

Научная статья

УДК 636.085.52:636.085.3

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013



## Урожайность и качество силоса диплоидного сорта «Радуга» и тетраплоидного сорта «Тетрасил» в зависимости от способа их консервации

Э. Б. Хатефов<sup>1</sup>, А. В. Ерохина<sup>2</sup>, Е. А. Жук<sup>3</sup>, С. А. Зайцев<sup>4</sup>, Ю. А. Керв<sup>1</sup>, И. А. Кибкало<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

<sup>3</sup> ООО «Агро Эксперт Групп», Москва, Россия

<sup>4</sup> ООО «Русид», Саратов, Россия

*Автор, ответственный за переписку:* Эдуард Балилович Хатефов, haed1967@rambler.ru

**Актуальность.** В мировой практике гибридной селекции кукурузы используются только сорта и гибриды с диплоидным (2n) геномом. Впервые проведены исследования урожайности листостебельной массы и качества силоса тетраплоидной (4n) кукурузы в сравнении с диплоидной кукурузой. **Материалы и методы.** Для анализа использовали силосы из листостебельной массы диплоидного сорта кукурузы «Радуга» и тетраплоидного сорта «Тетрасил» восковой спелости с применением консервантов AiBi® Lb 15.10 F и BIO-SIL. В качестве контроля использовали силос диплоидной и тетраплоидной кукурузы без внесения консервантов. Качество силоса определяли на 14-е, 30-е и 60-е сутки в трехкратной повторности. Фенотипирование образцов диплоидной и тетраплоидной кукурузы проводили в России в агроклиматических условиях г. Саратова (51°32' с.ш.) и г. Прохладный (43°45' с.ш.) в 2022-2023 годах. **Результаты.** Растения тетраплоидной кукурузы достоверно отличаются от диплоидной по урожайности листостебельной массы с початками в 2,4 раза, по содержанию сухого вещества в 2 раза, повышенным содержанием белка в зерне. Силос диплоидной кукурузы на 60-е сутки силосования уступает силосу тетраплоидной кукурузы по содержанию безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) и кислотности, но имеет преимущество по содержанию протеина, жира, золы и клетчатки. Использованные биоконсерванты AiBi 15.10 F и BIO-SIL значительно изменяют качественные показатели на 30-е и 60-е сутки консервации по всем компонентам в силосах диплоидной и тетраплоидной кукурузы. Сорт «Тетрасил» не вызревает на зерно в условиях северной зоны, что ограничивает его использование в этой зоне только для получения силоса. **Обсуждение.** Возможно, что эти различия между двумя сортами обусловлены более поздней группой спелости, либо высоким содержанием амилопектинового крахмала в зерне сорта «Тетрасил» в сравнении с сортом «Радуга», который лучше приспособлен к агроклиматическим условиям Саратовской области и содержит меньше амилопектина, чем сорт «Тетрасил».

**Заключение.** Сорт «Тетрасил» имеет преимущества перед сортом «Радуга» по урожайности зеленой массы при возделывании в агроклиматических условиях Саратовской области и некоторым качественным показателям силоса с использованием консервантов и без них. Силос, получаемый из тетраплоидной кукурузы, характеризуется высоким качеством и не уступает по этому показателю силосу из диплоидной кукурузы.

**Ключевые слова:** кукуруза, тетраплоид, диплоид, качество силоса, консерванты AiBi® LB 15.10 F и BIO-SIL, урожай зерна

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Госзадания № FGEM-2023-0003 «Создание при помощи методов биотехнологии новых селекционных форм кукурузы».

**Для цитирования:** Хатефов Э.Б., Ерохина А.В., Жук Е.А., Зайцев С.А., Керв Ю.А., Кибкало И.А. Урожайность и качество силоса диплоидного сорта «Радуга» и тетраплоидного сорта «Тетрасил» в зависимости от способа их консервации. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):68-79. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Хатефов Э.Б., Ерохина А.В., Жук Е.А., Зайцев С.А., Керв Ю.А., Кибкало И.А., 2025

## Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013

## Yield and quality of silage of diploid variety “Raduga” and tetraploid variety “Tetrasil” depending on the method of their preservation

Eduard B. Khatefov<sup>1</sup>, Anna V. Erokhina<sup>2</sup>, Ekaterina A. Zhuk<sup>3</sup>, Sergei A. Zaitsev<sup>4</sup>, Yulia A. Kerv<sup>1</sup>, Ilya A. Kibkalo<sup>1</sup><sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia<sup>3</sup> Agro Expert Group, LLC, Moscow, Russia<sup>4</sup> RUSID, LLC, Saratov, Russia**Corresponding author:** Eduard B. Khatefov, haed1967@rambler.ru

**Background.** In global hybrid corn breeding, only cultivars and hybrids with a diploid (2n) genome are used. The present research for the first time compared the yield of leaf and stem mass and silage quality of tetraploid (4n) corn with those of diploid corn. **Materials and Methods.** Silages from the leaf-stem mass of the diploid corn cultivar ‘Raduga’ and tetraploid cultivar ‘Tetrasil’ of waxy maturity, treated with AiBi® Lb 15.10 F and BIO-SIL preservatives, have been analyzed. Silage from diploid and tetraploid corn without preservatives served as a control. Silage quality was determined on days 14, 30, and 60 in triplicate. Phenotyping of diploid and tetraploid corn accessions was conducted under agroclimatic conditions of Saratov city at 51°32’ N and Prokhladny town at 43°45’ N in Russia in 2022/2023. **Results.** Tetraploid corn plants significantly differ from those of diploid corn in leaf and stem yield (2.4 times higher), dry matter content (2 times), and grain protein content. After 60 days of ensiling, silage from diploid corn is inferior to that from tetraploid corn in terms of Nitrogen-free extractives (NFES) content and acidity (pH), but has superior protein, fat, ash, and fiber content. The biopreservatives AiBi 15.10 F and BIO-SIL used in the experimental variants significantly improved the quality indicators after 30 and 60 days of ensiling for all components in diploid and tetraploid corn silages. Cv. ‘Tetrasil’ does not yield mature grain in northern climates, therefore its use in this zone is limited to silage production. **Discussion.** It is possible that these differences between the two cultivars are due to a later maturity group or a higher amylopectin starch content in the grain of cv. ‘Tetrasil’ cultivar compared to that of cv. ‘Raduga’, which is better adapted to the agroclimatic conditions of the Saratov Region and contains less amylopectin than ‘Tetrasil’. **Conclusions.** Cv. ‘Tetrasil’ has advantages over cv. ‘Raduga’ in terms of green mass yield when grown in the agroclimatic conditions of the Saratov Region, and in some quality indicators of silage with and without the use of preservatives. Tetraploid corn produces high-quality silage similar in quality to that produced from diploid corn.

**Keywords:** corn, tetraploid, diploid, silage quality, preservatives AiBi® Lb 15.10 F and BIO-SIL, grain yield

**Acknowledgements:** This research was financially supported by the State Assignments No. FGEM-2023-0003 “Developing new breeding forms of maize with biotechnology methods” for the period 2023-2025.

**For citation:** Khatefov E.B., Erokhina A.V., Zhuk E.A., Zaitsev S.A., Kerv Yu.A., Kibkalo I.A. “Yield and quality of silage of diploid variety “Raduga” and tetraploid variety “Tetrasil” depending on the method of their preservation”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):68-79. (in Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013

Financial transparency: The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employers.

© Khatefov E.B., Erokhina A.V., Zhuk E.A., Zaitsev S.A., Kerv Yu.A., Kibkalo I.A., 2025

## Введение

Кукурузный силос – один из важнейших компонентов полноценного рациона крупного рогатого скота, который благодаря удобству хранения и высокой концентрации питательных веществ включается в состав общих смешанных рационов для мясного скота (Kirkland et al., 2005; Ericsson, Nilsson, 2006; Phipps et al., 2000). Включение кукурузного силоса в рацион молочных коров увеличивает потребление клетчатки и других питательных веществ, и, соответственно, удой и содержание молочного белка (Phipps et al., 2000; Keady et al., 2008; Kliem et al., 2008). В результате за последние несколько десятилетий выращивание кукурузы на силос значительно возросло во многих частях мира, и, наряду с сенажом, кукурузный силос стал основным кормовым ингредиентом в рационе молочных коров при большинстве режимов кормления (Khan et al., 2012). Не все существующие сорта и гибриды кукурузы дают силос хорошего качества, поскольку кукуруза выращивается до 55 параллели северной широты; это вынуждает селекционеров вносить коррективы в селекционные программы в зависимости от группы спелости и уборочной влажности зерна (Coulter, 2021). Поэтому не все выращенные сорта и гибриды дают силос, соответствующий по качеству требованиям потребителей.

