

**Г. Я. Кривошеев**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт им. И.Г. Калиненко  
(347740, г. Зерноград, Научный городок, д.3; [vniizk30@mail.ru](mailto:vniizk30@mail.ru),

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ПО СОСТАВУ АЛЛЕЛЕЙ ГЕНОВ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ФЕРТИЛЬНОСТИ «С» ТИПА СТЕРИЛЬНОСТИ**

Самоопыленные линии кукурузы идентифицированы по составу аллелей генов – восстановителей фертильности  $Rf_4$ ,  $Rf_5$ ,  $Rf_6$  «С» типа ЦМС. Генотип линии СП 286 –  $rf_4 rf_4 rf_5 rf_5 rf_6 rf_6$ , все гены- восстановители представлены в рецессивном состоянии. В генотипе линии СП 357 все гены- восстановители в доминантном состоянии ( $Rf_4$ ,  $Rf_5$ ,  $Rf_6$ ). В генотипе линий СП 275 и СП 331 по два гена- восстановителя представлены в доминантном состоянии и по одному- в рецессивном состоянии.

Результаты исследований позволяют прогнозировать реакцию линий на стерильную цитоплазму «С» типа ЦМС. Самоопыленная линия СП 286 в скрещивании с любыми стерильными линиями будет иметь стерильное потомство. Полное восстановление фертильности будет происходить в любой комбинации скрещивания с линией СП 357. Восстановление фертильности в скрещивании с линиями СП 257 и СП 331 будет зависеть от генотипа подобранной пары для скрещивания.

Классификация линий по генам восстановителям фертильности позволит выбирать удобную программу перевода гибридов кукурузы на стерильную основу, определить место линии в гибриде.

**Ключевые слова:** стерильность, фертильность, гены – восстановители, анализаторы, самоопыленные линии, тесткроссные гибриды.

**G.Ya. Krivosheev**, Candidate of Agricultural Sciences  
FSBSE All-Russian Research Institute of Grain Crops after I.G. Kalinenko  
(347740, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3, [vniizk30@mail.ru](mailto:vniizk30@mail.ru))

## **CLASSIFICATION OF MAIZE LINES ACCORDING TO THE CONTENT OF ALLELES OF ‘C’ TYPE FERTILITY-RESTORER GENES**

Self-pollinated lines of maize have been identified according to the content of alleles of fertility-restorer genes  $Rf_4$ ,  $Rf_5$ ,  $Rf_6$  of ‘C’ type of CMS. Genotype of the line SP 286 –  $rf_4 rf_4 rf_5 rf_5 rf_6 rf_6$  possesses restorer genes in recessive state. Genotype of the line SP 357 possesses

restorer genes in dominant state ( $Rf_4$ ,  $Rf_5$ ,  $Rf_6$ ). Genotype of the lines SP 275 and SP 331 possesses two restorer genes in dominant state and one gene in recessive state. The study results allow forecasting reaction of the lines on sterile cytoplasm 'C' type of CMS. Self-pollinated line SP 286 is going to possess sterile progeny in hybridization with any sterile lines. Fertility will completely be restored in any hybridization with the line SP 357. Fertility restoration in any hybridization with the lines SP 257 and SP 331 will depend on the genotype of the chosen pair. Classification of lines according to the content of fertility-restorer genes will allow finding a suitable program of transferring maize hybrids on a sterile basis and determining position of lines in a hybrid.

**Keywords:** *sterility, fertility, restorer genes, analyzers, self-pollinated lines, test-crossing hybrids.*

Селекция гибридной кукурузы предполагает использование цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). Применение ЦМС является необходимой предпосылкой организации крупного промышленного семеноводства кукурузы. В настоящее время в Российской Федерации используют 3 типа стерильности: «М», «С», «SD». Техасский тип ЦМС («Т») запрещен для применения с 1990 года в связи с угрозой распространения южного гельминтоспориоза.

Использование различных типов стерильности позволяет увеличить цитоплазматическое разнообразие гибридов, снизить опасность потерь урожаев от болезней, связанных с цитоплазмой, во многих случаях упрощает перевод гибридов на стерильную основу и таким образом повышает эффективность использования ЦМС в семеноводстве кукурузы.

