

Оценка комбинационной способности МС-линий и многосемянных опылителей сахарной свёклы для подбора пар при скрещивании

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

Рекуррентный (периодический) отбор, по определению В.В. Волгина, является методом улучшения популяций и линий, если предусматривается оценка гибридного потомства и использование повторных рекомбинаций, получаемых от скрещивания растений для повышения концентрации желательных генов [5]. Д.Ф. Спрэг называет четыре типа периодического отбора: отбор по фенотипу, отбор на общую комбинационную способность (ОКС), отбор на специфическую комбинационную способность (СКС), реципрокный периодический отбор [5, 11]. Таким образом, оценка комбинационной способности является неотъемлемой частью отбора.

Топкросс – метод скрещивания, применяемый для определения общей или специфической комбинационной способности инцухт-линий или сортов в селекции на гетерозис. Он состоит в том, что изучаемые линии или сорта скрещивают с одной специально подобранной формой, называемой тестером или анализатором. Линии, которые в комбинации с тестером дали урожай ниже среднего по опыту, выбраковываются, а у оставленных линий в диаллельных скрещиваниях определяют

специфическую комбинационную способность [3, 6, 9].

R.J. Hecker [15], G.A. Smith, R.J. Hecker, G.W. Maagand, D.M. Rasmason [16], Е. Бычко, А. Ахраменко, Н. Вострухина [4] сделали вывод, что урожай корнеплодов сахарной свёклы определяется в большей мере неаддитивными эффектами взаимодействия генов, хотя в какой-то степени зависит и от аддитивных эффектов, в то время как содержание сахарозы определяется и аддитивными, и неаддитивными взаимодействиями. Тем самым рекуррентный отбор на ОКС, основанный на аддитивном генном взаимодействии, может быть более эффективным в повышении сахаристости [5].

Цель работы состояла в оценке комбинационной способности по урожайности, сахаристости МС-линии и многосемянных опылителей сахарной свёклы для отбора лучших вариантов скрещивания.

Методы исследования

В настоящее время общепризнано, что тестером в случае применения рассматриваемого метода должна служить относительно устойчивая гетерогенная популяция с широкой генетической основой [12, 13]. По мнению В.В. Волгина, для оценки ОКС лучшими

тестерами являются мужскостерильные формы сахарной свёклы на широкой генетической основе [5]. Такой формой можно считать линию МС-2113, полученную от скрещивания культурной свёклы с дикой формой, подвергнутой гамма-облучению пыльцы. В качестве тестера использовали эту линию, ранее выделенную по комбинационной способности, отобранную как исходный материал. Полевые опыты были заложены согласно общепринятой методике [7].

Комбинационную способность многосемянных опылителей оценивали по признакам урожайности и сахаристости в различных вариантах скрещивания с МС-формой. Отбор лучших гибридных комбинаций сахарной свёклы и, следовательно, подбор пар для эффективного скрещивания линий проводили по перечисленным признакам. Оценку урожайности и сахаристости линий сахарной свёклы проводили путём взятия средней пробы с делянки. Анализ корнеплодов для определения массы и сахаристости проводили на автоматизированной линии «ВЕНЕМА» [1, 2]. Исследования осуществляли по стандартным методикам [1–3, 9]. Достоверность полученных данных оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа [7].

Обсуждение результатов

Наиболее значительные отклонения средней величины признака и от лучшей родительской формы по урожайности в первый год исследования были отмечены в F₁ МС-2113×15676, МС-2113×13384 (т. е. они имели наиболее высокую урожайность) (табл. 1). Полученные результаты могут указывать на хорошую комбинационную способность скрещиваемых пар. Отрицательные отклонения средней величины признака и от лучшей родительской формы в комбинациях МС-2113×15203, МС-2113×13307, особенно в МС-2113×15508 (в оба года исследования) свидетельствуют о невысокой комбинационной способности пар, отобранных для скрещивания (см. табл. 1).

Урожайность у основного числа вариантов была выше во второй год исследования. В комбинации МС-2113×15203 отмечены положительные отклонения от средней величины признака и от лучшей родительской формы. В зависимости от погодных условий могут изменяться показатели продуктивности: урожайность и сахаристость [2].

