УДК 633.366 632.4 632.7 DOI:10.31677/2072-6724-2022-62-1-76-87

ПАРАЗИТИРОВАНИЕ *BIPOLARIS SOROKINIANA* SACC. SHOEM. В СИСТЕМЕ ОРГАНОВ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ

[1]**Е.Ю. Торопова,** доктор биологических наук, профессор
[1]**В.Ю. Сухомлинов,** аспирант
[1]**А.А. Кириченко**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
[2]**В.В. Пискарев**, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией

Ключевые слова: яровая пшеница, сорт, *Bipolaris sorokiniana*, корневая гниль, темно-бурая пятнистость, чернота зародыша, конидия

[1]**Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия**
[2]**ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия**
E-mail: 89139148962@yandex.ru

Реферат. ***Цель работы состояла в выявлении влияния сортов на паразитическую активность Bipolaris sorokiniana Sacc. Shoem. в системе подземных и надземных органов яровой пшеницы. Исследования проводили в 2020–2021 гг. в северной лесостепи Приобья. Задачи исследования состояли в изучении развития корневых гнилей и этиологии болезни на подземных органах ряда сортов яровой пшеницы разного географического происхождения; определении роли сортов в проявлении темно-бурой пятнистости листьев и черноты зародыша зерна яровой пшеницы и установлении наличия или отсутствия связей между формами проявления гельминтоспориоза; выявлении влияния сортов на интенсивность размножения B. sorokiniana на прикорневых листьях и численность конидий фитопатогена в ризосферной почве. В рамках изучаемой коллекции из 15 сортов яровой пшеницы не было выявлено сортов, подземные органы которых проявляли бы устойчивость к фузариозно-гельминтоспориозным гнилям. Развитие корневых гнилей в среднем по органам достигало в 2020 г. 3,8 экономических порога вредоносности (ЭПВ), а в 2021 г. – 4,4 ЭПВ. Сила влияния фактора «сорт» на пораженность яровой пшеницы корневыми гнилями составила 31,8%, а фактора «год» – 30,3%. Этиология корневых гнилей сортов яровой пшеницы была представлена Bipolaris sorokiniana Sacc. Shoem. и грибами рода Fusarium Link. Соотношение фитопатогенов на подземных органах определялось условиями года и фитосанитарным состоянием почвы и колебалось по сортам от 1 : 1 до 11 : 1 с доминированием грибов рода Fusarium. Распространенность темно-бурой пятнистости достигала от 1,9 до 5 ЭПВ в фазе молочной спелости сортов. Коэффициент корреляции между развитием корневых гнилей и распространенностью темно-бурой пятнистости составил 0,526±251 и был статистически достоверным. Сортовые различия по распространенности черноты зародыша зерна достигали 11,4 раза, на уровне пороговых значений были поражены 3 сорта (Сибирская 17, Новосибирская 15, Руслада), в умеренной степени – 4 сорта, а 7 сортов были поражены в сильной степени. Коэффициент корреляции распространенности темно-бурой пятнистости и черноты зародыша составил 0,521±232 и был статистически достоверным на 1%-м уровне значимости. По динамике споруляции B. sorokiniana на прикорневых листьях сорта яровой пшеницы методом иерархической кластеризации Уорда были разделены на две группы: с равномерной скоростью и с экспоненциальным скачком интенсивности споруляции. Сорта Jin Chun 2 (Китай) и К-65834 (Таджикистан) в оба года исследований были наиболее активными источниками воспроизводства B. sorokiniana. Численность почвенной популяции фитопатогена отражала интенсивность его размножения на прикорневых листьях, коэффициент корреляции между интенсивностью размножения B. sorokiniana и численностью конидий в почве в 2020 г. был 0,890±0,127 (P<0,01), в 2021 г. 0,849 ±0,146 (P<0,01).***

PARASITIZATION OF BIPOLARIS SOROKINIANA SACC. SHOEM. IN THE ORGAN SYSTEM OF SPRING WHEAT VARIETIES IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF PRIOBYE REGION.

[1]**E.Iu. Toropova,** Doctor of Biological Sciences, Professor
[1]**V.Iu. Sukhomlinov,** Post-graduate student
[1]**A.A. Kirichenko**, Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor
[2]**V.V. Piskaryov**, Ph.D. in Agricultural Sciences, Head of laboratory

[1]**Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia**
[2]**Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia**

Keywords: **spring wheat, variety, *Bipolaris sorokiniana*, root rot, dark brown spot, germ blackness, conidia.**

