

УДК 632.04.01/.08:633.11“321”(571.1)

Работа посвящена светлой памяти основателя Сибирской научной школы по защите растений профессора, заслуженного деятеля науки РФ Валентины Андреевны Чулкиной

## БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОПАТОГЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ НА СОРТАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ<sup>1</sup>

© 2022 г. Е. Ю. Торопова<sup>1,2,\*</sup>, И. Г. Воробьева<sup>3</sup>, О. А. Казакова<sup>1,2</sup>, Р. И. Трунов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный аграрный университет  
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии  
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

<sup>3</sup>Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН  
630090 Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, Россия

\*E-mail: 89139148962@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.06.2022 г.

После доработки 20.06.2022 г.

Принята к публикации 12.07.2022 г.

Биологическое разнообразие микромицетов в системе органов яровой пшеницы имеет теоретическое и практическое значение для стабильности функционирования агроценозов. Цель исследования – выявление биологического разнообразия фитопатогенных микромицетов в системе подземных и генеративных органов сортов яровой пшеницы. Задачи исследования включали также количественный анализ влияния сортов и условий года на разнообразие фитопатогена и оценке общности видового состава микромицетов в подземных и генеративных органах. Исследование проводили на 11 сортах яровой пшеницы в 2020–2022 гг. в северной лесостепи Приобья по общепринятым и авторским методикам. На подземных и генеративных органах 11 сортов яровой пшеницы разного географического происхождения в северной лесостепи Приобья доминировали *B. sorokiniana*, *F. oxysporum*, *F. roae*, причем первые 2 вида доминировали и в подземных, и в генеративных органах растений, тогда как *F. roae* на зерновках и органах являлся субдоминантом. Грибы рода *Alternaria* входили в число доминантов только на генеративных органах сортов яровой пшеницы. На подземных органах общее биологическое разнообразие составило 12 таксонов, на зерновках – 6 таксонов. Сорта и условия года статистически достоверно влияли на биологическое разнообразие микромицетов. Например, сила влияния фактора “сорт” составляла на подземных органах 14.7–35.4, фактора “год” – 12.6–33.1%. Биологическое разнообразие фитопатогенных микромицетов возрастало до 30% после гидротермических стрессов, снижавших устойчивость растений к корневым гнилям. Сила влияния фактора “сорт” на биологическое разнообразие микромицетов на зерновках сортов яровой пшеницы составила 34.4, фактора “год” – 18.2%. Общность видового состава микромицетов на зерновках была высокой – 0.83. Коэффициент общности видового состава на зерновках и подземных органах составил в среднем по годам 0.67. Виды и таксоны микромицетов были в разной степени приурочены к отдельным подземным и генеративным органам сортов яровой пшеницы, что отражало дифференцированную реализацию ими потенциальных экологических ниш под действием растений-хозяев, условий среды и межвидовых отношений микромицетов.

**Ключевые слова:** яровая пшеница, сорт, подземный орган, зерновка, *B. sorokiniana*, *Fusarium*, биологическое разнообразие, сила влияния, условия года.

DOI: 10.31857/S000218812210012X

### ВВЕДЕНИЕ

Фитопатогенные почвенные микромицеты имеют широкое распространение и вредоносность в агроценозах яровой пшеницы в регионах Российской Федерации и Мира [1–4].

Особенно распространены на всех континентах Мира паразитарные системы пшеница–почвенные фитопатогены родов *Fusarium* Link. и *Helminthosporium*. Среди почвенных фитопатогенов грибы рода *Fusarium* и *H. sativum* Ram. занимают особое место не только потому, что являются возбудителями болезней (корневых гнилей, пятнистостей и ожогов листьев, увяданий, вилтов и др.)

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 22-26-00066.

более 200 видов культурных и дикорастущих растений и заселяют почвы всего Мира, но и благодаря их способности вызывать у зерновых культур чрезвычайно опасный для людей и животных микотоксикоз зерна [5–7].

Все грибы рода *Fusarium* 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 [8, 9]. *H. sativum* сохраняется в почве в форме конидий, хламидоспор и мицелия 5–7 лет [10, 11]. Экологические ниши фитопатогенных грибов *H. sativum* 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 высеве инфицированных семян [12, 13]. Заражение колоса может происходить по сосудам или воздушно-капельным путем [14–16]. Интенсивность заражения колоса фитопатогенными микромицетами определяется рядом абиотических и биотических факторов, среди которых существенную роль играют сортовые особенности культуры, фитосанитарное состояние почвы, конкуренция с другими фитопатогенами, погодные условия [17–19].

