

ФИТОПАТОЛОГИЯ

УДК 633.11«321»:632.484(476)

Е.И. Жук

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

ВИДОВОЙ СОСТАВ ГРИБОВ РОДА *FUSARIUM* LINK, КОНТАМИНИРУЮЩИХ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕЛАРУСИ

Дата поступления статьи в редакцию: 07.06.2023

Рецензент: канд. биол. наук Плескачевич Р.И.

Аннотация. В статье приведена информация об инфицированности и видовом составе грибов рода *Fusarium* Link, контаминирующих зерна районированных на территории Беларуси сортов яровой пшеницы Дарья, Любава, Славянка, Сударыня. К числу доминирующих грибов рода *Fusarium* в патогенном фузариозном комплексе, представленном 6 видами, отнесен гриб *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. Четкой дифференциации по частоте встречаемости видов *Fusarium* spp. в зависимости от сорта яровой пшеницы не выявлено.

Ключевые слова: яровая пшеница, *Fusarium* Link, зерно, патогенный комплекс, частота встречаемости, индекс Шеннона.

Введение. Грибы рода *Fusarium* широко известны во всем мире. Представители этого рода поражают широкий круг растений, по типу питания относятся к факультативным паразитам. В зерновом агроценозе виды этого рода присутствуют на протяжении всего периода вегетации: они способны поражать семена, вегетативные и генеративные органы растений. Отличительной особенностью болезней, вызываемых грибами рода *Fusarium*, является их специфическая этиология, основанная на участии в патогенном процессе комплекса, представленного несколькими видами [2, 3, 14]. Вредоносность возбудителей заключается в снижении количества и качества урожая [4, 11].

Патогенные комплексы грибов рода *Fusarium* – это динамичные системы, способные изменяться под влиянием различных агротехнических и агроклиматических факторов как по составу, так и по доле участия каждого отдельного вида [10, 12]. Видовой состав фузариевых грибов, поражающих разные культуры, так и органы зерновых, различен. По данным В. А. Захаренко, в конце 90-х гг. в Германии и Великобритании на посевах зерновых культур выявлено 15 видов

возбудителей фузариоза колоса, но чаще встречались *Fusarium graminearum* Schwabe, *Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc., *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc., *Fusarium poae* (Peck) Wollenw. [5]. В условиях республики видовое разнообразие грибов, изолированных с зерновок яровой пшеницы, в начале 2000-х гг. было представлено 2 видами: *Fusarium oxysporum* Schltdl. и *F. culmorum* [8]. В более ранних исследованиях (середина 70-х гг.) отмечалось преобладание на корневой системе культуры видов *F. avenaceum*, *Fusarium heterosporum* Nees & T. Nees, *Fusarium javanicum* Koord. и др. [1]. В исследованиях Тороповой Е. Ю. с соавторами указывается, что на подземных органах зерновых культур паразитирует в 3 раза больше видов фузариевых грибов, чем на колосе, который является для них дополнительной экологической нишей, реализуемой в благоприятных гидротермических условиях на восприимчивых сортах [13]. На корневой системе яровой пшеницы в условиях Западной Сибири доминирующим из 10 основных видов был *F. poae* [15]. Данные проводимого мониторинга патогенных комплексов грибов рода *Fusarium*, поражающих как корневую систему, так и зерна яровой пшеницы, свидетельствуют о постепенной смене доминирующих видов. В связи с этим особую актуальность приобретает систематический мониторинг видового состава грибов рода *Fusarium*.

Материалы и методика поведения. Исследования проведены в 2021–2022 гг. на опытном поле и в лаборатории фитопатологии РУП «Институт защиты растений». Оценивали зараженность семян сортов яровой пшеницы, полученных под посев из различных районов РБ, а также значения показателя после их возделывания в условиях опытного поля (новый урожай). Почвы опытного участка дерново-подзолистые, среднесуглинистые. Агротехника в опытах общепринятая для возделывания яровой пшеницы в центральной агроклиматической зоне Беларуси [7]. Для проведения исследований были использованы непротравленные семена районированных сортов яровой пшеницы Дарья, Любава, Славянка, Сударыня. В период вегетации фунгициды не применяли.

Для краткой характеристики периода, в течение которого происходит заражение колоса яровой пшеницы возбудителями фузариоза (период цветения культуры), что чаще всего приходится на 3 декаду июня – 2 декаду июля, использовали гидротермический коэффициент (ГТК), который вычисляли по формуле [9]:

$$ГТК = \frac{\sum \text{осадков}}{\sum \text{активного тепла}} \times 10$$

Сведения о происхождении семян под посев, а также гидротермические условия их выращивания, представлены в таблице 1.

