

Оценка влияния цитоплазматического эффекта на биохимический состав зерна линий сорго

© 2026. В. В. Бычкова[✉], О. П. Кибальник, И. А. Сазонова

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», г. Саратов, Российская Федерация

В данной работе проведено исследование биохимического состава (жир, клетчатка, крахмал, белок, безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ), танин) в семенах 7 ЦМС-линий зернового сорго с разными типами стерильных цитоплазм (А1, А2, А3, А4, А5, 9Е) с ядерным геномом Карлик 4в и Желтозерное 10, а также 8 линий, закрепляющих стерильность. Растения выращивали в период с 2022 по 2024 г. в условиях Саратовской области. Оценку биохимических показателей зерна проводили с помощью инфракрасного анализатора Spectra Star XT модификации 2600XT-1, содержание танинов в муке сорго определяли по ГОСТ ISO 9648-2013. Установлены значимые различия в биохимическом составе у линий-закрепителей стерильности. Выявлены перспективные линии-закрепители стерильности с высоким содержанием крахмала, клетчатки и БЭВ – KVV 181; крахмала и жира – KVV 114; крахмала и БЭВ – КП-70. В среднем за 2022–2024 гг. цитоплазматический эффект на количество изученных биохимических компонентов в зерне изоядерных ЦМС-линий с разными типами стерильных цитоплазм отсутствовал. Исследуемые линии, за исключением изоядерных ЦМС-линий с геномом Карлик 4в, чей уровень был равен или несколько превышал 0,3 % (0,36 % у линии А3 Карлик 4в) в соответствии с пищевыми стандартами, характеризовались низким уровнем танинов от 0,14 до 0,25 %. Установлены сильные отрицательные корреляционные связи между содержанием золы и крахмала ($r = -0,72$), белком и БЭВ ($r = -0,87$). Выявлена отрицательная связь танинов с БЭВ ($r = -0,61$) и положительная – с белком ($r = 0,50$). Полученные сведения по влиянию цитоплазматического эффекта на биохимический состав зерна сорго позволяют более эффективно использовать выделенные источники в селекционном процессе при создании гибридов зернового сорго в зависимости от направления использования.

Ключевые слова: цитоплазматическая мужская стерильность, эффект ЦМС, крахмал, протеин, жир, танины

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства сельского хозяйства РФ в рамках Государственного задания (тема № 124020300041-5) и тематического плана ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бычкова В. В., Кибальник О. П., Сазонова И. А. Оценка влияния цитоплазматического эффекта на биохимический состав зерна линий сорго. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(2):331–339.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.331-339>

Поступила в редакцию: 09.06.2025

Принята к публикации: 23.03.2026

Доработана после рецензирования: 15.09.2025

Опубликована онлайн: 27.04.2026

Assessment of the influence of cytoplasmic effect on the biochemical composition of sorghum grain lines

© 2026. Vera V. Bychkova[✉], Oksana P. Kibalnik, Irina A. Sazonova

Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russian Federation

The study reports on an investigation of the biochemical composition (fat, fiber, starch, protein, nitrogen-free extracts (NFE), tannin) in the seeds of 7 CMS grain sorghum lines with different types of sterile cytoplasm (A1, A2, A3, A4, A5, 9E) with the nuclear genome Karlik 4v and Zhelotozernoye 10, as well as 8 sterility-maintaining lines. The plants were grown from 2022 to 2024 in the Saratov region. The biochemical parameters of the grain were assessed using a Spectra Star XT 2600XT-1 infrared analyzer. The tannin content was determined in sorghum flour according to GOST ISO 9648-2013. There were found significant deviations in the biochemical composition of the sterility-maintaining lines. Promising sterility-maintaining lines were identified: KVV 181 (high in starch, fiber and NFE); KVV 114 (high in starch and fat); KP-70 (high in starch and NFE). On average for 2022–2024, there was no cytoplasmic effect on the amount of the studied biochemical components in the grain of isonuclear CMS lines with different types of sterile cytoplasm. The studied lines, with the exception of isonuclear CMS lines with the Karlik 4v genome, whose level was equal to or slightly exceeded 0.3 % (0.36 % in the A3 Karlik 4v line) in relation to food standards, were characterized by a low level of tannins from 0.14 to 0.25 %. Strong negative correlations were found between ash and starch content ($r = -0.72$), as well as between protein and NFE ($r = -0.87$). A negative correlation was found between tannins and NFE ($r = -0.61$) and a positive correlation was found between tannins and protein ($r = 0.50$). The obtained data on the influence of the cytoplasmic effect on the biochemical composition of sorghum grain allow for more effective use of these sources in the breeding process when creating grain sorghum hybrids, depending on the intended use.

