

УДК 632.4:633.03

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-92-97>

Оригинальное исследование/Original research

Лебедин Ю.С.¹,
Орина А.С.²,
Гаврилова О.П.²,
Гагкаева Т.Ю.²,
Майгурова В.Н.¹,
Петухов П.А.¹

¹ ООО «ХЕМА»105264, Москва, ул. 9-я Парковая, 48
olco.xema@gmail.com² Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, 196608, Санкт-Петербург – Пушкин, ш. Подбельского, 3

Ключевые слова: Fusarium, ДНК, антигены, количественная ПЦР, иммуноферментный анализ, качество, безопасность пищевых продуктов

Для цитирования: Лебедин Ю.С., Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Майгурова В.Н., Петухов П.А. Применение аналитических методов для выявления критических пределов инфицирования зерна грибами рода Fusarium. Аграрная наука. 2021; 344 (1): 92–97.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-92-97>**Конфликт интересов отсутствует**

Yuri S. Lebedin,
Alexandra S. Orina,
Olga P. Gavrilova,
Tatyana Y. Gagkaeva,
Valentina N. Maigurova,
Pavel A. Petukhov

¹ LLC "HEMA",

105264, Moscow, 9th Parkovaya, 48

² All-Russian Institute of Plant Protection, 196608, St. Petersburg - Pushkin, Podbelsky, 3

Key words: Fusarium, DNA, antigens, quantitative PCR, enzyme immunoassay, quality, food safety

For citation: Lebedin Y.S., Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Y., Maigurova V.N., Petukhov P.A. Application of analytical methods to identify critical limits of grain infection by Fusarium fungi. Agrarian Science. 2021; 344 (1): 92–97. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-92-97>**There is no conflict of interests**

Применение аналитических методов для выявления критических пределов инфицирования зерна грибами рода Fusarium

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Научное сообщество и сельхозпроизводители находятся в поиске решения проблемы о том, как обезопасить потребителей от воздействия опасных для здоровья микотоксинов, содержащихся в сельхозпродукции. Один из инструментов, который будет рассмотрен в данной статье – применение скрининговой системы, позволяющей в короткие сроки определять количественные показатели инфицирования зерна пшеницы токсинопродуцирующими грибами.

Методы. Для характеристики поражения зерна использовали метод количественной ПЦР с выявлением ДНК гриба и метод иммуноферментного анализа, детектирующий содержание антигенов Fusarium.

Результаты. На основании анализов зараженности зерна отдельными видами в модельных экспериментах мы установили нижний критический предел в случае ДНК – $3955 \cdot 10^{-4}$ пг/нг, а антигенов Fusarium – 596 ед/г, при выявлении которых зерно должно подвергаться анализу микотоксинов. Все партии зерна, у которых значения, выявленные аналитическими методами, ниже критических точек, могут без дополнительных анализов использоваться на переработку. Полученные значения могут быть количественными объективными ориентирами, соответствующими рутинному визуальному анализу зараженности зерна, предлагаемому в настоящее время по ГОСТ 31646-2012

Application of analytical methods to identify critical limits of grain infection by Fusarium fungi

ABSTRACT

Relevance. The scientific community and agricultural producers are looking for a solution to the problem of how to protect consumers from the effects of hazardous mycotoxins in agricultural products. One of the tools, which will be considered in this article, is a screening system that allows determining the quantitative indicators of wheat grain infection by toxin-producing fungi in a short time.

Methods. The method of quantitative PCR with the detection of fungal DNA and the method of enzyme immunoassay with the detection of Fusarium antigens were used to characterize the grain infection.

Results. We established the lower critical limit of DNA content which is $3955 \cdot 10^{-4}$ pg/ng and the lower critical limit of Fusarium antigens which is 596 U/g based on the analyzes of grain fungi contamination in model experiments. Grain should be subjected to mycotoxins analysis upon detection of these critical limits. All batches of grain can be used in production without additional analyzes if their values determined by analytical methods are below that critical points. The obtained values can be quantitative benchmarks corresponding to the standard visual analysis of grain contamination currently described in GOST 31646-2012

