



Метод ISSR-маркирования в исследовании генетического разнообразия сортов льна

© 2023. Т. А. Базанов , И. В. Ушаповский, Н. Н. Логинова, Е. В. Смирнова, П. Д. Михайлова
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

Генетическое разнообразие сортов сельскохозяйственных культур необходимо оценивать с привлечением современных молекулярных маркеров. Одним из наиболее перспективных и простых методов генетического анализа растений является межмикросателлитное маркирование (ISSR). Целью данного исследования является изучение полиморфизма сортов прядильного и масличного льна, включенных в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации, а также стародавних кряжевых форм льна-долгунца с использованием ISSR-маркеров. Объектом исследования служили 83 образца из коллекции Федерального научного центра лубяных культур, из них 24 сорта льна масличного, 56 сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции и три кряжевые формы из Центрального Нечерноземья. Генетический анализ проводили методом ПЦП с использованием набора из 25 ISSR-праймеров, детекцию продуктов амплификации – с помощью электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле. Основываясь на внутривидовом разделении льна на масличные и прядильные формы, кластерный анализ по результатам ISSR-маркирования был проведен не в объединенной совокупности образцов, а независимо в каждой из двух групп, что позволяет повысить надежность выводов о существующих зависимостях. Дендрограммы генетического подобия исследованных образцов масличного и прядильного льнов рассматривались отдельно друг от друга. В результате проведенного анализа выявлено, что сорта масличного льна разделены на пять кластеров. Установлены зависимости, связанные с их происхождением (оригинатором сорта) и содержанием масла в семени. Дендрограмма сортов льна-долгунца и его кряжевых форм выявила три основные неравномерные по составу группы, включающие 12 подкластеров. Практически каждая группа имеет свою характерную особенность, не связанную с географией происхождения. Группировка сортов произошла, преимущественно, на основании различных их характеристик по содержанию льноволокна, срокам созревания и устойчивости к стрессовым факторам среды. Результаты исследования показали на целесообразность использования ISSR-маркеров в качестве адекватного и доступного метода для разработки элементов маркер-ассоциативной селекции лубяных культур.

Ключевые слова: лен, молекулярные маркеры, ISSR, ПЦП, генетический полиморфизм, селекция

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № 0477-2019-0023).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Базанов Т. А., Ушаповский И. В., Логинова Н. Н., Смирнова Е. В., Михайлова П. Д. Метод ISSR-маркирования в исследовании генетического разнообразия сортов льна. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2023;24(5):767-776. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.767-776>

Поступила: 24.04.2023

Принята к публикации: 19.09.2023

Опубликована онлайн: 30.10.2023

Method of ISSR-marking in the study of genetic diversity of flax varieties

© 2023. Taras A. Bazanov , Igor V. Ushapovsky, Natalya N. Loginova, Ekaterina V. Smirnova, Polina D. Mikhaylova
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The genetic diversity of crop varieties should be assessed using modern molecular markers. One of the most promising and simple methods of plant genetic analysis is intermicrosatellite labeling (ISSR). The purpose of this research is to study the polymorphism of varieties of fiber flax and linseed flax included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation, as well as local forms of fiber flax using ISSR markers. The objects for the research were 83 samples from the collection of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops, among them 24 varieties of linseed flax, 56 varieties of fiber flax of domestic and foreign breeding, and three local forms from the Central Non-Black Earth Region. Genetic analysis was carried out by PCR method using a set of 25 ISSR primers. Detection of amplification products was carried out using electrophoresis in 1.5% agarose gel. Based on intraspecific selection of flax varieties to oilseed and fiber forms, a cluster analysis was performed according to the results of ISSR labeling independently in each of two groups that allowed to increase the reliability of conclusions on the existing dependences. Dendrograms of the genetic similarity of the studied samples of linseed flax and fiber flax were studied independently from each other. As a result of the analysis, linseed flax varieties were divided into five clusters, which made it possible to establish dependencies related to their origin (originator of the variety) and oil content in the seed. The dendrogram which included varieties of fiber flax and its local forms, revealed twelve subclusters forming three uneven groups. Almost every group had its own characteristic feature, not related to the geography of origin. The grouping of varieties occurred mainly on the basis of their various characteristics in terms of flax fiber content, ripening time and resistance

to environmental stress factors. The results of the research show the applicability of using the ISSR-markers as a valid and accessible method for developing the elements of marker-associative breeding of bast fiber crops.

Keywords: flax, molecular markers, ISSR, PCR, genetic polymorphism, breeding

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 Research Center for Bast Fiber Crops (topic № 0477-2019-0023).

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 citation: Bazanov T. A., Uschapovsky I. V., Loginova N. N., Smirnova E. V., Mikhaylova P. D. Method of ISSR-marking in the study of genetic diversity of flax varieties. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(5):767-776. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.767-776>

Received: 24.04.2023

Accepted for publication: 19.09.2023

Published online: 30.10.2023

Лен – традиционно входящая в структуру посевов Российской Федерации культура, которая в зависимости от ботанической формы и хозяйственного назначения классифицируется как прядильный или масличный лен. В последнее десятилетие в России площадь возделывания льна-долгунца составляет порядка 50 тыс. га, масличного льна – более 1 млн га. Лен нашел применение в самых разных сферах народного хозяйства – получение льноволокна для текстильной, медицинской и химической промышленности, производство композитных материалов нового поколения, получение масла из семян масличного льна, которое в зависимости от своего состава применяется в фармацевтической, пищевой и химической промышленности [1].

