

DOI 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106

УДК 633.15.631.52.632.112

Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Игнатъев А. С.

## ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ОЦЕНКИ

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»

**Реферат.** Учитывая, что в Российской Федерации более половины посевов кукурузы расположены в зонах с недостаточным и неустойчивым увлажнением, селекция на засухоустойчивость крайне актуальна для этой культуры. Цель исследований – изучение засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы различными методами, выделение лучших образцов для дальнейшей селекции, выявление косвенных критериев оценки засухоустойчивости. Исследования выполнены в АНЦ «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области, характеризующейся неустойчивым увлажнением. Годы проведения исследования оказались засушливыми (ГТК = 0,32–0,89). В качестве исходного материала использованы новые самоопыленные линии кукурузы, которые по мере завершения создания изучали по устойчивости к водному стрессу (в 2011–2013 гг. – 41 шт., в 2015–2017 гг. – 39 шт., 2018–2020 гг. – 25 шт.). Используя методические указания по селекции кукурузы, учитывали следующие признаки продуктивности: количество початков на одном растении, массу одного початка, массу 1000 зерен, количество зерен на початке и др. В 2011–2013 гг. на основе комплексной оценки выделены новые среднеранние засухоустойчивые самоопыленные линии кукурузы: ДК47111, СП203, КС211, С204 и С238. Они характеризовались невысокими значениями остаточного водного дефицита как в фазе цветения (6,9–12,8 %), так и в фазе молочно-восковой спелости (9,0–13,4 %), высоким индексом засухоустойчивости (68,6–85,6 %), мощной корневой системой (усилие отрыва растений от грунта 54,0–67,7 кгс), минимальным разрывом в цветении мужских и женских соцветий (1–2 сут). В 2015–2017 гг. по остаточному водному дефициту (ОВД) были выделены линии: КВ334, RD6, ДС498/217-4, ДС257/85-3, ДС257/85-1, ДС257/85-6, ДС257/85-4. В исследованиях 2018–2020 гг. высокую устойчивость к водному стрессу проявили новые самоопыленные линии кукурузы: КС317А, КВ240, ЛШ16, С86, ЛШ17 и ЛШ2. Рекомендованы критерии отбора при создании новых линий – это отсутствие бесплодия и озерненности початков.

**Ключевые слова:** кукуруза (*Zea mays* L.), самоопыленные линии, гибриды, индекс засухоустойчивости, остаточный водный дефицит.

**Для цитирования:** Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Игнатъев А. С. Засухоустойчивость новых самоопыленных линий кукурузы и методы ее оценки // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 95–106. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106.

**For citation:** Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Ignatiev A. S. Drought tolerance of the new self-pollinated lines of maize and the methods of its estimation // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 3(27). P. 95–106. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106.

### Введение

До 80 % сельскохозяйственных угодий в Российской Федерации находятся в зоне рискованного земледелия [1]. Учитывая, что кукуруза относится к влаголюбивым культурам, засуха для нее считается одним из наиболее вредоносных стресс-факторов внешней среды [2]. Около половины посевов

кукурузы в России расположены в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения. Анализ метеоданных за последние десятилетия свидетельствует об усилении аридности климата [3]. Все это подтверждает важность направления селекции на засухоустойчивость для кукурузы.

Под засухоустойчивостью растений понимают их способность при высоких температурах, низкой атмосферной влажности воздуха и почвы более продуктивно расходовать запасы влаги и формировать при этом высокую урожайность и качество зерна в сравнении с незасухоустойчивыми формами [4].

В научно-исследовательских учреждениях имеются программы селекции на засухоустойчивость [5]. Для оценки засухоустойчивости растений используются различные методы [6, 7]. Один из наиболее распространенных – метод остаточного водного дефицита. Остаточный водный дефицит – это недостающее до полного насыщения клеток количество воды, выраженное в процентах от общего его содержания при полном насыщении тканей [8].

Чем мощнее корневая система, тем более засухоустойчивы растения, поэтому некоторые исследования направлены на изучение корневой системы сельскохозяйственных растений [9].

О засухоустойчивости генотипа можно судить по урожайности, которую он формирует в условиях дефицита влаги. Однако более надежный показатель – это снижение урожайности в засушливых условиях по сравнению с влагообеспеченными. Это снижение, выраженное в процентах, называют индексом засухоустойчивости [10]. Все растения снижают урожайность в условиях дефицита влаги, однако величина этого снижения меньше у стрессоустойчивых форм.

Некоторые исследователи [12] предлагают использовать для оценки засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы величину разрыва в цветении мужских и женских соцветий. При разрыве в цветении более трех дней происходит снижение урожайности.

Для создания нового стрессоустойчивого исходного материала применяют классические и современные молекулярные методы [13]. Успех в создании гибридов кукурузы для зон с дефицитом влаги зависит от наличия такого исходного материала.

**Цель исследований** – изучение засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы различными методами, выделение лучших образцов для дальнейшей селекции, выявление косвенных критериев оценки засухоустойчивости.

