

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.174; 631.527

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-5-11

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ГЕТЕРОЗИСА МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ГИБРИДОВ F_1 СОРГО ЗЕРНОВОГО

Н. Н. Сухенко, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, nadeshdasuchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0856-6661;

В. В. Ковтунов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Приоритетным направлением в селекции зернового сорго является выведение новых раннеспелых высокопродуктивных гибридов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона и внедрение их в сельскохозяйственное производство. В этой связи особый интерес представляет использование эффекта гетерозиса у гибридов, полученных на основе материнских линий с цитоплазматической мужской стерильностью. В статье представлены результаты исследований гетерозиса гибридов первого поколения сорго зернового, созданных на основе ЦМС-линий по основным количественным признакам. Опыты проводили в 2020–2022 гг. в лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». Цель исследований – изучить эффект гетерозиса морфо-биологических признаков гибридов первого поколения сорго зернового от скрещивания стерильных линий с высокопродуктивными сортами и образцами различной селекции. У большинства гибридов истинный и гипотетический гетерозис установлен по высоте растений, массе и количеству зерен с метелки, а частота высоких значений гетерозиса отмечена по массе и количеству зерен. Максимальный эффект проявления гетерозиса установлен по признаку «выдвинутость ножки метелки» в комбинации АЗСК21 x ЗСК 24/20 ($H_{ист} = 335,0\%$; $H_{гип} = 694,4\%$). По продолжительности вегетационного периода за годы изучения (2020–2022) все комбинации оказались раннеспелыми, и эффект гетерозиса у большинства отсутствовал. К низкорослым отнесены 65 % гибридов, и наибольший гетерозис по высоте растений составил 38,9 %. В ходе испытаний у гибрида Джетта x ЗСК 217 (87,35 г) отмечено превышение по массе зерен с метелки над лучшей родительской формой. Определены образцы, которые целесообразно использовать в скрещиваниях для получения высокопродуктивных гибридов: Ву 112, ЗСК 196/17, ЗСК 217, Жемчуг № 56, Жемчуг № 59 и В-10434.

Ключевые слова: сорго зерновое, гетерозис, гибрид, стерильная линия, продуктивность.

Для цитирования: Сухенко Н.Н., Ковтунов В.В. Изучение эффекта гетерозиса морфо-биологических признаков гибридов F_1 сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 5. С. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-5-11.



STUDY OF THE HETEROSIS EFFECT OF MORPHO-BIOLOGICAL TRAITS OF GRAIN SORGHUM HYBRIDS F_1

N. N. Sukhenko, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for grain sorghum breeding and seed production, nadeshdasuchenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0856-6661;

V. V. Kovtunov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for grain sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705

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

The priority direction in grain sorghum breeding is the development of new early maturing, highly productive hybrids adapted to the soil and climatic conditions of the region and their introduction into agricultural production. Thus, the use of the heterosis effect in hybrids developed from maternal lines with cytoplasmic male sterility is of particular interest. The current paper has presented the study results of heterosis of grain sorghum hybrids of the first generation, developed on the basis of CMS lines, according to the main quantitative traits. The trials were carried out in the laboratory for grain sorghum breeding and seed production of the FSBSI “Agricultural Research Center “Donskoy” in 2020–2022. The purpose of the current research was to study the heterosis effect of morpho-biological traits of grain sorghum hybrids of the first generation developed from crossing sterile lines with highly productive varieties and samples of various breeding. In most hybrids, true and hypothetical heterosis were identified according to plant height, weight, and number of grains per panicle, and the frequency of high heterosis values was estimated according to weight and number of grains. The maximum effect of heterosis manifestation was established based on the trait ‘protrusion of a panicle stalk’ in the combination of AZSK21 x ZSK 24/20 ($H_{true} = 335.0\%$; $H_{hyp} = 694.4\%$). According to the length of a vegetation period during 2020–2022, all combinations turned out to be early maturing and the heterosis effect

was absent in most variants. 65 % of hybrids were classified as undersized, and the highest heterosis in the trait 'plant height' was 38.9 %. During the trials, the hybrid 'Jetta x ZSK 217' (87.35 g) showed an excess in the trait 'grain weight per panicle' over the best parental form. There have been identified the samples that are expedient to use in crossings to obtain highly productive hybrids, such as 'By 112', 'ZSK 196/17', 'ZSK 217', 'Zhemchug No. 56', 'Zhemchug No. 59' and 'B-10434'.

