

**Т. Г. Пилат, Е. И. Жук, В. А. Радивон, Н. А. Бурнос, А. А. Жуковская,
В. Г. Лешкевич, И. Н. Одинцова, А. Н. Халаев, В. А. Кирейчик,
Е. И. Рожко**

РУП «Институт защиты растений», аг. Прилуки, Минский р-н

ВНУТРИВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ГРИБОВ РОДА *FUSARIUM* LINK, ПОРАЖАЮЩИХ ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ, В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

Дата поступления статьи в редакцию: 15.04.2025

Рецензент: канд. с.-х. наук Халаева В. И.

Аннотация. Представлены данные по развитию корневой гнили и фузариоза колоса в посевах озимой пшеницы в 2023–2024 гг. Степень поражения растений корневой гнилью составила 11,8–36,5 %, фузариозом колоса – 0,0–10,4 %. Из пораженных частей растений выделено 190 изолятов грибов рода *Fusarium*, видовая идентификация которых подтверждена с помощью реал-тайм ПЦР. Установлено, что видовой состав данного рода на озимой пшенице представлен 8 видами. На корневой системе культуры доминировал гриб *F. oxysporum*, на зерне – *F. poae*.

Ключевые слова: озимая пшеница, корневая гниль, фузариоз колоса, идентификация, ПЦР, грибы рода *Fusarium* Link, частота встречаемости.

Введение. Из зерновых культур озимая пшеница занимает первое место по площади посевов в нашей стране – 643,7 тысяч гектаров в 2024 г. Высокая доля зерновых в севообороте, сокращение традиционной обработки почвы и использование интенсивных сортов, которые более подвержены поражению болезнями, в частности вызываемыми грибами рода *Fusarium*, приводят к снижению потенциальной урожайности.

Грибы рода *Fusarium* могут развиваться на растениях как патогены, атакующие ослабленные растения и вырабатывающие в процессе своей жизнедеятельности микотоксины, и как сапрофиты, обитающие в почве. Они также могут выступать в роли антагонистов по отношению к другим почвенным микроорганизмам [1]. Широкий диапазон приспособительных реакций видов этого рода обуславливает переход некоторых из них к факультативному паразитизму и существованию вирулентных рас, поражающих растения [2]. На озимой пшенице грибы *Fusarium* вызывают корневую гниль и фузариоз колоса, приводящие к потере до 35 % урожая [10].

Среди факторов, усиливающих доминирование фузариевых грибов в патокмплексе корневой гнили зерновых культур, выделяют минимизацию обработки почвы, а также повышение частоты засушливых периодов в течение вегетации [9].

Грибы рода *Fusarium* распространены по всему миру благодаря своей высокой экологической пластичности и внутривидовой изменчивости [3]. Некоторые виды, такие как *Fusarium culmorum* (WG Smith), *F. graminearum* (Schwabe) и *F. poae* (Peck) Wollenw, в настоящее время можно найти на территории всех европейских стран, а также в Азии, Америке, Африке и Океании [9].

В условиях республики видовое разнообразие грибов рода *Fusarium*, поражающих озимую пшеницу, представлено видами: *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. cerealis* (Cooke) Sacc., *F. culmorum*, *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. graminearum*, *F. oxysporum* Schltdl., *F. poae*, *F. solani* (Mart.) Sacc., *F. sporotrichioides* Sherb., *F. tricinctum* (Corda) Sacc. Однако исследования показывают, что видовой состав и доминирующие виды постоянно меняются [4, 5].

Цель исследований заключалась в уточнении видового разнообразия грибов рода *Fusarium*, поражающих корневую систему и колос озимой пшеницы в условиях Беларуси.

Материалы и методы исследований. С целью определения развития болезней фузариозной этиологии в посевах озимой пшеницы в течение вегетационных сезонов 2023–2024 гг. проводились маршрутные обследования полей во всех областях республики. Учеты развития корневой гнили и фузариоза колоса проводились в стадии 77–83 (поздняя молочная – ранняя восковая спелость) согласно общепринятым методикам [7].

