

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛИРУЕМОГО РАЗМНОЖЕНИЯ КУКУРУЗЫ

А.И. Опалко^{1,2}, М.А. Макаrchук²

¹НДП «Софиевка» НАН Украины, opalko_a@ukr.net

²Уманский национальный университет садоводства,
marishka082008@rambler.ru

Выяснение особенностей функционирования генетических систем контролируемого размножения (ГСКР) кукурузы, в частности механизмов разных форм мужской стерильности, представляет большой интерес не только с общенаучных, но и практических соображений касающихся необходимости удешевления производства гетерозисных гибридных семян (Bedinger, Fowler, 2009). Хотя феномен гетерозиса эксплуатируется в коммерческих целях уже около ста лет (Schnable, Swanson-Wagner, 2009; Chaudhary et al., 2014), массовое внедрение гетерозисных гибридов кукурузы, как и любой другой сельскохозяйственной культуры, имеет смысл тогда, и только тогда, когда дополнительные расходы на гибридные семена гарантированно окупаются стоимостью дополнительного урожая. Общеизвестно, что наиболее распространенным способом снижения затрат при производстве гетерозисных гибридных семян является использование механизмов цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) как одного из наиболее изученных вариантов (ГСКР). Семеноводство кукурузы на протяжении многих лет проводится на базе нескольких типов ЦМС. Это преимущественно техасский (Т), боливийский (Б), молдавский (М) и парагвайский (С) типы стерильности. В Украине последние два ныне преобладают в гибридном семеноводстве кукурузы. В середине 20-го века в семеноводстве США использовали преимущественно материнские формы с цитоплазмой техасского типа, однако первая волна эпифитотии гельминтоспориоза, которая обрушилась на регионы кукурузного пояса США в 1969 г. побудила селекционеров активировать поиск новых источников с ядерно-генной и цитоплазматической мужской стерильностью различных типов. Выяснилось, что вызывающий гельминтоспориоз гриб *Cochliobolus heterostrophus* Drech. поражает, прежде всего, гибриды кукурузы с ЦМС техасского типа, не причиняя большого вреда гибридам, размножаемым на основе плазмогенов иных типов (Staller et al., 2006). Во второй половине 80-х годов прошлого столетия отдельные очаги *C. heterostrophus* появились и в Украине, где также высевали отдельные гибриды со стерильностью техасского типа, однако в 1990 семеноводство всех гибридов в Украине, как и в Краснодарском крае, Ставрополье и других регионах бывшего СССР перевели на М и С типы стерильности.

Новые подходы к формированию ГСКР кукурузы на основе генов функциональной мужской стерильности, вызывающих изменения мужских генеративных органов, без нарушения генетических механизмов микроспоро- и микрогаметогенеза и без использования ядерно-генной мужской стерильности

были успешно реализованы в Украине. В этой системе упрощение контроля гибридности семян достигается благодаря маркерным генам окраски зерновки кукурузы, которые тесно сцеплены с геном функциональной мужской стерильности (Парий и др., 2008). Не менее перспективной представляется ГСКР на базе сцепленных генов ядерной мужской стерильности (Ms5/ms5 и Ms13/ms13) с маркерными генами окраски зерновки кукурузы (A2/a2). Стерильные материнские формы с генотипом ms5a2ms13/ms5a2ms13, опыляли пыльцой фертильных тригетерозиготных отцовских форм с генотипом Ms5A2Ms13/ms5a2ms13 с последующей фотоэлектрической сортировкой полученных семян и отбором гомозиготных рецессивов по окраске зерновки (Парий и др., 2013).

Материалы и методы. По главным хозяйственно-ценным признакам оценивали конкурентоспособность четырёх коизогенных аналогов в сравнении с контрольным гибридом Пионер-Гран 3978, размножаемым при скрещивании стерильного материнского компонента ПЗСа2а2 с ЦМС парагвайского типа и отцовского компонента с генами восстановления фертильности П5СВ. Для получения коизогенных аналогов использовали следующие материнские линии:

- ПЗЗС (парагвайского типа стерильности);
- ПЗМа2а2 (молдавского типа стерильности) с геном a2 (*Anthocyaninless*), определяющим в гомозиготном состоянии отсутствие антоциановой окраски в алейроне);
- ПЗЗМVga2a2 (линия с функциональной мужской стерильностью и генетическим маркером a2);
- ПЗЗМа2a2msms (с ядерной стерильностью и тем же маркером).

