

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 69-79.

Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 3. P. 69-79.

Научная статья

УДК 636.5:631.572

doi: 10.33284/2658-3135-109-3-69

**Влияние различных источников пищевых волокон на минеральный статус
цыплят-бройлеров**

Светлана Викторовна Нотова¹, Максим Михайлович Маринчев², Алексей Николаевич Здоров³

¹Оренбургский государственный институт имени В.А. Бондаренко, Оренбург, Россия

^{2,3}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹snotova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6378-4522>

²maksimmarinchev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7668-3656>

³leha.zdorov.03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7168-736X>

Аннотация. В статье представлены результаты оценки влияния различных видов пищевых волокон (пшеничные отруби, шелуха подсолнечника, проса и риса) на элементный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 суток, определенный методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Химический состав изучаемых образцов существенно различался. Пшеничные отруби имели наибольшее содержание сырого протеина и минимальный уровень лигнина, тогда как рисовая шелуха – максимальное содержание сырой клетчатки и лигнина. Шелуха подсолнечника характеризовалась наибольшим содержанием кальция, кобальта и хрома. На 21 сутки относительно контрольных значений было выявлено статистически значимо низкое содержание железа в сыворотке крови на 35 % при использовании пшеничных отрубей и на 18 % – при использовании шелухи проса. Уровень лития был более низкий на 37,2 % при использовании шелухи проса и на 38,3 % – при использовании шелухи риса. Высокие значения ванадия на 11 % отмечались в группе с шелухой подсолнечника. Таким образом, введение 3 % пищевых волокон в рацион не оказывало выраженного влияния на минеральный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров по большинству изученных макро- и микроэлементов. Вместе с тем выявленные изменения содержания отдельных элементов свидетельствуют о возможном дифференцированном влиянии различных источников пищевых волокон на минеральный статус птицы, что следует учитывать при разработке и оптимизации рационов.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, пищевые волокна, пшеничные отруби, шелуха подсолнечника, шелуха проса, шелуха риса, сыворотка крови, минеральный состав

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-16-00259.

Для цитирования: Нотова С.В., Маринчев М.М., Здоров А.Н. Влияние различных источников пищевых волокон на минеральный статус цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 69-79. [Notova SV, Marinchev MM, Zdorov AN. The effect of different dietary fiber sources on the mineral status of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):69-79. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-69>

Original article

The effect of different dietary fiber sources on the mineral status of broiler chickens

Svetlana V Notova¹, Maxim M Marinchev², Alexey N Zdorov³

¹Orenburg State Institute named after VA Bondarenko, Orenburg, Russia

^{2,3}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹snotova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6378-4522>

²maksimmarinchev@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7668-3656>

³leha.zdorov.03@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7168-736X>

Abstract. The article presents the results of an assessment of the effect of different dietary fiber sources (wheat bran, sunflower husk, millet husk, and rice husk) on the elemental composition of the blood serum in broiler chickens at ages of 21 and 42 days, as determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).–The chemical composition of the studied samples differed substantially. Wheat bran had the highest crude protein content and the lowest lignin level, whereas rice husk had the highest crude fiber and lignin contents. Sunflower husk was characterized by the highest concentrations of calcium, cobalt, and chromium. On day 21, compared with the control values, statistically significantly lower serum iron concentrations were found: by 35% with the use of wheat bran and by 18% with the use of millet husk. Lithium levels were lower by 37.2% with millet husk and by 38.3% with rice husk. Higher vanadium values, by 11%, were observed in the sunflower husk group. Thus, the inclusion of 3% dietary fiber in the diet did not have a pronounced effect on the serum mineral composition of broiler chickens for most of the studied macro- and microelements. At the same time, the observed changes in the concentrations of individual elements indicate a possible differentiated effect of various dietary fiber sources on the mineral status of poultry, which should be taken into account when developing and optimizing diets.

Keywords: broiler chickens, feeding, dietary fiber, wheat bran, sunflower husks, millet husks, rice husks, blood serum, mineral composition

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 25-16-00259.

For citation: Notova SV, Marinchev MM, Zdorov AN. The effect of different dietary fiber sources on the mineral status of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2026;109(3):69-79. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-69>

Введение.

В современном птицеводстве максимальная продуктивность кроссов, в том числе «Росс 308», достигается за счет полнорационных комбикормов. Такие рационы должны полностью покрывать потребности птицы в энергии, белке, витаминах и минеральных веществах (Пономаренко В.И. и др., 2024; Lebedev SV et al., 2024). Мировое производство мяса птицы в 2020 году достигло 133,4 млн тонн. При этом традиционные кормовые компоненты – зерновые, соевый шрот, рыбная мука постоянно дорожают, что обуславливает необходимость поиска новых источников питательных веществ (Gržinić G et al., 2022; Bist RB et al., 2024; Витол И.С. и др., 2025).

