

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ КОЛИЧЕСТВЕННЫМИ ПРИЗНАКАМИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИМИ УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ

Г.Я. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672; **А.С. Игнатьев**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600 ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Подбор пар для гибридизации требует знаний о взаимосвязи важнейших количественных признаков, влияющих на урожайность зерна гибридов кукурузы. Исследования проведены в «Аграрном научном центре «Донской» расположенном на юге Ростовской области, характеризующейся неустойчивым увлажнением. Годы изучения (2018–2020) – засушливые (ГТК 0,32–0,89). Цель исследований – изучение зависимостей между количественными признаками и влияния их на урожайность зерна гибридов кукурузы в условиях засухи. Объект исследований – 96 межлинейных гибридов кукурузы. На основе корреляционного анализа выявлено наличие зависимости между урожайностью зерна и количественными признаками: «масса 1 початка» ($r = 0,64...0,87$), «зерен в ряду початка» ($r = 0,37...0,75$), «зерен на початке» ($r = 0,32...0,51$), «початков на 1 растении» ($r = 0,41...0,53$), «выход зерна» ($r = 0,45...0,64$). Масса 1000 зерен и количество рядов зерен не влияли, либо слабо влияли на формирование урожая зерна гибридов кукурузы ($r = -0,12...0,28$). Определены признаки, высокие значения которых, хорошо сочетаемы в одном генотипе. Значения признака «масса 1 початка» возрастали с увеличением зерен в ряду початка ($r = 0,27...0,74$), зерен на початке ($r = 0,26...0,55$), выхода зерна ($r = 0,21...0,52$). Количество зерен на початке увеличивалось с увеличением значений у составляющих его компонентов: «зерен в ряду початка» ($r = 0,70...0,76$), «рядов зерен на початке» ($r = 0,59...0,66$), а также с увеличением количества початков на 1 растении ($r = 0,32...0,51$) и выхода зерна ($r = 0,36...0,38$). Выделены сложно сочетаемые количественные признаки: снижение массы 1000 зерен происходило с увеличением количества рядов зерен ($r = -0,18...-0,56$), количества зерен в ряду ($r = -0,15...-0,31$) и выхода зерна ($r = -0,01...-0,36$).

Ключевые слова: кукуруза, гибрид, количественные признаки, коэффициенты корреляции, изменчивость.

Для цитирования: Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С. Взаимосвязь между количественными признаками, определяющими урожайность зерна гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 27–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-27-32.



CORRELATION BETWEEN QUANTITATIVE TRAITS THAT AFFECT GRAIN YIELD OF MAIZE HYBRIDS

G.Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672; **A.S. Ignatiev**, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600 Agricultural Research Center “Donskoy”, 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The selection of pairs for hybridization requires knowledge about the correlation of the most important quantitative traits that affect grain yield of maize hybrids. The current study was carried out in the Agricultural Research Center “Donskoy” located in the south of the Rostov region with unstable moisture. The years of study (2018–2020) were arid (HTc 0.32–0.89). The purpose of the current study was to evaluate the correlation between quantitative traits and their influence on grain yield of maize hybrids under arid conditions. The objects of research were 96 interline maize hybrids. The analysis has identified the correlation between grain yield and such quantitative traits as ‘one maize ear weight’ ($r = 0.64...0.87$), ‘number of grains per one maize ear row’ ($r = 0.37...0.75$), ‘number of grains per maize ear’ ($r = 0.32...0.51$), ‘number of maize ears per plant’ ($r = 0.41...0.53$), ‘grain yield’ ($r = 0.45...0.64$). The traits ‘1000-grain weight’ and ‘number of grain rows’ had either no or slight effect on the formation of grain yield of maize hybrids ($r = -0.12...0.28$). There have been established the traits, the high values of which were well-combining in one genotype. The values of the trait ‘one maize ear weight’ raised due to an increase of the trait ‘number of grains per one maize ear row’ ($r = 0.27...0.74$), ‘number of grains per maize ear’ ($r = 0.26...0.55$), ‘grain yield’ ($r = 0.21...0.52$). The trait ‘number of grains per maize ear’ raised with an increase in the values of such constituent components as ‘number of grains per one maize ear row’ ($r = 0.70...0.76$), ‘number of grain rows per maize ear’ ($r = 0.59...0.66$), and also with an increase of ‘number of maize ears per plant’ ($r = 0.32...0.51$) and ‘grain yield’ ($r = 0.36...0.38$). There have been identified difficulty-combining quantitative traits, when the value of the trait ‘1000-grain weight’ decreased with the increase of the ‘number of grain rows per maize ear’ ($r = -0.18...-0.56$), ‘number of grains per a maize ear row’ ($r = -0.15...-0.31$) and ‘grain yield’ ($r = -0.01...-0.36$).

