

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-22-29>
УДК: 633.63:631.524.85

Т.В. Вострикова*, М.А. Богомолов,
А.А. Сенютин, Л.Н. Путилина

ФГБНУ «Всероссийский
научно-исследовательский институт сахарной
свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова»
396030, Россия, Воронежская область,
Рамонский район, ВНИИСС, д. 86

*Автор для переписки: tanyavostric@rambler.ru

Вклад авторов: Вострикова Т.В.: проведение исследования, концептуализация, методология, верификация и администрирование данных, создание рукописи и её редактирование; Богомолов М.А.: проведение лабораторных и полевых исследований, создание рукописи; Сенютин А.А.: проведение полевых исследований; Путилина Л.Н.: проведение лабораторных исследований, методология, верификация и администрирование данных, редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Вострикова Т.В., Богомолов М.А., Сенютин А.А., Путилина Л.Н. Селекция свеклы сахарной на устойчивость к абиотическим факторам среды. *Овощи России*. 2024;(6):22-29. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-22-29>

Поступила в редакцию: 04.07.2024

Принята к печати: 25.09.2024

Опубликована: 29.11.2024

Tatyana V. Vostrikova*, Mikhail A. Bogomolov,
Andrey A. Senyutin, Lyudmila N. Putilina

Federal State Budgetary Scientific Institution
“A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute
of Sugar Beet and Sugar”
86, VNISS, Ramonsky district,
Voronezh region, 396030, Russia

*Correspondence Author:
tanyavostric@rambler.ru

Authors' Contribution: Vostrikova T.V.: study implementation, conceptualization, methodology, data verification and administration, manuscript preparation and editing; Bogomolov M.A.: laboratory and field studies, manuscript preparation; Senyutin A.A.: field studies; Putilina L.N.: laboratory studies, methodology, data verification and administration, manuscript editing.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

For citation: Vostrikova T.V., Bogomolov M.A., Senyutin A.A., Putilina L.N. Breeding sugar beet for the resistance to abiotic environmental factors. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(6):22-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-6-22-29>

Received: 04.07.2024

Accepted for publication: 25.09.2024

Published: 29.11.2024

Селекция свеклы сахарной на устойчивость к абиотическим факторам среды



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Отбор на продуктивность и стабильность на разных этапах селекционного процесса включает оценку адаптивной способности и экологической стабильности генотипов. Поэтому селекция на устойчивость к абиотическим факторам среды тесно связана с адаптивной селекцией, которой в последние годы уделяют особое внимание.

Материал и методика. Работа выполнена в ФГБНУ «Всероссийском научно-исследовательском институте сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова» в 2011-2020 годах. Мужскостерильные формы свеклы сахарной скрещивали с фертильными диплоидными сростноплодными опылителями (селекции ВНИИСС) методом топкросс. У полученных гибридов оценивали урожайность, сахаристость и сбор сахара по стандартным методикам, используемым в ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова». Проводили ежегодную работу, включающую отборы лучших и браковки худших вариантов по исследуемым признакам. Производили оценку линий, гибридных комбинаций свеклы сахарной на устойчивость к комплексу неблагоприятных природно-климатических факторов по признакам урожайности, сахаристости и семенной продуктивности.

Результаты. Результаты улучшающих отборов в течение десяти лет показывают увеличение массы корнеплода и содержания сахара у исходных раздельноплодных и сростноплодных материалов. Выделены раздельноплодные (МС-2113, МС-Перла) и сростноплодные (ОП-15465, ОП-15676, ОП-15202) линии с высокой комбинационной способностью по урожайности и сахаристости корнеплодов. Отмечено повышение результирующего параметра – сбора сахара – к 2020 г. (до 8,8-9,0 т/га), иллюстрирующее положительную динамику селекционного процесса сахарной свеклы для растений первого года жизни. Показано увеличение массы 1000 семян (до 13,4-13,9 г) и раздельноплодности (до 98-99 %) в процессе селекции для растений второго года жизни.

Заключение. У исследуемых гибридных комбинаций отмечается широкая норма реакции на комплекс природно-климатических факторов: повышенные температуры в сочетании с высокой и низкой влажностью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

свекла сахарная, гибрид, мужскостерильные формы, комбинационная способность, продуктивность

Breeding sugar beet for the resistance to abiotic environmental factors

ABSTRACT

Relevance. The selection for productivity and stability on different stages in the breeding process includes an assessment of the adaptive capacity and genotypes ecological stability. Therefore breeding for the resistance to abiotic environmental factors is closely connected with the adaptive breeding, which has received special attention in recent years.

Methodology. The work was carried out at the “A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar” in 2011-2020. Male-sterile forms of sugar beet were crossed with fertile diploid multi-seeded pollinators (ARRISBS selections) by topcross method. The resulting hybrids were assessed for yield, sugar content and sugar collection according by standard methods used at the “A.L. Mazlumov ARRISBS”. It is carried out the annual work, including selection of the best and rejection of the worst options for the studied characteristics. An assessment was made of lines and hybrid combinations of sugar beet for the resistance to a complex of unfavorable natural and climatic factors based on the characteristics of yield, sugar content and seed productivity.