Keywords: cytoplasmic male sterility, CMS effect, starch, protein, fat, tannins

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation within the state assignment (topic No. 124020300041-5) and the thematic plan of Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Bychkova V. V., Kibalnik O. P., Sazonova I. A. Assessment of the influence of cytoplasmic effect on the biochemical composition of sorghum grain lines. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(2):331–339. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.331-339>

Received: 09.06.2025

Revised: 15.09.2025

Accepted for publication: 23.03.2025

Published online: 27.04.2026

Сорго (*Sorghum bicolor* L.) занимает важное место в агропромышленном комплексе благодаря своей устойчивости к неблагоприятным климатическим условиям, разнообразию использования и высокой питательной ценности. Эта культура широко используется в качестве источника продовольствия, корма для животных и промышленного сырья [1, 2].

В последние годы внимание исследователей сосредоточено на создании гибридов сорго, что стало возможным благодаря использованию линий с цитоплазматической мужской стерильностью (ЦМС-линий), которые обеспечивают высокий уровень генетического разнообразия. В условиях изменяющегося климата и глобальных вызовов продовольственной безопасности важным направлением исследований является оценка генетического разнообразия ЦМС-линий, которые могут обладать уникальными биохимическими характеристиками. ЦМС-линии представляют собой важный инструмент в селекции, позволяющий создавать новые гибриды с улучшенными агрономическими характеристиками, такими как высокая питательная ценность, урожайность, устойчивость к заболеваниям и неблагоприятным погодным условиям [3, 4].

Одним из ключевых аспектов, на который следует обратить внимание в селекции данной культуры, является биохимический состав зерна, включающий содержание питательных веществ и антиоксидантов, в частности танины. Танины представляют собой полифенольные соединения, которые, в зависимости от концентрации, могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на усвоение питательных веществ. Например, доказано стимулирующее действие танинов в качестве защитного барьера против патогенов, в то время как высокое их содержание в зерне сорго оказывает негативное влияние на усвояемость пищи и здоровье домашних животных [5, 6, 7]. Этот эффект возникает вследствие способности

танинов образовывать прочные связи с макромолекулами – белками и полисахаридами [8]. Поэтому рекомендуется соблюдать нормы содержания танинов, превышение которых может вызвать потерю веса у животных. Что касается здоровья человека, считается, что танины сорго могут быть полезными. Молекулярное взаимодействие танинов с крахмалом, белками и ферментами, связанное с их высокой антиоксидантной активностью, снижает усвояемость, а следовательно, и потребление калорий, принося пользу при ожирении и диабете 2-го типа в дополнение к другим преимуществам для здоровья, таким как противораковое и противовоспалительное действия [1, 9, 10, 11].

Вместе с тем включение в селекционный процесс по созданию гибридов сорго стерильных линий с различными типами ЦМС способствует расширению генетического разнообразия исходного материала, в том числе по содержанию танинов и других биохимических компонентов, что дает больше возможностей для оптимизации состава и питательной ценности зерна сорго при использовании в пищевой и кормовой промышленности.

Цель исследований – определить содержание основных биохимических компонентов, включая танин, в зерне образцов сорго, оценить влияние цитоплазматического эффекта у ЦМС-линий с разными типами стерильных цитоплазм на биохимический состав зерна.

Новизна исследований – впервые выявлено влияние стерильной цитоплазмы типа АЗ на накопление танинов в зерне ЦМС-линий сорго с геномом Карлик 4в, тогда как у ЦМС-линий с геномом Желтозерное 10 эффект отсутствовал; определен биохимический состав и содержание танинов образцов, закрепляющих стерильность. Полученные результаты способствуют выявлению перспективного исходного материала, который может быть использован для селекции новых гибридов с улучшенными питательными свойствами и оптимальным содержанием танинов.

Материал и методы. В качестве объектов исследований использовали 7 ЦМС-линий зернового сорго с разными типами стерильных цитоплазм (А1 Карлик 4в, А2 Карлик 4в, А3 Карлик 4в, А5 Карлик 4в, А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10) и 8 линий, закрепляющих стерильность (Карлик 4в, КП 70, КВВ 114, ВИР 120, Судзерн, Ефремовское 2, Фетерита 14, КВВ 181). Образцы высевали во II–III декадах мая на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Саратовская область) в течение 2022–2024 гг. селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10, агротехника выращивания – зональная. Площадь делянки составляла 7,7 м². Густота стояния растений соответствовала 100 тыс. шт/га. Повторность трехкратная¹. Для изучения цитоплазматического эффекта на биохимический состав зерна ЦМС-линий использовали соцветия с растений, зерно на которых завязалось в условиях свободного опыления. Выращивание в режиме свободного опыления среди сотен тысяч фертильных растений ежегодно обеспечивало 100%-ю завязываемость всех метелок исследуемых стерильных линий. Данный подход применяли в своих исследованиях Дж. Л. Моран и У. Л. Руни (J. L. Moran and W. L. Rooney) [12].