Колонизируя колос, грибы р. *Fusarium* могут продуцировать 148 токсических соединений, крайне опасных для здоровья человека и животных [20–22]. Многие виды *Fusarium*, поражающие зерновые культуры, продуцируют фузариотоксины дезоксиниваленол (ДОН), ниваленол (НИВ), зеараненон (ЗЕА), Т-2 токсин, а также фумонизины, индуцирующие онкологические заболевания [23]. Например, основной возбудитель фузариоза колоса озимой пшеницы токсипродуцирующий вид *F. graminearum* Schwabe. синтезирует ДОН и его ацетатные производные, а также НИВ [20, 22]. Фузариотоксины обладают нефратоксичными, иммуносупрессивными и канцерогенными свойствами [12, 20, 22]. *H. sativum* продуцирует токсины гельминтоспорол, гельминтоспорал, вик-токсин, цитокинин, опасные для здоровья людей и животных [20, 22].

В 2007–2008 гг. произошла смена доминирования фитопатогенов на подземных органах яровой и озимой пшеницы, и грибы рода *Fusarium* заняли преобладающее положение, формируя совместные патоккомплексы с ранее доминировавшим *H. sativum*. Самая высокая частота встречаемости на подземных органах яровой пшеницы и ячменя (4–5 лет из 5-ти) в 2007–2016 гг. была у *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. equiseti*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. subglutinans* [24, 25]. Установлены

факторы, способствующие доминированию грибов рода *Fusarium* в патоккомплексе корневых гнилей зерновых культур – это минимизация обработки почвы, широкое применение триазольных протравителей, снижение супрессивности почвы, усугубление и повышение частоты засушливых периодов в течение вегетации, засоренность почвы семенами нежелательных (сорных) растений [25].

На семенах яровой пшеницы постоянно присутствовал *H. sativum* и достаточно широкий набор видов рода *Fusarium*, среди которых с разной частотой встречались *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. solani*, *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. incarnatum*, *F. heterosporum*, *F. acuminatum*, *F. solani* и др. Установлено, что вредоносность фитопатогенов усугублялась при раннем, в период колошения, инфицировании зерновок. Посевные качества инфицированных семян значительно снижались ( $r = 0.511–0.615$ ) [21]. Распространению и развитию фитопатогенов на колосьях яровой пшеницы способствовали высокие температуры в последней декаде июля и в августе, превышающие средние многолетние показатели 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 для *H. sativum* –  $r = 0.732–0.916$  [16, 21].

Инфицирование колоса часто носит комплексный характер, может быть вызвано несколькими видами фитопатогенов, вступающих в сложные отношения как с растением-хозяином, так и друг с другом [19, 21]. Кроме того, в фитопатологии хорошо известно явление замещения экологических ниш элиминированных фитопатогенов близкими видами, часто не менее агрессивными [3, 15, 16].

Поскольку стартовой площадкой гельминтоспориоза и фузариоза колоса является почва, откуда фитопатогены могут разными путями достигать колоса, для долгосрочного контроля микозов следует создавать условия для целенаправленной индукции и поддержания супрессивности почвы, т.е. подавления развития или элиминации из почвы наиболее опасных фитопатогенов [2, 16, 24]. В последние годы выявлена специфичность естественной и индуцированной супрессивности типов почвы, а также специфические индукторы супрессивности в отношении *H. sativum* и нескольких патогенных микромицетов из рода *Fusarium* [28].

Подземные и генеративные органы сортов яровой пшеницы инфицируются комплексом фитопатогенов, однако их биологическое разнообразие и взаимоотношения изучены недостаточно [29]. Цель работы – выявление биологического разнообразия фитопатогенных микромицетов в

**Таблица 1.** Видовое разнообразие почвенных микромицетов на первичных корнях сортов яровой пшеницы в зависимости от фаз развития и года вегетации, балл

Сорт	2020 г.			2021 г.		
	всходы	цветение	зрелость	всходы	цветение	зрелость
Quarna	3	5	6	4	5	5
Jin Chun 2	2	4	4	6	4	4
Зауралочка	3	4	4	4	5	4
NIL Thatcher Lr13	4	6	5	4	5	4
Manu	3	4	4	5	4	5
К-65834	3	4	4	4	5	4
Сибирская 17	3	4	5	3	5	4
Remus	4	7	4	4	6	4
ЛТ-3	4	3	4	6	4	6
Calingiri	4	3	6	6	4	3
Karee	4	5	6	4	5	4
Среднее	3.4	4.5	4.7	4.5	4.7	4.3

