

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕАКЦИИ НА ЦМС НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСТОЧНИКА СТЕРИЛЬНОСТИ И МЕТЕОУСЛОВИЙ ГОДА

Г. Я. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
А. С. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatjev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;
Н. А. Шевченко, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, kcck-bass@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Широкое внедрение новых гибридов кукурузы в производство возможно только при переводе их на стерильную основу. Для этого необходимы сведения о реакции линий на цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС). Цель исследований – классифицировать новые самоопыленные линии кукурузы по закрепительной и восстановительной способности на основе различных источников стерильности и контрастных условий проведения оценки. Исследования выполнены в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» в 2022–2024 годах. Условия лет проведения эксперимента оказались контрастны (ГТК = 0,49 – 2022 г., ГТК = 0,83 – 2023 г., ГТК = 0,22 – 2024 г.). В качестве источников стерильности использованы формы с различной стерилизующей способностью молдавского («М») типа: M_1 , M_2 ; и боливийского («С») типа ЦМС: C_1 , C_2 . Объект исследований – 15 новых константных (I_6) самоопыленных линий кукурузы и 60 тесткроссных гибридов, полученных от анализирующих скрещиваний. Реакция самоопыленных линий зависела от источника стерильности и условий года исследований. Уровень фертильности тестеров с участием источников M_2 и C_2 был выше, чем тестеров источников C_1 и M_1 . В более засушливом 2024 г. самоопыленные линии СК 7, СК 9 и СК 11 снижали уровень фертильности по «С» типу – от частичной фертильности (класс 2) до полной стерильности (класс 0) либо от полной фертильности (класс 5) до частичной фертильности (класс 3). По «М» типу снижение уровня фертильности отмечено у линий СК 11 и СК 12. Выделены новые самоопыленные линии кукурузы: СК 1, СК 6, СК 7, СК 8, СК 14 и СК 15, являющиеся закрепителями стерильности «М» типа ЦМС. Эти линии представляют ценность в качестве материнских форм при переводе на стерильную основу гибридов кукурузы, созданные с их участием. Выделены линии СК 5 и СК 9 – естественные восстановители фертильности «М» типа, представляющие ценность для использования в качестве отцовских форм гибридов. По отношению к «С» типу ЦМС наибольший интерес представляют закрепители стерильности СК 5, СК 12, СК 14 и константные восстановители фертильности СК 2, СК 3, СК 6, СК 10 и СК 13.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea Mays* L.), самоопыленные линии, тесткроссные гибриды, восстановители фертильности, закрепители стерильности.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Шевченко Н. А. Изменчивость реакции на ЦМС новых самоопыленных линий кукурузы в зависимости от источника стерильности и метеоусловий года // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 6. С. 21–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-95-6-21-27.



VARIABILITY OF NEW SELF-POLLINATED MAIZE LINES' RESPONSE TO CMS DEPENDING ON THE STERILITY SOURCE AND WEATHER CONDITIONS OF THE YEAR

G. Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
A. S. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatjev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;
N. A. Shevchenko, technician-researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, kcck-bass@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The wide introduction of new maize hybrids into production is possible only if they are transferred to a sterile basis. This requires data on the lines' response to cytoplasmic male sterility (CMS). The purpose of the current study was to classify new self-pollinated maize lines according to their ability to fix and restore based on various sources of sterility and contrasting weather conditions during the conducted estimation. The study was carried out at the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" in 2022–2024. The conditions during the study were contrasting (HTC = 0.49 – 2022, HTC = 0.83 – 2023, HTC = 0.22 – 2024). As the sterility sources there were used the forms M_1 and M_2 with different sterilizing capacity of the Moldavian ('M') type, and the forms C_1 , C_2 with different sterilizing capacity of the Bolivian ('C') type of CMS. The objects of the study were 15 new constant (I_6) self-pollinated maize lines and 60 test-cross hybrids obtained from analyzed crossings. The response of the self-pollinated lines depended