#### **Материалы и методы исследований**

Исследования выполняли в 2011–2013 и 2015–2020 гг. в «Аграрном научном центре «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области, характеризующейся неустойчивым увлажнением, климат – умеренно-континентальный. Почва опытного участка – обыкновенный чернозем, мощностью 120 см с содержанием гумуса 3,3–3,4%. Годы проведения исследований характеризовались как засушливые (ГТК = 0,32–0,89). Во все годы в период вегетации кукурузы отмечали суховейные явления и почвенную и воздушную засухи, максимальная температура воздуха достигала 35–40 °С. Такие погодные условия создали фон для выделения засухоустойчивых генотипов.

В качестве исходного материала использовали новые среднеранние самоопыленные линии кукурузы, которые, по мере завершения создания (выполнения шестого самоопыления – I6) изучали по засухоустойчивости. В 2011–

2013 гг. в изучение вовлекли 41 самоопыленную линию, в 2015–2017 гг. – 39, в 2018–2020 гг. – 25.

В качестве стандарта в 2011–2013 и 2018–2020 гг. использовали линию PLS 61 ЗМ, в 2015–2017 гг. – линию КС 211.

В 2011–2013 гг. засухоустойчивость оценивали методом остаточного водного дефицита [14], по индексу засухоустойчивости [15], по разрыву в цветении мужских и женских соцветий [11, 12], по мощности корневой системы [16].

Индекс засухоустойчивости рассчитывали как отношение урожайности второго срока посева (менее благоприятного) к первому (более благоприятному) выраженное в процентах. Схема закладки опытов определения индекса засухоустойчивости в 2011–2013 гг.: первый срок посева – 41 линия в двух повторностях на делянках 10 м<sup>2</sup>, второй срок – 41 линия в двух повторностях на делянках 10 м<sup>2</sup>.

Мощность корневой системы оценивали предложенным нами способом. Мы предположили, что усилие, необходимое для вырывания растений при прочих равных условиях (фаза развития растений, плотность, влажность почвы и т.д.) требуется тем большее, чем мощнее корневая система у растений. Усилие, определенное в момент отрыва растений, выразили в килограммах силы (кгс). Сравнение этого показателя у самоопыленных линий между собой и со стандартом позволило дифференцировать их по мощности корневой системы.

Прирост остаточного водного дефицита (ОВД) определяли по разности величин водного дефицита в фазе молочно-восковой спелости и фазе цветения.

Для оценки засухоустойчивости в дальнейших исследованиях (2015–2020 гг.) был выбран классический метод – по остаточному водному дефициту, как один из наиболее распространенных, надежных и наименее затратных.

Создание новых самоопыленных линий кукурузы вели стандартным методом [17]. Используя методические указания по селекции кукурузы, учитывали следующие признаки продуктивности: количество початков на одном растении, массу одного початка, массу 1000 зерен, количество зерен на початке, количество рядов зерен, количество зерен в ряду, выход зерна при обмолоте.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по Доспехову [18].

Рисунки и таблицы иллюстрируют лучшие линии по изучаемым признакам.

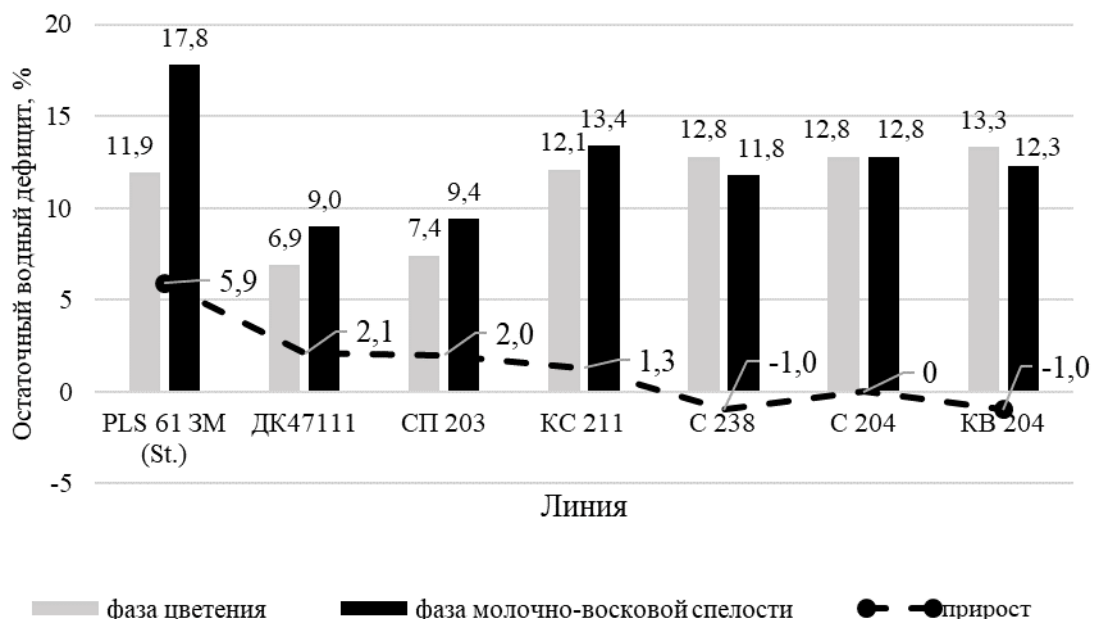
### Результаты и их обсуждение

В 2011–2013 гг. изучали сестринские линии, созданные в результате самоопыления гибридной комбинации Fc 18 × KB 215. Линия Fc 18 получена из мировой коллекции (Франция), линия KB 215 – селекции «АНЦ “Донской”». В процессе создания расхождение сестринских линий началось со второго инцухта. Новые линии константны (достигли шестого самоопыления), относятся к среднеранней группе спелости (ФАО 200), подвиду кукуруза зубовидная (*Zea mays* L. subsp. *identata*).