Семена всех сортов яровой пшеницы под посев 2021 г. были выращены в условиях оптимального увлажнения. Условия выращивания

семян под посев 2022 г. отличались географически и по характеристикам гидротермического режима. Семена сорта Дарья были получены в условиях избыточного увлажнения конца июня – середины июля, сортов Любава и Славянка – оптимального, а сорта Сударыня – слабого.

Таблица 1 – Характеристика вегетационных сезонов, в условиях которых были получены семена под посев яровой пшеницы (по данным Республиканского гидрометеорологического центра)

Сорт	2020 г.		2021 г.	
	Место выращивания семян	ГТК (3 дек. июня – 2 дек. июля)	Место выращивания семян	ГТК (3 дек. июня – 2 дек. июля)
Дарья	Минская обл., Червенский р-н	1,4 (оптимальное увлажнение)	Гродненская обл., г. Щучин	1,6 (избыточное увлажнение)
Любава			Минская обл., Червенский р-н	1,3 (оптимальное увлажнение)
Славянка				
Сударыня			Витебская обл., Витебский р-н	0,2 (слабое увлажнение)

Погодные условия при возделывании сортов в условиях опытного поля представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Метеорологические данные за период III декада июня – II декада июля 2021–2022 гг. (метеостанция аг. Прилуки Минского района)

Показатель		2021 г.			2022 г.		
		июнь	июль		июнь	июль	
		III	I	II	III	I	II
Температура воздуха, °С	средняя	22,6	22,1	24,1	20,9	20,0	15,2
	± к норме	+5,5	+4,2	+5,5	+3,8	+2,1	-3,4
Количество осадков, мм	сумма	37,0	21,2	39,2	17,8	29,4	55,4
	% от нормы	112,1	68,4	130,7	53,9	94,8	184,7
Относительная влажность воздуха, %		78,0	78,0	69,0	76,0	76,0	86,0
ГТК		1,4			1,8		
Характеристика периода		оптимальное увлажнение			избыточное увлажнение		

В период цветения яровой пшеницы в условиях 2022 г. обеспеченность осадками была выше, чем в аналогичный период 2021 г.: 184,7 и 130,7 % от нормы соответственно. Среднедекадная температура воздуха при этом в 2022 г. оказалась ниже нормы на 3,4 °С, а в 2021 г. – выше нормы на 5,5 °С. Таким образом, в 2021 г. в условиях опытного поля в период цветения яровой пшеницы соотношение количества осадков и активного тепла обеспечило оптимальное увлажнение в этот период, а в 2022 г. – избыточное.

Выделение грибов рода *Fusarium* из зерен осуществляли в лабораторных условиях с использованием картофельно-сахарозного агара.

После предварительной промывки и стерилизации зерна раскладывали на поверхность агаризованной питательной среды в чашки Петри. Через 7–10 дней инкубации выросшие колонии пересевали в пробирки на скошенный агар для дальнейшей идентификации и хранения.

Видовую идентификацию грибов *Fusarium* spp. осуществляли с помощью определителя, составленного W. Gerlach и H. Nirenberg [16].

Частоту встречаемости (%) каждого вида в пробе оценивали как отношение количества его колоний к общему количеству изолятов рода *Fusarium* в этой же пробе.

Для характеристики видового разнообразия грибов рода *Fusarium* использовали показатель «индекс Шеннона», который вычисляли по формуле [17]:

$$H' = - \sum p_i \times \ln(p_i),$$

где H' – индекс Шеннона, p – число особей i -го вида.

Результаты и их обсуждение. Результаты проведенных исследований (фитоэкспертизы) семенного материала и зерна нового урожая, свидетельствуют об отсутствии образцов, свободных от грибной инфекции. Патогенный комплекс грибов, изолированных из семян и зерен яровой пшеницы, был представлен грибами родов *Fusarium* и *Alternaria* Nees (таблица 3).

Таблица 3 – Структура доминирования грибов патогенного комплекса, контаминирующего семена и зерна различных сортов яровой пшеницы (РУП «Институт защиты растений», лабораторный опыт, 2021 г.)

Грибы	Частота встречаемости грибов, %							
	семена под посев				зерна нового урожая			
	Дарья	Люба- ва	Сла- вянка	Суда- рыня	Дарья	Люба- ва	Сла- вянка	Суда- рыня
<i>Fusarium</i> spp.	0,0	11,1	30,0	0,0	14,0	11,8	18,4	10,0
<i>Alternaria</i> sp.	89,2	59,3	58,3	90,9	57,0	39,2	30,6	66,0
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0
Прочие	10,8	29,6	11,7	9,2	29,0	49,0	49,0	24,0

Примечание. «Прочие» – *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. и др.

