

Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов

DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64

УДК 633.521;631.524.86: 577.2

Поступление/Received: 26.03.2020

Принято/Accepted: 09.06.2020



Worldwide gene pool of fiber flax at VIR, and breeding of rust-resistant varieties

С. Н. КУТУЗОВА, Е. А. ПОРОХОВИНОВА*, Н. Б. БРАЧ, А. В. ПАВЛОВ

S. N. KUTUZOVA, E. A. POROKHOVINOVA*, N. B. BRUTCH, A. V. PAVLOV

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических
ресурсов растений имени Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
✉ s.kutuzova@vir.nw.ru; * ✉ e.porokhovinova@vir.nw.ru;
✉ n.brutch@vir.nw.ru; ✉ avpavlov77@yandex.ru

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources,
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia
✉ s.kutuzova@vir.nw.ru; * ✉ e.porokhovinova@vir.nw.ru;
✉ n.brutch@vir.nw.ru; ✉ avpavlov77@yandex.ru

Актуальность. К современному сорту льна-долгунца предъявляются жесткие требования, в том числе устойчивость к ржавчине. **Материалы и методы.** Коллекция льна-долгунца ВИР, насчитывающая 2485 образцов, с 1970 г. оценивалась на искусственном инфекционно-провокационном фоне. **Результаты.** Установлено, что почти все отечественные и зарубежные образцы и сорта, полученные до 1957 г., сильно восприимчивы к болезни. Среди них выявлено пять русских кряжей¹ и созданный в ВИР сорт 'ГДС-3', устойчивые до настоящего времени. Выделенные из них и трех зарубежных сортов линии с установленным числом оригинальных эффективных *R*-генов переданы селекционерам. В 1989–2008 гг. нами созданы и переданы селекционерам 19 доноров с комплексом хозяйственно ценных признаков – аналоги сортов 'Оршанский 2' и 'Призыв 81' с теми же генами. В коллекции ВИР есть 10 доноров устойчивости к ржавчине, созданных ВНИИ льна, с высоким содержанием волокна. Первый относительно устойчивый к ржавчине сорт 'Л-1120' создан в 1951 г., имеет полигенный тип устойчивости, кроме того устойчив к фузариозному увяданию и полеганию, широко использован при создании сортов. По мере их распространения поражение посевов льна снизилось. Первый сорт олигогенной устойчивостью – 'Томский 16' – выведен в 1990 г. В настоящее время создано много защищенных *R*-генами сортов. Ржавчина на посевах льна больше не проявляется. **Заключение.** Селекционеры имеют богатый исходный материал для выведения устойчивых сортов, содержащийся в коллекции ВИР. Использование доноров устойчивости к ржавчине в гибридизации не может вызвать ухудшения важнейших свойств сорта.

Ключевые слова: *Melampsora lini* (Pers.) Lev., гены устойчивости к ржавчине, полигенная устойчивость, доноры устойчивости.

Background. There are strict requirements for a modern flax cultivar. It must have a whole set of valuable characters, including rust resistance. **Materials and methods.** The flax collection of 2485 accessions held by VIR was evaluated using artificial provocative infection. **Results.** Almost all domestic and foreign accessions and varieties collected before 1957 were highly or extremely susceptible to rust. Five Russian kryazhs¹ and cv. 'GDS-3' developed at VIR were found to retain rust resistance up to the present moment. Lines derived from them and from three foreign varieties, with an identified number of the original effective *R* genes, were submitted to breeders. Nineteen donors with a set of economically useful traits, analogous to cvs. 'Orshansky 2' and 'Prizyv 81' and carrying the same genes, were produced and distributed to breeders. The VIR collection holds 10 donors of rust resistance with high fiber content developed at the All-Russian Research Institute of Flax. Some donors of resistance to other diseases released by the same Institute also possess high rust resistance, thus forming a rich stock of source material. The first cultivar relatively resistant to rust ('L-1120') was released in 1951. Possessing polygenic resistance, it was also resistant to *Fusarium* wilt and lodging, so it was widely used for breeding other cultivars with similar characteristics. As their cultivation expanded, the harvest losses caused by rust dropped. The first rust-resistant cultivar with oligogenic resistance ('Tomsky 16') appeared in 1990. By now, many cultivars protected by *R* genes of rust resistance have been developed. They combine this trait with resistance to *Fusarium* and lodging, high yield, and high fiber content. Flax rust incidence is not a problem anymore. **Conclusion.** Plant breeders have at their disposal a rich stock of source material preserved in the VIR collection to produce resistant flax cultivars. The use of rust resistance donors in hybridization cannot disrupt the most important properties of a cultivar.

Key words: *Melampsora lini* (Pers.) Lev., rust resistance genes, polygenic resistance, donors of resistance.

1 Кряжи – староместные российские сорта народной селекции.

