KAHL
akahl.com

УДК 633.63:575:631.52
doi.org/10.24412/2413-5518-2022-1-22-25

Получение гетерозисных гибридов сахарной свёклы на стерильной основе[S]

М.А. БОГОМОЛОВ, *д-р с/х. наук, вед. научн. сотрудник (e-mail: bogomolov47@bk.ru)*
Т.В. ВОСТРИКОВА, *канд. биолог. наук, научн. сотрудник (e-mail: tanyavostric@rambler.ru)*
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова»

Введение

Одним из главных путей дальнейшего повышения продуктивности сахарной свёклы и производства сахара является создание и внедрение высокопродуктивных, высокотехнологичных, устойчивых к биотическим и абиотическим факторам гибридов сахарной свёклы. Наиболее перспективным направлением в селекции сахарной свёклы является получение гетерозисных гибридов на стерильной основе [2, 12]. Гетерозисная селекция раздельноплодной сахарной свёклы на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) требует глубоких теоретических и практических разработок по созданию и изучению исходного материала разных форм, сохранению и поддержанию линейных материалов прежде всего по хозяйственно-ценным признакам – таким как масса корнеплодов, их сахаристость и технологические качества.

Известно, что селекция гибридов на стерильной основе проводится по следующей схеме:

1-й год – выращивание корнеплодов (МС-1, МС-2 и т. д.; ОТ-1, ОТ-2 и т. д.; опылители А, Б и т. д.) в селекционном питомнике (отбор лучших по комбинационной способности (КС) линий);

2-й год – размножение компонентов с целью получения суперэлитных семян линий О-типа (ОТ-1, ОТ-2 и т. д.), их МС-аналогов (МС-1×ОТ-1, МС-2×ОТ-2 и т. д.) и многосемянных опылителей (линии А, Б и т. д.) в чистоте;

3-й год – выращивание корнеплодов из семян суперэлиты (репродукционный посев);

4-й год – получение элитных семян простого МС-гибрида (материнская форма) путём скрещивания МС-формы с неродственным О-типом: МС-1×ОТ-2 (МС2×ОТ-1) и семян многоплодного опылителя (отцовская форма) по схеме А×Б (синтетик) с раздельной уборкой компонентов;

5-й год – выращивание корнеплодов из элитных семян по компонентам (маточный посев);

6-й год – получение гибридных (базисных семян) путём скрещивания простого МС-гибрида (материнская форма) с многоплодным опылителем (отцовская форма по схеме [F1(МС-1×ОТ-2)×F1(А×Б)] с раздельной уборкой компонентов;

7-й год – реализация и посев первого поколения семян межлинейного гибрида в хозяйствах на фабричную свёклу.

В наших исследованиях по данной схеме был получен гетерозисный гибрид сахарной свёклы РМС-90 [3].

В селекции сахарной свёклы на гетерозис оценка комбинационной способности является основным звеном в практической работе селекционера. Понятие комбинационной способности тесно связано с гетерозисом. О ней судят по продуктивности гибридов первого поколения (F_1), полученных от скрещивания линий, сибсов, клонов и других селекционных материалов, в сравнении с исходными формами [2]. Селекция на комбинационную способность предусматривает улучшение линий с помощью гибридизации и отбора. При этом в год отбора и во втором поколении в соответствии со схемой селекции растения подвергают инбридингу. В третьем и последующих поколениях инбридинг чередуют с сестринскими (сибсовыми) скрещиваниями [12].

Применение сестринских скрещиваний теоретически даёт возможность получать новые рекомбинации генов, но этот метод серьёзно ограничен сходством генофонда исходных растений. Более успешным явилось использование повторных рекомбинаций, полученных от скрещивания исходных генотипов или от скрещивания инбредных линий с одной из родительских форм [15]. В этом случае сохраняется большая часть генотипа одного родительского компонента, а улучшение происходит за счёт желательных признаков, сохранившихся от другого.

Переход от популяционной к гибридной селекции перекрёстноопыляющихся культур, к которым относится сахарная свёкла, потребовал привлечения совершенно иного исходного материала – гомозиготных инбредных линий. Основным классическим приёмом создания таких линий является

[S] Выбор спонсора научных публикаций осуществляется по усмотрению редакции, любая взаимосвязь между видами деятельности спонсора и результатами научной работы исключается


ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ КОРМ
ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
akahl.com

метод инбридинга, базирующийся на поиске и отборе форм свёклы с проявлением склонности к авто- и гейтеногамии. Вместе с тем контроль аутбридинга осуществляется генетически детерминированной системой самонесовместимости. Как и всякий генетически обусловленный признак, самонесовместимость может изменяться в зависимости от условий среды [9, 10]. При этом разрабатывался ряд новых технологий создания исходного материала сахарной свёклы [7, 11, 13].