Results. The results of improving selections over ten years show an increase in the weight of the root crop and the sugar content for the original single-seeded and multi-seeded materials. Single-seeded (MS-2113, MS-Perla) and multi-seeded (OP-15465, OP-15676, OP-15202) lines with high combining ability in terms of yield and sugar content of root crops were identified. An increase in the resulting parameter – sugar collection – was noted by 2020 (to 8,8-9,0 t/ha), illustrating the positive dynamics of the breeding process of sugar beet for plants of the first life year. An increase in the weight of 1000 seeds (to 13,4-13,9 g) and separate fruiting (to 98-99%) was shown during the breeding process for plants of the second life year.

Conclusion. The studied hybrid combinations have a wide reaction rate to a complex of natural climatic factors: elevated temperatures in combination with high and low humidity.

KEYWORDS:

sugar beet, hybrid, male sterile forms, combining ability, productivity

Введение

Отбор на продуктивность и стабильность на разных этапах селекционного процесса включает оценку адаптивной способности и экологической стабильности генотипов. Поэтому селекция на устойчивость к абиотическим факторам среды тесно связана с адаптивной селекцией, которой в последние годы уделяют особое внимание. Центральным понятием является термин «адаптивный потенциал», под которым понимают предел устойчивости растений. Другие авторы под адаптивным потенциалом подразумевают устойчивость культурных растений к неблагоприятным факторам: насекомым-вредителям, засорённости посева, болезням, засухе, засолению почвы, холоду [1].

Селекцию на устойчивость к неблагоприятным факторам среды проводили у зерновых [1, 2], плодовых [3, 4], овощных культур [5-7]. Было замечено, что у культурных растений наиболее сходными оказываются реакции экологической устойчивости, а признаки продуктивности (урожайность и др.) специфичны [8].

Касательно свеклы сахарной возможно повышать толерантность к абиотическим факторам среды, а также увеличивать сбор сахара (урожайность, сахаристость), семенную продуктивность. В настоящее время адаптивная селекция приобретает все большее значение в связи с изменяющимися экологическими факторами. Под адаптивной селекцией понимают совокупность методов, обеспечивающих получение сортов и гибридов с максимальной и устойчивой продуктивностью в экологических условиях региона, для которого ведется отбор [9]. Основной целью адаптивной селекции является сочетание продуктивности и устойчивости к абиотическим, биотическим и антропогенным стрессорам в одном сорте (генотипе, популяции) [1].

Однако одна и та же гибридная комбинация может иметь разную продуктивность в зависимости от влияния экологических факторов: абиотических – погодных, эдафических условий (плотности почвы, внесения удобрений и др.) и биотических – наличия или отсутствия, различной степени поражения болезнями и вредителями. В связи с этим важен подбор пар для скрещивания с высокой комбинационной способностью компонентов для получения продуктивных гибридов в разных экологических условиях [10]. Например, зарубежными авторами было проведено исследование сахарной кукурузы на скороспелость и зависимость генотипа от взаимодействия с окружающей средой. Оценивали производительность полудиаallelных популяций с использованием инбредных линий сахарной кукурузы и их гибридов F_1 с двумя коммерческими проверками на зрелость и признаки урожайности [2].

Существует мнение об относительной независимости разных генетических систем, контролирующих потенциалы экологической устойчивости и продуктивности культивируемых растений [8, 9]. Установлено, что односторонняя селекция растений на повышение потенциальной продуктивности приводит к снижению устойчивости культивируемых растений к абиотическим и биотическим стресс-факторам, поэтому такие сорта характеризуются большей вариабельностью по урожайности в неблагоприятных условиях среды [3, 8]. Так, например, результаты сравнительной оценки пока-

зали лучшие урожаи генотипов озимой тритикале (*Triticosecale* Wittmack) и озимой ржи (*Secale cereale* L.) по сравнению с озимой пшеницей (*Triticum aestivum* L.), в том числе, в неблагоприятных экологических условиях [11].

Оценка комбинационной способности изучаемых сортов и линий позволяет предвидеть результаты будущих скрещиваний и отбирать перспективный материал, избегая при этом затрат времени и средств на получение и испытание большого числа гибридов, не имеющих практической ценности [5-9, 12]. Комбинационная способность передается потомству, как при самоопылении, так и при скрещивании [12]. При оценке линий различают общую комбинационную способность (ОКС) и специфическую комбинационную способность (СКС). ОКС выражает среднюю ценность линии в гибридных комбинациях [9, 10]. СКС используют для характеристики отдельных комбинаций на основании среднего качества изучаемых родительских форм [5, 9]. Гетерозис – свойство гибридов превосходить по определенным признакам родительские компоненты, взятые для скрещивания [12].

