УДК 633.15.631.52.632.112 DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50

УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОДНОМУ СТРЕССУ НОВЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИНИЙ И 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;
Н.А. Шевченко, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, kcck-bass@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
447740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Направления хозяйственного использования кукурузы различны: фуражное, пищевое, техническое. Учитывая, что она относится к мезофитам, наиболее вредоносным стресс-фактором для нее является засуха. Селекция на засухоустойчивость считается важнейшим направлением для этой культуры. Цель исследований: изучение засухоустойчивости исходного материала – самоопыленных линий и гибридов кукурузы. Исследования выполнены в 2018–2020 годах в «Аграрном научном центре «Донской», находящемся в зоне недостаточного увлажнения. Засухоустойчивость определена методом остаточного водного дефицита (ОВД). В качестве исходного материала использованы 24 самоопыленных линии и 50 тесткроссных гибридов кукурузы. Выделены новые засухоустойчивые среднеранние и среднеспелые самоопыленные линии: КС 317 А, КВ 240, ЛШ 16, С 86, ЛШ 17 и ЛШ 2, СП 246/276-2, ДС 498/203-4, ДС 298/203-3, ДС 257/85-0, СП 280-3, КВ 373, которые имели низкий остаточный водный дефицит в фазе цветения (7,7–10,4%) и незначительно увеличивали их течение вегетации к фазе молочно-восковой спелости (до 10,3–12,6%). К засухоустойчивым гибридам отнесены: Степняк МВ, ГК 26 АМ × ДС 257/85-0, Р 101 × Zp 498 А, КВ 399 × С 232, ГК 26 АМ × КВ 373, ГК 26 АМ × СП 246/276-2, С 204 × КС 318. Они характеризовались низким водным дефицитом в период цветения (7,4–10,4%) и низким его приростом (1,4–3,7%) в течение вегетации. В состав засухоустойчивых гибридов, как правило, входили засухоустойчивые линии. Новый среднеспелый трехлинейный гибрид кукурузы Степняк МВ ((КВ 262 М × КВ 326 ЗМ) × КВ 498 МВ)), созданный на основе засухоустойчивых линий КВ 262 М и КВ 498 МВ, по результатам Госсортоиспытания, с 2019 года внесен в госреестр. Гибрид сформировал высокую урожайность зерна (4,55 т/га), в засушливые годы (2018–2020) характеризовался высокими значениями основных хозяйственно-ценных признаков: высокой устойчивостью к полеганию (0,5% полегших растений), высоким содержанием крахмала в зерне (72,0%), оптимальной влажностью зерна (14,0%) к моменту уборки.

Ключевые слова: *кукуруза, инбредные линии, гибриды, устойчивость к водному стрессу, остаточный водный дефицит.*

Для цитирования: *Кривошеев Г.Я., Шевченко Н.А. Устойчивость к водному стрессу новых самоопыленных линий и гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(77). С. 46–50. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50.*

(cc) BY

WATER STRESS RESISTANCE OF THE NEW SELF-POLLINATED MAIZE LINES AND 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;
N.A. Shevchenko, technician-researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, kcck-bass@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-5869-367X
Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The directions of the economic use of maize are different, namely fodder, food, technical. Considering that maize belongs to mesophytes, the most harmful stress factor for it is drought. The breeding maize for drought tolerance is considered the most important direction for this crop. The purpose of the current paper was to present study results of the drought resistance of the initial material, namely the self-pollinated maize lines and hybrids. The study was carried out at the Agricultural Research Center "Donskoy", located in the zone of insufficient moisture in 2018–2020. Drought tolerance was determined by the method of residual water deficit (RWD). As an initial material, there were used 24 self-pollinated maize lines and 50 test-cross hybrids. There have been identified the new drought-resistant middle-early and middle-ripening self-pollinated lines 'KS 317 A',' KV 240', 'LSh 16', 'S 86', 'LSh 17' and 'LSh 2', 'SP 246 / 276-2', 'DS 498 / 203-4', 'DS 298 / 203-3', 'DS 257 / 85-0', 'SP 280-3', 'KB 373', which had a low residual water deficit in the flowering phase (7.7–10.4%) and did not significantly increase it during the period from vegetation to milky-wax ripeness (up to 10,3–12.6%). The drought-resistant hybrids include 'Stepnyak MV', 'GK 26 AM × DS 257 / 85-0', 'P 101 × Zp 498 A', 'KB 399 × S 232', 'GK 26 AM × KB 373', 'GK 26 AM × SP 246 / 276-2', 'C 204 × KS 318'. They were characterized by a low water deficit during the flowering period (7.4–10.4%) and its low increase (1.4–3.7%) during the growing season. Drought-resistant hybrids, as a rule, included drought-resistant lines. According to the results of the State Variety Testing, the new middle-ripening three-line maize hybrid 'Stepnyak MV' ((KB 262 M × KB 326 ZM) × KB 498 MV)), developed on the basis of the drought-resistant lines 'KB 262 M' and 'KB 498 MV', has been included into the State Register since 2019. The hybrid possessed a high grain yield (4.55 t/ha) in the dry years of 2018–2020. it was characterized by high values of the main economically valuable traits, such as high resistance to lodging (0.5% of lodged plants), high starch content in grain (72.0%), optimum grain moisture (14.0%) by the harvesting time.

