

УДК 633.174:631.527:575.222.2

DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-49-53

ЭФФЕКТЫ ГЕТЕРОЗИСА У ГИБРИДОВ F_1 СОРГО НА ОСНОВЕ ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МУЖСКОЙ СТЕРИЛЬНОСТИ

О. П. Кибальник, кандидат биологических наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, kibalnik79@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1808-8974;

О. Б. Каменева, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, kamenewa.olga2012@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1583-7711;

Е. А. Жук, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, и. о. зам. директора по научной работе и международному сотрудничеству, e.a.zhuk@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6763-3724;

Т. В. Ларина, старший научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, larinatv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3845-6578;

Л. А. Орехова, младший научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, liudmilaorexova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9171-7888;

Ю. А. Калинин, научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, Jurdos14051962@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6979-3318

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго»,
410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, д. 4

В настоящее время создание высокопродуктивных гибридов сорго с высоким содержанием основных питательных компонентов зерна остается актуальным. В данной статье представлены результаты оценки эффектов истинного и гипотетического гетерозиса у гибридов первого поколения по содержанию в зерне протеина, жира и крахмала. В опыте проанализировали 54 комбинации, полученные на основе трех ЦМС-линий и 18 опылителей. Компоненты скрещиваний и их потомство выращивали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2015–2017 гг. в трехкратной повторности на делянках площадью 7,7 м² с густотой стояния растений 100 тыс. раст./га. Биохимический состав зерна определяли на инфракрасном анализаторе SpectraStarXT. Родительские компоненты и их потомство различались по биохимическому составу зерна, что подтверждается результатами дисперсионного анализа. Слабое варьирование показателя признака «содержание крахмала» наблюдалось у материнских и отцовских форм, гибридов F_1 ($V = 2,5–8,3\%$). Средняя вариабельность отмечена у исходных форм ($V = 7,9–14,6\%$) и слабая – у гибридов ($V = 9,1–10,8\%$) по количеству протеина. Более высокие значения коэффициента вариации выявлены по концентрации жира – 9,0–17,2%. Частота проявления истинного и гипотетического гетерозиса составила по содержанию протеина (у 31,5–62,9% и 44,4–79,6% гибридов соответственно), жира (у 20,4–57,4% и 20,4–75,9% гибридов), крахмала (у 16,6–33,3% и 16,6–44,4% гибридов). Целенаправленный подход в селекции на повышение биохимических компонентов зерна позволил выделить 9 комбинаций, характеризующихся ежегодным эффектом гетерозиса: по протеину – 4; жиру – 2; крахмалу – 3.

Ключевые слова: сорго, ЦМС, гибриды, гетерозис, зерно, протеин, крахмал, жир.

Для цитирования: Кибальник О. П., Каменева О. Б., Жук Е. А., Ларина Т. В., Орехова Л. А., Калинин Ю. А. Эффекты гетерозиса у гибридов F_1 сорго на основе цитоплазматической мужской стерильности // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2(68). С. 49–53. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-49-53.



THE EFFECTS OF HETEROSIS OF THE SORGHUM HYBRIDS F_1 BASED ON CYTOPLASMIC MALE STERILITY

O. P. Kibalnik, Candidate of Biological Sciences, main researcher of the department of sorghum crops, kibalnik79@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1808-8974;

O. B. Kameneva, Candidate of Agricultural Sciences, main researcher of the department of biochemistry and biotechnology, kamenewa.olga2012@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1583-7711;

E. A. Zhuk, Candidate of Agricultural Sciences, main researcher of the department of biochemistry and biotechnology, acting deputy director on Sciences and International Cooperation, e.a.zhuk@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6763-3724;

T. V. Larina, senior researcher of the department of biochemistry and biotechnology, larinatv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3845-6578;

L. A. Orekhova, junior researcher of the department of biochemistry and biotechnology, liudmilaorexova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9171-7888;

Yu. A. Kalinin, researcher of the department of biochemistry and biotechnology, Jurdos14051962@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6979-3318

Russian research and Project-Technological Institute of Sorghum and Maize "Rossorgo",
410050, Saratov, the 1st Institutsky proezd, 4

