

Л.Р. Валиуллин^{1, 2} ✉
Р.С. Мухаммадиев¹
А.И. Самсонов¹
А.И. Яруллин¹
Д.Н. Мингалеев¹
Ю.В. Зуева²
М.А. Севостьянов²
М.Г. Барышев²
А.М. Ежкова³

¹Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Одинцово, Россия

³Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, Казань, Россия

✉ LRValiullin@yandex.ru

Поступила в редакцию: 13.07.2024

Одобрена после рецензирования: 16.09.2024

Принята к публикации: 30.09.2024

© Валиуллин Л.Р., Мухаммадиев Р.С., Самсонов А.И., Яруллин А.И., Мингалеев Д.Н., Зуева Ю.В., Севостьянов М.А., Барышев М.Г., Ежкова А.М.

Lenar R. Valiullin^{1, 2} ✉
Rinat S. Muhammadiev¹
Andrey I. Samsonov¹
Ainur I. Yarullin¹
Danil Mingaliev¹
Julia Zueva¹
Mikhail A. Sevostyanov²
Mikhail Baryshev²
Asia M. Yezhkova³

¹Federal Center for toxicological, radiation, and biological safety, Kazan, Russia

²All-Russia Research Institute of Phytopathology, Odintsovo, Russia

³Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman, Kazan, Russia

✉ LRValiullin@yandex.ru

Received by the editorial office: 13.07.2024

Accepted in revised: 16.09.2024

Accepted for publication: 30.09.2024

© Valiullin L.R., Muhammadiev R.S., Samsonov A.I., Yarullin A.I., Mingaliev D.N., Zueva J.V., Sevostyanov M.A., Baryshev M.G., Yezhkova A.M.

Снижение опасности токсинов фитопатогенов с помощью композиции органоминерального происхождения

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Загрязнение токсинами фитопатогенов или микотоксинами продовольственного и кормового сырья растительного происхождения представляет серьезную угрозу для получения высококачественной и безопасной агропродукции. Снижение рисков загрязнения растительного сырья микотоксинами зависит от эффективного использования биопрепаратов для уменьшения токсичности микотоксинов.

Методы. Опыты проводили на первичных клетках печени крысы. Первичные клетки печени культивировались в среде DMEM в присутствии 10% фетальной телячьей сыворотки при 37 °C и 5% CO₂. Зеараленон и Т-2 токсин растворяли в смеси ДМСО и 96%-ного спирта в соотношении 1:1. Зеараленон, Т-2-токсин и защитные композиции смешивали и выдерживали совместно в течение 6 часов, после экспозиции добавляли в среду с клеточным монослоем. Концентрацию композиции на бактериальной основе КМБИ-3 для исследований использовали в трех вариантах: 0,4 мг/мл, 2 мг/мл и 4 мг/мл. После 24 часов культивирования клеточный слой с помощью инвертированного микроскопа оценивали по следующим параметрам: процент покрытия поверхности, форма клеток, количество клеточных агрегатов, количество плавающих клеток.

Результаты. Выявлено дозозависимое снижение жизнеспособности клеток при воздействии зеараленона и Т-2 токсина, наибольший токсический эффект наблюдался в дозах от 0,5 × 10⁻⁴ и 8,6 × 10⁻⁸ М и 2,14 × 10⁻⁷ М соответственно. При использовании защитной композиции КМБИ-3 в дозе 4 мг/мл наблюдалось наименьшее отрицательное воздействие зеараленона и Т-2 токсина на клеточную культуру. Применение композиции органоминерального происхождения КМБИ-3 способствует повышению жизнеспособности клеток при воздействии токсинов зеараленона и Т-2 токсина, что свидетельствует об активизации пролиферативных процессов в сравнении с группой без применения препаратов. Использование биопрепарата КМБИ-3 снижает патогенное воздействие зеараленона и Т-2 токсина на клеточную культуру, повышает устойчивость клеток печени к воздействию токсинов фитопатогенов.

Ключевые слова: фитопатогены, микотоксины, зеараленон, Т-2 токсин, культура клеток, жизнеспособность, биопрепараты

Для цитирования: Валиуллин Л.Р. и др. Снижение опасности токсинов фитопатогенов с помощью композиции органоминерального происхождения. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 62–66. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-62-66>

Reducing the danger of phytopathogen toxins by using an organomineral composition

ABSTRACT

Relevance. Contamination by toxins of phytopathogens or mycotoxins of food and feed raw materials of plant origin poses a serious threat to the production of high-quality and safe agricultural products. Reducing the risks of contamination of plant raw materials with mycotoxins depends on the effective use of biological products to reduce the toxicity of mycotoxins.

