

УДК 637.054:639.122:549.64

DOI 10.30914/2411-9687-2024-10-4-382-389

**ВЛИЯНИЕ СВЧ-ОБРАБОТКИ ЯЧМЕНЯ, СОДЕРЖАЩЕГО МИКОТОКСИНЫ,
НА ЕГО ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ОБМЕННУЮ ЭНЕРГИЮ, И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПЕРЕПЕЛОВ****Л. Ф. Якупова¹, Э. К. Папуниди¹, А. Х. Волков¹, С. Ю. Смоленцев²**¹Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана,
г. Казань, Российская Федерация²Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация

Аннотация. Введение. В структуре себестоимости основных продуктов птицеводства большая доля приходится на корма, которые должны отвечать требованиям безопасности, определяемой уровнем контаминации микотоксинами. Для снижения содержания микотоксинов в кормах и полного их уничтожения можно использовать различные методы и их сочетания, некоторые из которых могут иметь недостатки. Например, использование некоторых адсорбентов приводит к частичной потере пищевой ценности кормов за счет всасывания вместе с токсинами питательных веществ корма. Одним из методов, позволяющих уничтожить вредную микрофлору, снизить содержание антипитательных веществ, повысить пищевую ценность корма и усвояемость питательных веществ, является микроволновая обработка. **Целью** исследований стало изучение влияния микроволновой обработки ячменя, содержащего микотоксины, на его химический состав, обменную энергию и продуктивность перепелов при использовании отдельно и в сочетании с цеолитом. **Материалы и методы.** Исследования проводились на перепелах 30-дневного возраста, разделенных на 5 групп, две из которых были контрольные и три опытные. **Результаты и обсуждение.** СВЧ-обработка ячменя меняет его химический состав, повышая содержание массовой доли сухого вещества на 35 %, сырого протеина и жира на – 3,4 и 156 %, и безазотистых экстрактивных веществ на – 42,2 %. За счет повышения обменной энергии кормов повышается яичная и мясная продуктивность птиц, при этом затраты обменной энергии на производство единицы продукции уменьшаются. **Заключение.** СВЧ-обработка зерна благоприятно сказывается на яичной и мясной продуктивности перепелов за счет повышения обменной энергии на 41 %, питательной ценности и усвояемости питательных веществ кормов и способствует меньшим затратам обменной энергии на производство продукции. Более выраженный эффект наблюдается при совместном применении СВЧ-обработки зерна и цеолита.

Ключевые слова: микотоксины, зерно, СВЧ-обработка, химический состав, обменная энергия, перепела, цеолит, продуктивность

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Влияние СВЧ-обработки ячменя, содержащего микотоксины, на его химический состав и обменную энергию, и продуктивность перепелов / Л. Ф. Якупова, Э. К. Папуниди, А. Х. Волков, С. Ю. Смоленцев // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024. Т. 10. № 4. С. 382–389. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-4-382-389>

**INFLUENCE OF MICROWAVE TREATMENT OF BARLEY CONTAINING MYCOTOXINS
ON ITS CHEMICAL COMPOSITION, METABOLIC ENERGY AND PRODUCTIVITY OF QUAIL****L. F. Yakupova¹, E. K. Papunidi¹, A. Kh. Volkov¹, S. Yu. Smolentsev²**¹Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman, Kazan, Russian Federation²Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation

Abstract. Introduction. In the cost structure of the main poultry products, a large share falls on feed, which must meet the safety requirements determined by the level of mycotoxin contamination. To reduce the content of mycotoxins in feed and completely destroy them, you can use various methods and their combinations, some of which may have disadvantages. For example, the use of some adsorbents leads to a partial loss of the nutritional value of feed due to the absorption of feed nutrients along with toxins. One of the methods that allows you to destroy harmful microflora, reduce the content of antinutrients, increase the nutritional value of feed and the digestibility of nutrients is microwave processing. **The purpose** of the research was to study the effect of

microwave processing of barley containing mycotoxins on its chemical composition, metabolic energy and quail productivity when used separately and in combination with zeolite. **Materials and methods.** The studies were conducted on 30-day-old quails divided into 5 groups, two of which were control and three experimental. **Results and discussion.** Microwave treatment of barley changes its chemical composition, increasing the content of dry matter by 35 %, crude protein and fat by 3.4 and 156 %, and nitrogen-free extractive substances by 42.2 %. Due to the increase in the exchange energy of feed, the egg and meat productivity of birds increases, while the exchange energy costs per unit of production decrease. **Conclusion.** Microwave treatment of grain has a beneficial effect on the egg and meat productivity of quails due to an increase in exchange energy by 41 %, nutritional value and digestibility of nutrients in feed, and contributes to lower exchange energy costs for production. A more pronounced effect is observed with the combined use of microwave treatment of grain and zeolite.