Currently, the development of highly productive sorghum hybrids with a high content of the main nutritional components in grain is of great relevance. The current paper has presented the estimation results of the effects of true and hypothetical heterosis on percentage of protein, oil and starch in grain of the first-generation hybrids. There have been analyzed 54 combinations obtained on the basis of three CMS-lines and 18 pollinators. The components of the hybrids and their progeny were grown on the FSBSI RosNIISK "Rossorgo" experimental plots of 7.7 m², in triple sequences with plant density of 100 thousand plants per ha. The biochemical composition of the grain was determined by the SpectraStarXT infrared analyzer. The parental components and their progeny differed in the biochemical composition of grain, which was confirmed by the analysis of variance. There was identified a slight variation of the

trait 'starch content' in maternal and paternal forms of the hybrids F_1 ($V = 2.5-8.3\%$). There was identified an average variability of protein percentage in the initial forms ($V = 7.9-14.6\%$) and a weak variability in hybrids ($V = 9.1-10.8\%$). There were identified larger values of variation of oil content ($9.0-17.2\%$). The manifestation frequency of true and hypothetical heterosis of protein percentage was identified in $31.5-62.9\%$ and $44.4-79.6\%$ of hybrids; of fat content was identified in $20.4-57.4\%$ and $20.4-75.9\%$ of hybrids; of starch content was identified in $16.6-33.3\%$ and $16.6-44.4\%$ of hybrids. A focused approach in breeding the varieties with the improved biochemical components of grain allowed us to identify 9 combinations characterized by the annual effect of heterosis in protein content (4 combinations), in raw oil accumulation (2 combinations) and in starch accumulation (3 combinations).

Keywords: sorghum, CMS, hybrids, heterosis, grain, protein, starch, oil.

Введение. Сорго – универсальная культура, предназначенная для использования в сельскохозяйственном производстве (животноводстве, кормопроизводстве, рыбоводстве), перерабатывающей и пищевой промышленности и т. д. (Чепрасова, 2011; Косарева и др., 2014; Метлина и др., 2016; Кибальник и др., 2019). Одним из направлений селекции является выведение гибридов для использования на зернофураж с улучшенным биохимическим составом зерна, характеризующим его полноценность, питательность и качество. Кроме того, сорго рассматривается как альтернативный источник сырья для получения крахмала. Для этой отрасли рекомендуются низкобелковые гибриды с высоким содержанием крахмала. Получение гибридных семян основано на использовании цитоплазматической мужской стерильности, способствующей проявлению эффекта гетерозиса по основным хозяйственным признакам, широко применяемой в практической селекции многих сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго. Однако выявить комбинации с гетерозисом по комплексу необходимых признаков удается не всегда. В литературе отмечены немногочисленные сведения о проявлении гетерозиса по биохимическим компонентам зерна. В основном гибриды первого поколения характеризуются промежуточным количеством протеина, жира и крахмала по сравнению с родительскими формами (Кибальник и др., 2010; Ковтунов и др., 2014). Выделение гибридов F_1 на основе показателей истинного и гипотетического гетерозиса изучаемых признаков является актуальным.

Материалы и методы исследований. В схему скрещиваний включены три материнские линии (А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10) и 18 отцовских форм (Перспективный 1, Старт, Меркурий, Огонек, Камелик, Топаз, Факел, Аванс, Азарт, Волжское 615, Гелеофор, Кремовое, Пищевое 614, Сармат, Восторг, Гарант, Пищевое 35, Л-КСИ 28/13) зернового сорго. Гибриды F_1 и родительские компоненты высевали на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в 2015–2017 гг. широкоярым

способом с междурядьем 70 см. Площадь делянки – 7,7 м². Размещение делянок – рендомизированное. Повторность в опыте – трехкратная. Густоту стояния растений устанавливали вручную – 100 тыс. раст./га. Биохимический состав зерна определяли на инфракрасном анализаторе SpectraStarXT (у 30 гибридов в 2015 г. и 54 – в 2016–2017 гг.). Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с помощью пакета программ AGROS 2.09 методом дисперсионного однофакторного анализа и статистической выборки (Доспехов, 2011).