Поступила: 16 декабря
После доработки: 11 января
Принята к публикации: 11 января

Received: 16 december
Revised: 11 january
Accepted: 11 january

Введение

Зерно, поставляемое для государственных нужд или для продажи внутри страны и за рубеж, по качеству должно соответствовать установленным государственным стандартам, техническим условиям, медико-биологическим и санитарным нормам. Повышение качества зерна и продуктов его переработки является одной из основных задач развития рынка зерна России согласно распоряжению Правительства РФ от 29.06.2016 г. № 1364-р. «Стратегия повышения качества пищевой продукции Российской Федерации до 2030 года». Начиная с 2011 года, основными документами в России, регламентирующими качество зерна, являются Технические регламенты Таможенного союза (ТР ТС): 015/2011 «О безопасности зерна» и 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Согласно требованиям ТР ТС 021/2011, изготовитель пищевой продукции должен разработать, внедрить и поддерживать процедуры, основанные на принципах системы ХАССП (Анализ рисков и критические контрольные точки), которая признана во всем мире одним из наиболее эффективных методов обеспечения безопасности пищевых продуктов (ГОСТ Р 51705.1–2001). Соблюдение поэтапной последовательности процедур, предусмотренных ХАССП, дает гарантию выпуска безопасной пищевой продукции. Под риском, связанным с обеспечением безопасности и качества продуктов питания, понимается функция вероятности неблагоприятного последствия для здоровья и его серьезности из-за присутствия опасного биологического, химического и/или физического фактора в пищевом продукте (Матисон и др., 2014).

На качество зерна существенное влияние оказывают сортовой потенциал зерновой культуры, условия её выращивания и микробиологическое качество. Особенно большую опасность представляют грибы, способные к образованию токсичных вторичных метаболитов — микотоксинов, которые, попадая в организм, приводят к значительному ухудшению здоровья.

Главными критическими контрольными точками (ККТ), определяющими загрязнение зерна микотоксинами, являются степень заражения и видовой состав развивающихся на нем грибов. Грибы рода *Fusarium* распространены во всех странах, где выращиваются зерновые культуры. Многолетние мониторинговые исследования показали, что в зависимости от года, региона и вида зерновой культуры зараженность грибами *Fusarium* производимого на территории РФ зерна достаточно высока. По нашим данным, фузариевые грибы обнаружены в 100% образцов зерна, выращенных в Северокавказском регионе (Шипилова и др., 2014), в 71% — в Уральском (Гаврилова и др., 2020) и 82,5% — в Сибирском (Gagkaeva et al., 2019).

На территории РФ фузариоз зерна вызывают более 20 различных видов *Fusarium*, которые различаются между собой по биоэкологическим потребностям, агрессивности и способности продуцировать микотоксины (Гаткаева и др., 2011). К наиболее широко распространенным и опасным видам относятся *F. graminearum* и *F. culmorum*, образующие дезоксиниваленол (ДОН) и зеараленон (ЗЕН), а также *F. sporotrichioides* и *F. langsethiae*, образующие Т-2 токсин.

Предельно допустимые уровни содержания фузариозного зерна, которые не должны превышать 1%, определяют не по присутствию грибов рода *Fusarium*, а по внешним признакам его возможного наличия (согласно ТР ТС 015/2011 «фузариозное зерно — щуплое, легко-

весное, морщинистое, белесоватое, иногда с пятнами оранжево-розового цвета»). Существует регламентируемая ГОСТом 31646–2012 «Зерновые культуры. Метод определения содержания фузариозных зерен» — процедура, основанная на визуальной оценке зерна пшеницы и являющаяся весьма субъективной и малоинформативной. Поскольку микотоксикологическую чистоту зерна при его приемке определяют не по показателям количественного присутствия гриба или его метаболитов, а по внешним признакам их возможного наличия, то зачастую результаты оценки являются необъективными.

Весь мировой опыт, отраженный в многочисленных публикациях, подтверждает, что достоверное выявление зараженности партии зерна грибами не может проводиться визуально. Показано, что большинство внешне инфицированных зерен не отличаются от здоровых, но могут содержать микотоксины (Argyris et al., 2003; Hallen-Adams et al., 2011; Шипилова и др., 2014). Зерно, зараженное токсинопродуцирующими грибами, обязательно должно проверяться на загрязнение микотоксинами. В РФ установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) для продуцируемых грибами *Fusarium* микотоксинов в используемом на продовольственные цели зерне: количество Т-2 токсина не должно превышать 100 мкг/кг, ДОН — 700–1000 мкг/кг, зеараленон ЗЕН — 200–1000 мкг/кг (ТР ТС 021/2011 и 015/2011).

