

УДК 633.11«324»:632.4

С. Ф. БУГА, О. В. АРТЕМОВА, А. Г. ИЛЬЮК

**ОСОБЕННОСТИ ПАТОГЕНЕЗА КОЛОСА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
(*TRITICUM AESTIVUM* Z.) ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ ГРИБАМИ *FUSARIUM* SPP.**

Институт защиты растений НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 10.03.2005)

Введение. Грибы рода *Fusarium* широко распространены в природе и представлены большим количеством видов. Они могут развиваться на различных органических субстратах, в почве, воде и т. д. Биологические особенности грибов данного рода тесно связаны с условиями их обитания. Большинство видов рода *Fusarium* являются возбудителями болезней культурных и дикорастущих растений [1]. В системе гриб — растение-хозяин грибы данного рода могут выступать в качестве патогенов или как полупаразиты, поражающие ослабленные особи [2, 3]. Такие взаимоотношения обусловлены способностью этих грибов продуцировать микотоксины (более 150 соединений) и экзоферменты. Попадание этих веществ в организм человека или животных может привести к поражению кровяных и иммунокомпетентных органов [4—6]. Именно поэтому главная опасность поражения посевов зерновых культур грибами рода *Fusarium* заключается в накоплении микотоксинов в продукции (зерне, соломе).

Ежегодные потери сельскохозяйственных культур, связанные с фузариозами, исчисляются миллиардами долларов [7]. Прямые потери урожая пшеницы от фузариоза колоса составляют 5—30% [8]. Поражение зерновых культур возбудителями фузариоза колоса в значительной степени зависит от экологических условий региона, от их патогенности и видового состава. Лабораторией фитопатологии Института защиты растений НАН Беларуси был установлен видовой состав возбудителей фузариозов зерновых и определено ядро фузариозного комплекса: *F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. poae* [9], являющихся активными продуцентами микотоксинов [10].

Цель данных исследований — изучение развития патогенеза колоса озимой пшеницы, вызываемого фузариозным комплексом.

Объекты и методы исследования. Опыты проводили в лаборатории сельскохозяйственной фитопатологии Института защиты растений НАН Беларуси, на опытном поле в посевах озимой пшеницы (сорт Каравай) в 2002 г.

В качестве объектов исследований нами были избраны 3 вида грибов рода *Fusarium*, составляющие ядро патогенного комплекса: *F. culmorum* (*W. G. Sm.*) *Sack.*, *F. oxysporum* (*Schlecht*) *Snyd. et Hans.*, *F. sporotrichiella* var. *poae* (*Peck.*) *Wr.* (далее в работе данный вид упоминается как *F. poae*). Их изоляцию проводили из семенного материала и генеративных органов (зерна, колосковых чешуек, стержня колоса) озимой пшеницы путем раскладывания на поверхность агаризованной питательной среды (среда Чапека) в чашки Петри. Просмотр чашек осуществлялся на 7-е сутки. Выросшие колонии пересевали для дальнейшего определения видовой принадлежности. Идентификацию видовой принадлежности выросших микромицетов проводили, основываясь на морфологических особенностях их конидиального спороношения. Классификацию видов и разновидностей осуществляли согласно систематике, предложенной В. И. Билай [11].

Инокулюм (для обработки растений) готовился путем смыва 21-дневной маточной культуры гриба (5 изолятов каждого из изучаемых видов). Рабочая суспензия фильтровалась через марлю (4 слоя), определялся титр.

Обработку растений споровой суспензией проводили в стадию полного цветения при помощи ранцевого опрыскивателя (при расходе рабочей жидкости 50 мл/м²). Для создания влажной камеры использовали полиэтиленовые изоляторы, которые оставались на растениях в течение 24 ч после обработки. Учеты распространенности и развития болезни проводили в стадию 71 (формирование зерна) и стадию 91 (полная спелость) по общепринятой 4-балльной шкале (0 — отсутствие поражения, 4 — поражены почти все колосковые че-

шуйки или зерна в колосе). Опытные и контрольные делянки просматривали по диагонали, на каждой делянке учитывали не менее 50 колосьев. После проведения визуального учета рассчитывалась распространенность и развитие болезней.

Перед уборкой урожая вручную срезали выборочно по 100—150 колосьев на каждой делянке. Затем проводили реизоляцию грибов рода *Fusarium* из компонентов колоса и видовую идентификацию выросших микромицетов.