Одним из перспективных направлений является использование вторичных продуктов зернопереработки: отрубей, лузги, шрота и жмыха. Современные технологии, включая ультразвуковую кавитацию, позволяют улучшить питательные свойства этих продуктов, повысить доступность содержащихся в них биологически активных веществ и снизить содержание антипитательных компонентов, что расширяет возможности их применения в кормлении сельскохозяйственной птицы (Лебедев С.В. и др., 2025). Благодаря этому снижается себестоимость кормов и одновременно решается проблема утилизации отходов (Шванская И.А. и др., 2011; Danciu CA et al., 2023; Куликов Д.А., 2013). Такие побочные продукты содержат пищевые волокна, включая целлюлозу, геми-

целлюлозу, лигнин и пектиновые вещества, а также незаменимые аминокислоты, витамины группы В и микроэлементы (железо, марганец, медь и цинк) (Sadeghi A et al., 2015; Tejeda OJ and Kim WK, 2020; Zhang C et al., 2023).

Вместе с тем использование клетчатки имеет ряд ограничений. Избыток некрахмалистых полисахаридов, особенно в пшенице и ржи, повышает вязкость химуса, ухудшает доступ ферментов и снижает переваримость корма (Knudsen KE, 2014). Кроме того, фитиновая кислота в оболочках зерна связывает двух- и трехвалентные катионы (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) в нерастворимые комплексы, резко ограничивая их биодоступность (Marolt G et al., 2020; Petroski W and Minich DM, 2020). Для бройлеров в раннем возрасте это особенно критично: потребность в микроэлементах у них максимальна.

В настоящее время недостаточно исследований, посвященных сравнительной оценке химического состава различных источников клетчатки, в частности пшеничных отрубей, шелухи подсолнечника, проса и риса, а также их влияния на минеральный статус цыплят-бройлеров в различные периоды онтогенеза. Вместе с тем имеющиеся данные свидетельствуют, что тип и размер частиц пищевых волокон могут оказывать дифференцированное влияние на обмен веществ и продуктивность птицы. Установлено, что пищевые волокна различной природы по-разному влияют на использование питательных веществ, рост и развитие, а также на обмен химических элементов в организме цыплят (Тишин А.А. и др., 2026).

Цель исследования.

Изучить химический состав различных видов пищевых волокон (пшеничные отруби, шелуха подсолнечника, проса и риса) и их влияние на минеральный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров в возрасте 21 и 42 суток.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса «Росс 308».

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными», ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры, направленные на минимизацию страданий животных и сокращение количества экспериментальных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН (протокол № 4 от 30.09.2024 г.).

Схема эксперимента. Для опыта в виварии ФНЦ БСТ РАН отобрали 175 суточных цыплят (смешанных по полу) и разделили на 5 групп по 35 голов в каждой. Первые 7 дней все птицы получали основной рацион, составленный по нормам ВНИТИП (Егоров И.А. и др., 2019), сбалансированный по всем питательным веществам для этого возраста. С 8 суток контрольная группа продолжала получать основной рацион. Птицам опытных групп в основной рацион дополнительно вводили по 3 % от массы корма один из источников пищевых волокон в нативном виде: пшеничные отруби (I группа), шелуху подсолнечника (II группа), шелуху проса (III группа) и шелуху риса (IV группа). Питательность основного рациона для периодов ПК-5 (8-21 сут) и ПК-6 (22-42 сут) приведена в таблице 1. Кормосмеси готовили весовым методом, добавки вводили ступенчато, смешивали 30 минут. Птица содержалась в специализированных для бройлерного откорма клетках (ООО Стимул-ИНК, Россия). Микроклимат в помещении соответствовал требованиям РД-АПК 1.10.05.04-13. Опыт длился 42 дня (с 8 по 42 сутки).

Таблица 1. Питательность основного рациона для разных возрастных периодов, %
Table 1. Nutritive value of the basic diet for different age periods, %

Показатель / Indicator	ПК-5 (8-21 сут) / PK-5 (8-21 days)	ПК-6 (22-42 сут) / PK-6 (22-42 days)
Сухое вещество (СВ), % / Dry matter (DM), %	89,29	91,57
Сырая клетчатка, % / Crude fiber, %	1,8	2,3
Сырой жир, % / Crude fat, %	4,76	4,78
Сырой протеин, % / Crude protein, %	23,0	21,69
Сырая зола, % / Ash content, %	5,7	6,1
Обменная энергия, МДж/кг / Metabolizable energy, MJ/kg	11,92	12,24

