

КОЛОНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННЫМИ ФИТОПАТОГЕНАМИ КОЛОСЬЕВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

^{1,2}Е.Ю. Торопова, доктор биологических наук, профессор

^{1,2}М.П. Селюк, кандидат биологических наук, доцент

³Г.Я. Стецов, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

¹Р.И. Трунов, аспирант

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, р.п. Большие Вяземы Московской обл., Россия

³Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий, Барнаул, Россия

E-mail: 89139148962@yandex.ru

Ключевые слова: яровая пшеница, сорт, колос, фитопатоген, колонизация, зерновка, *B. sorokiniana*, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp.

Реферат. Цель исследований состояла в оценке влияния сортов и условий года на колонизацию колосьев яровой пшеницы фитопатогенами. В задачи исследования входило уточнение механизмов и сроков колонизации фитопатогенами колосьев яровой пшеницы, установление приуроченности таксономических групп и видов микромицетов к различным по строению генеративным органам, выявление влияния сортов и условий года на колонизацию генеративных органов микромицетами. Исследования проводили в 2021–2022 гг. в северной лесостепи Приобья на 10 сортах яровой пшеницы из различных регионов Российской Федерации и стран мира по общепринятым методикам. Из двух лет экспериментов 2021 г. был относительно увлажненным (ГТК августа 1,2), 2022 г. – засушливым (ГТК августа 0,45). В годы исследований микоченоз генеративных органов сортов яровой пшеницы был представлен *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., грибами родов *Fusarium* Link. и *Alternaria* Nees., однако представленность таксонов значительно различалась по годам, сортам и органам колосьев. Данные динамики колонизации генеративных органов сортов яровой пшеницы микромицетами говорят о раннем инфицировании стержней зачатков колосьев грибами рода *Fusarium* (фаза выхода в трубку) и *B. sorokiniana* (фаза стеблевания), что свидетельствует о способности этих микромицетов к заражению колосьев по сосудам и воздушно-капельным путем. Исследования коллекции не позволили выявить сортов, устойчивых к инфицированию генеративных органов *B. sorokiniana* и грибами родов *Fusarium* и *Alternaria*. Выявлена приуроченность *B. sorokiniana* к инфицированию стержней колосьев по сравнению с зерновками и усиление колонизации колосьев фитопатогеном в более увлажненных условиях. *B. sorokiniana* доминировал на стержнях колосьев в оба года исследований, на зерновках – в более влажном 2021 г. Грибы рода *Fusarium* уступали *B. sorokiniana* по активности колонизации генеративных органов как в засушливых, так и в увлажненных условиях, они были больше приурочены к стержням колосьев, инфицирование которых практически не зависело от условий года, в отличие от колонизации зерновок, которая на 22,5% зависела от условий года и была в засушливых условиях в 1,9 раза ниже в среднем по сортам. Грибы рода *Alternaria* имели приуроченность к зерновкам сортов яровой пшеницы по сравнению со стержнями колосьев, колонизируя их более успешно в засушливых условиях, неблагоприятных для влаголюбивых фитопатогенов из родов *Fusarium* и *B. sorokiniana*. Они доминировали на зерновках всех сортов коллекции в засушливом 2022 г.

COLONISATION OF SPRING WHEAT SPIKELETS BY SOIL PHYTOPATHOGENS IN THE WESTERN SIBERIAN FOREST-STEPPE

^{1,2}E.Yu. Toropova, Doctor of Biological Sciences, Professor

^{1,2}M.P. Selyuk, PhD in Biological Sciences, Associate Professor

³G.Ya. Stetsov, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher

¹R.I. Trunov, PhD Student

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²All-Russian Research Institute of Plant Protection, Bolshiye Vyazemy settlement, Moscow Region, Russia

³Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies, Barnaul, Russia

E-mail: 89139148962@yandex.ru

Keywords: spring wheat, variety, spike, phytopathogen, colonisation, grain, *B. sorokiniana*, *Fusarium* spp., *Alternaria* spp.

