):14-16. DOI: <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-02-14-16>

Kudryashov L. S., Kudryashova O. A. An effect of pre-slaughter keeping of cattle on meat quality. *Myasnaya industriya* = Meat Industry Journal. 2021;(2):14-16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-02-14-16>

4. Ouali A., Gagaoua M., Boudida Y., Becila S., Boudjellal A., Herrera-Mendez C. H., Sentandreu M. A. Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. *Meat Science*. 2013;95(4):854-870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.010>

5. Chulayo A. Y., Tada O., Muchenje V. Research on pre-slaughter stress and meat quality: a review of challenges faced under practical conditions. *Applied Animal Husbandry & Rural Developmen*. 2012;5:1-6. URL: <https://www.sasas.co.za/wp-content/uploads/2013/02/ChulayoAAHRD2013.pdf>

6. Gallo C., Schwartzkopf-Genswein K., Gibson T. Chapter 2: Cattle. *Preslaughter handling and slaughter of meat animals*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, 2022. pp. 63-116. DOI: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-924-4_2

7. Dalla Villa P., Marahrens M., Velarde Calvo A., Di Nardo A., Kleinschmidt N., Fuentes Alvarez C., Truar A., Di Fede E., Otero J. L., Müller-Graf C. Project to develop Animal welfare Risk Assessment Guidelines on Transport. Italy and World Organisation for Animal Health, Paris, France IZSAM G. Caporale Collaborating Centre for Veterinary Training, Epidemiology, Food Safety and Animal Welfare, TeramoInternet, 2009. Vol. 6. Iss. 9. 143 p. URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/en-21>

8. Terlouw C., Bourguet C. Chapter 1: Quantifying animal welfare preslaughter using behavioural, physiological and carcass and meat quality measures. *Preslaughter handling and slaughter of meat animals*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands. 2022. pp. 13-61. DOI: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-924-4_1

9. Ferguson D. M., Warner R. D. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*. 2008;80(1):12-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.004>

10. Warner R. D., Ferguson D. M., Cottrell J. J., Knee B. W. Acute stress induced by the preslaughter use of electric prodders causes tougher beef meat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 2007;47(7):782-788. DOI: <https://doi.org/10.1071/EA05155>

11. Hambrecht E., Eissen J. J., Versteegen M. W. Effect of processing plant on pork quality. *Meat Science*. 2003;64(2):125-131. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00166-3](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00166-3)

12. Warren L. A., Mandell I. B., Bateman K. G. Road transport conditions of slaughter cattle: effects on the prevalence of dark, firm and dry beef. *Canadian Journal of Animal Science*. 2010;90(4):471-482. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjas09091>

13. Bionaz M., Loor J. J. Ruminant metabolic systems biology: reconstruction and integration of transcriptome dynamics underlying functional responses of tissues to nutrition and physiological state. *Gene Regulation and Systems Biology*. 2012;6:109-125. DOI: <https://doi.org/10.4137/GRSB.S9852>

14. Terlouw E. M. C., Picard B., Deiss V., Berri C., Hocquette J. F., Lebret B., Lefèvre F., Hamill R., Gagaoua M. Understanding the Determination of Meat Quality Using Biochemical Characteristics of the Muscle: Stress at Slaughter and Other Missing Keys. *Foods*. 2021;10(1):84. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10010084>

15. Warriss P. D., Brown S. N., Knowles T. G., Kestin S. C., Edwards J. E., Dolan S. K., Phillips A. J. Effects on cattle of transport by road for up to 15 hours. *VetRecord*. 1995;136(13):319-323. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7604507/>

16. Del Campo Gigena M., Soares de Lima J. M., Brito G., Manteca X., Hernández P., Montossi F. Effect of Finishing Diet and Lairage Time on Steers Welfare in Uruguay. *Animals (Basel)*. 2021;11(5):1329. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11051329>

17. Costa F. O., Brito G., Soares de Lima J. M., Sant'Anna A. C., Paranhos da Costa M. J. R., del Campo M. Lairage time effect on meat quality in Hereford steers in rangeland conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2019;48:e20180020. DOI: <https://doi.org/10.1590/rbz4820180020>

