

ОСТАТОЧНЫЙ ВОДНЫЙ ДЕФИЦИТ КАК ОДИН ИЗ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ

В. Л. Газе, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

И. А. Лобунская, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

Е. Ю. Черпакова, агроном лаборатории клеточной селекции, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

Н. В. Яновская, агроном лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

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

В сельском хозяйстве засуха определяется как отсутствие почвенной влаги для обеспечения роста и развития сельскохозяйственных культур. Актуальность создания засухоустойчивых гибридов кукурузы возрастает в связи с происходящими глобальными изменениями климата и увеличением ареала кукурузосеяния. Эффективность этого направления селекции в значительной степени зависит от наличия исходного материала и, следовательно, от точности используемых методов оценки. Цель исследований – определение засухоустойчивости исходного материала самоопыленных линий и гибридов кукурузы. В статье приведены исследования за период 2022–2024 гг. по определению засухоустойчивости методом остаточного водного дефицита (ОВД) вегетирующих растений кукурузы. Исследования проведены в Аграрном научном центре «Донской», находящемся в зоне с нестабильным уровнем увлажнения, которая позволяет проводить отбор генотипов, проявляющих устойчивость к водному дефициту в условиях естественной засухи. Объектом исследований служили 170 образцов кукурузы, из них 80 гибридов в конкурсном сортоиспытании и 90 линий рабочей коллекции питомника гибридизации. Выделены 29 гибридов с невысоким водным дефицитом как в фазу цветения (3,59–8,92 %), так и в фазу молочно-восковой спелости зерна (4,01–14,54 %), и 25 линий с низкими значениями ОВД в фазу цветения (4,09–10,86 %) и незначительным его приростом (0,02–2,0 %) в процессе усиления засухи к фазе молочно-восковой спелости. Выделенные линии и простые гибриды кукурузы с высоким уровнем засухоустойчивости рекомендуются для включения в схемы скрещивания для создания трехлинейных гибридов, адаптированных к водному стрессу.

Ключевые слова: кукуруза, засухоустойчивость, остаточный водный дефицит, гибрид, самоопыленные линии.

Для цитирования: Газе В. Л., Лобунская И. А., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В., Кривошеев Г. Я. Остаточный водный дефицит как один из критериев оценки засухоустойчивости линий и гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 2. С. 20–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-20-25.



RESIDUAL WATER DEFICIT AS ONE OF THE CRITERIA FOR ESTIMATING DROUGHT RESISTANCE OF MAIZE LINES AND HYBRIDS

V. L. Gaze, junior researcher of the laboratory for cell breeding, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

I. A. Lobunskaya, junior researcher of the laboratory for cell breeding, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

E. Yu. Cherpakova, agronomist of the laboratory for cell breeding, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

N. V. Yanovskaya, agronomist of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

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
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Agricultural drought is defined as the lack of soil moisture to ensure the growth and development of agricultural crops. The relevance of developing drought-resistant maize hybrids is increasing due to ongoing global climate change and the expansion of the maize growing area. The efficiency of this breeding direction largely depends on the availability of the initial material and, consequently, on the accuracy of the estimation methods used. The purpose of the current study was to determine the drought resistance of the initial material of self-pollinated maize lines and hybrids. The paper has presented the study of drought resistance of vegetative maize plants by the method of residual water deficit (RWD) in 2022–2024. The study was conducted at the Agricultural Research Center "Donskoy", located in a area with unstable moisture levels, which allowed selecting genotypes with resistance to water deficit under natural aridity. The objects of the study were 170 maize samples, including 80 hybrids in the Competitive Variety Testing and 90 lines of the working collection of the hybridization nursery. There have been identified 29 hybrids with low

water deficit, both in the flowering stage (3.59–8.92 %) and in the milky-wax ripeness stage of grain (4.01–14.54 %), and 25 lines with low RWD values in the flowering stage (4.09–10.86 %) and its insignificant increase (0.02–2.0 %) to the milky-wax ripeness stage under drought increase. The identified maize lines and simple hybrids with high levels of drought tolerance could be recommended for crossing schemes to develop three-line hybrids adapted to water stress.