Частота встречаемости фузариевых грибов на семенном материале находилась в пределах от 0,0 (Дарья, Сударыня) до 30,0 % (Славянка), на зерне нового урожая 2021 г. – от 10,0 (Сударыня) до 18,4 % (Славянка) в зависимости от сорта.

По-прежнему остается высокой частота встречаемости грибов рода *Alternaria* – от 30,6 до 90,9 % в зависимости от сорта и партии. В то же время по данным исследователей, грибы рода *Alternaria* не вызывают существенного снижения количественных показателей урожая [6]. Доля участия обширной группы прочих грибов (*Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. и др.) в комплексе составляла 9,2–49,0 %.

Видовой состав грибов рода *Fusarium*, контаминирующих семена под посев яровой пшеницы в 2021 г., был представлен 3 видами: *F. avenaceum*, *Fusarium sporotrichioides* Sherb., *F. poae*. На зерне нового урожая 2021 г. идентифицировано 6 видов: наряду с вышеперечисленными видами, встречались грибы *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. graminearum* (таблица 4).

Структура доминирования грибов рода *Fusarium*, контаминирующих семена и зерна различных сортов яровой пшеницы (РУП «Институт защиты растений», лабораторный опыт, 2021 г.)

Виды рода <i>Fusarium</i>	Частота встречаемости грибов, %										
	семена под посев					сред- нее	зерна нового урожая				сред- нее
	Да- рья	Лю- бава	Сла- вян- ка	Суда- рыня	Да- рья		Лю- бава	Сла- вян- ка	Суда- рыня		
<i>F. avenaceum</i>	0,0	100,0	72,2	0,0	43,1	21,4	50,0	22,3	40,0	33,4	
<i>F. sporotrichi- oides</i>	0,0	0,0	5,6	0,0	1,4	14,3	0,0	33,3	0,0	11,9	
<i>F. poae</i>	0,0	0,0	22,2	0,0	5,6	35,8	33,3	0,0	20,0	22,3	
<i>F. culmorum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	0,0	11,1	0,0	6,4	
<i>F. oxysporum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	5,0	
<i>F. graminearum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	1,8	
<i>Fusarium spp.*</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	16,7	33,3	20,0	19,3	
Всего изолятов, шт.	0	6	18	0		14	6	9	5		
Индекс Шен- нона	0,0	0,0	0,7	0,0		1,6	1,0	1,3	1,3		

Примечание – «*» – не идентифицированные виды из различных секций.

В целом, в 2021 г. было выделено от 5 до 18 изолятов и от 1 до 3 видов грибов рода *Fusarium* в зависимости от сорта и партии, за исключением семян сортов Дарья и Сударыня, которые были свободны от фузариозной инфекции. В исследованиях 2021 г. чаще всего изолировался вид *F. avenaceum* – частота его встречаемости на семенном материале в среднем составляла 43,1 %, а на зернах нового урожая – 33,4 %.

Видовой состав грибов рода *Fusarium*, контаминирующих зерна нового урожая, был более обширен, о чем свидетельствует индекс Шеннона, который колебался в этом случае от 1,0 до 1,6 в зависимости от сорта, тогда как на семенах значение этого показателя не превышало 0,7.

Семенной материал сортов яровой пшеницы, полученный под посев 2022 г., был выращен в агроклиматических условиях, характеризовавшихся различной увлажненностью. Инфицированность семян грибами рода *Fusarium* составляла 4,0–13,0 %. Семена сорта Сударыня, которые были получены в условиях недостаточной увлажненности (3 декада июня – 2 декада июля), были инфицированы фузариями в меньшей степени, чем семена сорта Дарья и сортов Любава и Славянка, которые

выращивались в условиях избыточной и оптимальной увлажненности соответственно (таблица 5). Следует отметить, что инфекция гриба *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker. на семенах не встречалась, инфицированность грибами *Alternaria* spp. составляла 28,0–57,0 %, прочими грибами – 38,0–65,0 %.

Таблица 5 – Структура доминирования грибов патогенного комплекса, контаминирующего семена и зерна различных сортов яровой пшеницы (РУП «Институт защиты растений», лабораторный опыт, 2022 г.)

