

## Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-97-106>  
УДК 633.11:631.547:632.95.024.4

Н.С. Жемчужина\*, С.А. Елизарова,  
М.И. Киселева, Д.А. Захаров, И.И. Сардарова

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,  
143050, Московская область, Одинцовский район, р.п. Большие Вяземы,  
ул. Институт, владение 5

\*Автор для переписки: zhemch@mail.ru

**Вклад авторов:** Все авторы участвовали в планировании и постановке эксперимента, а также анализе экспериментальных данных и написании статьи.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Жемчужина Н.С., Елизарова С.А., Киселева М.И., Захаров Д.А., Сардарова И.И. Экспериментальное обоснование методики оценки фитотоксичности микромицетов на проростках пшеницы. *Овощи России*. 2023;(4):97-106. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-97-106>

**Поступила в редакцию:** 05.06.2023

**Принята к печати:** 16.06.2023

**Опубликована:** 05.07.2023

Natalya S. Zhemchuzhina\*, Svetlana A. Elizarova,  
Marina I. Kiseleva, Dmitri A. Zakharov,  
Irina I. Sardarova

All-Russian Research Institute of Phytopathology  
Institut str., possession 5, Bolshye Vyazemy settlement,  
Odintsovo district, Moscow region, 143050, Russia

\*Corresponding Author: zhemch@mail.ru

**Authors' Contribution:** All authors contributed to the planning and setting up the experiment, as well as in the analysis of experimental data and writing of the article.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

**For citations:** Zhemchuzhina N.S., Elizarova S.A., Kiseleva M.I., Zakharov D.A., Sardarova I.I. Experimental substantiation of the method for assessing the phytotoxicity of micromycetes on wheat seedlings. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(4):97-106. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-97-106>

**Received:** 05.06.2023

**Accepted for publication:** 16.06.2023

**Published:** 05.07.2023

# Экспериментальное обоснование методики оценки фитотоксичности микромицетов на проростках пшеницы



## Резюме

**Актуальность.** В настоящее время возрастает актуальность изучения по выявлению способности многих микромицетов синтезировать фитотоксичные вещества, которые снижают всхожесть семян и ведут к огромным потерям урожая стратегических сельскохозяйственных культур. Для решения задачи требуется разработка новых методических подходов, что представляет значимость для иммунологов и фитопатологов.

**Цель работы** – определение фитотоксической активности штаммов микромицетов из родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*, паразитирующих на всех сельскохозяйственных культурах, возделываемых в России.

**Материалы и методы.** Использованы штаммы, способы их культивирования, метод биопробы и проведена статистическая обработка полученных результатов. Проведена модификация некоторых методических подходов для оценки фитотоксичности микромицетов. Проведен подбор репрезентативных концентраций фильтратов культуральной жидкости (ФКЖ) штаммов для оценки фитотоксичности.

**Результаты.** Установлена корреляционная связь для всех вариантов опыта между двумя независимыми параметрами: параметры развития проростков пшеницы и концентрация фильтратов культуральной жидкости. Получены новые результаты по исследованию фитотоксической активности 70 штаммов гембиотрофных микромицетов и установлены оптимальные концентрации ФКЖ грибов для классификации штаммов грибов по группам токсичности. Наиболее вариабельные значения по токсичности были найдены при применении 40% раствора ФКЖ. Показано, что при соблюдении этих условий штаммы грибов можно делить по степени токсичности на достоверно различающиеся группы. Это обстоятельство является важным основанием для включения штаммов микромицетов с определенными свойствами токсичности в Государственную коллекцию фитопатогенных микроорганизмов. Штаммы грибов необходимы и целесообразны для использования в селекции по созданию устойчивых и толерантных сортов к фитопатогенам из родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*.

**Заключение.** Новые методические подходы подтвердили, что наиболее вариабельные значения по токсичности были найдены при применении ФКЖ в пропорции 2:3. При этой концентрации ФКЖ штаммы делятся на 4 группы с характерными отличиями по степени токсичности, что является важным основанием для включения подобных штаммов микромицетов в Государственную коллекцию фитопатогенных микроорганизмов и в дальнейшем они будут использоваться в селекции по созданию устойчивых и толерантных сортов сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** пшеница, фитотоксичность, микромицеты, методические подходы, селекция

# Experimental substantiation of the method for assessing the phytotoxicity of micromycetes on wheat seedlings

## Abstract

**Relevance.** Currently, the relevance of studying to identify the ability of many micromycetes to synthesize phytotoxic substances that reduce seed germination and lead to huge losses in the yield of strategic agricultural crops is increasing. To solve the problem, the development of new methodological approaches is required, which is significant for immunologists and phytopathologists.

**The purpose of this work** is to determine the phytotoxic activity of micromycete strains from the genera *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*, parasitizing on all agricultural crops cultivated in Russia.

**Materials and methods.** The strains, the methods of their cultivation, the bioassay method were used, and the statistical processing of the results obtained was carried out. A modification of some methodological approaches for assessing the phytotoxicity of micromycetes has been carried out. The selection of representative concentrations of culture fluid filtrates (FCF) of strains for phytotoxicity evaluation was carried out.

**Results.** A correlation was established for all variants of the experiment between two independent parameters: the development parameters of wheat seedlings and the concentration of cultural liquid filtrates. New results have been obtained on the study of the phytotoxic activity of 70 strains of hemibiotrophic micromycetes and the optimal concentrations of fungal FAs for classifying fungal strains into toxicity groups have been established. The most variable toxicity values were found when using a 40% solution of FCL. It was shown that, under these conditions, fungal strains can be divided according to the degree of toxicity into significantly different groups. This circumstance is an important reason for including strains of micromycetes with certain toxicity properties in the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms. Fungal strains are necessary and appropriate for use in breeding to create resistant and tolerant varieties to phytopathogens from the genera *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*.

**Conclusion.** New methodological approaches have confirmed that the most variable toxicity values were found with the use of FCF in a ratio of 2:3. This concentration of FCF strains are divided into 4 groups with characteristic differences in the degree of toxicity, which is an important reason for including such strains of micromycetes in the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms and will be further used in breeding to create resistant and tolerant varieties of agricultural crops.

**Keywords:** wheat, phytotoxicity, micromycetes, methodological approaches, breeding

**Введение**

Способность к образованию фитотоксичных веществ установлена для многих микромицетов, большинство из которых принадлежат к сапрофитным видам грибов. Важнейшими продуцентами токсинов являются представители родов *Alternaria*, *Aspergillus*, *Claviceps*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma* и др. [1-5]. Способность микромицетов синтезировать метаболиты в процессе их жизнедеятельности является одной из составляющих, играющих существенную роль в снижении всхожести и энергии прорастания семян и, как следствие, приводящих к снижению урожайности культурных растений [6, 7]. С биологической точки зрения микотоксины выполняют в обмене веществ у грибов функции, направленные на выживание и конкурентоспособность в среде обитания. Свидетельством фитотоксичности метаболитов является сдерживание развития проростков культурных растений при обработке их фильтратами культуральной жидкости грибов (ФКЖ). При этом концентрация токсичных веществ в фильтратах многих видов грибов настолько высока, что обработанные ими всходы гибнут [5]. Уровень ингибирующего действия метаболитов грибов зависит не только от количества (концентрации) действующего вещества в культуральной жидкости, но и от устойчивости культуры. Последнее заключается в способности растений противостоять негативным последствиям воздействия грибов-продуцентов на уровне биохимических и физиологических процессов [8, 9, 10].

