

ISSN 1817-7204(Print)

ISSN 1817-7239(Online)

УДК 633.11:632.488.02(476)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-55-67>

Поступила в редакцию 04.09.2019

Received 04.09.2019

Ю. К. Шашко, Е. Л. Долгова, М. Н. Шашко*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию,
Жодино, Минская область, Беларусь***ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ ПОТЕРИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВРЕДНОСТЬ ГРИБОВ
р. *FUSARIUM* – ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ФУЗАРИОЗА КОЛОСА И ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ**

Аннотация: Грибы р. *Fusarium* являются одними из наиболее вредных возбудителей болезней пшеницы. Их вредность обусловлена как прямыми потерями за счет снижения урожая, так и косвенными – в результате заражения полученной продукции микотоксинами и снижением технологических, хлебопекарных и посевных характеристик зерна. В связи с высокими потенциальными потерями исследования количественных параметров вредности возбудителей фузариоза колоса и зерна являются актуальными. В статье представлены данные, показывающие вредность фузариоза колоса и зерна пшеницы. Приведены причины прямых и косвенных потерь при поражении колоса пшеницы грибами из р. *Fusarium*. Показаны прямые потери урожайности культуры в естественных условиях Минской области и при эпифитотийном развитии болезни при искусственном заражении, которые могут достигать 50 % и более. Проанализировано влияние фузариев на хлебопекарные свойства пшеницы. Установлено, что поражение зерна вызывает снижение массы 1000 зерен и выход муки при использовании его в мукомольной промышленности, а также ухудшение ее качества за счет снижения содержания белка и сырой клейковины. Определено влияние патогенов на посевные характеристики зерна. Сделан вывод, что для использования в качестве семян по показателю лабораторной всхожести могут быть допущены партии зерна, инфицированные фузариозом только до 15 %. Полученные данные позволят адаптировать защитные мероприятия против фузариоза колоса и зерна и снизить его негативное влияние на урожайность и качество получаемой продукции. **Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта 6.74 «Выявление источников устойчивости и толерантности к фузариозу колоса и зерна пшеницы» государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства» на 2016–2020 годы, подпрограмма «Земледелие и селекция».

Ключевые слова: пшеница, фузариоз колоса и зерна, вредность, урожайность, потери, энзимо-микозное истечение зерна, хлебопекарные качества, масса 1000 зерен, белок, клейковина, лабораторная всхожесть

Для цитирования: Шашко, Ю. К. Прямые и косвенные потери, определяющие вредность грибов р. *Fusarium* – возбудителей фузариоза колоса и зерна пшеницы / Ю. К. Шашко, Е. Л. Долгова, М. Н. Шашко // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2020. – Т. 58, № 1. – С. 55–67. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-55-67>

Yuriy K. Shashko, Alena L. Dolgova, Maryna N. Shashko*The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming,
Zhodino, Minsk Region, Belarus***DIRECT AND INDIRECT LOSSES DETERMINING THE HARMFULNESS OF MUSHROOMS
р. *FUSARIUM* – FUSARIOSIS CAUSES WHEAT SPEAK AND GRAIN**

Abstract: Fungi р. *Fusarium* is one of the most harmful pathogens of wheat diseases. Their harmfulness is caused both by direct losses due to decrease in yield, and indirect - as a result of infection of the obtained products with mycotoxins and decrease in process, baking and sowing parameters of grain. Due to high potential losses, analysis of quantitative parameters of harmfulness of fusarium pathogens of spike and grain is relevant. The paper presents data showing the harmfulness of Fusarium of spike and wheat grain. The causes of direct and indirect losses in case of damage to wheat spike by fungi of р. *Fusarium*. Direct losses of crop yield are shown in the natural conditions of Minsk region and with the epiphytotic development of the disease in case of artificial infection, which can reach over 50 %. The effect of Fusaria on baking properties of wheat is analyzed. It was determined that grain damage causes decrease in weight of 1000 grains and the flour yield when it is used in the milling industry, as well as deterioration in its quality due to decrease in protein and crude gluten level. The effect of pathogens on sowing parameters of grain is determined. It is concluded that for use as seeds in terms of laboratory germination capacity, batches of grain infected with Fusarium only up to 15 % can be accepted. The data obtained will allow us to adapt protective measures against Fusarium of spike and grain and reduce its negative impact on crop yield and quality of the products obtained. **Acknowledgments.** The research was carried out as part of the project 6.74 “Identification of sources of resistance and tolerance to spike and wheat grain Fusarium” of the State Research Program “Quality and Efficiency of Agroindustrial Production for 2016-2020”, subprogram “Agriculture and Breeding”.

Keywords: wheat, spike and grain *Fusarium*, harmfulness, crop yield, losses, enzyme-mycotic expiration of grain, baking qualities, weight of thousand of grains, protein, gluten, laboratory germination

For citation: Shashko Yu. K., Dolgova A. L., Shashko M. N. Direct and indirect losses determining the harmfulness of mushrooms p. *Fusarium* – fusariosis causes wheat speak and grain. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2020, vol. 58, no. 1, pp. 55–67 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2020-58-1-55-67>

Введение. Международный центр по улучшению кукурузы и пшеницы (CIMMYT) назвал фузариоз колоса одной из самых серьезных угроз для производства зерна пшеницы во всем мире [1]. Ученые Канзасского государственного университета, проанализировав результаты производства зерна пшеницы с применением средств защиты от грибных болезней в штате Канзас более чем за 20 лет, определили фузариозные болезни на третье место по вредоносности (0,29 % среднего за анализируемые годы валового сбора) после ржавчин (4,33 %) и комплекса листовых пятнистостей (0,84 %) [2, 3].

По целевому назначению посе́вы пшеницы различаются на семеноводческие (получение семян) и посе́вы для производства пищевого или фуражного зерна. Произведенная продукция имеет разную цену. На начало 2019 г. цена суперэлиты в Республике Беларусь составляла 9400 руб., семян третьей репродукции – 3360 руб., продовольственного зерна 350–440 руб., фуражного – 280–300 руб. Поэтому экономический ущерб от грибов р. *Fusarium*, вызывающих фузариоз колоса пшеницы, самый высокий на семеноводческих посевах и менее значимый при производстве продовольственного и фуражного зерна.

Потери, связанные с поражением фузариозом колоса, можно разделить на прямые и косвенные (рис. 1).

Прямые потери – это снижение урожайности под воздействием патогена за счет уменьшения количественных показателей двух элементов триады: количества зерен в колосе и массы 1000 зерен в колосе. В пораженном колосе происходит закупорка мицелием гриба проводящих сосудов, что приводит к полному отмиранию (абортивности) оплодотворенных семязпочек или к снижению ростовых процессов зерновки.

Снижение массы зерновки происходит также и при энзимо-микозном истекании семян (ЭМИС), но не за счет снижения синтеза, а в результате преобладания гидролитических процессов над синтетическими.