В 2011–2013 гг. засухоустойчивость линий кукурузы изучена различными методами. С использованием метода остаточного водного дефицита выделены шесть самоопыленных линий из 41 изученной. Стандарт – линия PLS 61 ЗМ характеризовалась невысокой засухоустойчивостью: высокий ОВД в фазе молочно-восковой спелости – 17,8 %, высокий прирост ОВД – 5,9 %.

Низкие и невысокие значения ОВД как в фазе цветения (6,9–13,3 %), так и в фазе молочно-восковой спелости (9,0–13,4 %), отмечали у линий ДК 47111, СП

203, КВ 204, КС 211, С 204 и С 238. Прирост ОВД в процессе усиления засухи был незначительным (1,3–2,1 %) либо отсутствовал (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Изменение остаточного водного дефицита у лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2011–2013 гг.)**

Снижение урожайности в засушливых условиях по отношению к влагообеспеченным является показателем засухоустойчивости.

Выделены среднеранние линии, достоверно превысившие стандарт по индексу засухоустойчивости – ДК 47111, СП 203, С 95, КС 211, С 204 и С 238 (68,6–85,6 %). У стандартной линии значение индекса засухоустойчивости составило 52,6 % (таблица 1).

**Таблица 1 – Индекс засухоустойчивости лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2011–2013 гг.)**

Линия	Урожайность зерна при 14 % влажности, т/га		Индекс засухоустойчивости, %
	первый срок посева	второй срок посева	
PLS 61 3М (St.)	0,78	0,41	52,6
ДК 47111	1,11	0,95	85,6
СП 203	1,22	0,98	80,3
С 95	0,84	0,65	77,4
С 204	1,19	0,92	77,3
КС 211	1,20	0,86	71,7
С 238	1,21	0,83	68,6
НСР <sub>05</sub>	0,25	0,14	14,8

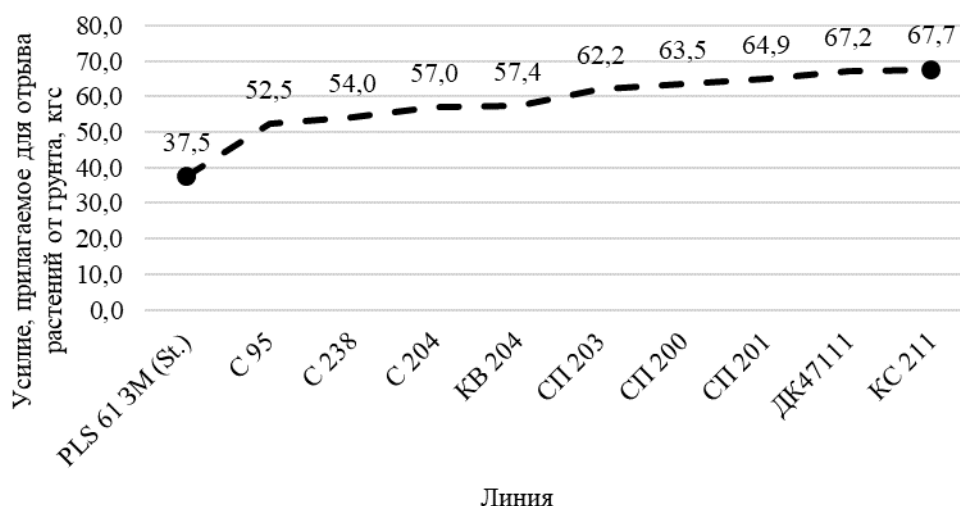
Метод оценки засухоустойчивости по разрыву в цветении мужских и женских соцветий позволил дифференцировать изучаемый исходный материал. Чем меньше разрыв в цветении между метелками и початками растений кукурузы, тем лучше проходит процесс опыления в условиях дефицита влаги и высоких температур воздуха. Учитывая, что нормальный процесс опыления нарушается при разрыве в цветении более трех суток, к лучшим отнесены линии, у которых этот показатель

составляет трое и менее суток. Выделены среднеранние самоопыленные линии с минимальным разрывом в цветении: ДК 47111 и С 196 (одни сутки), СП 200, СП 203, С 29, С 95, КС 211, КС 212, КС 214, С 204 и С 238 (двое суток), С 13, С 86 и КВ 204 (трое суток). Всего из 41 исследованной линии выделены 14. У стандартной линии разрыв в цветении составил трое суток (таблица 2).