В настоящее время селекция льна-долгунца в основном направлена на улучшение прядильных свойств льноволокна, что является определяющим фактором в конкурентоспособности данной культуры [2]. Приоритетным направлением в селекции льна масличного является создание сортов, обладающих высокими пищевыми и технологическими качествами масла и его высокой долей в семенах [3].

Необходимым условием при создании новых устойчивых и высокопроизводительных сортов льна является наличие генетического разнообразия исходного материала [4]. Большая часть современных сортов льна получена с помощью традиционных методов селекции, основанных на оценке морфологических признаков растений [5]. Лен характеризуется слабыми межсортовыми различиями, поэтому для селекции новых конкурентоспособных сортов, а также для изучения его генетических особенностей необходимо использование высокоразрешающих молекулярно-генетических методов.

Применение в селекции молекулярных ДНК-маркеров позволяет получить информацию о величине генетического полиморфизма и разрабатывать программы селекционного улучшения важных хозяйственно ценных признаков различных культур. С помощью

молекулярно-генетического маркирования можно оценивать генетически детерминированные особенности сортообразцов, сравнивать их между собой, контролировать направление и сокращать сроки селекционного процесса, отбирать родительские формы для дальнейшей селекции, а также гетерозиготные формы, обладающие необходимой комбинацией признаков [6]. Изучение сортов с привлечением ДНК-маркеров является эффективным средством пребридинговой работы по повышению урожайности и качества [7].

Одним из широко распространенных методов генетического анализа является ISSR-метод, основанный на межмикросателлитном праймировании [8]. По сравнению с другими методами генетического анализа, основанными на ПЦР, для ISSR характерна улучшенная воспроизводимость за счет удлинения и повышения температуры отжига праймера. Довольно часто в ходе исследований выясняется, что некоторые ISSR-праймеры больше подходят для генетического анализа популяций, тогда как другие могут быть полезны для изучения межвидовых взаимосвязей [9].

Исследование генетических ресурсов льна, оценка его генетического разнообразия и выявление скрытой изменчивости дают возможность более целенаправленного подхода к дифференциации и идентификации коллекционных образцов, в том числе и выявлению перспективных генотипов [10].

Цель исследования – изучение особенностей полиморфизма современных сортов льна масличного и льна-долгунца, включенных в Госреестр селекционных достижений России, а также стародавних кряжевых форм с использованием ISSR-маркеров.

Научная новизна работы состоит в углубленном кластерном анализе совокупности сортов льна (*Linum usitatissimum* L.) с использованием результатов ISSR-маркирования, позволившем выявить наличие групп, объединенных по различным признакам: временному периоду

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

и месту создания сорта, хозяйственно ценным и морфологическим признакам образца.

Материал и методы. Для проведения исследования были отобраны 24 сорта льна масличного и 56 сортов льна-долгунца, различного временного и географического происхождения,

включенных в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации¹, а также три кряжевых формы льна-долгунца (табл. 1) (кряжевые формы приведены в таблице с каталожными номерами Федерального научного центра лубяных культур).

Таблица 1 – Исследованные сорта и кряжевые формы льна (L. usitatissimum L.) / Table 1 – Varieties and local forms of flax (L. usitatissimum L.) studied

<i>Сорт / Variety</i>		<i>Оригинатор / Originator</i>
<i>1</i>		<i>2</i>
Сорта льна-долгунца / Varieties of fiber flax		
Агата / Agata	Мелина / Melina	Limagrain Nederland BV, г. Лейстад, Нидерланды / Leystad, Holland
Мерилин / Merilin		Van de Bilt Zaden en Vlas BV, г. Слускил, Нидерланды / Sluiskil (Holland)
Василек / Vasilek	Ласка / Laska	
Веста / Vesta	Левит 1 / Levit 1	РНДУП «Институт Льна», аг. Устье, Республика Беларусь / RUE “Flax Institute”, ag. Ustye, Republic of Belarus
Грант / Grant	Пралеска / Praleska	
А 29	Новоторжский / Novotorzhskij	Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение НИИ льна (ОП НИИЛ), г. Торжок / Federal Research Center for Bast Fiber Crops, separate division of the Flax Research Institute, Torzhok
А 93	Полет / Polet	
Александрит / Aleksandrit	Росинка / Rosinka	
Алексим / Aleksim	Славный 82 / Slavnyj-82	
Альфа / Al'fa	Тверской / Tverskoj	
Визит / Vizit	Тверца / Tverca	
Дипломат / Diplomat	Тонус / Tonus	
Зарянка / Zaryanka	Торжокский 4 / Torzhokskij 4	
Лазурный / Lazurnyj	Универсал / Universal	
Ленок / Lenok	Цезарь / Cezar'	
Могилевский 2 / Mogilevskij 2	Сурский / Surskij	
Надежда / Nadezhda		
Антея / Antej	Прибой / Priboj	
Добрыня / Dobrynya	Псковский 359 / Pskovskij 359	
Кром / Krom	Псковский 85 / Pskovskij 85	
Норд / Nord	Русич / Rusich	
Пересвет / Peresvet		
Импульс / Impul's	Смоленский / Smolenskij	Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение Смоленский НИИСХ (ОП Смоленский НИИСХ), г. Смоленск / Federal Research Center for Bast Fiber Crops, separate division of Smolensky NIISH, Smolensk
Лидер / Lider	Смолич / Smolich	
С 108 / S 108	Союз / Soyuz	

Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (официальное издание). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 646 с.
URL: <https://dachanadvoih.ru/wp-content/uploads/2022/11/gosreestr-rus.pdf>

1		2
Белочка / Belochka		Вятская государственная сельскохозяйственная академия (ВСХА), г. Киров / Vyatka State Agrotechnological University, Kirov
Памяти Крепкова / Pamyati Krepkova	Томский 18 / Tomskij 18	Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (СФНЦА РАН), г. Новосибирск / Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies RAS, Novosibirsk
Томич / Tomich	Тост 3 / Tost 3	
Томский 16 / Tomskij 16	Тост 4 / Tost 4	
Томский 17 / Tomskij 17	Тост 5 / Tost 5	
Сорта масличного льна / Varieties of oilseed flax		
Рапиол / Rapiol		Агритек, г. Шумперк, Чешская Республика / Sumperk, Czech Republic
Август / Avgust	Радуга / Raduga	Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В. С. Пустовойта (ФНЦ ВНИИМК), г. Краснодар / V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Krasnodar
Бирюза / Biryuza	Ручеек / Rucheeek	
ВНИИМК 620 / VNIIMK 620	РФН / RFN	
ВНИИМК 620 ФН / VNIIMK 620 FN	Светлячок / Svetlyachok	
ВНИИМК 630 / VNIIMK 630	Северный / Severnyj	
Даник / Danik	Сокол / Sokol	
Исилькульский / Isil'kul'skij	Флиз / Fliz	
Небесный / Nebesnyj	Ы 117 / Y 117	
Нилин / Nilin		
ЛМ 98 / LM 98		
Исток / Istok		Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение Пензенский НИИСХ (ОП Смоленский НИИСХ), г. Пенза / Federal Research Center for Bast Fiber Crops, separate division of Penza NIISH, Penza
Кинельский 2000 / Kinel'skij 2000		Самарский федеральный исследовательский центр РАН (СФИЦ РАН), г. Самара / Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara
Илим / Ilim		РНДУП «Институт Льна», аг. Устье, Республика Беларусь / RUE "Flax Institute", ag. Ustye, Republic of Belarus
Чибис / Chibis		Баранник В. А., г. Белгород / Barannik V. A., Belgorod
Уральский / Ural'skij		Федеральный научный центр лубяных культур, обособленное подразделение НИИ льна (ОП НИИЛ), г. Торжок; Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург / Federal Research Center for Bast Fiber Crops, separate division of the Flax Research Institute, Torzhok; Ural Federal Agricultural Research Center, Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg
Кряжевые формы льна-долгунца / Local forms of fiber flax		
Псковский (к-2902) / Pskovskij (k-2902)	Гдовский (к-320) / Gdovskij (k-320)	Псковская область / Pskov region
Зарецкий (к-1980) / Zareckij (k-1980)		

Объединенную геномную ДНК выделяли из листьев четырехнедельных проростков методом экстракции с использованием СТАВ-метода. Пробы ДНК объединяли из 4 растений для каждого сорта. Для ISSR-маркирования

был использован набор из 25 праймеров, показавших хорошие результаты в работах [11, 12]. Их нуклеотидные последовательности представлены в таблице 2.

*Таблица 2 – Нуклеотидные последовательности ISSR-маркеров льна /
Table 2 – Nucleotide sequences of ISSR markers in flax*

<i>№</i>	<i>Кодировка / Code</i>	<i>Последовательность / Sequence</i>
1	ISSR-2	CACACACACAGT
2	ISSR-3	AGAGAGAGAGAGAGGT
3	ISSR-4	ACACACACACACACTG
4	ISSR-5	ACACACACACACACCA
5	ISSR-6	AGAGAGAGAGAGAGCA
6	ISSR-9	AGAGAGAGAGAGAGGT
7	ISSR-10	AGAGAGAGAGAGAGGC
8	ISSR-11	GAGAGAGAGAGAGAC
9	ISSR-12	GAGAGAGAGAGAGAA
10	ISSR-13	CACACACACACACAA
11	ISSR-14	ACACACACACACACC
12	ISSR-15	AGAGAGAGAGAGAGCT
13	ISSR-16	AGAGAGAGAGAGAGTT
14	ISSR-18	AGAGAGAGAGAGAGA
15	ISSR-19	AGAGAGAGAGAGAGG
16	ISSR-24	ACCACCACCACCACCG
17	ISSR-26	ACGACGACGACGACGACGG
18	ISSR-28	CACCACCACGC
19	ISSR-31	CTCCTCCTCCTCCTCT
20	ISSR-32	CTGCTGCTGGC
21	ISSR-36	AGCAGCAGCAGCAGCAGCGA
22	ISSR-38	CTCCTCCTCCTCCTCA
23	ISSR-39	GAGCAACAACAACAACA
24	ISSR-40	AGGAGGAGGAGGAGGAGGT
25	ISSR-41	GTCACCACCACCACCACCAC

