



## БИОХИМИЯ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ

УДК: 619:615.91:636.084.5:614.3

DOI:10.52419/issn2072-2419.2025.4.269

### БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЫВОРОТКИ КРОВИ БЕЛЫХ КРЫС ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ФУЗАРИОТОКСИНОВ

**Матрoсова Л.Е.\*** – д-р биол. наук, вед. науч. сотр. лаб. микотоксинов (ORCID 0000-0001-7428-7882); **Семёнов Э.И.** – д-р ветеринар. наук, главный научный сотрудник (ORCID 0000-0002-3029-7170); **Ермолаева О.К.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. микотоксинов (ORCID 0000-0002-9938-6868); **Вафин Ф.Р.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. микотоксинов (ORCID 0000-0002-2274-8074); **Сагдеева З.Х.** – канд. биол. наук, научный сотрудник (ORCID 0000-0002-8670-1742)

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

\* M.Lilia.Evg@yandex.ru

**Ключевые слова:** микотоксины, T-2 токсин, зеараленон, дезоксиниваленол, фумонизин В1, биохимические показатели.

**Keywords:** prevention, mycotoxins, T-2 toxin, zearalenone, deoxynivalenol, fumonisin B1, and biochemical indicators.

Поступила: 11.08.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025



#### РЕФЕРАТ

Грибы рода *Fusarium* широко распространены в природе, продуцируют наиболее токсичные микотоксины: Т-2 токсин, диацетоксискирпенол, ниваленон, дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины, монилиформин. Хотя фузариотоксины обычно присутствуют одновременно в пищевых продуктах и кормах, их комбинированные эффекты все еще мало изучены. Тем не менее, их возможные взаимодействия могут потенциально приводить к антагонистическим, аддитивным или синергетическим эффектам. Целью настоящих исследований являлась оценка биохимических показателей сыворотки крови белых крыс при комбинированном воздействии фузариотоксинов (Т-2 токсин, дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизин В1). Эксперимент проводили на 60 белых крысах (масса на начало опыта 119-125 г), разделенных по принципу аналогов на 10 групп. Первая группа была биологическим контролем, вторая – получала корм, содержащий Т-2 токсин в дозе 0,1 мг/кг (на уровне ПДК), третья – корм, содержащий фумонизин В1 в дозе 5,0 мг/кг (на уровне ПДК), четвертая – корм, содержащий дезоксиниваленол в дозе 1,0 мг/кг (на уровне ПДК), пятая группа – корм, содержащий зеараленон в дозе 1 мг/кг (на уровне ПДК), шестая – корм, содержащий смесь микотоксинов в два раза ниже ПДК, седьмая – корм, содержащий смесь микотоксинов на 25 % ниже ПДК, восьмая – корм, содержащий смесь микотокси-

нов в пределах ПДК), девятая-корм, содержащий смесь микотоксинов на 25% выше ПДК), десятая – корм, содержащий смесь микотоксинов на 50 % выше ПДК). Комбинация дезоксиниваленола, Т-2 токсина, зеараленона и фумонизина В1 снижает содержание белка, триглицеридов, глюкозы, повышает содержание билирубина, активность аминотрансфераз, щелочной фосфатазы, гамма-глутамилтрансферазы.

#### ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Токсичные метаболиты микроскопических грибов (микотоксины) представляют значительную опасность для здоровья животных и человека. Поражение кормового сырья токсигенными изолятами микроскопических грибов происходит как в момент роста сельскохозяйственных культур, так и при хранении, что повышает вероятность возникновения сочетанных микотоксикозов [1]. Грибы рода *Fusarium* широко распространены в природе и поражают широкий спектр сельскохозяйственных культур [2-6]. Микромицеты этого рода продуцируют наиболее токсичные микотоксины: Т-2 токсин, диацетоксискирпенол, ниваленон, дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины, монилиформин) [7].