Широкое распространение микромицетов – продуцентов токсинов в биоценозах сельскохозяйственных культур обуславливает необходимость изучения факторов, приводящих к негативному воздействию на растения, в том числе и методов проведения экспериментальных наблюдений [11, 12]. Для получения сравнимых результатов экспериментов по определению степени фитотоксичности штаммов грибов требуется не только точное следование методическим рекомендациям, но и модификация некоторых приемов. Основным критериям сравнимости результатов является унификация критериев методического характера. Основными из них являются:

- получение моноконидиальных колоний грибов, обладающих типичными для вида морфологическими характеристиками, независимо от места сбора и культуры, из которых они изолированы;
- выбор универсального тест-объекта из культурных растений для оценки результатов воздействия ФКЖ штаммов разных видов микромицетов на развитие проростков;
- подбор параметров разведения ФКЖ, позволяющих классифицировать штаммы по группам фитотоксичности.

В коллекции ФГБНУ ВНИИ Фитопатологии содержится большое количество изолятов и штаммов микромицетов – продуцентов фитотоксинов, наносящих ощутимый вред сельскому хозяйству. Одной из главных задач коллекции является обеспечение научных центров инфекционным материалом при селекции сортов, линий, гибридов культурных растений, устойчивых к болезням. Исходя из этого факта, предназначение коллекции заключается в хранении и поддержании востребованных видов микромицетов в жизнеспособном и активном состоянии [13-15].

Предметом наших исследований являлось определение фитотоксичной активности штаммов микромицетов из родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*, паразитирующих на сельскохозяйственных культурах, возделываемых в России.

**Материалы и методы**

Объектами исследований стали 70 коллекционных штаммов 11 видов грибов из родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Bipolaris*, выделенных из пораженных образцов свеклы, гороха, пшеницы, ячменя, ржи, кукурузы и некоторых других культур. В общей сложности, штаммы грибов были представлены 9 видами рода *Fusarium*: *Fusarium culmorum*, *Fusarium fujikuroi*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium heterosporum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium poae*, *Fusarium roseum*, *Fusarium sporotrichioides*, *Neocosmospora solani*, рода *Alternaria* – *Alternaria alternata*, рода *Bipolaris* – *Bipolaris sorokiniana* (табл. 1).

Для приготовления посевной культуры гриб культивировали на 2% картофельно-глюкозном агаре в чашках Петри в течение 14 суток в термостате при температуре 24-26°C по методике И. А. Дудки [16]. Однородность колоний штаммов по морфологическим признакам оценивали по 20 моноконидиальным культурам гриба, которые получали методом истощающего штриха. При определении видовой принадлежности штаммов грибов использовали справочный материал Билай В.И. [17], Хасанова Б.А. [18], Dugan F.M. [19], Gerlach W. [20], Simmons E.G. [21].

Фитотоксичность штаммов грибов определяли по методу биопробы на проростках пшеницы (сорт Мироновская 808), обработанных культуральной жидкостью, полученной путем культивирования мицелия гриба в жидкой среде Чапека-Докса, способствующей интенсивному биосинтезу токсинов. Состав жидкой питательной среды Чапека – Докса включал следующие ингредиенты (в %):  $\text{NaNO}_3$  – 0.3;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0.1;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.05;  $\text{KCl}$  – 0.025;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.001; сахароза – 3.0. Исходное значение pH питательной среды – 5.8. Агаровыми блоками диаметром 10 мм, вырезанными из зоны роста колоний соответствующих штаммов, осуществляли засев жидких сред в конических колбах объемом 250 мл, объем среды – 100 мл. Культивирование проводили при температуре 26°C в термостатируемом шейкере (200 об/мин) в течение 10 суток. Далее содержимое колб фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0,22 мкм, и полученный фильтрат использовали для проведения серии биопроб на семенах растения-тестера [3, 12, 22].

Биопробы включали варианты с использованием ФКЖ в разных концентрациях. Для получения 100 мл раствора смешивали объемы ФКЖ и воды в следующих пропорциях 4:1, 3:2, 2:3, 1:4 (шаг 20 мл). Вариант состоял из 30 семян пшеницы, разложенных на фильтровальной бумаге в чашке Петри с внесением в каждую по 6 мл ФКЖ необходимой концентрации. Интенсивность прорастания семян и развития проростков тест-культуры оценивали на 5

Таблица 1. Виды микромицетов, выделенные из образцов сельскохозяйственных культур, возделываемых в России в 1998-2020 годах  
 Table 1. Types of micromycetes isolated from samples of agricultural crops cultivated in Russia in 1998-2020

Вид гриба	Происхождение образца (регион: культура)	Количество штаммов
<i>Alternaria alternata</i>	Волго-Вятский: горох	1
	Центрально-Черноземный: пшеница, ячмень, свекла	4
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	Волго-Вятский: ячмень	2
	Центральный: озимая рожь	2
	Центрально-Черноземный: ячмень, кукуруза	2
	Северо-Кавказский: пшеница	2
<i>Fusarium culmorum</i>	Центральный: озимая рожь,	1
	Волжский: ячмень,	1
	Центрально-Черноземный: кукуруза, свекла	2
	Восточно-Сибирский: ячмень	1
<i>Fusarium graminearum</i>	Центральный: пшеница	2
	Центрально-Черноземный: кукуруза	1
<i>Fusarium fujikuroi</i>	Центрально-Черноземный: кукуруза	6
<i>Fusarium heterosporum</i>	Центральный: рожь,	1
	Волжский: пшеница, хлопчатник	4
	Центрально-Черноземный: кукуруза	2
	Северо-Кавказский: пшеница, рис	3
<i>Fusarium oxysporum</i>	Волго-Вятский: ячмень	2
	Центрально-Черноземный: кукуруза, свекла	7
	Северо-Кавказский: пшеница, рис	4
<i>Fusarium poae</i>	Северо-Кавказский: пшеница	3
	Центральный: ячмень, озимая рожь	2
<i>Fusarium roseum</i>	Центрально-Черноземный: кукуруза	1
	Северо-Кавказский: пшеница	3
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	Волго-Вятский: ячмень	2
	Центрально-Черноземный: пшеница, кукуруза, свекла	3
	Северо-Кавказский: Рис	2
<i>Neocosmospora solani</i>	Центральный: ячмень	3
	Центрально-Черноземный: свекла	1
<b>Всего штаммов грибов:</b>		<b>70</b>

сутки инкубации при комнатной температуре и естественном освещении.