Амплификацию проводили в 25 мкл реакционной смеси следующего состава: 20 нг исследуемой ДНК, необходимое количество праймеров (оптимальные количества определяли экспериментально), 200 мкМ dNTP, 2,5 мкМ MgCl₂ и 1 единицу Taq-полимеразы. ПЦР осуществляли на амплификаторе T100 MyCycler™ (Bio-Rad Laboratories, Inc.). Использовали следующий температурно-временной профиль: первый цикл – 5 мин при 94 °С; последующие 35 циклов при 94 °С – 30 с, отжиг в течение 30 с (температуру подбирали в зависимости от праймеров); элонгация при 72 °С – 30 с; терминальная элонгация – 30 мин при 72 °С. Детекцию ПЦР-продуктов осуществляли методом электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле. В качестве буферной системы использовали

1x TBE. Определение длины амплифицированных фрагментов ДНК было выполнено в программе Quantity One в системе гель-документации Gel Doc XR (Bio-Rad, США) с использованием маркера молекулярной массы размером от 50 до 1500 п. н. Построение дендрограммы генетического подобия проводили с помощью программного обеспечения DARwin v. 6 (DARwin software) методом объединения соседей «neighbor joining method» [13].

Результаты и их обсуждение. Результаты ISSR-анализа для масличного льна. На основе ISSR-анализа выбранных сортов льна масличного был выполнен кластерный анализ и построена дендрограмма генетического подобия, которая представлена на рисунке 1.

