



УДК: 619:615.9:577.2

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.109

ОЦЕНКА ИММУНОМОДУЛИРУЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «ГАЛЛУАСОРБ» ПРИ СОЧЕТАННОМ МИКОТОКСИКОЗЕ

Тарасова Е.Ю.* – канд. биол. наук, зав. лабораторией ветеринарной санитарии, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-9056-5798); Кашеваров Г.С. – канд. биол. наук, зав. лаб. морфологических исследований, ст. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-4520-7596); Л.Е. Матросова – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксинов (ORCID 0000-0001-7428-7882); Хаммадов Н.И. – канд. биол. наук, зав. лабораторией молекулярно-генетического анализа, вед. науч. сотр. (ORCID 0000-0001-5669-1486); Танасева С.А. – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксинов (ORCID 0000-0003-1295-6184)

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной
и биологической безопасности»

* evgenechka1885@gmail.com

Ключевые слова: сочетанный микотоксикоз, белые крысы, неспецифическая резистентность, иммунитет, кормовая добавка, профилактика.

Key words: combined mycotoxicosis, white rats, nonspecific resistance, immunity, feed additive, prevention.

Финансирование: Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ. (Соглашение от 22.12.2025 № 4/2025-ПД-ВНИВИ).

Поступила: 02.02.2026

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



РЕФЕРАТ

В ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» на основе галлуазита отечественного месторождения разработана кормовая добавка «Галлуасорб», обладающая полифункциональным действием. Состав кормовой добавки тщательно проработан, исходя из патогенеза микотоксикозов и включает, кроме галлуазита, метионин, шрот расторопши и β -глюканы. Целью исследования являлась оценка иммуномодулирующего потенциала различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» при сочетанном микотоксикозе белых крыс. Опыты проведены на 60 белых крысах с массой тела 150-170 г, которые были распределены на пять групп по двенадцать крыс в каждой. Для воспроизведения микотоксикоза и оценки иммуномоду-

лирующего потенциала кормовой добавки, крысам второй-пятой групп с базовым рационом в течение 21 суток задавали кристаллические микотоксины: афлатоксин В₁ – 2,5 мг/кг; Т-2 токсин – 5 мг/кг; зеараленон – 2,0 мг/кг корма, крысам третьей, четвертой, пятой групп дополнительно 0,1, 0,25 и 0,5 % кормовой добавки от рациона. На 7, 14 и 21 сутки эксперимента исследовались показатели гуморальной (В-лимфоциты, бактерицидная, лизоцимная активности сыворотки крови) и клеточной защиты организма (содержание Т-лимфоцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, фагоцитарная активность нейтрофилов, в том числе, фагоцитарный индекс, фагоцитарное число, фагоцитарная емкость). Показано, что кормовая добавка «Галлуасорб» обладает иммуномодулирующим потенциалом при сочетанном микотоксикозе. Наиболее эффективными в снижении токсического действия Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁ являлись дозы 0,25-0,5 % от рациона. Однако добавление при подостром микотоксикозе кормовой добавки «Галлуасорб» в дозе 0,25 % от рациона является наиболее оптимальным с экономической точки зрения, так как увеличение дозы с 0,25 % до 0,5 % не приводит к повышению эффективности.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В связи с глобальным изменением климата загрязнение сельскохозяйственных культур микроскопическими грибами и связанные с этим риски для здоровья животных и человека стали актуальной проблемой ветеринарной медицины и общественного здравоохранения [1, 2]. Недавние исследования выявили значительное увеличение частоты обнаружения микотоксинов в продуктах питания и кормах, достигнув тревожных 60-80 %, что является существенным скачком по сравнению с ранее зафиксированными 25 % [3].

Среди микотоксинов, продуцируемых плесневыми грибами рода *Fusarium*, одними из наиболее проблемных являются Т-2 токсин и зеараленон [4-6].

Как наиболее токсичный представитель трихотененов, Т-2 токсин вызывает замедление роста и сублетальный, а иногда и летальный токсикоз у людей и сельскохозяйственных животных. Т-2 токсин обладает широким спектром биологической активности и может проникать в организм различными путями, вызывая разнообразные токсические эффекты в тканях и органах [7, 8].

Существует множество исследований, в которых изучалось воздействие зеараленона как *in vivo*, так и *in vitro* для характеристики его эстрогенного эффекта. Также сообщается, что он оказывает вредное воздействие на здоровье, снижая фер-

тильность, увеличивая вероятность рассасывания плодов, изменяя вес эндокринных желез и уровень гормонов в сыворотке крови. Однако воздействие зеараленона не ограничивается только его эстрогенным эффектом, включая другие механизмы, такие как иммунотоксичность, окислительный стресс, цитотоксичность и повреждение ДНК [9, 10].