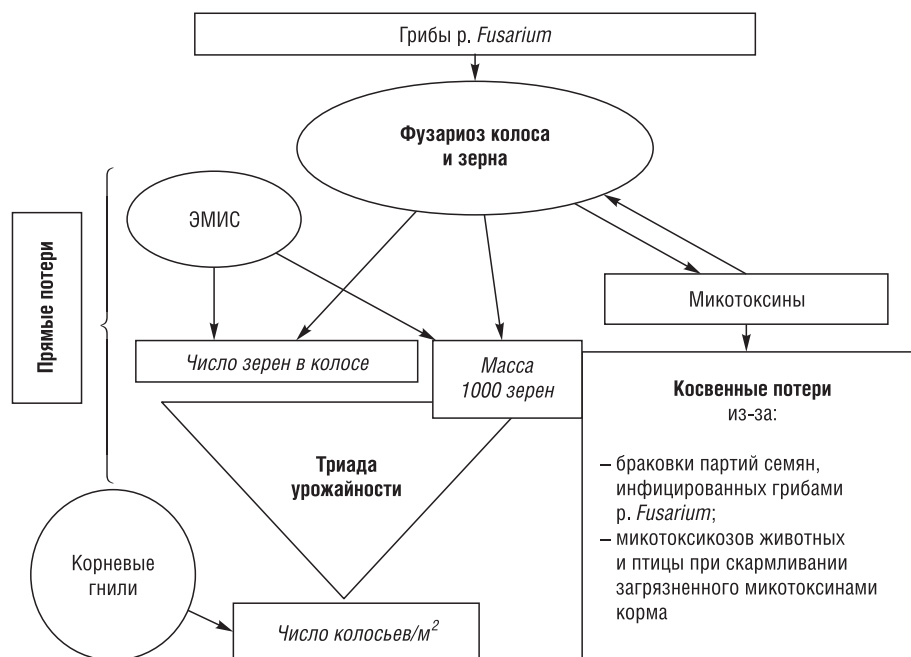


Рис. 1. Схема прямых и косвенных потерь при возделывании зерновых культур, вызываемых фузариозом колоса

Fig. 1. Layout of direct and indirect losses during cultivation of cereal crops caused by spike *Fusarium*

На третий элемент триады урожайности – число колосьев на единице площади посева – при посеве семенами, полученными из пораженных фузариозом колосьев, оказывают отрицательное влияние корневые и прикорневые гнили за счет снижения полевой всхожести и частичной гибели входов. По данным зарубежных исследователей, прямые потери по данной причине могут достигать 50–60 % урожайности [4, 5].

Цель настоящей работы – определение количественных пределов прямых и косвенных потерь, вызываемых фузариозом зерна и колоса в условиях Беларуси.

Материалы и методы исследования. С целью изучения влияния инокуляции доминирующими в естественной среде патогенами, вызывающими фузариоз колоса, на формирование количества зерен, массы зерновки и массы зерна с колоса проведен цикл опытов на озимой пшенице в условиях фитотронно-тепличного комплекса Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию (Жодино, Беларусь).

Схема опыта: контрольный вариант – растения, выращиваемые в вегетационных сосудах, обрабатывались на ст. 61–65 (фаза цветения) ВВСН дистиллированной водой; опытные варианты – растения обрабатывались суспензией конидиоспор в концентрации 1×10^5 спор/мл одного из наиболее часто встречаемых патогенов: *F. culmorum*, *F. avenaceum* и *F. poae*.

Fusarium culmorum отобран как входящий в доминантный комплекс в начале периода потепления климата, вызывающий явные (типичные) симптомы поражения колоса.

F. avenaceum – второй по распространенности вид фузариев на зерновых, также вызывающий явные симптомы поражения колоса.

F. poae – вид, который стремительно расширяет ареал обитания, может вызывать явный фузариоз, но чаще всего развивающийся в скрытой форме без явных признаков фузариоза колоса.

Опыт проводили в условиях теплицы с применением искусственной инокуляции растений чистыми культурами патогенов. После инокуляции растения накрывали целлофановыми пакетами на 24 ч для создания оптимальных условий для заражения.

Количество растений в сосуде выравнивалось перед постановкой на яровизацию, которую растения озимых культур проходили в течение 50 сут в специальном термостатируемом помещении при низкой (2–3 °С) положительной температуре. После этого сосуды доставлялись в отдельные изолированные боксы в фитотронно-тепличном комплексе, где проводилась инокуляция и дорастивание растений до полной спелости зерна. Учеты делали в фазу ранней восковой спелости (ст. 81). Учитывали развитие болезни, количество зерен в колосе, массу зерна с колоса. Повторность каждого опыта – двукратная.

Достоверность различий показателей опытных и контрольных вариантов оценивали по доверительному интервалу (ДИ). Разницу признавали достоверной, когда максимальное значение границы доверительного интервала (ГДИ) показателя в опытном варианте была ниже минимального значения этого же показателя в контрольном варианте.

Озимая пшеница сорта Капылянка к фузариозу колоса неустойчива. Типичные признаки поражения колоса получены только при инокуляции растений суспензией конидиоспор *F. culmorum*. В опытных вариантах с применением суспензий *F. avenaceum* и *F. poae* внешние признаки фузариоза колоса не наблюдались.

Опыты по определению влияния фузариоза зерна на хлебопекарные качества проводили в 2018 г. Вязкость теста определяли с помощью амилографа Брабендера или по числу падения на приборе Хагберга-Пертена [6]. На амилографе происходит регулярное определение вязкости водно-мучной суспензии при постоянно повышающейся температуре. Низкая максимальная вязкость свидетельствует о высокой амилитической активности амилазы (в первую очередь α -амилазы как более термостойкой) и слабом поглощении воды крахмалом в процессе клейстеризации. Такая мука не пригодна для выпечки определенных видов хлебобулочных и кондитерских изделий.

Зерно с явными признаками поражения фузариями было получено на искусственном инфекционном фоне в 2018 г. Заражение колосьев яровой пшеницы сорта Любава проводили в фазу начала цветения (ст. 61 ВВСН) путем опрыскивания их споровой суспензией *F. culmorum* в концентрации $1 \cdot 10^5$ шт/мл.



Рис. 2. Вид здорового (а) и пораженного (b) фузариозом зерна пшеницы сорта Любава (искусственное заражение), лаборатория иммунитета, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию, 2018 г.

Fig. 2. View of healthy Lyubava variety wheat grain (a) and affected (b) by *Fusarium* disease (artificial infection), immunity laboratory, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, 2018

ных данных сделан расчет связи между инфицированностью зерна и полученной урожайностью (на примере Минской области).

В год формирования зерна поражение фузариозом колоса, а потом и зерна, приводило к статистически достоверному снижению урожайности. Связь урожайности с инфицированностью фузариозом зерна за 2009–2017 гг. была отрицательной и статистически достоверной ($r = -0,68 \pm 0,277$, $R^2 = 0,463$) (рис. 3). Математически регрессия урожайности озимой пшеницы описывается следующим уравнением:

$$Y = -0,2526x + 45,12,$$

где Y – урожайность озимой пшеницы, ц/га; x – инфицированность зерна фузариозом, %.

¹ Пшеница. Требования при заготовках и поставках : СТБ 9353–90. Взамен ГОСТ 9353–85 ; введ. 01.07.91. М. : Изд-во стандартов, 1990. 14 с.

После уборки зерно высушивали до 14%-ной влажности и хранили в бумажных пакетах при комнатной температуре. Перед проведением экспериментов зерно вручную по визуальным признакам отсортировывалось на здоровое и больное (рис. 2), после этого подготавливались небольшие партии зерна с необходимым соотношением фракций.

Содержание белка и клейковины определяли на инфракрасном анализаторе NIRSS 5000. Зерно размалывали на лабораторной автоматической мельнице Laboratory mill 3100, с выходом муки 68–70 %.

Параметры амилолитической активности регистрировали на амилографе Брабендера. Для этого использовали 90 г муки и 450 мл воды, скорость нагрева – 1,5 град/мин. Амилограммы получали в программной среде Brabender® Amilograf (1)/version 2.4.6. Учитывали показатели температуры начала клейстеризации и максимальной клейстеризации, а также высоты амилограммы.