Keywords: maize, drought resistance, residual water deficit, hybrid, self-pollinated lines.

Введение. Кукуруза – это одна из высокопродуктивных агрокультур, входящая в тройку мировых лидеров наряду с пшеницей и рисом по посевным площадям и валовом сборе зерна. По своему народнохозяйственному значению кукуруза является одной из наиболее универсальных культур (Игнатьев, 2021; Николаев, 2023; Орлянская и др., 2023). Благодаря биологическим свойствам растения способны накапливать органические вещества (зерно, листостебельная и корневая масса) за вегетационный период, что является не только важным источником продовольствия, но и ценным кормом для животных (Сукиасян, 2019).

В Российской Федерации основными регионами, где культивируется кукуруза, являются южные области. Эти регионы подвержены засухам, которые могут существенно повлиять на урожайность зерна. Засуха выступает одним из наиболее серьезных стрессоров для кукурузы, так как она ограничивает доступность влаги, необходимой для нормального роста и развития растений (Кагермазов и Хачидогов, 2018). Исследования, направленные на повышение устойчивости к неблагоприятным условиям среды, являются приоритетным направлением в связи с усилением аридности климата (Панфилова и др., 2020; Кривошеев и др., 2021; McMillen et al., 2022).

Эффективность селекционной работы напрямую зависит от применяемых методов оценки засухоустойчивости, и выбор наиболее информативных критериев играет решающую роль (Гусева и др., 2023). Среди существующих методов оценки засухоустойчивости – остаточный водный дефицит (ОВД) (Кривошеев и др., 2021). Водный дефицит определяется как процентное отношение разности между максимальным содержанием воды в клетках (при полном насыщении) и фактическим содержанием воды к максимальному содержанию. Он показывает, насколько обезвожены клетки растения в данный момент. Чем ниже показатель ОВД, тем выше засухоустойчивость, так как растение способно эффективно удерживать воду даже при ограниченном ее поступлении из почвы (Кривошеев и др., 2016).

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

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2022–2024 гг. в лаборатории клеточной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Оценку проводили на 170 образцах кукурузы (80 гибридов – конкурсное сортоиспытание и 90 линии рабочей коллекция питомника гибридизации). Изучаемые линии и гибриды ежегодно частично обновлялись.

Оценку засухоустойчивости определяли по величине остаточного водного дефицита вегетирующих растений по методу Л. С. Литвинова. Прирост остаточного водного дефицита определяли по разности величин водного дефицита в фазы цветения и молочно-восковой спелости зерна.

Годы проведения исследований оказались контрастными по метеоусловиям, различаясь по температурному режиму и влагообеспеченности.

Отбор проб проводили в фазу цветения початков кукурузы и в фазу молочно-восковой спелости зерна. В фазы отбора проб (июль–август) 2022 г. характеризовался среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков: июль – 25,2 °C и 55,8 мм; август – 26,6 °C и 47,2 мм. В 2023 г. среднемесячная температура воздуха и количество осадков составили: июль – 23,6 °C и 51,3 мм; август – 25,6 °C и 19,5 мм. В 2024 г. среднемесячная температура воздуха и количество осадков в июле составили 27,6 °C и 25,0 мм; в августе – 25,4 °C и 3,5 мм. То есть в период отбора образцов ОВД 2022 и 2023 гг. были примерно одинаковые условия, более благоприятные, чем в 2024 г., характеризующимся наиболее жаркими и засушливыми погодными условиями.

В качестве стандарта для линий использовали самоопыленную линию KB 469 MB, которая ранее выделена как устойчивая к водному стрессу. Для тестеров (простых гибридов) стандартом служил гибрид Зерноградский 354 MB с известной засухоустойчивостью.

Математическую обработку данных выполняли с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Таблицы иллюстрируют лучшие линии и гибриды по изучаемому признаку.

Результаты и их обсуждение. Устойчивость к засухе растений кукурузы может зависеть от интенсивности и продолжительности засухи, стадии роста и механизмов их устойчивости.