Установлено, что высокая влажность силосной массы провоцирует неправильное, кластриальное брожение и потерю части питательных веществ с избыточной влажностью, тогда как низкая влажность силосной массы провоцирует развитие в ней анаэробной микрофлоры и самосогревание (Muck, Kung, 2007). Все эти факторы в конечном итоге могут значительно снизить питательную ценность силоса либо полностью его испортить. Многие селекционные программы направлены на создание гибридов и сортов кукурузы разных групп спелости с ускоренной влагоотдачей зерна при созревании, адаптированных к северным широтам (Dahlen, Meehan, 2018), поскольку качество ферментации силоса зависит в первую очередь от уборочной влажности гибридов кукурузы (Muck, Kung, 2007).

Тетраплоидная кукуруза была впервые создана Рэндольфом в 1930-х годах (Randolph, 1935), но не получила широкого распространения из-за низкой семенной продуктивности початка (Sockness, Dudley, 1989). Для преодоления этого недостатка тетраплоидной кукурузы были разработаны цитологические методы селекции с отбором на преимущественную бивалентную конъюгацию гомологичных хромосом в мейозе (Khatefov, 2012), что позволило довести продуктивность тетраплоидной кукурузы до уровня диплоидных. Созданный на основе многолетнего селекционного отбора тетраплоидный сорт кукурузы ‘Тетрасил’ показал высокую зерновую продуктивность, большую вегетативную массу и другие качественные признаки, связанные с его универсальным использованием в качестве источника зерна и силоса (Khatefov, 2012).

Цель исследования – сравнительный анализ урожайности и качественных показателей силоса, полученного из диплоидной и тетраплоидной кукурузы при различных способах его консервации.

## Материалы и методы

Материалом исследования послужили образцы кукурузы диплоидной синтетической популяции ‘Радуга’ и гибрида Кавказ 412СВ, характеризующиеся высокой урожайностью силосной массы, а также тетраплоидного сорта ‘Тетрасил’ с высокой долей (86,6%) амилопектина в крахмале. Все исследованные образцы относились к подвиду зубовидной кукурузы (*Z. mays* ssp. *indentata* Start.). Испытания и фенотипическая оценка признаков сорта ‘Тетрасил’ (2n=40) проводились в оптимальных для созревания зерна агроклиматических условиях юга России, в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики, расположенной на участке с координатами 43°45’00” с. ш. и 44°02’00” в. д., где в качестве стандарта использовался диплоидный гибрид Кавказ 412СВ (2n=20), относящийся к той же группе спелости, что и сорт ‘Тетрасил’. Сорт ‘Тетрасил’ испытывался на силос в сравнении с популяцией силосного назначения ‘Радуга’ (2n=20) в северной зоне посева кукурузы, в г. Саратове, расположенном на участке с координатами 51°32’00” с. ш. и 46°00’00” в. д.

Агроклиматические условия Саратовской области характеризуются как умеренно-континентальные. Гидротермический коэффициент (ГТК) изменяется в пределах 1,20–1,45 во влажные годы, 0,70–0,95 в нормальные и 0,60–0,68 в засушливые. Среднегодовое количество осадков составляет 360–455 мм. Почва опытного участка – чернозём южный малогумусный, среднесильный, тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое по Тюрину (GOST 26213-2021..., 2021) составляет 3,80–4,60%, валового азота – 0,17–0,22%, валового фосфора – 0,11–0,14%, калия – 1,10–1,38%. Плотность почвы составляет 1,20–1,32 г/см<sup>3</sup>, наименьшая влагоёмкость (НВ) – 101,1 мм в слое 0–30 см и 295,6 мм в слое 0–100 см. Почвы преимущественно слабощелочные (рН =7,5). Климат зоны характеризуется суммой активных температур 2400–3100°С. Вегетационный период в Саратове длится 127–150 дней.

Агроклиматические условия степной зоны Кабардино-Балкарской Республики представлены лугово-чернозёмами. Содержание гумуса в пахотном слое не превышает 2,64%, реакция почвенного раствора по всему профилю среднещелочная (рН=8,1), со средней ёмкостью поглощения в пахотном слое (32 мг/экв на 100 г почвы), которая постепенно уменьшается с глубиной пахотного слоя. Содержание карбонатов в пахотном горизонте варьирует от среднего (6,7%) на поверхности до высокого (13,6–14,7%) в глубине. Обеспеченность почв подвижным фосфором очень низкая (0,4 мг/100 г почвы), а обменным калием – очень высокая (8 г/100 г). Климат данной зоны характеризуется как умеренно жаркий с суммой активных

температур 3000-3200°C и умеренной влажностью (коэффициент увлажнения 0,5-0,9), гидротермический коэффициент (ГТК) 0,9-1,2. Продолжительность вегетационного периода в г. Прохладный составляет 206 дней.

Диплоидные и тетраплоидные образцы кукурузы высевали при стабильной температуре почвы (10-12°C) на стандартных двухрядных делянках (площадь делянки 9,8 м<sup>2</sup>, количество растений на делянке – 34-35. Между рядами составляли 70 см. Густота стояния растений составила 60,2 тыс. раст./га). Учет морфометрических показателей, элементов структуры урожая и других характеристик проводили по известным методикам (Shmaraev, 1985; Dospekhov, 2011). Опыты по силосованию кукурузы проводили при созревании кукурузы до фазы восковой спелости. Для силосования брали 10 типичных растений с середины делянки, срез стебля производили на высоте 35-40 см от поверхности почвы. Растения измельчали при средней влажности растений 60-70% на фрагменты размером 10-20 мм. Опытные партии силоса закладывали в лабораторных стеклянные банки, в трехкратной повторности. Каждая партия была разделена на три группы: 1) без консервантов; 2) с биоконсервантом «AiBi®» серии «Lb 15.10 F») с биоконсервантом БИО-СИЛ. Силосную массу изолировали бумажным фильтром, заливали парафином и закрывали крышкой. Силос хранили при температуре 18-20°C в анаэробных условиях. По достижении сроков исследования готового силоса стеклянные банки вскрывали и проводили химический анализ. Содержание сырого протеина определяли по Кьельдалю умножением общего азота на коэффициент 6,25 (для кукурузы) по ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005) (GOST 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005)..., 2014), где проводили озоление органического вещества серной кислотой в присутствии катализатора, затем проводится подщелачивание, отгонка и титрование аммиака. Массовая доля сырого протеина вычисляется умножением массовой доли азота на коэффициент пересчета 6,25. Содержание сырого жира определяли экстракционным методом Сокслета путем экстрагирования жиров органическим растворителем (диэтиловым эфиром) по ГОСТ 13496.15-2016 (GOST 13496.15-2016..., 2020), который основан на многократной экстракции жира из навески корма диэтиловым эфиром в аппарате Сокслета в течение 5-8 часов (до 10-12 часов для жирных проб). Экстракт испаряют, остаток сушат при 105°C до постоянной массы и взвешивают, вычисляя процентное содержание. Содержание общего крахмала определяли по ГОСТ ISO 15914-2016 (GOST ISO 15914-2016..., 2017) с использованием ферментов для гидролиза крахмала до глюкозы и определением значения гексокиназным методом. Качество силоса определяли через 30, 60 и 90 суток хранения в трехкратной повторности. Определение качества силоса проводили согласно нормативному документу по стандартизации силоса ГОСТ Р 55986-2022: силос и силаж, общие технические условия (GOST R 55986-2022..., 2022).

**Биоконсервант «AiBi®» серии «Lb 15.10 F» про-**

изводится группой компаний «Союзснаб», Россия, г. Красногорск. Содержание: 3×10<sup>11</sup> КОЭ/г (*Lactobacillus plantarum* DSM 8862(1) и *Lactobacillus plantarum* DSM 8866), дополнительно содержит *Lactobacillus plantarum*, *Propionibacterium shermanii*, *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus diolivorans*, комплекс ферментов (амилаза, целлюлаза, глюканаза, ксилаза). Биоконсервант «AiBi®» серии «Lb 15.10 F» вносили в измельченную силосную массу при влажности 55-65%. Дозировка вносимого количества биоконсерванта составляла 0,5 г препарата (с активностью не менее 5×10<sup>10</sup> КОЕ) на одну тонну силосованного сырья. После внесения консерванта массу укладывали в банки и утрамбовывали для обеспечения оптимальных анаэробных условий развития молочнокислых бактерий.