О фитотоксичности штамма гриба судили по влиянию ФКЖ на всхожесть семян, развитие проростков и корней пшеницы. Наиболее заметное влияние метаболиты оказывали на рост первичных корней растений. В этой связи расчет измерений средних значений длины первичных корней (мм), выраженных в процентах к контролю, позволил выявить степень фитотоксичности штаммов микромицетов во всех вариантах. Так, если длина корней в опытном варианте составляла 0-30% от длины контроля, то это свидетельствовало о сильной токсичной (Т) активности гриба; 31-50% – умеренной токсичности (УТ); 51-70% – слабой токсичности (СТ); 71-100% – о нетоксичных (НТ) свойствах изолятов. Длину корней семян, пророщенных в воде, считали контролем и принимали за 100%.

Статистическую обработку результатов проводили общепринятыми методами, рассчитывая средние арифметические и доверительные интервалы с уровнем вероятности 0.95 по трем независимым экспериментам с помощью модифицированной программы, разработанной в среде Windows 98 на базе Excel [23, 24].

### Результаты исследований и обсуждение

Для получения статистически сравнимых результатов при определении токсичности штаммов существенное значение имел выбор вида растения в качестве тест-объекта, общего для всех изучаемых микромицетов. Как следует из таблицы 1, исследуемые виды грибов широко специализированы ко многим неродственным культурным растениям. Так, штаммы *Fusarium oxysporum* были изолированы из корнеплодов свеклы, корней пшеницы и ячменя, приземных листьев риса и кукурузы, при этом все они формировали стандартные для вида характеристики по морфологии мицелия и структуре конидий. Попытка использования в качестве тест-культур проростков свеклы оказалась непродуктивной из-за особенностей развития семян этой культуры и слабой энергии ростовых процессов в начале вегетации. Хорошие результаты показали семена кукурузы, ячменя и риса, ответные реакции на споровые суспензии и фильтраты культуральной жидкости грибов на проростках этих культур были типичными для всех зерновых с четкими характеристиками для получения достоверных результатов. А поскольку известно, что виды мицелиальных микромицетов из родов *Alternaria*, *Bipolaris*, *Fusarium*

Таблица 2. Влияние разведения ФКЖ на токсичность штаммов грибов, выраженной показателем средней длины первичных корней пшеницы (% к контролю)  
 Table 2. Influence of the diluting the filtration of a cultural liquid on the toxicity of fungal strains, expressed as an indicator of the average length of primary wheat roots (% of control)

ФКЖ штамма гриба	Разведение 4:1		Разведение 3:2		Разведение 2:3		Разведение 1:4	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2
<b><i>Alternaria alternata</i></b>								
КОП-18-1-8	28,5±1,6	Т	48,5±1,8	УТ	58,9±1,7	СТ	78,7±1,9	НТ
КОЯ-18-6	13,0±1,5	Т	33,0±1,4	УТ	65,0±1,6	СТ	101,0±2,1	НТ
АИ-3п-18	11,8±1,2	Т	13,4±1,2	Т	28,4±1,1	Т	55,4±1,4	СТ
АИ-1М-18	10,1±1,3	Т	19,1±1,4	Т	30,1±1,6	УТ	85,4±1,7	НТ
МСГ(Д)-7	17,7±0,8	Т	57,7±0,9	УТ	77,4±1,5	НТ	97,8±2,3	НТ
<b><i>Bipolaris sorokiniana</i></b>								
ТРК 2-4	4,0±0,9	Т	15,3±1,5	Т	26,7±1,4	Т	56,8±1,3	СТ
ТРК 2-1	4,0±0,9	Т	46,7±1,4	УТ	34,6±1,1	УТ	75,6±1,3	НТ
МКЯ(В)-1	8,6±2,7	Т	24,1±1,6	Т	29,9±3,6	Т	62,7±2,6	СТ
МСЯ (В)-3	7,8±1,1	Т	38,6±2,4	УТ	44,4±1,8	УТ	78,5±2,0	НТ
КОП-18-1-9	11,6±3,1	Т	26,6±2,2	Т	41,1±2,5	УТ	71,2±2,2	НТ
КОЯ-18-8	12,7±2,4	Т	20,9±1,7	Т	61,2±4,2	СТ	89,1±3,8	НТ
ЗМ-В-1к	10,5±6,2	Т	25,8±2,4	Т	75,5±2,7	НТ	95,9±2,2	НТ
Кр-19-6к-2	27,2±1,9	Т	45,7±3,1	УТ	67,2±1,9	СТ	90,2±1,7	НТ
<b><i>Fusarium culmorum</i></b>								
ЦМЗ-1-00	13,9±1,2	Т	21,4±1,0	Т	50,7±2,4	СТ	80,6±2,2	НТ
КМ-11-5ст	10,7±0,9	Т	15,8±1,3	Т	32,7±0,8	УТ	72,4±1,3	НТ
СЭ-36	6,9±1,0	Т	11,9±1,1	Т	26,7±1,3	Т	51,6±1,4	СТ
ЗМ-FC-1з	13,9±1,6	Т	27,6±3,0	Т	43,6±2,5	УТ	79,6±1,9	НТ
FcB-1-16	19,4±1,3	Т	30,5±1,6	УТ	61,6±1,8	НТ	95,5±2,1	НТ
<b><i>Fusarium fujikuroi</i></b>								
ЗМ-FF-4з	30,1±1,6	Т	39,9±2,2	УТ	47,7±2,6	УТ	78,6±3,0	НТ
ЗМ-FF-2з	45,0±2,2	УТ	61,0±2,5	СТ	76,4±2,4	НТ	98,4±2,5	НТ
ЗМ-FF-2кш	35,6±1,6	УТ	41,0±2,8	УТ	70,8±3,3	НТ	98,6±3,1	НТ
ЗМ-FF-2л-1	34,5±1,6	УТ	48,0±2,4	УТ	59,1±2,6	СТ	89,8±2,5	НТ
ЗМ-FF-4з-1	44,4±2,0	УТ	51,0±2,6	СТ	89,2±3,0	НТ	105,5±3,3	НТ
ЗМ-FF-5з	46,4±1,4	УТ	60,0±1,6	СТ	86,1±1,7	НТ	106,3±1,9	НТ
<b><i>Fusarium graminearum</i></b>								
FG-30	1,1±0,3	Т	5,7±0,4	Т	25,8±0,8	Т	55,9±1,3	СТ
FG-33	0,3±0,1	Т	1,9±0,7	Т	12,3±1,1	Т	44,8±1,3	УТ
ЗМ-FG-3п	22,8±2,0	Т	31,7±2,7	УТ	44,8±3,3	УТ	65,7±2,4	СТ
<b><i>Fusarium heterosporum</i></b>								
ЦМО-1-01	7,9±0,6	Т	26,3±1,3	Т	49,2±1,6	УТ	62,3±1,7	СТ
КС-17-1-3	7,7±0,4	Т	26,3±1,3	Т	78,8±2,0	НТ	109,7±2,2	НТ
КС-17-3-1	12,0±0,7	Т	29,7±1,3	Т	86,1±2,2	НТ	112,3±2,0	НТ
ЦМО-1-01	9,7±0,8	Т	24,5±1,3	Т	49,2±1,6	УТ	69,4±1,9	СТ
100180 (к)	16,7±3,6	Т	36,6±2,2	Т	60,7±2,7	СТ	90,9±1,9	НТ
Кр-19-6к-1	18,3±2,9	Т	26,3±1,3	Т	44,4±1,7	УТ	69,5±1,8	СТ
Кр-19-6л	5,7±0,9	Т	33,7±1,7	УТ	52,8±2,9	СТ	75,6±2,1	НТ
ХЛ-2к-1	6,7±1,7	Т	16,7±1,3	Т	19,6±2,0	Т	60,7±2,1	СТ
ЗМ-FL-1к	7,9±0,6	Т	40,7±1,9	УТ	66,7±1,9	СТ	107,7±2,3	НТ
ЗМ-FL-2л	21,1±1,6	Т	42,3±1,2	УТ	72,3±3,2	НТ	100,3±3,0	НТ