Keywords: maize, hybrid, quantitative traits, correlation coefficients, variability.

Введение. Целенаправленное создание гибридов кукурузы требует знаний о взаимосвязи важнейших количественных признаков, влияющих на урожайность зерна гибридов кукурузы.

щих на урожайность зерна гибридов кукурузы. Кумулирование высоких значений признаков продуктивности в гибридах приводит к формированию высокого урожая.

Вклад того или иного признака в формирование урожайности зерна зависит от лимитирующего фактора условий выращивания, в частности от влагообеспеченности. Некоторые исследователи отмечают важность признака «масса 1 початка» в качестве критерия отбора на продуктивность в условиях засухи (Fadh et al., 2020). Количество зерен на початке является одной из важнейших составляющих урожайности растений кукурузы. При изучении продуктивности гибридов кукурузы особое внимание следует уделять количеству рядов зерен, крупности зерен (Mukhlif et al., 2020).

Практический интерес представляет возможность сочетания высоких значений количественных признаков продуктивности в одном генотипе. В первую очередь необходимо изучать признаки, наиболее полезные для гетерозисной селекции (Tolley et al., 2021). Взаимосвязи между количественными признаками используются для создания модели гибридов кукурузы для различных целей выращивания (Sandhu et al., 2020). Результаты изучения взаимосвязей элементов структуры урожая зерна используются в селекционной практике.

Цель исследований – изучение зависимостей между количественными признаками и влияния их на урожайность зерна гибридов кукурузы в условиях засухи.

Материалы и методы исследований. Полевые опыты были заложены на юге Ростовской области на землях ФГБНУ «АНЦ «Донской». Почва представлена обыкновенным черноземом. Климат умеренно-континентальный с недостаточным и неустойчивым увлажнением. Объект исследований – 96 среднеранних гибридов кукурузы. В качестве стандарта использован среднеранний гибрид Зерноградский 282 МВ.

Исследования выполнены согласно Унифицированным методам селекции кукурузы (1978). Корреляционный и регрессионный анализ выполнен по Б.А. Доспехову (2014).

Оценивали урожайность зерна и элементы ее структуры: «початков на 1 растении», «масса 1 початка», «масса 1000 зерен», «рядов зерен на початке», «зерен в ряду початка», «зерен на початке», «выход зерна».

Годы проведения эксперимента 2018–2020 характеризовались засушливыми (ГТК 0,32–0,89). Сильнозасушливые 2018 и 2019 годы, средnezасушливый – 2020 год.

Результаты и их обсуждение. Изучаемые признаки различались между собой по величине изменчивости. Высокой изменчивостью отличалась урожайность зерна. Она варьировала от 2,10 до 4,71 т/га ($V = 25,3\%$). Признак «выход зерна» отличался незначительной изменчивостью ($V = 8,1\%$). Средняя изменчивость отмечена у остальных признаков ($V = 10,1–18,9\%$) (табл. 1).

1. Математические показатели урожайности зерна и количественных признаков гибридов кукурузы (2018–2020 гг.)

1. Mathematical indicators of grain productivity and quantitative traits of maize hybrids (2018–2020)

Признак	Единица измерения	Минимальное значение (X_{\min})	Максимальное значение (X_{\max})	Размах варьирования ($X_{\max} - X_{\min}$)	Среднее значение (X)	Стандартное отклонение (S)	Коэффициент вариации (V)
Урожайность зерна	т/га	2,11	4,71	2,61	3,32	0,84	25,3
Количество початков на 1 растении	шт.	0,79	1,20	0,41	0,98	0,11	11,2
Масса 1 початка	г	68	150	82	101,9	19,30	18,9
Масса 1000 зерен	г	223	421	198	271,0	36,70	13,5
Количество рядов зерен	шт.	11,0	18,4	7,4	14,7	1,49	10,1
Количество зерен в ряду	шт.	23	45,0	22	32,5	4,08	12,6
Количество зерен на початке	шт.	330	689	395	479,6	77,2	16,1
Выход зерна	%	68,1	82,6	14,5	78,9	64,0	8,1

Результаты исследований 2018–2020 годов свидетельствуют о неравнозначном влиянии признаков на урожайность зерна гибридов. Выделены количественные признаки которые имеют первостепенное значение: «масса 1 початка», «зерен в ряду початка», «зерен на початке», «початков на 1 растении», «выход зерна». Учитывая, что климатические условия

2018–2020 годов имели некоторые различия (2018 – острозасушливый, 2019 и 2020 – средnezасушливые), корреляционный анализ между урожайностью и количественными признаками был проведен отдельно по годам.