Афлатоксин В₁ является токсичным вторичным метаболитом, продуцируемым различными видами грибов рода *Aspergillus*. Это соединения может, также как Т-2 токсин и зеараленон, загрязнять широкий спектр сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, особенно зерновых и продуктов на основе зерновых, представляя собой серьезную проблему для здоровья животных и человека. После всасывания афлатоксин В₁ метаболизируется в печени с образованием реактивного эпоксида, который является основным фактором гепатотоксичности, нефротоксичности, иммунотоксичности и канцерогенеза в моделях на людях и животных. Отравление афлатоксином В₁ приводит к повреждению печени, нарушению биохимических показателей сыворотки крови, подавлению иммунитета, дисфункции кишечника и воспалению, что повышает восприимчивость к заболеваниям и снижает продуктивность [11, 12].

Иммунная система является одной из основных мишеней микотоксинов. Они вызывает иммуносупрессивные явления,

такие как атрофия тимуса и апоптоз лимфоцитов, а также могут приводить к гибели лимфоцитов посредством митохондриально-опосредованного апоптоза, тем самым усугубляя иммуносупрессию и нарушая иммунный гомеостаз. Долгосрочный анализ образцов зерна и кормов по всему миру показал, что зерно может содержать чрезвычайно высокие концентрации микотоксинов. Также показано, что в реальных условиях загрязненное микотоксинами зерно обычно содержит более одного микотоксина [3].

Хотя иммунотоксические эффекты были изучены в многочисленных исследованиях, большинство современных исследований сосредоточено в основном на воздействии одного микотоксина в низкой концентрации и не содержит информации о влиянии высоких доз сразу трех микотоксинов (Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁). Иммунная система, являясь основным защитным механизмом организма, особенно уязвима к пагубному воздействию микотоксинов. Недавние исследования показали, что иммунотоксичность, может быть, одним из наиболее критических факторов, имеющих далеко идущие последствия, приводящие к значительным экономическим потерям в животноводческой отрасли [3, 9].

В связи с этим актуальным является поиск защитных стратегий против иммунотоксичности, вызываемой одновременным присутствием в кормах для животных сразу трех из наиболее опасных микотоксинов. В ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» на основе галлуазита отечественного месторождения разработана кормовая добавка «Галлуасорб», обладающая полифункциональным действием (адсорбционным, антиоксидантным, гепатопротекторным, иммуномодулирующим). Состав кормовой добавки тщательно проработан, исходя из патогенеза микотоксикозов, и включает, кроме галлуазита, метионин, шрот расторопши и β-глюканы. Целью исследования являлась оценка иммуномодулирующего потенциала различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» при сочетанном микотокси-

козе белых крыс.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

В данном исследовании была создана 21-дневная модель подострого воздействия сразу трех наиболее опасных микотоксинов Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁ на белых крысах массой 150-170 г, которые были распределены на пять групп по двенадцать крыс в каждой.

Эксперимент был спланирован следующим образом:

Группа 1: Базовый рацион.

Группа 2: Базовый рацион + кристаллические микотоксины (афлатоксин В₁ – 2,5 мг/кг, Т-2 токсин – 5 мг/кг, зеараленон – 2,0 мг/кг корма).

Группа 3: Базовый рацион + микотоксины + 0,1 % кормовой добавки «Галлуасорб».

Группа 4: Базовый рацион + микотоксины + 0,25 % кормовой добавки «Галлуасорб».

Группа 5: Базовый рацион + микотоксины + 0,5 % кормовой добавки «Галлуасорб».

Животные в группах были подобраны по принципу аналогов. На всем протяжении эксперимента белые крысы содержались согласно зоогигиеническим требованиям, получаемый рацион был сбалансированным и соответствовал физиологическим потребностям животных. Вода предоставлялась в неограниченном количестве в течение 3-недельного периода эксперимента.

Образцы крови крыс для гематологических исследований отбирали в вакуумные пробирки МиниМед с КЗ-ЭДТА (после взятия пробирку с образцом медленно переворачивали 8-10 раз для перемешивания крови с антикоагулянтом), для биохимических исследований – вакуумные пробирки Lab-Vac с активатором свертывания и гелем на 7; 14; 21 сутки.

В полученных пробах крови исследовались показатели гуморальной (В-лимфоциты, бактерицидная активность сыворотки крови (БАСК), лизоцимная активность сыворотки крови (ЛАСК)) и клеточной защиты организма

(содержание Т- лимфоцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, фагоцитарная активность (ФА) нейтрофилов, в том числе, фагоцитарный индекс (ФИ), фагоцитарное число (ФЧ), фагоцитарная емкость (ФЕ)).