Прямое определение содержания микотоксинов в зерне различного назначения проводят хроматографическими методами (ДОН согласно ГОСТ 15891–2013, Т-2 токсин — ГОСТ 33682–2015 и ГОСТ 28001–88, ЗЕН — ГОСТ 31691–2012) и иммуноферментным методом (ГОСТ 31653–2012). Однако анализ микотоксинов достаточно сложен, требует использования дорогостоящего оборудования и токсичных экстрагирующих жидкостей (ацетонитрил, метанол и др.). Дополнительная трудоёмкость связана с использованием различных протоколов экстракции, в зависимости от анализируемого микотоксина и выбранного метода анализа.

Объективное выявление представленности в зерне токсинопродуцирующих видов грибов можно проводить методом количественной ПЦР (кПЦР), который, наряду с высокой скоростью анализа инфицированности зерна, показывает достоверную связь между содержанием ДНК определенного гриба и образуемых им микотоксинов. В последние годы кПЦР стали применять в мониторинговых исследованиях, проводимых на территории нашей страны (Gagkaeva et al., 2019; Каракотов и др., 2019; Орина и др., 2020). Ограничением внедрения таких методов, основанных на выявлении ДНК, для повсеместного анализа зараженности зерна грибами являются специальные лабораторные условия, дорогостоящие приборная база и расходные материалы.

Альтернативой ПЦР-диагностике для массового скрининга образцов может стать более доступный иммуноферментный анализ (ИФА), который основан на реакции «антиген-антитело» и мечении ферментом, дающим характерное окрашивание. ИФА характеризуется отсутствием необходимости в дорогостоящем оборудовании, высокой чувствительностью и быстротой получения результатов (до 3 часов). Несколько методик ИФА для определения грибов рода *Fusarium* были разработаны ранее для научных исследований (Иванова и др. 2019; Omori et al., 2019; Rohde et al., 2005; Unger, 1989).

Целью исследования являлась характеристика количественных показателей инфицирования зерна пшеницы грибами *Fusarium*, выявленных с помощью аналитических методов кПЦР и ИФА, позволяющих оперативно

выявлять партии зерна, не содержащие регламентированные микотоксины.

Материалы и методы исследований

Для модельных экспериментов использовали зерно озимой пшеницы, не заражённое грибами рода *Fusarium*.

Другие грибы *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, *Phoma* были выявлены единично. Микробиологическую чистоту зерна определяли согласно принятой в лаборатории методике микологического анализа (Гагкаева и др., 2011).

В исследование включили четыре штамма различных видов грибов рода *Fusarium*, продуцирующих микотоксины, содержание в зерне которых регламентировано в РФ (табл. 1).

Штаммы грибов выращивали на картофельно-сахарной агаризованной среде (КСА) в течение 7–10 суток. Затем в чашку Петри добавляли к культуре гриба 5 мл стерильной воды, тщательно перемешивали стерильным шпателем и переносили 200 мкл полученной суспензии (105 КОЕ/мл) в предварительно автоклавированную пробу зерна (30 г) исходного незараженного образца. Итоговая влажность инокулированных штаммами проб (инокулюмов) составляла 50%. Инокулюмы выдерживали в термостате при 25 °С, периодически перемешивая, чтобы заращение зерна мицелием грибов происходило равномерно. Условия выращивания на зерне всех штаммов были идентичны (субстрат, влажность, температура, освещенность, продолжительность). Спустя две недели проводили контрольный анализ зараженности инокулюмов, раскладывая по 10 инфицированных каждым штаммом зерен на КСА. В результате выявили 100% зараженность зерна соответствующим видом гриба всех инокулированных проб (рис. 1). Далее полученные инокулюмы высушивали при 50 °С и хранили при –20 °С до последующего использования.

Из исходного (незараженного фузариевыми грибами) образца зерна и инокулюмов, инфицированных разными штаммами *Fusarium*, готовили модельные образцы, имеющие зараженность зерна 0,5% или 1%. Отсчет чистых зерен производили с помощью автоматического счётчика семян (Wuhan Acme Agro Tech Co., Китай), зерна инокулюмов добавляли вручную. Все варианты были подготовлены в трёх повторностях (по три образца с заражённостью 0,5% и 1% для каждого из четырёх штаммов). Контрольным вариантом являлось зерно исходного незараженного *Fusarium* (0%) образца.

Размол модельных образцов выполняли в отдельных стерильных размольных стаканах с помощью лабораторной мельницы (IKA, Германия). После размола муку тщательно перемешивали и замораживали при –20 °С для дальнейших молекулярных и иммунохимических анализов.