Methods. Experiments were carried out on primary rat liver cells. Primary liver cells were cultured in DMEM medium in the presence of 10% fetal calf serum at 37°C and 5% CO₂. Zearalenone and T-2 toxin were dissolved in a mixture of DMSO and 96% alcohol in a ratio 1:1. Zearalenone T-2 toxin and protective compositions were mixed and aged together for 6 hours and after exposure added to a medium with a cellular monolayer. The concentration of bacterial-based compositions KMBI-3 and KMCI-3 was used for research in three variants: 0.4 mg/ml, 2 mg/ml, 4 mg/ml. After 24 hours of cultivation, the cell layer was evaluated using an inverted microscope according to the following parameters: percentage of surface coverage, cell shape, number of cell aggregates, number of floating cells.

Results. A dose-dependent decrease in cell viability was revealed when exposed to zearalenone and T-2 toxin, the most toxic effect was observed at doses from 0.5 × 10⁻⁴ and 8.6 × 10⁻⁸ M and 2.14 × 10⁻⁷ M, respectively. When using the protective composition KMBI-3 at a dose of 4 mg/ml, the least negative effect of zearalenone and T-2 toxin on cell culture was observed. The use of compositions of organomineral origin KMBI-3 helps to increase cell viability when exposed to the toxins zearalenone and T-2 toxin, which indicates the activation of proliferative processes in comparison with the group without the use of drugs. The use of the biopreparation KMBI-3 reduces the pathogenic effect of zearalenone and T-2 toxin on cell culture, increases the resistance of liver cells to the effects of phytopathogen toxins.

Key words: phytopathogens, mycotoxins, zearalenone, T-2 toxin, cell culture, viability, biologics

For citation: Valiullin L.R. et al. Reducing the danger of phytopathogen toxins by using an organomineral composition. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 62–66 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-62-66>

Введение/Introduction

Высокая контаминация микроскопическими грибами и их производными — микотоксинами — продовольственного сырья и пищевых продуктов является одной из основных проблем во всем мире. Микотоксины — это токсичные химические вещества, вырабатываемые такими видами грибов, как *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus* и *Penicillium*, которые либо фитотоксичны, либо вредны для здоровья человека и животных. Доказано, что борьба с фитопатогенами, вызывающими образование фузариотоксинов, является сложной из-за высокой распространенности продуцента и изменчивости генетического аппарата [1, 2].

Биотрофные грибы фузариум извлекают питательные вещества из живых клеток и тканей организма хозяина за счет продуцирования ими токсинов и гидролитических ферментов, нарушающих метаболические пути на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Грибы рода *Fusarium*, продуцирующие микотоксины, являются основными патогенами в зерновых культурах, таких как пшеница, овес, ячмень и кукуруза [2]. Вторичные метаболиты грибов, такие как фумонизины, Т-2 токсин, дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон и другие, могут вызывать различные патологические процессы в организме животных и человека [3, 4].

Зеараленон (ZEA) (ранее известный как токсин F-2) — это нестероидный эстрогенный микотоксин, нарушает репродуктивную функцию у млекопитающих. Наиболее чувствительными к зеараленону среди сельскохозяйственных животных являются свиньи. В настоящее время нет эффективного лекарственного препарата от данного токсина [3, 4].

Токсическое действие ZEA на свиней связано с гипертрофией вульвы и яичников, но не с увеличением молочных желез и матки. При кормлении поросят и свиноматок рационом, содержащим 3,61 мг/кг ZEA, с периода полового созревания до стадии спаривания примерно у 45% этих свинок развились псевдобеременности, вызванные ZEA. Высокие концентрации ZEA индуцируют апоптоз и нарушают пролиферацию гранулезных клеток свиней дозозависимым образом. Опасность зеараленона заключается в том, что он вызывает нарушение трансмембранности митохондрий свиней [5–7].

Токсин Т-2 обладает липофильным характером и может немедленно всасываться из пищеварительного тракта или через слизистые оболочки дыхательных путей [6]. Печень является основным органом метаболизма токсина после его всасывания. После приема внутрь токсин быстро всасывается и выводится с калом и мочой. Период полураспада Т-2 токсина в плазме короткий, элиминация обычно завершается в течение 48 часов в зависимости от режима введения потребляемого количества и видоспецифических различий [7, 8].