На следующем этапе исследований были проведены микологические анализы генеративных органов растений озимой пшеницы, отобранных с опытных делянок. Анализировали встречаемость грибов изучаемого рода на стержне колоса, зерновках и колосковых чешуйках в зависимости от части колоса (апикальной, средней, базальной) в каждом из опытных вариантов.

Полученные данные подвергали статистической обработке методом корреляционного анализа [12] при помощи ПЭВМ.

Результаты и их обсуждение. При анализе данных по развитию и распространенности фузариоза колоса в опытных вариантах оказалось, что к стадии формирования зерна (ст. 71) распространенность болезни составила 71,5—97,0%, при развитии 40,3—68,5% (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Распространенность и развитие фузариоза колоса озимой пшеницы

Вариант опыта	Титр рабочей суспензии, спор/мл	Фузариоз колоса, %			
		распространенность		развитие	
		ст. 71	ст. 91	ст. 71	ст. 91
Контроль	—	24,0	39,3	6,0	25,8
<i>F. culmorum</i>	7,8·10 ⁵	97,0	100	68,5	97,4
<i>F. oxysporum</i>	11,2·10 ⁵	90,0	100	43,0	83,4
<i>F. poae</i>	9,2·10 ⁵	71,5	100	40,3	86,2
<i>F. culmorum</i> + <i>F. oxysporum</i> + <i>F. poae</i>	9,4·10 ⁵	89,0	100	43,5	86,1

Наибольшее распространение (97,0%) и развитие (68,5%) было отмечено в варианте, где растения обрабатывали суспензией спор *F. culmorum*. Несколько ниже распространенность была в вариантах с применением *F. oxysporum* и смеси спор изолятов изучаемых видов: 90,0 и 89,0% растений соответственно; значения показателей развития болезни в этих вариантах составили 43,0 и 43,5%. Минимальное распространение и развитие фузариоза колоса на данной стадии развития растений было характерно для варианта, где в качестве инфекционного агента использовалась споровая суспензия гриба *F. poae* — 71,5 и 40,3% соответственно. К стадии полной спелости культуры (ст. 91) фузариозом колоса были поражены все растения на опытных делянках, пораженные колосья отмечались также и в контрольном варианте (39,9%) при развитии болезни, равном 25,8%. Развитие болезни во всех опытных вариантах было эпифитотическим и колебалось от 83,4 до 97,4%.

Т а б л и ц а 2. Особенности поражения колоса озимой пшеницы грибами рода *Fusarium*

Вариант (составляющие колоса)	Встречаемость, %			
	стержень колоса	зерновка	колосковые чешуйки	в целом по варианту
Обработка растений споровой суспензией <i>F. culmorum</i>				
Апикальная часть	50,0	57,8	44,1	47,9
Средняя часть	66,7	75,0	61,7	65,3
Базальная часть	81,8	63,1	66,6	68,0
Обработка растений споровой суспензией <i>F. oxysporum</i>				
Апикальная часть	35,7	56,7	46,3	48,0
Средняя часть	42,8	60,6	46,6	50,0
Базальная часть	61,1	60,0	45,7	51,7
Обработка растений споровой суспензией <i>F. poae</i>				
Апикальная часть	18,2	26,3	4,8	12,5
Средняя часть	11,1	17,4	4,9	9,6
Базальная часть	27,3	32,1	13,3	21,4
Обработка растений споровой суспензией изолятов 3 видов				
Апикальная часть	30,8	25,1	17,9	21,5
Средняя часть	66,6	56,7	38,7	48,4
Базальная часть	70,0	48,3	42,2	47,7

Анализ встречаемости фузариев на стержне колоса, зерновках и колосковых чешуйках (табл. 2) показал, что в варианте с обработкой растений суспензией спор *F. culmorum* снижение частоты встречаемости грибов данного рода на компонентах колоса происходило в направлении от основания колоса к его верхушке. Подобная тенденция нехарактерна только для варианта, где в качестве инфекционного агента использовали изоляты *F. roae*. В данном варианте наиболее часто фузарии выделялись из компонентов базальной части, несколько реже — из апикальной, а встречаемость их в средней части колоса в среднем не превышала 9,6% из всех выделенных грибов.

Помимо грибов изучаемого рода из частей колоса во всех вариантах были выделены также *Alternaria spp.*, *Cladosporium spp.* и др.