Гетерозис рассчитывали по следующим формулам (Гужов и др., 1999):

$$G_{\text{истинный}} = ((F_1 - P_n)/P_n) \cdot 100\%;$$

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

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

Для интерпретации экспериментальных данных по частоте проявления истинного и гипотетического гетерозиса выделены следующие интервалы варьирования: 1) <0; 2) 0–25%; 3) 25–50%; 4) 50–75%.

Метеоусловия за сезоны исследования были различными. В 2015 г. растения развивались при сильно выраженной недостаточной естественной влагообеспеченности; гидротермический коэффициент составил 0,41. В 2016–2017 гг. вегетация гибридов и родительских форм проходила в «засушливых» условиях (ГТК = 0,64–0,90).

Результаты и их обсуждение. Эффективность проявления гетерозиса зависит от включенных в схему скрещиваний родительских форм. Исходный материал и гибриды F_1 различались по содержанию биохимических компонентов зерна в зависимости от особенностей генотипа, что подтверждается результатами дисперсионного анализа: $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ (табл. 1–2). У родительских форм установлено среднее варьирование по количеству сырого протеина (за исключением показателей 2015 г., $V = 11,1-14,6\%$) и жира ($V = 14,4-17,2\%$); слабое – по крахмалу ($V = 2,5-3,5\%$).

1. Характеристика родительских форм по основным биохимическим показателям зерна

1. Characteristics of parental forms according to the main biochemical indices of grain

Статистический показатель	Год	Содержание в зерне		
		сырого протеина	сырого жира	крахмала
Лимиты (min – max) ¹ , %	2015	11,28–15,85	3,08–5,82	67,40–75,14
	2016	8,21–13,56	3,11–4,98	70,61–79,38
	2017	9,06–14,16	2,08–4,78	70,82–79,20
Средняя и ее ошибка ($\bar{x} \pm Sx$), %	2015	13,56±0,25	4,33±0,17	71,68±0,41
	2016	10,62±0,34	3,91±0,12	76,43±0,48
	2017	11,18±0,27	3,54±0,13	74,13±0,57
Стандартное отклонение (S)	2015	1,08	0,73	1,79
	2016	1,56	0,56	2,20
	2017	1,25	0,61	2,60
Коэффициент вариации (V), %	2015	7,9	16,9	2,5
	2016	14,6	14,4	2,9
	2017	11,1	17,2	3,5
$F_{\text{факт.}}$	2015	10,3*	29,2*	4,9*
	2016	5,0*	21,4*	8,4*
	2017	25,3*	51,5*	12,6*

Примечание: ¹(min – max) – минимальное и максимальное значение признака; * $p \leq 0,05$.

Концентрация биохимических компонентов зерна у гибридов за 2015–2017 гг. варьировала в следующих пределах: сырой протеин – 7,90–14,75% ($V = 9,1–10,8\%$); сырой жир – 3,06–5,22% ($V = 9,0–13,7\%$); крахмал – 57,74–78,46% ($V = 3,3–8,3\%$).

2. Характеристика гибридов F_1 по биохимическим компонентам зерна 2. Characteristics of hybrids F_1 according to the biochemical components of grain

Статистический показатель	Год	Содержание в зерне		
		сырого протеина	сырого жира	крахмала
Лимиты (min – max) ¹ , %	2015	9,44–14,75	3,06–4,80	62,15–74,62
	2016	7,90–14,38	3,20–4,53	57,74–77,71
	2017	8,48–13,71	3,11–5,22	66,60–78,46
Средняя и ее ошибка ($\bar{x} \pm Sx$), %	2015	12,73 $\pm$ 0,25	3,93 $\pm$ 0,08	68,69 $\pm$ 0,59
	2016	12,05 $\pm$ 0,15	3,87 $\pm$ 0,05	68,03 $\pm$ 0,76
	2017	10,98 $\pm$ 0,15	4,07 $\pm$ 0,08	73,58 $\pm$ 0,33
Стандартное отклонение (S)	2015	1,37	0,43	3,21
	2016	1,10	0,35	5,62
	2017	1,07	0,56	2,41
Коэффициент вариации (V), %	2015	10,8	11,1	4,7
	2016	9,1	9,0	8,3
	2017	9,8	13,7	3,3
$F_{\text{факт.}}$	2015	8,62*	2,83*	2,71*
	2016	9,62*	4,20*	3,33*
	2017	5,33*	17,84*	2,35*

Примечание: ¹(min – max) – минимальное и максимальное значение признака; * $p \leq 0,05$.