on the source of sterility and the weather conditions of the year of study. The fertility level of testers with the participation of the sources M_2 and C_2 was higher than that of testers of the sources C_1 and M_1 . In the arid year of 2024, the self-pollinated lines SK 7, SK 9 and SK 11 reduced the fertility level according to the 'C' type from partial fertility (class 2) to complete sterility (class 0), or from complete fertility (class 5) to partial fertility (class 3). According to the 'M' type, there was a fertility decrease in the lines SK 11 and SK 12. There have been identified such new self-pollinated maize lines as SK 1, SK 6, SK 7, SK 8, SK 14 and SK 15, which are sterility fixers of the 'M' type of CMS. These lines are valuable as maternal forms when transferring maize hybrids developed with their participation to a sterile basis. There have been identified the lines SK 5 and SK 9 as the natural fertility restorers of the 'M' type, which are valuable for use as paternal forms of hybrids. According to the 'C' type of CMS, the sterility fixers SK 5, SK 12, SK 14 and the constant fertility restorers SK 2, SK 3, SK 6, SK 10 and SK 13 are of the greatest interest.

Keywords: maize (*Zea Mays L.*), self-pollinated lines, testcross hybrids, fertility restorers, sterility fixers.

Введение. Широкое внедрение новых гибридов кукурузы в сельскохозяйственное производство предполагает необходимость перевода гибридов на стерильную основу. Для успешного выполнения такой работы требуется получение сведений о реакции самоопыленных линий кукурузы на стерильную цитоплазму различных типов ЦМС. О необходимости оценки реакции на ЦМС создаваемых новых линий кукурузы утверждают российские селекционеры Хатефов и др. (2019), отмечая, что такие сведения являются важнейшими для характеристики новых линий.

В научно-исследовательских учреждениях Российской Федерации, занимающихся селекцией кукурузы, непременно ведутся такие работы. При этом часто параллельно изучаются различные вопросы, касающиеся перевода гибридов кукурузы на стерильную основу.

Для повышения надежности оценок реакции линии на ЦМС предлагается использовать различные источники стерильности, проверенные в предыдущих исследованиях (Krivosheev and Ignatyev, 2022).

Повысить эффективность работы по созданию стерильных аналогов и восстановителей фертильности, используемых при производстве гибридных семян кукурузы, возможно благодаря использованию различных типов ЦМС (Кибальник и Эльконин, 2020).

Изучена возможность совмещения создания новых практически ценных гибридных комбинаций с одновременной оценкой реакции новых линий на ЦМС. Для этого необходим специальный подбор тесткроссов – источников стерильности с высокой комбинационной способностью (Кривошеев и Игнатьев, 2019).

Увеличение генетического разнообразия исходного материала предполагает увеличение работ по изучению реакции ЦМС и получению достоверных результатов оценки (Хатефов и др., 2018). Установлено влияние происхождения самоопыленных линий на реакцию ЦМС. Подбирая исходный материал для закладки новых линий, возможно повысить вероятность получения закрепителей или восстановителей (Кривошеев и Игнатьев, 2023).

Несмотря на то что зарубежные селекционно-семеноводческие фирмы ведут семеноводство преимущественно на фертильной основе, но исследования по ЦМС ведутся и за рубежом. Некоторые исследователи проявляют интерес к возможности использования ЦМС в семеноводстве (Fox et al, 2017). В первую очередь их

интересует проявление стабильности стерильности различных типов ЦМС (Loussaert et al, 2017, Zhang et al., 2020).

В литературе ограничены сведения о стабильной реакции самоопыленных линий кукурузы на стерильность в зависимости от условий выращивания. Вместе с тем, такая информация повысит надежность получаемых результатов оценки. Кроме того, известно, что используя различные источники стерильности, можно получить совершенно различные результаты оценки, что также обуславливает необходимость изучения этого аспекта.