Keywords: grain sorghum, heterosis, hybrid, sterile line, productivity.

Введение. Основным этапом и главным условием сохранения животноводства при развитии агропромышленного комплекса России является создание высокоурожайных гибридов зернофуражных культур, устойчивых к неблагоприятным климатическим условиям (Кибальник, 2017; Костылев и Костылева, 2020). Сорго зерновое как высокопродуктивная, не требовательная к почвам и засухоустойчивая культура имеет большие перспективы в плане стабилизации производства зерна (Abreha et al., 2022; Kibalnik et al., 2021). В данное время одним из наиболее эффективных методов повышения урожайности является использование гетерозиса у гибридов первого поколения. Идентификация и использование продуктивных гибридов сорго могут существенно увеличить урожайность зерна (Ковтунова и Володин, 2017; Костылев и Костылева, 2020; Kibalnik et al., 2021). Преимущество таких гибридов за счет проявления эффекта гетерозиса может выражаться в различных признаках: более высокая устойчивость к условиям выращивания, увеличение массы 1000 и количества зерен, увеличение линейных размеров морфологических признаков гибридного растения (Вертикова и Пыльнев, 2021). Селекция на гетерозис во многом зависит от правильно спланированной программы скрещиваний, включения скороспелого исходного материала с высокой общей и специфической комбинационной способностью, изучения закономерностей наследования вегетативных и генеративных признаков растений (Беседа, 2010; Кибальник, 2019). Однако успех внедрения новых гибридов в сельскохозяйственное производство, а также уровень их урожайности во многом зависят от правильного подбора родительских пар и высокого качества гибридных семян первого поколения на участках гибридизации (He et al., 2020; Kovtunova et al., 2020). При создании гибридов определяющими признаками являются раннеспелость, низкорослость и высокая продуктивность. Проявление гетерозиса при этом представляет практический интерес при его максимальном значении по признакам продуктивности и минимальном по продолжительности вегетационного периода и высоте растений (Кибальник, 2019; Костылев и Костылева, 2020). Цель исследований – изучить эффект гетерозиса морфо-биологических признаков гибридов первого поколения сорго зернового от скрещивания стерильных линий с высокопродуктивными сортами и образцами различной селекции.

Материалы и методы исследований.

Объектом исследования послужили 46 гибридов первого поколения сорго зернового,

полученные на основе ЦМС-линий АЗСК 21, Деметра и Джетта. В качестве опылителей использовали 23 высокопродуктивных образца нашей селекции и других научных учреждений: By 112, B-10434, R 111 ф, 06.VI.12. RB, TAM 2694 B-B, TAM 2693 B-B, КУ-15, ЗСК 196/17, ЗСК 217, ЗСК 138, ЗСК 24/20, ЗСК 27/20, ЗСК 282/14, ЗСК 265/18, ЗСК 34, ЗСК 34/20, ВИР 1, Жемчуг № 59, Жемчуг № 55, Жемчуг № 56, Лучик, Пионер 88 и Атлант.

Опыты были заложены в 2020–2022 гг. в соответствии с методикой полевого опыта и методикой Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. Погодные условия в годы исследований были контрастны. ГТК за период вегетации сорго в 2020 г. составил 0,68, в 2021 г. – 0,82, в 2022 г. – 0,51. Посев гибридного питомника сорго зернового проводили селекционной сеелкой Клен-4,2 с междурядьями 70 см в оптимальные сроки (1–2-я декада мая). В качестве стандарта использован районированный гибрид Дюйм. Анализ количественных признаков сорго зернового проводили с учетом Широкого унифицированного классификатора СЭВ и международного классификатора СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench. Учет урожая сорго зернового проводили в фазе полной спелости зерна. В лабораторных условиях проводили структурный анализ и обмолот метелок. Для статистической обработки данных использовали программы Excel и Statistica. Гетерозис рассчитывали по следующим формулам:

$$\Gamma_{\text{истинный}} = ((F_1 - P_{\text{л}}) / P_{\text{л}}) \cdot 100 \%;$$

$$\Gamma_{\text{гипотетический}} = ((F_1 - P_{\text{ср}}) / P_{\text{ср}}) \cdot 100 \%;$$

где F_1 – значение гибрида; $P_{\text{л}}$ – значение лучшей родительской формы; $P_{\text{ср}}$ – среднее значение родительских форм.