Между урожайностью и массой 1 початка в 2018 году отмечена сильная корреляционная зависимость ($r = 0,87$), в 2019 и 2020

годах – средняя ($r = 0,64$ и $r = 0,65$ соответственно). Подобные результаты получены по признаку «зерен в ряду початка»: сильная корреляционная зависимость в 2018 году ($r = 0,75$)

и средняя – в 2019 и 2020 годах ($r = 0,37$, $r = 0,50$ соответственно) (табл. 2).

2. Коэффициенты корреляции между урожайностью и количественными признаками гибридов кукурузы

2. Coefficients of correlation between grain productivity and quantitative traits of maize hybrids

Признак	Единица измерения	Годы		
		2018	2019	2020
Количество початков на 1 растении	шт.	0,45*	0,53*	0,41*
Масса 1 початка	г	0,87*	0,64*	0,65*
Масса 1000 зерен	г	0,28	0,11	-0,01
Количество рядов зерен	шт.	-0,12	0,10	0,04
Количество зерен в ряду	шт.	0,75*	0,37*	0,50*
Количество зерен на початке	шт.	0,51*	0,32*	0,45*
Выход зерна	%	0,53*	0,64*	0,45*

* – достоверно при уровне значимости $p = 0,01$.

В годы исследований отмечена средняя зависимость между урожайностью и признаками: «початков на 1 растении» ($r = 0,41...0,53$), «зерен на початке» ($r = 0,32...0,51$) и «выход зерна» ($r = 0,45...0,64$).

В засушливых условиях признак продуктивности «масса 1000 зерен» слабо влиял, либо не влиял на урожайность зерна гибридов ку-

курузы ($r = -0,01...0,28$). Не влияет на урожайность зерна признак «рядов зерен на початке» ($r = -0,12...0,04$).

Графики рассеивания показывают, как влияют признаки «масса 1 початка» и «зерен в ряду початка» на величину урожайности зерна. Это влияние хорошо прослеживается в 2018 году (рис. 1).

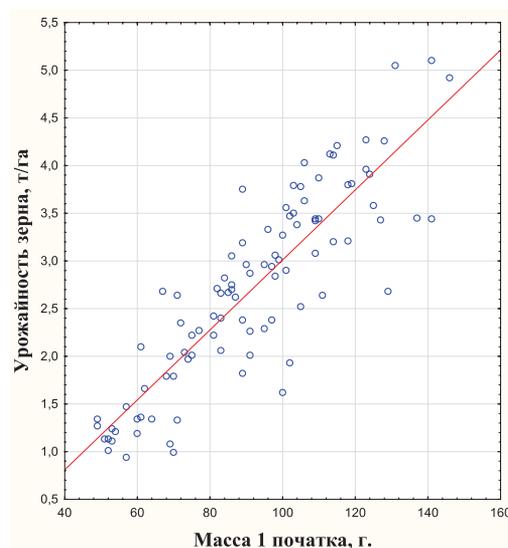
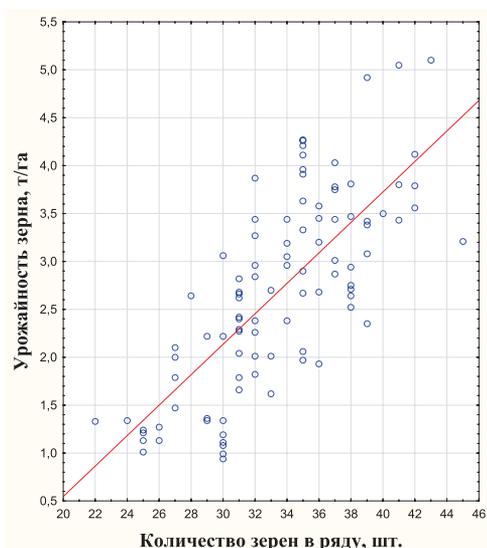


Рис. 1. Зависимость урожайности зерна от признаков «зерен в ряду початка», «масса 1 початка» (2018 г.)
Fig. 1. Dependence of grain productivity on the traits 'number of grains per a maize ear row', 'one maize ear weight' (2018)

Один из наиболее урожайных новых гибридов Экспериментальный 191 МВ (4,93 т/га) характеризовался большим количеством зерен в ряду початка (39 шт.). Гибриды, сочетающие высокую урожайность зерна: Экспериментальный 294 МВ (5,12 т/га), Экспериментальный 352 МВ (5,07 т/га) и большую массу початка 140 и 145 г соответственно.