1 Kryazh – an old Russian landrace evolved in the process of folk breeding.

Введение

Лен-долгунец – одна из важнейших исконно русских технических культур. Новое тысячелетие открывает новые перспективы применения льна. У него используют все части растения: стебель – для получения высококачественного длинного волокна, обладающего высокими гигиеническими свойствами, эластичностью и прочностью; из очесов – короткого волокна – изготавливают бытовые ткани и экологически чистые армированные композиционные материалы для звуко-, вибро- и теплоизоляции салонов автомобилей, самолетов и т. д. Из волокна льна любой длины делают модифицированное волокно (котонин) для выработки тонких бытовых тканей и трикотажа в смеси с другими волокнами (синтетическими, хлопком, шерстью). Из него могут быть изготовлены медицинская вата, высокосортная бумага, порошок и многое другое. Особенно возрастает значение льна для России в настоящее время в условиях дефицита хлопкового волокна. Из костры (древесина соломки) делают мебельные и строительные плиты для теплоизоляции и поглощения шума. Масло семян льна богато альфа-линоленовой кислотой (омега 3) и обладает целебными свойствами, а также широко используется для изготовления олифы, так как быстро высыхает (Zhivetin et al., 2002).

В Северо-Западном регионе нашей страны под влиянием умеренных температур, достаточного увлажнения и уникально продолжительного светового дня в период фазы быстрого роста льна складываются условия, способствующие получению наиболее высокорослых растений с высоким содержанием и качеством волокна.

С древних времен и в царской России, когда не существовало сортов, а местные льны были восприимчивы к болезням и сильно полегали, лен-долгунец возделывали на площади до 1 млн га; культура была высокодоходной, а волокно и семена льна являлись одним из главных предметов экспорта. Еще в начале XX века льняное волокно было одним из основных экспортных товаров России (Zhuchenko et al., 2009). В советское время площади, занимаемые льном, стали постепенно сокращаться, особенно в последние годы. К 2018 г., по данным Федеральной службы государственной статистики (Agriculture in Russia..., 2019), они составляли всего 45 тыс. га., в основном в Тверской, Смоленской, Вологодской и Омской областях, Алтайском крае и Удмуртии.

К современному сорту льна-долгунца предъявляются жесткие требования. Он должен обладать целым комплексом ценных признаков, большая часть которых наследуется полигенно; многие из них складываются из нескольких показателей, находящихся в прямой или обратной связи друг с другом. Устойчивость к болезням не зависит от других признаков, но без нее не может быть гарантирована реализация лучшего комплекса всех других свойств сорта. Иногда болезнь становится лимитирующим фактором в возделывании культуры. Не случайно Н. И. Вавилов свою первую крупную научную работу посвятил именно иммунитету к инфекционным заболеваниям и уделял большое внимание этой проблеме до последних дней (Vavilov, 1918).

Ржавчина льна – заболевание, вызываемое грибом *Melampsora lini* (Pers.) Lev. Устойчивость к возбудителю

наследуется шестью доминантными генами – *K, L, M, N, P* и *K*, для которых характерен множественный аллелизм (Kutuzova, 2014). Болезнь издавна была широко распространена во всей льноводной зоне нашей страны и наносила огромный вред посевам. В настоящее время ее практически не регистрируют в производственных посевах, так как большая часть возделываемых сортов устойчива к болезни (Kutuzova, 2012).

Поэтому целью данной работы было проследить динамику накопления устойчивых образцов в коллекции льна-долгунца ВИР как основного источника исходного материала для селекции в СССР и РФ для объяснения факторов, приведших к улучшению фитосанитарной обстановки по этому патогену в современной России.

Материал и методы

Источником устойчивости отечественных сортов послужил мировой генофонд льна, сосредоточенный во Всероссийском институте генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Начало создания мировой коллекции льна-долгунца ВИР относится к 1922 г., когда многочисленные экспедиции, организованные Н. И. Вавиловым, приступили к обследованию всех льносеющих районов страны. В эти годы в коллекцию ежегодно поступало до 130–140 образцов староместных и кряжевых льнов из различных регионов – от северо-западных областей до Дальнего Востока, – представляющих собой оригинальные источники уникальных хозяйственно ценных признаков (раннеспелости, высокого качества волокна, устойчивости к неблагоприятным факторам и др.), сформировавшихся в различных условиях. Однако, как правило, местные образцы были плохо выровнены по высоте, недостаточно продуктивны по волокну, многие сильно полегали и поражались болезнями.

В коллекцию ВИР также поступали сорта льна-долгунца из зарубежных стран, они тоже поражались ржавчиной. В настоящее время коллекция льна-долгунца насчитывает 2485 образцов из 48 стран и является источником любых хозяйственно ценных признаков.

