

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТБОРА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОЧВЕННЫМ ИНФЕКЦИЯМ

¹Е.Ю. Торопова, доктор биологических наук, профессор

²И.Г. Воробьева, доктор биологических наук,
ведущий научный сотрудник

¹А.А. Кириченко, кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент

³В.В. Пискарев, кандидат сельскохозяйственных наук,
зав. лабораторией

¹Р.И. Трунов, аспирант

Ключевые слова: яровая пшеница, сорт, корневая гниль, фузариоз, устойчивость, злаковые мухи, супрессивность почвы

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

³ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: 89139148962@yandex.ru

*Реферат. Цель исследований состояла в обосновании необходимости учета факторов, оказывающих существенное влияние на пораженность яровой пшеницы корневыми гнилями в процессе практической селекции на устойчивость. Исследования проводили в 2019–2020 гг. общепринятыми и авторскими методами. Для повышения эффективности практической селекции на устойчивость к корневым гнилям необходима системная перестройка работы: следует исключить повреждающий фактор – злаковых мух, «открывающих ворота» всем почвенным фитопатогенам после фазы кущения, и учитывать способность сортов индуцировать супрессивность ризосферной почвы к основным фитопатогенам. По итогам двух лет исследований наименьшую, в пределах двух биологических порогов вредоносности (ПВ), пораженность корневыми гнилями в фазе всходов показали сорта яровой пшеницы Новосибирская 15 и Мани. Развитие корневых гнилей по сравнению с фазой всходов в 2019 г. возросло в среднем в 2,5, а в 2020 – в 5,6 раза, произошло выравнивание различий по пораженности между сортами в течение вегетации. В фазе всходов коэффициент вариации развития корневых гнилей по сортам составил $24,1 \pm 4,0$, в фазе зрелости снизился в 2,5 раза – до $9,4 \pm 1,5$. Главной причиной сглаживания различий между сортами по пораженности корневыми гнилями было сильное (до 100%) повреждение внутрискосовыми вредителями. Экономический порог вредоносности по поврежденности стеблей яровой пшеницы злаковыми мухами был превышен в 2019 г. до 4,8 раза, а в 2020 г. – до 7,8. Коэффициент корреляции между развитием корневых гнилей и поврежденностью внутрискосовыми вредителями в 2019 г. составил $R = 0,744 \pm 0,185$ ($P < 0,01$), в 2020 г. $R = 0,713 \pm 0,092$ ($P < 0,01$). Дисперсионный анализ показал, что сила влияния пространственного расположения растений на их повреждение злаковыми мухами составила 30,9% и была достоверна на 1%-м уровне, тогда как влияние самого сорта на этот показатель было почти в 2 раза ниже (16,8%) и было достоверно на 5%-м уровне. Индукция ризосферой сортов яровой пшеницы супрессивности почвы к фитопатогенам влияла на их представленность в патогенном комплексе корневых гнилей. Коэффициент корреляции индукции сортами супрессивности к *F. roae* и его представленности в патогенных комплексах составил $R = -0,638 \pm 0,318$ и был достоверным на 5%-м уровне. Коэффициент корреляции индукции супрессивности к *F. oxysporum* и его представленности в патогенных комплексах корневых гнилей сортов составил $R = -0,844 \pm 0,203$ ($P < 0,01$).*

INCREASING THE EFFICIENCY OF SPRING WHEAT SELECTION FOR RESISTANCE TO SOIL INFECTION

¹E.Yu. Toropova, Doctor of Biological Sc., Professor

²I.G. Vorobieva, Doctor of Biological Sc., Leading Researcher

¹A.A. Kirichenko, Candidate of Agricultural Sc., Associate Professor

³V.V. Piskarev, Candidate of Agricultural Sc., Head of the Laboratory

¹R.I. Trunov, PhD student

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

³FRC Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Key words: spring wheat, cultivar, root rot, fusarium blight, resistance, cereal flies, soil suppression.