Морфологический анализ крови, а именно, определение абсолютного количества лейкоцитов и относительного лимфоцитов, проводили на гематологическом анализаторе «Mindray BC 2800».

Уровень Т-лимфоцитов в периферической крови определяли методом спонтанного розеткообразования с гетерогенными эритроцитами (Е-РОК), В- лимфоцитов – методом ЕАС-розеток по Фримелю [13].

Определение бактерицидной активности сыворотки крови (БАСК) проводили по методике Смирновой О.В., Кузьминой Т.А. (1966) [14]. Активность лизоцима в сыворотке крови устанавливали нефелометрическим методом по В.Г. Дорофейчуку (1968) [15], а фагоцитарной активности нейтрофилов – по методике С.А. Кост и М.И. Стенко (1968) [16]. О фагоцитарной активности нейтрофилов судили по следующим показателям: фагоцитарный индекс (ФИ) – процент клеток, вступивших в фагоцитоз, от общего их числа после 30 – минутной инкубации, фагоцитарное число (ФЧ) – среднее число бактерий, находящихся внутриклеточно (частное от деления общего числа поглощенных бактерий на число клеток, вступивших в фагоцитоз) после 30- минутной инкубации, фагоцитарная емкость – произведение фагоцитарного числа на абсолютное количество лейкоцитов крови. В качестве объекта фагоцитарной активности использовали суточную культуру бактерий *Staphylococcus aureus* с концентрацией 1 миллиард клеток на 1 мл суспензии.

При обработке цифровых данных вычисляли следующие описательные статистики: среднеарифметическую (М) и стандартное отклонение ($\pm Sd$). Статистическую значимость межгрупповых отличий оценивали с использованием теста Манна–Уитни ($\alpha = 0,05$) с коррекцией критерия при помощи поправки на мно-

жественные сравнения Бонферрони. При обработке данных использовали программы Statistica 6.0 и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Ключевыми индикаторами, отражающими способность животного к адаптации, его выживаемость и здоровье, выступают параметры естественной резистентности. К ним относятся, в частности, фагоцитарная функция нейтрофилов, бактерицидная активность сыворотки крови и лизоцимная активность сыворотки крови.

Бактерицидная активность сыворотки крови обусловлена присутствием в ней биологически активных веществ, которые, взаимодействуя с микроорганизмом, оказывают на него бактериостатическое или бактерицидное воздействие.

Лизоцимная активность сыворотки крови определяется действием фермента лизоцима, расщепляющего мукополисахариды, составляющие структуру клеточной стенки микроба. В результате нарушения целостности оболочки клетки изменяется внутреннее осмотическое давление, что приводит к её разрушению (лизису). Помимо этого, лизоцим в условиях инфекции стимулирует процессы фагоцитоза [17].

Изучение показателей лизоцимной и бактерицидной активностей сыворотки крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» показано в таблице 1.

Показано, что при сочетанном микотоксикозе происходило угнетение показателей неспецифической резистентности животных, проявляющееся снижением лизоцимной и бактерицидной активности сыворотки крови, которое составило 10,17 %, 15,43 % ($p < 0,05$), 22,07 % ($p < 0,01$) и 13,20 %, 20,53 % ($p < 0,01$), 28,60 % ($p < 0,01$) соответственно относительно группы биологического контроля на 7, 14 и 21 сутки исследования. При сравнении этих показателей с подопытными группами показано менее выраженное снижение относительно биологического контроля и повышение относительно крыс токсического контроля соответственно. Актив-

ность лизоцима в сыворотке крови крыс третьей, четвертой и пятой групп в отношении тест культуры *Micrococcus lysodeikticus* была выше на 10,72 %, 19,73 % ($p < 0,05$), 16,87 % ($p < 0,05$) на 21 сутки исследования относительно показателей группы токсического контроля. Дозы кормовой добавки 0,25 и 0,5 % обладали наиболее выраженным протективным

эффектом. В отношении бактерицидной активности наблюдались те же тенденции. К 21 суткам исследования снижение в токсическом контроле составило 28,60 % ($p < 0,01$), группе, получавшей кормовую добавку в дозе 0,1 % – 16,15 % ($p < 0,05$); 0,25 % – 8,58 %; 0,5 % – 9,42 % относительно группы биологического контроля соответственно.