Keywords: *maize, inbred lines, hybrids, resistance to water stress, residual water deficit.*

Введение. Одна из важнейших сельскохозяйственных культур – кукуруза. Она входит в тройку мировых лидеров наряду с пшеницей и рисом по посевным площадям и валовым сборам зерна. По своему народохозяйственному значению, кукуруза – одна из наиболее универсальных культур (Супрунов, 2014). Однако, учитывая что эта культура относится к мезофитам, она очень сильно реагирует на недостаток влаги, снижая урожайность зерна в засушливые годы по сравнению с влагообеспеченными в 3–4 раза. Засуха является наиболее вредоносным для нее стресс-фактором, поэтому селекция на устойчивость к засухе считается наиважнейшим направлением (Yadav et al., 2015). Так как основные посевные площади кукурузы расположены в засушливых зонах, селекция гибридов кукурузы, устойчивых к водному стрессу, актуальна в целом для Российской Федерации. Важность этого направления возрастает всвязи с усилением аридности климата, о чем свидетельствует анализ метеоданных за последние десятилетия (Попов и др., 2012).

Выведение новых засухоустойчивых гибридов требует создания и выделения нового засухоустойчивого исходного материала. У гибридной кукурузы в качестве исходного материала (родительских форм) используются константные инбредные линии (Супрунов, 2020).

В последнее время усилились работы по изучению засухоустойчивости растений, используя различные методы (Worku et al., 2020, Olagunju et al., 2020). Один из наиболее распространенных – метод остаточного водного дефицита (Газе и др., 2017). Он широко используется для изучения устойчивости к водному стрессу различных сельскохозяйственных культур, позволяет получить объективную оценку, дифференцировать селекционный материал и выделить перспективный для дальнейшей работы.

Цель исследований – изучение засухоустойчивости исходного материала самоопыленных линий и гибридов кукурузы.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в 2018–2020 годах в «Аграрном научном центре «Донской», находящемся в зоне недостаточного увлажнения. Исследования выполнены в засушливые годы, что позволило выделить генотипы, устойчивые к водному стрессу. В 2018 году за вегетационный период кукурузы количество осадков составило 93,4 мм (46,6% от среднемноголетней нормы). В 2019 за вегетационный период кукурузы количество осадков составило 129,7 мм (70,8% от среднемноголетней нормы). В 2020 году – 224,1 мм осадков, что на уровне среднемноголетней нормы. Тем не менее, из-за неравномерного их распределения посевы кукурузы страдали от засухи в период наибольшего водопотребления. В июне количество осадков составило 38,8 мм (54,4% от среднемноголетней нормы).

В качестве объекта исследований послужили 24 новые константные (I6) самоопыленные линии кукурузы, создание которых было завершено в 2017 году. При создании новых линий учитывали косвенные критерии оценки засухоустойчивости и продуктивности, выявленные в предыдущих исследованиях (2011–2013 гг.): бесплодие и озерненность початков.

В качестве стандартов взяты линии из мировой коллекции с известной засухоустойчивостью: PLS 61 3M (среднеранняя) и ГК 26 АМ (среднеспелая).