Кровь для анализов брали из подкрыльцовой вены в возрасте 21 и 42 суток. Использовали вакуумные пробирки VACUETTE с активатором свертывания и гелем (Greiner Bio-One, Австрия). Содержание элементов в источниках клетчатки и сыворотке крови определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7900, анализировали 24 элемента: As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Hg, Sr, V, Zn.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>): вакуумные пробирки VACUETTE с активатором свертывания и гелем (Greiner Bio-One, Австрия), Agilent 7900 (Agilent Technologies, США) с концентрическим распылителем и автоматическим дозатором. Химический состав источников клетчатки определяли по стандартизированным методикам: корма (ГОСТ 31640-2012 – методы определения содержания сухого вещества, ГОСТ 32044.1-2012 – определение азота и доли сырого протеина, ГОСТ 13496.15-2016 – методы определения содержания сырого жира). Содержание кислотно-детергентной клетчатки (КДК) и кислотно-детергентного лигнина (КДЛ) определяли по ГОСТ ISO 13906• 2013 – корма для животных. Содержание нейтрально-детергентной клетчатки (НДК) определяли по ГОСТ ISO 16472-2014 – корма для животных.

Статистическая обработка. Результаты представлены в виде медианы (Me) и межквартильного интервала (Q₂₅-Q₇₅). Нормальность распределения проверяли по критерию Шапиро-Уилка. Для межгрупповых сравнений применяли непараметрический критерий Краскела-Уоллиса (H-тест). При обнаружении значимых различий (P≤0,05) проводили попарные сравнения по Манн-Уитни с поправкой Бонферрони. Статистическую обработку данных проводили в программе Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США).

Результаты исследования.

Химический и элементный составы источников пищевых волокон представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Химический состав источников пищевых волокон, % (в нативном виде)
Table 2. Chemical composition of dietary fiber sources, % (in native form)

Показатель / Indicator	Пшеничные отруби / Wheat bran	Шелуха подсолнечника / Sunflower husks	Шелуха проса / Millet husks	Шелуха риса / Rice husks
Сухое вещество, % / Dry matter, %	88,7	88,9	99,1	91,3
Сырая клетчатка, % / Crude fiber, %	10,7	52,9	43,2	45,0
Сырой протеин, % / Crude protein, %	16,0	9,25	5,06	3,06
Сырой жир, % / Crude fat, %	3,0	1,5	0,8	0,9
Сырая зола, % / Ash content, %	5,39	10,0	9,24	18,86
НДК, % / NDF, %	42,3	68,3	69,4	70,8
КДК, % / ADF, %	10,2	49,4	45,6	52,8
КДЛ, % / ADL, %	6,3	21,2	16,8	43,3

Таблица 3. Элементный состав источников клетчатки, мг/кг
Table 3. Elemental composition of fiber sources, mg/kg

Элемент / <i>Element</i>	Пшеничные отруби / <i>Wheat bran</i>	Шелуха подсолнеч- ника / <i>Sunflower husks</i>	Шелуха проса / <i>Millet husks</i>	Шелуха риса / <i>Rice husks</i>
Ca	1162	3485	318	981
P	10107	1557	2220	384
K	11837	6629	4264	5134
Na	967	498	55	100
Mg	3934	1331	1217	431
Fe	100,05	73,1	68,9	46,9
Zn	82,9	14,1	21,8	12,2
Cu	12,05	5,3	7,3	1,7
Mn	129,9	45,4	19,4	14,6
Co	0,087	0,91	0,22	0,14
Cr	0,69	23,43	20,5	10,3
Se	0,18	0,15	0,11	0,063
I	0,302	0,383	0,133	0,598
Ni	1,13	9,43	9,65	3,75
As	0,04	0,62	0,05	1,25
Pb	0,09	0,86	0,12	0,13
Cd	0,01	0,01	0,01	0,004
Hg	0,0051	0,0079	0,0055	0,007
Sn	0,0084	0,1832	0,0337	0,0245

По результатам исследования было выявлено, что пшеничные отруби имеют наименьшую среди других образцов долю сухого вещества (88,7 %), однако отличаются самым высоким содержанием сырого протеина (16,0 %), что делает данную добавку в рацион не только хорошим источником клетчатки, но и дополнительным источником азотистых веществ. Кроме того, данный образец богат фосфором, калием, магнием и цинком, а также характеризовался наибольшим содержанием сырого жира (3,0 %) среди всех изучаемых источников пищевых волокон. Ключевым преимуществом пшеничных отрубей над всеми остальными исследуемыми образцами являлись низкие значения НДК (42,3 %), КДК (10,2 %) и КДЛ (6,3 %), что делает данный образец более доступным для переваривания в желудочно-кишечном тракте птицы.