Продолжение таблицы 2  
 Continuation of table 2

ФКЖ штамма гриба	1*		1		1		1	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2
<b><i>Fusarium oxysporum</i></b>								
КЗ-17-3-2	6,6±1,1	Т	10,5±1,2	Т	26,4±2,1	Т	65,5±2,4	СТ
МКЯ(НТ)-4	0,7±0,2	Т	3,7±0,5	Т	20,4±1,5	Т	56,7±2,1	СТ
МКЯ(Д)-4	20,2±1,8	Т	33,7±1,9	УТ	63,4±1,7	СТ	102,3±1,6	НТ
Fo-10-18	0,9±0,4	Т	9,4±1,7	Т	29,1±1,0	Т	58,4±1,4	СТ
Fo-117	0,7±0,2	Т	1,7±0,7	Т	8,7±0,3	Т	53,6±2,3	СТ
ZM-FO-2л	1,6±0,6	Т	6,6±1,1	Т	36,4±1,3	УТ	66,7±1,5	СТ
FS-1-17	18,3±2,4	Т	36,6±3,2	УТ	45,5±3,4	УТ	71,4±2,5	НТ
ZM-FO-1л	27,3±2,1	Т	57,5±2,0	УТ	77,6±2,4	НТ	105,2±2,5	НТ
ZM-FO-1ст	17,7±2,3	Т	29,3±1,8	Т	39,5±2,8	УТ	69,8±2,4	СТ
ZM-FO-2к	24,0±3,8	Т	66,1±3,3	УТ	73,1±4,5	НТ	93,7±3,4	НТ
ZM-FO-4з-2	24,5±1,4	Т	45,3±1,9	УТ	80,3±2,2	НТ	100,6±1,9	НТ
ZM-FO-8л	8,6±1,3	Т	16,7±1,5	Т	26,6±1,6	Т	65,4±1,5	СТ
Кр-19-5к	0,8±0,2	Т	7,0±1,0	Т	13,0±1,7	Т	76,7±1,7	НТ
<b><i>Fusarium poae</i></b>								
100170	17,1±1,7	Т	28,1±2,3	Т	48,1±2,6	УТ	79,4±2,5	НТ
М-2-2	18,3±1,7	Т	37,4±2,7	УТ	57,4±2,4	СТ	77,8±2,5	НТ
ЦМВ 3-99	20,3±1,0	Т	36,2±1,9	УТ	58,4±1,8	СТ	87,3±2,0	НТ
Кр-19-15к	46,2±1,9	УТ	54,8±2,4	СТ	74,2±2,9	НТ	101,7±2,4	НТ
Кр-19-7к	38,6±1,9	УТ	49,2±2,2	УТ	65,4±1,8	СТ	98,5±1,6	НТ
<b><i>Fusarium roseum</i></b>								
КРТ-10-1-кч	16,2±1,1	Т	22,2±1,5	Т	28,7±2,1	Т	58,8±2,0	СТ
КРТ-11-1-кч	19,1±1,9	Т	26,2±1,1	Т	46,2±1,7	УТ	87,3±1,9	НТ
КРТ-15-1-кч	18,0±1,0	Т	39,2±2,1	УТ	72,6±1,9	НТ	95,5±1,6	НТ
ZM-FR-5к	28,2±1,8	Т	41,8±2,7	УТ	51,2±2,8	СТ	98,4±2,4	НТ
<b><i>Fusarium sporotrichioides</i></b>								
КС-17-1-1	7,3±0,7	Т	15,0±1,3	Т	50,2±1,6	СТ	91,2±1,8	НТ
КЗ-5-06	9,2±1,2	Т	19,5±1,6	Т	31,2±1,2	УТ	66,2±1,4	СТ
КП-97-4-2	8,2±1,1	Т	19,2±1,3	Т	33,2±1,8	УТ	64,4±2,2	СТ
КС-17-3-2	15,7±0,6	Т	35,4±0,8	УТ	70,8±1,6	НТ	93,4±2,4	НТ
ZM-FS-4к	1,2±0,3	Т	4,2±0,8	Т	14,8±1,1	Т	83,3±2,8	НТ
КОП-18-2-5	15,1±1,6	Т	26,1±1,7	Т	45,1±1,3	УТ	72,4±1,5	НТ
Fsp-1	26,1±1,6	Т	37,5±1,8	УТ	47,1±2,4	УТ	80,4±2,0	НТ
<b><i>Neocosmospora solani</i></b>								
МО-Кр-3-09	15,9±1,1	Т	19,9±1,2	Т	29,7±1,2	Т	55,5±1,4	СТ
МСП-3-6	23,8±2,3	Т	40,6±1,8	УТ	63,7±2,1	СТ	87,6±2,2	НТ
Р-1-05	26,6±1,8	Т	45,8±1,6	УТ	71,5±2,0	НТ	97,4±2,2	НТ
Fs-10-16	22,2±1,4	Т	37,2±1,8	УТ	46,2±2,4	УТ	76,3±1,8	НТ

Примечание: 1\* – средняя длина корней (% к контролю);  
 2\*\* – уровень токсичности.

хорошо адаптированы к паразитированию на широком круге культурных растений, в том числе и зерновых, нами в качестве тест-объекта была выбрана пшеница, как наиболее частый источник выделения микромицетов из родов *Alternaria*, *Bipolaris*, *Fusarium*. Кроме всего прочего, использование семян пшеницы в качестве тест-объекта для метода биопробы доступно и удобно в практическом применении. Предварительные исследования, проведенные на семенах зерновых культур, в том числе и сортах пшеницы, позволили получить математически достоверные и сравнимые результаты. В наших исследованиях по определению степени влияния ФКЖ штаммов грибов на интенсивность развития проростков растений широкое применение получил сорт Мироновская 808. Для экспериментов отбирали здоровые, выполненные, одинаковые по размеру семена.

Следует отметить, что при проведении исследований по влиянию концентрации споровых суспензий и фильтратов культуральных жидкостей грибов на проростки пшеницы, для более лаконичного изложения материала ограничились использованием в описательной части только одним биометрическим показателем, а именно показателем длины первичных корней.

