

Адаптивный потенциал исходного материала для селекции раннеспелых гибридов кукурузы в условиях Центрально-Чернозёмного региона

Н.А. ОРЛЯНСКАЯ, *вед. научн. сотр., канд. с/х наук*

Д.С. ЧЕБОТАРЁВ, *мл. научн. сотр.*

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы», Воронежский филиал (e-mail: vf-nauka@yandex.ru)

Введение

Кукурузе отводится важная роль в решении продовольственной программы и реализации государственной политики импортозамещения путём ускоренного создания новых гибридов и организации системы семеноводства [7].

Создание раннеспелых гибридов кукурузы для условий Российской Федерации, значительная часть территории которой расположена в умеренных широтах, имеет особое значение, так как выращивание в большинстве регионов происходит в условиях ограниченного вегетационного периода и теплообеспеченности.

Преимущества таких гибридов очевидны: посев в северных регионах даёт возможность получать спелое зерно и качественный силос, позволяет экономить затраты на послеуборочное досушивание зерна [3, 9]. В условиях повышения цен на энергоносители, а также во время засухи, когда более поздние гибриды из-за дефицита влаги не могут в полной мере реализовать свой генетический потенциал, возделывание гибридов с коротким периодом вегетации и пониженной уборочной влажностью зерна становится экономически выгодным и в южных регионах страны [1].

Универсальных сортов сельскохозяйственных культур, одинаково пригодных для всех почвенно-климатических условий и экономических регионов, не существует. Даже самый лучший сорт в конкретных условиях проявляет те или иные недостатки. Это в полной мере относится и к гибридам кукурузы, и поэтому создание новых гибридов должно быть регионально ориентированным и вестись с учётом адаптивных возможностей исходных форм, привлекаемых для гибридизации.

Оценка по параметрам экологической адаптивности актуальна как для мирового [8, 10], так и для отечественного земледелия [2, 5, 6]. Экологическое испытание даёт возможность не только оценить генотипы по средней урожайности, но и определить их реакцию на изменение условий среды. Основными показателями нормы реакции генотипа на смену условий среды являются пластичность и стабильность. Экологическая стабильность – это способность генотипа в результате деятельности регуляторных механизмов поддерживать определённый фенотип в различных условиях среды, а пластичность – это реакция на смену условий среды, которая проявляется в фенотипи-

ческой изменчивости. Стабильность и пластичность являются противоположными сторонами модификационной изменчивости. В связи с этим выявление адаптивного потенциала исходного материала для создания раннеспелых гибридов кукурузы является актуальным направлением исследований.

Целью исследования было изучение адаптивных характеристик и нормы реакции новых инбредных линий кукурузы на смену условий выращивания в лесостепи ЦЧР.

В задачи исследования входила оценка исходного материала по параметрам пластичности и стабильности, а также выделение перспективных форм для синтеза раннеспелых гибридов кукурузы.

Материалы и методика исследований

Исследования проводились в Воронежском филиале ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы». Объектом исследования являлись 9 раннеспелых линий нового цикла селекции. Линии получены методом инцухта на основе беккроссного гибрида, генотип которого объединяет ценные составляющие элитных линий, принадлежащих

к генетической плазме Ланкастер и Европейской кремнистой плазме. В процессе самоопыления отбирались генотипы с желательным проявлением признаков (раннее цветение, холодостойкость, высокая продуктивность, интенсивная влагоотдача зерном при созревании, устойчивость к ломкости растений и др.). Предварительно линии также были изучены и выделены по комбинационной способности по признакам «урожайность» и «уборочная влажность зерна» [4].

Полевые опыты закладывались в соответствии с Методикой полевого опыта (1985 г.). Линии изучались в контрольном питомнике. Учётная площадь делянки 7,0 м², повторность трёхкратная, размещение делянок в опыте стандартное. Посев проводился в оптимальные для каждого года сроки, урожайность приведена к стандартной 14%-ной влажности. Влажность зерна определялась непосредственно при уборке экспресс-влажномером.