Фузариотоксины могут вызывать острые и хронические токсикозы, обладают канцерогенными, мутагенными, тератогенными, нейротоксическими, гепатотоксическими и иммунодепрессивным действием [8-11]. Точная оценка риска в кормах затруднена из-за отсутствия экспериментальных и научно-обоснованных данных об их токсикологических свойствах и взаимодействии при комбинированном поступлении. При совместном воздействии токсинов возможен синергетический, антагонистический или аддитивный эффект [12, 14].

Целью настоящих исследований являлась оценка биохимических показателей сыворотки крови белых крыс при комбинированном воздействии фузариотоксинов (Т-2 токсин, дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизин В1).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Исследования проведены в ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» (г. Казань). Для воспроизведения фузариотоксикозов использовали микотоксины, полученные в лаборатории микотоксинов, путем культиви-

рования токсигенных изолятов *F. sporotrichiella* (продуцент Т-2 токсина и зеараленона), *F. proliferatum* (продуцент фумонизина В1), *F. graminearum* (продуцент дезоксиниваленола).

Эксперимент проводили на 60 белых крысах (масса на начало опыта 119-125 г), разделенных по принципу аналогов на 10 групп. Первая группа была биологическим контролем, вторая – получала корм, содержащий Т-2 токсин в дозе 0,1 мг/кг (на уровне ПДК), третья – корм, содержащий фумонизин В1 в дозе 5,0 мг/кг (на уровне ПДК), четвертая – корм, содержащий дезоксиниваленол в дозе 1,0 мг/кг (на уровне ПДК), пятая группа – корм, содержащий зеараленон в дозе 1 мг/кг (на уровне ПДК), шестая – корм, содержащий смесь микотоксинов в два раза ниже ПДК), седьмая – корм, содержащий смесь микотоксинов на 25 % ниже ПДК), восьмая – корм, содержащий смесь микотоксинов в пределах ПДК), девятая – корм, содержащий смесь микотоксинов на 25% выше ПДК), десятая – корм, содержащий смесь микотоксинов на 50 % выше ПДК). На 30 сут эксперимента крыс забивали декапитацией, получали сыворотку крови и анализировали содержание белка, глюкозы, триглицеридов, билирубина, активность аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы (ЩФ) и гамма-глутамилтрансферазы (ГГТ) на биохимическом анализаторе «Microlab 300» (Нидерланды).

Обработку цифрового материала проводили методом вариационной статистики с применением критерия достоверности по Стьюденту на персональном компьютере с использованием программ Excel.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Биохимические показатели являются чувствительными параметрами токсического воздействия микотоксинов.

Достоверных изменений исследуемых биохимических показателей при воздействии фузариотоксинов на уровне предельно-допустимых концентраций (ПДК) не отмечали. Характерные для микотоксикозов изменения биохимических пока-

зателей (снижение уровня общего белка, повышение содержания билирубина и др.) регистрировали у животных, получавших корм, содержащий смесь фузариотоксинов в дозе на 25 % ниже ПДК, на уровне ПДК и выше ПДК (таблица 1).

**Таблица 1 – Влияние фузариотоксинов и их смеси на биохимические показатели крови белых крыс**

Группы животных	Общий белок, г/л	Глюкоза, ммоль/л	Триглицерид, ммоль/л	Общий билирубин, мкмоль/л
1	76,00±1,1	7,90±0,12	1,2±0,02	1,89±0,02
2	76,00 ±1,2	7,67±0,11	1,16±0,03	1,91±0,03
3	74,48±1,1	7,66±0,13	1,20±0,01	1,92±0,01
4	73,87±1,2	7,76±0,12	1,20±0,02	1,94±0,02
5	76,00±1,3	7,77±0,10	1,14±0,03	1,92±0,01
6	72,05±1,1	7,65±0,12	1,15±0,04	1,94±0,02
7	69,69±1,08**	7,41±0,08**	1,08±0,04***	2,00±0,01***
8	67,49±1,2***	7,32±0,10**	1,01±0,02***	2,08±0,03***
9	62,78±1,0***	7,22±0,13**	0,96±0,01***	2,18±0,01***
10	60,95±1,2***	7,08±0,12***	0,90±0,03***	2,24±0,02**

\*\* –  $p < 0,01$  в сравнении с группой биологического контроля.

