

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.15:631.52

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-5-11

ЗАВИСИМОСТЬ РЕАКЦИИ НА ЦМС ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ОТ ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

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

ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Перевод гибридов кукурузы на стерильную основу – важнейшее условие внедрения их в производство. В связи с этим актуально изучение поведения в стерильной цитоплазме исходных форм гибридов – самоопыленных линий. Цель исследований – оценить реакцию новых самоопыленных линий кукурузы в зависимости от их происхождения на «М» и «С» типы ЦМС, выделить естественные восстановители и полные закрепители стерильности. Исследования проведены в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021–2023 годах. Объект исследований: 20 новых самоопыленных линий кукурузы различного происхождения, 6 источников стерильности, 120 тест-кроссных гибридов кукурузы. Установлено, что реакция линий кукурузы зависела от их происхождения. Линии, относящиеся к одной группе (по происхождению), имели, как правило, одинаковую реакцию на молдавский («М») и боливийский («С») типы цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). Различия тем меньше, чем ближе родство линий. Новые самоопыленные линии первой группы – СЛ 171, СЛ 172 СЛ 174, СЛ 175, СЛ 176 и СЛ 177 характеризовались полным закреплением стерильности «М» типа ЦМС (класс 0). Линии подгруппы Ia закрепляли, а подгруппы Ib не полностью восстанавливали стерильность «С» типа. Во второй группе выделены полные – СЛ 181, СЛ 182 (класс 4, 5) и неполные – СЛ 183, СЛ 184 (класс 2 – 5) восстановители «М» типа стерильности. Определено, что все линии второй группы закрепляли стерильность боливийского типа (класс 0). Выделены линии третьей группы полные восстановители «М» типа ЦМС – СЛ 191, СЛ 192, СЛ 193 СЛ 194, две из них (СЛ 191 и СЛ 193) являются и полными восстановителями «С» типа ЦМС (класс 4, 5). Все линии четвертой группы отнесены к полным закрепителям (класс 0, 1) изучаемых типов ЦМС. Полученные результаты повысят эффективность работ по переводу гибридов кукурузы на стерильную основу.

Ключевые слова: кукуруза, гибриды, самоопыленные линии, стерильность, фертильность, закрепители, восстановители.

Для цитирования: 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.



CORRELATION BETWEEN THE RESPONSE OF MAIZE LINES TO CMS AND THEIR ORIGIN

G. Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID 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 0000-0002-0319-4600

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Transferring maize hybrids to a sterile basis is the most important condition for their introduction into production. In this regard, it is important to study the behavior of the initial forms of hybrids, namely self-pollinated lines, in the sterile cytoplasm. The purpose of the current study was to estimate the response of new self-pollinated maize lines, depending on their origin, to the “M” and “C” types of CMS, to identify natural restoring agents and complete sterility fixatives. The study was carried out at the FSBSI “ARC “Donskoy” in 2021–2023. The subjects of the study were 20 new self-pollinated maize lines of various origins, 6 sources of sterility, 120 testcross maize hybrids. There was found that the response of maize lines depended on their origin. Lines belonging to the same group (by origin) usually had the same reaction to the Moldovan (“M”) and Bolivian (“C”) types of cytoplasmic male sterility (CMS). The closer the lines are related, the smaller the differences. The new self-pollinated lines of the first group ‘SL 171’, ‘SL 172’, ‘SL 174’, ‘SL 175’, ‘SL 176’ and ‘SL 177’ were characterized by complete consolidation of the type “M” of CMS (class 0). Lines of subgroup Ia were fixed, but subgroups Ib did not completely restore the type “C” of sterility. In the second group there were identified the complete ‘SL 181’, ‘SL 182’ (class 4, 5) and incomplete ‘SL 183’, ‘SL 184’ (class 2–5) reducing agents of the type “M” of sterility. There was determined that all lines of the second group perpetuated ste-

rility of the Bolivian type (class 0). There have been identified the lines of the third group 'SL 191', 'SL 192', 'SL 193', 'SL 194', as full reducing agents of the type "M" of CMS, two of them 'SL 191' and 'SL 193' are also complete reducing agents of the type "C" of CMS (class 4, 5). All lines of the fourth group could be classified as complete fixatives (class 0, 1) of the studied types of CMS. The results obtained will improve the efficiency of work on transferring maize hybrids to a sterile basis.

