

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья
УДК 635.659:633.52
DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-64-78



Признаковая коллекция крупноплодного подсолнечника ВИР для селекции сортов и гибридов

В. А. Гаврилова¹, Л. Г. Макарова¹, Т. Г. Ступникова², Н. В. Алпатьева¹, Е. Б. Кузнецова¹, И. Н. Анисимова¹

¹ Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, Краснодарский край, Россия

Автор, ответственный за переписку: Гаврилова Вера Алексеевна, v.gavrilova@vir.nw.ru

Актуальность. В последние годы наблюдается увеличение доли использования семян подсолнечника в кондитерской и пищевой промышленности. В Государственном реестре селекционных достижений в 2023 г. среди 839 районированных сортов и гибридов подсолнечника значится 30 сортов и всего лишь 3 гибрида кондитерского направления. Таким образом, создание исходного материала для получения крупноплодных сортов и гибридов актуально.

Материалы и методы. Материалом исследования служили 90 образцов подсолнечника коллекции ВИР, выделившиеся по признаку крупности семян. Учитывали следующие признаки: масса 1000 семян, период «всходы – созревание», высота растения, диаметр корзинки, окраска и размер семян, устойчивость к ложной мучнистой росе. Использовали ДНК-маркеры для выявления образцов – носителей гена *Rf1* и ЦМС.

Результаты. Лучшими по массе 1000 семян были образцы к-2818 (Приморский край), к-3633, к-3748, к-3782 (Китай), к-3578 (Украина). Подтвердили свою крупноплодность и сорта отечественной селекции 'Алексеевский крупноплодный 2' (к-3552), 'Гяр-гяр' (к-1589), 'СПК' (к-3426), 'Лакомка' (к-3526). Стерильный тип цитоплазмы выявили у 12 образцов. Диагностические маркеры ядерного гена *Rf1* (ORS511, HRG01 и HRG02) имели 14 образцов с фертильным типом цитоплазмы. В большинстве случаев это был маркер HRG02, и лишь у двух образцов с фертильным типом цитоплазмы (к-3805 и к-3864 из Китая) обнаружены все три маркера.

Заключение. Крупноплодные сорта селекции ВНИИМК 'СПК' и 'Лакомка', а также к-3782 из Китая были лучшими не только по признаку крупноплодности, но и по устойчивости к ложной мучнистой росе. В результате многолетних исследований создана признаковая коллекция по признаку крупноплодности, включающая 90 образцов, которые могут использоваться при селекции кондитерских сортов. Выделены крупноплодные образцы – носители гена *Rf1*, некоторые из них стали родоначальниками линий – доноров генов восстановления фертильности пыльцы и крупноплодности одновременно.

Ключевые слова: *Helianthus annuus*, масса 1000 семян, вегетационный период, высота растения, устойчивость к ложной мучнистой росе, маркер-опосредованный отбор

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0005 «Растительные ресурсы масличных и прядильных культур ВИР как основа теоретических исследований и их практического использования».

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

Для цитирования: Гаврилова В.А., Макарова Л.Г., Ступникова Т.Г., Алпатьева Н.В., Кузнецова Е.Б., Анисимова И.Н. Признаковая коллекция крупноплодного подсолнечника ВИР для селекции сортов и гибридов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(4):64-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-64-78

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-64-78

The trait-specific collection of large-seeded sunflower at VIR: a source for breeding cultivars and hybrids

Vera A. Gavrilova¹, Larisa G. Makarova¹, Tatyana G. Stupnikova², Natalya V. Alpatieva¹, Elena B. Kusnetsova¹,
Irina N. Anisimova¹

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory, Russia

Corresponding author: Vera A. Gavrilova, v.gavrilova@vir.nw.ru

Background. In recent years, an increase has been observed in the share of sunflower seeds in the confectionery and food industries. There are 30 cultivars and only 3 hybrids for confectionery use among 839 zoned sunflower cultivars and hybrids listed in the State Register for Selection Achievements Admitted for Usage in 2023. Thus, the development of source material for breeding large-seeded cultivars and hybrids remains a relevant task.

Materials and methods. The studied material included 90 accessions selected for their large seed size from VIR's sunflower collection. The following characters were assessed: 1000 seed weight, days from sprouting to maturation, plant height, head diameter, cypsela color and size, and resistance to downy mildew. DNA markers were used to identify accessions with the *Rf1* gene and CMS.

Results. Accessions k-2818 (Primorsky Territory), k-3633, k-3748, k-3782 (China), and k-3578 (Ukraine) were the best in 1000 seed weight. Russian cvs. 'Alekseyevsky Krupnoplodny 2' (k-3552), 'Gyar-Gyar' (k-1589), 'SPK' (k-3426), and 'Lakomka' (k-3526) confirmed their large seed size. The sterile type of cytoplasm was identified in 12 accessions. Fourteen accessions with fertile cytoplasm had diagnostic markers of the nuclear *Rf1* gene.

Conclusion. The large-seeded cultivars developed at VNIIMK, 'SPK', 'Lakomka', and k-3782 from China were the best not only in their large seed size but also in downy mildew resistance. As a result of long-term studies, a trait-specific collection was established for the large seed size trait. It included 90 accessions that can be used in the development of confectionery cultivars. Large-seeded sunflower accessions carrying the *Rf1* gene were identified. Some of them became the ancestors of donor lines for both pollen fertility restoration genes and large seed size.

Keywords: *Helianthus annuus*, 1000 seed weight, growing season, plant height, downy mildew resistance, marker-assisted selection

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0005 "Plant resources of oil and fiber crops at VIR as the basis for theoretical research and their practical utilization".

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

For citation: Gavrilova V.A., Makarova L.G., Stupnikova T.G., Alpatieva N.V., Kusnetsova E.B., Anisimova I.N. The trait-specific collection of large-seeded sunflower at VIR: a source for breeding cultivars and hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(4):64-78. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-64-78

Введение

Крупноплодный подсолнечник широко распространен в большинстве стран мира, пользуется спросом и на внутреннем рынке РФ (Fick, Miller, 1997; Tan A.S., Tan A., 2010; Bochkovoy et al., 2019; Hladni, Miladinović, 2019). Число сортов крупноплодного подсолнечника постоянно увеличивается. В 2017 г. в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, занесено 23 сорта подсолнечника кондитерского направления (State Register..., 2017), в 2018 г. – 27 сортов (State Register..., 2018), тогда как в 2021 г. – уже 33 сорта и гибрида (State Register..., 2021). Такая же ситуация сохраняется и в 2023 г.: среди 839 районированных значится 30 сортов и всего лишь 3 гибрида кондитерского направления (State Register..., 2023). В последние годы спрос сельскохозяйственного производства на семена крупноплодного подсолнечника резко возрос. Такое повышение спроса связано с увеличением доли использования семян подсолнечника в кондитерской и пищевой промышленности. Ядра семян крупноплодного подсолнечника содержат 22–30% белка, отличаются пониженным содержанием масла и насыщенных жирных кислот, что способствует снижению уровня холестерина, имеют повышенное содержание железа и служат источником калия, цинка, витаминов Е и В1, пищевой клетчатки (Bochkovoy, Pivnenko, 2007; Hladni, Miladinović, 2019).