**Биоконсервант БИО-СИЛ** производства компании «Пульстар» (Республика Беларусь) совместно с «Dr. Pieper Technologie und Produktentwicklung GmbH» (Германия) и эксклюзивным представителем ООО «Альбит» (Россия), ОАО ПНП «Укрзоветпромснаб» (Украина), ГП «МНТЦ «Агробиотех» НАН и МОН (Украина). Биоконсервант БИО-СИЛ производства Dr. PIEPER вносили в скошенную силосную массу при влажности 55-65% из расчета 0,5 г препарата (с активностью не менее 3,5×10<sup>11</sup> КОЕ, состоящего из штаммов *Lactobacillus plantarum* DSM 8862 и *Lactobacillus plantarum* DSM 8866) на одну тонну силосованного сырья. После внесения препарата массу, предварительно консервированную, помещали в банки и утрамбовывали для обеспечения оптимальных анаэробных условий развития молочнокислых бактерий.

Достоверность различий вариантов опыта была проверена методом дисперсионного анализа (ANOVA) на уровне значимости 5%.

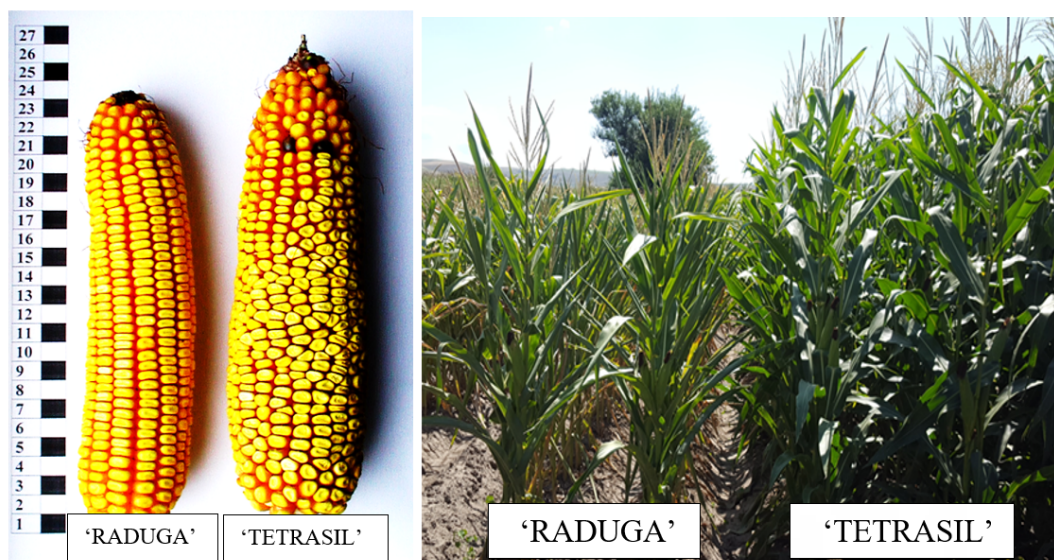
## Результаты

Сравнительный анализ морфологических признаков диплоидной и тетраплоидной кукурузы показал, что тетраплоидная кукуруза имеет существенные отличия от диплоидной по ряду таких признаков, как: более мощная архитектура растений, большая площадь листьев, более толстый стебель и початок. Зерно и зародыш тетраплоидной кукурузы характеризуются более крупными размерами, массой початка и весом 1000 зерен. Листья тетраплоидных форм кожистые, очень широкие и более темной окраски, чем у диплоидных (рис. 1, рис. 2).

При возделывании кукурузы на силос большое значение имеет такой технологически важный признак, как высота растения и высота прикрепления хозяйственно рентабельного початка. У тетраплоидной кукурузы высота растения имела несколько более низкие значения, но высота прикрепления початка характеризовалась высоким расположением относительно обоих стандартов (табл. 1). Размеры листовой пластинки и початка, масса 1000 зерен также характеризуются превышением значе-

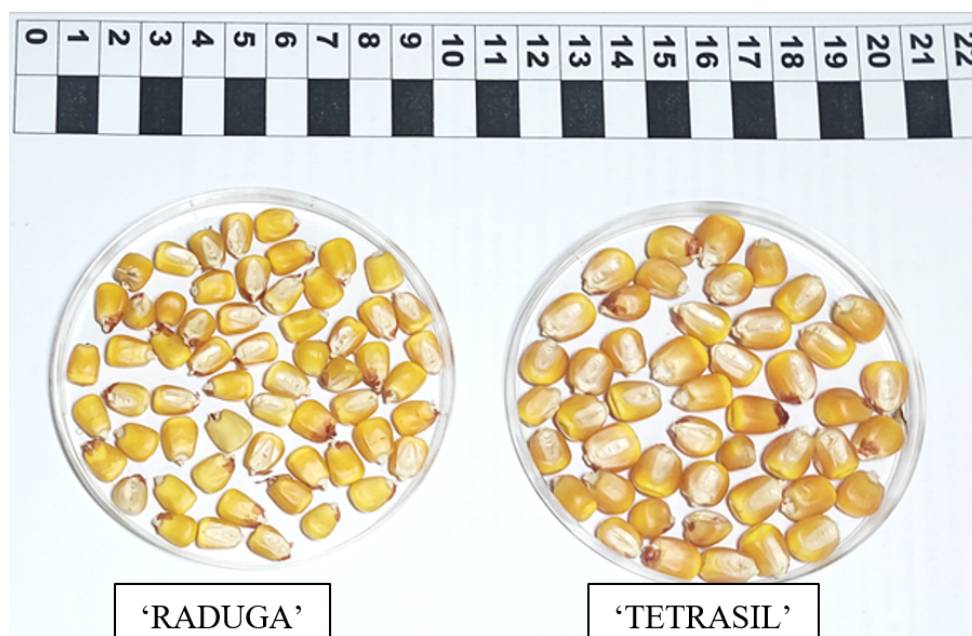
ний над диплоидным стандартом. Все эти отличительные признаки в совокупности делают тетраплоидную кукурузу привлекательной для силосования, поскольку по

общей листостебельной массе она превосходит диплоидную кукурузу.



**Рис. 1.** Початки и растения тетраплоидного сорта кукурузы ‘Тетрасил’ (справа) и диплоидного сорта ‘Радуга’ (слева), полученные в агроклиматических условиях Саратовской области

**Fig. 1.** Cobs and plants of the tetraploid corn cultivar ‘Tetrasil’ (right) and diploid cultivar ‘Raduga’ (left), obtained in the agroclimatic conditions of the Saratov Region



**Рис. 2.** Размеры семян кукурузы диплоидного сорта ‘Радуга’ и тетраплоидного сорта ‘Тетрасил’

**Fig. 2.** Seed size of the diploid corn cultivar ‘Raduga’ and tetraploid cultivar ‘Tetrasil’

**Таблица 1. Характеристики фенотипа и их значения у диплоидной и тетраплоидной кукурузы в условиях Саратовской области (г. Саратов) и Кабардино-Балкарии (г. Прохладный), 2022-2023**

**Table 1. Phenotype characteristics and their values in diploid and tetraploid corn in the Saratov Region (Saratov city) and Kabardino-Balkaria (Prokhladny town), 2022-2023**

Показатели/ Indicators	Образец кукурузы/ Corn accession			
	г. Саратов/ Saratov city		г. Прохладный/ Prokhladny town	
	‘Радуга’/ ‘Raduga’	‘Тетрасил’/* ‘Tetrasil’	Кавказ 412CB/ Kavkaz 412SV	‘Тетрасил’/ ‘Tetrasil’
Группа спелости по ФАО	300	460	480	460
Высота растений (см)	215,2 <sup>a*</sup>	262,11 <sup>b</sup>	227,14 <sup>b</sup>	241,21 <sup>a</sup>
Высота расположения початка	74,7 <sup>a</sup>	122,04 <sup>b</sup>	94,42 <sup>b</sup>	110,18 <sup>c</sup>
Длина листа (см)	87,70 <sup>a</sup>	101,3 <sup>a</sup>	90,42 <sup>b</sup>	81,14 <sup>b</sup>
Ширина листа (см)	8,52 <sup>a</sup>	10,07 <sup>c</sup>	9,43 <sup>b</sup>	13,15 <sup>b</sup>
Длина початка (см)	22,5 <sup>c</sup>	22,21 <sup>a</sup>	21,8 <sup>b</sup>	17,51 <sup>c</sup>
Диаметр початка (см)	4,1 <sup>a</sup>	4,7 <sup>c</sup>	4,3 <sup>b</sup>	5,1 <sup>c</sup>
Число зерен в рядке початка (шт.)	41,8 <sup>c</sup>	36,15 <sup>a</sup>	34,5 <sup>b</sup>	26,15 <sup>a</sup>
Число рядов зерен на початке (шт.)	16,3 <sup>a</sup>	15,08 <sup>a</sup>	17,5 <sup>c</sup>	19,14 <sup>b</sup>
Урожай зерна с растения (г)	90,8 <sup>a</sup>	202,58 <sup>c</sup>	603,75 <sup>c</sup>	207,71 <sup>b</sup>
Масса 1000 зерен (г)	257,10 <sup>a</sup>	371,61 <sup>a</sup>	321,06 <sup>b</sup>	415,00 <sup>c</sup>
Зерновая продуктивность початка (шт.)	82,71 <sup>b</sup>	55,81 <sup>a</sup>	88,84 <sup>c</sup>	59,05 <sup>b</sup>
Урожай зерна при 14% влажности зерна (т/га)	3,63 <sup>a</sup>	7,01 <sup>a</sup>	10,66 <sup>c</sup>	7,6 <sup>c</sup>