Keywords: maize, hybrids, self-pollinated lines, sterility, fertility, fixatives, reducing agents.

Введение. В настоящее время как в Российской Федерации, так и в мире используются в производстве не сорта, а гибриды кукурузы. Селекция и семеноводство гибридной кукурузы предполагают необходимость перевода гибридов на стерильную основу. Для этого необходимо изучение исходных форм гибридов – самоопыленных линий по реакции на различные типы ЦМС и изучение некоторых других аспектов, касающихся стерильности у кукурузы, в частности вопросов генетического контроля стерильности (Анисимова, 2020), совершенствования методики оценки уровня фертильности и полноты стерильности (Сотченко и др., 2007), влияния мужской стерильности на урожайность растений кукурузы (Loussaert et al., 2017).

Исследователи изучают возможность использования различных типов стерильных цитоплазм (Кибальник и Эльконин, 2020). Одна из важнейших проблем – стабильность проявления стерильности в различных условиях у различных типов ЦМС.

Создание стерильных аналогов и их изучение – важнейшая задача селекционеров, работающих с гибридной кукурузой (Zhang et al., 2020). Комбинационная способность и реакция линий на ЦМС должна быть обязательно оценена для выделения наиболее перспективных (Хатефов и др., 2016).

Цитоплазматическую мужскую стерильность используют не только у кукурузы, но и у других сельскохозяйственных культур, у которых создают и внедряют в производство гибриды (Bohra et al., 2016; Анисимова и Гавриленко, 2017).

Изучена оптимизация анализирующих скрещиваний для оценки реакции линий кукурузы на ЦМС (Krivosheev and Ignatyev, 2022). Вместе с тем, остается еще много невыясненных вопросов, решение которых может повысить эффективность создания линий, представляющих наибольшую ценность при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу. В частности, использование для закладки новых линий исходного материала с высоким выходом естественных восстановителей фертильности либо полных закрепителей стерильности.

Цель исследований – оценить реакцию новых самоопыленных линий кукурузы в зависимости от их происхождения на «М» и «С» тип ЦМС, выделить естественные восстановители и полные закрепители стерильности.

Материалы и методы исследований. Полевые исследования проведены в 2021–2023 годах. Место закладки полевых опытов – селекционное поле лаборатории селекции и семеноводства кукурузы ФГБНУ «АНЦ «Донской».

В качестве объекта исследований взяты 20 новых самоопыленных линий кукурузы (I₀), созданных в АНЦ «Донской». Они объединены в 4 группы по происхождению – каждая группа линий получена на основе отдельной специально созданной популяции кукурузы. Для определения реакции на стерильную цитоплазму подобраны 3 стерильных источника (анализатора) молдавского («М») типа ЦМС и 3 источника боливийского («С») типа ЦМС. Источники стерильности использовали как тестеры в скрещиваниях для получения тесткроссных гибридов, которые оценивали по цветению мужских соцветий. Всего было получено и оценено 120 тесткроссных гибридов кукурузы. Визуальная оценка фертильности метелок выполнена по методике Гонторовского (1971): классы 0, 1 – полная стерильность, классы 2, 3 – частичная фертильность, классы 4, 5 – фертильность полная или высокого уровня. Закладку полевых опытов проводили согласно Методическим указаниям по проведению полевых опытов с кукурузой (1980). Площадь деланки 9,8 м², повторность трехкратная.

Среднемноголетнее количество осадков за период вегетации кукурузы (май – август) составляет 225,5 мм. Учитывая, что пункт проведения исследований относится к зонам с неустойчивым увлажнением, лимитирующим фактором считается влага. Годы проведения исследований оказались контрастными по влагообеспеченности: 2021 и 2022 гг. – засушливые, количество осадков соответствовало среднемноголетней норме, однако распределение их в течение вегетации было неравномерным, вследствие чего во второй половине вегетации отмечалась засуха, 2023 г. – влагообеспеченный, количество осадков за период вегетации кукурузы превысило среднемноголетнюю норму.