системе подземных и генеративных органов сортов яровой пшеницы. Задачи исследования: 1 – определить видовое разнообразие почвенных патогенных микромицетов в системе подземных органов сортов яровой пшеницы в фазах вегетации, 2 – выявить биологическое разнообразие фитопатогенных микромицетов в органах зерновок сортов яровой пшеницы, 3 – оценить общность видового состава фитопатогенов в подземных и генеративных органах.

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследование проводили в 2020–2022 гг. в северной лесостепи Приобья. Были высеяны сорта из коллекции яровой пшеницы ФИЦ “Институт цитологии и генетики СО РАН” (лаборатория генофонда растений), изученные в рамках бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № 0259-2022-0018. Изучали сорта из различных регионов: Сибирская 17 (Новосибирская обл.), ЛТ-3 (Ленинградская обл.), Зауралочка (Курганская обл.), Jin Chun 2 (Китай), Remus (Германия), Manu (Финляндия), Quarna (Швейцария), Calingiri (Австралия), NIL Thatcher Lr35 (Канада), К-65834 (Таджикистан), Karee (ЮАР). Площадь под каждым сортом – 2 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности. Предшественник – пар. Почва – выщелоченный чернозем.

Гидротермические условия вегетаций 2020 и 2021 гг. были довольно экстремальными и способствовали развитию фузариозно-гельминтоспориозной инфекции яровой пшеницы как на подземных, так и на генеративных органах. Растения периодически испытывали гидротермические стрессы, поскольку периоды повышенного увлажнения сменялись острозасушливыми усло-

виями. В 2020 г. особенно засушливым был июнь, в 2021 – май и июль. Увлажнение в конце вегетации способствовало воздушно-капельной передаче фитопатогенов на колосья [16].

Аналитические исследования проводили общепринятыми и авторскими методами, протоколы которых приведены в [30]. Для определения фитопатогенов использовали определители [31, 32]. Общность видового состава определяли по коэффициенту Жаккара [30].

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В период исследования таксономический состав патогенных микромицетов на подземных генеративных органах сортов в целом был типичным для зоны и был представлен *Bipolaris sorokinana* Sacc. Shoem. и грибами родов *Fusarium* Link. и *Alternaria* Nees. В общей сложности в годы исследования на подземных органах сортов яровой пшеницы были выявлены 12 видов грибов из рода *Fusarium*: *F. poae* (Peck.) Wollenw., комплекс видов *F. oxysporum* Schltdl., *F. solani* Koord., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. sambucinum* Fuckel, *F. graminearum* Schwabe, *F. sporotrichioides* Sherb., *F. culmorum* Sacc., *F. heterosporum* Nees., *F. acuminatum* Ellis & Verh., *F. semitectum* Berk. et Rav. и *F. sambucinum* Fuckel. Годы исследования характеризовались контрастными условиями, что сказалось на видовом разнообразии микромицетов в зависимости от сорта и органа растения. Число видов фитопатогенов в первичных корнях сортов яровой пшеницы по годам представлено в табл. 1.

Данные показали, что в 2020 г. биологическое разнообразие микромицетов на первичных корнях сортов в начале вегетации было небольшим в силу благоприятных условий для проявления

**Таблица 2.** Видовое разнообразие почвенных микромицетов на вторичных корнях сортов яровой пшеницы в зависимости от фаз развития и года вегетации, балл

Сорт	2020 г.		2021 г.	
	цветение	зрелость	цветение	зрелость
Quarna	6	6	4	5
Jin Chun 2	7	5	4	4
Зауралочка	4	4	4	4
NIL Thatcher Lr13	7	6	5	6
Manu	7	3	4	5
K-65834	5	4	4	5
Сибирская 17	5	4	4	5
Remus	7	5	5	4
LT-3	7	4	4	5
Calingiri	4	4	6	3
Karee	5	5	5	5
Среднее	5.7	4.5	4.5	4.6