Результаты и их обсуждение. У гибридов первого поколения по продолжительности вегетационного периода установлены незначительные различия от 88 до 97 дней ($V = 2,4 \%$). Родительские формы по срокам созревания варьировали от 87 до 115 дней. Проявление эффекта истинного и гипотетического гетерозиса по данному признаку у большинства комбинаций было отрицательным или практически отсутствовало. У трех гибридов определены минимальные значения истинного гетерозиса ($\Gamma_{\text{ист}} = 1,18\text{--}3,9 \%$) и у семи – гипотетического ($\Gamma_{\text{гип}} = 1,29\text{--}6,0 \%$), и разница по периоду вегетации в сравнении с их родительскими формами была не более трех дней. Комбинации Деметрах TAM 2693 B-B и Деметрах TAM 2694 B-B созрели одновременно со стандартом (88 дней).

Наибольшая высота растений у гибридов за три года исследований отмечена с ЦМС-линией Джетта в комбинациях с 8 опылителями (121–130 см). У родительских форм максимальное значение по данному признаку было 126,5 см. Самыми низкорослыми оказались

два гибрида – АЗСК 21 х ЗСК 282/14 (94,5 см) и АЗСК 21 х ЗСК 138 (97,5 см). Истинный гетерозис установлен в 36 гибридных комбинациях, и его значения варьировали от 2,6 до 38,9 %, а гипотетический – у всех ($\Gamma_{\text{гип}} = 4,4\text{--}43,1\%$) (рис. 1).

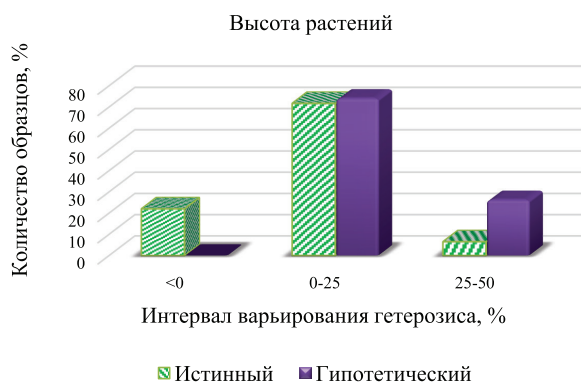


Рис. 1. Распределение гибридов F_1 по частоте проявления гетерозиса по высоте растений (2020–2022 гг.)

Fig. 1. Distribution of F_1 hybrids by frequency of heterosis manifestation according to the trait 'plant height' (2020–2022)

Селекционный интерес у сорго зернового по признаку «высота растений» представляют 18 гибридов с минимальными значениями гетерозиса на основе всех трех ЦМС-линий.

При оценке гибридов по количеству листьев на растении интервал варьирования истинного гетерозиса составил от $-22,7$ до $26,0\%$, гипотетического – от $-19,2$ до $30,7\%$. Гибрид с ЦМС-линией АЗСК 21 и опылителем ВИР 1 был самым облиственным и в среднем за 2020–2022 гг. сформировал 12 листьев, а родительские формы – по 9. Проявление эффекта истинного гетерозиса у него было $20,2\%$, гипотетического – $30,7\%$. Максимальное значение гетерозиса по данному признаку отмечено в 2022 гг. в комбинации АЗСК 21 х Жемчуг №59 ($\Gamma_{\text{ист}} = 42,9\%$).

Урожайность зерна сорго зернового зависит от длины и ширины метелки. Варьирование

данных биометрических показателей у гибридов первого поколения было небольшим – от $24,5$ до $35,5$ см по длине и от $4,0$ до $7,5$ см по ширине. Стандарт Дюйм ($27,5$ см) по длине метелки превысили практически все комбинации, кроме четырех. У отцовских форм в среднем за годы опытов длина метелки различалась от $19,0$ до $37,0$ см, а ширина – от $4,0$ до $9,0$ см. Самую крупную метелку сформировали гибриды на основе ЦМС-линии АЗСК 21 с опылителями ЗСК 34, Ву 112, 06.VI.12. RB и КУ-15. С последним отмечен наибольший истинный и гипотетический гетерозис по ширине метелки ($\Gamma_{\text{ист}} = 25,0\%$ и $\Gamma_{\text{гип}} = 44,6\%$), а по длине метелки – с R 111 ф ($\Gamma_{\text{ист}} = 35,7\%$) и Ву 112 ($\Gamma_{\text{гип}} = 46,3\%$). Более чем у 50% гибридов установлен истинный гетерозис по биометрии размеров метелки в интервале варьирования $0\text{--}25\%$ (рис. 2).