В варианте с использованием *F. culmorum* грибы данного вида чаще всего изолировались из базальной части стержня колоса (63,6%). Кроме *F. culmorum* из частей колоса растений озимой пшеницы данного варианта были изолированы *F. oxysporum* и *F. roae* (табл. 3). Следует отметить, что последний встречался на всех компонентах колоса только в базальной части, не присутствовал в средней, а в апикальной части был выделен только из колосковых чешуек (1,7%).

Таблица 3. Динамика встречаемости грибов рода *Fusarium* на компонентах колоса озимой пшеницы при инфицировании *F. culmorum*

Вид	Встречаемость, %			
	стержень колоса	зерновка	колосковые чешуйки	в целом по варианту
Апикальная часть				
<i>F. culmorum</i>	16,7	36,8	28,8	28,9
<i>F. oxysporum</i>	33,3	21,0	13,6	17,9
<i>F. roae</i>	0,0	0,0	1,7	1,1
Прочие	50,0	42,1	55,9	52,2
Средняя часть				
<i>F. culmorum</i>	55,6	62,5	53,2	55,6
<i>F. oxysporum</i>	11,1	12,5	8,5	9,7
<i>F. roae</i>	0,0	0,0	0,0	0,0
Прочие	33,3	25,0	38,3	34,7
Базальная часть				
<i>F. culmorum</i>	63,6	50,5	57,1	56,5
<i>F. oxysporum</i>	9,1	6,3	7,1	7,2
<i>F. roae</i>	9,1	6,3	2,4	4,3
Прочие	18,2	37,5	33,3	32,3

Таблица 4. Динамика встречаемости грибов рода *Fusarium* на компонентах колоса озимой пшеницы при инфицировании *F. oxysporum*

Вид	Встречаемость, %			
	стержень колоса	зерновка	колосковые чешуйки	в целом по варианту
Апикальная часть				
<i>F. oxysporum</i>	35,7	48,5	40,0	41,7
<i>F. roae</i>	0,0	9,1	6,3	6,3
Прочие	58,9	42,5	53,7	51,9
Средняя часть				
<i>F. oxysporum</i>	35,7	51,5	40,6	43,1
<i>F. roae</i>	7,1	9,1	5,8	6,9
Прочие	57,1	39,4	53,6	50,0
Базальная часть				
<i>F. oxysporum</i>	38,9	46,7	41,4	42,4
<i>F. roae</i>	22,2	13,3	4,3	9,3
Прочие	38,9	40,0	61,3	48,3

В варианте с обработкой растений споровой суспензией изолятов *F. oxysporum* видовой состав грибов данного рода был представлен видами *F. oxysporum* и *F. poae*; гриб *F. culmorum* обнаружен не был (табл. 4). Несмотря на наименьшие показатели развития болезни, отмеченные для данного варианта (83,4%), оказалось, что средняя инфицированность компонентов всех частей колоса составляла 42,4%, а 7,5% выделенных грибов были идентифицированы как *F. poae*. Это позволяет сделать предварительный вывод о низкой агрессивности изолятов *F. oxysporum* на фоне их способности к быстрой колонизации растения-хозяина.

Результаты видовой идентификации грибных изолятов, выделенных из компонентов колоса в варианте с инокуляцией растений *F. poae*, позволяют судить о высокой скорости колонизации колоса растения-хозяина изолятами данного вида по сравнению с изолятами *F. oxysporum* и *F. culmorum*, так как все выделенные микромицеты рода *Fusarium* были определены как *F. poae* (табл. 5).

О довольно высокой агрессивности изолятов *F. poae* позволяет судить тот факт, что при относительно низкой их встречаемости (4,8–32,1%) уровень развития фузариоза колоса на растениях озимой пшеницы составлял 86,2%.