**Таблица 2 – Разрыв в цветении между мужскими и женскими соцветиями у среднеранних самоопыленных линий кукурузы**

Линия	Количество дней от цветения метелок до цветения початков			
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2011–2013 гг.
PLS 61 3М (St.)	3	2	4	3
ДК 47111	1	1	2	1
С 196	1	1	2	1
КС 211	2	2	2	2
КС 212	2	2	3	2
КС 214	1	2	3	2
С 29	3	2	2	2
С 95	2	2	3	2
С 204	2	2	3	2
С 238	2	2	2	2
СП 200	2	2	2	2
СП 203	2	2	3	2
КВ 204	2	3	3	3
С 13	3	3	4	3
С 86	3	3	4	3
НСР <sub>05</sub>				0,5

Мощность корневой системы определяли по усилию отрыва растений от грунта. Достоверно превысили стандарт на 15,2–30,2 кгс по изучаемому признаку среднеранние самоопыленные линии: С 95, С 238, С 204, КВ 204, СП 203, СП 200 СП 201, ДКС 47111 и КС 211. У выделенных линий величина этого показателя составила 52,5–67,7 кгс, у стандартной линии 37,5 кгс (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Усилие, прилагаемое для отрыва растений лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы от грунта (2011–2013 гг.)**

Примечание. НСР<sub>05</sub> = 10,0 кгс.

Используя комплексную оценку, всеми методами выделено пять из 41 среднеранней самоопыленной линии кукурузы: ДК 47111, СП 203, КС 211, С 204, С 238, характеризующихся высокой засухоустойчивостью (таблица 3).

**Таблица 3 – Сводная таблица оценки засухоустойчивости среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2011–2013 гг.)**

Линии	Остаточный водный дефицит	Индекс засухоустойчивости	Разрыв в цветении метелки и початков	Мощность корневой системы
PLS 61 3М (St.)			+	
ДК 47111	+	+	+	+
КС 211	+	+	+	+
С204	+	+	+	+
С238	+	+	+	+
СП 203	+	+	+	+
КВ 204	+		+	+
С 95		+	+	+
СП 200			+	+
КС 212			+	
КС 214			+	
С 13			+	
С 29			+	
С 196			+	
СП 201				+

По трем методам (ОВД, разрыв в цветении, мощностью корневой системы) как засухоустойчивые выделены линии КВ 204 и С 95, по двум (разрыв в цветении, мощность корневой системы) – СП 200, по одному методу (разрыв в цветении метелок и початков) – С 13, С 29, С 196, КС 212, КС 214 и стандарт PLS 61 3М, по мощности корневой системы выделена линия СП 201.

В ходе исследований получены экспериментальные данные, свидетельствующие о совпадении результатов оценки различными методами засухоустойчивости самоопыленных линий кукурузы. Но полного соответствия результатов оценки не отмечено, поэтому, чем больше используют методов оценки засухоустойчивости, тем более точным получается результат.

Однако, использование одновременно нескольких методов оценки засухоустойчивости – очень трудоемкий процесс. Исследователям часто приходится выбирать один метод – наименее трудоемкий и наиболее точный. Среди четырех изученных методов наименее трудоемкими оказались: определение разрыва в цветении между мужскими и женскими соцветиями и метод остаточного водного дефицита. Однако дифференциация линий по засухоустойчивости на основе разрыва в цветении менее точная, чем по ОВД. Поэтому, для дальнейшей работы по изучению устойчивости исходного материала к водному стрессу был выбран классический метод оценки – по остаточному водному дефициту.

В процессе создания новых самоопыленных линий кукурузы селекционеры вынуждены работать с большим количеством исходного материала – самоопыляемыми потомствами (не константными самоопыленными линиями I<sub>2</sub>–I<sub>5</sub>), которые в процессе инцуктирования к шестому поколению достигнут константности.

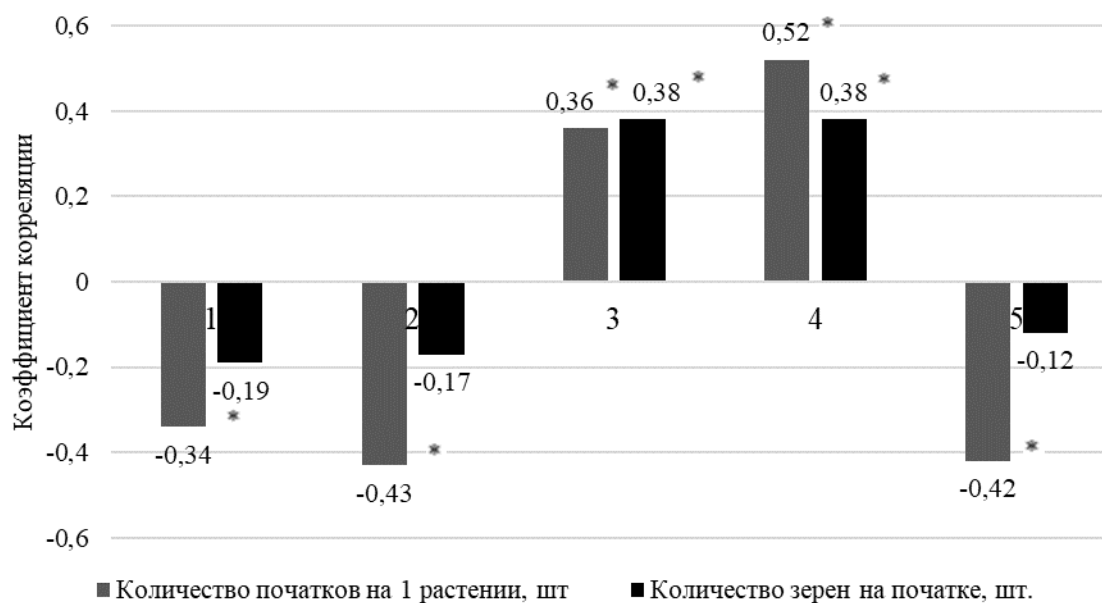
В условиях недостаточного увлажнения необходимы удобные критерии отбора в полевых условиях, которые могут повысить вероятность отбора более засухоустойчивых самоопыляемых потомств. Проведены исследования для выявления таких критериев.

