

УДК 632.4:633.11«324» (470.61)

ГРИБНЫЕ ВОЗБУДИТЕЛИ ПЛЕСЕНИ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. Н. И. Будынков^{1,*}, С. Н. Михалева¹, Л. Н. Ульяненко¹, А. П. Глинушкин¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: oranzar@yandex.ru

Многолетний мониторинг колонизации зерна озимой пшеницы грибными возбудителями плесени, негативно влияющими на качество зерна при хранении, снижающими качество посевного материала, пищевого зерна и фуража, показал, что высокий уровень встречаемости на зерне ростовских образцов озимой пшеницы за период 2014–2021 гг. проявили плесневые грибы *Mucor* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, виды рода *Penicillium*. Относительно низкую встречаемость наблюдали у видов *Rhizopus nigricans*, *Cladosporium herbarum*. Возбудители плесени являются продуцентами опаснейших микотоксинов: охратоксина А (виды *Penicillium*, *Aspergillus niger*, *A. glaucus*), афлотоксина В₁ (*A. flavus*), ризонинов (*Rhizopus* spp.) и др. В регионах Юга России при сильной засухе в почве и на нижних частях растений нередко отмечено накопление гриба *Penicillium purpureogenum*, на некоторое время он мог стать доминирующим. При восстановлении уровня влагообеспеченности наблюдали снижение встречаемости *P. purpureogenum*, нередко до нулевых показателей и увеличение встречаемости муконовых грибов (*Fusarium solani*, *F. semitectum*), неспорулирующих грибов *Mycelia sterilia* и др., заметное возрастание общей плотности грибных колоний. Наибольший уровень наружной инфекции зерна был обусловлен колонизацией зерновок грибами из группы *Penicillium*, также *A. glaucus* и *A. niger*, наибольший уровень внутренней инфекции — группой *Penicillium*, *Rhizopus nigricans*, *A. niger*. Доминирование наружной инфекции над внутренней наблюдали при колонизации пенициллами и аспергиллами, доминирование внутренней над наружной — ризопусом и кладоспориумом.

Ключевые слова: озимая пшеница, встречаемость, колонизация, возбудители плесени, патогены, микотоксины, севооборот, культура-предшественник, агроценоз.

DOI: 10.31857/S0002188124050048, EDN: CZJXDV

ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница является важнейшей полевой культурой Юга России. Во многих хозяйствах она занимает больше половины посевных площадей. Выращивание озимой пшеницы в этом регионе производят, применяя в основном интенсивные технологии с элементами минимизации обработки почвы, что создает благоприятные условия не только для активного развития растений и получения высоких урожаев, но и для проявления грибных заболеваний — гнилей, трахеомикозов, листовых пятнистостей и др., накоплению опасных грибов в агроценозах (на растениях, растительных остатках, в почве), на полученном зерне. Разработка эффективных методов борьбы с болезнями семян в период хранения требует углубленного изучения биологии их возбудителей — особенностей развития в зависимости от внешних факторов, а также их влияния на посевные качества семян. Зерновая микробиота может активно влиять на свойства

зерна — посевные, фуражные и продовольственные качества. Знание видового состава, закономерностей развития и взаимоотношений отдельных представителей семенной микрофлоры позволяет регулировать режимы хранения, продлевать сроки сохранения высокого качества посевного материала, пищевого зерна и фуража. На посевные качества зерна (семян) оказывают влияние патогены и возбудители плесени, которые могут снижать всхожесть, силу роста; они оказывают также негативное воздействие на потребительские качества зерна (продовольственного, фуражного) — натуру, стекловидность, хлебопекарные свойства, содержание клейковины, белка, загрязненность микотоксинами. Возбудители плесени являются продуцентами опаснейших микотоксинов: охратоксина А (виды *Penicillium*, *Aspergillus niger*, *A. glaucus*), афлотоксина В₁ (*A. flavus*), ризонинов (*Rhizopus* spp.) и др. В стрессовые периоды вегетации возбудители плесени могут накапливаться на растениях, оказывая на них депрессирующее влияние, а также

на растительных остатках и в почве, являясь компонентами микробиологической структуры полевых агроценозов и индикаторами уровня их деградации [1, 2]. При заметном депрессивном влиянии плесневых грибов на биологические компоненты агроценозов может возникать необходимость коррекции микробиологической структуры путем изменения схем севооборотов, микробиологической санации растительных остатков и др.

Конструктивная коррекция качественных и количественных показателей семенного микробиома — один из путей получения высоких урожаев полноценной продукции, а также оптимизации микробиологической структуры полевых агроценозов.

Цель работы — обобщение многолетних данных мониторинга динамики возбудителей плесени, микотоксикантов на зерне озимой пшеницы в зернопроизводящих хозяйствах Ростовской обл.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на образцах зерна озимой пшеницы с производственных полей Ростовской обл. в лаборатории ВНИИФ в 2015–2021 гг. Образцы зерна отбирали в пунктах временного хранения (токи, зернохранилища) хозяйств региона.

Микробиологические анализы в условиях лаборатории ВНИИФ проводили по методике с использованием искусственной питательной среды Чапека [3–5]. Зерновки озимой пшеницы закладывали на питательную среду с целью оценки уровня их наружной и внутренней колонизации микроорганизмами грибной природы. Анализ видового состава микробиоты *in vitro* проводили на 7-е сут инкубации. Видовую принадлежность образующихся на питательной среде колоний микромицетов определяли по морфолого-культуральным показателям и форме органов споруляции (конидиеносцев, конидий, асков, спор и др.) с помощью микроскопирования [3, 4, 6].

Учитывали количество колоний микроорганизмов разных видов, выделенных *in vitro*, далее вычисляли долю (%) каждого выделенного микроорганизма относительно числа зерновок, размещенных на питательной среде; проводили подсчет доли проанализированных образцов зерна с колонизацией тем или иным микроорганизмом. На основании перечисленных данных вычисляли ежегодные и средние за 2014–2021 гг. показатели.