Крупноплодный подсолнечник отличается от сортов масличного использования высокой массой 1000 семян (более 90 г), повышенной лужистостью. Все эти качества с успехом позволяют использовать ядра крупноплодного подсолнечника в кондитерских целях, заменяя дорогостоящие орехи, кунжут, арахис. Семена подсолнечника можно употреблять как традиционно – в жареном виде, так и для приготовления кондитерских изделий (козинаки, халва, добавка в муку, добавки к йогуртам, начинки для конфет). В России каждый год более 0,5 млн га отводится под посев крупноплодных сортов, в том числе более 120 тыс. га в Краснодарском крае (Bochkovoy et al., 2019).

В нашей стране существуют все предпосылки для селекции новых крупноплодных сортов и создания гибридов, поскольку стародавние сорта 'Гигант' и 'Русский Мамонт' послужили основой для популярных канадских сортов 'Меннонит', 'Сандак', 'Коммандор', 'Мингрэн' (Seiler, Jan, 2010). Коллекция ВИР содержит образцы с массой 1000 семян больше 80 г. Масса 1000 семян является важнейшим показателем при отборе для селекции кондитерских сортов. Образцы с повышенной массой 1000 семян имеют хорошую обрушиваемость и высокий показатель лужистости в связи с тем, что семена крупные и ядро неплотно прилегает к лузге, тем самым упрощая обрушивание (отделение ядра от лузги). Необходимо, чтобы новые сорта и гибриды подсолнечника кондитерского направления были устойчивы к различным патогенам. Одной из наиболее опасных болезней является ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая грибом *Plasmopara halstedii* (Farl) Berl. & De Toni). Каждый год 30–70% урожая погибает в результате заражения растений этим патогеном (Gavrilova et al., 2021). Создание устойчивых к ЛМР отечественных сортов и гибридов крупноплодного подсолнечника позволит увеличить валовый сбор семян.

При создании промышленных гибридов подсолнечника масличного направления используется эффект гетерозиса, однако при получении линий для крупноплодных гибридов существуют определенные сложности, так как при самоопылении происходит снижение размеров

семян из-за инбредной депрессии. Таким образом, создание исходного материала для получения крупноплодных гибридов актуально. Использование маркер-опосредованной селекции ускоряет селекционный процесс. Так, на выявление источников гена восстановления фертильности пыльцы (*Rf*) уходит два года, а с использованием молекулярных маркеров – 3-4 недели. В настоящей работе представлены результаты всестороннего изучения кондитерского подсолнечника коллекции ВИР и новых зарубежных образцов для дальнейшего использования полученных данных при селекции крупноплодных сортов и гибридов.

Одной из главных задач создания исходного материала является постоянное пополнение идентифицированных коллекций по возможно большему числу важных для селекции признаков. Необходимый этап работы в этом направлении – формирование рабочих коллекций образцов по каждому селекционно ценному признаку. Детальное изучение образцов рабочих коллекций ведет к созданию признаковых коллекций. В каждую такую коллекцию следует включать две группы образцов: образцы с искомым уровнем признака и образцы, отражающие спектр внутривидового разнообразия по изучаемому признаку (Merezhko, 1984). В ВИР формирование коллекции крупноплодных образцов подсолнечника началось еще в 60–70-е годы прошлого столетия (Anashchenko, 1971) и продолжено нами.

Материал и методы

Исследования проводили на Кубанской опытной станции – филиале ВИР в 2019 и 2020 г. В исследовании использовали 90 образцов, среди которых были местные, стародавние формы и новые поступления. Оценивали такие признаки, как масса 1000 семян, продолжительность периода «всходы – созревание», высота растения, диаметр корзинки, размер семян, устойчивость к ЛМР. Оценка массы 1000 семян проводилась у растений при свободном цветении. Посев осуществляли все три года изучения по одной методике: 70 × 70 см, по 2 растения в лунку, согласно методическим указаниям, разработанным в ВИР (Anashchenko, 1976).

Материалом исследования с использованием ДНК-маркеров служили 29 образцов крупноплодного подсолнечника различного происхождения; среди них 5 местных форм из Молдавии, Азербайджана и России (Приморский край), 15 образцов из Китая, 8 отечественных сортов. Фракции суммарной ДНК выделяли из зеленых листьев пятидневных проростков, выращенных в теплице научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» в 2022 г. с использованием модифицированного СТАВ-протокола (Anisimova et al., 2018).

Диагностическими маркерами для идентификации гена восстановления фертильности *Rf1* служили STS-маркер orfH522 (Schnabel et al., 2008), а также ядерные маркеры: SSR-маркер ORS511 (Yue et al., 2010) и SCAR-маркеры HRG01 и HRG02 (Horn et al., 2019). Маркер orfH522 ассоциирован с митохондриальным абберрантным геном, специфичным для стерильной цитоплазмы PET1-типа. Этот маркер указывает на присутствие доминантного аллеля гена восстановления фертильности *Rf1* в генотипе фертильной линии, имеющей цитоплазмону стерильного типа. Маркеры ORS511, HRG01 и HRG02 картированы в группе сцепления 13 и тесно сцеплены с доминантным аллелем ядерного гена *Rf1* (Anisimova et al., 2021).

При проведении ПЦР пользовались протоколом, рекомендованным разработчиками праймеров. Продукты амплификации разделяли электрофорезом в 2-процентном агарозном геле. Реактивы были получены от фирм «Хеликон», «Евроген», «Диалат».