Статистическая обработка данных для определения достоверности различий выполнена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985 г.). Коэффициент линейной регрессии (b_1), среднее квадратичное отклонение от линии регрессии (S^2) и индекс условий среды (I_j) рассчитывали по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell в изложении В.А. Зыкина с соавторами (1984 г.), показатели стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\min} - Y_{\max})/2$ – по уравнению А.А. Rossielle, J. Hamblin, описанному А.А. Гончаренко (2005 г.), индекс стабильности (ИС) и показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) – по методике, предложенной Э.Д. Неттевичем с соавторами (1985 г.), коэффициент вариации (V) определён по Б.А. Доспехову (1985 г.).

Результаты исследований

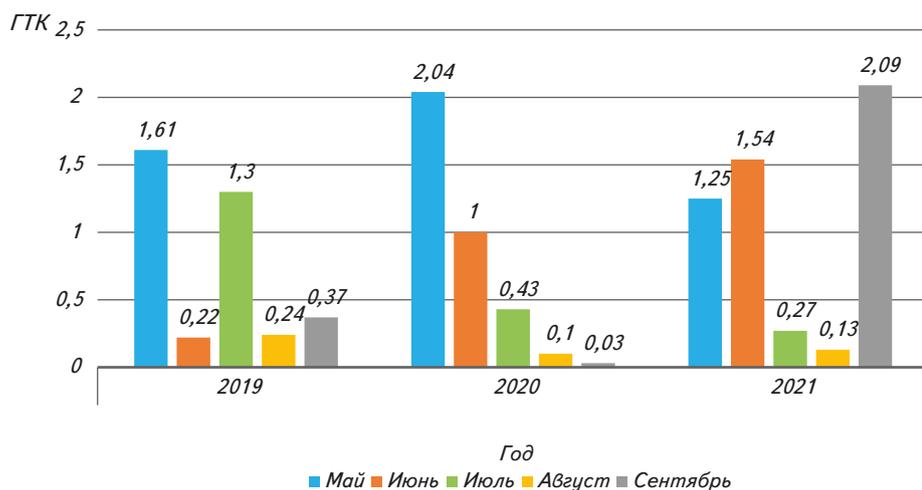
Погодные условия в годы проведения исследований отличались нестабильностью температурного режима и увлажнения. При анализе метеоусловий по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова (ГТК) за период с мая по сентябрь установлено, что ежегодно в течение вегетации кукурузы чередовались влажные (ГТК > 1,3) и засушливые (ГТК < 1,0) периоды разной интенсивности (см. рис.). В условиях Центрально-Чернозёмной зоны урожай кукурузы во многом определяется количеством осадков, выпадающих в летние месяцы (в случае выращивания культуры на богаре), особенно в критический для культуры по водопотреблению период «вымётывание – цветение», приходящийся в условиях региона на июль. Только в июле 2019 г. условия складывались благоприятно, было отмечено достаточное увлажнение (ГТК = 1,3), условия июля 2020 г. характеризовались как сильно засушливые (ГТК = 0,43), в 2021 г. этот месяц был очень сильно засушливым (ГТК = 0,27).

Индекс условий среды отражает характер метеорологических условий в период вегетации культуры. В целом погодные условия в годы исследований по-разному влияли на степень реализации урожайного потенциала изучаемых линий: неблагоприятно в 2021 г. с отрицательным значением индекса среды ($I_j = -0,60$) и благоприятно в 2019-м ($I_j = +0,48$) и 2020 г. ($I_j = +0,12$) (табл. 1).

Урожайность является интегральным показателем и отражает весь комплекс биологических свойств генотипа и адаптивные возможности культуры в различных условиях. В зависимости от метеорологических условий наблюдалось значительное варьирование урожайности у большинства изученных линий. Она была максимальной в 2019 г. и в среднем по опыту составила 2,9 т/га, а в 2021 г. – минимальной (1,81 т/га). Высокие значения коэффициентов вариации отмечены у линий ВК 792/12-22 (51,1 %), ВК 792/12-29 (42,2 %) и ВК 792/12-19 (42,0 %), что указывает на существенную изменчивость их урожайности с макси-

Таблица 1. Урожайность зерна линий кукурузы, 2019–2021 гг.

