

Обзорная статья
УДК 631.52:635.112
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250



Генетическое разнообразие коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta L.*) как потенциал для селекции (обзор)

Д. В. Соколова

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Диана Викторовна Соколова, dianasokol@bk.ru

В статье приведены краткие сведения об истории коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.), ее составе, актуальных направлениях изучения и значении для отечественной селекции. Начало коллекции было положено в 1924 г. экспедиционными сборами Н. И. Вавилова. В настоящее время в коллекции свеклы (*Beta L.*) 2512 образцов, из которых столовая разновидность представлена 461 образцом из 45 стран мира, собранных благодаря многочисленным экспедициям, привлеченных путем обмена и выписки из зарубежных генбанков, полученных от селекционеров нашей страны и зарубежья, а также материалов, созданных сотрудниками ВИР. Приоритеты отечественной селекции являются главным принципом привлечения материала в коллекцию. Столовая свекла – экономически важная, высокоурожайная, повсеместно выращиваемая культура, имеющая широкий ареал возделывания и являющаяся ценным по биохимическому составу продуктом питания, благоприятно влияющим на здоровье человека.

В статье приведены сведения о генетическом разнообразии коллекции свеклы ВИР, актуальных направлениях ее изучения и использования в селекции. Дана характеристика имеющихся в коллекции сортоформ свеклы, их морфологические особенности и ценность, приведены названия образцов из признаковых групп, генетических источников. В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений РФ зарегистрировано 125 сортов и 38 гибридов столовой свеклы, из которых 70% – отечественной селекции.

Ключевые слова: сорт, сортоформ, признаковые группы, селекция, пластичность, раздельноплодность, скороспелость, цветущность, исходный материал для селекции

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0003 «Мировые ресурсы овощных и бахчевых культур коллекции ВИР: эффективные пути раскрытия эколого-генетических закономерностей формирования разнообразия и использования селекционного потенциала».

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

Для цитирования: Соколова Д.В. Генетическое разнообразие коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta L.*) как потенциал для селекции (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):239-250. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250

SURVEYS

Review

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250

Genetic diversity of the table beet (*Beta L.*) collection at VIR as a potential source for breeding (a review)

Diana V. Sokolova

*N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia***Corresponding author:** Diana V. Sokolova, dianasokol@bk.ru

This review presents brief information about the history of the table beet (*Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* var. *conditiva* Alef.) collection at the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), its composition, research trends, and significance for domestic breeding. The collection started in 1924 with Vavilov's collecting activities. Currently, the collection consists of 2512 accessions; the table beet variety is represented by 461 accessions from 45 countries, collected in numerous expeditions, obtained from foreign genebanks through germplasm exchange and seed requests, received from domestic and foreign breeders, plus materials developed by VIR researchers. Table beet is an economically important, high-yielding, ubiquitous crop that has a wide cultivation area and is a valuable biochemical food product with beneficial effects on human health.

The information is provided on the genetic diversity of VIR's table beet collection, including current trends of its study and use in breeding. Characteristics of table beet accessions available in the collection, their morphological features and value, and the names of accessions from different trait groups and genetic sources are described. Presently, 125 cultivars and 38 F₁ hybrids of table beet are listed in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation, 70% of which are products of domestic breeding.

Keywords: cultivar, morphotype, trait groups, plasticity, monogermity, earliness, bolting resistance, breeding source material

Acknowledgements: the research was performed within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0003 "Global genetic resources of vegetable and cucurbit crops in the VIR collection: effective ways to disclose ecogenetic patterns in the formation of their diversity and utilization of breeding potential."

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

For citation: Sokolova D.V. Genetic diversity of the table beet (*Beta L.*) collection at VIR as a potential source for breeding (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):239-250. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250

Введение

Свекла (*Beta L.*) – экономически важная культура овощного, кормового, технического и декоративного использования – занимает важное место в питании человека и животных и издревле ценится за свои вкусовые и лечебные качества. Возделываемые человеком разновидности свеклы (*Beta vulgaris L.*) подразделяются на четыре группы: столовую, сахарную, кормовую и листовую (мангольд). Корнеплодные формы свеклы представлены одним ботаническим видом, имеют общность происхождения и взаимосвязаны в эволюционном развитии (Linnaeus, 1753; Andrello et al., 2016). При этом разновидности свеклы демонстрируют фенотипическое и генетическое расхождение. Столовая свекла среди них является наиболее дифференцированной (Mangin et al., 2015; Galewski, McGrath, 2020).

Столовая свекла (*Beta vulgaris L. subsp. vulgaris var. conditiva Alef.*) – двулетняя культура, относящаяся к семейству Амарантовые (Amaranthaceae), подсемейству Лебедовые (Chenopodioideae), роду Свекла (*Beta L.*). Входит в тройку наиболее распространенных овощных культур в России. Эта высокоурожайная, повсеместно выращиваемая культура является компонентом «борщевой набора» и имеет высокий спрос у населения. Особенный вкус столовой свекле придают содержащиеся в ней органические кислоты: молочная, лимонная, яблочная, винная, щавелевая. Кроме того, своеобразный вкус добавляют красящий пигмент бетанин и азотистое вещество бетанин. Эти уникальные, пока не обнаруженные в других овощах соединения, способствуют расщеплению и усвоению в организме человека белков животного и растительного происхождения (Herbach et al., 2004). Столовая свекла содержит много минеральных солей щелочного характера и витамины группы В, С, Р, РР, каротин, пантотеновую и фолиевую кислоты. Культура лидирует среди овощей по накоплению солей фосфора, калия, йода, много в ней серы, кальция и магния. Она является источником важных для жизнедеятельности человека микроэлементов, таких как бор, марганец, цинк, фтор, кобальт.

Человек начал использовать в пищу листья дикой свеклы с незапамятных времен. Первые упоминания о корнеплодной форме относятся к 3500 году до н. э. (Biancardi et al., 2012). Но относительно важнейших хлебных злаков и некоторых овощей культуру начали возделывать гораздо позднее – около IV–VI вв. до н. э. (De Candolle, 1885; de Vilmorin, 1923; von Lippmann, 1925; Zosimovich, 1940). Помимо пищевого значения, в древности признавали и медицинские свойства свеклы, что подтверждается современными исследованиями (Kapadia et al., 1996; Esatbeyoglu et al., 2014; Gandia-Herrero et al., 2016; Ninfali et al., 2017; da Silva et al., 2022; Mirmiran et al., 2020).