Abstract. The aim of the research was to substantiate the need to take into account the factors that have a significant impact on the root rot infestation of spring wheat in the process of practical selection for resistance. The studies were carried out in 2019–2020 with the application of generally accepted and author's methods. A systemic restructuring of work is needed to increase the efficiency of practical breeding for resistance to root rot. The damaging factor is cereal flies which "open the gates" to all soil phytopathogens after the tillering phase. It should be eliminated, and the ability of varieties to induce the suppression of rhizosphere soil to main phytopathogens should be taken into account. According to the results of two years of research, the smallest, within two biological thresholds of harmfulness (PV), the infestation by root rot at the germination phase was shown by the spring wheat varieties Novosibirskaia 15 and Manu. The development of root rot in comparison with the germination phase in 2019 increased by an average of 2.5, and in 2020 - by 5.6 times. There was an equalization of differences in damage between varieties during the growing season. In the germination phase, the coefficient of variation in the development of root rot by varieties was 24.1 ± 4.0 , in the phase of maturity, it decreased 2.5 times to 9.4 ± 1.5 . The main reason for smoothing out the differences between varieties in terms of root rot infestation was strong (up to 100%) damage by intra-stem pests. The economic threshold of harmfulness for damage to spring wheat stems by cereal flies was exceeded in 2019 up to 4.8 times, and in 2020 up to 7.8 times. The correlation coefficient between the development of root rot and damage by intra-stem pests in 2019 was $R = 0.744 \pm 0.185$ ($P < 0.01$), in 2020 $R = 0.713 \pm 0.092$ ($P < 0.01$). Analysis of variance showed that the power of the influence of the spatial arrangement of plants on their damage by cereal flies was 30.9% and was reliable at the 1% level, while the influence of the variety itself on this indicator was almost 2 times lower (16.8%) and was significant at the 5% level. The induction of soil suppression to phytopathogens by the rhizosphere of spring wheat varieties influenced their representation in the pathogenic complex of root rot. The correlation coefficient of induction by cultivars of suppressiveness to *F. poae* and its representation in pathogenic complexes was $R = -0.638 \pm 0.318$ and was significant at the 5% level. The correlation coefficient of induction of suppressiveness to *F. oxysporum* and its presence in pathogenic complexes of root rot of varieties was $R = -0.844 \pm 0.203$ ($P < 0.01$).

Ежегодный недобор урожая яровой пшеницы в России из-за поражения корневыми гнилями оценивается в 30–50% при одновременном снижении содержания клейковины и качества муки [1–3]. Ситуацию осложняет, несмотря на активный поиск, отсутствие устойчивых к корневым гнилям сортов [4–5].

Для повышения эффективности практической селекции яровой пшеницы на устойчивость к корневым гнилям необходимо применять системный подход, предусматривающий анализ болезни как результат реализации фитопатогенами их фундаментальных экологических ниш и функционирования паразитарной си-

стемы «растение – паразит», взаимодействующей с комплексом природных и антропогенных факторов [6]. Так, в ходе практической селекции сортов на устойчивость к корневым гнилям следует контролировать инфекционный фон фитопатогенов в почве и учитывать различия в этиологии заболевания по сортам [4]. Колебания естественного инфекционного фона по селекционным участкам могут достигать нескольких раз, а гидротермические стрессы в период вегетации – влиять на пораженность корневыми гнилями разных по засухоустойчивости сортов [7].

Важным, но малоизученным феноменом является индукция сортами супрессивности ризосферной почвы, что может оказывать существенное влияние на паразитическую активность почвенных фитопатогенов и являться одним из механизмов устойчивости к корневым гнилям [8–10]. Повышение супрессивности почвы посредством размножения в ризосфере растений-хозяев антагонистов, регулирования её физико-химических характеристик препятствует инфицированию растений, не допуская их массового заболевания [9, 11]. В большинстве работ, посвященных супрессирующей активности почв, рассмотрена антагонистическая активность микробиоты. Так, установлено, что супрессивность нейтральных и щелочных почв связана с численностью и активностью ризобактерий, в частности, флуоресцирующих псевдомонад – продуцентов сидерофоров – комплексобразователей доступного микромицетам железа (*Pseudomonas fluorescens*, *Ps. putida*, *Ps. cerasi* и др.) [1, 10]. Супрессивность кислых почв в отношении почвенных фитопатогенов (*Rhizoctonia solani*, *Pythium debaryanum* и др.) обусловлена их заселением грибами-антагонистами рода *Trichoderma* (*Tr. viride*, *Tr. koningii*, *Tr. harzianum*, *Tr. lignorum*, *Tr. longibrachiatum*, *Tr. hamatum*) и *Phythium oligandrum* [1]. Исследованиями последних лет установлено, что супрессивность разных типов почв Сибири к грибам рода *Fusarium* носит биотический характер, что в условиях дефицита органических и минеральных удо-

брений способствует развитию фузариевых грибов [9].