Эффективным приёмом, значительно увеличивающим разнообразие потомства, явилось использование облучённой пыльцы диких видов свёклы. В зависимости от задач, поставленных селекционером, опыление облучённой пыльцой может быть использовано для усиления формообразовательного процесса, преодоления нескрещиваемости компонентов при отдалённой гибридизации, преодоления самонесовместимости, изменения частоты проявления признака и решения ряда других задач [1, 4–8, 14].

Цель работы состояла в отборе родительских линий сахарной свёклы с наилучшей комбинационной способностью по продуктивности исходного материала и получении гетерозисных гибридов.

Методы исследования

В качестве исходного материала мы использовали уже отобранные по комбинационной способности МС-формы, а для увеличения частоты полезных рекомбинаций скрещивали их с дикими формами свёклы, пыльца которых была подвергнута гамма-облучению, в результате чего получали самостерильные и самофертильные формы с обновлённой цитоплазмой и новыми признаками. Оценка комбинационной способности различных гибридных комбинаций сахарной свёклы проводилась по продуктивности (урожайность, сахаристость, сбор сахара). Исследования производили по стандартным методикам [3–6].

Таблица 1. *Продуктивность гамма-линий сахарной свёклы*

Линия	Масса корнеплода, г	Сахаристость, %
γ-МС-90-47	678	18,4
γ-МС-94-АР	606	18,2
γ-МС-94-80	681	18,4
γ-РФ-70-АР	620	18,2
γ-МС-Перла	520	17,1
γ-РФ-Перла	545	16,7
γ-МС-2093	581	17,9
γ-РФ-2093	582	17,8
γ-МС-2113	583	17,0
γ-РФ-2113	504	17,2
$НСР_{05}$	9,5	0,2

Обсуждение результатов

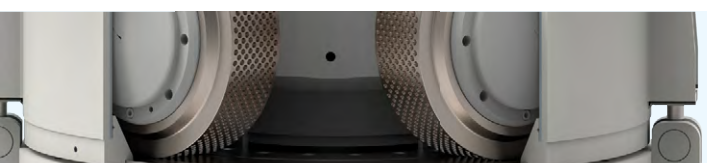
Выделенные линии характеризовались высокими показателями массы корнеплода: от 504 г у образца γ-РФ-2113 до 681 г у номера γ-МС-94-80. Сахаристость у отобранных материалов колебалась от 17 % у номера γ-МС-2113 до 18,4 % у номеров γ-МС-90-47, γ-МС-94-80 (табл. 1).

Эффект гетерозиса наиболее адекватно отражают различия по урожайности, сахаристости или другим признакам сахарной свёклы между родительскими формами и поколением F_1. На основе созданных апомиктичных линий нами были сформирован ряд гибридных комбинаций, одна из которых представлена на примере апомиктичной гамма-индуцированной линии МС-2113, так как она обладает хорошей комбинационной способностью как по урожайности корнеплодов, так и по сахаристости, что в конечном счёте влияет на сбор сахара (табл. 2).

Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что гибридные комбинации с опылителями 15202, 15203, 15169, 15676, 14157 и 14857 достоверно превышают по урожайности корнеплодов групповой стандарт на 20,6–28,8 %, по сахаристости превысили стандарт 1–4-я и 6–12-я гибридные комбинации на 0,2–5,1%, а по сбору са-

Таблица 2. *Оценка комбинационной способности различных гибридных комбинаций сахарной свёклы*

№ п/п	Материнская форма	Опылитель	В % от группового стандарта		
			Урожайность	Сахаристость	Сбор сахара
0	Групповой стандарт	–	39,59	15,84	6,27
1	γ-МС-2113	15202	129,9	105,1	136,6
2	γ-МС-2113	15203	122,9	101,5	124,5
3	γ-МС-2113	15204	119,8	102,7	122,7
4	γ-МС-2113	15153	98,4	101,6	100,0
5	γ-МС-2113	15169	132,9	100,0	132,7
6	γ-МС-2113	15465	100,2	100,4	100,6
7	γ-МС-2113	15676	120,6	101,0	123,4
8	γ-МС-2113	14157	128,8	100,8	129,9
9	γ-МС-2113	14205	117,5	103,0	122,2
10	γ-МС-2113	14326	112,5	100,6	113,4
11	γ-МС-2113	14841	116,3	101,4	117,5
12	γ-МС-2113	14857	127,8	100,2	128,5


ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРЫ
AMANDUS KAHL
KAHL

KAHL
akahl.com

Таблица 3. *Результаты сравнительного испытания сахарной свёклы*

№ п/п	Материал	Густота насаждений, тыс. шт.	В % от стандарта		
			Урожайность	Сахаристость	Сбор сахара
0	РМС-46	87,8	38,8	18,7	7,3
1	МС-90-47× × B corolliflora p. 8	85,6	39,5 107,5	15,4 92,1	6,1 85,3
2	МС-90-47× × B. corolliflora p. 16	82,2	34,7 94,4	15,0 90,0	5,2 84,9
3	МС-2113×кормовая белая р. 2	96,7	101,2 278,6	15,0 94,2	15,2 257,5
4	МС-2093×кормовая белая р. 12	82,8	102,8 279,7	15,1 90,4	15,5 258,3
5	МС-2113×15676 (Витязь)	132,2	65,9 179,1	19,0 101,6	12,5 182,1
	$НСР_{05}$		1,34	0,31	0,34

хара выделились 8 гибридных комбинаций. Они превысили стандарт по сбору сахара на 22,2–36,6 %. С некоторыми из представленных выше комбинаций работа была продолжена, они проходили оценку в сравнительном испытании. Одна из гибридных комбинаций выделилась также среди всех испытанных по урожайности корнеплодов и сахаристости и послужила основой создания гибрида «Витязь» (табл. 3).

В процессе исследований выделены три гибридные комбинации № 3–5, имеющие показатели продуктивности: по урожайности корнеплодов 101,2; 102,8 и 65,9 т/га; сахаристости – 15,0; 15,1 и 19,0 % и сбору сахара – 15,2; 15,5 и 11,2 т/га; соответственно при продуктивности стандарта РМС-46 по урожайности корнеплодов 38,8 т/га, сахаристости 18,7 % и сбору сахара 8,1 т/га.

Исходя из оценок признаков урожайности и сахаристости корнеплодов, мы пришли к выводу, что лучшей комбинационной способностью обладает гибридная комбинация МС-2113×15676. На основе этой гибридной комбинации был создан перспективный гибрид «Витязь», который проходил сортоиспытание на Рамонском сортоучастке и показал высокую продуктивность. Так, по результатам трёхлетних испытаний он превысил стандарт РМС-46 по урожайности корнеплодов на 10,7 %, сахаристости на 2,0 % и сбору сахара на 11,5 % (табл. 4).

Предложение производству

В производство рекомендуются сахарно-кормовые гибриды МС-2113×кормовая белая, МС-2093×кормовая белая и гибрид «Витязь», которые проходили сортоиспытание на Рамонском сортоучастке и показали высокую продуктивность.

Выводы

Таким образом, гетерозис гибридов в большей степени зависит от продуктивности родительских линий. Однако важную роль играет комбинационная способность исходного материала сахарной свёклы. Одним из главных путей дальнейшего повышения продуктивности сахарной свёклы и производства сахара является создание и внедрение высокопродуктивных гибридов. 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

Таблица 4. *Результаты испытаний гибрида «Витязь»*

Гибрид	Урожайность, т/га	Сахаристость,%	Сбор сахара, т/га	В % от стандарта		
				Урожайность	Сахаристость	Сбор сахара
1-й год						
РМС-46	34,3	15,6	5,35	–	–	–
Витязь	35,6	15,9	5,66	103,8	101,9	105,8
2-й год						
РМС-46	34,0	15,0	5,12	–	–	–
Витязь	39,5	15,2	6,00	116,2	101,3	117,2
3-й год						
РМС-46	44,1	15,3	6,75	–	–	–
Витязь	49,3	15,3	7,54	111,8	100,0	111,7
Среднее за 3 года						
РМС-46	37,5	15,3	5,74	–	–	–
Витязь	41,5	15,6	6,40	110,7	102,0	111,5


ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ КОРМ
ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
akahl.com

сформирован ряд эффективных гибридных комбинаций. Одна из них представлена на примере апомиктичной гамма-индуцированной линии МС-2113, обладающей хорошей комбинационной способностью по урожайности и сахаристости корнеплодов, что увеличивает сбор сахара. С использованием данной гибридной комбинации создан перспективный гибрид «Витязь», показавший высокую продуктивность.

Список литературы

1. *Андрейченко, С.В.* Получение гаплоидов *Petunia hybrida* опылением γ-облучённой пыльцой / С.В. Андрейченко, Д.М. Гродзинский // Доклады АН УССР. – 1982. – № 12. – С. 54–56.