Результаты и обсуждение

На основе анализа 2285 образцов коллекции ВИР по признаку крупности семян создана признаковая коллекция крупноплодного подсолнечника, включающая 90 образцов, которые на протяжении трех лет демонстрировали массу 1000 семян свыше 90 граммов. По результатам наблюдений в 2019 г. (табл. 1) 15 образцов имеют массу 1000 семян 90–100 г и 29 образцов – массу 1000 семян > 100 г. Самые высокие показатели крупносемянности отмечены у образцов из Китая. Среди отечественных сортов и стародавних образцов с показателем массы 1000 семян более 100 г можно выделить к-474, Армения (103 г); к-1589, 'Гяр-гяр', Армения (113 г); к-2219, Армения (161 г); к-2835 (101 г), к-2836 (115 г) и к-2843, Приморский край (110 г); к-3426, 'СПК', ВНИИМК (166 г); к-3526 'Лакомка', ВНИИМК (120 г); к-3578, Украина (150 г). В 2020 г. (см. табл. 1) выявлено 6 образцов с массой 1000 семян 80–100 г и 20 образцов с массой > 100 г. Хорошие показатели обнаружались у новых образцов китайского происхождения. Отечественные сорта 'Гяр-гяр', 'СПК', 'Лакомка' и в 2020 г. сохранили высокую массу 1000 семян: 95, 121 и 113 г соответственно. Для сравнения: у стандартного сорта 'Мастер' (к-3553) в 2019 г. масса 1000 семян составила 84 г, а в 2020 г. – 56 г. Подтвердили свою крупноплодность в 2020 г. и сорта отечественной селекции 'Алексеевский крупноплодный 2' (к-3552), 'Гяр-гяр', 'СПК', 'Лакомка'. Устойчивые показатели по массе 1000 семян демонстрировали образцы к-2818, Приморский край; к-3748, Китай; и-623863, Китай; к-3633, Китай; к-3578, Украина. Не все образцы в 2019 и 2020 г. показали сходные результаты. Отечественный сорт 'Саратовский 82' (к-3541) не сохранил крупноплодность: масса 1000 семян с 81 г в 2019 г. снизилась до 55 г в 2020 г. Такая же картина наблюдалась и с другими образцами: к-744, Саратовская обл. (в 2019 г. масса была 97 г, а в 2020 г. – 48 г); к-3751, Китай (в 2019 г. – 96 г, в 2020 г. – 40 г); к-2849, Приморский край (в 2019 г. – 117 г, в 2020 г. – 50 г); к-2835, Приморский край (в 2019 г. – 101 г, в 2020 г. – 77 г).

Проведена оценка крупноплодных образцов по устойчивости к *P. halstedii*. В признаковую коллекцию включены образцы, демонстрирующие крупноплодность в течение ряда лет и устойчивость к ЛМР в 2019–2020 гг.

Большинство изученных образцов характеризуются крупной корзинкой – около 20 см в диаметре (см. табл. 1), причем у стародавних образцов этот признак отмечен как слабоварьирующий (CV = 6,1–10,4%). Невысокий коэффициент вариации характерен и для высоты растения в оба года исследования. В нашу признаковую коллекцию, кроме высокорослых (200–228 см), включены образцы с высотой растения от 132 до 150 см: местный из Армении (к-474); 'Гяр-гяр'; местный из Приморского края (к-2835); местный из Азербайджана (к-3150); 'Саратовский 82', 'Sprout-2' (к-3865). Образец к-2835 с массой 1000 семян 101 г в 2019 г. отличается не только низкой высотой растения и небольшим коэффициентом ее варьирования, но и коротким межфазным периодом «всходы – созревание». Для большинства образцов продолжительность периода «всходы – созревание» составляла 92–114 дней.

Для того чтобы проследить, не утрачен ли признак крупноплодности в результате последовательных переборов на протяжении нескольких лет, нами были отобраны шесть образцов, которые изучались в 2008, 2009 и 2010 г. (Gavrilova et al., 2015). Масса 1000 семян варьировала в зависимости от года репродукции, но существенного снижения величины не обнаружилось (табл. 2). Только у китайского образца к-3633 (с.03002) масса 1000 семян упала с 247 г в 2008 г. до 132 г в 2020 г. У этих шести образцов обнаружилась тенденция понижения массы 1000 семян в 2020 г. по сравнению с 2019 г. Следует отметить, что сорт 'СПК' показал в 2019 г. более высокий результат по массе 1000 семян (130 г) по сравнению с 2008 г. (113 г). Сорт 'СПК' является самым распространенным сортом крупноплодного подсолнечника отечественной селекции, что позволяет использовать его как в кондитерском направлении, так и в качестве высокомасличного сырья (Bochkovoy et al., 2019). Сорт отечественной селекции 'Лакомка' тоже может быть использован для дальнейшей работы, так как он в 2019 и 2020 г. не утратил своей крупноплодности (126 г и 113 г соответственно).

Для того чтобы выяснить зависимость между такими важнейшими признаками, как масса 1000 семян, продолжительность периода «всходы – созревание», высота растений и диаметр корзинки, нами был проведен корреляционный анализ для образцов, изучавшихся в 2019 и 2020 г. (табл. 3), которые имеют массу 1000 семян ≥ 80 г.

В 2019 г. установлена незначительная положительная корреляция между признаками: высота растения / «всходы – созревание» (0,40), «всходы – созревание» / масса 1000 семян (0,57), диаметр корзинки / масса 1000 семян (0,60) и диаметр корзинки / «всходы – созревание» (0,35). В 2020 г. также выявлена умеренная положительная корреляция между признаками: высота растения / «всходы – созревание» (0,53) и диаметр корзинки / масса 1000 семян (0,45). Отсутствие значимых корреляций между указанными признаками говорит о том, что крупноплодные формы не обязательно должны быть высокорослыми и позднеспелыми.

Для получения новых сортов и гибридов крупноплодного подсолнечника необходимо учитывать не только визуальную оценку размера семянки, но и выполненность семени, так как не всегда крупный размер семянки говорит о том, что ядро крупное (табл. 4). Содержание крупного ядра необходимо для использования подсолнечника в кондитерских целях, поскольку именно ядро является ценным источником витаминов и минералов и может быть использовано для изготовления различных пищевых изделий. Для того чтобы определить выполненность семянки, необходимо обрушить семена, однако такой способ приводит к потере всхожести семени. В связи с этим была применена рентгеноскопия как метод прижизненной оценки выполненности семян крупноплодного подсолнечника. При помощи рентгеноскопии сделаны снимки семянок и их внутреннего содержания (ядра). Выполненность в нашем исследовании – это отношение общей площади семянки к площади ядра (Gavrilova et al., 2014).

Как видно их таблицы 4, крупные семянки (площадь 4,026 условных единиц) образца к-3516 ('Запорожский кондитерский') имеют такую же выполненность (39,78%), как у образца к-2843 (Приморский край), который при площади семянки 2,44 условных единиц выполнен на 39,89%. Интересные результаты показал сорт 'Мастер'. Этот сорт является стандартом и относится к мас-

Таблица 1. Характеристики образцов крупноплодного подсолнечника по хозяйственно ценным признакам
(Краснодарский край, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 2019–2020 гг.)