Проведен корреляционный анализ между показателями засухоустойчивости и признаками продуктивности: «количество початков на одном растении», «масса одного початка», «масса 1000 зерен», «количество рядов зерен», «количество зерен в ряду», «количество зерен на початке», «выход зерна при обмолоте».

Выявлены средние положительные и отрицательные корреляционные зависимости между количеством початков на одном растении с одной стороны и мощностью корневой системы ( $r = 0,52 \pm 0,13$ ), ОВД в фазе молочно-восковой спелости ( $r = -0,43 \pm 0,13$ ), разрывом в цветении мужских и женских соцветий ( $r = -0,42 \pm 0,13$ ), индексом засухоустойчивости ( $r = 0,36 \pm 0,13$ ) с другой стороны.

В засушливых условиях самоопыленные линии кукурузы, как правило, формируют в среднем менее одного початка на растении, то есть показатель количества початков на одном растении можно считать обратным величине бесплодия. Следовательно, самоопыленные линии, отличающиеся меньшим количеством бесплодных растений, характеризуются более высокой засухоустойчивостью, а отбор в условиях недостаточного увлажнения по этому признаку позволит выделить желательные генотипы.

Установлены невысокие достоверные коэффициенты корреляции между признаком «количество зерен на початке» и индексом засухоустойчивости ( $r = 0,38 \pm 0,15$ ), а также мощностью корневой системы ( $r = 0,38 \pm 0,15$ ) (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Коэффициенты корреляции между показателями засухоустойчивости и признаками продуктивности (2011–2013 гг.)**

**Примечания:** 1 – прирост остаточного водного дефицита, 2 – остаточный водный дефицит в фазе молочно-восковой спелости, 3 – индекс засухоустойчивости, 4 – мощность корневой системы, 5 – разрыв в цветении между мужскими и женскими соцветиями. \* значимы при  $p \leq 0,01$ .

Признак «количество зерен на початке» в засушливых условиях служит показателем озерненности початков самоопыленных линий кукурузы.

То есть менее засухоустойчивые образцы в условиях недостаточного увлажнения характеризуются череззерницей.

Связь засухоустойчивости с другими признаками продуктивности (масса одного початка, масса 1000 зерен, количество рядов зерен, количество зерен в ряду) самоопыленных линий отсутствовала или оказалась незначительной.

Работа по оценке засухоустойчивости продолжилась в последующие годы. К 2015 г. завершено создание 42 новых сестринских самоопыленных линий кукурузы. Они достигли константности (выполнено шестое самоопыление). В качестве исходного материала для создания линий использован специально созданный гибрид ГК 26 × КВ 262. Линия ГК 26 – из мировой коллекции (США), линия КВ 262 – селекции «АНЦ «Донской». Расхождение сестринских линий – со второго инцухта. Созданные линии среднеспелые (ФАО 200), зубовидные и полузубовидные. В процессе создания линий проводили отбор самоопыляемых потомств с учетом критериев, выявленных в исследованиях 2011–2013 гг.

Новые константные самоопыленные линии были оценены по засухоустойчивости в 2015–2017 гг. методом остаточного водного дефицита. В качестве стандарта для среднеранней группы была принята линия КС 211, которая выделена нами как засухоустойчивая в 2011–2013 гг.

В исследованиях 2015–2017 гг. выделено семь линий (КВ 334, RD 6, ДС 498/217-4, ДС 257/85-3, ДС 257/85-1, ДС 257/85-6, ДС 257/85-4), характеризующихся невысокими значениями водного дефицита в фазе цветения (8,1–11,7 %) и небольшим его приростом (0,6–3,2 %) к фазе молочно-восковой спелости. У линий ДС 257/85-1 и ДС 257/85-4 наблюдали снижение значений ОВД в процессе усиления засухи (на 1,1 и 0,7 % соответственно). Значения ОВД стандартной линии КС 211 в фазе цветения составили 9,9 %, в фазе молочно-восковой спелости – 12,7 %, прирост – 2,8 % (таблица 4).