Шелуха подсолнечника характеризовалась высоким уровнем НДК (68,3 %), что свидетельствует о данном образце как о достаточно грубом источнике питательных веществ. Она оказалась богата такими элементами, как кальций (3485 мг/кг), кобальт (0,916 мг/кг), хром (23,4 мг/кг), магний (1331 мг/кг) и калий (6629 мг/кг), а также содержала значительное количество железа и марганца.

Шелуха проса обладала наибольшей долей сухого вещества (99,1 %) среди всех образцов. Показатель НДК составлял 69,4 %, что выше, чем у подсолнечника и пшеницы, но ниже, чем у риса. По минеральному составу данный источник характеризовался достаточным количеством фосфора (2220 мг/кг), цинка (21,8) и меди (7,3), при этом содержал минимальное количество натрия (55 мг/кг) и мышьяка (0,0587 мг/кг).

Шелуха риса имела максимальное значение НДК (70,8 %), что указывает на данный образец как на наиболее грубый источник пищевых волокон среди всех исследуемых образцов. Кроме того, шелуха обладала самым высоким КДК (52,8 %) и наибольшим содержанием лигнина (КДЛ – 43,3 %), что указывает на низкую доступность содержащихся в ней питательных веществ.

За весь период эксперимента падеж птицы не регистрировали, сохранность составила 100 %. Анализ данных с использованием критерия Краскала-Уоллиса показал, что среди всех 24 определяемых элементов статистически значимые межгрупповые различия ($P \leq 0,05$) были выявлены по следующим показателям: 21 сутки – Fe, V, Li; 42 сутки – K, V, Li, As и Si. Чтобы унифицировать представление данных, в таблицы были включены только шесть элементов (Fe, V, Li, K, As, Si).

Таблица 4. Уровень химических элементов в сыворотке крови цыплят-бройлеров на 21-е сутки развития, мкг/мл

Table 4. Level of chemical elements in blood serum of broiler chickens on the 21st day of development, µg/ml

Элемент/ Element	Контроль / Control	I	II	III	IV	Краскела-Уоллиса (p) / Kruskal-Wallis (p)
Fe	6,52 (6,41-6,66)	4,23 (4,13-5,04) ^a	5,28 (5,18-6,09)	5,35 (4,56-5,53) ^a	5,37 (5,18-5,90)	0,0166
V	0,0055 (0,005-0,0056)	0,0048 (0,004-0,0049)	0,0061 (0,0058-0,0062) ^{ab}	0,0055 (0,0052-0,0062) ^b	0,0057 (0,0056-0,0058) ^b	0,0022
Li	0,086 (0,083-0,090)	0,067 (0,067-0,077)	0,063 (0,060-0,071)	0,054 (0,052-0,055) ^a	0,053 (0,049-0,054) ^{a,b}	0,0004
K	445,5 (389,8-445,7)	280,9 (252,9-310,8)	345,4 (315,7-345,7)	326,5 (325,8-389,5)	372,4 (350,6-400,6)	0,1672
As	0,012 (0,0104-0,015)	0,0107 (0,0098-0,0141)	0,0135 (0,0121-0,0142)	0,0147 (0,0134-0,0153)	0,0144 (0,014-0,0182)	0,1512
Si	206,5 (203,4-210,2)	210,6 (208,3-216,7)	215,5 (205,1-220,7)	194,4 (192,7-197,4)	188,7 (187,8-190,3)	0,84

Примечание: выполнена проверка по U-критерию Манна-Уитни с поправкой Бонферрони;

a – $P \leq 0,01$ по сравнению с контролем, b – $P \leq 0,01$ по сравнению с группой I

Note: a Mann–Whitney U test with Bonferroni correction was performed;

a – $P \leq 0.01$ compared to the control, b – $P \leq 0.01$ compared to group I

После проведения основного статистического анализа (H-критерий Краскела-Уоллиса) были применены post-hoc тесты. Попарное сравнение с использованием критерия Манна-Уитни с поправкой Бонферрони на 21 сутки выявило следующие изменения в опытных группах цыплят-бройлеров относительно контроля: более низкое содержание железа в сыворотке на 35 % при использовании пшеничных отрубей и на 18 % при использовании шелухи проса. Уровень лития был более низкий на 37,2 % при использовании шелухи проса и на 38,3 % при использовании шелухи риса. Более высокие значения ванадия на 11 % отмечались в группе с шелухой подсолнечника.

К 42-м суткам, несмотря на значимость общего межгруппового критерия по ряду элементов, попарные сравнения опытных групп с контролем после поправки Бонферрони не выявили статистически значимых различий.