Abstract. The research aimed to assess the influence of varieties and yearly conditions on phytopathogens' colonisation of spring wheat spikes. The study tasks included specifying the mechanisms and timing of colonisation by phytopathogens, determining the taxonomy of microfungi groups and species related to various generative organs, and identifying the impact of varieties and yearly conditions on microfungi colonisation of generative organs. The research was conducted in 2021-2022 in the northern forest steppe of the Ob region on ten spring wheat varieties from various areas of Russia and the world, using standard methodologies. Of the two experimental years, 2021 was relatively humid (GTU August 1.2), while 2022 was dry (GTU August 0.45). In the research years, the mycobiota of generative organs of spring wheat varieties consisted of *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem, fungi of the *Fusarium* Link genus, and *Alternaria* Nees. However, the taxon representation significantly differed between years, varieties, and spike organs. The dynamics of colonisation of generative organs of spring wheat varieties by microfungi suggest early infestation of spikelet peduncles by *Fusarium* fungi (tubular stage) and *B. sorokiniana* (stem elongation stage). It indicates the ability of these microfungi to infect spikes through vessels and by airborne-droplet transmission. The study of the collection did not reveal varieties resistant to the infestation of generative organs by *B. sorokiniana* and *Fusarium* and *Alternaria* fungi. *B. sorokiniana* preferred infesting spikelet peduncles over grains and increased spike colonisation in wetter conditions. *B. sorokiniana* dominated on spike peduncles in both years of the study and on grains in the wetter 2021. *Fusarium* fungi demonstrated lower colonisation activity of generative organs in dry and wet conditions, with a higher affinity for spikelet peduncles, which was less dependent on the yearly conditions. In contrast, the colonisation of grains depended on yearly conditions and was 1.9 times lower on average across varieties in dry conditions. *Alternaria* fungi preferred colonising grains over spikelet peduncles in spring wheat varieties. They were more successful in dry conditions, unfavourable for moisture-loving phytopathogens from the *Fusarium* and *B. sorokiniana* genera. They dominated on grains of all collection varieties in the dry 2022.

Сообщество вредных организмов яровой пшеницы в северной лесостепи Приобья Западной Сибири насчитывает более 40 распространённых видовых популяций [1–3]. Возрастание суровости и изменчивости климата сопровождается уменьшением видового разнообразия, биомассы и упрощением строения сообществ. При этом относительная роль биотических факторов (враги, паразиты, конкуренты) падает, и на первый план выступают абиотические условия, прямо или косвенно определяющие исход взаимоотношений в сообществах и реализацию экологических ниш консортов [3–5].

Возбудители корневых, или почвенных, инфекций имеют в качестве основной экологической ниши подземные органы растений, а в качестве фактора передачи во времени – почву, где они могут в течение длительного времени выживать в форме покоящихся структур. Так, все грибы рода *Fusarium* Link., возбудители фузариозных корневых гнилей и увяданий сельскохозяйственных культур, являются почвенными микромицетами и способны длительное время, до 15 лет, сохраняться в почве в форме хламидоспор, склероциев и других покоящихся структур, формируя долговременные стационарные очаги [6, 7]. *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., возбудитель обыкновенной корневой гнили злаков, сохраняется в почве в форме конидий, хламидоспор и ми-

целия 5–7 лет [6, 8]. Однако, кроме передачи через почву, возбудители корневых инфекций могут передаваться из года в год дополнительно через семена и посадочный материал, а в течение вегетации – воздушными течениями и каплями дождя [6, 7, 9].

Экологические ниши фитопатогенных грибов *B. sorokiniana* и рода *Fusarium* включают не только подземные органы растений, но и генеративные органы, которые они заражают при благоприятных гидротермических условиях. Фитопатогены могут сохраняться в зерновках до 7 лет, что расширяет почвенные очаги и способствует формированию новых при высеивании инфицированных семян [10]. Колонизируя колос, *B. sorokiniana* вызывает черноту зародыша зерна, снижая технологические параметры зерна и муки, резко ухудшает посевные качества семян зерновых культур, изреживая посевы и угнетая рост растений [6].

Микромицет продуцирует токсины гельминтоспорол, гельминтоспорал, вик-токсин, цитокинин, опасные для здоровья людей и животных. Фузариевые грибы, кроме снижения технологических и посевных качеств зерна, колонизируя колос, могут продуцировать 148 токсических соединений, крайне опасных для здоровья человека и животных [4, 11, 12]. Многие виды *Fusarium*, поражающие зерновые культуры, продуцируют фузариотоксины дезоксиниваленол (ДОН), ниваленол (НИВ),

зеараленон (ЗЕА), Т-2-токсин, а также фумонизины, индуцирующие онкологические заболевания [11, 12]. Фузариотоксины обладают нефратоксичными, иммуносупрессивными и канцерогенными свойствами [11–13].

Грибы рода *Alternaria* Nees. имеют повсеместное распространение и характеризуются существенными различиями по патогенности и вредоносности на сельскохозяйственных культурах [14]. На яровой пшенице они являются возбудителями черноты зародыша зерна и могут вызывать изреживание посевов, угнетение всходов, снижение технологических качеств зерна [15, 16].