Потребление населением РФ свеклы имеет вековые традиции, что вызывает постоянный спрос на продукцию, семена и новые сорта. Для успешной работы селекционерам необходим разнообразный, хорошо изученный исходный материал. При этом большую роль играют генетические источники, характеризующиеся комплексом биологических и хозяйственно ценных признаков (Vavilov, 1934). Интрогрессия новых аллелей путем скрещивания различных генотипов свеклы, например скрещивание селекционных сортов со староместными популяциями, также увеличивает генетическое разнообразие и возможности отбора по полезным признакам (Goldman, Navazio, 2010).

На 2021 г. в Государственный реестр селекционных достижений РФ включено 125 сортов и 38 гибридов столовой свеклы. На долю иностранной селекции приходится 30%, причем 60% из них – гибриды F1. Среди отечественных сортов имеется только семь гибридов. Большинство сортов и гибридов в Госреестре (70%) – представители морфотипа с округлым корнеплодом, 15% – с цилиндрическим. Оставшаяся доля представлена тремя сортами типа Египетской плоской, тремя сортами с корнеплодами овальной и двумя – конусовидной формы. Можно констатировать, что отечественные селекционные достижения недостаточно разнообразны.

Цель данной статьи – сделать обзор имеющегося в коллекции столовой свеклы Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) генетического разнообразия, обладающего потенциалом для отечественной селекции.

История коллекции

Мировое биоразнообразие столовой свеклы собрано в коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. Коллекция имеет почти 100-летнюю историю и хронологически подразделяется на четыре этапа (рис. 1).

На первом этапе – от начала поступления первых образцов до 1940 г. – произошли самые крупные поступления. В этот период, благодаря Н. И. Вавилову и его соратникам, в результате активного сотрудничества и многочисленных внутрисоюзных и зарубежных экспедиций ВИР была заложена основа коллекции свеклы – собраны и сохранены наиболее ценные староместные формы, дикие виды и первые селекционные образцы. Основные экспедиционные сборы были получены в период с 1924 по 1928 г. Сбор материала проводился научными сотрудниками ВИР: Н. И. Вавиловым (Тунис, Алжир, Судан, острова Кипр и Крит, Греция, Испания, Португалия, Италия, Сирия, Палестина, Афганистан), П. М. Жуковским (Малая Азия), В. В. Марковичем (Индия), Е. А. Столетовой (Армения), Н. Д. Костецким (Абхазия), Е. Г. Черняговской (Персия) и другими (Krasochkin, 1960). Преимущественно это были староместные сорта столовой и кормовой свеклы, а также дикие виды. В этот же период в результате взаимодействия с исследовательскими и селекционными институтами США и европейских стран коллекция активно пополнялась новыми сортами столовой свеклы из США, Германии, Дании, Нидерландов, Франции и Великобритании (рис. 2). В дореволюционной России ввиду отсутствия селекционно-семеноводческих работ отечественных сортов столовой свеклы не существовало. Имелись лишь единичные отечественные сорта сахарной свеклы. Требования рынка привели к активному развитию пригородного овощеводства и появлению местных сортов столовой свеклы, приспособленных к различным условиям выращивания. В 1928 г. первыми российскими сортами, включенными в коллекцию, были 'Бордо 237' (к-201), 'Грибовская плоская' (к-202) и 'Египетская плоская темно-красная' (к-549).

С началом Великой Отечественной войны (второй период) институт столкнулся с рядом трудностей. Небольшая часть коллекции была эвакуирована на Урал до блокады Ленинграда. Но значительная часть осталась в городе и была сохранена благодаря героическим усилиям сотрудников ВИР. В период Великой Отечественной войны коллекция пополнялась единичными образцами из США и Болгарии: 'Perfected Detroit' (к-1546, США), 'Detroit'

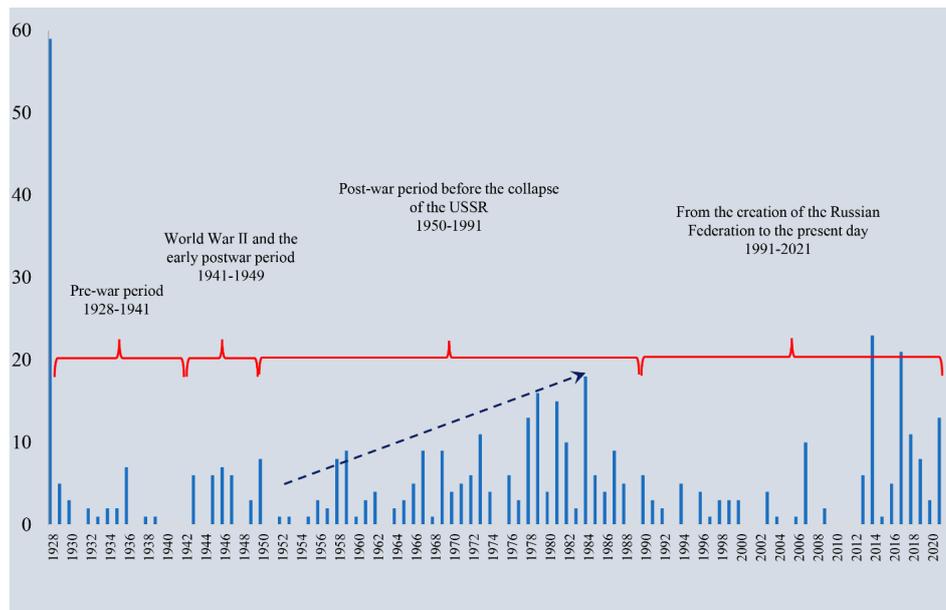


Рис. 1. Динамика пополнения коллекции столовой свеклы ВИР
Fig. 1. Table beet germplasm replenishment dynamics in the VIR collection



Рис. 2. Первые образцы столовой свеклы в коллекции ВИР: староместные и селекционные сорта 1928 года поступления

Fig. 2. The first table beet accessions added to the VIR collection in 1928: landraces and improved cultivars

(к-1571, США), 'Grdinske Sveklo' (к-1591, Болгария), а также отечественными сортами: 'Несравненная А 0463' (к-1581, Россия), 'Полярная плоская' (к-1585, Россия), 'Северный шар' (к-1586, Россия) и другими.