Keywords: mycotoxins, grain, microwave treatment, chemical composition, metabolic energy, quail, zeolite, productivity

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Yakupova L. F., Papunidi E. K., Volkov A. Kh., Smolentsev S. Yu. Influence of microwave treatment of barley containing mycotoxins on its chemical composition, metabolic energy and productivity of quail. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2024, vol. 10, no. 4, pp. 382–389. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-4-382-389>

Введение

Роль птицеводства, как одного из ведущих отраслей животноводства в обеспечении населения ценными диетическими продуктами питания, остается главной на сегодняшний день, и, соответственно, значение отрасли в решении проблемы продовольственной безопасности России не теряет своей актуальности [6]. В структуре себестоимости основных продуктов птицеводства большая доля приходится на корма, которые должны включать определенный набор веществ, полностью удовлетворяющих потребности организма в питании и приготовленные в доступном ему состоянии. Однако помимо требуемых критериев, предъявляемых к качеству кормов, таких как сбалансированность, высококалорийность и необходимая степень измельчения, важное место занимает безопасность кормов, т. к. это напрямую влияет на безопасность получаемой продукции. Одним из показателей безопасности кормов является отсутствие или превышение предельно допустимых концентраций микотоксинов – низкомолекулярных токсичных вторичных метаболитов микроскопических грибов (*Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* и др.), обладающих выраженным иммунодепрессивным действием в организме животных и птиц [3; 16]. В то же время синергический эффект нескольких микотоксинов, одновременно присутствующих в кормах на уровне предельно допустимых концентраций (ПДК), иногда соответствует эффекту одного микотоксина при превышении ПДК в 3–5 раз [3; 18].

Корма, содержащие микотоксины, могут вызывать как прямую гибель птицы и потерю продуктивности, так и снижение общей сопротивляемости организма птиц к заболеваниям. Вспышки инфекционных патологий на фоне микотоксикозов наиболее опасны, так как невозможно получить от птицы положительного отклика на лечение.

Для снижения содержания микотоксинов в кормах и полного их уничтожения, а также уменьшения влияния на детоксикационную функцию печени можно использовать различные методы и их сочетания: механические, биологические, физические и электрофизические, химические [1; 2; 4; 7; 12; 17; 18]. Одним из способов профилактики и лечения микотоксикозов у животных и птиц является использование сорбентов природного происхождения (цеолиты, бентониты, шунгит), эффективно связывающих в желудочно-кишечном тракте эндогенные и экзогенные токсические вещества [3]. Однако известно, что использование некоторых адсорбентов приводит к частичной потере пищевой ценности кормов за счет всасывания вместе с токсинами питательных веществ корма [9], поэтому поиск способов повышения питательности кормов, используемых в птицеводстве, и сохранение их безопасности остается актуальным вопросом, требующим решения. В связи с этим применение комбинированных способов детоксикации кормов может стать перспективным и позволит не только уничтожить микотоксины и/или нейтрализовать их негативное воздействие на организм

птицы, а следовательно, и на получаемую от нее продукцию, но и компенсировать имеющиеся недостатки методов, применяемых отдельно. Многочисленными отечественными и зарубежными авторами доказана эффективность применения микроволновой обработки, позволяющей инактивировать нежелательную микрофлору [4; 7; 8; 10; 13], снизить содержание антипитательных веществ [5; 15], повысить пищевую ценность обработанного сырья или готового корма [11] и усвояемость питательных веществ кормов [14].

С учетом вышеустановленных фактов целью исследований стало изучение влияния микроволновой обработки ячменя, содержащего микотоксины, на его химический состав, обменную энергию и продуктивность перепелов при применении отдельно и в сочетании с цеолитом.