В исследованиях *in vitro* с клетками печени животных и человека было показано, что Т-2 токсин слабо метаболизируется гепатоцитами в связи с нарушением ферментной секреции клеток [9–12].

Цель исследования — изучение влияния на первичные клетки печени метаболитов фитопатогенов зеараленона и Т-2 токсина в условиях *in vitro* на фоне применения защитных композиций органоминерального происхождения.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работа выполнена с января по июнь 2024 года на базе лаборатории кормов и кормовых добавок Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности» (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», Казань, Россия).

Объекты исследования: композиция органоминерального происхождения КМБИ-3 (ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», Россия), изготовлена из консорциума живых молочно-кислых микроорганизмов *Lactobacillus plantarum*, спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* в среде культивирования; бентонит, полученный с месторождений, расположенный на территории Республики Татарстан; пиримидиновое основание (5-гидроксид-6-метилурацил). В 1 г КМБИ-3 содержится *Lactobacillus plantarum* — не менее 1×10^9 КОЕ (колониеобразующих единиц), *Bacillus subtilis* — не менее 1×10^9 КОЕ, бентонита — не менее 900 мг, 5-гидроксид-6-метилурацила — не менее 100 мг.

Для изучения защитной эффективности композиции органоминерального происхождения КМБИ-3 при содействии воздействию токсинов фитопатогенов в качестве модели использовали первичные клетки печени и микотоксины зеараленон и Т-2 токсин (ООО НПК «Эврика», Россия).

Первичные клетки печени выделяли из печени лабораторных крыс в лаборатории культур клеток и питательных сред ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» согласно общепринятой методике [13].

В опытах были использованы беспородные белые крысы, самцы и самки, с живой массой от 180 до 200 г. В опыт брали клинически здоровых животных, содержащихся на стандартном рационе и прошедших до начала эксперимента 14-дневный карантин¹.

Эксперименты на животных при получении первичных гепатоцитов проводили согласно правилам, изложенным в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза² и статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ³.

Первичные клетки печени культивировались в среде DMEM («ПанЭко», Россия) с добавлением 10% фетальной телячьей сыворотки («ПанЭко», Россия) при 37 °С и 5% CO₂. Клетки высевали в 96-луночные культуральные планшеты в концентрации 5000 кл/мл, выращивали в инкубаторе MCO-19AIC (Sanyo, Япония) во влажной атмосфере при температуре 37 °С и 5%. Зеараленон и Т-2 токсин растворяли в смеси ДМСО и 96%-ного спирта в соотношении 1:1.

Согласно концентрациям токсинов фитопатогенов проведено распределение на 13 экспериментальных групп клеток печени (контрольная группа и 12 опытных групп): 1-я группа — контрольная, содержащая монослой клеток печени, смесь ДМСО и 96%-ного спирта в соотношении 1:1 (без добавления зеараленона и Т-2 токсина); 2-я группа — опытная, содержащая клетки печени, защитную композицию, зеараленон и Т-2 токсин в дозах 1×10^{-6} и $1,07 \times 10^{-9}$ М; 3–13-я группы — опытные, содержащие клетки печени, защитную композицию, зеараленон и Т-2 токсин в дозах $0,25 \times 10^{-5}$ и $10,7 \times 10^{-9}$, $0,5 \times 10^{-5}$ и $21,5 \times 10^{-9}$, 1×10^{-5} и $42,9 \times 10^{-9}$, $0,25 \times 10^{-4}$ и $6,4 \times 10^{-8}$, $0,5 \times 10^{-4}$ и $8,6 \times 10^{-8}$, 1×10^{-4} и $10,7 \times 10^{-8}$,

¹ ГОСТ 33215-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур.

² Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, применяющихся для научных целей.

³ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

$0,25 \times 10^{-3}$ и $12,9 \times 10^{-8}$, $0,5 \times 10^{-3}$ и $1,5 \times 10^{-7}$, 1×10^{-3} и $1,7 \times 10^{-7}$, 2×10^{-3} и $1,9 \times 10^{-7}$, 3×10^{-3} и $2,14 \times 10^{-7}$ М соответственно (табл. 1).