На третий период приходится постепенное активное развитие овощеводства и семеноводства в стране. До начала периода перестройки в коллекции появлялось множество высокоурожайных сортов, первые гибриды столовой свеклы. Это период наиболее плодотворной селекционной работы в нашей стране и за рубежом. Благодаря международному обмену и поступлениям от селекционеров коллекция пополнилась образцами со всего мира: морфологически разнообразными формами (сортотипами), первыми гибридами, холодостойкими и нецветущими сортами, донорами, ценными линейными материалами, устойчивыми к болезням биотипами.

После распада СССР начался современный этап. Это период длительного ослабления селекционных работ с культурой и постепенного сдвига фокуса внимания селекционеров на высокое качество корнеплодов и гибридную селекцию. В наши дни мобилизация нового материала в коллекцию проводится с учетом приоритетов отечественной селекции, такими как высокая урожайность и качество корнеплодов, раздельноплодность, скороспелость, устойчивость к цветущности, болезням.

Состав коллекции

В каталог мировой коллекции генетических ресурсов рода *Beta L.* включено 2512 образцов. Из них разнообразность столовой свеклы представлена 461 образцами, что составляет 29% (рис. 3).

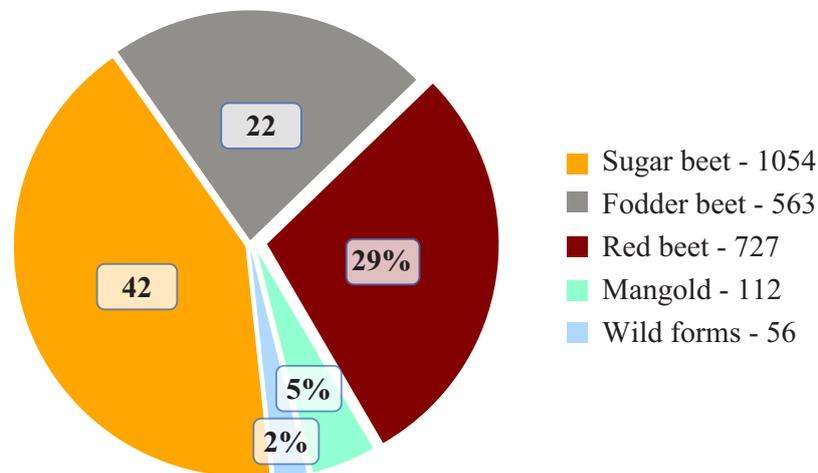


Рис. 3. Состав коллекции *Beta L.* (актуализированные данные на 2021 г.)

Fig. 3. Composition of the *Beta L.* collection at VIR (data updated for 2021)

Разнообразие генофонда коллекции столовой свеклы связано с широким охватом стран происхождения образцов (рис. 4). Наибольшее количество получено из Нидерландов, США и России (14,6%, 11,7% и 26,9% соответственно). Значительная часть коллекции (47,3%) представлена образцами из стран Европы, что обусловлено историческим интересом к выращиванию культуры в этих странах.

Образцы (сорта, формы, линии) – носители отдельных хозяйственно ценных признаков – имеют большое значение для селекционных работ, так как позволяют со-

здавать сорта и гибриды с заданными характеристиками в ускоренные сроки. С целью систематизации многообразия имеющегося материала в институте проводится его изучение и формирование признаков коллекций. В основу классификации коллекции столовой свеклы положена ботанико-идиотипическая характеристика (Krasochkin, 1960). Под идиотипом понимается совокупность и специфическая структура наследственных факторов – генома, плазмона и пластома (Rieger, Michaelis, 1967). Классификация базируется на следующих свойствах: сортотип, признак, гены, контролируемые признак (рис. 5).

Генетические источники и доноры важнейших признаков в коллекции представляют особую ценность. Изучение наследственности у свеклы началось более 100 лет назад. Ряд ученых проанализировали характер наследования признаков, ввели обозначения генов, для некоторых из них установили группы сцепления (Kajanus, 1914, 1917; Owen, Ruser, 1942; Owen, 1942, 1945; Lindhard, Iversen, 1920; Munerati, 1931; Abegg, 1936; Schwanitz, 1940; Savitsky, 1950, 1952; Bandlow, 1955; Wagner et al., 1992). На современном этапе, несмотря на интенсивное изучение, остается еще много неясного в вопросах, связанных с наследованием ряда важных признаков у столовой свеклы. Одна из причин недостаточной изученности культуры – сложности биологического характера: двулетний цикл развития, перекрестноопыляемость, выраженная самонесовместимость, поддерживающая аутбридинг, мелкие трудно кастрируемые цветки, быстрая реакция на факторы среды, полигенность большинства хозяйственно ценных признаков. На сегодняшний день, когда остро стоит вопрос использо-

вания в селекции гетерозиса, цитоплазматической мужской стерильности, раздельноплодности и полиплоидии, без данных о генетической основе этих признаков успешная селекция культуры стала практически невозможной (Abu-Ellail et al., 2021).

Характеристика сортотипов столовой свеклы

Под сортотипом понимают комплекс стабильных морфологических характеристик, на основе которых осуществляется идентификация образцов. Фенотипически



Рис. 5. Ботанико-идиотипическая характеристика коллекции столовой свеклы
Fig. 5. Botanical and idiotypic characteristics of the table beet collection

У рисунка (тексты) плохое качество!

