

## Методические аспекты оценки устойчивости пшеницы к фузариозу колоса в селекционном процессе

Ю.К. Шашко, кандидат с.-х. наук, Г.В. Будевич, кандидат биологических наук,  
М.В. Кадырова, М.Н. Шашко  
Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию

(Дата поступления статьи в редакцию 06.06.2016 г.)

Приведены методики создания искусственного инфекционного фона для оценки селекционного материала пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса, а также проведения учетов распространённости и развития «фузариоз колоса» и «фузариоз зерна» и необходимости обязательного проведения фитоэкспертизы семян изучаемых образцов.

Грибы рода *Fusarium* вызывают болезни всех частей растений злаковых культур: корневой и прикорневой, листовой поверхности, колоса (метелки или початка), зерна. Потери от фузариозной инфекции связаны как с прямой гибелью или повреждением растений, так и косвенно – за счет накопления в продукции растениеводства опасных микотоксинов, делающих непригодной ее в пищу и на корм скоту. В связи с некоторым изменением климата, сложностью защиты с помощью фунгицидов, а также с преобладанием в севооборотах злаковых культур, проблема фузариозов не только остается острой, но и усугубляется с каждым годом. Наиболее экономически и экологически выгодным методом борьбы с болезнями растений является создание устойчивых сортов. В Беларуси с середины прошлого столетия проводился очень эффективный селекционный процесс, в результате которого были получены высокоустойчивые сорта озимых зерновых культур к снежной плесени, озимых и яровых – к фузариозным корневым гнилям [15, 16]. Вместе с тем целенаправленных отборов по устойчивости к фузариозу колоса и зерна не проводилось.

Встает вопрос: являются ли синонимами понятия «фузариоз колоса» и «фузариоз зерна», насколько сильно связаны между собой звенья следующей цепи: фузариоз колоса → фузариоз зерна → накопление в зерне микотоксинов и снижение посевных характеристик, или, иными словами, какие главные диагностические признаки при оценке вредоносности данной болезни или устойчивости того или иного генотипа?

Аблова И.Б. приводит данные о высокой положительной корреляции между фузариозом колоса и фузариозом зерна ( $r = 0,6-0,83$ , в зависимости от года исследований) и между фузариозом зерна и накоплением дезоксиниваленола (ДОН), основного микотоксина ( $r = 0,81-0,83$ ) при искусственной инокуляции пшеницы грибом *F. graminearum* [1]. В литературе часто упоминается о положительной линейной связи между фузариозом колоса и накоплением ДОН в зерне [2, 3], однако степень этой связи определяется многими факторами – погодными условиями, устойчивостью сортов и т. д. [4]. С.М. Тупеневич писал в Трудах Воронежской станции защиты растений: «Пораженные колоски обычно содержат зараженное зерно. Однако постоянной связи здесь нет. При различных условиях одному и тому же числу пораженных колосков может отвечать различное число зараженных зерен в колосе» [цит. по 5]. Кроме того, явные, хорошо диагностируемые признаки фузариоза колоса вызывают только несколько видов фузариов: *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* и достаточно редкий в Беларуси *F. heterosporum*. Остальные виды при заражении вызывают скрытую форму фуариоза, т. е. внешних признаков проявления инфекции нет, а пора-

*Techniques of the creation of an artificial infectious background for the evaluation of wheat breeding material for resistance to Fusarium head blight as well as for monitoring of prevalence and development of the infection are presented. The distinction between the concepts of "Fusarium head blight" and "Fusarium grain blight" is made. The need for compulsory expert evaluation of the studied seed samples is shown.*

женное зерно будет. В условиях вегетационного периода 2015 г., когда наблюдался дефицит осадков в период цветения озимой пшеницы, нам не удалось получить явных признаков фузариоза колоса даже при искусственном заражении, в то же время до 40 % зерна было поражено.

Поскольку зерно является основной продукцией при возделывании злаковых культур, а также в результате наличия более тесной связи заражения зерна с накоплением микотоксинов, в настоящее время ряд авторов пришли к выводу, что в первую очередь необходимо учитывать фузариоз зерна и только в качестве дополнительного показателя фузариоз колоса [5, 9].