Почва ризосферы существенно отличается от неризосферной по большинству показателей, характеризующих как состав твердой фазы и раствора, так и функционирование отдельных компонентов почвенной системы [12–13]. Ризосферная почва является естественным барьером на пути экспансии фитопатогенных почвенных микромицетов, в том числе из рода *Fusarium* [3, 9, 10], однако этот вопрос остается недостаточно изученным.

Цель работы состояла в обосновании необходимости учета факторов, оказывающих существенное влияние на пораженность яровой пшеницы корневыми гнилями в процессе практической селекции на устойчивость.

Задачи исследования:

- 1) исследовать развитие корневых гнилей на подземных органах ряда сортов яровой пшеницы разного географического происхождения в динамике по фазам вегетации и годам;
- 2) определить роль фитофагов в пораженности растений корневыми гнилями;
- 3) выявить степень индукции ризосферой супрессивности почвы к фитопатогенам из рода *Fusarium*.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2019–2020 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: Новосибирская 15, Сибирская 17, Обская 2 (Новосибирская область), ЛТ-3 (Ленинградская область), Тулайковская Надежда (Самарская область), Зауралочка (Курганская область), Remus (Германия), Manu (Финляндия), Quarna (Швейцария). Площадь под каждым сортом 2 м², повторность трехкратная. Предшественник – пар. Почва – выщелоченный чернозем.

Гидротермические условия вегетации 2020 г. были довольно экстремальными и способствовали развитию фузариозной инфекции. Май был очень теплым и влажным. Превышение среднемноголетних температурных данных составило 4,4°C. 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 2,4°C, а осадков выпало 1,28 от среднемноголетней нормы.

Анализ пораженности подземных органов растений яровой пшеницы проводили дифференцированно по органам, повреждение стеблей насекомыми определяли общепринятыми методами [14].

Для изучения индукции супрессивности ризосферной почвой был использован авторский метод [14]. Из корневой зоны 60 растений (20 с каждой повторности) с глубины 20–30 см стерильным шпателем в пакет была отобрана ризосферная почва, локализованная на расстоянии 1 см от поверхности корней. Для отбора образцов контрольной неризосферной почвы при посеве были предусмотрены расширенные (50 см) междурядья. Уровень супрессивности почвы оценивали по подавлению роста 7 фитопатогенных ми-

кромицетов из рода *Fusarium* (*F. oxysporum*, *F. poae*, *F. solani*, *F. graminearum*, *F. acuminatum*, *F. sporotrichioides*, *F. heterosporum*). Методика позволяет быстро (в течение трех дней) оценить общую супрессивность почвенного образца по подавлению почвой роста фитопатогенных грибов. Супрессивность меняется от 100% – полная супрессивность (все блоки без признаков роста тест-объекта) до 0% или отрицательного значения – кондуктивная почва (все блоки тест-объекта развиваются на уровне контроля или сильнее). Если почва стимулирует развитие фитопатогена, то значение показателя супрессивности становится отрицательным.

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов с использованием пакетов программ SNEDECOR [15] и STATISTICA 6.0 для Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Роль внутрестеблевых вредителей. Для объяснения различий в пораженности сортов и объективной оценки наиболее перспективных для дальнейшей селекции форм нами был проведен сравнительный анализ развития корневых гнилей по фазам вегетации и годам. Результаты оценки пораженности коллекции сортов в начале вегетации яровой пшеницы показаны в табл. 1.

Таблица 1

Развитие корневой гнили на сортах яровой пшеницы в начале вегетации, %
Root rot development on spring wheat varieties at the beginning of the growing season, %

№ п/п	Сорт	2019 г.	2020 г.	Среднее по годам
1	Новосибирская 15	8,1	6,6	7,4
2	Зауралочка	16,0	6,1	11,1
3	Quagna	18,2	11,6	14,9
4	ЛТ-3	18,0	9,1	13,6
5	Обская 2	28,0	11,1	14,6
6	Сибирская 17	19,4	10,1	14,8
7	Remus	25,3	6,6	16,0
8	Manu	7,2	12,4	9,8
9	Тулайковская Надежда	23,9	14,0	19,0
	Среднее по сортам	18,2	8,8	13,5
	НСР ₀₅ частных средних	4,12	3,56	4,28

Приведенные данные свидетельствуют, что в начале вегетации разница в пораженности сортов в 2019 г. достигла 4,9, в 2020 г. – 2,3 раза. В начале вегетации максимальную устойчивость в 2019 г. проявили сорта Новосибирская 15 и Ману, а в 2020 г. – Зауралочка, Новосибирская 15 и Remus. По итогам двух лет исследований наименьшую, в пределах двух биологических порогов вре-

доносности (ПВ), пораженность корневыми гнилями в фазе всходов показали сорта яровой пшеницы Новосибирская 15 и Ману.

