

Copyright © 2024 by Cherkas Global University



Published in the USA
Biogeosystem Technique
Issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7316
2024. 11(1): 14-26

DOI: 10.13187/bgt.2024.1.14
<https://bgt.cherkasgu.press>



The Study of Pathogenic Factors in Grain Raw Materials

Svetlana N. Mikhaleva ^a, Lilia N. Ulyanenko ^a, Yulia V. Zueva ^a, Mikhail A. Sevostyanov ^a, Daria A. Valiullina ^a, Petr P. Mukovoz ^a, Dmitrii V. Demin ^a, Lenar R. Valiullin ^{a, b, *}, Mikhail G. Baryshev ^a, Jose L. Hernandez-Caceres ^c, Wei Xiao ^d, Zafarjon A. Jabbarov ^e, Nilanchal Patel ^f, Peter Kováčik ^g, Bogusław A. Wilkomirski ^h

^a All-Russian Research Institute of Phytopathology Bolshie Vyazemy, Russian Federation

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

^c Neurodevelopment Branch, Cuban Center for Neurosciences, La Habana, Cuba

^d Hunan Economic Geography Research Institute, Changsha, China

^e National University of Uzbekistan, Department of Soil Science, Tashkent, Uzbekistan

^f Birla Institute of Technology Mesra, Department of Remote Sensing, Jharkhand, India

^g Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovak Republic

^h University of Warsaw and Jan Kochanowski University in Kielce, Poland

Paper Review Summary:

Received: 2024, May 23

Received in revised form: 2023, June 09

Acceptance: 2023, June 12

Abstract

Microscopic fungi are microorganisms commonly found in grain crops. They typically reproduce asexually with the formation of spores of various types. Most species also have sexual reproduction, but many mushrooms can exist without it for several generations. Spores of microscopic fungi can remain viable for a long time in dry and cold environments. Spores are spread passively by wind and rain, and insects can also serve as a transmission factor by carrying spores on their bodies. Insects increase the growth surface for mold fungi, breaking the outer protective shells of grains. In the presence of sufficient conditions for growth (temperature, humidity, etc.), micromycetes can reduce the nutritional value of grain products and release metabolites in food raw materials that have toxic properties even in low quantities, as well as lead to a deterioration in the technological value of grain. The purpose of this study was to determine the level of contamination of winter wheat by pathogenic and saprotrophic fungi in the Rostov region in the period 2015–2021. In the studied samples, the presence of external infection was noted up to 75.4 %, internal infection – up to 54.6 %, which indicates high contamination during the growing season and harvesting of the grain crop. The scale of the average annual values of the proportion of samples infected with *F. moniliforme* over a seven-year period was 58–95 % for external infection, and 31–86 % for internal infection. There was a dominance of external infection over internal infection by 20.8 %. In field agrocenoses, *F. moniliforme* is a pathogen of many crops,

* Corresponding author

E-mail addresses: lrvaliullin@yandex.ru (L.R. Valiullin)

especially corn, wheat, and barley, causing the development of rot, vascular diseases, and toxicosis. The main mycotoxins produced by this species are fumonisins; beauvericin, fusaric acid and fusarin were also found among the metabolites of individual strains of the fungus.

Keywords: winter wheat, predecessor crop, facultative fungal parasites, colonization, pathogens, pathogens, mycotoxins, crop rotation, agrocenosis.

1. Введение

Болезни пшеницы наносят существенный ущерб её урожайности и качеству получаемого зерна. Важнейшим моментом этиологии болезней является источник инфекции (Valiullin, 2020). Инфекция может быть, как залётной (аэрогенной) с других полей, с сорняков-накопителей вблизи полей, из других регионов Земного шара, так и эндемной – накапливающейся на полях в соответствии с применяемыми технологиями возделывания культур. При благоприятных погодных условиях может начаться эпифитотийное развитие. Из болезней, вызываемых инфекциями первой группы следует отметить эпифитотии желтой ржавчины на озимой пшенице в Ставропольском крае (2009 г.), стеблевой ржавчины на яровой пшенице в Нижнем Поволжье (2016 г.) – они сопровождались серьёзными потерями урожая. В сентябре 2019 г. в Волгоградской области начиналась эпифитотия бурой ржавчины на озимой пшенице, но затем засушливый полуторамесячный период вызвал депрессию болезни, без дальнейшего возобновления. Болезни данного типа проявляются на юге Европейской части России редко, хотя и могут быть весьма вредоносными. В то же время, практически ежегодно наблюдается эпифитотийное развитие эндемных факультативных грибных паразитов, возбудителей листовых пятнистостей, гнилей, сосудистых заболеваний. Их вредоносность в большинстве зернопроизводящих хозяйств из года в год возрастает (Budynkov et al., 2021; Valiullin et al., 2023).

Потенциал эпифитотии эндемных возбудителей грибных болезней определяется особенностями сезонной циркуляции микробиоты и накоплением её важнейших видов на основных экологических нишах агроценозов – на растениях, на растительных остатках, на зерне, в почве. Зерновая (семенная) инфекция является одним из практических итогов функционирования полевого агроценоза, микробные компоненты которого в период налива обеспечивают инфицирование развивающихся зерновок (Valiullin et al., 2021; Chami et al., 2023). В то же время, семенная инфекция – один из определяющих источников для формирования специфических грибных консорциев на полях, где в последующих звеньях севооборотов высеваются партии семян, полученных на разных агрофонах, при различных схемах химического и биологического контроля болезней, по различным предшественникам и др. (Lucioli et al., 2013; Kosolapov et al., 2023). Конструктивная коррекция качественных и количественных показателей семенного микробиома – один из важных факторов получения высоких урожаев полноценной продукции, а также оптимизации микробиологической структуры полевых агроценозов (Valiullin et al., 2023); она возможна при наличии достоверной информации о присутствии эпифитотийно значимых микроорганизмов на экологических нишах полей и в хранилищах семенного материала (Shcherbakova et al., 2022). Несмотря на традиционные усилия селекционеров по обеспечению генетической защиты от болезней, химическая и биологическая защита продолжают занимать при выращивании пшеницы весьма важное место (Valiullin et al., 2020; Dzhavakhiya et al., 2022; Bikhullin et al., 2023).

Данная статья посвящена микробиологической структуре грибных консорциев зерна озимой пшеницы в зернопроизводящих хозяйствах Ростовской области.

Цель настоящего исследования – обобщение многолетних результатов мониторинга динамики возбудителей болезней, микотоксикантов, нейтральных и полезных микромикробов на зерне озимой пшеницы в хозяйствах Ростовской области (2015–2021 гг.), оценка потенциальной опасности микромикробов зерновой инфекции.

2. Методика исследований

Исследования проводились на образцах зерна озимой пшеницы с производственных полей Ростовской области в лаборатории ФГБНУ ВНИИФ в 2015–2021 гг.

Образцы зерна отбирались с пунктов временного хранения (токов, зернохранилищ) хозяйств региона после уборки урожая.