Выделение ДНК из 200 мг образцов муки проводили с помо-

щью набора Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Литва). Концентрацию ДНК измеряли флуориметрически, используя набор реагентов Quant-iTdsDNA HS Assay Kit для Qubit 2.0 (Thermo Fisher Scientific, США). Количество в зерне ДНК видов грибов *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. langsethiae* и *F. sporotrichioides*, имеющих ген Tri5 в геноме и продуцирующих трихотеценовые микотоксины (Tri-Fusarium), оценивали методом кПЦР с пробками TaqMan (Halstensen et al., 2006). Реакции амплификации проводили с использованием системы CFX 96 real-time PCR (Bio-Rad, США). В каждом образце оценивали долю ДНК грибов к общей ДНК (пг/нг). Нижний достоверный предел выявления содержания ДНК грибов в пробе выделенной общей ДНК из образца муки установлен на уровне $5 \cdot 10^{-4}$ пг/нг.

Экстракцию метаболитов грибов *Fusarium* из 1 г муки проводили 0.1М натрий-фосфатным буфером (pH 7,2–7,4) в соотношении 1:10 (w/v). После инкубирования экстракта при температуре 20–25 °С в течение 30 мин, при постоянном встряхивании, на шейкере T-3L (ELMI, Латвия), проводили удаление нерастворимых частиц с помощью центрифугирования (Beckman, США). Определение антигенов *Fusarium* в полученных осветленных экстрактах проводили с использованием набора «*Fusarium* ИФА, «сэндвичный» вариант, кат№ K827» (ХЕМА, Россия). Оптическую плотность (ОП) финальных в анализе растворов определяли при длине волны 450 нм с помощью спектрофотометра (Thermo Scientific Multiskan FC, США). На основании полученных значений ОП определяли концентрации антигенов *Fusarium* в образцах (ед/г).

Для статистической обработки и визуализации полученных данных использовали программы Microsoft

Таблица 1. Штаммы грибов *Fusarium*, использованные в исследовании

Table 1. *Fusarium* strains used in the study

MFG*	Вид гриба	Происхождение, год выделения	Основные микотоксины
58727	<i>F. graminearum</i>	Московская область, 2014	ДОН, ЗЕН
46504	<i>F. culmorum</i>	Московская область, 2004	ДОН, ЗЕН
266011	<i>F. langsethiae</i>	Краснодарский край, 2018	Т-2 токсин
236303	<i>F. sporotrichioides</i>	Краснодарский край, 2016	Т-2 токсин

* номер штамма в коллекции лаборатории микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР.

Рис. 1. Зерновки пшеницы, искусственно инокулированные грибом *F. graminearum* (справа) и их инфицированность грибом (слева), анализируемая на питательной среде (КСА, 7 суток, 25 °С)

Fig. 1. Wheat grains artificially inoculated with the *F. graminearum* strain (right) and their infection (left), analyzed on a nutrient medium (PSA, 7 days, 25 °C)



Таблица 2. Содержание ДНК и антигенов грибов *Fusarium* в модельных образцах зерна пшеницыTable 2. The contents of DNA and antigens of *Fusarium* fungi in model samples of wheat grain

Гриб	Зараженность зерна, %	Среднее содержание, \pm ДИ	
		ДНК $\times 10^{-4}$, пг/нг	антигены, ед/г
Контроль	0	2 \pm 2	3 \pm 2
<i>F. culmorum</i>	0,5	4900 \pm 597	356 \pm 27
	1,0	6824 \pm 943	646 \pm 32
<i>F. graminearum</i>	0,5	1340 \pm 629	544 \pm 131
	1,0	3995 \pm 541	1254 \pm 45
<i>F. langsethiae</i>	0,5	4322 \pm 367	451 \pm 45
	1,0	7274 \pm 2779	596 \pm 129
<i>F. sporotrichioides</i>	0,5	4408 \pm 1668	926 \pm 283
	1,0	7793 \pm 1684	1453 \pm 187

Excel 2010 и GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Software, Inc.). Связь между количественными признаками оценивали с использованием линейного коэффициента корреляции Пирсона при условии достоверности различий $p < 0,05$. Различия между показателями оценивали с использованием t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение. Полученные результаты показали, что исходное зерно пшеницы содержало следовые количества ДНК грибов *Tri-Fusarium* и антигенов *Fusarium*, не превышающие нижний достоверный предел методов определения, а модельные образцы существенно различались по анализируемым количественным показателям (табл. 2).