Исследования за период 2022–2024 гг. позволили выделить засухоустойчивые самоопыленные линии кукурузы. Изучаемые линии в 2022 г. различались по значениям остаточного водного дефицита в фазы цветения – от 4,42 до 19,96 % и молочно-восковой спелости зерна – от 6,88 до 68,83 %, что характеризует их различную устойчивость к водному стрессу. Достоверного снижения значений остаточного водного дефицита по сравнению со стандартной линией KB 469 MB (8,95 и 13,40 %) как в фазу цветения, так и фазу молочно-восковой спелости зерна не зафиксировано ($HC_{05} = \pm 1,99$ и 5,29 %). Однако новая самоопыленная линия СП-56/57 имела абсолютные значения

ОВД в фазу цветения (7,41 %) и в фазу молочно-восковой спелости (8,41 %) ниже, чем у стандарта.

Значения прироста остаточного водного дефицита растений кукурузы варьировали от 0,52 до 1,74 %. Достоверного снижения прироста ОВД от фазы к фазе по сравнению со стандартом KB 469 MB (4,45 %) не отмечено

($HCP_{05} = \pm 5,14\%$). Минимальные значения прироста водного дефицита по сравнению со стандартом KB 469 MB зафиксированы у 8 линий: СП 75/15-11, СП 56/57-21/12, СП56/57, ДС 768/85-3, Лу 25, СП 56/57-2/21, КР 1 MB и RD 6, имеющих наименьшие значения ОВД в фазы цветения (7,41–10,86 %) и молочной спелости зерна (8,41–12,16 %) (табл. 1).

Таблица 1. Изменение остаточного водного дефицита листьев самоопыленных линий кукурузы (2022–2024 гг.)
Table 1. Residual water deficit change in leaves of self-pollinated maize lines (2022–2024)

Годы	Образец	Остаточный водный дефицит, %		Прирост ОВД, %
		Фаза цветения	Фаза молочно-восковой спелости	
2022	KB 469 MB, st	8,95	13,40	4,45
	СП 75/15-11	9,37	10,98	0,52
	СП 56/57-21/12	9,64	10,46	0,82
	СП 56/57	7,41	8,41	1,00
	ДС 768/85-3	10,76	11,88	1,12
	Лу 25	10,86	12,16	1,30
	СП 56/57-2/21	7,80	9,16	1,36
	КР 1 MB	8,35	9,99	1,64
	RD 6	7,41	9,15	1,74
2023	HCP_{05}	1,99	5,29	5,14
	KB 469 MB, st	4,65	6,64	1,99
	С 232	4,79	5,50	0,71
	KB 331	5,80	6,73	0,93
	KB 498	5,44	6,40	0,96
	KB 498 M	4,09	5,08	1,01
	KB 373	5,65	6,86	1,21
	СП 56/57 _{121 121 111}	5,47	6,70	1,23
	ЛУ 25	5,61	7,02	1,41
	СП 56/57	4,76	6,53	1,77
	СП 56/57 _{121 111 111}	6,10	7,89	1,79
	СП 56/57 _{121 121 151 12}	4,56	6,56	2,00
	HCP_{05}	0,89	1,17	1,42
2024	KB 469 MB, st	5,07	8,97	3,90
	ДК 22/123	5,85	5,91	0,06
	С 232	7,75	7,99	0,24
	KB 498	5,74	5,94	0,20
	9837B	6,01	6,21	0,20
	ДС498/203-3 (№ 2)	4,88	5,17	0,29
	СП 56/-2 (№3)	5,99	6,01	0,02
	СП 56/57-21 (№ 1)	6,31	6,34	0,03
	HCP_{05}	1,99	4,01	3,53

При изучении самоопыленных линий урожая 2023 г. величина остаточного водного дефицита в фазу цветения варьировала от 2,48 до 7,86 %, а в фазу молочно-восковой спелости зерна – от 4,76 до 14,50 %. Достоверное снижение значений водного дефицита по сравнению со стандартной линией KB 469 MB (6,64 %) в фазу цветения не выявлено, а в фазу молочно-восковой спелости зерна отмечено у линии KB 498 M – 5,08 % ($HCP_{05} = \pm 0,89$ и 1,17 %).