Abstract. ***The work aimed was to identify the effect of varieties on the parasitic activity of Bipolaris sorokiniana Sacc. Shoem. in the system of underground and aboveground organs of spring wheat. The research was carried out in 2020-2021 in the northern forest-steppe of Priobye region. The tasks of the study were to investigate the development of root rot and the etiology of the disease on the underground organs of a number of spring wheat varieties of different geographical origin; determine the role of varieties in the manifestation of dark brown leaf spot and black germ of spring wheat grain; establish the presence or absence of relationships between forms of helminthosporium; identify the effect of varieties on the intensity of reproduction B. Sorokiniana on root leaves and the number of conidia of the phytopathogen in the rhizosphere soil The authors used a collection of 15 varieties of spring wheat. The study did not identify any varieties whose underground organs showed resistance to fusarium-helminthosporium rot. Root rot development averaged over the organs to reach 3.8 units of Economic Threshold of Harmfulness (ETH) in 2020, and in 2021 - 4.4 units of ETH. The effect of the "variety" factor on the incidence of root rot in spring wheat was 31.8% and the "year" factor 30.3%. The authors presented the etiology of root rot of spring wheat cultivars by Bipolaris sorokiniana Sacc. Shoem. and fungi of the genus Fusarium Link. The ratio of phytopathogenes on underground organs was determined by conditions of the year and phytosanitary state of soil; the ratio varied from 1:1 to 11:1 with predominance of fungi of genus Fusarium. The prevalence of brown spot disease reached 1.9 units to 5 units ETH in the lactic maturity phase of the cultivars. The correlation coefficient between the development of root rot and the prevalence of dark brown spot was 0.526±251 and was statistically reliable. Variety differences in the prevalence of grain black spot reached 11.4 times, 3 varieties (Sibirskaya 17, Novosibirskaya 15, Ruslada) were affected at the threshold level; 4 varieties were affected to a moderate degree; 7 varieties were severely affected. Коэффициент корреляции распространенности темно-бурой пятнистости и черноты зародыша составил 0,521±232 и был статистически достоверным на 1%-м уровне значимости. The authors used Ward's hierarchical clustering method to divide the plants into two groups according to the sporulation dynamics of B. sorokiniana on the root leaves of spring wheat. The first group of spring wheat was with a uniform rate. The second group were varieties of wheat with an exponential jump in sporulation intensity. The varieties Jin Chun 2 (China) and K-65834 (Tajikistan) were the most active sources of B. sorokiniana reproduction in both study years. The size of the soil population of the phytopathogen reflected the intensity***

Возбудитель гельминтоспориозной (обыкновенной) корневой гнили зерновых культур *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (син. *Helminthosporium sativum* Pam., King et Bakke; *H. sorokiniana* Sacc.; *Drechslera sorokiniana* Subram) имеет широкое распространение во многих странах мира и вызывает на зерновых культурах (особенно на яровой пшенице и ячмене), многих видах мятликовых трав и сорных растений три вида симптомов – корневую гниль, чёрный зародыш зерна и тёмно-бурую пятнистость листьев [1–3]. Фитопатоген способен системно заражать растения, инфицируя как подземные (основная экологическая ниша), так и надземные (дополнительная экологическая ниша) органы [4, 5]. Формы болезни связаны с факторами передачи возбудителя: при передаче во времени через почву и инфицированные растительные остатки возникает корневая гниль, поражающая все подземные органы растений-хозяев [1, 6, 7]. Эта форма болезни характеризуется высокой вредоносностью, вызывает снижение всхожести, подавление роста и развития растений в течение всей вегетации, потери урожайности и качества зерновой продукции [2, 7, 8]. При передаче *B. sorokiniana* во времени с семенами, проявляющейся в черноте зародыша зерна, происходит, кроме снижения всхожести и подавления ростовых процессов, формирование новых и развитие уже существующих почвенных очагов фитопатогена [1, 9]. Такие очаги трудноискоренимы, поскольку конидии и хламидоспоры микромицета выживают в почве 5 лет и более [1, 10]. При передаче фитопатогена воздушно-капельным путём, которая успешно осуществляется во влажных условиях при ГТК выше 1, возникает темно-бурая пятнистость листьев, особенно вредоносная на ячмене [11].

Исследования показали, что проявление форм гельминтоспориоза и агрессивность фитопатогена зависят от генетических особенностей сортов [12–14]. Сорта обладают сложными генетическими системами устойчивости к *B. sorokiniana*, которые активно изучаются современными методами с целью получения устойчивых форм [11, 15, 16].

Особенностью микромицета является приуроченность тактик жизненного цикла к разным органам растения-хозяина. Органами, наиболее восприимчивыми к заражению *B. sorokiniana* (тактика Т – трофических связей), являются эпикотиль и корневая система растения, а массовое размножение (тактика Р) возбудителя всегда происходит на влагалищах прикорневых листьев, т. е. на границе «почва–воздух» [1].

Паразитическая активность фитопатогена в системе подземных и надземных органов растений-хозяев регулируется комплексом биотических и абиотических факторов, влияющих как непосредственно на фитопатогена, так и на защитные механизмы растений [17]. Среди биотических факторов важнейшая роль принадлежит супрессорам почвы, ограничивающим выживаемость покоящихся структур *B. sorokiniana* посредством продуцирования микотоксинов или антибиотиков, которые нарушают у патогена биосинтез белка, хитина и деятельность клеточных мембран. Для супрессии фитопатогена важна экссудатная активность корневой системы растения, поскольку его экзогенные метаболиты – индукторы и питательный субстрат супрессоров – антагонистов фитопатогенов, заселяющих ризосферу восприимчивого злака [14]. Среди абиотических факторов, определяющих агрессивность фитопатогена на подземных органах, решающая роль принадлежит гидротермическим стрессам, повышающим восприимчивость растений к обыкновенной корневой гнили [18]. Темно-бурая пятнистость листьев и чернота зародыша зерна, напротив, проявляются при условии наличия в воздухе капельно-жидкой влаги, особенно в период формирования и созревания зерна [1].