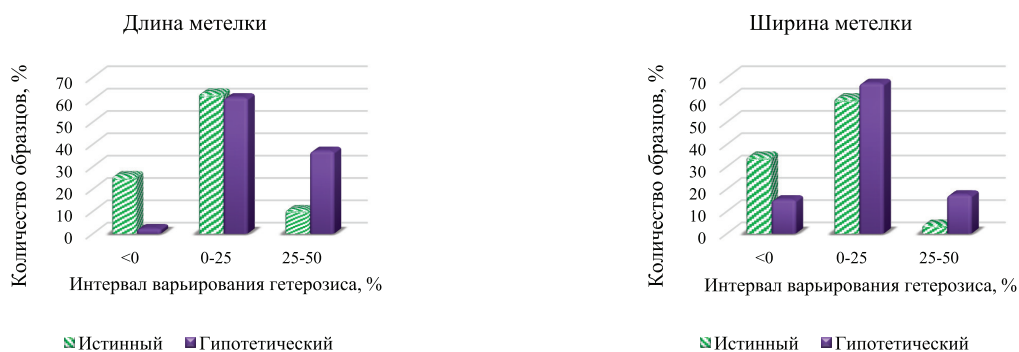


Рис. 2. Распределение гибридов F_1 по частоте проявления гетерозиса по длине и ширине метелки (2020–2022 гг.)

Fig. 2. Distribution of F_1 hybrids by frequency of heterosis manifestation according to the trait 'panicle length and width' (2020–2022)

Признак «выдвинутость ножки метелки» заслуживает особого внимания, так как от него зависит влажность зерна при механизированной уборке, потому как листовая масса в зерновом ворохе будет меньше, если ножка будет длиннее. В 2021 г. установлено сильное варьирование признака как по гибридам (от полного отсутствия выдвинутости до 12 см) ($V = 57,9\%$),

так и по родителям (от 0 до 17 см), а средний показатель длины ножки метелки за годы исследований был 8,7 и 5,7 см соответственно. Результаты анализа проявления эффекта гипотетического гетерозиса показали, что 43,5 % гибридов имели высокие показатели по данному признаку (рис. 3).

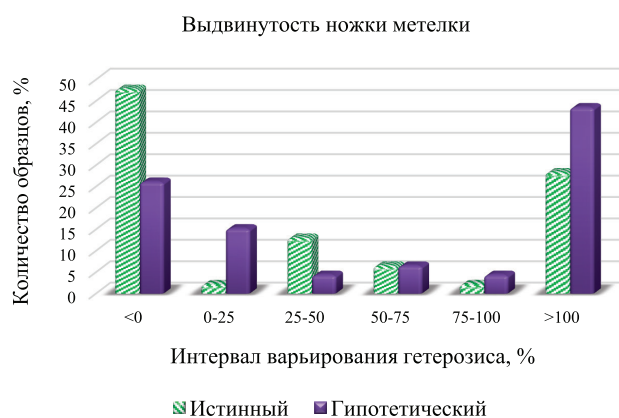


Рис. 3. Распределение гибридов F_1 по частоте проявления гетерозиса по признаку «выдвинутость ножки метелки» (2020–2022 гг.)
Fig. 3. Distribution of F_1 hybrids by frequency of heterosis manifestation according to the trait 'protrusion of a panicle stalk' (2020–2022)

У комбинаций ЦМС-линии АЗСК 21 с отцовскими формами Ву 112, ЗСК 196/17, Жемчуг № 56, 06.VI.12. RB и ЗСК 24/20 и Деметра х Пионер 88 отмечен наивысший эффект гетерозиса ($\Gamma_{\text{ист}} = 100\text{--}335\%$, $\Gamma_{\text{гип}} = 125\text{--}694\%$). Выход ножки метелки из раструба верхнего листа на уровне стандарта (12 см) или выше него (12,5–14 см) был у девяти гибридов, в основном созданных на основе ЦМС-линий Деметра и Джетта.