Содержание ДНК *Tri-Fusarium* в модельных образцах варьировало от $1340 \cdot 10^{-4}$ до $7793 \cdot 10^{-4}$ пг/нг, а диапазон содержания антигенов фузариевых грибов составил 356–1453 ед/г. Максимальные количества ДНК *Tri-Fusarium* и антигенов *Fusarium* выявлены в образце зерна с зараженностью 1% штаммом *F. sporotrichioides*.

Логично, что с увеличением процента зараженных зёрен в образцах возрастали количества выявляемых ДНК (в 1,4–3 раза, в зависимости от вида) и антигенов *Fusarium* (в 1,3–2,3 раза). В среднем увеличение зараженности зерна с 0,5 до 1% приводило к увеличению ДНК и антигенов в зерне в 1,7 раз.

Статистически достоверной связи между количествами ДНК *Tri-Fusarium* и антигенами анализируемых грибов в модельных образцах зерна не выявлено. Обнаружена достоверная положительная связь только между количествами ДНК и антигенов наиболее агрессивных видов *F. graminearum* и *F. culmorum* ($r = +0,83$ – $0,97$, $p < 0,05$).

Согласно проведенным исследованиям ККТ, соответствующая 1% зараженности зерна, составила при анализе ДНК *Tri-Fusarium* и антигенов *Fusarium* $6472 \cdot 10^{-4}$ пг/нг ДНК и 987 ед/г, соответственно (рис. 2). Данные значения могут быть количественными ориентирами, соответствующими рутинному визуальному анализу зараженности зерна, предлагаемому в настоящее время (ГОСТ 31646–2012). При выявлении количеств ДНК и антигенов фузариевых грибов, равных ККТ или выше, зерно в обязательном порядке должно подвергаться микотоксикологическому анализу. Однако учитывая видовое и внутривидовое разнообразие грибов *Fusarium*, на основании анализа содержания ДНК и антигенов отдельных видов мы устанавливаем нижний критический предел (КП) в случае ДНК — $3955 \cdot 10^{-4}$ пг/нг, а

антигенов *Fusarium* — 596 ед/г, которые соответствуют показателям зерна с 1% зараженностью грибом *F. graminearum*, при выявлении которого зерно желательно отправлять на анализ микотоксинов. Все партии зерна, у которых значения, выявленные аналитическими методами КПКР и ИФА, ниже КП, могут без дополнительных анализов использоваться на переработку.

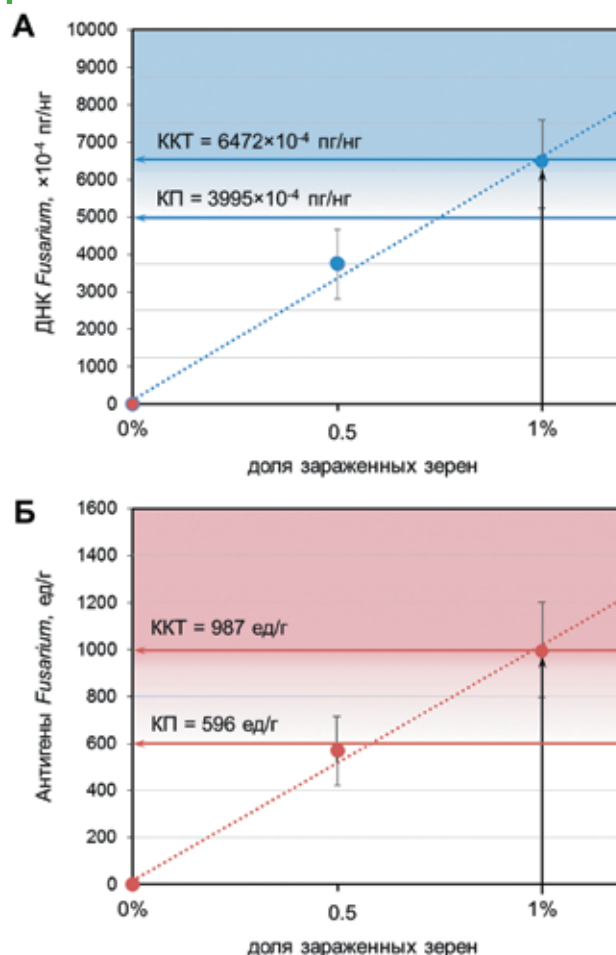
Требования к качеству продукции растениеводства, в частности зерна, с каждым годом растут и ужесточаются, поэтому назрела необходимость повышения объективности контроля его качества перед последующим использованием. Закреплённый ГОСТом 31646–2012 метод определения содержания

фузариозных зерен, основанный на визуальной оценке зерна пшеницы, приводит к значительной субъективности характеристики качества зерна. Известно, что розовая окраска зерна может быть связана с инфицированностью бактериями (Roberts, 1974), физиологическими причинами (Семенов и др., 1976; Егорова и др., 2013).

