

ДЛИНА МЕТЕЛКИ У ГИБРИДОВ F_1 – F_2 СОРГО ЗЕРНОВОГО В СРАВНЕНИИ С РОДИТЕЛЬСКИМИ ФОРМАМИ

В. В. Ковтунов^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, доцент кафедры «Агрономия», kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

П. И. Костылев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

Н. А. Ковтунова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

С. И. Камбулов^{1,2}, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства, профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», kambulov.s@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8712-1478;

Е. А. Шишова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, shischovae@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622

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

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344000, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 2

У сорго зернового одним из признаков, определяющих урожайность зерна, является размер метелки. Несмотря на свою важность для урожайности и адаптации, генетический контроль морфологии метелки до конца не изучен. Следовательно, знание генетической основы архитектуры соцветий сорго и его компонентов может дополнить усилия селекционеров по улучшению сорго. В связи с этим целью исследований являлось определение величины гетерозиса и типов наследования признака «длина метелки», а также число генов, контролирующего данный признак, у гибридов первого и второго поколения в комбинациях сорго зернового, полученных между сортами, далекими по географическому происхождению. Исследования проводили в условиях южной зоны Ростовской области (г. Зерноград) в трехпольном научном севообороте лаборатории селекции и семеноводства сорго ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве объекта исследований использованы родительские формы, а также гибриды первого и второго поколений сорго зернового. В гибридизацию были включены сорта Атаман и Лучистое селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Россия), а также сорта из Республики Уганда (Восточная Африка) Seso 1 и Narosorg 1. Проведенные исследования позволили установить закономерности наследования и проявление гетерозиса по признаку «длина метелки» у гибридов F_1 и F_2 , полученных на фертильной основе. Определено, что значения истинного гетерозиса варьируют от 0 до 30,8 %, а гипотетического – от 14,3 до 33,3 %. Признак наследуется по типу сверхдоминирования ($h_r = 1,3$ – $17,0$) и полного доминирования больших значений ($h_r = 1,0$). Гибридологический анализ гибридов во втором поколении позволил выявить различия родительских форм по одной паре генов.

Ключевые слова: сорго зерновое, сорт, родительская форма, гибрид, наследование, длина метелки, гетерозис.

Для цитирования: Ковтунов В. В., Костылев П. И., Ковтунова Н. А., Камбулов С. И., Шишова Е. А. Длина метелки у гибридов F_1 – F_2 сорго зернового в сравнении с родительскими формами // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 5. С. 13–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-100-5-13-19.



PANICLE LENGTH IN GRAIN SORGHUM HYBRIDS F_1 – F_2 COMPARED TO PARENTAL FORMS

V. V. Kovtunov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, associate professor of the department "Agronomy", kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

P. I. Kostylev¹, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

N. A. Kovtunova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

S. I. Kambulov^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, main researcher of the department of plant breeding mechanization, professor of the department of technologies and equipment for processing of AIC products, kambulov.s@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8712-1478;

E. A. Shishova¹, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, shischovae@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622

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

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University" 344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 2

In grain sorghum, one of the traits that determines grain productivity is panicle size. Despite its importance for productivity and adaptation, the genetic control of panicle morphology is not fully studied. Therefore, knowledge of

the genetic basis of sorghum inflorescence architecture and its components can assist breeders' efforts to improve sorghum. In this regard, the purpose of the current study was to determine the magnitude of heterosis and the types of inheritance of the trait 'panicle length', as well as the number of genes controlling this trait, in hybrids of the first- and second-generation in grain sorghum combinations obtained between varieties distant in geographic origin. The study was conducted in the conditions of the southern part of the Rostov region (Zernograd) in three crop rotation sequences of the laboratory for sorghum breeding and seed production of the FSBSI "ARC "Donskoy". The objects of the study were parental forms, as well as hybrids of the first and second generation of grain sorghum. The hybridization included the varieties 'Ataman' and 'Luchistoye' developed by the FSBSI "ARC "Donskoy" (Russia), as well as the varieties 'Seso 1' and 'Narosorg 1' from the Republic of Uganda (East Africa). The conducted study allowed establishing the patterns of inheritance and manifestation of heterosis for the trait 'panicle length' in the hybrids F_1 and F_2 obtained on a fertile basis. There has been determined that the values of true heterosis vary from 0 to 30.8 %, and hypothetical heterosis ranges from 14.3 to 33.3 %. The trait is inherited according to the type of overdominance ($h_p = 1.3-17.0$) and complete dominance of large values ($h_p = 1.0$). Hybridological analysis of hybrids in the second generation allowed identifying differences in parental forms for one pair of genes.

