

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ СОРГО С ПОМОЩЬЮ ГЕТЕРОЗИСНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Н.А. Ковтунова, кандидат сельскохозяйственных наук

В.В. Ковтунов, кандидат сельскохозяйственных наук

А.Е. Романюкин, кандидат сельскохозяйственных наук

Н.С. Кравченко, кандидат биологических наук

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»

E-mail: n-beseda@mail.ru

Ключевые слова: сорго, гибрид, цитоплазматическая мужская стерильность, гетерозис, протеин, сухое вещество, жир, зола, клетчатка.

Реферат. Самым надежным и эффективным способом повышения не только урожайности, но и качества зеленой массы является применение гетерозисной селекции. Цель данной работы: установить гетерозисный эффект показателей качества зеленой массы у сорго-суданковых гибридов, созданных на основе цитоплазматической мужской стерильности. Объект исследований – сорго-суданковые гибриды, созданные в АНЦ «Донской». Урожайность сухого вещества варьировала у гибридов в пределах 746–1202 г/м². Наибольшие значения наблюдаются в комбинациях с участием ЦМС-линии АПВ-1115 (1045 г/м²). Гетерозисный эффект по урожайности сухого вещества отмечен у всех гибридов. Существенно превысили стандарт по урожайности сухого вещества 4 гибрида на 184–270 г/м²: АПВ-1115 × Кудесница, АПВ-1115 × ЧТ-22, Джетта × ЧТ-2, АПВ-1115 × Светлопленчатая 4 с высокими показателями гипотетического (38,1–64,1 %), истинного (93,2–142,0 %) и конкурсного (19,8–28,9 %) гетерозиса. Сбор перерабатываемого протеина имел значения от 49 до 84 г/м². Среди гибридов наибольший гетерозисный эффект отмечен у Деметра × Светлопленчатая 4 ($\Gamma_{\text{зун}} = 43,4 \%$, $\Gamma_{\text{ист}} = 125,4 \%$), Джетта × Яктик ($\Gamma_{\text{зун}} = 70,5 \%$, $\Gamma_{\text{ист}} = 142,3 \%$), АПВ-1115 × Кудесница ($\Gamma_{\text{зун}} = 72,8 \%$, $\Gamma_{\text{ист}} = 108,9 \%$), АПВ-1115 × Светлопленчатая 2 ($\Gamma_{\text{зун}} = 81,0 \%$, $\Gamma_{\text{ист}} = 118,4 \%$), АПВ-1115 × ЧТ-22 ($\Gamma_{\text{зун}} = 103,3 \%$, $\Gamma_{\text{ист}} = 118,4 \%$). В ходе исследований установлено, что по содержанию сырого протеина, золы, жира, клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) у большинства гибридов отмечено частичное или неполное доминирование больших значений. Однако для получения даже незначительного гетерозиса по содержанию протеина, клетчатки и БЭВ хотя бы один родитель должен иметь высокие значения признака. По совокупности гетерозисного эффекта по показателям качества зеленой массы выделены гибриды Джетта × Яктик, превысивший большую родительскую форму по содержанию сухого вещества ($\Gamma_{\text{ист}} = 10,5 \%$) и жира ($\Gamma_{\text{ист}} = 14,4 \%$), Джетта × ЧСС – сухого вещества и сырого протеина ($\Gamma_{\text{ист}} = 14,3$ и $1,3 \%$), Деметра × Светлопленчатая 4 – сырого протеина, сухого вещества и золы ($\Gamma_{\text{ист}} = 3,8$; $5,9$ и $6,4 \%$ соответственно). В целом полученные данные говорят о перспективности использования цитоплазматической мужской стерильности в селекции не только на продуктивность, но и на качество.

IMPROVING THE GREEN MASS QUALITY WITH THE HELP OF HETEROSIS BREEDING

N.A. Kovtunova, Candidate of Agricultural Sciences

V.V. Kovtunov, Candidate of Agricultural Sciences

A.E. Romanyukin, Candidate of Agricultural Sciences

N.S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences

FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy"

E-mail: n-beseda@mail.ru

Keywords: sorghum, hybrid, cytoplasmic male sterility, heterosis, protein, dry matter, oil, ash, fiber.

Abstract. The most reliable and effective way to improve both productivity and quality of green mass is the use of heterosis breeding. The purpose of the current work was to study the heterosis effect of green mass quality indicators in sorghum-Sudan hybrids developed based on cytoplasmic male sterility. The object of the study was the sorghum-Sudan hybrids developed by the Agricultural Research Center "Donskoy". Dry matter productivity

varied among the hybrids within 746-1202 g/m². The highest values have been observed in the combinations with the CMS-line 'APV-1115' (1045 g/m²). The heterosis effect on the dry matter productivity was found in all hybrids. Four hybrids 'APV-1115 x Kudesnitsa', 'APV-1115 x ChT-22', 'Dzhetta x ChT-2', 'APV-1115 x Svetloplenchataya 4' have significantly exceeded the standard in terms of dry matter productivity by 184-270 g/m² with high rates of hypothetical (38.1-64.1%), true (93.2-142.0%) and competitive (19.8-28.9%) heterosis. Digestible protein yield has ranged from 49 to 84 g/m². Among the hybrids, the greatest heterosis effect was identified in the hybrids 'Demetra x Svetloplenchataya 4' ($H_{hyp} = 43.4\%$, $H_{true} = 125.4\%$), 'Dzhetta x Yaktik' ($H_{hyp} = 70.5\%$, $H_{true} = 142.3\%$), 'APV-1115 x Kudestitsa' ($H_{hyp} = 72.8\%$, $H_{true} = 108.9\%$), 'APV-1115 x Svetloplenchataya 2' ($H_{hyp} = 81.0\%$, $H_{true} = 118.4\%$), 'APV-1115 x ChT-22' ($H_{hyp} = 103.3\%$, $H_{true} = 118.4\%$). In the course of the study, there has been found that according to the content of crude protein, ash, oil, fiber and nitrogen-free extractive substances (NES), the most hybrids possessed partial or incomplete dominance of large values. However, to obtain even a slight heterosis according to the content of protein, fiber, and NES content, at least one parent had to have high trait values. Based on the complex of the heterotic effect according to the green mass quality indicators, there have been identified such hybrids as 'Dzhetta x Yaktik', which exceeded the large parental form in terms of dry matter ($H_{true} = 10.5\%$) and oil ($H_{true} = 14.4\%$); 'Dzhetta x ChSS' which exceeded the large parental form in terms of dry matter and crude protein ($H_{true} = 14.3$ and 1.3%); 'Demetra x Svetloplenchataya 4' which exceeded the large parental form in terms of crude protein, dry matter, and ash ($H_{true} = 3.8$; 5.9 and 6.4% , respectively). In general, the data obtained have indicated the prospects of using cytoplasmic male sterility in breeding not only for productivity, but also for quality.