Опылитель ОП-15153 во второй год исследования проявил низкую урожайность по сравнению с первым годом и по сравнению с другими линиями. Гибридная комбинация, наоборот, показала увеличение значения признака по сравнению со средней величиной и с родительской формой. Высокая степень доминирования по

признаку урожайности была замечена в комбинациях с опылителями 13384 и 13307 [2].

Хотя ОП-15676 проявил наиболее высокую урожайность по сравнению с остальными опылителями, значение признака в гибридной комбинации несущественно превысило среднее, но было даже ниже по сравнению с родительским. Такая же ситуация отмечалась с ОП-15465 (табл. 2). Урожайность в таких комбинациях, как МС-2113×15153 и МС-2113×13384, во второй год исследования наиболее высока по сравнению с другими вариантами (см. табл. 2).

Как следует из литературных источников, в начале вегетации сахарной свёклы масса листьев в несколько раз превышает массу корня, а к концу вегетации, наоборот, значительно уступает его массе [8]. Увеличение корнеплода и повышение сахаристости происходит в течение всей вегетации до самой уборки. В условиях Воронежской области переломный момент в росте листьев и корня обычно наступает между 20 июля и 1 августа (чем ранее он наступит, тем выше урожайность и сахаристость свёклы) [8]. Видимо, второй год исследования был наиболее благоприятен по погодным условиям. Для фактического подтверждения этого нужно обратиться к анализу. Известно, что если весь вегетационный период 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 [8]. В качестве количественного показателя засух широко используется гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), характеризующий соотношение тепла и влаги [10].

По данным ВНИИСС, в первый год исследования ГТК в июле составлял 1,5 (достаточно влаги), а в августе и сентябре – 0,33 и 0,32

Таблица 1. Различия по признаку урожайности между простыми гибридами и родительскими формами (первый год исследования)

Компоненты и комбинации скрещиваний	Урожайность, т/га	Отклонение по урожайности			
		от средней величины		от лучшей родительской формы	
		т/га	%	т/га	%
МС-2113	37,04				
ОП-15202	31,39				
Среднее	34,22				
F₁ МС-2113×15202	37,33	+3,11	+9,09	+0,29	+0,78
ОП-15203	34,93				
Среднее	35,98				
F₁ МС-2113×15203	35,37	-0,61	-1,72	-1,67	-4,72
ОП-15508	33,06				
Среднее	35,05				
F₁ МС-2113×15508	33,62	-1,43	-4,25	-3,42	-10,17
ОП-15153	34,84				
Среднее	35,94				
F₁ МС-2113×15153	38,96	+3,02	+8,40	+1,92	+5,18
ОП-15465	37,73				
Среднее	37,39				
F₁ МС-2113×15465	39,69	+2,30	+10,43	+1,96	+5,19
ОП-15676	38,20				
Среднее	37,62				
F₁ МС-2113×15676	47,77	+10,15	+26,98	+9,57	+25,05
ОП-13384	37,09				
Среднее	37,07				
F₁ МС-2113×13384	41,68	+4,61	+12,43	+4,59	+12,37
ОП-13307	32,46				
Среднее	34,75				
F₁ МС-2113×13307	34,62	-0,13	-0,37	-2,42	-6,99
НСР _{0,5}	5,49				

соответственно. Низкие значения ГТК (малое количество осадков) свидетельствуют о недостатке почвенной и воздушной влаги и сильной засухе в эти месяцы: $0,3 < ГТК \leq 0,6$ по используемой классификации [10].

Наиболее высокую степень доминирования признак сахаристости имел в комбинациях МС-2113×13384 и МС-2113×13307 в оба года исследования (табл. 3, 4), хотя последняя не была урожайной в первый год (см. табл. 1).

В первый год исследования сахаристость ОП-15202 держалась на уровне других опылителей (табл. 3). Однако гибридная комбинация МС-2113×15202 по сахаристости показала положительные отклонения от родительских линий. Во второй год исследования эта линия (ОП-15202) отличалась от остальных наиболее высокой сахаристостью (18,27 %). Однако гибридная комбинация МС-2113×15202 по сахаристости не проявила положительных изменений. Наиболее высокая сахаристость отмечалась в комбинациях МС-2113×15676, МС-2113×13384 и МС-2113×13307 (см. табл. 4). Наиболее высокую сахаристость имел ОП-15153, но комбинация МС-2113×15153 не отличалась полезными изменениями признака.