Таблица 1 – Изучение показателей лизоцимной и бактерицидной активностей сыворотки крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» (n=6)

Сутки	Группа/Показатель				
	1	2	3	4	5
	Лизоцимная активность, %				
7	44,99±1,68	40,42±2,13	43,14±2,01	44,66±1,22	43,77±1,72
14	43,55±1,86	36,83±1,37*	39,85±1,26	42,06±1,63	40,84±1,86
21	45,72±1,92	35,63±1,65**	39,45±1,40*	42,66±1,34	41,64±1,96
	Бактерицидная активность, %				
	1	2	3	4	5
	Бактерицидная активность, %				
7	22,05±1,74	19,14±0,94	20,38±1,23	21,37±1,18	20,88±1,04
14	23,48±1,7	18,66±1,05**	20,51±1,06	22,01±1,08	21,58±1,13
21	23,22±1,35	16,58±0,74**	19,47±1,34*	21,23±1,14	21,03±1,52

Примечания: 1 * – $p < 0,05$; 2 ** – $p < 0,01$; 3 *** – $p < 0,001$.

Таблица 2 – Изучение показателей фагоцитарной крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб»(n=6)

Сутки	Группа/Показатель				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарная активность (ФА), %				
7	64,67±2,42	59,17±2,48	61,33±2,66	63,17±2,79	61,83±2,14
14	62,17±2,32	51,50±2,07*	56,00±2,45	60,00±1,10	57,17±1,47
21	64,00±1,79	48,33±1,75**	54,83±1,47*	58,67±1,37	58,00±2,28
	Фагоцитарный индекс (ФИ), %				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарный индекс (ФИ), %				
7	8,28±0,43	7,71±0,25	8,00±0,26	8,19±0,37	8,11±0,31
14	8,61±0,62	7,47±0,18*	8,02±0,32	8,32±0,19	8,18±0,25
21	8,39±0,19	6,92±0,15*	7,77±0,23	7,96±0,23	7,87±0,20
	Фагоцитарное число (ФЧ)				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарное число (ФЧ)				
7	5,35±0,22	4,56±0,28*	4,91±0,32	5,18±0,35	5,02±0,33
14	5,34±0,21	3,85±0,22**	4,49±0,10*	4,99±0,11	4,68±0,11
21	5,37±0,07	3,34±0,09***	4,26±0,13**	4,67±0,18	4,56±0,22*
	Фагоцитарная емкость (ФЕ)				
	1	2	3	4	5
	Фагоцитарная емкость (ФЕ)				
7	77,17±6,52	55,79±7,30*	66,94±7,41	71,93±4,08	68,31±7,14
14	79,80±3,23	42,41±5,88***	60,12±4,34* *	68,95±5,36	63,77±3,99
21	75,11±1,92	40,24±2,43***	51,80±2,37*	59,54±5,77	57,39±5,59

Таким образом, применение кормовой добавки способствовало повышению неспецифической резистентности организма крыс по показателям лизоцимной и бактерицидной активности сыворотки крови.

Показатели фагоцитарной активности крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» представлены в таблице 2.

Оценка функциональной активности нейтрофилов проводилась на основе анализа показателей фагоцитоза. К ним относились: процент нейтрофилов, проявляющих фагоцитарную активность (то есть активно поглощающих микроорганизмы); среднее количество микробных частиц, приходящихся на один нейтрофил (фагоцитарный индекс); среднее число микроорганизмов, обнаруженных внутри активных нейтрофилов (фагоцитарное число), и общая фагоцитарная активность, оцениваемая через фагоцитарную емкость.

Из таблицы 2 видно, что сочетанный микотоксикоз сопровождался угнетением естественной резистентности животных. Так во второй группе крыс показатели фагоцитарной активности составили на 7, 14 и 21 сутки эксперимента $59,17 \pm 2,48$, $51,50 \pm 2,07$, $48,33 \pm 1,75$, фагоцитарного числа $4,56 \pm 0,28$, $3,85 \pm 0,22$, $3,34 \pm 0,09$, фагоцитарного индекса $7,71 \pm 0,25$, $7,47 \pm 0,18$, $6,92 \pm 0,15$ и фагоцитарной емкости $55,79 \pm 7,30$, $42,41 \pm 5,88$, $40,24 \pm 2,43$, что ниже на 8,51 %, 17,16 % ($p < 0,05$) и 24,48 % ($p < 0,01$); 14,76 % ($p < 0,05$), 28,04 % ($p < 0,01$), 37,68 % ($p < 0,001$); 6,92 %, 13,33 % ($p < 0,05$), 17,47 % ($p < 0,05$) и 27,71 % ($p < 0,05$), 46,86 % ($p < 0,001$), 46,63 % ($p < 0,001$) % соответственно показателей крыс группы биологического контроля. Снижение фагоцитарной активности нейтрофилов было сопряжено с подавлением их поглотительной способности и емкости.