С 1970 г. нами проводилась оценка образцов коллекции на искусственном инфекционно-провокационном фоне, который ежегодно создавали по методике ВИР (Kutuzova, 2014). Оценку поражения материала проводили дважды – в уредостадии гриба на цветущих растениях и в телейтостадии – при уборке. Первую делали глазомерно, вторую – подсчитывая число восприимчивых растений с разной степенью поражения (по 4-балльной шкале) и вычисляя средневзвешенный балл поражения. По результатам оценки образцы делили на:

- иммунные (или устойчивые, без следов поражения);
- относительно устойчивые (или умеренно поражающиеся, не более 10% поражающихся растений или до 100% растений восприимчивых в слабой степени);
- восприимчивые (или сильно поражающиеся, с баллом поражения 3–4);
- гетерогенные, внутри которых есть как устойчивые, так и в разной степени поражающиеся растения.

Сильно поражающиеся образцы оценивали один год, умеренно поражающиеся – в течение трех лет, устойчивые – ежегодно (Kutuzova, 2014).

Результаты и обсуждение

В настоящее время оценена вся коллекция льна-долгунца (рисунок). Как видно из рисунка, подавляющая часть образцов, поступивших в коллекцию в 1922–1957 гг., поражалась ржавчиной в сильной степени. С годами снижался процент восприимчивых образцов и повышалось число поражающихся в средней степени. В настоящее время устойчивы к ржавчине или очень слабо поражаются 69% образцов.

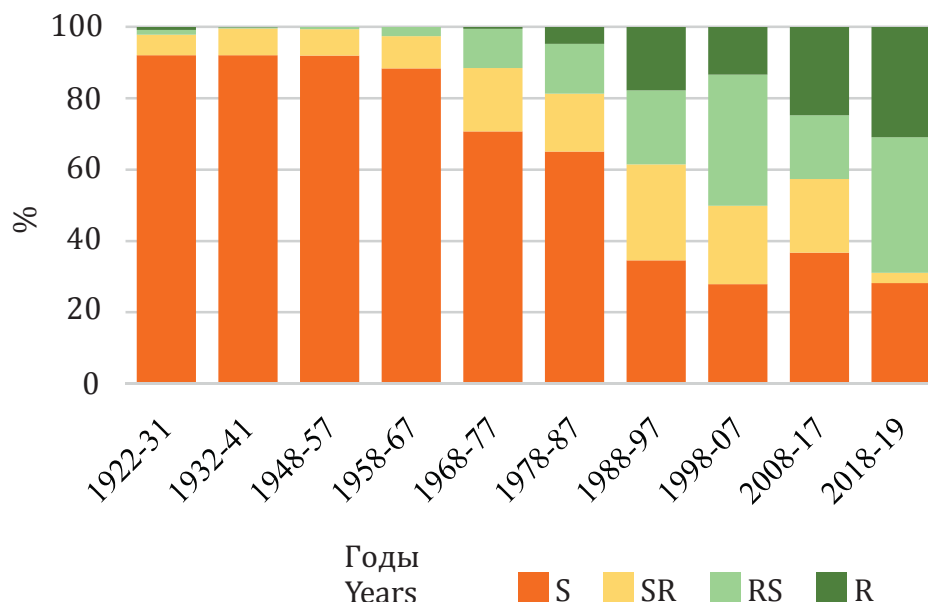


Рисунок. Оценка образцов коллекции льна-долгунца по устойчивости к ржавчине – процент от общего числа поступивших образцов (S – восприимчивые, SR – поражаются в средней степени, RS – относительно устойчивые, R – не поражаются)

Figure. Evaluation of accessions from the flax collection for their rust resistance – percentage of the total number of introduced accessions (S – susceptible, SR – affected to an average degree, RS – relatively resistant, R – not affected)

Из коллекции нами были выделены пять кряжей, не поражающихся этой болезнью, и созданный в ВИР сорт 'ГДС-3', сохранивший устойчивость до настоящего времени (табл. 1).

Также было обнаружено девять восприимчивых образцов, из которых удалось выделить слабо поражающиеся ржавчиной линии (табл. 2).

Позднее (1962–1975 гг.) в коллекцию поступили три относительно устойчивых зарубежных образца (табл. 3). У всех этих линий установили количество R-генов, их эффективность, оригинальность и локализацию большинства. Одноименные аллели не идентичны (Kutuzova, 1981, 2014; Kutuzova et al., 2019).

Именно эти генотипы можно считать золотым фондом устойчивости для селекции льна, поскольку они обладают оригинальными доминантными генами, возникшими до начала распространения селекционных сортов, то есть являются первоисточниками устойчивости. В 1986 г. выделенные линии были переданы селекционным учреждениям страны в качестве доноров устойчивости к ржавчине.

До появления в 1951 г. первого относительно устойчивого отечественного сорта 'Л-1120' почти все поступившие в коллекцию образцы, кроме пяти приведенных в таблице 1, поражались на инфекционном фоне сильно или очень сильно. Первые устойчивые к болезни селекционные сорта ('806/3', '1288/12', 'Светоч' и другие) были

созданы методом индивидуального отбора из местных и кряжевых льнов. Они отличались устойчивостью к ржавчине, но сохраняли это качество менее 10 лет и ко времени нашей оценки сильно поражались.