Смесь зеараленона, Т-2 токсина и защитной композиции смешивали, выдерживали совместно в течение 6 часов и после экспозиции добавляли в среду с клеточным монослоем. Концентрацию композиции на бактериальной основе для исследований использовали в трех концентрациях: 0,4 мг/мл, 2 мг/мл и 4 мг/мл. После 24 часов культивирования клеточный слой оценивали по следующим параметрам: жизнеспособность клеток, форма и размер клеток, количество клеточных агрегатов, количество плавающих клеток. Подсчет клеток осуществляли в камере Горяева.

Пролиферативную активность клеточной культуры и ее жизнеспособность при совместном воздействии токсинов на фоне применения защитной композиции оценивали принятым методом окраски трипановым синим по количеству живых и мертвых клеток [3, 14].

Цитотоксичность токсинов на фоне применения защитной композиции определяли по выживаемости культуры клеток методом МТТ-теста, как описано ранее [3].

Подсчет клеток проводили с помощью оптического микроскопа Zeiss Axio Vert.A1 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Германия). Влияние исследуемых соединений на культурально-морфологические свойства клеток определяли с учетом: коэффициента жизнеспособности — отношение живых клеток к общему их количеству (в %); индекса пролиферации — отношение числа выросших клеток к числу засеянных [2]; процента гибели клеток — отношение мертвых клеток, оставшихся после экспозиции с соединением, к общему числу клеток после экспозиции с соединением [15, 16].

Статистическую обработку полученных данных осуществляли методом вариационной статистики с применением критерия достоверности по Стьюденту программы Microsoft Excel (США). Достоверными считали различия показателей в сравниваемых группах при 95% доверительной вероятности ($p \leq 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Основываясь на ранее полученных результатах по способности препарата КМБИ-3 к деструкции микотоксинов и об отсутствии токсичности в дозах 0,4 мг/мл, 2 мг/мл и 4 мг/мл [14, 15], дальнейшие исследования были направлены на моделирование снижения токсичности микотоксинов зеараленона и Т-2 токсина на клетки печени. Жизнеспособность клеточной культуры печени при совместном воздействии зеараленона и Т-2 токсина на фоне применения защитной композиции КМБИ-3 представлена на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что при воздействии зеараленона и Т-2 токсина на клеточную культуру жизнеспособность клеток во 2–5-й группах уменьшилась незначительно, в 6–13-й группах жизнеспособность клеток сократилась, соответственно, на 31,5%, 39,2%, 45,7%, 50,9%, 57,6%, 62,8%, 67,5% и 76,0% в сравнении с контролем. При использовании защитной композиции КМБИ-3 в дозе 4 мг/мл наблюдалось наименьшее отрицательное воздействие зеараленона и Т-2 токсина на клеточную культуру. Жизнеспособность клеток во 2–7-й группах уменьшилась незначительно, в 8–13-й группах жизнеспособность клеток снизилась, соответственно, на 27,3%, 30,9%, 34,0%, 38,7%, 43,0% и 50,8% в сравнении с контролем.

Пролиферативная активность клеточной культуры при совместном воздействии зеараленона и Т-2

Таблица 1. Содержание метаболитов зеараленона и Т-2 токсина при сочетанном влиянии на клетки печени

Table 1. Concentration of zearalenone metabolites and T-2 toxin with combined effect on liver cells

№ группы	Концентрация зеараленона, М/л	Концентрация Т-2 токсина, М/л
1	–	–
2	1×10^{-6}	$1,07 \times 10^{-9}$
3	$0,25 \times 10^{-5}$	$10,7 \times 10^{-9}$
4	$0,5 \times 10^{-5}$	$21,5 \times 10^{-9}$
5	1×10^{-5}	$42,9 \times 10^{-9}$
6	$0,25 \times 10^{-4}$	$6,4 \times 10^{-8}$
7	$0,5 \times 10^{-4}$	$8,6 \times 10^{-8}$
8	1×10^{-4}	$10,7 \times 10^{-8}$
9	$0,25 \times 10^{-3}$	$12,9 \times 10^{-8}$
10	$0,5 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-7}$
11	1×10^{-3}	$1,7 \times 10^{-7}$
12	2×10^{-3}	$1,9 \times 10^{-7}$
13	3×10^{-3}	$2,14 \times 10^{-7}$

Рис. 1. Жизнеспособность клеточной культуры печени при совместном воздействии зеараленона и Т-2 токсина на фоне применения защитной композиции КМБИ-3