Цель исследований – классифицировать новые самоопыленные линии кукурузы по закрепительной и восстановительной способности на основе различных источников стерильности и контрастных условий проведения оценки.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2022–2024 годах. Почва экспериментального участка – чернозем обыкновенный карбонатный мощностью 120 см и с содержанием гумуса 3,2–3,3 % (Репка и др., 2020).

Объект исследований – 15 новых константных самоопыленных линий кукурузы (I_6). Для проведения анализирующих скрещиваний специально подобраны тестеры – источники стерильности с различной стерилизующей способностью: по молдавскому («М») типу – M_1 и M_2 , по боливийскому «С» типу – C_1 и C_2 . Стерилизующая способность у источников M_1 и C_1 выше, чем у источников M_2 и C_2 .

От анализирующих скрещиваний стерильных источников с линиями в 2021 г. получено 60 тесткроссных гибридов кукурузы, которые изучены по характеру цветения метелок в 2022–2024 годах. Для получения гибридов использовали метод полных топкроссов. Оценку уровня фертильности растений проводили по шкале Гонтаровского (1971). Класс 0 и 1 имели полностью стерильные растения, класс 2 – от 25 до 75 %, класс 3 – от 25 до 75 %, 4 класс – более 75 %, 5 класс – 100 % фертильных пыльников.

К стерильным (С) отнесены классы 0 и 1, к частично фертильным (ЧФ) – классы 2 и 3, к фертильным (Ф) – классы 4 и 5.

Годы проведения исследований оказались контрастными по метеословиям, различаясь по температурному режиму и влагообеспеченности (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические условия проведения исследований
Table 1. Weather conditions during the study

Климатические параметры	май	июнь	июль	август	май – август
2022 год					
Осадки, мм	21,7	7,4	55,8	47,2	132,1
Среднемесячная температура воздуха, °С	14,8	23,1	23,8	26,6	22,1
ГТК	0,70	0,11	0,76	0,57	0,49
2023 год					
Осадки, мм	110,4	37,0	51,3	19,5	218,2
Среднемесячная температура воздуха, °С	15,6	20,4	23,6	25,6	21,8
ГТК	2,28	0,60	0,70	0,25	0,83
2024 год					
Осадки, мм	22,2	13,1	25,0	3,5	63,8
Среднемесячная температура воздуха, °С	15,7	24,7	27,6	25,4	23,4
ГТК	0,46	0,18	0,29	0,04	0,22
Среднемноголетние значения					
Осадки, мм	51,3	71,3	57,7	45,2	225,5
Среднемесячная температура воздуха, °С	16,5	20,5	23,1	21,9	20,5
ГТК	1,00	1,16	0,81	0,67	0,89

ГТК в 2022 г. составил 0,49, в 2023 г. – 0,83, в 2024 г. – 0,22. Для оценки характера цветения метелок большое значение имеет то, какие погодные условия сложились в целом в течение года и в период цветения, то есть в июле. ГТК в июле в 2022–2024 гг. составил 0,76; 0,70; 0,29 соответственно.

То есть наиболее жаркие и засушливые погодные условия в целом за год и в июле сложились в 2024 году. В 2022 и 2023 гг. в период цветения метелок были примерно одинаковые условия, более благоприятные, чем в 2024 году.

Результаты и их обсуждение. Гибриды кукурузы, полученные от анализирующих скрещиваний источников стерильности молдавского типа ЦМС с новыми самоопыленными

линиями, были изучены по характеру цветения метелок в 2022–2024 годах. Проведенные исследования позволили определить реакцию линий на этот тип стерильности. Реакция новых линий кукурузы зависела от источника стерильности и от условий года проведения оценок. Однако во многих случаях отмечено полное совпадение оценок независимо от используемого источника и года изучения.