\*\*\* –  $p < 0,001$  в сравнении с группой биологического контроля.

Так, при введении в рацион смеси микотоксинов в дозе 25 % ниже ПДК и на уровне ПДК, содержание общего белка было ниже, чем в контроле на 8,3 % ( $P < 0,01$ ) и 11,20 % ( $P < 0,001$ ). Значительное снижение концентрации белка в сыворотке лабораторных животных регистрировали при введении микотоксинов в дозах превышающих ПДК. У животных девятой и десятой группы концентрация общего белка была ниже чем у биологического контроля на 17,39 % ( $P < 0,001$ ) и 19,80 % ( $P < 0,001$ ). Печень является основным органом, синтезирующим белки (вырабатывает около 90 % белков, циркулирующих в организме). Повреждение печени при воздействии микотоксинов, нарушает способность синтезировать белки, что приводит к снижению уровня общего белка в сыворотке [13].

Сочетанное воздействие дезоксиниваленола, Т-2 токсина, зеараленона и фумо-

низина В1 в дозах на 25 % ниже, на уровне и выше ПДК приводило к достоверному увеличению содержания билирубина. У белых крыс седьмой, восьмой, девятой и десятой группы уровень общего билирубина в сыворотке крови был достоверно выше, чем у биологического контроля на 5,8 % ( $P < 0,001$ ), 10,05 % ( $P < 0,001$ ), 15,34 % ( $P < 0,001$ ) и 18,52 % ( $P < 0,001$ ).

Триглицериды – это важный запасной источник энергии в организме. В седьмой, восьмой, девятой и десятой группы этот показатель был достоверно ниже, чем в группе биологического контроля на 10,0 % ( $P < 0,001$ ), 15,83 % ( $P < 0,001$ ), 20,0 % ( $P < 0,001$ ) и 25,0 % ( $P < 0,001$ ).

Наиболее выраженное снижение концентрации глюкозы регистрировали у белых крыс, получавших корм в дозе превышающей ПДК. У животных девятой и десятой группы количество глюкозы в

сыворотке крови было ниже, чем у биологического контроля на 8,6 % (P<0,01) и 10,38 % (P<0,001).

Воздействие микотоксинов сопровождается нарушением функции печени, что приводит к значительному повышению уровня печеночных ферментов в сыворотке крови (таблица 2).

Скармливание лабораторным животным корма, содержащего смесь фузариотоксинов в дозах на 25 % ниже, на уровне и выше ПДК приводило к повышению уровня аспартатаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы и щелочной фосфатазы. У животных седьмой группы и восьмой группы активность АСТ, АЛТ и ЩФ было выше, чем у биологического контроля на 4,3 % (P<0,01), 9,6 % (P<0,001) и 10,3 % (P<0,001); 7,5 % (P<0,01), 13,61 % (P<0,001) и 15,60 % (P<0,001), соответственно. Значительные изменения активности печеночных фер-

ментов регистрировали у животных, получавших смесь микотоксинов в дозах, превышающих ПДК. Повышение показателей печеночных ферментов АЛТ, АСТ и ЩФ в девятой группе составило 18,4 % (P<0,001), 8,4 % (P<0,001) и 18,6 % (P<0,001), в десятой – 25,4 % (P<0,001), 9,2 % (P<0,001) и 20,4 % (P<0,001), соответственно. Возможно, изменения активности ферментов печени связаны с аномальной экскрецией метаболитов печени и гиперплазией желчных протоков.

Гамма-глутамилтрансфераза – микросомальный фермент, участвующий в метаболизме аминокислот, изменения которого свидетельствуют о развитии патологических процессов. Воздействие дезоксиниваленола, Т-2 токсина, зеараленона и фумонизина В1 в дозах на 25 % и 50 % выше ПДК приводило к повышению активности фермента на 5,51 (P<0,01) и 8,37 % (P<0,001).