Указанные коизогенные линии опыляли пыльцой коизогенного аналога отцовской линии контрольного варианта, но с генетическим маркером CI (ген-ингибитор *Dominant colorless*), который подавляет проявление пурпурной или красной окраски. Фертильную линию ПЗЗМ перед опылением кастрировали.

Полученные гибриды испытывали в двух пунктах с контрастными агроэкологическими условиями — в Уманском национальном университете садоводства (УНУС), расположенном в зоне Правобережной Лесостепи, и на Брылёвской опытной станции (БОС), в Южной Степи Украины.

Статистический анализ выполняли по Р. Фишеру (Fisher, 2006) с проверкой гипотез на уровне значимости не менее 0,05.

Результаты и обсуждение. Выяснилось, что урожайность, уборочная влажность зерна (табл. 1), а также высота растений и высота закладки хозяйственно-ценного початка (табл. 2) коизогенных аналогов гибрида Пионер-Гран 3978, полученных в различных генетических системах контролируемого размножения, больше зависели от условий пункта испытания, чем от генотипа изученных аналогов. При этом все изученные коизогенные аналоги превышали по урожайности базовый гибрид Пионер-Гран 3978 в обоих пунктах.

Условия БОС (Южная Степь) были для всех гибридов предпочтительнее, чем УНУС (Правобережная Лесостепь), что выразилось в большей на 1,78–2,61 т/га урожайности и меньшей на 11,7–14,6 % уборочной влажности зерна.

Лучшим по урожайности в обоих пунктах испытания был гибрид ПЗзМа2а2msms×П5СВСІСІ на основе материнского компонента с генами ядерной стерильности и маркером а2.

Таблица 1.

Урожайность и уборочная влажность зерна коизогенных аналогов гибрида Пионер-Гран 3978 (среднее за 2007–2008 гг.)

Гібридна комбінація	Врожайність при 14 % вологості, т/га				Збиральна вологість, %			
	УНУС	±до контролю	БДС	±до контролю	УНУС	±до контролю	БДС	±до контролю
Пионер Гран 3978 (контроль)	4,60	–	7,16	–	23,5	–	11,8	–
ПЗС×П5СВСІСІ	4,92	0,32	7,53	0,37	27,0	3,5	12,4	0,6
ПЗМа2а2×П5СВСІСІ	5,73	1,13	7,51	0,35	24,9	1,4	11,6	-0,2
ПЗзMVgVga2а2×П5СВСІСІ	5,42	0,82	7,92	0,76	25,3	1,8	12,6	0,8
ПЗзМа2а2ms ms×П5СВСІСІ	5,97	1,37	8,12	0,96	24,9	1,4	12,1	0,3

НСР_{0,95} по фактору А (зона) 0,10

НСР_{0,95} по фактору С (генотип) 0,28

НСР_{0,95} по фактору АС (взаимодействие) 0,40

Широкий диапазон изменчивости у коизогенных аналогов гибрида Пионер-Гран 3978 наблюдали по высоте растений и высоте закладки нижнего хозяйственно-ценного початка, от которых зависит пригодность гибридов кукурузы для механизированной уборки.

Таблица 2.

Высота растений и высота закладки хозяйственно-ценного початка коизогенных аналогов гибрида Пионер-Гран 3978 (2007–2008 гг.)