Бесспорно, важно знать влияние количественных признаков на важнейший хозяйственно-ценный признак – «урожайность зерна». Однако, для селекционеров представляют интерес сведения о взаимосвязях количествен-

ных признаков. Как влияет изменение значений у одного признака продуктивности на другой? Возможно ли сочетание высоких значений признаков в одном генотипе?

Один из элементов продуктивности, на котором необходимо акцентировать внимание, – «масса 1 початка». Результаты корреляционного анализа позволяют утверждать, что масса 1 початка возрастает с увеличением значений у количественных признаков: «масса 1000 семян» ($r = 0,27...0,49$), «зерен в ряду початка» ($r = 0,27...0,74$), «зерен на початке» ($r = 0,26...0,55$), «выход зерна» ($r = 0,21...0,52$).

Коэффициенты корреляции варьировали по годам от низких до высоких, но во все годы исследований они были достоверны при $p = 0,01$. Исключение составила зависимость между

массой 1 початка и выходом зерна в 2020 году ($r = 0,21$). Коэффициент корреляции оказался низкими и недостоверным (табл. 3).

3. Коэффициенты корреляции между массой 1 початка и количественными признаками гибридов кукурузы

3. Coefficients of correlation between the trait 'one maize ear weight' and quantitative traits of maize hybrids

Признак	Единица измерения	Годы		
		2018	2019	2020
Количество початков на 1 растении	шт.	0,18	0,05	-0,02
Масса 1000 зерен	г	0,34*	0,49*	0,27*
Количество рядов зерен	шт.	-0,07	0,09	0,49*
Количество зерен в ряду	шт.	0,74*	0,27*	0,50*
Количество зерен на початке	шт.	0,55*	0,26*	0,41*
Выход зерна	%	0,52*	0,31*	0,21

* – достоверно при уровне значимости $p = 0,01$.

Во все годы исследований отсутствовала корреляционная зависимость между крупностью початка и количеством рядов зерен ($r = -0,07 \dots 0,09$).

Особый интерес представляет зависимость между элементами структуры «масса 1 початка» и «початков на 1 растении». Она была слабой ($r = 0,18$), либо отсутствовала ($r = 0,05$, $r = -0,02$). То есть возможно сочетание в одном генотипе крупных початков и высоких значений количества початков, приходящихся на 1 растение.

Другой важный признак продуктивности, от которого зависит урожайность – «количество зерен на початке». Составляющими компонентами этого признака являются: количество зерен на початке и зерен в ряду початка. Во все годы изучения выявлена сильная корреляционная зависимость с компонентом «зерен в ряду початка» ($r = 0,70 \dots 0,76$) и средняя зависимость с компонентом «рядов зерен на початке» ($r = 0,59 \dots 0,66$) (табл. 4).

4. Коэффициенты корреляции между признаком «зерен на початке» и количественными признаками гибридов кукурузы

4. Coefficients of correlation between the trait 'number of grains per maize ear' and quantitative traits of maize hybrids

Признак	Единица измерения	Годы		
		2018	2019	2020
Количество початков на 1 растении	шт.	0,11	0,20	0,18
Масса 1 початка	г	0,55*	0,26*	0,41*
Масса 1000 семян	г	-0,20	-0,15	-0,31*
Количество рядов зерен	шт.	0,60*	0,66*	0,59*
Количество зерен в ряду	шт.	0,71*	0,69*	0,76*
Выход зерна	%	0,39*	0,36*	0,37*

* – достоверно при уровне значимости $p = 0,01$.