**Примечания:** \* ‘Тетрасил’ – сорт из-за позднеспелости к уборке достигал только восковой спелости в условиях Саратовской области  
\*\* одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически ( $p \leq 0,05$ )

**Notes:** \* ‘Tetrasil’, a late maturing cultivar, reached only the stage of wax ripeness in the Saratov Region

\*\* the same superscript letters for each indicator designate the values that do not differ statistically ( $p \leq 0,05$ )

Озерненность сорта ‘Тетрасил’ с урожайностью зерна 7,01 т/га (г. Саратов) и 7,6 т/га (г. Прохладный) находится в пределах 55,81% и 59,05% соответственно, что значительно ниже показателей озерненности початка диплоидных стандартов – гибрида Кавказ 412 СВ (88,85%) и популяции ‘Радуга’ (82,7%). Сорт ‘Тетрасил’ относится к одной группе спелости с гибридом Кавказ 412 СВ по классификации ФАО, но зерновая продуктивность на початке у тетраплоидного сорта ниже обоих стандартов на 36,9% (сорт ‘Радуга’) и на 29,8% (гибрид Кавказ 412 СВ).

Сорт кукурузы ‘Тетрасил’, выращенный в северной зоне, испытывался в сравнении с сортом ‘Радуга’, адаптированным и созревшим на зерно в агроклиматических условиях Саратовской области и используемый для силосования в местных животноводческих хозяйствах. В тех же климатических условиях сорт ‘Тетрасил’ созревал только до восковой спелости и редко достигал уборочной влажности зерна до наступления заморозков. По показателям урожайности зеленой массы, содержания сухого вещества в ней и биохимического состава спелого зерна сорт ‘Тетрасил’ значительно превосходит диплоидную популяцию ‘Радуга’ (табл. 2). Содержание крахмала и жира у тетраплоидного и диплоидного сортов было одинаково, а по содержанию белка диплоидный сорт уступал тетраплоидному. По урожайности зеленой массы с початками, початков восковой спелости и сухого вещества сорт ‘Тетрасил’ на 34,3 т/га, 18,47 т/га и 11,25 т/га соответственно превосходил сорт ‘Радуга’.

Анализ качества силоса тетраплоидной и диплоидной кукурузы не зависимо от вида консерванта выявил приятный силосный запах, насыщенный оливковый цвет силосной массы, рассыпчатую, нелипкую консистенцию по органолептическим показателям. Степень активной кислотности силосованной массы, независимо от используемого консерванта и плоидности кукурузы, находилась в пределах рекомендуемого ГОСТ Р 55986-2022 (ГОСТ R 55986-2022..., 2022) диапазона pH – от 4,05 до 4,4 (табл. 3).

На 60-е сутки силос из сорта ‘Тетрасил’ имел более высокие значения pH, чем силос из сорта ‘Радуга’ при всех способах обработки, и при самоконсервации более высокие сумму кислот и содержание молочной кислоты в силосной массе.

В ходе эксперимента выявлена зависимость накопления органических кислот (молочной и уксусной) от применяемых консервантов в разные сроки силосования. Накопления масляной кислоты не выявлено ни в одном из вариантов, что характерно для силоса первого класса по ГОСТ Р 55986-2022 (ГОСТ R 55986-2022..., 2022). В силосе из тетраплоидной кукурузы сумма органических кислот была на 0,38% выше на 60-е сутки в варианте без консервирования, чем на 14-е сутки. Консервант AiBi 15.10 F показал прибавку суммы органических кислот на 0,36%, а с BIO-SIL до 0,11% с 14-х по 60-е сутки.

Следовательно, эти консерванты вносят меньший вклад в общее накопление органических кислот, чем при

**Таблица 2. Структура урожая зеленой массы и биохимический состав зерна диплоидной и тетраплоидной кукурузы, 2022/2023**

**Table 2. Structure of green mass yield and biochemical composition of grain of diploid and tetraploid corn, 2022/2023**

Образец/ Accession	Урожайность, т/га/ Yield, t/ha			Содержание, %/ Content, %			
	зеленой массы с початками/ green mass with cobs	початков восковой спелости/ proportion of wax-ripe cobs	сухого вещества/ dry matter	сухого вещества в зеленой массе/ dry matter in green mass	жиров в зерне/ fat in grain	крахмала в зерне/ starch in grain	белка в зерне/ protein in grain
Радуга	24,4 <sup>a</sup> *	9,13 <sup>a</sup>	8,45 <sup>a</sup>	34,6 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>	68,5 <sup>a</sup>	10,8 <sup>a</sup>
‘Тетрасил’	58,7 <sup>b</sup>	27,6 <sup>b</sup>	19,7 <sup>b</sup>	36,2 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>	68,5 <sup>a</sup>	12,3 <sup>b</sup>

\* Примечание: одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически (p≤0,05)  
Note: the same superscript letters for each indicator designate values that do not differ statistically (p≤0.05)

самоконсервации. В варианте с диплоидной кукурузой в самоконсервирующемся силосе сумма кислот с 14-х по 60-е сутки увеличилась с 1,71% до 2,21%, биоконсервант AiBi 15.10 F способствовал накоплению суммы кислот

с 2,02% до 2,47%, а BIO-SIL – с 2,02% до 2,15% с пиком 2,24% на 30-й день. Прирост на 60-е сутки в этом варианте составил 0,50%, 0,45%, и 0,13% соответственно.

**Таблица 3. Динамика качества силоса в зависимости от вида консерванта\***

**Table 3. Dynamics of silage quality depending on the type of preservative\***

Продолжительность консервации, сут./ Duration of conservation, days.	Метод консервации/ Conservation method	Сумма кислот, %/ Total acids, %	Молочная кислота, %/ Lactic acid, %		Уксусная кислота, %/ Acetic acid, %		pH
			в силосной массе/ in silage mass	в сумме органических кислот/ in total organic acids	в силосной массе/ in silage mass	в сумме органических кислот/ in total organic acids	
<b>‘Тетрасил’/ ‘Tetrasil’</b>							
14	Без консерванта	1,87 <sup>b</sup>	1,29 <sup>a</sup>	68,98 <sup>a</sup>	0,58 <sup>c</sup>	31,02 <sup>n</sup>	4,28 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,10 <sup>ef</sup>	1,57 <sup>d</sup>	74,76 <sup>m</sup>	0,53 <sup>c</sup>	25,24 <sup>c</sup>	4,16 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,12 <sup>f</sup>	1,57 <sup>d</sup>	74,06 <sup>k</sup>	0,55 <sup>d</sup>	25,94 <sup>i</sup>	4,18 <sup>a</sup>
30	Без консерванта	2,29 <sup>j</sup>	1,69 <sup>g</sup>	73,80 <sup>j</sup>	0,60 <sup>fg</sup>	26,20 <sup>i</sup>	4,21 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,37 <sup>k</sup>	1,81 <sup>h</sup>	76,37 <sup>o</sup>	0,56 <sup>d</sup>	23,63 <sup>c</sup>	4,21 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,29 <sup>j</sup>	1,65 <sup>f</sup>	72,05 <sup>f</sup>	0,64 <sup>hi</sup>	27,95 <sup>l</sup>	4,23 <sup>a</sup>
60	Без консерванта	2,25 <sup>i</sup>	1,60 <sup>e</sup>	71,11 <sup>d</sup>	0,65 <sup>i</sup>	28,89 <sup>m</sup>	4,40 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,46 <sup>l</sup>	1,81 <sup>h</sup>	73,58 <sup>h</sup>	0,65 <sup>i</sup>	26,42 <sup>k</sup>	4,34 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,23 <sup>hi</sup>	1,64 <sup>f</sup>	73,54 <sup>g</sup>	0,59 <sup>ef</sup>	26,46 <sup>k</sup>	4,38 <sup>a</sup>
<b>‘Радуга’/ ‘Raduga’</b>							
14	Без консерванта	1,71 <sup>a</sup>	1,27 <sup>a</sup>	74,27 <sup>l</sup>	0,44 <sup>b</sup>	25,73 <sup>f</sup>	4,12 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,02 <sup>c</sup>	1,64 <sup>f</sup>	81,19 <sup>q</sup>	0,38 <sup>a</sup>	18,81 <sup>a</sup>	4,05 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,02 <sup>c</sup>	1,64 <sup>f</sup>	81,19 <sup>q</sup>	0,38 <sup>a</sup>	18,81 <sup>a</sup>	4,14 <sup>a</sup>
30	Без консерванта	2,07 <sup>d</sup>	1,49 <sup>b</sup>	71,98 <sup>c</sup>	0,58 <sup>c</sup>	28,02 <sup>l</sup>	4,16 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,09 <sup>de</sup>	1,66 <sup>f</sup>	79,43 <sup>p</sup>	0,43 <sup>b</sup>	20,57 <sup>b</sup>	4,09 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,24 <sup>i</sup>	1,65 <sup>f</sup>	73,66 <sup>i</sup>	0,59 <sup>ef</sup>	26,34 <sup>k</sup>	4,18 <sup>a</sup>
60	Без консерванта	2,21 <sup>h</sup>	1,57 <sup>d</sup>	71,04 <sup>c</sup>	0,64 <sup>hi</sup>	28,96 <sup>m</sup>	4,35 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,47 <sup>l</sup>	1,86 <sup>i</sup>	75,30 <sup>n</sup>	0,61 <sup>g</sup>	24,70 <sup>d</sup>	4,29 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,15 <sup>g</sup>	1,52 <sup>c</sup>	70,70 <sup>b</sup>	0,63 <sup>h</sup>	29,30 <sup>m</sup>	4,32 <sup>a</sup>