При организации полноценного питания животных необходимо учитывать химический состав кормов, используемых при кормлении. Повышение качества кормов является дополнительным источником питательных веществ для животных, важным резервом увеличения кормовой базы. В засушливых условиях среди кормовых культур следует обратить внимание на засухоустойчивую культуру – сорго, которая при недостатке влаги оказывается не только более урожайной, чем кукуруза, но и имеет показатели качества наравне с ней [1]. Высокая интенсивность начального роста и послеукосного отрастания у сорго травянистого оказывает положительное влияние, во-первых, на конкурентоспособность с сорняками за свет, воду, питательные элементы, а во-вторых, дает возможность получать 2–3 полноценных укоса зеленой массы [2, 3]. По питательности зеленая масса сорго-суданковых гибридов не уступает однолетним культурам и содержит достаточное количество питательных веществ (углеводов, жиров, витаминов), благодаря чему может использоваться на силос, сенаж, сено, зеленый корм, травяную муку, выпас [4, 5].

Следует учитывать, что качество корма в сильной степени зависит от условий возделывания культуры, сроков и способов заготовки и т.д. Установлено, что содержание сухого вещества практически не зависит от количества осадков, а с суммой температур за период вегетации имеет слабую отрицательную связь ($r = -0,31 \dots -0,39$) [6]. В условиях засухи

отмечается увеличение содержания протеина, но снижается его усваиваемость [7, 8]. В работах исследователей указывается, что при увеличении гидротермического коэффициента (ГТК) с 0,9 до 1,9 содержание сырого протеина и клетчатки слабо изменялось с 11,41 до 11,29 % и 31,43 до 29,39 % соответственно [9]. По данным К. Somegowdaab и др., L. Perrier в условиях засухи в зеленой массе сорго снижается содержание клетчатки [10, 11].

Качество зеленой массы сорго-суданковых гибридов и суданской травы определяется сроком уборки. Лучшее соотношение урожайности и питательности корма наблюдается в период от выхода в трубку до начала выметывания. Установлено, что по мере старения растений сорго-суданковых гибридов содержание протеина, жира, золы в зеленой массе уменьшается, а безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) и клетчатки растёт. Задержка уборки приводит к снижению содержания сырого протеина с 10,45 (выход в трубку) до 7,96 % (цветение), а обеспеченность одной кормовой единицы переваримым протеином уменьшается на 4,7 г [12]. По данным М.Н. Melo e Lima и других исследователей содержание сырого протеина суданской травы при уборке на 34, 41, 48, 55 и 63-й день от посева постепенно снижалось: 12,6; 9,7; 6,9; 5,0 и 4,3 % [13].

Повысить содержание питательных веществ в зеленой массе можно за счет внесения удобрений. Так, в исследованиях Т.Н. Дроновой внесение удобрений привело к повышению

урожайности зеленой массы суданской травы с 26,8 до 63,4 т/га. Кроме того, в килограмме сухой массы повышалось содержание кормовых единиц (до 0,74), а также переваримого протеина (до 104 г) [14].

Однако самым надежным и эффективным способом повышения не только урожайности, но и качества зеленой массы является применение гетерозисной селекции. Использование ЦМС у сорго получило широкое распространение во многих странах и считается самым экономически выгодным способом получения гибридных семян [15]. Гибриды, созданные при скрещивании ЦМС-линий сорго зернового или сахарного с сортами суданской травы, отличаются мощной вегетативной массой, высокой интенсивностью начального роста и устойчивостью к засухе, холоду. Сорго-суданковые гибриды превышают сорта суданской травы по урожайности зеленой массы на 30 и более процентов [1, 3, 10]. Вопросу изменения качества зеленой массы сорго уделяется недостаточное внимание. В связи с этим изучение возможности повышения показателей качества с использованием гетерозисной селекции представляет научный и практический интерес и является актуальным.

Цель данной работы: установить гетерозисный эффект показателей качества зеленой массы у сорго-суданковых гибридов, создан-

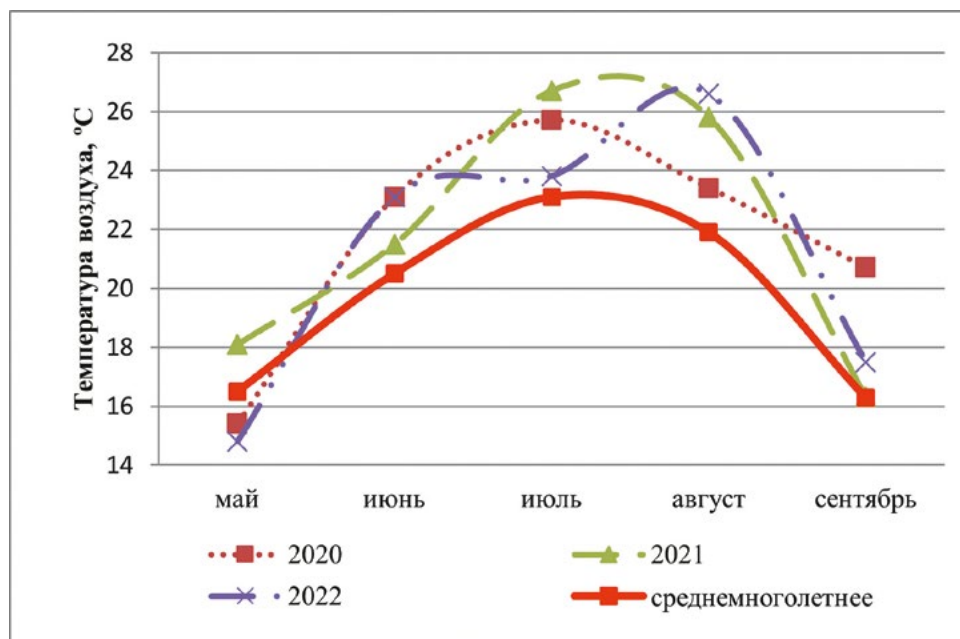
ных на основе цитоплазматической мужской стерильности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