Признак «зерен на початке» хорошо сочетается с признаком «выход зерна» ($r = 0,36 \dots 0,38$) и, как уже было отмечено, с массой 1 початка. Слабая отрицательная зависимость имела в 2018 ($r = -0,20$) и 2019 ($r = -0,15$) годах с признаком «масса 1000 зерен», а в 2020 году – средняя отрицательная зависимость ($r = -0,31$). Слабая связь либо ее отсутствие выявлено с признаком «количество початков на 1 растении» ($r = 0,11 \dots 0,20$).

Наглядно демонстрируют взаимосвязь между количественными признаками «масса 1 початка» и «зерен в ряду початка», а также взаимосвязь между признаками «зерен на початке» и «зерен в ряду початка» графики рассеивания и линии регрессии (рис. 2).

Увеличение количества зерен в ряду приводит к увеличению массы початка и зерен на початке.

Другой важный признак продуктивности – «выход зерна». Как было отмечено, выход зерна возрастает с увеличением зерен на початке и крупности початка. Выявлена средняя положительная взаимосвязь во все годы исследований признака «выход зерна» с признаком «количество зерен в ряду» ($r = 0,46 \dots 0,49$).

По признаку «початков на 1 растении» получены результаты, подтверждающие наличие слабой связи с другими элементами структуры урожая зерна либо ее отсутствием ($r = -0,21 \dots 0,25$).

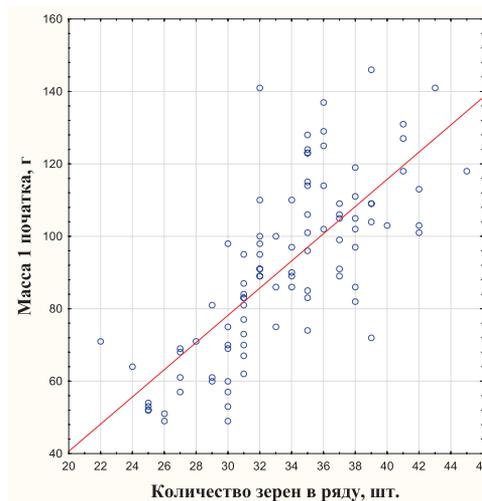
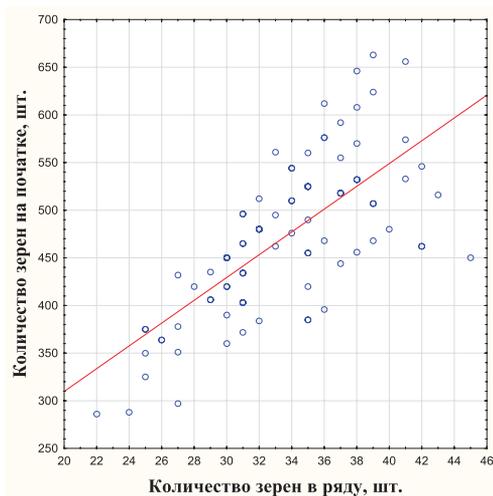


Рис. 2. Зависимость между хорошо сочетаемыми количественными признаками (2018–2020 гг.)
Fig. 2. Correlation between well-combining quantitative traits (2018–2020)

Выявлены сложно сочетаемые признаки продуктивности. Совмещение высоких значений признака «масса 1000 семян» с высокими значениями признаков «рядов зерен на початке» ($r = -0,18...-0,56$), «зерен

на початке» ($r = -0,15...-0,31$), «выход зерна» ($r = -0,01...-0,36$) в одном генотипе может быть затруднено. Увеличение крупности зерна приводит к уменьшению рядов зерен и выхода зерна (рис. 3).

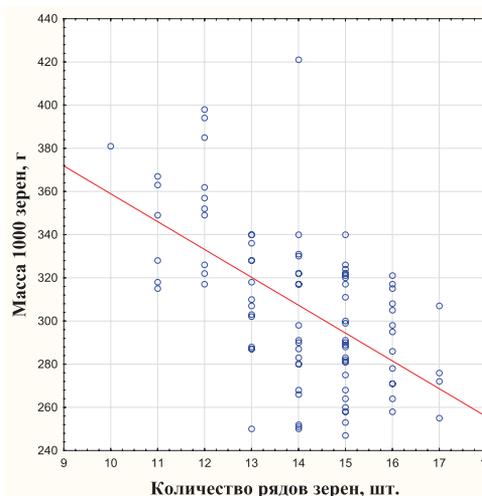
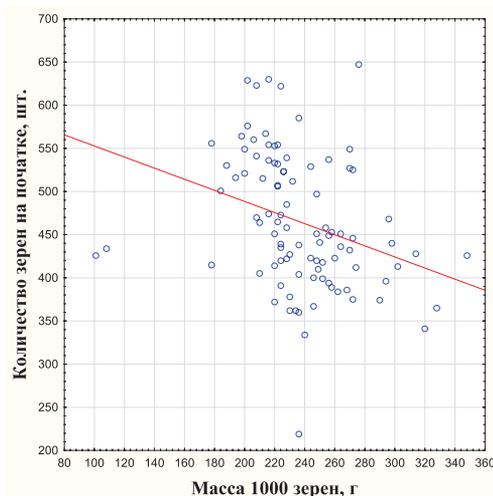