Во второй год исследования сахаристость корнеплодов, как и урожайность, была выше, и по сравнению с первым годом — практически во всех вариантах. Различие по признаку сахаристости отмечалось как между опылителями, так и между комбинациями скрещиваний. Достаточно высокую сахаристость имел ОП-15465 (18,13 %), но положительные отклонения комбинация МС-2113×15465 проявила только по сравнению со средним значением признака. Подобным образом проявила себя и комбинация МС-2113×15203 (по признаку сахаристости в оба года исследова-

Таблица 2. Различие по признаку урожайности между простыми гибридами и родительскими формами (второй год исследования)

Компоненты и комбинации скрещиваний	Урожайность, т/га	Отклонение по урожайности			
		от средней величины		от лучшей родительской формы	
		т/га	%	т/га	%
МС-2113	44,84				
ОП-15202	48,44				
Среднее	46,64				
F₁ МС-2113×15202	51,01	+4,37	+9,40	+2,57	+5,30
ОП-15203	49,91				
Среднее	47,37				
F₁ МС-2113×15203	50,19	+2,82	+5,90	+0,28	+0,6
ОП-15508	53,08				
Среднее	48,96				
F₁ МС-2113×15508	48,41	-0,55	-1,1	-4,67	-9,6
ОП-15153	20,89				
Среднее	32,86				
F₁ МС-2113×15153	51,24	+18,38	+5,90	+6,40	+14,30
ОП-15465	52,63				
Среднее	48,73				
F₁ МС-2113×15465	49,67	+0,94	+2,60	-2,96	-5,90
ОП-15676	54,04				
Среднее	49,44				
F₁ МС-2113×15676	49,66	+0,22	+0,40	-4,38	-8,80
ОП-13384	51,87				
Среднее	48,36				
F₁ МС-2113×13384	54,20	+5,84	+12,10	+2,33	+4,50
ОП-13307	41,64				
Среднее	43,24				
F₁ МС-2113×13307	45,90	+2,66	+6,15	+1,06	+2,36
НСР _{0,5}	4,85				

ния), которая отличалась достаточной урожайностью во второй год, хотя в первый год её урожайность была ниже среднего.

Из литературы известно, что интенсивный рост корнеплода сахарной свёклы продолжается до начала — середины августа в зависимости от погодных условий, а далее происходит сахаронакопление, причём наиболее активно в середине августа — середине сентября [8]. В связи с этим можно предположить, что более благоприятное соотношение температуры и влажности во второй год исследования привело к увеличению сахаронакопления. Факторы внешней среды, способствующие получению высокого урожая, как правило, приводят и к повышению сахаристости [8].

Для аналитического подтверждения обратимся к значениям ГТК. Во второй год исследования ГТК в июле составлял 0,5 (сильная засуха), а в августе и сентябре — 1,0 и 1,2 соответственно. Таким образом, недостаток влаги в июле компенсировался значительным количеством осадков августе — сентябре, что обеспечило интенсивное сахаронакопление и увеличение сахаристости по сравнению с первым годом. В целом годовой ГТК в первый год был 1,0, а во второй — 1,8.

В комбинации МС-2113×15465, наоборот, повышение урожайности и сахаристости во втором году исследования (благоприятном по погодным условиям) отмечено только по сравнению со средним значением признака, а в первом

Таблица 3. Различие по признаку сахаристости между простыми гибридами и родительскими формами (второй год исследования)

Компоненты и комбинации скрещиваний	Сахаристость, %	Отклонение по урожайности			
		от средней величины		от лучшей родительской формы	
		абсолютное	относительное	абсолютное	относительное
МС-2113	15,56				
ОП-15202	15,84				
Среднее	15,70				
F₁ МС-2113×15202	15,99	+0,29	+1,85	+0,15	+0,95
ОП-15203	16,00				
Среднее	15,78				
F₁ МС-2113×15203	15,79	+0,01	+ 0,06	-0,21	-1,01
ОП-15508	15,85				
Среднее	15,70				
F₁ МС-2113×15508	15,43	-0,27	-1,75	-0,42	-2,72
ОП-15153	15,89				
Среднее	15,72				
F₁ МС-2113×15153	16,09	+0,37	+2,35	+0,20	+1,26
ОП-15465	15,53				
Среднее	15,55				
F₁ МС-2113×15465	15,91	+0,36	+2,32	+0,35	+2,25
ОП-15676	16,28				
Среднее	15,92				
F₁ МС-2113×15676	15,77	-0,15	-0,95	-0,51	-3,23
ОП-13384	15,85				
Среднее	15,70				
F₁ МС-2113×13384	16,44	+0,70	+4,71	+0,59	+3,72
ОП-13307	15,48				
Среднее	15,52				
F₁ МС-2113×13307	15,98	+0,46	+ 2,96	+0,42	+2,70
НСР _{0,5}	0,29				