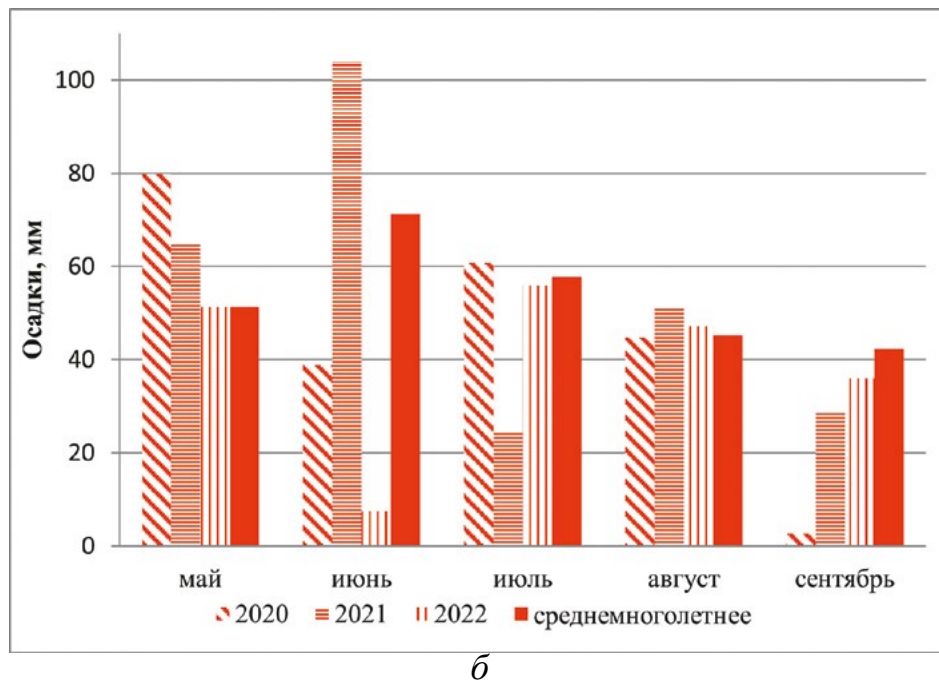
Объект исследований – сорго-суданковые гибриды, созданные в АНЦ «Донской» с использованием ЦМС-линий сорго сахарного (АПВ-1115) и зернового (Деметра и Джетта). В качестве опылителей отобраны перспективные сорта суданской травы с высокой урожайностью зеленой массы, относящиеся к среднеспелой группе созревания. Стандартом является гибрид Густолистный (АПВ-1115 × Сочностебельная 2), допущенный к использованию по Северо-Кавказскому и Нижне-Волжскому регионам РФ.

Исследования проводили в ФГБНУ АНЦ «Донской». Почва опытного участка – обыкновенный карбонатный чернозем с содержанием гумуса – 3,36 %; pH – 7,3; P_2O_5 – 24,4; K_2O – 360 мг/кг почвы [16]. По плодородию и физико-химическим свойствам почва опытного участка благоприятна для выращивания сорго.

Метеорологические условия в годы исследований (2020–2022 гг.) значительно различались, что позволило провести всестороннюю оценку гибридов в контрастных условиях (рисунк).



а



б

Метеорологические условия в период вегетации сорго (2020–2022 гг.): а – среднесуточная температура воздуха, б – количество осадков

Meteorological conditions during the sorghum growing season (2020–2022): a – average daily air temperature, b – amount of precipitation

Так, высокая температура воздуха в мае и хорошая увлажненность почвы в 2021 г. способствовали дружному и быстрому прорастанию семян, а в 2020 и 2022 гг., наоборот, пониженная температура привела к задержке всходов. Отсутствие осадков в июне 2020, 2022 гг. и среднесуточная температура воздуха выше среднеемноголетних данных на 2,6–4,7 °С, или 12,6–22,9 %, привели к сокращению периода «всходы–выметывание» и, следовательно, снижению урожайности зеленой массы за первый укос. В целом за годы исследований средняя температура воздуха в течение вегетации была выше среднеемноголетней нормы. Наибольшая сумма осадков за период «май–сентябрь» отмечена в 2021 г. (273 мм при норме 268 мм). Значения ГТК указывают на среднюю засуху – в 2020 г. (0,68), 2022 г. (0,52) и недостаточное увлажнение в 2021 г. (0,82).

Закладку опытов проводили по методике государственного сортоиспытания¹, обработку почвы и уход за посевами – в соответствии с

Рекомендациями по технологии возделывания сорго зернового, сахарного и суданской травы². Посев осуществляли в оптимальные сроки – 3–10 мая – рядовым способом (междурядья 15 см) с нормой высева – 1,6 млн всхожих семян на 1 га. Площадь делянки – 21 м², повторность четырехкратная. Расположение делянок в опыте – систематическое. Через каждые 10 делянок располагали стандарт. Уборку зеленой массы проводили дважды в фазу «начала выметывания» у 10–15 % растений на делянке, методом сплошного учета. Содержание основных питательных веществ, содержащихся в зеленой массе, определяли в лаборатории биохимической оценки растений по общепринятым методикам: сырой протеин – методом Кьельдаля (ГОСТ 53951–2010); сырой жир – по количеству обезжиренного остатка методом С.Р. Рушковского (ГОСТ 31700–2012); сырую клетчатку – по Геннебергу и Штомману (ГОСТ 31675–2012).

¹ Рекомендации по технологии возделывания сорго зернового, сахарного и суданской травы / Н.А. Ковтунова, В.В. Ковтунов, С.И. Горпиниченко [и др.]; Аграрный научный центр «Донской». – Саратов: ООО «Амирит», 2018. – 28 с.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. – 351 с.