Результаты и их обсуждение. Изучаемые самоопыленные линии кукурузы были разделены на группы и подгруппы по происхождению. Первая группа (I) представлена семью образцами, которые получены путем самоопыления специально созданной популяции СП 1. Причем эта группа линий разделена на подгруппы (Ia и Ib) (табл. 1).

Внутри подгруппы расхождения между линиями произошли после третьего самоопыления, а расхождения между подгруппами – начиная с первого самоопыления. То есть линии внутри подгруппы состояли в большем родстве, чем было родство между линиями разных подгрупп. Вторая группа (II) представлена четырьмя самоопыленными линиями, полученными из специально созданной популяции СП 2. Различие между линиями начинается с третьего самоопыления. Третья группа (III)

представлена линиями, полученными из популяции СП 3. Расхождение по генотипу также начинается с третьего самоопыления. Четвертая группа (IV) – 5 линий, в том числе подгруппа IVa (4 линии) и подгруппа IVb (1 линия). Различия между подгруппами по наследственной основе произошли уже начиная с первого самоопыления, то есть при первом самоопылении были

отобраны 2 початка, один из которых впоследствии дал начало линиям подгруппы IVa, второй – линиям подгруппы IVb. Расхождение по наследственной основе между линиями подгруппы IVa происходило начиная с третьего самоопыления, когда для дальнейшей работы были взяты 3 различных самоопыленных початка.

Таблица 1. Реакция новых самоопыленных линий кукурузы в стерильной цитоплазме «М» типа ЦМС (2021–2023 гг.)
Table 1. Response of new self-pollinated maize lines in the sterile cytoplasm type “M” of CMS (2021–2023)

Группы и подгруппы линий	Название линий	Стерильные источники			Классификация линий
		КЛ 170 М×КЛ 179 3М	КЛ 180 М×КЛ 189 3М	КЛ 190 М×КЛ 199 3М	
Ia	СЛ 171	с (0)	с (0)	с (0)	3М
	СЛ 172	с (0)	с (0)	с (0)	3М
	СЛ 173	с (1)	с (1)	с, чф (1,2)	Н3М
Ib	СЛ 174	с (0,1)	с (1)	с (0,1)	3М
	СЛ 175	с (0,1)	с (0,1)	с (0,1)	3М
	СЛ 176	с (0)	с (0,1)	с (0)	3М
	СЛ 177	с (1)	с (1)	с (1)	3М
II	СЛ 181	ф (5)	ф (5)	ф (4,5)	ВМ
	СЛ 182	ф (5)	ф (5)	ф (4,5)	ВМ
	СЛ 183	чф, ф (2-5)	чф, ф (3-5)	ф (4,5)	НВМ
	СЛ 184	чф, ф (3-5)	ф (5)	ф (5)	НВМ
III	СЛ 191	ф (5)	ф (5)	ф (5)	ВМ
	СЛ 192	ф (5)	ф (5)	ф (5)	ВМ
	СЛ 193	ф (5)	ф (4,5)	ф (4,5)	ВМ
	СЛ 194	ф (4,5)	ф (4,5)	ф (4,5)	ВМ
IVa	СЛ 201	с (0)	с (0)	с (0)	3М
	СЛ 202	с (0)	с (0)	с (0)	3М
	СЛ 203	с (0,1)	с (0,1)	с (0,1)	3М
	СЛ 204	с (1)	с (1)	с (1)	3М
IVb	СЛ 205	с (0,1)	с (0,1)	с (0,1)	3М

Примечание. 1, 2, 3, 4, 5 классы по шкале Гонтаровского: с – стерильные; чф – частично фертильные; ф – фертильные.

3М – закрепители стерильности; Н3М – неполные закрепители; НВМ – неполные восстановители; ВМ – восстановители «М» типа ЦМС.

По результатам визуальной оценки цветения метелок гибридов, полученных от скрещивания источников стерильности «М» типа ЦМС и линий, выполнена классификация по восстановительной и закрепительной способности.