Оценка биохимического состава зерна сорго проведена на инфракрасном анализаторе Spectra Star XT модификации 2600XT-1 (Unity Scientific, США) методом спектроскопирования. Для определения содержания танинов пользовались методикой ГОСТ ISO 9648-2013², основанной на экстрагировании танинов из муки сорго диметилформамидом с последующим определением оптической плотности полученного экстракта на спектрофотометре Промэколаб ПЭ-5300В (ПромЭкоЛаб, Китай) при длине волны 525 нм в трехкратной повторности.

Статистическая обработка данных была проведена с помощью пакета программ Agros 2.09 методами дисперсионного и корреляционного анализов.

Результаты и их обсуждение. Биохимический анализ изученных линий-закрепителей стерильности показал значимые различия между ними по содержанию крахмала (71,38–74,44 %), жира (3,55–4,08 %), клетчатки (1,30–2,25 %) и БЭВ (78,67–80,17 %) (табл. 1). Вместе с тем существенных различий по содержанию белка и минеральных веществ в зерне не обнаружено, значение признаков составило 11,20–12,72 и 0,85–1,45 % соответственно.

Таблица 1 – Основные биохимические компоненты зерна у ряда линий-закрепителей новых типов стерильных цитоплазм сорго, % (среднее за 2022–2024 гг.) /

Table 1 – Main biochemical components of grain in a number of lines-maintainers of new types of sterile cytoplasm of sorghum, % (average for 2022–2024)

Образец / Sample	Крахмал / Starch	Белок / Protein	Жир / Fat	Зола / Ash	Клетчатка / Fiber	БЭВ / NFE
КП 70 / KP 70	73,97 bc	12,32	3,67 abc	1,20	1,52 ab	80,17 c
КВВ 114 / KVV 114	74,34 c	12,26	4,08 d	0,85	1,30 a	79,71 c
ВИР 120 / VIR 120	72,54 abc	12,72	3,99 cd	0,98	1,66 ab	78,67 a
Судзерн / 'Sudzern'	72,03 ab	12,37	3,91 bcd	1,25	1,70 ab	79,90 c
Ефремовское 2 / 'Efremovskoe 2'	73,39 abc	12,53	3,91 bcd	1,16	1,91 bcd	78,86 a
Фетерита 14 / 'Feterita 14'	71,38 a	12,09	3,60 ab	1,45	2,17 cd	79,69 bc
КВВ 181 / KVV 181	74,44 c	11,20	3,55 a	1,28	2,25 d	80,01 c
F ₀₅	3,78*	1,98	3,89*	0,94	4,35*	4,22*
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,91	-	0,30	-	0,38	0,72

* $p < 0,05$; данные по каждой гибридной комбинации, обозначенные разными буквами, значимо различаются при $p < 0,05$ в соответствии с Тестом множественных сравнений Дункана /

* $p < 0,05$; data for each hybrid combination, denoted by different letters, are significantly different at $p < 0,05$ according to Duncan's Multiple Range Test

¹Шепель Н. А. Селекция и семеноводство гибридного сорго. Ростов-на-Дону, 1985. 256 с.

²ГОСТ ISO 9648-2013. Сорго. Метод определения содержания танинов. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.
URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293776/4293776536.pdf>

В 2023 г. был проведен анализ по определению содержания танинов в муке сорго (рис. 1). В соответствии с Широким унифицированным классификатором возделываемых видов рода *Sorghum bicolor* Moench (L.)³, содержание танинов на стадии полной спелости варьировало в пределах: 1 – почти отсутствует; 3 – низкое (< 1,0 %); 5 – среднее (1,0–2,0 %); 7 – высокое (> 2,0 %). Таким образом, все изученные линии содержали низкий уровень танина. В то же время,

согласно пищевому стандарту на зерно сорго, разработанному Комиссией «Кодекс Алиментариус», содержание танина в зерне и муке не должно превышать 0,5 и 0,3 % в пересчете на сухое вещество соответственно⁴. Следовательно, этому стандарту соответствуют все изученные линии, у которых содержание танина было ниже 0,3 % и варьировало в пределах 0,14–0,25 %. Наименьшее значение признака установлено у линий КВВ 114 и ВИР 120.