Материалы и методы

Научно-производственный эксперимент проводился в течение 50 дней на перепелах породы Фараон, 30-дневного возраста в условиях КФХ Алимчуевой З. И., расположенного в Республике Марий Эл. Для этого были сформированы 5 групп по 100 голов в каждой, за исключением одной – группы отрицательного контроля, в которой количество птиц составило 40 голов. Соотношение самок и самцов в группах опыта было 3:1. Птицы всех групп опыта кроме основного рациона получали отруби ячменя в количестве 20 % от суточной

нормы комбикорма. При этом первая группа было биологическим контролем. Рацион второй группы содержал микотоксины Т-2 и охратоксин А, не превышающие ПДК (отрицательный контроль). Птицы третьей, четвертой и пятой групп получали корм аналогичный корму второй группы, но в третьей группе ячмень, содержащий микотоксины, был подвергнут микроволновой обработке; четвертая группа птиц получала к рациону 3 % цеолита и пятая группа птиц сочетала прием корма с микроволновой обработкой ячменя и 3 % цеолита.

Химический анализ ячменя до и после СВЧ-обработки осуществляли в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов, а именно ГОСТ Р 57059-2016, ГОСТ 26226-95, ГОСТ 32905-2014, ГОСТ 13496.4-2019, ГОСТ 26570-95, ГОСТ 26657-97. Определение содержания обменной энергии в ячмене до и после микроволновой обработки осуществлялось с использованием уравнения множественной регрессии.

При определении продуктивности перепелов учитывали яичную и мясную продуктивность.

Результаты исследования, обсуждения

Анализ химического состава зерна (ячменя) показал, что после СВЧ-обработки в течение 120 секунд при частоте 915 ГГц и мощности 50 кВт уменьшилась массовая доля влаги на 75,6 %, что вызвало повышение массовой доли сухого вещества на 35 % (рис. 1).

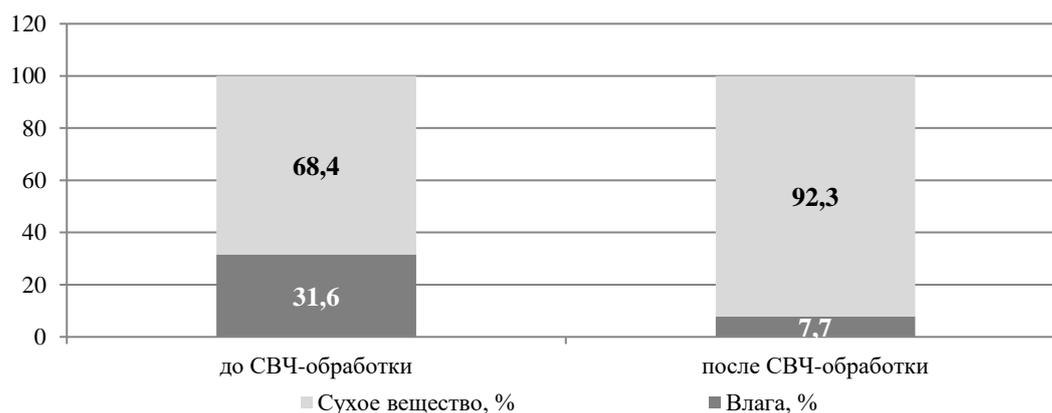


Рис. 1. Содержание влаги и сухого вещества в ячмене до и после СВЧ-обработки /
Fig. 1. Moisture and dry matter content in barley before and after microwave treatment

Более того, анализ количественного состава компонентов сухого вещества ячменя позволил установить, что после СВЧ-обработки произошло повышение сырого протеина и жира на 3,4

и 156 % и безазотистых экстрактивных веществ – на 42,2 %. Однако содержание таких компонентов, как сырая клетчатка и сырая зола, понизилось на 2,4 и 13,7 %. В совокупности содержание

органических веществ в ячмене после СВЧ-обработки повысилось на 36,8 % (рис. 2).

Несмотря на то, что общее содержание сырой золы после СВЧ-обработки в ячмене понизилось, содержание кальция повысилось на 16,7 %, а фосфора – в 11 раз.