Поступавшие в коллекцию иностранные сорта также поражались очень сильно. Первые относительно устойчивые сорта – 'Currong' (к-6608) из Австралии и 'Svalof' (к-6658) из Швеции – были получены в 1964 г., сорт 'Natasja' (к-7213) из Голландии – в 1975 г. Из этих сортов также были выделены чистые линии и определено число

R-генов. В 1986 г. в коллекцию ВИР были включены девять линий – доноров устойчивости к ржавчине с установленным числом эффективных оригинальных R-генов. Однако они имели ряд нежелательных для селекции признаков (Kutuzova, 1987). Для создания доноров, обладающих комплексом важнейших хозяйственно ценных признаков, гены методом беккроссов были переведены в основу лучших в то время сортов – раннеспелого 'Призыв 81' и среднеспелого 'Оршанский 2'. Эти сорта обладают многими важными качествами, но в значительной степени поражаются *M. lini* (Kutuzova et al., 2000).

В 1989 г. в коллекцию были переданы доноры ВИР-1, ВИР-2 и ВИР-3 – аналоги сорта 'Оршанский 2' с эффективными в условиях нашей страны генами *P3*, *N* и *L3* соответственно, унаследованными от американских сортов масличного льна. В 1993 г. в сорт 'Оршанский 2' были переведены высокоэффективные гены описанных выше долгунов и созданы доноры ВИР-6, ВИР-7, ВИР-8 (ген *M*), ВИР-9 и ВИР-10 (ген *M* или *P*). Доноры характеризуются среднеспелостью, хорошей семенной продуктивностью, высоким качеством волокна, устойчивостью к полеганию (Kutuzova et al., 2000). Доноры ВИР-4 и ВИР-5 с генами от кряжа из Псковской обл. к-729 и сорта 'ГДС-3' соответственно, созданные в то же время, являются аналогами сорта 'Призыв 81'. Для них характерны раннеспелость, высокие семенная продуктивность, содержание и качество волокна (Kutuzova, 2005).

Таблица 1. Линии из не поражающихся ржавчиной образцов коллекции льна-долгунца**Table 1.** Lines selected from rust-resistant accessions in the fiber flax collection

Исходный образец / Initial accession			Линия / Line					
№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Год поступления в коллекцию / Year of acquisition	Номер / No.	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Год создания / Year of development	Число R-генов / Number of R genes	% авирулентных клонов / % of avirulent clones	Вероятный локус / Probable locus
726	Солецкий кряж* / Soletskiy kryazh**	1923	6	7700	1986	2	100 ± 2,0	М
729	Псковский кряж / Pskovskiy kryazh	1923	4-1	7701	1986	2	100 ± 2,0	–
733	Псковский кряж / Pskovskiy kryazh	1923	4	7702	1986	1	100 ± 2,0	М или ог Р
744	Ярославский кряж / Yaroslavskiy kryazh	1923	4-1	7703	1986	2	100 ± 2,0	–
759	Ярославский кряж / Yaroslavskiy kryazh	1923	10-1	7704	1986	1	100 ± 2,0	–
5375	ГДС-3, Россия / GDS-3, Russia	1938	4-1	7705	1986	2	100 ± 2,0	–

* кряж – староместный российский сорт народной селекции.

** kryazh – an old Russian landrace evolved in the process of folk breeding.

Доноры – аналоги сорта 'Призыв 81' с R-генами от сортов 'Svalof 60132', 'Natasja', 'Curgong' и кряжа из Ярославской обл. (к-759) – ВИР-12, ВИР-13, ВИР-14 (ген Q) и ВИР-18 соответственно, переданы в коллекцию в 2005 г. Аналоги сорта 'Оршанский 2': ВИР-11 (с геном от сорта 'Curgong' – N, P или K), ВИР-15 (с геном от сорта 'Svalof 60132') и ВИР-16 (с геном Q от сорта 'Natasja') переданы в 2006 г. Доноры ВИР-17 (гены от сорта 'Curgong' – N, P или K), ВИР-18 (ген от Ярославского кряжа к-759) и ВИР-19 (ген от Псковского кряжа к-733) на основе сорта 'Призыв 81' созданы в 2008 г. Все доноры при включении в коллекцию также передавали селекционным учреждениям страны.

В 1992, 1993 г. в коллекцию поступили также доноры устойчивости к ржавчине из Всероссийского НИИ льна (ВНИИЛ) – Г-3996 (к-7869), Г-5062 (к-7871), Г-3540 (к-7872), Г-4918 (к-7873), Г-3979 (к-7902), Г-4210 (к-7903), Г-4254 (к-7904), Г-4496 (к-7906). К сожалению, большая их часть защищена одним и тем же геном, унаследованным от сорта 'Успех' (Rozhmina, 1988). Этот ген идентичен гену Вотского кряжа (к-867л. 2-1) (см. табл. 2). Эти доноры, по нашим данным, отличаются высокой продуктивностью по волокну (Kutuzova, 2014).