Интенсивность заражения колоса микромицетами определяется рядом абиотических и биотических факторов, среди которых существенную роль играют сортовые особенности культуры, фитосанитарное состояние почвы, конкуренция с другими фитопатогенами, погодные условия [6, 9, 14]. Практическая селекция на устойчивость к почвенным фитопатогенам осложняется комплексным характером инфицирования растений возбудителями гельминтоспориоза и фузариоза колоса, что заставляет искать новые подходы, основанные на понимании молекулярно-генетических механизмов устойчивости [17]. Установлено, например, что наиболее эффективным методом создания сортов, резистентных к фузариозу колоса, является сложная ступенчатая гибридизация, направленная на пирамидирование генов специфической и неспецифической устойчивости [18]. Распространению и развитию фитопатогенов на колосьях яровой пшеницы способствовали высокие температуры в последней декаде июля и в августе, превышающие средние многолетние данные на 3–5°C, а также обильные осадки августа. Коэффициенты корреляции степени инфицирования зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* и суммы осадков за август составили $r = 0,721–0,869$, тот же показатель по *B. sorokiniana* равен $0,732–0,916$ [2, 9]. Более ранняя колонизация генеративных органов фитопатогенами повышает их вредоносность, сильнее снижая посевные качества семян, поскольку фитопатогены поражают зародыши семян [9].

Цель работы состояла в оценке влияния сортов и условий года на колонизацию колосьев яровой пшеницы фитопатогенами.

Задачи исследования:

1. Уточнить механизмы и сроки колонизации фитопатогенами колосьев яровой пшеницы.

2. Установить приуроченность таксономических групп и видов микромицетов к различным генеративным органам.

3. Выявить влияние сортов и условий года на колонизацию генеративных органов микромицетами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2021–2022 гг. на опытном поле, расположенном в северной лесостепи Приобья (Новосибирский район Новосибирской области). Были высеяны сорта из коллекции яровой пшеницы ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН (лаборатория генофонда растений) из различных регионов Российской Федерации и стран мира, в общей сложности 10 сортов: Сибирская 17 (Новосибирская область), Зауралочка (Урал), LT-3 (Ленинградская область), Jin Chun 2 (Китай), K-65834 (Таджикистан), Remus (Германия), Quarna (Швейцария), Manu (Финляндия), NIL Thatcher Lr13 (Канада), Karee (ЮАР). Работа осуществлялась в рамках бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № 0259-2023-0018. Площадь под каждым сортом 2 м², повторность трехкратная. Предшественник – пар. Почва – выщелоченный чернозем. В июне, июле и августе были отобраны колосья по 5 фазам развития яровой пшеницы: начало выхода в трубку (IV этап органогенеза), выход в трубку – начало стеблевания (VII этап), цветение (IX этап), налив зерна, молочная спелость (XI этап), полная спелость (XII этап). С каждого сорта на каждой фазе были отобраны по 30 колосьев (по 10 с каждой повторности).

Гидротермические условия вегетации лет исследований характеризовались неустойчивым увлажнением и влияли на развитие фузариозно-гельминтоспориозной инфекции яровой пшеницы как на подземных, так и на надземных органах. В 2021 г. особенно засушливыми были май и июль, в 2022 г. – май и август. Влажные условия августа 2021 г. (ГТК 1,20) способствовали воздушно-капельной передаче фитопатогенов на колосья [6]. Засушливые условия августа 2022 г. (ГТК 0,45) ограничивали колонизацию микромицетами надземных органов яровой пшеницы воздушно-капельным путем.

Микологический анализ генеративных органов растений проводили на стандартных питательных средах в 3–5 повторностях общепринятыми методами [19]. Для идентификации фузариумов использовали определители [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика колонизации колосьев сортов яровой пшеницы фитопатогенами показана в табл. 1.