С целью сокращения числа гибридных комбинаций и уменьшения объема работы при оценке родительских форм по комбинационной способности проводят скрещивания методом топкросс, когда анализируемые линии скрещивают с одним тестером [9]. Этот метод получил широкое распространение в селекции кукурузы и других перекрестноопыляющихся культур [1, 2, 5, 12]. Установлено, что линии, выделенные на основе топкросс, дают лучшие межлинейные гибриды [5, 9]. Использование линии в качестве тестера повышает результативность селекционной работы. В результате тестирования мы можем определить не только ОКС, но и выделить линии с высокой СКС и за одно тестирование получить перспективные высокогетерозисные и высокопродуктивные гибриды [5, 9-13]. Например, анализ скрещиваний линии $\times$ тестер проявил себя как эффективный метод оценки общей и специфической комбинационной способности кунжута (*Sesamum indicum* L.) по признакам дробления, урожайности и качества масла (пятнадцать линий и три тестера). Далее последовало скрещивание отобранных толерантных и чувствительных образцов методом линия $\times$ тестер с получением F_1 , родительского материала и коммерчески культивируемых сортов, высеянных в полевых условиях, чтобы установить генетические механизмы для оценки проявления гетерозиса и смежности поколений [14].

Общая комбинационная способность обусловлена аддитивным действием генов, то есть наследуется по принципу простого сложения признаков родительских форм, а специфическая является результатом проявления эффектов доминирования и взаимодействия генов с окружающей средой.

Цель исследования состояла в оценке линий, гибридных комбинаций сахарной свеклы по признакам урожайности, сахаристости и семенной продуктивности в контрастных погодных условиях.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили на территории ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова в условиях трехпольного севообо-

рота. Предшественником свеклы сахарной первого года жизни являлась озимая пшеница, а почвой – чернозем выщелоченный. Изолированные участки для свеклы сахарной второго года жизни располагались в посевах пшеницы озимой с соблюдением правил изоляции [15]. Почвенные характеристики чернозема выщелоченного на разных полях несколько колебались: гумус – 4,83-5,53 %; $N-NO_3^-$ = 1,39-1,49 мг/100 г почвы; P_2O_5 = 8,87-10,6 мг/100 г почвы; K_2O = 10,2-11,3 мг/100 г почвы [16].

Метод топкросс используют при изучении комбинационной способности линий с цитоплазматической мужской стерильностью, где возможно их использование только в качестве материнской, а фертильной в качестве опылителей [5, 8, 13]. Мы использовали мужско-стерильную форму свеклы сахарной МС-2113 (инбредная линия селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова) [10, 13, 17] в качестве тестера и скрещивали ее с фертильными диплоидными сростноплодными опылителями (селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова).

Линия МС-2113 – стерильная, раздельноплодная, диплоидная, урожайно-сахаристого направления с корнеплодом округло-конической формы. Апомиктичная линия, полученная с помощью индуцированного опыления гамма-облученной пылью дикой свеклы и последующим повторно-индивидуальным отбором по раздельноплодности, стерильности, продуктивности. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, корнеедом поражается на уровне стандарта. Отличается способностью к апомиктическому способу семенной репродукции.

Линия ОП-15202 – фертильная, сростноплодная, диплоидная, сахаристого направления с корнеплодом овально-конической формы. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, корнеедом поражается на уровне стандарта.

Линия ОП-15465 – фертильная, сростноплодная, диплоидная, урожайно-сахаристого направления с корнеплодом округло-конической формы. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, церкоспоро-зу, корнеедом поражается на уровне стандарта.

Линия ОП-15676 – фертильная, сростноплодная, диплоидная, урожайно-сахаристого направления с корнеплодом овально-конической формы. Обладает хорошей комбинационной способностью, устойчивостью к корневым гнилям, вирусу желтухи свеклы, церкоспоро-

зу, корнеедом поражается на уровне стандарта.

У полученных гибридов оценивали признаки продуктивности (урожайность, сахаристость и сбор сахара). В ранних исследованиях (2010-2012 гг.) в качестве стандарта были использован диплоидный гибрид селекции ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова РМС-70. В более поздних (2019-2020 гг.) экспериментах стандартом служил иностранный диплоидный гибрид Баккара (оригинатор «Mezon Florimond Desprez»). Поскольку свекла сахарная – двухлетняя культура, в первый год жизни выращивают корнеплоды, которые выкапывают осенью, сохраняют в зимнее время в специальных хранилищах при низких положительных температурах, а весной высаживают на изолированных участках и производят скрещивание отрастающих от них растений (второй год жизни). Время цветения основания и верхушки генеративных побегов различается. У основания цветение и завязывание семян происходит ранее. Для улучшения поступления питательных веществ к развивающимся семенам верхушки генеративных побегов (которые цветут позднее, цветки и семена мельче, в целом слабее) на стадии цветения прищипывают (пинцировка) на расстоянии до 10 см от верхушки. Летом собирают семена, которые высевают в следующем году, оценивают признаки продуктивности в сравнении со стандартом [10, 13, 15, 17]. В связи с этим в таблицах указаны годы испытания семян и проведения оценки параметров продуктивности корнеплодов.