18. Chulayo A. Y., Muchenje V. Activities of some stress enzymes as indicators of slaughter cattle welfare and their relationship with physico-chemical characteristics of beef. *Animal*. 2017;11(9):1645-1652. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731117000222>

19. Li X., Xia A. Q., Chen L. J., Du M. T., Chen L., Kang N., Zhang D. Q. Effects of lairage after transport on post mortem muscle glycolysis, protein phosphorylation and lamb meat quality. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018;17(10):2336-2344. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61922-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61922-7)

20. Gallo C., Lizondo G., Knowles T. G. Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *VetRecord*. 2003;152(12):361-364. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.152.12.361>

21. Loredo-Osti J., Sánchez-López E., Barreras-Serrano A., Figueroa-Saavedra F., Pérez-Linares C., Ruiz-Albarrán M., Domínguez-Muñoz M. A. An evaluation of environmental, intrinsic and pre- and post-slaughter risk factors associated to dark-cutting beef in a Federal Inspected Type slaughter plant. *Meat Science*. 2019;150:85-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.007>
22. Hultgren J., Segerkvist K. A., Berg Ch., Karlsson A. H., Öhgren C., Algers B. Preslaughter stress and beef quality in relation to slaughter transport of cattle. *Livestock Science*. 2022;264:105073. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105073>
23. Clariget J., Bancho G., Luzardo S., Fernández E., Pérez E., La Manna A., Saravia A., Del Campo M., Ferrés A., Canozzi M. E. A. Effect of pre-slaughter fasting duration on physiology, carcass and meat quality in beef cattle finished on pastures or feedlot. *Research in Veterinary Science*. 2021;136:158-165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.02.018>
24. Kuffi K. D., Lescouhier S., Nicolai B. M., De Smet S., Geeraerd A., Verboven P. Modelling postmortem evolution of pH in beef M. biceps femoris under two different cooling regimes. *Journal of Food Science and Technology*. 2018;55(1):233-243. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2925-9>
25. Robergs R. A., Ghiasvand F., Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2004;287(3):R502-R516. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>
26. Offer G. Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*. 1991;30(2):157-184. DOI: [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(91\)90005-B](https://doi.org/10.1016/0309-1740(91)90005-B)
27. Del Campo Gigena M., Soares de Lima J. M., Brito G., Manteca X., Hernández P., Montossi F. Effect of Finishing Diet and Lairage Time on Steers Welfare in Uruguay. *Animals (Basel)*. 2021;11(5):1329. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11051329>
28. Immonen K., Kauffman R.G., Schaefer D. M., Puolanne E. Glycogen concentrations in bovine longissimus dorsi muscle. *Meat Science*. 2000;54(2):163-167. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00090-x](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00090-x)

Сведения об авторах

Харламов Анатолий Васильевич, доктор с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

✉ **Фролов Алексей Николаевич**, доктор биол. наук, зав. отделом технологии мясного скотоводства и производства говядины, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>, e-mail: forleh@mail.ru

Завьялов Олег Александрович, доктор биол. наук ведущий научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

Information about the authors

Anatoly V. Kharlamov, DSc in Agricultural Science, professor, chief researcher, the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

✉ **Alexei N. Frolov**, DSc in Biological Science, Head of the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>, e-mail: forleh@mail.ru

Oleg A. Zavyalov, DSc in Biological Science, leading researcher, the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Журнал «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».
Итоги уходящего года

В шести выпусках научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» (учредитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) за 2022 год опубликовано 88 научных статей, из них 74 % составили статьи ученых сторонних организаций. Публикации преимущественно распределились по рубрикам «Растениеводство» (36,4 %), «Обзорные статьи» (11,4 %), «Механизация, электрификация, автоматизация» (10,2 %), «Зоотехния» (10,2 %).