Fig. 1. Viability of liver cell culture under combined exposure to zearalenone and T-2 toxin against the background of the use of the protective composition КМБИ-3

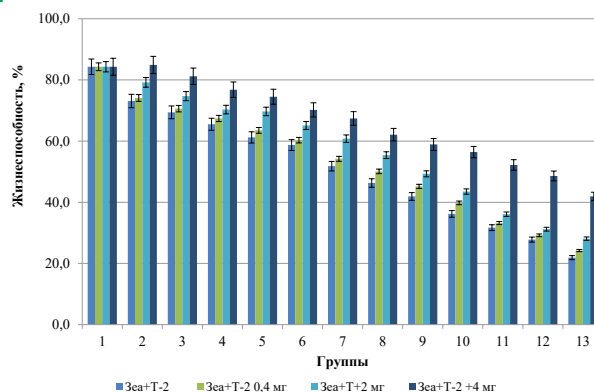
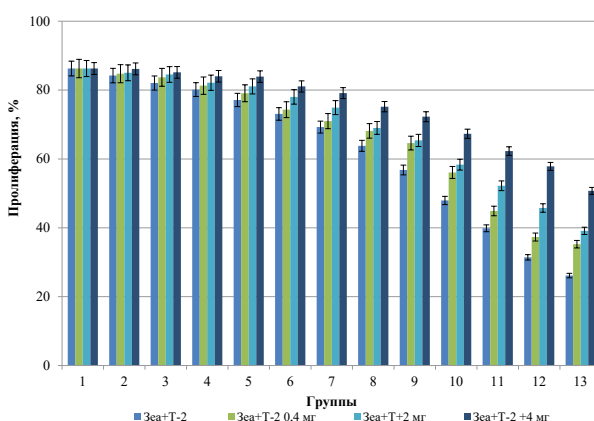


Рис. 2. Пролиферативная активность клеточной культуры при совместном воздействии зеараленона и Т-2 токсина на фоне применения защитной композиции КМБИ-3, %

Fig. 2. Proliferative activity of cell culture under combined action of zearalenone and T-2 toxin against the background of application of protective composition КМБИ-3, %



токсина на фоне применения защитной композиции КМБИ-3 представлена на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что при сочетанном воздействии зеараленона и Т-2 токсина на клеточную культуру пролиферативная активность во 2–6-й группах уменьшилась незначительно, в 7–13-й группах пролиферативная активность клеток уменьшилась, соответственно, на 18,7%, 25,1%, 34,3%, 43,8%, 51,9%, 63,0% и 78,4% в сравнении с контролем. При совместном

использовании зеараленона, Т-2 токсина и защитной композиции КМБИ-3 пролиферативная активность клеточной культуры во 2–8-й группах снизилась незначительно, в 9–13-й группах пролиферативная активность клеток сократилась, соответственно, на 15,2%, 20,3%, 26,9%, 32,8% и 40,1% в сравнении с контролем.

Исход цитотоксических доз при сочетанном воздействии зеараленона и Т-2 токсина на фоне применения защитной композиции КМБИ-3 представлен на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что при воздействии зеараленона и Т-2 токсина на клеточную культуру цитотоксичность во 2–6-й группах уменьшилась незначительно, в 7–13-й группах при воздействии зеараленона и Т-2 токсина наблюдалось понижение цитотоксического индекса, соответственно, на 18,7%, 24,6%, 32,0%, 41,0%, 58,7%, 64,0% и 78,4% в сравнении с контролем.

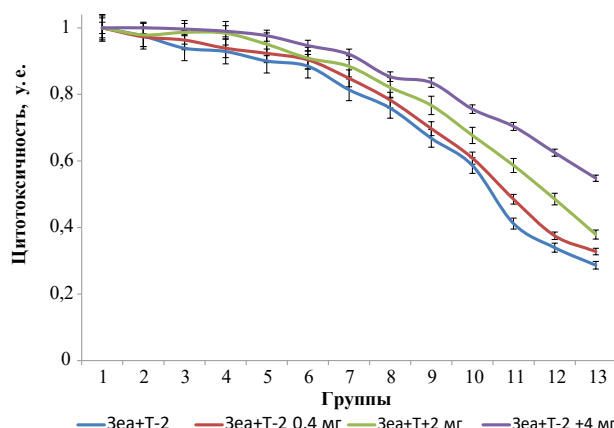
При воздействии зеараленона и Т-2 токсина на фоне использования композиции КМБИ-3 значительный положительный результат наблюдался при дозе 4 мг/мл. При совместном использовании Т-2 токсина и композиции КМБИ-3 цитотоксический индекс клеточной культуры во 2–8-й группах понизился незначительно, в 9–13-й группах величина цитотоксического индекса клеток сократилась относительно контроля на 17,1%, 24,3%, 30,5%, 38,0% и 45,1% соответственно.