Количественные признаки растений, том числе семенная продуктивность, урожайность, а в отношении сахарной свеклы и сахаристость зависят от сочетания температуры и влажности. В качестве меры засухи широко используется гидротермический коэффициент (ГТК) Г.Т. Селянинова, характеризующий соотношение тепла и влаги [18]. Интенсивность засухи определяли по ГТК и классификации засух [19] в Центральном Черноземье на основе данных ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» (табл. 1).

Оценку урожайности и сахаристости линий свеклы сахарной проводили путем взятия средней пробы с делянки. Размер опытной делянки 54 м², учетной делянки – 13,5 м². Анализ корнеплодов для определения массы корнеплода и сахаристости проводили на автоматизированной линии ВЕНЕМА (производитель фирма "Venema Automation b.v.", Нидерланды) [10, 12, 13]. Исследования производили по стандартным методикам [10, 12, 13]. Достоверность полученных результатов оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа.

Таблица 1. Гидротермические коэффициенты в Воронежской области (по данным ВНИИСС)
Table 1. Hydrothermal coefficients in the Voronezh region (according to ARRISBS data)

Год	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Среднее за вегетационный сезон
2010	2,3	1,0	0,4	0,4	0,6	1,0	5,5	1,6
2011	2,1	0,8	1,5	0,8	1,1	0,5	2,0	1,1
2012	1,7	0,2	1,4	0,9	3,9	1,0	3,5	1,8
2019	1,0	0,7	0,3	1,1	0,2	0,6	2,5	0,9
2020	0,8	1,2	0,3	0,5	0,1	0,1	1,6	0,6

Результаты исследований и их обсуждение

Из литературы известно, если весь вегетационный период растений сахарной свеклы первого года жизни разделить на три равные части, то соотношение расхода воды на испарение будет 1 : 9 : 3. Середина второго периода (конец июля – начало августа) наиболее критична по потребности во влаге [15]. Проанализировали начальный период вегетации в соответствии с гидротермическим коэффициентом Г.Т. Селянинова (ГТК) [18, 19].

В 2012 году отмечен недостаток осадков в мае, что в начальном периоде роста свеклы компенсируется остаточной почвенной влагой. В июне 2011, 2012 годов зафиксировано удовлетворительное количество осадков. Начало второго периода (в общем наиболее критичного по потребности во влаге для сахарной свеклы [15]) – июль – характеризовалось недостатком влаги, особенно в 2020 году (ГТК=0,5). Август и сентябрь, когда происходит наиболее сильное увеличение корнеплода и повышение сахаристости, в анализируемые годы были разнообразны по количеству осадков: от существенного недостатка в 2020 году до избытка в августе 2012 года.

При выращивании свеклы сахарной и исследовании продуктивности нужно учитывать погодные условия в год формирования семян, поскольку реализация адаптивного потенциала зависит, с одной стороны, от ее генетических особенностей, с одной стороны, от возможности их проявления, от условий окружающей среды [3-8]. Хотя в 2010 году – годовой ГТК=1,6 (удовлетворительный), отмечались экстремально высокие температуры в июле и недостаток влаги в периоды цветения, формирования и созревания семян в июне-июле ГТК=0,4 (табл. 1). Мы предполагаем, что неблагоприятные погодные условия могли привести к снижению доброкачественности семян, которое впоследствии проявилось в 2011 году в невысокой продуктивности (табл. 2).

В более благоприятных климатических условиях 2011 года по сравнению с 2020 годом такие показатели продуктивности, как масса корнеплода и содержание сахара были более низки, чем в 2020 году (табл. 2). Это может свидетельствовать о положительных результатах селекции сахарной свеклы (отборе лучших особей по массе корнеплода и содержанию сахара, браковке худших, в том числе по форме корнеплода).

Таблица 2. Сравнительная характеристика исходных материалов селекционного питомника
Table 2. Comparative characteristics of the starting materials in the breeding nursery

№	Линии	2011 год		2020 год	
		масса корнеплода, г	содержание сахара, %	масса корнеплода, г	содержание сахара, %
1	МС-2113	350 3	16,5 0,1	380 4	17,6 0,2
2	РФ-2113	370 4	16,4 0,1	405 4	17,5 0,2
3	МС-2093	380 4	16,4 0,1	395 4	17,4 0,2
4	РФ-2093	385 4	16,3 0,1	410 4	17,4 0,1
5	МС-Перла	360 3	16,8 0,1	385 4	17,9 0,3
6	РФ-Перла	375 4	16,9 0,2	400 4	17,8 0,2
7	МС-94-АР	400 4	16,6 0,1	425 4	17,7 0,2
8	МС-90-47	370 4	16,8 0,2	390 4	18,0 0,3
9	ОП-15202	380 4	16,9 0,1	410 4	17,9 0,3
8	ОП-14044	490 5	16,8 0,1	505 5	17,8 0,3
10	ОП-15465	375 4	16,6 0,1	475 5	17,6 0,2
11	ОП-15676	425 4	16,8 0,2	435 5	17,8 0,3
12	КО-16	620 6	12,4 0,2	635 6	13,5 0,3
13	ЛБС-16	410 4	16,9 0,1	430 5	17,9 0,4
14	ЛБО-17	420 4	16,8 0,1	450 5	17,8 0,3
15	ЛБС-18	440 5	16,7 0,2	470 5	17,7 0,3
16	ЛБО-19	450 5	16,7 0,2	480 5	17,6 0,3
17	стандарт	340 3	15,2 0,2	450 4	17,4 0,2
	НСР _{0,05}	9,5	0,4	10,3	0,8