Таблица 2 – Влияние фузариотоксинов и их смеси на ферментный статус крови белых крыс

Группы животных	АЛТ, Ед/л	АСТ, Ед/л	ЩФ, Ед/л	ГГТ, Ед/л
1	48,20±0,84	180,00±2,84	82,0±1,58	4,9±0,10
2	49,55±0,82	182,16±2,84	84,54±1,56	4,9±0,11
3	49,60±0,81	182,70±2,81	84,21±1,52	4,96±0,12
4	50,13±0,82	181,62±2,81	85,53±1,53	4,95±0,13
5	50,13±0,86	181,98±2,83	85,28±1,54	5,00±0,10
6	50,75±0,83	183,24±2,84	86,76±1,56	5,00±0,12
7	52,83±0,74**	187,74±2,63**	90,45±1,62***	5,04±0,11
8	54,76±0,80***	193,50±2,79**	69,21±1,63***	5,06±0,10
9	57,07±0,77***	195,12±2,82***	66,75±1,54***	5,17±0,10**
10	60,44±0,81***	196,56±2,86***	65,27±1,50***	5,31±0,08***

\*\* – p < 0,01 в сравнении с группой биологического контроля.

\*\*\* – p < 0,001 в сравнении с группой биологического контроля.

#### ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Проведенные исследования показали, что хроническое воздействие фузариотоксинов вызывает изменение биохимических показателей сыворотки крови. Комбинация дезоксиниваленола, Т-2 токсина, зеараленона и фумонизина В1 снижает содержание белка, триглицеридов, глюко-

зы, повышает содержание билирубина, активность аминотрансфераз, щелочной фосфатазы, гамма-глутамилтрансферазы. При увеличении дозы микотоксинов экспериментальным животным негативные последствия усиливались. Доказан синергетический эффект воздействия исследуемых фузариотоксинов в допустимых и

превышающих индивидуальные уровни, установленных для отдельных микотоксинов.

#### BIOCHEMICAL PARAMETERS OF WHITE RAT BLOOD SERUM UNDER COMBINED EXPOSURE TO FUSARIOTOXINS

**Matrosova L.E.\*** – Dr. of Biol. Sci., Leading Researcher Mycotoxin laboratory (ORCID 0000-0001-7428-7882); **Semenov E.I.** – Dr. of Vet. Sci., Chief Researcher Mycotoxin laboratory (ORCID 0000-0002-3029-7170); **Ermolaeva O.K.** – Ph.D. of Biol. Sci., Senior Researcher Mycotoxin laboratory (ORCID 0000-0002-9938-6868); **Vafin F.R.** – Ph.D. of Biol. Sci., Senior Researcher Mycotoxin laboratory (ORCID 0000-0002-2274-8074); **Sagdeeva Z.Kh.** – Ph.D. of Biol. Sci., Researcher (ORCID 0000-0002-8670-1742)

FSBSI «Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety»

\* M.Lilia.Evg@yandex.ru

#### ABSTRACT

Fusarium fungi are widely distributed in nature and produce the most toxic mycotoxins: T-2 toxin, diacetoxyscirpenol, nivalenol, deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins, and moniliformin. Although fusariotoxins are commonly present in food and feed, their combined effects are still poorly understood. However, their possible interactions can potentially lead to antagonistic, additive, or synergistic effects. The purpose of this study was to evaluate the biochemical parameters of the blood serum of white rats under the combined effect of fumagillin (T-2 toxin, deoxynivalenol, zearalenone, fumonisin B1). The experiment was conducted on 60 white rats (weighing 119-125 g at the beginning of the experiment), divided into 10 groups based on the principle of analogues. The first group was a biological control, the second received a feed containing T-2 toxin at a dose of 0.1 mg/kg (at the MPC level), the third received a feed containing fumonisin B1 at a dose of 5.0 mg/kg (at the MPC level), the fourth received a feed containing deoxynivalenol at a dose of 1.0 mg/kg (at the