Микробиологические анализы в условиях лаборатории ФГБНУ ВНИИФ проводили по методике с использованием искусственной питательной среды Чапека (Valiullin et al., 2020). Зерновки озимой пшеницы закладывали на питательную среду с целью оценки уровня их наружной и внутренней колонизации микроорганизмами грибной природы. Анализ видового состава микробиоты *in vitro* проводили на седьмой день инкубации. Видовую принадлежность образующихся на питательной среде колоний микромицетов определяли по морфолого-культуральным показателям и форме органов споруляции (конидиеносцев, конидий, асков, спор и др.) с помощью микроскопирования (Budyukov, Mikhaleva, 2022; Chami et al., 2023; Valiullin et al., 2023).

Учитывали количество колоний микроорганизмов разных видов, выделенных *in vitro*. Далее вычисляли долю каждого выделенного микроорганизма относительно числа зерновок, размещенных на питательной среде; проводили подсчет доли проанализированных образцов зерна с колонизацией тем или иным микроорганизмом. На основании полученных данных вычисляли ежегодные и средние за 2015–2021 гг. показатели.

3. Результаты и обсуждение

Партии семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России колонизирует большое количество видов патогенной и сапротрофной микробиоты, но доминирует относительно стабильный небольшой круг микромицетов: несколько видов фузариев (возбудители гнилей и сосудистых заболеваний, продуценты микотоксичных метаболитов), биполярис (возбудитель гельминтоспориозной или обыкновенной корневой гнили – часто встречается севернее Саратова и восточнее Урала), виды *Alternaria*, реже – аскохита, и др. Среди перечисленных групп грибов, есть стабильно доминирующие, есть встречающиеся единично и не каждый год. В предлагаемой работе упор делался на два показателя: доля образцов, в которых встречался тот или иной микромицет, и среднегодовой показатель доли колонизированных им зерновок в образцах. Данные показатели учитывались относительно наружной и внутренней инфекции. Высокий уровень встречаемости на зерне ростовских образцов озимой пшеницы проявили патогенные микромицеты *Fusarium moniliforme* (*sin.F. verticillioides*), *Bipolaris sorokiniana*, *F. solani*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichioides*, *Alternaria alternata*, *Epicoccum purpurascens*, сапротрофные неспорулирующие грибы, *Trichoderma viride* (табл. 1). Относительно низкая встречаемость наблюдалась у видов *Fusarium culmorum*, *F. oxysporum*, *F. semitectum*, *F. poae*, *Ascochytagraminicola*, *F. heterosporum*, *Verticillium albo-atrum*, *Botrytis cinerea*.

Сильные патогены и токсиканты могут наносить существенный вред, как при выращивании пшеницы – вызывать снижение всхожести, депрессию и гибель проростков, развитие гнилей и сосудистых заболеваний, депрессию и отмирание продуктивных побегов, снижение продуктивности и урожайности, так и при хранении зернопродукции – способствовать ухудшению качества зерна, снижению массы зерен, содержания клейковины, хлебопекарных качеств, накоплению микотоксинов (Chami et al., 2023) (Таблица 1).

Таблица 1. Доля образцов зерна озимой пшеницы с колонизацией патогенными и сапротрофными грибами. Ростовская область. 2017–2023 гг.

Патогены	Принадлежность контаминации	Средняя за 2017–2023 гг.
<i>Fusarium moniliforme</i>	Внутренняя	54.6
	Наружная	75.4
<i>F. culmorum</i>	Внутренняя	0.9
	Наружная	1.8
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	Внутренняя	5.1
	Наружная	3.6
<i>F. solani</i>	Внутренняя	2.7
	Наружная	5.3

<i>F. sambucinum</i>	Внутренняя	0.4
	Наружная	1.8
<i>F. sporotrichioides</i>	Внутренняя	13.9
	Наружная	28.4
<i>F. oxysporum</i>	Внутренняя	0.3
	Наружная	1.5
<i>F. semitectum</i>	Внутренняя	2.6
	Наружная	1.8
<i>F. poae</i>	Внутренняя	1.3
	Наружная	2.6
<i>Alternaria alternata</i>	Внутренняя	100
	Наружная	100
<i>Ascochyta graminicola</i>	Внутренняя	1.8
	Наружная	1.0
<i>Verticillium albo-atrum</i>	Внутренняя	0.9
	Наружная	0.9

По результатам проведенных нами исследований, среди сильных токсинообразующих фитопатогенов на зерне озимой пшеницы доминировали представители рода *Fusarium* (порядок *Hypocreales*, семейство *Nectriaceae*). Наиболее часто встречался *Fusarium moniliforme* (sin *F. verticillioides*), телеоморфа – *Gibberella moniliformis* (sin *Gibberella fujikuroi*). Гриб относится к секции *Liseola*, комплексу видов *FFSC*. В образцах из Ростовской области в среднем за 2015–2023 гг. отмечалось его присутствие в виде наружной инфекции до 74.6 % образцов, внутренней – до 53.9 %, и было практически бессимптомным. Размах среднегодовых значений доли образцов, инфицированных *F. moniliforme*, составлял за семилетний период для наружной инфекции 59–94 %, для внутренней – 32–87 %. Отмечалось преобладание наружной инфекции над внутренней 20.8 % (Таблица 1). В полевых агроценозах *F. moniliforme* является патогеном многих культур (Budynkov, Mikhaleva, 2022), особенно кукурузы, пшеницы, ячменя, вызывающим развитие гнилей, сосудистых заболеваний, токсикозов. Основными микотоксинами, продуцируемыми данным видом, являются фумонизины, среди метаболитов отдельных штаммов гриба были обнаружены также боверицин, фузариевая кислота и фузарин (Munkvold et al., 2019).

Более агрессивным и токсичным, но гораздо реже встречающимся на зерне, был *Fusarium culmorum*. В образцах из Ростовской области 2015–2021 гг. его встречаемость в виде наружной инфекции отмечалась в 1.8 % образцов, внутренней – в 0.9 %, присутствие гриба здесь также было практически бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных *F. culmorum*, составляли для наружной инфекции 0–9 %, для внутренней 0–6 %. Отмечалось преобладание наружной инфекции над внутренней (Таблица 1). В полевых агроценозах *F. culmorum* является в основном патогеном мелкосемянных зерновых культур – пшеницы, ячменя. Микотоксинами, продуцируемыми данным видом, являются дезоксиниваленол, валенол, зеараленон, фузарин, монилиформин (Munkvold et al., 2019).