В среднем за 2020–2022 гг. изучения комбинации скрещивания сформировали массу зерен с одной метелки от 39,3 до 87,4 г, в то время как родительские формы – от 22,1 до 63,3 г. Величина истинного и гипотетического гетерозиса значительно варьировала по гибридам ($\Gamma_{\text{ист}} = -10,1\text{--}198,7\%$; $\Gamma_{\text{гип}} = 6,84\text{--}218,6\%$). Большая часть гибридов характеризовалась высоким эффектом гетерозиса в интервалах 25–50 %, 50–75 % и более 100 % (рис. 4).

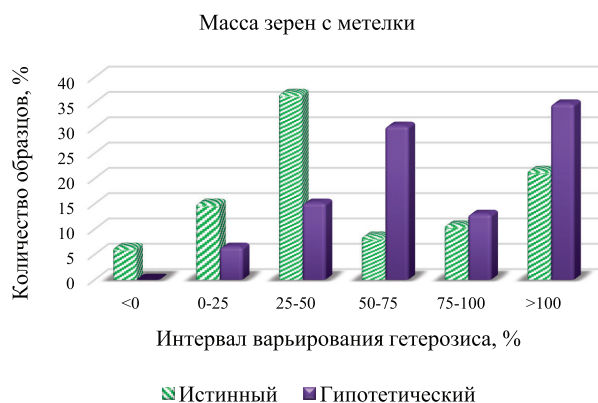


Рис. 4. Распределение гибридов F_1 по частоте проявления гетерозиса по признаку «масса зерен с метелки» (2020–2022 гг.)
Fig. 4. Distribution of F_1 hybrids by frequency of heterosis manifestation according to the trait 'grain weight per panicle' (2020–2022)

Максимальные коэффициенты гетерозиса ($\Gamma_{\text{ист}} > 100\%$) получены у шести гибридов с ЦМС-линией АЗСК 21 с опылителями Ву 112,

ЗСК196/17, Жемчуг № 56, Жемчуг № 59, Лучик, КУ-15, Атлант, а также с ЦМС-линией Деметра и Ву 112, Жемчуг № 55 и В-10434. В среднем

у стандарта масса зерна с метелки составила 44,9 г, а у гибридов – 61,1 г. Достоверное превышение над стандартом по данному признаку отмечено у 76 % комбинаций и отмечено 9 максимально продуктивных гибридов с массой зерен с одной метелки более 70 г. Высокими значениями продуктивности метелки и эффектом гетерозиса выделилась комбинация ЦМС-линия Джетта x ЗСК 217 (87,35 г; $\Gamma_{ист} = 87,7\%$; $\Gamma_{гип} = 112,5\%$).

Стабильные по годам исследований показатели отмечены у гибридов по признаку «масса 1000 зерен» и в среднем были 30,5 г. Значения данного признака родительских форм в среднем за три года составили 27,61 г. Наибольший эффект истинного гетерозиса выявлен в комбинации Деметра x В-10434 ($\Gamma_{ист} = 24,42\%$). В основном у всех гибридов, полученных на основе материнской формы ЦМС-линия Джетта, при расчете гетерозиса получены отрицательные коэффициенты, кроме комбинации с сортом Жемчуг № 55 ($\Gamma_{ист} = 9,18\%$; $\Gamma_{гип} = 14,11\%$), и она сформировала с средним за три года самое крупное зерно (39,1 г). Гибрид с данным сортом и линией Деметра также выделен как крупнозерный – 37,3 г ($\Gamma_{ист} = 12,36\%$; $\Gamma_{гип} = 31,74\%$).

Экспериментальные гибриды, полученные с использованием желтозерной ЦМС-линии АЗСК 21 и отцовских форм Ву 112, ВИР 1, ЗСК 34, ЗСК 282/14, КУ-15 и Атлант, характеризовались крупностью семян – от 33,7 до 36,5 г – в сравнении со стандартом Дюйм (29,7 г).

Неблагоприятные метеорологические условия 2021 г. привели к значительным изменениям признака «количество зерен с одной метелки». Так, в 2021 г. озерненность метелок была намного меньше и варьировала от 705,1 до 1618,2 шт. в сравнении с 2020 и 2022 гг. (1276,0–3017,2 шт. и 1129,63–2896,14 шт. соответственно). Стандарт Дюйм (1184,13 шт.) превысила по данному признаку основная часть гибридов. Большим количеством зерен с метелки характеризовались АЗСК21 x ЗСК 34 (2121,16 шт.), Джетта x ЗСК 282/14 (1737,57 шт.), Джетта x ЗСК 217 (1844,21 шт.) Джетта x ТАМ 2693 В-В (1706,82 шт.), Джетта x ТАМ 2694 В-В (1831,13 шт.) и Джетта x В-10434 (1720,34 шт.). Истинный гетерозис в интервале варьирования 75,4–168,8 % встречается у 21,8 % гибридов, созданных на основе всех трех ЦМС-линий, гипотетический – в интервале 77,7–190,1 % у 43,4 % (рис. 5).