Статистический анализ полученных данных проведен по методикам, изложенными Б.А. Доспеховым¹. Степень доминирования определена методом В. Griffing², величина гетерозиса – по методике Д.С. Омарова³.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание сухого вещества в зеленой массе корма определяет его питательную ценность. Чем выше его значение в единице зеленой массы, тем больше кормовых единиц она содержит [3].

У изучаемых сорго-суданковых гибридов содержание сухого вещества варьировало в пределах 20,2–23,7 % (табл. 1). В среднем наибольшие значения отмечены у гибридов, полученных на основе ЦМС-линии Деметра, – 21,5 %, а у гибридов на основе АПВ-1115 и Джетта – близкие значения (20,8–20,9 %). Изученные гибриды по данному показателю превысили либо имели значения на уровне стандарта (20,4 %). Наибольшее содержание сухого вещества и максимальные значения конкурсного гетерозиса отмечены у гибридов Деметра × Светлопленчатая 4 (23,7 и 16,2 %) и АПВ-1115 × ЧТ-22 (21,6 и 6,0 % соответственно).

Таблица 1

Характер наследования и гетеротический эффект содержания сухого вещества и его урожайности у сорго-суданковых гибридов (2020–2022 гг.)
Inheritance pattern and heterotic effect of dry matter content and its yield in sorghum-sudancium hybrids (2020–2022)

Гибрид	Содержание сухого вещества				Урожайность сухого вещества			
	%	Гетерозис, %		h_p	г/м ²	Гетерозис, %		h_p
		$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$			$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$	
Густолистный, ст.	20,4	-7,5	-0,6	0,46	932	76,9	97,2	3,73
АПВ-1115 × Кудесница	20,8	-4,8	1,7	0,63	1116	51,5	93,2	1,19
АПВ-1115 × Светлопленчатая 2	20,2	-12,1	-3,8	0,30	1202	64,1	108,9	1,50
АПВ-1115 × Светлопленчатая 4	20,6	-8,2	-0,7	0,46	954	26,6	62,8	0,60
АПВ-1115 × Землярина	20,8	-9,2	-0,7	0,46	915	22,3	56,9	0,51
АПВ-1115 × ЧТ-22	21,6	-6,4	2,7	0,64	1152	69,8	110,0	1,82
Деметра × Светлопленчатая 4	23,7	5,9	26,2	1,18	1041	38,1	117,1	0,52
Деметра × Тополек 576	20,7	7,9	20,3	1,39	850	38,7	107,8	0,58
Деметра × Яктик	21,0	6,0	19,9	1,26	746	29,4	90,8	0,46
Деметра × ЧСС-2	20,8	13,4	23,9	1,79	852	54,2	124,9	0,86
Джетта × ЧСС-2	20,9	14,3	19,8	2,54	797	44,2	89,0	0,93
Джетта × Яктик	21,1	10,5	18,3	1,79	969	73,9	128,6	1,54
Джетта × ЧТ-22	20,5	-11,4	3,2	0,60	1172	72,9	142,0	1,27
Среднее	21,0	-0,1	10,0	1,04	977	51,0	102,3	1,19
S	0,8	–	–	–	110	–	–	–
Гибриды с линией АПВ-1115	20,7	-8,0	-0,2	0,49	1045	51,9	88,2	1,56
Гибриды с линией Деметра	21,5	8,3	22,6	1,41	872	40,1	110,1	0,61
Гибриды с линией Джетта	20,8	4,4	13,8	1,64	980	63,6	119,9	1,25

1 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. – 351 с.

2 Griffing B. Concept of General and Specific Combining Ability in Relation to Diallel Crossing Systems. Australian Journal of Biological Sciences. – 1956. – № 9. – P. 463–493.

3 Омаров Д.С. К методике учёта и оценки гетерозиса у растений. Сельскохозяйственная биология. – 1975. – С. 123–127.

По истинному и гипотетическому гетерозису выделились гибриды с линией Деметрой (8,3 и 22,6 % соответственно), характеризующейся невысоким содержанием сухого вещества (8,6 %), значительно ниже, чем у гибридов с линией АПВ-1115 (19,0 %). Гипотетический гетерозис наблюдался в восьми комбинациях (61,5 %), истинный – в шести (46,1 %). Наибольший гетерозисный эффект отмечен у гибридов Джетта × ЧСС-2 (19,8 и 14,3 соответственно), Деметра × Тополек 576 (20,3 и 7,9 %), Деметра × ЧСС-2 (23,9 и 13,4 %), Деметра × Светлопленчатая 4 (26,2 и 5,9 %).

Степень доминирования указывает на сверхдоминирование у гибридов с линией Деметра ($h_p = 1,41$) и Джетта ($h_p = 1,64$) и частичное доминирование больших значений – у гибридов с линией АПВ-1115 ($h_p = 0,49$). Таким образом, чем выше значения данного показателя у родительских форм, тем ниже эффект гетерозиса.

Урожайность сухого вещества – важный продуктивный показатель для сорго травянистого, так как оно используется в первую очередь на сено. Урожайность варьировала в пределах 746–1202 г/м². Наибольшие значения наблюдаются в комбинациях с участием ЦМС-линии АПВ-1115 (1045 г/м²).

Гетерозисный эффект по урожайности сухого вещества отмечен у всех гибридов. Значения гипотетического гетерозиса варьировали в пределах 56,9–142,0 %, истинного – 22,3–76,9 %. Существенно превысили стандарт по урожайности зеленой массы четыре гибрида на 184–270 г/м²: АПВ-1115 × Кудесница, АПВ-1115 × ЧТ-22, Джетта × ЧТ-2, АПВ-1115 × Светлопленчатая 4 с высокими показателями гипотетического (38,1–64,1 %), истинного (93,2–142,0 %) и конкурсного (19,8–28,9 %) гетерозиса.

Наследование признака носит доминантный характер: так, в шести комбинациях (46,1 %) –

сверхдоминирование ($h_p = 1,19–3,73$), у остальных – неполное и частичное доминирование больших значений ($h_p = 0,46–0,93$).