Опасным, но не доминирующим патогеном, встречающимся на зерне озимой пшеницы юга Европейской территории России, является гриб *Bipolaris sorokiniana*. В Ростовской области в 2015–2021 гг. его наличие в виде наружной инфекции отмечалось в 5.1 % образцов, внутренней – в 3.6 % образцов *B. sorokiniana* вызывает черный зародыш зерновок, а также обыкновенную корневую гниль пшеницы и ячменя, листовую пятнистость (Acharya et al., 2011; Abdullah, 2021). Заражение семян обуславливает снижение всхожести, гибель проростков. Авторы отмечают в хозяйствах Зауралья среднюю зараженность семян

биополярисом на уровне 2–15 %, но этот показатель может достигать 67–100 %. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных *B. sorokiniana* в Ростовской области, составляли за годы исследования, как для наружной, так и для внутренней инфекции 0–14 %. Отмечалось превалирование внутренней инфекции над наружной (Таблица 1). В полевых агроценозах *B. sorokiniana* является патогеном в основном мелкосемянных зерновых культур – пшеницы, ячменя. Продуцирование микотоксинов биополярисом не выявлено. Потери урожая в странах Юго-Восточной Азии, Австралии, где наблюдается активное развитие гельминтоспориозной тёмно-бурой пятнистости, могут составлять 20–50 % и более. В Зауралье этот показатель может достигать 15 % (Iftikhar et al., 2009).

Незначительная доля образцов зерна была колонизирована слабопатогенным грибом *Fusarium solani* (*Nectria haematococca*), телеоморфа *Haemanectria haematococca* относится к секции *Venyricosum*, комплексу видов *FSSC* (Zemankova, Lebeda, 2001). Наибольшая встречаемость его среди зерновой инфекции на территории России отмечается на Дальнем Востоке (до 5 %), на Европейской территории – ниже (Chowdhury et al., 2009). В Иране *F. solani* считается возбудителем гнили пшеницы (Abass et al., 2021). В большинстве полевых агроценозов Юга России встречается с высокой частотой в ризосфере и ризоплане растений, сопровождает прикорневые гнили, вызванные более патогенным *F. moniliforme*. В проанализированных нами в 2015–2021 гг. образцах зерна озимой пшеницы из Ростовской области его наличие в виде наружной инфекции отмечалось в 5,3 % образцов, внутренней – в 2,7%; присутствие гриба также было практически бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных *F. solani*, составляли и для наружной, и для внутренней инфекции 0–12 %. Отмечалось превалирование наружной инфекции над внутренней.

Основными микотоксинами, продуцируемыми данным видом, являются фузариевая кислота и, возможно, трихотеценовые соединения (Munkvold 2019).

Среди проанализированных образцов зерна с небольшой частотой встречались, колонизированные *Fusarium sambucinum* (телеоморфа *Gibberellapulicaris*). Гриб относится к секции *Discolor*. В Ростовской области (2015–2021 гг.) наличие патогена в виде наружной инфекции отмечалось нами в 1,8 % образцов, внутренней – в 0,4 %; присутствие гриба на зерновках было бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных *F. sambucinum*, за тот же период составляли для наружной инфекции 0–6 %, для внутренней 0–3%. Отмечалось превалирование наружной инфекции над внутренней. В полевых агроценозах *F. sambucinum* является патогеном ряда культур двудольных – картофеля, клубники, авокадо, перца Мансано и др. Он способен также продуцировать микотоксичные соединения. Основными микотоксинами, выделяемыми данным видом, являются энниатины (Leslie, Summerell, 2006), трихоцены группы А, боверицин, фузарин С, фузариновая кислота, самбутоксин и др. Сухая гниль на картофеле, вызываемая *F. sambucinum*, может подавляться штаммами различных видов триходермы (Aydin et al., 2016), аспергиллов и пенициллов (Ojha, Agarwal, 2015). Из значительного количества проанализированных образцов зерна выделялся *Fusarium sporotrichioides*. Телеоморфа неизвестна. Гриб относится к секции *Arthrosporiella*, комплекс видов *FSAMSC*. В Ростовской области (2015–2021 гг.) его наличие в виде наружной инфекции отмечалось нами в 28,4% образцов, внутренней – в 13,9% и было практически бессимптомным. Размах среднегодовых значений доли образцов, инфицированных *F. sporotrichioides*, за тот же период составлял для наружной инфекции 14–38 %, для внутренней – 7–25 %. Отмечалось практически двукратное превалирование наружной инфекции над внутренней. В полевых агроценозах *F. sporotrichioides* является патогеном ряда культур – мелкосемянных зерновых, кукурузы, сои и др. (Leslie, Summerell, 2006). Он способен также продуцировать микотоксичные соединения – трихотецены А: Т-2 токсин и НТ-2 токсин, диацетоксисцирпенол (Leslie, Summerell, 2006), неосоланил, фузаренон-Х, также – зеараленон. Потребление кормов, колонизированных *F. Sporotrichioides* оказывает острое токсическое действие на животных. *F. sporotrichioides* является прогрессирующим патогеном полевых культур и микотоксикантом (Šudyova, Šlikova, 2011). По результатам исследований в ЦЧР России гриб был включен в группу доминантов. Статус экологически пластичных грибов, широко распространенных на озимой и яровой пшенице в ЦЧР России, имеют *F. Sporotrichioides* и *F. roae*, доля которых в разные годы колебалась в пределах 24,0–40,9 % и 16,0–31,9 %

соответственно. Наиболее стабильный в Тамбовской области доминант *F. Sporotrichioides* имел в 2011 г. в образцах зерна встречаемость 55.6% – более высокий показатель, чем в это же время в Белгородской и Курской областях – 39.8 %.

По результатам наших исследований с использованием искусственных питательных сред, уровень колонизации зерна озимой пшеницы грибом *Fusarium sporotrichioides* в период 2014–2020 гг. в Ставропольском крае, Волгоградской, Ростовской и Курской областях среднем за год не превышал 8 %. Наименьшая колонизация зерна *F. Sporotrichioides* отмечена в Волгоградской обл. – она стабильно находилась по средним значениям на уровне 1-2% в течение всего 7-летнего периода мониторинга, при максимальных значениях на отдельных образцах 2-8 %. Аналогичная тенденция прослежена до 2016 г. и в Ростовской области, но затем наблюдали 2-летнее увеличение колонизации в 2.0-2.5 раза и относительную стабилизацию этого процесса в 2019–2020 гг. на уровне 2-3 %, максимальные значения в отдельных образцах достигали 5-24 %. Наибольшая нестабильность колонизации зерна грибом *F. Sporotrichioides* с размахом вариации среднегодовых значений 1-6 % отмечена в Ставропольском крае: к 2015 г. произошло 4-кратное увеличение уровня колонизации в сравнении с 2014 г., в 2015–2017 гг. – стабилизация на уровне 3-4 %, затем – резкое уменьшение показателя с 4% до 1% в 2017–2018 гг., после этого 6-кратный рост в 2019 г. и уменьшение до 4 % в 2020 г. Максимальные значения в отдельных образцах достигали здесь 12-30%. Стабильным и довольно высоким (7-8 %) за период 2014–2020 гг. был уровень колонизации зерна грибом *F. Sporotrichioides* в Курской области при максимальных значениях в отдельных образцах 8–29 %. На юге европейской части России часто встречается на двудольных культурах открытого и защищенного грунта – зернобобовых, овощных и др., реже – на мелкосемянных зерновых. Литературные данные по его встречаемости на зерновых культурах довольно контрастны: до 2017 г. его встречаемость на зерне пшеницы в Центральном Черноземье составляла около 4,9 %, а в Волго-Вятском регионе – до 26 %. Из 5559 штаммов фузариев грибов, выделенных из сортов гексаплоидного тритикале за 2009–2023 гг. не было обнаружено ни одного, относящегося к виду *F. Oxyспорium*. В регионах Западной Сибири грибок встречался на зерне пшеницы и ячменя наряду с другими фузариями и биполярисом. Большинство выделенных в Республике Мордовия штаммов *F. oxysporum* показали низкий уровень патогенности на проростках пшеницы. В опытах китайских исследователей *F. oxysporum* вызывал фузариозное увядание перистошестинника *Pennisetum chinese* (сем. Злаковые, Мятликовые - *Poaceae*) (Zheng et al., 2022). По результатам наших анализов зерновой инфекции озимой пшеницы в Ростовской области в 2015–2021 гг. его встречаемость в виде наружной инфекции составляла 1.5 % образцов, внутренней – 0.3 %; присутствие гриба было практически бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных *F. oxysporum*, за тот же период достигали для наружной инфекции 0–6 %, для внутренней – 0,2 %. Основными микотоксинами, выделяемыми данным видом, являются монилиформин, боверицин, энниатины, фузариевая кислота, отдельные штаммы способны продуцировать фумонизины (Leslie, Summerell, 2006).