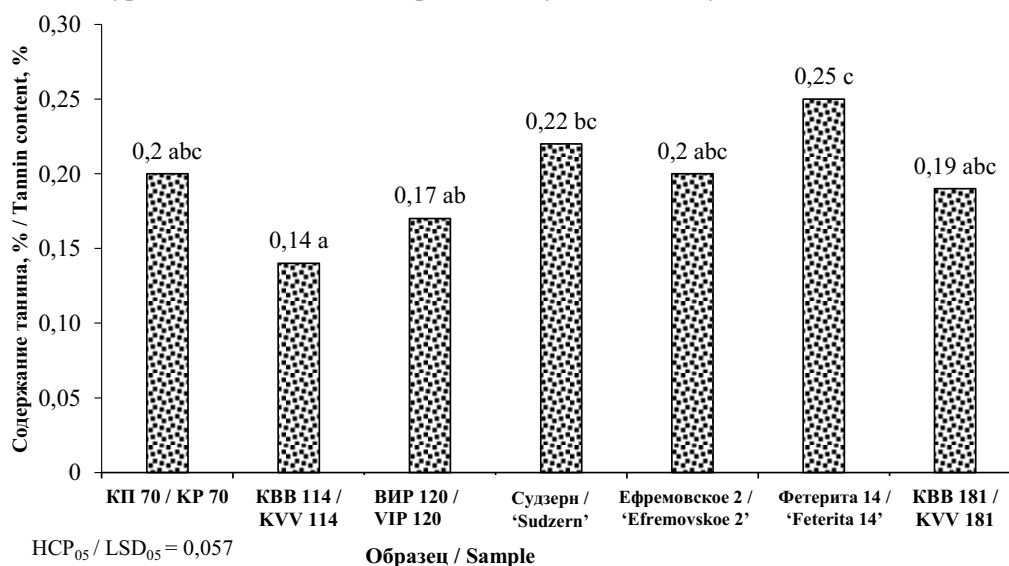


Рис 1. Содержание танина у линий-закрепителей стерильности зернового сорго, % (2023 г.) (данные по каждой линии, обозначенные разными буквами, значимо различаются при $p < 0.05$ в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана) /

Fig 1. Tannin content in lines-sterility maintainers of grain sorghum, % (2023) (data for each line, denoted by different letters, are significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's Multiple Range test)

Не менее значимым является выявление цитоплазматического эффекта на содержание биохимических компонентов зерна ЦМС-линий, имеющих один и тот же ядерный геном и различающихся только типом стерильных цитоплазм. Такие исследования провели на двух наборах ЦМС-линий: с геномом Карлик 4в (на основе цитоплазм А1, А2, А3, А4, А5) и Желтозерное 10 (на основе цитоплазм А3, А4, 9Е).

Однофакторный дисперсионный анализ показал отсутствие значимых различий ($F_{05} \leq F_{теор.}$) между изоядерными ЦМС-линиями по содержанию основных биохимических компонентов зерна в среднем за 3 года (табл. 2). Среди ЦМС-линий с геномом Карлик 4в отмечена (не доказанная математически) тенденция повышения содержания крахмала и БЭВ на цитоплазме А3, белка – на цитоплазме А1 и у закрепителя стерильности, жира и золы –

цитоплазме А5; среди ЦМС-линий с геномом Желтозерное 10 – крахмала, белка, золы и клетчатки на цитоплазме А4.

Хотя предыдущие исследования показали значимый цитоплазматический эффект на содержание белка и крахмала у линий с геномом Желтозерное 10 в зависимости от условий внешней среды [14, 15].

В 2023 г. проведен анализ по определению содержания танинов в муке сорго ЦМС-линий с геномом Желтозерное 10 на цитоплазмах А3, А4 и 9Е и с геномом Карлик 4в на цитоплазмах А1, А2, А3, А4, А5 (рис. 2). Исследования показали наличие значимого цитоплазматического эффекта в наборе линий с геномом Карлик 4: наименьшее значение танинов выявлено в зерне закрепителя стерильности (0,25 %), наибольшее – у ЦМС-линии с цитоплазмой А3 (0,36 %).

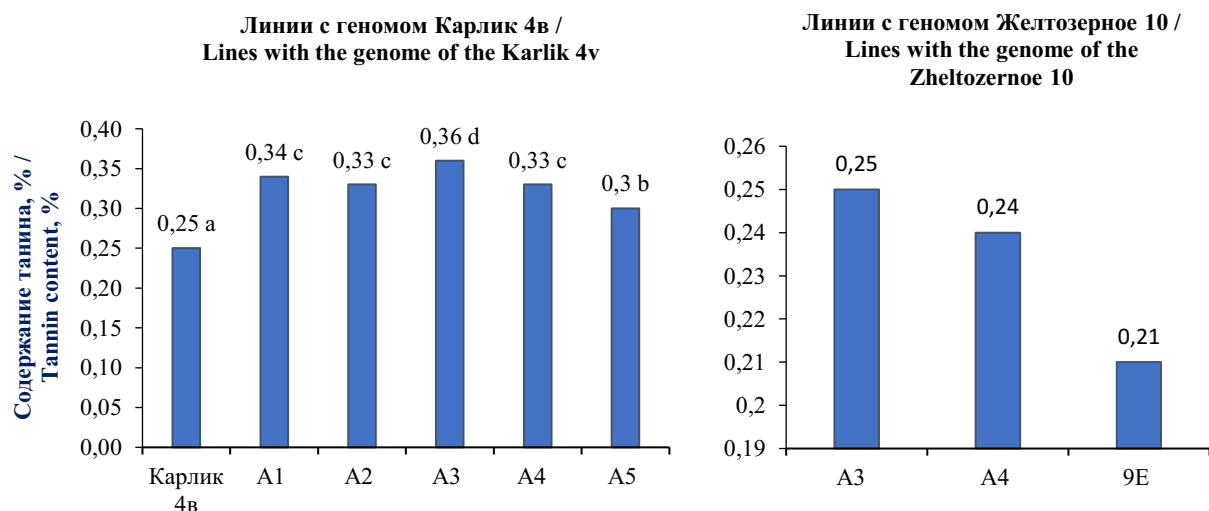
³Якушевский Е. С., Варадинов С. Г., Корнейчук В. А. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum Moench*. СССР, Л. Баня (ВНР). Л.: ВНИИР им. Н. И. Вавилова (ВИР), 1982. 34 с.

