

УДК 619:615.9:616.36

DOI 10.30914/2411-9687-2023-9-3-298-303

ОЦЕНКА ЛИПИДНОГО ПРОФИЛЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ Т-2, АФЛА- И ЗЕАРАЛЕНОНТОКСИКОЗА БЕЛЫХ КРЫС

НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Е. Ю. Тарасова, Л. Е. Матросова, С. А. Танасева, О. К. Ермолаева

*Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Российская Федерация*

Аннотация. Введение. Микотоксины оказывают негативное воздействие на животных, поражая жизненно важные органы, вызывая нарушения липидного и белкового обмена. Часто микотоксины встречаются в комбинации, оказывая синергическое или аддитивное воздействие на животных. Однако патогенез комбинированного воздействия изучен недостаточно. Эффективным способом профилактики микотоксикозов является использование препаратов комплексного действия, имеющих в составе вещества, оказывающие патогенетическое и симптоматическое воздействие. **Цель** – изучение изменений показателей липидного профиля белых крыс при Т-2, афла- и зearаленонтоксикозе и оценка эффективности комплексных профилактических средств. **Материалы и методы.** Белые крысы были разделены на 8 групп: 1-я – биологический контроль; 2-я – токсический контроль (Т-2 токсин+зеараленон+афлатоксин В₁); 3-я – токсический контроль + профилактический комплекс № 1 (ПК 1: β-глюканы, шрот расторопши, витамин Е, аскорбиновая кислота, левамизол); 4-я – токсический контроль + профилактический комплекс № 2 (ПК 2: бентонит, янтарная кислота, метилурацил, витамин А, пробиотический препарат «Флорин»); 5-я – токсический контроль + профилактический комплекс № 3 (ПК 3: галлуазит, метионин, β-глюканы, шрот расторопши); 6-я – биологический контроль + ПК1; 7-я биологический контроль + ПК2; 8-я – биологический контроль + ПК3. **Результаты исследований.** Выявлена эффективность предложенных профилактических комплексов при экспериментальном Т-2, афла- и зearаленонтоксикозе белых крыс, с приоритетом по группе с использованием третьей рецептуры на основе природного минерала галлуазита. Применение профилактических комплексов в дозе 0,25 % от рациона оказывало нормализующее влияние на липидный обмен.

Ключевые слова: микотоксины, липидный обмен, белые крысы, профилактические комплексы

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Оценка липидного профиля при моделировании Т-2, афла- и зearаленонтоксикоза белых крыс на фоне применения профилактических комплексов / Е. Ю. Тарасова, Л. Е. Матросова, С. А. Танасева, О. К. Ермолаева // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 3. С. 298–303. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-3-298-303>

EVALUATION OF LIPID PROFILE IN MODELING OF T-2, AFLA- AND ZEARELENONTOXICOSIS IN WHITE RATS AGAINST THE BACKGROUND OF PREVENTIVE COMPLEXES

E. Yu. Tarasova, L. E. Matrosova, S. A. Tanaseva, O. K. Ermolaeva

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation

Abstract. Introduction. Mycotoxins have a negative effect on animals, affecting vital organs, causing disorders of lipid and protein metabolism. Mycotoxins often occur in combination, having a synergistic or additive effect on animals. However, the pathogenesis of combined effects has not been sufficiently studied. An effective way to prevent mycotoxicoses is to use preparations of complex action having in their composition substances with pathogenetic and symptomatic effects. **The aim** was to study the changes in lipid and protein profile parameters in white rats at T-2, afla- and zearalenontoxicosis and evaluate the efficiency of combined prophylactic agents. **Materials and methods.** White rats were divided into 8 groups: 1 – biological control; 2 – toxic control (T-2 toxin + zearalenone + aflatoxin B₁); 3 – toxic control + preventive complex No. 1 (PC 1: β-glucans, milk thistle meal, vitamin E, ascorbic acid, levamisole); 4 – toxic control + preventive complex No. 2 (PC 2: bentonite, succinic acid, methyluracil, vitamin A, probiotic preparation “Florin”); 5 – toxic control + preventive complex No. 3 (PC 3: halloysite, methionine, β-glucans, milk thistle meal); 6 – biological control + PC 1; 7 – biological

control + PC 2; 8 – biological control + PC 3. **Research results.** The efficacy of the proposed prophylactic complexes in experimental T-2, afla- and zearalenontoxicosis in white rats was revealed, with a group priority using the third formulation based on the natural mineral halloysite. The application of prophylactic complexes at a dose of 0.25 % of the diet had a normalizing effect on lipid metabolism.