Предлагаемые нами для определения зараженности зерна аналитические методы соответствуют требо-

Рис. 2. Связь между зараженностью зерна грибами *Fusarium* и содержанием их ДНК (А) и антигенов (Б) в модельных образцах пшеницы

Fig. 2. Relationship between the grain infection with *Fusarium* fungi and the contents of their DNA (A) and antigens (B) in model wheat samples



ваниям системы менеджмента безопасности пищевой продукции, (Науменко и др., 2019). Создание скрининговой системы оценки количественного присутствия токсинопродуцирующих грибов в зерне позволит уменьшить временные потери на анализ и отбраковку явно загрязненных партий некачественного зерна. Выявление значительного присутствия биомассы гриба (критический предел) будет сигнализировать о необходимости направления партии зерна на анализ микотоксинов. В тоже время отсутствие инфицированного фузариевыми грибами зерна (их ДНК или антигенов) позволит вовремя исключать из анализа чистые партии, что позволит значительно сэкономить денежные и трудозатраты.

Диагностическая ценность выявления содержания первичных метаболитов грибов *Fusarium* (ДНК, антигены) в тканях растения несомненна, но их использование сопряжено со значительными трудностями методического характера, которые нельзя недооценивать. Поскольку в одном образце зерна, а часто и в одной зерновке могут сосуществовать несколько видов грибов, продуцирующих различные микотоксины, то выявление одного вида гриба/микотоксина не является экономически эффективным вариантом анализа.

Использование в нашем исследовании для кПЦР группоспецифичных праймеров, способных выявлять ДНК всех грибов, продуцирующих трихотеценовые микотоксины, свидетельствует о высокой перспективности ДНК-диагностики для количественного выявления грибов в зерне. Новизной исследования стал ИФА,

позволяющий выявлять присутствие антигенов грибов *Fusarium*. Его преимуществом является возможность проведения скрининга содержания сразу всех видов фузариевых грибов в зерне, и достаточно быстрый отбор партий, однозначно не представляющих опасность по показателю содержания микотоксинов. Установление критических пределов по ДНК или антигенам грибов *Fusarium* позволит объективно утверждать, что содержание любых видов фузариевых грибов ниже этих пределов, не приводит к накоплению микотоксинов в количествах, превышающих ПДК.

При выборе наилучшего варианта характеристики микробиологического качества зерна в случае массового скрининга, где в качестве критерия также принимают материальные расходы и время, затраченные на анализ, использование ИФА, вероятно, является предпочтительней.

Выводы

Предложено аналитическое решение проблемы количественного определения в зерне грибов, в том числе значительно ухудшающих его качество. Система оценки количественного присутствия ДНК или антигенов токсинопродуцирующих грибов *Fusarium* позволит производить скрининг партий зерна и их сортировку на заведомо свободные от регламентированных микотоксинов и те, которые требуют дальнейшего микотоксикологического анализа. Важным преимуществом данной скрининговой системы является её объективность и скорость проведения анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилова О.П., Орина А.С., Гогина Н.Н. и др. Проблема фузариоза зерна в Зауралье: ретроспектива исследований и современная ситуация. *Аграрный вестник Урала*. 2020;07(198):29–40.
2. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. и др. Фузариоз зерновых культур. *Приложение к журналу Защита и карантин растений*. 2011;(5):59–120.
3. Егорова Е.Ю., Обрезкова М.В. Зерно и зернопродукты. Книга 1. Зерно, мука, крупы. Технология и оценка качества. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. 182 с.
4. Иванова А.Е., ШUTOVA А.С., Генесен А.В. и др. Определение мицелия и антигенов ряда видов микромицетов в почвенных экстрактах методом иммуноферментного анализа. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020;56(1):69–75.
5. Каракотов С.Д., Аршава Н. В., Башкатова М. Б. Мониторинг и контроль заболеваний пшеницы в Южном Зауралье. *Защита и карантин растений*. 2019;(7):18–25.
6. Матисон В.А., Прокопова М.А., Арутюнова Н.И. и др. Принципы анализа риска в пищевых системах. *Пищевая промышленность*. 2014;(9):36–38.
7. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Калинина И.В. Обеспечение производства безопасной цельнозерновой муки из пророщенного зерна пшеницы на основе принципов СМБПП. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2019;(4):103–117.
8. Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю. и др. Микромицеты *Alternaria* spp. и *Bipolaris sorokiniana* и микотоксины в зерне, выращенном в Уральском федеральном округе. *Микология и фитопатология*. 2020;54(5):365–377.
9. Семенов А.Я., Потлайчук В.И. Порозовение семян не заводит от фузариоза. *Защита растений*. 1976;(7):42.
10. Шипилова Н.П., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю. Влияние зараженности грибами рода *Fusarium* на качественные харак-