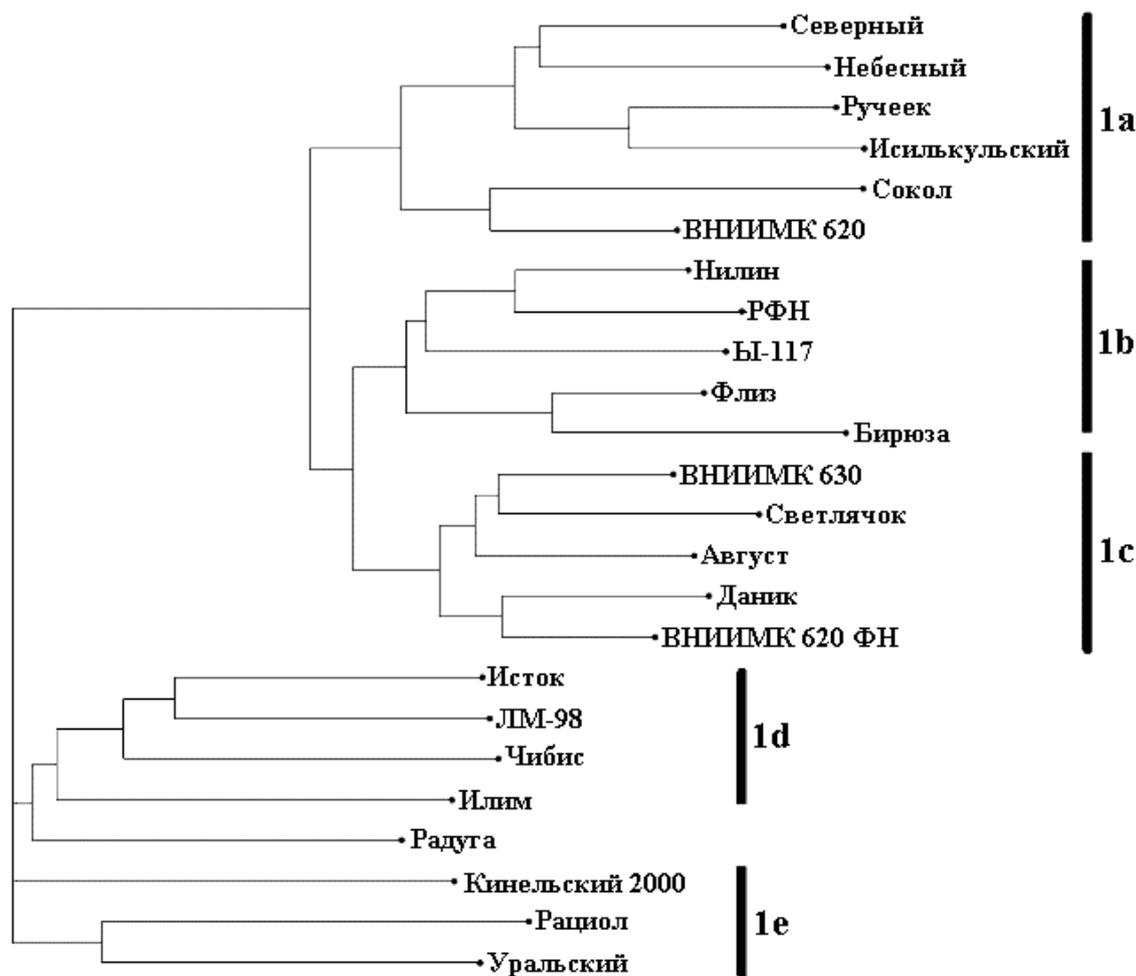


Рис. 1. Дендрограмма генетического подобия сортов льна масличного по данным ISSR-анализа /
Fig. 1. The dendrogram of genetic similarity of linseed varieties according to ISSR analysis

Анализ разделил сорта масличного льна на пять кластеров.

Первые три кластера (1a, 1b, 1c) составляют одну большую группу сортов селекции ВНИИМК. Группа 1a содержит высокомасличные сорта с содержанием масла 48-49 %, выведенные селекционерами ВНИИМК преимущественно в 90-х годах прошлого века [14]. Группа 1b объединила образцы с содержанием масла 40-46 % [15], группа 1c представлена образцами с наибольшим содержанием масла – 50-53 % [14, 15]. Данные могут отражать и другие направления селекционной деятельности originатора ВНИИМК, например, по урожайности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды.

Вторая большая группа состоит из двух кластеров 1d и 1e и представлена сортами других селекционных учреждений, различного географического происхождения. Образцы этих кластеров обладают схожими показателями по масличности (40-44 %) [14].

Результаты ISSR-анализа для льна-долгунца и кряжевых форм. По результатам

исследования выбранных сортов льна-долгунца и кряжевых форм также был выполнен кластерный анализ и построена дендрограмма генетического подобия, представленная на рисунке 2.

Дендрограмма генетического подобия сортов льна-долгунца и кряжевых форм выявляет 12 подкластеров 2a-2l, разделенных на три неравномерные группы. Практически каждый подкластер имеет свою характерную особенность, не связанную с географией происхождения.

Первая группа формируется подкластерами 2a-2b. В подкластер 2a вошли кряжи Зарецкий, Гдовский и Псковский. Подкластер 2b сформирован из сортов торжокской, смоленской и псковской селекции периода 1981-1987 гг. Данную группу можно охарактеризовать как старые сортообразцы.

Вторая группа состоит из подкластеров 2c-2g. В ней прослеживается связь с основными направлениями селекционной работы с культурой льна-долгунца в 60-90-х годах прошлого века, такими как увеличение содержания волокна в стебле и повышение урожайности льносемян.

Несколько обособленно в эту группу вошел подкластер 2с, который состоит из высоковолокнистых сортов 1969-1987 гг., авторство которых также, как и в подкластере 2b, принадлежит трем старейшим селекционным центрам. Можно предположить, что эти сорта и их комбинации стали селекционной основой сортов данной группы. В подкластеры 2d-2е вошли

среднеспелые сорта с высоким содержанием волокна (30-33 %) при средней урожайности льносемян [16]. Подкластер 2f составили раннеспелые сорта селекции СФНЦА РАН с содержанием волокна до 35 % [17], подкластер 2g – среднеспелые высоковолокнистые (до 32 % волокна) образцы селекции НИИЛ с рекордной урожайностью семян [18].