\* Примечание: одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически (p≤0,05)

Note: the same superscript letters for each indicator designate values that do not differ statistically (p≤0.05)

Если добавление AiBi 15.10 F и BIO-SIL к силосу из тетраплоидной и диплоидной кукурузы привело к относительно схожим результатам, то в варианте с самоконсервацией различия были более значимыми, при этом у диплоидной кукурузы суммарное накопление органических кислот было 0,50%, тогда как у тетраплоидной 0,38%.

Содержание молочной кислоты в силосной массе тетраплоидной кукурузы увеличилось на 0,31% в варианте без консерванта и 0,24% и 0,07% соответственно в вариантах с AiBi 15.10 F и BIO-SIL на 60-е сутки консервации. У силоса диплоидной кукурузы прирост количества молочной кислоты в силосной массе составил 0,3% при самоконсервации, тогда как с консервантом AiBi 15.10 F он составил 0,22%, а в варианте с консервантом BIO-SIL снизился на 0,12%. При этом молочная кислота в сумме органических кислот у силоса тетраплоидной кукурузы с обоими консервантами показывает схожие значения на 60-е сутки – 73,58% (AiBi 15.10 F) и 73,54% (BIO-SIL), а для силоса диплоидной кукурузы значения сильно разнятся. Так силос с консервантом AiBi 15.10 F показал 75,30%, а с BIO-SIL только 70,70%. Прирост содержания уксусной кислоты в силосной массе тетраплоидной кукурузы на 60-е сутки консервации составил 0,07% в варианте самоконсервации, у диплоидной кукурузы это значение составило уже 0,20%. В вариантах с консервантами AiBi 15.10 F и BIO-SIL у силоса тетраплоидной кукурузы накопление уксусной кислоты в силосной массе повысилось на 0,12% и 0,04% соответственно. У силоса диплоидной кукурузы с консервантами накопление уксусной кислоты происходило интенсивней и показало прирост 0,23% и 0,25% соответственно. При этом увеличение pH в силосной массе тетраплоидной кукурузы в варианте с самоконсервацией составило 0,12, а диплоидной – 0,23 единицы. Повышение кислотности в силосах с использованием консервантов тоже было различным в зависимости от пloidности кукурузы, использованной для силосования. Так для силоса тетраплоидной кукурузы с использованием консерванта AiBi 15.10 F прирост pH составил 0,18, а в случае консерванта BIO-SIL – 0,20. Силос из диплоидной кукурузы с добавлением консервантов AiBi 15.10 F и BIO-SIL показал прирост pH от 14-х к 60-м суткам в 0,24 и 0,18 единиц соответственно.

Результаты показали, что повышение кислотности силоса у диплоидной кукурузы выше при использовании консерванта AiBi 15.10 F, а у тетраплоидной – консерванта BIO-SIL. Значение pH, близкое к пороговому (pH=4,4), на 60-е сутки наблюдали в варианте с самоконсервированием у тетраплоидной кукурузы.

Содержание каротинов, протеина, жира, золы и клетчатки в силосе является важным показателем его питательной ценности. На 60-е сутки силос из сорта 'Тетра-сил' имел более высокие значения безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), и более низкие белка, жира, золы и клетчатки чем из сорта 'Радуга', при всех способах обработки, а при самоконсервации – более

высокое содержание каротина и процент сухого вещества. Сравнительный анализ содержания этих веществ в силосе тетраплоидной и диплоидной кукурузы показал (табл. 4), что в варианте с самоконсервацией содержание каротинов в силосе тетраплоидной кукурузы снизилось почти вдвое с 13,08 мг/кг до 8,15 мг/кг, тогда как в силосе диплоидной кукурузы, наоборот, увеличилась с 6,03 мг/кг до 7,56 мг/кг. Уменьшение содержания каротинов в силосе тетраплоидной кукурузы с биоконсервантами AiBi 15.10 F и BIO-SIL составило 2,88 мг и 4,08 мг соответственно, а в силосе диплоидной кукурузы увеличение составило 7,03 мг и 3,34 мг соответственно. Следует отметить, что вариант с использованием биоконсерванта AiBi 15.10 F показал лучшие значения, чем с BIO-SIL по динамике накопления каротинов в силосе диплоидной кукурузы.

При самоконсервации снижение протеина составило к 60-м суткам по сравнению с 14-ми 0,81% СВ у тетраплоидной кукурузы и 0,19% у диплоидной кукурузы. Наблюдалось небольшое повышение содержания белка на 30 день в силосе диплоидной и тетраплоидной кукурузы. В варианте силоса из AiBi 15.10 F увеличение протеина составило 0,19% СВ и 0,37% СВ для силоса из тетраплоидной и диплоидной кукурузы соответственно к 60-м суткам, а в варианте с BIO-SIL содержание протеина снизилось на 0,12% СВ и 0,38% СВ соответственно.

К 60-м суткам силосования силос из тетраплоидной кукурузы при самоконсервации показал снижение жиров с 2,30% СВ до 1,76% СВ, в то время как силос из диплоидной кукурузы продемонстрировал увеличение жира с 1,67% СВ до 1,83% СВ. У силоса тетраплоидной кукурузы с консервантом AiBi 15.10 F содержание жира снизилось с 2,12% СВ до 1,92% СВ, а с консервантом BIO-SIL с 2,28% СВ до 2,26% СВ. У силоса диплоидной кукурузы эти консерванты повысили содержание жира на 60-е сутки с 1,53% СВ до 2,00% СВ (AiBi 15.10 F) и с 1,85% СВ до 2,40% СВ (BIO-SIL). В силосе из тетраплоидной кукурузы с биоконсервантом AiBi 15.10 F снижение жиров составило 0,2% СВ, тогда как в силосе из диплоидной кукурузы наблюдалось повышение на 0,47% СВ. При сравнении значений этих двух силосов с биоконсервантом BIO-SIL, значения снизились на 0,02% СВ у силоса из тетраплоидной кукурузы и увеличились на 0,55% СВ у силоса из диплоидной кукурузы.

Снижение содержания золы к 60-м суткам при самоконсервации наблюдалось на 0,4% СВ у тетраплоидной кукурузы и на 0,21% СВ у диплоидной кукурузы. Зольность демонстрирует увеличение в процессе силосования в варианте с биоконсервантом AiBi 15.10 F на 0,33% СВ и снижение на 0,2% СВ в варианте с BIO-SIL в силосе из тетраплоидной кукурузы. В силосе из диплоидной кукурузы оба консерванта снизили значения на 0,28% СВ.