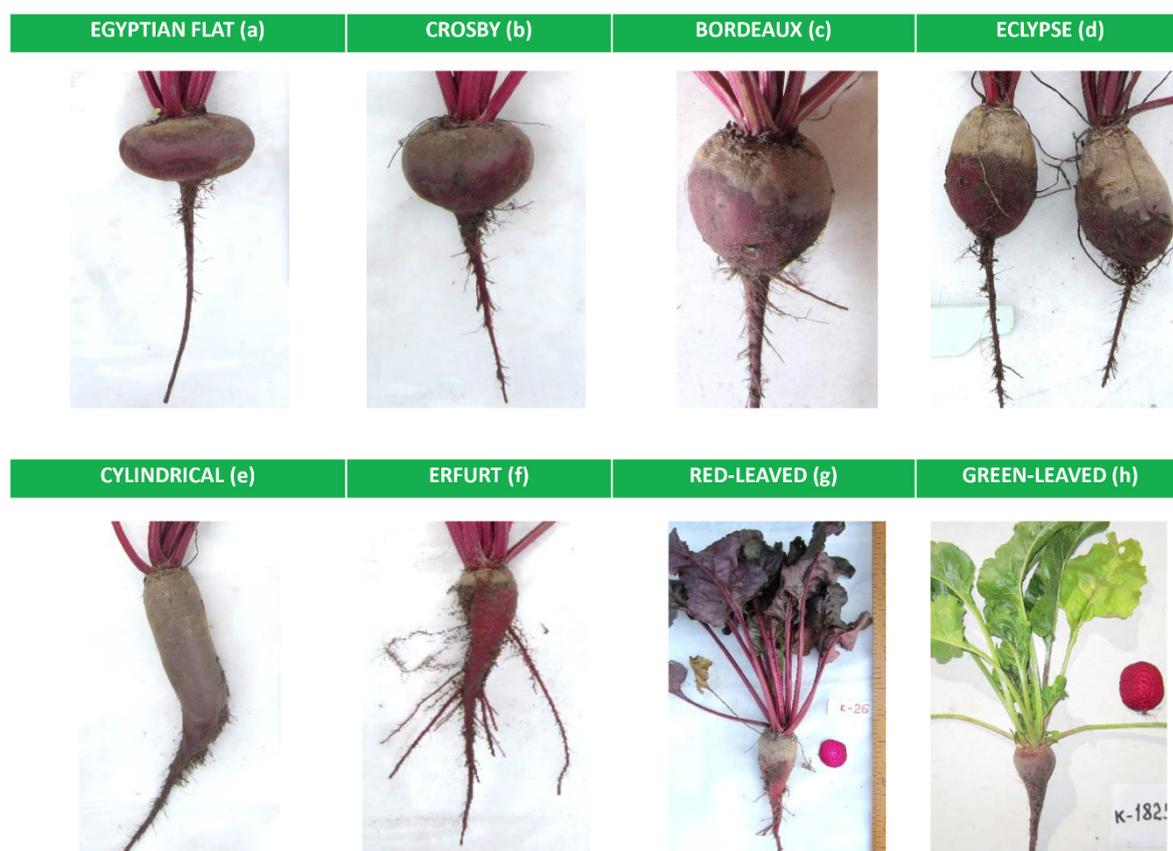


Рис. 6. Представители разных сортоформ столовой свеклы из коллекции ВИР

Fig 6. Table beet accessions of different morphotypes in the VIR collection.

1960). Характерными признаками являются округло-овальная и кубовидная форма корнеплода (индекс 0,9–1,1), темно-красная мякоть, хорошая транспортабельность, лежкость и товарность. Сорта этого типа, как правило, широкого ареала и обладают наибольшей экологической пластичностью (Burenin et al., 2013; Sokolova, 2018). Первый отечественный представитель данного сортоформы – сорт ‘Бордо 237’ – был выведен на Грибовской опытной станции (ныне Федеральный научный центр овощеводства) селекционерами В. В. Ордынским и С. П. Агаповым путем свободного переопыления 14 сортообразцов с последующим отбором по форме корнеплода и интенсивности окраски мякоти (Pivovarov, 1999; Soldatenko et al., 2020). Сорт включен в Госреестр селекционных достижений по всем регионам РФ и является стандартом при проведении испытаний и эколого-географических исследований. Образцы данного сортоформы характеризуются среднеспелостью (95–115 дней), высокими вкусовыми качествами, урожайностью (38–52 т/га). Морфологически отличается от плоских форм более удлиненными и крупными листьями (10–16 штук), широкой шейкой корнеплода (3–3,5 см) и его погруженностью в почву (на 1/2–2/3). Средняя масса корнеплода колеблется от 190 до 580 г. Благодаря отличной лежкости образцы этого сортоформы хорошо подходят для зимнего хранения и консервирования. Устойчивость к цветущности средняя, проявляется в более северных регионах. Сортоформ широко представлена в коллекции ВИР (около 25%): ‘Бордо 237’ (к-201, Россия), ‘Подзимняя А-474’ (к-1678, Россия), ‘Detroit’ (к-1573, США), ‘Detroit ronde rouge’ (к-1792, Канада), ‘Detroit Nero’ (к-1979, Нидерланды), ‘Avonearly’ (к-2019, Италия), ‘Холодостойкая 19’ (к-2043,

Беларусь), ‘Камуляй 2’ (к-2049, Литва), ‘Banko’ (к-2066, Швеция), ‘Ohio Canner’ (к-2369, США), ‘Top Market’ (к-2925, Австралия), ‘Rubidius’ (к-3204, Венгрия) и другие.

Сортоформ Эклипс (Eclipse) (рис. 6d). Первый представитель американского происхождения (сорт ‘Эклипс’) упоминается в каталоге фирмы ‘Vilmorin’ в 1886 г. (De Vilmorin, 1923). Характерной особенностью является овально-округлая форма корнеплода (индекс 1,0–1,2) с темно-красной мякотью с оттенком киноварно-красного тона и нередко с выраженными светлыми кольцами. Листовая розетка мощная, полуприподнятая, пластинка листа крупная, волнистая. Сорта среднеспелые, засухо- и жаростойкие, в условиях северных регионов дают высокий процент цветущности (до 17%). Ценятся за высокую урожайность, товарность, хорошую лежкость корнеплодов, а также за повышенное содержание аскорбиновой кислоты ($48,2 \pm 5,6$ мг/100 г) и сахаров ($12,3 \pm 1,9\%$). В коллекции ВИР представлены следующими образцами: ‘Eclipse runde fruhe’ (к-21, Нидерланды), ‘Granat’ (к-22, Нидерланды), ‘Runde schwarzrote’ (к-39, Германия), ‘Karmasinovii Kugel’ (к-208, Германия), ‘Dell’s Crimson’ (к-258, Великобритания), ‘Sutton’s Globe’ (к-660, Великобритания), ‘Кармазиновый шар 219’ (к-1397, Россия), ‘Северный шар к-250’ (к-1586, Россия), ‘Crimson globe’ (к-3102, Индия) и другие.