Таблица 5. Уровень химических элементов в сыворотке крови цыплят-бройлеров на 42-е сутки развития, мкг/мл

Table 5. Level of chemical elements in blood serum of broiler chickens on the 42nd day of development, µg/ml

Элемент/ Element	Контроль / Control	I	II	III	IV	Краскела-Уоллиса (p) / Kruskal-Wallis (p)
Fe	6,32 (5,34-6,46)	5,18 (4,51-5,26)	4,64 (4,62-4,71)	4,20 (3,47-4,86)	4,09 (3,43-4,69)	0,0586
V	0,0065 (0,0058-0,0067)	0,0054 (0,0051-0,0056)	0,0055 (0,0052-0,0058)	0,0053 (0,0043-0,0058)	0,0068 (0,0063-0,0070)	0,0001
Li	0,0545 (0,0516-0,0568)	0,0500 (0,0475-0,0527)	0,0521 (0,0508-0,068)	0,0622 (0,0621-0,0627)	0,0614 (0,0585-0,0745)	0,0053
K	438,5 (425,6-463,4)	334,2 (333,0-340,0)	312,0 (286,9-392,9)	355,1 (351,2-381,0)	380,0 (313,3-395,6)	0,0061
As	0,0176 (0,0145-0,0192)	0,0139 (0,0124-0,0161)	0,0137 (0,0119-0,0145)	0,0142 (0,0129-0,0181)	0,0196 (0,0173-0,0205)	0,0251
Si	203,9 (197,0-204,6)	177,4 (170,0-178,4)	185,3 (185,1-187,2)	176,5 (172,7-183,3)	171,9 (169,0-175,8)	0,0001

Обсуждение полученных результатов.

Результаты исследования показывают, что различные виды источников пищевых волокон могут по-разному влиять на минеральный статус. Это непосредственно связано с химическим составом, прежде всего с содержанием лигнина и других антипитательных компонентов. При этом важно подчеркнуть тот факт, что введение 3 % пищевых волокон в рацион в целом не оказывало существенного влияния на гомеостаз сыворотки крови по основным макроэлементам (Ca, Mg, Na, K) и большинству микроэлементов. Уровни исследуемых элементов не имели статистически значимых межгрупповых различий. Статистически достоверные изменения были зафиксированы только на 21 сутки эксперимента. К 42 суткам, несмотря на значимость общего межгруппового критерия по ряду элементов, попарные сравнения опытных групп с контролем после поправки Бонферрони не выявили статистически значимых различий.

Наиболее выраженное изменение уровня железа в сыворотке крови было на 21 сутки при использовании пшеничных отрубей и шелухи проса. Возможная причина – фитиновая кислота (мио-инозитолгексафосфат), которой много в алейроновом слое и оболочках зерна. В данной молекуле – шесть фосфатных групп, которые образуют прочные хелатные комплексы с Fe^{2+} (стехиометрия 1:4-1:6). При этом комплексы нерастворимы в широком диапазоне pH (от 2 до 8), поэтому железо не всасывается в кишечнике (Marolt G et al., 2020; Petroski W and Minich DM, 2020). Из таблицы 3 видно, что фосфора в пшеничных отрубях (10107 мг/кг) и шелухе проса (2220 мг/кг) гораздо больше, чем в рисовой шелухе (384 мг/кг). Это косвенно подтверждает, что фитатов в первых двух источниках больше. Возможно, при использовании пшеничных отрубей и шелухи проса в рационах бройлеров нужно дополнительно вводить железо или добавлять экзогенную фитазу (из *E. coli* или *Aspergillus*). Фитаза гидролизует фитаты, высвобождает неорганический фосфат и улучшает усвоение микроэлементов (Igbasan FA et al., 2000).

Снижение содержания лития при использовании рисовой шелухи и шелухи проса может быть связано с сорбционными свойствами данных источников пищевых волокон. В рисовой шелухе много нерастворимых пищевых волокон с развитой пористой структурой и большим количеством карбоксильных, гидроксильных и фенольных групп. Данные структуры способны к ионному обмену и хелатированию катионов (Liu H et al., 2023). Литий не относится к эссенциальным элементам для птицы, поэтому такое снижение можно рассматривать как положительный или, по крайней мере, физиологически нейтральный эффект, отражающий селективное влияние пищевых волокон на минеральный статус птицы.

Более высокий уровень ванадия в сыворотке крови на 21 сутки может быть связан как с особенностями минерального состава самого источника пищевых волокон, так и с его влиянием на процессы кишечной абсорбции, транспорта и обмена ванадия в организме птицы. Ванадий относится к условно-эссенциальным химическим элементам и может участвовать в регуляции отдельных ферментативных и окислительно-восстановительных процессов. Вместе с тем его биологическая роль у птицы остаётся недостаточно изученной, а при избыточном поступлении ванадий способен проявлять токсические свойства.

