

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. Семенова¹✉, 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

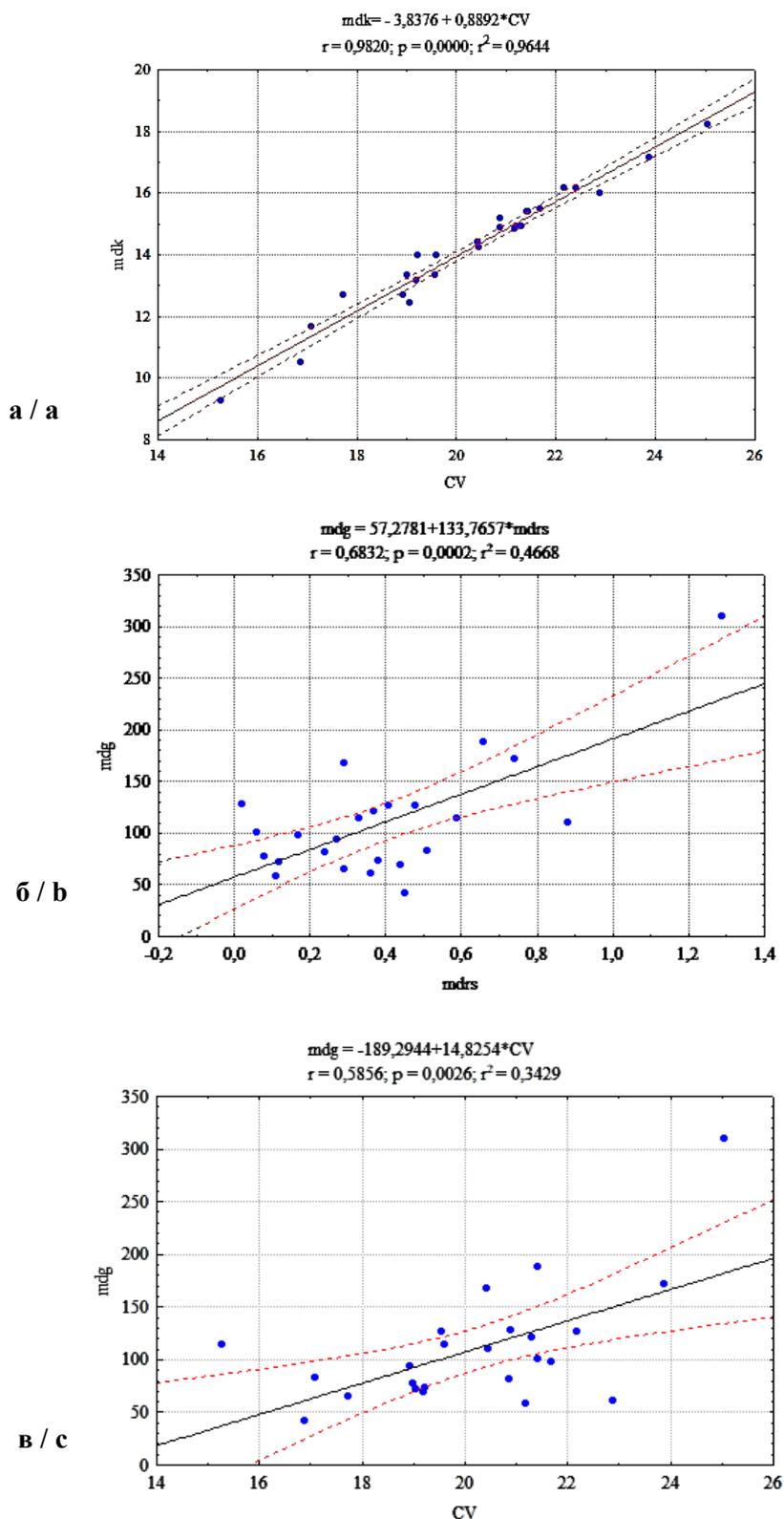


Рис. 1. Графики корреляционной зависимости между: а) массовыми долями СВ (CV, %) и крахмала (mdk, %); б) массовыми долями редуцирующих сахаров (mdrs, % сырой массы) и гликоалкалоидов (mdg, мг/кг); в) массовыми долями СВ (CV, %) и гликоалкалоидов (mdg, мг/кг) в картофеле /

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].

$$\text{mdGl} = 1,5055 - 0,3921 * x + 0,3871 * y + 0,0279 * x * x - 0,0529 * x * y + 0,024 * y * y$$

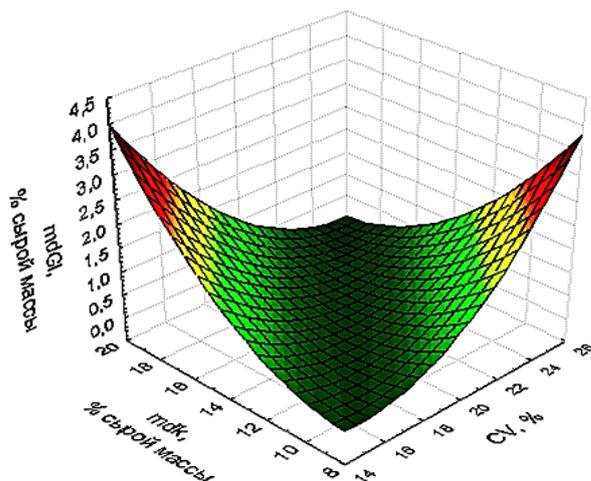


Рис. 2. Зависимость массовой доли глюкозы (mdGl, %) от содержания СВ (CV, %) и крахмала (mdk, %) в сыром картофеле /

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