Добавление к основному рациону кормовой добавки нивелировало иммуносупрессивное влияние микотоксинов с оптимумом в дозе 0,25-0,5 %.

Лейкоциты играют важную роль в поддержании гомеостаза внутри и вне клеток организма животных, участвуя в нейтрализации разнообразных экзо- и эндотоксинов. Исследование лейкоцитарного профиля крови служит одним из методов оценки уровня выраженности интоксикации в организме животных и людей, давая возможность делать выводы о функционировании иммунитета и развитии неспецифических адаптационных механизмов.

Было показано, что микотоксины вызывают значительные патологические изменения в органах лейкопоза, приводя к угнетению иммунной системы, нарушению формирования лимфоцитов и их снижению.

Развивающаяся лейкопения (таблица 3) регистрировалась на фоне низкого содержания лимфоцитов, что свидетельствует об угнетении костномозгового лейкопоза. Снижение относительного содержания лимфоцитов в группе токсического контроля составило 11,22 %, 29,57 % ($p < 0,01$) и 43,25 % ($p < 0,001$) относительно первой группы крыс на 7, 14 и 21 сутки опыта. Наиболее выраженный эффект от добавления кормовой добавки отмечен в четвертой группе, тогда как доза 0,1 % от рациона приводила к достоверному изменению этого показателя к 21 суткам на 18,29 % ($p < 0,05$).

Из таблицы 3 видно, что во второй группе отмечено достоверное прогрессирующее снижение абсолютного количества лейкоцитов, начиная с 14 суток опыта, которое к 21 суткам достигало 39,88 % ($p < 0,001$). В подопытных третьей, четвертой и пятой группах отмечался дозозависимый эффект, при этом наименее выраженные изменения в количестве лейкоцитов отмечены при использовании кормовой добавки в дозе 0,25%, составившие 3,43, 7,37 и 8,81 % соответственно на 7, 14 и 21 сутки исследования.

Нарушение иммуногенеза сопровождалось также достоверным снижением относительного содержания Т и В лимфоцитов к 21 суткам исследования в группе токсического контроля, которое составило 21,10 % ($p < 0,01$) и 20,76 % ($p < 0,01$)

соответственно. Снижение относительно количества Т-лимфоцитов может свидетельствовать о недостаточности клеточного иммунитета, а именно клеточно-эффекторного звена. При добавлении в корм галлуасорба в дозе 0,1 % к 21 суткам также отмечалось достоверное сни-

жение ($p < 0,05$) соответственно на 12,75 и 11,31 %. Использование кормовой добавки в дозах 0,25-0,5 % не приводило к достоверным изменениям в процентном содержании Т и В лимфоцитов относительно биологического контроля.

Таблица 3 – Изучение иммунологических показателей крови белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения различных доз кормовой добавки «Галлуасорб» (n=6)

Сутки	Группа/Показатель				
	1	2	3	4	5
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$					
7	14,43±1,27	12,20±1,03*	13,63±1,03	13,93±0,92	13,63±1,42
14	14,92±0,93	11,00±1,07**	13,40±0,84	13,82±1,00	13,65±0,97
21	14,00±0,34	8,42±0,89***	12,03±0,62*	12,77±1,30	12,57±0,88
Лимфоциты, %					
7	60,77±1,92	53,95±2,32	57,02±2,04	59,18±1,88	58,38±2,45
14	61,88±1,93	43,58±1,53**	54,20±2,32	59,78±1,83	56,85±2,25
21	60,50±1,47	34,33±1,49***	50,17±1,68*	55,70±2,38	53,08±2,18
Т-лимфоциты, %					
7	42,73±2,32	39,00±1,50	42,02±1,85	42,58±2,01	42,22±2,30
14	41,98±1,00	36,23±1,46	37,57±1,78	40,37±1,78	39,35±2,10
21	40,92±1,04	32,28±1,85**	35,70±1,45*	37,93±2,10	36,67±2,03
В-лимфоциты, %					
7	16,53±1,35	15,33±1,08	16,33±0,41	16,30±0,73	16,65±0,79
14	18,57±1,25	16,40±0,87	17,20±1,00	18,12±1,35	17,57±0,73
21	17,98±0,9	14,25±1,16**	15,95±1,18*	16,65±0,57	16,22±0,95

Примечания: 1 * – $p < 0,05$; 2 ** – $p < 0,01$; 3 *** – $p < 0,001$.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Показано, что кормовая добавка «Галлуасорб» обладает иммуномодулирующим потенциалом при сочетанном микотоксикозе. Наиболее эффективными в снижении токсического действия Т-2 токсина, зеараленона и афлатоксина В₁ по параметру иммуномодулирующего потенциала являлись дозы 0,25-0,5 % от рациона.