Новые самоопыленные линии кукурузы первой группы, независимо от принадлежности к подгруппе (СЛ 171, СЛ 172, СЛ 174, СЛ 175, СЛ 176, СЛ 177), полностью закрепили стерильность «М» типа ЦМС в скрещиваниях со всеми используемыми стерильными источниками (КЛ 170 М×КЛ 179 3М, КЛ 180 М×КЛ 189 3М, КЛ 190 М×КЛ 199 3М). Причем тесткроссные гибриды от скрещивания с линиями СЛ 171 и СЛ 172 оценены как стерильные с классом 0, то есть выбрасывание пыльников из колосков метелки вообще не происходило. У тесткроссов СЛ 177 происходило массовое выбрасывание стерильных пыльников из колосков метелки (класс 1). У тесткроссов остальных линий имелись метелки обоих классов (0, 1). Только одна линия первой группы (СЛ 173) и только в скрещивании с анализатором КЛ 190 М×КЛ 199 3М

имела в потомстве частично фертильные метелки (класс 2). Поэтому она отнесена к неполным закрепителям стерильности «М» типа ЦМС. Таким образом, линии первой группы, за исключением одной, не различались по закрепительной способности «М» типа ЦМС. Не было значительных различий и между подгруппами линий.

Новые самоопыленные линии второй группы (СЛ 181 и СЛ 182) в потомстве от анализирующих скрещиваний со стерильными источниками «М» типа ЦМС имели потомство высокого уровня фертильности (класс 4, 5). Эти линии относятся к естественным восстановителям фертильности молдавского типа ЦМС. Тесткроссы линий СЛ 183 и СЛ 184 имели частичную (класс 2, 3) либо полную фертильность (класс 4, 5) в зависимости от источника стерильности, поэтому они классифицированы как неполные восстановители фертильности «М» типа ЦМС (НВМ). То есть линии второй группы, полученной из одного и того же исходного материала, имели сходство по реакции

на молдавский тип стерильности – все они оказались восстановителями. Но при этом имелось и различие по полноте восстановительной способности.

Наиболее сходной оказалась реакция на стерильность молдавского типа у линий третьей группы (СЛ 191, СЛ 192, СЛ 193, СЛ 194). Потомства всех этих линий, независимо от источника стерильности, отличались фертильностью высокого уровня (класс 4, 5), что позволяет их считать надежными естественными восстановителями «М» типа ЦМС.

Новые самоопыленные линии четвертой группы полностью закрепляли стерильность в скрещиваниях со всеми используемыми источниками молдавского типа. Они классифицированы как закрепители стерильности (ЗМ).

Массовое выбрасывание стерильных пыльников (класс 1) отмечено у всех тесткроссов линии СЛ 204, все стерильные тесткроссы линии СЛ 202 характеризовались отсутствием выходящих из колосков пыльников (класс 0), потомства линий СЛ 202, СЛ 204 и СЛ 205 имели класс 0 или 1.

Таким образом, от используемого для создания линий исходного материала зависит реакция линий на молдавский тип стерильности. В наших исследованиях линии, состоящие в родстве, как правило, одинаково реагировали на стерильную цитоплазму. Различия в реакции оказались тем меньше, чем ближе в родстве состояли линии.

Подобные результаты получены по боливийскому («С») типу ЦМС (табл. 2).

Таблица 2. Реакция новых самоопыленных линий кукурузы в стерильной цитоплазме «С» типа ЦМС (2021–2023 гг.)
Table 2. Response of new self-pollinated maize lines in the sterile cytoplasm type “С” of CMS (2021–2023)

Группы и подгруппы линий	Название линий	Стерильные источники			Классификация линий
		РД 201 С × РД 202 ЗС	РД 211 С × РД 212 ЗС	РД 187 С × РД 188 ЗС	
Ia	СЛ 171	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 172	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 173	с (0)	с (0)	с, (0)	ЗС
Iв	СЛ 174	с, чф (0,2)	с, чф (0-3)	ф (3)	НЗС
	СЛ 175	чф, ф (2-4)	чф, ф (3-5)	ф (4,5)	НВС
	СЛ 176	с, чф, ф (1-4)	чф, ф (3-5)	ф (5)	НВС
	СЛ 177	чф (2,3)	чф, ф (2-4)	ф (5)	НВС
II	СЛ 181	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 182	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 183	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 184	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
III	СЛ 191	ф (4)	ф (5)	ф (5)	ВС
	СЛ 192	чф, ф (2-4)	чф, ф (3-5)	ф (5)	НВС
	СЛ 193	ф (4)	ф (4,5)	ф (5)	ВС
	СЛ 194	чф, ф (2,5)	чф, ф (3-5)	ф (5)	НВС
IVa	СЛ 201	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 202	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 203	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 204	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
IVв	СЛ 205	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС

Примечание. 1, 2, 3, 4, 5 классы по шкале Гонтаровского: с – стерильные; чф – частично фертильные; ф – фертильные.