теристики зерна озимой пшеницы. *Вестник защиты растений*. 2014;(4):27–31.

11. Argyris J., Van Sanford D., TeKrony D. *Fusarium graminearum* infection during wheat seed development and its effect on seed quality. *Crop Science*. 2003;43(5):1782–1788.

12. Gagkaeva T., Gavrilova O., Orina A. et al. Analysis of toxigenic *Fusarium* species associated with wheat grain from three regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia. *Toxins*. 2019;11(5):252.

13. Hallen-Adams H.E., Wenner N., Kuldau G.A., Trail F. Deoxynivalenol biosynthesis-related gene expression during wheat kernel colonization by *Fusarium graminearum*. *Phytopathology*. 2011;101(9):1091–1096.

14. Halstensen A.S., Nordby K.C., Eduard W. et al. Real-time PCR detection of toxigenic *Fusarium* in airborne and settled grain dust and associations with trichothecene mycotoxin. *Journal of Environmental Monitoring*. 2006;8(12):1235–1241.

15. Omori A.M., Ono E.Y.S., Hirozawa M.T. et al. Development of indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay to detect *Fusarium verticillioides* in poultry feed samples. *Toxins*. 2019;11(1):48.

16. Roberts P. *Erwinia raphanici* (Millard) Burkholder associated with pink grain of wheat. *Journal of Applied Bacteriology*. 1974;37(3):353–358.

17. Rohde S., Rabenstein F. Standardization of an indirect PTA-ELISA for detection of *Fusarium* spp. in infected grains. *Mycotoxin Research*. 2005;21(2):100–104.

18. Unger J. Entwicklung und Erprobung eines ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) zum Nachweis von *Fusarium culmorum* (W.G.S.M.) Sacc. und *Pseudocercospora herpotrichoides* (fron.) deigh. in weizen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades des Fachbereichs Agrarwissenschaften (Landwirtschaftliche Fakultät) der Georg-August-Universität Göttingen. 1989. 144 p.

REFERENCES

1. Gavrilova OP, Orina AS, Gogina N.N. et al. The problem of grain fusarium in the Trans-Urals: a retrospective of research and the current situation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020;07(198):29–40. (In Russ.)

2. Gagkaeva T.Yu., Gavrilova OP, Levitin M.M. and other Fusarium of grain crops. *Supplement to the journal Plant Protection and Quarantine*. 2011;(5):59–120. (In Russ.)

3. Egorova E.Yu., Obrezkova M.V. Grain and grain products. Book 1. Grain, flour, cereals. Technology and quality assessment. *Alt. state tech. un-t, BTI. Bysk: Publishing house Alt. state tech.*

un-ta, 2013. 182 p. (In Russ.)

4. Ivanova A.E., Shutova A.S., Gennesen A.V. et al. Determination of mycelium and antigens of a number of micromycete species in soil extracts by enzyme immunoassay. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2020;56(1):69-75. (In Russ.)

5. Karakotov S.D., Arshava N.V., Bashkatova M.B. Monitoring and control of wheat diseases in the Southern Trans-Urals. *Plant protection and quarantine*. 2019;(7):18-25. (In Russ.)

6. Matison V.A., Prokopova M.A., Arutyunova N.I. and other Principles of risk analysis in food systems. *Food industry*. 2014;(9):36-38. (In Russ.)

7. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Kalinina I.V. Ensuring the production of safe wholemeal flour from sprouted wheat grains based on the principles of FSMS. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2019;(4):103-117. (In Russ.)

8. Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. et al. Micromycetes Alternaria spp. and Bipolaris sorokiniana and mycotoxins in grain grown in the Ural Federal District. *Mycology and phytopathology*. 2020;54(5):365-377. (In Russ.)

9. Semenov A.Ya., Potlaychuk V.I. The pinking of seeds does not depend on Fusarium. *Plant protection*. 1976;(7):42. (In Russ.)