устойчивости растений. Самое высокое разнообразие – 7 видов, было отмечено на первичных корнях немецкого сорта Remus в фазе цветения растений, самое низкое – 3 вида было выявлено на первичных корнях сорта Сибирская 17 в фазе цветения и у сортов LT-3 (Ленинградская обл.) и Calingiri (Австралия) в фазе цветения. В 2020 г. можно было отметить некоторую стабилизацию и рост среднего показателя биологического разнообразия микромицетов к концу вегетации в зависимости от сорта. В 2021 г. острая засуха в период формирования всходов увеличила биологическое разнообразие микромицетов на первичных корнях сортов, оно увеличилось по сравнению с 2020 г. на 25%. С наступлением более благоприятных условий биологическое разнообразие стабилизировалось, затем сократилось к концу вегетации под влиянием гидротермического стресса конца июля–начала августа. Можно заключить, что биологическое разнообразие фитопатогенов на первичных корнях сортов яровой пшеницы определялось сортом и условиями года. Сила влияния фактора “сорт” на биологическое разнообразие микромицетов патоконцентрации корневых гнилей первичных корней составила 12.6, фактора “год” – 33.1%.

Биологическое разнообразие микромицетов на вторичных корнях сортов яровой пшеницы показано в табл. 2. Биологическое разнообразие грибов рода *Fusarium* на вторичных корнях менялось в зависимости от сорта, фаз развития и года вегетации. Максимальное среднее биологическое разнообразие было отмечено на вторичных корнях в 2020 г. в фазе цветения, 5 сортов имели на

этих органах максимальное за вегетацию (7 видов) биологическое разнообразие микромицетов. К концу вегетации биологическое разнообразие фитопатогенов на вторичных корнях в среднем сократилось на 20%, причем для финского сорта Manu это сокращение достигло 2.3 раза. У 4-х сортов биологическое разнообразие фитопатогенов осталось неизменным по сравнению с фазой цветения. Можно предполагать, что засушливые условия июня повысили восприимчивость новых формирующихся органов яровой пшеницы к возбудителям корневых гнилей, обеспечив им максимальное биологическое разнообразие. Несколько иная ситуация сложилась в 2021 г., когда период формирования вторичных корней, напротив, был благоприятным для растений, что повысило их устойчивость к фитопатогенам. В среднем для сортов биологическое разнообразие фитопатогенов на вторичных корнях в фазе цветения в 2021 г. было меньше, чем в 2020 г., на 20%, отражая, по-видимому, их толерантность к гидротермическим стрессам. Исключением из общего правила был австралийский сорт Calingiri, у которого биологическое разнообразие в 2021 г. было даже выше, чем в 2020 г. К концу вегетации 2021 г. биологическое разнообразие патогенных микромицетов на вторичных корнях яровой пшеницы несколько увеличилось или осталось на прежнем уровне у большинства сортов. Исключение снова составил сорт Calingiri, на вторичных корнях которого число видов к фазе зрелости сократилось в 2 раза. Таким образом, сорта и условия года влияли на биологическое разнообразие патогенного микоценоза корневых гнилей. Дисперсионный анализ по схеме двухфакторного опыта показал, что сила влияния сорта на биологическое разнообразие фитопатогенов составила 14.7, года вегетации – 29.1% и была достоверна на 5%-ном уровне значимости.

Биологическое разнообразие микромицетов на основаниях стеблей показано в табл. 3. Показано, что на основаниях стеблей растений яровой пшеницы среднее в зависимости от сорта биологическое разнообразие патогенных микромицетов достигло максимума в фазе цветения в 2020 г. Благоприятные условия начала вегетации 2020 г. снизили биологическое разнообразие фитопатогенов, растения проявили устойчивость к возбудителям фузариозно-гельминтоспориозных корневых гнилей. Гидротермический стресс снизил устойчивость оснований стеблей к инфицированию фитопатогенами, в результате чего их среднее в зависимости от сорта биологическое разнообразие возросло в фазе цветения на 26%. К концу вегетации 2020 г. произошла стабилизация или снижение биологического разнообразия патогенных микромицетов на основаниях стеблей большинства сортов яровой пшеницы. В 2021 г. в фазе

**Таблица 3.** Видовое разнообразие почвенных микромицетов на основаниях стеблей сортов яровой пшеницы в зависимости от фаз развития и года вегетации, балл

