

ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ

Г. Я. Кривошеев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

А. С. Игнатьев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;

А. Г. Горбачева², доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела первичного и элитного семеноводства, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;

И. А. Ветошкина², старший научный сотрудник отдела первичного и элитного семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-8040-7040;

Н. А. Орлянская³, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-9456-6640;

О. Н. Панфилова⁴, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ORCID ID: 0000-0001-9417-6717

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы», 357528, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14-Б; e-mail: 976067@mail.ru;

³ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы» (Воронежский филиал), 396835, Воронежская обл., Хохольский р-н, п. Опытной станции ВНИИК; e-mail: vf-nauka@yandex.ru;

⁴Поволжский филиал ФГБНУ ВНИИОЗ, 403121, Волгоградская область, Урюпинский р-он, п. Учхоз; e-mail: filialpovolg@rambler.ru

Изучение десяти родительских форм гибридов кукурузы проведено в 2017–2019 гг. в пяти контрастных по метеоусловиям пунктах испытания: ФГБНУ «АНЦ «Донской», Ростовская обл.; ФГБНУ ВНИИ кукурузы, Ставропольский край; Поволжский филиал ФГБНУ ВНИИОЗ, Волгоградская обл.; Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы, Воронежская обл.; ООО «Лидер», Волгоградская обл. Цель исследований – оценить параметры экологической пластичности и стабильности, используя пункты, контрастные по увлажнению, оценить продуктивный потенциал родительских форм – стерильных простых гибридов кукурузы для оптимизации их дальнейшего использования в селекционно-семеноводческом процессе. Максимальную урожайность зерна родительские простые гибриды сформировали в Воронежском филиале ВНИИ кукурузы, где сложились наиболее благоприятные условия – индекс среды $I_j = +2,2$, наименьший урожай сформирован в условиях «АНЦ «Донской», $I_j = -2,3$. Выделены родительские формы (Мая М и Престиж М) с высокой потенциальной урожайностью зерна (9,1–9,5 т/га). Выявлены родительские формы Алмаз М, Аврора С, Милена М, Мирт М, Мальвина С, Радуга С, Престиж М, Мая М с высокой экологической пластичностью ($bi = 1,03–1,37$), высокой отзывчивостью на благоприятные условия выращивания. Их рекомендуется использовать для создания гибридов кукурузы интенсивного типа. Среди них наиболее высокой гибкостью отличались гибриды Мирт М и Престиж М ($Y_{max} + Y_{min} = 6,2–6,8$). Выделены родительские формы (Альфа М и Исток С) с низкой пластичностью ($bi = 0,76–0,77$), но в то же время высокой экологической стабильностью ($\sigma^2 d = 0,16–0,20$), высокой стрессоустойчивостью ($Y_{min} - Y_{max} = -3,0–3,1$). Они предпочтительны для селекции гибридов кукурузы экстенсивного типа для выращивания в менее благоприятных условиях. Лучшей гомеостатичностью характеризовался гибрид Исток С ($Hom = 4$).

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays* L.), родительские формы, экологическая пластичность, стабильность, гомеостатичность, стрессоустойчивость.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Орлянская Н. А., Панфилова О. Н. Параметры экологической пластичности и стабильности родительских форм гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 82–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-82-88.



PARAMETERS OF ENVIRONMENTAL ADAPTABILITY AND STABILITY OF PARENTAL FORMS OF MAIZE HYBRIDS

G. Ya. Krivosheev¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

A. S. Ignatiev¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;

A. G. Gorbacheva², Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the department of primary and basic seed production, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;

I. A. Vetoshkina², senior researcher of the department of primary and basic seed production, ORCID ID: 0000-0002-8040-7040;

N. A. Orlyanskaya³, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-9456-6640;

O. N. Panfilova⁴, Candidate of Agricultural Sciences, director, ORCID ID: 0000-0001-9417-6717

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3; email: vniizk30@mail.ru;

²FSBSI "All-Russian research institute of maize",

357528, Pyatigorsk, Yermolova Str., 14-B, e-mail: 976067@mail.ru;

³FSBSI "All-Russian research institute of maize" (Voronezh branch),

396835, Voronezh region, Khokholsky district, V. of Experimental station ARRIM; e-mail: vf-nauka@yandex.ru;