ЗС – закрепители стерильности; НЗС – неполные закрепители; НВС – неполные восстановители; ВС – восстановители «С» типа ЦМС.

Новые самоопыленные линии первой подгруппы Ia (СЛ 171, СЛ 172, СЛ 173) имели полностью стерильное потомство (класс 0) от скрещивания с любым источником стерильности «С» типа ЦМС (РД 201 С × РД 202 ЗС, РД 211 С × РД 212 ЗС, РД 187 С × РД 188 ЗС). Они классифицированы как полные закрепители стерильности (ЗС) боливийского типа. А линии подгруппы Iв (СЛ 174, СЛ 175, СЛ 176, СЛ 177) имели совершенно другую реакцию. Гибриды, полученные с их участием, имели, как правило, частичную фертильность (класс 2, 3), реже полную фертильность (класс 4, 5) или полную стерильность (класс 0).

На основе уровня фертильности тесткроссных потомств линия СЛ 174 отнесена к неполным закрепителям стерильности (НЗС), а линии СЛ 175, СЛ 176 и СЛ 177 – к неполным восстановителям фертильности «С» типа ЦМС. Таким образом, по первой подгруппе линий (Ia) отмечено полное сходство закрепительной способности линий, по подгруппе I в – значительное сходство между линиями по восстановительной способности. А что касается различий между подгруппами, то по реакции на «С» тип ЦМС они оказались значительными.

Потомства от скрещивания второй группы новых линий (СЛ 181, СЛ 182, СЛ 183, СЛ 184)

со стерильными анализаторами «С» типа оказались полностью стерильны (класс 0) независимо от источника стерильности. Это позволяет отнести все линии второй группы к полным закрепителям стерильности боливийского типа ЦМС (ЗС). Никакого различия между линиями этой группы по закрепительной способности не наблюдалось.

Проведенные исследования позволили установить, что самоопыленные линии третьей группы оказались естественными восстановителями фертильности боливийского типа ЦМС, однако они различались между собой по восстановительной способности. Восстановление фертильности в анализирующих скрещиваниях с линиями СЛ 191 и СЛ 193 происходило полностью, уровень фертильности высокий (класс 4, 5). У линий СЛ 192 и СЛ 193 полное восстановление фертильности отмечено только в скрещиваниях с тестером РД 187С×РД 189 ЗС, а в скрещивании с тестерами РД 201 С×РД 202 ЗС и РД 211 С×РД 212 ЗС выявлены частично фертильные метелки (класс 2, 3). Полученные результаты служат доказательством того, что первые две являются полными (ВС), а две последние – неполными (НВС) восстановителями фертильности «С» типа ЦМС.

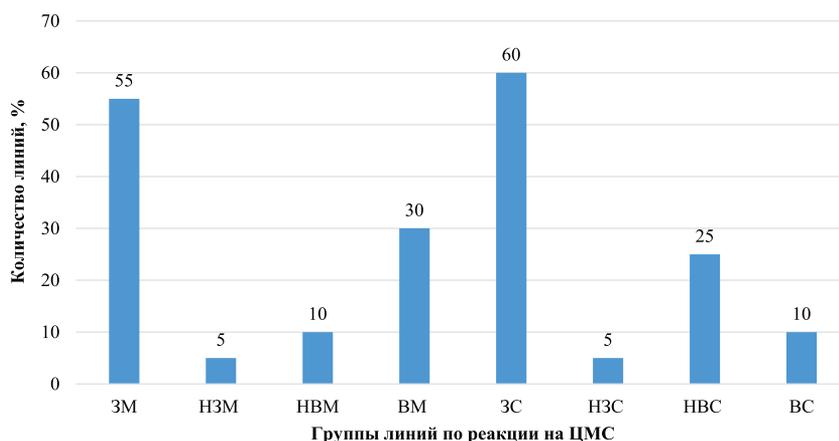
Новые самоопыленные линии четвертой группы, независимо от принадлежности к подгруппе (IVa или IVb), имели абсолютно одинаковую реакцию на «С» тип ЦМС. В скрещиваниях этих линий со всеми источниками стерильно-