Результаты обработки семян пшеницы (сорт Мироновская 808) фильтратами штаммов грибов без разведения водой оказались неинформативными. Высокая концентрация токсичных веществ в культуральной жидкости мицелиальных грибов негативно сказывалась на всхожести семян. В течение 5 суток, следующих после обработки ФКЖ, на поверхности зерен появлялся мицелий плесневых микромицетов, в результате чего они, как правило, не прорастали и загнивали.

Принимая во внимание это обстоятельство, нами была опробована серия разведений ФКЖ стерильной водопроводной водой в пропорциях 4:1, 3:2, 2:3 и 1:4, проверка которых позволила выбрать наиболее репрезентативную концентрацию для оценки фитотоксичности у штаммов грибов.

По результатам проведенных исследований на 5-суточных всходах пшеницы установлено, что мета-

болиты грибов в указанных разведениях ФКЖ избирательно влияли на рост и развитие проростков, оказывая как ингибирующее, так и стимулирующее действие (табл. 2).

Результаты обработки семян пшеницы ФКЖ сорта Мироновская 808 при разведении 4:1 выявили достоверное ингибирующее влияние метаболитов штаммов *Bipolaris sorokiniana* (рис. 1а), *Fusarium oxysporum* (рис. 1б), *Fusarium graminearum*, *Fusarium heterosporum* *Alternaria alternata* на рост первичных корней. Так, например, действие ФКЖ штаммов *Fusarium sporotrichioides* подавляло развитие корней тест-объекта на 73,9-98,8%.

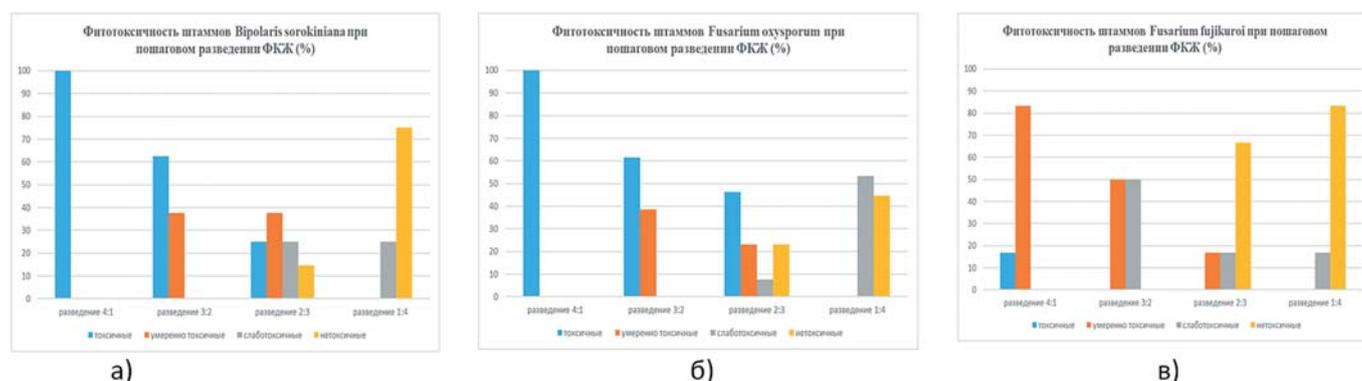
Некоторое разнообразие по изучаемому признаку отмечали у видов *Fusarium poae* и *Fusarium fujikuroi*, здесь наряду с токсичными штаммами встречались и умеренно-токсичные (рис. 1в).

Таким образом, использование культуральной жидкости в разведении 4:1 выявило наличие двух групп, из которых 90% были представлены высокотоксичными и 10% - умеренно-токсичными штаммами грибов.

Результаты обработки метаболитами культуральной жидкости при разведениях ФКЖ 3:2 и 1:4 оказались неоднозначными. В первом случае развитие проростков пшеницы достоверно замедлялось. Тем не менее, результаты, полученные при разведении 3:2, показали наличие штаммов грибов (66 из 70), относящихся по токсичности к двум группам: умеренно (41,4%) и высокотоксичные (52,9%).

Нейтральное и слабое проявление токсичности отмечали на всходах пшеницы при обработке семян ФКЖ в разведении 1:4. Из общего числа проверенных штаммов группу слаботоксичные составили 31,4%, а группу нетоксичные - 68,6%. Следует заметить, что в последней группе встречались штаммы, заметно стимулирующие рост корней. Например, у *Fusarium heterosporum* такими свойствами обладали штаммы КС-17-1-3, КС-17-3-1, ЗМ-FL-1к, у *Fusarium fujikuroi* – ЗМ-FF-4з-1, ЗМ-FF-5з.

Результаты обработки семян пшеницы ФКЖ грибов в пропорции 2:3 выявили весь спектр известных градаций токсичности, что, в конечном итоге, позволило условно разделить штаммы микромице-



**Рис. 1. Фитотоксичность штаммов при пошаговом разведении ФКЖ (%): а) *Bipolaris sorokiniana*; б) *Fusarium oxysporum*; в) *Fusarium fujikuroi***  
**Fig. 1. Phytotoxicity of strains during step-by-step dilution of filtration of cultural liquid (%): а) *Bipolaris sorokiniana*; б) *Fusarium oxysporum*; в) *Fusarium fujikuroi***

Таблица 3. Распределение видов мицелиальных микромицетов по степени фитотоксичности при разведении ФКЖ в соотношении 2:3  
 Table 3. Distribution of species of mycelial micromycetes according to the degree of phytotoxicity when diluting the filtration of a cultural liquid in a ratio of 2:3

Вид гриба	Количество штаммов вида	Частота встречаемости групп штаммов, различающихся степенью фитотоксичности, %			
		T	УТ	СТ	НТ
<i>Fusarium graminearum</i>	3	66,7	33,3	0	0
<i>Fusarium oxysporum</i>	13	46,2	23,1	7,7	23,1
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	7	14,3	57,1	14,3	14,3
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	8	25,0	37,5	25,0	12,5
<i>Fusarium culmorum</i>	5	20	40	20	20
<i>Alternaria alternata</i>	5	20	20	40	20
<i>Fusarium heterosporum</i>	10	10	30	30	30
<i>Fusarium fujikuroi</i>	6	0	16,7	16,7	66,7
<i>Fusarium poae</i>	5	0	20	60	20
Среднее по видам:	70	25,9	30,8	24,7	18,5

тов на 4 группы: токсичные – 25,9%, умеренно токсичные – 30,8%, слаботоксичные – 24,7%, нетоксичные – 18,5% (табл. 3). В этом диапазоне разведения ФКЖ появилась возможность не только разделить штаммы по изучаемому признаку, но и выбрать из

них наиболее токсичные. Так, из проверенных штаммов высоким уровнем токсичности характеризовались AI-3n-18 – *Alternaria alternata*, ТРК 2-4, МКЯ (В)-1 – *Bipolaris sorokiniana*, СЭ-36 – *Fusarium culmorum*, FG-30, FG-33 – *Fusarium graminearum* и др.