При определении обменной энергии ячменя до и после СВЧ-обработки было установлено, что разница составила 41 %. Если до СВЧ-обработки обменная энергия составляла 9,27 МДж, то после она составила 13,067 МДж.

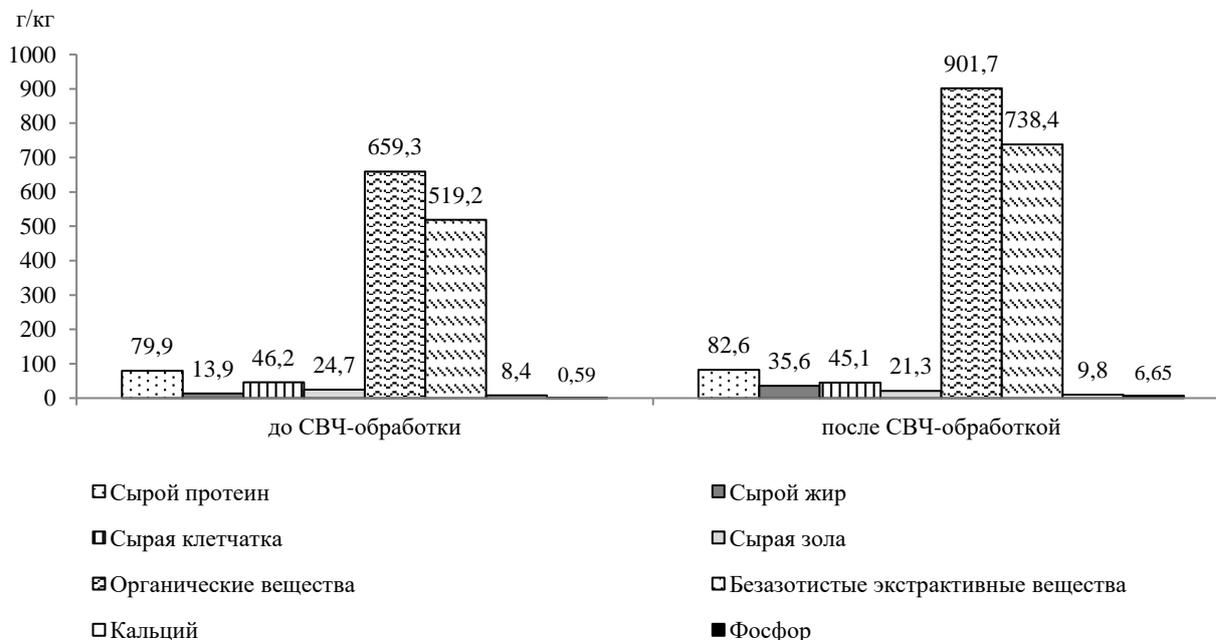


Рис. 2. Содержание питательных и минеральных веществ в ячмене до и после СВЧ-обработки /
Fig. 2. Content of nutrients and minerals in barley before and after microwave treatment

Учитывая вышеустановленный факт, возникла необходимость определить, как влияет СВЧ-обработка ячменя, содержащего микотоксины, на продуктивность перепелов и затраты

энергии на единицу продукции, при его включении в рацион перепелов отдельно и в сочетании с цеолитом. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Результаты определения продуктивности перепелов и затраты обменной энергии на единицу продукции /
Results of determining quail productivity and metabolic energy costs per unit of production

Показатели / Indicators	Группы опыта / Experimental groups				
	1 – контроль / 1 – control group	2 – отриц. контроль / 2 – negative control group	3 – опытная / 3 – experimental group	4 – опытная / 4 – experimental group	5 – опытная / 5 – experimental group
1	2	3	4	5	6
Обменная энергия на одну птицу в сутки, МДж	0,407	0,407	0,429	0,407	0,429
Обменная энергия на одну птицу за весь период опыта, МДж	20,35	20,35	21,45	20,35	21,45
Валовое производство яиц, шт.	395	132	550	700	810
Средняя масса одного яйца, г	12,6	11,4	12,0	12,0	12,3
Выход яйцемассы, кг	5,0	1,5	6,6	8,4	10,0