Fusarium semitectum (sin *Fusarium pallidoroseum*, *Fusarium incarnatum*) относится к секции *Arthrosporiella*. Грибок изредка выявлялся нами среди образцов зерна озимой пшеницы. Тамбовские исследователи считают, что видовой состав патогенного комплекса грибов рода *Fusarium* на посевах озимой и яровой пшеницы недостаточно изучен: *F. semitectum* на семенах озимой пшеницы ими не был выявлен, на яровой его встречаемость не превышала 10 %. (Гагкаева, 2009) относят его к слабым патогенам, имеющим невысокий процент встречаемости. Аналогичное мнение высказывает и многие авторы «*Fusarium semitectum* Berk. et Rav.; синонимы *F. incarnatum* (Roberge) Sacc., *F. pallidoroseum* (Cooke) Sacc. распространён в тропиках и субтропиках» (Хасанов, 2021). Данный почвенный грибок, часто выделяется из надземных частей различных растений и гниющих бананов при хранении. Он не считается важным патогеном растений. *F. semitectum* иногда выделяют также из растений пшеницы с симптомами корневой гнили, однако, он не обладает патогенностью к пшенице и другим мелкосемянным зерновым культурам (Leslie, Summerell, 2006).

Семена Дальбергиясиссу Рохб (североиндийское розовое дерево или Шишам) с естественной инфекцией *F. semitectum* имели либо темно-коричневую окраску со

сдавленной бугристой областью 13.0–23.75 %, либо были покрыты белой мицелиальной коркой 0.50–6.25 %, у проростков из таких семян часто отмечалось увядание. Выделялся из трети томатов с гнилью плодов (Zheng et al., 2022). *F. semitectum* вызывал также заболевания бананов, дынь, фасоли, сорго, грецкого ореха и грибную гниль при хранении.

В работе египетских учёных сообщалось о выявлении *F. semitectum* из почвы, сорго, зерна, корневищ, кунжута, о его присутствии в почве, зерне пшеницы и ячменя, ризосфере фасоли, о сопровождении заболеваний томатов и стеблевой гнили кукурузы. *F. semitectum* чрезвычайно распространен, особенно в тропических и субтропических странах (Ismail et al., 2015). Его обычно выделяют из возделываемых почв и пустынь, из различных надземных частей растений, например, плодов банана и пальмовых листьев. Сообщалось, что это вызывает проблемы с гнилью грибов при хранении. *F. semitectum* является одним из доминирующих грибов на зернах жемчужного проса. Авирулентные штаммы *F. semitectum* могут быть биологическим средством борьбы со спорыньей на перловом просе за счет уменьшения темпов формирования и развития склероций. *F. semitectum* был связан с эмфиземой легких крупного рогатого скота. В зерне озимой пшеницы в Ростовской области в 2015–2021 гг. его наличие в виде наружной инфекции отмечалось в 1.8 % образцов, внутренней – в 2.6 %; присутствие гриба также было практически бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных *F. semitectum*, составляли для наружной инфекции 0–7 %, для внутренней – 0–12 %. Отмечалось превалирование внутренней инфекции над наружной (Таблица 1). В полевых агроценозах *F. Semitectum* наносит определённый вред овощным и зернобобовым культурам. Основными микотоксинами, продуцируемыми данным видом, являются боверицин, монилифлормин, зеараленон, диацетоксисцирпенол, токсичный метаболит фузаперон, трихотеценовые соединения.

Fusarium poae выделялся из незначительного количества образцов зерна. Телеоморфа неизвестна. Относится к секции *Sporotrichiella*, комплекс видов *FSAMSC*. В Ростовской области в 2015–2021 гг. его наличие в виде наружной инфекции отмечалось нами в 2.6 % образцов, внутренней – в 1.3 %; присутствие гриба было бессимптомным. Размах среднегодовых значений доли образцов, инфицированных *Fusarium poae*, за тот же период составлял для наружной инфекции 0–18 %, для внутренней – 0–4 %. Отмечалось практически двукратное превалирование наружной инфекции над внутренней.

Fusarium poae выделяется из зерновых культур, семян многих сельскохозяйственных культур. *F. poae* считается слабым патогеном, и, хотя он бывает связан с фузариозом пшеницы, но уступает по патогенности *F. graminearum* и *F. culmorum*. Отдельные изоляты *F. poae* способны заражать несколько филогенетически отдалённых видов растений. В условиях Хорватии было отмечено негативное влияние *F. poae*, наряду с *F. graminearum* и *F. culmorum* на формирование урожая пшеницы – ухудшение выполненности зерна, снижение массы 1000 зерен, всхожести семян. Его встречаемость на зерне различных сортов находилась в диапазоне 40–50 %.

Наряду с опасными патогенами на зерне часто встречаются виды микромицетов, имеющие неоднозначные оценки их вредоносности, например, альтернариевые грибы. Они встречаются на зерне пшеницы всех регионов планеты с высокой частотой (до 100 %), их часто относят к возбудителям опасных заболеваний, в частности, черни, “черного зародыша” зерновок. Есть также австралийский прецедент карантинных проблем с экспортом зерна пшеницы, зараженного *Alternaria triticina*. Грибы рода *Alternaria*, видимо, чаще других грибов и бактерий встречаются на семенах основных зерновых культур (пшеницы, ячменя, овса, ржи и др.) во всём мире и представляют собой наиболее обычный компонент микробиома зерна.

В проанализированных нами в 2015–2021 гг. образцах зерна озимой пшеницы из Ростовской области наличие альтернариевых грибов, как в виде наружной, так и в виде внутренней инфекции отмечалось в 100 % случаев. При встречаемости зерновок с чёрным зародышем на уровне ниже 1 % образцов при уровне колонизации, превышающем 50 %, присутствие гриба также можно считать практически бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных *видаму Alternaria*, составляли и для наружной, и для внутренней инфекции 100 % (Таблица 1).