Традиционно в практической селекции на устойчивость оценку пораженности проводят в конце вегетации, но это не всегда отражает реальные характеристики растений. Результаты учетов корневых гнилей в конце вегетации приведены в табл. 2.

Таблица 2

Развитие корневой гнили на сортах яровой пшеницы в конце вегетации, %
Root rot development on spring wheat varieties at the end of the growing season, %

№ п/п	Сорт	2019 г.	2020 г.	Среднее по годам
1	Новосибирская 15	44,8	46,4	45,6
2	Зауралочка	35,0	47,3	41,2
3	Quana	48,8	53,6	51,2
4	ЛТ-3	46,1	43,1	44,6
5	Обская 2	43,6	46,4	45,0
6	Сибирская 17	41,1	50,1	45,6
7	Remus	38,5	52,8	45,7
8	Ману	55,0	55,0	55,0
9	Тулайковская Надежда	45,0	47,8	46,4
	Среднее по сортам	45,4	49,2	47,3
	НСР ₀₅ частных средних	9,61	10,11	11,20

Паразитическая активность почвенных фитопатогенов резко возростала в ходе вегетации, и к ее концу развитие корневых гнилей по сравнению с фазой всходов в 2019 г. возросло в среднем в 2,5, а в 2020 г. – в 5,6 раза. Данные табл. 2 свидетельствуют о выравнивании различий по пораженности между сортами в течение вегетации. Если в 2019 г. разница в пораженности корневыми гнилями в фазе полной зрелости составила 1,6 раза, то в 2020 г. – 1,3, т.е. в оба года исследований значительно снизилась по сравнению с фазой всходов. В итоге не было выявлено статистически достоверных различий между большинством сортов к концу вегетации. Коэффициент вариации отражает закономерность воздействия сортовых различий на эпифитотический процесс корневых гнилей в период вегетации. Так, в фазе всходов Св составил 24,1±4,0, а в фазе зрелости снизился в 2,5 раза – до 9,4±1,5, т.е. шло выравнивание сортов по пораженности корневыми гнилями в течение вегетации. Сила влияния сортов на

паразитическую активность фитопатогенов в течение вегетации оказалась в итоге недо-стоверной, зато сила влияния фазы вегетации была очень большой и составила 96,5%, будучи достоверной на 1%-м уровне.

Такая динамика эпифитотического процесса корневых гнилей отражала особенности гидротермических условий вегетации 2019 и 2020 гг., когда растения испытывали водный стресс в фазах колошения, что увеличивало агрессивность патогенных почвенных микромицетов [1, 7]. Однако главной причиной сглаживания различий между сортами по пораженности корневыми гнилями было сильное (до 100%) повреждение внутрестеблевыми вредителями (*Oscinella pusilla* Mg., *Phorbia genitalis* Schnalb., *Mayeti oladestructor* Say.), усиливавшими патогенез корневых гнилей независимо от этиологии (табл. 3).

Экономический порог вредоносности (8–10%) по поврежденности стеблей яровой пшеницы злаковыми мухами был превышен в 2019 г. до 4,8, а в 2020 г. – до 7,8 раза.

Таблица 3

Повреждение сортов яровой пшеницы злаковыми мухами (2019–2020 гг.), %
Damage to spring wheat varieties by cereal flies (2019-2020), %

Сорт	2019 г.	2020 г.	Среднее по годам
Новосибирская 15	36,7	53,3	45,0
Сибирская 17	33,3	76,7	55,0
Обская 2	40,0	56,7	48,4
Зауралочка	35,0	56,7	45,9
Тулайковская Надежда	43,3	60,0	51,7
ЛТ-3	33,3	26,7	30,0
Manu	23,3	53,3	38,3
Quarna	36,7	63,3	50,0
Remus	46,7	73,3	60,0
Среднее по сортам	36,5	57,8	47,2
НСР ₀₅	15,26	10,21	16,01

Повреждение фитофагами было неравномерным, имел место как краевой, так общий пространственный эффект.