Объектом исследования также послужили 50 новых тесткроссных гибридов кукурузы, в качестве стандарта использовали гибрид кукурузы Зерноградский 282 МВ.

Полевые опыты выполнены на основе методических рекомендаций по проведению полевых опытов с кукурузой (1980). Засухоустойчивость оценена методом остаточного водного дефицита по Л.С. Литвинову (Литвинов, 1988).

Результаты и их обсуждение. Трехлетнее изучение (2018–2020 гг.) позволило выделить новые засухоустойчивые среднеранние самоопыленные линии кукурузы. Они отличались минимальными значениями остаточного водного дефицита в фазу цветения: КС 317 А (7,9%), КВ 240 (10,3%), ЛШ 16 (9,7%), С 86 (9,1%), ЛШ 17 (10,4%), ЛШ 2 (9,9%). Прирост ОВД у них, несмотря на усиление засухи, был незначительным (1,5–3,3%), невысоким водный дефицит в фазу молочно-восковой спелости (11,2–12,6%) (рис. 1).

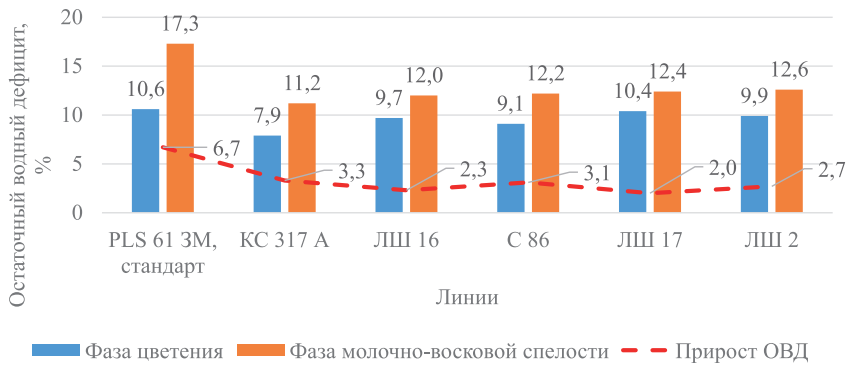


Рис. 1. Изменение остаточного водного дефицита у среднеранних инбредных линий кукурузы (2018-2020 гг.)
Fig. 1. The change of residual water deficit in the middle-early inbred maize lines (2018-2020)

Стандартная среднеранняя инбредная линия PLS 61 3M характеризовалась слабой засухоустойчивостью, что согласуется с исследованиями 2011–2013 гг. Значение ОВД у нее в фазу цветения составило 10,6%, однако к фазе молочно-восковой спелости водный дефицит значительно увеличился до 17,3%, прирост составил 6,7%.

Среднеспелый стандарт – линия ГК 26 АМ в отличие от среднераннего стандарта характеризовался высокой засухоустойчивостью: низкий водный дефицит в фазу цветения (9,9%) и невысокий в фазу молочно-восковой спелости (11,9%), с незначительным его приростом (2,0%). Выделены новые засухоустойчивые инбредные линии кукурузы: СП 246/276-2, ДС 498/203-4, ДС 498/203-3, ДС 257/85-0, СП 280-3, КВ 373 с минимальными значениями остаточного водного дефицита в фазу цветения (7,7–10,0%) и слабым приростом ОВД (1,4–3,1%) к фазе молочно-восковой спелости (до 10,3–11,4%) (рис. 2).