⁴Стандарт на зерно сорго СХС 172-1989. Принят в 1989 году. Пересмотрен в 1995 году. С изменениями 2019 г. URL: <https://fczerna.ru/upload/iblock/efa/efa3bd5d27cc584cefa8416f63a1f5ee.pdf>

Таблица 2 – Характеристика изоядерных ЦМС-линий сорго с разными типами стерильных цитоплазм по основным биохимическим компонентам зерна, % (среднее за 2022–2024 гг.) /

Table 2 – Characteristics of isonuclear CMS sorghum lines with different types of sterile cytoplasm by the main biochemical components of grain, % (average for 2022–2024)

Образец / Sample	Крахмал / Starch	Белок / Protein	Жир / Fat	Зола / Ash	Клетчатка / Fiber	БЭВ / NFE
С геномом Карлик 4в / With the genome of the Karlik 4v						
Карлик 4в – закрепитель стерильности / Karlik 4v – sterility maintaner	71,26	13,39	4,01	1,31	1,85	78,08
A1 Карлик 4в / A1 Karlik 4v	70,97	13,38	3,90	2,16	1,89	78,52
A2 Карлик 4в / A2 Karlik 4v	70,84	13,33	3,69	1,33	1,65	78,81
A3 Карлик 4в / A3 Karlik 4v	72,32	12,65	3,88	1,25	1,92	78,62
A4 Карлик 4в / A4 Karlik 4v	71,46	13,24	3,68	1,12	1,58	79,38
A5 Карлик 4в / A5 Karlik 4v	70,77	13,36	4,13	2,18	1,78	78,16
F ₀₅ (F ₀₅ ≤ F _{теор.})	0,96	0,42	1,45	1,32	0,75	1,32
С геномом Желтозерное 10 / With the genome of the Zheltozernoie 10						
A3 Желтозерное 10 / A3 Zheltozernoie 10	72,55	11,37	3,66	1,48	1,36	81,19
A4 Желтозерное 10 / A4 Zheltozernoie 10	73,33	11,52	3,39	1,52	1,50	81,27
9E Желтозерное 10 / 9E Zheltozernoie 10	73,20	11,02	3,35	1,47	1,49	81,57
F ₀₅ (F ₀₅ ≤ F _{теор.})	0,43	0,54	2,87	0,22	0,84	0,51
Среднее и ее ошибка / Mean and its error	71,85±0,33	12,58±0,33	3,74±0,09	1,54±0,13	1,67±0,07	79,51±0,48



HCP₀₅ / LSD₀₅ = 0,11

F₀₅ = 12,998

Рис. 2. Содержание танина в зерне стерильных линий сорго с разными типами ЦМС, % (2023 г.) (данные по каждой линии, обозначенные разными буквами, значительно различаются при p<0,05 в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана) /

Fig 2. Tannin content in grain of sterile sorghum lines with different types of CMS, % (2023) (data for each line, denoted by different letters, are significantly different at p<0.05 according to Duncan's Multiple Range test)

Для ускорения селекционного процесса важно обнаружить наиболее тесные зависимости между морфометрическими, биохимическими показателями и элементами структуры урожая. В настоящее время исследовано влияние цвета и окраски зерна сорго [16, 17], а также морфометрических показателей [18] на содержание танина. Взаимосвязь между основными биохимическими компонентами зерна и танинами не определяли.

В этой связи проведен анализ корреляционных взаимодействий изучаемых признаков у исследуемых образцов сорго (табл. 3). Выявлена обратная сильная корреляционная связь между параметрами золы и крахмала ($r = -0,72$);

белка и БЭВ ($r = -0,87$). Средняя отрицательная корреляция отмечена между жиром и БЭВ ($r = -0,53$), а также белком и крахмалом ($r = -0,52$). Аналогичные результаты исследований были получены в других наших работах при изучении корреляционной связи между биохимическими параметрами у сортов зернового сорго [19, 20]. В данной работе обнаружена средняя отрицательная корреляционная связь между содержанием танинов и БЭВ ($r = -0,61$) и средняя положительная – белка и танинов ($r = 0,50$). Выявленные закономерности необходимо учитывать в дальнейшей селекционной работе на улучшение питательности сорго.