Выводы/Conclusions

Изученные цитотоксические исследования токсинов фитопатогенов зеараленона и Т-2 токсина указывают на их способность снижать жизнеспособность, подавлять пролиферативную активность клеток в низких концентрациях.

Рис. 3. Исход цитотоксических доз при сочетанном воздействии зеараленона и Т-2 токсина на фоне применения защитной композиции КМБИ-3

Fig. 3. The outcome of cytotoxic doses with the combined effect of zearalenone and T-2 toxin against the background of the use of the protective composition KMBI-3



Применение КМБИ-3 показало эффективное снижение цитотоксичности зеараленона и Т-2 токсина более чем на 40% после сочетанного воздействия. Кроме того, анализ цитометрии клеток показал, что применение препарата КМБИ-3 в дозе 4 мг/мл вызвало значительное повышение жизнеспособности клеток печени при токсическом воздействии зеараленона и Т-2 токсина.

Полученные данные открывают понимание перспектив использования защитных композиционных препаратов для борьбы с фитопатогенами, их высокотоксичными метаболитами в сельскохозяйственном производстве.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект 23-26-00161).

FUNDING

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project 23-26-00161).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Будынов Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Динамика доминирующих факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской области. *Агрохимия*. 2021; (1): 62–69. <https://doi.org/10.31857/S0002188121010038>
- Соколова Г.Д., Будынов Н.И., Целипанова Е.Е., Глинущкин А.П. Разнообразие видов в комплексе *Fusarium solani* (*neocosmospora*) и их патогенность для растений и человека. *Микология и фитопатология*. 2022; 56(1): 3–15. <https://doi.org/10.31857/S0026364822010123>
- Мухаммадиев Р.С. и др. Оценка цитотоксичности трихотецена *Fusarium sp.* на линию рака молочной железы *in vitro*. *Сибирский онкологический журнал*. 2019; 18(6): 90–95. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2019-18-6-90-95>
- Pleadin J. *et al.* The effect of thermal processing on the reduction of deoxynivalenol and zearalenone cereal content. *Croatian journal of food science and technology*. 2019; 11(1): 44–51. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2019.11.1.06>
- Malekinejad H. *et al.* Exposure of Oocytes to the *Fusarium* Toxins Zearalenone and Deoxynivalenol Causes Aneuploidy and Abnormal Embryo Development in Pigs. *Biology of Reproduction*. 2007; 77(5): 840–847. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.062711>
- Valiullin L.R. *et al.* Search for antagonists to protect plant raw materials from pathogens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 663: 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012005>
- Statsyuk N.V., Popletayeva S.B., Shcherbakova L.A. Post-Harvest Prevention of Fusariotoxin Contamination of Agricultural Products by Irreversible Microbial Biotransformation: Current Status and Prospects. *BioTech*. 2023; 12(2): 32. <https://doi.org/10.3390/biotech12020032>

REFERENCES

- Budykov N.I., Mikhaleva S.N., Proskurin A.V. Dynamics of dominant facultative parasites of fungal nature in field agrocenoses with minimal soil treatment in the western part of the Volgograd region. *Agricultural Chemistry*. 2021; (1): 62–69 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121010038>
- Sokolova G.D., Budykov N.I., Tselipanova E.E., Glinushkin A.P. Species diversity in *Fusarium solani* complex (*neocosmospora*) and its pathogenicity for plants and animals. *Mycology and Phytopathology*. 2022; 56(1): 3–15 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0026364822010123>
- Mukhammadiev R.S. *et al.* An *in vitro* estimation of cytotoxicity of *Fusarium trichothecene* on the breast cancer cell line. *Siberian journal of oncology*. 2019; 18(6): 90–95 (in Russian). <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2019-18-6-90-95>
- Pleadin J. *et al.* The effect of thermal processing on the reduction of deoxynivalenol and zearalenone cereal content. *Croatian journal of food science and technology*. 2019; 11(1): 44–51. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2019.11.1.06>
- Malekinejad H. *et al.* Exposure of Oocytes to the *Fusarium* Toxins Zearalenone and Deoxynivalenol Causes Aneuploidy and Abnormal Embryo Development in Pigs. *Biology of Reproduction*. 2007; 77(5): 840–847. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.062711>
- Valiullin L.R. *et al.* Search for antagonists to protect plant raw materials from pathogens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 663: 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/663/1/012005>
- Statsyuk N.V., Popletayeva S.B., Shcherbakova L.A. Post-Harvest Prevention of Fusariotoxin Contamination of Agricultural Products by Irreversible Microbial Biotransformation: Current Status and Prospects. *BioTech*. 2023; 12(2): 32. <https://doi.org/10.3390/biotech12020032>