В работе приведены результаты оценки уровня колонизации зерна озимой пшеницы наиболее часто встречающимися микромицетами — возбудителями плесени различной степени опасности по средним показателям за 7 лет исследования, а также максимальные и минимальные среднегодовые показатели за оценочный период.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ежегодные оценки микробиоты семенного и продовольственного зерна озимой пшеницы в хозяйствах юга России показали, что их колонизирует относительно стабильный круг микромицетов различного уровня патогенности и потенциальной микотоксичности, а также сапротрофов — нейтральных и антагонистических. Среди перечисленных групп грибов есть доминирующие, как сапротрофные, так и патогенные, а также встречающиеся единично и не каждый год. В проведенном исследовании определяли 2 показателя: средний за 7 лет показатель доли образцов, в которых встречался тот или иной микромицет, и показатель доли колонизированных им зерновок в образцах. Данные показатели учитывали относительно наружной и внутренней инфекции. Высокий уровень встречаемости на зерне озимой пшеницы ростовских образцов проявили плесневые грибы *Mucor* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, представители рода *Penicillium*. Относительно низкую встречаемость отметили у видов *Rhizopus nigricans*, *Cladosporium herbarum*.

Возбудители плесени могут вызывать при хранении значительные потери зерна, ухудшение его качества. Их активное развитие приводит к негативным изменениям цвета зерна, запаха, содержания в зерне жиров, аминокислот, сухого вещества, снижению натурального показателя, накоплению микотоксинов [7].

В проведенном исследовании среди возбудителей плесени зерновок доминировали представители рода *Mucor* (порядок Mucorales), относительно нейтральные быстрорастущие микотоксикологические грибы. В образцах из Ростовской обл. 2015–2021 гг. наружное инфицирование зерна мукорами отмечено в 66.8% образцов, внутреннее — в 73.2%. Среднегодовые величины доли образцов, инфицированных мукорами за контрольный период, составляли для наружной инфекции 35–100, для внутренней — 56–100%. Отмечено некоторое преобладание доли образцов с внутренней инфекцией над количеством образцов с наружной (табл. 1).

В полевых агроценозах муконовые грибы (*Mycor* spp., *Rhizopus* spp. и др.) имеют значение как быстро растущие экспансивные формы, быстро связывающие органику частей растений, отмирающих после перезимовки, в результате затенения листьев в период от позднего трубкования до полной спелости и др. Кроме того, они могут быть индикатором избыточной загрязненности агроценозов (полевых, тепличных) действующими веществами средств защиты растений, накопления в агроценозе токсичных грибов (в основном пенициллов) — в подобных случаях муконы встречаются лишь в очень небольших количествах и зачастую их

Таблица 1. Доля образцов зерна озимой пшеницы с колонизацией возбудителями плесени (Ростовская обл., 2015–2021 гг.)

Микроорганизм	Тип инфекции	Доля образцов зерна с микроорганизмом, %	
		Средняя для 7-ми лет	Диапазон показателя по годам
Возбудители плесени токсикологически нейтральные			
<i>Mucor</i> spp.	Внутренняя	73.2	56–100
	Наружная	66.8	35–100
Возбудители плесени, микотоксианты			
<i>Penicillium</i> spp.	Внутренняя	21.0	3–52
	Наружная	20.2	6–44
<i>Aspergillus niger</i>	Внутренняя	14.1	3–30
	Наружная	15.0	3–41
<i>Aspergillus glaucus</i>	Внутренняя	9.5	2–26
	Наружная	15.8	6–48
<i>Aspergillus flavus</i>	Внутренняя	5.0	3–21
	Наружная	5.6	2–26
<i>Rhizopus nigricans</i>	Внутренняя	8.0	0–23
	Наружная	2.3	0–7
<i>Cladosporium herbarum</i>	Внутренняя	1.3	0–7
	Наружная	0.7	0–5

трудно обнаружить [8, 9]. Виды муковых грибов относятся к физиологическим группам некротрофов и полусапротрофных микофилов в зависимости от типа паразитизма, изменчивости на разных хозяевах, активности их антибиотических веществ и др. Штаммы муковых грибов иногда проявляют сверхпаразитические свойства против видов фитопатогенов из родов *Botrytis*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Helminthosporium* и др. [9]. В то же время даже при активном заселении озимой пшеницы муками их микофильная активность не помешала 6–9-кратному возрастанию уровня колонизации зерна опасным патогеном *F. moniliforme* за 7 лет [9, 10].

На втором месте по встречаемости образцов зерна с колонизацией возбудителями плесени оказались грибы из рода *Penicillium*. В среднем за 7 лет доля образцов с внутренней инфекцией пенициллов составила 21.0%, с наружной – 20.2% при размахе вариации по годам соответственно 3–52% и 6–44%. Это значительно меньше, чем у муко-
ральных грибов. Штаммы многих видов пенициллов являются продуцентами охратоксинов, патулина и других микотоксинов, опасных для потребителей продуктов из пищевого зерна и фуража, колонизированных токсиногенными штаммами пенициллов. В условиях сильной засухи в почве и на нижних частях растений нередко отмечают накопление гриба *Penicillium purpureogenum*. Его отдельные штаммы являются продуцентом рубротоксинов [11]. В проведенных нами исследованиях в период осенней засухи на полях хозяйства Саратовской обл. наблюдали накопление пенициллов

этого вида. В то же время через 2 мес., при повышении влагообеспеченности за счет предзимних осадков произошло значительное снижение его относительной встречаемости на фоне резкого увеличения количества других видов грибов, что свидетельствовало об относительной ценотической нейтральности *P. purpureogenum* (табл. 2).