Keywords: grain sorghum, variety, parental form, hybrid, inheritance, panicle length, heterosis.

Введение. Селекционная работа по созданию новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур ведется, как правило, для конкретных почвенно-климатических условий с учетом лимитирующих факторов среды (Кривошеев и Игнатъев, 2024). На юге Российской Федерации в зоне недостаточного увлажнения лимитирующим фактором является влагообеспеченность (Кривошеев и Шевченко, 2021). Сорго относится к числу наиболее важных сельскохозяйственных культур. Прежде всего это связано с его более высокой устойчивостью к жаре и засухе по сравнению с другими культурными растениями. Сорго менее чувствительно к неустойчивому влагообеспечению, типичному для полузасушливых зон (Gitz III et al., 2019; Капустин и др., 2023; Ковтунова и Ковтунов, 2024).

У сорго зернового одним из признаков, определяющих урожайность зерна, является размер соцветия – метелки. Оно состоит из главной оси и отходящих от нее ветвей первого, второго и последующего порядков (Wang et al., 2021). Метелки у сорго обладают более сильным ветвлением, чем метелки кукурузы и риса, а также значительно различаются по количеству, длине и углу первичных ветвей, форме и размеру (Li et al., 2020). Метелки сорго могут быть компактными или рыхлыми, до 50 см в длину и 30 см в ширину (Wang et al., 2021). Морфология метелки является важным критерием для классификации сорго. Лучшей перспективой в производстве обладают гибриды сорго с крупной прямостоячей рыхлой и хорошо выдвинутой из раструба верхнего листа метелкой (Капустин и др., 2019). По мнению Desmae et al. (2016), растения с рыхлыми метелками являются более мелкосеменными и менее урожайными. Однако компактные метелки более подвержены поражению вредителями и болезнями. В результате формы с рыхлыми метелками более распространены во влажных условиях, чтобы предотвратить плесневение зерна, а виды с компактными метелками в большей степени распространены в сухих условиях (Wang et al., 2021). Несмотря на свою важность для урожайности и адаптации, генетический контроль морфологии метелки до конца не изучен.

Следовательно, знание генетической основы архитектуры соцветий сорго и его компо-

нентов может дополнить усилия селекционеров по улучшению сорго.

Цель исследований – определить величину гетерозиса и типы наследования признака «длина метелки», а также число генов, контролирующих данный признак, у гибридов первого и второго поколений в комбинациях сорго зернового, полученных между сортами, далекими по географическому происхождению.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в условиях южной зоны Ростовской области (г. Зерноград) в трехпольном научном севообороте лаборатории селекции и семеноводства сорго ФГБНУ «АНЦ «Донской». Предшественник – озимая пшеница, годы исследований – 2020–2022-й.

Метеорологические условия в годы проведения исследований (2020–2022) были контрастны. Наибольшее количество осадков за вегетационный период (май–сентябрь) выпало в 2021 г. (273,1 мм), а 2020 г. (226,8 мм) и 2022 г. (168,0 мм) характеризовались недостаточной влагообеспеченностью (среднемесячные значения 267,8 мм). ГТК за период май–сентябрь: в 2020 г. – 0,68, в 2021 г. – 0,82, в 2022 г. – 0,52.

Объектом исследований являлись родительские формы (Атаман, Лучистое, Seso 1, Narosorg 1), а также гибриды первого и второго поколений (Атаман × Seso 1, Атаман × Narosorg 1, Лучистое × Seso 1, Лучистое × Narosorg 1) сорго зернового.

Посев проводили во II декаде мая селекционной сеялкой Клен-4,2 с нормой высева 280 тыс. зерен на 1 гектар. Площадь делянки в питомнике гибридов первого поколения составляла 4,9 м², в питомнике гибридов второго поколения – 14,7 м².

Степень доминирования рассчитывали по формуле, описанной Мазер и Джинкс (1985), а истинный и гипотетический гетерозис – Д. С. Омаровым (1975).

Генетический анализ длины метелки у гибридов второго поколения проводили с использованием программы Полиген А.

Результаты и их обсуждение. Правильный подбор исходных родительских образцов для скрещивания считается одним из наиболее важных вопросов в практической селекционной работе. При планировании гибридизации

селекционеры опираются на различные принципы отбора родительских пар. Одним из них является принцип подбора пар по эколого-географическому происхождению. В данном случае проявление гетерозиса определяется генетическими различиями привлеченных в систему скрещиваний образцов, которые возникли вследствие географической изоляции.