**Таблица 4 – Изменение остаточного водного дефицита у лучших среднеранних среднеспелых самоопыленных линий кукурузы (2015–2017 гг.)**

Линия	Остаточный водный дефицит, %		
	фаза цветения	фаза молочно-восковой спелости	прирост
КС 211 (St.)	9,9	12,7	2,8
КВ 334	8,1	11,3	3,2
RD 6	8,2	11,4	3,2
ДС 498/217-4	9,3	12,2	2,9
ДС 257/85-3	10,3	11,7	1,4
ДС 257/85-1	11,4	10,3	-1,1
ДС 257/85-6	11,5	12,1	0,6
ДС 257/85-4	11,7	11,0	-0,7
НСР <sub>05</sub>	2,1	2,3	1,1

В 2017 г. в АНЦ «Донской» завершено создание 25 других новых самоопыленных линий кукурузы. В качестве исходного материала использованы зарубежные гибриды: NS 101, NS 221 (Сербия), Pr 36 N 70, Кларика (США) и др., выделившиеся в экологическом испытании. Новые линии не сестринские, среднеранние, относятся к подвиду зубовидной кукурузы. В процессе создания линий проводили отбор самоопыляемых потомств с учетом критериев, выявленных в исследованиях 2011–2013 гг. Для инцухтирования отбирали потомства, не имеющие бесплодных растений, с хорошо озерненными початками.

Новые самоопыленные линии в 2018–2020 гг. были оценены по засухоустойчивости методом остаточного водного дефицита. Выделены среднеранние линии: КС 317 А, КВ 240, ЛШ16, С 86, ЛШ 17 и ЛШ 2 с низкими значениями остаточного водного дефицита в фазу цветения (7,9–10,4 %) и невысоким его приростом в процессе усиления засухи в фазе молочно-восковой спелости (1,5–3,3 %). Стандартная среднеранняя линия PLS 61 ЗМ характеризовалась низкими значениями ОВД в фазе цветения (10,6 %), но высоким его приростом (6,7 %) (таблица 5).



**Таблица 5 – Изменение остаточного водного дефицита у лучших среднеранних самоопыленных линий кукурузы (2018–2020 гг.)**

Линия	Остаточный водный дефицит, %		
	фаза цветения	фаза молочно–восковой спелости	прирост
PLS 61 3М (St.)	10,6	17,3	6,7
КС 317 А	7,9	11,2	3,3
С 86	9,1	12,2	3,1
ЛШ 16	9,7	12,0	2,3
ЛШ 2	9,9	12,6	1,9
КВ 240	10,3	11,8	1,5
ЛШ 17	10,4	12,4	2,0
НСР <sub>05</sub>	2,0	2,5	1,3

Новые устойчивые к водному стрессу линии, выделенные в 2011–2013, 2015–2020 гг., включены в программы скрещиваний для создания засухоустойчивых гибридов кукурузы.

#### **Выводы**

В результате исследований 2011–2013 гг. выделены новые среднеранние засухоустойчивые самоопыленные линии кукурузы: ДК 47111, СП 203, КС 211, С 204 и С 238. Они показали высокую засухоустойчивость, определяемую различными методами: по остаточному водному дефициту, индексу засухоустойчивости, мощности корневой системы и разрыву в цветении мужских и женских соцветий. Среди использованных предпочтительнее классический метод остаточного водного дефицита, как наименее трудоемкий и наиболее точный. Выявлены косвенные критерии засухоустойчивости, которые рекомендуется использовать при отборе самоопыленных потомств в процессе создания линий – отсутствие бесплодия и озерненность початков. Коэффициенты корреляции между количеством початков на одном растении (обратной величине бесплодия) и показателями засухоустойчивости составили  $-0,42$ – $0,52$ . Коэффициент корреляции между количеством зерен на початке (озерненностью) и индексом засухоустойчивости равнялся  $0,38$ .

В 2015–2017 гг. методом остаточного водного дефицита выделены новые засухоустойчивые среднеспелые самоопыленные линии кукурузы: КВ 334, RD-6, ДС 498/217-4, ДС 257/85-3, ДС 257/85-1, ДС 257/85-6, ДС 257/85-4 с невысокими значениями водного дефицита в фазе цветения ( $8,1$ – $11,7$  %) и незначительным его приростом ( $0,6$ – $3,2$  %) или отсутствием прироста в процессе усиления засухи к фазе молочно–восковой спелости.

В исследованиях 2018–2020 гг. высокую устойчивость к водному стрессу проявили новые линии КС 317 А, КВ 240, ЛШ 16, С 86, ЛШ 17 и ЛШ 2.

Самоопыленные линии, выделенные в годы изучения, включены в программы скрещиваний по созданию новых засухоустойчивых гибридов кукурузы.

#### **Литература**

1. Демин А. П. Мелиорация – фактор продовольственной безопасности // Экономика сельского хозяйства России. 2012. № 12. С. 75–85.
2. Witt S., Galicia L., Lisek J., Tiessen A., Araus J. L., Palacios-Rojas N., Fernie A. R. Metabolic and phenotypic responses of greenhouse-grown maize hybrids to experimentally controlled drought stress // Molecular Plant. 2012. Vol. 5. Part. 2. P. 401–417. DOI: 10.1093/mp/ssr102..
3. Попов А. С., Янковский Н. Г., Овсяникова Г. В., Сухарев А. А., Кравченко М. Е. Особенности погодных условий в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России 2012. № 3(21) С. 56–59.
4. Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М.: Наука, 1982. 279 с.