Сортоформ Цилиндрическая (Гранат) (рис. 6e). В. Т. Красочкин относил подобные образцы к сортоформе Эклипс (Krasochkin, 1960). Позднее В. И. Буренин сгруппировал подобные морфотипы в отдельную группу с индексом корнеплода более 1,4 (Burenin, Pivovarov, 1998). Характерная особенность – вытянутые гладкие корнеплоды цилиндрической формы, тупоконечные, нередко с загну-

той формой хвостовой части. Этот признак имеет сложный характер наследования. Гены длины (L_1, L_2) и формы хвостовой части (Sh_1, Sh_2) были впервые описаны в 1917 г. (Kajanus, 1917; Burenin, Krasochkin, 1971). Сортотип практически не образует цветухи даже в северной зоне, устойчив к избытку влаги, на засуху реагирует резким снижением урожайности. Часто отмечается гофрированность листовой пластинки. Окраска кожицы и мякоти корнеплода темно-красная, консистенция нежная, лежкость средняя и удовлетворительная. Преимущество сортов – высокая урожайность, подходит для механической резки и консервирования. Первые образцы – сорта ‘Granat’ (к-22, Нидерланды) и ‘New intermediate’ (к-237, Великобритания) – поступили в коллекцию в 1928 г. и долгое время оставались единственными. Скорее всего, именно поэтому Красочкин относил эти образцы к сортотипу Эклипс. Но начиная с 1967 г. в коллекцию стали поступать и другие представители данного сортотипа с ярко выраженной тупоконечной формой корнеплода и нередко загнутой хвостовой частью, такие как: ‘Forma nova’ (к-1938, США), ‘Cilyndra’ (к-2367, Югославия), ‘Vermilion’ (к-3626, Канада), ‘Norton’ (к-3628, Нидерланды), ‘Long Canner’ (к-3201, Ботсвана). На сегодняшний день в коллекции содержатся высокоурожайные отечественные сорта и гибриды цилиндрического сортотипа: ‘Приморская цилиндрическая’ (к-3700), ‘Матрёна’ (к-3705), ‘Донна’ (к-3708), ‘Негритянка’ (к-3711), ‘Казачка F1’ (к-3799), ‘Волшебница’ (к-3818), ‘Генеральская’ (к-3894), а также иностранные образцы: ‘Столовая местная цилиндрическая’ (к-3737, Украина), ‘Rote Rube Cilindra’ (к-3739, Германия), ‘Carillon’ (к-3689, Нидерланды) и другие.

Сортотип Эрфуртская (Erfurt) (рис. 6f). Сорта данного сортотипа широкого распространения не имеют. Корнеплоды коротко- или удлинённо-конические, с разветвлением и неровной поверхностью, значительно погружены в почву. Мякоть корнеплода с узкими светлыми кольцами, окраска кожицы черно-красная. Розетка листа крупная, стоячая, пластинка с сильной пигментацией. Позднеспелый тип (130–150 дней), склонен к цветущности, сравнительно устойчив к заболеваниям, лежкость хорошая. Представляет интерес как источник повышенного содержания бетаина ($128,2 \pm 32,2$ мг/100 г), соле- и засухоустойчивости (Sokolova, Solovieva, 2019). В коллекции сортотип представлен образцами: ‘Lange dicke dunkellaubige extra’ (к-25, Нидерланды), ‘Lange schwarzrote’ (к-36, Германия), ‘Erfurter schwarzrote lange’ (к-95, Германия), ‘Carters long red’ (к-243, Великобритания), ‘Long Smooth Blood’ (к-430, США), ‘Эрфуртская горийская’ (к-1698, Грузия), ‘Дигомская №570’ (к-1699, Грузия).

Сортотип Краснолистая (Red-leaved) (рис. 6g). Образцы данного сортотипа характеризуются наличием маркерного признака – темно-бордовой окраски всей листовой биомассы растений, которая детерминируется генами пигментации листа (*Cl-colored leaf*) (Owen, Ruser, 1942). Форма корнеплода может быть различна, с темно-вишневым оттенком, продуктивность низкая, разветвленность сильная. Лист крупный, пластинка широкая, волнистая. Сортотип позднеспелый, лежкость хорошая. Сорта используются в качестве носителя маркерного признака при проведении скрещиваний, а также в декоративных целях. Образцы коллекции: ‘Halblange schwarzrote dunkellaubige’ (к-199, Германия), ‘Non plus ultra’ (к-26, Нидерланды), ‘Lange schwarzrote’ (к-36, Германия), ‘Halblange rote’ (к-1603, Германия), ‘Rounde nois longue’ (к-1983, Франция), ‘Betterowe Potagere’ (к-2011, Алжир),

‘Red Tester 2001 ДАБ’ (к-3199, Россия), ‘Местная’ (к-3621, Грузия), ‘Red Tester 2004’ (к-3622, Россия), ‘Beta vulgaris №372’ (к-3813, Армения).

Сортотип Зеленолистая (Green-leaved) (рис. 6h). Для сортотипа характерна зеленая окраска листьев и черешков, сохраняющаяся до уборки. Корнеплод полудлинный, овально-конический, кожица киноварно-красная, мякоть ярко-красная с оранжевым оттенком. Розетка зеленых листьев полуприжатая, пластинка широкая, короткая, темно-зеленая, часто с опушением. Лежкость хорошая, устойчив к цветущности. Отличается высоким содержанием сухого вещества (до 20%) и сахаров, а также обладает самофертильностью (ген *Sf*) (Schwanitz, 1940; Owen, 1942). В коллекции представлен образцами: ‘Rouge fonce de Massy’ (к-4, Франция), ‘Зеленолистая 42’ (к-1968, Россия), ‘Green top’ (к-3595, Канада), ‘Gutz Green leaf’ (к-1825, США), ‘Luty Green Leaf’ (к-3172, США), ‘Long Season Harris’ (к-2221, США), ‘Салатная’ (к-3049, Россия).

Признаковые группы и генетические источники

Основные требования, предъявляемые ко всем сортам и гибридам столовой свеклы, – высокая урожайность и качество корнеплодов, устойчивость к наиболее вредным заболеваниям и нецветущность. Кроме того, для более северных районов с коротким вегетационным периодом необходимо выведение более скороспелых сортов, устойчивых к временному избытку влаги, для районов с недостатком влаги – засухоустойчивых, в условиях орошения – жароустойчивых. Все сорта должны отличаться повышенной лежкостью и минимальными потерями питательных веществ в период хранения. Для комплексной механизации важными являются такие признаки, как приспособленность к механизированной уборке (стоячая листовая розетка) и раздельноплодность, значительно снижающая затраты путем исключения из агротехники крайне дорогостоящего процесса ручного прореживания всходов. Исходя из вышеперечисленных требований в коллекции сформированы генетические коллекции и группы с отдельными признаками, а также с комплексом хозяйственно ценных характеристик.