Для силоса из тетраплоидной кукурузы без консервантов увеличение клетчатки на 60-е сутки составило всего 0,45% СВ, тогда как для силоса диплоидной – в 10 раз выше, 4,02% СВ. Содержание клетчатки к 60-

**Таблица 4. Динамика биохимического состава силоса в зависимости от вида консерванта**  
**Table 4. Dynamics of the biochemical composition of silage depending on the type of preservative**

Продолжительность консервации, сут. Duration of conservation, days.	Метод консервации/ Conservation method	Каротин, мг/кг сырого вещества./ Carotene, mg/kg of fresh matter	Белок, % СВ/ Protein, % DM	Жир, %/ СВ Fat, % DM	Зола, % СВ/ Ash, % DM	Клетчатка, % СВ/ Fiber, % DM	БЭВ, % СВ/ NFE, % DM	Сухое вещество, %/ Dry matter, %
<b>‘Тетрасил’/’Tetrasil’</b>								
14	Без консерванта	13,08 <sup>l</sup> *	6,31 <sup>f</sup>	2,30 <sup>n</sup>	5,44 <sup>d</sup>	27,66 <sup>b</sup>	58,29 <sup>i</sup>	22,63 <sup>l</sup>
	AiBi 15.10 F	9,43 <sup>i</sup>	5,50 <sup>b</sup>	2,12 <sup>l</sup>	4,86 <sup>a</sup>	28,68 <sup>c</sup>	58,84 <sup>f</sup>	21,02 <sup>c</sup>
	BIO-SIL	13,87 <sup>n</sup>	6,06 <sup>c</sup>	2,28 <sup>mm</sup>	5,25 <sup>c</sup>	27,63 <sup>b</sup>	58,78 <sup>j</sup>	21,95 <sup>fg</sup>
30	Без консерванта	8,25 <sup>g</sup>	6,75 <sup>j</sup>	2,35 <sup>o</sup>	5,45 <sup>d</sup>	28,35 <sup>de</sup>	57,10 <sup>f</sup>	21,17 <sup>d</sup>
	AiBi 15.10 F	7,69 <sup>e</sup>	5,09 <sup>a</sup>	1,64 <sup>b</sup>	5,38 <sup>d</sup>	28,38 <sup>de</sup>	59,51 <sup>l</sup>	22,29 <sup>j</sup>
	BIO-SIL	7,95 <sup>f</sup>	5,50 <sup>b</sup>	2,02 <sup>k</sup>	5,20 <sup>c</sup>	27,90 <sup>bc</sup>	59,38 <sup>k</sup>	21,89 <sup>f</sup>
60	Без консерванта	8,15 <sup>fg</sup>	5,50 <sup>b</sup>	1,76 <sup>d</sup>	5,04 <sup>b</sup>	28,11 <sup>cd</sup>	59,59 <sup>m</sup>	22,46 <sup>k</sup>
	AiBi 15.10 F	6,55 <sup>e</sup>	5,69 <sup>c</sup>	1,92 <sup>j</sup>	5,19 <sup>c</sup>	29,20 <sup>f</sup>	58,00 <sup>h</sup>	19,35 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	9,79 <sup>k</sup>	5,94 <sup>d</sup>	2,26 <sup>m</sup>	5,05 <sup>b</sup>	27,06 <sup>a</sup>	59,69 <sup>n</sup>	22,04 <sup>h</sup>
<b>‘Радуга’/’Raduga’</b>								
14	Без консерванта	6,03 <sup>a</sup>	6,69 <sup>j</sup>	1,67 <sup>c</sup>	6,00 <sup>g</sup>	28,14 <sup>cd</sup>	57,50 <sup>g</sup>	20,55 <sup>b</sup>
	AiBi 15.10 F	6,55 <sup>e</sup>	6,44 <sup>g</sup>	1,53 <sup>a</sup>	5,70 <sup>c</sup>	28,27 <sup>d</sup>	58,06 <sup>h</sup>	21,04 <sup>c</sup>
	BIO-SIL	6,33 <sup>b</sup>	7,63 <sup>o</sup>	1,85 <sup>f</sup>	5,71 <sup>c</sup>	30,63 <sup>h</sup>	54,18 <sup>d</sup>	21,41 <sup>c</sup>
30	Без консерванта	8,76 <sup>h</sup>	7,44 <sup>n</sup>	1,89 <sup>e</sup>	5,87 <sup>f</sup>	29,85 <sup>g</sup>	54,95 <sup>c</sup>	20,49 <sup>b</sup>
	AiBi 15.10 F	19,99 <sup>p</sup>	7,38 <sup>m</sup>	2,33 <sup>o</sup>	5,85 <sup>f</sup>	32,24 <sup>j</sup>	52,20 <sup>a</sup>	20,98 <sup>c</sup>
	BIO-SIL	18,97 <sup>o</sup>	7,81 <sup>p</sup>	1,85 <sup>f</sup>	5,85 <sup>f</sup>	31,86 <sup>i</sup>	52,63 <sup>b</sup>	20,75 <sup>c</sup>
60	Без консерванта	7,56 <sup>d</sup>	6,50 <sup>h</sup>	1,83 <sup>c</sup>	5,79 <sup>f</sup>	32,16 <sup>ij</sup>	53,72 <sup>c</sup>	22,18 <sup>i</sup>
	AiBi 15.10 F	13,58 <sup>m</sup>	6,81 <sup>k</sup>	2,00 <sup>k</sup>	5,42 <sup>d</sup>	32,44 <sup>kl</sup>	53,33 <sup>b</sup>	22,00 <sup>gh</sup>
	BIO-SIL	9,67 <sup>i</sup>	7,25 <sup>l</sup>	2,40 <sup>p</sup>	5,43 <sup>d</sup>	32,78 <sup>k</sup>	52,14 <sup>a</sup>	22,40 <sup>k</sup>

\* **Примечание:** одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически ( $p \leq 0,05$ )

**Note:** the same superscript letters for each indicator designate values that do not differ statistically ( $p \leq 0.05$ )

суткам в варианте с силосом из тетраплоидной кукурузы увеличилось на 0,52% СВ для варианта с AiBi 15.10 F и снизились на 0,57% СВ для варианта с BIO-SIL. Силос из диплоидной кукурузы показал увеличение содержания клетчатки в обоих вариантах с биоконсервантом на 4,17% СВ и 2,15% СВ для AiBi 15.10 F и BIO-SIL соответственно.

Содержание БЭВ и сухого вещества в силосе является одним из основных показателей его ценности. Без применения консервантов в силосе тетраплоидной кукурузы БЭВ рост на 1,30% СВ, а в варианте с силосом из диплоидной кукурузы – снижение на 3,78% СВ. В силосе из тетраплоидной кукурузы с применением биоконсерванта AiBi 15.10 F отмечено снижение БЭВ на 0,84% СВ, диплоидной кукурузы – на 4,73% СВ, а с применением биоконсерванта BIO-SIL увеличение – в варианте с тетраплоидной кукурузой на 0,91% СВ и диплоидной на 2,04% СВ. Среднее значение БЭВ по всем вариантам опыта с силосом тетраплоидной кукурузы составляет 58,79% СВ, а у силоса диплоидной кукурузы ниже – 54,30% СВ. Уровень БЭВ в кукурузном силосе должен быть оптимальным (около 30-40% СВ). Значения БЭВ выше 40% может привести к слишком быстрой ферментации и ацидозу

(закислению рубца) у коров, что не желательно для силоса. В силосе как диплоидной, так и тетраплоидной кукурузы значения БЭВ высокие, что снижает его качество.

При анализе динамики сухого вещества в варианте с самоконсервацией силоса тетраплоидной кукурузы наблюдалось снижение на 0,17% СВ, а в варианте с диплоидной кукурузой увеличение на 1,63% СВ к 60-м суткам. В вариантах силоса с консервантами AiBi 15.10 F и BIO-SIL значения сухого вещества показали снижение у силоса из тетраплоидной кукурузы на 1,67% и незначительный прирост 0,09% СВ соответственно, и увеличение у силоса диплоидной кукурузы на 0,96% СВ и 0,99% СВ соответственно.

### Обсуждение

Силос из тетраплоидной кукурузы имеет ряд значимых отличий от силоса из диплоидной как по содержанию питательных веществ, так и по их динамике в процессе силосования до 60 суток. Силос диплоидной кукурузы на 60-е сутки силосования уступает силосу тетраплоидной по таким качественным показателям, как БЭВ и кислотность (pH), но характеризуется повышен-

ным содержанием протеина, жира, золы и клетчатки. Возможно, что эти различия вызваны более поздней группой спелости, либо высоким содержанием амилопектинового крахмала в зерне сорта 'Тетрасил' в сравнении с сортом 'Радуга', который лучше приспособлен к агроклиматическим условиям Саратовской области и содержит меньше амилопектина, чем сорт 'Тетрасил'.