Данные таблицы свидетельствуют о ранней колонизации колосьев почвенными фитопатогенами. Из стержней зачатков колосьев сортов Jin Chun 2 и Karee уже на IV этапе органогенеза были выделены *F. роае*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides*, что указывает на их способность к продвижению по сосудам растений и раннему заражению колосьев. В начале выхода в трубку (VII этап органогенеза) эти фитопатогены были выделены из стержней колосьев уже 7 сортов и из зачатков зерен трех сортов. Следует отметить, что *B. sorokiniana* был также выделен из стержней колосьев сорта Зауралочка из Курганской области и канадского сорта Nill Thatcer Lr-35 до выхода колосьев из

трубки (IV–VII этапы органогенеза), что также может свидетельствовать о способности этого микромицета к росту по сосудам растений яровой пшеницы, чего ранее не отмечали в литературе. Массовая колонизация колосьев началась в фазу молочной спелости зерна, причем стержень колоса был инфицирован фитопатогенами сильнее зерновых зачатков. В фазе цветения разница в инфицировании стержней и зерен составляла у *B. sorokiniana* 24,8 раза, у грибов рода *Fusarium* – 2,4, у грибов рода *Alternaria* – 19,4 раза. После фазы молочной спелости началась активная реализация экологических ниш всеми микромицетами, и к концу вегетации колосья всех сортов были колонизированы ими на 100%.

Степень колонизации колосьев коллекции сортов яровой пшеницы *B. sorokiniana* в конце вегетации показана в табл. 2.

Таблица 1

Динамика колонизации микромицетами органов колосьев 10 сортов яровой пшеницы по фазам развития, %

Dynamics of microfungi colonisation of spring wheat spike organs by development phases, %

Вариант	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.
Выход в трубку (IV этап органогенеза)			
Стержень колоса	0,3	0,8	0
Цветок	0	0	0
Начало стеблевания (VII этап)			
Стержень колоса	0,9	1,9	0
Цветок	0	1,2	0
Цветение (IX этап)			
Стержень колоса	14,9	18,8	23,3
Зачаток зерна	0,6	7,9	1,2
Молочная спелость (XI этап)			
Стержень колоса	23,9	23,9	21,8
Зерно	10,3	17,0	9,1

Таблица 2

Инфицированность генеративных органов яровой пшеницы *B. sorokiniana* по сортам и годам, %
Infestation of generative organs of spring wheat varieties by *B. sorokiniana* by types and years, %

Сорт	2021 г.		2022 г.	
	стержень колоса	зерновка	стержень колоса	зерновка
1	2	3	4	5
Сибирская 17	63,3	20,0	30,0	33,3
Зауралочка	63,3	60,0	66,7	26,7
LT-3	63,3	33,3	50,0	30,0
Jin Chun 2	86,7	24,4	46,7	33,3
Remus	43,3	46,7	36,7	20,0
Quarna	70,0	33,3	60,0	13,3

1	2	3	4	5
Nill Thatcher Lr-35	56,7	33,3	33,3	23,3
Karee	86,7	20,0	66,7	30,0
Manu	40,0	32,3	73,3	46,7
K-65834	66,7	66,8	70,0	30,0
Среднее по сортам	64,0	37,0	53,3	28,7
НСР ₀₅ частных средних	9,15	7,21	8,38	4,96

Данные таблицы свидетельствуют, что *B. sorokiniana* доминировал на стержнях колосьев большинства сортов коллекции яровой пшеницы в оба года исследований. Разница между сортами по распространенности *B. sorokiniana* на стержнях колосьев составила в 2021 г. 2,2 раза, в 2022 г. – 2,4 раза. Стержни колосьев были колонизированы *B. sorokiniana* в более влажном 2021 г. на 16,7% сильнее, чем в засушливом 2022 г., в среднем по сортам. В относительно увлажненном 2021 г. самыми инфицированными возбудителем обыкновенной корневой гнили были стержни колосьев китайского сорта Jin Chun 2, а наименее инфицированными – финского сорта Manu. В засушливом 2022 г. ситуация изменилась – наиболее инфицированными *B. sorokiniana* стержни колосьев были у финского сорта Manu, а наименее инфицированными – канадского сорта Nill Thatcher Lr-35. Дисперсионный анализ показал, что сила влияния сортов на инфицированность стержней колосьев *B. sorokiniana* составила 20%, а сила влияния года – 24% при достоверности на 5%-м уровне значимости.

Зерновки сортов яровой пшеницы были инфицированы *B. sorokiniana* ниже, чем стержни колосьев, в оба года исследований, в 2021 г. – в 1,7 раза, в 2022 г. – в 1,9 раза в среднем по

сортам. В 2021 г. самыми инфицированными возбудителем были зерновки таджикского сорта K-65834, а наименее инфицированными – зерновки Сибирской 17 из Новосибирской области и южноафриканского сорта Karee. В засушливом 2022 г. среднее инфицирование зерновок сортов снизилось на 22,4% по сравнению с 2021 г. Наименее инфицированным был швейцарский сорт Quarna, а самыми зараженными *B. sorokiniana* были зерновки финского сорта Manu. Достоверного влияния сортов на инфицирование зерновок *B. sorokiniana* выявлено не было, а сила влияния года была небольшой – 14%, но достоверной на 5%-м уровне значимости.