Сорт	2020 г.			2021 г.		
	всходы	цветение	зрелость	всходы	цветение	зрелость
Quarna	3	7	6	5	5	3
Jin Chun 2	3	5	4	3	5	4
Зауралочка	5	4	4	6	4	4
NIL Thatcher Lr13	5	5	4	3	5	6
Manu	3	5	3	4	3	4
К-65834	2	6	4	4	5	4
Сибирская 17	4	4	4	3	3	4
Remus	5	4	5	4	5	4
LT-3	3	6	5	4	4	5
Calingiri	4	4	4	5	3	3
Karee	4	5	6	5	4	2
Среднее	3.7	5.0	4.5	4.2	4.2	3.9

всходов, в силу засушливых, стрессорных для растений условий, биологическое разнообразие было на 12% меньше по сравнению с 2020 г. В течение вегетации биологическое разнообразие грибов на основаниях стеблей было стабильным с некоторым средним снижением к концу вегетации. Наиболее значительное снижение разнообразия к фазе зрелости (до 2-х видов) отмечено на основаниях стеблей южноафриканского сорта Karee, в 2.5 раза по сравнению с фазой всходов, что отражало индивидуальную реакцию сорта на контрастное увлажнение в ходе вегетации. Исключение составил канадский сорт NIL Thatcher Lr13, на основаниях стеблей которого биологическое разнообразие фитопатогенов было минимальным в фазе всходов, а к концу вегетации оказалась больше в 2 раза. Сила влияния сорта на биологическое разнообразие микромицетов на основаниях стеблей составила 35.4, года вегетации – 12.6% и была достоверна на 5%-ном уровне значимости.

Таким образом, биологическое разнообразие фитопатогенов на подземных органах сортов яровой пшеницы определялось как сортом, так и условиями года, повышаясь после или в период гидротермических стрессов до 30%. Самое значительное биологическое разнообразие (до 7-ми видов) выявлено на вторичных корнях сортов яровой пшеницы в фазе цветения, особенно после гидротермического стресса. Сила влияния фактора “орган” составила 82.1% и была достоверна на 1%-ном уровне значимости, а сила влияния года на разнообразие микромицетов на органах растений составила при такой схеме анализа 17% и была достоверна на 5%-ном уровне значимости.

Поскольку грибы родов *Fusarium* и *Alternaria*, а также *B. sorokiniana* паразитируют не только на подземных, но и на генеративных органах яровой пшеницы, было определено их биологическое разнообразие на зерновках в зависимости от сорта (табл. 4). Видовое разнообразие микромицетов на зерновках сортов яровой пшеницы менялось в зависимости от сорта в 2020 г. от 5 до 3 баллов и в среднем было на 17.8–21.3% меньше, чем на подземных органах этих же сортов в фазе зрелости. Коэффициент общности видового состава на зерновках и подземных органах составил 0.6, на подземных органах общее биологическое разнообразие составило 12 видов, на зерновках – 6 видов. В 2021 г. биологическое разнообразие микромицетов на зерновках сортов было несколько больше и менялось от 3 до 6 видов, и в среднем в зависимости от сорта было на 17.8% больше, чем в 2020 г. Коэффициент общности видового состава микромицетов на подземных органах и на зерновках составил в 2021 г. 0.73. Сила влияния фактора “сорт” на биологическое разнообразие микромицетов составила 34.4, фактора “год” – 18.2%.

Исследование локализации микромицетов в частях зерновок показало, что видовое разнообразие микромицетов было на 10% больше в эндосперме, чем в зародыше в среднем для сортов. В зародышах биологическое разнообразие в зависимости от сорта менялось от 1-го до 5-ти, в эндосперме – от 1-го до 6-ти. Самое низкое биологическое разнообразие – 1 таксон (*Alternaria* spp.) было выявлено для южноафриканского сорта Karee. Общность видового состава микромицетов в частях зерновок была высокой – 0.83. Однако максимальная за период учетов представленность отдельных таксонов микромицетов в зависимо-

**Таблица 4.** Видовое разнообразие микромицетов на зерновках сортов яровой пшеницы в зависимости от частей зерновки и года вегетации, балл

Сорт	2020 г.		2021 г.	
	зерновки	зародыш	эндосперм	
Quarna	5	5	4	5
Jin Chun 2	3	3	3	2
Зауралочка	3	5	4	5
NIL Thatcher Lr13	4	5	5	5
Manu	3	3	3	2
К-65834	5	6	4	5
Сибирская 17	3	4	4	3
Remus	4	6	5	6
LT-3	3	5	3	4
Calingiri	4	6	4	6
Karee	4	2	1	1
Среднее	3.7	4.5	3.6	4.0