Коэффициент корреляции между развитием корневых гнилей и поврежденностью внутристеблевыми вредителями в 2019 г. составил $R = 0,744 \pm 0,185$ ($P < 0,01$), в 2020 г. – $R = 0,713 \pm 0,092$ ($P < 0,01$). В этой связи в фазе колошения было отмечено сильное проявление симптомов, вызванных почвенными фитопатогенами. Активность эпифитотического процесса корневых гнилей возросла в 4–6 раз по сравнению с фазой всходов. Затем эпифи-

тотический процесс корневых гнилей выходил на плато, что характерно для почвенных инфекций. Разница в пораженности сортов между фазами колошения и зрелости составила 5–20%, т.е. была незначительной. В условиях массового повреждения злаковыми мухами все сорта к концу вегетации имели высокую, близкую по уровню пораженности.

В 2020 г. мы провели учеты поврежденности сортов по рендомизированным повторностям. Влияние пространственного расположения делянок с сортами на поврежденность вредителями показано в табл. 4.

Таблица 4

Поврежденность стеблей сортов яровой пшеницы злаковыми мухами по повторностям (2020 г.), %
Damage to stems of spring wheat varieties by cereal flies by replicates (2020), %

Повторность	Размах колебаний	Среднее
1	30–100	67,8
2	20–90	62,5
3	10–80	41,5
НСР ₀₅	-	7,21

Дисперсионный анализ показал, что сила влияния пространственного расположения растений на их повреждение злаковыми мухами составила 30,9% и была достоверна на 1%-м уровне, тогда как влияние самого сорта на этот показатель было почти в 2 раза ниже (16,8%) и достоверно на 5%-м уровне. Эти данные свидетельствуют о необходимости системной перестройки работы при оценке сортов на устойчивость к почвенным фито-

патогенам. Необходимо исключить повреждающий фактор – злаковых мух, «открывающих ворота» всем почвенным фитопатогенам. В таких условиях у сортов нет возможности проявить генетически обусловленные иммунные свойства, особенно во второй половине вегетации.

Индукция сортами супрессивности ризосферной почвы к грибам рода *Fusarium*. Исследования показали, что супрессивность

неризосферной почвы в течение вегетации постепенно возрастала к большинству фитопатогенов рода *Fusarium*. Она увеличилась за вегетацию в 1,5 раза, что отражает рост общей численности микроорганизмов, обладающих антагонистическими свойствами по отноше-

нии к фузариевым грибам. Супрессивность ризосферной почвы отличалась от контрольной и носила индивидуальный и индуцируемый характер в парах «сорт – фитопатоген» (табл. 5).

Анализ табл. 5 показывает, что индукция ризосферой сортов яровой пшеницы супрес-

Таблица 5

Индукция супрессивности к грибам рода *Fusarium* ризосферной почвой сортов яровой пшеницы в 2020 г.,%
Induction of suppression to fungi of the genus *Fusarium* by rhizosphere soil of spring wheat varieties in 2020, %

Сорт	<i>F. roae</i>		<i>F. oxysporum</i>	
	доля в патогенном комплексе	индукция супрессивности	доля в патогенном комплексе	индукция супрессивности
Новосибирская 15	52,3	13,8	13,3	29,3
Сибирская 17	28,9	17,8	17,0	22,2
Обская 2	39,2	26,2	9,7	26,9
Зауралочка	46,3	10,3	7,4	37,5
Тулайковская Надежда	51,0	9,6	18,7	15,1
ЛТ-3	48,7	17,8	7,6	28,9
Manu	38,4	10,9	13,9	26,5
Quagna	37,4	13,6	11,9	24,2
Remus	19,2	22,7	10,3	30,0
Среднее по сортам	40,2	15,9	12,2	26,7
НСР ₀₅	10,21	5,02	3,56	6,41
Сила влияния факторов, %				
сорт			4,7	0
фитопатоген			61,2**	85,1**

** Достоверно на 1%-м уровне.

сивности почвы к фитопатогенам влияла на их представленность в патогенном комплексе корневых гнилей. Максимальная средняя за вегетацию индукция супрессивности почвы к *F. roae* ризосферой составила 26,2% и была выявлена у сорта Обская 2. Минимальная (9,6%) индукция супрессивности к этому фитопатогену в среднем за вегетацию выявлена у сорта Тулайковская Надежда из Самарской области. Индукция супрессивности снижала представленность *F. roae* в патогенных комплексах корневых гнилей на подземных органах сортов, коэффициент корреляции индукции супрессивности к *F. roae* и его представленности в патогенных комплексах составил $R = -0,638 \pm 0,318$ и был достоверным на 5%-м уровне.