В наших исследованиях в гибридизации были использованы в качестве материнских форм сорта Атаман и Лучистое селекции

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Россия), а в качестве отцовских форм – сорта Seso 1 и Narosorg 1 из Республики Уганда (Восточная Африка).

Оценка исходных родительских форм в 2020–2022 гг. показала, что минимальной длиной метелки характеризовался сорт сорго зернового Атаман (23 см). У сортов Seso 1 и Narosorg 1 средние значения данного признака за три года составили 25 см, а у сорта Лучистое – 28 см (табл. 1).

Таблица 1. Длина метелки родительских форм гибридов сорго зернового (2020–2022 гг.)
Table 1. Panicle length of parental forms of grain sorghum hybrids (2020–2022)

Родительская форма	Длина метелки, см			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее
Атаман	24	26	19	23
Лучистое	29	32	24	28
Seso 1	27	24	25	25
Narosorg 1	23	25	26	25

Проведенные скрещивания между сортами сорго зернового Атаман и Seso1 привели к созданию гибрида F_1 , который в условиях 2021 г. сформировал метелку длиной 33 см, что на 7 и 9 см соответственно больше в срав-

нении с исходными формами. Включение в программу скрещиваний сорта Narosorg 1 также позволило получить гибрид первого поколения, превышающий по длине метелки родительские образцы (рис. 1).



А



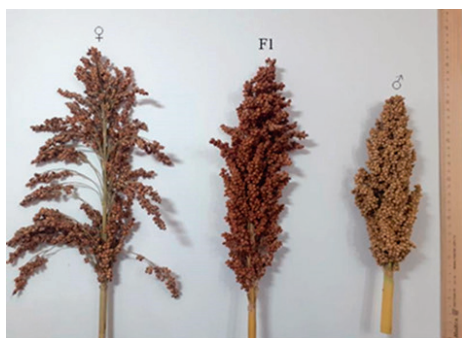
Б

Рис. 1. Метелки гибридных комбинаций первого поколения Атаман × Seso 1 (А) и Атаман × Narosorg 1 (Б) в сравнении с исходными образцами, 2021 год

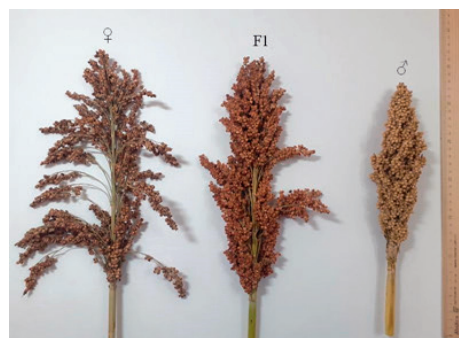
Fig. 1. Panicles of the hybrid combinations of the first generation 'Ataman × Seso 1' (A) and 'Ataman × Narosorg 1' (B) in comparison with the original samples, 2021

В результате использования в гибридизации отечественного сорта Лучистое и угандийского сорта Seso1 получена гибридная форма первого поколения с длиной метелки 32 см,

что на уровне материнской формы и больше отцовской на 8 см. Длина метелки у гибрида, полученного в результате скрещивания сортов Лучистое и Narosorg 1, достигала 33 см (рис. 2).



А



Б

Рис. 2. Метелки гибридных комбинаций первого поколения Лучистое × Seso 1 (А) и Лучистое × Narosorg 1 (Б) в сравнении с исходными образцами, 2021 год

Fig. 2. Panicles of the hybrid combinations of the first generation 'Luchistoe × Seso 1' (A) and 'Luchistoe × Narosorg 1' (B) in comparison with the original samples, 2021

На основе анализа значений истинного и гипотетического гетерозиса установлено варьирование этих показателей от 0 до 30,8 % и от 14,3 до 33,3 % соответственно. Наибольшие значения отмечены в комбинации

F₁ Атаман х Narosorg 1. Наследование признака проходило по типу сверхдоминирования ($h_p = 1,3-17,0$) и полного доминирования больших значений признака ($h_p = 1,0$) (табл. 2).