Устойчивость к фузариозу носит не видоспецифический характер [8, 10], поэтому сорт, устойчивый к определенному виду грибов рода *Fusarium*, будет устойчивым к любому другому виду данного рода. Следовательно, при искусственном заражении удобнее всего использовать фузарию, которые вызывают явную форму фузариоза колоса. Как уже отмечалось выше, к ним относятся 4 вида: *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* и *F. heterosporum*. Первые три встречаются значительно чаще, а *F. avenaceum* не образует ДОН, поэтому большинство исследователей использует в качестве модельных видов *F. graminearum* и *F. culmorum*. По нашему мнению, лучше использовать *F. culmorum*, поскольку данный вид значительно лучше спороносит на искусственных питательных средах и при размножении инокулюма. Внешний вид макроконидий *F. culmorum* (это основной диагностический признак) приведен на рисунке 1.

Для искусственного заражения растений готовится спорная суспензия с концентрацией  $10^6$  конидий/мл. Увеличение концентрации инфекционной жидкости нецелесообразно, поскольку приводит к самоугнетению патогена [1]. Заражение проводится ручным или ранцевым опрыскивателем из расчета 10 мл жидкости на 1 м<sup>2</sup>.

Поскольку фузариоз является цветковой инфекцией, то искусственное заражение необходимо проводить, когда наблюдается цветение 75 % колосков в колосе. В селекционных исследованиях это представляет некоторую трудность, поскольку разные сортообразцы цветут в разное время и необходимо постоянно отслеживать дату начала цветения каждого конкретного образца. Поэтому удобно предварительно формировать коллекцию по блокам скороспелости, т. е. растения в каждом блоке будут цвести приблизительно в одно время. Для исключения повторного заражения при опрыскивании каждого сортообразца мы используем непроницаемые щиты для защиты соседних. Заражение проводится в вечернее время и безветренную погоду под выпавшую росу или после дождя. Учеты проводим несколько раз, но максимальное проявление болезни, как правило, возникает через три недели

после инокуляции. В дальнейшем, по мере созревания растений, признаки инфекции становятся менее заметными.

Разные авторы приводят различные механизмы или типы устойчивости пшеницы к фузариозу колоса, но все приходят к одному выводу: этих механизмов несколько и они контролируются большим количеством мелких генов QTL.

Snijers в результате проведения диаллельного анализа выделил 3 типа устойчивости к фузариозу колоса озимой пшеницы, вызванного *F. culmorum* [6]:

1 тип – устойчивость к проникновению (penetration). Растения устойчивы к начальному проникновению, патоген не может проникнуть в ткани растения-хозяина;

2 тип – устойчивость к инвазии или вторжению (invasion). Патоген может проникнуть в ткани, но не может попасть в клетки растения-хозяина;

3 тип устойчивости – биохимический. Некоторые генотипы могут разрушать микотоксины (в первую очередь ДОН).

Позже A. Mesterhazy описал пять типов устойчивости к фузариозу колоса [7]:

1 тип – устойчивость к проникновению патогена;

2 тип – устойчивость к распространению патогена по колосу;

3 тип – устойчивость к заражению зерен в колосе;

4 тип – толерантность к инфекции;

5 тип – устойчивость к накоплению микотоксинов (ДОН).

То есть устойчивость к фузариозу колоса и фузариозу зерна имеет разные механизмы и контролируется разным набором генов.

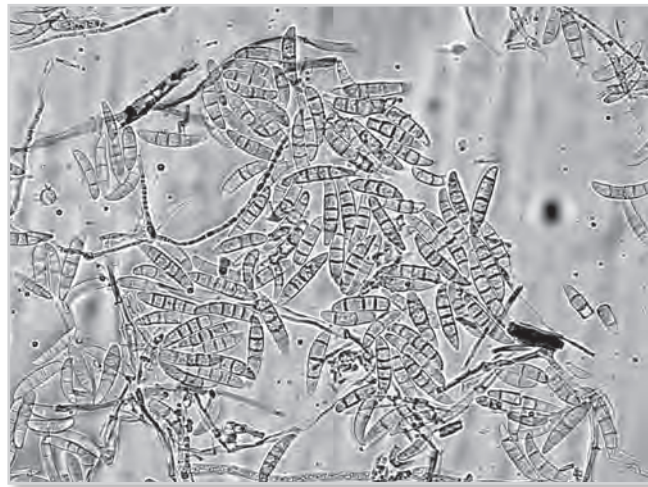
Любой фитопатологический процесс описывается двумя количественными показателями – степень поражения и распространенность болезни.

В селекционных учреждениях бывшего Советского Союза и Беларуси для оценки степени поражения фузариозом колоса использовалась 9-балльная шкала [11], в Международном центре улучшения кукурузы и пшеницы — CIMMYT используется 6-балльная шкала [12]. Из приведенной таблицы 1 мы видим, что в шкале CIMMYT введено понятие «иммунность» и критерии определения устойчивости более жесткие.