Выделены новые самоопыленные линии кукурузы СК 1, СК 6, СК 7, СК 8, СК 14, СК 15, тесткроссные гибриды которых, полученные от скрещивания с любым источником стерильности, во все годы исследований имели стерильное потомство (класс 0, 1) (табл. 2).

Таблица 2. Реакция самоопыленных линий кукурузы на стерильность молдавского типа ЦМС
Table 2. Self-pollinated maize lines' response to the sterility of the Moldovan type of CMS

Линии	Уровень фертильности в классах					
	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
СК 1	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 2	С (0)	ЧФ (2, 3)	С (0)	ЧФ (2, 3)	С (0)	С (0)
СК 3	ЧФ (3)	Ф (4)	ЧФ (3)	Ф (4)	ЧФ (2)	ЧФ (3)
СК 4	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)
СК 5	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (4)
СК 6	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (0)
СК 7	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 8	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)
СК 9	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4)
СК 10	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	ЧФ (2)
СК 11	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	ЧФ (2)	С (1)	С (0)
СК 12	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	С (1)	ЧФ (2)
СК 13	ЧФ (2)	ЧФ (5)	ЧФ (2)	ЧФ (5)	ЧФ (2)	Ф (4)
СК 14	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)	С (1)
СК 15	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (1)

Примечание. M₁ и M₂ – источники стерильности; 1, 2, 3, 4, 5 – классы по шкале Гонтаровского; С – стерильные, ЧФ – частично фертильные, Ф – фертильные.

Полученные результаты позволяют утверждать, что в любых условиях в скрещивании

с любыми стерильными формами эти линии будут закреплять стерильность молдавского

типа. Они являются ценными линиями при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу.

Все тесткроссные гибриды других линий (СК 5 и СК 9) независимо от источника стерильности и года изучения характеризовались высоким уровнем фертильности (класс 4, 5). Эти линии также следует считать наиболее ценными для перевода гибридов на стерильную основу. В любой комбинации скрещивания будут восстанавливать фертильность этого типа.

Остальные линии отличались неоднозначной реакцией на стерильную цитоплазму «М» типа. Их реакция зависела от используемого источника стерильности, а в некоторых случаях и от условий года проведения оценки. Как правило, эти линии имели ниже уровень фертильности, а иногда и полную стерильность, в скрещиваниях с источником М₁, чем с источником М₂, чаще всего тесткроссы этих линий имели частично фертильные растения (класс 2, 3). Уровень фертильности у тесткроссов линий СК 3 и СК 13 варьировал от частичной до полной фертильности (класс 2–5), то есть эти линии восстанавливают фертильность в зависимости от комбинации скрещивания и условий испытания. Реакция у группы линий СК 2, СК 4, СК 10, СК 11 и СК 12 варьировала от полной стерильности до частичной фертильности (класс 0–3). Это означает, что эти линии не всегда полностью закрепляли стерильность.

Особый интерес представляет выявление изменчивости реакции линий на стерильную цитоплазму в зависимости от условий проведения исследований. Это позволит удостовериться в надежности получаемых оценок. Новые самопыленные линии СК 2, СК 3, СК 11 и СК 12 в засушливых и более жарких условиях 2024 г. по сравнению с 2022 и 2023 гг. значительно изменили оценки уровня фертильности. Так, тесткроссы линий СК 2 и СК 11 с источником М₂ в 2022 и 2023 гг. были частично фертильными (класс 2, 3), а в 2024 г. – стерильными (класс 0). Тесткроссы линий СК 3 с источником М₂ в 2022–2023 гг. были фертильны (класс 4), а в 2024 г. – частично стерильными. Тесткроссы линий СК 12 от скрещивания с источником М₁ частично фертильны (класс 2) в 2022 и 2023 гг., а в 2024 г. – стерильны (класс 1).

Таким образом, некоторые линии реагировали на метеоусловия лет проведения оценок. В засушливых жарких условиях у них происходило снижение уровня фертильности, что необходимо учитывать при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу.