По показателю прироста ОВД среди линий достоверное снижение по сравнению со стандартной линией KB 469 MB (1,99 %) не выявлено ($HCP_{05} = \pm 1,42\%$). Наименьшее

значения ОВД, как в фазу цветения, так и молочно-восковой спелости зерна, а также минимальный прирост от фазы к фазе по сравнению со стандартом KB 469 MB зафиксированы у линий С 232, KB 331, KB 498, KB 498 M, KB 373, СП 56/57_{121 121 111}, Лу 25, СП 56/57, СП 56/57_{121 111 111}, KB 469 и СП 56/57_{121 121 151 12}.

В 2024 г. значения остаточного водного дефицита в фазу цветения варьировали от 3,60 до 9,71 %, а в фазу молочной спелости зерна – от 5,03 до 16,23 %. Достоверное снижение значения остаточного водного дефицита в эти фазы по сравнению со стандартом KB 469 MB (5,07 и 8,97 %) не обнаружено ($HCP_{05} = \pm 1,99$ и 4,01 %).

Наименьший прирост влаги в листьях по сравнению со стандартом КВ 469 МВ отмечен у линий СП 56/-2 (№ 3), СП 56/57-21 (№ 1), ДК 22/123, КВ 498, 9837В, С 232 и ДС 498/203-3 (№ 2), которые имели минимальные значения ОВД в фазы цветения – 4,88–7,75 % и молочной спелости зерна – 5,17–7,99 % ($HCP_{05} = \pm 3,53$ %).

Все выделившиеся линии представляют ценность в качестве исходного материала для выведения засухоустойчивых гибридов кукурузы. Отбор самоопыленных линий с лучшими показателями остаточного водного дефицита позволяет сформировать коллекцию линий – отцовских форм для программ скрещивания по созданию трехлинейных засухоустойчивых гибридов кукурузы.

Исследования за период 2022–2024 гг. позволили оценить гибридные комбинации по величине водного дефицита и его прироста.

В 2022 г. показатели остаточного водного дефицита в фазу цветения были в диапазоне от 5,40 до 21,72 %, а в фазу молочно-восковой спелости зерна значения увеличились и варьировали от 6,44 до 48,29 %. Достоверное снижение значений водного дефицита по сравнению со стандартом Зерноградский 354 МВ в фазу цветения отмечено у 18 гибридов, а в фазу молочно-восковой спелости зерна – у двух гибридов ($HCP_{05} = \pm 2,41$ и 7,30 %).

Низкий водный дефицит как в фазу цветения, так и в фазу молочно-восковой спелости зерна и его прирост по сравнению со стандартом Зерноградский 354 МВ отмечены у 9 гибридов: КР 3 х ДС 768/85, Зерноградский 299, КР 5 х ДС 768/85, Дарина МВ, Нимфа С х (РН 53х GK 57), Кр194, Круча М х ДС 257/85, Круча М х ДС 768/85 и К194 ($HCP_{05} = \pm 7,87$ %) (табл. 2).

Таблица 2. Изменение остаточного водного дефицита листьев выделившихся гибридов кукурузы (2022–2024 гг.)
Table 2. Residual water deficit change in leaves of identified maize hybrids (2022–2024)