Питательность корма определяется его качественным составом сухого вещества, при этом наибольшую ценность представляет белок [3]. В исследованиях Н.А. Ковтуновой выявлена слабая корреляционная связь содержанием сырого протеина с урожайностью зеленой массы ($r = -0,18$), что указывает на потенциал одновременного повышения урожайности и качества зеленой массы у сорго. Частота гетерозиса по содержанию сырого протеина значительно ниже, чем по другим показателям химического состава [13].

У изученных сорго-суданковых гибридов содержание сырого протеина имело значения 6,4–10,3 % (табл. 2). Наибольшее значение имели гибриды АПВ-1115 × Светлопленчатая 2 (9,2 %), АПВ-1115 × Кудесница (9,5 %), Джетта × ЧСС-2 (9,7 %), Джетта × Яктик (10,3 %), превысившие стандарт на 1,2–2,3 %.

Несмотря на то, что среднегрупповые значения гетерозиса по всем ЦМС-линиями имели отрицательные значения, выделено два гибрида с проявлением как гипотетического, так и истинного гетерозиса: Деметра × Светлопленчатая 4 (11,5 и 3,8 % соответственно) и Джетта × ЧСС-2 (9,0 и 1,3 %) с содержанием сырого протеина 8,3–8,9 %. Данный показатель у линии АПВ-1115 (9,6 %) выше, чем у Деметры (8,6 %) и Джетты (8,2 %), и ни один из гибридов, полученных на ее основе, не превысил это значение.

Степень доминирования указывает на разное наследование признака. Но в среднем по гибридам наблюдается частичное доминирование больших или меньших значений. Таким образом, чем больше содержание сырого протеина у родительских форм, тем выше значения у гибридов, полученных на их основе.

Таблица 2

Характер наследования и гетерозисный эффект содержания сырого протеина и сбора переваримого протеина у сорго-суданковых гибридов (2020–2022 гг.)

Inheritance pattern and heterotic effect of crude protein content and digestible protein yield in sorghum-sudangrass hybrids (2020–2022)

Гибрид	Содержание сырого протеина				Сбор переваримого протеина			
	%	Гетерозис, %		h_p	г/м ²	Гетерозис, %		h_p
		$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$			$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Густолистный, ст.	8,0	-16,3	-13,5	-1,55	57	58,2	71,2	3,83

1	2	3	4	5	6	7	8	9
АПВ -1115 × Кудесница	9,5	-1,0	6,0	0,93	80	72,8	108,9	2,10
АПВ -1115 × Светлопленчатая 2	9,2	-4,2	2,5	0,68	84	81,0	118,4	2,37
АПВ -1115 × Светлопленчатая 4	8,3	-13,0	-8,3	-0,28	60	22,6	51,6	0,59
АПВ -1115 × Землярина	8,4	-12,2	-5,2	0,18	58	26,1	52,2	0,76
АПВ-1115 × ЧТ-22	8,2	-14,2	-0,1	0,50	72	103,3	118,4	7,43
Деметра × Светлопленчатая 4	8,9	3,8	3,8	33,00	71	43,4	125,4	0,60
Деметра × Топлек 576	8,3	-13,4	-8,9	-0,34	53	20,1	84,6	0,29
Деметра × Яктик	8,6	-18,3	-10,3	-0,02	48	5,7	63,6	0,08
Деметра × ЧСС-2	8,3	-13,2	-8,7	-0,33	54	33,8	100,6	0,51
Джетта × ЧСС-2	9,7	1,3	9,0	1,09	59	46,1	101,3	0,84
Джетта × Яктик	10,3	-1,9	10,0	0,91	76	70,5	142,3	1,19
Джетта × ЧТ-22	6,4	-22,1	-15,1	-0,34	57	61,3	113,12	1,26
Среднее	8,6	—	—	—	64	—	—	—
S	1,0	—	—	—	11	—	—	—
Гибриды с линией АПВ-1115	8,6	-10,1	-3,1	0,08	69	30,4	43,2	2,85
Гибриды с линией Деметра	8,5	-10,3	-6,0	8,08	57	13,4	44,9	0,37
Гибриды с линией Джетта	8,8	-7,6	1,3	0,55	64	18,1	39,9	1,10

Сбор переваримого протеина имел значения от 49 до 84 г/м². По данному показателю наблюдается значительный гетерозисный эффект ($G_{гип} = 51,6\text{--}142,3\%$, $G_{ист} = 5,7\text{--}103,3\%$), причем у шести гибридов он имел значения больше 50 %. Максимальное превышение над большей родительской формой отмечено у гибридов, полученных на основе ЦМС-линии АПВ-1115 – $G_{ист} = 30,4\%$. Наибольший гетерозисный эффект отмечен у следующих гибридов: Деметра × Светлопленчатая 4 ($G_{гип} = 43,4\%$, $G_{ист} = 125,4\%$), Джетта × Яктик ($G_{гип} = 70,5\%$, $G_{ист} = 142,3\%$), АПВ-1115 × Кудесница ($G_{гип} = 72,8\%$, $G_{ист} = 108,9\%$), АПВ-1115 × Светлопленчатая 2 ($G_{гип} = 81,0\%$, $G_{ист} = 118,4\%$), АПВ-1115 × ЧТ-22 ($G_{гип} = 103,3\%$, $G_{ист} = 118,4\%$).

Наследование признака у 77 % гибридов проходит по типу сверхдоминирования и неполного доминирования больших значений.

Сырая зола является концентратом макро- и микроэлементов в зеленой массе сорго. Содержание золы у сорго-суданковых гибридов варьировало от 6,7 до 7,8 %.

Степень доминирования указывает как на сверхдоминирование (у гибридов с АПВ-1115 среднегрупповое значение $h_p = 5,24$), так и на частичное доминирование больших значений (у гибридов с линиями Деметра и Джетта среднегрупповые значения $h_p = 0,34\text{--}0,50$).