В настоящее время формы гельминтоспориозной инфекции изучаются преимущественно разрозненно, наличие или отсутствие связей между ними не доказано, недостаточно информации и о влиянии сортов на паразитическую активность *B. sorokiniana* во всей системе подземных и надземных органов растений-хозяев.

Цель работы состояла в выявлении влияния сортов на паразитическую активность *B. sorokiniana* в системе подземных и надземных органов яровой пшеницы.

Задачи исследования:

1. Изучить развитие корневых гнилей и этиологию болезни на подземных органах ряда сортов яровой пшеницы разного географического происхождения.

2. Определить роль сортов в проявлении темно-бурой пятнистости листьев и черноты зародыша зерна яровой пшеницы и установить наличие или отсутствие связей между формами проявления гельминтоспориоза.

3. Установить влияние сортов на интенсивность размножения *B. sorokiniana* на прикорневых листьях и численность конидий фитопатогена в ризосферной почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2020–2021 гг. на опытном поле, расположенном в северной лесостепи Приобья (Новосибирский район Новосибирской области). В исследованиях были использованы сорта яровой пшеницы из различных регионов, изучаемые по бюджетному проекту № 0259-2021-0018 ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН (лаборатория генофонда растений): из Новосибирской области (Новосибирская 15, Обская 2, Сибирская 17), Алтайского края (Тобольская), Курганской области (Зауралочка), Кемеровской области (Руслада), Ленинградской области (ЛТ-3), Самарской области (Тулайковская надежда), Таджикистана (К-65834), Китая (Long Fu 13, Jin Chun 2), Германии (Remus), Швейцарии (Quarna), Финляндии (Manu), Канады (NIL Thatcher Lr 13), в общей сложности 15 сортов. Площадь под каждым сортом 2 м^2, повторность трехкратная. Предшественник – пар. Почва – выщелоченный чернозем.

Гидротермические условия вегетации 2020 г. были довольно экстремальными и способствовали развитию гельминтоспориозной инфекции. Май был очень теплым и влажным. Превышение среднемноголетних температурных данных составило 4,4ºС. Одновременно выпало 1,6 нормы осадков. В июне на фоне среднемноголетних температур выпало только 45% осадков от многолетней нормы. Растения испытывали водный стресс. В июле выпало 1,35 нормы осадков, температура была близка к среднемноголетним значениям. Август, как и май, был теплым и влажным, среднемесячная температура превышала норму на 2,4ºС, а осадков выпало 1,28 от среднемноголетней нормы. Гидротермические условия вегетации 2021 г. тоже были экстремальными, но стрессы распределялись по-другому относительно 2020 г., что сказалось на развитии корневых гнилей и других форм гельминтоспориозной инфекции. Май был теплым и засушливым, превышение среднемноголетних температурных данных составило 3,4ºС, но выпало только 67,6% от нормы осадков. Если учесть засушливость апреля, когда выпало только 24,9% от многолетней нормы, то развитие всходов происходило в условиях гидротермического стресса, чего не было отмечено в 2020 г. В июне на фоне среднемноголетних температур выпало в 1,4 раза больше осадков по сравнению с многолетней нормой. Июль, так же как и май, был засушливым, выпало только 36% от многолетней нормы осадков, температура была близка к среднемноголетним значениям. Засушливость июля ограничила развитие листостеблевых инфекций, они проявились только в конце вегетации, в период созревания зерна. Август был теплым, на 1,9ºС выше нормы, а осадков выпало точно на уровне среднемноголетней нормы (67 мм), что способствовало инфицированию колосьев яровой пшеницы возбудителями черноты зародыша.

Для оценки степени проявления разных типов симптомов (корневая гниль, темно-бурая пятнистость листьев, чернота зародыша зерна), вызываемых *B. sorokiniana*, на сортах яровой пшеницы были отобраны по 60 растений (по 20 растений с повторности) каждого сорта и проведен их фитопатологический анализ дифференцированно по органам – листья, основание стебля, эпикотиль, первичные и вторичные корни. В исследованиях был использован комплекс авторских и апробированных методов [19]. Подземные органы для

изучения симптоматики корневых гнилей были проанализированы в динамике по фазам вегетации как в 2020-м, так и в 2021 г. На анализируемых органах была уточнена этиология болезни путем проведения их микологического анализа на агаре Чапека. Анализ листьев на проявление темно-бурой пятнистости листьев был проведен по международной шкале. Чернота зародыша зерна была исследована после обмолота колосьев по методике А.Т. Троповой. Для изучения интенсивности размножения микромицета на прикорневых листьях сортов яровой пшеницы был использован метод смыва [20].

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакета STATISTICA 6.0 для Windows, кластерный анализ проведен с помощью библиотеки SciPy для языка программирования Python.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты оценки пораженности коллекции сортов яровой пшеницы корневыми гнилями показаны в табл. 1.