В отношении *F. oxysporum* индукция супрессивности была в среднем по сортам на 40% ниже, чем в отношении *F. roae*, соответ-

ственно в 3,3 раза была ниже и его средняя по сортам представленность в патогенном комплексе корневых гнилей. Максимальную (37,5%) среднюю за вегетацию индукцию супрессивности к этому фитопатогену проявил сорт Зауралочка из Курганской области, а минимальную (15,1%) – сорт Тулайковская Надежда из Самарской области. Коэффициент корреляции индукции супрессивности к *F. oxysporum* и его представленности в патогенных комплексах корневых гнилей сортов составил $R = -0,844 \pm 0,203$ ($P < 0,01$).

Следует отметить, что обсуждаемые фитопатогены *F. roae* и *F. oxysporum* доминировали на подземных органах сортов яровой пшеницы в 2020 г. и к ним была выявлена умеренная супрессивность ризосферной почвы, которая составила в среднем по сортам 55,0 и 50,1% соответственно и практически не менялась в течение вегетации.

Дисперсионный анализ экспериментальных данных по схеме двухфакторного опыта показал, что максимальное (61,2%) влияние на индукцию супрессивности оказывали биологические особенности фитопатогенов.

Не вызывает сомнений, что способность сортов индуцировать супрессивность ризосферной почвы к основным фитопатогенам является ценным признаком, который обязательно следует учитывать в ходе практической селекции на устойчивость к корневым гнилям.

ВЫВОДЫ

1. По итогам двух лет исследований наименьшую, в пределах двух биологических порогов вредоносности (ПВ), пораженность корневыми гнилями в фазе всходов показали сорта яровой пшеницы Новосибирская 15 и Ману.

2. Развитие корневых гнилей по сравнению с фазой всходов в 2019 г. возросло в среднем в 2,5, а в 2020 г. – в 5,6 раза, произошло выравнивание различий по пораженности между сортами в течение вегетации. В фазе всходов коэффициент вариации развития корневых гнилей по сортам составил $24,1 \pm 4,0$, в фазе зрелости он снизился в 2,5 раза – до $9,4 \pm 1,5$.

3. Главной причиной сглаживания различий между сортами по пораженности корневыми гнилями было сильное (до 100%) повреждение внутрискелетными вредителями. Экономический порог вредоносности по поврежденности стеблей яровой пшеницы злаковыми мухами был превышен в 2019 г. до 4,8, а в 2020 г. – до 7,8 раза. Коэффициент кор-

реляции между развитием корневых гнилей и поврежденностью внутрискелетными вредителями в 2019 г. составил $R = 0,744 \pm 0,185$ ($P < 0,01$), в 2020 г. – $R = 0,713 \pm 0,092$ ($P < 0,01$).

4. Дисперсионный анализ показал, что сила влияния пространственного расположения растений на их повреждение злаковыми мухами составила 30,9% и была достоверна на 1%-м уровне, тогда как влияние самого сорта на этот показатель было почти в 2 раза ниже (16,8%) и достоверно на 5%-м уровне.

5. Индукция ризосферой сортов яровой пшеницы супрессивности почвы к фитопатогенам влияла на их представленность в патогенном комплексе корневых гнилей. Коэффициент корреляции индукции сортами супрессивности к *F. roae* и его представленности в патогенных комплексах составил $R = -0,638 \pm 0,318$ и был достоверным на 5%-м уровне. Коэффициент корреляции индукции супрессивности к *F. oxysporum* и его представленности в патогенных комплексах корневых гнилей сортов составил $R = -0,844 \pm 0,203$ ($P < 0,01$).