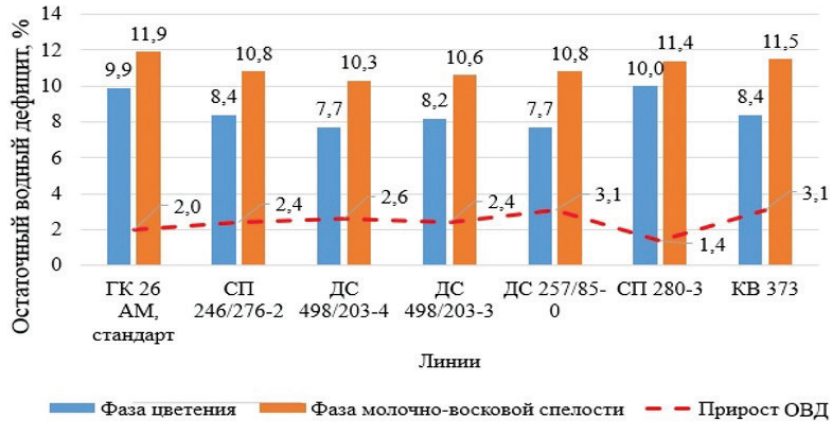
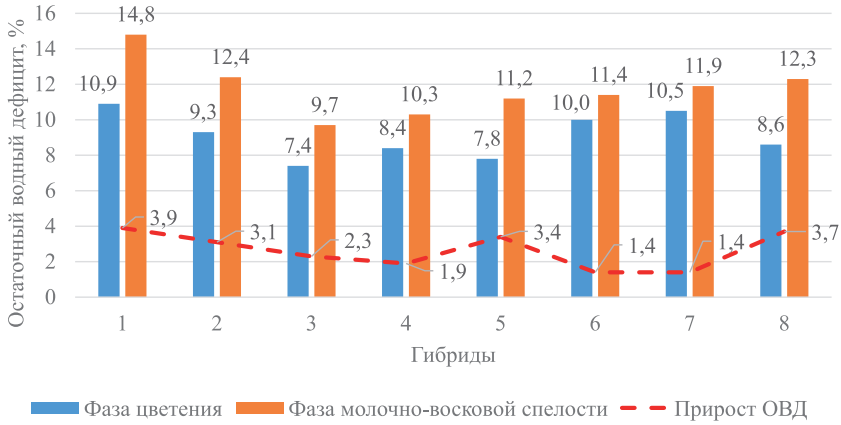


Рис. 2. Изменение остаточного водного дефицита у среднеспелых инбредных линий кукурузы (2018–2020 гг.)
Fig. 2. The change of residual water deficit in the middle-ripening inbred maize lines (2018–2020)

Новые самоопыленные линии, изучаемые в 2018–2020 гг., а также засухоустойчивые самоопыленные линии, выделенные в предыдущие годы исследований (2011–2013, 2015–2017), были включены в программы скрещиваний для получения гибридных комбинаций. В скрещивания были включены и не засухоустойчивые линии, но характеризующиеся высокими значениями других важнейших хозяйственных признаков (комбинационная способность, продуктивность, устойчивость к полеганию, уборочная влажность зерна и другие). Новые гибридные комбинации оценены по величине водного дефицита и его прироста.

Стандарт – гибрид Зерноградский 282 МВ – характеризовался средней засухоустойчивостью: остаточный водный дефицит в фазу цветения – 10,9%, в фазу молочно-восковой спелости – 14,8%, прирост – 3,9%. К устойчивым к водному стрессу отнесены следующие гибридные комбинации: (КВ 262 М × КВ 326 3М) × КВ 498 МВ; ГК 26 АМ × ДС 257/85-0; Р 101 × Zp 498 А; КВ 399 × С 232; ГК 26 АМ × КВ 373; ГК 26 АМ × СП 246/276-2; С 204 × КС 318; КВ 399 × СП 73/498-2. Они имели минимальный ОВД в фазу цветения (7,4–10,5%) и слабый его прирост к фазе молочно-восковой спелости (1,4–3,7%) (рис. 3).



1 – Зерноградский 282 МВ, стандарт, 2 – (КВ 262 М × КВ 326 3М) × КВ 498 МВ, 3 – ГК 26 АМ × ДС 257/85-0,4 – Р 101 × Zp 498 А, 5 – КВ 399 × С 232, 6 – ГК 26 АМ × КВ 373, 7 – ГК 26 АМ × СП 246/276-2, 8 – С 204 × КС 318.

Рис. 3. Изменение остаточного водного дефицита у новых гибридов кукурузы (2018–2020 гг.)
Fig. 3. The change of residual water deficit in the new maize hybrids (2018–2020)

Анализируя и сопоставляя величину водного дефицита и его прироста у гибридов и составляющих их линий, выявлено, что высокой засухоустойчивостью, как правило, отличались гибриды, состоящие как минимум из одной засухоустойчивой линии. Так, гибрид ГК 26 АМ × ДС 257/85-0 имел минимальный ОВД как в фазу цветения (7,4%), так и в фазу молочно-восковой спелости (9,7%). Инбредные линии ГК 26 АМ и ДС 257/85-0, входящие в состав гибрида, также характеризовались низкими значениями ОВД (7,7–9,9% в фазу цветения и 10,8–11,9% в фазу молочно-восковой спелости).