Таблица 1

Развитие и этиология корневой гнили сортов яровой пшеницы в конце вегетации по сортам и годам
Development and etiology of root rot of spring wheat varieties at the end of vegetation by varieties and years

Сорт	Развитие болезни, %		Соотношение *Fusarium* spp. и *B. sorokiniana*	
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.
Новосибирская 15	46,4	43,2	2 : 1	1 : 1
Сибирская 17	49,2	38,3	2 : 1	1 : 1
Обская 2	52,5	48,3	3 : 1	1 : 1
ЛТ-3	42,6	41,9	3 : 1	3 : 1
Тулайковская надежда	47,8	47,8	11 : 1	1 : 1
Тобольская	38,4	52,0	2 : 1	2 : 1
Зауралочка	47,5	41,8	2 : 1	2 : 1
Руслада	55,0	37,6	2 : 1	2 : 1
Remus	53,3	49,7	2 : 1	1 : 1
NIL Thatcher Lr 35	57,5	60,0	2 : 1	2 : 1
Jin Chun 2	48,1	40,9	2 : 1	3 : 1
Long Fu 13	50,8	48,0	2 : 1	2 : 1
Manu	56,3	55,0	2 : 1	2 : 1
Quarna	53,6	61,4	2 : 1	2 : 1
K-65834	52,8	66,4	5 : 1	1 : 1
$НСР_{0,5}$	12,51	12,63	-	-

Данные таблицы свидетельствуют, что паразитическая активность почвенных фитопатогенов в годы исследований была высокой, и развитие корневых гнилей в среднем по органам достигало в 2020 г. 3,8 экономических порога вредоносности (ЭПВ = 15%) (канадский сорт NIL Thatcher Lr 35), а в 2021 г. – 4,4 ЭПВ (таджикистанский сорт К-65834). Значительное развитие корневых гнилей было связано с высокой заселенностью почвы фитопатогенами, повторяющимся в течение вегетации гидротермическими стрессами и сильным (до 100%) повреждением растений внутристеблевыми вредителями (*Oscinella pusilla* Mg., *Phorbia genitalis* Schnalb., *Mayetiola destructor* Say.), усиливавшими патогенез корневых гнилей независимо от этиологии. В среднем по вегетации сила влияния фактора «сорт» на пораженность яровой пшеницы корневыми гнилями составила 31,8%, а фактора «год» – 30,3%.

Этиология корневых гнилей сортов яровой пшеницы была представлена *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. и грибами рода *Fusarium* Link., встречаемость которых на подземных органах растений яровой пшеницы в течение вегетации была близка к 100%, что отражает региональные закономерности [3]. Благоприятным для грибов рода *Fusarium* был 2020 г., в течение всей вегетации они доминировали на всех подземных органах сортов яровой пшеницы. Не было выявлено ни одного сорта, где бы *B. sorokiniana* проявил высокую конкурентную способность и его вклад в патогенный комплекс корневых гнилей был бы выше, чем у фузариевых грибов. Иная ситуация с этиологией корневых гнилей сложилась в 2021 г. – растения возделывались на почвенном фоне с более высокой (в 2,5 раза) заселенностью конидиями *B. sorokiniana* по сравнению с 2020 г., и условия года благоприятствовали вытеснению к концу вегетации грибов рода *Fusarium* из подземных органов ряда сортов [18]. Соотношение между фитопатогенами на фазе зрелости на половине сортов было равным, и в 2021 г. были выявлены сорта ЛТ-3, Manu и К-65834, которые поражались преимущественно гельминтоспориозной гнилью.

Таким образом, в рамках изучаемой коллекции не было выявлено сортов яровой пшеницы, подземные органы которых проявляли бы устойчивость к фузариозно-гельминтоспориозным гнилям. Соотношение фитопатогенов на подземных органах определялось условиями года и фитосанитарным состоянием почвы.

Учитывая способность *B. sorokiniana* к системному заражению растений, нами был проведен учет симптомов гельминтоспориозной инфекции на надземных вегетативных (темно-бурая пятнистость листьев) и генеративных (чернота зародыша зерна) органах сортов яровой пшеницы (табл. 2).

Таблица 2

Распространенность темно-бурой пятнистости и черноты зародыша зерна по сортам в 2021г., %
The prevalence of dark brown spotting and blackness of the germ of grain by variety in 2021, %

Сорт	Темно-бурая пятнистость	Чернота зародыша зерна
Новосибирская 15	69	5,3
Сибирская 17	37	2,3
Обская 2	42	7,7
Тобольская	89	15,0
Remus	55	8,3
NIL Thatcher Lr 35	69	16,3
Руслада	77	3,0
Long Fu 13	81	10,7
Jin Chun 2	89	26,3
Зауралочка	63	13,3
ЛТ-3	100	10,3
Тулайковская надежда	92	23,7
К-65834	81	8,7
Manu	63	12,7
Quarna	49	11,7
$НСР_{0,5}$	10,1	1,17

Таблица свидетельствует, что сортовые различия по распространению темно-бурой пятнистости достигали 2,7 раза в фазе молочной спелости яровой пшеницы. В целом пораженность сортов была значительной, составляя от 1,9 до 5 ЭПВ (20%). Наименее пораженным был сорт Сибирская 17, а наиболее пораженным – сорт из Ленинградской

области ЛТ-3. В рамках коллекции не было выявлено иммунных или высокоустойчивых к темно-бурой пятнистости сортов. Была выявлена умеренная, но достоверная корреляционная связь развития корневых гнилей с распространением темно-бурой пятнистости, вызываемой на листьях сортов яровой пшеницы почвенным фитопатогеном *B. sorokiniana*. Коэффициент корреляции составил 0,526±251 и был статистически достоверным. Относительно невысокая степень связи обусловлена сложной этиологией корневых гнилей, а именно, доминированием грибов рода *Fusarium* в патогенных комплексах подземных органов сортов яровой пшеницы.