Однако очень важно, чтобы сорт не поражался и другими распространенными в зоне возделывания льна болезнями. Учеными страны создан целый ряд генотипов, обладающих комплексной устойчивостью. Так, по нашим данным, слабо поражаются ржавчиной устойчивые к фузариозному увяданию линии ВНИИЛ Г-4729 (к-7870), Г-5062 (к-7871), Г-3540 (к-7872), Г-4918 (к-7873), Г-4496 (к-7906), Г-1407-4-18 (к-8007), Г-818-93-7 (к-8013), линии из сортов 'Aoyagi' к-6746) – к-7877 и 'Двина' (к-7248) – к-7878 с высоким содержанием волокна. По данным ВНИИЛ (Rozhmina et al., 2002), донор устойчивости к ржавчине ВИР-7 (к-7883) обладает высокой устойчивостью к фузариозному увяданию. Слабо поражается ржавчиной созданный ВНИИЛ донор устойчивости к пасмо Л-42-7-1 (к-7876).

Одним из широко распространенных заболеваний льна является антракноз, который проявляется на образцах коллекции ежегодно. Устойчивость к нему встречается крайне редко и только частичная. В коллекциях ВИР и ВНИИЛ имеются только три относительно устойчивых к антракнозу образца: сорт льна-долгунца из Германии 'Sinter' (к-7353), линия из Литвы Б-14 (к-7618) и сорт масличного льна 'Leona' (к-6297), на основе которого во ВНИИЛ создано три донора: Г-82 (к-7692), Г-106 (к-7693)

Таблица 2. Слабо поражающиеся ржавчиной линии, выделенные из восприимчивых к болезни староместных образцов льна-долгунца**Table 2. Lines weakly affected by rust, selected from susceptible accessions of fiber flax landraces**

Исходный образец / Initial accession			Линия / Line					
№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Год поступления в коллекцию / Year of acquisition	Номер / No.	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Год создания / Year of development	Число R-генов / Number of R genes	% авирулентных клонов / % of avirulent clones	Вероятный локус / Probable locus
467	Вологодская обл. / Vologda Province	1922	1-1	9	1986	1	99–100 ± 2	<i>M</i> или / ог <i>K</i>
630	Симбирская губ. / Simbirsk Province	1922	4-1	25	1986	1	98 ± 2	<i>L?</i>
716	Псковский кряж* / Pskovskiy kryazh**	1923	2-1	32	1986	1	78 ± 9	<i>P</i>
780	Минская обл. / Minsk Province	1923	2-1	33	1986	1	84 ± 5,2	<i>P</i>
791	Гомельская обл. / Gomel' Province	1923	2-1	34	1986	1	98 ± 2,0	<i>P</i> или / ог <i>K</i>
834	Владимирская обл. / Vladimir Province	1923	2-1-1	38	1986	1	96 ± 2,7	<i>K</i>
846	Иваново- Вознесенская обл. / Ivanovo-Voznesensk Province	1923	2-3-1	39	1986	1	94 ± 3,4	<i>M</i>
867	Вотский кряж / Votskiy kryazh	1923	1-2	40	1986	1	86 ± 4,9	<i>P</i> или / ог <i>K</i>
944	Тюменская обл. / Tyumen Province	1923	5-1-3	46	1976	1	96 ± 2,7	<i>P</i> или / ог <i>K</i>

* кряж – староместный российский сорт народной селекции.

** kryazh – an old Russian landrace evolved in the process of folk breeding.

и Эр-30 (к-7914) (Kurchakova, 2001, 2015). Донор устойчивости к ржавчине ВИР-1 также создан на основе сорта 'Леона' (*P3*), поэтому возможно, что среди создаваемых с его участием устойчивых к ржавчине гибридов льна могут быть генотипы с устойчивостью к антракнозу. По данным ВНИИЛ, сорт из Нидерландов 'Natasja' (ген *Q*) высокоустойчив к пасмо – опасному заболеванию льна (Kurchakova, 2015), поэтому, возможно, использование в селекции доноров устойчивости к ржавчине ВИР-14 и ВИР-16, созданных с его участием, позволит повысить также устойчивость сортов к пасмо. Линия 3-1 из шведского сорта 'Svalof 60132' (к-6658) также устойчива к пасмо, поэтому доноры ВИР-13 и ВИР-15, созданные с ее участием,

могут способствовать повышению устойчивости созданных с их участием сортов.