Качество зерна пшеницы регламентируется ГОСТ 9353–90 «Пшеница. Требования при заготовках и поставках»¹. Согласно данному стандарту, содержание фузариозных зерен мягкой и твердой пшеницы всех классов не должно превышать 1 %.

Для проведения модельного опыта по изучению влияния фузариев на содержание белка и клейковины в зерне яровой пшеницы были подготовлены пробы зерна с различным соотношением здоровое/поврежденное фузариозом, шаг 10 %.

Зерно пшеницы используется на семена либо, после размола, для хлебопечения, изготовления макаронных, а также кондитерских изделий, и в зависимости от направления использования к нему предъявляются соответствующие требования [7].

Основная часть

Прямые потери урожая зерновых культур в зависимости от вида грибов р. *Fusarium*. Проведение фитоэкспертизы семян озимой пшеницы, получаемых из различных хозяйств республики, позволило с определенной долей допущения характеризовать по данному признаку генеральную выборку пшеницы. На основании получен-

Следовательно, в реальных условиях 2009–2017 гг. увеличение фузариозной инфицированности урожая озимой пшеницы на 10 % приводило к снижению на 2,53 ц/га зерна, что равноценно недобору 2530 руб/га на посеве суперэлиты, 141 руб/га – на посеве элиты, 101 руб/га – при получении продовольственного зерна.

В условиях искусственного климата ФТК под воздействием инокуляции суспензией конидиоспор гриба *F. culmorum* произошло достоверное снижение количества зерен в колосе – на 46,4 %, массы 1000 зерен – на 46,0 % и массы зерна с колоса озимой пшеницы – на 68,7 % (табл. 1).

Инокуляция суспензией конидиоспор грибов *F. avenaceum* и *F. poae* достоверного влияния на число зерен в колосе озимой пшеницы, массу 1000 зерен и массу зерна с колоса не оказала.

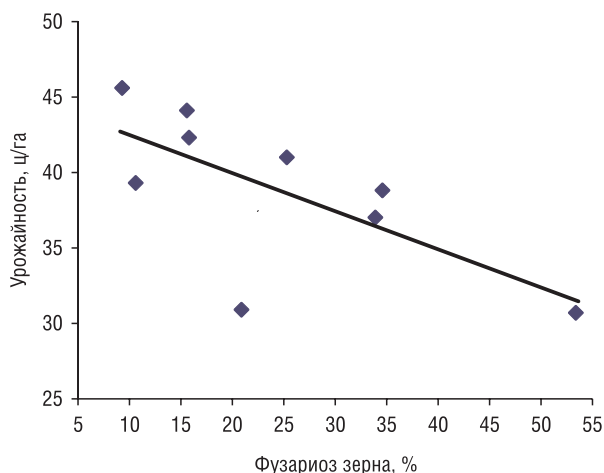


Рис. 3. Зависимость урожайности озимой пшеницы от инфицированности зерна грибами р. *Fusarium*

Fig. 3. Dependence of winter wheat yield on infection of grain with fungi of the p. *Fusarium*

Т а б л и ц а 1. Показатели элементов структуры урожайности озимой пшеницы под воздействием инокуляции суспензией конидиоспор трех видов грибов, вызывающих фузариоз колоса

T a b l e 1. Indicators of the elements of winter wheat yield structure under the influence of inoculation with suspension of conidiospores of three varieties of fungi causing spike Fusarium

Вариант опыта	Количество зерен в колосе, шт.		Масса 1000 зерен, г		Масса зерна с колоса, г	
	Среднее	ГДИ	Среднее	ГДИ	Среднее	ГДИ
Контроль	16,8	13,8–19,8	52,0	45,0–58,8	0,83	0,69–0,97
<i>F. culmorum</i>	9,0*	6,1–11,9	28,1	24,4–31,8	0,26	0,17–0,35
<i>F. avenaceum</i>	16,3	14,4–18,2	60,5	54,7–64,3	0,95	0,86–1,04
<i>F. poae</i>	17,1	14,1–20,1	58,5	56,4–60,6	0,99	0,84–1,14

* Достоверно отличающиеся от контроля показатели.

Таким образом, уровень прямых потерь урожайности зерновых культур при поражении фузариозом колоса определяется составом грибов, доминирующих в патогенном комплексе. Прямые потери массы зерна с колоса при эпифитотийном развитии болезни могут достигать 70 % и более.

Потери урожайности при энзимо-микозном истощении зерна (ЭМИС). Прямые потери массы зерна в колосе на микозной стадии развития фузариоза колоса, как показано выше, могут достигать 70 % и более. Но они еще более возрастают, когда микозной предшествует энзимная стадия истощения (истекания) зерна [8–10], для возникновения которой должен сложиться комплекс из гидротермических и биологических условий:

- 1) высокая температура воздуха;
- 2) большая сумма осадков во время цветения, образования зерновок, налива и созревания зерна;
- 3) частая и обильная роса, наличие сырых туманов;
- 4) высокая плотность стеблестоя, наличие очагового полегания и т.д.

Изреженные не полегшие посевы зерновой культуры быстрее просыхают под воздействием движения воздушных масс и солнца, поэтому энзимное истощение зерна в таких посевах, как правило, не наблюдается.

В зерне переувлажненных колосьев в результате повышения активности гидролитических ферментов синтезируемые и откладываемые в запас биологические полимеры расщепляются

Таблица 2. Выявление комплекса гидротермических условий, способных вызвать энзимную стадию созревающего зерна озимой пшеницы, 2009–2017 гг.

Table 2. Identifying of range of hydrothermal conditions able to cause enzymatic stage of ripening grain of winter wheat, 2009–2017

Год	Температура воздуха, °С (ст. 61–89 ВВСН)	Сумма осадков за период, мм		Масса 1000 зерен	
		ст. 61–89 ВВСН	в том числе ст. 77–89	г	%
2009	17,6	197	27	40,7	79,5
2010	20,4*	240	105	36,8	71,9
2011	18,9	155	78	47,4	92,6
2012	18,4	157	33	47,6	93,0
2013	19,1	78	13	43,4	84,8
2014	16,6	115	38	45,5	88,9
2015	17,5	35	29	41,5	81,0
2016	18,8	138	100	37,5	73,2
2017	16,3	99	52	51,2	100
Норма	16,9–17,0	141–156	57–65		

* Достоверно отличающиеся от контроля показатели.

многочисленным количеством осадков, особенно в конце созревания зерна. По сравнению с данным годом средняя масса 1000 зерен в 2010 и 2016 гг. оказалась ниже на 26,8 и 28,1 % соответственно.

В то же время для проявления микозной стадии фузариоза колоса благоприятные условия создавались ежегодно, несмотря на то, что посевы всех сортов обрабатывались фунгицидами, зарегистрированными в Государственном реестре средств защиты растений². Происходит это потому, что применение фунгицида проводится не позднее, чем за 30 сут до уборки, а продолжительность действия препарата составляет 20–25 сут. Имеется определенное время для инфицирования, а в окружающей среде достаточно источников инфекции, сохраняющейся на растительных остатках зерновых культур, злаковых трав и кукурузы.

Таким образом, потери, вызываемые энзимной стадией ЭМИС, в условиях центральной части Беларуси могут достигать 26,8–28,1 %.