8. Abramov V.M. *et al.* Anti-Salmonella Defence and Intestinal Homeostatic Maintenance In Vitro of a Consortium Containing *Limosilactobacillus fermentum* 3872 and *Ligilactobacillus salivarius* 7247 Strains in Human, Porcine, and Chicken Enterocytes. *Antibiotics*. 2024; 13(1): 30. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13010030>
9. Кочис И.И., Никонов И.Н., Селина М.В. Изучение влияния минерала шунгит на микробиоту кишечника кур-несушек. *Ветеринария, зоотехника и биотехнология*. 2022; (1): 34–42. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202201005>
10. Стацюк Н.В., Шербакова Л.А., Микитюк О.Д., Назарова Т.А., Джавахия В.Г. Биодegradация микотоксинов микробными метаболитами. *Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего. Вторая Международная научная конференция PLAMIC2020. Сборник тезисов*. Саратов. 2020; 234. <https://elibrary.ru/vmyzps>
11. Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Ezhkova A., Nait Yahia M., Kayumov A. Textural and Functional Properties of Skimmed and Whole Milk Fermented by Novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 Strain Isolated from Silage. *Fermentation*. 2022; 8(6): 290. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060290>
12. Будынкoв Н.И., Михалева С.Н. Прогрессирующее накопление опасных фузариев на зерне озимой пшеницы в хозяйствах юга России (2014–2020 гг.). *Агрохимия*. 2022; (1): 66–77. <https://doi.org/10.31857/S0002188122010057>
13. Скуратов А.Г., Петренев Д.Р. Выделение изолированных гепатоцитов. *Проблемы здоровья и экологии*. 2013; (4): 114–118. <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2013-10-4-22>
14. Valiullin L.R., *et al.* Механизмы снижения контаминации фитопатогенами и их метаболитами растительного сырья. *Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем. Материалы Международной научно-практической конференции*. Краснодар: ЭДВИ. 2022; 11: 96–103. <https://elibrary.ru/vrxvuj>
15. Valiullin L.R. Study of Reducing the Danger of T-2 Toxin When Using a Drug of Organomineral Origin. *Biogeosystem Technique*. 2023; 10(2): 74–80. <https://doi.org/10.13187/bgt.2023.2.74>
16. Janik E., Niemcewicz M., Podogrocki M., Ceremuga M., Stela M., Bijak M. T-2 Toxin — The Most Toxic Trichothecene Mycotoxin: Metabolism, Toxicity, and Decontamination Strategies. *Molecules*. 2021; 26(22): 6868. <https://doi.org/10.3390/molecules26226868>

ОБ АВТОРАХ

Ленар Рашитович Валиуллин^{1, 2}
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник¹;
кандидат биологических наук, научный сотрудник²
LRValiullin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2524-9609>

Ринат Салаватович Мухаммадиев¹
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
tanirtashir@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2524-9609>

Андрей Иванович Самсонов¹
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
andreykaz82@yandex.ru
<https://orcid.org/>

Айнур Ильнурович Яруллин¹
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
abii@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1717-0498>

Данил Наильевич Мингалеев¹
доктор ветеринарных наук, профессор, временно исполняющий
обязанности директора
damin80@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7217-4083>

Юлия Варисовна Зуева¹
младший научный сотрудник
zueva2310@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-3704-0055>

Михаил Анатольевич Севостьянов²
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
cmakp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2652-8711>

Михаил Геннадьевич Барышев²
доктор биологических наук, профессор
vniif@vniif.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2130-3516>

Асия Мазетдиновна Ежкова³
доктор биологических наук, профессор
egkova-am@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5526-2214>