10. Shipilova N.P., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. Influence of infection by fungi of the genus Fusarium on the quality characteristics of winter wheat grain. *Plant Protection Bulletin*. 2014;(4):27-31. (In Russ.)

11. Argyris J., Van Sanford D., TeKrony D. *Fusarium graminearum* infection during wheat seed development and its effect on seed quality. *Crop Science*. 2003;43(5):1782-1788.

12. Gagkaeva T., Gavrilova O., Orina A. et al. Analysis of toxigenic *Fusarium* species associated with wheat grain from three regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia. *Toxins*. 2019;11(5):252.

13. Hallen-Adams H.E., Wenner N., Kulda G.A., Trail F. Deoxynivalenol biosynthesis-related gene expression during wheat kernel colonization by *Fusarium graminearum*. *Phytopathology*. 2011;101(9):1091-1096.

14. Halstensen A.S., Nordby K.C., Eduard W. et al. Real-time PCR detection of toxigenic *Fusarium* in airborne and settled grain dust and associations with trichothecene mycotoxin. *Journal of Environmental Monitoring*. 2006;8(12):1235-1241.

15. Omori A.M., Ono E.Y.S., Hirozawa M.T. et al. Development of indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay to detect *Fusarium verticillioides* in poultry feed samples. *Toxins*. 2019;11(1):48.

16. Roberts P. *Erwinia raphanici* (Millard) Burkholder associated with pink grain of wheat. *Journal of Applied Bacteriology*. 1974;37(3):353-358.

17. Rohde S., Rabenstein F. Standardization of an indirect PTA-ELISA for detection of *Fusarium* spp. in infected grains. *Mycotoxin Research*. 2005;21(2):100-104.

18. Unger J. Entwicklung und Erprobung eines ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) zum Nachweis von *Fusarium culmorum* (W.G.S.M.) Sacc. und *Pseudocercospora herpotrichoides* (Fron.) deigh. in weizen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades des Fachbereichs Agrarwissenschaften (Landwirtschaftliche Fakultät) der Georg-August-Universität Göttingen. 1989. 144 p.

ОБ АВТОРАХ:

Юрий Степанович Лебедин, кандидат медицинских наук, генеральный директор, lebedin@xema.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4250-4322>

Александра Станиславовна Орина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, orina-alex@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7657-6618>

Ольга Павловна Гаврилова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, olgagavrilova1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5350-3221>

Татьяна Юрьевна Гагкаева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, t.gagkaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3276-561X>

Валентина Николаевна Майгурова, менеджер клиентского сервиса отделов ветеринарии, криминалистики и пищевой безопасности, vmaigurova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8402-2706>

Павел Александрович Петухов, заместитель генерального директора по развитию бизнеса, onco.xema@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0845-4563>

ABOUT THE AUTHORS:

Yuri S. Lebedin, Candidate of Medical Sciences, general director, lebedin@xema.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4250-4322>

Alexandra S. Orina, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory of mycology and phytopathology, orina-alex@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7657-6618>

Olga P. Gavrilova, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory of mycology and phytopathology, olgagavrilova1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5350-3221>
Tatyana Yu. Gagkaeva, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory of mycology and phytopathology, t.gagkaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3276-561X>

Valentina N. Maigurova, customer support manager of the veterinary, criminalistics and food safety departments, vmaigurova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8402-2706>

Pavel A. Petukhov, deputy general director for business development, onco.xema@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0845-4563>

НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ •

Посевы озимых нужно спасать от мышей

Посевам озимых культур и многолетних трав в ряде регионов России серьезно угрожают мыши. Такой вывод следует из подготовленного Россельхозцентром фитосанитарного обзора по итогам 2020 года и предварительным прогнозам на 2021 год.

В документе отмечается, что в весенний период 2021 года мышевидные грызуны продолжают заселять посевы озимых зерновых культур, пастбища и лесополосы. Увеличение численности ожидается при возобновлении вегетации озимых зерновых культур весной. При сохранении высокой численности мышевидные грызуны будут массово повреждать всходы озимых культур и многолетних трав.

По данным Россельхозцентра, в 2020 году мыши были обнаружены на 6,2 млн га из обследованных 17,8 млн га. В ряде регионов отмечен рост их численности. Обработки проведены на 3,8 млн га. Наибольшие площади были обработаны в регионах Южного, Северо-Кавказского и Центрального федеральных округов.