⁴Povolzhsky branch of FSBSI ARRIWG,

403121, Volgograd region, Uryupinsky district, V. of Uchkhoz; e-mail: filialpovolg@rambler.ru

The study of ten parental forms of maize hybrids was carried out in 2017–2019 at five testing establishments with contrasting weather conditions, namely FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov Region; FSBSI "All-Russian research institute of maize", Stavropol Territory; Povolzhsky branch of FSBSI ARRIWG, Volgograd region; FSBSI "All-Russian research institute of maize" (Voronezh branch), Voronezh Region; LLC "Leader", Volgograd region. The purpose of the current study was to estimate the parameters of environmental adaptability and stability, using contrasting moisture points, to evaluate the productive potential of parental forms, i.e. sterile simple maize hybrids to optimize their further use in the breeding and seed production process. The parental forms formed the maximum grain productivity in the Voronezh branch of the All-Russian research institute of maize, where there were formed the most favorable conditions with the environmental index $I_j = +2.2$; the smallest productivity was formed under the conditions of the ARC "Donskoy" with $I_j = -2.3$. There have been identified the parental forms ('Maya M' and 'Prestizh M') with a high potential grain productivity (9.1...9.5 t/ha). There have been identified the parental forms 'Almaz M', 'Aurora S', 'Milena M', 'Mirt M', 'Malvina S', 'Raduga S', 'Prestizh M', 'Maya M' with high environmental adaptability ($b_i = 1.03...1.37$), high responsiveness to favorable growing conditions. They have been recommended to be used to develop maize hybrids of intensive type. Among them, there have been identified the most adaptable hybrids 'Mirt M' and 'Prestizh M' with $Y_{\max} + Y_{\min} = 6.2...6.8$. There have been identified the parental forms 'Alfa M' and 'Istok S' with low adaptability ($b_i = 0.76...0.77$), but at the same time with high environmental adaptability ($\sigma_d = 0.16...0.20$) and high stress resistance ($Y_{\min} - Y_{\max} = -3.0...3.1$). They have been found preferable for breeding maize hybrids of extensive type for growing under less favorable conditions. The hybrid 'Istok S' ($H_{om} = 4$) was characterized by the best homeostasis.

Keywords: maize (*Zea mays* L.), parental forms, environmental adaptability, stability, homeostasis, stress resistance.

Введение. Кукуруза – одна из важнейших культур, без которых невозможно укрепление продовольственной базы страны. Необходимость импортозамещения ставит перед селекционной наукой задачи, ориентированные на использование при выращивании растениеводческой продукции семян отечественных гибридов. Для отечественного сельскохозяйственного производства актуальным является возделывание гибридов кукурузы с высоким адаптивным потенциалом (Грабовец и Бирюков, 2021). Для успешной селекции используются родительские формы, обладающие необходимой степенью устойчивости к неблагоприятным факторам среды с высокой урожайностью, скороспелостью, хорошей влагоотдачей, устойчивостью к ломкости стебля и поражению пузырчатой головней, технологичные в семеноводстве в зависимости от направления их использования. Подбор компонентов скрещивания направлен на эффективную реализацию генетического потенциала исходных родительских форм в условиях каждого региона (Сотченко и др., 2021). Повышение степени изученности исходного материала способствует возрастанию его ценности для селекционных программ (Daling et al., 2015; Zhao et al., 2019). Особое внимание следует уделять изучению параметров экологической стабильности сельскохозяйственных культур, это отмечают как зарубежные (Reckling, 2021; Fasahat, 2015), так и отечественные исследователи (Губин и др., 2020; Гудзенко, 2019; Юсова и др., 2020; Новохатин и др., 2022; Максимов, 2021).

Изучение материнских родительских форм позволяет провести оценку их адаптивности по экологической пластичности и стабильности, определить способность генотипов фор-

мировать высокий урожай зерна в различных почвенно-климатических условиях и классифицировать их отзывчивость на улучшение технологии возделывания. Пригодность родительских форм устанавливается на основе всестороннего их изучения в тех условиях, в которых планируется выращивать семена гибридов первого поколения.

Цель исследований – оценить параметры экологической пластичности и стабильности, используя пункты, контрастные по увлажнению, оценить продуктивный потенциал родительских форм – стерильных простых гибридов кукурузы для оптимизации их дальнейшего использования в селекционно-семеноводческом процессе.