Альтернариевые грибы относят к 3-м разным секциям р. *Alternaria*, различающимся по морфологическим признакам, экологическим свойствам и практическому значению.

Из числа мелкоспоровых видов (секция *Alternaria*, род *Alternaria*) на зерновых и других культурах значительно чаще других встречается *A. tenuissima*, повсеместно, выявляют также *A. alternata* и *A. arborescens*. Виды *Alternaria* способны синтезировать микотоксины альтернуен, альтернариол, альтернариол-метиловый эфир. Вид *A. avenicola* вероятно также является неспециализированным сапротрофом. Комплекс видов *A. Infectoria* по молекулярным признакам сильно отличается от остальных видов *Alternaria*. Виды комплекса *A. Infectoria* обычно являются сапротрофами и не синтезируют известные микотоксины. Комплекс включает около 40 филогенетически близких видов, многие из которых трудноотличимы друг от друга. В том числе в данный комплекс включают *A. Infectoria* E.G. Simmons и, судя по всему, довольно патогенный вид *A. Triticina* Prasad et Prabhu. Для 9-ти видов известно несколько случаев обнаружения в природе телеоморф из рода *Lewia*. Виды *Alternaria* могут проявлять дифференцированную патогенную активность. В работе индийских ученых-биохимиков при изучении различной активности изолятов *Alternaria alternata* один из 15-ти изолятов (AA1) оказался высоковирулентным, другой (AA6) – авирулентным. Вирулентный изолят *A. Alternata* продуцировал больше целлюлолитических (C1 и Cx) и пектинолитических (ферменты мацерации, пектиновая метил-эстераза и эндо-полигалактуроназа) ферментов *in vitro*, чем авирулентный. Активность целлюлолитических ферментов повышалась с увеличением возраста культуры. По деградации энзимов пектинметилэстеразы и эндополигалактуроназы были выявлены 3–5-кратные различия между вирулентным и авирулентными штаммами *A. alternata*, а также – по величине массы сухого мицелия альтернари (Ганнибал, 2014).

Встречаемость видов рода *Alternaria* на зерне в большинстве регионов мира высокая. Так, в работе словацких исследователей была проведена оценка колонизации зерна сушеного ячменя видами патогенных и сапротрофных микромицетов. Встречаемость альтернариевых грибов находилась в диапазоне 32–97 %, аспергиллов – 0–39 %, гельминтоспориума – 1–49 % (Rohačik, Hudec, 2018).

Многие виды альтернари сопровождаются заболеванием “черный зародыш” зерна озимой пшеницы. Делаются попытки назвать альтернарию возбудителем этого заболевания по причине ее очень частой встречаемости на зернах с черным зародышем, но ряд исследований ставит под сомнение данное допущение. Например, исследования, проведенные в Австралии на восприимчивом к заболеванию “черный зародыш” сорте *SUN239V*, показали, вопреки устоявшемуся мнению, что никаких белков грибного и бактериального происхождения в потемневшей ткани не было; очевидно, ее потемнение не было связано с микробной активностью. В то же время здесь присутствовали стрессовые растительные белки, т.е. продукты генов, связанных со стрессом, болезнями и защитой. Были обнаружены более высокие уровни содержания этих белков в зерне без черного зародыша. Авторы предполагают, что защита от болезни может быть обеспечена повышенным уровнем “стрессовых” белков (Miftakhov et al., 2022). В проведенном нами исследовании при высоком уровне колонизации альтернариевыми грибами семена имели хорошие посевные качества и было незначительное количество зерен с черным зародышем. Это свидетельствует о том, что зерно озимой пшеницы на юге европейской территории России колонизируют в основном непатогенные виды *Alternaria*.

Микологический анализ зерна сортов озимой пшеницы с черным зародышем показал, что потемнение зерновок зачастую не связано с альтернариевыми грибами – данные микромицеты отсутствовали на части локально потемневших зерен.

В проводимых нами в 2015–2021 гг. исследованиях в Ростовской области возбудитель аскохитоза пшеницы выявлялся на зерне. Его наличие в виде наружной инфекции отмечалось нами в 1.0 % образцов, внутренней – в 1.8 % образцов, присутствие гриба на зерновках было бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных возбудителем аскохитоза, за тот же период составляли для наружной инфекции 0–7 %, для внутренней – 0–9 %. Наиболее часто инфицированные образцы встречались в 2019, 2020 гг., когда погодные условия способствовали развитию патогена и накоплению инфекции. Отмечалось, практически, двукратное превалирование наружной инфекции над внутренней.

Вертициллы (*Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae*) – широко распространенные патогены, возбудители увядания двудольных культур. Злаковые культуры, в том числе озимая пшеница, устойчивы к поражению возбудителями вертициллёза и являются в

севообороте фитосанитарами болезни. На пшенице патоген иногда выделяется с корневой системы, видимо, как следствие его накопления на двудольных культурах предыдущих звеньев севооборота (подсолнечнике, зернобобовых, льне, картофеле и др.), возможно – на сорных растениях, редко на зерне. Его наличие в виде наружной и внутренней инфекции отмечалось нами в 0.9 % образцов; присутствие гриба на зерновках было бессимптомным. Среднегодовые значения доли образцов, инфицированных возбудителем вертициллёза, за тот же период составляли и для наружной, и для внутренней инфекции 0–6 %.

Доминирование по проценту образцов с наружной инфекцией над внутренней наблюдалось у *F. moniliforme*, *F. culmorum*, *F. solani*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichiella*, *F. oxysporum*, *F. roae*. Преобладание внутренней инфекции над наружной – у *B. sorokiniana* и *F. semitectum*. Связать доминирование с патогенностью, эпифитотийной опасностью перечисленных грибов невозможно, у трех наиболее опасных патогенов они различаются: доминирование наружного инфицирования над внутренним наблюдается у *F. moniliforme* и *F. culmorum*, внутреннего над наружным – у *B. sorokiniana*.

4. Заключение

Важнейшим показателем состояния зараженности семян микромицетами является доля инфицированных зёрен в образце. Она является индикатором опасности для использования соответствующих партий зерна в качестве семенного, а также в качестве пищевого или фуражного. Ограничения на использование зерна в качестве семенного накладывает уровень колонизации зерновок опасными патогенами, которые могут вызвать депрессию или гибель проростков, заболевание растений и редуциацию элементов продуктивности. О необходимой осторожности в использовании зерна для пищевых или фуражных целей предупреждает зараженность грибами – потенциальными микотоксикантами, особенно продуцентами микотоксинов с низкими ПДК: Т-2 токсин (0,1 мг/кг), охратоксин А (0,005 мг/кг), афлотоксин В₁ (0,005 мг/кг), *F. sporotrichiella*, виды *Penicillium*, *Aspergillus glaucus*, *A. niger*, *A. flavus*. Не все штаммы микотоксиногенных грибов обладают способностью к продуцированию микотоксинов. Даже в случае незначительной колонизации зерна штаммами-продуцентами перечисленных микотоксинов велика вероятность опасности его использования без токсикологической оценки. Об этом же может свидетельствовать существующий высокий уровень колонизации зерна продуцентами менее «концентрированных» микотоксинов, например, фумонизина, если зараженность *F. moniliforme* достигает 70–90 %.