Рис. 3. Зависимость между сложно сочетаемыми признаками (2018–2020 гг.)
Fig. 3. Correlation between difficulty-combining quantitative traits (2018–2020)

Полученные результаты позволяют утверждать о нецелесообразности отбора на крупносемянность образцов кукурузы, селективируемых для засушливых условий.

Выводы. Накопление высоких значений количественных признаков «масса 1 початка», «зерен в ряду початка», «зерен на початке», «початков на 1 растении», «выход зерна» в засушливых условиях повышают урожайность зерна гибридов кукурузы.

Значения признака «масса 1 початка» возрастали с увеличением зерен в ряду початка ($r = 0,27...0,74$), зерен на початке ($r = 0,26...0,55$), выхода зерна ($r = 0,21...0,52$).

Количество зерен на початке увеличивалось с увеличением значений у составляющих его компонентов: «зерен в ряду початка» ($r = 0,70...0,76$), «рядов зерен на початке» ($r = 0,59...0,66$), а также с увеличением количества початков на 1 растении ($r = 0,32...0,51$) и выхода зерна ($r = 0,36...0,38$).

Выделены сложно сочетаемые количественные признаки: снижение массы 1000 зерен происходило с увеличением количества рядов зерен ($r = -0,18...-0,56$), количества зерен в ряду ($r = -0,15...-0,31$) и выхода зерна ($r = -0,01...-0,36$).

Библиографические ссылки

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 2014. 336 с.
2. Унифицированный метод селекции кукурузы. М; 1978. 60 с.

3. Fadhlі N, Farid M, Rafіuddin, Efendi R, Azrai M, Anshori. Multivariate analysis to determine secondary characters in selecting adaptive hybrid corn lines under drought stress // Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 2020. Vol. 21. № 8. doi.org/10.13057/biodiv/d210826.
4. Mukhlif F.H., Hammadi H.J., Hassan I.I. Genetic analysis for single crosses in Maize by using Line × Tester hybridization//Indian Journal of Ecology. 2020.Vol. 47. P. 175-180.
5. Sandhu R, Suat I. Performance assessment of Hybrid-Maize model for rainfed, limited and full irrigation conditions // Agricultural Water Management. 2020. Vol. 242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106402>.
6. Tolley S.A., Singh A., Tuinstra M.R. Heterotic Patterns of Temperate and Tropical Maize by Ear Photometry // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 1214. DOI 10.3389/fpls.2021.616975.

References

1. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Kolos, 2014. 336 s.
2. Unificirovannyj metod selekcii kukuruzy [Unified maize breeding method]. M; 1978. 60 s.
3. Fadhlі N, Farid M, Rafіuddin, Efendi R, Azrai M, Anshori. Multivariate analysis to determine secondary characters in selecting adaptive hybrid corn lines under drought stress // Biodiversitas Journal of Biological Diversity. 2020. Vol. 21. № 8. doi.org/10.13057/biodiv/d210826.
4. Mukhlif F.H., Hammadi H.J., Hassan I.I. Genetic analysis for single crosses in Maize by using Line × Tester hybridization // Indian Journal of Ecology. 2020.Vol. 47. P. 175-180.
5. Sandhu R, Suat I. Performance assessment of Hybrid-Maize model for rainfed, limited and full irrigation conditions // Agricultural Water Management. 2020. Vol. 242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106402>.
6. Tolley S.A., Singh A., Tuinstra M.R. Heterotic Patterns of Temperate and Tropical Maize by Ear Photometry // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 1214. DOI 10.3389/fpls.2021.616975.

Поступила: 20.08.21; принята к публикации: 6.09.21.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кривошеев Г. Я. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьев А.С. – выполнение полевых опытов, сбор и математическая обработка данных, подготовка рукописи, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.