Table 1. Characteristics of useful agronomic characters in large-seeded sunflower accessions
(Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory, 2019–2020)

№ по каталогу ВИР	Образец, происхождение	Масса 1000 семян (г)		«Всходы – созревание» (дни)		Высота растения (см)						Диаметр корзинки (см)					
		2019 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.	
		Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%
474	Армения	103	-	92	102	144 ± 3,8	8,2	132 ± 3,1	7,4	23 ± 1,5	20,9	18 ± 0,4	6,9				
744	Россия, Саратовская обл.	97	48	91	99	184 ± 8,7	12,5	184 ± 8,7	4,3	20 ± 1,8	24,1	18 ± 1,2	21,9				
1589	'Гяр-гяр', Армения	113	95	97	103	153 ± 3,0	6,1	164 ± 2,1	4,0	21 ± 0,4	6,1	16 ± 0,5	10,4				
1833	Молдавия	88	70	92	102	158 ± 1,8	3,5	138 ± 2,4	5,5	20 ± 0,6	9,1	15 ± 0,7	13,8				
2006	Россия, Приморский край	-	116	93	105	139 ± 5,9	11,2	193 ± 2,8	4,6	19 ± 0,8	11,5	21 ± 1,5	22,8				
2219	Армения	161	-	98	106	200 ± 3,9	6,2	196 ± 3,7	5,9	28 ± 0,7	7,3	21 ± 1,7	26,3				
2818	Россия, Приморский край	93	108	94	94	156 ± 3,2	6,4	159 ± 4,3	8,6	18 ± 0,7	11,2	18 ± 0,9	15,3				
2835	Россия, Приморский край	101	77	79	95	150 ± 4,3	9,1	156 ± 3,7	7,6	13 ± 0,4	10,3	15 ± 1,0	22,7				
2836	Россия, Приморский край	115	-	98	110	186 ± 10,3	14,6	228 ± 8,6	11,9	23 ± 3,8	26,4	23 ± 1,1	15,1				
2843	Россия, Приморский край	110	-	99	111	186 ± 11,2	19,0	206 ± 2,3	3,5	21 ± 0,7	9,9	19 ± 1,1	17,8				
2849	Россия, Приморский край	80	50	96	105	159 ± 3,6	7,2	176 ± 3,1	5,6	16 ± 0,8	16,3	12 ± 0,7	17,6				
3147	Азербайджан	90	-	98	108	166 ± 3,2	6,0	187 ± 2,6	4,4	17 ± 0,9	15,7	17 ± 1,2	21,7				
3150	Азербайджан	93	-	95	106	148 ± 1,1	2,4	150 ± 1,1	2,2	18 ± 0,5	9,0	19 ± 1,2	20,0				
3426	'СПК', Россия, ВНИИМК	166	121	118	111	166 ± 15,4	20,8	203 ± 3,4	5,3	19 ± 2,2	25,4	23 ± 0,9	12,1				
3516	'Запорожский кондитерский', Украина, Украинский НИИ масличн. культур	113	-	94	112	189 ± 4,8	7,2	183 ± 7,1	11,6	21 ± 0,7	8,6	21 ± 1,1	15,5				
3526	'Лакомка', Россия, ВНИИМК	120	113	95	105	186 ± 1,9	2,7	207 ± 3,3	5,0	23 ± 0,6	7,3	25 ± 1,2	15,9				

Таблица 1. Продолжение
Table 1. Continued

№ по каталогу ВИР	Образец, происхождение	Масса 1000 семян (г)		«Всходы – созревание» (дни)		Высота растения (см)				Диаметр корзинки (см)			
		2020 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.	
		2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%
3541	'Саратовский 82', Россия, Саратов, НИИСХ Юго-Востока	81	55	76	87	114 ± 1,4	3,8	126 ± 3,0	7,6	19 ± 1,0	16,3	15 ± 1,6	34,8
3552	'Алексеевский крупноплодный 2', Россия, Белгородская обл.	91	89	93	110	214 ± 3,5	5,2	206 ± 1,9	2,9	18 ± 0,5	8,9	19 ± 0,7	11,9
3553	'Мастер', Россия, ВНИИМК	84	56	98	104	185 ± 5,2	8,8	197 ± 3,5	5,5	19 ± 0,8	13,8	22 ± 1,0	15,0
3578	Украина	150	105	99	117	198 ± 6,4	9,1	223 ± 3,7	5,3	20 ± 0,8	10,7	22 ± 0,6	8,2
3633	'с.03002', Китай	185	132	107	119	216 ± 2,1	3,0	237 ± 4,7	6,2	22 ± 0,9	13,0	19 ± 0,8	12,9
3726	Китай	-	81	98	106	136 ± 5,5	12,8	155 ± 5,5	11,2	15 ± 0,9	17,6	20 ± 1,7	26,8
3740	Китай	95	-	92	111	175 ± 5,4	9,8	151 (1 раст.)	-	23 ± 0,7	10,2	21 (1 раст.)	-
3741	Китай	174	-	98	119	212 ± 4,3	5,4	173 ± 13,1	18,6	22 ± 0,9	11,1	17 ± 1,1	16,7
3742	Китай	80	-	98	95	165 ± 2,2	4,2	159 ± 1,0	1,2	17 ± 0,8	14,3	16 ± 0,8	9,5
3744	Китай	125	-	116	111	218 ± 5,8	7,5	198 ± 6,1	9,2	21 ± 0,7	9,9	23 ± 1,3	17,4
3745	Китай	115	-	107	111	180 ± 2,8	4,7	167 ± 1,7	3,2	23 ± 0,8	10,5	20 ± 1,2	19,5
3748	Китай	98	104	98	105	161 ± 1,4	2,8	162 ± 1,7	3,3	18 ± 0,9	16,0	21 ± 0,8	12,0
3751	Китай	96	158	98	114	165 ± 4,5	7,7	167 ± 3,5	16,7	21 ± 1,3	17,7	21 ± 1,4	21,7
3753	'Хейлундянский 2', Китай	89	-	109	108	221 ± 6,6	8,9	183 ± 2,6	4,5	16 ± 1,0	18,5	15 ± 0,6	12,7
3803	Китай	112	-	107	115	187 ± 4,8	7,7	181 ± 1,5	2,7	21 ± 0,9	12,2	19 ± 0,8	13,7
3804	Китай	-	82	114	114	188 ± 4,9	5,8	191 ± 3,1	5,2	15 ± 1,4	20,8	16 ± 0,6	12,9
3805	Китай	148	138	112	109	189 ± 3,9	6,5	190 ± 5,4	9,0	19 ± 1,4	24,2	20 ± 0,8	12,2