В связи с тем, что защитный эффект при использовании дозы 0,5 % достоверно не отличался от дозы 0,25 %, был сделан вывод, что добавление при подостром микотоксикозе кормовой добавки «Галлуасорб» в дозе 0,25 % от рациона является наиболее оптимальным с экономической точки зрения, так как увеличение дозы с 0,25 % до 0,5 % не приводит к

повышению эффективности. Однако необходима дальнейшая отработка дозы на продуктивных животных.

Таким образом, применение кормовой добавки способствовало повышению неспецифической резистентности организма крыс по показателям гуморальной и клеточной защиты организма. Эффективность иммуномодулирующего потенциала имела дозозависимый эффект и повышалась с увеличением дозы галлуасорба с 0,1 % до 0,25 %. Эти результаты подтверждают целесообразность использования разработанной в ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» кормовой добавки «Галлуасорб» для смягчения вызванной микотоксинами иммуносупрессии, открывая новые возможности для эффективной профилактики сочетанных подострых

МИКОТОКСИКОЗОВ.

EVALUATION OF THE IMMUNOMODULATING POTENTIAL OF VARIOUS DOSES OF THE FEED ADDITIVE "GALLUASORB" IN COMBINED MYCOTOXICOSIS

Tarasova E.Yu. * – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Veterinary Sanitation, Leading Researcher (ORCID 0000-0002-9056-5798); **Kashchevarov G.S.** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Morphological Studies, Senior Researcher (ORCID 0000-0002-4520-7596); **Matrosova L.E.** – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Mycotoxins (ORCID 0000-0001-7428-7882); **Khammadox N.I.** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Molecular Genetic Analysis, Leading Researcher (ORCID 0000-0001-5669-1486); **Tanaseva S.A.** – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Mycotoxins (ORCID 0000-0003-1295-6184)

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety

* evgenechka1885@gmail.com

Financing: *This work was supported by a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, research organizations, and other organizations to support human resource development plans to encourage their research and teaching staff to defend doctoral dissertations and conduct research. (Agreement No. 4/2025-PD-VNIVI, dated December 22, 2025)*

ABSTRACT

Immunotoxicity can be one of the most critical factors, with far-reaching consequences, leading to significant economic losses in the livestock industry. Therefore, the search for protective strategies against immunotoxicity caused by the simultaneous presence of several of the most dangerous mycotoxins in animal feed is urgent. The

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety has developed a multifunctional feed additive, "Galluasorb," based on halloysite from a domestic deposit. The composition of the feed additive has been carefully developed based on the pathogenesis of mycotoxicoses and includes, in addition to halloysite, methionine, milk thistle meal and β -glucans. The aim of the study was to evaluate the immunomodulatory potential of various doses of the feed additive "Galluasorb" in combined mycotoxicosis of white rats. The experiments were conducted on 60 white rats weighing 150-170 g, which were divided into five groups of twelve rats each. To reproduce mycotoxicosis and evaluate the immunomodulatory potential of the feed additive, rats of the second through fifth groups with a basic diet were given crystalline mycotoxins for 21 days: aflatoxin B1 - 2.5 mg/kg; T-2 toxin - 5 mg/kg; Zearalenone - 2.0 mg/kg of feed, rats of the third, fourth, and fifth groups additionally received 0.1, 0.25, and 0.5% of the feed additive from the diet. On days 7, 14, and 21 of the experiment, the parameters of humoral (B-lymphocytes, bactericidal, and lysozyme activity of blood serum) and cellular defense of the body (the content of T-lymphocytes, leukocytes, and lymphocytes, phagocytic activity of neutrophils, including the phagocytic index, phagocytic number, and phagocytic capacity) were studied. It was shown that the feed additive "Galluasorb" has an immunomodulatory potential in combined mycotoxicosis. Doses of 0.25-0.5% of the diet were the most effective in reducing the toxic effects of T-2 toxin, zearalenone, and aflatoxin B1. However, in case of subacute mycotoxicosis, adding the feed additive "Galluasorb" at a dose of 0.25% of the diet is the most optimal from an economic point of view, since increasing the dose from 0.25% to 0.5% does not lead to increased effectiveness.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка экономической эффективности применения комплексного адаптогенного средства для профилактики микотоксикоза цыплят-бройлеров / К. В. Юсупова, Н.