В 2019 году оценивали параметры продуктивности исходного материала, т.е. скрещивания одноименных МС-линий и О-типов (для поддержания стерильности). В таблице 3 представлены признаки продуктивности МС-линий сахарной свеклы в сравнении с ранее используемым и более современным стандартом. Анализ продуктивных признаков показывает, что гибрид РМС-70, который ранее использовался в качестве стандарта, не проявил высокой урожайности (96,9% по сравнению с зарубежным гибридом), хотя сахаристость была на уровне зарубежного гибрида (101,6% по сравнению со стандартом). МС-2113 и МС-Перла проявили повышенную продуктивность, особенно МС-Перла, отличившаяся сахаристостью.

Перла (сахаристого типа) проявлял высокую комбинационную способность, которая выражалась в увеличении продуктивности в сравнении со стандартом и другими гибридными комбинациями за счет повышенной сахаристости (табл. 4). ОП-15465 в сочетании с МС-2113 имел высокую комбинационную способность МС-Перла, МС-90-47 и ОП-15202 (сахаристого типа) превосходили по содержанию сахара некоторые другие линии (табл. 2). ОП-15202 показал хорошую комбинационную способность в сочетании с МС-2113 (табл. 4).

Ранее в наших исследованиях отмечалось, что в зависимости от погодных условий одна и та же гибридная комбинация проявляла как отрицательный гетерозис, так и сверхдоминирование или истинный гетерозис в разные годы [13]. Таким образом, у исследуемых гибридных комбинаций отмечается широкая норма реакции на комплекс природно-климатических факторов.

Комбинационная способность скрещиваемых пар МС компонента и сростноплодного опылителя в большей степени зависит от продуктивности родительских линий. В зависимости от погодных условий в парах МС компонента и сростноплодного опылителя, отобранных для скрещивания, могут отмечаться отклонения от среднего значения и от значения лучшего родителя по признакам урожайности и сахаристости как в положительную, так и в отрицательную сторону. Специфика проявления признаков продук-

Таблица 3. Признаки продуктивности линий свеклы сахарной (2019 год)
Table 3. Productivity signs of sugar beet lines

Материал	Густота насаждения, тыс. га	В абсолютных показателях			В % от стандарта		
		урожайность, т/га	сахаристость, %	сбор сахара, т/га	урожайность	сахаристость	сбор сахара
Стандарт Баккара	111,3	24,18	17,44	4,22	100,0	100,0	100,0
РМС-70	115,0	23,44	17,72	4,15	96,93	101,61	98,34
МС-2113 х РФ-2113	106,7	27,53	17,57	4,84	113,85	100,75	114,69
МС-Перла х РФ-Перла	97,8	27,69	17,98	4,98	114,51	103,09	118,01

В 2012 году избыток влаги в августе и ее достаточное количество в сентябре в сочетании с повышенными температурами благоприятно сказались на продуктивности и ростовой способности, показателем которой возможно считать урожайность корнеплодов (табл. 4). Влияние метеорологических условий на растения свеклы сахарной первого года жизни было особо отмечено и другими авторами на участках с дефицитом влаги [4, 8, 11].

Урожайность и, соответственно, сбор сахара были более высоки в 2012 и в 2020 годах, чем в 2011 году, особенно в гибридной комбинации с участием ОП-15676 (урожайно-сахаристого типа). ОП-15465 (урожайно-сахаристого типа) в гибридной комбинации с МС-

Таблица 4. Признаки продуктивности гибридных комбинаций свеклы сахарной
Table 4. Productivity signs in hybrid combinations of sugar beet

№ п/п	Комбинация	2011 год			2012 год			2020 год		
		урож., т/га	сахар, %	сбор, т/га	урож., т/га	сахар, %	сбор, т/га	урож., т/га	сахар, %	сбор, т/га
1	Стандарт	34,45	15,23	5,28	39,59	15,84	6,27	50,33	17,44	8,78
2	МС-2113 х ОП-15465	37,31	15,49	5,79	42,69	15,91	6,79	49,73	17,85	8,88
3	МС-2113 х ОП-15202	37,29	16,97	6,33	41,33	16,88	6,98	50,01	17,91	8,96
5	МС-2113 х ОП-15676	37,89	16,98	6,42	58,51	16,17	7,72	49,66	17,76	8,82
6	МС-Перла х ОП-15465	34,09	15,63	5,32	41,68	16,44	6,85	48,63	18,53	9,01
	НСР _{0,05}	3,78	0,32	0,60	4,49	0,24	0,71	4,20	0,21	0,79

Обозначения: урожай. – урожайность, сахар – сахаристость, сбор – сбор сахара



**Растение первого года жизни
линии МС-Перла**



**Растение второго года жизни
линии МС-Перла**

тивности определяется, с одной стороны, наследственными особенностями родительских линий, с другой стороны, совокупностью взаимодействия генов с факторами окружающей среды [13].