Следует обратить внимание, что высокая зольность некоторых образцов (шелуха подсолнечника – 10,0 %, рисовая – 18,86 %) может служить дополнительным источником макро- и микроэлементов, но одновременно создавать риск минерального дисбаланса при несбалансированном рационе. Однако выявленные в ходе исследования изменения затрагивают лишь отдельные элементы (Fe, Li, V) и проявляются преимущественно в ранние сроки (21 сутки), тогда как уровень основных макро- и микроэлементов остается стабильным, что свидетельствует о сохранении гомеостаза при введении в рацион пищевых волокон.

Заключение.

Выявленные в ходе исследования изменения затрагивают лишь отдельные элементы (Fe, Li, V) и проявляются преимущественно в ранние сроки (21 сутки), тогда как уровень основных макро- и микроэлементов остается стабильным, что свидетельствует о сохранении гомеостаза при введе-

нии в рацион пищевых волокон. Использование пшеничных отрубей и шелухи проса сопровождалось статистически значимым снижением содержания железа в сыворотке крови на 35 % и 18 % соответственно по сравнению с контролем, в силу способности пищевых волокон и сопутствующих им антипитательных компонентов, в частности фитатов, снижать биодоступность железа в желудочно-кишечном тракте. В связи с этим при включении источников клетчатки в рационы цыплят-бройлеров целесообразно учитывать возможное снижение усвоения железа и рассматривать необходимость корректировки минерального питания, в том числе за счёт дополнительного введения железа или применения экзогенной фитазы.

Снижение концентрации лития при использовании шелухи риса и проса, а также увеличение концентрации ванадия при введении в рацион шелухи подсолнечника требует дальнейших экспериментальных исследований, поскольку биологическая роль данных химических элементов у птицы изучена недостаточно.

Список источников

1. Витол И.С., Мелешкина Е.П. Ферментативные гидролизаты зерна и продуктов его переработки. Обзор предметного поля // Пищевые системы. 2025. Т. 8. № 1. С. 144-152. [Vitol IS, Meleshkina EP. Enzymatic hydrolysates of grain and products of its processing. A review of the subject field. Food systems. 2025;8(1):144-152. (In Russ.)]. doi: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152
2. ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. Введ. 01.07.2013. М.: Стандартинформ, 2020. 7 с. [GOST 31640-2012. Korma. Metody opredeleniya soderzhaniya sukhogo veshchestva. Vved. 01.07.2013. Moscow: Standartinform; 2020:7 p. (In Russ.)].
3. ГОСТ 32044.1-2012. Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Часть 1. Метод Къельдаля. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 11 с. [GOST 32044.1-2012. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'yo. Opredelenie massovoj doli azota i vychislenie massovoj doli syrogo proteina. Chast' 1. Metod K#el'dalja. Vved. 01.07.2014. Moscow: Standartinform; 2014:11 p. (In Russ.)].
4. Куликов Д.А. Перспективные направления применения побочных продуктов переработки крупяных культур // Cloud of Science. 2013. № 2. С. 29-32. [Kulikov DA. Perspektivnye napravleniya primeneniya pobochnykh produktov pererabotki krupyanykh kul'tur. Cloud of Science. 2013;(2):29-32. (In Russ.)].
5. Лебедев С.В., Шаврина И.В., Здоров А.Н. Зоотехнические характеристики и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при использовании кавитированных пшеничных отрубей в рационе // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 310-319. [Lebedev SV, Shavrina IV, Zdorov AN. Zootechnical characteristics and biochemical parameters of broiler chicken blood fed with cavitated wheat bran. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):310-319. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-310>
6. Пономаренко Ю.А., Фисинин В.И., Егоров И.А., Научные основы сбалансированного кормления животных. М.: «Издательство «Перо», 2024. 692 с. [Ponomarenko YuA, Fisinin VI, Egorov IA. Nauchnye osnovy sbalansirovannogo kormleniya zhivotnykh. Moscow: Izdatelstvo «Pero»; 2024:692 p. (In Russ.)].
7. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы: метод. пособие / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова, Т.А. Егорова, Т.М. Околелова, Е.Н. Андрианова, А.Н. Шевяков, Т.В. Егорова, Е.Ю. Байковская, Н.Н. Гогина, Л.И. Криворучко, И.Г. Сысоева (ФНЦ «ВНИТИП» РАН), И.Г. Панин, В.В. Гречишников, А.И. Панин, С.В. Кустова (КормРесурс), В.А. Афанасьев (ВНИИКП), Ю.А. Пономаренко (ООО «Фермент»); под общ. ред. академика РАН В.И. Фисинина и академика РАН И.А. Егорова. М.: ЛИКА, 2019. 215 с. [Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, Egorova TA, Okolelova TM, Andrianova EN, Shevyakov AN, Egorova TV, Baykovskaya EY, Gogina NN, Krivoruchko LI, Sysoeva IG. (FNTs «VNITIP» RAN), Panin IG, Grechishnikov VV, Panin AI, Kustova SV (KormResurs), Afanasiev VA (VNIIPK), Ponomarenko YA (ООО «Ferment»). Rukovodstvo po

kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy: metod. posobie. pod obshch. red. akademika RAN V.I. Fisina i akademika RAN I.A. Egorova. Moscow: LIKA; 2019:215 p. (*In Russ.*).