В ходе эксперимента выявлены небольшие различия в том, как протекал процесс молочнокислого брожения при разных способах закладки (приготовления) силоса из диплоидной и тетраплоидной кукурузы. Способ самоконсервации (без внесения консервантов) характеризуется более медленным началом, но выраженным и продолжительным нарастанием содержания органических кислот в силосной массе, что подтверждается исследованиями других авторов (Jones et al., 1974; Jiang et al., 2020; Guo et al., 2022). Эта способность свойственна обоим испытанным сортам, с небольшим преимуществом тетраплоидного сорта 'Тетрасил' перед диплоидным. Благодаря ферментам и штаммам молочнокислых бактерий в составе биоконсерванта AiBi 15.10 F происходит стимулирование активного развития молочнокислого брожения на начальном этапе консервации с высоким уровнем молочной кислоты на протяжении всего эксперимента. Биоконсервант BIO-SIL отличается быстрым развитием молочнокислого брожения с пиком содержания обеих органических кислот на 30-е сутки с постепенным снижением на 60-е сутки консервации, что согласуется с данными ряда авторов (Muck, 2004; Erokchina et al., 2022; Zhang et al., 2023), а у силоса диплоидной кукурузы на 60-е сутки по молочной кислоте. Исследование Oliveira с соавторами (Oliveira et al., 2017) со ссылкой на метаанализ 130 статей показало, что инокулянты молочнокислых бактерий (МКБ) улучшают ферментацию силоса из злаковых и бобовых культур, но не влияют на ферментацию силоса из кукурузы, сорго и сахарного тростника (Oliveira et al., 2017).

Сравнение качества силоса, полученного из тетраплоидного сорта кукурузы с высокой долей амилопектина в крахмале, выявило ряд качественных отличий силоса, полученного из диплоидного сорта с обычным содержанием и качеством крахмала в зерне, что подтверждается результатами исследований других авторов (Fitzgerald, Murphy, 1999; Fernandes et al., 2021).

Тетраплоидная и диплоидная кукуруза дают корм хорошего качества независимо от типа используемых консервантов. Силос из тетраплоидной кукурузы изучался впервые, поэтому авторы не имеют возможности сравнить полученные результаты с результатами других исследований по этому направлению. Опытный силос, заготовленный из диплоидной и тетраплоидной кукурузы, по органолептическим и биохимическим показателям, отсутствию масляной кислоты, содержанию каротинов, молочной кислоты, pH соответствует первому классу по ГОСТ Р 55986-2022 (GOST R 55986-2022..., 2022) и ко 2 классу по содержанию других питательных веществ.

По урожайности зеленой массы с початками сорт кукурузы 'Тетрасил' значительно продуктивнее (58,7/га) чем сорт 'Радуга' (24,4т/га), и, соответственно, количество силосной массы, полученного с одного гектара посевной площади, у сорта 'Тетрасил' в 2,4 раза больше, чем у диплоидного сорта 'Радуга'. Следовательно, при возделывании сорта 'Тетрасил' на кормовые цели экономический эффект будет более выраженным за счет увеличения объема заготавливаемого корма без существенного снижения его качества. Это утверждение не согласуется с результатами других авторов, полученными на экспериментальных тетраплоидных популяциях (Atlin, Hunter, 1984), но хорошо согласуется с результатами исследований Лиатукаса и Букаускайте (Liatukas, Bukauskaitė, 2012), проведенных на селекционных сортах и популяциях тетраплоидного красного клевера, и результатами, полученными на диплоидных и тетраплоидных сортах райграса (Ahloowalia, 1974), а также сравнениями диплоидов и тетраплоидов у ржи (Pfahler et al., 1986).

## Заключение

Сорт 'Тетрасил' имеет преимущества перед сортом 'Радуга' по урожайности зеленой массы при возделывании в агроклиматических условиях Саратовской области. Силос диплоидной кукурузы на 60-е сутки силосования уступает силосу тетраплоидной кукурузы по таким качественным показателям, как БЭВ и кислотность (pH), но характеризуется повышенным содержанием протеина, жира, золы и клетчатки.

Молочнокислые консерванты имеют решающее значение для кукурузного силоса, поскольку они стимулируют процесс ферментации, быстро снижают уровень pH и предотвращают рост нежелательных микроорганизмов, тем самым обеспечивая сохранение питательной ценности корма и его аэробную стабильность. Используемые в опытных вариантах биоконсерванты AiBi 15.10 F и BIO-SIL изменяли качественные показатели на 60-е сутки консервации по всем компонентам. Консервант AiBi 15.10 F на 60-е сутки способствовал накоплению каротинов у силоса диплоидной кукурузы до 13,58% СВ, а BIO-SIL в варианте с тетраплоидной кукурузой снижению до 9,79% СВ. Содержание протеина и жира в силосе с консервантом BIO-SIL в силосах диплоидной и тетраплоидной кукурузы выше, чем с использованием AiBi 15.10 F. По содержанию на 60-е сутки в силосе тетраплоидной кукурузы золы (5,19% СВ) и клетчатки (29,20% СВ) консервант AiBi 15.10 F показал лучшие значения, чем BIO-SIL, для силоса диплоидной кукурузы преимущество по зольности у варианта с самоконсервацией (5,79% СВ), а по содержанию клетчатки у BIO-SIL (32,78% СВ). БЭВ и сухое вещество в силосе тетраплоидной кукурузы показали высокие значения в варианте с BIO-SIL (59,69% СВ) и при самоконсервации (22,46% СВ), а для силоса диплоидной кукурузы – в варианте самоконсервации (53,72% СВ) и BIO-SIL

(22,40% СВ) соответственно. Следует отметить, что при относительно одинаковой доле молочной кислоты в сумме органических кислот в силосе тетраплоидной кукурузы с использованием AiBi 15.10 F и BIO-SIL (73,58% СВ и 73,54% СВ соответственно), в силосе диплоидной кукурузы консерванты вызвали резкие различия, AiBi 15.10 F способствовал большей доле молочной кислоты (75,30% СВ), чем BIO-SIL (70,70% СВ).

Основным преимуществом тетраплоидной кукурузы перед диплоидной является ее большая продуктивность по сбору силосной массы и повышенное содержание белка в зерне и абсолютно сухого вещества в зеленой массе, полученной в агроклиматических условиях Саратовской области. Кукуруза является традиционной культурой для заготовки сочных консервированных кормов, с оптимальным соотношением сахара и буфера, для быстрого развития молочнокислого брожения, и использование впервые тетраплоидной кукурузы по сравнению с диплоидной, несомненно, вызывает научный интерес для продолжения исследований.