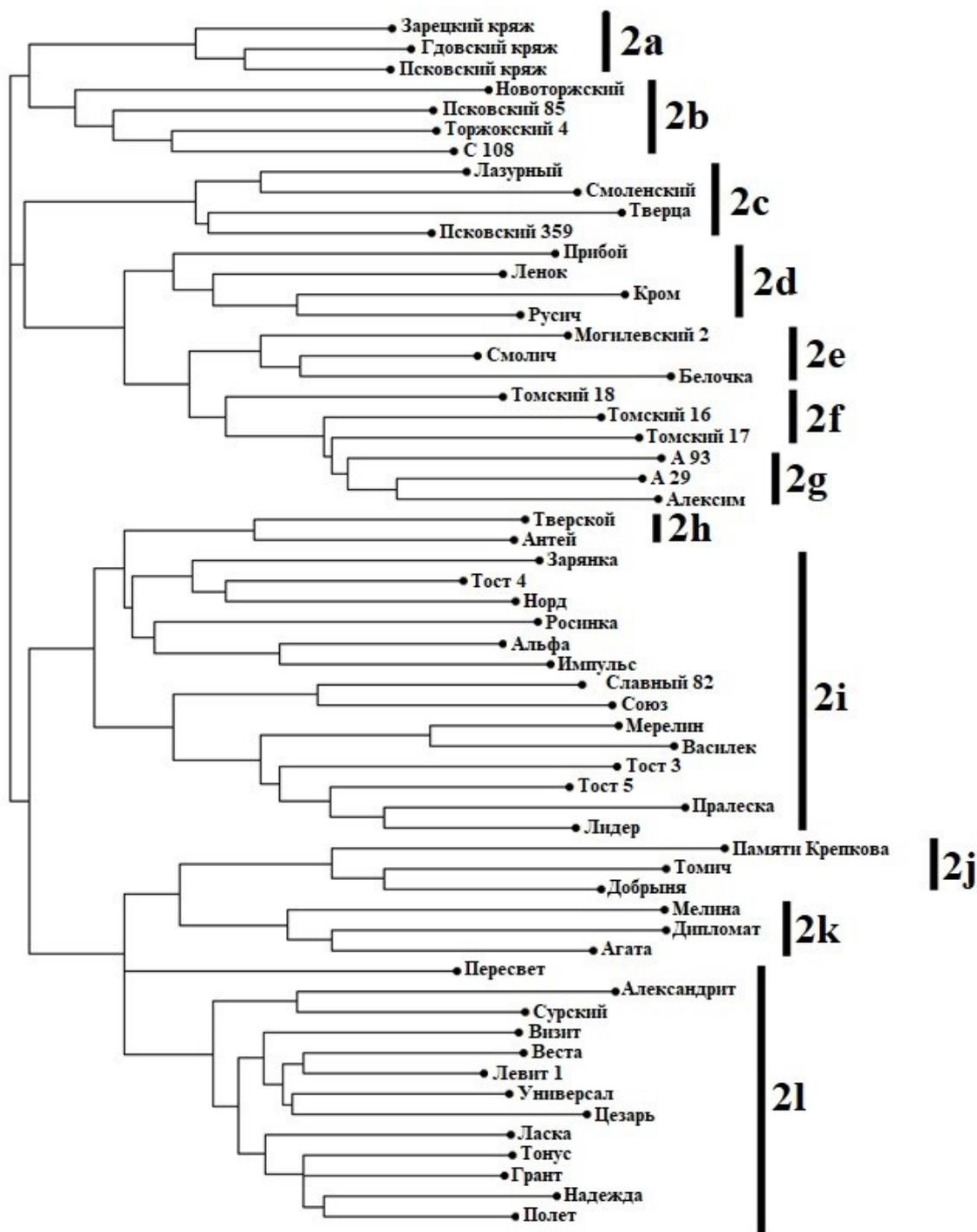


Рис. 2. Дендрограмма генетического подобию сортов льна-долгунца и кряжевых форм по данным ISSR-анализа /

Fig. 2. The dendrogram of genetic similarity of fiber flax and local forms varieties according to ISSR analysis

Третья, самая большая группа, подобрала в себя подкластеры 2h-2l и характеризует основные направления селекции начала 21 века – активное использование зарубежного материала и повышение устойчивости к стрессовым факторам среды. Подкластеры 2h и 2i объединяют высоковолокнистые сорта отечественного и зарубежного происхождения с большим разбросом по продолжительности вегетационного периода. Кроме параметра высокого содержания волокна (около 30 %), других общих фенотипических признаков для данной группы пока не обнаружено [16, 18, 19]. Подавляющее количество образцов, входящих в группы 2j, 2k и 2l, обладают хорошей комплексной устойчивостью к болезням: фузариозу, ржавчине, антракнозу, а также полеганию и засухе. Представляет интерес анализ сортов в соответствии с продолжительностью вегетационного периода:

2j – раннеспелые селекции СФНЦ РАН и Псковского НИИСХ; 2k – позднеспелые, происходящие от зарубежного сорта Viking; 2l – среднеспелые отечественной и зарубежной селекции, в основном НИИЛ и белорусского Института льна [20].

Выводы. Оценка современных сортов льна и его кряжевых стародавних форм с использованием ISSR-маркеров позволила выявить связи на молекулярном уровне и определить группы генотипов, объединенных общностью ряда хозяйственных признаков. Полученные данные позволяют начать формирование методических подходов для связи фенотипических и хозяйственных признаков льна с молекулярными маркерами. С помощью ISSR-анализа появляется возможность ускорения селекционного процесса создания конкурентоспособных сортов.