5. Cooper M., Gho C., Leafger R., Tang T., Messina C. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product // *Journal of Experimental Botany*. 2014. Vol. 65. Part 21. P. 6191–6194. DOI: 10.1093/jxb/eru064.
6. Messina C. D., Podlich D., Dong Z., Samples M., Cooper M. Yield-trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance // *Journal of Experimental Botany*. 2011. Vol. 62. Part 3. P. 855–868. DOI: 10.1093/jxb/erq329.
7. Worku M., Groote R., Munyua B., Makumbi D., Owino F., Crossa J., Beyene Y., Mugo S., Jumbo M., Mutinda Ch., Kwemol D., Woyengo V., Olsen M., Prasanna B. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa // *Field Crops Research*. 2020. Vol. 246. No. 107693. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107693.
8. Ионова Е. В., Газе В. Л. Остаточный водный дефицит (ОВД) как показатель засухоустойчивости растений // *Сборник научных трудов ВНИИЗК «Достижения, направления развития сельскохозяйственной науки России»*. Ростов-на Дону: ЗАО «Книга», 2005. С. 306–309.
9. Sharp R. E., Silk W. K., Hsiao T. C. Growth of the maize primary root at low water potentials // *Plant Physiol*. 1988. Vol. 87. P. 55–57. DOI: 10.1104/pp.87.1.50.
10. Щербак В. С., Нагорнов А. И. Возможности использования экзотических рас кукурузы стран Латинской Америки в качестве источников засухоустойчивости // *Сборник научных трудов «Селекция и генетика кукурузы»*. Краснодар: ВАСХНИЛ, 1987. С. 63–72.
11. Романова А. А., Панфилова О. Н. Создание и изучение исходного материала для селекции засухоустойчивых гибридов кукурузы в условиях Нижнего Поволжья // *Кукуруза и сорго*. 2002. № 1. С. 19–22.
12. Панфилова О. Н. Отбор толерантных к засухе инцухт-линий для селекции засухоустойчивых гибридов кукурузы в условиях северо-запада Волгоградской области. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Каменная Степь: Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В. В. Докучаева, 2007. 24 с.
13. Yadav O. P., Hossain F., Karjagi C. G., Kumar B., Zaidi P. H., Jat S. L., Chawla J. S., Kaul J., Hooda K. S., Kumar P., Yadava P., Dhillon B. S. Genetic improvement of maize in India: retrospect and prospects // *Agricultural Research*. 2015. Vol 4. Part 4. P. 325–338. DOI: 10.1007/s40003-015-0180-8.
14. Литвинов Л. С. Методы оценки засухоустойчивости // *Семеноводство*. 1988. № 6. С. 7–12.
15. Fischer R. A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response // *Aust. J. Agric. Res.* 1978. Vol. 29. P. 897–907. DOI: 10.1071/ar9780897.
16. Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А. Отбор по косвенным признакам засухоустойчивых линий кукурузы // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 12. С. 31–34.
17. Соколов Б. П. Методические указания по селекции кукурузы. ВНИИ кукурузы. М.: ВАСХНИЛ. 1982. 56 с.
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) М.: Книга по требованию. 2012. 352 с.

## References

1. Demin A. P. Reclamation is a food security factor // *Economy of Agriculture in Russia*. 2012. No. 12. P. 75–85.
2. Witt S., Galicia L., Lisec J., Tiessen A., Araus J. L., Palacios-Rojas N., Fernie A. R. Metabolic and phenotypic responses of greenhouse-grown maize hybrids to experimentally controlled drought stress // *Molecular Plant*. 2012. Vol. 5. Part. 2. P. 401–417. DOI: 10.1093/mp/ssr102.
3. Popov A. S., Yankovsky N. G., Ovsyanikova G. V., Sukharev A. A., Kravchenko M. E. Peculiarities of climatic conditions in the southern zone of Rostov region // *Grain Economy of Russia*. 2012. No. 3(21) P. 56–59.
4. Genkel P. A. Physiology of heat and drought resistance of plants Moscow: Nauka, 1982. 279 p.
5. Cooper M., Gho C., Leafger R., Tang T., Messina C. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product // *Journal of Experimental Botany*. 2014. Vol. 65. Part 21. P. 6191–6194. DOI: 10.1093/jxb/eru064.
6. Messina C. D., Podlich D., Dong Z., Samples M., Cooper M. Yield-trait performance landscapes: from theory to application in breeding maize for drought tolerance // *Journal of Experimental Botany*. 2011. Vol. 62. Part 3. P. 855–868. DOI: 10.1093/jxb/erq329.
7. Worku M., Groote R., Munyua B., Makumbi D., Owino F., Crossa J., Beyene Y., Mugo S., Jumbo M., Mutinda Ch., Kwemol D., Woyengo V., Olsen M., Prasanna B. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa // *Field Crops Research*. 2020. Vol. 246. No. 107693. DOI: 10.1016/j.fcr.2019.107693.
8. Ionova E. V., Gaze V. L. Residual water deficit (RWD) as an indicator of plant drought resistance // *Collection of research works of the ARRIGC "Achievements, directions of agricultural science development in Russia"*. Rostov-on-Don: "Kniga ZAO" (Close Joint-stock Company), 2005. P. 306–309.