После появления в 1951 г. сорта 'Л-1120', который слабо поражался ржавчиной на инфекционном фоне (сильно – при искусственном заражении), был относительно устойчив к фузариозному увяданию и полеганию, давал высокую урожайность семян и волокна с хорошей прочностью, селекционеры начали активно использовать его при создании новых сортов. Как было показано, устойчивость к ржавчине сорта 'Л-1120' обусловлена полимерными генами (Kutuzova, 1979), которые в значительной степени передавались потомству. Такая защита достаточно надежна и долговечна. С его участием в семи-

Таблица 3. Линии из устойчивых к ржавчине зарубежных образцов коллекции льна-долгунца**Table 3. Lines from rust-resistant foreign accessions of fiber flax**

Исходный образец / Initial accession			Линия / Line					
№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название / Name	Год поступления в коллекцию / Year of acquisition	Номер / No.	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Год создания / Year of development	Число R-генов / Number of R genes	% авирулентных клонов / % of avirulent clones	Вероятный локус / Probable locus
6608	Currong (Австралия) / (Australia)	1964	3	7706	1986	3	100 ± 2,0	N, P и / and (или / or) K
6658	Svalof (Швеция) / (Sweden)	1964	3-1	7707	1986	2	100 ± 2,0	–
7213	Natasja Нидерланды) / (The Netherlands)	1976	4-1	7708	1986	1	100 ± 2,0	Q

десятилетия было создано 37 сортов льна-долгунца: 'ВНИИЛ-11', 'К-6', 'Лазурный', 'Могилевский', 'Оршанский 2', 'Призыв 81', 'Тверца' и других, устойчивых к ржавчине в средней степени, по мере распространения которых стало постепенно снижаться поражение этой болезнью посевов льна в стране.

Первый не поражающийся ржавчиной селекционный сорт 'Томский 16' (к-7694) был включен в коллекцию ВИР в 1986 г. Он отличается раннеспелостью, высокой урожайностью по семенам и волокну, сочетающейся с высоким качеством волокна, устойчивостью к фузариозному увяданию, полеганию, осыпанию семян. Не случайно этот сорт был многократно использован в дальнейшей селекции (Крепков, 2000).

В девяностые годы в коллекцию поступили не поражающиеся ржавчиной сорта: 'А-94' и 'Ленок' селекции ВНИИЛ, сорт Томской опытной станции 'Томский 18' (к-8003), а также донор устойчивости к ржавчине ВНИИЛ Г-1781-4-18 (к-8009). С 2000 г. большая часть отечественных сортов льна-долгунца ржавчиной на инфекционном фоне не поражается.

С 2011 г. среди поступивших в коллекцию иностранных сортов не поражились возбудителем ржавчины французские – 'Agatha' (к-8492), 'Drakkar' (к-8493), 'Alizee' (к-8494), 'Eden' (8678), австралийский сорт 'Flag' (к-8770), китайские образцы – к-8514, к-8520, к-8523, к-8524, к-8669, к-8670, к-8690, к-8737–8739, к-8745, к-8747, к-8758–8760. Все китайские образцы отличаются исключительно высоким ростом, многие – высоковолокнистые с хорошим качеством волокна (Pavlov et al., 2015). Эти сорта также могут служить источниками и донорами устойчивости к *M. lini*.

Для широкого использования в производственных посевах имеется значительное число отечественных сортов льна-долгунца, устойчивых к фузариозному увяданию, ржавчине и полеганию, содержащих до 32% волокна с высокими прядильными свойствами: 'Зарянка' (к-8241), 'Альфа' (к-8347), 'Тверской' (к-8243), 'А-93' (к-7936), 'Ленок' (к-7940), 'Алексим' (к-7801), 'Росинка' (к-

8348) и другие сорта селекции института льна; 'Восход' (к-8153), 'Антей' (к-8344), 'Кром' (к-7887) – Псковского НИИСК; 'Тост' (к-8154), Тост 1 – Тост-4 (к-8244 – к-8247) – Томской опытной станции; 'Импульс' (к-8172) – Смоленской опытной станции, а также французские сорта 'Diane' (к-8289), 'Aurore' (к-8290), 'Venus' (к-8291) и нидерландский сорт 'Evelin' (к-8346). Разработаны технологии возделывания и защиты от сорняков, болезней и вредителей, создана высокоэффективная техника для возделывания и переработки культуры (Shindin et al., 2012).

Заключение

Из коллекции льна-долгунца нами было выделено пять русских кряжей и полученный в ВИР сорт 'ГДС-3', устойчивые к ржавчине до настоящего времени, а также созданы 19 доноров с комплексом хозяйственно ценных признаков. Другие селекционные учреждения также внесли большой вклад в комплексную устойчивость льна. Таким образом, селекционеры страны имеют богатый исходный материал для селекции устойчивых к возбудителю ржавчины сортов. Использование таких доноров в гибридизации при селекции сортов не может вызвать ухудшения важнейших свойств сорта и позволяет быстро ввести гены устойчивости к болезни.

Наличие большого количества необрабатываемых сельскохозяйственных угодий, благоприятных для льна-долгунца климатических условий Северо-Западного региона РФ, особенно Ленинградской области («белые ночи», умеренные температуры, достаточная влажность), и устойчивости современных сортов к большинству болезней способствует формированию растений с высоким содержанием и качеством волокна. Учитывая ценность льняного волокна, его уникальные гигиенические свойства и высокую стоимость на мировом рынке, наличие замечательных отечественных сортов и полностью механизированных технологий возделывания и переработки, лен-долгунец может быть исключительно доходной культурой.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0001 «Коллекция масличных и прядильных культур ВИР: поддержание, изучение, расширение генетического разнообразия», номер государственной регистрации АААА-А19-119013090159-5.