Материалы и методы исследований. Изучение 10 родительских форм – стерильных простых гибридов кукурузы проведено в 2017–2019 гг. в 5 пунктах: ФГБНУ ВНИИ кукурузы (Предгорная зона Ставропольского края, богара), Поволжском филиале ВНИИОЗ (богара), ООО «Лидер» (Волгоградская область, орошение), Воронежском филиале ВНИИК (Воронежская область, богара) и «АНЦ «Донской» (Ростовская область, богара). Изучение проводили в питомнике экологического испытания. Оригинатор родительских форм – ВНИИ кукурузы.

Опыты были заложены на двухрядковых делянках с учетной площадью 7,84 м² в 3-кратной повторности в соответствии с Методическими рекомендациями. В каждом пункте в опытах применяли общепринятую для данной зоны технологию выращивания.

Метеорологические условия в пунктах проведения исследований значительно отличались по годам. В «АНЦ «Донской» метеоусловия 2017 г. в целом оказались средне благоприят-

ными для роста и развития растений кукурузы. За период вегетации кукурузы (с 1 мая по 1 сентября) выпало 226,1 мм атмосферных осадков, что составляет 112,8 % среднесуточной нормы. Однако распределение их в течение вегетации было крайне неравномерным. В июле и августе среднесуточная температура воздуха превышала среднесуточную на 1,4 °С, максимальная температура воздуха достигала 39,6 °С, отмечалась сильная воздушная засуха. Метеоусловия 2018 г. в целом оказались неблагоприятны для роста и развития растений кукурузы. За период вегетации кукурузы (с 1 мая по 1 сентября) выпало 93,4 мм атмосферных осадков, что составляет 46,6 % среднесуточной нормы. В течение вегетации кукурузы среднесуточная температура воздуха превышала среднесуточную на 2,5–4,1 °С. Метеоусловия 2019 г. также оказались неблагоприятны для роста и развития растений кукурузы. За период вегетации кукурузы (с 1 мая по 1 сентября) выпало 129,7 мм атмосферных осадков, что составляет 70,8 % среднесуточной нормы, среднесуточная температура воздуха превышала среднесуточную на 1,7–4,7 °С.

Во ВНИИ кукурузы в 2017 г. количество выпавших осадков в мае было 218 мм, что составило половину выпавших осадков за вегетационный период. С июня по сентябрь среднесуточная температура воздуха была близкой к средним многолетним значениям. В 2018 г. температурный фон в мае, июне и июле превышал среднее многолетнее значение на 3,3–3,7 °С, количество выпавших осадков было ниже среднесуточных значений. Жаркие погодные условия 2018 г. и дефицит осадков в период цветения и налива зерна привели к увеличению бесплодия по всем изучаемым гибридам. Погодные условия за весь период вегетации 2019 г. сложились достаточно благоприятно для формирования урожая зерна кукурузы.

В условиях Поволжского филиала погодные условия 2017 г. характеризовались как незначительно засушливые. В течение вегетации кукурузы было достаточно осадков, чтобы обеспечить растениям оптимальный водный и температурный режим. В условиях 2018 г. 56 мм осадков, выпавших в период цветения и опыления початков, позволили получить средний урожай зерна. Погодные условия 2019 г. соответствовали умеренно засушливому характеру увлажнения. За весь период вегетации выпало 132 мм осадков, (многолетнее значение – 167,3 мм).

В ООО «Лидер» все годы изучения характеризовались как засушливые. В 2017 г. за период май–сентябрь выпало 35 мм осадков, в 2018 г.

осадки отсутствовали, в 2019 г. выпало всего 12 мм осадков. За период июль–август отмечались дневные температуры выше 40 °С и относительная влажность воздуха меньше 20 %. Применение орошения снимало стресс растений и позволило получить стабильные урожаи зерна по годам.