Keywords: mycotoxins, lipid metabolism, white rats, prophylactic complexes

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Tarasova E. Yu., Matrosova L. E., Tanaseva S. A., Ermolaeva O. K. Evaluation of lipid profile in modeling of T-2, afla- and zearalenontoxicosis in white rats against the background of preventive complexes. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2023, vol. 9, no. 3, pp. 298–303. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-3-298-303>

Введение

В любом кормовом сырье, особенно растительного происхождения, в том или ином количестве присутствуют споры плесневых грибов. При действии стрессовых факторов (перепады температуры, попадание химических веществ и т. п.) они начинают вырабатывать ядовитые вещества – микотоксины. Профилактические меры не являются успешными, и микотоксины обычно присутствуют в продуктах питания и кормах, которые легко загрязняются. Более того, они попадают в пищевую цепочку, представляя опасность не только для животных, но и для человека. Среди основных микотоксинов, связанных с сельским хозяйством, наиболее распространенными являются афлатоксин В₁, зearаленон, дезоксиниваленон и Т-2 токсин [6; 8].

Т-2 токсин является наиболее токсичным представителем семейства трихотеценов, и его эффекты включают иммунотоксичность, репродуктивную токсичность и нейротоксичность [10].

Зearаленон представляет собой нестероидный эстрогенный микотоксин, продуцируемый грибами *Fusarium culmorum* и *Fusarium graminearum*. Он обычно встречается в качестве загрязнителя зерновых культур во всем мире, в основном кукурузы. Основными метаболитами зearаленона после перорального воздействия являются α -ZOI и β -ZOI, которые вызывают иммунотоксические, гепатонепротоксические и апоптотические эффекты. Кроме того, микотоксин вызывает гиперэстрогению и репродуктивные нарушения у лабораторных и сельскохозяйственных животных [9].

Афлатоксины представляют собой группу примерно из 20 родственных грибковых метаболитов, вызывающих поражение печени животных

и человека. Все виды животных уязвимы к токсичности афлатоксина.

В настоящее время основная проблема, связанная с кормом, загрязненным микотоксинами, – это одновременное попадание в организм нескольких микотоксинов, вызывающих метаболические изменения, сопровождающиеся патологическими нарушениями в организме животных.

Наиболее эффективные методы минимизации вреда от микотоксинов в животноводстве – использование материалов, адсорбирующих микотоксины и ограничивающих их биодоступность в организме (цеолит, бентонит, шунгит, клеточная стенка дрожжей и т. п.) [1; 2; 7]. На их основе разработаны и зарегистрированы в государственном реестре кормовые добавки для адсорбции микотоксинов в кормах для сельскохозяйственных животных. Эффективность адсорбирующих препаратов можно повысить добавлением в их состав веществ, оказывающих патогенетическое и симптоматическое действие, направленное на повышение защитных сил, нормализацию метаболизма, что позволит не только вывести токсичные вещества, но и восстановить функциональную активность органов [3; 4; 5].

С учетом механизма действия микотоксинов нами предложены 3 рецептуры профилактических комплексов.

Целью работы являлось изучение влияния профилактических комплексов на липидный профиль белых крыс при экспериментальном Т-2, афла- и зearаленонтоксикозе.

Материалы и методы

Опыты проводили на 80 белых крысах обоего пола с массой тела 150–160 г. Микотоксины

животным задавали с кормом (афлатоксин В₁ – 2,5 мг/кг, Т-2 токсин – 5 мг/кг и зеараленон – 2,0 мг/кг) в течение 21 суток.