8. Тишин А.А., Петруша Ю.К., Лебедев С.В. Влияние различных типов и размеров пищевых волокон на обмен веществ и продуктивность цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 2. С. 30-45. [Tishin AA, Petrusha YuK, Lebedev SV. The effect of different types and sizes of dietary fiber on the metabolism and productivity of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2026;109(2):30-45. (*In Russ.*).] <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-30>

9. Шванская И.А., Коноваленко Л.Ю. Использование отходов перерабатывающих отраслей в животноводстве: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 96 с. [Shvanskaya IA, Konovalenko LYU. Ispolzovanie otkhodov pererabatyvayushchikh otraslei v zhivotnovodstve: nauch. analit. obzor. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh»; 2011:96 p. (*In Russ.*).

10. Bist RB, Bist K, Poudel S et al. Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects. *Poultry Science*. 2024;103(12):104295. doi: 10.1016/j.psj.2024.104295

11. Danciu CA, Tulbure A, Stanciu MA et al. Overview of the sustainable valorization of using waste and by-products in grain processing. *Foods*. 2023;12(20):3770. doi: <https://doi.org/10.3390/foods12203770>

12. Gržinić G, Piotrowicz-Cieślak A, Klimkowicz-Pawlas A et al. Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. *Sci Total Environ*. 2023;858(Pt 3):160014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160014>

13. Igbasan FA, Männer K, Miksch G et al. Comparative studies on the *in vitro* properties of phytases from various microbial origins. *Arch Tierernahr*. 2000;53(4):353-373. doi: 10.1080/17450390009381958

14. Knudsen KE. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. *Poult Sci*. 2014;93(9):2380-2393. doi: 10.3382/ps.2014-03902

15. Lebedev SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV, et al. Study into the effect of a combination of biocoordination compounds and a water-based probiotic on the performance of broiler chickens. *Russian Agricultural Sciences*. 2024;50(2):190-196. doi: 10.3103/S1068367424700095

16. Liu H, Ainiwan D, Liu Y, et al. Adsorption and controlled release performances of flavor compounds by rice bran insoluble dietary fiber improved through steam explosion method. *Curr Res Food Sci*. 2023;7:100550. doi: 10.1016/j.crfs.2023.100550

17. Marolt G, Gričar E, Pihlar B, et al. Complex formation of phytic acid with selected monovalent and divalent metals. *Front Chem*. 2020;8:582746. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.582746>

18. Petroski W, Minich DM. Is there such a thing as "anti-nutrients"? a narrative review of perceived problematic plant compounds. *Nutrients*. 2020;12(10):2929. doi: 10.3390/nu12102929

19. Sadeghi A, Toghyani M, Gheisari A. Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. *Poultry Science*. 2015;94(11):2734-2743. doi: 10.3382/ps/pev292

20. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poultry Science*. 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081

21. Zhang C, Hao E, Chen X et al. Dietary fiber level improve growth performance, nutrient digestibility, immune and intestinal morphology of broilers from day 22 to 42. *Animals*. 2023;13(7):1227. doi: 10.3390/ani13071227

References

1. Vitol IS, Meleshkina EP. Enzymatic hydrolysates of grain and products of its processing. A review of the subject field. *Food systems*. 2025;8(1):144-152. doi: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-144-152