Значения гетерозиса указывают на незначительное превосходство над большим родителем ($G_{ист} = 1,6\text{--}17,9\%$) у семи гибридов и гибридную депрессию у шести гибридов. Таким образом, у гибридов с линией АПВ-1115 с содержанием золы 6,6 % отмечено проявление сверхдоминирования и значительный гетерозисный эффект ($G_{гип} = 11,8\%$, $G_{ист} = 8,5\%$). В остальных комбинациях, материнские формы которых имели значения 6,9–7,2%, отмечено неполное доминирование и гибридная депрессия ($G_{гип} = -4,7\text{--}-5,1\%$ и $G_{ист} = -12,2\text{--}-13,6\%$). При этом абсолютные значения содержания золы в сухом веществе у гибридов на одном уровне 7,2–7,5 % в среднем по группам, т. е. не превышают значения отцовских форм (сортов суданской травы) (табл. 3).

Жир является главным аккумулятором энергии в организме и необходим для нормальной работы пищеварительных желез, играет роль основного запасного вещества. У ЦМС-линий содержание жира в сухом веществе зеленой массы находилось в пределах 1,33–1,47 %, в то время как у опылителей – сортов суданской травы 1,9–2,2 %. У гибридов значения варьировали от 1,43 до 2,54 %, среднегрупповые значения отличались незначительно (1,7–2,0, S = 0,3 %).

Характер наследования и гетерозисный эффект содержания золы и жира (2020–2022 гг.)
Heritability pattern and heterotic effect of ash and fat content (2020–2022)

Гибрид	Содержание							
	Зола				Жир			
	%	Гетерозис, %		h_p	%	Гетерозис, %		h_p
		$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$			$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$	
Густолистный, ст.	7,8	7,0	12,5	1,71	1,8	-4,2	7,7	0,81
АПВ -1115 × Кудесница	6,9	4,4	8,6	1,59	1,8	-17,7	-1,4	0,47
АПВ -1115 × Светлопленчатая 2	7,8	17,9	19,9	6,36	1,9	-0,9	13,0	0,97
АПВ -1115 × Светлопленчатая 4	7,8	17,1	17,7	18,10	1,8	-16,9	-1,2	0,47
АПВ-1115 × Землярина	7,6	1,6	8,3	1,13	2,0	7,1	19,0	1,35
АПВ-1115 × ЧТ-22	6,8	3,0	4,1	2,54	1,5	-5,1	-2,5	0,06
Деметра × Светлопленчатая 4	7,7	6,4	10,5	1,86	1,8	-16,4	3,3	0,57
Деметра × Тополек 576	7,3	-14,2	-7,3	0,05	1,4	-23,0	-10,3	0,19
Деметра × Яктик	7,4	-25,0	-13,5	0,06	1,7	-23,9	-4,8	0,40
Деметра × ЧСС-2	7,2	-16,0	-8,6	0,01	1,7	-10,0	6,6	0,68
Джетта × ЧСС-2	7,4	-13,8	-4,4	0,30	1,7	-14,1	-1,6	0,45
Джетта × Яктик	7,4	-24,2	-11,0	0,18	2,5	14,4	38,8	1,41
Джетта × ЧТ-22	6,7	-3,0	0,1	0,52	1,7	11,3	15,5	2,52
Среднее	7,4	-3,0	2,8	2,65	1,8	-7,7	6,3	0,80
S	0,4	–	–	–	0,3	–	–	–
Гибриды с линией АПВ-1115	7,5	8,5	11,8	5,24	1,8	-6,3	5,8	0,69
Гибриды с линией Деметра	7,4	-12,2	-4,7	0,50	1,7	-18,3	-1,3	0,46
Гибриды с линией Джетта	7,2	-13,6	-5,1	0,34	2,0	3,8	17,6	1,46

Наибольшие значения истинного и гипотетического гетерозиса отмечены у гибридов Джетта × Яктик ($\Gamma_{гип} = 38,8\%$, $\Gamma_{ист} = 14,4\%$), Джетта × ЧТ-22 ($\Gamma_{гип} = 15,5\%$, $\Gamma_{ист} = 11,3\%$), АПВ-1115 × Землярина ($\Gamma_{гип} = 19,0\%$, $\Gamma_{ист} = 7,1\%$). Остальные гибриды не превысили значения большего родителя и показали отрицательный гетерозис.

Наследование признака происходило в основном по типу частичного или неполного доминирования больших значений. Таким образом, у всех гибридов в большей или меньшей степени проявилось доминирование больших значений ($h_p = 0,06–2,52$), что говорит о возможности применять межвидовые гибриды с использованием цитоплазматической мужской стерильности для повышения качественных показателей.

Для сена суданской травы характерно наличие клетчатки. Она помогает разрыхлению корма, тем самым делает его более доступным пищеварительному соку, стимулирует моторную функцию и способствует продвижению пищи и очистке кишечника [9]. Однако ее избыток в рационе животных снижает переваримость питательных веществ и увеличивает потерю энергии организма. Исследователями установлено, что содержание протеина в зеленой массе суданской травы имеет отрицательную корреляцию с содержанием клетчатки ($r = -0,51 \dots -0,99$) [17]. При этом содержание клетчатки снижается при каждом следующем укосе, что связано со снижением высоты растений и формированием более нежной листостебельной массы.

Содержание клетчатки у ЦМС-линий имело значения 33,8–35,6 %, у опылителей – 35,6–46,1 %, у гибридов – 34,4–39,6 %.

Среднегрупповые значения практически не различались, что говорит о независимости от материнской цитоплазмы. По данному признаку у всех гибридов отмечено частичное доминирование больших значений ($h_p = 0,07-0,26$),

при этом среднегибридное значение (35,9 %) не превысило среднеродительское значение (43,4 %). Ни в одной комбинации не проявился гетерозис (табл. 4).