Линия	Урожайность зерна, т/га			Среднее ($\Sigma x_i/n$), т/га	Коэффициент вариации (V), %
	2019 г.	2020 г.	2021 г.		
F 2, стандарт	2,57	2,23	1,41	2,07	28,8
ВК 792/12-10	3,40	3,05	2,52	2,99	14,8
ВК 792/12-17	2,20	1,94	2,03	2,06	6,4
ВК 792/12-18	2,47	2,19	1,93	2,20	12,3
ВК 792/12-19	4,38	3,32	1,75	3,15	42,0
ВК 792/12-22	3,04	3,15	0,98	2,39	51,1
ВК 792/12-29	2,91	2,11	1,17	2,06	42,2
ВК 792/12-45	1,90	2,16	1,75	1,93	10,7
ВК 792/12-82	3,30	2,85	2,42	2,86	15,4
ВК 792/12-114	2,83	2,40	2,18	2,47	13,4
Среднее ($\Sigma x_j/v$)	2,90	2,54	1,81	–	–
Индекс условий среды (I_j)	+0,48	+0,12	-0,60	–	–
НСР ₀₅ :					
– частных средних		0,35			
– по фактору А (условия)		0,11			
– по фактору В (генотип)		0,20			



Гидротермический коэффициент вегетационного периода в 2019–2021 гг.

мальным проявлением этого признака у двух линий (ВК 792/12-19 и ВК 792/12-29) в благоприятных условиях благодаря полной реализации продуктивного потенциала. Низкой вариабельностью по этому признаку отличался только один образец – ВК 792/12-17 с коэффициентом вариации 6,4 % и средним уровнем урожайности по годам, что свидетельствует о довольно стабильном формировании урожайности во все годы испытания. Следует также отметить линии ВК 792/12-45, ВК 792/12-18, ВК 792/12-114, ВК 792/12-10 и ВК 792/12-82 со средним проявлением вариабельности урожайности, коэффициент вариации которых составил 10,7; 12,3; 13,4; 14,8 и 15,4 % соответственно. Изменчивость урожайности стандарта F 2 находилась на среднем уровне (28,8 %).

Определение нормы реакции изученных линий на изменение условий среды проводили на основе рассчитанных показателей пластичности и стабильности. Оценка степени реакции изучаемых образцов на улучшение условий по показателю экологической пластичности (коэффициент линейной регрессии b_i) позволяет обнаружить среди них интенсивные формы, урожайность которых по-

вышается с улучшением условий вегетации. В нашем опыте к таким отнесены линии ВК 792/12-19 ($b_i = 2,38$), ВК 792/12-22 (2,05) и ВК 792/12-29 (1,56) (табл. 2). Линии ВК 792/12-17 (0,12), ВК 792/12-45 (0,20), ВК 792/12-18 (0,48), ВК 792/12-114 (0,56) слабо отзывались на улучшение условий и квалифицируются как экстенсивные. Но они также представляют ценность, поскольку в неблагоприятных условиях показатели их продуктивности снижались меньше, чем у образцов интенсивного типа. Линию-стандарт F 2 с $b_i = 1,08$ можно отнести к пластичным, так как генотипы с такой характеристикой хорошо приспособлены к различным условиям.

Показатель стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) отражает уровень реакции генотипа на изменение условий выращивания и определяет возможность возделывания его в конкретных почвенно-климатических условиях. Высокую стрессоустойчивость продемонстрировали линии ВК 792/12-17 (-0,26), ВК 792/12-45 (-0,41), ВК 792/12-18 (-0,54), ВК 792/12-114 (-0,65), ВК 792/12-10 (-0,88) и ВК 792/12-82 (-0,88).

Компенсаторная способность ($(Y_{\min} - Y_{\max})/2$) характеризует генетическую гибкость и свидетельствует о способности изучаемых образцов обеспечивать устойчивый урожай в контрастных условиях – стрессовых и благоприятных. По результатам расчётов обнаружено, что линии ВК 792/12-19 (3,07), ВК 792/12-10 (2,96) и ВК 792/12-82 (2,86) показали наибольшую урожайность в контрастных условиях, а следовательно, имели большее соответствие между потенциальными возможностями генотипа и условиями среды.