(менее благоприятном) – увеличение во всех вариантах. Подобные проявления могут указывать на адаптивные реакции погодным условиям в комбинации по перечисленным признакам. В связи с этим следует выделить комбинацию МС-2113×15465 как экологически пластичную, возможно, более засухоустойчивую.

У комбинаций МС-2113×15202, МС-2113×5153 отмечается увеличение урожайности и сахаристости также в первом (менее благоприятном) году исследования и снижение сахаристости – во втором. Данные варианты можно выделить как засухоустойчивые, резервные при выращивании в неблагоприятных погодных условиях. В комбинациях МС-2113×13384 и МС-2113×13307 замечены повы-

шение урожайности и сахаристости во втором году исследования и уменьшение урожайности в первом, более засушливом.

Предложение производству

Анализируя результаты исследования урожайности и сахаристости корнеплодов, можно заключить, что лучшей комбинационной способностью обладает гибридная комбинация МС-2113×13384, которая рекомендуется для производства корнеплодов и использования в селекции при выведении гибридов. Комбинацию МС-2113×15465 можно выделить как экологически пластичную, более засухоустойчивую. Комбинации МС-2113×15202, МС-2113×15153 рекомендуются как засухоустойчивые, резервные

при выращивании в неблагоприятных погодных условиях.

Выводы

Таким образом, комбинационная способность скрещиваемых пар МС-компонента и многосемянного опылителя в большей степени зависит от продуктивности родительских линий. В зависимости от погодных условий в парах МС-компонента и многосемянного опылителя, отобранных для скрещивания, могут отмечаться отклонения от среднего значения и значения лучшего родителя по признакам урожайности и сахаристости как в положительную, так и в отрицательную сторону. Специфика проявления признаков продуктивности определяется, с одной стороны, наследственными особенностями родительских линий, с другой стороны, совокупностью взаимодействия генов с факторами окружающей среды.

Список литературы

1. *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» : дисс. ... д-ра сельскохозяйств. наук / Богомолов Михаил Алексеевич ; Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции и семеноводства овощных культур. – М., 2007. – 348 с.
2. *Богомолов, М.А.* Некоторые аспекты проявления гетерозиса у гибридов сахарной свёклы / М.А. Богомолов, Т.В. Вострикова // Сахар. – 2022. – № 3. – С. 46–49.
3. *Бороевич, С.* Принципы и методы селекции растений / С. Бороевич. – М. : Колос, 1984. – 344 с.
4. *Бычко, Е.* Комбинационная способность и прогнозирование гетерозиса по признакам продуктивности и технологических качеств у тетраплоидной сахарной свёклы /

Таблица 4. Различие по признаку сахаристости между простыми гибридами и родительскими формами (второй год исследования)

Компоненты и комбинации скрещиваний	Сахаристость, %	Отклонение по урожайности			
		от средней величины		от лучшей родительской формы	
		абсолютное	относительное	абсолютное	относительное
МС-2113	17,30				
ОП-15202	18,27				
Среднее	17,78				
F₁ МС-2113×15202	17,41	-0,37	-2,1	-0,86	-4,9
ОП-15203	17,48				
Среднее	17,39				
F₁ МС-2113×15203	17,45	+0,06	+0,35	-0,03	-0,17
ОП-15508	17,75				
Среднее	17,52				
F₁ МС-2113×15508	17,35	-0,17	-1,0	-0,40	-2,3
ОП-15153	19,47				
Среднее	18,38				
F₁ МС-2113×15153	18,09	-0,28	-1,60	-1,38	-7,6
ОП-15465	18,13				
Среднее	17,72				
F₁ МС-2113×15465	17,98	+0,26	+1,5	-0,15	-0,8
ОП-15676	17,56				
Среднее	17,73				
F₁ МС-2113×15676	17,76	+0,33	+1,89	+0,20	+1,14
ОП-13384	17,30				
Среднее	17,30				
F₁ МС-2113×13384	17,44	+0,14	+0,80	+0,14	+0,80
ОП-13307	17,27				
Среднее	17,29				
F₁ МС-2113×13307	17,47	+0,18	+1,04	+0,20	+1,15
НСР _{0,5}	0,29				

Е. Бычко, А. Ахраменко, Н. Вос-
трухина // Четвёртый съезд Всесо-
юзного общества генетиков и се-
лекционеров им. Н. И. Вавилова. –
Кишинёв, 1982. – Ч. 5. – С. 26–27.