Крысы были разделены на 8 групп (по 10 животных в каждой) методом парных аналогов. Животные первой группы (биологический контроль) получали корм свободный от микотоксинов. Вторая группа крыс служила токсическим контролем (корм контаминировали смесью микотоксинов). Третья группа животных получала основной рацион, контаминированный смесью микотоксинов с добавлением профилактического комплекса на основе β-глюканов, шрота расторопши, витамина Е, аскорбиновой кислоты, левамизола (ПК1). Четвертая группа – основной рацион, контаминированный смесью микотоксинов с добавлением профилактического комплекса на основе бентонита, янтарной кислоты, метилурацила; витамина А, пробиотического препарата «Флорин». Пятая группа – основной рацион, контаминированный смесью микотоксинов с добавлением профилактического комплекса на основе галлуазита, метионина, β-глюканов, шрота расторопши. Шестая, седьмая и восьмая группа – группы оценки безвредности, животные получали основной рацион в смеси с профилактическими комплексами (шестая группа – ПК1, седьмая группа – ПК2, восьмая группа –

ПК3). Профилактические комплексы добавляли из расчета 0,25 % от рациона.

В качестве биохимического показателя токсического действия микотоксинов оценивали липидный профиль, который включал в себя анализ уровня триглицеридов, липопротеинов высокой и низкой плотности (соответственно ЛПВП, ЛПНП), общего количества холестерина, фосфолипидов. Исследования проводили на анализаторе MicroLab 300. Вычисляли индекс атерогенности – числовое значение, отражающее нарушения холестеринового обмена. Для его расчета использовали показатели холестерина и липопротеинов высокой плотности.

Статистическая обработка данных проводилась в программном продукте Statistica 6.0 с использованием методов описательной и сравнительной статистики.

Результаты исследования и их обсуждение

Длительное воздействие микотоксинов в высоких дозах приводило к нарушению метаболического статуса лабораторных животных.

В таблице 1 представлены показатели липидного профиля белых крыс при смешанном микотоксикозе на фоне применения профилактических комплексов.

Таблица 1 / Table 1

Липидный профиль белых крыс при смешанном микотоксикозе на фоне применения профилактических комплексов (n=6) / Lipid profile of white rats with mixed mycotoxicosis against the background of the use of prophylactic complexes (n=6)

| Показатель / Indicator | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------------------|------------|---------------|--------------|---------------|------------|------------|------------|------------|
| Триглицериды, ммоль/л | 0,65±0,04 | 0,85±0,03** | 0,78±0,05* | 0,76±0,04 | 0,72±0,03 | 0,69±0,04 | 0,68±0,03 | 0,61±0,01 |
| Холестерин, ммоль/л | 2,31±0,08 | 2,92±0,04*** | 2,69±0,08** | 2,65±0,04** | 2,48±0,05 | 2,40±0,03 | 2,42±0,04 | 2,38±0,04 |
| ЛПВП, ммоль/л | 0,79±0,04 | 0,61±0,03** | 0,67±0,03* | 0,66±0,03* | 0,71±0,04 | 0,82±0,04 | 0,80±0,05 | 0,84±0,03 |
| ЛПНП, ммоль/л | 1,22±0,09 | 1,92±0,04*** | 1,67±0,06** | 1,64±0,05** | 1,44±0,09 | 1,27±0,03 | 1,31±0,06 | 1,26±0,03 |
| Индекс атерогенности | 1,95±0,20 | 3,83±0,26*** | 3,07±0,21** | 3,00±0,17** | 2,54±0,25 | 1,97±0,13 | 2,09±0,19 | 1,84±0,08 |
| Фосфолипиды, ммоль/л | 1,34±0,04 | 0,94±0,05*** | 1,03±0,03*** | 1,07±0,08* | 1,20±0,09 | 1,41±0,08 | 1,36±0,05 | 1,42±0,06 |
| Липаза, МЕ/л | 67,00±0,40 | 54,00±1,23*** | 60,00±1,36** | 59,00±1,26*** | 63,33±1,76 | 66,00±1,17 | 65,00±1,26 | 66,33±0,73 |

* p<0,05, ** p<0,01, *** p<0,001, при сравнении с группой 1 / compared to group 1

При нарушении липидного обмена в организме возникает дисбаланс липопротеинов высокой, низкой плотности, а также триглицеридов. Со-

держание липопротеинов высокой плотности во второй группе достоверно снижалось по сравнению с биологическим контролем на 22,7 %

($p < 0,01$), в третьей, четвертой и пятой группах – на 15,1 % ($p < 0,05$), 16,4 % ($p < 0,05$), 10,1% соответственно.