Раздельноплодная группа столовой свеклы (наличие гена *m*) представлена сортами ‘Monoking Explorer’ (к-2059, Нидерланды), ‘Односемянная’ (к-2080, Россия), ‘Свирская односемянная 38/36’ (к-2225, Украина), ‘Мона LD’ (к-2929, Финляндия), ‘Monogram’ (к-2939, Финляндия), ‘Monodet’ (к-2940, Финляндия), ‘Monrondo’ (к-2945, Дания), ‘Monogerme Explorer’ (к-2983, Франция), ‘Mona’ (к-3185, Дания), а также созданными в ВИР инбредными линейными материалами (I_2, I_3) (Sokolova, Piskunova, 2008; Sokolova, 2010; Burenin et al., 2016).

В результате скрининга генофонда коллекции была выделена устойчивая к цветущности группа (наличие гена *NbNb*), включающая образцы ‘Бордо Хибинская’ (к-1396, Россия), ‘Подземная A0474’ (к-1678, Россия), ‘Banko’ (к-2066, Швеция), ‘Fire Chief’ (к-2931, США), ‘Detroit Bolivar’ (к-2988, Нидерланды), ‘Ruval’ (к-3114, Дания), ‘Crimson globe’ (к-3102, Великобритания). В условиях Полярной опытной станции ВИР получен холодостойкий нецветущий сорт ‘Полярная плоская 249’ (к-1585) (Burenin et al., 2016).

Свекла является очень пластичной культурой, способной гибко реагировать на факторы среды. П. М. Жуковский (Zhukovsky, 1964) предположил, что широкая адаптация свеклы к новым условиям выращивания может быть

связана с вариациями, накопленными в географически разнообразных предковых популяциях и распространенными через примеси и поток генов между линиями. Широкие эколого-географические испытания позволили сформировать группу наиболее адаптивных образцов столовой свеклы широкого ареала возделывания: 'Goldi-er's super black beet' (к-270, Великобритания), 'Agyptische' (к-642), 'Detroit dark red turnip improved' (к-1757, Франция), 'Perfected Detroit Dark Red' (к-1815, Канада), 'Catter-all's Intermediate' (к-1942, Чехия) и 'Прыгажуня' (к-3064, Беларусь). Данные сорта подходят для интенсивной технологии выращивания, они легко приспосабливаются к изменяющимся условиям среды (Sokolova, 2018).

Отдельную группу образцов составляют тетраплоидные формы, которые как правило, низко продуктивны, но при скрещивании с диплоидными формами у гибридов часто проявляется эффект гетерозиса (Lutkov, 1966). К ним относятся 'Невежис 4х' (к-2228, Литва), 'Тетра 21' (к-3203, Беларусь) и 'Сквицкая 4х' (к-2900, Украина).

В коллекции сформирована хорошо изученная группа столовой свеклы с повышенным содержанием бетанина (Sokolova, Solovieva, 2019). Это нетоксичное соединение, относящееся к флавоноидам и проявляющее выраженные противовоспалительные, антиканцерогенные и антиоксидантные свойства, что вызывает растущий к нему интерес не только как к натуральному красителю при производстве продуктов питания, но и в фармацевтической и косметической промышленности (Tesoriere et al., 2004; Jiratanan, Liu 2004; Stintzing, Carle, 2007; Esatbeyoglu et al., 2014). Среди высокобетаниновых образцов: 'Бордо односемянная' (к-3151, Россия), 'Детройт рубиновый-5' (к-3677, Россия), 'Русская односемянная' (к-3151, Россия), 'Русский борщ' (к-3716, Россия), 'Бордовая ВНИИО' (к-3692, Россия), 'Бордо 60' (к-2989, Болгария), 'Honey red' (к-3031, США), 'Rote Rube' (к-3690, Германия).

Заключение

Собранная в ВИР коллекция столовой свеклы, имеющая почти 100-летнюю историю, уникальна своим происхождением и разнообразием. В коллекции имеются генетические источники по большинству известных генов, доноры ценных признаков, а также признаковые группы по всем наиболее важным направлениям селекции. Генетическое разнообразие культуры является потенциалом для селекционного использования и активного изучения в свете современных знаний и технологий. В результате многолетнего всестороннего изучения коллекции выделены образцы, рекомендуемые для включения в селекционные схемы получения новых сортов и гибридов.

Подытоживая обзор мировой коллекции столовой свеклы ВИР, нужно подчеркнуть, что сохраняемый в институте разнообразный хорошо изученный генофонд культуры способен предоставлять неограниченные возможности для селекции и восполнять нужды населения страны, обогащая питательный рацион такой здоровой, полезной и недорогой овощной культурой, как столовая свекла.

References / Литература

Abegg F.A. A genetic factor for the annual habit in beets and linkage relationship. *Journal of Agricultural Research*. 1936;53(7):493-512.
 Abu-Ellail F.F.B., Salem K.F.M., Saleh M.M., Alnaddaf L.M., Al-Khayri J.M. Molecular breeding strategies of beetroot (*Beta*