Гибридная комбинация	Высота растений, см				Высота закладки хозяйственно-ценного початка, см			
	УНУС	±от контроля	БОС	±от контроля	УНУС	±от контроля	БОС	±от контроля
Пионер Гран 3978 (контроль)	175,5	–	194,1	–	61,4	–	72,4	–
ПЗС×П5СВСІСІ	172,5*	-3,0	195,7	1,6	65,2	3,8	73,7*	1,3
ПЗМа2а2×П5СВСІСІ	175,5	0	202,8*	8,7	60,1*	-1,3	80,3*	7,9
ПЗзMVgVga2а2×П5СВСІСІ	177,7	2,2	199,2*	5,1	67,8 *	6,4	82,4*	10,0
ПЗзМа2а2ms ms×П5СВСІСІ	179,3*	3,8	203,1*	9,0	62,9	1,5	79,6*	7,2

*Примечание: разница существенна при P<0,05

Средняя высота растений коизогенных аналогов гибрида Пионер-Гран 3978 в условиях УНУС составляла от 172,5 до 179,3 см, тогда как в условиях

БОС эти показатели были существенно выше — от 194,1 до 203,1 см. Различия в высоте закладки хозяйственно-ценного початка между коизогенными аналогами гибрида Пионер-Гран 3978 была в обоих пунктах испытания незначительной, что не повлияло их на пригодность к механизированной уборке.

По параметрам экологической стабильности лучшим оказался вариант с использованием материнской линии с функциональной мужской стерильностью и генетическим маркером а2 (табл. 3). Лучший по урожайности гибрид от материнской линии с ядерной стерильностью и тем же генетическим маркером а2 несколько сильнее, а в варианте с линией на парагвайском типе стерильности, ещё сильнее реагировали на колебания условий выращивания. Однако полученные при использовании указанных материнских линий показатели S_e^2 не являются критическими, а значит, не могут быть основанием для ограничения их использования в семеноводстве гибридной кукурузы.

Таблица 3.

Параметры экологической стабильности коизогенных аналогов гибрида Пионер-Гран 3978

Гибридная комбинация	Урожайность зерна при 14 % влажности, т/га			Параметры стабильности*	
	УНУС	БОС	среднее	b_e	S_e^2
Пионер Гран 3978 (контроль)	4,60	7,16	5,88	1,28	3,5
ПЗС×П5СВСІСІ	4,92	7,53	6,23	1,40	30,3
ПЗМа2а2×П5СВСІСІ	5,73	7,51	6,62	0,90	0,05
ПЗзMVgVga2а2×П5СВСІСІ	5,42	7,92	6,67	1,22	2,1
ПЗзМа2а2ms ms×П5СВСІСІ	5,97	8,12	7,04	1,13	24,1

*Примечание: b_e — коэффициент регрессии; S_e^2 — средовая дисперсия

Заключение. По урожайности и пригодности для механизированной уборки коизогенные аналоги, полученные с использованием различных ГСКР, превышали показатели контрольного гибрида Пионер-Гран 3978, что свидетельствует о возможности внедрения в семеноводство гибридной кукурузы материнских линий с функциональной мужской стерильностью и генетическим маркером а2 без предостережений. Агроэкологические условия Южной Степи Украины (БОС) для производства зерна кукурузы были предпочтительней, чем Правобережной Лесостепи (УНУС), а коизогенный аналог ПЗзМа2а2ms ms×П5СВСІСІ был лучшим в обоих пунктах испытания.

Литература

Парій М.Ф., Парій Я.Ф., Парій Ф.М. Контроль алелей генів стерильності у кукурудзи при розмноженні стерильних форм на основі двох генів чоловічої стерильності та маркерного гена // Зб. наук. праць Уманського НУС. 2013. Вип. 83. С. 56–62.

Парій Ф.М., Опалко О.П., Макарчук М.О. та ін. Використання генетичних маркерів у виробництві гетерозисного гібридного насіння кукурудзи // Зб. наук. праць Уманського ДАУ. 2008. Вип. 67. С. 63–68.

Bedinger P.A., Fowler J.E. The maize male gametophyte // Handbook of maize: Its biology. N.Y.: Springer Science+Business Media, 2009. С. 55–77.

Chaudhary D.P., Kumar S., Singh S. Maize: Nutrition dynamics and novel uses. New Delhi: Springer, 2014. 161 p.

Fisher R.A. Statistical methods for research workers. New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.

Schnable P.S., Swanson-Wagner R.A. Heterosis // Handbook of maize: Its biology. N.Y.: Springer Science+Business Media, 2009. C. 457–467.

Staller J.E., Tykot R.H., Benz B.F. Multidisciplinary approaches to the prehistory, linguistics, biogeography, domestication, and evolution of maize. San Diego: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2006. 704 p.