- Н. Мишина, Я. Б. Стрельцова, Д. Р. Сагдеев // Ветеринарный врач. – 2025. – № 3. – С. 51-59. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_3_51.
2. Изучение комбинированного действия фузариотоксинов в различных дозах на организм белых крыс / Н. Н. Мишина, А. В. Софронова, М. А. Ерохондина [и др.] // Ветеринарный врач. – 2025. – № 4. – С. 32-38. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_4_32.
3. Structure-toxicity relationships, toxicity mechanisms and health risk assessment of food-borne modified deoxynivalenol and zearalenone: A comprehensive review / L. Qian, L. Jiao-Yang, R. Hao-Nan, W. Chang-Jian, Y. Mei-Hua // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 806(3). – P. 151192. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151192>.
4. Мухарлямова, А. З. Определение уровня загрязнения кормов афлатоксином В1 / А. З. Мухарлямова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2023. – Т. 9, № 2(34). – С. 162-167. – <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-162-167>.
5. Эффективность кормовой добавки «Комплисорбин», применяемой цыплятам-бройлерам при полимиктоксикозе в условиях производства / Н. Н. Мишина, Г. Г. Галаяутдинова, Э. И. Семенов [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 3. – С. 123-128. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67852950>.
6. Изучение сорбционной активности биосорбентов по отношению к Т-2 токсину / А. Ш. Садыкова, Е. Ю. Тарасова, Л. Е. Матросова [и др.] // Ветеринарный врач. – 2021. – № 3. – С. 45-52. – <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-3-45-52>.
7. Toxic effects of subchronic T-2 toxin exposure on systemic immune deficiency in developing juvenile rats / F. Meng, J. Zhou, H. Wang [et al.] // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2025. – Vol. 302. – P. 118653. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118653>.
8. Изучение защитного действия профилактических комплексов на ультраструктуру гепатоцитов кроликов при сочетанном микотоксикозе / Е. Ю. Тарасова, Г. С. Кашеваров, В. Р. Саитов [и др.] // Ветеринарный врач. – 2023. – № 1. – С. 57-63. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_1_57.
9. Oxidative stress, glutathione, and gene expression as key indicators in SH-SY5Y cells exposed to zearalenone metabolites and beauvericin / F. Agahi, N. Álvarez-Ortega, G. Font [et al.] // Toxicology Letters. – 2020. – Vol. 334. – P. 44-52. – <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.09.011>.
10. Matrix-associated mycotoxins in foods, cereals and feedstuffs: A review on occurrence, detection, transformation and future challenges / H. Tan, H. Zhou, T. Guo [et al.] // Crit Rev Food Sci Nutr. – 2024. – Vol. 64(11). – P. 3206-3219. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131724>.
11. Multi-omics reveals the protective effects of curcumin against AFB1-induced oxidative stress and inflammatory damage in duckling intestines / Jiang X., Liu H., You Y. [et al.] // Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. – 2024. – Vol. 276. – P. 109815. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023>.
12. Mycotoxins binder supplementation alleviates aflatoxin B1 toxic effects on the immune response and intestinal barrier function in broilers / L. Yujiao, S. Meng, H. Yang [et al.] // Poultry Science. – 2022. – Vol. 101(3). – P. 101683. – <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101683>.
13. Фримель, Г. Иммунологические методы / Г. Фримель, А.П. Тарасов. – М.: Медицина, 1987. – 472 с.
14. Смирнова, О. В. Определение бактерицидной активности сыворотки крови методом фотонейфелометрии / О. В. Смирнова, Т. А. Кузьмина // ЖМЭИ. – 1966. – № 4. – С. 8-11.
15. Дорофейчук В. Г. Определение активности лизоцима нефелометрическим методом / В. Г. Дорофейчук // Лаб. дело. – 1968. – № 1. – С. 28-30.
16. Кост, С. А. Определение фагоцитарной активности лейкоцитов / С. А. Кост, М. И. Стенко // Клиническая гематология

животных. – М.: Колос, 1974. – С. 99-100.
17. Естественная резистентность кроликов при скармливании пробиотической кормовой добавки Биогумитель / И. В. Миронова, Е. Н. Черненко / Известия ОГАУ. – 2017. – №1(63). – С. 115-117. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/estestvennaya-rezistentnost-krolikov-pri-skarmlivanii-probioticheskoy-kormovoy-dobavki-biogumitel>.