vulgaris ssp. *vulgaris* var. *conditiva* Alefeld). In: J.M. Al-Khayri, S.M. Jain, D.V. Johnson (eds). *Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops*. Cham: Springer; 2021. p.157-212. DOI: 10.1007/978-3-030-66965-2_4
 Andrello M., Henry K., Devaux P., Desprez B., Manel S. Taxonomic, spatial and adaptive genetic variation of *Beta* section *Beta*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2016;129(2):257-271. DOI: 10.1007/s00122-015-2625-7
 Bandlow G. Die Genetik der *Beta vulgaris*-Rüben. *Der Züchter*. 1955;25(4-5):104-22. [in German] DOI: 10.1007/bf00709391
 Biancardi E., Panella L.W., Lewellen R.T. *Beta maritima*: the origin of beets. New York: Springer; 2012. DOI: 10.1007/978-1-4614-0842-0
 Burenin V.I. Genetic resources of the *Beta* L. genus (Geneticheskiye resursy roda *Beta* L.). St. Petersburg; 2007. [in Russian] (Буренин В.И. Генетические ресурсы рода *Beta* L. Санкт-Петербург; 2007).
 Burenin V.I., Krasochkin V.T. Genetical aspects in beet studies. *Bulletin of Applied Botany, Genetics and Plant Breeding*. 1971;44(1):189-215. [in Russian] (Буренин В.И., Красочкин В.Т. Генетические аспекты изучения свеклы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1971;44(1):189-215)
 Burenin V.I., Piskunova T.M., Sokolova D.V. Bolting of red beet: problems and solutions. *Vegetable Crops of Russia*. 2016;2(31):33-38. [in Russian] (Буренин В.И., Соколова Д.В., Пискунова Т.М. Цветущность столовой свеклы: проблемы и пути решения. *Овощи России*. 2016;2(31):33-38).
 Burenin V.I., Pivovarov V.F. Beet (Svekla). St. Petersburg: VIR; 1998. [in Russian] (Буренин В.И., Пивоваров В.Ф. Свекла. Санкт-Петербург: ВИР; 1998).
 Burenin V.I., Sokolova D.V., Emelyanov A.V. Variability of quantitative traits of red beet varieties by ecologo-geographical study. *Sugar Beet*. 2013;(8):16-19. [in Russian] (Буренин В.И., Соколова Д.В., Емельянов А.В. Изменчивость количественных признаков сортообразцов столовой свеклы при эколого-географическом изучении. *Сахарная свекла*. 2013;(8):16-19).
 Burenin V.I., Sokolova D.V., Piskunova T.M. Gene pool for breeding monogerm table beet. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(4):45-56. [in Russian] (Буренин В.И., Пискунова Т.М., Соколова Д.В. Генофонд для селекции раздельноплодной столовой свеклы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(4):45-56). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-4-45-56
 Da Silva D.V.T., dos Santos Baião D., Ferreira V.F., Paschoalin V.M.F. Betanin as a multipath oxidative stress and inflammation modulator: a beetroot pigment with protective effects on cardiovascular disease pathogenesis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022;62(2):539-554. DOI: 10.1080/10408398.2020.1822277
 De Candolle A. Place of origin of cultivated plants (Mestoproishozhdeniye vzdelyvayemykh rasteniy). Translation of the 2nd French edition with additions from the latest sources edited by Christopher Gobi. St. Petersburg; 1885. [in Russian] (Декандоль А. Местопроисхождение возделываемых растений. Перевод со 2-го французского издания с дополнениями по позднейшим источникам под редакцией Христофора Гоби. Санкт-Петербург; 1885).
 De Vilmorin M.J.L. L'hérédité chez la betterave cultivée (Heredity in cultivated beet) [dissertation]. Paris: Faculté des Sciences de Paris; 1923. [in French] DOI: 10.5962/bhl.title.15526

- Esatbeyoglu T., Wagner A.E., Schini-Kerth V.B., Rimbach G. Betanin – A food colorant with biological activity. *Molecular Nutrition and Food Research*. 2014;59(1):36-47. DOI: 10.1002/mnfr.201400484
- Galewski P., McGrath J.M. Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) assessed via population-based whole genome sequences. *BMC Genomics*. 2020;21(1):189. DOI: 10.1186/s12864-020-6451-1
- Gandia-Herrero F., Escribano J., Garcia-Carmona F. Biological activities of plant pigments betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016;56(6):937-945. DOI: 10.1080/10408398.2012.740103
- Goldman I.L., Navazio J.P. History and breeding of table beet in the United States. *Plant Breeding Reviews*. 2010;22:357-388. DOI: 10.1002/9780470650202.ch7
- Herbach K.M., Stintzing E.C., Carle R. Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations. *Journal of Food Science*. 2004;69(6):491-498. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb10994.x
- Jiratanan T., Liu R.H. Antioxidant activity of processed table beets (*Beta vulgaris* var. *conditiva*) and green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004;52(9):2659-2670. DOI: 10.1021/jf034861d
- Kajanus B. Über die Farbenavriation der Beta-Rüben. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 1917;5(4):357-372. [in German]
- Kajanus B. Über die Vererbungs weise gewisser Merkmale der Beta- und Brassica-Rüben. *Zeitschrift induktiven Ursprungs und Vererbungslehre*. 1914;12(1):165. [in German] DOI: 10.1007/bf01837294
- Kapadia G.J., Tokuda H., Konoshima T., Nishino H. Chemoprevention of lung and skin cancer by *Beta vulgaris* (beet) root extract. *Cancer Letters*. 1996;100(1-2):211-214. DOI: 10.1016/0304-3835(95)04087-0
- Krasochkin V.T. Beet (Svekla). Moscow: State Publishers of Agricultural Literature; 1960. [in Russian] (Красочкин В.Т. Свекла. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы; 1960).
- Krasochkin V.T. Characteristics of the Chenopodiaceae or Salsoleae family (Kharakteristika semeystva marevykh ili solyankovykh Chenopodiaceae Less.). In: *Flora of Cultivated Plants. Vol. 19. Root Plants*. Leningrad: Kolos; 1971. p.5-266. [in Russian] (Красочкин В.Т. Характеристика семейства маревых или солянковых Chenopodiaceae Less. В кн.: *Культурная флора СССР. Т. 19. Корнеплодные растения*. Ленинград: Колос; 1971. С.5-266).
- Lindhard E., Iversen K. Vererbung von roten und gelben Var Merkmalen bei Beta-Rüben. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*. 1920;7(1):1-18. [in German]
- Linnaeus C. *Species Plantarum*. 1st ed. Stockholm: Lawrence Salvii; 1753. DOI: 10.5962/bhl.title.669
- Lutkov A.N. Experimental polyploidy as a method for creating highly productive polyploid sugar beet hybrids (Eksperimentalnaya poliploidiya kak metod sozdaniya vysokoproduktivnykh poliploidnykh gibridov sakharnoy svekly). In: A.N. Lutkov. *Experimental polyploidy in plant breeding (Eksperimentalnaya poliploidiya v seleksii rasteniy)*. Novosibirsk: Nauka; 1966. p.35-81. [in Russian] (Лутков А.Н. Экспериментальная полиплоидия как метод создания высокопродуктивных полиплоидных гибридов сахарной свеклы. В кн.: А.Н. Лутков. *Экспериментальная полиплоидия в селекции растений*. Новосибирск: Наука; 1966. С.35-81).
- Mangin B., Sandron F., Henry K., Devaux B., Willems G., Devaux P. et al. Breeding patterns and cultivated beets origins by genetic diversity and linkage disequilibrium analyses. *Theoretical and Applied Genetics*. 2015;128(11):2255-2271. DOI: 10.1007/s00122-015-2582-1
- Mirmiran P., Houshalsadat Z., Gaeini Z., Bahadoran Z., Fereidoun A. Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. *Nutrition and Metabolism*. 2020;17:3. DOI: 10.1186/s12986-019-0421-0
- Munerati O. L'eredità de lla tendenza annualia tanella comune barbabietola. *Züchtung*. Berlin. 1931;17(1/2):1-215. [in Italian]
- Ninfali P., Antonini E., Frati A., Scarpa E.S. C-glycosyl flavonoids from *Beta vulgaris* Cicla and betalains from *Beta vulgaris* rubra: antioxidant, anticancer and antiinflammatory activities – A review. *Phytotherapy Research*. 2017;31(6):871-884. DOI: 10.1002/ptr.5819
- Owen F.V. Cytoplasmically inherited male sterility in sugar beets. *Journal of Agricultural Research*. 1945;71(10):423-440.
- Owen F.V. Inheritance of cross- and self-sterility and self-fertility in *Beta vulgaris* L. *Journal of Agricultural Research*. 1942;64:679-698.
- Owen F.V., Ruser G.K. Some mendelian characters in *Beta vulgaris* and linkages observed in the Y-R-B group. *Journal of Agricultural Research*. 1942;65(3):155-171.
- Pivovarov V.F. Breeding and seed production of vegetable crops (Seleksiya i semenovodstvo ovoshchnykh kultur). Moscow; 1999. [in Russian] (Пивоваров В.Ф. Селекция и семеноводство овощных культур. Москва; 1999).
- Rieger R., Michaelis A. Genetic and cytogenetic dictionary (Geneticheskiy i tsitogeneticheskiy slovar). Moscow: Kolos; 1976. [in Russian] (Ригер Р., Михаэлис А. Генетический и цитогенетический словарь. Москва: Колос; 1967).
- Savitsky V.F. A genetic study of monogerm and multigerm characters in beets. *Proceedings of the American Society of Sugar Beet Technologists*. 1952;7:331-338.
- Savitsky V.F. Monogerm sugar beet in the United States. *Proceedings of the American Society of Sugar Beet Technologists*. 1950;6:156-159.
- Schwanitz F. Beiträge zur Züchtung und Genetik selbstfertiger Rüben (*Beta vulgaris* L.). *Der Züchter*. 1940;12(7):167-78. [in German] DOI: 10.1007/bf01811461
- Sokolova D.V. Demonstration of monogerm character in self-pollinated lines of monocarp table beet. *Sugar Beet*. 2010;(10):26-29. [in Russian] (Соколова Д.В. Особенности проявления признака раздельноцветковости у инбредных линий столовой свеклы. *Сахарная свекла*. 2010;(10):26-29).
- Sokolova D.V. Formation of the trait-specific group in VIR's table beet collection: environmental plasticity and stability. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(2):106-117. [in Russian] (Соколова Д.В. Формирование признаковой группы коллекции столовой свеклы ВИР: экологическая пластичность и стабильность. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(2):106-117). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-2-106-117
- Sokolova D.V., Piskunova T.M. Features of self-pollinated lines of monocarp table beet (Osobennosti samoopylennykh liniy razdelnoplodnoy stolovoy svekly). *Sugar Beet*. 2008;(10):20-22. [in Russian] (Соколова Д.В., Пискунова Т.М. Особенности самоопыленных линий раздельноплодной столовой свеклы. *Сахарная свекла*. 2008;(10):20-22).
- Sokolova D.V., Solovieva A.E. Promising initial material for breeding of beet varieties with a high content of betanin. *Agrarian Russia*. 2019;(8):26-32. [in Russian] (Соколова Д.В., Соловьева А.Е. Перспективный исходный