В последние годы возрастает доля гибридов, переведенных на стерильную основу «С» типа ЦМС. Созданы стерильные по «С» типу тестеры, которые включены в программы селекции новых гибридов кукурузы [3].

Первым этапом перевода гибридов на стерильную основу является изучение реакции новых самоопыленных линий. Подобные исследования важны для выбора наиболее удобной программы перевода гибрида на стерильную основу. Реакция самоопыленных линий кукурузы на стерильность «С» типа зависит от используемого источника и может варьировать от полной стерильности до полной фертильности. Это объясняется сложной природой восстановления фертильности «С» типа ЦМС. Реакция линий является результатом цитоплазменно – ядерного взаимодействия стерильного тестера и линий.

Контроль осуществлялся тремя комплементарными доминантными генами  $Rf_4$ ,  $Rf_5$  и  $Rf_6$ . Полное устойчивое восстановление фертильности происходит только при наличии всех трех генов в доминантном состоянии [4].

Восстановление мужской фертильности в «С» цитоплазме иногда может происходить в присутствии не только трех, но и двух генов  $Rf_4$  и  $Rf_5$  или  $Rf_4$  и  $Rf_6$ , однако в этом случае полнота восстановления фертильности зависит в большей степени от внешних условий и того, на каком генотипическом фоне и в каком состоянии (гетерозиготном или гомозиготном) находятся указанные гены. По силе действия  $Rf$  гены являются не равнозначными  $Rf_4 > Rf_5 > Rf_6$  [1].

**Материалы и методы.** Для идентификации линий взяты 7 анализаторов (стерильных источников) специально подобранных гомозиготных форм, различающихся по генам восстановления. Анализаторы систематизированы по составу аллелей генов восстановления (табл. 1).

Идентификация подобранных источников стерильности по генам-восстановителям выполнена различными исследователями [2, 4, 5]. Генотип стерильного источника Гб 834 С -  $rf_4rf_4rf_5rf_5rf_6rf_6$ , то есть три гена присутствуют в рецессивном состоянии. У источника R 211С в доминантном состоянии один ген –  $Rf_6$ , а два  $rf_4$  и  $rf_5$  – в рецессивном. По одному гену восстановителю в доминантном состоянии присутствует у источника 149 С ( $Rf_5$ ) и источника Кр 21 С ( $Rf_4$ ). В генотипе стерильных источников WF 9 С, LC и W401 С представлены по два гена восстановителя фертильности в доминантном состоянии, но все эти источники различаются по сочетанию генов. У стерильного источника WF 9 С в доминантном состоянии гены  $Rf_5$  и  $Rf_6$ , у источника LC –  $Rf_4$  и  $Rf_6$ , у источника W 401 С –  $Rf_4Rf_5$ .

#### 1. Источники стерильности «С» типа ЦМС.

Название	Генотип источника	Класс источника
Гб 834 С	$rf_4rf_4rf_5rf_5rf_6rf_6$	I
R 221 С	$rf_4rf_4rf_5rf_5Rf_6Rf_6$	II
149 С	$rf_4rf_4Rf_5Rf_5rf_6rf_6$	III
Кр 21 С	$Rf_4Rf_4rf_5rf_5rf_6rf_6$	IV
WF 9 С	$rf_4rf_4Rf_5Rf_5Rf_6Rf_6$	V
L С	$Rf_4Rf_4rf_5rf_5Rf_6Rf_6$	VI
W 401 С	$Rf_4Rf_4Rf_5Rf_5rf_6rf_6$	VII

Фертильность растений определяли по шкале Гентаровского В.А. [1] на основе изучения характера цветения метелок (в фазе начала и конца цветения).

Уровень фертильности выражали следующими классами: класс 0 – полная стерильность, все или почти все стерильные пыльники находятся в стерильных колосьях; 1 – полная стерильность, значительное или массовое количество стерильных пыльников выходят наружу; класс 2 – неполная стерильность, количество фертильных пыльников не превышает 25 %; класс 3 – частичная фертильность, количество фертильных пыльников 25 – 75 %; класс 4 – неполная фертильность, количество фертильных пыльников превышает 75 %; класс 5 – полная фертильность. Классы 0 и 1 относим к стерильным (С), 2 и 3 – к частично фертильным (ЧФ), 4 – 5 — к фертильным (Ф).