Таким образом, двухлетние исследования коллекции из 10 сортов яровой пшеницы не позволили выявить устойчивых к инфицированию генеративных органов *B. sorokiniana* форм. Была выявлена приуроченность *B. sorokiniana* к инфицированию стержней колосьев по сравнению с зерновками и усиление колонизации колосьев фитопатогеном в более увлажненных условиях, что подтверждает ранее опубликованные данные [21].

Результаты учетов грибов рода *Fusarium* на генеративных органах сортов яровой пшеницы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Инфицированность колосьев яровой пшеницы грибами рода *Fusarium* по сортам и годам, %Infestation of spring wheat spikelets by *Fusarium* Fungi by varieties and years, %

Сорт	2021 г.		2022 г.	
	стержень колоса	зерновка	стержень колоса	зерновка
1	2	3	4	5
Сибирская 17	36,7	36,7	36,7	3,3
Зауралочка	26,7	36,7	26,7	3,3
LT-3	26,7	13,3	33,3	6,6
Jin Chun 2	16,7	2,3	40,0	20,0
Remus	33,3	3,3	26,7	20,0
Quarna	30,0	16,7	30,0	13,3
Nill Thatcher Lr-35	26,6	20,0	33,3	20,0
Karee	20,0	70,0	10,0	16,6
Manu	20,0	5,5	10,0	10,0

1	2	3	4	5
K-65834	30,0	33,2	26,7	13,3
Среднее по сортам	26,7	23,8	27,3	12,6
НСР ₀₅ частных средних	5,14	4,86	4,92	3,66

Данные таблицы свидетельствуют, что грибы рода *Fusarium* колонизировали генеративные органы сортов яровой пшеницы менее интенсивно по сравнению с *B. sorokiniana*. Так, инфицирование фузариями стержней колосьев было в 2021 г. в 2,4 раза, а в 2022 г. – в 2,0 раза ниже, чем *B. sorokiniana* в среднем по сортам. Колонизация зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* в 2021 г. была в 1,6 раза, а в 2022 г. – в 2,3 раза ниже, чем *B. sorokiniana*. Не выявлено ни одного сорта, генеративные органы которого инфицировались бы фузариевыми грибами сильнее, чем *B. sorokiniana*. В относительно увлажненном 2021 г. грибы рода *Fusarium* колонизировали стержни колосьев и зерновки по-разному, в зависимости от сорта. Так, у финского сорта Ману стержни колосьев были инфицированы фузариями сильнее зерновок в 3,6 раза, у китайского сорта Jin Chun 2 – в 7,2, а у немецкого сорта Remus – в 10,1 раза. Напротив, у южноафриканского сорта Karee зерновки были инфицированы фузариями в 3,5 раза сильнее, чем стержни колосьев. У этого сорта в 2021 г. было отмечено самое сильное среди всех сортов (70%) за два года учетов инфицирование зерновок грибами

рода *Fusarium*, среди которых доминировал *F. oxysporum* Schltdl.

Заслуживает внимание тот факт, что инфицирование фузариями стержней колосьев не зависело от условий года, что, возможно, связано с инфицированием этих генеративных органов по сосудам растений. Напротив, инфицирование зерновок грибами рода *Fusarium* на 22,5% определялось условиями года и было на 47,1% ниже в засушливом 2022 г. по сравнению с 2021 г. В 2022 г. разница в колонизации фузариями стержней колосьев и зерновок в среднем по сортам составила 2,2 раза, достигая у сорта Зауралочка из Курганской области 8,1, а у сорта Сибирская 17 – 11,1 раза.

Таким образом, грибы рода *Fusarium* уступали *B. sorokiniana* по активности колонизации генеративных органов как в засушливых, так и в увлажненных условиях. Они были больше приурочены к стержням колосьев, инфицирование которых практически не зависело от условий года, в отличие от колонизации зерновок, которая была в засушливых условиях в 1,9 раза ниже в среднем по сортам.

Результаты учетов грибов рода *Alternaria* на генеративных органах сортов яровой пшеницы показаны в табл. 4.