При выведении гибрида фуражного направления использования необходимо улучшать основные питательные компоненты – протеин и жир. Проявление

гетерозиса по накоплению сырого протеина различалось в зависимости от года выращивания растений (табл. 3).

3. Частота проявления гетерозиса у гибридов F_1 3. Frequency of heterosis manifestation in hybrids F_1

Признак	Год	Количество гибридов с разной степенью гетерозиса						
		истинный			гипотетический			
		<0	0–25	25–50	<0	0–25	25–50	50–75
Сырой протеин	2015	29	1	–	4	26	–	–
	2016	20	28	6	11	34	9	–
	2017	37	17	–	30	23	1	–
Сырой жир	2015	19	11	–	19	10	1	–
	2016	32	21	1	22	31	1	–
	2017	23	25	6	13	30	8	3
Крахмал	2015	25	5	–	25	5	–	–
	2016	50	4	–	49	5	–	–
	2017	36	18	–	30	24	–	–

В 2015 г. превышение над лучшей родительской формой установлено в одной комбинации – А3 Желтозерное 10/Огонек (2,9%). Наибольшие значения в 2016 г. отмечены у 5 из 54 гибридов с опылителями Старт, Меркурий, Гелеофор, Кремовое, Пищевое 35 в скрещиваниях с 9Е Желтозерное 10 ($\Gamma_{\text{ист.}} = 28,1–39,8\%$). В 2017 г. положительными значениями гетерозиса ($\Gamma_{\text{ист.}} = 0,3–21,4\%$) отличались 17 гибридов. Ежегодно истинный гетерозис наблюдался у комбинаций А3 Желтозерное 10/Огонек, А3 и 9Е Желтозерное 10/Пищевое 35, А3 Желтозерное 10/Топаз, А4 Желтозерное 10/Факел (0,3–31,6%).

Преимущество над средним показателем родительских форм по количеству сырого протеина в 2017 г. установлено у 42,6% гибридов; в 2016 г. – 62,9%; в 2015 г. – 86,7% в диапазоне 0–25%. В отдельные годы высокий гетерозис установлен у гибридов на цитоплазме 9Е с опылителями Старт, Гелеофор, Кремовое, Пищевое 35, Аванс, Меркурий (28,0–44,3%) и на цитоплазме А3 с сортами Камелик, Пищевое 35, Л-КСИ 28/13 (30,1–36,8%). Ежегодное проявление гетерозиса у гибридов с сортом Пищевое 35 на всех ци-

топлазмах, А3 и А4 Желтозерное 10/Топаз, А4 и 9Е Желтозерное 10/Факел, А4 Желтозерное 10/Кремовое, 9Е Желтозерное 10/Сармат, 9Е Желтозерное 10/Гарант (0,4–40,1%).

Эффекты гетерозиса за 2016–2017 гг. исследований по накоплению протеина отмечены у 4 комбинаций (рис. 1).

По содержанию сырого жира в зерне проявление истинного гетерозиса в каждый год исследований было у 36,7–54,4% гибридов от их общего числа. Высокие показатели у А3 Желтозерное 10/Огонек в 2016 г. ($\Gamma_{\text{ист.}} = 35,2\%$) и у 6 комбинаций в 2017 г. ($\Gamma_{\text{ист.}} = 26,3–41,5\%$).