Таблица 2. Гетерозис и степень доминирования по признаку «длина метелки» у гибридов первого поколения сорго зернового, 2021 год

Table 2. Heterosis and dominance level according to the trait 'panicle length' in the grain sorghum hybrids of the first generation, 2021

Гибрид	♀	♂	F ₁	h _p	Г _{ист.} %	Г _{гип.} %
F ₁ Атаман × Seso 1	26	24	33	8,0	26,9	32,0
F ₁ Атаман × Narosorg 1	26	25	34	17,0	30,8	33,3
F ₁ Лучистое × Seso 1	32	24	32	1,0	0,0	14,3
F ₁ Лучистое × Narosorg 1	32	25	33	1,3	3,1	15,8

Изучение четырех гибридов F₂, полученных по топкроссной схеме, с помощью программы Полиген А позволило выявить типы наследования, количество аллельных различий генов, контролирующих признак «длина метелки», а также силу действия одного гена.

На основе проведенного гибридологического анализа в комбинации от скрещивания образцов Атаман (19 см) и Seso 1 (25 см) уста-

новлено моногибридное расщепление. У гибрида средняя длина метелки составила 21 см. Кривая распределения частот гибрида находилась в пределах изменчивости исходных образцов, доминирование было частичным отрицательным ($h_p = -0,33$), а расщепление происходило по моногенной схеме в соотношении 1:2:1 (рис. 3). Сила действия гена равна 5,7 см.

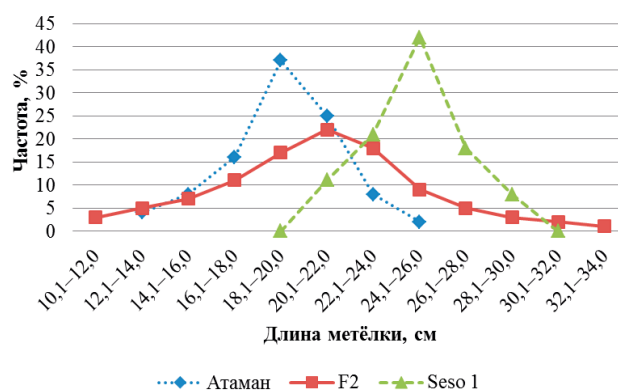


Рис. 3. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F₂ Атаман × Seso 1, 2022 год
Fig. 3. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F₂ 'Ataman × Seso 1', 2022

У образцов Атаман и Narosorg 1, различающихся по длине метелки на 10 см (средняя длина метелки сорта Атаман – 19 см, Narosorg 1 –

26 см), позволило выявить у гибрида второго поколения моногибридное расщепление в соотношении 1:3 (рис. 4).

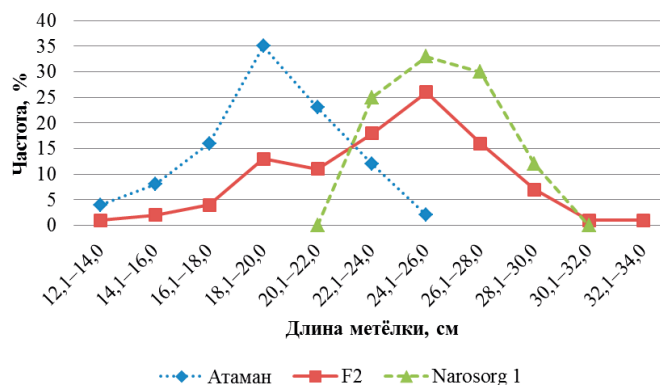


Рис. 4. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F₂ Атаман × Narosorg 1, 2022 год
Fig. 4. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F₂ 'Ataman × Narosorg 1', 2022

Такое соотношение свидетельствует о различии родительских форм по одной паре генов. Кривая распределения частот признака имела левостороннюю асимметрию ($As = -0,29$) и положительное доминирование ($hp = 0,36$). Сила одного гена соответствовала 6,4 см.

Гибридологический анализ потомства второго поколения Лучистое $\times$ Narosorg 1 показал,

что сорта Лучистое и Narosorg 1 различались между собой по аллельному состоянию одного гена. Кривая распределения частот признака гибрида была двухвершинная, а эти вершины находились в тех же классах, что и родительские формы (рис. 5).