Гетерозис гибридов в большей степени зависит от продуктивности родительских линий. Однако важную роль играет комбинационная способность исходного материала сахарной свеклы. Одним из главных путей дальнейшего повышения продуктивности свеклы и производства сахара является создание и внедрение высокопродуктивных гибридов. Ранее отмечалось, что при создании нового исходного материала для гибридной селекции сахарной свёклы требуется совершенно иной селекционный материал – гомозиготные инбредные линии. Эффективным методом, значительно увеличивающим разнообразие потомства, явилось использование гамма-облучённой пыльцы диких видов свёклы. На основе созданных линий сформирован ряд эффективных гибридных комбинаций. Одна из них представлена на примере апомиктической гамма-индуцированной линии МС-2113, обладающей хорошей комбинационной способностью по урожайности и сахаристости корнеплодов, что увеличивает сбор сахара [10, 13, 17].

Результаты исследований некоторых показателей семенной продуктивности иллюстрируют увеличение массы 1000 семян и раздельноплодности в процессе селекции (табл. 5). Замечено положительное влияние улучшающих отборов и механической чеканки семенных растений свеклы сахарной (удаление верхушки генеративного побега на расстоянии 1/6-1/4 от средней высоты семенных растений или на 20-30 см) на урожайность и посевные качества семян [20]. Было сделано заключение об оптимальном сочетании приемов чеканки на 1/6-1/4 от средней высоты семенных растений с улучшающими отборами, что обеспечивает повышение лабораторной всхожести без существенного снижения урожайности семян [20]. В селекционном процессе сахарной свеклы была выделена самопинцирующаяся линия МС-Перла, у которой отмирает верхушка генеративного побега.

Таблица 5. Сравнительная характеристика некоторых показателей семенной продуктивности свеклы сахарной
Table 5. Comparative characteristics of some indicators in sugar beet seed productivity

№	Линии	2011 год		2020 год	
		масса 1000 семян, г	раздельноплодность, %	масса 1000 семян, г	раздельноплодность, %
1	МС-2113	12,70	98,7	13,40	99,6
2	РФ-2113	12,80	97,2	13,70	99,1
3	МС-2093	12,40	95,4	13,65	96,8
4	РФ-2093	12,75	96,5	13,80	98,0
5	МС-Перла	12,85	97,8	13,95	99,5
6	РФ-Перла	12,30	95,3	13,70	96,8

Заключение

Произведена оценка линий, гибридных комбинаций свеклы сахарной на устойчивость к комплексу неблагоприятных природно-климатических факторов по признакам урожайности, сахаристости и семенной продуктивности. Результаты улучшающих отборов в течение десяти лет показывают увеличение массы корнеплода и содержания сахара у исходных односемянных и многосемянных материалов. Выделены раздельноплодные (МС-2113, МС-Перла) и сростноплодные (ОП-15465, ОП-15676, ОП-15202) линии с высокой комбинацион-

ной способностью по урожайности и сахаристости корнеплодов. Отмечено повышение результирующего параметра – сбора сахара – к 2020 г., иллюстрирующее положительную динамику селекционного процесса сахарной свеклы для растений первого года жизни. Показано увеличение массы 1000 семян и раздельноплодности в процессе селекции для растений второго года жизни. У исследуемых гибридных комбинаций отмечается широкая норма реакции на комплекс природно-климатических факторов: повышенные температуры в сочетании с высокой и низкой влажностью.