Косвенные потери, вызываемые грибами р. *Fusarium*. Косвенные потери связаны с выделением грибами р. *Fusarium* микотоксинов. Микотоксины и вызываемые ими микотоксикозы являются объектом изучения во всем мире [11, 12], поскольку к фузариотоксикозам восприимчивы сельскохозяйственные животные всех видов. Все микотоксины можно разделить на неспецифические (вивотоксины) и специфические (патотоксины).

Вивотоксины – низкомолекулярные метаболиты грибов и бактерий, выделяемые в зараженное растение (*in vivo*), а не только в искусственную питательную среду, в которой выращивают данный микроорганизм, и вызывающие типичные симптомы болезни (некрозы, увядание).

Патотоксины являются специфическими, т.е. оказывают повреждающее действие только на определенные виды и даже сорта растений³.

Трихотеценовые микотоксины, выделяемые фузариями, относятся к группе вивотоксинов. Некоторые из них (фузариевая кислота) относятся к группе мембраноактивных веществ. Их воздействие на растение обусловлено выделением метаболитов в межклеточное пространство и нарушением ионного транспорта, что приводит к нарушению работы устьиц, вызывает некрозы и увядание растений [13].

² Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. Минск : Промкомплекс, 2017. 688 с.

³ Желдакова Р. А., Мямин В. Е. Фитопатологические микроорганизмы : учеб.-метод. комплекс. Минск : БГУ, 2005. 116 с.

на более простые растворимые в воде сахара и аминокислоты, которые стекают по колосковым чешуям, являясь пищей для многих микроорганизмов микофлоры. Поэтому зерно под воздействием ЭМИС чаще всего более значительно инфицировано патогенами фузариозной и альтернариозной этиологии. Сложиться такой комплекс условий, необходимый для проявления энзимной стадии ЭМИС, не может ежегодно, тем более на всех посевах зерновой культуры.

Проанализированы данные по ежегодной урожайности шести сортов озимой пшеницы, по которым велось семеноводство (данные отдела озимой пшеницы) в течение 2009–2017 гг. На семеноводческих полях Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию условия для прохождения энзимной стадии создавались в 2010 и 2016 гг. (табл. 2). Средняя масса 1000 зерен самой высокой была в 2017 г. в условиях самой низкой (16,3 °С) среднесуточной температуры воздуха и меньшим по отношению со средним

По данным ФАО, 25 % производимого в мире зерна поражается микотоксинами, в том числе до 57 % зерна пшеницы содержат микотоксины ДОН и зеараленон⁴.

В Российской Федерации, по данным компании Alltech, которая занимается менеджментом микотоксинов, в 2017 г. чистыми были только 17 % проб зерна, 26 % всех образцов содержали четыре-пять микотоксинов, а еще 22 % – два-три, причем наиболее распространенными были микотоксины трихотеценовой группы и фумонизины⁵.

Мировые потери сельскохозяйственной продукции от поражения токсиногенными грибами и загрязнения микотоксинами за последние 10 лет увеличились в 9 раз и достигли 22 млрд долларов в год, в России – около 7 млрд руб.⁶

Белорусским государственным ветеринарным центром совместно с ВНИВСГЭ в 2003 г. были проведены исследования содержания микотоксинов в белорусском зерне (1091 проба из 6 областей) [14]. Результаты показали, что Т-2 токсин и трихотецены из группы дезоксиниваленола (ДОН) встречались в зерне в 31,3 и 27,4 % случаев соответственно. ДОН чаще обнаруживался в зерне тритикале и пшеницы. Зеараленон встречался гораздо реже – в 1,7 % случаев.

В 2009 г. подобная информация была получена на 271 образце зерна из Витебской, Могилевской и Гомельской областей. Встречаемость Т-2 токсина в среднем составила 43,9 %, причем в Гомельской области данный показатель достигал 53,1 %. Средний уровень накопления Т-2 в зерне пшеницы составил 43,9 мкг/кг. ДОН в среднем был обнаружен в 86,0 % проб (до 91,8 % в Могилевской области). Средний уровень накопления ДОН в зерне пшеницы составил 1150 мкг/кг, доходя в отдельных образцах до 6295 мкг/кг. Наличие зеараленона обнаружено в 21,4 % проб с содержанием от 20 до 1815 мкг/кг, в основном его находили в зерне тритикале.

Фузариозные микотоксины представлены в первую очередь группой трихотеценовых, фумонизиновых, зеараленоном и монилиформинном.

Каждый вид гриба из р. *Fusarium* способен к образованию одного или нескольких токсинов. Так, наиболее вредоносные в мировых масштабах *F. graminearum* и *F. culmorum* образуют дезоксиниваленол (ДОН), ниваленол (НИВ), зеараленон (ЗЕН); *F. avenaceum* и *F. oxysporum* – монилиформин (МОН) и фумонизины (ФУМ); *F. poae* – ниваленол (НИВ), Т-2 токсин и диацетоксискирпенол (ДАС).

В рамках стран Таможенного союза в 2011 г. были приняты следующие предельно допустимые концентрации (ПДК) микотоксинов в зерне продовольственном, крупе, толокне, хлопьях: зеараленон – 1,0, дезоксиниваленол – 0,7 (пшеница) и 1,0 (ячмень) и Т-2 токсин – 0,1 мг/кг⁷ [15, 16]. Наличие микотоксинов в адаптированных молочных смесях для питания детей раннего возраста не допускается. В Европейском союзе в 2006 г. были приняты максимальные уровни для некоторых контаминантов в пищевых продуктах [17], которые регламентируют содержание микотоксинов в продуктах питания в значительно больших количествах, чем в странах Таможенного союза.

Таким образом, можно сделать вывод, что наряду с прямыми потерями фузариозные микотоксины являются главным фактором, снижающим качество получаемой зерновой продукции пшеницы.

Гашинг пива. Помимо микотоксинов грибы р. *Fusarium* могут вызывать явление гашинга пива. Гашинг (от англ. *gush* – фонтанировать) – избыточное пенообразование с выбросом пива из бутылки при ее откупоривании, не обусловленное инфицированием готового пива [18–20]. В некоторых случаях из-за избыточного давления происходит самопроизвольное открытие бутылочных пробок при хранении даже на производстве.

⁴ Монастырский О. Микотоксины – глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов [Электронный ресурс]. AgroXXI : агропром. портал. Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/mikotoksiny-globalnaja-problema-bezopasnosti-produktov-pitanija-i-kormov.html>. Дата доступа: 08.10.2018.

⁵ Какие микотоксины обнаружены в российском зерне урожая 2017 года. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www2.knowmycotoxins.com/ru/ru/resources/news/2018/03/15/2017>. Дата доступа: 08.10.2018.

⁶ Монастырский О. Микотоксины — глобальная проблема безопасности продуктов питания и кормов [Электронный ресурс]. AgroXXI : агропром. портал. Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/mikotoksiny-globalnaja-problema-bezopasnosti-produktov-pitanija-i-kormov.html>. Дата доступа: 08.10.2018.

⁷ Мельситова И. В. Качество и безопасность продуктов питания : пособие для студентов : в 2 ч. Минск : БГУ, 2016. Ч. 2 : Безопасность продуктов питания. 199 с.; О безопасности пищевой продукции : ТР ТС 021/2011 : принят 09.12.11 : вступ. в силу 01.07.13 / Евраз. экон. комис. Минск : Госстандарт, 2012. 196 с.

Влияние грибов р. *Fusarium* на показатели качества зерна и семян яровой пшеницы.