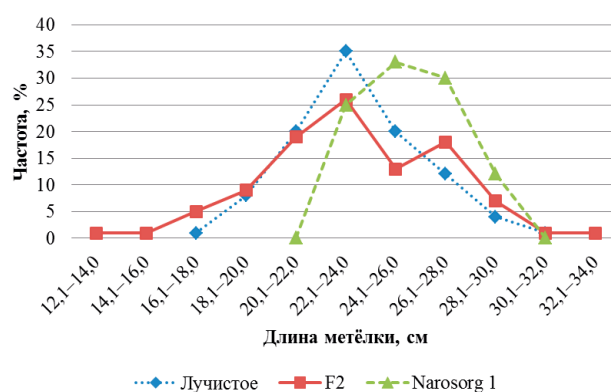


Рис. 5. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F_2 Лучистое $\times$ Narosorg 1, 2022 год
Fig. 5. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F_2 'Luchistoe $\times$ Narosorg 1', 2022

Среднее значение длины метелки у гибрида – 24 см, у сорта Лучистое – 24 см, у сорта Narosorg 1 – 26 см. Кривая распределения частот значений имеет правостороннюю асимметрию ($As = 0,71$), что свидетельствует о доминировании меньшей длины метелки. Степень доминирования составила $-1,06$. Наблюдали расщепление гибрида в соотношении 3:1, при этом 1/4 часть приходится на долю родителя с большим значением признака. Сила гена равнялась 2,0 см.

Подобный тип наследования отмечен у гибрида F_2 Лучистое $\times$ Seso 1 (рис. 6). Среднее зна-

чение гибрида – 22 см, сорта Лучистое – 24 см, Seso 1 – 25 см. Анализ этой гибридной популяции позволил выявить различия родительских форм по одной паре генов. Расщепление происходило в соотношении 3:1. Отрицательная степень доминирования ($hp = -4,13$) указывает на доминирование меньших значений признака и гибридную депрессию. Возможно, это связано с недоразвитием части метелок у растений гибридной популяции. Сила гена в этом случае равнялась 1,2 см.

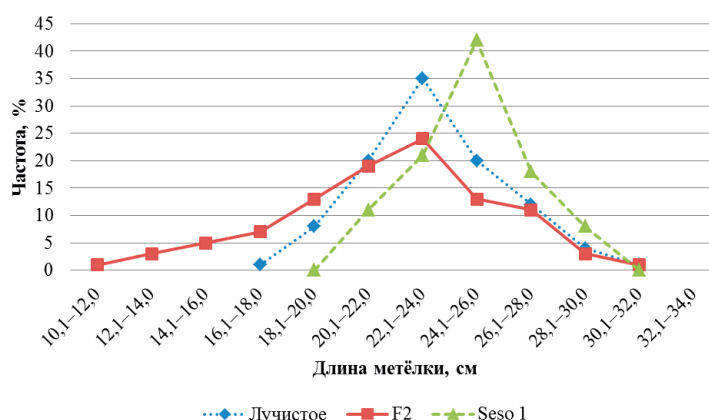


Рис. 6. Распределение частот значений признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида F_2 Лучистое $\times$ Seso 1, 2022 год
Fig. 6. Frequency distribution of the values of the trait 'panicle length' in parental varieties and the hybrid F_2 'Luchistoe $\times$ Seso 1', 2022

Таким образом, гибридологический анализ наследования признака «длина метелки» показал различия изученных родительских сортов по одной паре генов. При этом установлено

наличие как полного или частичного отрицательного доминирования, так и частичного положительного доминирования. Расщепление происходило в соотношении 3:1, 1:3 и 1:2:1.

Для дальнейшей селекционной работы из гибридных популяций второго поколения были отобраны формы с длиной метелки более 30 см.

Выводы.

1. Выявлены закономерности наследования и проявление гетерозиса по признаку «длина метелки» у гибридов F_1 , полученных на фертильной основе между далекими по географическому происхождению образцами. Значения истинного гетерозиса варьируют от 0 до 30,8 %, а гипотетического – от 14,3 до 33,3 %. Признак наследуется по типу сверхдоминиро-

вания ($h_p = 1,3-17,0$) и полного доминирования больших значений ($h_p = 1,0$).

2. Гибридологический анализ гибридов во втором поколении позволил выявить различия родительских форм по одной паре генов.