Погодные условия в годы проведения исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Метеорологические условия весенне-летнего периода 2023–2024 гг. (по данным Белгидромет)

Месяц	Средняя температура, °С			Сумма осадков, мм		
	2023 г.	2024 г.	норма	2023 г.	2024 г.	норма
Март	2,7	4,1	0,8	69,6	22,0	37,9
Апрель	8,8	10,1	7,8	39,3	85,0	38,7
Май	13,0	14,9	13,4	11,9	25,0	63,3
Июнь	17,7	18,9	17,0	61,4	83,0	72,2
Июль	18,6	21,0	18,9	85,9	110,0	89,6
Август	20,7	19,9	18,0	81,5	39,0	63,8

В 2023 г. на протяжении вегетационного периода, кроме мая и июля, отмечен повышенный температурный режим. Весной выпало 121 мм или 86 % сезонной нормы. Самым сухим месяцем был май, за который в среднем по Беларуси выпало 11,9 мм осадков, что составило 19 % климатической нормы. Количество осадков за летний период соответствовало климатической норме, хотя в первые два месяца на большей части республики отмечался их недостаток. Дожди проходили в основном

в южной части республики. В большинстве районов страны в период с мая по июль отмечены низкие запасы продуктивной влаги под зерновыми культурами. Сложившиеся погодные условия негативно сказались на развитии растений: сократилась продолжительность межфазных периодов. На более легких почвах и возвышенных участках у зерновых культур наблюдалось пожелтение, скручивание и засыхание листьев.

Повышенный температурный режим на протяжении вегетационного периода озимой пшеницы также отмечен и в 2024 г. Средняя температура весеннего сезона составила 9,7 °С, что на 2,4 °С выше климатической нормы. Начало вегетации на большей части территории республики началось на 1,5–2 недели раньше своих обычных сроков (21–29 марта). Осадки выпадали неравномерно, сухими были март и май, когда выпало 59 и 40 % от нормы соответственно. Средняя температура за летний период составила 19,9 °С, что на 1,9 °С выше климатической нормы. Дефицит осадков на фоне жаркой погоды способствовал снижению влагозапасов в почве, влагообеспеченность зерновых культур ухудшилась. Недостаток осадков в начале вегетационного сезона сменился чередованием засушливых периодов и дождей ливневого характера во второй половине вегетации. В июне и июле в среднем по республике выпало 116 и 123 % осадков от климатической нормы, в августе наблюдался их значительный недобор.

Сбор растительных образцов осуществляли в хозяйствах республики. Выделение грибов из корней и зерен озимой пшеницы проводили в лаборатории фитопатологии РУП «Институт защиты растений». Для этого фрагменты корней растений длиной около 1 см и зерна стерилизовали путем погружения в 1 %-й раствор гипохлорита натрия в течение 10 сек, промывали стерильной дистиллированной водой, просушивали между слоями стерильной фильтровальной бумаги и раскладывали на поверхность картофельно-сахарозного агара. Чашки инкубировали при 20–25 °С. Через 7–10 суток выросшие колонии пересевали для последующего определения их видовой принадлежности и дальнейшей работы с чистыми культурами грибов. Для каждого изолята были получены моноспоровые культуры [8].

Видовую идентификацию возбудителей проводили после выделения их в чистую культуру, основываясь на культуральных и морфологических признаках с помощью определителя W. Gerlach и H. Nirenberg [11], а также с использованием метода молекулярного анализа.

Идентификацию видов на основании молекулярного метода проводили с использованием реал-тайм ПЦР (ПЦР-РВ). Для этого мицелий 7-дневной моноспоровой культуры гриба соскребали с поверхности чашки Петри стерильным скальпелем и помещали в стерильную пробирку объемом 1,5 мл. Экстракция ДНК из образца проводилась с использованием СТАВ-буфера [6].

Для постановки ПЦР в режиме реального времени готовили смесь, содержащую выделенную ДНК исследуемого образца, 250 нМ каждого праймера (таблица 2), 1X Премикс для ПЦР-РВ (ОДО «Праймтех»), 1X флуоресцентный краситель SYBR Green.