• Литература

1. Корзун О.С., Бруйло А.С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: пособие. Гродно: ГГАУ; 2011. 140 с.
2. Nadeem T., Khalil I.H., Jadoon S.A. Combining ability analysis for maturity and yield attributes in sweet corn across environments. *Sabao Journal of Breeding and Genetics*. 2023;55(2):319-328. <https://doi.org/10.54910/sabao2023.55.2.5>
3. Дорошенко Т.Н., Захарчук Н.В., Рязанова Л.Г. Адаптивный потенциал плодовых растений юга России: монография. Краснодар: Просвещение – Юг; 2010. 140 с.
4. Юшков А.Н., Борзых Н.В. Сравнительная оценка засухоустойчивости исходных форм яблони и вишни в природных и моделируемых условиях. *Современное садоводство: электронный журнал*. 2013;(2):1-6. <https://www.elibrary.ru/seienr>
5. Монахос Г.Ф. Схема создания двухлинейных гибридов капустных овощных культур на основе самонесовместимости. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2007;(2):86-93. <https://www.elibrary.ru/iadqjx>
6. Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г., Солдатенко А.В. Экологические методы селекции на минимальное накопление радионуклидов. *Сельскохозяйственная биология*. 2009;(1):21-27. <https://www.elibrary.ru/jzfqdv>
7. Шумилина Д.В., Шмыкова Н.А., Бондарева Л.Л., Супрунова Т.П. Влияние генотипа и компонентов среды на эмбриогенез в культуре микроспор капусты китайской *Brassica rapa ssp. chinensis* сорта Ласточка. *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2015;(4):368-375. <https://www.elibrary.ru/rxzyvp> <https://doi.org/10.7868/S000233291504013X>
8. Жученко А.А. Роль прогнозирующих возможностей закона гомологических рядов в наследственной изменчивости при поиске адаптивно значимых и хозяйственно ценных генофондов. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2012;(4):28-38. <https://elibrary.ru/pgbis1>
9. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Генетические основы селекции растений. В 4 т. Общая генетика растений. Т.1. Минск: Белорус. наука; 2008. 551 с.
10. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Комбинационная способность в адаптивной селекции сахарной свёклы. *Сахар*. 2023;(11):22-27. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-11-22-27> <https://elibrary.ru/fyqsap>
11. Bome N.A., Salekh S., Korolev K.P., Kolokolova N.N., Weisfeld L.I., Tetyannikov N.V. Biological potential of winter cereals in the Northern Trans-Urals, Russia. *Sabao Journal of Breeding and Genetics*. 2022;54(4):789-802. <http://doi.org/10.54910/sabao2022.54.4.10>
12. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Комбинационная способность в селекционных исследованиях сахарной свёклы. *Сахар*. 2023;(9):34-38. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-9-34-38> <https://elibrary.ru/oehowb>
13. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Оценка комбинационной способности МС-линий и многосемянных опылителей сахарной свёклы для подбора пар при скрещивании. *Сахар*. 2022;(6):44-48. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-6-44-48> <https://elibrary.ru/ojtlxg>
14. Saleem H., Saqat H.A., Razzaq H., Chattha A.A., Khan S.H. Heterotic grouping with combining ability and gene action in *Sesamum indicum* L. using line × tester analysis. *Sabao Journal of Breeding and Genetics*. 2023;55(2):367-378. <http://doi.org/10.54910/sabao2023.55.2.9>
15. Мазлумов АЛ. Селекция сахарной свёклы. 3-е изд. М.: фирма «Бета»; 1996. 208 с.
16. Минакова О.А., Косякин П.А., Боронтов О.К. Основные результаты научных исследований ВНИИСС в области технологии возделывания сахарной свёклы. *Сахарная свекла*. 2022;(9):19-25. <https://doi.org/10.25802/SB.2022.20.23.004> <https://elibrary.ru/egniap>
17. Богомолов М.А., Вострикова Т.В. Сравнение продуктивности селекционного материала сахарной свёклы. *Биосфера*. 2022;14(4):275-276. <https://elibrary.ru/hexplp>
18. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928;(20):165-177.
19. Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016;(2):79-94. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2016-2-79-94> <https://elibrary.ru/xbhxih>
20. Бартенев И.И., Гаврин Д.С., Сенютин А.А., Нечаева О.М. Влияние улучшающих отборов и механической чеканки семенных растений сахарной свеклы на урожайность и посевные качества семян. *Сахарная свекла*. 2023;(10):9-12. <https://doi.org/10.25802/SB.2023.43.36.002> <https://elibrary.ru/qkakbd>