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
Выход яйцемассы на одну птицу, кг	0,07	0,05	0,09	0,112	0,13
Затраты обменной энергии одной птицей на кг яйцемассы, МДж	5,8	8,14	4,77	3,63	3,3
В % к контролю	100,0	140,3	82,2	62,6	57,0
В % к отрицательному контролю	71,2	100,0	58,6	44,6	40,5
Выход убойной массы, кг	0,206	0,161	0,2	0,192	0,182
Затраты обменной энергии одной птицей на 1 кг убойной массы, МДж	1,97	2,53	2,14	2,12	2,36
В % к контролю	100,0	128,4	108,6	107,6	119,8
В % к отрицательному контролю	77,9	100,0	84,6	84,0	93,3
Общие затраты обменной энергии одной птицей, МДж	7,77	10,67	6,91	5,75	5,66
В % к контролю	100,0	137,3	88,9	74	72,8
В % к отрицательному контролю	72,8	100,0	64,8	53,9	53

Из данных таблицы 1 видно, что включение в рацион перепелов 3-й и 5-й опытных групп ячменя, подвергнутого микроволновой обработке, в количестве 20 % от основного рациона, повысило обменную энергию потребляемых кормов на 5,4 %.

При определении яичной продуктивности подопытных птиц было установлено, что выход яйцемассы на одну птицу в опытных группах с 3-й по 5-ю был выше, чем в первой группе на 28,6; 60 и 86 % и на 80; 124 и 160 % выше, чем во 2-й группе отрицательного контроля. При этом затраты обменной энергии на производство кг яйцемассы в тех же опытных группах были ниже, чем в 1-й контрольной группе на 17,8; 37,4 и 43 % и на 41,4; 55,4 и 59,5 % ниже, чем во 2-й группе отрицательного контроля. Разница между контрольными группами составила 40,3 %.

Анализ данных мясной продуктивности перепелов показал, что убойная масса птиц в опытных группах с 3-й по 5-ю была ниже, чем в 1-й контрольной группе на 3; 6,8 и 11,6 %. Однако разница данного показателя со 2-й группой отрицательного контроля составила 24,2; 19,2 и 13 %. Наблюдаемый факт более низких показате-

телей выхода убойной массы птиц объясняется более высокой яйценоскостью и, соответственно, более развитыми яйцеобразующими органами.

При анализе данных затрат обменной энергии на 1 кг убойной массы было установлено, что максимальное количество обменной энергии было зафиксировано во 2-й группе отрицательного контроля и разница с 1-й контрольной группой составила 28,4 %. Разница между 1-й контрольной группой и опытными с 3-й по 5-ю разница составила 8,6; 7,6 и 19,8 %. При этом разница между 2-й группой отрицательного контроля и опытными группами была минимальной и составила 15,4; 16 и 6,7 %, в то время как с 1-й контрольной группой – 22,1 %.

Проанализировав данные об общих затратах обменной энергии на производство продукции, мы установили, что максимальное ее количество было во 2-й группе отрицательного контроля и разница с опытными группами составила 35,2; 46,1 и 47 %. Разница между 1-й группой и опытными группами была меньше и составила 11,1; 26 и 27,2 %. Минимальные значения общих затрат обменной энергии на производство продукции наблюдались в 5-й опытной группе.

Заключение

На основании полученных данных можно сделать заключение, что СВЧ-обработка зерна благоприятно сказывается на яичной и мясной продуктивности перепелов за счет разрушения микотоксинов, содержащихся в кормах, повышения питательной ценности и обменной энергии кормов. Более выраженный эффект наблюдается при совместном применении СВЧ-обработки зерна и цеолита.

Выводы

1. СВЧ-обработка ячменя меняет его химический состав и повышает его обменную энергию, что способствует повышению питательной ценности зерна.

2. Затраты обменной энергии на производство кг яйцемассы превосходят затраты на производство кг убойной массы птиц.

3. Применение СВЧ-обработки ячменя способствует повышению яичной и мясной продуктивности птиц, уменьшая при этом затраты обменной энергии на производство единицы продукции.

1. Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н. Физические методы снижения содержания микотоксинов в кормах и их применение в комбикормовой промышленности (обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22 (1). С. 32–46. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.32-46>

2. Будников Д. А. Система управления экспериментальной установкой электрофизического воздействия на зерно // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17. № 2 (66). С. 59–67. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-57-63>

3. Влияние комплекса цеолита и шунгита на резистентность и продуктивность цыплят-бройлеров при смешанном микотоксикозе / Н. Н. Мишина, Э. И. Семенов [и др.] // *Ветеринарный врач*. 2018. № 6. С. 3–9. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36604581&ysclid=m4b2mfwj6i282252192> (дата обращения: 11.10.2024).