Сортовые различия по распространенности черноты зародыша зерна достигали 11,4 раза. Ниже или на уровне пороговых значений (ЭПВ = 5%) были поражены только 3 сорта, причем сибирской селекции – Сибирская 17, Новосибирская 15 (Новосибирская область) и Руслада (Алтайский край). В пределах трех ЭПВ, т. е. в умеренной степени, было поражено чернотой зародыша зерно 4 сортов, остальная коллекция (7 сортов) была поражена в сильной степени. Учитывая высокие требования международной торговли к чистоте зерна от черноты зародыша, следует обязательно определять этот показатель в ходе практической селекции яровой пшеницы. Можно осторожно предположить и наличие генов устойчивости в генотипах сортов яровой пшеницы, учитывая значительные сортовые различия в проявлении симптомов.

Для всесторонней оценки взаимодействия сортов с почвенными фитопатогенами очень важным аспектом является выяснение влияния растений на очаги микромицетов. Влияние растений может выражаться как в воздействии на размножение микромицетов, так и во влиянии на выживание их покоящихся структур в почве (табл. 3).

Таблица 3

Интенсивность размножения на прикорневых листьях и численность конидий *Bipolaris sorokiniana* в ризосферной почве сортов перед уборкой

The intensity of reproduction on basal leaves and the number of Bipolaris sorokiniana conidia in the rhizosphere soil of varieties before harvesting

Сорт	2020 г.		2021 г.	
	число конидий в 1 г воздушно-сухого листа, x10^3	численность конидий в 1 г воздушно-сухой почвы	число конидий в 1 г воздушно-сухого листа, x10^3	численность конидий в 1 г воздушно-сухой почвы
Контроль	-	28	-	73
Новосибирская 15	23,3	165	48,1	160
Сибирская 17	17,5	75	11,1	104
Обская 2	18,6	103	22,9	97
ЛТ-3	38,3	108	33,2	260
Тулайковская надежда	59,9	158	44,2	257
Зауралочка	17,1	78	35,5	259
Тобольская	10,3	70	15,4	79
Руслада	26,4	150	25,5	97
Long Fu 13	25,3	140	44,1	210
Remus	57,1	343	55,3	248
NIL Thatcher Lr35	25,9	98	47,0	284
Jin Chun 2	154,7	418	61,7	400
Manu	62,6	195	49,9	352
Quarna	20,9	73	33,7	255
K-65834	196,6	1375	74,3	700
$НСР_{05}$	11,23	50,3	8,01	42,6

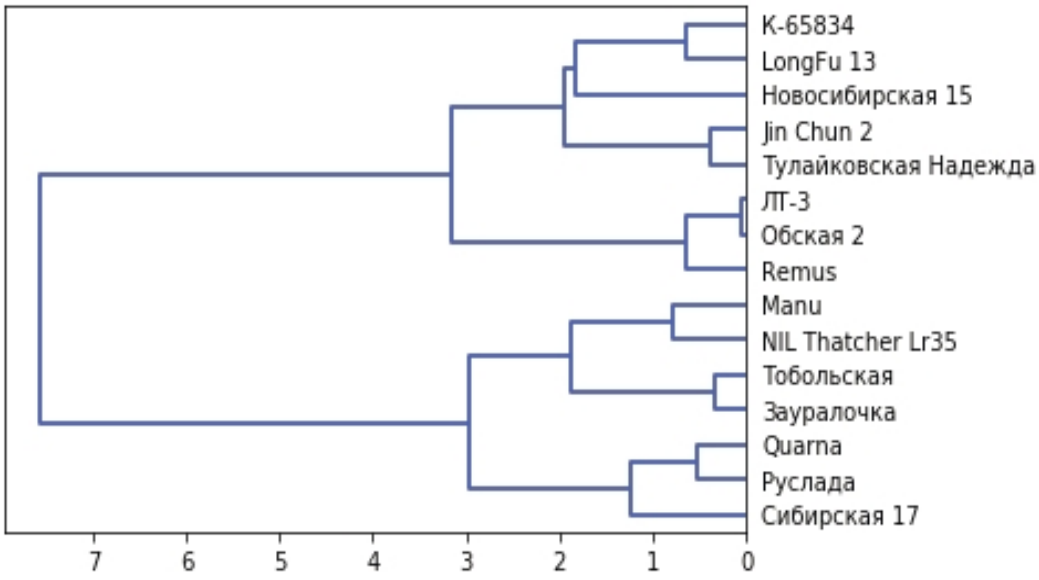
Данные таблицы показывают, что исходная численность конидий в почве перед посевом в 2020 г. составляла 27,5 экземпляра на 1 г почвы при деградации 45,5% популяции, т. е. на уровне зонального биологического порога вредоносности (ПВ для выщелоченного чернозема – 20–30 конидий на 1 г почвы). Заселенность ризосферной почвы сортов конидиями *B. sorokiniana* к концу вегетационного периода превышала ПВ до 55 раз. Особенно высокий коэффициент размножения по соотношению исходной, перед вегетацией, и итоговой численности конидий был выявлен под сортами Remus (Германия) – 12,5, Jin Chun 2 (Китай) – 15,2 и К-65834 (Таджикистан) – 50,0. Под этими сортами выявлен невысокий уровень деградации конидий, свидетельствующий о недостаточной супрессивности ризосферной почвы к *B. sorokiniana.*