Вегетационный период в условиях Воронежского филиала ВНИИК в 2017 г. характеризовался пониженным температурным фоном, среднесуточная температура воздуха оказалась на 2,0 °С ниже нормы, количество осадков составило 86,7 % от среднесуточного значения с довольно равномерным распределением по месяцам. Погодные условия 2018 г. по температурному режиму в среднем были приближены к климатической норме, но уровень увлажнения не достиг среднесуточных показателей, он составил 85 % от нормы с неравномерным распределением. Метеорологические условия 2019 г. оказались наиболее благоприятными, хотя уровни обеспеченности теплом и влагой были несколько ниже климатической нормы (96,9 и 75,1 % соответственно), но выпадавшие осадки в критические для культуры периоды (цветение, налив зерна) способствовали формированию высокого урожая.

В целом для роста и развития растений кукурузы самыми благоприятными следует считать метеоусловия, сложившиеся в Воронежском филиале ВНИИК. Наиболее сильному стрессу были подвержены растения кукурузы в «АНЦ «Донской» и Поволжском филиале ВНИИОЗ. Несмотря на засушливые условия в ООО «Лидер», благодаря орошению растения кукурузы не испытывали дефицита влаги. Средним по метеоусловиям оказался пункт испытания во ВНИИ кукурузы.

Оценку экологической пластичности и стабильности и расчет теоретической урожайности для определения коэффициента стабильности проводили по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в редакции В. А. Зыкина (2005), показатели гомеостатичности (Ном) и селекционной ценности (Sc) – по методике В. В. Хангильдина и Н. А. Литвиненко (1981); показатель стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) – по уравнениям А. А. Росиеллы, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко (2005). Двухфакторный дисперсионный анализ выполнен по методике Б. А. Доспехова (2014).

Результаты и их обсуждение. Урожайность зерна родительских форм – простых гибридов значительно варьировала по пунктам испытания, коэффициенты вариации составили 41,5–68,1 %, наибольшим варьированием отличались гибриды Алмаз М (68,1 %), Милена М (66,0 %) и Аврора С (65,6 %) (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зерна (т/га) и экологическая пластичность родительских форм гибридов кукурузы, 2017–2019 гг.

Table 1. Grain productivity (t/ha) and environmental adaptability of parental forms of maize hybrids, 2017–2019

Фактор А (гибрид)	Фактор В (пункт испытания)					V, %	Σ Xi	Xi	bi
	ВНИИК	Воронежский филиал ВНИИК	Поволжский филиал ВНИИОЗ	ООО «Лидер»	«АНЦ «Донской»				
Альфа М	4,7	5,6	3,6	5,5	2,6	49,6	22,0	4,4	0,77
Алмаз М	5,3	8,1	5,4	8,0	2,6	68,1	29,4	5,9	1,34
Аврора С	3,9	6,6	4,1	6,6	2,4	65,6	23,6	4,7	1,37
Милена М	5,3	7,8	4,1	6,8	2,8	66,0	26,8	5,4	1,20
Исток С	4,7	6,0	4,6	6,3	3,2	41,5	24,8	5,0	0,76
Мирт М	5,7	8,7	5,5	7,6	3,6	58,6	31,1	6,2	1,20
Мальвина С	5,6	8,3	4,3	7,9	3,6	56,2	29,7	5,9	1,26
Радуга С	5,1	7,8	4,9	7,3	3,9	49,1	29,0	5,8	1,03
Престиж М	6,4	9,5	5,0	8,3	4,0	58,7	33,2	6,3	1,34
Мая М	6,2	9,1	5,2	7,2	4,1	55,9	31,8	6,4	1,15
Σxj	52,9	77,5	46,7	71,5	32,8	–	281,4	5,6	–
Xj	5,3	7,8	4,7	7,2	3,3	–	–	–	–
Ij	–0,3	+2,2	–0,9	+1,6	–2,3	–	–	–	–

В наиболее благоприятных пунктах испытания – Воронежском филиале ВНИИК и ООО «Лидер» средняя урожайность зерна соответственно составила 7,8 и 7,2 т/га, наименее благоприятном («АНЦ «Донской») она оказалась самой низкой – 3,3 т/га, промежуточные значения средней урожайности отмечены во ВНИИ кукурузы (5,3 т/га), Поволжском филиале ВНИИОЗ (4,7 т/га). Наиболее высокой потенциальной урожайностью зерна отличались родительские формы Престиж М (9,5 т/га) и Мая М (9,6 т/га) (Воронежский филиал ВНИИ кукурузы).