MPC level), the fifth group is a feed containing zearalenone at a dose of 1 mg/kg (at the MPC level), the sixth is a feed containing a mixture of mycotoxins two times lower than the MPC), the seventh is a feed containing a mixture of mycotoxins 25% lower than the MPC), the eighth is a feed containing a mixture of mycotoxins in within the maximum permissible concentration), the ninth is a feed containing a mixture of mycotoxins 25% higher than the maximum permissible concentration), the tenth is a feed containing a mixture of mycotoxins 50% higher than the maximum permissible concentration). The combination of deoxynivalenol, T-2 toxin, zearalenone, and fumonisin B1 reduces the content of protein, triglycerides, and glucose, and increases the content of bilirubin, the activity of aminotransferases, alkaline phosphatase, and gamma-glutamyltransferase.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Изучение защитного действия пробиотических комплексов на ультраструктуру гепатоцитов кроликов при сочетанном микотоксикозе / Е.Ю. Тарасова [и др.] // Ветеринарный врач. - 2023 -№1. - С. 57-63. – doi: 10.33632/1998-698X\_2023\_1\_57
2. Разнообразии грибов рода Fusarium и их микотоксинов в зерне из азиатской части России / О.П. Гаврилова, Т.Ю. Гагкаева, А.С. Орина [и др.] // Микология и фитопатология. – 2022. – Т. 56. – № 3. – С. 194-206.
3. Smolentsev, S.Yu. Toxicological monitoring of toxic chemicals in the soil and animal feed in the republic of Mari El / S. Yu. Smolentsev, I.N. Polikarpov, R.Kh. Ravirov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2018. - Т. 9. - № 1. - P. 840-844.
4. DNA sequence-based identification of Fusarium: current status and future directions / K. O'Donnell [et al.] // Phytoparasitica. – 2015. – №43. – pp.583–595.
5. Милованкин, Д.И. Изменение мицелиального штамма Fusarium sambucinum varsambucinum после воздействия ультрафиолетового облучения / Д.И. Милован-

кин, Р.М.Потехина / Ветеринарный врач. - 2023 - №1 - С. 37-41.

6. Пирязева, Е.А. Пораженность грубых кормов токсинообразующими грибами рода *Fusarium* / Е.А. Пирязева, Г.П. Кононенко, А.А. Буркин // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – №. 6. – С. 937-945.

7. A case of laying hens mycosis caused by *Fusarium proliferatum* / R.M., Potekhina [et al.] // *Veterinary Medicine International*. - 2023 - Т. 2023.- С. 5281260

8. Тарасова, Е. Ю. Изыскание средств для лечения животных при Т-2 микотоксикозе : специальность 06.02.03 "Ветеринарная фармакология с токсикологией" : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Тарасова Евгения Юрьевна. – Казань, 2010 – 209 с.

9. Мишина, Н.Н. Профилактическая эффективность лигнин- и полисахаридсодержащих энтеросорбентов при сочетанном Т-2 и афлатоксикозе : специальность 16.00.04 : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Мишина Наиля Наримановна. – Казань, 2008. – 162 с.

10. Сагдеев, Д. Р. Токсичность свинца и Т-2 токсина при их совместном поступлении в организм животных / Д.Р. Сагдеев // *Ветеринарный врач*. – 2021. – № 6. – С. 61-65.

11. Влияние комбинированного действия микотоксинов и ионизирующего излучения на аллергическую сенсibilизацию / Э. И. Семенов [и др.] // *Ветеринарный врач*. – 2023 – № 2 – С. 60-69.