Исходная численность конидий в почве перед посевом в 2021 г. составляла 62,9 экземпляра на 1 г почвы при деградации 89,5% популяции. Данные табл. 3 свидетельствуют, что заселенность ризосферной почвы сортов конидиями *B. sorokiniana* к концу вегетационного периода превышала ПВ до 28 раз. Особенно высокий коэффициент размножения по соотношению исходной, перед вегетацией, и итоговой численности конидий был выявлен под сортами Manu (Финляндия) – 14,1, Jin Chun 2 (Китай) – 16 и К-65834 (Таджикистан) – 28. Под этими сортами выявлен невысокий уровень деградации конидий, свидетельствующий о недостаточной супрессивности ризосферной почвы к *B. sorokiniana.* Сорта Jin Chun 2 (Китай) и К-65834 (Таджикистан) вошли в группу активных источников воспроизводства *B. sorokiniana* и в 2020 г.

Численность почвенной популяции фитопатогена отражала интенсивность его размножения на прикорневых листьях. Коэффициент корреляции между интенсивностью размножения *B. sorokiniana* и численностью конидий в почве в 2020 г. был высоким и достоверным R = 0,890±0,127 (P<0,01). Это подтверждает приуроченность тактики размножения микромицета к прикорневым листьям в конце вегетации яровой пшеницы.

Численность почвенной популяции фитопатогена в 2021 г. также отражала интенсивность его размножения на прикорневых листьях. Коэффициент корреляции между интенсивностью размножения *B. sorokiniana* и численностью конидий в почве в 2021 г. был высоким и достоверным: R = 0,849 ±0,146 (P<0,01). В целом по коллекции сортов, несмотря на различия условий года, коэффициент корреляции численности конидий в 1 г листа составил по годам R = 0,788± 0,171 и был статистически достоверным на 1%-м уровне значимости. Коэффициент корреляции сортовых показателей заселенности ризосферной почвы конидиями *B. sorokiniana* по годам составил R = 0,858± 0,142 (P<0,01). Это свидетельствует о стабильности влияния сортов на размножение и выживание *B. sorokiniana*, тогда как тактика трофических связей фитопатогена была подвержена изменчивости и высокой зависимости от условий года.

Иерархическая кластеризация сортов методом Уорда (рисунок) показала, что по динамике споруляции *B. sorokiniana* на прикорневых листьях сорта могут быть разделены на две группы, первая из которых включала 8 сортов (К-65834, Long Fu 13, Новосибирская 15, Jin Chun 2, Тулайковская надежда, ЛТ-3, Обская 2, Remus) с первоначальным медленным размножением и дальнейшим экспоненциальным скачком интенсивности споруляции более чем в 2 раза. В ряде случаев сорта этой группы (Remus, Jin Chun 2, К-65834) значительно увеличивали почвенную популяцию фитопатогена и являлись в фитосанитарном отношении весьма нежелательными, ухудшая здоровье почвы в долговременном плане. Вторую группу составили сорта с равномерной скоростью споруляции фитопатогена на протяжении всего периода наблюдений. Эти сорта менее значительно обостряли фитосанитарную ситуацию в почве и могут быть перспективными в плане долговременной стабилизации агроценозов. Возможно, это деление сортов на группы связано с особенностями регуляции размножения фитопатогена генотипом растения-хозяина.



Дендрограмма разделения сортов по коэффициентам полиномиальной регрессии интенсивности споруляции *B. sorokiniana*

Dendrogram of varieties separation by coefficients of polynomial regression of B. sorokiniana sporulation intensity

ВЫВОДЫ

1. В рамках изучаемой коллекции из 15 сортов яровой пшеницы не было выявлено сортов, подземные органы которых проявляли бы устойчивость к фузариозно-гельминтоспориозным гнилям. Развитие корневых гнилей в среднем по органам достигало в 2020 г. 3,8 экономических порога вредоносности, а в 2021 г. – 4,4 ЭПВ. Сила влияния фактора «сорт» на пораженность яровой пшеницы корневыми гнилями составила 31,8%, а фактора «год» – 30,3%.