Также существует 6-балльная шкала CIMMYT для учета распространенности фузариоза колоса (таблица 2).

При инокуляции инфекцией в условиях теплицы проявление фузариоза колоса происходит менее интенсивно, поэтому градация сортов по устойчивости несколько отличается от полевой оценки.

Для определения степени поражения и распространности фузариоза колоса в полевых условиях при проведении опытов по изучению биологической эффективности фунгицидов рекомендуется производить отбор проб в количестве 25 колосьев с каждой опытной делянки [13]. Однако в ходе оценки большого количества исходного и селекционного материала практически невозможно отобрать пробы и их проанализировать в заданный период времени. Поэтому на искусственных инфекционных фонах и селекционных питомниках мы используем комплексную оценку каждого образца, взяв за основу инвертированную международную 9-балльную шкалу, принятую в странах СЭВ [11] (рисунок 2), цель которой не точное количественное описание развития и распространенности инфекции, а ранжирование образцов по устойчивости. В дальнейшем, когда в ходе селекционного процесса количество устойчивых образцов остается небольшим, необходимо точное описание количества пораженных фузариозом колосьев и степени поражения каждого выделившегося источника устойчивости.



**Рисунок 1 – Макроконидии *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc. (X 400)**

**Таблица 1 – Шкалы оценки устойчивости пшеницы при учетах степени поражения фузариозом колоса**

Балл	Симптомы болезни, % пораженной поверхности колоса	Уровень устойчивости	Балл	Симптомы болезни, количество пораженных колосков в колосе	Уровень устойчивости
<b>Шкала СЭВ</b>			<b>Шкала CIMMYT</b>		
9	0	очень высокая устойчивость	0	0	иммунность
8	5	высокая устойчивость	1	1	очень высокая устойчивость
7	10	устойчивость	2	1–2	устойчивость
6	15		3	2–4	средняя устойчивость
5	25	слабая восприимчивость	4	5–6	средняя восприимчивость
4	40	восприимчивость	5	>7	восприимчивость
3	65		6	весь колос	высокая восприимчивость
2	90	высокая восприимчивость			
1	100	очень высокая восприимчивость			

Таблица 2 – Шкала оценки устойчивости пшеницы при учетах распространенности фузариоза колоса [12]

Балл	Уровень устойчивости	Распространенность, % пораженных колосьев	
		полевые условия	условия теплицы
0	иммунность	0	0
1	устойчивость	1–5	1–8
2	средняя устойчивость	6–25	9–11
3	средняя восприимчивость	26–50	12–20
4	восприимчивость	51–75	21–50
5	высокая восприимчивость	>75	>50

Таблица 3 – Корреляционный анализ показателей поражения фузариозом колоса и зерна яровой пшеницы при искусственном заражении *Fusarium culmorum*

Показатель	Степень поражения фузариозом колоса, балл	Распространенность фузариоза колоса, %	Фузариоз зерна, % пораженных зерновок
Степень поражения фузариозом колоса, балл	1,00		
Распространенность фузариоза колоса, %	0,86; 0,62*	1,00	
Фузариоз зерна, % пораженных зерновок	0,49; 0,52	0,49; 0,46	1,00

Примечание – \*Коэффициент корреляции г: первая цифра – 2014 г., вторая – 2015 г.

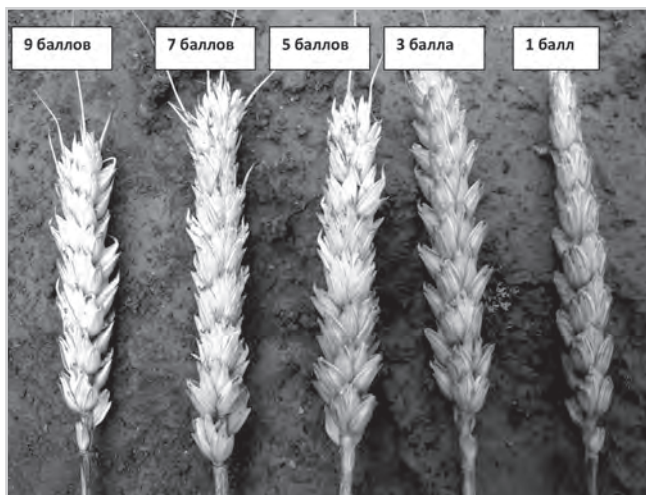


Рисунок 2 – Проявление фузариоза колоса на яровой пшенице (1 балл – очень высокая устойчивость, 9 баллов – очень высокая восприимчивость)

В ходе изучения в 2014–2015 гг. коллекции сортообразцов (более 160 шт.) яровой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса мы обнаружили высокую степень корреляции (0,62–0,86) между степенью поражения фузариозом колоса и его распространенностью (таблица 3).