Наибольшее число гибридов (всего 41) с гипотетическим гетерозисом по содержанию сырого жира наблюдалось в 2017 г., из них у 30 – 0,2–23,8%; у 8 – 25,4–45,3%; у 3 – 58,2–73,1%. В 2016 г. 32 гибрида выделились преимущественным количеством жира в зерне по отношению к среднему показателю компонентов скрещиваний ($\Gamma_{\text{гип.}} = 0,3–36,9\%$). В 2015 г. гетерозис проявился у 11 гибридов в интервале 1,6–19,0%. За период 2016–2017 гг. исследований ис-

тинный и гипотетический гетерозис по накоплению жира выявлен у 8 комбинаций: АЗ Желтозерное 10/Старт, АЗ и А4 Желтозерное 10/Пищевое 614, А4 Желтозерное 10/Меркурий, А4 и 9Е Желтозерное 10/Факел, А4 Желтозерное 10/Кремовое, 9Е Желтозерное 10/Сар-

мат (3,4–37,7 и 4,7–63,6% соответственно). В течение 2015–2017 гг. превышение показателей только у двух гибридов над исходными компонентами скрещиваний представлено на рисунке 2.

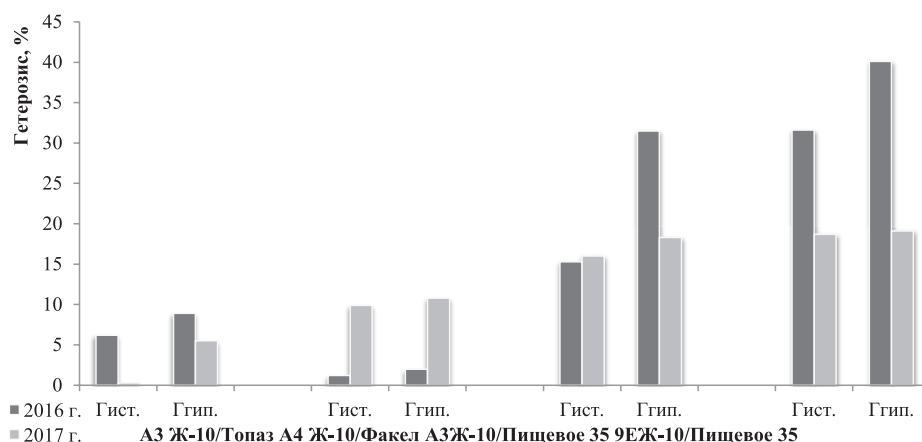


Рис. 1. Комбинации гибридов с эффектом гетерозиса по содержанию протеина (2016–2017 гг.)
Fig. 1. The combinations of hybrids with heterosis effect in protein content (2016–2017)

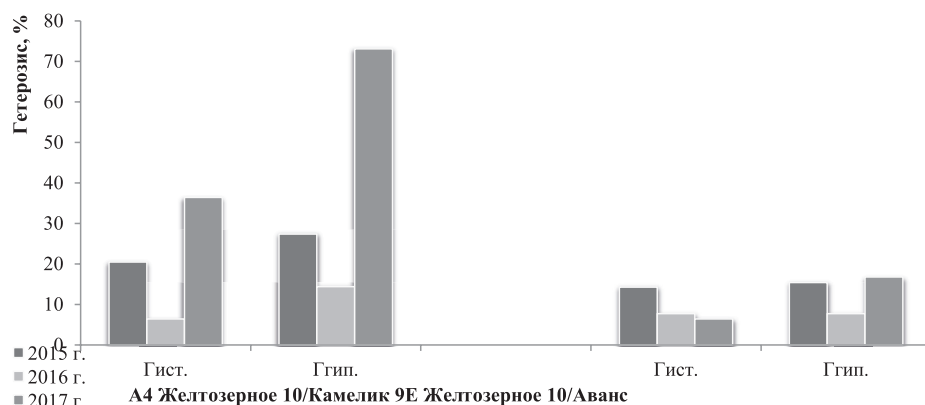


Рис. 2. Комбинации гибридов с эффектом гетерозиса по накоплению сырого жира (2015–2017 гг.)
Fig. 2. The combinations of hybrids with heterosis effect in raw oil accumulation (2015–2017)

Выведение гибридов с высоким содержанием крахмала – это отдельное направление селекции. В 2015 г. истинный гетерозис у 5 комбинаций составил 1,6–3,3%; в 2016 г. у 4 – 0,2–1,8% и в 2017 г. у 18 гибридов – 0,1–4,9%. Ежегодное преимущество над лучшей родительской линией наблюдалось у гибридов с сортом Азарт на цитоплазмах АЗ и А4 (1,3–3,1%); с сортом Перспективный 1 на цитоплазме А4 (1,8–3,3%).