Оценка уровня фертильности тесткроссных гибридов кукурузы, полученных от скрещивания источников стерильности «С» типа ЦМС с линиями, позволила оценить реакцию на этот тип ЦМС. Реакция на стерильную цитоплазму у большинства линий изменилась в зависимости от источника стерильности и условий года (табл. 3).

Таблица 3. Реакция самоопыленных линий кукурузы на стерильность боливийского типа ЦМС
Table 3. Self-pollinated maize lines' response to the sterility of the Bolivian type of CMS

Линии	Уровень фертильности в классах					
	2022 г.		2023 г.		2024 г.	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
СК 1	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (2,3)	Ф (4)
СК 2	Ф (5)	Ф (3)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (5)
СК 3	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (5)	Ф (4)	Ф (5)
СК 4	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (2)
СК 5	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 6	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (5)
СК 7	ЧФ (2)	ЧФ (2)	ЧФ (2)	ЧФ (2)	С (0)	С (0)
СК 8	ЧФ (3)	Ф (4)	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (2)	Ф (4)
СК 9	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (2)	С (0)	ЧФ (2)
СК 10	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (4,5)
СК 11	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (3)	Ф (5)	ЧФ (2)	ЧФ (3)
СК 12	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 13	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (5)	Ф (4,5)	Ф (4,5)
СК 14	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)	С (0)
СК 15	ЧФ (3)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (3)	ЧФ (2)	ЧФ (2)

Примечание. С₁ и С₂ – источники стерильности; 1, 2, 3, 4, 5 – классы по шкале Гонтаровского; С – стерильные, ЧФ – частично фертильные, Ф – фертильные.

Выделены новые самоопыленные линии СК 5, СК 12 и СК 14 со стабильной реакцией: все тесткроссы этих линий независимо от используемого источника стерильности и метеоусловий года испытания показали полную стерильность (класс 0). Ценность этих линий заключается в том, что они очень удобны для создания стерильных аналогов.

Вторая группа линий – СК 2, СК 3, СК 6, СК 10, СК 13 со стабильной реакцией на стерильную цитоплазму боливийского типа ЦМС характеризовалась высоким уровнем фертильности (класс 4, 5) всех тесткроссов во все годы проведения исследований. Такие линии будут полностью восстанавливать фертильность в скрещиваниях с любыми стерильными формами.

Линии СК 4 и СК 15 отличались стабильной частичной фертильностью (класс 2, 3) потомств от скрещивания.

Остальные линии характеризовались изменчивостью реакции линий на стерильность «С» типа. Так, новые линии СК 1, СК 8 и СК 11 восстанавливали фертильность, но уровень восстановления зависел от комбинации скрещивания и условий проведения оценки, варьируя от класса 2 до класса 5.

Самоопыленные линии СК 7 и СК 9 изменяли реакцию от частичной фертильности (класс 2,3) до полной стерильности в зависимости от метеоусловий года проведения исследований. В 2022 и 2023 гг. в анализирующих скрещиваниях с источником С₂ получены частично фертильные растения, а в 2024 г. с тем же источником – полностью стерильные. Еще одна линия СК 11 изменила реакцию на «С» тип ЦМС

при смене условий проведения оценки. В 2023 и 2024 гг. ее тесткроссный гибрид от скрещивания с источником С₂ имел высокий уровень фертильности (класс 5), а в более засушливых и жарких условиях 2024 г. уровень фертильности того же тесткроссного гибрида снизился до частичной фертильности (класс 3).

Таким образом, уровень фертильности может снижаться при ухудшении условий цветения и пыльцеобразования. Однако реакция линий кукурузы на эти изменения индивидуальна, что предполагает необходимость индивидуальной оценки каждой новой линии.

Оценка реакции линий на стерильную цитоплазму молдавского и боливийского типов позволила классифицировать их по восстановительной и закрепительной способности (табл. 4).