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

№ по каталогу ВИР	Образец, происхождение	Масса 1000 семян (г)		«Всходы - созревание» (дни)		Высота растения (см)						Диаметр корзинки (см)					
		2019 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.		2019 г.		2020 г.	
		Xm	Se	Xm	Se	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%	Xm ± Se	CV%
3864	'Sprout-1', Китай	130	-	103	109	217 ± 5,2	7,5	225 ± 5,6	7,8	24 ± 1,0	12,6	22 ± 0,6	9,1				
3865	'Sprout-2', Китай	193	-	104	109	146 ± 3,2	7,0	164 ± 6,4	12,4	30 ± 0,8	8,9	23 ± 1,3	17,9				
3866	'Sprout-3', Китай	180	-	112	112	166 ± 1,3	2,4	162 ± 3,3	6,5	20 ± 0,3	4,7	24 ± 1,2	16,1				
3868	'LSK-15', Китай	125	-	114	109	187 ± 4,8	7,2	183 ± 5,3	8,8	29 ± 1,2	12,0	24 ± 0,6	7,7				
3869	'SF 01', Китай	178	-	99	101	159 ± 4,4	8,8	143 ± 10,8	15,1	24 ± 1,3	16,7	18 ± 4,2	48,1				
3870	'5009 (№3)', Китай	183	-	109	97	153 ± 5,7	11,8	134 ± 6,0	14,3	23 ± 0,6	7,1	19 ± 0,5	8,9				
3874	Китай	-	199	-	107	-	-	208 ± 2,9	4,4	-	-	25 ± 0,8	9,7				
3875	Китай	-	160	-	110	-	-	197 ± 2,4	3,8	-	-	24 ± 0,7	9,6				
3876	Китай	-	75	114	97	211 ± 4,1	3,9	171 ± 6,7	9,6	17 ± 1,2	14,4	12 ± 0,6	12,2				
3877	Китай	138	128	93	108	180 ± 3,6	6,3	181 ± 11,0	8,6	19 ± 0,5	8,5	18 ± 5,0	39,3				
3878	'JS-33', Китай	117	108	98	104	149 ± 3,2	6,7	145 ± 2,7	5,9	18 ± 0,7	13,4	14 ± 0,8	18,7				
3879	'LSK-14', Китай	198	158	109	109	197 ± 2,0	3,2	190 ± 5,1	7,1	25 ± 0,8	9,6	23 ± 1,3	14,6				
3782	Китай	89	85	93	107	167 ± 3,6	6,5	160 ± 4,2	8,2	19 ± 0,5	8,0	17 ± 0,6	11,0				
3875	Китай	-	154	-	110	-	-	197 ± 2,4	3,8	-	-	24 ± 0,7	9,6				
3887	Китай	251	-	-	111	-	-	203 ± 15,0	19,5	-	-	20 ± 0,6	8,4				

Примечание: «-» - данные отсутствуют; Xm - среднее значение признака; Se - ошибка среднего
 Note: "- " means that data are unavailable; Xm is the character's mean value; Se is the error of the mean

Таблица 2. Характеристика образцов по признаку «масса 1000 семян»
(Краснодарский край, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 2008–2010, 2019, 2020 г.)

Table 2. Description of accessions according to their 1000 seed weight
(Kuban Experiment Station of VIR, Krasnodar Territory, 2008–2010, 2019, and 2020)

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Масса 1000 семян (г) по годам				
			2008 г.	2009 г.	2010 г.	2019 г.	2020 г.
1589	‘Гяр-гяр’	Армения	131	95	110	113	95
2835	Местный	Россия, Приморский край	75	79	112	101	77
3426	‘СПК’	Россия, ВНИИМК	113	114	118	130	121
3578	Местный	Украина	107	92	100	150	105
3526	‘Лакомка’	Россия, ВНИИМК	103	92	123	126	113
3633	‘с.03002’	Китай	247	171	133	185	132

Таблица 3. Корреляция признаков крупноплодных образцов подсолнечника с массой 1000 семян ≥ 80 г
(2019, 2020 г.)

Table 3. Correlations among the characters in large-seeded sunflower accessions with the 1000 seed weight ≥ 80 g
(2019 and 2020)

Признак	Масса 1000 семян, г	«Всходы – созревание», дни	Высота растения, см
Межфазный период «всходы – созревание», дни	0,57 / 0,17		
Высота растения, см	0,24 / -0,07	0,40 / 0,53	
Диаметр корзинки, см	0,60 / 0,45	0,35 / 0,10	0,30 / 0,29

Таблица 4. Характеристика образцов подсолнечника по размеру и выполненности семянки
(по: Gavrilova et al., 2014)

Table 4. Description of sunflower accessions according to their cypsela size and plumpness
(from Gavrilova et al., 2014)

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Площадь плода, у. е. ²	Выполненность, %
3633	‘с.03002’	Китай	3,091	41,36
1589	‘Гяр-гяр’	Армения	3,473	40,30
1833	местный	Молдавия	2,119	43,21
2818	местный	Приморский край	2,704	47,09
2835	местный	Приморский край	2,855	46,89
2836	местный	Приморский край	2,809	38,83
2843	местный	Приморский край	2,441	39,89
3426	‘СПК’	ВНИИМК	3,226	49,08
3516	‘Запорожский кондитерский’	Украина	4,026	39,78
3716	‘Орешек’	ВНИИМК	3,172	62,03
3717	‘Белоснежный’	ВНИИМК	3,252	49,98
3719	‘Баловень’	ВНИИМК	4,420	64,46
3727	местный	Китай	6,783	19,75
3744	местный	Китай	5,212	30,08
3750	местный	Казахстан	3,879	46,02

Примечание: у. е.² – площадь ядра в условных единицах

Note: у. е.² is the kernel area in conventional units

личному типу использования, но при небольшой площади плода (2,269 условных единиц) имеет высокий процент выполненности – 55,37%. Таким образом, его также можно будет использовать в отборе исходного материала для селекции кондитерского подсолнечника по этому признаку. В связи с этим необходимо вести отбор с учетом не только размера семян, но и ее выполненности, а также устойчивости к ЛМР.

Наиболее перспективны для селекции сорта ‘СПК’, ‘Лакомка’, ‘Гяр-гяр’ как источники по признакам крупноплодности, устойчивости к ЛМР и выполненности; сорт ‘Мастер’ – как источник выполненности семени. Китайские образцы интересны именно своей крупноплодностью и устойчивостью к ЛМР, а также светлой и полосатой окраской семян, так как в соответствии с мировыми стандартами семена сортов и гибридов подсолнечника кондитерского направления должны иметь светлую, белую или полосатую окраску (Puzikov, Suvogova, 2013). В России же семена крупноплодного подсолнечника имеют в основном черную окраску и меньший размер, поэтому крупноплодные и светлоокрашенные образцы из Китая могут быть использованы для селекции сортов и создания гибридов кондитерского подсолнечника, соответствующих международным стандартам.

Нами неоднократно предпринимался поиск носителей гена восстановления фертильности пыльцы *Rf1* среди крупноплодных образцов признаковой коллекции ВИР. В данной работе с помощью диагностических молекулярных маркеров *orfH522*, *ORS511*, *HRG01* и *HRG02* выполнили скрининг выборки из 30 крупноплодных образцов подсолнечника и идентифицировали носителей стерильного типа цитоплазмы и молекулярных маркеров гена *Rf1*.