- материал для селекции сортов свеклы с высоким содержанием бетанина. *Аграрная Россия*. 2019;(8):26-32). DOI: 10.30906/1999-5636-2019-8-26-32
- Soldatenko A.V., Musaev F.B., Sokolova D.V. The 100th anniversary of the Federal Scientific Vegetable Center, the leader of Russian scientific vegetable growing. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):156-166. [in Russian] (Солдатенко А.В., Мусаев Ф.Б., Соколова Д.В. Флагману российского научного овощеводства ФНЦО – 100 лет. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):156-166). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-156-166
- Stintzing F.C., Carle R. Betalains – emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science and Technology*. 2007;18(10):514-525. DOI: 10.1016/j.tifs.2007.04.012
- Tesoriere L., Allegra M., Butera D., Livrea M.A. Absorption, excretion, and distribution of dietary antioxidant betalains in LDLs: potential health effects of betalains in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2004;80(4):941-945. DOI: 10.1093/ajcn/80.4.941
- Vavilov N.I. Breeding as a science (Selektsiya kak nauka). Moscow; Leningrad: State Publishers of Collective and State Farm Literature; 1934. [in Russian] (Вавилов Н.И. Селекция как наука. Москва; Ленинград: Государственное издательство колхозной и совхозной литературы; 1934).
- Von Lippmann E.O. Geschichte der Rübe (*Beta*) als Kulturpflanze. Berlin; Heidelberg: Springer; 1925. [in German] DOI: 10.1007/978-3-642-91907-7
- Wagner H., Weber W.E., Wricke G. Estimating linkage relationship of isozyme markers and morphological markers in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) including families with distorted segregations. *Plant Breeding*. 1992;108(2):89-96. DOI: 10.1111/j.1439-0523.1992.tb00106.x
- Zhukovsky P.M. Cultivated plants and their relatives (Kulturnye rasteniya i ikh sorodichi). 2nd ed. Moscow; 1964. [in Russian] (Жуковский П.М. Культурные растения и их сородичи. 2-е изд. Москва; 1964).
- Zosimovich V.P. Wild species and origin of cultivated beets (Dikiye vidy i proiskhozhdeniye kulturnoy svekly). *Sveklodstvo = Beet Growing*. 1940;(1):45-59. [in Russian] (Зосимович В.П. Дикие виды и происхождение культурной свеклы. *Свекловодство*. 1940;(1):45-59).

Информация об авторе:

Диана Викторовна Соколова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

Information about the author:

Diana V. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

Статья поступила в редакцию 22.09.21; одобрена после рецензирования 01.03.2022; принята к публикации 01.12.2022. The article was submitted on 22.09.21; approved after reviewing on 01.03.2022; accepted for publication on 01.12.2022.