сти от органа растения существенно различалась (табл. 5). Показано, что доминантами микоценоза подземных органов были *B. sorokiniana*, *F. oxysporum* и *F. poae*, причем первые 2 вида доминировали и на генеративных органах сортов, тогда как *F. poae* на зерновках и их частях был субдоминантом. *F. equiseti* был дополнительным видом как на подземных, так и на генеративных органах, редко проникая в зародыши семян. *F. graminearum* на подземных органах относился к дополнительным видам, на генеративных – к редким. *F. sambucinum*

и *F. heterosporum* встречались только на подземных органах сортов, относясь к группам дополнительных и редких видов соответственно. *F. solani* относился к дополнительным видам на вторичных корнях, к редким на первичных корнях, основаниях стеблей растений, а также на зерновках сортов яровой пшеницы. Дифференцированный анализ локализации микромицетов в частях зерновок не выявил *F. solani*, он, по-видимому, локализовался в оболочках зерен. *F. culmorum* был редким видом на всех подземных и генеративных органах сортов яровой пшеницы. *F. acuminatum* и *F. semitectum* встречались редко и только на подземных органах сортов пшеницы. Грибы рода *Alternaria* были редким таксоном на подземных органах растений сортов яровой пшеницы, но, относясь к наземно-семенным микромицетам, были широко представлены в генеративных органах растений, входя в состав доминантов вместе с *B. sorokiniana*, *F. oxysporum* и *F. poae*.

## ВЫВОДЫ

1. На подземных и генеративных органах 11 сортов яровой пшеницы разного географического происхождения в северной лесостепи Приобья доминировали *B. sorokiniana*, *F. oxysporum*, *F. poae*, причем первые 2 вида доминировали и в подземных и в генеративных органах сортов, тогда как *F. poae* на зерновках и их органах являлся субдоминантом. Грибы рода *Alternaria* входили в число доминантов только на генеративных органах растений сортов яровой пшеницы.

**Таблица 5.** Локализация видов микромицетов на органах яровой пшеницы (2020–2021 гг.)

Вид	Первичные корни	Вторичные корни	Основания стеблей	Зерновка	Зародыш	Эндосперм
<i>Bipolaris sorokiniana</i> Sacc. Shoem.	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>F. poae</i> (Peck.) Wollenw.	+++	+++	+++	++	++	++
Комплекс видов <i>F. oxysporum</i> Schldtl.	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>F. equiseti</i> (Corda) Sacc.	++	++	++	++	+	++
<i>F. solani</i> Koord.	+	++	+	+	–	–
<i>F. sambucinum</i> Fuckel	+++	++	++	–	–	–
<i>F. graminearum</i> Schwabe	+++	++	+++	+	+	+
<i>F. sporotrichioides</i> Sherb.	+	+	+	++	+	++
<i>F. culmorum</i> Sacc.	+	++	+	+	+	+
<i>F. heterosporum</i> Nees.	++	+	+	–	–	–
<i>F. acuminatum</i> Ellis & Verh.	–	+	+	–	–	–
<i>F. semitectum</i> Berk. et Rav.	–	–	+	–	–	–
<i>Alternaria</i> spp.	+	+	+	+++	++	+++

Примечание. Прочерк – отсутствие поражения, + – поражение до 20%, ++ – поражение 21–50%, +++ – поражение >50%.

2. На подземных органах общее биологическое разнообразие составило 12 таксонов, на зерновках – 6 таксонов. Факторы “сорт” и “условия года вегетации” статистически достоверно влияли на биологическое разнообразие микромицетов. Сила влияния фактора “сорт” составляла на подземных органах 14.7–35.4, фактора “год” – 12.6–33.1%. Биологическое разнообразие фитопатогенных микромицетов возрастало до 30% после гидротермических стрессов, снижавших устойчивость растений к корневым гнилям. Сила влияния фактора “сорт” на биологическое разнообразие микромицетов на зерновках сортов яровой пшеницы составила 34.4, фактора “год” – 18.2%. Общность видового состава микромицетов в частях зерновок была высокой – 0.83. Коэффициент общности видового состава на зерновках и подземных органах составил в среднем в зависимости от года вегетации 0.67.