Диагностический фрагмент, полученный при амплификации маркера *orfH522*, специфичного для ассоциированного с ЦМС *PET1* митохондриального гена, имел длину 516 пн. Размеры *SSR*-маркера *ORS511*, а также *SCAR*-маркеров *HRG01* и *HRG02*, сцепленных с доминантным аллелем ядерного гена *Rf1*, составили соответственно 159, 434 и 740 пн. Стерильный (*PET1*) тип цитоплазмы диагностирован у 10 образцов (рисунок), в том числе у девяти образцов из Китая (шесть китайских образцов имели фертильный тип цитоплазмы). О наличии генов восстановления фертильности пыльцы в генотипе могут свидетельствовать ядерные молекулярные маркеры,

тесно сцепленные с доминантным аллелем гена *Rf1*. У восьми образцов со стерильным типом цитоплазмы обнаружены один, два или три диагностических ядерных маркера гена *Rf1*. Четырнадцать из 20 образцов с фертильным типом цитоплазмы имели маркеры ядерного гена *Rf1*. В большинстве случаев это был маркер *HRG02*, и лишь у двух образцов с фертильным типом цитоплазмы (*к-3805* и *к-3864* из Китая) были обнаружены все три маркера: *ORS511*, *HRG01* и *HRG02*. В коллекции ВИР имеется линия – восстановитель фертильности пыльцы *ВИР740* с фертильным типом цитоплазмы и аналогичным профилем маркера. Среди шести изученных местных форм крупноплодного подсолнечника потенциальные носители гена *Rf1* обнаружены у трех образцов. Все местные образцы имели цитоплазмону фертильного типа. У двух из них выявили маркер *HRG02*, имеющий ограниченную диагностическую ценность для идентификации фертильного плазмотипа (Horn et al., 2019). Таким образом, выявленные в результате молекулярного скрининга образцы со стерильным типом цитоплазмы, а также образцы с фертильным типом, обладающие маркерами гена *Rf1*, можно рассматривать как перспективные источники для создания исходного материала для селекции крупноплодного подсолнечника.

Аналогичный молекулярный скрининг признаковой коллекции других крупноплодных образцов был проведен в 2011–2012 гг. (Gavrilova et al., 2015). Образцы, у которых выявили наличие маркера гена *Rf1* в генотипе, скрещивались с линиями ЦМС в полевых условиях. Результаты анализа восстановления фертильности пыльцы у гибридов первого поколения показали полное совпадение с результатами молекулярного скрининга.

Из крупноплодных образцов, обладающих геном *Rf1* и генами автофертильности, получены линии десятого поколения инбридинга, которые являются донорами признаков восстановления фертильности пыльцы, крупноплодности и устойчивости к ЛМР (табл. 5). Из некоторых образцов получена не одна линия; например, из образца *к-3619* (США) созданы четыре линии, различающиеся по высоте растения, окраске и крупности семян. Линии-доноры имеют несколько меньшую массу 1000 семян, но при скрещивании в качестве отцовской формы с крупноплодной линией ЦМС *ВИР106* показывают повышение массы семян до 90–135 г (табл. 6).

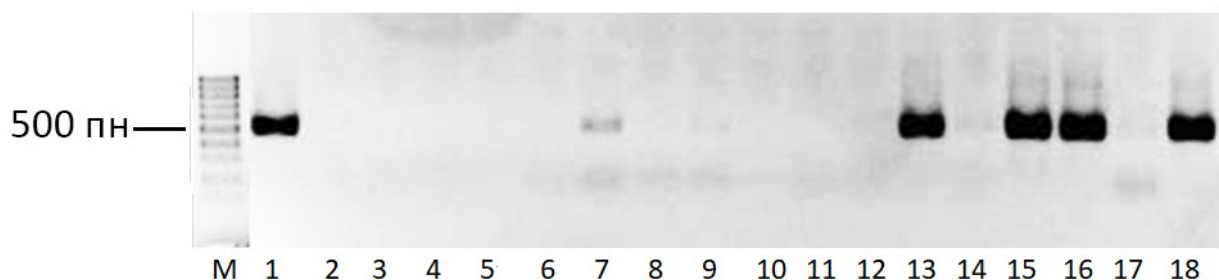


Рисунок. Идентификация плазмотипа (фертильный – *F*, стерильный *PET1* – *S*) с помощью маркера *orfH522* у образцов крупноплодного подсолнечника: 1 – *к-3740* (*S*); 2 – *к-1833* (*F*); 3 – *к-2818* (*F*); 4 – *к-2836* (*F*); 5 – *к-2843* (*F*); 6 – *к-2849* (*F*); 7 – *к-3868* (*S*); 8 – *к-3744* (*F*); 9 – *к-3805* (*F*); 10 – *к-3864* (*F*); 11 – *к-3898* (*F*); 12 – *к-3888* (*F*); 13 – *к-3875* (*S*); 14 – *к-3426* (*F*); 15 – *к-3865* (*S*); 16 – *к-3878* (*S*); 17 – *к-3866* (*F*); 18 – *к-3881* (*S*).

M – маркер молекулярного веса ДНК 100 bp («Диалат»)

Figure. Identification of the type of cytoplasm with the *orfH522* marker among large-seeded sunflower accessions (*F* – fertile; *S* – sterile *PET1*): 1 – *к-3740* (*S*); 2 – *к-1833* (*F*); 3 – *к-2818* (*F*); 4 – *к-2836* (*F*); 5 – *к-2843* (*F*); 6 – *к-2849* (*F*); 7 – *к-3868* (*S*); 8 – *к-3744* (*F*); 9 – *к-3805* (*F*); 10 – *к-3864* (*F*); 11 – *к-3898* (*F*); 12 – *к-3888* (*F*); 13 – *к-3875* (*S*); 14 – *к-3426* (*F*); 15 – *к-3865* (*S*); 16 – *к-3878* (*S*); 17 – *к-3866* (*F*); 18 – *к-3881* (*S*).

M is the 100 bp DNA molecular weight marker (Dialat)

Таблица 5. Результаты молекулярного скрининга крупноплодных образцов подсолнечника
 Table 5. Molecular screening results for large-seeded sunflower accessions

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Наличие ogfH522 / тип цитоплазмы	Наличие маркера			Наличие доминантного аллеля Rf1
				ORS511	HRG01	HRG02	
1833	местный	Молдавия	- / F	-	-	-	-
2818	«	Россия, Приморский край	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
2836	«	Россия, Приморский край	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
2843	«	Россия, Приморский край	- / F	-	-	-	-
2849	«	Россия, Приморский край	- / F	-	-	-	-
3150	«	Азербайджан	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
3553	'Мастер'	Россия, ВНИИМК	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
3744	местный	Китай	- / F	-	+	+	+
3805	«	Китай	- / F	+	+	+	+
3864	'Sprout-1'	Китай	- / F	+	+	+	+
3866	'Sprout-3'	Китай	- / F	-	-	+	+
3898	'Куманек'	Россия, Краснодарский край	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
3888	'Битюг'	Россия, НИИСХ им. Докучаева	- / F	-	-	-	-
3895	'Победа'	Россия, Челябинская обл.	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
3893	'Мартин Классик'	Россия, ООО «Генофонд»	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
3894	'Гамбиг'	Россия, ООО «Генофонд»	- / F	-	-	+	Интерпретация затруднена
3886	'Караван'	Россия, ВНИИМК	- / F	-	-	-	-