сти потомство было полностью стерильным (класс 0). То есть линии этой группы отнесены к полным закрепителям стерильности боливийского типа ЦМС (ЗС).

Проведенные исследования выявили зависимость реакции новых самоопыленных линий кукурузы на «С» тип ЦМС от их происхождения. Линии, полученные из одного и того же исходного материала, как правило, имели сходную реакцию.

Для селекционеров наибольшую практическую ценность представляют линии, характеризующиеся полной восстановительной способностью (ВМ, ВС) или полной закрепительной способностью (ЗМ, ЗС). Линии, полностью восстанавливающие фертильность – естественные восстановители фертильности, могут быть использованы в качестве отцовских форм гибридов кукурузы, семеноводство которых ведется на стерильной основе. А самоопыленные линии – полные закрепители стерильности больше подходят в качестве материнских форм. По таким линиям, как правило, не возникает сложностей при создании стерильных аналогов.

В наших исследованиях естественные восстановители «М» типа ЦМС составили 30 % от общего количества линий, полные закрепители стерильности – 55 %. Остальные новые линии имели промежуточную реакцию: неполные восстановители либо неполные закрепители стерильности (см. рис.).



Распределение самоопыленных линий кукурузы по реакции на «М» и «С» тип ЦМС (2021–2023 гг.)
Distribution of self-pollinated maize lines according to their response to the “M” and “C” types of CMS (2021–2023)

Примечание. ЗМ – закрепители стерильности; НЗМ – неполные закрепители; НВМ – неполные восстановители, ВМ – восстановители «М» типа ЦМС; ЗС – закрепители стерильности; НЗС – неполные закрепители; НВС – неполные восстановители; ВС – восстановители «С» типа ЦМС.

Доля естественных восстановителей «С» типа ЦМС составила 10 %, а доля полных закрепителей стерильности – 60 %. Неполные закрепители и неполные восстановители фертильности в сумме составили 30 %.

Выводы. Реакция новых самоопыленных линий кукурузы на «М» и «С» тип ЦМС зависела от их происхождения. Линии, полученные из одного и того же исходного материала,

как правило, имели одинаковую реакцию. Различия между линиями по восстановительной способности были тем меньше, чем ближе родство этих линий. Выявлено, что линии первой группы, за исключением линии СЛ 173, относятся к закрепителям стерильности «М» типа ЦМС, линии подгруппы Ia – к закрепителям «С» типа ЦМС, линии подгруппы Ib – неполным закрепителям, неполным и полным восстанови-

телям «С» типа ЦМС. Все линии второй группы являются полными закрепителями стерильности боливийского и восстановителям молдавского типа ЦМС с различным уровнем восстановления. Линии третьей группы отнесены к полным восстановителям «М» типа и восстановителям разного уровня «С» типа стерильности. Все линии четвертой группы классифици-

рованы как полные закрепители стерильности молдавского и боливийского типов ЦМС.

Проведенные исследования позволили выявить самоопыленные линии – естественные восстановители фертильности и полные закрепители стерильности, представляющие наибольшую ценность при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу.