Таблица 2 – Последовательности праймеров для идентификации грибов рода *Fusarium*, использованных в исследовании

Вид	Название праймера	Последовательность (5'– 3')	Ссылка
<i>F. avenaceum</i>	Fave574 fwd	TATGTTGTCACTGTCTCACACCACC	Nicolaisen M. [et al.], 2009
	Fave627 rev	AGAGGGATGTTAGCATGATGAAG	
<i>F. culmorum</i>	FculC561 fwd	GTAATTTTCTGGTGGGGCT	
	FculC614 rev	AACTGATTGACACGTGATGG	
<i>F. equiseti</i>	FequiB569 fwd	CACCGTCATTGGTATGTTGTCATC	
	FequiB598 rev	TGTTAGCATGAGAAGGTCATGAGTG	
<i>F. graminearum</i>	FgramB379 fwd	CCATTCCTGGGCGCT	
	FgramB411 rev	CCTATTGACAGGTGGTTAGTGACTGG	
<i>F. poae</i>	FpoaeA51 fwd	ACCGAATCTCAACTCCGCTTT	
	FpoaeA98 rev	GTCTGTCAAGCATGTTAGCACAAGT	
<i>F. sporotrichioides</i>	FspoA18 fwd	GCAAGTCGACCACTGTGAGTACA	Iwaniuk P. [et al.], 2018
	FspoA85 rev	CTGTCAAAGCATGTCAGTAAAAATGAT	
<i>F. oxysporum</i>	oxy-F	CATACTGACATCGTTTCACAG	Lievens B. [et al.], 2006
	oxy-R	TAGCGGGTACGTTTCGAGT	
<i>F. solani</i>	AFP346 (R)	GGTATGTTACAGGGTTGATG	Lievens B. [et al.], 2006
	ITS1-F (F)	CTTGGTCATTAGAGGAAGTAA	

ПЦР проводили с помощью термоциклера CFX96 Real-Time System (BioRad, США) по приведенному протоколу: 50 °C в течение 2:00 мин; 95 °C в течение 10:00 мин; 40 циклов: 95 °C в течение 15 сек; 56 °C (*F. oxysporum*), 60 °C (*F. solani*), 62 °C (*F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides*) в течение 1:00 мин; построение кривой плавления [12, 15, 13].

Частоту встречаемости грибов вычисляли как отношение количества изолятов конкретного вида к общему числу выделенных.

Результаты и их обсуждение. Маршрутные обследования посевов озимой пшеницы, проведенные в 2023–2024 гг. показали, что повсеместно распространена корневая гниль (рисунок 1). В условиях 2023 г. развитие болезни носило депрессивный характер и варьировало в пределах 13,7–23,4 %. Максимальное значение показателя отмечено в посевах озимой пшеницы Гродненской области. Условия 2024 г. были

более благоприятными для развития болезни. Степень поражения растений достигала 36,5 % (Гомельская область). Наименьшее развитие болезни отмечено в посевах культуры в Минской области (11,8 %).

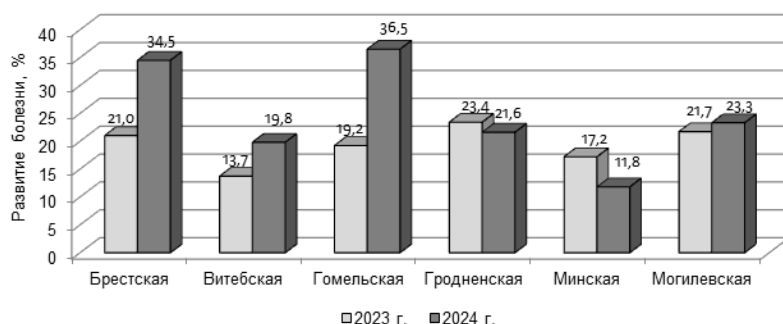


Рисунок 1 – Развитие корневой гнили в посевах озимой пшеницы (маршрутные обследования)

Развитие фузариоза колоса в посевах озимой пшеницы в условиях 2023 и 2024 гг. было невысоким, что обусловлено дефицитом осадков в период, предшествовавший цветению культуры. Максимальное развитие болезни как в 2023 г., так и в 2024 г. отмечено в посевах культуры в Витебской области (7,5 и 10,4 % соответственно), минимальное – Брестской (до 1,0 %) и Гродненской областях (до 0,7 %) (рисунок 2).