Косвенные потери от фузариоза колоса помимо накопления в зерне трихотеценовых микотоксинов включают снижение хлебопекарных характеристик [11, 12, 21–24]. По данным Т. Ю. Гагкаевой и др. [21], при использовании зараженного фузариями зерна на пищевые цели существенно снижаются качество клейковины и хлебопекарные свойства. Хлеб из такой муки имеет темно-окрашенный мякиш с низкой эластичностью и крупной пористостью. Содержание белка в пораженном зерне может как незначительно увеличиваться⁸, так и снижаться [15, 16] или оставаться постоянным. М. Кройцбергер утверждает, что фузариозная инфекция не влияет на содержание белка. Значительно сильнее данный признак определяют условия окружающей среды, предшественник и генотип пшеницы [17]. Как и в случае с белком, содержание сырой клейковины при заражении фузариями в муке может увеличиваться [23] или снижаться из-за выделения патогеном специфических протеаз [25].

Фузарии выделяют фермент амилазу, гидроксил-гидролазу, расщепляющий крахмал до олигосахаридов: чем выше содержание амилазы, тем выше автолитическая активность зерна и муки и ниже вязкость клейстеризации [26]. Автолитическая активность – это способность муки образовывать при прогреве водно-мучной суспензии водорастворимые вещества.

В связи с некоторым разночтением в литературе было принято решение о проведении исследований по изучению влияния поражения зерна белорусской популяции грибов р. *Fusarium* на отдельные показатели качества зерна и семян пшеницы.

В мукомольной промышленности одним из основных характеристик зерна является его крупность. Увеличение массы фузариозного зерна в навеске приводило к снижению массы 1000 зерен от 43,6 г (здоровые) до 26,1 г (только пораженные) со средним снижением в 0,17 г на 10 % повышения. Следовательно, увеличение поражения зерна фузариозом, даже без учета наличия токсинов, приводит к снижению его качества при использовании в мукомольной промышленности (рис. 4).

Пригодность зерна для хлебопечения оценивалась по содержанию белка. Повышение массовой доли фузариозного зерна в навеске приводило к снижению содержания белка, выраженного в абсолютных величинах (рис. 5, а), в то время как содержание белка, выраженного в относительных величинах, вначале незначительно снижалось, а при достижении массы фузариозного зерна в 30 % и более – повышалось (рис. 5, б).

Самые высокие требования по белку (13,0–15,5 %) предъявляются для выпечки калачей, паляницы, городских булок, баранок, поэтому даже поражение фузариозом зерна сорта Любава по относительному содержанию белка не ограничивало его применение в хлебопечении.

Косвенным показателем пригодности зерна для использования в хлебопечении является содержание сырой клейковины. Пригодное для выпечки массовых видов хлебобулочных изделий зерно должно содержать 22–28 % сырой клейковины, обеспечивающей газообразующую способность теста и влияющей на объемный выход хлеба⁹.

Косвенным показателем пригодности зерна для использования в хлебопечении является содержание сырой клейковины. Пригодное для выпечки массовых видов хлебобулочных изделий зерно должно содержать 22–28 % сырой клейковины, обеспечивающей газообразующую способность теста и влияющей на объемный выход хлеба⁹.

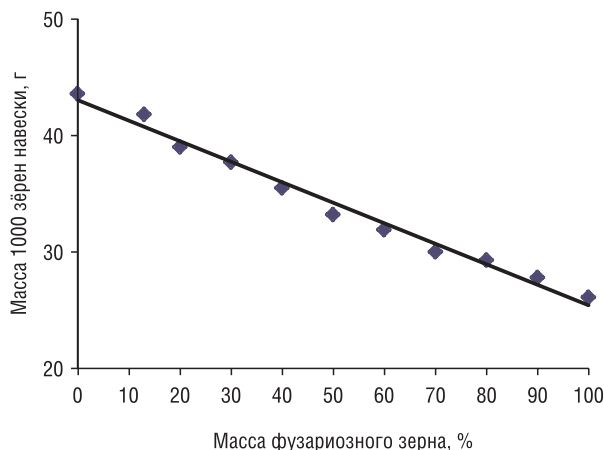


Рис. 4. Снижение массы 1000 зерен в связи с повышением в пробе фузариозного зерна яровой пшеницы

Fig. 4. Decrease in weight 1000 grains due to increase of spring wheat in the sample of *Fusarium* affected grain

⁸ Регламент комиссии (ЕС) № 1881/2006 от 19 декабря 2006 года, устанавливающий максимальные уровни для некоторых загрязнителей в пищевых продуктах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fsvps.ru/fsvps-docs/ru/laws/eu/1881-2006.pdf>. Дата доступа: 08.10.2018.

⁹ Физиолого-биохимические механизмы энзимо-микозного истощения семян (ЭМИС) пшеницы и некоторых других культур / М. С. Дунин [и др.] // Вестн. с.-х. науки. 1981. №4. С. 70–78; Мука пшеничная. Технические условия = Мука пшаничная. Технічны ўмовы : СТБ 1666–2006. Введ. 01.12.06. Минск : Госстандарт, 2013. 15 с.

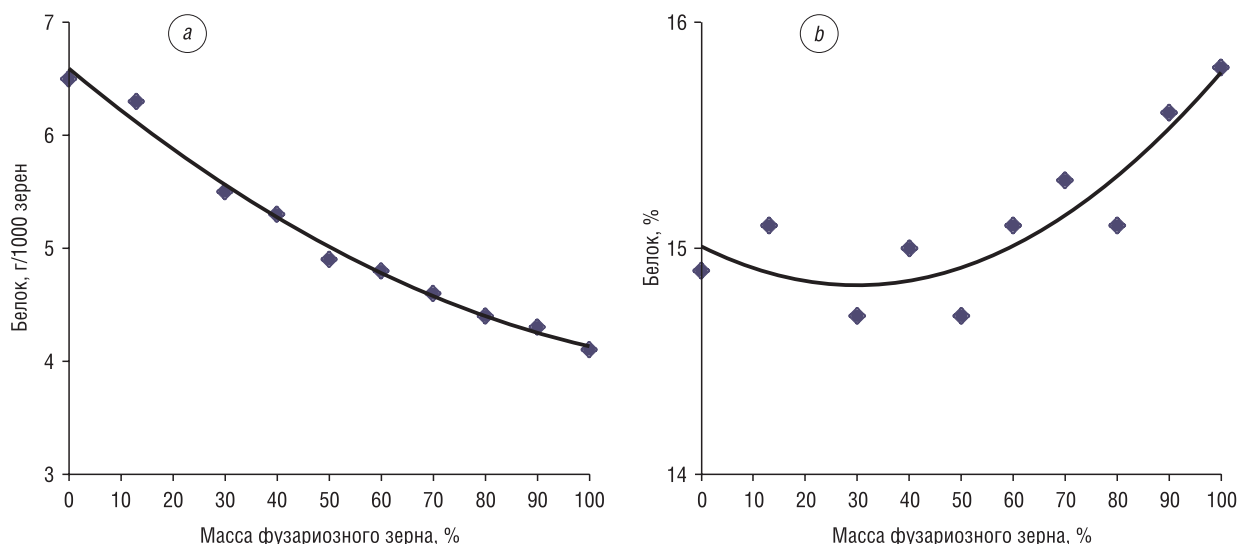


Рис. 5. Изменение содержания белка в зерне яровой пшеницы при увеличении в навеске массовой доли зерна, поврежденного фузариозом: *a* – в расчете на 1000 зерен, *b* – в процентном выражении

Fig. 5. Change in protein content in spring wheat grain at increase in the weight part of grain damaged by Fusarium: *a* – calculated per 1000 grains, *b* – in percentage points

С увеличением массовой доли фузариозного зерна в навеске происходит снижение не только абсолютного содержания белка, но и относительного содержания сырой клейковины (рис. 6).