По величине дисперсии отклонения от линии регрессии (S_i^2) судят о стабильности урожайности. Все линии, кроме ВК 792/12-22, продемонстрировали сходные по этому показателю результаты, минимальные значения признака были близкими к нулевому значе-

Таблица 2. Характеристика линий кукурузы по показателям пластичности

Линия	Коэффициент линейной регрессии (b_i)	Стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$)	Компенсаторная способность $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$
F 2, стандарт	1,08	-1,16	1,99
ВК 792/12-10	0,80	-0,88	2,96
ВК 792/12-17	0,12	-0,26	2,07
ВК 792/12-18	0,48	-0,54	2,20
ВК 792/12-19	2,38	-2,63	3,07
ВК 792/12-22	2,05	-2,17	2,07
ВК 792/12-29	1,56	-1,74	2,04
ВК 792/12-45	0,20	-0,41	1,96
ВК 792/12-82	0,78	-0,88	2,86
ВК 792/12-114	0,56	-0,65	2,51

нию, что позволяет судить об их высокой стабильности (табл. 3).

По результатам расчётов индекса стабильности (ИС) у большинства линий обнаружены высокие значения: ВК 792/12-17 (32,04), ВК 792/12-10 (20,18), ВК 792/12-82 (18,55), ВК 792/12-114 (18,45), ВК 792/12-45 (18,08).

Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) позволяет одновременно учитывать уровень и стабильность урожайности генотипа, здесь выделились линии ВК 792/12-17 (65,89), ВК 792/12-10 (60,33) и ВК 792/12-82 (52,98).

Анализ полученных результатов свидетельствует, что полного совпадения оценок по пластичности и стабильности при их расчёте различными методами не получено. Поэтому для повышения объективности оценки параметров адаптивности следует учитывать значения нескольких показателей. Наибольшую ценность представляют линии, сочетающие высокую пластичность со стабильностью, у которых $b_i > 1$, а S_i^2 стремится к нулю, это интенсивные линии ВК 792/12-19 и ВК 792/12-29. Заслуживают внимания стабильные по урожаю и устойчивые к стрессу линии ВК 792/12-10, ВК 792/12-17, ВК 792/12-18, ВК 792/12-45, ВК 792/12-82 и ВК 792/12-114.

В условиях Центрально-Чернозёмного региона при селекции гибридов необходимо учитывать способность исходного материала к интенсивной влагоотдаче зерном при созревании. Уборочная влажность зерна является одним из важных и высоконаследуемых селекционных признаков, который определяется генотипом, а также погодными условиями в период созревания. Применительно к показателю «уборочная влажность зерна» индекс условий среды с отрицательным значением свидетельствует о благоприятных условиях года, способствующих

интенсивной влагоотдаче зерном при созревании. Наиболее благоприятные условия для влагоотдачи сложились в 2021 г. ($I_j = -2,62$), а условия 2019 г. с положительным индексом ($I_j = +3,25$) определяются как неблагоприятные (табл. 4). Согласно полученным результатам в среднем за три года уборочная влажность почти у всех линий была ниже, чем у стандарта, и находилась на приемлемом уровне в пределах 16,1–20,3 %. Но линии различались по колебанию влажности по годам, большинство из них характеризовались средней вариабельностью признака с коэффициентами вариации на уровне 11,7–22,3 %. Только линия ВК 792/12-10 с $V = 8,8$ % класси-

фицируется как слабовариабельная, уборочная влажность зерна которой по годам составляла 15,1–18,0 %. Средняя уборочная влажность линий ВК 792/12-17, ВК 792/12-22, ВК 792/12-29, ВК 792/12-82 и ВК 792/12-45 была довольно низкой и находилась в пределах 16,1–17,5 %, но только линия ВК 792/12-45 в неблагоприятных для потери влаги условиях 2019 г. показала невысокую влажность зерна (18,3 %), что также позволяет отнести её к ценным.