5. Волгин, В.В. Рекуррентный от-
бор в селекции растений (обзор) /
В.В. Волгин // Масличные культу-
ры. Научно-технический бюлле-
тенъ Всероссийского научно-ис-
следовательского института мас-
личных культур. – 2012. – Вып. 1
(150). – С. 161–171.

6. Гуляев, Г.В. Словарь терминов
по генетике, цитологии, селекции,
семеноводству и семеноведению. –
Изд. 2-е, перераб. и доп. / Г.В. Гу-
ляев, В.В. Мальченко. – М. : Рос-
сельхозиздат, 1983. – 240 с.

7. Доспехов, Б.А. Методика поле-
вого опыта (с основами статистиче-
ской обработки результатов иссле-

дований) [текст] / Б.А. Доспехов. –
М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

8. Мазлумов, А.Л. Селекция сахар-
ной свёклы. – Изд. 3-е / А.Л. Мазлу-
мов. – М. : Бета, 1996. – 208 с.

9. Савченко, В.К. Многоцеле-
вой метод количественной оцен-
ки комбинационной способности

в селекции на гетерозис / В.К. Сав-
ченко // Генетика. – 1978. – № 5. –
С. 793–804.

10. Селянинов, Г.Т. О сельско-
хозяйственной оценке климата. /
Г.Т. Селянинов // Труды по сель-
скохозяйственной метеорологии. –
1928. – Вып. 20. – С. 165–177.

11. Спрэг, Д.Ф. Селекция куку-
рузы / Д.Ф. Спрэг // Кукуруза и её
улучшение. – М. : Иностранная ли-
тература, 1957. – 557 с.

12. Турбин, Н.В. Генетика гетеро-
зиса и методы селекции растений
на комбинационную способность /
Н.В. Турбин // Генетические осно-
вы селекции растений. – М. : Нау-
ка, 1971. – С. 112–155.

13. Турбин, Н.В. Периодиче-
ский отбор в селекции растений /
Н.В. Турбин, Л.В. Хотылева,
Л.Н. Каминская; АН БССР, Ин-т
генетики и цитологии, Белорус.
общество генетиков и селекцио-
неров. – Минск : Наука и техника,
1976. – 139 с.

14. Черенкова, Е.А. О сравнимо-
сти некоторых количественных по-
казателей засухи / Е.А. Черенкова,
А.Н. Золотокрылин // Фундамен-
тальная и прикладная климатоло-
гия. – 2016. – № 2. – С. 79–94.

15. Hecker, R.J. Evaluation of
three sugar beet breeding methods /
R.J. Hecker // J. Amer. Soc. Sugar
Beet Technol. – 1967. – Vol. 14. –
P. 309–318.

16. Combining ability and gene action
estimates in an eight parent di-allele cross
of sugar beet / G.A. Smith, R.J. Hecker,
G.W. Maag, D.M. Rasmason // Crop.
Sci. – 1973. – 13. – P. 312–316.

Аннотация. Оценена комбинационная способность скрещиваемых пар МС- компонента и многосемянного опылителя по признакам урожайности и сахаристости. Установлено и статистически подтверждено, что комбинационная способность в большей степени зависит от продуктивности родительских линий. Специфика проявления признаков продуктивности определяется наследственными особенностями родительских линий и совокупностью взаимодействия генов с факторами окружающей среды.

Ключевые слова: сахарная свёкла, гибридизация, комбинационная способность.
Summary. The combination ability of the MC-component and the multi-seeded pollinator crossed pairs was assessed in terms of yield and sugar content. It has been established and statistically confirmed that the combination ability to a greater extent depends on the productivity of parental lines. The specificity of productivity traits display is determined by the hereditary characteristics of the parental lines and the complex of the genes interaction with environmental factors.

Keywords: sugar beet, hybridization, combining ability.