Таблица 3 – Матрица коэффициентов корреляции (2023 г.) / Table 3 – Correlation coefficient matrix (2023)

Показатель / Indicator	Жир / Fat	Зола / Ash	Клетчатка / Fiber	Крахмал / Starch	Белок / Protein	БЭВ / NFE	Танин / Tannin
Жир / Fat	1.00	-	-	-	-	-	-
Зола / Ash	-0.42	1.00	-	-	-	-	-
Клетчатка / Fiber	-0.08	-0.14	1.00	-	-	-	-
Крахмал / Starch	-0.07	-0.72**	0.16	1.00	-	-	-
Белок / Protein	0.43	0.01	-0.14	-0.52*	1.00	-	-
БЭВ / NFE	-0.53*	0.19	-0.30	0.31	-0.87**	1.00	-
Танин / Tannin	0.12	0.13	0.42	-0.42	0.50*	-0.61*	1.00

* Значимо на 5%-м уровне; ** значимо на 1%-м уровне; отсутствие символа * указывает на незначимость коэффициента /

* Significant at 5% level; ** significant at 1% level; lack of symbol * indicates the insignificance of the coefficient

Заключение. Проведённые исследования показали, что изученные линии-закрепители стерильности сорго характеризуются существенной вариабельностью по ряду биохимических признаков, в частности по содержанию крахмала (71,38–74,44 %), жира (3,55–4,08 %), клетчатки (1,30–2,25 %) и безазотистых экстрактивных веществ (78,86–80,17 %). В то же время среди этих линий существенных различий по содержанию белка и минеральных веществ не обнаружено. Выявлены селекционно-ценные линии для селекции гибридов сорго пищевого и технологического направления использования: с высоким содержанием крахмала, клетчатки и БЭВ – линия КВВ 181; высоким уровнем крахмала и жира – линия КВВ 114; высоким содержанием крахмала и БЭВ – линия КП-70; повышенным содержанием белка – линия ВИР 120. Анализ содержания танинов показал, что у линий-закрепителей стерильности, а также

ЦМС-линий на основе генома Желтозерное 10 значения находятся в пределах 0,14–0,25 %, то есть соответствуют требованиям международного стандарта на пищевые продукты. Статистический анализ показал отсутствие значимых различий между изоядерными ЦМС-линиями как с геномом Карлик 4в, так и Желтозерное 10 по основным биохимическим компонентам зерна. В условиях 2023 г. выявлено положительное влияние цитоплазмы АЗ на накопление танинов у ЦМС-линии с геномом Карлик 4в (0,36 %). Полученные сведения важно учитывать в дальнейшей селекционной работе при создании гибридов пищевого направления. Анализ корреляционных взаимодействий показал сильную отрицательную связь между содержанием золы и крахмала, а также белком и БЭВ. Корреляционные связи между танинами и биохимическими показателями показывают наличие отрицательной связи с БЭВ и положи-

тельной – с белком. Таким образом, настоящее исследование является важным шагом в направлении селекции высокопродуктивных и качественных гибридов зернового сорго, пригодных для использования с учетом потребностей продовольственной безопасности.

венных гибридов зернового сорго, пригодных для использования с учетом потребностей продовольственной безопасности.