Комплекс грибов	Частота встречаемости грибов, %							
	семена под посев				зерна нового урожая			
	Дарья	Любава	Славянка	Сударыня	Дарья	Любава	Славянка	Сударыня
<i>Fusarium</i> spp.	7,0	11,0	13,0	4,0	8,2	17,8	8,7	23,0
<i>Alternaria</i> spp.	28,0	51,0	45,0	57,0	53,2	50,0	52,7	48,4
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	2,6	0,6
Прочие	65,0	38,0	42,0	39,0	38,6	30,8	36,0	28,0

Примечание. «Прочие» – *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. и др.

В условиях опытного поля в 2022 г. дождливая и прохладная погода во второй декаде июля обусловила благоприятные условия для развития фузариоза колоса и способствовала широкому видовому разнообразию грибов этого рода на зерне яровой пшеницы нового урожая. Результаты проведенных микологических исследований показали, что состав микобиоты зерна нового урожая был представлен грибами *Fusarium* и *Alternaria*, а также отмечался гриб *Bipolaris sorokiniana*. Частота встречаемости фузариевых грибов составляла 8,2–23,0 %, альтернариевых – 48,4–53,2 %. Гриб *Bipolaris sorokiniana*, возбудитель гельминтоспориозной корневой гнили, был отмечен в 3 пробах (сорта Любава, Славянка, Сударыня) из 4, частота его встречаемости не превышала 2,6 % (сорт Славянка).

Видовой состав фузариевых грибов на семенах был представлен 4 видами (индекс Шеннона от 0,6 до 1,2), на зерне яровой пшеницы урожая 2022 г. – 8 видами (индекс Шеннона от 1,0 до 1,6). Число выделенных из семян изолятов не превышало 13, из зерен нового урожая – составляло от 13 до 37 штук в зависимости от сорта (таблица 6).

К числу доминирующих видов рода *Fusarium* как на семенах, так и на зернах нового урожая, отнесен гриб *F. avenaceum*, частота встречаемости которого составляла 55,0 и 38,1 % соответственно. Отмечена высокая частота встречаемости гриба *F. sporotrichioides* (на семенах, в среднем 21,8 %) и *F. culmorum* (на зернах, в среднем 28,2 %). Средняя частота встречаемости видов *F. poae*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *Fusarium equiseti* (Corda) Sacc., *Fusarium cerealis* (Cooke) Sacc., в среднем не превышала 6,7 %.

Таблица 6 – Структура доминирования грибов рода *Fusarium*, контаминирующих семена и зерна различных сортов яровой пшеницы (РУП «Институт защиты растений», лабораторный опыт, 2022 г.)

Виды рода <i>Fusarium</i>	Частота встречаемости грибов, %								
	семена под посев				сред- нее	зерно нового урожая			
	Да- рья	Лю- бава	Сла- вян- ка	Су- да- ры- ня		Да- рья	Лю- бава	Сла- вян- ка	Су- да- ры- ня
<i>F. avenaceum</i>	71,4	54,5	69,2	25,0	55,0	50,1	34,6	46,1	21,6
<i>F. poae</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	15,4	0,0
<i>F. sporotrichioides</i>	28,6	18,2	15,4	25,0	21,8	0,0	15,4	0,0	0,0
<i>F. culmorum</i>	0,0	18,2	0,0	0,0	4,6	28,6	19,3	0,0	64,9
<i>F. graminearum</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	0,0
<i>F. oxysporum</i>	0,0	9,1	0,0	0,0	2,3	7,1	0,0	0,0	0,0
<i>F. equiseti</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	3,8	7,7	5,4
<i>F. cerealis</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4
<i>Fusarium spp.*</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	15,4	15,4	2,7
Всего изолятов, шт.	7	11	13	4		14	26	13	37
Индекс Шеннона	0,6	1,2	0,8	1,0		1,3	1,6	1,4	1,0

Примечание – «*» – не идентифицированные виды из различных секций.

Заключение. Таким образом, обобщая полученные результаты двухлетних исследований, можно сделать вывод о том, что на зерне яровой пшеницы в настоящее время доминирующим видом рода *Fusarium* является гриб *F. avenaceum*. Частота встречаемости видов *F. poae*, *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* является высокой и составляет 21,8–28,2 %. Встречаемость грибов *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. equiseti*, *F. cerealis* – существенно меньше и не превышает 6,0 %. Четкой дифференциации по частоте встречаемости видов *Fusarium spp.* в зависимости от сорта яровой пшеницы не выявлено.

Исследования выполнены по заданию «Изучение комплекса грибов рода *Fusarium*, паразитирующих на зерновых культурах (видовой состав, патогенность, взаимоотношения, вредоносность)» в рамках Государственной научной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограммы «Плодородие почв и защита растений», номер Государственной регистрации 20211442.