5. Благодарности

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ проект № 23-26-00161.

Авторы выражают глубокую благодарность Шамилю Завдатовичу Валидову (Руководитель НИЛ «Лаборатория молекулярно-генетических и микробиологических методов» ФИЦ КазНЦ РАН), Алексею Анатольевичу Набатову (кафедра биохимии Казанского государственного медицинского университета) и Николаю Ивановичу Будынкову (ФГБНУ «ВНИИФ») за помощь и ценные советы по проведению аналитических экспериментов.

Литература

- Гагкаева и др., 2009 – Гагкаева Т.Ю., Левитин М.М., Санин С.С., Назарова Л.Н. (2009). Зараженность зерна и видовой состав грибов рода *Fusarium* на территории РФ в 2004–2006 гг. *Агро XXI*. 6: 4-6.
- Ганнибал, 2014 – Ганнибал Ф.Б. (2014). Альтернариоз зерна – современный взгляд на проблему. *Защита и карантин раст.* 6: 11–15.
- Хасанов и др., 2021 – Хасанов Б.А., Сафаров А.А., Турдиева Д.Т. (2021) Фузариозные корневые и прикорневые гнили пшеницы в мире и в Узбекистане (Обзор). Рукописный. 15.
- Abass et al., 2021 – Abass M.H., Madhi Q.H., Matrood A.A. (2021). Identity and prevalence of wheat damping-of fungal pathogens in diferent fields of Basrah and Maysan provinces // *Bull Natl Res Cent.* 45: 51.
- Abdullah, 2021 – Abdullah M. Al-Sadi *Bipolaris sorokiniana*-Induced Black Point, Common Root Rot, and Spot Blotch Diseases of Wheat: A Review // *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2021. 1-9.

Acharya et al., 2011 – Acharya K., Dutta A.K., Pradhan P. *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem.: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas // *Aust. J. Crop Sci.* 2011. 5: 1064-1071.

Afardoanyi et al., 2022 – Afardoanyi D.M., Diabankana R.G.C., Miftakhov A.K., Kuchaev E.S., Validov S.Z. Genomic features of *Pseudomonas putida* pcl1760: a biocontrol agent acting via competition for nutrient and niches *Applied Microbiology.* 2022. 2(4): 749.

Aydin et al., 2016 – Aydin M.H., Pala F., Kaplan C. Potato tuber sprout rot caused by *Fusarium sambucinum* in Turkey // *Scientific Papers. Series A. Agronomy* LIX. 2016. Pp. 189-193.

Bikmullin et al., 2023 – Bikmullin A.G., Fatkhullin B., Stetsenko A., Gabdulkhakov, A. et al. Yet another similarity between mitochondrial and bacterial ribosomal small subunit biogenesis obtained by structural characterization of rbfA from *S. aureus* // *International Journal of Molecular Sciences.* 2023. 24: 2118.

Budynkov et al., 2021 – Budynkov N.I., Mikhaleva S.N., Proskurin A.V. Dynamics of Dominant Facultative Parasites of Fungal Nature in Field Agroecosystems with Minimal Soil Treatment in the Western Part of the Volgograd Region // *Agrochimia.* 2021. 1: 64-71.

Budynkov, Mikhaleva, 2022 – Budynkov N.I., Mikhaleva S.N. Monitoring of *Alternaria* fungi on winter wheat grain in farms in the south of Russia (2014–2020) // *Agrochimia.* 2022. 1: 75-87.

Chami et al., 2023 – Chami J. El, Chami E. El, Tarnawa B. Kassai K. M, Kende Z., Jolnkai M. Effect of *Fusarium* infection on wheat quality parameters // *Cereal Research Communications.* 2023. 51: 179-187.

Chowdhury et al., 2009 – Chowdhury A.K., Singh G., Tyagi B.S., Ojha A., Dhar T., Bhattacharya P.M. Spot blotch disease of wheat – a new thrust area for sustaining productivity // *J. Wheat Res.* 2009. 5: 1-11.

Dzhavakhiya et al., 2022 – Dzhavakhiya V.G., Statsyuk N.V., Mikityuk O.D., Voinova T.M., Shcherbakova, L.A. 6-Demethylmevinolin as a blocker of the biosynthesis of aflatoxin B₁, zearalenone and deoxynivalenol by toxigenic fungi-contaminants of agricultural products // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK.* 2022. 36: 97-102.

Iftikhar et al., 2009 – Iftikhar S.H., Asad S., Munir R.A., Sultan A., Ahmad I. Hosts of *Bipolaris sorokiniana*, the major pathogen of spot blotch of wheat in Pakistan. *Pak. J. Bot.* 2009. 41: 1433-1436.

Ismail et al., 2015 – Ismail M.A., Abdel-Hafez S.I.I., Hussein N.A., Abdel-Hameed N.A. Contributions to the genus *Fusarium* in Egypt with dichotomous keys for identification of species. TMKARPIŃSKI PUBLISHER, Suchy Las, Poland. 2015. P. 175.

Kosolapov et al., 2023 – Kosolapov V.M., Cherniavskih V.I., Dumacheva E.V. et al. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Ecotypes Response to Accumulation of Heavy Metals during Reforestation on Chalk Outcrops // *Forests.* 2023. 14: 1492.

Leslie, Summerell, 2006 – Leslie J.F., Summerell B.A. *The Fusarium Laboratory Manual.* Blackwell Publishing. 2006. P. 388.

Lucioli et al., 2013 – Lucioli J., Pinton P., Callu P. et al. The food contaminant deoxynivalenol activates the mitogen activated protein kinases in the intestine: interest of ex vivo models as an alternative to in vivo experiments // *Toxicon.* 2013. 66: 31.

Miftakhov et al., 2022 – Miftakhov, A.K., Diabankana, R.G., Frolov, M.A., Yusupov, M.M., Validov, S.Z., Afardoanyi, D.M. (2022). Persistence as a constituent of a biocontrol mechanism (competition for nutrients and niches) in *Pseudomonas putida* pcl1760. *Microorganisms* 11: 19.

Munkvold et al., 2019 – Munkvold G.P., Arias S., Taschl I., Gruber-Dorninger C. (2019). Mycotoxins in Corn: Occurrence, Impacts, and Management // *Corn. Ch.* 9: 235-287.

Ojha, Agarwal, 2015 – Ojha B.M., Agarwal R. Antagonistic Effect of Some Fungi on *Fusarium sambucinum* Var. *Coeruleum* Causing Roots Diseases in *Acacia catechu* (Khair) // *Paripex – Indian J. Res.* 2015. 4: 60-62.

Rohačik, Hudec, 2018 – Rohačik T., Hudec K. Fungal infection of malt barley kernels in Slovak Republic. *Plant Protect. Sci.* 2018. 43: 86-93.

