

Опалко А.И.<sup>1,2</sup>, Макаrchук М.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Украина, Национальный дендрологический парк "Софиевка"  
НАН Украины

<sup>2</sup> Украина, Уманский национальный университет садоводства

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СЕМЯН ГИБРИДНОЙ КУКУРУЗЫ

Кукуруза (*Zea mays* L.) уникальное растение семейства мятликовых (Poaceae Barnhart) выращивается во всем мире и заслуженно считается одной из наиболее важных сельскохозяйственных зерновых и фуражных культур. Зерно кукурузы используется в качестве источника пищи во многих уголках земного шара, сырья для пищевой промышленности, компонента различных салатов и ряда других блюд, но около двух третей мирового производства кукурузы выращивается на корм для сельскохозяйственных животных и птицы. Это универсальное культурное растение способно расти в широком агроклиматическом диапазоне от 58° с.ш. до 40° ю.ш.; от территорий, расположенных ниже уровня моря до альтитуд, превышающих 3000 м; в регионах с 250 мм и более 5000 мм осадков в год. Имеются формы с продолжительностью полного цикла роста и развития от 3 до 13 месяцев [1].

Среднегодовое мировое производство кукурузы в последние годы приблизилось к 900 млн. тонн. В списке крупнейших производителей зерна кукурузы лидируют США с показателем около 300 и Китай — более 200 млн. тонн. Украина в этом списке занимает седьмое место по производству с показателем более 20 млн. тонн, опережая Мексику и Францию, и пятое место списке экспортёров зерна кукурузы после США, Аргентины, Бразилии и Франции [2]. Это свидетельствует о значении кукурузы для экономики Украины и актуальности исследований направленных на совершенствование как собственно гибридов, так и поиск путей удешевления производства гетерозисных гибридных семян.

Наиболее распространенным способом снижения затрат при производстве гетерозисных гибридных семян является использование механизмов цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) как одного из вариантов генетических систем контролируемого размножения (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. Последние два ныне наиболее распространенные в Украине. В середине 20-го века в США использовали преимущественно материнские формы со стерильной цитоплазмой техасского типа. При этом подавляющее большинство коммерческих гетерозисных гибридов было создано на базе всего 3–5 инбредных линий. Такая унификация генетической плазмы привела к

снижению устойчивости кукурузы к южному гельминтоспориозу, вызываемому грибом *Cochliobolus heterostrophus* Drech. Первая волна эпифитотии гельминтоспориоза обрушилась на регионы кукурузного пояса США в 1969 г., что нанесло сокрушительный удар по кормопроизводству, которое в США в значительной степени основывалось на кукурузе. Симптоматично, что *C. heterostrophus* поражает, прежде всего, гибриды кукурузы с цитоплазматической стерильностью техасского типа, не причиняя большого вреда гибридам с плазмогенами иных типов [3]. 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. Вместе с тем селекционеры активировали поиск новых источников с ядерно-генной и цитоплазматической стерильностью различных типов.

Новые подходы к формированию ГСКР на базе сцепленных генов ядерной мужской стерильности (Ms5/ms5 и Ms13/ms13) с маркерными генами окраски зерновки A2/a2 в Украине были успешно реализованы на кукурузе М.Ф. Париём с соавторами [4]. Авторы цитируемых исследований предлагают размножать стерильные материнские формы с генотипом ms5a2ms13/ms5a2ms13, опыляя их пылью фертильных тригетерозиготных отцовских форм с генотипом Ms5A2Ms13/ms5a2ms13 с последующей фотоэлектрической сортировкой полученных семян и отбором гомозиготных рецессивов по окраске зерновки. По предложению этих же исследователей нами была изучена ГСКР на основе генов функциональной мужской стерильности, которые вызывают изменения генеративных органов, без нарушения генетических механизмов микроспоро- и микрогаметогенеза и ядерно-генной мужской стерильности. При этом упрощение контроля гибридности семян достигается благодаря маркерным генам окраски зерновки кукурузы, которые тесно сцеплены с геном функциональной мужской стерильности [5].

Целью представленных исследований было выяснение конкурентоспособности коизогенных аналогов, полученных с использованием различных типов ГСКР, по урожайности, параметрам её стабильности и пригодности для механизированной уборки.

Исследования проводили 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. В вариантах опыта изучали коизогенные аналоги контрольного гибрида Пионер-Гран 3978, при создании которых использовали материнские формы ПЗЗМ (фертильный закрепитель стерильности молдавского типа) и её три коизогенные линии. В частности линия

ПЗзМа2а2 с маркерным геном а2 (Anthocyaninless), который в гомозиготном состоянии определяет отсутствие антоциановой окраски в алейроне, ПЗзМVга2а2 (эта же линия с функциональной мужской стерильностью и генетическим маркером а2) и ПЗзМа2а2msms (с ядерной стерильностью и тем же маркером), которые опылялись пылью аналога той же родительской линии, что и в контрольном варианте, но с генетическим маркером CI (ген-ингибитор Dominant colorless), который подавляет проявление пурпурной или красной окраски. В качестве контроля использовали гибрид Пионер-Гран 3978, полученный при скрещивании стерильного материнского компонента ПЗСа2а2, стерильность которого обеспечивается использованием ЦМС парагвайского типа, и отцовского компонента с генами восстановления фертильности П5СВ. Закладку опытов и оценку гибридов в обоих пунктах проводили по методике государственного сортоиспытания [6]. Статистический анализ выполняли по Р. Фишеру [7], проверку гипотез осуществляли на уровне значимости не менее 0,05 для двустороннего критерия.

Выяснилось, что урожайность, уборочная влажность зерна (рис. 1), а также высота растений и высота закладки хозяйственно-ценного початка (табл. 1) 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.