Список литературы

1. Пороховинова Е. А., Шеленга Т. В., Матвеева Т. В., Павлов А. В., Григорьева Е. А., Броч Н. Б. Полиморфизм генов, контролирующих низкое содержание линоленовой кислоты, у линий генетической коллекции льна ВИР. Экологическая генетика. 2019;17(2):5-19. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen1725-19> EDN: JWVBDG
2. Понажев В. П., Виноградова Е. Г. Развитие селекции и семеноводства льна-долгунца – важнейший ресурс повышения эффективности льноводства России. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2022;1(2):30-39. DOI: <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2022.71.55.004>
3. Броч Н. Б., Пороховинова Е. А., Шеленга Т. В. Инновационные возможности селекции масличного льна, ориентированной на различный состав масла. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(6):5-8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26591631> EDN: WJXNIJ
4. Clunier-Ross T. Mangolds, manure and mixtures: the importance of crop diversity on British farms. The Ecologist. 1995;25(5):181-187.
5. Ушаповский И. В., Лемеш В. А., Богданова М. В., Гузенко Е. В. Особенности селекции и перспективы применения молекулярно-генетических методов в генетико-селекционных исследованиях льна (*Linum usitatissimum* L.). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):602-616. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.602rus> EDN: WZJQDT
6. Hoque A., Fiedler J. D., Rahman M. Genetic diversity analysis of a flax (*Linum usitatissimum* L.) global collection. BMC genomics. 2020;21(1):557. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06922-2>
7. Pan G., Chen A., Li J., Huang S., Tang H., Chang L., Zhao L., Li D. Genome-wide development of simple sequence repeats database for flax (*Linum usitatissimum* L.) and its use for genetic diversity assessment. Genetic Resources and Crop Evolution. 2020;67:865-874. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00882-y>
8. Бобошина И. В., Боронникова С. В. Изучение генетического полиморфизма некоторых сортов *Triticum aestivum* L. с использованием ISSR-маркеров. Аграрный вестник Урала. 2012;(5):19-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17840238> EDN: PAKIVZ
9. Костюкова Е. Е., Заякин В. В., Нам И. Я. Молекулярно-генетический анализ редких видов орхидных Брянской области. Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества. 2013;(1(1)):51-55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20295855> EDN: RCDMOB
10. Рожмина Т. А., Рыжов А. И., Куземкин И. А., Киселева Т. С. Внутривидовое разнообразие льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) и его роль в решении проблемы сырьевого обеспечения страны. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(12):17-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32301742> EDN: YMEMUF
11. Kojoma M., Iida O., Makino Y., Sekita S., Satake M. DNA fingerprinting of *Cannabis sativa* using inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification. Planta Medica. 2002;68(1):60-63. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2002-19875>
12. Zhang L. G., Chang Y., Zhang X. F., Guan F. Z., Yuan H. M., Yu Y., Zhao L. J. Analysis of the genetic diversity of Chinese native *Cannabis sativa* cultivars by using ISSR and chromosome markers. Genetic and Molecular Research. 2014;13(4):10490-10500. DOI: <https://doi.org/10.4238/2014.December.12.10>
13. Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. Proceedings of the national academy of sciences. 1973;70(12):3321-3323. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.70.12.3321>
14. Лучкина Т. Н., Лучкин Н. С., Картамышева Е. В., Горбаченко Ф. И. Лен масличный – динамично растущая культура в России. Генетика и селекция на Дону. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2015. Вып. 4. С. 131-139. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23468992_26832101.pdf

15. Першаков А. Ю., Белкина Р. И., Сулейменова А. К., Пороховинова Е. А. Коллекционные образцы льна масличного в условиях Северного Зауралья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;(6):58-63. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-98-6-58-63> EDN: OQWCAA
16. Штабель Ю. П., Попеляева Н. Н. Агрэкологическая оценка сортов льна-долгунца. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013;(1(99)):054-056.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18801875> EDN: PVLMGJ
17. Горбова М. А., Мансапова А. И. Изучение сортов льна-долгунца томской селекции в подтаёжной зоне Омской области. Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур: сб. мат-лов 11-й Всеросс. конф. молодых учёных и специалистов. Краснодар: ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2021. С. 44-49. DOI: <https://doi.org/10.25230/conf11-2021-44-49> EDN: OEBVST
18. Кудряшова Т. А., Виноградова Т. А., Козьякова Н. Н. Нормативы перевода в волокно льнотресты сортов льна долгунца селекции ВНИИ льна. Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: сб. научн. тр. Тверь: ТГУ, 2018. С. 258-261.
19. Ущачовский И. В., Васильев А. С., Щеголихина Т. А., Федоренко В. Ф., Мишуров Н. П., Голубев И. Г. Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства технических культур: научный аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 72 с.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42348451> EDN: HYNOPB
20. Гриб С. И., Богдан В. З. Оптимизация методологии и результаты селекции льна-долгунца в Беларуси. Таврический вестник аграрной науки. 2023;(1(33)):6-18. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7896477> EDN: QMWGIE