¹Федеральный центр токсикологической, радиационной
и биологической безопасности,
Научный городок — 2, Казань, 420075, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт
фитопатологии,
ул. Институт, 5, раб. пос. Большие Вязёмы, Одинцовский р-н,
Московская обл., 5143050, Россия

³Казанская государственная академия ветеринарной медицины
им. Н.Э. Баумана,
Сибирский тракт, 35, Казань, 420029, Россия

8. Abramov V.M. *et al.* Anti-Salmonella Defence and Intestinal Homeostatic Maintenance In Vitro of a Consortium Containing *Limosilactobacillus fermentum* 3872 and *Ligilactobacillus salivarius* 7247 Strains in Human, Porcine, and Chicken Enterocytes. *Antibiotics*. 2024; 13(1): 30. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13010030>

9. Kochish I.I., Nikonov I.N., Selina M.V. Study of the influence of the shungite mineral on the intestinal microbiota of laying hen. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2022; (1): 34–42 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202201005>

10. Statsyuk N.V., Shcherbakova L.A., Mikityuk O.D., Nazarova T.A., Dzhavakhiya V.G. Mycotoxin degradation by microbial metabolites. *Plants and Microbes: the Future of Biotechnology. Second International Scientific Conference PLAMIC2020. Abstract book*. Saratov. 2020; 234. <https://elibrary.ru/vmyzps>

11. Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Ezhkova A., Nait Yahia M., Kayumov A. Textural and Functional Properties of Skimmed and Whole Milk Fermented by Novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 Strain Isolated from Silage. *Fermentation*. 2022; 8(6): 290. <https://doi.org/10.3390/fermentation8060290>

12. Budynkow N.I., Mikhaleva S.N. Progressive Accumulation of Harmful Fusariums on the Winter Wheat Grain on Farms in the South of Russia (2014–2020). *Russian Agricultural Sciences*. 2022; 48(S1): S103–S113. <https://doi.org/10.3103/s1068367422070060>

13. Skuratov A.G., Petrenov D.R. Isolation of hepatocytes. *Health and Ecology Issues*. 2013; (4): 114–118 (in Russian). <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2013-10-4-22>

14. Valiullin L.R., *et al.* Mechanisms of reducing contamination by phytopathogens and metabolites of plant raw materials. *Biological plant protection is the basis of agroecosystems stabilization. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Krasnodar: EDVI. 2022; 11: 96–103 (in Russian). <https://elibrary.ru/vrxvuj>

15. Valiullin L.R. Study of Reducing the Danger of T-2 Toxin When Using a Drug of Organomineral Origin. *Biogeosystem Technique*. 2023; 10(2): 74–80. <https://doi.org/10.13187/bgt.2023.2.74>

16. Janik E., Niemcewicz M., Podogrocki M., Ceremuga M., Stela M., Bijak M. T-2 Toxin — The Most Toxic Trichothecene Mycotoxin: Metabolism, Toxicity, and Decontamination Strategies. *Molecules*. 2021; 26(22): 6868. <https://doi.org/10.3390/molecules26226868>

ABOUT THE AUTHORS

Lenar Rashitovich Valiullin^{1, 2}
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher¹;
Candidate of Biological Sciences, Researcher²
LRValiullin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2524-9609>

Rinat Salavatovich Mukhammadiyev¹
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
tanirtashir@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2524-9609>

Andrey Ivanovich Samsonov¹
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
andreykaz82@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8059-5344>

Ainur Ilnurovich Yarullin¹
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
abii@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1717-0498>

Danil Nailevich Mingaleev¹
Doctor of Veterinary Sciences, Professor,
Acting Director
damin80@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7217-4083>

Julia Varisovna Zueva¹
Junior Research Assistant
zueva2310@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-3704-0055>

Mikhail Anatolyevich Sevostyanov²
Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
cmakp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2652-8711>

Mikhail Gennadievich Baryshev²
Doctor of Biological Sciences, Professor
vniif@vniif.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2130-3516>

Asia Mazetdinovna Yezhkova³
Doctor of Biological Sciences, Professor
egkova-am@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5526-2214>

¹Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety,
Scientific town — 2, Kazan, 420075, Russia

²All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology,
5 Institute Str., work settlement Bolshye Vyazemy, Odintsovo district,
Moscow region, 5143050, Russia

³Kazan State Academy of Veterinary Medicine named
after N.E. Bauman,
35 Sibirsky trakt, Kazan, 420029, Russia