Достоверное увеличение содержания липопротеинов низкой плотности во второй группе составило 57,4 % ($p < 0,001$), в третьей, четвертой и пятой – 36,8 % ($p < 0,01$), 34,4 % ($p < 0,01$), 18,0 %, по сравнению с биологическим контролем.

Наблюдали повышение уровня холестерина в крови во второй группе на 28,5 % ($p < 0,001$), указывающее на поражение печени. Уровень холестерина в опытных группах был выше контроля на 16,4 %, 14,7 % и 7,4 %.

Триглицериды – это важный запасной источник энергии в организме. В группе токсического контроля этот показатель достоверно увеличился на 30,8 % ($p < 0,001$), по сравнению с биологическим контролем.

Содержание триглицеридов в опытных группах было выше, чем в контроле на 20,0 %, 16,9 % и 10,8 % соответственно, что может свидетельствовать о корригирующем действии препаратов на интенсивность катаболических процессов.

Липидный обмен начинается с расщепления жиров, поступающих с кормом, под действием липаз микроорганизмов. Результаты исследования выявили понижение этого показателя во второй группе на 19,4 % ($p < 0,001$), в третьей на 10,4 % ($p < 0,01$), четвертой на 11,9 % ($p < 0,001$), пятой на 5,4 %, по сравнению с биологическим контролем. Это связано с тем, что при микро-

токсикозе снижается выработка организмом липазы.

Фосфолипиды – главный липидный компонент клеточных мембран. Так, количество фосфолипидов было ниже во второй группе на 29,9 % ($p < 0,001$), в третьей группе – на 23,1 % ($p < 0,001$), в четвертой – на 20,1 % ($p < 0,05$), в пятой – на 10,4 %, по сравнению с биологическим контролем.

Индекс атерогенности – показатель, который оценивает соотношение разных видов холестерина в крови. Более высокий показатель свидетельствует об избытке вредного холестерина и высоком риске развития атеросклероза. При анализе видно, что соотношение между «хорошим» и «плохим» холестерином во второй группе составило 3,83, третьей группе – 3,07, четвертой – 3,00, пятой – 2,54, что выше биологического контроля на 96,4 % ($p < 0,001$), 57,4 % ($p < 0,01$), 53,8 % ($p < 0,01$), 30,2 %.

Заключение

В результате проведенного анализа биохимических показателей белых крыс при экспериментальном Т-2, афла- и зеараленонтоксикозе можно судить об эффективности профилактических комплексов, с приоритетом по группе с использованием третьей рецептуры на основе природного минерала галлуазита. Применение профилактических комплексов в дозе 0,25 % от рациона в течение 21 суток оказывало нормализующее влияние на липидный обмен.

1. Адсорбция микотоксинов техническими лигнинами / З. А. Канарская, А. В. Канарский, Ю. Г. Хабаров, С. Б. Селянина, Т. А. Бойцова, М. Я. Тремасов, Э. И. Семенов, Н. Н. Мишина, Е. Ю. Тарасова // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 59–63. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbtsiya-mikotoksinov-tehnicheskimi-ligninami> (дата обращения: 17.04.2023).

2. Диатомиты и лигнины как адсорбенты микотоксинов / Л. С. Кочева, А. П. Карманов, А. В. Канарский, З. А. Канарская, Э. И. Семенов, Н. И. Богданович // Химия растительного сырья. 2022. № 2. С. 73–84. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220210730>

3. Ветеринарно-санитарная оценка мяса цыплят-бройлеров при микотоксикозе на фоне применения комплексного профилактического средства «Цеапитокс» / К. В. Перфилова, Н. Н. Мишина, Э. И. Семёнов, О. К. Ермолаева // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021. Т. 7. № 4. С. 375–381. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-4-375-381>

4. Изучение сорбционной активности биосорбентов по отношению к Т-2 токсину / А. Ш. Садыкова, Е. Ю. Тарасова, Л. Е. Матросова, Э. И. Семенов, З. А. Канарская, А. Р. Валиев // Ветеринарный врач. 2021. № 3. С. 45–52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-sorbtsionnoy-aktivnosti-biosorbentov-po-otnosheniyu-k-t-2-toksinu> (дата обращения: 17.04.2023).