Годы	Образец	Остаточный водный дефицит, %		Прирост ОВД, %
		Фаза цветения	Фаза молочно-восковой спелости	
2022	Зерноградский 354 МВ, st	11,14	15,62	4,48
	КР 3 х ДС 768/85	5,87	6,44	0,57
	Зерноградский 299 МВ	7,45	8,26	0,81
	КР 5 х ДС 768/85	8,55	9,51	0,96
	Дарина МВ	7,98	9,11	1,13
	Нимфа С х (РН 53х GK 57)	8,25	9,98	1,73
	Кр194	7,67	10,30	2,63
	Круча М х ДС 257/85	6,47	10,14	3,67
	Круча М х ДС 768/85	6,17	10,04	3,87
	К 194	5,40	9,78	4,38
	HCP_{05}	2,41	7,30	7,87
2023	Зерноградский 354 МВ, st	7,19	9,99	2,80
	Круча М х СП 75/15-21	7,42	7,52	0,10
	КЛ 186 х ДС 257/85-6	7,39	7,57	0,18
	КВ 401 х КВ 498	7,87	8,96	0,23
	ПВ 2022-309	8,29	8,55	0,26
	ПВ 2022-323	8,29	8,68	0,39
	ПВ 2022-183	8,38	8,82	0,44
	Мила М х КВ 331	8,31	8,75	0,44
	ПВ 2022-267	8,92	9,47	0,55
	Витязь МВ	8,06	8,61	0,55
	ПВ 2022-23	7,83	8,32	0,49
	ПВ 2022-194	7,23	7,94	0,71
	HCP_{05}	2,03	2,31	2,31
	Зерноградский 354 МВ, st	6,88	8,89	2,01
2024	Круча М	3,59	4,01	0,42
	Юца М	4,81	5,49	0,68
	КВ 399 х С 204	5,53	7,21	1,68
	КВ 399 х TV 7331	6,53	7,16	0,63
	ГК 26 АМ х TV 7331	5,35	6,17	0,82
	(ГК 26 АМ х КВ 401) х ДС 498/203-4	7,22	14,54	7,32
	КВ 498 М х КВ 469 МВ	5,51	7,36	1,85
	КВ 498 М х ДС 498/203	6,14	6,57	0,43
	ГК 26 АМ х СП 280	6,04	7,10	1,06
	HCP_{05}	1,89	5,55	5,89

В 2023 г. достоверного снижения значений водного дефицита по сравнению со стандартом в фазу цветения не выявлено, а в молочно-восковую – у гибридов Круча М х СП 75/15-21 и КЛ 186 х ДК 257/85-6 ($НСР_{05} = 2,03$ и $2,31$ %).

Значения прироста остаточного водного дефицита растений кукурузы варьировали от 0,10 до 16,90 %. Наименьшие значения ОВД как в фазу цветения, так и молочно-восковой спелости зерна, а также минимальный прирост от фазы к фазе по сравнению со стандартом Зерноградский 354 МВ отмечены у гибридов Круча М х СП 75/15-21, КЛ 186 х ДС 257/85-6, КВ 401 х КВ 498, ПВ 2022-309, ПВ 2022-323, ПВ 2022-183, Мила М х КВ 331, Витязь МВ, ПВ 2022-267, ПВ 2022-23 и ПВ 2022-194 ($НСР_{05} = \pm 2,31$ %).

Среди гибридов растений кукурузы урожая 2024 г. достоверное снижение значения ОВД по сравнению со стандартом Зерноградский 354 МВ (6,88 и 8,89 %) в фазу цветения отмечено у гибридов Юца М и Круча М, а в фазу молочно-восковой спелости зерна не обнаружено ($НСР_{05} = \pm 1,89$ и $5,55$ %).

Величина прироста остаточного водного дефицита среди гибридов варьировала от 0,02 до 13,20 %. Достоверного снижения значений прироста ОВД среди гибридов кукурузы на зерно по сравнению со стандартным сортом Зерноградский 354 МВ (2,01 %) не выявлено ($НСР_{05} = \pm 5,89$ %). Минимальные значения ОВД в фазы цветения и молочно-восковой спелости зерна и наименьший прирост от фазы к фазе по сравнению со стандартным сортом отмечены у гибридов Круча М, КВ 498 М х ДС 498/203, КВ 399 х TV 7331, Юца М, ГК 26 АМ х TV 7331, ГК 26 АМ х СП 280, КВ 399 х С 204, (ГК 26 АМ х КВ 401) х ДС 498/203-4, КВ 498 М х КВ 469 МВ.