2. Этиология корневых гнилей сортов яровой пшеницы была представлена *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. и грибами рода *Fusarium* Link. Соотношение фитопатогенов на подземных органах определялось условиями года и фитосанитарным состоянием почвы и колебалось по сортам от 1 : 1 до 11 : 1 с доминированием грибов рода *Fusarium*.

3. Распространенность темно-бурой пятнистости достигала от 1,9 до 5 ЭПВ в фазе молочной спелости сортов. Коэффициент корреляции между развитием корневых гнилей и распространенностью темно-бурой пятнистости составил 0,526±251 и был статистически достоверным.

4. Сортовые различия по распространенности черноты зародыша зерна достигали 11,4 раза, на уровне пороговых значений 3 сорта (Сибирская 17, Новосибирская 15, Руслада), в умеренной степени были поражены – 4 сорта, 7 сортов – в сильной степени. Коэффициент корреляции распространенности темно-бурой пятнистости и черноты зародыша составил 0,521±232 и был статистически достоверным на 1%-м уровне значимости.

5. По динамике споруляции *B. sorokiniana* на прикорневых листьях сорта яровой пшеницы методом иерархической кластеризации Уорда были разделены на две группы: с равномерной скоростью и с экспоненциальным скачком интенсивности споруляции. Сорта Jin Chun 2 (Китай) и К-65834 (Таджикистан) в оба года исследований были наиболее активными источниками воспроизводства *B. sorokiniana*.

6. Численность почвенной популяции фитопатогена отражала интенсивность его размножения на прикорневых листьях, коэффициент корреляции между интенсивностью размножения *B. sorokiniana* и численностью

конидий в почве в 2020 г. был 0,890±0,127 (P<0,01), в 2021 г. – 0,849 ±0,146 (P<0,01).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 20-316-90008. Кластерный анализ данных проведен А.В. Станкевич.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чулкина В.А.* Биологические основы эпифитотиологии: монография. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 288 с.
2. *Figueroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S.* A review of wheat diseases-a field perspective // Molecular Plant Pathology. – 2018. – Vol. 19, N 6. – P. 1523-1536.
3. *Parasitic* activity of plant pathogens at the underground organs of spring wheat in the West Siberia / E.Yu. Toropova, I.G. Vorob'ova, A.A. Kirichenko, R.I. Trunov // J. Phys.: Conf. Ser. 1942 0120791942 (2021) 012079 IOP Publishing. – DOI:10.1088/1742-6596/1942/1/012079.
4. *Vorobyeva I.G., Toropova E.Yu.* On the Issue of Ecological Niches of Plant Pathogens in Western Siberia // Contemporary Problems of Ecology. – 2019. – Vol. 12, N 6. – P. 667–674.
5. *Spatial* distribution of root and crown rot fungi associated with winter wheat in the north China plain and its relationship with climate variables / F. Xu, G. Yang, J. Wang [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2018. – Vol. 9, N 5. – P. 1054.
6. *Healthy* Soil – Condition for Sustainability and Development of the Argo and Socio spheres (Problem-Analytical Review) / M.S. Sokolov, A.M. Semenov, Yu.Ya. Spiridonov, E.Yu. Toropova, A.P. Glinushkin // Biology Bulletin. – 2020. – Vol. 47, N. 1, P. 18–26.
7. *Видовой* состав возбудителей корневой гнили на яровых зерновых в республике Мордовия / М.И. Киселева, Н.С. Жемчужина, В.П. Дубовой, В.В. Лапина // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51, № 1. – С. 119–127.
8. *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* // Journal of Phytopathology. – 2009. – Vol. 157, N 9. – P. 521–534.
9. *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 // Archives of Phytopathology and Plant Protection. – 2014. – Vol. 47, N 7. – P. 812–820.
10. *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.
11. *Genome-wide* association studies in a barley (*Hordeum vulgare*) diversity set reveal a limited number of loci for resistance to spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*) / F. Novakazi, F. Ordon, O. Afanasenko [et al.] // Plant Breeding. – 2020. – Vol. 139, N 3. – P. 521-535.
12. *Торопова Е.Ю., Соколов М.С.* Роль сорта в контроле обыкновенной корневой гнили яровой пшеницы // Агрохимия. – 2018. – № 11. – С. 48–59.
13. *Торопова Е.Ю., Пискарев В.В., Сухомлинов В.Ю.* Поиск сортов яровой пшеницы с групповой устойчивостью к фузариозно-гельминтоспориозным корневым гнилям // Агрохимия. – 2019. – № 11. – С. 57–62.
14. *Повышение* эффективности отбора яровой пшеницы на устойчивость к почвенным инфекциям / Е.Ю. Торопова, И.Г. Воробьева, А.А. Кириченко, В.В. Пискарев, Р.И. Трунов // Вестник НГАУ. – 2020. – № 4 (57). – С. 46-55. – DOI:10.31677/2072-6724-2020-57-4-46-55.
15. *Genetic* analysis of resistance to spot blotch disease in wheat (Triticum aestivum L.) in Zambia / B. Tembo, J. Sibiya, R. Melis, P. Tongoona // Journal of Crop Improvement. – 2017. – Vol. 31, N 5. – P. 712-726.
16. *Eisa M., Chand R., Joshi A.K.* Biochemical and histochemical traits: a promising way to screen resistance against spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*) of wheat // European Journal of Plant Pathology. – 2013. – Vol. 137, N 4. – P. 805–820.
17. *Взаимодействие* консортов в агроценозах яровой пшеницы Западной Сибири / Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, И.Г. Воробьева, В.Ю. Сухомлинов // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 9. – С. 50–57. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10900.