Таблица 4. Классификация новых самоопыленных линий кукурузы по восстановительной и закрепительной способности (2022–2024 гг.)
Table 4. Classification of the new self-pollinated maize lines according to their ability to recover and fix (2022–2024)

Линии	Группы самоопыленных линий по восстановительной и закрепительной способности	
	«М» тип ЦМС	«С» тип ЦМС
СК 1	ЗМ	ВС (в)
СК 2	НЗМ	ВС (к)
СК 3	НВМ	ВС (к)
СК 4	НЗМ	НЗС
СК 5	ВМ	ЗС
СК 6	ЗМ	ВС (к)
СК 7	ЗМ	НЗС
СК 8	ЗМ	ВС (в)
СК 9	ВМ	НЗС
СК 10	НЗМ	ВС (к)
СК 11	НЗМ	ВС (в)
СК 12	НЗМ	ЗС
СК 13	НВМ	ВС (к)
СК 14	ЗМ	ЗС
СК 15	ЗМ	НЗС

Примечание. ЗМ – закрепитель «М» типа; НЗМ – неполный закрепитель «М» типа; НВМ – неполный восстановитель «М» типа; ВМ – неполный закрепитель «М» типа; ВС (к) – константный восстановитель «С» типа; ВС (в) – переменный восстановитель «С» типа; НЗС – неполный закрепитель «С» типа; ЗС – закрепитель «С» типа.

К закрепителям стерильности «М» типа ЦМС (ЗМ) отнесены самоопыленные линии СК 1, СК 6, СК 7, СК 8, СК 14 и СК 15. Они могут быть использованы в трехлинейных гибридах (А М × Б ЗМ) × С ВМ, переведенных на стерильную основу, в качестве отцовской формы (Б ЗМ) простого стерильного гибрида АМ × Б ЗМ, являющегося материнской формой. Кроме того, в случае необходимости не возникает проблем создания стерильных аналогов по этим линиям.

К восстановителям фертильности «М» типа (ВМ) отнесены линии СК 5 и СК 9. Их можно использовать в качестве отцовских форм простых или трехлинейных гибридов. Это значительно упростит перевод гибридов на стерильную ос-

нову, поскольку эти линии являются естественными восстановителями фертильности.

Неполными закрепителями фертильности молдавского типа ЦМС (НЗМ) являются линии СК 2, СК 3, СК 4, СК 11 и СК 12, неполными восстановителями (НВМ) – СК 3 и СК 13. Создание стерильных аналогов по ним сопряжено со сложностями – необходимо сначала создать их аналоги-закрепители, а в случае необходимости использования их в качестве отцовских форм требуется создание аналогов-восстановителей фертильности.

Подобная классификация новых линий выполнена и по «С» типу ЦМС. Выделены закрепители стерильности СК 5, СК 12 и СК 14, которые при переводе гибридов кукурузы на стериль-

ную основу по боливийскому типу возможно использовать непосредственно в качестве естественных закрепителей или создать по ним стерильные аналоги.

Константным естественным восстановителем фертильности «С» типа ЦМС (BC (к)) СК 2, СК 3, СК 6, СК 10, СК 13 можно использовать в качестве отцовских форм, восстанавливающих фертильность в любой комбинации скрещиваний. Вариабельные восстановители BC (в): СК 1, СК 8 и СК 11. Также возможно использование в качестве отцовских форм, но с обязательной проверкой их восстановительной способности в каждой гибридной комбинации.

Неполные закрепители стерильности «С» типа ЦМС (НЗС) СК 4, СК 7 и СК 15 не могут быть непосредственно использованы в гибридах, переведенных на стерильную основу. Следует отказаться от работы с этими линиями или создавать по ним аналоги закрепители стерильности, либо аналоги восстановительной способности, что требует значительных усилий и времени.