5. Оценка протективного эффекта разработанных профилактических комплексов на целостность ДНК при экспериментальном сочетанном микотоксикозе / Е. Ю. Тарасова, Н. И. Хаммадов, Л. Е. Матросова, К. А. Осянин // Ветеринарный врач. 2022. № 4. С. 70–76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-protektivnogo-effekta-razrabotannyh-profilakticheskikh-kompleksov-na-tselostnost-dnk-pri-eksperimentalnom-sochetannom> (дата обращения: 17.04.2023).

6. Шакурова Н. В., Семенов Э. И., Савва В. Б. Влияние микотоксинов на ультраструктуру кортикальных элементов нефрона свиней // Ученые записки Казанского университета. серия: естественные науки. 2020. Т. 162. № 3. С. 350–360. DOI: <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2020.3.350-360>

7. Zeolite, hepatoprotector and probiotic for aflatoxicosis in pigs international / L. Matrosova, S. Tanaseva, E. Tarasova, N. Mishina, O. Ermolaeva, A. Valiev, R. Potekhina, Z. Sagdeeva, D. Sagdeev, A. Tremasova, M. Erochondina, E. Semenov // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2020. Vol. 10. Pp. 7053–7060. URL: <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1596710777-IJMPERDJUN2020667.pdf> (дата обращения: 17.04.2023).

8. Enterosorbent efficiency mineral attenuation during pig mycotoxicosis / L. E. Matrosova, N. N. Mishina, S. A. Tanaseva, E. Yu. Tarasova, O. K. Ermolaeva, R. M. Potekhina, E. I. Semenov // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2020. Vol. 10. № 3. Pp. 1851–1856. URL: <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1593663226-170IJMPERDJUN2020170.pdf>. (дата обращения: 17.04.2023).

9. Rai A., Das M., Tripathi A. Occurrence and toxicity of a Fusarium mycotoxin, zearalenone // Crit Food Sci Nutr. 2020. Vol. 60. No. 16. Pp. 2710–2729. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1655388>

10. An update on T-2 toxin and its modified forms: metabolism, immunotoxicity mechanism, and human exposure assessment / Q. Wu, Z. Qin, K. Kuca, L. You, Y. Zhao, A. Liu, K. Musilek, Z. Chrienova, E. Nepovimova, P. Oleksak // Arch Toxicol. 2020. Vol. 94. Pp. 3645–3669. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02899-9>

Статья поступила в редакцию 23.05.2023 г.; одобрена после рецензирования 28.07. 2023 г.; принята к публикации 13.08.2023 г.

Об авторах

Тарасова Евгения Юрьевна

кандидат биологических наук, заведующая лабораторией ветеринарной санитарии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9056-5798>, Evgenchka1885@gmail.com

Матросова Лилия Евгеньевна

доктор биологических наук, зав. лабораторией микотоксинов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-7882>, m.lilia.evg@yandex.ru

Танасева Светлана Анатольевна

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксинов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1295-6184>, vip.tanaseva2015@mail.ru

Ермолаева Ольга Константиновна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микотоксинов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9938-6868>, ermolao@list.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Kanarskaya Z. A., Kanarsky A. V., Khabarov Yu. G., Selyanina S. B., Boikova T. A., Tremasov M. Ya., Semenov E. I., Mishina N. N., Tarasova E. Yu. Adsorbtsiya mikotoksinov tehnikeskimi ligninami [Adsorption of mycotoxins by technical lignins]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of Plant Raw Material, 2011, no. 1, pp. 59–63. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbtsiya-mikotoksinov-tehnikeskimi-ligninami> (accessed 17.04.2023). (In Russ.).