Влияние повышения массовой доли фузариозного зерна от 0 до 10 % на изменение амилотической активности теста изучали в другом модельном опыте, в котором массовая доля фузариозного зерна в навеске изменялась с шагом в 2 %.

При повышении массовой доли фузариозного зерна в навеске температура начальной клейстеризации водно-мучной болтушки изменялась незначительно (табл. 3). Размах вариации температуры начала клейстеризации составлял только 0,8 °C (61,9–61,1= 0,8).

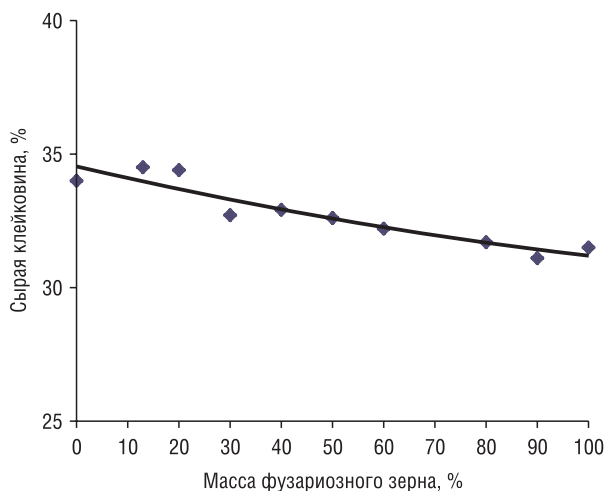


Рис. 6. Изменение содержания сырой клейковины в зерне яровой пшеницы сорта Любава при увеличении в навеске массовой доли зерна, поврежденного фузариозом, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию, 2018 г.

Fig. 6. Changes in the level of crude gluten in spring wheat of Lyubava variety at increase of weight part of grain damaged by Fusarium, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, 2018

Под влиянием фузариозного зерна резко повышается температура максимальной клейстеризации – от 74,5 до 83,4 °C. Размах вариации по этой причине составил 8,9 °C, при этом высота амилограммы выросла от 284 до 441 А.Е. Высокая вязкость клейстеризации пшеничной муки, как правило, свидетельствует о возможности растрескивания мякиша.

Т а б л и ц а 3. Влияние повышения массовой доли фузариозного зерна в навеске на изменение амилотической активности теста

Table 3. The effect of increase of the Fusarium grain weight part on change in amylolytic activity of dough

Массовая доля фузариозного зерна, %	Температура, °C		Высота амилограммы, А.Е.
	начала клейстеризации	максимальной клейстеризации	
0	61,1	74,5	284
2	61,4	73,9	284
4	61,4	78,3	373
6	61,9	77,1	374
8	61,8	79,8	382
10	61,9	83,4	441

Таким образом, поражение фузариозом зерна пшеницы вызывает снижение массы 1000 зерен и выход муки при использовании его в мукомольной промышленности, а также ухудшение качества муки за счет снижения содержания белка и сырой клейковины при использовании ее в хлебопечении.

Возможность использования пораженного зерна в семеноводстве оценивается его влиянием на лабораторную всхожесть. Лабораторная всхожесть не менее 90 % – одно из основных требований к зерну, используемому на семенные цели.

Средняя распространенность фузариоза зерна 144 образцов коллекции яровой пшеницы в засушливом 2015 г. (ГТК = 0,7) равнялась 32,0 %, а в избыточно влажном 2016 г. (ГТК = 1,7) – 61,1 % (рис. 7).

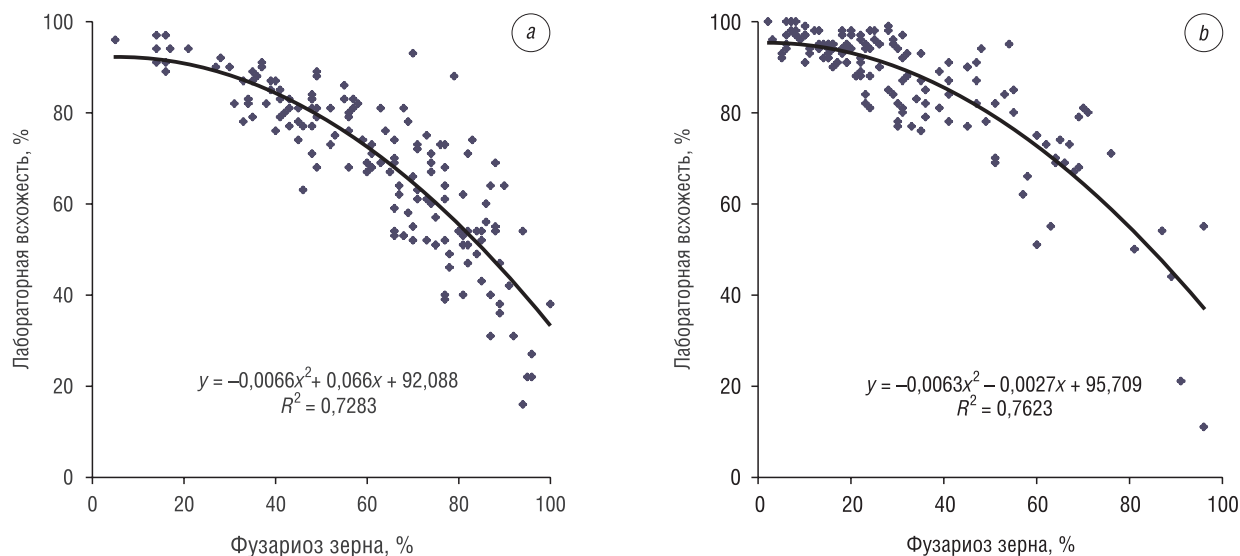


Рис. 7. Лабораторная всхожесть зерна яровой пшеницы в зависимости от гидротермических условий его выращивания и степени поражения фузариозом: а – ГТК 1,7; б – ГТК 0,7

Fig. 7. Laboratory germination of spring wheat grain, depending on the hydrothermal conditions of its cultivation and degree of damage by Fusarium: а – ГТК 1,7; б – ГТК 0,7

Абсолютное большинство образцов коллекции (90 %) в засушливом году имели пораженность зерна фузариозом в пределах 0–70 %, а в избыточно влажном – 30–90 %.

Лабораторная всхожесть зерна в зависимости от степени его поражения фузариозом с высокой степенью достоверности снижалась по криволинейной зависимости и в засушливом ($R^2 = 0,762$), и в избыточно влажном ($R^2 = 0,728$) году. Однако лабораторную всхожесть выше 90 % показали только образцы, имеющие распространенность фузариоза зерна в следующих пределах: в засушливом году – 0–20 %, а в избыточно влажном – 0–15 %. Следовательно, только инфицированные фузариозом до 20 % партии зерна по лабораторной всхожести могут быть допустимы для использования в качестве семян, независимо от погодных условий во время вегетации растений в год получения урожая.

Выводы

1. Прямые потери урожайности зерновых культур при поражении фузариозом колоса могут достигать 50 % и более. Уровень прямых потерь урожайности зерновых культур при поражении фузариозом колоса определяется составом грибов, доминирующих в патогенном комплексе. По мере снижения вредоносности трех изучаемых вида фузариев располагаются в следующем порядке: *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. poae*.