На поле 16А от августа к ноябрю было отмечено двукратное снижение встречаемости данного пеницилла, на полях 17А и 27 – соответственно с 37 и 52% до нулевых показателей. В этот же период происходило значительное увеличение встречаемости муковых грибов, *Fusarium solani*, *F. semitectum*, неспорулирующих грибов *Mycelia sterilia* при возрастании общей плотности грибных колоний в 1.1–2.1 раза.

Анаморфные представители рода *Aspergillus* имеют широкое распространение и встречаются на семенах, вегетирующих растениях, плодах многих видов травянистых и древесных растений культурной и дикой флоры [12]. В наших исследованиях микробиоты зерна озимой пшеницы аспергиллы уступали мукам и пенициллам по встречаемости зараженных ими образцов зерна. Среди аспергиллов зерновой микофлоры Ростовской обл. доминирующим оказался *Aspergillus niger*, который в среднем за 7 лет изучения был выявлен в виде внутренней инфекции в 14.1% образцов зерна, в виде наружной – в 15%. Среднегодовые показатели встречаемости колонизированных *A. niger* образцов варьировали в этот период для внутренней инфекции от 3 до 30%, для

Таблица 2. Изменение встречаемости в почве гриба *Penicillium purpureogenum* при переходе от острой засухи в августе к высокой влагообеспеченности в ноябре в агроценозах запада Саратовской обл. (2015 г.)

Микроорганизм	Встречаемость, %					
	Поле 16А (164 га)		Поле 17А (160 га)		Поле 27 (180 га)	
	11.08	11.11	11.08	11.11	11.08	11.11
<i>Penicillium purpureogenum</i>	20	10	37	0	52	0
<i>Mucor</i> spp.	2	9	1	17	1	16
<i>Fusarium solani</i>	73	65	70	80	40	60
<i>F. avenaceum</i>	8	0	0	0	0	0
<i>F. semitectum</i>	0	54	0	50	0	0
<i>F. oxysporum</i>	0	0	0	0	4	0
<i>F. moniliforme</i>	0	0	0	0	7	0
<i>Mycelia sterilia</i>	11	17	10	20	13	50
<i>Geotrichum candidum</i>	0	15	0	0	0	0
Общая плотность грибных колоний	114	170	118	167	117	126

наружной — от 3 до 41%. Сходные результаты были получены испанско-итальянским коллективом авторов при изучении микробиоты муки, где также доминировали пенициллы и аспергиллы. Авторы исследования пришли к выводу, что альтернатива, кладоспориум, фузариум и гелиминтоспориум встречаются чаще в полевых условиях, в то время как *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor* и близкий к аспергиллам *Eurotium* являются более распространенными загрязнителями на этапе послеуборочной обработки [13], наши результаты относительно альтернативных грибов на зерне это мнение не подтвердили [29]. Аспергиллы отличает высокая жизнеспособность, они способны выживать в условиях очагов промышленных загрязнений, их значительное присутствие выявлено в почвах фоновых зон Мончегорского и Череповецкого промышленных районов [14]. По особенностям взаимодействия с патогенными грибами *A. niger* отнесен к полусимбиотическим микофилам, отдельные штаммы которого проявляют микофильные свойства к патогенным грибам из родов *Botrytis*, *Verticillium*, *Helminthosporium*, *Fusarium* [9]. Судя по литературным данным, некоторые штаммы *A. niger* способны продуцировать охратоксин А [15, 16].

Доля образцов зерна озимой пшеницы, зараженных грибом *Aspergillus glaucus*, составляла в среднем за 2015–2021 гг. для внутренней инфекции 9.5%, наружной — 15.8% с размахом вариации по годам 2–26 и 6–48% соответственно (табл. 1). Отдельные штаммы *A. glaucus* продуцируют охратоксин А [17]. Последствиями его употребления с инфицированными кормами являются снижение животными потребления корма, темпов роста, иммунитета, почечная недостаточность, повышенная смертность [18].

Продуцентом одного из наиболее опасных микотоксинов — афлотоксина В₁ является *Aspergillus*

flavus. Токсикант выделен нами из зерна озимой пшеницы в виде внутренней инфекции из 5.0% образцов зерна, в виде наружной — из 5.6%. Размах вариации среднегодовых показателей доли зараженных образцов находился за период изучения для внутренней инфекции на уровне 3–21, для наружной — 2–26%.

На единичных полях отмечено значительное присутствие аспергилловых грибов в почве. Есть мнение, что они являются активными почвенными супрессорами [19], однако нашими полевыми исследованиями на нуте это не подтвердилось — на высеянных в почву семенах нута с высоким уровнем колонизации аспергиллами их количество на фоне супрессивной почвенной микробиоты полевых агроценозов в течение нескольких недель практически обнулялось, сопровождаясь накоплением патогенных для нута грибов из рода *Fusarium* [5]. В то же время отдельные примеры проявления микофильных свойств, подавления аспергиллами других микромикробов в условиях лаборатории ряду авторов удалось отметить [19]. Накопление аспергиллов в ризосферном и ризоплановом комплексах, в почве периодически наблюдают, поэтому причины накопления аспергиллов (микотоксикантов) в агроценозах необходимо изучать.

Еще одним из выделенных нами на пшенице представителей зерновой инфекции порядка *Mucorales* был вид *Rhizopus nigricans*. В среднем за годы изучения он выделялся в виде внутренней инфекции из 8% образцов зерна, в виде наружной — из 2.3%. Среднегодовые показатели встречаемости колонизированных *R. nigricans* образцов варьировали в этот период для внутренней инфекции от 0 до 23, для наружной — от 0 до 7%. Гриб быстрорастущий и при высокой влажности воздуха способен нанести существенный вред

в зернохранилищах. Наиболее активно он колонизирует семена зернобобовых культур [5], встречается в меньших количествах на зерновках ячменя [20], пшеницы, на растениях пшеницы и в ризосфере [21]. Выделяли его также с земляных орехов [22], из соргового солода [23], со многих фруктов и овощей после уборки [24]. *Rhizopus nigricans* может продуцировать микотоксины ризонины А и В [22, 23, 25, 26], хотя есть утверждения, что синтез данного микотоксина больше связан с бактериями, принадлежащими к роду *Burkholderia* [22].