2. *Балков, И.Я.* ЦМС сахарной свёклы / И.Я. Балков. – М. : Агропромиздат, 1990. – 239 с.

3. *Богомолов, М.А.* Новый высокопродуктивный гибрид сахарной свёклы / М.А. Богомолов, Т.П. Федулова // Сахарная свёкла. – 2005. – № 9. – С. 25–26.

4. *Богомолов, М.А.* Индукция и генетико-селекционное изучение гамма-линий сахарной свёклы : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : автореф. дис. ... канд. с/х. наук / Богомолов Михаил Алексеевич ; Всероссийский НИИ сахарной свёклы и сахара. – Рамонь, 2000. – 28 с.

5. *Богомолов, М.А.* Апомиксис и его роль в селекции сахарной свёклы / М.А. Богомолов // Сахарная свёкла. – 2005. – № 8. – С. 19–21.

6. *Богомолов, М.А.* Научное обоснование и приёмы создания исходного материала для гетерозисной селекции сахарной свёклы (*Beta vulgaris* L.) : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : дис. ... канд. с/х. наук / Богомолов Михаил Алексевич ; Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции и семеноводства овощных культур. – М., 2007. – 348 с.

7. *Бутенко, А.И.* Инцухт-метод в селекции сахарной свёклы / А.И. Бутенко, К.И. Набоких // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1978. – № 12. – С. 36.

8. *Дрягина, И.В.* Использование ионизирующей радиации в селекции яблони / И.В. Дрягина // Биология и селекция яблони. – М. : МГУ, 1976. – С. 54–84.

9. *Зайковская, Н.Э.* Изменчивость опыления и оплодотворения сахарной свёклы в зависимости от внешних условий / Н.Э. Зайковская // Доклады АН СССР. – 1955. – Т. 102. – № 1. – С. 177–179.

10. *Знаменская, В.В.* Влияние некоторых регуляторных факторов на формирование семян и их качество у линий и гибридов сахарной свёклы : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : дис. ... канд. с/х. наук / Знаменская Валентина Васильевна ; Всероссийский НИИ сахарной свёклы и сахара. – Рамонь, 1985. – 175 с.

11. *Знаменская, В.В.* Принципы и методы создания и поддержания исходного материала на современном этапе селекции сахарной свёклы : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : дис. ... д-ра с/х. наук / Знаменская Валентина Васильевна ; Всероссийский НИИ сахарной свёклы и сахара. – Рамонь, 1999. – 318 с.

12. *Ошевнев, В.П.* Улучшение компонентов гибридов сахарной свёклы в процессе поддерживающей селекции и первичного семеноводства / В.П. Ошевнев, Н.П. Грибанова // Доклады РАСХН, 2003. – № 1. – С. 11–15.

13. *Подвигина, О.А.* Теоретическое обоснование и приёмы использования методов биотехнологии в селекции сахарной свёклы : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : автореф. дис. ... д-ра с/х. наук / Подвигина Ольга Анатольевна ; Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К.Д. Глинки. – Воронеж, 2003. – 44 с.

14. *Сеилова, Л.Б.* Апомиксис у сахарной свёклы и его использование в практической селекции : специальность 06.01.05 «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений» : автореф. дис. ... д-ра биолог. наук / Сеилова Лаура Баймурзаевна. – Алматы, 1996. – 46 с.

15. *Турбин, Н.В.* Генетика гетерозиса и методы селекции растений на комбинационную способность / Н.В. Турбин // Генетические основы селекции растений. – М. : Наука, 1971. – С. 112–155.

Аннотация. В статье обсуждается проблема гетерозисной селекции раздельноплодной сахарной свёклы с использованием цитоплазматической мужской стерильности. На основе созданных линий сформирован ряд гибридных комбинаций. Одна из них представлена на примере апомиктичной гамма-индуцированной линии МС-2113, обладающей хорошей комбинационной способностью по урожайности и сахаристости корнеплодов, что увеличивает сбор сахара. Рассматриваются перспективы использования МС-форм сахарной свёклы в селекции.

Ключевые слова: сахарная свёкла, МС-формы, гетерозис, гибрид.

Summary. The article discusses the problem of heterotic selection of dioecious sugar beets using cytoplasmic male sterility. A number of hybrid combinations have been formed on the basis of the created lines. One of them is presented on the example of the apomictic gamma-induced line MC-2113. It has a good combination ability in terms of yield and sugar content of root crops, that increases the collection of sugar. Prospects for the use of MS-forms of sugar beet in breeding are considered.

Keywords: sugar beet, MC-forms, heterosis, hybrid.


ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРЫ
AMANDUS KAHL
KAHL