Таблица 4

Характер наследования и гетерозисный эффект содержания клетчатки БЭВ (2020–2022 гг.)
Inheritance pattern and heterotic effect of fiber content of BEV (2020–2022)

Гибрид	Содержание						
	Клетчатка				БЭВ		
	%	Гетерозис, %		h_p	%	Гетерозис, %	
		$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$			$\Gamma_{ист}$	$\Gamma_{гип}$
Густолистный, ст.	35,5	-20,9	-10,6	0,09	46,9	-2,0	10,5
АПВ -1115 × Кудесница	34,5	-3,0	-1,5	0,02	47,3	-1,2	-1,1
АПВ -1115 × Светлопленчатая 2	34,6	-24,7	-14,0	0,01	46,5	-2,8	9,1
АПВ -1115 × Светлопленчатая 4	35,7	-22,6	-11,4	0,11	46,4	-3,2	9,9
АПВ-1115 × Землярина	36,5	-18,2	-7,7	0,20	45,5	-4,9	6,1
АПВ-1115 × ЧТ-22	39,6	-13,4	-1,2	0,46	43,9	-8,3	0,6
Деметра × Светлопленчатая 4	36,4	-21,1	-8,9	0,21	45,2	-7,9	5,7
Деметра × Тополек 576	35,9	-18,3	-7,6	0,21	47,1	-4,0	10,5
Деметра × Яктик	35,7	-8,3	-1,9	0,36	46,7	-4,7	6,6
Деметра × ЧСС-2	36,3	-17,7	-6,9	0,24	46,5	-5,2	9,5
Джетта × ЧСС-2	35,1	-20,3	-11,2	0,01	46,2	-4,7	9,5
Джетта × Яктик	35,7	-8,3	-3,5	0,17	44,1	-9,0	1,3
Джетта × ЧТ-22	35,3	-22,8	-12,6	0,03	49,9	2,9	13,6
Среднее	35,9	—	—	—	46,3	—	—
S	1,3	—	—	—	1,5	—	—
Гибриды с линией АПВ-1115	36,1	-17,1	-7,8	0,15	46,1	-3,7	5,9
Гибриды с линией Деметра	36,1	-16,3	-6,3	0,26	46,4	-5,4	8,1
Гибриды с линией Джетта	35,7	-17,2	-9,1	0,07	46,7	-3,6	8,1

С другой стороны, для обеспечения рациона крупного рогатого скота оптимальной концентрацией сырой клетчатки (22–24 %) при переваримости клетчатки в сене суданской травы 66–69 % содержание ее в сухом веществе должно быть в пределах 34–40 %. Все гибриды отвечают этим требованиям, что делает зеленую массу ценной в кормовом отношении.

В состав БЭВ входят сахара, крахмал и пентозаны. По содержанию БЭВ в сухом веществе зеленой массы родительских форм у ЦМС-линий отмечены значения 47,9–49,1 %, у опылителей – 38,2 %. Практически все гибриды

(43,9–49,9 %) превысили среднеродительское значение ($\Gamma_{гип} = 0,6–13,6$ %), но только один превысил значения большего родителя: Джетта × ЧТ-22 ($\Gamma_{гип} = 13,6$ %, $\Gamma_{ист} = 2,9$ %). Проявление признака у гибридов не зависело от материнской линии.

Наследование признака в среднем проходило по типу неполного доминирования больших значений – в десяти комбинациях (77 %).

Таким образом, несмотря на доминирование больших значений по признаку «содержание БЭВ» отмечен незначительный гетерозисный эффект.

ВЫВОДЫ

1. В ходе исследований установлено, что по признакам «содержание сухого вещества» и «урожайность сухого вещества», «сбор переваримого протеина» сорго-суданковые гибриды могут значительно превосходить родительские формы.

2. По содержанию сырого протеина, золы, жира, клетчатки и БЭВ у большинства гибридов отмечено частичное или неполное доминирование больших значений. Однако для получения даже незначительного гетерозиса по содержанию протеина, клетчатки и БЭВ хотя бы один родитель должен иметь высокие значения признака.

3. По совокупности гетерозисного эффекта по показателям качества зеленой массы выделены следующие гибриды: Джетта × Яктик, превысивший большую родительскую форму по содержанию сухого вещества ($\Gamma_{\text{ист}} = 10,5\%$) и жира ($\Gamma_{\text{ист}} = 14,4\%$), Джетта × ЧСС – сухого вещества и сырого протеина ($\Gamma_{\text{ист}} = 14,3$ и $1,3\%$), Деметра × Светлопленчатая 4 – сырого протеина, сухого вещества и золы ($\Gamma_{\text{ист}} = 3,8$; $5,9$ и $6,4\%$ соответственно).

4. В целом полученные данные говорят о перспективности использования цитоплазматической мужской стерильности в селекции не только на продуктивность, но и на качество.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zeru Y., Chang J. Genetic Diversity and Estimation of Heterosis of Sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench) Varieties and their Hybrids for Grain Yield and other Traits at, Baoding, Hebei Province, China // International Journal of Agriculture Innovations and Research. – 2020. – № 8. – P. 2319–2473.
2. Agroecological testing of sugar sorghum, sudanese grass and sorghum-sudanese hybrids in the natural conditions of the Novgorod region / E.P. Shkodina, O.V. Balun, S.I. Kapustin [et al.] // Indo American journal of pharmaceutical science. – 2019. – Vol. 6, N 7. – P. 13810–13815. – DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541.
3. Шишова Е.А., Ковтунов В.В., Ковтунова Н.А. Подбор родительских пар и изучение новых сорго-суданковых гибридов // Зерновое хозяйство России. – 2020. – № 4 (70). – С. 65–68. – DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-65-68.
4. Капустин С.И., Володин А.Б., Капустин А.С. Гетерозисная селекция гибридов сорго и суданской травы // Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 3 (31). – С. 76–84.
5. Продуктивность и питательная ценность суданской травы при возделывании на зеленый корм / Ю.Н. Плескачев, Ю.А. Лаптина, О.Г. Гиченкова [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 8. – С. 28–32. – DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp28-33.
6. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В., Шишова Е.А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 3. – С. 39–41.
7. Character association and inheritance studies of different sorghum genotypes for fodder yield and quality under irrigated and rainfed conditions / Tariq Abdus, Akram Zahid, Shabbir Ghulam [et al.] // African journal of biotechnology. – 2012. – N 11 (38). – DOI: 10.5897/AJB11.2561.
8. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress / K.B. Abreha, M. Enyew, A.S. Carlsson [et al.] // Planta. – 2021. – Vol. 255. – DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7.
9. Седукова Г.В., Кристова Н.В., Подоляк С.Л. Питательная ценность зеленой массы сорго сахарного, сорго-суданкового гибрида, суданской травы в юго-восточной части Беларуси // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2022. – № 58. – С. 249–255.
10. Evaluation of fodder yield and fodder quality in sorghum and its interaction with grain yield under different water availability regimes / K. Somegowdaab, A. Vemula, J. Naravula [et al.] // Current Plant Biology. – 2021. – Vol. 25. – P. 100191. – DOI: 10.1016/j.cpb.2020.100191.
11. Plasticity of Sorghum Stem Biomass Accumulation in Response to Water Deficit: A Multiscale Analysis from Internode Tissue to Plant Level / L. Perrier, L. Rouan, S. Jaffuel [et al.] // Plant Sci. – 2017. – № 8. – P. 1516. – DOI: 10.3389/fpls.2017.01516.