Связь между внешним проявлением фузариоза колоса и фузариозом зерна слабее, что подтверждает, во-первых, тот факт, что устойчивость к фузариозу колоса и фузариозу зерна контролируется разными наборами генов, и, во-вторых, говорит о необходимости проведения фитоэкспертизы зерна для выявления семенной инфекции.

При проведении фитоэкспертизы семян мы руководствуемся методикой ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями» [14]. Согласно данному ГОСТ анализ зараженности семян можно проводить во влажной камере в чашках Петри и в рулонах фильтровальной бумаги. Мы остановились на рулонном методе, поскольку в чашках Петри на момент учетов зараженности корни отдельных проростков переплетаются, что в случае наличия агрессивных штаммов *Fusarium* приводит к дополнительному перезаражению и искажает результаты.

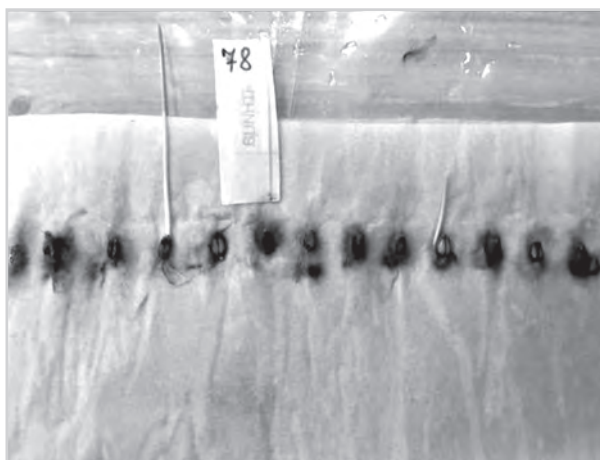


Рисунок 3 – Проявление фузариоза зерна (слева – высоковосприимчивый образец яровой пшеницы, справа – устойчивый)



При проведении фитоэкспертизы рулонным способом мы анализируем 2 пробы по 50 семян, что связано с ограниченным количеством семян селекционных образцов. Размер полосок фильтровальной бумаги – 80×20 см. Семена раскладывают в одну линию с интервалом 1,5 см (главное условие, чтобы семена не соприкасались) и на расстоянии 2–3 см от верхнего и боковых краев бумаги, зародышами вниз. Разложенные на бумаге семена накрываем такой же полоской увлажненной фильтровальной бумаги шириной 1,5 см, поверх которой накладываем полоску полиэтилена, и сворачиваем в рулон. Рулоны ставим вертикально в сосуды с кипяченой охлажденной водой и помещаем в термостат с температурой 22–25 °С. При проращивании нельзя допустить подсыхания рулонов. Просмотр семян проводим на 7 сутки, при этом, в случае необходимости, рулоны можно заново свернуть и провести учеты на 10 или 14 сутки (рисунок 3).

Следует отметить, что при проведении опытов по изучению эффективности фунгицидов против фузариоза колоса существуют незначительно отличающиеся шкалы учетов и методики проведения фитоэкспертизы [13].

В результате полевой оценки мы можем проанализировать три первых типа устойчивости к фузариозу колоса по А. Mesterhazy [7]. Четвертый тип – толерантность к инфекции – мы не рассматриваем, поскольку толерантность подразумевает, что растение-хозяин поражается, но не снижает урожай, а в случае с фузариозом колоса и зерна наличие патогена обуславливает загрязнение продукции микотоксинами. Поэтому селекционный процесс на толерантность пшеницы к фузариозу колоса мы считаем перспективным.

Несомненно, необходимо изучать и 5 тип – устойчивость к накоплению микотоксинов, однако это требует проведения большого количества дорогостоящих анализов и наличие шлейфа соответствующего оборудования. Поэтому данные исследования запланированы нами на ближайшее будущее.

Таким образом, можно сделать вывод, что для полноценной и достоверной оценки фузариозов необходимо проводить учеты поражения как колоса, так и зерна. Это необходимо учитывать и в селекционных программах, и в опытах по изучению эффективности фунгицидов.