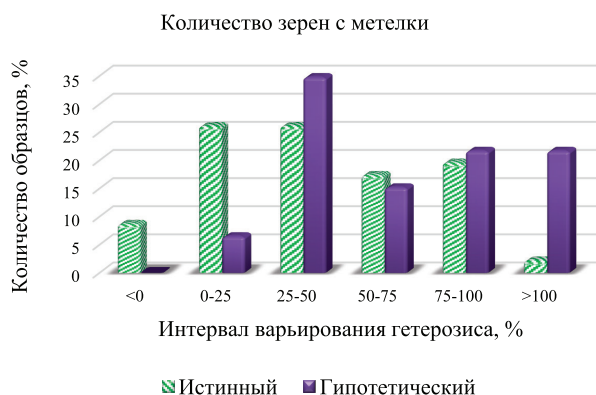


Рис. 5. Распределение гибридов F_1 по частоте проявления гетерозиса по признаку «количество зерен с метелки» (2020–2022 гг.)

Fig. 5. Distribution of F_1 hybrids by frequency of heterosis manifestation according to the trait 'number of grains per panicle' (2020–2022)

Высокий его эффект выявлен с линейей АЗСК 21 и опылителями Ву 112 (75,44 %), ЗСК 196/17 (90,67 %), КУ-15 (89,34 %), Жемчуг № 59 (86,13 %), Жемчуг № 56 (168,85 %), Лучик (86,35 %), Атлант (88,84 %); с линией Деметра и Ву 112 (94,14 %), В-10434 (68,97 %); с линией Джетта и ЗСК 196/17 (84,44 %), ЗСК 217 (78,99 %), Лучик (60,00 %), ТАМ 2694 В-В (68,87 %), и В-10434 (61,53 %). Гибриды, у которых в качестве материнской формы использовались линии АЗСК 21 и Джетта, а отцовской – ЗСК 196/17, ЗСК 217, КУ-15, Лучик, Жемчуг № 56 и Жемчуг № 59, установлена величина гипотетического гетерозиса более чем 100 %.

Выводы. Полученные результаты исследований эффекта гетерозиса гибридов первого поколения на основе ЦМС-линий по хозяй-

ственно ценным признакам сорго зернового свидетельствуют о более частом его проявлении по высоте растений, массе и количеству зерен с метелки. Максимальный показатель гетерозиса установлен по выдвинутости ножки метелки. В среднем за годы изучения все комбинации оказались раннеспелыми с продолжительностью вегетационного периода до 100 дней, а высота растения менее 120 см отмечена у 65 %. Выявлены перспективные гибриды, характеризующиеся высоким эффектом гетерозиса, на основе АЗСК 21 с образцами Ву 112, ЗСК 27/20, ЗСК 196/17, ЗСК 217, Жемчуг № 56, Жемчуг №59; (по выдвинутости ножки метелки, количеству и массе зерен с метелки); с КУ-15, Лучик, Атлант (по количеству и массе зерен с метелки); с линией Деметра

и сортами Ву 112, Жемчуг № 55 и В-10434 (по выдвинутости ножки метелки, количеству и массе зерен с метелки); с линией Джетта и ЗСК 196/17, ЗСК 217, Аккорд, Лучик, ТАМ 2694 В-В и В-10434 (по количеству и массе зерен с метелки).