• References

- Korzun O.S., Bruilo A.S. [Adaptive features of selection and seed production of agricultural plants: a manual]. Grodno: GGAU. 140 p. (In Russ.)
- Nadeem T., Khalil I.H., Jadoon S.A. Combining ability analysis for maturity and yield attributes in sweet corn across environments. *Sabao Journal of Breeding and Genetics*. 2023;55(2):319-328. <https://doi.org/10.54910/sabao2023.55.2.5>
- Doroshenko T.N., Zakharchuk N.V., Ryazanova L.G. [Adaptive potential of fruit plants in the south of Russia: monograph]. Krasnodar: Prosveshhenie – Jug; 2010. 140 p. (In Russ.)
- Yushkov A.N., Borzykh N.V. Comparative estimate of initial apple and cherry selected seedlings in natural and modeled conditions. *Contemporary horticulture*. 2013;(2):1-6. <https://www.elibrary.ru/seienr> (In Russ.)
- Monakhos G.F. The scheme of cabbage bilinear hybrids development based on self incompatibility. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2007;(2):86-93. <https://www.elibrary.ru/iadqjx> (In Russ.)
- Pivovarov V.F., Dobrutskaya E.G., Soldatenko A.V. Ecological methods of lettuce breeding on minimal accumulation of radioactive nuclide (^{137}CS). *Agricultural biology*. 2009;(1):21-27. <https://www.elibrary.ru/jzfqdv> (In Russ.)
- Shumilina D.V., Shmykova N.A., Bondareva L.L., Suprunova T.P. Effect of genotype and medium culture content on microspore-derived embryo formation in chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *chinensis*) cv. Lastochka. *Biology Bulletin*. 2015;42(4):302-309. <https://elibrary.ru/ufbalh> <https://doi.org/10.1134/S1062359015040135>
- Zhuchenko A.A. The role of predictive possibilities of homologous series law in hereditary changeability when searching both adaptively significant and valuable in agriculture gene-donors. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012;(4):28-38. <https://elibrary.ru/pgbisl> (In Russ.)
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. [Genetic basis of plant breeding. In 4 volumes. General genetics of plants]. T.1. Minsk: Belarus science; 2008. 551 p. (In Russ.)
- Bogomolov M.A., Vostrikova T.V. Combination ability in adaptive breeding of sugar beet. *Sugar*. 2023;(11):22-27. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-11-22-27> <https://elibrary.ru/fyqsap> (In Russ.)
- Bome N.A., Salekh S., Korolev K.P., Kolokolova N.N., Weisfeld L.I., Tetyannikov N.V. Biological potential of winter cereals in the Northern Trans-Urals, Russia. *Sabao Journal of Breeding and Genetics*. 2022;54(4):789-802. <http://doi.org/10.54910/sabao2022.54.4.10>
- Bogomolov M.A., Vostrikova T.V. Combination ability in sugar beet breeding research. *Sugar*. 2023;(9):34-38. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2023-9-34-38> <https://elibrary.ru/oehowb> (In Russ.)
- Bogomolov M.A., Vostrikova T.V. Assessment of the combining ability of MS lines and polyspermous sugar beet pollinators for the selection of pairs during crossing. *Sugar*. 2022;(6):44-48. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2022-6-44-48> <https://elibrary.ru/ojtlxg> (In Russ.)
- Saleem H., Saqat H.A., Razzaq H., Chattha A.A., Khan S.H. Heterotic grouping with combining ability and gene action in *Sesamum indicum* L. using line $\times$ tester analysis. *Sabao Journal of Breeding and Genetics*. 2023;55(2):367-378. <http://doi.org/10.54910/sabao2023.55.2.9>
- Mazlumov A.L. [Sugar beet selection]. 3rd ed. M.: Beta company; 1996. 208 p. (In Russ.)
- Minakova O.A., Kosyakin P.A., Borontov O.K. The main results of scientific research in the field of sugar beet cultivation technology in All-Russian Scientific Research Institute of sugar beet and sugar. *Sugar beet*. 2022;(9):19-25. <https://doi.org/10.25802/SB.2022.20.23.004> <https://elibrary.ru/egniap> (In Russ.)
- Bogomolov M.A., Vostrikova T.V. Comparing the productivity of sugar beet breeding material. *Biosfera*. 2022;14(4):275-276. <https://elibrary.ru/hexplp> (In Russ.)
- Selyaninov G.T. About agricultural climate assessment. *Works on agricultural meteorology*. 1928;(20):165-177. (In Russ.)
- Cherenkova E.A., Zolotokrylin A.N. On the comparability of some quantitative drought indices. *Fundamental and applied climatology*. 2016;(2):79-94. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2016-2-79-94> <https://elibrary.ru/xbhxih> (In Russ.)
- Bartenev I.I., Gavrin D.S., Senyutin A.A., Nechaeva O.M. The influence of improving selection and mechanical minting of sugar beet seed plants on the yield and sowing qualities of seeds. *Sugar beet*. 2023;(10):9-12. <https://doi.org/10.25802/SB.2023.43.36.002> <https://elibrary.ru/qkakbd> (In Russ.)

Об авторах:

Татьяна Валентиновна Вострикова – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории селекции исходного материала и гетерозисных опылителей, SPIN-код: 3360-6151, <https://orcid.org/0000-0002-0951-0942>, автор для переписки, tanyavostric@rambler.ru

Михаил Алексеевич Богомолов – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, AuthorID: 276768, <https://orcid.org/0000-0001-6131-8109>, bogomolov47@bk.ru

Андрей Александрович Сенютин – научный сотрудник лаборатории селекции исходного материала и гетерозисных опылителей, mr.senutin@yandex.ru

Людмила Николаевна Путилина – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заместитель директора по научной работе, SPIN-код: 6693-3161, <https://orcid.org/0000-0002-5991-5235>, lputilina@bk.ru

About the Authors:

Tatyana V. Vostrikova – Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Laboratory for selection of source material and heterotic pollinators, SPIN-code: 3360-6151, <https://orcid.org/0000-0002-0951-0942>, Corresponding Author, tanyavostric@rambler.ru

Mikhail A. Bogomolov – Dr. Sci. (Agriculture), Leading Researcher of the Laboratory for selection of source material and heterotic pollinators, <https://orcid.org/0000-0001-6131-8109>, bogomolov47@bk.ru

Andrey A. Senyutin – Researcher of the Laboratory for selection of source material and heterotic pollinators, mr.senutin@yandex.ru

Lyudmila N. Putilina – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Deputy Director for Research, SPIN-code: 6693-3161, <https://orcid.org/0000-0002-5991-5235>, lputilina@bk.ru