Таблица 4

Заселенность колосьев яровой пшеницы грибами рода *Alternaria* по сортам и годам, %
Spike colonisation by *Alternaria* Fungi in spring wheat varieties by varieties and years, %

Сорт	2021 г.		2022 г.	
	стержень колоса	зерновка	стержень колоса	зерновка
Сибирская 17	10,0	43,3	30,0	53,4
Зауралочка	13,3	3,3	6,6	70,0
LT-3	23,3	53,4	16,7	63,4
Jin Chun 2	0	73,3	20,0	46,7
Remus	26,7	50,0	36,6	60,0
Quarna	3,3	50,0	10,0	73,4
Nill Thatcher Lr-35	16,7	46,7	30,0	56,7
Karee	0	10,0	23,3	54,0
Manu	40,0	62,2	16,7	43,3
K-65834	6,7	0	3,3	56,7
Среднее по сортам	15,5	39,2	19,3	57,8
НСР ₀₅ частных средних	2,13	7,92	3,25	9,91

Грибы рода *Alternaria* являются сухоспоровыми, т. е. они не нуждаются во влаге для

перемещения в пространстве, а разносятся воздушными течениями [6, 14, 15]. Кроме того, в

литературе нет сведений о распространении этих микромицетов по сосудам растений, по-видимому, эта способность у альтернариевых грибов отсутствует. Данные биологические особенности определили степень колонизации генеративных органов сортов яровой пшеницы грибами рода *Alternaria*. В умеренно увлажненном 2021 г. были выявлены сорта яровой пшеницы, на стержнях колосьев которых альтернариевые грибы полностью отсутствовали. В более засушливом 2022 г. грибы рода *Alternaria* колонизировали стержни колосьев всех сортов коллекции, причем в среднем по сортам их представленность в микоценозах стержней колосьев была на 19,7% выше, чем в 2021 г. В целом микромицеты из рода *Alternaria* менее успешно колонизировали стержни колосьев в оба года исследований по сравнению как с грибами рода *Fusarium* (в 1,6 раза), так и с *B. sorokiniana* (в 3,4 раза) в среднем по сортам и годам.

Что касается колонизации зерновок сортов яровой пшеницы, то в увлажненном 2021 г. альтернариевые микромицеты не были выявлены только на одном сорте – К-65834 из Таджикистана. В среднем по сортам зерновки были колонизированы грибами рода *Alternaria* сильнее, чем фузариевыми микромицетами, на 39,3% и примерно на уровне *B. sorokiniana*. В засушливом 2022 г., когда влаголюбивые фитопатогены менее активно колонизировали зерновки яровой пшеницы воздушно-капельным путем, альтернариевые грибы получили преимущества для заселения зерновок, их количество в микоценозах возросло в среднем по сортам на 32%. Они были представлены на зерновках сортов в два раза выше, чем *B. sorokiniana*, и в 4,6 раза выше грибов рода *Fusarium*. Дисперсионный анализ показал, что колонизация зерновок грибами рода *Alternaria* определяется условиями года на 21,8% при достоверности на 5%-м уровне значимости.

Таким образом, грибы рода *Alternaria* имели приуроченность к зерновкам сортов яровой пшеницы, по сравнению со стержнями колосьев, колонизируя их более успешно в засуш-

ливых условиях, неблагоприятных для влаголюбивых фитопатогенов из родов *Fusarium* и *B. sorokiniana*.

ВЫВОДЫ

1. В годы исследований микоценоз генеративных органов 10 сортов яровой пшеницы из различных регионов РФ и мира был представлен *B. sorokiniana*, грибами родов *Fusarium* и *Alternaria*, однако представленность таксонов значительно различалась по годам, сортам и органам колосьев.

2. Данные динамики колонизации генеративных органов сортов яровой пшеницы микромицетами свидетельствуют о раннем инфицировании стержней зачатков колосьев грибами рода *Fusarium* (фаза выхода в трубку) и *B. sorokiniana* (фаза стеблевания), что свидетельствует о способности этих микромицетов к заражению колосьев по сосудам и воздушно-капельным путем.

3. Выявлена приуроченность *B. sorokiniana* к инфицированию стержней колосьев, по сравнению с зерновками и усиление колонизации колосьев фитопатогеном в более увлажненных условиях.

4. Грибы рода *Fusarium* уступали *B. sorokiniana* по активности колонизации генеративных органов как в засушливых, так и в увлажненных условиях, они были больше приурочены к стержням колосьев, инфицирование которых практически не зависело от условий года, в отличие от колонизации зерновок, которая была в засушливых условиях в 1,9 раза ниже в среднем по сортам.