Аналогичные результаты получены по гибридам ГК 26 АМ × КВ 373, ГК 26 АМ × СП 246/276-2, которые отнесены к засухоустойчивым, составляющие их самоопыленные линии ГК 26 АМ, КВ 373 и СП 246/276-2 характеризуются высокой засухоустойчивостью. У гибрида Р 101 × ZP 498 А высокой засухоустойчивостью отличалась линия ZP 498 А (по результатам изучения 2011–2013 гг.).

Новый засухоустойчивый гибрид Степняк МВ (КВ 262 М × КВ 326 ЗМ) × КВ 498 МВ включает в свой состав линии КВ 262 М и КВ 498 МВ. Эти линии были выделены по ОВД в предыдущих исследованиях (2011–2013 и 2015–2017 годах) (Кривошеев и др., 2020). Гибрид Степняк МВ по результатам Госсортоиспытания внесен с 2019 года в Госреестр селекционных достижений и допущен к использованию в производстве Северо-Кавказского и Нижне-Волжского регионов. Благодаря высокой устойчивости к водному стрессу гибрид формирует высокую урожайность зерна в засушливые годы. В среднем за годы конкурсного испытания (2017–2020) получен урожай зерна 4,55 т/га, что выше на 0,66 т/га (17,0%) чем у стандарта Зерноградский 354 МВ. Новый гибрид характеризуется высокой устойчивостью к полеганию (0,5% полегших растений), слабо поражается пузырчатой головней на естественном фоне (2,8%). Содержание крахмала в спелом зерне высокое – 72% (см. таблицу).

Хозяйственно-биологическая характеристика гибрида кукурузы Степняк МВ (2018–2020 гг.)
Economic and biological characteristics of the maize hybrid 'Stepnyak MV'(2018–2020)

Признаки	Единица измерения	Степняк МВ	Зерноградский 354 МВ, стандарт	± к стандарту
Урожайность зерна при 14% влажности	т/га	4,55	3,89	+0,66
Влажность зерна	%	14,0	14,6	-0,6
Длина вегетационного периода	дн.	111	111	0
Полегание	%	0,5	0,7	-0,2
Поражение пузырчатой головней	%	2,8	4,5	-1,7
Урожайность зеленой массы	т/га	30,5	30,7	-0,2
Содержание крахмала в зерне	%	72,0	71,4	+0,6
Высота растения	см	181,0	187,0	-6,0
Высота прикрепления початка	см	69,0	65,5	+3,5
Количество на 1 растение	шт.	1,1	1,0	+0,1
Семенная продуктивность материнской формы	т/га	2,0	2,0	0

Разновидность зубовидная (Zea mais L. indentata). Растение среднерослое (175–195 см), некустящееся, хорошо облиственное (16–17 листьев), с высоким прикреплением початка (64–71 см). Початок средний (135–145 г) слабоконусовидной формы, длиной 16–18 см, рядов зерен 16–18, стержень початка красный, выход зерна при обмолоте 80–82%. Зерно зубовидное желтое, масса 1000 зерен 245–255 г.

Выделенный гибрид созревает в среднем за 111 дней. По направлению хозяйственного использования универсален, предназначен для выращивания на зерно, силос и зеленый корм.

Выводы. Выделены новые среднеранние засухоустойчивые самоопыленные линии кукурузы КС 317 А, КВ 240, ЛШ 16, С 86, ЛШ 17 и ЛШ 2, которые имели минимальные значения остаточного водного дефицита в фазе цветения (7,9–10,4%) и слабо увеличивали его несмотря на усиление засухи к фазе молочно-восковой спелости (11,2–12,6%). Выделены новые среднеспелые засухоустойчивые линии СП 246/276-2, ДС 498/203-4, ДС 298/203-3, ДС 257/85-0, СП 280-3, КВ 373, характеризующиеся минимальным ОВД в фазу цветения (7,7–10,0%) и слабым приростом к фазе молочно-восковой спелости (1,4–3,1%).