3. Виды и таксоны микромицетов были в разной степени приурочены к отдельным подземным и генеративным органам сортов яровой пшеницы, что отражало дифференцированную реализацию ими потенциальных экологических ниш под действием растений-хозяев, условий среды и межвидовых отношений микромицетов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Dixon G.R., Tilston E.L. Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment // Soil Microbiol. Sust. Crop Product. 2010. P. 197–271.
- Sokolov M.S., Semenov A.M., Spiridonov Yu.Ya., Toropova E.Yu., Glinushkin A.P. Healthy soil – condition for sustainability and development of the argo and socio spheres (Problem-analytical review) // Biol. Bul. 2020. V. 47. № 1. P. 18–26. <https://doi.org/10.1134/S1062359020010148>
- Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // Сел.-хоз. биол. 2015. Т. 50. № 5. С. 641–647.
- Figuroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S. A review of wheat diseases-a field perspective // Mol. Plant Pathol. 2018. V. 19. № 6. P. 1523–1536.
- Magan N., Medina A., Aldred D. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre and postharvest // Plant Pathol. 2011. V. 60 (1). P. 150–163.
- Bernhoft A., Torp M., Clasen P.-E., Loes A.-K., Kristofersen A.B. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway // Food Addit. Contam. 2012. Part A. P. 1–12.
- Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Биоразнообразие и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium* // Биосфера. 2014. Т. 6. № 1. С. 36–45.
- Vorob'eva I., Toropova E. Fungi ecological niches of the genus *Fusarium* Link. // Inter. Conf. “Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept” 2020 // BIO Web of Conferences 24. 00095 (2020). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400095>.
- Doohan F.M., Brennan J., Cooke B.M. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals // Europ. J. Plant Pathol. 2003. V. 109. № 7. P. 755–768.
- 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. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012078>
- Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Дубовой В.П., Лапина В.В. Видовой состав возбудителей корневой гнили на яровых зерновых в республике Мордовия // Сел.-хоз. биол. 2016. Т. 51. № 1. С. 119–127.
- Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Фузариоз зерновых культур // Прилож. к журн. “Защита и карантин растений”. 2011. № 5. С. 70–112.
- Burlakoti R.R., Shrestha S.M., Sharma R.C. Effect of natural seed-borne inoculum of *Bipolaris sorokiniana* on the seedling emergence and vigour, and early establishment of foliar blight in spring wheat // Arch. Phytopathol. Plant Protect. 2014. V. 47. № 7. P. 812–820.
- Билай В.И. Фузариоз. Киев: Наукова думка, 1977. 443 с.
- Vorobyeva I.G., Toropova E.Yu. On the Issue of ecological niches of plant pathogens in Western Siberia // Contempor. Probl. Ecol. 2019. V. 12. № 6. P. 667–674. Pleiades Publishing, Ltd., 2019. <https://doi.org/10.1134/S1995425519060155>
- Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитотология / Под ред. Соколова М.С., Чулкиной В.А. Новосибирск, 2011. 711 с.
- Аблова И.Б., Беспалова Л.А., Колесников Ф.А., Набоков Г.Д., Ковтуненко В.Я., Филобок В.А., Давоян Р.О., Худокормова Ж.Н., Мохова Л.М., Левченко Ю.Г., Тархов А.С. Принципы и методы селекции пшеницы на устойчивость к болезням в КНИИСХ им. П.П. Лукьяненко // Зерн. хоз-во России. 2016. № 5. С. 32–36.
- Манукян И.Р., Басиева М.А. Селекция озимой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса для условий предгорной зоны Северного Кавказа // Вестн. АПК Ставрополя. 2016. № 3 (23). С. 194–196.
- Казакова О.А., Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г. Взаимоотношения фитопатогенов семян ячменя в Западной Сибири // АПК России. 2016. Т. 23. № 5. С. 931–934.
- Монастырский О.А. Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов // Агрохимия. 2016. № 6. С. 67–71.
- Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Мустафина М.А., Селюк М.П. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link. и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 5. С. 76–82.