В незначительном количестве образцов зерна был обнаружен гриб *Cladosporium herbarum*. За 7 лет изучения он был выявлен в виде внутренней инфекции из 1.3% образцов зерна, в виде наружной — из 0.7%. Среднегодовые показатели встречаемости колонизированных *C. herbarum* образцов зерна варьировали в период 2015–2021 гг. для внутренней инфекции от 0 до 7, для наружной — от 0 до 5%. Виды кладоспориума могут продуцировать микотоксичные соединения кладоспорин, изокладоспорин, эмодин, эпикладоспоровую кислоту, фагикладоспориновую кислоту, алкалоиды [27]. Грибы данного рода выделяли в ряде исследований отечественные и зарубежные исследователи с зерна ячменя [28], пшеницы [29–33], кукурузы [34]. Встречаемость кладоспориевых грибов в почвах Иркутской обл. под зерновыми в 2004 г. в среднем составила 12% [35]. Виды данного рода отнесены к полусапротрофным микофилам, штаммы *C. herbarum* проявляют микофильные свойства по отношению к патогенным грибам из родов *Helminthosporium*, *Sphaceloma amptlinum*, реже — *Verticillium* [9].

Годы изучения семенной инфекции были разнообразными по уровню увлажнения во время вегетационного сезона и уборки урожая. В 2016

и 2017 гг. отмечено избыточное увлажнение, 2015 г. был острозасушливым. При этом разнообразии внешних условий средний показатель доли образцов зерна, инфицированных видами возбудителей плесени, за 7-летний период (исключая мукоровые грибы) не превышал 21% (рис. 1).

По доле инфицированных образцов отмечено доминирование видов *Penicillium* и 2-х видов аспергиллов — *A. niger* и *A. glaucus*. Образцов с внутренней инфекцией в группе *Penicillium* spp., а также среди видов *R. nigricans*, *Cl. herbarum* было больше, чем с наружной, у всех видов выделенных аспергиллов преобладала наружная инфекция.

Важнейшим показателем состояния инфицированности семян микромицетами является доля инфицированных зерен в образце. Она является индикатором опасности для использования соответствующих партий зерна в качестве семенного, а также в качестве пищевого или фуражного. Ограничения на использование зерна в качестве семенного накладывает уровень колонизации зерновок опасными патогенами, которые могут вызвать депрессию или гибель проростков, растений. Об осторожности в использовании зерна для пищевых или фуражных целей предупреждает зараженность грибами-микотоксикантами, особенно продуцентами микотоксинов с низкими ПДК: Т-2 токсина, охратоксина А, афлотоксина В₁ (*F. sporotrichiella*, виды *Penicillium*, *Aspergillus flavus*). Даже в случае незначительной колонизации зерна штаммами-продуцентами перечисленных микотоксинов велика опасность его использования без токсикологической оценки. Об этом же может свидетельствовать высокий уровень колонизации зерна продуцентами менее “концентрированных”

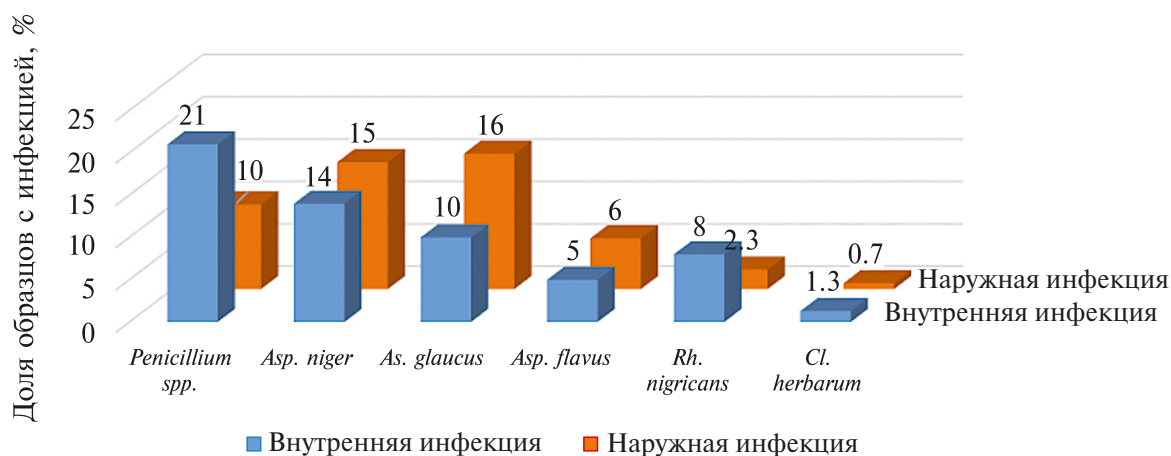


Рис. 1. Доля образцов зерна пшеницы, колонизированных грибными возбудителями плесени (Ростовская обл., 2015–2022 гг.).

микотоксинов, например, фумонизинов, если зараженность *F. moniliforme* достигает 70–90%.

Проведенный анализ уровня наружного и внутреннего инфицирования зерна озимой пшеницы в Ростовской обл. показал, что среди продуцентов плесени по данным показателям доминировали токсикологически нейтральные грибы из рода *Mucor* порядка Mucorales (табл. 3).

Показатели средних долей зерен с наружной и внутренней инфекцией *Mucor* spp. за период 2015–2021 гг. составляли соответственно 20.3 и 18.7% образцов. Диапазон средних показателей внутренней инфекции за 7-летний период находился в пределах 8.6–29.7, наружной – 11.5–31.1%.