Список литературы

1. Бенкен, А. А. Возбудители корневых гнилей яровой пшеницы в эколого-географических зонах Башкирской АССР / А. А. Бенкен, Р. В. Жукова // Микология и фитопатология. – 1974. – Т. 8, вып. 1. – С. 31–37.
2. Видовой состав грибов рода *Fusarium*, вызывающих корневую гниль яровых зерновых культур / Н. А. Крупенько [и др.] // Земледелие и растениеводство. – 2022. – № 2 (141). – С. 40–43.
3. Видовой состав и вредоносность грибов рода *Fusarium*, вызывающих фузариоз

колоса озимой пшеницы и ярового ячменя в условиях Беларуси / С. Ф. Буга [и др.] // Микология и фитопатология. – 2005. – Т. 39, вып. 5. – С. 73–79.

4. Гагкаева Т. Ю. Фузариоз зерновых культур / Т. Ю. Гагкаева, О. П. Гаврилова // Защита и карантин растений. – 2009. – № 12. – С. 13–15.

5. Захаренко, В. А. Фузариоз колоса в Западной Европе / В. А. Захаренко // Защита и карантин растений. – 1997. – № 12. – С. 12–13.

6. Корневая гниль зерновых культур и роль инфицированности семян в ее развитии / А. г. Жуковский [и др.] // Защита растений: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений ; редкол.: Л. И. Трепашко (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 42. – С. 84–95.

7. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сборник отраслевых регламентов // Нац. акад. наук Беларуси, ИПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разраб. Ф. И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В. г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: Бел. Наука, 2012. – 287 с.

8. Роль сорта в формировании видового разнообразия грибов рода *Fusarium* в агроценозах яровых зерновых культур Республики Беларусь / С. Ф. Буга [и др.] // Защита растений: сб. науч. тр. / Белорус. науч.-исслед. ин-т защиты растений ; редкол.: С. В. Сорока (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2000. – Вып. 24. – С. 48–54.

9. Селянинов, Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата / г. Т. Селянинов // Мировой агроклимат. справ. / Агро-гидрометеорол. ин-т ; сост.: Г. Т. Селянинов [и др.]. – Л.-М., 1937. – С. 5–27.

10. Торопова, Е. Ю. Эпифитотология: учебное пособие / Е. Ю. Торопова, г. Я. Стецов, В. А. Чулкина ; ред. : А. А. Жученко, В. А. Чулкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: [б. и.], 2011. – 711 с.

11. Факторы, влияющие на накопление фузариозных микотоксинов в зерне / Н. А. Крупенько [и др.] // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2022. – Т. 60, № 1. – С. 46–58.

12. Фузариоз зерновых культур / Т. Ю. Гагкаева [и др.]. – М., 2011. – 52 с. – (Прилож. к журн. «Защита и карантин растений». – 2011. – № 5).

13. Фузариозные корневые гнили зерновых культур в Западной Сибири и Зауралье / Е. Ю. Торопова [и др.] // Защита и карантин растений. – 2013. – № 9. – С. 23–26.

14. Шипилова, Н. П. Фузариоз колоса и зерна в Северо-Западном регионе России / Н. П. Шипилова, Т. Ю. Гагкаева // Защита растений. – 1992. – № 11. – С. 7–8.

15. Экологические ниши грибов рода *Fusarium* Link. на растениях разных сортов яровой пшеницы в Западной Сибири / Е. Ю. Торопова [и др.] // Агрохимия. – 2021. – № 10. – С. 53–61.

16. Gerlach, W. The genus *Fusarium* – a pictorial atlas / W. Gerlach, H. Nirenberg. – Berlin : Kommissionsverlag Parey, 1982. – 406 p.

17. Shannon, C. E. A mathematical theory of communication / C. E. Shannon // Bell System Technical Journal. – 1948. – Vol. 27, iss. 3. – P. 379–423.

E.I. Zhuk

RUE «Institute of Plant Protection», Priluki, Minsk region

SPECIES COMPOSITION OF FUSARIUM FUNGI ON GRAIN OF SPRING WHEAT IN BELARUS

Annotation. The article provides information about the infection and species composition of *Fusarium* fungi, contaminating grains of spring wheat varieties Darya, Lyubava, Slavyanka, Sudarynia in Belarus. The fungus *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc is among the dominant species of the genus *Fusarium*. There is no clear differentiation in the frequency of occurrence of certain types of *Fusarium* spp. depending on the variety of spring wheat.

Key words: spring wheat, *Fusarium* Link, grain, pathogenic complex, frequency of occurrence, Shannon index.