Рекомендуется включение выделенных простых гибридов в качестве материнских форм в программу скрещиваний с самоопыленными линиями – источниками засухоустой-

чивости для создания новых гибридов, высокоадаптивных к водному стрессу.

Выводы. Таким образом, за период 2022–2024 гг. из 170 изучаемых образцов кукурузы на зерно высокий уровень засухоустойчивости отмечен у 54 образцов (29 гибридов и 25 линий), что составляет 31,8 %.

Выделены новые засухоустойчивые самоопыленные линии, перспективные для селекции кукурузы: СП 75/15-11, СП 56/57-21/12, СП 56/57, ДС 768/85-3, Лу 25, СП 56/57-2/21, КР 1 МВ, RD 6, С 232, КВ 331, КВ 498, КВ 498 М, КВ 373, СП 56/57^{121 121 111}, СП 56/57^{121 111 111}, КВ 469, СП 56/57^{121 121 151 12}, СП 56/-2 (№ 3), СП 56/57-21 (№ 1), ДК 22/123, 9837В и ДС 498/203-3 (№ 2), с низкими значениями ОВД в фазу цветения (4,09–10,86 %) и незначительным его приростом (0,02–2,0 %) в процессе усиления засухи к фазе молочно-восковой спелости.

Выделены гибриды, устойчивые к водному стрессу: КР 3 х ДС 768/85, Зерноградский 299, КР 5 х ДС 768/85, Дарина МВ, Нимфа С х (РН 53х GK 57), Кр 194, Круча М х ДС 257/85, Круча М х ДС 768/85, К194, Круча М х СП 75/15-21, КЛ 186 х ДС 257/85-6, КВ 401 х КВ 498, ПВ 2022-309, ПВ 2022-323, ПВ 2022-183, Мила М х КВ 331, Витязь МВ, ПВ 2022-267, ПВ 2022-23, ПВ 2022-194, Круча М, КВ 498 М х ДС 498/203, КВ 399 х TV 7331, Юца М, ГК 26 АМ х TV 7331, ГК 26 АМ х СП 280, КВ 399 х С 204, (ГК 26 АМ х КВ 401) х ДС 498/203-4, КВ 498 М х КВ 469 МВ, с невысоким водным дефицитом как в фазу цветения (3,59–8,92 %), так и в фазу молочно-восковой спелости зерна (4,01–14,54 %).

Все выделившиеся образцы кукурузы по устойчивости к водному стрессу рекомендуются использовать как исходные формы для дальнейшей селекционной работы по выведению засухоустойчивых гибридов кукурузы.

Финансирование. Государственное задание № 0505-2022-0005 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Гусева С. А., Бочкарева Ю. В., Волков Д. П., Башинская О. С., Носко О. С., Ларина Т. В. Оценка относительной засухоустойчивости сортов образцов сахарной кукурузы в лабораторных условиях // Journal of Agriculture and Environment. 2023. № 33(5). DOI: 10.23649/JAE.2023.33.4
2. Игнатьев А. С. Оценка новых самоопыленных линий и гибридов восковидной кукурузы (*Zea mays l. ceratina*) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2(74). С. 22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-22-26
3. Кагермазов А. М., Хачидогов А. В. Механизмы засухоустойчивости кукурузы // Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 2. С. 62–65.
4. 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
5. Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Газе В. Л., Анисимова Н. Н. Исходный материал для селекции засухоустойчивых гибридов кукурузы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 6(55). С. 15–20.
6. Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Игнатьев А. С. Засухоустойчивость новых самоопыленных линий кукурузы и методы ее оценки // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3(27). С. 95–106. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106
7. Николаев М. В. Климатические изменения и ведение полеводства в зоне осушаемых земель Европейского Нечерноземья России: уязвимость и адаптация // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 1. С. 60–74. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.60rus

8. Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарев Д. С. Сравнительная индексация раннеспелых гибридов кукурузы в экологическом испытании // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24(4). С. 581–591. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591
9. Панфилова О. Н., Чугунова Е. В., Дерунова С. Н. Исходный материал для селекции кукурузы на засухоустойчивость // Аграрный научный журнал. 2020. № 2. С. 29–37.
10. Сукиасян А. Р. Дифференциальная антиоксидантная реакция на засуху по зонам роста листьев кукурузы // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 169–177.
11. McMillen M. S., Mahama A. A., Sibiya J., Lübberstedt T., Suza W. P. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques // *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13, Article number 1001001.