Выделены новые засухоустойчивые гибриды кукурузы Степняк МВ, ГК 26 АМ × ДС 257/85-0, Р 101 × Zp 498 А, КВ 399 × С 232, ГК 26 АМ × КВ 373, ГК 26 АМ × СП 246/276-2, С 204 × КС 318, с невысоким водным дефицитом, как в фазу цветения (7,4–10,5%), так и в фазу молочно-восковой спелости (9,7–12,4%).

Библиографические ссылки

1. Газе В.Л., Лиховидова В.А., Шарова В.М., Анисимова Н.Н., Лютова Л.Н. Остаточный водный дефицит, как один из показателей засухоустойчивости // Зерновое хозяйство России. 2017. № 1(49). С. 7–9.

2. Кривошеев Г.Я., Шевченко Н.А., Игнатьев А.С. Результаты и перспективы селекции кукурузы в «Аграрном научном центре «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6(72). С. 32–38.

3. Литвинов Л.С. Методы оценки засухоустойчивости // Семеноводство. 1988. № 6. С. 7–12.

5. Попов А.С., Янковский Н.Г., Овсянникова 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.
6. Супрунов А.И. Успех в селекции кукурузы // Земледелие. 2014. № 3. С. 5–6.
7. Супрунов А.И, Хамади А.И., Чесноков И.М., Макшанов В.В. Селекция гибридов лопающейся кукурузы в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко // Рисоводство. 2020. № 3(48). С. 20–24.
8. Olagunju K.O., Ogunniyi A.I., Awotide B.A., Ashagidigbi W.M. Evaluating the distributional impacts of drought-tolerant maize varieties on productivity and welfare outcomes: an instrumental variable quantile treatment effects approach // Climate and Development. 2020. Vol. 12, Part 10, P. 865–875.
9. 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.
10. Worku M., Groote R., Munyua B., Makumbi D., Owino F. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa // Field Crops Research. 2020. Vol. 2461. No 107693.

References

1. Gaze V.L., Lihovidova V.A., SHarova V.M., Anisimova N.N., Lyutova L.N. Ostatochnyj vodnyj deficit, kak odin iz pokazatelej zasuhoustojchivosti [Residual water deficit as one of the indicators of drought tolerance] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2017. № 1(49). S. 7–9.
2. Krivosheev G.YA., SHevchenko N.A., Ignat'ev A.S. Rezul'taty i perspektivy selekcii kukuruzy v «Agrarnom nauchnom centre «Donskoj» [Results and prospects of maize breeding in the Agricultural Research Center "Donskoy"] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 6(72). S. 32–38.
3. Litvinov L.S. Metody ocenki zasuhoustojchivosti [Methods for drought tolerance estimation] // Semenovodstvo. 1988. № 6. S. 7–12.
5. Popov A.S., YAnkovskij N.G., Ovsyannikova G.V., Suharev A.A., Kravchenko M.E. Osobennosti pogodnyh uslovij v yuzhnoj zone Rostovskoj oblasti [Features of weather conditions in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2012. № 3(21). S. 56–59.
6. Suprunov A.I. Uspekh v selekcii kukuruzy [Success in maize breeding] // Zemledelie. 2014. № 3. S. 5–6.
7. Suprunov A.I, Hamadi A.I., CHesnokov I.M., Makshanov V.V. Selekciya gibridov lopayushchejsya kukuruzy v NCZ im. P.P. Luk'yanenko [Snap corn hybrids' breeding in the National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko] // Risovodstvo. 2020. № 3(48). S. 20–24.
8. Olagunju K.O., Ogunniyi A.I., Awotide B.A., Ashagidigbi W.M. Evaluating the distributional impacts of drought-tolerant maize varieties on productivity and welfare outcomes: an instrumental variable quantile treatment effects approach // Climate and Development. 2020. Vol. 12, Part 10, P. 865–875.
9. 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.
10. Worku M., Groote R., Munyua B., Makumbi D., Owino F. On-farm performance and farmers' participatory assessment of new stress-tolerant maize hybrids in Eastern Africa // Field Crops Research. 2020. Vol. 2461. No 107693.

Поступила: 22.06.21; принята к публикации: 13.08.21.

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. Шевченко Н.А. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Кривошеев Г.Я. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.