Средние за 7 лет максимальные показатели колонизации муковоровыми грибами находились для наружной инфекции на уровне 56.0, для внутренней – 42.3% с размахом вариации соответственно 36–80 и 25–70%. При средних показателях количества инфекции ее вполне достаточно во влажных условиях хранения для развития муковоральной плесени, на максимально инфицированных образцах опасность развития плесени многократно возрастала.

Заметно уступал по уровню наружного и внутреннего инфицирования зерна озимой пшеницы в Ростовской обл. еще один продуцент плесени порядка Mucorales – *Rhizopus nigricans*,

Таблица 3. Показатели уровня колонизации зерна озимой пшеницы патогенными и сапротрофными грибами (2015–2021 гг.)

Микроорганизм	Тип инфекции	Показатель инфицирования	Доля зараженных зерен, %	
			Средняя для 7-ми лет	Диапазон величин по годам
Возбудители плесени токсикологически нейтральные				
<i>Mucor</i> spp.	Внутренняя	Максимальный	42.3	25—70
		Средний	18.7	8.6—29.7
	Наружная	Максимальный	56.0	36—80
		Средний	20.3	11.5—31.1
Возбудители плесени, микотоксиканты				
<i>Rhizopus nigricans</i>	Внутренняя	Максимальный	9.4	0.0—26.0
		Средний	1.1	0.0—3.1
	Наружная	Максимальный	8.3	0.0—18.0
		Средний	0.7	0.4—2.9
<i>Penicillium</i> spp.	Внутренняя	Максимальный	17.7	11—35
		Средний	1.7	0.7—3.5
	Наружная	Максимальный	27.8	3—50
		Средний	2.6	0.2—7.4
<i>Aspergillus niger</i>	Внутренняя	Максимальный	10.7	0—30
		Средний	0.9	0—2.4
	Наружная	Максимальный	13.4	0—52
		Средний	1.1	0—3.7
<i>Asp. glaucus</i>	Внутренняя	Максимальный	7.0	3—15
		Средний	0.6	0.1—1.8
	Наружная	Максимальный	24.3	9—59
		Средний	1.9	0.3—5.7
<i>Asp. flavus</i>	Внутренняя	Максимальный	3.6	0—9
		Средний	0.2	0—0.9
	Наружная	Максимальный	6.6	0—32
		Средний	0.4	0—2.4
<i>Cladosporium herbarum</i>	Внутренняя	Максимальный	1.8	0.0—10.0
		Средний	0.1	0—0.4
	Наружная	Максимальный	0.4	0.0—3.0
		Средний	0.01	0.0—0.1

представитель группы возбудителей плесени зерна, микотоксикантов.

Показатели средней доли зерен с наружной и внутренней инфекцией *Rhizopus nigricans* за период 2015–2021 гг. составляли соответственно 0.76 и 1.1%. Диапазон средних величин внутренней инфекции за 7-летний период находился в пределах 0.0–3.1, наружной – 0.4–2.9%. Средние за 7 лет максимальные показатели колонизации ризопусом находились для наружной инфекции на уровне 8.3, для внутренней – 9.4% с размахом вариации соответственно 0.0–18.0 и 0.0–26.0%. Реальную опасность для развития ризопусной плесени при высокой влажности хранения представляла незначительная доля партий семян с максимальным уровнем инфицирования.

Представители пеницилловых грибов, также относящихся к группе возбудителей плесени зерна, микотоксикантов, превосходили ризопус по уровню присутствия на зерне пшеницы как в виде внутренней, так и в виде наружной инфекции.

Показатели средних долей зерен с наружной и внутренней инфекцией *Penicillium* spp. за период 2015–2021 гг. составляли соответственно 2.6 и 1.7%. Диапазон средних показателей внутренней инфекции за 7-летний период находился в пределах 0.7–3.5, наружной – 0.2–7.4%. Средние за 7 лет максимальные показатели колонизации пеницилловыми грибами находились для наружной инфекции на уровне 27.8, для внутренней – 17.7% с размахом вариации соответственно 3–50 и 11–35%. При оптимальных условиях развития пенициллезной плесени, ухудшении качества зерна и заражении его микотоксинами, в том числе охратоксином А, в зоне риска находилась довольно значительная доля партий семян с максимальным уровнем инфицирования.

Заметное место среди возбудителей плесени зерна, микотоксикантов занимают представители аспергиллов (семейство Aspergillaceae), присутствующих на зерне пшеницы как в виде внутренней, так и наружной инфекции.

Наибольшее распространение на зерне пшеницы в Ростовской обл. среди аспергилловых грибов в 2015–2021 гг. имел вид *Aspergillus niger*. Показатели средних долей зерен с наружной и внутренней инфекцией за этот период составляли соответственно 1.1 и 0.9%. Диапазон средних показателей внутренней инфекции за 7-летний период находился на уровне 0.0–2.4, наружной – 0.0–3.7%. Средние за 7 лет максимальные показатели колонизации *A. niger* находились для наружной инфекции на уровне 13.4, для внутренней – 10.7% с размахом вариации соответственно 0–52 и 0–30%. Отмечено некоторое доминирование наружной инфекции над внутренней. При оптимальных условиях

для развития данного вида аспергилла, ухудшении качества зерна и заражении его микотоксинами, в том числе охратоксином А [15, 16], в зоне риска находилась доля партий семян с максимальным уровнем инфицирования.

Несколько уступал ему по встречаемости *Aspergillus glaucus*. Показатели средних долей зерен с наружной и внутренней инфекцией за этот период составляли соответственно 1.9 и 0.6%. Диапазон средних показателей внутренней инфекции за 7 лет находился в пределах 0.1–1.8, наружной – 0.3–5.7%. Средние за 7 лет максимальные показатели колонизации *A. glaucus* были для наружной инфекции на уровне 24.3, для внутренней – 7.0% в диапазоне соответственно 9–59 и 3–15%. Наблюдали доминирование наружной инфекции над внутренней. При оптимальных условиях для развития данного вида аспергилла, ухудшении качества зерна и заражении его микотоксинами, в том числе охратоксином А [17], в зоне риска находились партии семян с высоким уровнем инфицирования.