12. Кормовая ценность суданской травы в зависимости от срока уборки / А.В. Алабушев, Н.А. Ковтунова, В.В. Ковтунов [и др.] // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2019. – Т. 20, № 4. – С. 343–350. – DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.4.343-350.
13. *Nutritional characteristics of Sorghum hybrids hay (Sorghum sudanense vs. Sorghum bicolor)* / M.H.M. Lima, D.A.d.A. Pires, M.M.A. Moura [et al.] // *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. – 2017. – N 39 (3). – P. 229–234. – DOI: 10.4025/actascianimsci.v39i3.32524.
14. Дронова Т.Н., Бурцева Н.И. Возделывание суданской травы на корм в условиях орошения // *Орошаемое земледелие*. – 2019. – № 3. – С. 30–33. – DOI: 10.35809/2618-8279-2019-3-8.
15. Кибальник О.П. Использование эффекта гетерозиса в селекции сорго // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2019. – № 2 (51). – С. 15–24. – DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24.
16. Васильченко С.А., Метлина Г.В., Ковтунов В.В. Влияние сроков, способов посева и норм высева на продуктивность сорго зернового сорта Зерноградское 88 // *Зерновое хозяйство России*. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 91–96. – DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-91-96.
17. *Biochemical Evaluation of Forage Quality from Mutant Forms Sudan Grass (Sorghum sudanense (Piper) Stapf.)* / I. Golubina, Y. Naydenova, S. Enchev [et al.] // *Journal of Ecology and Environment Sciences*. – 2016. – Vol. XV, N 4. – P. 44–51.

REFERENCE

1. Zeru Y., Chang J., Genetic Diversity and Estimation of Heterosis of Sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench) Varieties and their Hybrids for Grain Yield and other Traits at, Baoding, Hebei Province, China, *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 2020, No. 8, pp. 2319–2473.
2. Shkodina E.P., Balun O.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S., Agroecological testing of sugar sorghum, sudanese grass and sorghum-sudanese hybrids in the natural conditions of the Novgorod region, *Indo American journal of pharmaceutical science*, 2019, Vol. 6, No. 7, pp. 13810–13815, DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541.
3. Shishova E.A., Kovtunov V.V., Kovtunova N.A., *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, 2020, No. 4 (70), pp. 65–68, DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-65-68. (In Russ.)
4. Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S., *Tavrisheskij vestnik agrarnoj nauki*, 2022, No. 3 (31), pp. 76–84. (In Russ.)
5. Pleskachev Ju.N., Laptina Ju.A., Gichenkova O.G., Kulikova N.A., *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2021, No. 8, pp. 28–32, DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp28-33. (In Russ.)
6. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Shishova E.A., *Vestnik Rossijskoj sel'skhozjajstvennoj nauki*, 2016, No. 3, pp. 39–41. (In Russ.)
7. Tariq, Abdus, Akram, Zahid, Shabbir, Ghulam [et al.], Character association and inheritance studies of different sorghum genotypes for fodder yield and quality under irrigated and rainfed conditions, *African Journal of Biotechnology*, 2012, 11 (38), DOI: 10.5897/AJB11.2561.
8. Abreha K.B., Enyew M., Carlsson A.S., Vetukuri R.R., Feyissa T., Motlhaodi T., Geleta M., Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. *Planta*, 2021, Vol. 255, DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7.
9. Sedukova G.V., Kristova N.V., Podoljak S.L., *Zemledelie i selekcija v Belarusi*, 2022, No. 58, pp. 249–255. (In Russ.)
10. Somegowdaab K., Vemula A., Naravula J., Prasad G., Rayaprolu L., Rathore A., Blümmel M., Deshpande S.P., Evaluation of fodder yield and fodder quality in sorghum and its interaction with grain yield under different water availability regimes, *Current Plant Biology*, 2021, Vol. 25, 100191, DOI: 10.1016/j.cpb.2020.100191.
11. L. Perrier, L. Rouan, S. Jaffuel [et al.] Plasticity of Sorghum Stem Biomass Accumulation in Response to Water Deficit: A Multiscale Analysis from Internode Tissue to Plant Level / L. Perrier, L. Rouan, S. Jaffuel [et al.], *Plant Sci*, 2017, No.8, pp. 1516, DOI: 10.3389/fpls.2017.01516.
12. Alabushev A.V., Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Romanjukin A.E., Shishova E.A., *Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2019, T. 20, No. 4, pp. 343–350, DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.4.343-350. (In Russ.)

13. Lima M.H.M., Pires D.A.d.A., Moura M.M.A., Costa R.F., Rodrigues J.A.S., Alves K.A., Nutritional characteristics of Sorghum hybrids hay (Sorghum sudanense vs. Sorghum bicolor), *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 2017, No. 39 (3), pp. 229–234, DOI: 10.4025/actascianimsci.v39i3.32524.
14. Dronova T.N., Burceva N.I., *Oroshaemoe zemledelie*, 2019, No. 3, pp. 30–33, DOI: 10.35809/2618-8279-2019-3-8. (In Russ.)
15. Kibal'nik O.P., *Vestnik NGAU*, 2019, No. 2 (51), pp. 15–24, DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24. (In Russ.)
16. Vasil'chenko S.A., Metlina G.V., Kovtunov V.V., *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, 2022, T. 14, No. 4, pp. 91–96, DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-91-96. (In Russ.)
17. Golubina I., Naydenova Y., Enchev S., Kikindonov T., Ilieva A., Marinov-Serafimov P., Biochemical Evaluation of Forage Quality from Mutant Forms Sudan Grass (Sorghum sudanense (Piper) Stapf.), *Journal of Ecology and Environment Sciences*, 2016, Vol. XV, No. 4, pp. 44–51.