Список литературы

1. Assefa A., Bezabih A., Girmay G., Alemayehu T., Lakew A. Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) variety performance in the lowlands area of wag lasta, north eastern Ethiopia. Cogent Food & Agriculture. 2020;6(1):1778603. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1778603>
2. Junior M. O., Vendramini J., Erickson J., Moriel P., Silveira M., Aguiar A. et al. Nutritive value and fermentation characteristics of silages produced from different sweet sorghum plant components with or without microbial inoculation. Applied Animal Science. 2020;36(6):777–783. DOI: <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02027>
3. Кибальник О. П. Влияние типа стерильной цитоплазмы на селекционно-ценные признаки гибридов F1 сорго в различных по влагообеспеченности условиях. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023;(3):62–72. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-3-62-72> EDN: BHCGRJ
4. Кибальник О. П., Ларина Т. В., Каменева О. Б., Семин Д. С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):9–17. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17> EDN: BLQLPP
5. Hanaka A., Dresler S., Mułenko W., Wojciak M., Sowa I., Sawic M. et al. Phenolic-based discrimination between non-symptomatic and symptomatic leaves of *Aesculus hippocastanum* infested by *Cameraria ohridella* and *Erysiphe flexuosa*. International Journal of Molecular Sciences. 2023;24(18):14071. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241814071>
6. Feng K., Tang F., Zhang Y., Nong M. L. Transcriptome profiling of *Micromelalopha troglodyta* (Lepidoptera: Notodontidae) larvae under tannin stress using solexa sequencing technology. Journal of Entomological Science. 2021;56(3):321–342. DOI: <https://doi.org/10.18474/JES20-48>
7. Ducksbury C., Neale E. P., Stefoska-Needham A. The effect of sorghum consumption on markers of chronic disease: A systematic review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022;63(2):159–177. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1944976>
8. Jingyi Y., Reddy C. K., Fan Z., Xu B. Physicochemical and structural properties of starches from non-traditional sources in China. Food Science and Human Wellness. 2023;12(2):416–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.043>
9. Espitia-Hernández P., Chavez Gonzalez M. L., Ascacio-Valdés J. A., Dávila-Medina D., Flores-Naveda A., Silva T. et al. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022;62(8):2269–2280. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1852389>
10. Li Z., Zhao X., Zhang X., Liu H. Bioactive Compounds and Biological Activities of Sorghum Grains. Foods. 2021;10(11):2868. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112868>
11. Taylor J. R., Duodu K. G. Resistant-type starch in sorghum foods—Factors involved and health implications. Starch-Stärke. 2023;75(9–10):2100296. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202100296>
12. Moran J. L., Rooney W. L. Effect of cytoplasm on the agronomic performance of grain sorghum hybrids. Crop Science. 2003;43(3):777–781. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.0777>
13. Zhao W., Liu Y., Zhou K., Li K., Shen J. How sorghum grain composition affects the quality of Chinese Baijiu - a comprehensive review. Journal of Food Composition and Analysis. 2024;(134):106512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106512>
14. Бычкова В. В., Эльконин Л. А. Изучение влияния типа стерильной цитоплазмы на содержание белка у линий и гибридов зернового сорго. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации климата: мат.-лы II Междунар. науч.-практ. конф. (24–25 марта 2022 г.). Саратов: ООО «Амирит», 2022. С. 28–32.
Режим доступа: https://kpfu.ru/staff_files/F1289277269/SBORNIK_MATERIALOV_Konferenciya_MART_2022_FGBNU_RosNIISK_Rossorgo.pdf
15. Бычкова В. В., Эльконин Л. А. Изучение влияния типа стерильной цитоплазмы на содержание крахмала у линий и гибридов зернового сорго. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях аридизации: мат.-лы II Междунар. науч.-практ. конф. (24–25 марта 2022 г.). Саратов: ООО «Амирит», 2022. С. 23–27.
Режим доступа: https://kpfu.ru/staff_files/F1289277269/SBORNIK_MATERIALOV_Konferenciya_MART_2022_FGBNU_RosNIISK_Rossorgo.pdf
16. Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А., Кравченко Н. С. Антиоксидантные свойства зерна сорго. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(6):37–39. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10609> EDN: EXTCLY

17. Kurniawan H., Dwiatmini K. Tannin content diversity in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) germplasm. International conference on organic and applied chemistry (ICOAC) 2022. AIP Conference Proceedings. 2024;2957(1):060005. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0183913>
18. Sedghi M., Golian A., Soleimani-Roodi P., Ahmadi A., Aami-Azghadi M. Relationship between color and tannin content in sorghum grain: application of image analysis and artificial neural network. Revista Brasileira de Ciência Avícola. 2012;14(1):57–62. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000100010>
19. Бычкова В. В., Кибальник О. П., Сазонова И. А., Каменева О. Б. Влияние метеорологических условий года на биохимический состав зерна сорго. Аграрная наука. 2023;(12):102–107. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107> EDN: ELWENK
20. Кибальник О. П., Бычкова В. В., Ерохина А. В. Использование корреляционного анализа в селекции зернового сорго для засушливых регионов. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2024;(3(77)):36–44. DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2024-3-36-44> EDN: PLGAXU