2. State Standard 31640-2012. Feeds. Methods for determination of dry matter content. Implementation date 01.07.2013. Moscow: Standartinform; 2020:7 p.
3. State Standard 32044.1-2012. Feeds, mixed feeds and raw material. Determination of mass fraction of nitrogen and calculation of mass fraction of crude protein. Part 1. Kjeldahl method. Implementation date 01.07.2014. Moscow: Standartinform; 2014:11 p.
4. Kulikov DA. Promising directions for the use of by-products of cereal crop processing. Cloud of Science. 2013;(2):29-32.
5. Lebedev SV, Shavrina IV, Zdorov AN. Zootechnical characteristics and biochemical parameters of broiler chicken blood fed with cavitated wheat bran. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):310-319. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-310>
6. Ponomarenko YuA, Fisinin VI, Egorov IA. Scientific Foundations of Balanced Animal Feeding. Moscow: «Pero» Publishing House; 2024:692 p.
7. Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, Egorova TA, Okolelova TM, Andrianova EN, Shevyakov AN, Egorova TV, Baykovskaya EY, Gogina NN, Krivoruchko LI, Sysoeva IG. (FRC «ARSRTIPF» RAS), Panin IG, Grechishnikov VV, Panin AI, Kustova SV (KormResurs), Afanasiev VA (ARSRICI), Ponomarenko YA (LLC «Ferment»). Guidelines for feeding poultry: a methodological guide, edited by Academician of RAS V.I. Fisinin and Academician of RAS I.A. Egorov. Moscow: LIKA; 2019:215 p.
8. Tishin AA, Petrusha YuK, Lebedev SV. The effect of different types and sizes of dietary fiber on the metabolism and productivity of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(2):30-45. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-2-30>
9. Shvanskaya IA, Konovalenko LYu. The Use of Processing Industry Waste in Animal Husbandry: A Scientific Analytical Review. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh»; 2011:96 p.
10. Bist RB, Bist K, Poudel S et al. Sustainable poultry farming practices: a critical review of current strategies and future prospects. Poultry Science. 2024;103(12):104295. doi: 10.1016/j.psj.2024.104295
11. Danciu CA, Tulbure A, Stanciu MA et al. Overview of the sustainable valorization of using waste and by-products in grain processing. Foods. 2023;12(20):3770. doi: <https://doi.org/10.3390/foods12203770>
12. Gržinić G, Piotrowicz-Cieślak A, Klimkowicz-Pawlas A et al. Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. Sci Total Environ. 2023;858(Pt 3):160014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160014>
13. Igbasan FA, Männer K, Miksch G et al. Comparative studies on the *in vitro* properties of phytases from various microbial origins. Arch Tierernähr. 2000;53(4):353-373. doi: 10.1080/17450390009381958
14. Knudsen KE. Fiber and nonstarch polysaccharide content and variation in common crops used in broiler diets. Poult Sci. 2014;93(9):2380-2393. doi: 10.3382/ps.2014-03902
15. Lebedev SV, Kazakova TV, Marshinskaya OV, et al. Study into the effect of a combination of biocoordination compounds and a water-based probiotic on the performance of broiler chickens. Russian Agricultural Sciences. 2024;50(2):190-196. doi: 10.3103/S1068367424700095
16. Liu H, Ainiwan D, Liu Y, et al. Adsorption and controlled release performances of flavor compounds by rice bran insoluble dietary fiber improved through steam explosion method. Curr Res Food Sci. 2023;7:100550. doi: 10.1016/j.crfs.2023.100550
17. Marolt G, Gričar E, Pihlar B, et al. Complex formation of phytic acid with selected monovalent and divalent metals. Front Chem. 2020;8:582746. doi: <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.582746>
18. Petroski W, Minich DM. Is there such a thing as "anti-nutrients"? a narrative review of perceived problematic plant compounds. Nutrients. 2020;12(10):2929. doi: 10.3390/nu12102929
19. Sadeghi A, Toghyani M, Gheisari A. Effect of various fiber types and choice feeding of fiber on performance, gut development, humoral immunity, and fiber preference in broiler chicks. Poultry Science. 2015;94(11):2734-2743. doi: 10.3382/ps/pev292

20. Tejeda OJ, Kim WK. The effects of cellulose and soybean hulls as sources of dietary fiber on the growth performance, organ growth, gut histomorphology, and nutrient digestibility of broiler chickens. *Poultry Science*. 2020;99(12):6828-6836. doi: 10.1016/j.psj.2020.08.081

21. Zhang C, Hao E, Chen X et al. Dietary fiber level improve growth performance, nutrient digestibility, immune and intestinal morphology of broilers from day 22 to 42. *Animals*. 2023;13(7):1227. doi: 10.3390/ani13071227

Информация об авторах:

Светлана Викторовна Нотова, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры биохимии и микробиологии, главный научный сотрудник Института биоэлементологии, Оренбургский государственный институт имени В.А. Бондаренко, 460018, г. Оренбург, пр. Победы 13.

Максим Михайлович Маринчев, лаборант-исследователь Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Алексей Николаевич Здоров, лаборант-исследователь Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Information about the authors:

Svetlana V Notova, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Professor at the Department of Biochemistry and Microbiology, Chief Researcher at the Institute of Bioelementology, Orenburg State Institute named after V.A. Bondarenko, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018.

Maxim M Marinchev, Research Laboratory Assistant at the Testing Centre of the Shared Research Facilities, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Alexey N Zdorov, Research Laboratory Assistant at the Testing Centre of the Shared Research Facilities, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Статья поступила в редакцию 13.04.2026; одобрена после рецензирования 06.08.2026; принята к публикации 14.09.2026.

The article was submitted 13.04.2026; approved after reviewing 06.08.2026; accepted for publication 14.09.2026.