9. Sharp R. E., Silk W. K., Hsiao T. C. Growth of the maize primary root at low water potentials // *Plant Physiol.* 1988. Vol. 87. P. 55–57. DOI: 10.1104/pp.87.1.50.
10. Shcherbak V. S., Nagornov A. I. Possibilities of using exotic types of maize of Latin America as the sources of drought resistance // Collection of research works “Maize breeding and genetics”. Krasnodar: VASKHNIL, 1987. P. 63–72.
11. Romanova A. A., Panfilova O. N. Development and study of initial material for breeding drought-resistant maize hybrids in the Nizhne-Volga region // *Kukuruza i sorgo.* 2002. No.1. P. 19–22.
12. Panfilova O. N. Selection of drought-tolerant inbreeding lines for breeding drought-resistant maize hybrids in the north-west of the Volgograd region: Author’s Abstract ... Cand. Sc. (Agr.). Kamennaya Step: Research Institute of Agriculture of Central Black Earth Belt named after V. V. Dokuchaev, 2007. 24 p.
13. Yadav O. P., Hossain F., Karjagi C. G., Kumar B., Zaidi P. H., Jat S. L., Chawla J. S., Kaul J., Hooda K. S., Kumar P., Yadava P., Dhillon B. S. Genetic improvement of maize in India: retrospect and prospects // *Agricultural Research.* 2015. Vol. 4. Part 4. P. 325–338. DOI: 10.1007/s40003-015-0180-8.
14. Litvinov L. S. Estimation methods of drought resistance // *Semenovodstvo.* 1988. No. 6. P. 7–12.
15. Fischer R. A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response // *Aust. J. Agric. Res.* 1978. Vol. 29. P. 897–907. DOI: 10.1071/ar9780897.
16. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A. Selection by indirect signs of drought tolerant lines of maize // *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2014. No. 12. P. 31–34.
17. Sokolov B. P. Methodical recommendations for maize breeding. All-Russian Research Institute of Maize. Moscow: VASKHNIL, 1982. 56 p.
18. Dospikhov B. A. Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Kniga po trebovaniyu, 2012. 352 p.

UDC 633.15.631.52.632.112

Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Ignatiev A. S.

#### **DROUGHT TOLERANCE OF THE NEW SELF-POLLINATED LINES OF MAIZE AND THE METHODS OF ITS ESTIMATION**

**Summary.** *More than half of the maize crops in the Russian Federation are located in areas with insufficient and unstable moisture. With this in mind, Z. mays breeding for drought tolerance is extremely important. The purpose of the current study is: investigate the drought tolerance of self-pollinated maize lines by various methods, identify the best samples for further breeding, establish indirect criteria for estimating drought tolerance. The study was conducted at the Agricultural Research Center “Donskoy” located in the southern part of the Rostov region, which is characterized by unstable moisture. The years of the study turned out to be dry (Selyaninov Hydrothermal Coefficient (HTC) = 0.32–0.89). The new self-pollinated lines of maize were used as initial material and studied for resistance to water stress (41 pcs. in 2011–2013, 39 pcs. in 2015–2017, 25 pcs. in 2018–2020). According to the guidelines for maize breeding, the following indicators of productivity were taken into account: number of ears per plant, weight of one ear, 1000-grain weight, number of grains per ear, etc. In 2011–2013, based on the comprehensive estimation, new middle-early drought-tolerant self-pollinated lines of maize ‘DK47111’, ‘SP203’, ‘KS211’, ‘S204’ and ‘S238’ were identified. They were characterized by the low values of residual water deficit both in the flowering (6.9 – 12.8%) and milk-wax (9.0 – 13.4%) stage, high drought tolerance index (68.6 – 85.6%), deep root system (force of uprooting the plants from the ground was 54.0–67.7 kgf), minimum gap in the flowering of male and female inflorescences (1–2 days). In 2015–2017, according to the method of residual water deficit (RWD), the following lines were identified ‘KV334’, ‘RD6’, ‘DS498/217-4’, ‘DS257/85-3’, ‘DS257/85-1’, ‘DS257/85-6’, ‘DS257/85-4’. In 2018–2020, the new self-pollinated lines of maize ‘KS317A’, ‘KV240’, ‘LSh16’, ‘S86’, ‘LSh17’ and ‘LSh2’ showed high resistance to water stress. We recommend the following selection criteria when creating new lines: absence of infertility and kernel percentage of the ears*

**Keywords:** *maize (Zea mays L.), self-pollinated lines, hybrids, index of drought resistance, residual water deficit.*

Кривошеев Геннадий Яковлевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: genadiy.krivosheev@mail.ru.

Шевченко Николай Алексеевич, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: kcck-bass@inbox.ru.

Игнатьев Алексей Станиславович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»»; 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: ignatev1983@rambler.ru.

Krivosheev Gennady Yakovlevich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher of the Laboratory for maize breeding and seed production, SSE «Agricultural research center «Donskoy»»; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: genadiy.krivosheev@mail.ru.

Shevchenko Nikolay Alekseevich, research technician of the Laboratory for maize breeding and seed production, SSE «Agricultural research center «Donskoy»»; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: kcck-bass@inbox.ru.

Ignatiev Aleksey Stanislavovich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Laboratory for maize breeding and seed production, SSE «Agricultural research center «Donskoy»»; 3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia; e-mail: ignatev1983@rambler.ru.

*Дата поступления в редакцию – 06.08.2021.*

*Дата принятия к печати – 01.10.2021.*