Заключение

Изучение экологической пластичности и стабильности линий кукурузы позволило выделить наиболее адаптивные генотипы для

Таблица 3. Характеристика линий кукурузы по показателям стабильности

Линия	Среднеквадратичное отклонение от линии регрессии (S_i^2)	Индекс стабильности (ИС)	Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС)
F 2, стандарт	0,01	7,19	14,87
ВК 792/12-10	0,01	20,18	60,33
ВК 792/12-17	0,03	32,04	65,89
ВК 792/12-18	0,01	17,87	39,25
ВК 792/12-19	0,02	7,50	23,62
ВК 792/12-22	0,40	4,67	11,17
ВК 792/12-29	0,03	4,89	10,09
ВК 792/12-45	0,06	18,08	35,02
ВК 792/12-82	0,02	18,55	52,98
ВК 792/12-114	0,03	18,45	45,58

Таблица 4. Уборочная влажность зерна линий кукурузы, 2019–2021 гг.

Линия	Уборочная влажность, %			Среднее ($\Sigma x_i/n$), %	Коэффициент вариации (V), %
	2019 г.	2020 г.	2021 г.		
F 2, стандарт	24,3	20,2	19,1	19,9	12,9
ВК 792/12-10	18,0	16,3	15,1	16,5	8,8
ВК 792/12-17	19,6	16,6	13,2	16,5	19,4
ВК 792/12-18	21,4	18,2	16,3	18,6	13,8
ВК 792/12-19	25,1	18,2	17,5	20,3	20,7
ВК 792/12-22	21,0	17,5	13,8	17,4	20,7
ВК 792/12-29	21,3	16,4	14,0	17,2	21,6
ВК 792/12-45	18,3	15,3	14,8	16,1	11,7
ВК 792/12-82	20,3	18,1	14,2	17,5	17,6
ВК 792/12-114	22,6	16,2	15,2	18,0	22,3
Среднее ($\Sigma x_i/n$)	21,2	17,3	15,3	17,9	–
Индекс условий среды (I_j)	3,25	–0,64	–2,62	–	–



использования в практической селекции в условиях Центрально-Чернозёмного региона. При получении гибридов для интенсивных условий наиболее подходящими среди изученного набора будут линии с высокими значениями коэффициента линейной регрессии (b_i). Проведённые исследования показали, что линии ВК 792/12-19 ($b_i = 2,38$), ВК 792/12-22 ($b_i = 2,05$) и ВК 792/12-29 ($b_i = 1,56$) значительно повышают уровень урожайности при улучшении условий возделывания. Создание гибридов для экстенсивного производства возможно с включением в селекционные программы линий ВК 792/12-17 ($b_i = 0,12$), ВК 792/12-45 ($b_i = 0,20$), ВК 792/12-18 ($b_i = 0,48$), ВК 792/12-114 ($b_i = 0,56$), которые проявляют слабую реакцию на изменение условий выращивания в положительную сторону. Значительным преимуществом таких форм является меньшее снижение продуктивности на неблагоприятном фоне, чем у линий интенсивного типа.

Особой селекционной ценностью обладает исходный материал, характеризующийся интенсивной потерей влаги зерном кукурузы при созревании. Линии ВК 792/12-10 и ВК 792/12-45 с пониженной уборочной влажностью (16,5 и 16,1 % соответственно), стабильно проявляющейся во все годы испытаний, рекомендуется включать в программы скрещиваний при создании гибридов с быстрой влагоотдачей.

Устойчивость линий к стрессу определяет урожайность получаемых гибридов, которая формируется под действием физических и биологических факторов среды. Использование в селекции выделенных форм с высокой стрессоустойчивостью – ВК 792/12-17 ($-0,26$), ВК 792/12-45 ($-0,41$), ВК 792/12-18 ($-0,54$), ВК 792/12-114 ($-0,65$), ВК 792/12-10 ($-0,88$) и

ВК 792/12-82 ($-0,88$) – позволит нивелировать действие неблагоприятных условий возделывания, повысив собираемость урожая.