Для корректного расчета экологической пластичности и стабильности установлено наличие взаимодействия «генотип – среда» для всех изучаемых гибридов. Влияние на изменчивость урожайности фактора А (гибрид) наиболее значительно (81,5 %), фактора В (пункты испытания) – 7,3 %, взаимодействие между факторами А × В – 11,2 %.

Экологическую пластичность гибридов кукурузы следует рассматривать как отклик генотипа на улучшение условий выращивания. В основу расчета пластичности положено предположение о корректности линейной регрессии в отношении характера отклика генотипа на экологические условия. То есть коэффициент линейной регрессии (bi) служит мерой степени реакции генотипа на изменение условий среды. Коэффициент регрессии дает оценку пластичности в генетическом смысле.

Для определения коэффициента линейной регрессии (bi) необходимо определить индексы среды (Ij). Индексы условий среды могут принимать положительные и отрицательные значения. Лучшие условия для формирования урожайности зерна складываются

при положительном значении индекса среды, худшие – при отрицательном. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений кукурузы сложились в пунктах испытания – Воронежский филиал ВНИИК (Ij = +2,2) и ООО «Лидер» (Ij = +1,6), худшие – в «АНЦ «Донской» (Ij = –2,3).

Коэффициент линейной регрессии урожайности гибридов, показывающий реакцию на изменение условий выращивания, может принимать значения больше или меньше 1, а также быть равным 1. Чем выше значение коэффициента bi > 1, тем большей отзывчивостью обладает генотип. Высокой экологической пластичностью характеризовались родительские формы Алмаз М (bi = 1,34), Аврора С (bi = 1,37), Милена М (bi = 1,20), Мирт М (bi = 1,20), Мальвина С (bi = 1,26), Престиж М (bi = 1,34), Мая М (bi = 1,15). Они требовательны к высокому уровню агротехники, условиям выращивания, только при этом будет получен максимум отдачи. Их предпочтительно использовать для создания гибридов кукурузы интенсивного типа. Наименее отзывчивыми на условия выращивания оказались родительские формы Альфа М (bi = 0,77) Исток С (bi = 0,76). Такие генотипы предпочтительнее использовать для получения гибридов, выращиваемых на экстенсивном фоне.

При условии bi = 1 или значении, близком к единице, имеет место полное соответствие изменения урожайности генотипа изменению условий выращивания, к таковым относится родительская форма Радуга М.

Реакция родительских форм на условия внешней среды наглядно может быть представлена линиями регрессии (см. рисунок).

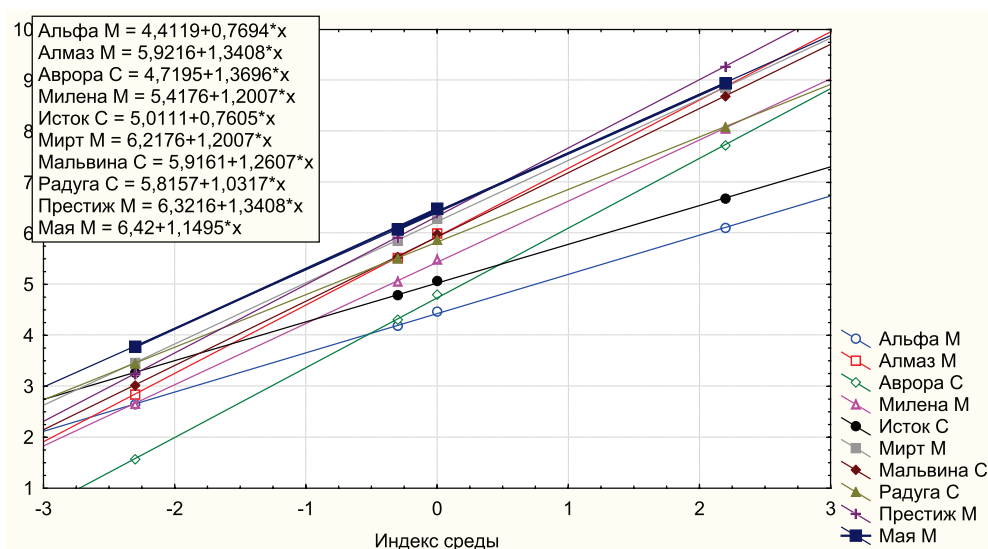


График линий регрессии урожайности родительских форм гибридов кукурузы
 Plot of regression lines for productivity of parental forms of maize hybrids