Таблица 5. Окончание
Table 5. The end

№ по каталогу ВИР	Образец	Происхождение	Наличие отгН522 / тип цитоплазмы	Наличие маркера			Наличие доминантного аллеля <i>Rf1</i>
				ORSS11	HRG01	HRG02	
3869	'SF-01'	Китай	- / F	-	-	-	-
3877	местный	Китай	- / F	-	нд	+	Интерпретация затруднена
3426	'СПК'	Россия, ВНИИМК	- / F	-	нд	-	Интерпретация затруднена
3740	местный	Китай	+ / S	+	+	+	+
3742	«	Китай	+ / S	+	+	-	+
3745	«	Китай	+ / S	+	+	+	+
3865	'Sprout-2'	Китай	+ / S	-	-	-	+
3868	'LSK-15'	Китай	+ / S	+	-	-	+
3875	местный	Китай	+ / S	-	-	+	+
3881	«	Россия, маг. «Пятерочка», СПб	+ / S	-	-	-	+
3874	«	Китай	+ / S	-	-	+	+
3878	'JS-33'	Китай	+ / S	-	нд	-	+
3879	'LSK-114'	Китай	+ / S	-	+	+	+

Примечание: «+» – наличие маркера; «-» – его отсутствие; нд – данные отсутствуют; F – фертильный тип цитоплазмы; S – стерильный тип цитоплазмы
 Note: “+” means the marker’s presence; “-” means its absence; “нд” means that data are unavailable; F is the fertile cytoplasm type; S is the sterile cytoplasm type

Таблица 6. Характеристика крупноплодных сортов подсолнечника и полученных из них линий
(Краснодарский край, Кубанская опытная станция – филиал ВИР)

Table 6. Description of large-seeded sunflower cultivars and the lines obtained from them
(Kuban Experimental Station of VIR, Krasnodar Territory)

Сорт / № по каталогу ВИР	Происхождение	Частота гена <i>Rf</i> (%)	Окраска семян	Масса 1000 семян, среднее за 2008–2010 гг., г	Название линии / № по каталогу ВИР	Частота гена <i>Rf</i> (%)	Окраска семян	Масса 1000 семян, 2020 г., г	Масса 1000 семян F_1 от скрещивания с ВИР106, 2020 г., г
'Лакомка' / к-3526	Россия, Краснодар	33,3	темные с серыми полосками	106 ± 9,0	ВИР 850 / к-3780	100	рыжие с белыми полосками	106	–
					ВИР 847 / к-3778	100	серые с белыми полосками	89	101
к-3619	США, Северная Дакота	90,9	полосатые светло-серые	10 0 ± 11,2	ВИР 846 / 3683	100	серые с белыми полосками	109	135
					ВИР 855 / к-3781	100	темные с белыми полосками	110	122
					ВИР 858 / к-3755	100	серые с белыми полосками	109	129
к-3583	Аргентина	90,0	серые с белыми полосками	111 ± 13,5	ВИР 848 / к-3729	100	серые	90	114
					ВИР 849 / к-3779	100	серые с черными полосками	107	90
к-3581	Украина	50	черные полосатые	103 ± 3,0	ВИР 859 / 3783	100	серые с белыми полосками	80	–
					ВИР 860 / к-3784	100	коричневые с белыми полосками	90	112
					ВИР861 / к-3787	100	темно-серые	89	–

Заключение

Признаковая коллекция крупноплодного подсолнечника, включающая 90 образцов, призвана служить ценным материалом для селекции отечественных сортов и гибридов кондитерского направления. Среди исследованного материала особый интерес представляют 57 самых крупноплодных, устойчивых к ложной мучнистой росе образцов, в числе которых сорта 'Саратовский 82' (к-3541), 'Алексеевский крупноплодный 2' (к-3552), 'Гяргя' (к-1589), 'Запорожский кондитерский' (к-3516). Созданные нами линии – доноры крупноплодности и генов восстановления фертильности пыльцы – могут использоваться в качестве отцовских форм при получении промышленных гибридов. Нами выявлены ранние (к-2835), низкорослые (к-1589, к-2835, к-3865) образцы и лучшие по всем изученным признакам и массе 1000 семян, пригодные как исходный материал при создании сортов. Создана оценочная база данных. В результате корреляционного анализа установлено, что на массу 1000 семян большое влияние оказывают длина и ширина семанки и не влияет толщина. С помощью диагностических молекулярных маркеров *orfH522*, *ORS511*, *HRG01* и *HRG02* выполнен скрининг выборки из 35 крупноплодных образцов подсолнечника и идентифицированы носители стерильного типа цитоплазмы и гена восстановления фертильности пыльцы *Rf1*. Образцы к-3879 (LSK-114), к-3878, к-3875, к-3868 ('LSK-15'), к-3865 ('Sprout-2'), к-3745, к-3742, к-3740 (местный), к-3874 со стерильным плазмотипом и образцы к-3864 и к-3805, имеющие фертильную цитоплазму, но обладающие диагностическими маркерами ядерного гена *Rf1*, перспективны для создания нового исходного материала для селекции гибридов крупноплодного подсолнечника.