Использование источников различной стерилизующей способности, а также оценка уровня фертильности в годы, контрастные по погодным условиям, позволила получить надежные результаты и классифицировать но-

вые линии. А это, в свою очередь, упростит перевод на стерильную основу гибридов кукурузы, созданных с участием этих линий.

Выводы. Выделены новые самоопыленные линии кукурузы СК 1, СК 6, СК 7, СК 8, СК 14 и СК 15, являющиеся закрепителями стерильности «М» типа ЦМС. Эти линии представляют ценность при переводе на стерильную основу гибридов кукурузы, созданных с их участием. Предпочтительно использование их в качестве материнских форм.

Выделены линии СК 5 и СК 9 – естественные восстановители фертильности «М» типа, представляющие ценность для использования в качестве отцовских форм гибридов.

По отношению к «С» типу ЦМС наибольший интерес представляют закрепители стерильности СК 5, СК 12, СК 14 и контрастные восстановители фертильности СК 2, СК 3, СК 6, СК 10 и СК 13.

Реакция самоопыленных линий зависела от стерилизующей способности источника и условий года изучения. Эта реакция была индивидуальна для каждой линии. Использование различных источников и оценка уровня фертильности в контрастные по метеословиям годы позволила получить надежные результаты оценки.

Библиографический список

1. Гонтаровский, В. А. Генетическая классификация источников цитоплазматической мужской стерильности у кукурузы // Генетика. 1971. № 9. С. 22–30.
2. Кибальник О. П., Эльконин Л. А. Влияние разных типов стерильных цитоплазм (А3, А4, 9Е) на комбинационную способность ЦМС-линий сорго // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(6). С. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648
3. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Восстановительная и закрепительная способность линий кукурузы в стерильной цитоплазме «М» и «С» типов ЦМС // Зерновое хозяйство России. 2019. № 2(62). С. 38 – 41. DOI 10.31367/2079-8725-2019-62-2-38-41
4. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Зависимость реакции на ЦМС линий кукурузы от их происхождения // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89- 6-5-11
5. Репка Д. А., Бельтюков Л. П., Кувшинова Е. К., Потапов Е. А. Эффективность применения биопрепаратов на сортах озимой пшеницы в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 72–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-72-76
6. Хатефов Э. Б., Керв Ю. А., Бойко В. Н., Головина М. А., Аппаев С. П. Расширение генетического полиморфизма исходного селекционного материала кукурузы методом редиплоидизации тетраплоидных популяций // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 4(16). С. 192–203. DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18
7. Хатефов Э. Б., Шомахов Б. Р., Кушхова Р. С., Кудяев Р. А., Хаширова З. Т., Гяургиев А. Х. Характеристика редиплоидных линий кукурузы селекции ВИР по комбинационной способности и реакции на ЦМС // Биотехнология и селекция растений. 2019. № 2(4). С. 15–23. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-о?2
8. Fox T., DeBruin J., Collet K. H., Trimnell M., Clapp J., Leonard A., Li B., Scolaro E., Collinson S., Glassman K., Mille M., Schussler J., Dolan D., Liu L., Gho C., Albertsen M., Bo Shen D. L. A single point mutation in Ms44 results in dominant male sterility and improves nitrogen use efficiency in maize // Plant Biotechnology Journal. 2017. Vol. 15, Iss. 8. P. 942–952. DOI: 10.1111/pbi.12689
9. Krivosheev G. Ya., Ignatyev A. S. The response of maize lines to the Paraguay type of CMS // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Vol. 11(226). P. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-38-45
10. Loussaert D., DeBruin J., San Martin J. P., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T., Albertsen M., Trimnell M., Collinson S., Shen B. Genetic male sterility (Ms44) increases maize grain yield // Crop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2718–2728. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654
11. Zhang H., Cui G, Wang C., Wang X, Hao Y, Du J, Wang Y, Sun Y. Breeding and Characteristics of Maize Male Sterile Line Jinyu 1A // Chinese Journal of Agricultural Sciences. 2020. Vol. 53(21), P. 4322–4332 DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

References

1. Gontarovskii, V. A. Geneticheskaya klassifikatsiya istochnikov tsitoplazmaticheskoi muzhskoi steril'nosti u kukuruzy [Genetic classification of cytoplasmic male sterility sources in maize] // Genetika. 1971. № 9. S. 22–30.