4. Королев А. А., Тюрина С. С., Тришканева М. В. Анализ применения микроволнового излучения в технологиях стерилизации растительного сырья // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*. 2019. № 3. 2019. С. 81–91. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-mikrovolnovogo-izlucheniya-v-tehnologiyah-sterilizatsii-rastitelnogo-syrya?ysclid=m4bafrdge8482078880> (дата обращения: 11.10.2024).

5. Microwave irradiation of guar seed flour: Effect on anti-nutritional factors, phytochemicals, in vitro protein digestibility, thermo-pasting, structural, and functional attributes / S. Manikpuri, A. Kheto [et al.] // *J Food Sci*. 2024. No. 89 (4). С. 2188–2201. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16980>

6. Мурсалимов М. М. Российское птицеводство: состояние и перспективы развития // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015. № 1 (51). С. 212–216. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rossiyskoe-ptitsevodstvo-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-1?ysclid=m4banuxd5z228516784> (дата обращения: 11.10.2024).

7. Соболева О. М., Колосова М. М., Филипович Л. А. Микробиологическая контаминация кормов и электрофизический метод ее снижения // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 12. С. 50–52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrobiologicheskaya-kontaminatsiya-kormov-i-elektrofizicheskiy-metod-ee-snizheniya?ysclid=m4bbexk7xs462978422> (дата обращения: 11.10.2024).

8. Соболева О. М., Колосова М. М., Филипович Л. А. Электрофизический способ снижения количества микотоксинов в концентрированных кормах // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 4. С. 60–66. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektrofizicheskiy-sposob-snizheniya-kolichestva-mikotoksinov-v-kontsentrirrovannyh-kormah?ysclid=m4bbkykfk599171658> (дата обращения: 11.10.2024).

9. Актуальные проблемы ветеринарной токсикологии / М. Я. Трemasов, К. Х. Папуниди [и др.] // *Вестник ветеринарии*. 2012. № 4 (63). С. 16–18. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18258778&ysclid=m4bbuyd3tr136761511> (дата обращения: 11.10.2024).

10. Reduction of Aflatoxin B₁ in Corn by Water-Assisted Microwaves Treatment and Its Effects on Corn Quality / Ya. Zhang, M. Li [et al.] // *Toxins (Basel)*. 2020. Vol. 12. No. 9. P. 605. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.893a4f04-6759218c-b80ea2f1-74722d776562/https/pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7551488/ (дата обращения: 11.10.2024).

11. Belov A, Vasilyev A, Dorokhov A. Effect of microwave pretreatment on the exchange energy of forage barley // *Journal of Food Process Engineering*. 2021. Vol. 44. No. 4. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13785>

12. Biernasiak J., Piotrowska M., Libudzisz Z. Detoxification of mycotoxins by probiotic preparation for broiler chickens // *Mycotoxin Research*. 2006. Т. 22. С. 230–235. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02946747>

13. Hourieh A., Jihad A. Effect of microwave oven processing treatments on reduction of Aflatoxin B₁ and Ochratoxin A in maize flour // *European Journal of Chemistry*. 2019. Vol. 10. Pp. 224–227. URL: https://www.eurjchem.com/index.php/eurjchem/article/view/1840/pdf_1840 (дата обращения: 11.10.2024).

14. Microwave Processing of Animal Feed: A Brief Review. / B. Graham, B. Natalie [et al.] // *Transactions of the ASABE*. 2019. Vol. 62 (3). Pp. 705–717. DOI: <https://doi.org/10.13031/TRANS.13266>

15. Microwave processing: A way to reduce the anti-nutritional factors (ANFs) in food grains / R. Suhag, A. Dhiman [et al.] // *LWT*. 2021. Vol. 150. Article 111960. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111960>

16. Systemic anaphylaxis due to combined mycotoxicosis in wister rats / E. I. Semenov, S. Y. Smolentsev [et al.] // *Indian Veterinary Journal*. 2018. Vol. 95. No. 6. Pp. 16–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35744645&ysclid=m4bdcsk68i199277051> (дата обращения: 11.10.2024).