5. Грибы рода *Alternaria* имели большую приуроченность к зерновкам сортов яровой пшеницы по сравнению со стержнями колосьев, колонизируя их более успешно в засушливых условиях, неблагоприятных для влаголюбивых фитопатогенов из родов *Fusarium* и *B. sorokiniana*.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-26-00066.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А., Стецов Г.Я. Защита всходов яровой пшеницы в Сибири // Защита и карантин растений. – 2023. – №2. – С. 20–28. – DOI 10.47528/1026-8634_2023_2_20.
2. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А., Стецов Г.Я. Как повысить озерненность колоса и массу 1000 зерен яровой пшеницы // Защита и карантин растений. – 2023. – № 3. – С. 16–25. – DOI: 10.47528/1026-8634_2023_3_16.
3. Популяционные исследования грибов - возбудителей болезней зерновых культур / М.М. Левитин, О.С. Афанасенко, Т.Ю. Гагкаева, Ф.Б. Ганнибал, Е.И. Гульятеева, Н.В. Мироненко // Вестник защиты растений. – 2019. – № 4 (102). – С. 5–16.

4. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С. 641–647.
5. *The micromycetae* composition of the soil under the crops of a summer grain cultures and a specificity of *Bipolaris sorokiniana* and *Fusarium* spp. strains / V.V. Lapina, N.V. Smolin, A.V. Ivoilov [et al.] / Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, № 4. – P. 1804–1810.
6. Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитотиология / под ред. М.С. Соколова, В.А. Чулкиной. – Новосибирск, 2011. – 711 с.
7. Vorob'eva I., Toropova E. Fungi ecological niches of the genus *Fusarium* Link // International Conferences “Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept” 2020/ BIO Web of Conferences 24. 00095 (2020). – <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400095>.
8. *The conidia* *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. distribution in the soil of Altai and Kazakhstan arid regions / E.Yu. Toropova, A.P. Glinushkin, M.K. Insebaeva, G.Ya. Stetsov // J. Phys.: Conf. Ser. 1942 (2021) 012078. 5p. IOP Publishing. – DOI: 10.1088/1742-6596/1942/1/012078.
9. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link. и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, М.А. Мустафина, М.П. Селюк // Агрохимия. – 2019. – № 5. – С. 76–82.
10. Биологическое разнообразие фитопатогенных почвенных микромицетов на сортах яровой пшеницы в Западной Сибири / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, О.А. Казакова, Р.И. Трунов // Агрохимия. – 2022. – № 10. – С. 56–64. – DOI: 10.31857/S000218812210012X.
11. Монастырский О.А. Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С. 67–71.
12. Саркисов А.Х. Избранные труды. Микология. Микотоксикозы. Дерматомикозы. – М., 2000. – 400 с.
13. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway / A. Bernhoft, M. Torp, P.-E. Clasen [et al.] // Food Additives & Contaminants. – 2012. – Part A. – P. 1–12.
14. Ганнибал Ф.Б. Изучение факторов, влияющих на развитие альтернариоза зерна у злаков, возделываемых в европейской части России // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 3. – С. 605–615.
15. Кириченко А.А., Торопова Е.Ю. Биологические особенности сибирской популяции грибов рода *Alternaria* // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2013. – №1 (26). – С. 21–26.
16. Альтернариоз зерна яровой пшеницы и ячменя в Западной Сибири и Восточном Зауралье / Е.Ю. Торопова, А.А. Кириченко, О.А. Казакова, И.Н. Порсев // Защита и карантин растений. – 2015. – №1. – С. 20–22.
17. Манукян И.Р., Басиева М.А. Селекция озимой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса для условий предгорной зоны Северного Кавказа // Вестник АПК Ставрополя. – 2016. – № 3 (23). – С. 194–196.
18. Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко / И.Б. Аблова, Л.А. Беспалова, Ф.А. Колесников [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С. 32–36.
19. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем: учеб.-практ. пособие: В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов [и др.]; под ред. Е.Ю. Тороповой. – Барнаул, 2017. – 210 с.
20. Шипилова Н.П., Иващенко В.Г. Систематика и диагностика грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах. – СПб., 2008. – 84 с.
21. Инфицированность органов зерновок сортов яровой пшеницы почвенными фитопатогенами / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, О.А. Казакова, В.М. Гришин, В.В. Пискарев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 7 (100). – С. 185–192. – DOI: 10.21515/1999-1703-100-185-192.