Данные микологического анализа растительных проб из варианта, где растения обрабатывались смесью суспензий спор изолятов всех трех видов (в соотношении 1:1:1), позволяют считать вид *F. culmorum* наиболее конкурентоспособным, так как большинство грибов, изолированных из этого варианта, принадлежало именно ему. В данном варианте изоляты *F. culmorum* и *F. poae* присутствовали на компонентах всех частей колоса, но *F. poae* встречался

Таблица 5. Динамика встречаемости грибов рода *Fusarium* на компонентах колоса озимой пшеницы при инфицировании *F. poae*

Вид	Встречаемость, %			
	стержень колоса	зерновка	колосковые чешуйки	в целом по варианту
Апикальная часть				
<i>F. poae</i>	18,2	26,3	4,8	12,5
Прочие	81,8	73,7	95,2	87,5
Средняя часть				
<i>F. poae</i>	11,1	17,4	4,9	9,6
Прочие	88,9	82,6	95,1	90,4
Базальная часть				
<i>F. poae</i>	27,3	32,1	13,3	21,4
Прочие	72,7	67,9	86,7	78,6

Таблица 6. Динамика встречаемости грибов рода *Fusarium* на компонентах колоса озимой пшеницы при инфицировании смесью споровых суспензий 3 видов (*F. culmorum* + *F. oxysporum* + *F. poae*)

Вид	Встречаемость, %			
	стержень колоса	зерновка	колосковые чешуйки	в целом по варианту
Апикальная часть				
<i>F. culmorum</i>	7,7	12,5	10,7	10,7
<i>F. oxysporum</i>	7,7	4,2	5,4	5,4
<i>F. poae</i>	15,4	8,4	1,8	5,4
Прочие	69,2	74,9	82,1	78,5
Средняя часть				
<i>F. culmorum</i>	50,0	40,0	32,6	37,4
<i>F. oxysporum</i>	8,3	6,7	0,0	3,3
<i>F. poae</i>	8,3	10,0	6,1	7,7
Прочие	33,4	43,3	61,2	51,6
Базальная часть				
<i>F. culmorum</i>	60,0	41,9	33,3	39,5
<i>F. poae</i>	10,0	6,4	8,9	8,2
Прочие	30,0	51,7	57,8	52,3

в 2—5 раз реже, чем *F. culmorum*. В то время как гриб *F. oxysporum* был выделен только из апикальной и средней частей колоса (5,4 и 3,3% соответственно), в базальной присутствия данного вида не отмечалось (табл. 6).

Далее полученные данные обрабатывались методом корреляционного анализа. При этом рассматривалась взаимообусловленность встречаемости одних и тех же грибов в парах компонентов колоса: колосковые чешуйки — зерновки; зерновки — стержень колоса. Такой анализ не проводился только в варианте с использованием *F. poae*, так как в данном случае это нецелесообразно из-за полной идентичности изолированных грибов. Полученные результаты представлены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7. Взаимообусловленность ® встречаемости одинаковых видов грибов рода *Fusarium* на компонентах колоса озимой пшеницы

Вариант инокуляции растений	Пара признаков	
	колосковые чешуйки — зерновка	стержень колоса — зерновка
<i>F. culmorum</i>	0,664	0,766
<i>F. oxysporum</i>	0,330	0,783
<i>F. culmorum</i> + <i>F. oxysporum</i> + <i>F. poae</i>	0,563	0,691

Оказалось, что взаимообусловленность встречаемости одинаковых видов грибов на колосковых чешуйках и зерновках минимальна в варианте с обработкой растений *F. oxysporum* ($r^2 = 11\%$), в 3 раза выше в варианте с использованием смеси спор изолятов 3 видов ($r^2 = 32\%$) и максимальна ($r^2 = 44\%$) в случае обработки растений споровой суспензией *F. culmorum*. В целом степень связи между рассматриваемыми признаками средняя, так как $0,3 < r < 0,7$. Взаимосвязь между частотой встречаемости одинаковых видов на стержне колоса и зерновках можно охарактеризовать как среднюю только в варианте с инокуляцией растений смесью спор 3 видов. В данном случае коэффициент детерминации равен 48%, в остальных вариантах степень коррелятивной зависимости сильная ($r > 0,7$), при этом значения показателей взаимообусловленности отличаются незначительно и составляют в среднем 60% ($r^2 = 59\%$ — *F. culmorum*; $r^2 = 61\%$ — *F. oxysporum*).

Заключение. При доминировании в патогенном комплексе гриба *F. culmorum* накопителем первичной инфекции будет служить стержень колоса, но и заражение зерновок путем распространения мицелия гриба с колосковых чешуек также может иметь место. При доминировании гриба *F. oxysporum* значение колосковых чешуек в качестве источника инфекции для зерновок незначительно, и основным путем колонизации колоса является распространение мицелия гриба по колосовому стержню. В случае преобладания гриба *F. poae* оба эти пути имеют равное значение. Если же ядро патогенного комплекса представлено несколькими видами, то приоритетным способом поражения зерновок будет тот, который характерен для наиболее конкурентоспособного вида — в данном случае им является *F. culmorum*.