## References/Литература

- Ahloowalia B.S. Microsward comparison of diploid and tetraploid ryegrass varieties. *Irish Journal of Agricultural Research*. 1974;13(2):163-169.
- Atlin G.W., Hunter R.B. Comparison of growth, forage yield and nutritional quality of diploid and autotetraploid maize synthetics. *Canadian Journal of Plant Science*. 1984;64:593-598. DOI: 10.4141/cjps84-083
- Coulter J. Selecting corn hybrids for silage production. *University of Minnesota Extension: [website]*. 2021. Available from: <https://extension.umn.edu/corn-hybrid-selection/selecting-corn-hybrids-grain-production> [accessed Nov. 19, 2025].
- Dospekhov B.A. Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results: [Textbook]) (Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy: [uchebnik]). 5th ed. Moscow: Alliance; 2011. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): [учебник]. 5-е изд. Москва: Альянс; 2011).
- Ericsson K., Nilsson L.J. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy*. 2006;30(1):1-15. DOI: 10.1016/j.biombioe.2005.09.001
- Erokhina A.V., Sazonova I.A., Chernykh T.N. Influence of biopreservatives in the process of silage of corn and sugar sorgho on fermentation quality. *The Agrarian Scientific Journal*. 2022;(3):63-65. [in Russian] (Ерохина А.В., Сазонова И.А., Черных Т.Н. Зависимость качества брожения от применения биоконсервантов при силосовании кукурузы и сахарного сорго. *Аграрный научный журнал*. 2022;(3):63-65). DOI: 10.28983/asj.y2022i3pp63-65
- Fernandes J., Benjamim da Silva É., Carvalho-Estrada P.A., Daniel P.J.L., Nussio L.G. Influence of hybrid, moisture, and length of storage on the fermentation profile and starch digestibility of corn grain silages. *Animal Feed Science and Technology*. 2021;271:114707. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2020.114707
- Fitzgerald J.J., Murphy J.J. A comparison of low starch maize silage and grass silage and the effect of concentrate supplementation of the forages or inclusion of maize grain with the maize silage on milk production by dairy cows. *Livestock Production Science*. 1999;57(2):95-111. DOI: 10.1016/S0301-6226(98)00200-0
- GOST 13496.15-2016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content: Interstate standard. Moscow: Standartinform; 2020. [in Russian] (ГОСТ 13496.15-2016. Корма, Комбикорма, Комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира: межгосударственный стандарт. Москва: Standartinform; 2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140598> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST 26213-2021. Soils. Methods for determination of organic matter: Interstate standard. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021. [in Russian] (ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества: межгосударственный стандарт. Москва: Российский институт стандартизации; 2021). URL: <https://meganorm.ru/Data/758/75803.pdf> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005). Feeds, mixed feeds and raw material. Determination of mass fraction of nitrogen and calculation of mass fraction of crude protein. Part 1. Kjeldahl method: Interstate standard. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005). Корма, Комбикорма, Комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Ч. 1. Метод Кьельдаля: межгосударственный стандарт. Москва: Standartinform; 2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105311> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST ISO 15914-2016. Animal feeding stuffs. Enzymatic determination of total starch content: Interstate standard. Moscow: Standartinform; 2017. [in Russian] (ГОСТ ISO 15914-2016. Корма для животных. Ферментативный метод определения содержания общего крахмала: межгосударственный стандарт. Москва: Standartinform; 2017). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139937> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST R 55986-2022. High-moisture silage and prewilted silage. General specifications: National standards of the Russian Federation. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2022. [in Russian] (ГОСТ Р 55986-2022. Силос и силаж. Общие технические условия: национальный стандарт Российской Федерации. Москва: Российский институт стандартизации; 2022). URL: <https://meganorm.ru/Data/780/78019.pdf> [дата обращения: 15.09.2025].
- Guo X., Guo W., Yang M., Sun Y., Wang Y., Yan Y., Zhu B. Effect of *Bacillus* additives on fermentation quality and bacterial community during the ensiling process of whole-plant corn silage. *Processes*. 2022;10(5):978. DOI: 10.3390/pr10050978
- Jiang F.G., Cheng H.J., Liu D., Wei C., An W.J., Wang Y.F., Sun H.T., Song E.L. Treatment of whole-plant corn silage with lactic acid bacteria and organic acid enhances quality by elevating acid content, reducing pH, and inhibiting undesirable microorganisms. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11:593088. DOI: 10.3389/fmicb.2020.593088
- Jones G.M., Mowat D.N., Elliot J.I., Moran E.T. Organic acid preservation of high moisture corn and other grains and the nutritional value: A review. *Canadian Journal of Animal Science*. 1974;54(4):499-517. DOI: 10.4141/cjas74-063
- Keady T.W.J., Kilpatrick D.J., Mayne C.S., Gordon F.J. Effects of replacing grass silage with maize silages, differing in maturity, on performance and potential concentrate sparing effect of dairy cows offered two feed value grass silages. *Livestock Science*. 2008;119:1-11. DOI: 10.1016/j.livsci.2008.02.006
- Khan N.A., Tewoldebrhan T.A., Zom R.L.G., Cone J.W., Hendriks W.H. Effect of corn silage harvest maturity and concentrate type on milk fatty acid composition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2012;95:1472-1483. DOI: 10.3168/jds.2011-4701
- Khatetov E.B. Seed productivity of tetraploid corn and ways to increase it in the conditions of Kabardino-Balkaria. St. Petersburg: Print Center; 2012. [in Russian] (Хатетов Э.Б. Семенная продуктивность тетраплоидной кукурузы и пути ее повышения в условиях Кабардино-Балкарии. Санкт-Петербург: Принт Центр; 2012).
- Kirkland R.M., Steen R.W.J., Gordon F.J., Keady T.W.J. The influence of grass and maize silage quality on apparent diet digestibility, metabolizable energy concentration and intake of finishing beef cattle. *Grass and Forage Science*. 2005;60(3):244-253. DOI: 10.1111/j.1365-2494.2005.00472.x
- Kliem K.E., Morgan R., Humphries D.J., Shingfield K.J., Givens D.I. Effect of replacing grass silage with maize silage in the diet on bovine milk fatty acid composition. *Animal*. 2008;2(12):1850-1858. DOI: 10.1017/S1751731108003078
- Liatukas Z., Bukauskaitė J. Differences in yield of diploid and tetraploid

- red clover in Lithuania. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural Exact and Applied Sciences*. 2012;66(4/5(679/680)):163-167. DOI: 10.2478/v10046-012-0023-y
- Muck R. Effects of corn silage inoculants on aerobic stability. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 2004;47(4):1011-1016. DOI: 10.13031/2013.16571
- Muck R.E., Kung L. Silage production. In: R.F. Barnes, C.J. Nelson, K.J. Moore, M. Collins (eds). *Forages: the science of grassland agriculture. Vol. II*. 6<sup>th</sup> ed. Ames, Iowa: Blackwell Publishing; 2007.
- Oliveira A.S., Weinberg Z.G., Ogunade I.M., Cervantes A.A.P., Arriola K.G., Jiang Y., Kim D., Li X., Gonçalves M.C.M., Vyas D., Adesogan A.T. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(6):4587-4603. DOI: 10.3168/jds.2016-11815
- Pfahler P.L., Barnett R.D., Luke H.H. Diploid-tetraploid comparisons in rye. II. Forage quality. *Crop Science*. 1986;26(1):185-188. DOI: 10.2135/cropsci1986.0011183X002600010044x
- Phipps R.H., Sutton J.D., Beaver D.E., Jones A.K. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows. 3. Food intake and milk production. *Animal Science*. 2000;71(2):401-409. DOI: 10.1017/S1357729800055259
- Randolph L.F. Cytogenetics of tetraploid maize. *International Journal of Agricultural Research*. 1935;50:591-605.
- Shmaraev G.E. (ed.). Study and maintenance of maize collection accessions: guidelines (Izucheniye i podderzhanie obraztsov kollektssii kukuruzy: metodicheskiye ukazaniya/ sost.: G.E. Shmaraev, G.V. Matveeva (comp.). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы: методические указания/ сост.: Г.Е. Шмараев, Г.В. Матвеева ; под ред. Г.Е. Шмараева. Ленинград: ВИР; 1985).
- Sockness B.A., Dudley J.W. Morphology and yield of isogenic diploid and tetraploid maize inbreds and hybrids. *Crop Science*. 1989;29(4):1029-1032. DOI: 10.2135/cropsci1989.0011183X002900040041x
- Zhang J., Liu Y., Wang Z., Bao J., Zhao M., Si Q., Sun P., Ge G., Jia Y. Effects of different types of LAB on dynamic fermentation quality and microbial community of native grass silage during anaerobic fermentation and aerobic exposure. *Microorganisms*. 2023;17(12):513. DOI: 10.3390/microorganisms11020513

### **Информация об авторах**

**Эдуард Балилович Хатефов**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

**Анна Викторовна Ерохина**, старший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»), 410050 Россия, Саратов, 1-й Институтский проезд, 4, пос. Зональный, eroha46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5874-1931>

**Екатерина Александровна Жук**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, ООО «Агро Эксперт Групп», 107023 Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 40, строение 13, e.a.zhuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6763-3724>

**Сергей Александрович Зайцев**, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ООО «Русид», 410530 Россия, Саратов, поселок Дубки, тер. Девон-Альянс, здание 6, zea\_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

**Юлия Андреевна Керв**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

**Илья Анатольевич Кибкало**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

### **Information about the authors**

**Eduard B. Khatefov**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

**Anna V. Erokhina**, Senior Researcher, Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, 4, 1 Institutsky Proezd, Saratov, 410050 Russia, eroha46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5874-1931>

**Ekaterina A. Zhuk**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Specialist, Agro Expert Group, LLC, , 40, Building 13, Bolshaya Semenovskaya Street, Moscow, 107023 Russia, e.a.zhuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6763-3724>

**Sergey A. Zaitsev**, Cand. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, RUSID LLC. Building 6, Devon-Alliance Territory, Dubki Settlement, Saratov, 410530 Russia, zea\_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

**Yulia A. Kerv**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

**Ilya A. Kibkalo**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.12.2025; одобрена после рецензирования 13.12.2025; принята к публикации 23.12.2025.

The article was submitted on 04.12.2025; approved after reviewing on 13.12.2025; accepted for publication on 23.12.2025.