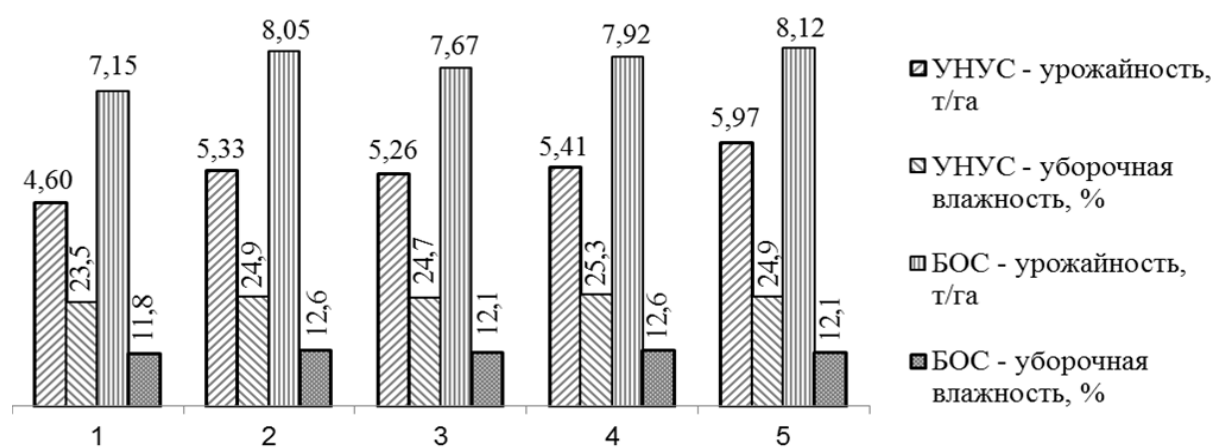


Рис. 1. Урожайность и уборочная влажность зерна коизогенных аналогов гибрида Пионер-Гран 3978:

- 1 — Пионер-Гран 3978 (контроль); 2 — ПЗзМ×П5СВСICl;  
 3 — ПЗзМа2а2×П5СВСICl; 4 — ПЗзМVгVга2а2×П5СВСICl;  
 5 — ПЗзМа2а2msms×П5СВСICl.

Условия БОС (Южная Степь) были для всех гибридов предпочтительнее, чем УНУС (Правобережная Лесостепь), что выразилось

в большей на 2,15–2,72 т/га урожайности и меньшей на 11,6–12,8 % 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.

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.

1. 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                | $\pm$ от контроля | БОС    | $\pm$ от контроля | УНУС                                             | $\pm$ от контроля | БОС   | $\pm$ от контроля |
| Пионер Гран 3978 (контроль) | 175,5               | –                 | 194,1  | –                 | 61,4                                             | –                 | 72,4  | –                 |
| ПЗзМ×П5СВСІСІ               | 168,5*              | -7,0              | 191,9  | -2,2              | 61,9                                             | 0,5               | 77,9* | 5,5               |
| ПЗзМа2а2×П5СВСІСІ           | 178,1*              | 2,6               | 206,3* | 12,2              | 66,2*                                            | 4,8               | 80,5* | 8,1               |
| ПЗзMVgVga2а2×П5СВСІСІ       | 177,7               | 2,2               | 199,2* | 5,1               | 68,0*                                            | 6,6               | 82,4* | 9,7               |
| 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 168,8 до 179,3 см, тогда как в условиях БОС эти показатели были существенно выше — от 191,9 до 206,3 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. 2). Лучший по урожайности гибрид от материнской линии с ядерной стерильностью и тем же генетическим маркером а2 несколько сильнее, а в варианте с фертильной материнской линией и генетическим маркером а2, 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.

## 2. 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     |
| ПЗзМ×П5CVCICI               | 5,34                                       | 8,06 | 6,70    | 1,17                    | 8,4     |
| ПЗзMa2a2×П5CVCICI           | 5,26                                       | 7,67 | 6,46    | 1,00                    | 75,6    |
| ПЗзMVgVga2a2×П5CVCICI       | 5,42                                       | 7,92 | 6,67    | 1,22                    | 2,1     |
| ПЗзMa2a2ms ms×П5CVCICI      | 5,97                                       | 8,12 | 7,04    | 1,13                    | 24,1    |

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

Таким образом, коизогенные аналоги, полученные с использованием различных типов ГСКР, по урожайности и пригодности для механизированной уборки не уступали контрольному гибриду Пионер-Гран 3978, что свидетельствует о возможности внедрения в семеноводство гибридной кукурузы материнских линий с функциональной мужской стерильностью и генетическим маркером  $a2$  без предостережений, учитывая, что максимальный эффект от применения материнских линий с ядерной стерильностью и тем же генетическим маркером  $a2$ , как и фертильных материнских линий с генетическим маркером  $a2$  может быть получен при выращивании кукурузы в близких к оптимальным условиям.

### Список использованной литературы

1. Chaudhary D.P., Kumar S., Singh S. Maize: Nutrition dynamics and novel uses. — New Delhi: Springer, 2014. 161 p.
2. FAOSTAT. — URL: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
3. 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.
4. 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. Вип. 83. 2013. С. 56–62.
5. Парій Ф.М., Опалко О.П., Макаруч М.О. та ін. Використання генетичних маркерів у виробництві гетерозисного гібридного насіння кукурудзи // Зб. наук. праць Уманського ДАУ. Вип. 67. 2008. С. 63–68.
6. Методика державного випробування сільськогосподарських культур (зернові, круп'яні та зернобобові) / Під ред. В. В. Волкодава. Вип. 2. Київ. 2001. 65 с.
7. Fisher R.A. Statistical methods for research workers. — New Delhi: Cosmo Publications, 2006. 354 p.