Еще меньше была встречаемость зерновок, колонизированных грибом *Aspergillus flavus*. Показатели средней доли зерен с данной наружной и внутренней инфекцией за этот период составляли соответственно 0.4 и 0.2%. Диапазон средних показателей внутренней инфекции за 7 лет достигал 0.3–5.7%. Средние за 7 лет максимальные показатели колонизации *A. flavus* находились для наружной инфекции на уровне 6.6, для внутренней – 3.6% в диапазоне соответственно 0–32 и 0–9%. Наблюдали доминирование наружной инфекции над внутренней. При высоком уровне инфицированности и оптимальных условиях для развития *A. flavus*, ухудшении качества зерна и заражении его микотоксинами, в том числе афлатоксином В₁ [7, 11], в зоне риска находилась незначительная доля партий семян с высоким уровнем инфицирования.

Невысокий уровень колонизации зерна отмечен для возбудителя кладоспориозной плесени гриба *Cladosporium herbarum* (семейство Cladosporiaceae). Показатели средней доли зерен с наружной и внутренней инфекцией за этот период составляли соответственно 0.01 и 0.1%. Диапазон средних показателей внутренней инфекции за 7 лет составлял 0.0–0.4, наружной – 0.0–0.1%. Средние за 7 лет максимальные показатели колонизации *C. herbarum* находились для наружной инфекции на уровне 0.4, для внутренней – 1.8% в диапазоне соответственно 0.0–3.0 и 0.0–10%. Наблюдали доминирование внутренней инфекции над наружной. При высоком уровне инфицированности и оптимальных условиях для развития *C. herbarum*, ухудшении качества зерна и заражении его микотоксинами, в том числе кладоспорином, изокладоспорином, эмодином, эпикладоспоровой кислотой, фагикладоспориевой

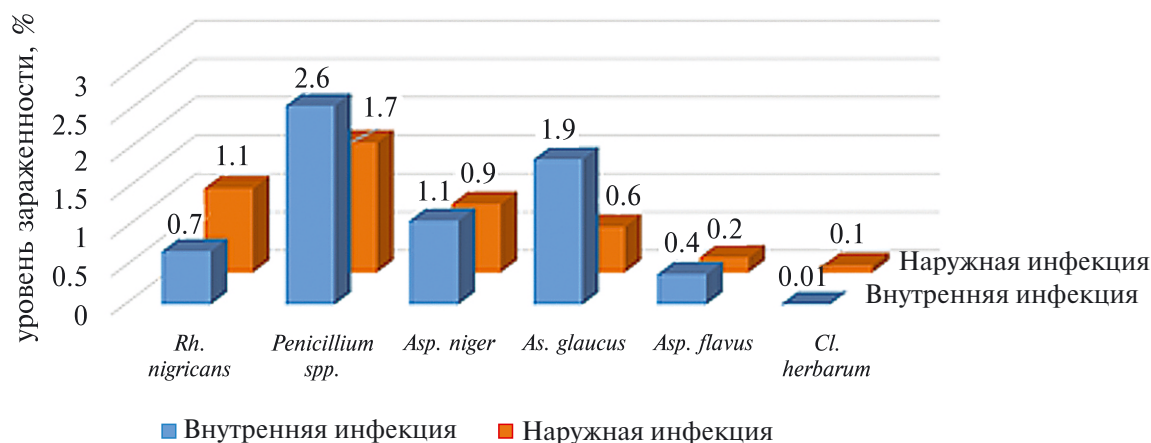


Рис. 2. Уровень зараженности зерна озимой пшеницы возбудителями плесени (Ростовская обл., 2015–2022 гг.).

кислотой, алкалодами [27] в зоне риска находилась незначительная часть партий семян с высоким уровнем инфицирования.

Показано, что наибольший уровень наружной инфекции приходился на группу видов *Penicillium*, *A. glaucus* и *A. niger*, наибольший уровень внутренней инфекции – на группу *Penicillium*, *Rhizopus nigricans* и *A. niger* (рис. 2).

Доминирование наружной инфекции над внутренней наблюдали у пенициллов и аспергиллов, доминирование внутренней над наружной – у ризопуса и кладоспориума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, знание видового состава, закономерностей развития и взаимоотношений отдельных представителей семенной микофлоры (патогенов и токсикантов) позволяет регулировать режимы хранения, продлевать сроки сохранения высокого качества посевного материала, пищевого зерна и фуража. Возбудители плесени являются продуцентами опаснейших микотоксинов: охратоксина А (виды *Penicillium*, *Aspergillus niger*, *A. glaucus*), афлотоксина В₁ (*A. flavus*), ризонинов (*Rhizopus* spp.) и др. Высокий уровень встречаемости на зерне образцов озимой пшеницы из Ростовской обл. за период 2014–2021 гг. проявили плесневые грибы *Mucor* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, виды рода *Penicillium*. Относительно низкую встречаемость наблюдали у видов *Rhizopus nigricans*, *Cladosporium herbarum*. Доминирующими микромицетами были представители рода *Mucor*, уступали им по встречаемости грибы из родов *Penicillium*, *Aspergillus* (*A. niger*, *A. glaucus*), еще более низкие показатели отмечены для *A. flavus*, *R. nigricans*, *C. herbarum*.

В регионах Юга России при сильной засухе в почве и на нижних частях растений нередко отмечают накопление гриба *Penicillium purpureogenum*, на некоторое время он может стать доминирующим. При восстановлении уровня влагообеспеченности наблюдали снижение встречаемости *P. purpureogenum*, нередко до нулевых показателей и увеличение встречаемости мукоровых грибов, *Fusarium solani*, *F. semitectum*, неспорулирующих грибов *Mycelia sterilia* и др., заметное возрастание общей плотности грибных колоний.