Гипотетический гетерозис по содержанию крахмала у 44,4% гибридов выявлен в 2017 г., тогда как в 2016 г. – 9,3% и в 2015 г. – 16,7% от общего числа комбинаций. Ежегодное проявление гетерозиса также отмечено в зерне комбинаций АЗ и А4 Желтозерное 10/Азарт (1,3–3,1%), А4 Желтозерное 10/Перспективный 1 (2,3–4,6%) (рис. 3).

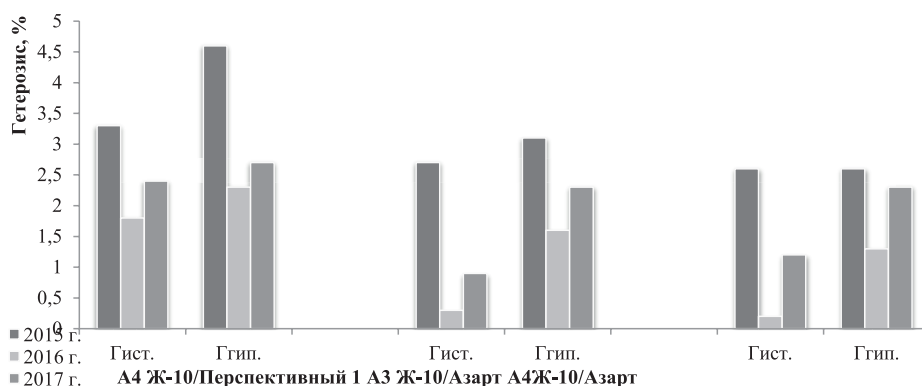


Рис. 3. Комбинации гибридов с эффектом гетерозиса по накоплению крахмала (2015–2017 гг.)
Fig. 3. The combinations of hybrids with heterosis effect in starch accumulation (2015–2017)

Выводы. Установлено слабое варьирование признака «содержание крахмала» у ЦМС-линий, опылителей и гибридов ($V = 2,5-8,3\%$). Средняя вариабельность признака «содержание протеина» отмечена у исходных форм ($V = 7,9-14,6\%$) и слабая – у гибридов ($V = 9,1-10,8\%$). Более высокие значения коэффициента вариации выявлены по количеству жира – $9,0-17,2\%$.

Наиболее частое проявление эффектов истинного и гипотетического гетерозиса наблюдалось по содержанию протеина (у $31,5-62,9$ и $44,4-79,6\%$ гибридов соответственно), жира (у $20,4-57,4$ и $20,4-75,9\%$ гибридов). Реже выявлен гетерозис по накоплению

крахмала: истинный – у $16,6-33,3\%$ гибридов, а гипотетический – у $16,6-44,4\%$ комбинаций от общего числа скрещиваний в 2015–2017 гг.

Целенаправленный подход к селекции на повышение биохимических компонентов зерна позволил выделить комбинации, характеризующиеся ежегодным эффектом гетерозиса: по протеину – АЗ Желтозерное 10/Топаз, А4 Желтозерное 10/Факел, АЗ и 9Е Желтозерное 10/Пищевое 35; по жиру – А4 Желтозерное 10/Камелик и 9Е Желтозерное 10/Аванс; по крахмалу – АЗ и А4 Желтозерное 10/Азарт, А4 Желтозерное 10/Перспективный 1.