Shcherbakova et al., 2022 – Shcherbakova L.A., Dzhavakhiya V.G., Popletaeva S.B., et al. Augmenting the protective effect of two difenoconazole-containing fungicides against stem canker of potato using plant resistance inducing bacterial protein MF3 // *AIP Conference Proceedings. Proceedings of the International Scientific Conference. AIP PUBLISHING.* 2022. 2390: 1, 030086.

Šudyova, Šlikova, 2011 – Šudyova V., Šlikova S. Contamination of wheat grain with species of genera *Fusarium* in different localities of Slovakia in 2006–2008. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*. 2011. 57: 110-117.

Valiullin et al., 2020 – Valiullin L.R., Mukhammadiev Rish.S., Mukhammadiev Rin.S. et al. Neutralization of *Fusarium* metabolites in plant materials // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. 34:73-78.

Valiullin et al., 2021 – Valiullin L.R., Titova V.Y., Skvortsov E.V. et al. Search for antagonists to protect plant raw materials from pathogens // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. "All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants". 2021: 012005.

Valiullin et al., 2023 – Valiullin L.R., Mukhammadiev R.S., Sevostyanov M.V. et al. Exploring the potential of *Bacillus subtilis* as an additive for decontamination of feed // *E3S Web of Conferences*. 2023. 462: 00017.

Valiullin et al., 2023 – Valiullin L.R., Skvortsov E.V., Egorov V.I. et al. Interaction of endophytic microorganisms with respect to cypermethrin // *South of Russia: Ecology, Development*. 2023. 18: 53-69.

Zemankova, Lebeda, 2001 – Zemankova M., Lebeda A. *Fusarium* species. their taxonomy, variability and significance in plant pathology // *Plant protection science*. 2001. 37: 25-42.

Zheng et al., 2022 – Zheng J., Wang L., Hou W., Han Y. *Fusarium oxysporum* Associated with *Fusarium* Wilt on *Pennisetum sinense* in China // *Pathogens* 2022. 11: 999.

References

Abass et al., 2021 – Abass, M.H., Madhi, Q.H., Matrood, A.A. (2021). Identity and prevalence of wheat damping-off fungal pathogens in different fields of Basrah and Maysan provinces. *Bull Natl Res Cent*. 45: 51.

Abdullah, 2021 – Abdullah, M. (2021). Al-Sadi *Bipolaris sorokiniana*-Induced Black Point, Common Root Rot, and Spot Blotch Diseases of Wheat: A Review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 1-9.

Acharya et al., 2011 – Acharya, K., Dutta, A.K., Pradhan, P. (2011). *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem.: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas. *Aust. J. Crop Sci*. 5: 1064-1071.

Afardoanyi et al., 2022 – Afardoanyi, D.M., Diabankana, R.G.C., Miftakhov, A.K., Kuchaev, E.S., Validov, S.Z. (2022). Genomic features of *Pseudomonas putida* pcl1760: a biocontrol agent acting via competition for nutrient and niches. *Applied Microbiology*. 2(4): 749.

Aydin et al., 2016 – Aydin, M.H., Pala, F., Kaplan, C. (2016). Potato tuber sprout rot caused by *Fusarium sambucinum* in Turkey. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. LIX: 189-193.

Bikmullin et al., 2023 – Bikmullin, A.G., Fatkhullin, B., Stetsenko, A., Gabdulkhakov, A. et al. (2023). Yet another similarity between mitochondrial and bacterial ribosomal small subunit biogenesis obtained by structural characterization of rbfA from *S. aureus*. *International Journal of Molecular Sciences* 24: 2118.

Budynkov et al., 2021 – Budynkov, N.I., Mikhaleva, S.N., and Proskurin, A.V. (2021). Dynamics of Dominant Facultative Parasites of Fungal Nature in Field Agroecosystems with Minimal Soil Treatment in the Western Part of the Volgograd Region. *Agrochimia*. 1: 64-71.

Budynkov, Mikhaleva, 2022 – Budynkov, N.I., Mikhaleva, S.N. (2022). Monitoring of *Alternaria* fungi on winter wheat grain in farms in the south of Russia (2014–2020). *Agrochimia* 1: 75-87.

Chami et al., 2023 – Chami, J.El, Chami E.El, Tarnawa, B., Kassai, K.M, Kende, Z., Jolnkai, M. (2023). Effect of *Fusarium* infection on wheat quality parameters. *Cereal Research Communications* 51: 179-187.

Chowdhury et al., 2009 – Chowdhury, A.K., Singh, G., Tyagi, B.S., Ojha, A., Dhar, T., Bhattacharya, P.M. (2009). Spot blotch disease of wheat – a new thrust area for sustaining productivity. *J. Wheat Res*. 5: 1-11.

Dzhavakhiya et al., 2022 – Dzhavakhiya, V.G., Statsyuk, N.V., Mikityuk, O.D., Voinova, T.M., Shcherbakova, L.A. (2022). 6-Demethylmevinolin as a blocker of the biosynthesis of aflatoxin B1, zearalenone and deoxynivalenol by toxigenic fungi-contaminants of agricultural products. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 36: 97-102.