Классификацию новых линий по аллелям генов *rf* проводили на основе изучения цветения метелок F<sub>1</sub> – тесткроссных гибридов, полученных от скрещивания источников стерильности с линиями.

Для изучения взяты четыре новые самоопыленные линии СП 286, СП 275, СП 331 и СП 357, которые включены в программы скрещивания по созданию новых гибридов кукурузы. Все самоопыленные линии были скрещены с каждым анализатором для получения тесткроссных гибридов (F<sub>1</sub>).

**Результаты.** Характер цветения метелок тесткроссных гибридов зависел от комбинации скрещивания (табл. 2).

## 2. Характер цветения метелок тесткроссных гибридов F<sub>1</sub>, 2012 – 2014 гг.

Линии	Источники стерильности (анализаторы)						
	I Г6834с - - -	II R 811C - - +	III 149 C - + -	IV Кр 21C + - -	V WF9C - + +	VI LC + - +	VII W401C + + -
СП 286	с	с	с	с	с	с	с
СП 275	с	с	с	ф	с	ф	ф
СП 331	с	ф	с, чф	с	чф, ф	ф	ф
СП 375	ф	ф	ф	ф	ф	ф	ф

с – стерильные, чф – частично фертильные, ф – фертильные.

«-» - наличие рецессивного аллеля «+» - наличие доминантного аллеля

Все тесткроссные гибриды, полученные с участием новой самоопыленной линии СП 286 (Г6834с×СП 286, R 811C×СП 286, 149 C×СП 286, Кр 21C×СП 286, WF9C×СП 286, LC×СП 286, W401C×СП 286,) отличались полной стерильностью. Тесткроссные гибриды линии СП 275 (Г6834с×СП 275, R 811C ×СП 275, 149 C×СП 275, WF9C×СП 275,) характеризовались полной стерильностью, а тесткроссы Кр 21C×СП 275, LC×СП 275, W401C×СП 275 оказались полностью фертильными. Значительным различием по

характеру цветения метелок отличались тесткроссные гибриды, созданные с участием линии СП 331. Гибриды Г6831 с×СП 331 и Кр 21с×СП 331 были полностью стерильными, гибрид 149 с×СП 331 также имел в основном стерильные метелки и незначительное количество частично фертильных метелок невысокого уровня (класс 2). Расщепление на частично фертильные растения (класс 3) и полностью фертильные отмечено в потомстве тесткроссного гибрида WF 9С×СП 331.

Все тесткроссные гибриды линии СП 357 (Г6834с ×СП357, R 811С×СП357, 149 С×СП357, Кр 21С×СП357, WF9С×СП357, LC×СП357, W401С×СП357) характеризовались полной фертильностью.

Учитывая современные представления о генетическом контроле «С» типа ЦМС, а также анализируя полученные данные характера цветения тесткроссов от скрещивания со всеми стерильными источниками, новые самоопыленные линии классифицированы по генам – восстановителям фертильности (табл. 3).

### 3. Классификация самоопыленных линий кукурузы по генам - восстановителям фертильности «С» типа ЦМС (2012 – 2014 гг.)

Линии	Генотип			Класс
СП 286	rf <sub>4</sub> rf <sub>4</sub>	rf <sub>5</sub> rf <sub>5</sub>	rf <sub>6</sub> rf <sub>6</sub>	I
СП 275	rf <sub>4</sub> rf <sub>4</sub>	Rf <sub>5</sub> Rf <sub>5</sub>	Rf <sub>6</sub> Rf <sub>6</sub>	V
СП 331	Rf <sub>4</sub> Rf <sub>4</sub>	Rf <sub>5</sub> Rf <sub>5</sub>	rf <sub>6</sub> rf <sub>6</sub>	VII
СП 357	Rf <sub>4</sub> Rf <sub>4</sub>	Rf <sub>5</sub> Rf <sub>5</sub>	Rf <sub>6</sub> Rf <sub>6</sub>	VIII

Результаты исследований свидетельствуют, что изученные линии имеют различный состав аллелей генов – восстановления.