References

1. Assefa A., Bezabih A., Girmay G., Alemayehu T., Lakew A. Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) variety performance in the lowlands area of wag lasta, north eastern Ethiopia. Cogent Food & Agriculture. 2020;6(1):1778603. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1778603>
2. Junior M. O., Vendramini J., Erickson J., Moriel P., Silveira M., Aguiar A. et al. Nutritive value and fermentation characteristics of silages produced from diferent sweet sorghum plant components with or without microbial inoculation. Applied Animal Science. 2020;36(6):777–783. DOI: <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02027>
3. Kibalnik O. P. Effect of sterile cytoplasm type on valuable breeding traits of F1 sorghum hybrids under different moisture conditions. *Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii* = *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2023;(3):62–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-3-62-72>
4. Kibalnik O. P., Larina T. V., Kameneva O. B., Semin D. S. Assessment of drought resistance in sorghum CMS lines based on various sterility sources. *Trudi po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2021;182(4):9–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17>
5. Hanaka A., Dresler S., Mułenko W., Wojciak M., Sowa I., Sawic M. et al. Phenolic-based discrimination between non-symptomatic and symptomatic leaves of *Aesculus hippocastanum* infested by *Cameraria ohridella* and *Erysiphe flexuosa*. International Journal of Molecular Sciences. 2023;24(18):14071. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241814071>
6. Feng K., Tang F., Zhang Y., Nong M. L. Transcriptome profiling of *Micromelalopha troglodyta* (Lepidoptera: Notodontidae) larvae under tannin stress using solexa sequencing technology. Journal of Entomological Science. 2021;56(3):321–342. DOI: <https://doi.org/10.18474/JES20-48>
7. Ducksbury C., Neale E. P., Stefoska-Needham A. The effect of sorghum consumption on markers of chronic disease: A systematic review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022;63(2):159–177. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1944976>
8. Jingyi Y., Reddy C. K., Fan Z., Xu B. Physicochemical and structural properties of starches from non-traditional sources in China. Food Science and Human Wellness. 2023;12(2):416–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.043>
9. Espitia-Hernández P., Chavez Gonzalez M. L., Ascacio-Valdés J. A., Dávila-Medina D., Flores-Naveda A., Silva T. et al. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022;62(8):2269–2280. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1852389>
10. Li Z., Zhao X., Zhang X., Liu H. Bioactive Compounds and Biological Activities of Sorghum Grains. Foods. 2021;10(11):2868. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112868>
11. Taylor J. R., Duodu K. G. Resistant-type starch in sorghum foods—Factors involved and health implications. Starch-Stärke. 2023;75(9–10):2100296. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202100296>
12. Moran J. L., Rooney W. L. Effect of cytoplasm on the agronomic performance of grain sorghum hybrids. Crop Science. 2003;43(3):777–781. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.0777>
13. Zhao W., Liu Y., Zhou K., Li K., Shen J. How sorghum grain composition affects the quality of Chinese Baijiu - a comprehensive review. Journal of Food Composition and Analysis. 2024;(134):106512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106512>
14. Bichkova V. V., Elkonin L. A. Study of the effect of the type of sterile cytoplasm on the protein content of grain sorghum lines and hybrids. Scientific support for the sustainable development of the agro-industrial complex in the context of climate aridization: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (March 24-25, 2022). Saratov: *OOO «Amirit»*, 2022. pp. 28–32. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F1289277269/SBORNIK_MATERIALOV_Konferenciya_MART_2022_FGBNU_RosNIISK_Rossorgo.pdf

15. Bichkova V. V., Elkonin L. A. Study of the effect of the type of sterile cytoplasm on the starch content of grain sorghum lines and hybrids. Scientific support for the sustainable development of the agro-industrial complex in the context of climate aridization: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference (March 24–25, 2022). Saratov: *ООО «Amirit»*, 2022. pp. 23–27. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F1289277269/SBORNIK_MATE-RIALOV_Konferenciya_MART_2022_FGBNU_RosNIISK_Rossorgo.pdf

16. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Kravchenko N. S. Antioxidant properties of sorghum grains. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(6):37–39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10609>

17. Kurniawan H., Dwiatmini K. Tannin content diversity in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) germplasm. International conference on organic and applied chemistry (ICOAC) 2022. AIP Conference Proceedings. 2024;2957(1):060005. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0183913>

18. Sedghi M., Golian A., Soleimani-Roodi P., Ahmadi A., Aami-Azghadi M. Relationship between color and tannin content in sorghum grain: application of image analysis and artificial neural network. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. 2012;14(1):57–62. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000100010>

19. Bychkova V. V., Kibalnik O. P., Sazonova I. A., Kameneva O. B. Influence of meteorological conditions of the year on the biochemical composition of sorghum grain. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2023;(12):102–107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107>

20. Kibalnik O. P., Bichkova V. V., Yerokhina A. V. Use of correlation analysis in grain sorghum selection for arid regions. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2024;(3(77)):36–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2024-3-36-44>

Вклад авторов: Бычкова В. В. – концепция и план исследования, анализ данных, подготовка рукописи; Кибальник О. П. – анализ данных, подготовка рукописи; Сазонова И. А. – концепция и план исследования, анализ данных.

Сведения об авторах

✉ **Бычкова Вера Валерьевна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-663X>, e-mail: bychkova_vv@list.ru

Кибальник Оксана Павловна, доктор биол. наук, главный научный сотрудник отдела селекции, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Сазонова Ирина Александровна, доктор биол. наук, главный научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, д. 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9844-5339>

Author contributions: Bychkova V. V. – research plan and concept, data analysis, manuscript preparation; Kibalnik O. P. – data analysis, manuscript preparation; Sazonova I. A. – research plan and concept, data analysis.

Information about the authors

✉ **Vera V. Bychkova**, PhD in Biology, leading researcher, the Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, 1st Institutsky proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-663X>, e-mail: bychkova_vv@list.ru

Oksana P. Kibalnik, DSc in Biology, chief researcher, the Department of Breeding, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, 1st Institutsky proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>

Irina A. Sazonova, DSc in Biology, chief researcher, the Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, 1st Institutsky proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9844-5339>

✉ – Для контактов / Corresponding author