References

1. Porokhovinova E. A., Shelenga T. V., Matveeva T. V., Pavlov A. V., Grigorieva E. A., Brutch N. B. Polymorphism of genes controlling low level of linolenic acid in lines from VIR flax genetic collection. *Ekologicheskaya genetika* = Ecological genetics. 2019;17(2):5-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen1725-19>
2. Ponazhev V. P., Vinogradova E. G. The development of selection and seed production of flax is the most important resource for improving the efficiency of flax growing in Russia. *Tekhnicheskie kul'tury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = Technical crops Scientific agricultural journal. 2022;(1(2)):30-39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2022.71.55.004>
3. Brutch N. B., Porokhovinova E. A., Shelenga T. V. Innovative possibilities of oil flax breeding orientated at the different oil composition. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(6):5-8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26591631>
4. Clunier-Ross T. Mangolds, manure and mixtures: the importance of crop diversity on British farms. *The Ecologist*. 1995;25(5):181-187.
5. Ushchapovskii I. V., Lemesh V. A., Bogdanova M. V., Guzenko E. V. Particularity of breeding and perspectives on the use of molecular genetic methods in flax (*Linum usitatissimum* L.) genetics and breeding research. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):602-616. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.602rus>
6. Hoque A., Fiedler J. D., Rahman M. Genetic diversity analysis of a flax (*Linum usitatissimum* L.) global collection. *BMC Genomics*. 2020;21(1):557. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06922-2>
7. Pan G., Chen A., Li J., Huang S., Tang H., Chang L., Zhao L., Li D. Genome-wide development of simple sequence repeats database for flax (*Linum usitatissimum* L.) and its use for genetic diversity assessment. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020;67:865-874. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00882-y>
8. Boboshina I. V., Boronnikova S. V. Studying of genetic polymorphism of some grades *Triticum aestivum* L. with use of ISSR-markers. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2012;(5):19-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17840238>
9. Kostyukova E. E., Zayakin V. V., Nam I. Ya. The molecular-genetic identification of rare orchid species of the Bryansk region. *Byulleten' Bryanskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* = Bulletin of Bryansk Department of Russian botanical society. 2013;(1(1)):51-55. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20295855>
10. Rozhmina T. A., Ryzhov A. I., Kuzemkin I. A., Kiseleva T. S. Intraspecific variety of *Linum usitatissimum* L. and its role in the decision of a problem of raw maintenance of the country. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(12):17-20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32301742>
11. Kojoma M., Iida O., Makino Y., Sekita S., Satake M. DNA fingerprinting of *Cannabis sativa* using inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification. *Planta Medica*. 2002;68(1):60-63. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-2002-19875>
12. Zhang L. G., Chang Y., Zhang X. F., Guan F. Z., Yuan H. M., Yu Y., Zhao L. J. Analysis of the genetic diversity of Chinese native *Cannabis sativa* cultivars by using ISSR and chromosome markers. *Genetic and Molecular Research*. 2014;13(4):10490-10500. DOI: <https://doi.org/10.4238/2014.December.12.10>
13. Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the national academy of sciences*. 1973;70(12):3321-3323. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.70.12.3321>
14. Luchkina T. N., Luchkin N. S., Kartamyshva E. V., Gorbachenko F. I. Oilseed flax is a dynamically growing crop in Russia. Genetics and breeding on the Don. Rostov-na-Donu: *Yuzhnyy federal'nyy universitet*, 2015. Iss. 4. pp. 131-139. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23468992_26832101.pdf
15. Pershakov A. Yu., Belkina R. I., Suleymenova A. K., Porokhovinova E. A. Collectible samples of oil flax in the conditions of the Northern Trans-urals. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(6):58-63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-98-6-58-63>

16. Shtabel Yu. P., Popelyaeva N. N. Agro-ecological evaluation of fiber flax varieties. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2013;(1(99)):054-056. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18801875>

17. Gorbova M. A., Mansapova A. I. The study of fiber flax varieties bred in the Tomsk region in the subtaiga zone of the Omsk region. Topical issues of biology, breeding, technology of cultivation and processing of agricultural crops: collection of materials of the 11th All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists. Krasnodar: *FGBNU FNTs VNIIMK*, 2021. pp. 44-49. DOI: <https://doi.org/10.25230/conf11-2021-44-49>

18. Kudryashova T. A., Vinogradova T. A., Kozyakova N. N. Standards for the conversion of flax fiber to flax varieties of fiber flax bred by the Flax Research Institute. Scientific support for the production of spinning crops: state, problems and prospects: collection of scientific papers. Tver: TGU, 2018. pp. 258-261.

19. Ushchapovsky I. V., Vasiliev A. S., Schegolikina T. A., Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Golubev I. G. Analysis of the state of breeding and seed production of industrial crops and their promising areas of development: scientific and analytic overview. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2019. 72 p.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42348451>

20. Grib S. I., Bogdan V. Z. Optimization of the methodology and results of flax breeding in Belarus. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2023;(1(33)):6-18. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7896477>

Сведения об авторах

✉ **Базанов Тарас Александрович**, кандидат хим. наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>, e-mail: t.bazanov@fncl.ru

Ущапковский Игорь Валентинович, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, заместитель директора по науке, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041,

e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Логина Наталья Николаевна, научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Смирнова Екатерина Витальевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Михайлова Полина Дмитриевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

Information about the authors

✉ **Taras A. Bazanov**, PhD in Chemical Science, Head of the Laboratory of the molecular-genetic research and cell selection, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9544-5528>, e-mail: t.bazanov@fncl.ru

Igor V. Ushapovsky, PhD in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of the molecular-genetic research and cell selection, deputy director for science, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Natalya N. Loginova, researcher, the Laboratory of the molecular-genetic research and cell selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4633-392X>

Ekaterina V. Smirnova, postgraduate, junior researcher, the Laboratory of the molecular-genetic research and cell selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6559-9577>

Polina D. Mikhaylova, junior researcher, the Laboratory of the molecular-genetic research and cell selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky prospect, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7797-2578>

✉ – Для контактов / Corresponding author