REFERENCES

1. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Stetsov G.Ya., Zashchita i karantin rastenii, 2023, No. 2, pp. 20–28, DOI 10.47528/1026-8634_2023_2_20. (In Russ.)
2. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Stetsov G.Ya., Zashchita i karantin rastenii, 2023, No. 3, pp. 16–25, DOI: 10.47528/1026-8634_2023_3_16. (In Russ.)
3. Levitin M.M., Afanasenko O.S., Gagkaeva T.Yu., Gannibal F.B., Gul'tyaeva E.I., Mironenko N.V., Vestnik zashchity rastenii, 2019, No. 4 (102), pp. 5–16. (In Russ.)
4. Levitin M.M., Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, 2015, T. 50, No. 5, pp. 641–647. (In Russ.)
5. Lapina V.V., Smolin N.V., Ivoilov A.V., Zhemchuzhina N.S., Elizarova S.A., The micromycetae composition of the soil under the crops of a summer grain cultures and a specificity of *Bipolaris sorokiniana* and *Fusarium* spp. strains, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, 2016, Vol. 7, No. 4, pp. 1804–1810.
6. Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya., Chulkina V.A., Epifitotologiya (Epiphytology), Novosibirsk, 2011, 711 p.
7. Vorob'eva I., Toropova E., Fungi ecological niches of the genus *Fusarium* Link, International Conferences “Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept” 2020/ BIO Web of Conferences 24. 00095 (2020), <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400095>.
8. Toropova E.Yu., Glinushkin A.P., Insebaeva M.K., Stetsov G.Ya., The conidia *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. distribution in the soil of Altai and Kazakhstan arid regions, J. Phys.: Conf. Ser. 1942 (2021) 012078. 5p. IOP Publishing, DOI:10.1088/1742-6596/1942/1/012078.
9. Toropova E.Yu., Vorob'eva I.G., Mustafina M.A., Selyuk M.P., Agrokhimiya, 2019, No. 5, pp. 76–82. (In Russ.)
10. Toropova E.Yu., Vorob'eva I.G., Kazakova O.A., Trunov R.I., Agrokhimiya, 2022, No. 10, pp. 56–64, DOI: 10.31857/S000218812210012X (In Russ.)
11. Monastyrskii O.A., Agrokhimiya, 2016, No. 6, pp. 67–71. (In Russ.)
12. Sarkisov A.Kh., Izbrannye trudy. Mikologiya. Mikotoksikozy. Dermatomikozy (Selected works. Mycology. Mycotoxicosis. Dermatomycoosis), Moscow, 2000, 400 p.
13. Bernhoft A., Torp M., Clasen P.-E., Loes A.-K., Kristoffersen A.B., Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway, Food Additives & Contaminants, 2012, Part A, pp. 1–12.
14. Gannibal F.B., Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, 2018, T. 53, No. 3, pp. 605–615. (In Russ.)
15. Kirichenko A.A., Toropova E.Yu., Vestnik NGAU, 2013, No. 1 (26), pp. 21–26. (In Russ.)
16. Toropova E.Yu., Kirichenko A.A., Kazakova O.A., Porsev I.N., Zashchita i karantin rastenii, 2015, No. 1, pp. 20–22. (In Russ.)
17. Manukyan I.R., Basieva M.A., Vestnik APK Stavropol'ya, 2016, No. 3 (23), pp. 194–196. (In Russ.)
18. Ablova I.B., Bepalova L.A., Kolesnikov F.A., Nabokov G.D., Kovtunen V.Ya., Filobok V.A., Davoyan R.O., Khudokormova Zh.N., Mokhova L.M., Levchenko Yu.G., Tarkhov A.S., Zernovoe khozyaistvo Rossii, 2016, No. 5, pp. 32–36. (In Russ.)
19. Chulkina V.A., Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya., Kirichenko A.A., Marmuleva E.Yu., Grishin V.M., Kazakova O.A., Selyuk M.P., Fitosanitarnaya diagnostika agroekosistem (Phytosanitary diagnostics of agroecosystems), Barnaul, 2017, 210 p. (In Russ.)
20. Shipilova N.P., Ivashchenko V.G., Sistematika i diagnostika gribov roda *Fusarium* na zernovykh kul'turakh (Systematics and diagnostics of *Fusarium* fungi on grain crops.), Sankt-Peterburg, 2008, 84 p. (In Russ.)
21. Toropova E.Yu., Vorob'eva I.G., Kazakova O.A., Grishin V.M., Piskarev V.V., Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2022, No. 7 (100), pp. 185–192, DOI: 10.21515/1999-1703-100-185-192 (In Russ.)