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0001 "The Collection of Oil and Fiber Crops at VIR: Maintenance, Study, and Genetic Diversity Expansion", State Registration No. АААА-А19-119013090159-5.

References/Литература

- Agriculture in Russia: Supplement to the compendium (Selskoye khozyaystvo v Rossii. Prilozheniye k sborniku). Federal State Statistic Service. Moscow; 2019. [in Russian] (Сельское хозяйство в России. Приложение к сборнику. Федеральная служба государственной статистики. Москва; 2019. URL: <https://www.gks.ru/folder/210/document/13226> [дата обращения: 20.02.2020].
- Krepkov A.P. Fiber flax breeding in Siberia: a monograph (Selektsiya lna-dolguntsa v Sibiri: monografiya). Tomsk: Tomsk State University; 2000. [in Russian] (Крепков А.П. Селекция льна-долгунца в Сибири: монография. Томск: ТГУ; 2000).
- Kurchakova L.N. The genetic potential of the VNIL flax collection for the resistance to major fungal diseases (Geneticheskiy potentsial kollektzii lna VNIL po ustoychivosti k osnovnym gribnym zabolevaniyam). In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Genetic Resources of Cultivated Plants" (Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Geneticheskiye resursy kulturnykh rasteniy")*. St. Petersburg; 2001. p.327-328. [in Russian] (Курчакова Л.Н. Генетический потенциал коллекции льна ВНИЛ по устойчивости к основным грибным заболеваниям. В кн.: *Материалы международной научно-практической конференции «Генетические ресурсы культурных растений»*. Санкт-Петербург; 2001. С.327-328).
- Kurchakova L.N. Environmental and genetic bases of flax breeding for the resistance to *Septoria*: a monograph (Ekologo-geneticheskiye osnovy selektsii lna na ustoychivost k septoriozu: monografiya). Tver: Tver State University; 2015. [in Russian] (Курчакова Л.Н. Эколого-генетические основы селекции льна на устойчивость к септориозу: монография. Тверь: Тверской госуниверситет; 2015).
- Kutuzova S.N. Donors of rust resistance (Donory ustoychivosti k rzhavchine). *Len i konoplya = Flax and Hemp*. 1987;6:33-35. [in Russian] (Кутузова С.Н. Доноры устойчивости к ржавчине. *Лен и конопля*. 1987;6:33-35).
- Kutuzova S.N. Fiber flax donors of rust resistance (Donory ustoychivosti lna-dolguntsa k rzhavchine). In: *Identified Plant Genetic Diversity and Breeding (Identifitsirovanny genofond rasteniy i selektsiya)*. St. Petersburg; 2005. p.389-405. [in Russian] (Кутузова С.Н. Доноры устойчивости льна-долгунца к ржавчине. В кн.: *Идентифицированный генофонд растений и селекция*. Санкт-Петербург; 2005. С.389-405).
- Kutuzova S.N. Genes of rust resistance for fiber flax breeding (Geny ustoychivosti k rzhavchine dlya selektsii lna-dolguntsa). *Byulleten VIR. Tekhnicheskiye kultury = Bulletin of VIR. Industrial Crops*. 1981;3-6. [in Russian] (Кутузова С.Н. Гены устойчивости к ржавчине для селекции льна-долгунца. *Бюллетень ВИР. Технические культуры*. 1981;3-6).
- Kutuzova S.N. Genetic bases of flax breeding for rust resistance (Geneticheskiye osnovy selektsii lna na ustoychivost k rzhavchine). St. Petersburg; 2014. [in Russian] (Кутузова С.Н. Генетические основы селекции льна на устойчивость к ржавчине. Санкт-Петербург; 2014).
- Kutuzova S.N. Genetic basis of resistance to *Melampsora lini* (Pers.) Lev., the agent of flax rust, in domestic varieties of fibre flax. *Agricultural Biology*. 2012;5:70-77. [in Russian] (Кутузова С.Н. Генетическая природа устойчивости отечественных сортов льна-долгунца к возбудителю ржавчины *Melampsora lini* (Pers.) Lev. *Сельскохозяйственная биология*, 2012;5:70-77). DOI: 10.15389/agrobiology.2012.5.70rus
- Kutuzova S.N. Resistance of released flax varieties to rust (Ustoychivost rayonirovannykh sortov lna-dolguntsa k rzhavchine). *Len i konoplya = Flax and Hemp*. 1979;2:13-15. [in Russian] (Кутузова С.Н. Устойчивость районированных сортов льна-долгунца к ржавчине. *Лен и конопля*. 1979;2:13-15).
- Kutuzova S.N., Brutch N.B., Porokhovinova E.A., Nizova G.K., Sharov I.Ya., Krat T.E. et al. Catalogue of the VIR global collection. Issue 714. Donors of agronomical characters for fiber flax breeding. St. Petersburg: VIR; 2000. [in Russian] (Кутузова С.Н., Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Низова Г.К., Шаров И.Я., Крат Т.Е. и др. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 714. Доноры хозяйственно ценных признаков для селекции льна-долгунца. Санкт-Петербург: ВИР; 2000).
- Kutuzova S.N., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V. Localization of rust resistance genes in old local Russian flaxes by methods of classical genetics. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):650-655. DOI: 10.18699/vj19.537
- Pavlov A.V., Brutch N.B., Porokhovinova E.A., Kutuzova S.N. Fibre flax accessions of Chinese breeding as sources of valuable agronomic characters. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015;176(1):68-75. [in Russian] (Павлов А.В., Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Кутузова С.Н. Образцы льна-долгунца китайской селекции как источники хозяйственно-ценных признаков. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2015;176(1):68-75). DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-68-75
- Rozhmina T.A. Flax sources of rust resistance and their donor properties (Istochniki ustoychivosti lna-dolguntsa k rzhavchine i ikh donorskiye svoystva). *Sbornik nauchnykh trudov VNIL = Collection of Scientific Papers of the Flax Research Institute*. 1988;25:35-38. (Рожмина Т.А. Источники устойчивости льна-долгунца к ржавчине и их донорские свойства. *Сборник научных трудов ВНИЛ*. 1988;25:35-38).
- Rozhmina T.A., Zhuchenko A.A., Uschapovskiy I.V., Kurchakova L.N., Baskakov V.A., Kiseleva T.S. National collection of Russian flax and main trends of using the crop gene pool in breeding process (Natsionalnaya kolleksiya russkogo lna i osnovnye napravleniya ispolzovaniya genofonda kultury v selektsionnom protsesse). In: *Fiber Flax Breeding, Seed Production and Agricultural Practice (Selektsiya, semenovodstvo i agrotekhnika lna-dolguntsa)*. Torzhok; 2002. p.72-81. [in Russian] (Рожмина Т.А., Жученко А.А., Ушаповский И.В.,