Гибриды Альфа М и Исток С имеют более пологие линии регрессии. Они отличаются меньшей изменчивостью урожайности зерна на изменение условий выращивания. Родительская форма Радуга С с коэффициентом регрессии, близким к единице ($b_i = 1,03$), имела средний наклон линии регрессии. Остальные родительские формы характеризовались более крутыми линиями регрессии, причем наибольший наклон линии регрессии имела родительская форма Аврора С с максимальным коэффициентом ($b_i = 1,37$) и, следовательно, с наиболее сильной реакцией на условия внешней среды.

Показателем экологической стабильности генотипа является среднеквадратическое отклонение $\sigma^2d = \Sigma \sigma^2ij / (n-2)$, где $\Sigma \sigma^2ij$ – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от расчетной (теоретической), n – количество

пунктов испытания. Чем σ^2d ближе к нулю, тем выше стабильность генотипа, изменчивость продуктивности гибридов в этом случае вызвана только влиянием условий внешней среды, а не их генетическими особенностями.

Лучшими показателями экологической стабильности характеризовались гибриды Альфа М ($\sigma^2d = 0,17$), Исток С ($\sigma^2d = 0,20$), Мирт М ($\sigma^2d = 0,16$), Милена С ($\sigma^2d = 0,26$), Мальвина С ($\sigma^2d = 0,26$). Примечательно, что среди них Мальвина М и Мирт М характеризовались и высокой экологической пластичностью, а Аврора М и Исток С – низкой (табл. 2). Худшими показателями экологической стабильности отличались родительские формы Аврора С ($\sigma^2d = 0,87$) и Радуга С ($\sigma^2d = 0,85$), имея при этом высокие значения пластичности.

Таблица 2. Отклонение теоретической урожайности от фактической и экологическая стабильность родительских форм гибридов кукурузы, 2017–2019 гг.
 Table 2. Deviation of theoretical productivity from actual and environmental stability of parental forms of maize hybrids, 2017–2019

Фактор А (гибрид)	Фактор В (пункт испытания)					$\Sigma \sigma^2ij$	σ^2d
	ВНИИК	Воронежский филиал ВНИИК	Поволжский филиал ВНИИОЗ	ООО «Лидер»	«АНЦ «Донской»		
Альфа М	0,5	–0,5	–0,1	–0,1	0,0	0,52	0,17
Алмаз М	–0,2	–0,7	0,7	0,0	–0,2	1,06	0,35
Аврора С	–0,4	–1,1	0,6	–0,3	0,9	2,61	0,87
Милена М	0,3	–0,2	–0,2	–0,5	0,2	0,79	0,26
Исток С	–0,1	–0,7	0,3	0,1	–0,1	0,61	0,20
Мирт М	–0,1	–0,1	0,4	–0,5	0,2	0,47	0,16
Мальвина С	0,1	–0,4	–0,5	0,0	0,6	0,78	0,26
Радуга С	–0,3	–0,9	0,3	–0,6	1,1	2,56	0,85
Престиж М	0,5	0,3	–0,1	–0,1	0,8	1,00	0,33
Мая М	0,1	0,2	–0,2	–1,0	0,3	1,15	0,38

Наряду с показателями экологической пластичности и стабильности для целенаправленного использования исходного материала в селекционном процессе могут быть полезны и другие параметры, характеризующие адаптивность генотипов. В частности, пока-

затель гомеостатичности, характеризующий устойчивость изучаемого генотипа к изменяющимся условиям среды. Наиболее высоким значением ($Hom = 4$) этот показатель отмечался у гибрида Исток С (табл. 3).