Библиографические ссылки

1. Анисимова И.Н. Структурно-функциональная организация генов, индуцирующих и супрессирующих цитоплазматическую мужскую стерильность у растений // Генетика. 2020. № 11. С. 1239–1249. DOI: 10.31857/S0016675820110028
2. Анисимова И.Н., Гавриленко Т.А. Цитоплазматическая мужская стерильность и перспективы ее использования в селекционно-генетических исследованиях и семеноводстве картофеля // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(1). С. 83–95 DOI: 10.18699/VJ17.226
3. Кибальник О.П., Эльконин Л.А. Влияние разных типов стерильных цитоплазм (A3, A4, 9E) на комбинационную способность ЦМС-линий сорго // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(6). С. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648
4. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Косогорова Н.И. С-тип цитоплазматической мужской стерильности кукурузы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 2. С. 12–14.
5. Хатефов Э.Б., Шомахов Б.Р., Кушова 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: 10.30901/2658-6266-2019-4-02
6. Bohra A., Jha U.C., Adhimoolam P., Bisht D., Singh N.P. Cytoplasmic male sterility (CMS) in hybrid breeding in field crops // Plant Cell Reports. 2016. Vol. 35(5), P. 967–993. DOI: 10.1007/s00299-016-1949-3
7. 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
8. Loussaert D., DeBruin J., Pablo J. S. M., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T, Albertsen M. Genetic Male Sterility (*Ms44*) Increases Maize Grain Yield // Crop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2313–2890. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654
9. Zhang H., Cui G., Wang C., Wang X., Hao Y., Du J., Wang Y., Sun Y. Breeding and Characteristics of a New Male Sterile Line of Maize, Jinyu1A // Scientia Agricultura Sinica. 2020. Vol 53, Iss. 21. P. 4322–4332. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

References

1. Anisimova, I.N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya genov, indutsiruyushchikh i supressiruyushchikh tsitoplazmaticheskuyu muzhskuyu steril'nost' u rastenii [Structural and functional organization of genes that induce and suppress cytoplasmic male sterility in plants] // Genetika. 2020. № 11. S. 1239–1249. DOI: 10.31857/S0016675820110028
2. Anisimova I.N., Gavrilenco T.A. Tsitoplazmaticheskaya muzhskaya steril'nost' i perspektivy ee ispol'zovaniya v selektsionno-geneticheskikh issledovaniyakh i semenovodstve kartofelya [Cytoplasmic male sterility and prospects for its use in breeding and genetic research and potato seed production] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2017. № 21(1). S. 83–95 DOI: 10.18699/VJ17.226
3. Kibal'nik O. P., El'konin L.A. Vliyanie raznykh tipov steril'nykh tsitoplazm (A3, A4, 9E) na kombinatsionnuyu sposobnost' TsMS-linii sorgo na kombinatsionnuyu sposobnost' TsMS-linii sorgo [The effect of different types of sterile cytoplasms (A3, A4, 9E) on the combining ability of CMS sorghum lines on the combining ability of CMS sorghum lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2020. № 24(6). S. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648
4. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Kosogorova N.I. S-tip tsitoplazmaticheskoi muzhskoi steril'nosti kukuruzy [C-type cytoplasmic male sterility of maize] // Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk. 2007. № 2. S. 12–14.
5. Khatyefov E. B., Shomakhov B. R., Kushkhova R. S., Kudaev R. A., Khashirova Z. T., Gyaurgiev A. Kh. Kharakteristika rediploidnykh linii kukuruzy seleksii VIR po kombinatsionnoi sposobnosti i reaktsii na TsMS [Characteristics of rediploid maize lines bred by VIR in terms of combining ability and response to CMS] // Biotehnologiya i selektsiya rastenii. 2019. № 2(4). S. 15–23. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-02
6. Bohra A., Jha U.C., Adhimoolam P., Bisht D., Singh N.P. Cytoplasmic male sterility (CMS) in hybrid breeding in field crops // Plant Cell Reports. 2016. Vol. 35(5), P. 967–993. DOI: 10.1007/s00299-016-1949-3
7. 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
8. Loussaert D., DeBruin J., Pablo J. S. M., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T, Albertsen M. Genetic Male Sterility (*Ms44*) Increases Maize Grain Yield // Crop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2313–2890. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654
9. Zhang H., Cui G., Wang C., Wang X., Hao Y., Du J., Wang Y., Sun Y. Breeding and Characteristics of a New Male Sterile Line of Maize, Jinyu1A // Scientia Agricultura Sinica. 2020. Vol 53, Iss. 21. P. 4322– 4332. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

Поступила: 22.09.23; доработана после рецензирования: 10.10.23; принята к публикации: 12.10.23.

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; Игнатъев А. С. – анализ данных и интерпретация, выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.