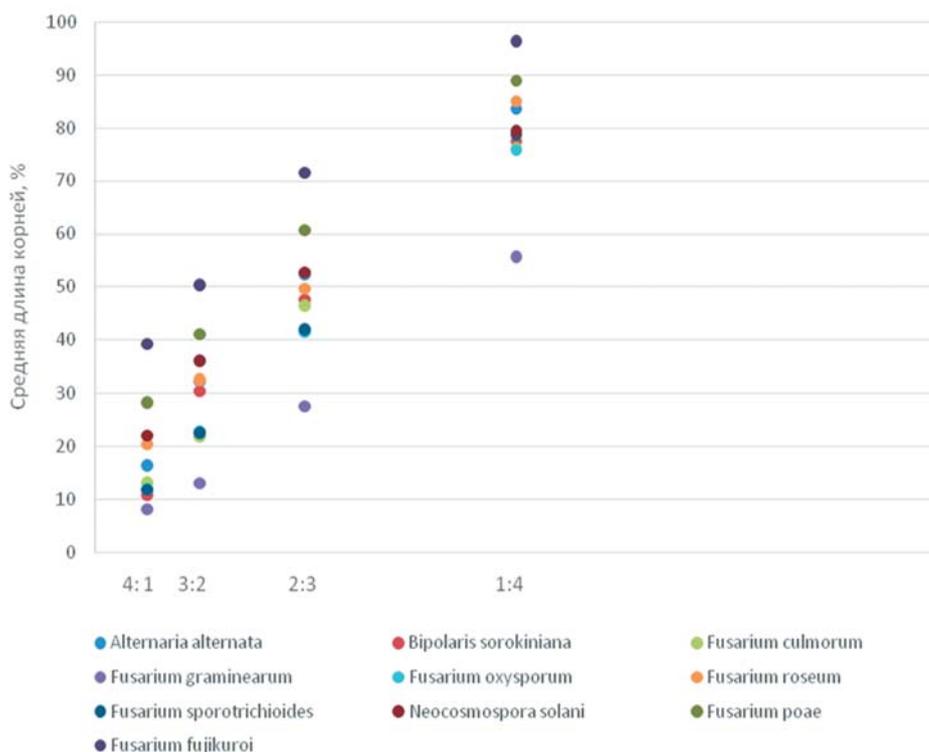


Рис. 2. График линейной корреляционной зависимости двух факторов: средняя длина первичных корней пшеницы (%) и разведение ФКЖ микромицетов  
 Fig. 2. Graph of linear correlation of two factors: average length of primary roots of wheat (%) and dilution of filtration of cultural liquid of micromycetes

Таблица 4. Статистические показатели зависимости средней длины корней (в % к контролю) и разведения ФКЖ микромицетов  
 Table 4. Statistical indicators of the dependence of the average length of the roots (in % of the control) and the diluting the filtration of a cultural liquid of micromycetes

Вид	Количество изолятов, ед.	Средние значения по виду гриба в разведении ФКЖ				Стандартное отклонение	Коэффициент корреляции Пирсона	Нижняя граница 95%, rL	Верхняя граница 95%, rU	Ошибка коэффициента корреляции	Критерий существенности корреляции t <sub>факт</sub>
		4:1	3:2	2:3	1:4						
<i>Alternaria alternata</i>	5	16,2	32,3	52,2	83,7	12,4	0,99149	0,64545	0,99983	0,09208	10,8
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	8	10,8	30,5	47,6	77,5	4,6	0,98375	0,41565	0,99968	0,12695	7,7
<i>Fusarium culmorum</i>	5	13,0	21,8	46,3	75,9	12,8	0,99359	0,72125	0,99987	0,07991	12,4
<i>Fusarium graminearum</i>	3	8,1	13,1	27,6	55,5	7,6	0,99933	0,96670	0,99999	0,02591	38,6
<i>Fusarium oxysporum</i>	13	11,7	22,6	41,5	75,8	10,8	0,99915	0,95793	0,99998	0,02919	34,2
<i>Fusarium roseum</i>	4	20,4	32,4	49,7	85,0	10,4	0,99899	0,95032	0,99998	0,03178	31,4
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	7	11,8	22,4	41,8	78,8	11	0,99975	0,98723	0,99999	0,01596	62,6
<i>Neocosmospora solani</i>	4	22,1	35,9	52,8	79,2	10,6	0,99086	0,62408	0,99982	0,09540	10,4
<i>Fusarium poae</i>	5	28,1	41,1	60,7	88,9	11,6	0,99269	0,68806	0,99985	0,08532	11,6
<i>Fusarium fujikuroi</i>	6	39,3	50,2	71,6	96,2	11,9	0,98899	0,56382	0,99978	0,10463	9,5

Исходя из данных по частоте встречаемости групп штаммов грибов, судили и о степени токсичности видов, в целом. Виды *Fusarium graminearum* (66,7%) и *Fusarium oxysporum* (46,2%) отнесены к наиболее токсичным видам, что согласуется с данными многих исследователей [4, 25, 26]. Для вида *Fusarium graminearum* доля высоко и умеренно токсичных показателей в суммарном выражении составила 100%, *Fusarium oxysporum* – 69,3%. Наряду с этими видами, *Bipolaris sorokiniana* и *Fusarium sporotrichioides* по сумме показателей токсичности (высокой и умеренной) имели 62,5% и 71,4%, соответственно. В свою очередь, это свидетельствовало о достаточно высокой токсичности этих видов, что, с практической точки зрения, проявлялось значительным угнетением развития всходов пшеницы.

Более низкая токсичность ФКЖ у видов *Fusarium fujikuroi* и *Fusarium poae* может быть объяснена биологическими особенностями или недостаточностью выборки.

По результатам испытаний установлено, что все используемые штаммы микромицетов обладали той или иной степенью токсической активности, которая проявлялась интенсивностью развития проростков растений пшеницы. Практически во всех вариантах исследований показатель длины

корней зависел от концентрации ФКЖ (рис. 2).

Как следует из рисунка 2, независимые факторы (разведение ФКЖ грибов и развитие растений тест-объекта) выражаются на графике в виде линейной положительной корреляции. Для всех вариантов опыта,  $r$  - коэффициент корреляции Пирсона был больше 0.9 (при  $r < 0,3$  - корреляционная зависимость слабая;  $r = 0,3-0,7$  - средняя;  $r > 0,7$  - сильная.), что указывает на сильную зависимость двух факторов (табл. 4).

Наряду с этим, вычисление верхних и нижних границ стандартного доверительного интервала подтвердили зависимость двух факторов, так как все значения коэффициента не выходят за рамки 95%.

Взаимосвязь двух факторов доказана и при вычислении критерия существенности, через ошибку корреляции. Значения критерия  $t$ -Стьюдента (табличное значение) для критерия свободы 2 (для всех вариантов) равняется  $t = 4,3$ . При сравнении  $t_{факт}$  и  $t_{теор}$  ( $t$ -Стьюдента), получается, что  $t_{факт} > t_{теор}$ . Значит, корреляционная связь существенная для всех вариантов опыта.

Среднеквадратическое отклонение дает возможность оценить разброс значений, полученных в результате измерения определенного показателя, в нашем случае – длины корней (в % к контролю). При вычислении среднего отклонения, основывались на

том, что, чем оно больше, тем сильнее разброс значений в представленном множестве; чем меньше, тем более сгруппированы показатели вокруг среднего значения. Полученные результаты свидетельствуют о достаточном разбросе показателей развития корней в пределах среднего значения фактора. Из этого следует, что разница между 4 показателями разведения ФКЖ, выраженная значениями среднего отклонения, существенна.