В журнале введено двойное «слепое рецензирование» рукописей и расширен круг внешних рецензентов. В банк рецензентов включены ведущие ученые из более чем 50 научных учреждений и 30 университетов. В 2022 году внутренние рецензенты из организации-учредителя составили 15 %, внешние – 85 %, в том числе 5 % зарубежных экспертов.

Непрерывным условием комплексного освещения проблем АПК северных территорий является привлечение новых авторов из российских и зарубежных научных учреждений, выполняющих приоритетные исследования, в том числе на основе междисциплинарных знаний. Количество просмотров на сайте журнала подтверждает интерес читателей к обзорным аналитическим статьям этого года: Беспалова Т. Ю. Распространение и генотипическое разнообразие штаммов *Listeria monocytogenes*, выделенных от людей и жвачных животных с общими клинико-патологическими фенотипами (нейролистериозы и аборт) (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(2):145-158. <https://doi.org/10.30766/2072-9081>. 2022.23.2.145-158; Кузнецов В. М. Информационно-энтропийный подход к анализу генетического разнообразия популяций (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(2):159-173. <https://doi.org/10.30766/2072-9081>. 2022.23.2.159-173; Бурова О. А., Захарова О. И., Торопова Н. Н., Лискова Е. А., Яшин И. В., Блохин А. А. Болезнь Шмалленберг: обзор литературы и эпизоотическая ситуация в мире и России. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(1):7-15. <https://doi.org/10.30766/2072-9081>. 2022.23.1.7-15.

Возрастает востребованность публикаций новой рубрики журнала «Сельскохозяйственная микробиология и микология», например, совместная работа ученых ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Сколковского института науки и технологий и Научно-технологического университета «Сириус» (Широких И. Г., Назарова Я. И., Бакулина А. В., Остерман И. А., Белик А. Р., Буюклян Ю. А., Боков Н. А., Широких А. А. Актинобиота корней *Rhaphanistrum carthamoides* (Willd.) Pjin как потенциальный источник микробиологических препаратов для растениеводства. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(4):515-526. <https://doi.org/10.30766/2072-9081>. 2022.23.4.515-526).

В текущем году журналу «Аграрная наука Евро-Северо-Востока», размещенному на платформе Elpub, присвоен знак отличия **DOAJ Seal**. Таким образом, DOAJ (международный мультидисциплинарный каталог журналов открытого доступа) дополнительно подчеркивает, что наш журнал соответствует принятым издательским стандартам и прилагает усилия для обеспечения прозрачности и воспроизводимости результатов исследований. Дополнительно журнал включен в 4 международных базы данных, в том числе китайскую базу научной информации CNKI (China National Knowledge Infrastructure).

В 2022 году обновлены рейтинговые показатели российских журналов. По данным от 23.11.2022 в общем рейтинге SCIENCE INDEX за 2021 год (3567 изданий РИНЦ) журнал «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» занял **64-е место, по тематике «Сельское и лесное хозяйство» (194 издания) – 3-е место** (после журналов «Сельскохозяйственная биология» и «Земледелие»).

В академическом рейтинге научных журналов базы Russian Science Citation Index (RSCI) от 01.11.2022 г. издание «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» в тематической группе OECD 04.01.00 Agriculture, forestry, fisheries отнесено к 1 квартилю наиболее авторитетных и востребованных журналов по сельскому и лесному хозяйству.

Журнал «Аграрная наука Северо-Востока» включен Межведомственной рабочей группой Минобрнауки России в перечень авторитетных научных изданий («Белый список»), который планируется использовать для оценки результативности научных организаций по формальным критериям.

Редакция журнала в установленные сроки представила в Высшую аттестационную комиссию при Минобрнауки России необходимые материалы для перерегистрации научных специальностей, по которым журнал входит в Перечень научных изданий ВАК.

*Благодарим авторов и читателей за выбор нашего издания для публикации,
учредителя журнала, редакционную коллегию и совет – за вклад в его развитие.
И пусть достижения уходящего года станут стимулом дальнейшей увлекательной работы
по созданию единого пространства научной коммуникации в соответствии с миссией
и целями журнала Аграрная наука «Евро-Северо-Востока»!*