Библиографические ссылки

1. Беседа Н. А. Подбор исходного материала сорго зернового в селекции на продуктивность // Аграрный вестник Урала. 2010. № 12(79). С. 5–6.
2. Вертикова Е. А., Пыльнев В. В. Использование гетерозиса в селекции сорговых культур для условий Нижнего Поволжья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 91. С. 51–57. DOI: 10.21515/1999-1703-91-51-57
3. Ковтунова Н. А., Володин В. В. Гетерозис в селекции сахарного сорго // Зерновое хозяйство России. 2017. № 1(49). С. 11–17.
4. Кибальник О. П. Использование эффекта гетерозиса в селекции сорго // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2019. № 2(51). С. 15–24. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24
5. Кибальник О. П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(6). С. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282
6. Костылев П. И., Костылева Л. М. Изучение продуктивности гибридов на стерильной основе зернового белозерного сорго // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 4(94). Ч. 1 С. 49–52. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.94.4.008>
7. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S., Vetukuri R. R., Feyissa T., Motlhaodi T., Ng'uni D., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // *Planta*. 2022. Vol. 255, Article number: 20. DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7
8. He S., Tang C., Wang M. L., Li S., Diallo B., Xu Yi, Zhou F., Sun L., Shi W. & Xie G. H. Combining ability of cytoplasmic male sterility on yield and agronomic traits of sorghum for grain and biomass dual-purpose use // *Industrial Crop & Products*. 2020. Vol. 157, Article number: 112894. DOI: 10.1016/j.indecrop.2020.112894
9. Kovtunova N. A., Kovtunov B. B., Popov A. S. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F1 // E3S Web of Conferences: INTERAGROMASH. 2020. Vol. 175, Article number: 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501012
10. Kibalnik O. P., Kukoleva S. S., Semin D. S., Efremova I. G., Starchak V. I. Evaluation of the combining ability of cms lines in crosses with samples of grain sorghum and sudan grass // *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, № 4. P. 1781–1790. DOI: 10.15159/AR.21.120

References

1. Beseda N. A. Podbor iskhodnogo materiala sorgo zernovogo v selektsii na produktivnost' [Selection of the initial material of grain sorghum in breeding for productivity] // *Agrarnyi vestnik Urala*. 2010. № 12(79). S. 5–6.
2. Vertikova E. A., Pyl'nev V. V. Ispol'zovanie geterozisa v selektsii sorgovykh kul'tur dlya uslovii Nizhnego Povolzh'ya [The use of heterosis in sorghum breeding for the conditions of the lower Volga region] // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. № 91. S. 51–57. DOI: 10.21515/1999-1703-91-51-57
3. Kovtunova N. A., Volodin V. V. Geterozis v selektsii sakharnogo sorgo [Heterosis in sweet sorghum breeding] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2017. № 1(49). S. 11–17.
4. Kibal'nik O. P. Ispol'zovanie effekta geterozisa v selektsii sorgo [Using the effect of heterosis in sorghum breeding] // *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. № 2(51). S. 15–24. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24
5. Kibal'nik O. P. Kombinatsionnaya sposobnost' TsMS-linii zernovogo sorgo na osnove A1, A2, A3, A4, 9E i M-35-1A tipov tsitoplazmaticheskoi muzhskoi steril'nosti [Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility.] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2017. № 21(6). S. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282
6. Kostylev P. I., Kostyleva L. M. Izuchenie produktivnosti gibridov na steril'noi osnove zernovogo belozernogo sorgo [Study of the productivity of hybrids on a sterile basis of white-grain sorghum] // *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2020. № 4(94) Ch. 1 S. 49–52. DOI: 10.23670/IRJ.2020.94.4.008
7. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S., Vetukuri R. R., Feyissa T., Motlhaodi T., Ng'uni D., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // *Planta*. 2022. Vol. 255, Article number: 20. DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7
8. He S., Tang C., Wang M. L., Li S., Diallo B., Xu Yi, Zhou F., Sun L., Shi W. & Xie G. H. Combining ability of cytoplasmic male sterility on yield and agronomic traits of sorghum for grain and biomass dual-purpose use // *Industrial Crop & Products*. 2020. Vol. 157, Article number: 112894. DOI: 10.1016/j.indecrop.2020.112894
9. Kovtunova N. A., Kovtunov B. B., Popov A. S. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F1 // E3S Web of Conferences: INTERAGROMASH. 2020. Vol. 175, Article number: 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501012
10. Kibalnik O. P., Kukoleva S. S., Semin D. S., Efremova I. G., Starchak V. I. Evaluation of the combining ability of cms lines in crosses with samples of grain sorghum and sudan grass // *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, № 4. P. 1781–1790. DOI: 10.15159/AR.21.120

Поступила: 01.06.23; доработана после рецензирования: 01.08.23; принята к публикации: 04.08.23.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Сухенко Н. Н., Ковтунов В. В. – концептуализация исследования; подготовка опыта, выполнение полевых/лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Сухенко Н. Н. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.