12. Natural Co-occurrence of mycotoxins in foods and feeds and their in vitro combined toxicological effects / M.C. Smith, S. Madec, E. Coton [et al.] // *Toxins*. – 2016. - 8 <https://doi.org/10.3390/toxins8040094>

13. Trefts, E. The liver / E. Trefts, M. Gannon, D. Wasserman // *Curr. Biol*. – 2017. – 27. – 1147-1151.

14. Применение энтеросорбентов в животноводстве / К. Х. Папуниди, М. Я. Тремасов, А. А. Иванов [и др.] // *Ветеринарный врач*. – 2010. – № 5. – С. 20-22. – EDN OIMHZX.

## REFERENCES

1. Study of the protective effect of prophylactic complexes on the ultrastructure of rabbit hepatocytes with combined mycotoxicosis / E.Yu. Tarasova [and others] // *Veterinary vrach*. - 2023 -№1. - P. 57-63. – doi: 10.33632/1998-698X\_2023\_1\_57

2. Diversity of fungi of the genus *Fusarium* and their mycotoxins in grain from the Asian part of Russia O.P. Gavrilova, T.Yu. Gagkaeva, A.S. Orina [et al.] // *Mycology and phytopathology*. – 2022. – Vol. 56. – №. 3. – P. 194-206.

3. Smolentsev, S.Yu. Toxicological monitoring of toxic chemicals in the soil and animal feed in the republic of Mari El / S. Yu. Smolentsev, I.N. Polikarpov, R.Kh. Ravilov [et al.] // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. - 2018. - Т. 9. - № 1. - P. 840-844.

4. DNA sequence-based identification of *Fusarium*: current status and future directions / K. O'Donnell [et al.] // *Phytoparasitica*. – 2015. – № 43. – P.583–595.

5. Milovankin, D.I. Changes in the mycelial strain of *Fusarium sambucinum* varsambucinum after exposure to ultraviolet irradiation / D.I. Milovankin, R.M. Potekhina // *The Veterinarian* - 2023 - №1 - P. 37-41. – doi: 10.33632/1998-698X\_2023\_1\_37

6. Piryazeva, E.A. Infestation of roughage with toxin-forming fungi of the genus *Fusarium* / E.A. Piryazeva, G.P. Kononenko, A.A. Burkin // *Agricultural biology*. - 2016. - Vol. 51. - №. 6. - P. 937-945

7. A case of laying hens mycosis caused by *Fusarium proliferatum* / R.M., Potekhina [et al.] // *Veterinary Medicine International*. - 2023 - Т. 2023.- С. 5281260

8. Tarasova, E. Y. Finding remedies for the treatment of animals with Т-2 mycotoxicosis: specialty 02.06.03 "Veterinary pharmacology with toxicology" : dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences / Tarasova Evgeniya Yuryevna. – Kazan, 2010 – 209 pro

9. Mishina, N.N. Preventive efficacy of lignin- and polysaccharide-containing enterosorbents in combined Т-2 and aflatoxicosis: specialty 16.00.04: dissertation for the degree of candidate of biological sciences /

- Mishina Nailya Narimanovna. - Kazan, 2008. - 162 p.
10. Sagdeev D. R. Toxicity of lead and T-2 toxin when they enter the animal body together. // *The Veterinarian*. – 2021. – №6. – P. 61-65.
11. The effect of the combined action of mycotoxins and ionizing radiation on allergic sensitization / E. I. Semenov [et al.] // *The Veterinarian* - 2023 - No. 2 - P. 60-69.
12. Natural Co-occurrence of mycotoxins in foods and feeds and their in vitro combined toxicological effects / M.C. Smith, S. Madec, E. Coton [et al.] // *Toxins*. – 2016. - 8 <https://doi.org/10.3390/toxins8040094>
13. Trefts, E. The liver / E. Trefts, M. Gannon, D. Wasserman // *Curr. Biol*. – 2017. – 27. – 1147-1151.
14. Use of enterosorbents in animal husbandry / K. Kh. Papunidi, M. Ya. Tremasov, A. A. Ivanov [et al.] // *Veterinary doctor*. - 2010. - No. 5. - P. 20-22. - EDN OIMHZX.