Курчакова Л.Н., Баскаков В.А., Киселева Т.С. Национальная коллекция русского льна и основные направления использования генофонда культуры в селекционном процессе. В кн: *Селекция, семеноводство и агротехника льна-долгунца*. Торжок; 2002. С.72-81).

Shindin A.P., Zakharova L.M., Tikhomirova V.Ya., Pavlova L.N., Rozhmina T.A. Flax. Technologies of cultivation and protection against harmful organisms (Len. Tekhnologii vozdel'yvaniya i zashchity ot vrednykh organizmov). Moscow; 2012. [in Russian] (Шиндин А.П., Захарова Л.М., Тихомирова В.Я., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А. Лен. Технологии возделывания и защиты от вредных организмов. Москва; 2012).

Vavilov N.I. Plants' immunity to infectious diseases (Immunitet rasteniy k infektsionnym zabolevaniyam). *Izvestiya Petrovskoy selskokhozyaystvennoy akademii* =

News of Petrovskaya Agricultural Academy. 1918;1-4. [in Russian] (Вавилов Н.И. Иммуитет растений к инфекционным заболеваниям. *Известия Петровской сельскохозяйственной академии*. 1918;1-4).

Zhivetin V.V., Ginsburg L.N., Olshanskaya O.M. Flax and its complex utilization (Len i yego kompleksnoye ispol'zovaniye). Moscow; 2002. [in Russian] (Живетин В.В., Гинсбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. Москва; 2002).

Zhuchenko A.A., Rozhmina T.A., Ponazhov L.N., Pavlova L.N., Tikhomirova V.Ya., Sorokina O.Yu. Ecogenetic bases of fiber flax breeding (Ekologo-geneticheskiye osnovy selektsii lina-dolguntsa). Tver; 2009. [in Russian] (Жученко А.А., Рожмина Т.А., Поназов В.П., Павлова Л.Н., Тихомирова В.Я., Сорокина О.Ю. Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь; 2009).

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Кутузова С.Н., Пороховинова Е.А., Брач Н.Б., Павлов А.В. Мировой генофонд льна-долгунца ВИР и селекция устойчивых к ржавчине сортов. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):57-64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64

Kutuzova S.N., Porokhovinova E.A., Brutch N.B., Pavlov A.V. World-wide gene pool of fiber flax at VIR, and breeding of rust-resistant varieties. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020;181(2):57-64. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-57-64

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-57-64>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Все авторы одобрили рукопись / All authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Kutuzova S.N. <https://orcid.org/0000-0002-6292-1476>

Porokhovinova E.A. <https://orcid.org/0000-0002-8328-9684>

Brutch N.B. <https://orcid.org/0000-0003-2253-6263>

Pavlov A.V. <https://orcid.org/0000-0002-5098-4904>