Таблица 3. Параметры адаптивности гибридов кукурузы, 2017–2019 гг.
Table 3. Adaptability parameters of maize hybrids, 2017–2019

Гибрид	Hom	Sc	$(Y_{\min} - Y_{\max})$	$(Y_{\max} + Y_{\min})/2$
Альфа М	3	2,0	–3,0	4,1
Алмаз М	2	1,9	–5,5	5,4
Аврора С	2	1,7	–4,2	4,5
Милена М	2	1,9	–5,0	5,3
Исток С	4	2,5	–3,1	4,8
Мирт М	2	2,6	–5,1	6,2
Мальвина С	2	2,6	–4,7	6,0
Радуга С	3	5,0	–0,8	5,0
Престиж М	3	3,3	–3,9	5,9
Мая М	2	2,7	–5,5	6,8

Самым высоким значением показателя селекционной ценности обладал гибрид Радуга С ($Sc = 5,0$). Этот же гибрид отличался лучшей стрессоустойчивостью ($-0,8$), которая выражается в числовой разнице между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min} - Y_{\max}$). Неплохие показатели стрессоустойчивости имели гибриды Альфа М ($-3,0$) и Исток С ($-3,1$). Чем меньше разница в урожае зерна, полученного в контрастных по благоприятности пунктах испытания, тем выше стрессоустойчивость и тем шире ареал возможного использования гибрида.

Показатель гибкости изучаемых генотипов представляет среднюю урожайность зерна $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$ в различающихся (контрастных) условиях выращивания. Наиболее высокой гибкостью характеризовались гибриды Мирт М ($6,2$) и Престиж М ($6,8$).

Выводы. Пункты экологического испытания оказались контрастными по метеоусловиям. Наибольшая урожайность зерна кукурузы была получена в самых благоприятных усло-

виях (Воронежский филиал ВНИИК), наименьшая – в засушливых условиях «АНЦ «Донской». Изучение экологической пластичности и стабильности позволило установить, что большинство представленных родительских форм (Алмаз М, Аврора С, Милена М, Мирт М, Мальвина С, Радуга С, Престиж М, Мая М), созданных во ВНИИ кукурузы, характеризовались высокой экологической пластичностью ($bi = 1,03 - 1,37$). Их предпочтительно использовать для создания гибридов кукурузы интенсивного типа для благоприятных условий возделывания. Слабой экологической пластичностью отличались родительские формы Альфа М ($bi = 0,77$) и Исток С ($bi = 0,76$), которые рекомендуются использовать для создания гибридов экстенсивного типа, то есть для менее благоприятных условий выращивания. Эти же родительские формы имели более высокие значения экологической стабильности ($\sigma^2d = 0,17 - 0,20$) и стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max} = -3,0 \dots -3,1$). Гибрид Исток С характеризовался наибольшим показателем гомеостатичности ($Hom = 4$).

Библиографические ссылки

1. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.
2. Грабовец А.И., Бирюков К.Н. Роль сорта в стабилизации производства зерна в широком диапазоне агроклиматических факторов // Земледелие. 2021. № 5. С. 41–45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45.
3. Губин С.В., Логинова А.М., Гетц Г.В. Экологическая адаптивность новых гибридов кукурузы с участием линий омской селекции // АПК России. 2020. Т. 27, № 3. С. 421–426.
4. Гудзенко В.Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 1. С. 110–118. DOI 10.18699/VJ19.469.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.
6. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа: БашГАУ, 2005. 100 с.
7. Максимов Р.А. Метод определения параметров адаптивной способности с использованием множественного регрессионного анализа взаимосвязи урожайности и ее элементов структуры // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 6. С. 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601.
8. Новохатин В.В., Шеломенцева Т.В., Драгавцев В.А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности и гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной истории селекции в Северном Зауралье) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81rus
9. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Ветошкина И.А., Орлянская Н.А. Характеристика элитных линий кукурузы по основным хозяйственно ценным признакам // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 2. С. 60–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-2-100-60-67.
10. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2. С. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105.
11. Daling M., Ruizhi X., Fenglu Z., Jian L., Shuanming L., Haili L., Yuee L., Yinqiao G., Shaokun L. Genetic contribution to maize yield gain among different locations in China // Maydica. 2015. Vol. 60(1), P. 11–18.

12. Fasahat P., Rajabi A., Mahmoudi S.B., Noghabi M.A., Rad J.M. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. // *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2015. Vol. 2(5), P. 149–159. DOI: 10.15406/bbij.2015.02.00043.
13. Reckling M., Ahrends H., Chen T-W. Eugster W., Hadasch S., Knapp S., Laidig F., Linstädter A., Macholdt J., Piepho H-P., Schiffrers K., Döring T.F. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. March // *Agronomy for Sustainable Development*. 2021. Vol. 41, Article number 27. DOI: 10.1007/s13593-021-00681-4.
14. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // *Genes*. 2019. Vol. 10(6), Article number 445. DOI: 10.3390/genes10060445.