17. A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination / Vila-Donat P., Marin S. [et al.] // *Food and chemical toxicology*. 2018. Vol. 114. Pp. 246–259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044>

18. Zeolite, hepatoprotector and probiotic for aflatoxicosis in pigs international / Matrosova L., Tanaseva S. // *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*. 2020. Vol. 10. Pp. 7053–7060. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52293155&ysclid=m4bdi8yrgr222176390> (дата обращения: 11.10.2024).

Статья поступила в редакцию 15.10.2024 г.; одобрена после рецензирования 08.11.2024 г.; принята к публикации 20.11.2024 г.

Об авторах

Якупова Лейсан Файзулловна

кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, ул. Сибирский Тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-0622>, ley.sam.1975@mail.ru

Папуниди Эллада Константиновна

доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, ул. Сибирский Тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8030-7894>, rapunidi_kki@mail.ru

Волков Али Харисович

доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы, Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана (420029, Российская Федерация, г. Казань, Сибирский тракт, д. 35), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2344-8957>, Smolentsev82@mail.ru

Смоленцев Сергей Юрьевич

доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры технологии производства продукции животноводства, Марийский государственный университет (424000, Российская Федерация, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6086-1369>, Smolentsev82@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N. Fizicheskie metody snizheniya sodержaniya mikotoksinov v kormakh i ikh primeneniye v kombikormovoi promyshlennosti (ob-zor) [Physical methods of mycotoxin content reduction in feeds and application of them in the compound feed industry (review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*, 2021, no. 22 (1), pp. 32–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.32-46>

2. Budnikov D. A. Sistema upravleniya eksperimental'noi ustanovkoi elektrofizicheskogo vozdeistviya na zerno [Control system of an experimental intallation for electrophysical effects on grain]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 2022, vol. 17, no. 2 (66), pp. 59–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-57-63>

3. Mishina N. N., Semenov Je. I. [et al.] Vliyaniye kompleksa tseolita i shungita na rezistentnost' i produktivnost' tsyplyat-broilerov pri smeshannom mikotoksikoze [Influence of the complex of zeolite and shungit on the resistance and productivity of broiler chickens under a mixed mycotoxicosis]. *Veterinarnyi vrach = Veterinarian*, 2018, 6, pp. 3–9. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36604581&ysclid=m4b2mfwj6i282252192> (accessed 11.10.2024). (In Russ.).

4. Korolev A. A., Tjurina S. S., Trishkaneva M. V. Analiz primeneniya mikrovolnovogo izlucheniya v tekhnologiyakh sterilizatsii rastitel'nogo syr'ya [The application of microwave radiation for sterilization of plant raw materials]. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya "Protessy i apparaty pishchevykh proizvodstv" = Processes and Food Production Equipmen*, 2019, no. 3, pp. 81–91. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-primeneniya-mikrovolnovogo-izlucheniya-v-tehnologiyah-sterilizatsii-rastitelno-go-syr'ya?ysclid=m4bafrdge8482078880> (accessed 11.10.2024). (In Russ.).

5. Manikpuri S., Kheto A. [et al.] Microwave irradiation of guar seed flour: Effect on anti-nutritional factors, phytochemicals, in vitro protein digestibility, thermo-pasting, structural, and functional attributes. *J Food Sci*, 2024, no. 89 (4), pp. 2188–2201. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16980>

6. Mursalimov M. M. Rossiiskoe ptitsevodstvo: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Poultry-farming in Russia: present-day situation and development prospects]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2015, no. 1 (51), pp. 212–216. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rossiyskoe-ptitsevodstvo-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-1?ysclid=m4banuxd5z228516784> (accessed 11.10.2024). (In Russ.).