6. Для повышения эффективности практической селекции на устойчивость к корневым гнилям необходима системная перестройка работы: следует исключить повреждающий фактор – злаковых мух, «открывающих ворота» всем почвенным фитопатогенам после фазы кущения, и учитывать способность сортов индуцировать супрессивность ризосферной почвы к основным фитопатогенам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00079.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чулкина В. А. Биологические основы эпифитотиологии: монография. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 288 с.
2. Schroeder K. L., Paulitz T. C. Root Diseases of Wheat and Barley During the Transition from Conventional Tillage to Direct Seeding // Plant Disease. – 2006. – P. 1247–1253.
3. The micromycetiae 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, N. S. Zhemchuzhina, S. A. Elizarova // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, N 4. – P. 1804–1810.

4. Торопова Е. Ю., Соколов М. С. Роль сорта в контроле обыкновенной корневой гнили яровой пшеницы // *Агрохимия*. – 2018. – № 11. – С. 48–59.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Торопова Е. Ю., Соколов М. С., Глинушкин А. П. Индукция супрессивности почвы – важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых инфекций // *Агрохимия*. – 2016. – № 8. – С. 46–55.
9. Факторы индукции супрессивности почвы / Е. Ю. Торопова, О. А. Казакова, М. П. Селюк, М. С. Соколов, А. П. Глинушкин // *Агрохимия*. – 2017. – № 4. – С. 58–71.
10. Артамонова М. Н., Алексеева А. С., Потатуркина-Нестерова Н. И. Ризосферные бактерии как антагонисты патогенных и условно-патогенных микроорганизмов // *Ульяновский медико-биологический журнал*. – 2013. – № 3. – С. 116–118.
11. 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.
12. Соколова Т. А. Специфика свойств почв в ризосфере: анализ литературы // *Почвоведение*. – 2015. – Т. 48, № 9. – С. 968–980.
13. Состояние популяций микромицетов в ризосфере озимой пшеницы на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья / Э. А. Пикушова, Л. А. Шадрина, Н. А. Москалева, Т. А. Долбилова // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 74. – С. 130–135.
14. 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.
15. Сорокин О. Д. Прикладная статистика на компьютере. – Краснообск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.

REFERENCES

1. Chulкина В. А., *Biologicheskie osnovy epifitologii* (The biological basis of epiphytology), Moscow: VO Agropromizdat, 1991, 288 p.
2. Schroeder K. L., Paulitz T. C., Root Diseases of Wheat and Barley During the Transition from Conventional Tillage to Direct Seeding, *Plant Disease*, 2006, pp. 1247–1253.
3. Lapina V. V., Smolin N. V., Ivoilov A. V., Zhemchuzhina N. S., Elizarova S. A., The micromycetiae composition of the soil under the crops of a summer grain cultures and a specificity of *Bipolarissorokiniana* and *Fusarium spp.* Strains, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2016, Vol. 7, No. 4, pp. 1804–1810.
4. Toropova E. Yu., Sokolov M. S., *Agrokhimiya*, 2018, No. 11, pp. 48–59. (In Russ.)
5. Toropova E. Yu. Piskarev V. V., Vorobyeva I. G., Sukhomlinov V. Yu., *Agrokhimiya*, 2019, No. 11, pp. 57–62. (In Russ.)
6. 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.
7. 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.
8. Toropova E. Yu., Sokolov M. S., Glinushkin A. P., *Agrokhimiya*, 2016, No. 8, pp. 46–55. (In Russ.)
9. Toropova E. Yu., Kazakova O. A., Selyuk M. P., Sokolov M. S., Glinushkin A. P., *Agrokhimiya*, 2017, No. 4, pp. 58–71. (In Russ.)

10. Artamonova M. N., Alekseeva A. S., *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii zhurnal*, 2013, No. 3, pp. 116–118. (In Russ.)
11. 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.
12. Sokolova T. A., *Pochvovedenie*, 2015, T. 48, No. 9, pp. 968–980. (In Russ)
13. Pikushova E. A., Shadrina L. A., Moskaleva N. A., Dolbilova T. A., *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, No. 74, pp. 130–135. (In Russ)
14. Chulkina V. A., Toropova E. Yu., Stetsov G. Ya., *Fitosanitarnaya diagnostika agroekosistem* (Phytopathological diagnostics of agroecosystems), Barnaul, 2017, 210 p.
15. Sorokin O. D., *Prikladnaya statistika na komp'yutere* (Applied statistics on your computer), Krasnoobsk^ GUP RPO SO RASKhN, 2009, 222 p.