Таким образом, результатами исследований подтверждено, что наиболее вариабельные значения по токсичности были найдены при применении

фильтрата культуральной жидкости (ФКЖ) в пропорции 2:3. В условиях применения этой концентрации ФКЖ штаммы делятся на 4 группы с характерными отличиями по степени токсичности. Это обстоятельство является важным основанием для включения подобных штаммов микромицетов в Государственную коллекцию фитопатогенных микроорганизмов. Штаммы грибов с установленными свойствами токсичности необходимы для использования в селекции по созданию устойчивых и толерантных сортов сельскохозяйственных культур.

#### Об авторах:

**Наталья Сергеевна Жемчужина** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заместитель заведующего государственной коллекцией фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов, автор для переписки, zhemch@mail.ru

**Светлана Александровна Елизарова** – микробиолог государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов

**Марина Ивановна Киселева** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела микологии и иммунитета

**Дмитрий Алексеевич Захаров** – аспирант государственной коллекцией фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов

**Ирина Игоревна Сардарова** – аспирант лаборатории по селекции на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам

#### About the Authors:

**Natalya S. Zhemchuzhina** – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Deputy Head of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms and Plant Varieties-Identifiers of Pathogenic Microorganism Strains, Correspondence Author, zhemch@mail.ru

**Svetlana A. Elizarova** – microbiologist of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms and Plant Varieties-Identifiers of Pathogenic Microorganism Strains

**Marina I. Kiseleva** – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Department of Mycology and Immunity

**Dmitri A. Zakharov** – Postgraduate Student of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms and Plant Varieties-Identifiers of Pathogenic Microorganism Strains

**Irina I. Sardarova** – Postgraduate student of the laboratory for selection for resistance to abiotic and biotic stress factors

#### • Литература

1. Арасланова Н.М., Ивевор М.В., Саукова С.Л., Антонова Т.С., Рамазанова С.А. Влияние культуральных фильтратов изолятов грибов родов *Alternaria*, *Bipolaris*, *Ulocladium* на прорастание семян и развитие проростков подсолнечника. *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2014;1(157-158):124-129. EDN SFBQVN.
2. Берестецкий О.А. Изучение фитотоксических свойств микроскопических грибов / Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. С. 321-333
3. Билай В.И., Курбатская З.А. Определитель токсинообразующих микромицетов. Киев. – 1990.
4. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Орина А.С. Выявление токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium* в зерне озимой пшеницы в Центральном регионе Европейской части России. *Успехи медицинской микологии*. 2018;(19):299-303. EDN UROYXQ.
5. Третьякова И.Н., Садыкова В.С., Носкова Н.П., Бондарь П.Н., Гайдашева И.И., Громовых Т.И., Иваницкая А.С., Ижболдина М.В., Барсукова А.В. Рост стимулирующая активность штаммов рода *Streptomyces* и *Trichoderma* и перспективы их использования для микрোকлонального размножения хвойных. *Биотехнология*. 2009;(1):39-44.
6. Temirbekova, S.K., Kulikov, I.M., Afanasyeva, Y.V., Ashirbekov, M.Z., Beloshapkina, O.O., Kalashnikova, E.A., Sardarova, I., Begeulov, M.S., Kucher, D.E., Ionova, N.E., Rebouh N.Y. The Biological Traumatization of Crops Due to the Enzyme Stage of Enzyme-Mycotic Seed Depletion. *Pathogens*. 2022;(11):376. <https://doi.org/10.3390/pathogens11030376>
7. Темирбекова С.К., Черемисова Т.Д., Куликов И.М., Афанасьева Ю.В., Зуев Е.В., Потапова Е.С. Миротоксическая коллекция ВИР — ключ для «идеала» сорта Н.И. Вавилова на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам Центрального региона РФ. Москва: ВСТИСП, 2020. 108 с.: илл.
8. Берестецкий А.О. Фитотоксины грибов: от фундаментальных исследований - к практическому использованию (обзор). *Прикладная биохимия и*

*микробиология*. 2008;44(5):501-514. EDN JJWHSJ.

9. Литовка Ю.А., Савицкая А.Г., Рязанова Т.В. Видовой состав и фитотоксические свойства микромицетов рода *Fusarium*, распространенных в лесных питомниках средней и южной Сибири. *Теоретический и научно-практический журнал: Хвойные бореальной зоны*. 2011;XXIX(3-4):232-236.

10. Wagacha J.M., Muthomi J.W. *Fusarium culmorum*: Infection process, mechanisms of mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheat. *Crop Protection*. 2007;(26):877–885.

11. Ганнибал Ф.Б. Токсигенность и патогенность грибов рода *Alternaria* для злаков. Лаборатория микологии и фитопатологии им. А.А. Ячевского ВИЗР. История и современность / Под ред. А.П. Дмитриева. СПб. 2007. С. 82–93

12. Парфенова Т.А., Алексеева Т.П. Токсическое влияние фильтрата культуральной жидкости грибов рода *Fusarium* на семена пшеницы. *Микология и фитопатология*. 1995;29(1)Я:78-82.

13. Жемчужина Н.С., Киселева М.И., Коломиец Т.М. Выявление разнообразия микромицетов рода *Fusarium* в агроэкосистемах равнинной части Северного Кавказа для пополнения Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(8):874-881. DOI 10.18699/VJ21.101. EDN YBJMZN.

14. Коломиец Т.М., Жемчужина Н.С., Киселева М.И., Пахолкова Е.В., Глинушкин А.П. Роль генофонда Государственной Коллекции фитопатогенных микроорганизмов ВНИИ фитопатологии в обеспечении научных исследований. Материалы Пятого Съезда Микологов России (12-14 октября 2022 г., г. Москва), в сборнике: *Современная микология в России*. 2022;(9):10-12. doi: 10.14427/cmr.2022.ix.01

15. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов. ВНИИФ URL: <http://vniif.ru/vniif/structure/collection/page/1367>.

16. Дудка И.А. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наук. Думка. 1982. 550 с.