2. Вредоносность фузариоза колоса повышается, когда микозной стадии в силу сложившихся погодных условий во время цветения – налива зерна злаковой культуры предшествует энзимная стадия. Потери, вызываемые ЭМИС в условиях центральной части Беларуси, могут достигать 26,8–28,1 %.

3. Поражение фузариозом зерна пшеницы вызывает снижение массы 1000 зерен и выход муки при использовании его в мукомольной промышленности, а также ухудшение ее хлебопекарных качеств за счет снижения содержания белка и сырой клейковины.

4. Для использования в качестве семян могут быть допущены партии зерна пшеницы, инфицированные фузариозом только до 15 % по лабораторной всхожести.

5. Полученные данные позволяют более точно понять патогенный процесс и адаптировать защитные мероприятия против фузариоза колоса и зерна пшеницы, а также снизить его негативное влияние на урожайность и качество получаемой продукции

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта 6.74 «Выявление источников устойчивости и толерантности к фузариозу колоса и зерна пшеницы» Государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства» на 2016–2020 годы, подпрограмма «Земледелие и селекция».

Список использованных источников

1. Goswami, R. S. Heading for disaster: Fusarium graminearum on cereal crops / R. S. Goswami, H. C. Kistler // *Molecular Plant Pathology*. – 2004. – Vol. 5, N 6. – P. 515–525. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2004.00252.x>
2. Matny, O. N. Fusarium head blight and crown rot on wheat & barley: losses and health risks / O. N. Matny // *Advances in Plants & Agriculture Research*. – 2015. – Vol. 2, N 1. – P. 38–43. <https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00039>
3. Kansas cooperative plant disease survey report. Preliminary 2014 Kansas wheat disease loss estimates [Electronic resource] / A. J. Appel [et al.]. – Topeka : Kansas Dep. of Agriculture, 2014. – Mode of access: <https://agriculture.ks.gov/docs/default-source/PP-Disease-Reports-2014/2014-ks-wheat-disease-loss-estimates.pdf>. – Date of access: 08.10.2019
4. McMullen, M. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact / M. McMullen, R. Jones, D. Gallenberg // *Plant Disease*. – 1997. – Vol. 81, N 12. – P. 1340–1348. <https://doi.org/10.1094/pdis.1997.81.12.1340>
5. Parry, D. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals – a review / D. W. Parry, P. Jenkinson, L. McLeod // *Plant Pathology*. – 1995. – Vol. 44, N 2. – P. 207–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02773.x>
6. Вязкость клейстеризованной водно-мучной суспензии яровой пшеницы и способы ее оценки / И. И. Берестов [и др.] // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси : материалы Юбилейн. междунар. науч.-практ. конф., 29 июня 2007 г., г. Жодино / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию ; ред.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск, 2007. – С. 211–214.
7. Технология производства и качество продовольственного зерна / Э. М. Мухаметов [и др.]. – Минск : Дизайн ПРО, 1996. – 255 с.
8. Алимов, К. Г. Обоснование мер борьбы с энзимо-микозным истощением семян (ЭМИС) и сопряженными с ним инфекциями при интенсивной технологии возделывания яровой пшеницы в лесостепной зоне Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.11 / К. Г. Алимов ; Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева. – М., 1988. – 14 с.
9. Физиолого-биохимические механизмы энзимо-микозного истощения семян (ЭМИС) пшеницы и некоторых других культур / М. С. Дунин [и др.] // *Вестн. с.-х. науки*. – 1981. – № 4. – С. 70–78.
10. Шильцова, М. А. Разработка и усовершенствование методов оценки зерновых культур к энзимо-микозному истощению семян (ЭМИС) и их практическое применение : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05 / М. А. Шильцова ; ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова. – Ленинград, 1985. – 19 с.
11. Микотоксикозы (биологические и ветеринарные аспекты) / А. В. Иванов [и др.]. – М. : Колос, 2010. – 391 с.
12. Hsieh, D. P. H. Mode of action of mycotoxins / D. P. H. Hsieh // *Mycotoxins in food* / ed. P. Krogh. – London, 1987. – P. 149–176.
13. Иммунитет растений / В. А. Шкаликов [и др.] ; под ред. В. А. Шкаликова. – М. : КолосС, 2005. – 189 с.
14. Жуковский, А. Г. Микотоксинологический мониторинг зерна. Опыт международного сотрудничества / А. Г. Жуковский, А. А. Буркин, Г. П. Кононенко // *Иммунология, аллергология, инфектология*. – 2010. – № 1. – С. 191.
15. Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat / J. E. Dexter [et al.] // *Cereal Chemistry*. – 1997. – Vol. 74, N 5. – P. 519–525. <https://doi.org/10.1094/cchem.1997.74.5.519>
16. Characterisation of kernel resistance against Fusarium infection in spring wheat by baking quality and mycotoxin assessments / V. H. Gärtner [et al.] // *Europ. J. of Plant Pathology*, 2008. – Vol. 120, N 1. – P. 61–68. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9198-5>
17. Kreuzberger, M. Fusarium infection of bread wheat and subsequent mycotoxin contamination of milling products: Impact on quality parameters and composition of flour : doctoral diss. / M. Kreuzberger. – Göttingen, 2011. – 158 p.
18. Волкова, Т. Н. Явление гашинга в пивоварении / Т. Н. Волкова // *Пиво и напитки*. 2007. – № 3. – С. 18–21.
19. Gushing inducers produced by some mould strains / M. Amaha [et al.] // *European brewery convention : proc. of the 14th congr., Salzburg 1973*. – Amsterdam, 1974. – P. 381–398.
20. Schildbach, R. Zur Problematik des Mikroorganismenbefalls an Braugerste und Malz / R. Schildbach // *Brauwelt*. – 1988. – Bd. 128, nr. 47. – S. 2244–2250.
21. Фузариоз зерновых культур / Т. Ю. Гагкаева [и др.]. – М. : Ред. журн. «Защита и карантин растений», 2011. – С. 70(2)–119(51). – (Приложение к журналу «Защита и карантин растений», 2011, № 5).

22. Иванов, А. В. Микотоксины: в проблеме ветеринарного обеспечения повышения продуктивности животных / А. В. Иванов, М. Я. Трemasов // Слагаемые эффективного агробизнеса: обобщение опыта и рекомендации / Тат. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва РАСХН ; редкол.: Т. Г. Хадеев [и др.]. – Казань, 2006. – Ч. 2 : Кормопроизводство и животноводство. – С. 241–248.

23. The influence of Fusarium infections on the quality parameters and production of four wheat varieties, in different infection conditions / A. Suci [et al.] // Bull. of Univ. of Agr. Sciences a. Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture. – 2013. – Vol. 70, N 1. – P. 67–74.

24. Effect of Fusarium spp. contamination on baking quality of wheat / I. Capouchová [et al.] // Wheat improvement, management and utilization / ed. R. Wanyera. – Rijeka, 2017. – P. 329–344. <https://doi.org/10.5772/67657>

25. Dexter, J. E. Grading factors impacting durum wheat processing quality / J. E. Dexter, M. G. D'Egidio // Durum wheat: chemistry and technology / ed.: M. Sissons [et al.]; Amer. Associate of Cereal Chemists Intern. – 2nd ed. – St. Paul, 2012. – P. 235–250. <https://doi.org/10.1016/b978-1-891127-65-6.50018-0>

26. Кретович, В. Л. Биохимия зерна и хлеба / В. Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 133 с.