**Литература**

1. Аблова, И.Б. Принципы и методы создания сортов пшеницы, устойчивых к болезням (на примере фузариоза колоса) и их роль в становлении агроэкосистем: автореф. дисс. ... докт. биол. наук / И.Б. Аблова. – Краснодар, 2008. – 49 с.
2. The effect of inoculation treatment and long-term application of moisture on Fusarium head blight symptoms and deoxynivalenol contamination in wheat grains / M. Lemmens [et al.] // Eur. J. Plant Pathol. – 2004. – 110:299–308.
3. Relationships between incidence and severity of Fusarium head blight on winter wheat in Ohio / P.A. Paul [et al.] // Phytopathology. – 2005. – 95:1049–1060.
4. Nopsa, J.F.H. Fusarium head blight: winter wheat cultivar responses and characterization of pathogen isolates University of Nebraska-Lincoln <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1021&context=agronhortdiss>. – Дата доступа 23.12.2015.
5. Фузариоз зерновых культур / Т.Ю. Гагкаева [и др.] // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». – 2011. – № 5. – 59 с.
6. Snidjers, C.H.A. Diallel analysis of resistance to head blight caused by Fusarium culmorum in winter wheat / C.H.A. Snidjers // Eufytica. – 1990. – 50:1–9.
7. Mesterházy, A. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of Fusarium graminearum and F. culmorum and in resistance to Fusarium head blight / A. Mesterházy // European Journal of Plant Pathology. – 2002. – 108:675–684.
8. Balkandzhieva, Yu. Genetic sources of resistance to Fusarium on the ear / Yu. Balkandzhieva, Y. Karadzova // Plant sci. – Sofia, 1994. – V. 31. – № 7–10. – P. 79–82.
9. Breeding for FHB resistance via Fusarium damaged kernels and deoxynivalenol accumulation as well as inoculation methods in winter wheat / A. Mesterhazy [et al.] // Agricultural Sciences. – 2015. – Vol. 6. – №9.
10. Mesterházy, A. Methodology of Resistance Testing and Breeding against Fusarium Head Blight in Wheat and Results of Selection / A. Mesterházy // Cereal Research Communications. – 1997. – 25, 631–637.
11. Методы селекции и оценки устойчивости пшеницы и ячменя к болезням в странах-членах СЭВ. – Прага, 1988. – 322 с.
12. CIMMYT report on wheat improvement 1985–86. – Mexico. DF, 1988. – 352 p.
13. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, Институт защиты растений; ред. С.Ф. Буга; рец.: В.Л. Налобова, В.А. Тимофеева. – Минск, 2007. – 508 с.
14. ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск.
15. Будевич, Г.В. Достижения и проблемы селекции растений на устойчивость к болезням / Г.В. Будевич // Матер. научн.-практ. конф. посвященной 30-летию БелНИИЗР. – Минск: Белбизнеспресс, 2001. – С. 172–174.
16. Будевич, Г.В. Селекция озимой пшеницы на устойчивость к болезням в Белоруссии / Г.В. Будевич // Первая Всероссийская конференция по иммунитету растений к болезням и вредителям: посвящается 300-летию Санкт-Петербурга. – С-Пб, 2002. – С. 171–172.

УДК 635.21:632.4]:632.931:631.8

**Фитосанитарная ценность обогащения картофеля органоминеральным удобрением**

*М.И. Жукова, кандидат с.-х. наук  
Институт защиты растений*

(Дата поступления статьи в редакцию 15.01.2016 г.)

*Рассматриваются фитосанитарные последствия обогащения картофеля органоминеральным удобрением на примере Райката Старт при индивидуальном его применении и совместно с химическими средствами защиты растений для обработки клубней при посадке.*

*Показано, что под влиянием органоминерального удобрения возможна коррекция патологического состояния клубней в урожае по обыкновенной парше (Streptomyces spp.) и ризоктониозу (Rhizoctonia solani Kühn.).*

**Введение**

На жизненные процессы картофеля, характеризующегося вегетативным способом размножения, оказывает влияние многообразие условий, изменяющихся как в

*The phytosanitary after-effects of potato enrichment by organ mineral fertilizer based on Ruycota Start by its individual application and in combination with chemical plant protection products for potato tubers treatment at planting is shown.*

*It is stated that by organ mineral fertilizer influence a correction of phytosanitary state of tubers to common scab (Streptomyces spp.) and black scurf of potatoes (Rhizoctonia solani Kühn.) in the yield is possible.*

онтогенезе растений, так и по вегетационным периодам. Из целого их комплекса на реализацию продуктивного потенциала возделываемого сорта следует выделить воздействие почвенно-климатических и погодных условий