REFERENCES

1. Evaluation of the economic efficiency of using a complex adaptogenic agent for the prevention of mycotoxicosis in broiler chickens / K. V. Yusupova, N. N. Mishina, Ya. B. Streltsova, D. R. Sagdeev // *The Veterinarian*. – 2025. – No. 3. – P. 51-59. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_3_51. (In Russ.)
2. Изучение комбинированного действия фузариотоксинов в различных дозах на организм белых крыс / Н. Н. Мишина, А. В. Софронова, М. А. Ерохондина [и др.] // *Ветеринарный врач*. – 2025. – № 4. – С. 32-38. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_4_32. Study of the combined effect of fusariotoxins in various doses on the body of white rats / N. N. Mishina, A. V. Sofronova, M. A. Erokhondina [et al.] // *The Veterinarian*. – 2025. – No. 4. – P. 32-38. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2025_4_32. (In Russ.)
3. Structure-toxicity relationships, toxicity mechanisms and health risk assessment of food-borne modified deoxynivalenol and zearalenone: A comprehensive review / L. Qian, L. Jiao-Yang, R. Hao-Nan, W. Chang-Jian, Y. Mei-Hua // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 806(3). – 151192. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151192>.
4. Mukharlyamova, A. Z. Determination of the level of feed contamination with aflatoxin B1 / A. Z. Mukharlyamova // *Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic Sciences*. – 2023. – Vol. 9, No. 2 (34). – P. 162-167. – <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-162-167>. (In Russ.)
5. Efficiency of the feed additive "Complisorbin" used to broiler chickens with polymyctoxicosis under production conditions / N. N. Mishina, G. G. Galyautdinova, E. I. Semenov [et al.] // *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. – 2024. – No. 3. – P. 123-128. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67852950>. (In Russ.)
6. Study of the sorption activity of biosorbents in relation to T-2 toxin / A. Sh. Sadykova, E. Yu. Tarasova, L. E. Matrosova [et al.] // *The Veterinarian*. – 2021. – No. 3. – P. 45-52. – <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-3-45-52>. (In Russ.)
7. Toxic effects of subchronic T-2 toxin exposure on systemic immune deficiency in developing juvenile rats / F. Meng, J. Zhou, H. Wang □ et al. □ // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2025. – Vol. 302. – 118653. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118653>.
8. Study of the protective effect of prophylactic complexes on the ultrastructure of rabbit hepatocytes with combined mycotoxicosis / E. Yu. Tarasova, G. S. Kashevarov, V. R. Saitov [et al.] // *The Veterinarian*. – 2023. – No. 1. – P. 57-63. – https://doi.org/10.33632/1998-698X_2023_1_57. (In Russ.)
9. Oxidative stress, glutathione, and gene expression as key indicators in SH-SY5Y cells exposed to zearalenone metabolites and beauvericin / F. Agahi, N. Álvarez-Ortega, G. Font □ et al. □ // *Toxicology Letters*. – 2020. – Vol. 334. – P. 44-52. – <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.09.011>.
10. Matrix-associated mycotoxins in foods, cereals and feedstuffs: A review on occurrence, detection, transformation and future challenges / H. Tan, H. Zhou, T. Guo □ et al. □ // *Crit Rev Food Sci Nutr*. – 2024. – Vol. 64(11). – P. 3206-3219. – <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2131724>.
11. Multi-omics reveals the protective effects of curcumin against AFB1-induced oxidative stress and inflammatory damage in duckling intestines / Jiang X., Liu H., You Y. □ et al. □ // *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*. – 2024. – Vol. 276. – 109815. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023>.
12. Mycotoxins binder supplementation alle-

- viates aflatoxin B1 toxic effects on the immune response and intestinal barrier function in broilers / L. Yujiao , S. Meng , H. Yang □ et al. □ // Poultry Science. – 2022. – Vol. 101 (3). – 101683. – <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101683>.
13. Frimel, G. Immunological methods / G. Frimel, A.P. Tarasov. – М.: Medicine, 1987. – 472 p. (In Russ.)
14. Smirnova, O. V. Determination of bactericidal activity of blood serum by photonephelometry / O. V. Smirnova, T. A. Kuzmina // ZhMEI. – 1966. – No. 4. – P. 8-11. (In Russ.)
15. Dorofeychuk, V. G. Determination of lysozyme activity by nephelometric method / V. G. Dorofeychuk // Lab. delo. – 1968. – No. 1. – P. 28-30. (In Russ.)
16. Kost, S.A. Determination of phagocytic activity of leukocytes / S. A. Kost, M. I. Stenko // Clinical hematology of animals. – М.: Kolos, 1974. – P. 99-100. (In Russ.)
17. Natural resistance of rabbits when fed the probiotic feed additive Biogumitel / I. V. Mironova, E. N. Chernenkov / Bulletin of the OGAU. – 2017. – No. 1 (63). – P. 115-117. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/estestvennaya-rezistentnost-krolikov-pri-skarmlyivanii-probioticheskoy-kormovoy-dobavki-biogumitel>. (In Russ.)