В связи с тем, что все тесткроссные потомства от скрещивания линии СП 286 с анализаторами всех семи классов характеризовались полной стерильностью, генотип оцениваемой линии может быть представлен только рецессивными генами восстановителями - rf<sub>4</sub>rf<sub>4</sub>rf<sub>5</sub>rf<sub>5</sub>rf<sub>6</sub>rf<sub>6</sub>. Новая самоопыленная линия СП 275 в скрещивании с анализаторами I, II, III и V классов имела стерильные потомства, а в скрещивании с анализаторами IV, VI и VII классов - полностью фертильное потомство. Это возможно, если генотип оцениваемой линии rf<sub>4</sub>rf<sub>4</sub>Rf<sub>5</sub>Rf<sub>5</sub>Rf<sub>6</sub>Rf<sub>6</sub>, то есть два гена- восстановителя (Rf<sub>5</sub>Rf<sub>6</sub>), представлены в доминантном состоянии, а один (rf<sub>4</sub>) - в рецессивном.

Линия СП 331 имела в скрещивании с анализаторами I, II, III классов стерильное потомство, а с анализаторами IV, V, VI, и VII классов -фертильное потомство, что возможно только в том случае, если генотип линии Rf<sub>4</sub>Rf<sub>4</sub>Rf<sub>5</sub>Rf<sub>5</sub>rf<sub>6</sub>rf<sub>6</sub>, то есть гены Rf<sub>4</sub>Rf<sub>5</sub> присутствуют в доминантном состоянии, а ген rf<sub>6</sub> – в рецессивном. Незначительное

количество не полностью стерильных растений в скрещивании с анализатором второго класса и незначительное количество частично фертильных растений в скрещивании с анализатором пятого класса возможно связано с генетической невыравненностью линии СП331, либо наличием в её генотипе генов – модификаторов.

Новая линия СП 357 в скрещивании со всеми анализаторами имела фертильное потомство, следовательно, генотип линии  $Rf_4Rf_4Rf_5Rf_5Rf_6Rf_6$ , представлен тремя генами – восстановителями в доминантном состоянии.

Проведенные исследования позволяют отнести линию СП 286 к закрепителям стерильности «С» типа ЦМС. Линии СП 275 и СП 331 относятся к не полным закрепителям, или переменным восстановителям фертильности, которые будут восстанавливать фертильность лишь в отдельных комбинациях. Линия СП 357 является естественным (константным) восстановителем «С» типа стерильности, вследствие чего будет восстанавливать фертильность в любых комбинациях скрещиваний.

При скрещивании линий с известным генотипом реально предвидеть характер цветения метелок гибридного потомства, что очень важно при переводе гибридов на стерильную основу.

В таблице 4 представлен прогноз поведения линий, классифицированных по генам – восстановителям, в стерильной цитоплазме «С» типа. Рассмотрены все возможные комбинации скрещиваний. В случае замещения у одной из линий нормальной цитоплазмы на стерильную и скрещивании с другой линией будут получены следующие результаты. Скрещивание линии СП 286 со стерильной цитоплазмой «С» типа с линиями СП 275 и СП 331 позволит получить стерильные гибриды СП 286 С×СП 275 3С и СП 286 С×СП 331 3С. Сочетание линий СП 286 С и СП 357 ВС позволит получить фертильный восстановленный гибрид. Полное восстановление фертильности будет происходить в случае скрещивания линий СП 275 С и СП 331 С с линией СП 357 ВС.

4. Прогнозирование поведения линии с известным генотипом в стерильной цитоплазме «С» типа ЦМС

Линии	СП 286 - - -	СП 275 - + +	СП 331 + + -	СП 357 + + +
СП 286 - - -		с - + +	с + + -	ф + + +
СП 275 - + +	с - + +		ф + + +	ф + + +
СП 331 + + -	с + + -	ф + + +		ф + + +
СП 357 + + +	ф + + +	ф + + +	ф + + +	

с – стерильные, ф – фертильные

«-» наличие рецессивного аллеля, «+» наличие доминантного аллеля

Скрещивания между собой неполных закрепителей СП 331 и СП 275 при замещении у одного из них нормальной цитоплазмы на стерильную позволяет получить фертильный, полностью восстановленный гибрид.