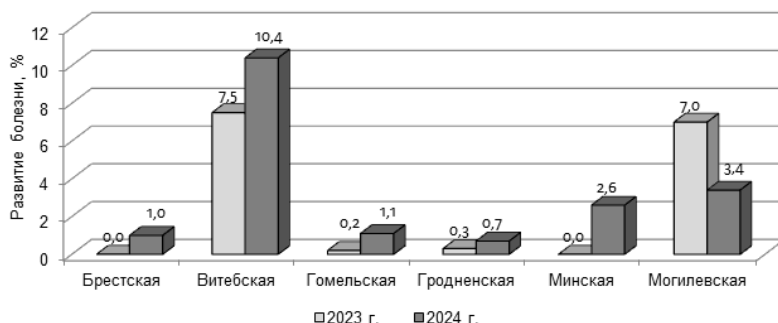


Рисунок 2 – Развитие фузариоза колоса в посевах озимой пшеницы (маршрутные обследования)

Видовая идентификация грибов рода *Fusarium*, выделенных из пораженных частей растений, с помощью морфолого-культуральных признаков была подтверждена также с помощью реал-тайм ПЦР. Всего было выделено 190 изолятов, относящихся к 8 видам (таблица 3).

Таблица 3 – Обобщенные данные по идентификации видов рода *Fusarium*

Вид	Количество изолятов, шт.	
	Морфолого-культуральные признаки	ПЦР-диагностика
<i>F. avenaceum</i>	22	23
<i>F. culmorum</i>	6	7
<i>F. equiseti</i>	19	19
<i>F. graminearum</i>	5	6
<i>F. oxysporum</i>	98	98
<i>F. poae</i>	12	12
<i>F. solani</i> *	17	17
<i>F. sporotrichioides</i>	5	5
<i>Fusarium spp.</i>	6	3
Всего	190	190

Примечание – Из корневой системы было выделено и идентифицировано 164 вида, из зерна – 26. «*» – по современной систематике гриб *F. solani* относится к виду *Neocosmospora solani* (Mart.) L. Lombard&Crous.

Полученные данные свидетельствуют о том, что видовой состав грибов рода *Fusarium*, поражающих корневую систему озимой пшеницы, варьирует в зависимости от места отбора проб (таблица 4).

Таблица 4 – Частота встречаемости грибов рода *Fusarium*, поражающих корневую систему озимой пшеницы (лабораторный опыт, 2024 г.)

Вид	Частота встречаемости по областям, %						
	Брест- ская	Витеб- ская	Гомель- ская	Гроднен- ская	Мин- ская	Могилев- ская	Сред- нее
<i>F. avenaceum</i>	12,0	33,4	0,0	4,3	17,9	13,3	11,1
<i>F. culmorum</i>	0,0	25,0	14,8	0,0	0,0	0,0	4,3
<i>F. equiseti</i>	12,0	0,0	3,7	4,3	12,8	53,3	11,6
<i>F. oxysporum</i>	52,0	25,0	77,8	91,4	38,5	26,7	59,6
<i>F. solani</i>	20,0	8,3	0,0	0,0	25,6	6,7	10,4
<i>F. sporotrichioides</i>	0,0	0,0	3,7	0,0	2,6	0,0	1,2
<i>Fusarium spp.</i>	4,0	8,3	0,0	0,0	2,6	0,0	1,8

Гриб *F. oxysporum* встречался повсеместно, причем он являлся доминирующим видом на корневой системе озимой пшеницы в условиях Брестской, Гомельской, Гродненской и Минской областей. Частота его встречаемости в вышеуказанных областях варьировала от 38,5 до 91,4 %. В Витебской области преобладал *F. avenaceum* с частотой встречаемости 33,4 %, в Могилевской – *F. equiseti* (53,3 %). Грибы *F. avenaceum* и *F. equiseti* отмечены на корневой системе растений озимой пшеницы в пяти областях, в то время как *F. culmorum* и *F. sporotrichioides* – в двух.