3. Для дальнейшей селекционной работы в гибридных комбинациях F_2 выделены образцы с длиной метелки более 30 см.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания № 0505-2025-0010 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

1. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Хозяйственно ценные признаки новых гибридов (F_1) сорго сахарного и их родительских форм // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 61–71. DOI: 10.5281/zenodo.8271957
2. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Оценка исходного материала и наследование хозяйственно ценных признаков зернового сорго // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3(77). С. 83–66.
3. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Влияние уровня влагообеспеченности на урожайность и питательную ценность сорговых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54, № 2. С. 22–30. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-2-3
4. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Влияние количественных признаков на урожайность зерна гибридов кукурузы в зависимости от климатических условий // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 2. С. 30–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-30-35
5. 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
6. Desmae H., Jordan D.R., Godwin I.D. Geographic patterns of phenotypic diversity in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landraces from North Eastern Ethiopia // African Journal of Agricultural Research. 2016. Vol. 11(33), P. 3111–3122. DOI: 10.5897/AJAR2016.11121
7. Gitz III D. C., Baker J.T., Xin Z. G., Stout J. E., Lascano R. J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multiseed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106
8. Li M., Shao M. R., Zeng D., Ju T., Kellogg E.A., Topp C.N. Comprehensive 3D phenotyping reveals continuous morphological variation across genetically diverse sorghum inflorescences // New Phytol. 2020. Vol. 226(6), P. 1873–1885. DOI: 10.1111/nph.16533
9. Wang L., Upadhyaya H. D., Zheng J., Liu Y., Singh S. K., Gowda C. L. L., Kumar R., Zhu Y., Wang Y-H., Li J. Genome-Wide Association Mapping Identifies Novel Panicle Morphology Loci and Candidate Genes in Sorghum // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12, Article number: 743838. DOI: 10.3389/fpls.2021.743838

References

1. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Khozyaistvenno tsennyye priznaki novykh gibridov (F_1) sorgo sakharnogo i ikh roditel'skikh form [Economically valuable traits of new hybrids (F_1) of sweet sorghum and their parental forms] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2023. № 2(34). S. 61–71. DOI: 10.5281/zenodo.8271957
2. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Otsenka iskhodnogo materiala i nasledovanie khozyaistvenno tsennykh priznakov zernovogo sorgo [Estimation of initial material and inheritance of economically valuable traits of grain sorghum] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 3(77). S. 83–66.
3. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. Vliyaniye urovnya vlagoobespechennosti na urozhainost' i pitatel'nyuy tsennost' sorgovykh kul'tur [The effect of moisture supply level on productivity and nutritional value of sorghum crops] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2024. T. 54, № 2. S. 22–30. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-2-3
4. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev A. S. Vliyaniye kolichestvennykh priznakov na urozhainost' zerna gibridov kukuruzy v zavisimosti ot klimaticheskikh uslovii [The effect of quantitative traits on grain productivity of maize hybrids depending on weather conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 2. S. 30–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-30-35
5. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N. A. Ustoichivost' k vodnomu stressu novykh samoopylenykh linii i gibridov kukuruzy [Water stress resistance of new self-pollinated maize lines and hybrids] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 5(77). S. 46–50. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-46-50
6. Desmae H., Jordan D. R., Godwin I. D. Geographic patterns of phenotypic diversity in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landraces from North Eastern Ethiopia // African Journal of Agricultural Research. 2016. Vol. 11(33), P. 3111–3122. DOI: 10.5897/AJAR2016.11121
7. Gitz III D. C., Baker J.T., Xin Z. G., Stout J. E., Lascano R. J. Systematic Errors Introduced into Sorghum Grain Yield Data: Does the Multiseed (msd) Trait Increase Sorghum Seed Yield? // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol. 10, P. 1503–1516. DOI: 10.4236/ajps.2019.109106

8. Li M., Shao M. R., Zeng D., Ju T., Kellogg E.A., Topp C.N. Comprehensive 3D phenotyping reveals continuous morphological variation across genetically diverse sorghum inflorescences // *New Phytol.* 2020. Vol. 226(6), P. 1873–1885. DOI: 10.1111/nph.16533

9. Wang L., Upadhyaya H.D., Zheng J., Liu Y., Singh S.K., Gowda C.L.L., Kumar R., Zhu Y., Wang Y.-H., Li J. Genome-Wide Association Mapping Identifies Novel Panicle Morphology Loci and Candidate Genes in Sorghum // *Frontiers in Plant Science.* 2021. Vol. 12, Article number: 743838. DOI: 10.3389/fpls.2021.743838

Поступила: 05.06.25; доработана после рецензирования: 24.07.25; принята к публикации: 05.09.25.

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. Ковтунов В. В. – концептуализация исследований, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Костылев П. И. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Ковтунова Н. А. – выполнение опытов, сбор данных, подготовка рукописи; Камбулов С. И. – анализ данных и их интерпретация; Шишова Е. А. – выполнение опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.