2. Kibal'nik O. P., El'konin L. A. Vliyanie raznykh tipov steril'nykh tsitoplazm (A3, A4, 9E) na kombinatsionnyu sposobnost' TsMS-linii sorgo [Effect of different types of sterile cytoplasm (A3, A4, 9E) on the combining ability of CMS of sorghum lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2020. № 24(6). S. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648
3. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Vosstanovitel'naya i zakrepitel'naya sposobnost' linii kukuruzy v steril'noi tsitoplazme «M» i «S» tipov TsMS [Restorative and fixing ability of maize lines in sterile cytoplasm of "M" and "C" types of CMS] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 2(62). S. 38–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-38-41
4. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Zavisimost' reaktsii na TsMS linii kukuruzy ot ikh proiskhozhdeniya [Dependence of maize lines' reaction to CMS on their origin] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89- 6-5-11
5. Repka D. A., Bel'tyukov L. P., Kuvshinova E. K., Potapov E. A. Effektivnost' primeneniya biopreparatov na sortakh ozimoi pshenitsy v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Efficiency of using bioproducts on winter wheat varieties in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 1(67). S. 72–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-72-76
6. Khatefov E. B., Kerv Yu. A., Boiko V. N., Golovina M. A., Appaev S. P. Rasshirenie geneticheskogo polimorfizma iskhodnogo selektsionnogo materiala kukuruzy metodom rediploidizatsii tetraploidnykh populyatsii [Expansion of genetic polymorphism of the original maize breeding material by rediploidization of tetraploid populations] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2018. № 4(16). S. 192–203. DOI: 10.25637/TVAN.2018.04.18
7. Khatefov E. B., Shomakhov B. R., Kushkhova R. S., Kudaev R. A., Khashirova Z. T., Gyaurgiev A. Kh. Kharakteristika rediploidnykh linii kukuruzy selektsii VIR po kombinatsionnoi sposobnosti i reaktsii na TsMS [Characteristics of rediploid maize lines bred at VIR according to combining ability and reaction to CMS] // Biotekhnologiya i selektsiya rastenii. 2019. № 2(4). S. 15–23. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-o?2
8. Fox T., DeBruin J., Collet K. H., Trimnell M., Clapp J., Leonard A., Li B., Scolaro E., Collinson S., Glassman K., Mille M., Schussler J., Dolan D., Liu L., Gho C., Albertsen M., Bo Shen D. L. A single point mutation in Ms44 results in dominant male sterility and improves nitrogen use efficiency in maize // Plant Biotechnology Journal. 2017. Vol. 15, Iss. 8. P. 942–952. DOI: 10.1111/pbi.12689
9. Krivosheev G. Ya., Ignatyev A. S. The response of maize lines to the Paraguay type of CMS // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Vol. 11(226). P. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-38-45
10. Loussaert D., DeBruin J., San Martin J. P., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T., Albertsen M., Trimnell M., Collinson S., Shen B. Genetic male sterility (Ms44) increases maize grain yield // Srop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2718–2728. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654
11. Zhang H., Cui G., Wang C., Wang X., Hao Y, Du J., Wang Y., Sun Y. Breeding and Characteristics of Maize Male Sterile Line Jinyu 1A // Chinese Journal of Agricultural Sciences. 2020. Vol. 53(21), P. 4322–4332 DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

Поступила: 25.09.24; доработана после рецензирования: 10.10.24; принята к публикации: 28.10.24.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Авторский вклад. Кривошеев Г. Я. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнат'ев А. С. – анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Шевченко Н. А. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.