Из зерна озимой пшеницы было выделено и идентифицировано 4 вида грибов рода *Fusarium* (таблица 5). К доминирующим видам можно отнести *F. poae*, частота встречаемости которого в среднем составила 46,2 %. Он преобладал на зерне озимой пшеницы Могилевской и Витебской областей (100 % и 62,5 % соответственно). В Гомельской области отмечена высокая частота встречаемости гриба *F. graminearum* – 85,7 %, в Гродненской – *F. sporotrichioides* (100 %), в Минской области с одинаковой частотой (50,0 %) выделялись *F. poae* и *F. avenaceum*. Зерна из колосьев, отобранных в Брестской области, оказались свободными от фузариозной инфекции.

Таблица 5 – Частота встречаемости грибов рода *Fusarium*, выделенных из зерна озимой пшеницы (лабораторный опыт, 2024 г.)

Вид	Частота встречаемости по областям, %						
	Брест- ская	Витеб- ская	Гомель- ская	Грод- ненская	Мин- ская	Могилев- ская	Сред- нее
<i>F. avenaceum</i>	0,0	37,5	0,0	0,0	50,0	0,0	19,2
<i>F. graminearum</i>	0,0	0,0	85,7	0,0	0,0	0,0	23,1
<i>F. poae</i>	0,0	62,5	0,0	0,0	50,0	100	46,2
<i>F. sporotrichioides</i>	0,0	0,0	14,3	100	0,0	0,0	11,5

Следует отметить, что гриб *F. avenaceum*, присутствовал как на корневой системе с частотой встречаемости в среднем 11,1 %, так и на колосе (19,2 %) озимой пшеницы.

Заключение. Таким образом, результаты исследований показали повсеместное распространение корневой гнили и фузариоза колоса в посевах озимой пшеницы в республике. Развитие корневой гнили в годы исследований варьировало от 11,8 до 36,5 %, фузариоза колоса – не превышало 10,4 %.

В результате ПЦР-диагностики в режиме реального времени были идентифицированы 190 видов грибов рода *Fusarium*: *F. avenaceum* (23 изолята), *F. culmorum* (7), *F. equiseti* (19), *F. graminearum* (6), *F. oxysporum* (98), *F. poae* (12), *F. solani* (17), *F. sporotrichioides* (5). Полученные данные свидетельствуют о высокой встречаемости гриба *F. oxysporum* на корневой системе озимой пшеницы (в среднем 59,6 %). На зерне культуры доминировал гриб *F. poae* (46,2 %). Виды *F. avenaceum* и *F. sporotrichioides* встречались как на корневой системе, так и на зерне культуры. В то время как *F. oxysporum*, *F. equiseti*, *F. solani*, *F. culmorum* выделялись только из корней, а *F. poae* и *F. graminearum* только из зерен озимой пшеницы.

Исследования выполнены по заданию «Изучение чувствительности грибов рода *Fusarium*, доминирующих в посевах озимой пшеницы, к действующим веществам фунгицидов из различных классов» в рамках Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограммы «Плодородие почв и защита растений», номер Государственной регистрации 20250183.