При выявленной структуре зернового комплекса плесневых грибов на пшенице в Ростовской обл. велика вероятность загрязнения зерна микотоксинами нефузариевой природы: охратоксином А (виды пенициллов, *A. glaucus*, *A. niger*), афлотоксином В₁ (*A. flavus*), со значительно меньшей вероятностью из-за низкой встречаемости потенциальных продуцентов – ризонинами А и В (*Rhizopus nigricans*), кладоспорином, изокладоспорином, эмодином, эпикладоспоровой кислотой, фагикладоспориновой кислотой, алкалодами (*Cladosporium herbarum*).

Наибольший уровень наружной инфекции зерна определяла колонизация зерновок грибами из группы *Penicillium*, а также – *A. glaucus* и *A. niger*, наибольший уровень внутренней инфекции – группой *Penicillium*, *Rhizopus nigricans*, *A. niger*. Доминирование наружной инфекции над внутренней наблюдали при колонизации пенициллами и аспергиллами, доминирование внутренней над наружной – ризопусом и кладоспориумом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будынков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Микробиологическая деградация агроценозов и возможность ее предотвращения. Растительные остат-

- ки // Эволюция и деградация почвенного покрова. Сб. научн. ст. по мат-лам V Международ. научн. конф. 19–22 сентября 2017 г. Ставрополь. ГАУ. Ставрополь, 2017. С. 10–13.
2. Рудаков В.О., Рудаков О.Л. Природа почвенных фитотоксикозов и проблема защиты растений // АГРО XXI. 2009. № 1–3. С. 14–17.
 3. Наумова Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию. М., 1951. 140 с.
 4. Будынков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Динамика факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской области // Агрохимия. 2021. № 1. С. 64–71.
 5. Будынков Н.И., Михалева С.Н. Болезни нута на юге европейской территории России. Семенная инфекция // Достиж. науки и техн. АПК. 2018. Т. 32. № 7. С. 31–35
 6. Кузьмичев А.А., Монастырская Э.И., Соколова Н.К., Фиссюра Н.И. Рекомендации по снижению вредоносности фузариоза колоса озимой пшеницы. Краснодар: ВНИИБЗР, 1993. 16 с.
 7. Сатин Е. Рост плесеней и формирование микотоксинов // Микотоксины и микозы / Под ред. Д. Диаза. М.: Печатный город, 2006. С. 71–81.
 8. Рудаков О.Л., Олейник К.Н., Рудаков В.О. Пособие по фитопатологии для закрытого грунта. М.: Агроконсалт, 2001. 142 с.
 9. Рудаков О.Л. Микофильные грибы, их биология и практическое значение. М.: Наука, 1981. 160 с.
 10. Будынков Н.И., Михалева С.Н. Прогрессирующее накопление опасных фузариев на зерне озимой пшеницы в хозяйствах Юга России (2014–2020 гг.) // Агрохимия. 2022. № 1. С. 75–87. <https://doi.org/10.31857/S0002188122010057>
 11. Munkvold G.P., Arias S., Tasch I., Gruber-Dorninger C. Mycotoxins in corn: Occurrence, impacts, and management chapter 9 // Corn. 2019. AACCI. Published by Elsevier Inc. in cooperation with AACCI International. P. 235–287. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00009-7>
 12. Perera R.H., Hyde K.D., Maharachchikumbura S.S.N., Jones E.B., McKenzie E.H., Stadler M., Lee H., Samarakoon M.C., Ekanayaka A.H., Camporesi E., Liu J.K., Liu Z.Y. Fungi on wild seeds and fruits // Mycosphere. 2020. V. 11(1). P. 2108–2480. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/11/1/14>
 13. Minutillo S.A., Ruano-Rosa D., Abdelfattah A., Schena L., Malacrino A. The Fungal microbiome of wheat flour includes potential mycotoxin producers // Foods. 2022. V. 11. № 676. P. 1–9. <https://doi.org/10.3390/foods11050676>
 14. Мирошниченко И.И., Зачиняева А.В., Соломенникова И.И., Зачиняев Я.В. Негативные последствия антропогенных изменений комплексов почвенных микроскопических грибов. Мат-лы 5-го Всерос. конгр. по мед. микологии // Усп. мед. микол. М.: Нац. акад. микологии, 2007. С. 60–63.
 15. Taniwaki M.H., Pitt J.I., Magan N. Aspergillus species and mycotoxins: occurrence and importance in major food commodities // Current Opinion in Food Sci. V. 23. October 2018. P. 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.05.008>
 16. Soares C., Calado T., Venenau A. Mycotoxin production by *Aspergillus niger* aggregate strains isolated from harvested maize in three Portuguese regions // Rev. Iberoam Micol. 2013. V. 30(1)/ P. 9–13.
 17. Jha S.N. Rapid detection of food adulterants and contaminants. Theory and practice // Acad. Press. 2016. 266 p. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-09801-5>
 18. Девевова Д., Мурти Т.Н.К. Влияние микотоксинов на здоровье птицы и практическое решение проблемы // Микотоксины и микозы / Под ред. Д. Диаза. М.: Печатный город, 2006. С. 179–212.
 19. Котова В.В. Корневые гнили гороха и вики и меры защиты. СПб.: ВИЗР, 2011. 144 с.
 20. Roháček I.T., Hudec K. Fungal infection of malt barley kernels in Slovak Republic // Plant Protect. Sci. 2007. V. 43. № 3. P. 86–93.
 21. Minati M.H., Mohammed-Ameen M.K. Fungal diversity of winter wheat parts, seed and field soil in Iraq, Basra province // 2nd Inter. Sci. Conf. of Al-Ayen University (ISCAU-2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 928. № 062004. P. 1–18. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/6/062004>
 22. Partida-Martinez L.P., Flores de Looss C., Ishida K., Ishida M., Roth M., Buder K., Hertweck C. Rhizonin, the first mycotoxin isolated from the zygomycota, is not a fungal metabolite but is produced by bacterial endosymbionts // Appl. Environ. Microbiol. 2007. V. 73(3). P. 793–797. <https://doi.org/10.1128/AEM.01784-06>
 23. Rabie C.J., Lübken A., Schipper M.A.A., van Heerden F.R., Fincham J.E. Toxicogenicity of *Rhizopus* species // Inter. J. Food Microbiol. 1985. V. 1. Iss. 5. P. 263–270.
 24. Hernández-Lauzardo A.N., Bautista-Baños S., Velázquezdel Valle M.G., Trejo-Espino J.L. Identification of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill., causal agent of rhizopus rot disease of fruits and vegetables // Revista Mexicana de FITOPATOLOGIA. 2006. V. 24. № 1. P. 65–69.
 25. Wilson T., Rabie C.J., Fincham J.E., Steyn P.S., Schipper M.A. Toxicity of rhizonin A, isolated from *Rhizopus microsporus*, in laboratory animals // Food Chem. Toxicol. 1984. V. 22(4). P. 275–281. [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(84\)90006-1](https://doi.org/10.1016/0278-6915(84)90006-1)