Таким образом, проведенное в 2002 г. искусственное заражение колоса озимой пшеницы возбудителями фузариоза колоса, составляющими ядро патогенного комплекса (*F. culmorum*, *F. oxysporum*, *F. poae*), показало, что при наличии оптимальных условий (высокой концентрации инфекционных частиц, капельно-жидкой влаги и т. д.) в момент инфицирования, грибы изучаемых видов способны привести к эпифитотическому развитию и 100%-ной распространенности болезни.

Микологический анализ компонентов колоса озимой пшеницы показал, что наибольшее количество грибов рода *Fusarium* сосредоточено в его базальной части, меньшее — в средней и минимальное — в апикальной части колоса. Все компоненты колоса, подвергавшиеся анализу, были колонизированы грибами изучаемого рода.

Агрессивность изолятов разных видов различна — наибольшее развитие болезни было отмечено в варианте с применением споровой суспензии *F. culmorum*, наименьшее — *F. oxysporum*. Наиболее быстрая колонизация колоса озимой пшеницы характерна для гриба *F. poae*, но конкурентоспособность его несколько ниже, чем *F. culmorum*, так как при инокуляции растений смесью спор 3 изучаемых видов наибольшее количество реизолированных микромицетов было идентифицировано как *F. culmorum*.

Источником заражения зерновок может служить либо стержень колоса, либо колосковые чешуйки, но приоритет одного из них будет обусловлен видом гриба, доминирующим в патогенном комплексе.

Работа выполнена при поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований (договор № Б 97-026 от 20.02.98 г.).

Литература

1. Горленко М. В. // Микология и фитопатология. 1976. Т. 10, вып. 1. С. 5—10.
2. Степанова М. Ю., Бенкен А. А. Методические указания по диагностике фузариозов зерновых культур. Л., 1968.
3. Беккер З. Э. Эколого-физиологические методы в борьбе с фузариозным вилтом хлопчатника. Ашхабад, 1971.
4. Joffe A. // Eds. T. D. Wyllie, L. G. Morehouse. Handbook of Mycotoxins and Mycotoxicoses. New York, 1978. Vol. 3. P. 21—86.
5. Hoerr R. J., Carlton W. W., Yagan B., Joffe A. Z. // Avian pathology. 1982. N 11. P. 369—383.
6. Golinski P., Kicsana I., Kaszmarek Z. et al. // Phytopathologia Polonica. 2000. P. 97—106.
7. Иващенко В. Г., Шипилова Н. П., Нефедова Л. И. // Микология и фитопатология. 1997. Т. 31, вып. 2. С. 58—63.
8. Пересыпкин В. Ф. Сельскохозяйственная фитопатология. М., 1982.
9. Буга С. Ф., Радына А. А., Ушкевич Л. А. и др. // Интегрированные системы защиты растений. Настоящее и будущее: Матер. междунар. науч. конф., посвященной 90-летию со дня рождения чл.-кор. НАН Беларуси А. Л. Амбросова и 65-летию со дня рождения академика ААН РБ В. Ф. Самерсова. Мн., 2002. С. 95—97.
10. Карджова Л. В. Фузариозы полевых культур. Кишинев, 1989.
11. Билай В. И. Фузариозы. Киев, 1977.
12. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985.

S. F. BUGA, O. V. ARTIOMOVA, A. G. ILIUK

PATHOGENESIS PECULIARITIES OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* Z.) EAR AT INOCULATION OF *FUSARIUM* SPP. FUNGI

Summary

Mycological analysis of winter wheat ear components has been carried out after an artificial contamination of plants by *Fusarium spp.* fungi. It has been stated that the most quantity of these fungi concentrate in basal part of ear, lesser quantity — in a middle part and minimal quantity — in an apical part of ear. An essential difference in the aggressiveness of different species of *Fusarium* genus isolates has been noticed. The most competitive from studies species was *F. culmorum* whereas isolates of *F. oxysporum* were characterized by low aggressiveness at their ability to quick colonization of a host-plant. The highest speed of colonization is characteristic for *F. poae* isolates. The sources of winter wheat caryopses contamination by a fungus of *Fusarium* species have been determined.