Библиографические ссылки

1. Гужов Ю. Л., Фукс А., Валичек П. Селекция и семеноводство культивируемых растений. М., 1999. 536 с.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2011. 352 с.
3. Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Семин Д. С., Горбунов В. С., Каменева О. Б., Старчак В. И., Куколева С. С. Оценка качества зерна и биомассы сорго с целью использования в кормопроизводстве // Зерновое хозяйство России. 2019. № 4. С. 3–7. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-64-4-3-7.
4. Кибальник О. П., Бычкова В. В., Пешкова В. О., Эльконин Л. А. Питательная ценность зерна гибридов F_1 и родительских форм сорго // Актуальные проблемы животноводства, ветеринарной медицины, переработки с.-х. продукции и товароведение: мат. междунар. науч.-практ. конференции. Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2010. С. 213–216.
5. Ковтунов В. В., Костылев П. И., Ковтунова Н. А. Закономерности наследования сырого белка в зерне гибридов F_1-F_2 сорго зернового // Аграрный вестник Урала. 2014. № 9(127). С. 9–13.
6. Косарева Н. А., Васильев А. А., Гоголкин А. А. Использование зернового сорго в индустриальном рыбодоводстве // Аграрный научный журнал. 2014. № 2. С. 15–18.
7. Метлина Г. В., Ковтунов В. В., Лушпина О. А., Васильченко С. А. Продуктивность и энергетическая эффективность возделывания сортов сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3. С. 54–57.
8. Чепрасова О. В. Повышение яичной продуктивности кур-несушек при использовании в рационах сорго и нута // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 1(21). С. 139–143.

References

1. Guzhov Yu. L., Fuks A., Valichek P. Seleksiya i semenovodstvo kul'tiviruemykh rastenii [Breeding process and seed production of cultivated plants]. M., 1999, 536 s.
2. Dosphehov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of research results)]. M., 2011. 352 s.
3. Kibalnik O. P., Efremova I. G., Semin D. S., Gorbunov V. S., Kameneva O. B., Starchak V. I., Kukoleva S. S. Otsenka kachestva zerna i biomassy sorgo s tsel'yu ispol'zovaniya v kormoproizvodstve [Estimation of the sorghum grain and biomass quality for use in feed production] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2019. № 4. S. 3–7.
4. Kibalnik O. P., Bychkova V. V., Peshkova V. O., Elkonin L. A. Pitatel'naya tsennost' zerna gibridov F_1 i roditel'skih form sorgo [The nutritional value of grain hybrids F_1 and parental forms of sorghum] // Aktualnye problemy zhyvotnovodstva, veterinarnoy meditsiny, pererabotki s.-h. produktsii i tovarovedenie: mat. mezhdunar. nauch.-prakt. konferencii. Voronezh: FGOU VPO VGAU, 2010. S. 213–216.
5. Kovtunov V. V., Kostylev P. I., Kovtunova N. A. Zakonomernosti nasledovaniya syrogo belka v zerne gibridov F_1-F_2 sorgo zernovogo [Patterns of inheritance of raw protein in grain sorghum hybrids F_1, F_2] // Agrarnyi vestnik Urala. 2014. № 9(127). S. 9–13.
6. Kosareva N. A., Vasil'ev A. A., Gogolkin A. A. Ispol'zovanie zernovogo sorgo v industrial'nom rybovodstve [The use of grain sorghum in industrial fish farming] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2014. № 2. S. 15–18.
7. Metlina G. V., Kovtunov V. V., Lushpina O. A., Vasil'chenko S. A. Produktivnost' i energeticheskaya effektivnost' vosdelyvaniya sortov sorgo zernovogo [Productivity and energy efficiency of cultivating grain sorghum varieties] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2016. № 3. S. 54–57.
8. Cheprasova O. V. Povyshenie yaichnoy produktivnosti kur-nesushek pri ispol'zovanii v racionah sorgo i nuta [Improvement of egg productivity of hens fed with sorghum and chickpea] // Izvestiya Nizhegorodskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2011. № 1(21). S. 139–143.

Поступила: 20.01.20; принята к публикации: 24.02.20.

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. Кибальник О. П. – концептуализация исследования, интерпретация данных, подготовка рукописи; Каменева О. Б., Жук Е. А. – анализ данных; Ларина Т. В., Орехова Л. А. – выполнение лабораторного опыта; Калинин Ю. А. – подготовка опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.