26. Steyn P.S., Tuinman A.A., van Heerden F.R., van Rooyen P.H., Wessels P.L., Rabie C.J. The isolation, structure, and absolute configuration of the mycotoxin, rhizonin A, a novel cyclic heptapeptide containing N-methyl-3-(3-furyl)alanine, produced by *Rhizopus microspores* // J. Chem. Soc. Chem. Commun. 1983. P. 47–49.
27. Alwatban M.A., Hadi S., Moslem M.A., Alwatban M.A., Hadi S., Moslem M.A. Mycotoxin production in *Cladosporium* species influenced by temperature regimes // J. Pure Appl. Microbiol. 2014. V. 8(5). P. 4061–4069.
28. Волкова Т.Н., Селина И.В., Созинова М.С. Биполярис и эпикокк. Изменения в микобиоте зерна ячменя за 2001–2017 гг. // Пиво и напитки. 2018. № 3, С. 62–67.
29. Будынков Н.И., Михалева С.Н. Мониторинг альтернативных грибов на зерне озимой пшеницы в хозяйствах Юга России (2014–2020 гг.) // Агрохимия. 2022. № 2. С. 92–99. <https://doi.org/10.31857/S0002188122020041>
30. Шпанев А.М., Смур В.В. Влияние азотного питания на фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы в Северо-Западном регионе РФ // Агрохимия. 2019. № 1. С. 58–65. <https://doi.org/10.1134/S0002188119010101>
31. Golosna L. Mycobiota of wheat seeds with signs of “Black Point” under conditions of forest-steppe and forest zones of Ukraine // Chem. Proc. 2022. V. 10. № 93. P. 1–5. <https://doi.org/10.3390/IOCAG2022–12236>
32. Felšöciová S., Kowalczewski P.L., Krajčovič T., Dráb Š., Kačániová M. Effect of long-term storage on mycobiota of barley grain and malt // Plants. 2021. V. 10. 1655. P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/plants10081655>
33. Roháčik T., Hudec K. Fungal infection of malt barley kernels in Slovak Republic // Plant Protect. Sci. 2007. V. 43. № 3. P. 86–93.
34. Minutillo S.A., Ruano-Rosa D., Abdelfattah A., Scheena L., Malacrino A. The Fungal microbiome of wheat flour includes potential mycotoxin producers // Foods. 2022. V. 11. 676. P. 1–9. <https://doi.org/10.3390/foods11050676>
35. Балбашевская Н.А. Биоэкологические особенности гиперпаразитических грибов и их значение в ограничении численности корневых гнилей зерновых культур: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2005. 20 с.

Fungal Pathogens of Mold of Winter Wheat Grains in Rostov Region

N. I. Budynkov^{a, #}, S. N. Mikhaleva^a, L. N. Ulyanenko^a, A. P. Glinushkin^a

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology,
ul. Institut, poss. 5, Moscow region, Odintsovo district, r.p. Bolshye Vyazemye 143050, Russia

[#]E-mail: oranzar@yandex.ru

Long-term monitoring of the colonization of winter wheat grain by fungal mold pathogens that negatively affect the quality of grain during storage, reducing the quality of seed material, food grains and forage, showed that a high level of occurrence on the grain of Rostov winter wheat samples for the period 2014–2021 was manifested by mold fungi *Mucor* spp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus flavus*, species of the genus *Penicillium*. Relatively low occurrence was observed in *Rhizopus nigricans* and *Cladosporium herbarum* species. Mold pathogens are producers of the most dangerous mycotoxins: ochratoxin A (species of *Penicillium*, *Aspergillus niger*, *A. glaucus*), aflatoxin B1 (*A. flavus*), rhizonins (*Rhizopus* spp.), etc. In the regions of Southern Russia, with severe drought in the soil and on the lower parts of plants, the accumulation of the fungus *Penicillium purpureogenum* is often noted, for some time it could become dominant. When restoring the level of moisture supply, a decrease in the occurrence of *P. purpureogenum* was observed, often to zero, and an increase in the occurrence of mucor fungi (*Fusarium solani*, *F. semitectum*), non-circulating Mycelia sterilia fungi, etc., a noticeable increase in the total density of fungal colonies. The highest level of external infection of grain was due to colonization of grain by fungi from the *Penicillium* group, as well as *A. glaucus* and *A. niger*, the highest level of internal infection was caused by the *Penicillium* group, *Rhizopus nigricans*, *A. niger*. The dominance of external infection over internal infection was observed during colonization by penicilli and aspergillus, the dominance of internal over external infection by rhizopus and cladosporium.

Keywords: winter wheat, occurrence, colonization, mold pathogens, pathogens, mycotoxins, crop rotation, precursor crop, agrocenosis.