References

1. Goswami R. S., Kistler H. C. Heading for disaster: Fusarium graminearum on cereal crops. *Molecular Plant Pathology*, 2004, vol. 5, no. 6, pp. 515–525. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2004.00252.x>

2. Matny O. N. Fusarium head blight and crown rot on wheat & barley: losses and health risks. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 38–43. <https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00039>

3. Appel J. A., DeWolf E., Todd T., Bockus W. W. *Kansas cooperative plant disease survey report. Preliminary 2014 Kansas wheat disease loss estimates*. Topeka, Kansas Department of Agriculture, 2014. Available at: <https://agriculture.ks.gov/docs/default-source/PP-Disease-Reports-2014/2014-ks-wheat-disease-loss-estimates.pdf> (accessed: 08.10.2019).

4. McMullen M., Jones R., Gallenberg D. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease*, 1997, vol. 81, no. 12, pp. 1340–1348. <https://doi.org/10.1094/pdis.1997.81.12.1340>

5. Parry D. W., Jenkinson P., McLeod L. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals – a review. *Plant Pathology*, 1995, vol. 44, no. 2, pp. 207–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02773.x>

6. Berestov I. I., Laput'ko E. V., Shempel' T. P., Kozhedub O. A. The viscosity of gelatinized water-flour suspension of spring wheat and methods for its assessment. *Problemy i puti povysheniya effektivnosti rasteniyevodstva v Belarusi: materialy Yubileinoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 29 iyunya 2007g., g. Zhodino* [Problems and ways to improve crop production efficiency in Belarus: proceedings of the anniversary international scientific and practical conference, June 29, 2007, Zhodino]. Zhodino, 2007, pp. 211–214 (in Russian).

7. Mukhametov E. M., Kazanina M. A., Tupikova L. K., Makaseeva O. N. *Production technology and food grain quality*. Minsk, Dizain PRO, 1996. 255 p. (in Russian).

8. Alimov K. G. *Substantiation of measures to control enzyme-mycotic depletion of seeds (EMDS) and associated infections with intensive technology of spring wheat cultivation in the forest-steppe zone of Western Siberia*. Abstract of Ph. D. diss. Moscow, 1988. 14 p. (in Russian).

9. Dunin M. S., Temirbekova S. K., Popova E. V., Tyuterev S. L. Physiological and biochemical mechanisms of enzyme-mycotic depletion of seeds (EMDS) of wheat and some other crops. *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Bulletin of the Agricultural Science], 1981, no. 4, pp. 70–78 (in Russian).

10. Shil'tsova M. A. *Development and improvement of methods for assessing cereals to enzyme-mycotic depletion of seeds (EMDS) and their practical application*. Abstract of Ph.D. diss. Leningrad, 1985. 19 p. (in Russian).

11. Ivanov A. V., Fisinin V. I., Tremasov M. Ya., Papunidi K. Kh. *Mycotoxicoses (biological and veterinary aspects)*. Moscow, Kolos Publ., 2010. 391 p. (in Russian).

12. Hsieh D. P. H. Mode of action of mycotoxins. *Mycotoxins in food*. London, 1987, pp. 149–176.

13. Shkalikov V. A., D'yakov Yu. T., Smirnov A. N., Dzhailov F. S. -U., Stroikov Yu. M., Kononov Yu. B., Gritsenko V. V. *Plant disease resistance*. Moscow, KolosS Publ., 2005. 189 p. (in Russian).

14. Zhukovskii A. G., Burkin A. A., Kononenko G. P. Mycotoxicological evaluation of grain. Experience of transnational cooperation. *Immunologiya, allergologiya, infektologiya = Immunopathology, allergology, infectology*, 2010, no. 1, p. 191 (in Russian).

15. Dexter J. E., Marchylo B. A., Clear R. M., Clarke J. M. Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. *Cereal Chemistry*, 1997, vol. 74, no. 5, pp. 519–525. <https://doi.org/10.1094/cchem.1997.74.5.519>

16. Gärtner B. H., Munich M., Kleijer G., Mascher F. Characterisation of kernel resistance against Fusarium infection in spring wheat by baking quality and mycotoxin assessments. *European Journal of Plant Pathology*, 2008, vol. 120, no. 1, pp. 61–68. <https://doi.org/10.1007/s10658-007-9198-5>

17. Kreuzberger M. *Fusarium infection of bread wheat and subsequent mycotoxin contamination of milling products: Impact on quality parameters and composition of flour*. Doctoral Dissertation. Göttingen, 2011. 158 p.

18. Volkova T. N. The phenomenon of gushing in brewing. *Pivo i napitki = Beer and Beverages*, 2007, no. 3, pp. 18–21 (in Russian).

19. Amaha M., Kitabatake K., Nagakawa A., Yoshida J., Harada T. Gushing inducers produced by some mould strains. *European brewery convention: proceedings of the 14th congress, Salzburg 1973*. Amsterdam, 1974, pp. 381–398.

20. Schildbach R. *Zur Problematik des Mikroorganismenbefalls an Braugerste und Malz* [The problem of barley and malt contamination by microorganisms]. *Brauwelt*, 1988, vol. 128, no. 47, pp. 2244–2250 (in German).

21. Gagkaeva T. Yu., Gavrilova O. P., Levitin M. M., Novozhilov K. V. *Fusarium of cereals*. Moscow, Supplement to the journal "Plant Protection and Quarantine", 2011. 51 p. (in Russian).
22. Ivanov A. V., Tremasov M. Ya. Mycotoxins: in the problem of veterinary support for increasing animal productivity. *Slagaemye effektivnogo agrobiznesa: obobshchenie opyta i rekomendatsii* [Components of effective agribusiness: summarization of the experience and recommendations]. Kazan, 2006, pt. 2, pp. 241-248 (in Russian).
23. Suciú A., Miclea R., Sopterean L., Has I., Puia C. The influence of Fusarium infections on the quality parameters and production of four wheat varieties, in different infection conditions. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 2013, vol. 70, no. 1, pp. 67-74.
24. Capouchová I., Papoušková L., Konvalina P., Vepřiková Z., Dvořáček V., Zrcková M., Janovská D., Škeříková A., Pazderů K. Effect of Fusarium spp. contamination on baking quality of wheat. *Wheat improvement, management and utilization*. Rijeka, 2017, pp. 329-344. <https://doi.org/10.5772/67657>
25. Dexter J. E., D'Egidio M. G. Grading factors impacting durum wheat processing quality. *Durum wheat: chemistry and technology*. 2nd ed. St. Paul, 2012, pp. 235-250. <https://doi.org/10.1016/b978-1-891127-65-6.50018-0>
26. Kretovich V. L. *Biochemistry of grain and bread*. Moscow, Nauka Publ., 1991. 133 p. (in Russian).

Информация об авторах

Шашко Юрий Константинович – доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией иммунитета, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222164 Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: Shashko_Y@tut.by

Долгова Елена Леонидовна – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. отделом биохимии и биотехнологии, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222164 Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: ms.heldel@gmail.com

Шашко Марина Николаевна – научный сотрудник, лаборатория иммунитета, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222164 Жодино, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: Shashko21@tut.by

Information about authors

Shishko Yuriy K. - Ph.D. (Agriculture), Assistant Professor. The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1 Timiryazeva Str., Zhodino, Minsk Region 222160, Republic of Belarus). E-mail: shashko_y@tut.by

Dalhova Alena L. - Ph.D. (Agriculture). The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1 Timiryazeva Str., Zhodino, Minsk Region 222160, Republic of Belarus). E-mail: ms.heldel@gmail.com

Shashko Maryna N. - The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1 Timiryazeva Str., Zhodino, Minsk Region 222160, Republic of Belarus). E-mail: Shashko21@tut.by