Список литературы

1. Буга, С. Ф. Теоретические и практические основы химической защиты зерновых культур от болезней в Беларуси : монография / С. Ф. Буга ; Ин-т защиты растений. – Несвиж : Несвиж. укрупн. тип. им. С. Будного, 2013. – 240 с.
2. Иващенко, В. Г. Географическое распространение и особенности биоэкологии *Fusarium graminearum* Schwabe / В. Г. Иващенко // Микология и фитопатология. – 1998. – Т. 32, № 5. – С. 1–10.
3. Костерина, Н. А. Анализ современного состояния проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации / Н. А. Костерина // Аграрный вестник Урала. – 2023. – № 5 (234). – С. 49–59.
4. Видовое разнообразие возбудителей фузариозной корневой гнили озимых зерновых культур / Н. А. Крупенько, С. Ф. Буга, А. Г. Жуковский [и др.] // Земледелие и растениеводство. – 2022. – № 1. – С. 36–40.
5. Инфицированность семян зерновых культур грибами рода *Fusarium* / Н. А. Крупенько, С. Ф. Буга, А. Г. Жуковский [и др.] // Защита растений : сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений ; редкол.: С. В. Сорока (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2023. – Вып. 47. – С. 80–85.
6. Методика экстракции геномной ДНК из мицелиальных грибов рода *Fusarium* / О.Н. Хапилина, А. П. Новаковская, Л. Ф. Созинова [и др.] // Вестник науки КАТУ им. С. Сейфуллина. – 2011. – № 2 (69). – С. 83–89.
7. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений ; под ред. А. Г. Жуковского, Н. А. Крупенько, С. Ф. Буги. – Минск : Колорград, 2024. – 462 с.
8. Основные методы фитопатологических исследований : науч. тр. / А. Е. Чумаков, И. И. Минкевич, Ю. И. Власов, Е. А. Гаврилова ; под общ. ред. А. Е. Чумакова ; ВАСХНИЛ, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т защиты растений. – М. : Колос, 1974. – 191 с.
9. Торопова, Е. Ю. Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патокмлексе корневых гнилей зерновых культур / Е. Ю. Торопова, М. П. Селюк, О. А. Казакова // Агрохимия. – 2018. – № 5. – С. 73–82.
10. Effect of climate on the distribution of *Fusarium* spp. causing rot of wheat in the Pacific Northwest of the United States / G. J. Poole, R. Smiley, C. Walker, D. Huggins // Phytopathology. – 2013. – Vol. 103, iss. 11. – P. 1130–1140.
11. Gerlach, W. The genus *Fusarium*: a pictorial atlas / W. Gerlach, H. Nirenberg. – Berlin : Kommissionsverlag P. Parey, 1982. – Vol. 209. – 406 p.
12. Quantitative evaluation of *Fusarium* species and crop quality traits in wheat varieties of northeastern Poland / P. Iwaniuk, R. Konecki, K. Snarska, B. Lozowicka // Plant Protection Research. – 2018. – Vol. 58, № 4. – P. 413–419.
13. Real-time PCR for detection and quantification of fungal and oomycete tomato pathogens in plant and soil samples / B. Lievens, M. Brouwer, Alfons C. R. C. Vanachter [et al.] // Plant Science. – 2006. – Vol. 171, iss. 1. – P. 155–165.

14. Matny, O. Geographic distribution of *Fusarium culmorum* chemotypes associated with wheat crown rot in Iraq / O. Matny, S. T. Bates, Z. Song // Plant Protection Research. – 2017. – Vol. 57, iss. 1. – P. 43–49.

15. Real-time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals / M. Nicolaisen, S. Suproniene, L. K. Nielsen [et al.] // J. of Microbiological Methods. – 2009. – Vol. 76, iss. 3. – P. 234–240.

**T. G. Pilat, E. I. Zhuk, V. A. Radivon, N. A. Burnos, A. A. Zhukovskaya,
V. G. Leshkevich, I. N. Odintsova, A. N. Khalaev, V. A. Kireichyk, E. I. Rozhko**
RUE «Institute of plant protection», Priluki, Minsk region

INTRASPECIFIC DIVERSITY OF *FUSARIUM* LINK FUNGI AFFECTING WINTER WHEAT IN BELARUS

Annotation. Data on the development of root rot and Fusarium head blight in winter wheat crops during 2023–2024 are presented. The degree of plant infection with root rot ranged from 11,8 to 36,5 %, and with Fusarium head blight from 0,0 to 10,4 %. Species identification of 190 fungal isolates of the *Fusarium* genus, isolated from infected plant parts, was confirmed using real-time PCR. It was established that the species composition of this genus on winter wheat is represented by 8 species. The fungus *F. oxysporum* dominated on the root system of the crop, while *F. poae* dominated on the grain.

Key words: winter wheat, root rot, fusarium head blight, identification, PCR, fungi of the genus *Fusarium* Link, frequency of occurrence.