18. *Development* of Soil-Borne Infections in Spring Wheat and Barley as Influenced by Hydrothermal Stress in the Forest-Steppe Conditions of Western Siberia and the Urals / E.Yu. Toropova, A.P. Glinushkin, M.P. Selyuk, O.A. Kazakova, A.V. Ovsyankina // Russian Agricultural Sciences. – 2018. – N 44(3). – P. 241–244.
19. *Фитосанитарная* диагностика агроэкосистем: учебно-практическое пособие / В.А. Чулкина, Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов [и др.]; под ред. Е.Ю. Тороповой. – Барнаул, 2017. – 210 с.
20. *Лангольф Э.И., Чулкина В.А.* Оценка устойчивости яровой пшеницы к обыкновенным корневым гнилям в Западной Сибири: методические рекомендации. – Новосибирск, 1985. – 15 с.

REFERENCES

1. Chulkina V.A., *Biologicheskie osnovy epifitotiologii* (The biological basis of epiphytotiology), Monografiya. M.: VO Agropromizdat, 1991, 288 p.
2. Figueroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S., A review of wheat diseases-a field perspective, *Molecular Plant Pathology*, 2018, Vol. 19, No. 6, pp. 1523-1536.
3. 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, DOI:10.1088/1742-6596/1942/1/012079.
4. Vorobyeva I.G., Toropova E.Yu., On the Issue of Ecological Niches of Plant Pathogens in Western Siberia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2019, Vol. 12, No. 6, pp. 667–674.
5. Xu F., Yang G., Wang J., Song Y., Liu L., Zhao K., Li Y., Han Z., Spatial distribution of root and crown rot fungi associated with winter wheat in the north China plain and its relationship with climate variables, *Frontiers in Microbiology*, 2018, Vol. 9, No. 5, pp. 1054.
6. 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), *Biology Bulletin*, 2020, Vol. 47, No. 1, pp. 18–26.
7. Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Dubovoi V.P., Lapina V.V., *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 2016, T. 51, No. 1, pp. 119-127 (In Russ.).
8. 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*, *Journal of Phytopathology*, 2009, Vol. 157, No. 9, pp. 521-534.
9. 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, *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2014, Vol. 47, No. 7, pp. 812-820.
10. 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.
11. Novakazi F., Ordon F., Afanasenko O., Lashina N., Platz G.J., Snowdon R., Loskutov I., Genome-wide association studies in a barley (*Hordeum vulgare*) diversity set reveal a limited number of loci for resistance to spot blotch (*Bipolaris sorokiniana*), *Plant Breeding*, 2020, Vol. 139, No. 3, pp. 521-535.
12. Toropova E.Yu., Sokolov M.S., *Agrokhimiya*, 2018, No. 11, pp. 48-59 (In Russ.).
13. Toropova E.Yu., Piskarev V.V., Sukhomlinov V.Yu., *Agrokhimiya*, 2019, No. 11, pp. 57-62 (In Russ.).
14. Toropova E.Yu., Vorobyeva I.G., Kirichenko A.A., Piskarev V.V., *Vestnik NGAU*, 2020, No. 4 (57), pp. 46-55, DOI:10.31677/2072-6724-2020-57-4-46-55 (In Russ.).
15. Tembo B., Sibiya J., Melis R., Tongoona P., Genetic analysis of resistance to spot blotch disease in wheat (Triticum aestivum L.) in Zambia, *Journal of Crop Improvement*, 2017, Vol. 31, No. 5, pp. 712-726.
16. Eisa M., Chand R., Joshi A.K., Biochemical and histochemical traits: a promising way to screen resistance against spot blotch (Bipolaris sorokiniana) of wheat, *European Journal of Plant Pathology*, 2013, Vol. 137, No. 4, pp. 805-820.
17. Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya., Vorobyova I.G., Sukhomlinov V.Yu., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 9, pp. 50-57 (In Russ.).

18. Toropova E.Yu., Glinushkin A.P., Selyuk M.P., Kazakova O.A., Ovsyankina A.V., Development of Soil-Borne Infections in Spring Wheat and Barley as Influenced by Hydrothermal Stress in the Forest-Steppe Conditions of Western Siberia and the Urals, *Russian Agricultural Sciences*, 2018, No. 44(3), pp. 241-244.
19. Chulkina V.A., Toropova E.Yu., Stetsov G.Ya., *Fitosanitarnaya diagnostika agroekosistem* (Phytosanitary diagnostics of agroecosystems), Barnaul, 2017, 210 p.
20. Langol'f E.I., Chulkina V.A., *Otsenka ustoichivosti yarovoi pshenitsy k obyknovennym kornevym gnilyam v Zapadnoi Sibiri* (Assessment of resistance of spring wheat to common root rot in Western Siberia), Novosibirsk, 1985, 15 p.