References / Литература

- Anashchenko A.V. Guidelines for the study of the world collection of oil crops. Issue II. Sunflower (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kollektzii maslichnykh kultur. Vypusk II. Podsolnechnik). G.G. Davidyan (ed.). Leningrad: VIR; 1978. [in Russian] (Анащенко А.В. Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур. Выпуск II. Подсолнечник / под ред. Г.Г. Давидяна. Ленинград: ВИР; 1978).
- Anashchenko A.V. Long-fruited sunflower of Transcaucasia (Dlinноплодный подсолнечник Закавказья). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1971;45(2):122-128. [in Russian] (Анащенко А.В. Длинноплодный подсолнечник Закавказья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1971;45(2):122-128).
- Anisimova I.N., Alpatieva N.V., Abdullaev R.A., Karabitsina Yu.I., Kuznetsova E.B. Screening of plant genetic resources with the use of DNA markers: basic principles, DNA isolation, PCR setup, agarose gel electrophoresis: (guidelines). E.E. Radchenko (ed.). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Анисимова И.Н., Алпатьева Н.В., Абдуллаев Р.А., Карабицина Ю.И., Кузнецова Е.Б. Скрининг генетических ресурсов растений с использованием ДНК-маркеров: основные принципы, выделение ДНК, постановка ПЦР, электрофорез в агарозном геле: (методические указания) / под ред. Е.Е. Радченко. Санкт-Петербург: ВИР; 2018). DOI: 10.30901/978-5-905954-81-8
- Anisimova I.N., Karabitsina Yu.I., Alpatieva N.V., Kuznetsova E.B., Titov N.V., Lyutko A.Yu., GavriloVA V.A. Diagnostic value of *Rf1* gene molecular markers in sunflower. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(2):28-37. [in Russian] (Анисимова И.Н., Карабицина Ю.И., Алпатьева Н.В., Кузнецова Е.Б., Титов Н.В., Лютко А.Ю., Гаврилова В.А. Диагностическая ценность молекулярных маркеров гена *Rf1* подсолнечника. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(2):28-37). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-03
- Bochkovoy A.D., Khatnyansky VI, Kamardin V.A., Otrezova A.K. Technological certificate of the breeders seed growing of confectionary sunflower variety SPK. *Oil Crops*. 2019;2(178):14-21. [in Russian] (Бочковой А.Д., Хатнянский В.И., Камардин В.А., Отрезова А.К. Технологический паспорт первичного семеноводства крупноплодного сорта подсолнечника СПК. *Масличные культуры*. 2019;2(178):14-21). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-2-178-14-21
- Bochkovoy A.D., Pivnenko O.V. Domestic cultivar populations as source material for breeding large-fruited sunflower hybrids (Otechestvennyye sorta-populyatsii kak iskhodny material dlya selektzii krupноплодных gibridov podsolnechnika). *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2007;1(136):3-8. [in Russian] (Бочковой А.Д., Пивненко О.В. Отечественные сорта-популяции как исходный материал для селекции крупноплодных гибридов подсолнечника. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2007;1(136):3-8).
- Fick C.N., Miller J.F. Sunflower breeding. In: J.F. Carter (ed.). *Sunflower Technology and Production*. Madison, WI: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America; 1997.
- GavriloVA V.A., Bratch E.A., Belov P.E., Gryaznov A.U. Radiography for breeding of large-fruited sunflower. In: *Burning Problems of Science, Technology and Production. Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference; November 21–22, 2014, St. Petersburg (Aktualnye voprosy nauki, tekhnologii i proizvodstva. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii; 21–22 noyabrya 2014 g., g. Sankt-Peterburg)*. St. Petersburg; 2014. p.134-137. [in Russian] (Гаврилова В.А., Брач Е.А., Белов П.Е., Грязнов А.Ю. Рентгенография для селекции крупноплодного подсолнечника. В кн.: *Актуальные вопросы науки, технологии и производства. Материалы III Международной научно-практической конференции; 21–22 ноября 2014 г., г. Санкт-Петербург*. Санкт-Петербург; 2014. С.134-137).
- GavriloVA V.A., Rozhkova V.T., Pepelyaeva E.A., Bratch E.A., Migacheva E.O., Anisimova I.N. Potential of VIR collection of sunflower for the breeding of large-seeded varieties and hybrids. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2015;29(7):35-38. [in Russian] (Гаврилова В.А., Рожкова В.Т., Пепеляева Е.А., Брач Е.А., Мигачева Е.О., Анисимова И.Н. Потенциал коллекции ВИР для селекции крупноплодных сортов и гибридов подсолнечника. *Достижения науки и техники агропромышленного комплекса*. 2015;29(7):35-38).
- GavriloVA V.A., Stupnikova T.G., Makarova L.G., Alpatieva N.V., Karabitsina Yu.I., Kuznetsova E.B. et al. Lines resistant to downy mildew in the sunflower genetic collection at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(3):101-110. [in Russian] (Гаврилова В.А., Ступникова Т.Г., Макарова Л.Г., Алпатьева Н.В., Карабицина Ю.И., Кузнецова Е.Б. и др. Линии генетической коллекции подсолнечника ВИР, устойчивые к ложной мучнистой росе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(3):101-110). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-101-110

- Hladni N, Miladinović D. Confectionery sunflower breeding and supply chain in Eastern Europe. *OCL – Oilseeds and Fats Crops and Lipids*. 2019;26(1):29. DOI: 10.1051/ocl/2019019
- Horn R., Radanovic A., Fuhrmann L., Sprycha Y., Hamrit S., Jockovic M. et al. Development and validation of markers for the fertility restorer gene *Rf1* in sunflower. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(6):1260. DOI: 10.3390/ijms20061260
- Merezhko A.F. The system of genetic studying of source material for plant breeding: guidelines (Sistema genetičeskogo izučeniya iskhodnogo materiala dlya selektsii rasteniy: metodicheskiye ukazaniya). Leningrad: VIR; 1984. [in Russian] (Мережко А.Ф. Система генетического изучения исходного материала для селекции растений: методические указания. Ленинград: ВИР; 1984).
- Puzikov A.N., Suvorova Yu.N. Breeding for large fruit size: new opportunities for sunflower (Selektsiya na krupnoplodnost – novye vozmozhnosti podsolnechnika). *Selektsiya i semenovodstvo = Plant Breeding and Seed Production*. 2013;(2):155-156. [in Russian] (Пузиков А.Н., Суворова Ю.Н. Селекция на крупноплодность – новые возможности подсолнечника. *Селекция и семеноводство*. 2013;(2):155-156).
- Schnabel U., Engelmann U., Horn R. Development of markers for the use of the PEF1 cytoplasm in sunflower hybrid breeding. *Plant Breeding*. 2008;127(6):587-591. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2008.01516.x
- Seiler G., Jan C.C. Basic information. In: J. Hu, G. Seiler, C. Kole (eds). *Genetics, Genomics and Breeding of Sunflower*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2010. p.1-50.
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2017. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2017).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2018. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2018).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2019. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2019).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2021. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2021).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow; Rosinformagrotekh; 2023. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2023).
- Tan A.S., Tan A. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) landraces of Turkey – their collection, conservation and morphometric characterization. *Helia*. 2010;33(53):55-62. DOI: 10.2298/hel1053055t
- Yue B., Vick B.A., Cai X., Hu J. Genetic mapping for the *Rf1* (fertility restoration) gene in sunflower (*Helianthus annuus* L.) by SSR and TRAP markers. *Plant Breeding*. 2010;129(1):24-28. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2009.01661.x

Информация об авторах

Вера Алексеевна Гаврилова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, v.gavrilova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

Лариса Георгиевна Макарова, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, larisa.mackarova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7913-3815>

Татьяна Георгиевна Ступникова, специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция – филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, п. Ботаника, ул. Центральная, 2, 19tanyuchchka68@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4920-6539>

Наталья Владимировна Алпатьева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, alpatievanatalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5531-2728>

Елена Борисовна Кузнецова, ведущий специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, kuznetsova.eb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9804-1286>

Ирина Николаевна Анисимова, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, irina_anisimova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0474-8860>

Information about the authors

Vera A. Gavrilova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, v.gavrilova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

Larisa G. Makarova, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, larisa.mackarova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7913-3815>

Tatyana G. Stupnikova, Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kuban Experimental Station of VIR, 2 Tsentralnaya St., Botanika Settle., Krasnodar Territory 352183, Russia, 19tanyuchhka68@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4920-6539>

Natalya V. Alpatieva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alpatievanatalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5531-2728>

Elena B. Kusnetsova, Leading Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, kusnetsova.eb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9804-1286>

Irina N. Anisimova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, irina_anisimova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0474-8860>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.03.2023; одобрена после рецензирования 29.05.2023; принята к публикации 05.12.2023.
The article was submitted on 30.03.2023; approved after reviewing on 29.05.2023; accepted for publication on 05.12.2023.