Полученная информация по адаптивной способности нового исходного материала будет способствовать его целенаправленному применению в селекционных программах по созданию раннеспелых гибридов кукурузы.

Список литературы

1. *Гульняшкин, А.В.* Селекция гибридов кукурузы, адаптированных к засушливым условиям юга России / А.В. Гульняшкин, С.С. Анашенков, Д.В. Варламов // *Зерновое хозяйство России*. – 2013. – № 4. – С. 7–13.

2. *Гульняшкин, А.В.* Оценка экологической стабильности и пластичности новых гибридов кукурузы в различных агроклиматических условиях / А.В. Гульняшкин, А.П. Новичихин, Е.В. Шкарбурко // *Рисоводство*. – 2022. – № 3 (56). – С. 35–40.

3. *Орлянский, Н.А.* Оценка адаптивности раннеспелых (ФАО 140-170) зерновых гибридов кукурузы в экологическом испытании / Н.А. Орлянский, Н.А. Орлянская, Д.С. Чеботарёв // *Вестник аграрной науки*. – 2022. – № 5 (98). – С. 119–126.

4. *Орлянская, Н.А.* Оценка комбинационной способности само-

опылённых семей кукурузы (S_3) смешанной генетической плазмы / Н.А. Орлянская, Н.А. Орлянский, Д.С. Чеботарёв // *Вестник Казанского ГАУ*. – 2022. – Т. 17. – № 2(66). – С. 28–35.

5. *Рыбась, И.А.* Повышение адаптивности в селекции зерновых культур / И.А. Рыбась // *Сельскохозяйственная биология*. – 2016. – № 51(5). – С. 617–626.

6. *Норма и стабильность реакции раннеспелых гибридов кукурузы на условия вегетации* / В.С. Сотченко, А.Г. Горбачёва, А.Э. Панфилов [и др.] // *Кормопроизводство*. – 2020. – № 4. – С. 39–43.

7. *Сотченко, В.С.* Состояние и перспективы селекции и семеноводства кукурузы / В.С. Сотченко, Ю.В. Сотченко // *Кукуруза и сорго*. – 2021. – № 2. – С. 5–11.

8. *Duvick, D.N.* The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.) / D.N. Duvick // *Advanced Agronomy*. – 2005. – Vol. 86. – P. 83–145.

9. *Adaptive approach in maize breeding for the Urals region* / А.Е. Panfilov, N.N. Zezin, N.I. Kazakova, M.A. Namyatov // *International Journal of Biology and Biomedical Engineering*. – 2020. – Vol. 14. – P. 55–62.

10. *Troyer, A.F.* Adaptedness and Heterosis in Corn and Mule Hybrids / A.F. Troyer // *Crop Sci*. – 2006. – V. 46. – № 2. – P. 528–543.

Аннотация. Выделены пластичные линии кукурузы ВК 792/12-19 и ВК 792/12-29, повышающие урожайность при улучшении условий вегетации. Определены стабильные по урожайности, устойчивые к стрессу линии ВК 792/12-10, ВК 792/12-17, ВК 792/12-18, ВК 792/12-45, ВК 792/12-82 и ВК 792/12-114. Выявлены линии с низкой уборочной влажностью зерна – ВК 792/12-10 и ВК 792/12-45. Выделенные линии с высокими адаптивными характеристиками рекомендованы для включения в селекционные программы создания раннеспелых гибридов кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, исходный материал, норма реакции, урожайность зерна, уборочная влажность зерна.

Summary. The plastic lines of corn ВК 792/12-19 and ВК 792/12-29 increase grain yield when environmental conditions improve. We found that the lines ВК 792/12-10, ВК 792/12-17, ВК 792/12-18, ВК 792/12-45, ВК 792/12-82 and ВК 792/12-114 were stable in grain yield and stress resistant. The lines 792/12-10 and ВК 792/12-45 had low grain maturity at harvest. Selected lines with high adaptive characteristics will be used in breeding programmes for developing early-maturing corn hybrids.

Keywords: corn, source material, reaction rate, grain yield, grain maturity at harvest.