7. Soboleva O. M., Kolosova M. M., Filipovich L. A. Mikrobiologicheskaya kontaminatsiya kormov i elektrofizicheskii metod ee snizheniya [Microbiological contamination of feed and electrophysical method of its reduction]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 2018, vol. 32, no. 12, pp. 50–52. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikrobiologicheskaya-kontaminatsiya-kormov-i-elektrofizicheskii-metod-ee-snizheniya?ysclid=m4bbexk7xs462978422> (accessed 11.10.2024). (In Russ.).
8. Soboleva O. M., Kolosova M. M., Filipovich L. A. Elektrofizicheskii sposob snizheniya kolichestva mikotoksinov v kontsentrirrovannykh kormakh [Electrophysical method of reducing the amount of mycotoxins in concentrated feed]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, 2019, vol. 33, no. 4, pp. 64–66. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektrofizicheskii-sposob-snizheniya-kolichestva-mikotoksinov-v-kontsentrirrovannyh-kormah?ysclid=m4bbkykfik599171658> (accessed 11.10.2024). (In Russ.).
9. Tremasov M. Ja., Papunidi K. H. [et al.] Aktual'nye problemy veterinarnoi toksikologii [Current problems of veterinary toxicology]. *Vestnik veterinarii = Veterinary Vestnik*, 2012, no. 4 (63), pp. 16–18. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18258778&ysclid=m4bbuyd3tr136761511> (accessed 11.10.2024). (In Russ.).
10. Reduction of Aflatoxin B₁ in Corn by Water-Assisted Microwaves Treatment and Its Effects on Corn Quality / Ya. Zhang, M. Li [et al.]. *Toxins (Basel)*, 2020, vol. 12, no. 9, p. 605. Available at: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.893a4f04-6759218c-b80ea2f1-74722d776562/https/pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7551488/ (accessed 11.10.2024). (In Eng.).
11. Belov A, Vasilyev A, Dorokhov A. Effect of microwave pretreatment on the exchange energy of forage barley. *Journal of Food Process Engineering*, 2021, vol. 44, no. 4. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13785>
12. Biernasiak J., Piotrowska M., Libudzisz Z. Detoxification of mycotoxins by probiotic preparation for broiler chickens. *Mycotoxin Research*, 2006, vol. 22, pp. 230–235. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02946747>
13. Hourieh A., Jihad A. Effect of microwave oven processing treatments on reduction of Aflatoxin B₁ and Ochratoxin A in maize flour. *European Journal of Chemistry*, 2019, vol. 10, pp. 224–227. Available at: https://www.eurjchem.com/index.php/eurjchem/article/view/1840/pdf_1840 (accessed 11.10.2024). (In Eng.).
14. Graham B., Natalie B. [et al.] Microwave Processing of Animal Feed: A Brief Review. *Transactions of the ASABE*, 2019, vol. 62 (3), pp. 705–717. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.13031/TRANS.13266>
15. Suhag R., Dhiman A. [et al.] Microwave processing: A way to reduce the anti-nutritional factors (ANFs) in food grains. *LWT*. 2021, vol. 150, article 111960. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111960>
16. Semenov E. I., Smolentsev S. Y. [et al.] Systemic anaphylaxis due to combined mycotoxicosis in wister rats. *Indian Veterinary Journal*, 2018, vol. 95, no. 6, pp. 16–19. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35744645&ysclid=m4bdcsk68i199277051> (accessed 11.10.2024). (In Eng.).
17. Vila-Donat P., Marin S. [et al.] A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and chemical toxicology*, 2018, vol. 114, pp. 246–259. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044>
18. Matrosova L., Tanaseva S. [et al.] Zeolite, hepatoprotector and probiotic for aflatoxicosis in pigs international. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 2020, vol. 10, pp. 7053–7060. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52293155&ysclid=m4bdi8yrgr222176390> (accessed 11.10.2024). (In Eng.).

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 08.11.2024; accepted for publication 20.11.2024.

About authors

Leysan F. Yakupova

Ph. D. (Biology), Associate Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Sibirskiy tract St, Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3083-0622>, ley.san.1975@mail.ru

Ellada K. Papunidi

Dr. Sci. (Biology), Professor, Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Sibirskiy tract St, Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8030-7894>, papynidi_kki@mail.ru

Ali Kh. Volkov

Dr. Sci. (Veterinary), Professor, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman (35 Sibirskiy Tract St., Kazan 420029, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2344-8957>, Smolentsev82@mail.ru

Sergey Yu. Smolentsev

Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Professor of the Department of Livestock Production Technology, Mari State University (1 Lenin Sq., Yoshkar-Ola 424000, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6086-1369>, Smolentsev82@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.