22. Hussein H.S., Brasel J.M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals // *Toxicology*. 2001. V. 167 (2). P. 101–134.
23. Мазыгула Е.Д., Харламова М.Д. Оценка токсичности и экологической опасности сырья и кормов, содержащих микотоксины // *Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2015. № 1. С. 50–56.
24. Торопова Е.Ю., Казакова О.А., Воробьева И.Г., Селюк М.П. Фузариозные корневые гнили зерновых культур в Западной Сибири и Зауралье // *Защита и карантин раст.* 2013. № 9. С. 23–26.
25. Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Казакова О.А. Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патоккомплексе корневых гнилей зерновых культур // *Агрохимия*. 2018. № 5. С. 73–82.
26. Duveiller E.M., Sharma R.C. Genetic improvement and crop management strategies to minimize yield losses in warm non-traditional wheat growing areas due to spot blotch pathogen *Cochliobolus sativus* // *J. Phytopathol.* 2009. V. 157. № 9. P. 521–534.
27. Eisa M., Chand R., Joshi A.K. Biochemical and histochemical traits: a promising way to screen resistance against spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*) of wheat // *Europ. J. Plant Pathol.* 2013. V. 137. № 4. P. 805–820.
28. Торопова Е.Ю., Казакова О.А., Селюк М.П., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Факторы индукции супрессивности почвы // *Агрохимия*. 2017. № 4. С. 58–71.
29. Toropova E.Yu., Vorob'ova I.G., Kirichenko A.A., Trunov R.I. Parasitic activity of plant pathogens at the underground organs of spring wheat in the West Siberia // *J. Phys.: Conf. Ser.* 1942 0120791942 (2021) 012079 IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012079>
30. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Кириченко А.А., Мармулева Е.Ю., Гришин В.М., Казакова О.А., Селюк М.П. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / Под ред. Е.Ю. Тороповой. Барнаул, 2017. 210 с.
31. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* – a pictorial atlas // *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstw., Berlin – Dahlem*, 1982. 406 p.
32. Шупилова Н.П., Иващенко В.Г. Систематика и диагностика грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах. СПб., 2008. 84 с.

## Biological Diversity of Phytopathogenic Soil Micromycetes on Spring Wheat Varieties in West Siberia

E. Yu. Toropova<sup>a,b,#</sup>, I. G. Vorob'ova<sup>c</sup>, O. A. Kazakova<sup>a,b</sup>, and R. I. Trunov<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Novosibirsk State Agrarian University*

*ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia*

<sup>b</sup>*Russian Federal Research Institute of Phytopathology*

*ul. Institute, vlad. 5, Moscow region, Odintsovo district, p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia*

<sup>c</sup>*Central Siberian Botanical Garden SB RAS*

*ul. Zolotodolinskaya 101, Novosibirsk 630090, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: 89139148962@yandex.ru*

The biological diversity of micromycetes in the organ system of spring wheat is of theoretical and practical importance for the stability of agrocenoses functioning. The purpose of the research was to identify the biological diversity of phytopathogenic micromycetes in the system of underground and generative organs of spring wheat varieties. The tasks of the research also included a quantitative analysis of the varieties and year conditions influence on the diversity of the phytopathogen and an assessment of the commonality of the micromycetes species composition in underground and generative organs. The studies were carried out on 11 varieties of spring wheat in 2020–2022 in the northern forest-steppe of the Ob region according to generally accepted and author's methods. *B. sorokiniana*, *F. oxysporum*, *F. poae* dominated on the underground and generative organs of spring wheat varieties of different geographical origin in the northern forest-steppe of the Ob region, with the first two species dominating both in the underground and generative organs of varieties, while *F. poae* on grain and their organs was a subdominant. Fungi of the genus *Alternaria* were among the dominants only on the generative organs of spring wheat varieties. On underground organs, the total biological diversity was 12 taxa, and on caryopses, 6 taxa. Varieties and conditions of the year had a statistically significant effect on the biological diversity of micromycetes. Thus, the strength of the influence of the factor “variety” on underground organs was 14.7–35.4%, the factor “year” – 12.6–33.1%. The biological diversity of phytopathogenic micromycetes increased up to 30% after hydrothermal stresses, which reduced the resistance of plants to root rot. The influence of the “variety” factor on the biological diversity of micromycetes on spring wheat varieties seeds was 34.4, the “year” factor was 18.2%. The commonality of the micromycetes species composition in the seed organs was high – 0.83. The commonality coefficient of the species composition on seeds and underground organs averaged 0.67 over the years. Species and taxa of micromycetes were, to varying degrees, associated with individual underground and generative organs of spring wheat varieties, which reflected their differentiated realization of potential ecological niches under the influence of host plants, environmental conditions, and interspecific relationships of micromycetes.

**Key words:** spring wheat, variety, underground organ, seed, *B. sorokiniana*, *Fusarium*, biodiversity, power of influence, year conditions.