- Gagkaeva i dr., 2009 – Gagkaeva, T.Yu., Levitin, M.M., Sanin, S.S., Nazarova, L.N. (2009). Zarazhennost' zerna i vidovoi sostav gribov roda *Fusarium* na territorii RF v 2004–2006 gg. [Infection of grain and species composition of fungi of the genus *Fusarium* on the territory of the Russian Federation in 2004–2006]. *AgroXXI*. 6: 4-6. [in Russian]
- Gannibal, 2014 – Gannibal, F.B. (2014). Al'ternarioz zerna – sovremennyyi vzglyad na problem [Alternaria grain blight – a modern view of the problem]. *Zashchita i karantin rast.* 6: 11-15. [in Russian]
- Iftikhar et al., 2009 – Iftikhar, S.H., Asad, S., Munir, R.A., Sultan, A., Ahmad, I. (2009). Hosts of *Bipolaria sorokiniana*, the major pathogen of spot blotch of wheat in Pakistan. *Pak. J. Bot.* 41: 1433-1436.
- Ismail et al., 2015 – Ismail M.A., Abdel-Hafez S.I.I., Hussein N.A., Abdel-Hameed N.A. (2015). Contributions to the genus *Fusarium* in Egypt with dichotomous keys for identification of species. TMKARPIŃSKI PUBLISHER, Suchy Las, Poland. 175.
- Khasanov i dr., 2021 – Khasanov, B.A., Safarov, A.A., Turdieva, D.T. (2021). Fuzarioznye kornevye i prikornevye gnili pshenitsy v mire i v Uzbekistane (Obzor) [Fusarium root and root rots of wheat in the world and in Uzbekistan (Review)]. *Rukopisnyi*. 15. [in Russian]
- Kosolapov et al., 2023 – Kosolapov, V.M., Cherniavskih, V.I., Dumacheva, E.V. et al. (2023). Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Ecotypes Response to Accumulation of Heavy Metals during Reforestation on Chalk Outcrops. *Forests*. 2023. 14: 1492.
- Leslie, Summerell, 2006 – Leslie, J.F., Summerell, B.A. (2006). The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing. 388.
- Lucioli et al., 2013 – Lucioli, J., Pinton, P., Callu, P. et al. (2013). The food contaminant deoxynivalenol activates the mitogen activated protein kinases in the intestine: interest of ex vivo models as an alternative to in vivo experiments. *Toxicon*. 66: 31.
- Miftakhov et al., 2022 – Miftakhov, A.K., Diabankana, R.G., Frolov, M.A., Yusupov, M.M., Validov, S.Z., Afordoanyi, D.M. (2022). Persistence as a constituent of a biocontrol mechanism (competition for nutrients and niches) in *Pseudomonas putida* pcl1760. *Microorganisms* 11: 19.
- Munkvold et al., 2019 – Munkvold, G.P., Arias S., Taschl, I., Gruber-Dorminger, C. (2019). Mycotoxins in Corn: Occurrence, Impacts, and Management. *Corn. Ch.* 9: 235-287.
- Ojha, Agarwal, 2015 – Ojha, B.M., Agarwal, R. (2015). Antagonistic Effect of Some Fungi on *Fusarium sambucinum* Var. *Coeruleum* Causing Roots Diseases in *Acacia catechu* (Khair). *Paripex – Indian J. Res.* 4: 60-62.
- Rohačik, Hudec, 2018 – Rohačik, T., Hudec, K. (2018). Fungal infection of malt barley kernels in Slovak Republic. *Plant Protect. Sci.* 43: 86-93.
- Shcherbakova et al., 2022 – Shcherbakova, L.A., Dzhavakhiya, V.G., Popletaeva, S.B. et al. (2022). Augmenting the protective effect of two difenoconazole-containing fungicides against stem canker of potato using plant resistance inducing bacterial protein MF3. *AIP Conference Proceedings. Proceedings of the International Scientific Conference. AIP PUBLISHING*. 2390: 1, 030086.
- Šudyova, Šlikova, 2011 – Šudyova, V., Šlikova, S. (2011). Contamination of wheat grain with species of genera *Fusarium* in different localities of Slovakia in 2006–2008. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)* 57: 110-117.
- Valiullin et al., 2020 – Valiullin, L.R., Mukhammadiev, Rish, S., Mukhammadiev, Rin, S. et al. (2020). Neutralization of *Fusarium* metabolites in plant materials. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* 34:73-78.
- Valiullin et al., 2021 – Valiullin, L.R., Titova, V.Y., Skvortsov, E.V. et al. (2021). Search for antagonists to protect plant raw materials from pathogens. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "All-Russian Conference with International Participation Economic and Phytosanitary Rationale for the Introduction of Feed Plants"*. 012005.
- Valiullin et al., 2023 – Valiullin, L.R., Mukhammadiev, R.S., Sevostyanov M.V. et al. (2023). Exploring the potential of *Bacillus subtilis* as an additive for decontamination of feed E3S Web of Conferences. 462: 00017.
- Valiullin et al., 2023 – Valiullin, L.R., Skvortsov, E.V., Egorov, V.I., et al. (2023). Interaction of endophytic microorganisms with respect to cypermethrin. *South of Russia: Ecology, Development*. 18: 53-69.
- Zemankova M., Lebeda A. 2001 – Zemankova, M., Lebeda, A. (2001). *Fusarium* species. their taxonomy, variability and significance in plant pathology. *Plant protection science* 37: 25-42.

Zheng et al., 2022 – Zheng, J., Wang, L., Hou, W., Han, Y. (2022). *Fusarium oxysporum* Associated with *Fusarium* Wilt on *Pennisetum sinense* in China. *Pathogens* 11: 999.

Изучение патогенных факторов в зерновом сырье

Светлана Николаевна Михалева ^a, Лилия Николаевна Ульяненко ^a, Юлия Варисовна Зуева ^a, Михаил Анатольевич Севостьянов ^a, Дарья Александровна Валиуллина ^a, Петр Петрович Муковоз ^a, Дмитрий Владимирович Демин ^a, Ленар Рашитович Валиуллин ^{a,b,*}, Михаил Геннадьевич Барышев ^a, Jose L. Hernandez-Caceres ^c, Wei Xiao ^d, Zafarjon A. Jabbarov ^e, Nilanchal Patel ^f, Peter Kováčik ^g, Bogusław A. Wilkomirski ^h

^a Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии Большие Вяземы, Российская Федерация

^b Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Российская Федерация

^c Neurodevelopment Branch, Cuban Center for Neurosciences, La Habana, Cuba

^d Hunan Economic Geography Research Institute, Changsha, China

^e National University of Uzbekistan, Department of Soil Science, Tashkent, Uzbekistan

^f Birla Institute of Technology Mesra, Department of Remote Sensing, Jharkhand, India

^g Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovak Republic

^h University of Warsaw and Jan Kochanowski University in Kielce, Poland

Аннотация. Микроскопические грибы являются микроорганизмами, обычно встречающимися в зерновых культурах. Для них типично бесполое размножение с образованием спор различных типов. У большинства видов есть и половое размножение, но многие грибы, могут существовать без него в нескольких поколениях. Споры микроскопических грибов могут сохранять жизнеспособность долгое время в сухой и холодной среде. Споры распространяются пассивно ветром и дождем, насекомые также могут служить фактором передачи, перенося споры на своих телах. Насекомые увеличивают поверхность роста для плесневых грибов, нарушая наружные защитные оболочки зерен. При наличии достаточных условий для роста (температура, влажность и т.д.) микромицеты могут снижать питательную ценность зерновой продукции и выделять метаболиты в продовольственном сырье, обладающие токсическими свойствами даже в низких количествах, а также приводить к ухудшению технологической ценности зерна. Целью настоящего исследования было определить уровень контаминации озимой пшеницы патогенными и сапротрофными грибами в Ростовской области в период 2015–2021 гг. В исследованных образцах отмечалось присутствие наружной инфекции до 75.4 %, внутренней – до 54.6 %, что указывает на высокую контаминацию в период вегетации и уборки зерновой культуры. Масштаб среднегодовых значений доли образцов, инфицированных *F. moniliforme*, составлял за семилетний период для наружной инфекции 58–95 %, для внутренней – 31–86 %. Наблюдалось доминирование наружной инфекции над внутренней, на 20.8 %. В полевых агроценозах *F. moniliforme* является патогеном многих культур, особенно кукурузы, пшеницы, ячменя, вызывающим развитие гнилей, сосудистых заболеваний, токсикозов. Основными микотоксинами, продуцируемыми данным видом, являются фумонизины, среди метаболитов отдельных штаммов гриба были обнаружены также боверицин, фузариевая кислота и фузарин.

Ключевые слова: озимая пшеница, культура-предшественник, факультативные паразиты грибной природы, колонизация патогенами, возбудители болезней, микотоксины, севооборот, агроценоз.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: lrvaliullin@yandex.ru (Л.Р. Валиуллин)