17. Билай В.И. Основы общей микологии. Киев: Выща школа, 1989. 392 с.
18. Хасанов Б.А. Определитель грибов возбудителей «гельминтоспориозов» растений из родов *Bipolaris*, *Drechslera* и *Exserohilum*. Ташкент: ФАН, 1992. 243 с.
19. Dugan F.M. The identification of fungi. An illustrated introduction with keys, glossary, and guide to literature. *The American Phytopathological Society Press*, St. Paul, Minnesota, USA, 2006. 176 p.
20. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* - a pictorial atlas. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. 1982;(209):1-406.
21. Simmons E.G. *Alternaria*. An Identification Manual. Utrecht: CBS. 2007. 775 p.
22. Федорович М.Н., Шашко Ю.К., Шашко М.Н., Поликсенова В.Д. Токсичность культуральных фильтратов мелкоспоровых видов рода *Alternaria* Nees. Вестник БГУ. 2006;2(2):36–39.
23. Доспехов Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. М.: Колос, 1972. 206 с.
24. Ершова Н.М. Дисперсионный анализ данных наблюдений с помощью пакета анализа приложения Excel. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2009;3(134):10-20. EDN WXFFUJ.
25. Домрачева Л.И., Трефилова Л.В., Фокина А.И. Фузарии: биологический контроль, сорбционные возможности. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2013. 182 с. EDN YKYHWR.
26. Иванов А.В., Семенов Э.И., Ермолаева О.К., Галиева Г.М., Трemasов М.Я. Токсигенный потенциал штаммов *Fusarium sporotrichioides*. Проблемы микологии и фитопатологии в XXI веке / Материалы международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, профессора Артура Артуровича Ячевского. Санкт-Петербург 2-4 октября 2013 года. С. 142-145.
8. Berestetsky A.O. Fungal phytotoxins: from fundamental research to practical use (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2008;44(5):501-514. EDN JJWHSJ.
9. Litovka Yu.A., Savitskaya A.G., Ryazanova T.V. Species composition and phytotoxic properties of micromycetes of the genus *Fusarium*, common in forest nurseries of central and southern Siberia. *Theoretical and scientific-practical journal: Conifers of the boreal zone*. 2011;XXIX(3-4):232-236.
10. Wagacha J.M., Muthomi J.W. *Fusarium culmorum*: Infection process, mechanisms of mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheat. *Crop Protection*. 2007;(26):877–885.
11. Hannibal, F.B. Toxicogenicity and pathogenicity of fungi of the genus *Alternaria* for cereals. Laboratory of Mycology and Phytopathology. A.A. Yachevsky VIZR. History and Modernity / Ed. A.P. Dmitriev. - St. Petersburg. 2007. P. 82–93.
12. Parfenova T.A., Alekseeva T.P. Toxic effect of the culture liquid filtrate of fungi of the genus *Fusarium* on wheat seeds. *Mykology and Phytopathology*. 1995;29(1)Я:78-82.
13. Zhemchuzhina N.S., Kiseleva M.I., Kolomiets T.M. Identification of the diversity of micromycetes of the genus *Fusarium* in the agroecosystems of the plains of the North Caucasus to replenish the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the FGBNU VNIIF. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(8):874-881. DOI 10.18699/VJ21.101. EDN YBJMZN.
14. Kolomiets T.M., Zhemchuzhina N.S., Kiseleva M.I., Pakholkova E.V., Glinushkin A.P. The role of the gene pool of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the All-Russian Research Institute of Phytopathology in supporting scientific research. Proceedings of the Fifth Congress of Mycologists of Russia (October 12-14, 2022, Moscow), in the collection: *Modern Mycology in Russia*. 2022;(9):10-12. doi: 10.14427/cmr.2022.ix.01
15. State collection of phytopathogenic microorganisms and plant varieties-identifiers of pathogenic strains of microorganisms. VNIIF URL: <http://vniif.ru/vniif/structure/collection/page/1367>.
16. Dudka I.A. Methods of experimental mycology. Kyiv: Nauk. Dumka. 1982. 550 p.
17. Билай В.И. Fundamentals of general mycology. Kyiv: High school, 1989. 392 p.
18. Khasanov B.A. Key to fungi pathogens of "helminthosporia" plants from the genera *Bipolaris*, *Drechslera* and *Exserohilum*. Tashkent: FAN, 1992. 243 p.
19. Dugan F.M. The identification of fungi. An illustrated introduction with keys, glossary, and guide to literature. *The American Phytopathological Society Press*, St. Paul, Minnesota, USA, 2006. 176 p.
20. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* - a pictorial atlas. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. 1982;(209):1-406.
21. Simmons E.G. *Alternaria*. An Identification Manual. Utrecht: CBS. 2007. 775 p.
22. Fedorovich M.N., Shashko Yu.K., Shashko M.N., Poliksenova V.D. Toxicity of cultural filtrates of small-spore species of the genus *Alternaria* Nees. *Bulletin of the Belarusian State University*. 2006;2(2):36–39.
23. Dospekhov B.A. Planning a field experiment and statistical processing of its data. М.: Колос, 1972. 206 p.
24. Ershova N.M. Dispersion analysis of observational data using the Excel application analysis package. *Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Life and Architecture*. 2009;3(134):10-20. EDN WXFFUJ.
25. Domracheva L.I., Trefilova L.V., Fokina A.I. Fusaria: biological control, sorption capabilities. =Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2013. 182 p. EDN YKYHWR
26. Ivanov A.V., Semenov E.I., Ermolaeva O.K., Galieva G.M., Tremasov M.Ya. Toxicogenic potential of *Fusarium sporotrichioides* strains. Problems of mycology and phytopathology in the XXI century. *Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences, Professor Artur Arturovich Yachevsky*. St. Petersburg October 2-4, 2013. С. 142-145.

#### • References

1. Araslanova N.M., Ivebor M.V., Saukova S.L., Antonova T.S., Ramazanov S.A. Influence of cultural filtrates of isolates of fungi of the genera *Alternaria*, *Bipolaris*, *Ulocladium* on seed germination and development of sunflower seedlings. *Oil cultures. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds*. 2014;1(157-158):124-129. EDN SFBQVN.
2. Berestetsky O.A. Study of phytotoxic properties of microscopic fungi / Methods of experimental mycology. Kyiv: Naukova Dumka, 1982, pp. 321-333.
3. Bilay V.I., Kurbatskaya Z.A. Determinant of toxin-forming micromycetes. Kyiv. – 1990.
4. Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Orina A.S. Identification of toxin-producing fungi of the genus *Fusarium* in winter wheat grain in the Central region of the European part of Russia. *Advances in medical mycology*. 2018;(19):299-303. EDN UROYXQ.
5. Tretyakova I.N., Sadykova V.S., Noskova N.P., Bondar P.N., Gaidasheva I.I., Gromovykh T.I., Ivanitskaya A.S., Izhboldina M.V., Barsukova A.V. Growth-stimulating activity of strains of the genus *Streptomyces* and *Trichoderma* and prospects for their use for micropropagation of conifers // *Biotechnology*. 2009;(1):39-44.
6. Temirbekova, S.K., Kulikov, I.M., Afanasyeva, Y.V., Ashirbekov, M.Z., Beloshapkina, O.O., Kalashnikova, E.A., Sardarova, I., Begeulov, M.S., Kucher, D.E., Ionova, N.E., Rebouh N.Y. The Biological Traumatization of Crops Due to the Enzyme Stage of Enzyme-Mycotic Seed Depletion. *Pathogens*. 2022;(11):376. <https://doi.org/10.3390/pathogens11030376>
7. Temirbekova S.K., Cheremisova T.D., Kulikov I.M., Afanaseva Yu.V., Zuev E.V., Potapova E.S. The world collection of VIR is the key to the "ideal" variety N.I. Vavilov on resistance to abiotic and biotic stresses in the Central region of the Russian Federation.. Moscow: VSTISP, 2020. 108 p.