2. Kocheva L. S., Karmanov A. P., Kanarsky A. B. V., Kanarskaya Z. A., Semenov E. I., Bogdanovich N. I. Diatomity i ligniny kak adsorbenty mikotoksinov [Diatomites and lignins as mycotoxin adsorbents]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of Plant Raw Material, 2022, no. 2, pp. 73–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220210730>

3. Perfilova K. V., Mishina N. N., Semenov E. I., Ermolaeva O. K. Veterinarno-sanitarnaya otsenka myasa tsyplyat-broilerov pri mikotoksikoze na fone primeneniya kompleksnogo profilakticheskogo sredstva “Tseapitoks” [Veterinary and sanitary assessment of broiler chicken meat in mycotoxicosis on the background of application of the complex preventive agent “Zeapitox”]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki”* = Vestnik of the Mari State University. Chapter “Agriculture. Economics”, 2021, vol. 7, no. 4, pp. 375–381. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-4-375-381>

4. Sadykova A. Sh., Tarasova E. Yu., Matrosova L. E., Semenov E. I., Kanarskaya Z. A., Valiev A. R. Izuchenie sorbtsionnoi aktivnosti biosorbentov po otnosheniyu k T-2 toksinu [A study of sorption activity of biosorbents with respect to T-2 toxin]. *Veterinarnyi vrach* = The Veterinarian, 2021, no. 3, pp. 45–52. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-sorbtsionnoy-aktivnosti-biosorbentov-po-otnosheniyu-k-t-2-toksinu> (accessed 17.04.2023). (In Russ.).

5. Tarasova E. Yu., Khammadox N. I., Matrosova L. E., Osyanin K. A. Otsenka protektivnogo effekta razrabotannykh profilakticheskikh kompleksov na tselostnost' DNK pri eksperimental'nom sochetannom mikotoksikoze [Evaluation of the protective effect of the developed preventive complexes on DNA integrity in experimental combined mycotoxicosis]. *Veterinarnyi vrach = The Veterinarian*, 2022, no. 4, pp. 70–76. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-protektivnogo-effekta-razrabotannyh-profilakticheskikh-kompleksov-na-tselostnost-dnk-pri-eksperimentalnom-sochetanom> (accessed 17.04.2023). (In Russ.).

6. Shakurova N. V., Semenov E. I., Savva V. B. Vliyanie mikotoksinov na ul'trastrukturu kortikal'nykh elementov nefrona svinei [Effect of mycotoxins on the ultrastructure of cortical elements in pig nephrons]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. seriya: estestvennye nauki = Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*, 2020, vol. 162, no. 3, pp. 350–360. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2020.3.350-360>

7. Matrosova L., Tanaseva S., Tarasova E., Mishina N., Ermolaeva O., Valiev A., Potekhina R., Sagdeeva Z., Sagdeev D., Tremasova A., Erochondina M., Semenov E. Zeolite, hepatoprotector and probiotic for aflatoxicosis in pigs. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 2020, vol. 10, pp. 7053–7060. Available at: <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1596710777-IJMPERDJUN2020667.pdf> (accessed 17.04.2023). (In Eng.).

8. Matrosova L. E., Mishina N. N., Tanaseva S. A., Tarasova E. Yu., Ermolaeva O. K., Potekhina R. M., Semenov E. I. Enterosorbent efficiency mineral attenuation during pig mycotoxicosis. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 1851–1856. Available at: <http://www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1593663226-170IJMPERDJUN2020170.pdf> (accessed 17.04.2023). (In Eng.).

9. Rai A., Das M., Tripathi A. Occurrence and toxicity of a Fusarium mycotoxin, zearalenone. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, vol. 60, no. 16, pp. 2710–2729. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1655388>

10. Wu Q., Qin Z., Kuca K., You L., Zhao Y., Liu A., Musilek K., Chrienova Z., Nepovimova E., Oleksak P., Wu W., Wang X. An update on T-2 toxin and its modified forms: metabolism, immunotoxicity mechanism, and human exposure assessment. *Arch Toxicol*, 2020, vol. 94, pp. 3645–3669. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02899-9>

The article was submitted 23.05.2023; approved after reviewing 28.07.2023; accepted for publication 13.08.2023.

About the authors

Evgeniya Y. Tarasova

Ph. D. (Biology), Head of the Veterinary Sanitation Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9056-5798>, Evgenechka1885@gmail.com

Lilia E. Matrosova

Dr. Sci. (Biology), Head of Mycotoxin Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-7882>, m.lilia.evg@yandex.ru

Svetlana A. Tanaseva

Ph. D. (Biology), Leading Researcher of Mycotoxin Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1295-6184>, vip.tanaseva2015@mail.ru

Olga K. Ermolaeva

Ph. D. (Biology), Senior Researcher of Mycotoxin Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9938-6868>, ermolao@list.ru

All authors have read and approved the final manuscript.