References

1. Guseva S. A., Bochkareva Yu. V., Volkov D. P., Bashinskaya O. S., Nosko O. S., Larina T. V. Otsenka otnositel'noi zasukhoustoichivosti sortoobraztsov sakharnoi kukuruzy v laboratornykh usloviyakh [Estimation of relative drought resistance of sweet corn varieties in laboratory conditions] // *Journal of Agriculture and Environment*, 2023. № 33(5). DOI: 10.23649/JAE.2023.33.4
2. Ignat'ev A. S. Otsenka novykh samoopylennykh linii i gibridov voskovidnoi kukuruzy (*Zea mays* l. *ceratina*) [Estimation of new self-pollinated lines and hybrids of waxy maize (*Zea mays* l. *ceratina*)] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 2(74). С. 22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-22-26
3. Kagermazov A. M., Khachidogov A. V. Mekhanizmy zasukhoustoichivosti kukuruzy [Mechanisms of drought resistance of maize] // *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*. 2018. № 2. С. 62–65.
4. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A. Ustoichivost' k vodnomu stressu novykh samoopylennykh linii i gibridov kukuruzy [Resistance to water stress of new self-pollinated lines and hybrids of maize] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 5(77). С. 46–50. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50
5. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Gaze V. L., Anisimova N. N. Iskhodnyi material dlya selektsii zasukhoustoichivyykh gibridov kukuruzy [Initial material for breeding drought-resistant hybrids of maize] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2016. № 6(55). С. 15–20.
6. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A., Ignat'ev A. S. Zasukhoustoichivost' novykh samoopylennykh linii kukuruzy i metody ee otsenki [Drought resistance of new self-pollinated lines of maize and methods for its estimation] // *Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki*. 2021. № 3(27). С. 95–106. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-95-106
7. Nikolaev M. V. Klimaticheskie izmeneniya i vedenie polevodstva v zone osushaemykh zemel' Evropeiskogo Nechernozem'ya Rossii: uyazvimost' i adaptatsiya [Climate change and field cultivation in the area of drained lands of the European Non-Black Earth Region of Russia: vulnerability and adaptation] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2023. Т. 58, № 1. С. 60–74. DOI: 10.15389/agrobiol.2023.1.60rus
8. Orlyanskaya N. A., Orlyanskii N. A., Chebotarev D. S. Sravnitel'naya indeksatsiya rannespelykh gibridov kukuruzy v ekologicheskoy ispytanii [Comparative indexation of early-maturing maize hybrids in an ecological testing] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023. № 24(4). С. 581–591. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.581-591
9. Panfilova O. N., Chugunova E. V., Derunova S. N. Iskhodnyi material dlya selektsii kukuruzy na zasukhoustoichivost' [Initial material for breeding maize for drought resistance] // *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2020. № 2. С. 29–37.
10. Sukiasyan A. R. Differentsial'naya antioksidantnaya reaktsiya na zasukhu po zonam rosta list'ev kukuruzy [Differential antioxidant response to drought by maize leaf growth zones] // *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2019. № 2. С. 169–177.
11. McMillen M. S., Mahama A. A., Sibiya J., Lübberstedt T., Suza W. P. Improving drought tolerance in maize: Tools and techniques // *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13, Article number: 1001001.

Поступила: 10.03.25; доработана после рецензирования: 19.03.25; принята к публикации: 19.03.25

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. Газе В. Л. – концептуализация исследования, проведение лабораторных опытов; Лобунская И. А. – сбор данных и подготовка рукописи; Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В. – проведение лабораторных опытов; Кривошеев Г. Я. – анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.