References

1. Goncharenko A.A. Ob adaptivnosti i ekologicheskoi ustoichivosti sortov zernovykh kul'tur [On the adaptability and environmental sustainability of grain crop varieties] // *Vestnik RASKhN*. 2005. № 6. S. 49–53.
2. Grabovets A.I., Biryukov K.N. Rol' sorta v stabilizatsii proizvodstva zerna v shirokom diapazone agroklimaticheskikh faktorov [The role of the variety in the stabilization of grain production in a wide range of agro-climatic factors] // *Zemledelie*. 2021. № 5. S. 41–45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45.
3. Gubin S.V., Loginova A.M., Getts G.V. Ekologicheskaya adaptivnost' novykh gibridov kukuruzy s uchastiem linii omskoi selektsii [Environmental adaptability of new maize hybrids with participation of Omsk breeding lines] // *APK Rossii*. 2020. T. 27, № 3. S. 421–426.
4. Gudzenko V.N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh linii yachmenya ozimogo [Statistical and graphical (GGE biplot) estimation of the adaptive capacity and stability of winter barley breeding lines] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2019. T. 23, № 1. S. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.
5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
6. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii [Methodology for calculating and estimating parameters of ecological plasticity of agricultural plants]. Ufa: BashGAU, 2005. 100 s.
7. Maksimov R.A. Metod opredeleniya parametrov adaptivnoi sposobnosti s ispol'zovaniem mnozhestvennogo regressionnogo analiza vzaimosvyazi urozhainosti i ee elementov struktury [Method for determining the parameters of adaptive capacity using multiple regression analysis of the correlation between productivity and its structural elements] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021. T. 35, № 6. S. 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601.
8. Novokhatin V.V., Shelomentseva T.V., Dragavtsev V.A. Novyi kompleksnyi podkhod k izucheniyu dinamiki povysheniya adaptivnosti i gomeostatichnosti u sortov myagkoi yarovoi psheinitsey (na primere dlitel'noi istorii selektsii v Severnom Zaural'e) [A new integrated approach to the study of the dynamics of increasing adaptability and homeostasis in the spring bread wheat varieties (on the example of a long breeding history in the Northern Trans-Urals)] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2022. T. 57, № 1. S. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81rus
9. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Vetoshkina I.A., Orlyanskaya N.A. Kharakteristika elitnykh linii kukuruzy po osnovnym khozyaistvenno tsennym priznakam [Characteristics of basic maize lines according to the main economically valuable traits] // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2021. № 2. S. 60–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-2-100-60-67.
10. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Adaptivnost' sortov yachmenya po priznaku «massa 1000 zeren» v usloviyakh lesostepi Omskoi oblasti [Adaptability of barley varieties according to 1000-grain weight in the conditions of the forest-steppe of the Omsk region] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. T. 34, № 2. S. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105.
11. Daling M., Ruizhi X., Fenglu Z., Jian L., Shuanming L., Haili L., Yuee L., Yinqiao G., Shaokun L. Genetic contribution to maize yield gain among different locations in China // *Maydica*. 2015. Vol. 60(1). P. 11–18.
12. Fasahat P., Rajabi A., Mahmoudi S.B., Noghabi M.A., Rad J.M. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. // *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2015. Vol. 2(5). P. 149–159. DOI: 10.15406/bbij.2015.02.00043.
13. Reckling M., Ahrends H., Chen T-W. Eugster W., Hadasch S., Knapp S., Laidig F., Linstädter A., Macholdt J., Piepho H-P., Schiffrers K., Döring T.F. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. March // *Agronomy for Sustainable Development*. 2021. Vol. 41, Article number 27. DOI: 10.1007/s13593-021-00681-4.
14. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // *Genes*. 2019. Vol. 10(6), Article number 445. DOI: 10.3390/genes10060445.

Поступила: 08.02.23; доработана после рецензирования: 21.02.23; принята к публикации: 22.02.23.

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., Горбачева А.Г. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьев А.С., Ветошкина И.А., Орлянская Н.А., Панфилова О.Н. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных, интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.