Аналогичные результаты будут получены при проведении реципрокных скрещиваний.

### Выводы

1. Новые самоопыленные линии классифицированы по составу аллелей генов-восстановителей фертильности «С» типа ЦМС.

Генотип линии СП 286 -  $rf_4rf_4rf_3rf_3rf_6rf_6$  все гены восстановители представлены в рецессивном состоянии. Генотип линии СП 275 -  $rf_4rf_4Rf_5Rf_5Rf_6Rf_6$ , в доминантном состоянии присутствуют два гена ( $Rf_5$  и  $Rf_6$ ). К генотипу  $Rf_4Rf_4Rf_5Rf_5rf_6rf_6$  отнесена линия СП 331, в доминантном состоянии гены  $Rf_4$  и  $Rf_5$ . В генотипе линии СП 357 все гены восстановители в доминантном состоянии ( $Rf_4$ ,  $Rf_5$  и  $Rf_6$ ).

2. Классификация линий по генам – восстановителям фертильности позволяет прогнозировать поведение линии в стерильной цитоплазме «С» типа ЦМС. Линия СП 286 отнесена к закрепителям стерильности, закрепление стерильности будет происходить во всех комбинациях скрещивания, за исключением скрещиваний с линиями, содержащими в генотипе все три гена восстановителя в доминантном состоянии. Линия СП 357 отнесена к полным (константным) восстановителям фертильности, восстановление фертильности будет происходить в любой комбинации скрещивания.

Линии СП 257 и СП 331 являются не полными (вариабельными) восстановителями фертильности. Восстановление фертильности будет зависеть от генотипа подобранной пары для скрещивания.

### Литература

1. Гонтаровский, В.А. Генетическая классификация источников цитоплазматической мужской стерильности у кукурузы/ В.А. Гонтаровский // Генетика. – 1971. - №9. С. 22-30.
2. Горбачева, А.Г. Селекционные и генетические аспекты использования мужской стерильности :автореферат диссертации доктора с. –х. наук. / А.Г. Горбачева.- Санкт-Петербург, 2007. – 48 с.

3. *Кривошеев, Г.Я.* Реакция родительских форм гибридов кукурузы на засушливые и влагообеспеченные условия выращивания / Г.Я. Кривошеев, А.Г. Горбачева, И.А. Ветошкина // Кукуруза и сорго. – 2013. №4. С. 18 – 23.
4. *Огняник, Л.Г.* Селекционно – генетическое изучение цитоплазматической мужской стерильности и использование в селекции и семеноводстве кукурузы :автореферат диссертации кандидата с. –х. наук/ Л.Г. Огняник.– Краснодар, 1998. – 27 с.
5. *Франковская, М.Т.* Особенности использования «С» типа цитоплазматической мужской стерильности в семеноводстве гибридов кукурузы: автореферат диссертации кандидата с. –х. наук/ М.Т. Франковская. – Харьков, 1989. – 22 с.

#### **Literature**

1. *Gontarovskiy, V.A.* Genetic classification of sources of cytoplasmic male sterility of maize/ V.A. Gontarovskiy// Genetics. – 1971. - №9. P. 22-30.
2. *Gorbacheva, A.G.* Selection and genetic aspects of use of male sterility: synopsis of thesis of D.of Ag.Sc/ A.G. Gorbacheva. – St. Petersburg, 2007. – 48 p.
3. *Krivosheev, G.Ya.* Response of parent forms of maize hybrids to dry and wet growing conditions/ G.Ya. Krivosheev, A.G. Gorbacheva, I.A. Vetoshkina// Maize and sorghum. – 2013. №4. P. 18 – 23.
4. *Ognyanik, L.G.* Selection-genetic study of cytoplasmic male sterility and its use in selection and seed-growing of maize: synopsis of thesis of C.of Ag.Sc/ L.G. Ognyanik. – Krasnodar, 1998. – 27 p.
5. *Frankovskaya, M.T.* Peculiarities and use of S-type of cytoplasmic male sterility in seed-growing of maize hybrids:synopsis of thesis of C.of Ag.Sc/ M.T. Frankovskaya. – Kharkov, 1989. – 22 p.