

Биоэкологическая и иммунологическая оценка зерна и растений *Hordeum vulgare* L. в условиях Кировской области

© 2022. Т. К. Шешегова¹, д. б. н., в. н. с.,И. Н. Щенникова¹, д. с.-х. н., г. н. с.,Л. М. Щеклеина¹, к. с.-х. н., с. н. с., С. А. Емелев², к. с.-х. н., доцент,М. В. Черемисинов², к. с.-х. н., доцент, Н. А. Жилин¹, лаб.-исследователь,¹Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого,

610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а,

²Вятский государственный агротехнологический университет,

610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,

e-mail: immunitet@fanc-sv.ru, i.schennikova@mail.ru

Исследования выполнены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2018–2020 гг. Проанализирована таксономическая структура микрофлоры семян и устойчивость растений к наиболее распространённым грибным болезням у 18 новых сортов ярового ячменя, созданных в ФАНЦ Северо-Востока и ВятГАТУ. При высокой общей заражённости семян (в среднем 83,3%) состояние признака у сортов ФАНЦ Северо-Востока было меньше в среднем на 4,2%, чем у мутантных линий ВятГАТУ. В контаминанте семян идентифицированы представители 8 грибных таксонов: *Alternaria* spp., *Bipolaris* spp., *Torula* spp., *Cladosporium* spp., *Stemphylium* spp., *Curvularia* spp., *Penicillium* spp. и *Fusarium* spp. У изучаемых образцов они варьировали от трёх (Эколог, М 4-10) до шести (Новичок, Добряк, Тандем, Памяти Родины, Белгородский 100 и М 10-12). Виды *Alternaria* spp., *Bipolaris sorokiniana* и представители сапротрофов выявлены во всех сортах с частотой 13,0–48,0%, 3,0–32,0% и 2,0–52,0%; виды *Fusarium* – в 16 образцах с частотой 2–21%. Среди грибных таксонов лишь виды *Alternaria* spp. достоверно (при $P \geq 0,95$) связаны с заражённостью семян ($r = 0,45$). Значимая (при $P \geq 0,99$) связь выявлена между видами *Alternaria* spp. и *Bipolaris sorokiniana* ($r = -0,72$), что свидетельствует о возможности угнетающего действия альтернариозной инфекции на фитопатогены. Оценивая изученный генофонд ячменя по характеру и уровню заражённости семян и растений можно выделить образцы с наилучшей биоэкологической и иммунологической оценкой: сорта Добряк, Эколог, Новичок и 94-13; мутанты: М 11-13 Ха и М 2-37-6. Сорт Добряк успешно проходит государственное испытание.

Ключевые слова: ячмень, сорта и мутанты, микрофлора зерна, заражённость зерна, экологичность сорта.

Bioecological and immunological assessment of grain and plants of *Hordeum vulgare* L. in the conditions of the Kirov region

© 2022. T. K. Sheshegova¹ ORCID: 0000-0003-2371-4949¹ I. N. Shchennikova¹ ORCID: 0000-0002-5143-9246¹L. M. Shchekleina¹ ORCID: 0000-0002-3589-5524¹ S. A. Emelev² ORCID: 0000-0003-4178-051X²M. V. Cheremisinov² ORCID: 0000-0002-4970-8961² N. A. Zhilin¹ ORCID: 0000-0002-6827-5102¹¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,

166a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,

²Vyatka State Agrotechnological University,

133, Oktyabrsky Prospekt, Kirov, Russia, 610017,

e-mail: immunitet@fanc-sv.ru, i.schennikova@mail.ru

The research was carried out at the Federal Agricultural Research Center of the North-East (FARC) in 2018–2020. Taxonomic structure of seed's microflora and resistance of plants to the most common fungi diseases were analyzed in 18 new spring barley varieties bred in of FARC and Vyatka State Agrotechnological University (VSAU). With a high total seed infestation (average 83.3%), the trait state in the FARC's varieties was an average 4.2% less than in the VSAU's mutant lines. In the seed contaminant, representatives of 8 fungal taxa are identified: *Alternaria* spp., *Bipolaris* spp., *Torula* spp., *Cladosporium* spp., *Stemphylium* spp., *Curvularia* spp., *Penicillium* spp., and *Fusarium* spp. In the studied accessions, they ranged from three (cv. Ecolog, M 4-10) to six (cv. Novichok, Dobryak, Tandem, Pamiaty Rodinoy, Belgorodsky 100, and M 10-12). Species *Alternaria* spp., *Bipolaris sorokiniana* and representatives of saprotrophes were found in all varieties with a frequency of 13.0–48.0%, 3.0–32.0% and 2.0–52.0%, respectively; *Fusarium* species – in 16 accessions with a frequency of 2–21%. Among fungi taxa, only *Alternaria* spp. species are statistically significantly

(at $P \geq 0.95$) associated with seed infestation ($r = 0.45$). A reliable ($P \geq 0.99$) relation was found between the combined proportion of saprotrophes and species of *Fusarium* spp., *Alternaria* spp. and *Bipolaris sorokiniana* ($r = -0.72$), which indicates the possibility of the inhibitory effect of *alternaria* infection on phytopathogens. Assessing the studied gene pool of barley by the nature and level of infection of seeds and plants, one can select accessions with the best bioecological and immunological assessment: cv. Dobryak, Ecolog, Novichok and 94-13; mutants: M 11-13 Xa and M 2-37-6. Cv. Dobryak successfully passes the State Test.

Keywords: barley, varieties, mutants, microflora, grain contamination, environmental quality of variety.

Зерно ячменя, как важнейшей зерновой культуры используется не только в качестве корма для скота, но и в пивоваренной, пищевой, фармацевтической промышленности. Требования к его качеству в зависимости от специфики применения имеют свои особенности. Однако общим для всех партий зерна является относительно низкий микробный пул как индикатор его биологической полноценности, экологической и микотоксикологической безопасности. При этом уровень и характер семенной и растительной инфекции определяют множество факторов, из которых наиболее значимые: физиологические стрессы, параметры климатических факторов, нарушение агротехнологий возделывания, уровень патогенности микроорганизмов и отсутствие в производстве комплексно устойчивых сортов. Возделывание таких сортов до минимума снижает пестицидную нагрузку на экосистемы и обеспечивает получение экологически безопасного растительного сырья [1].

В настоящее время биоэкологии микрофлоры зерна уделяются многочисленные отечественные и зарубежные исследования [2, 3]. Особое внимание привлекают микромицеты, образующие токсичные для человека и животных вторичные метаболиты – микотоксины [4]. Среди них наиболее опасны многие виды *Fusarium* spp. [2], *Alternaria* spp. и *Bipolaris sorokiniana* [5], которые являются обильными представителями микобиоты растений и зерна ячменя. Заражённое и токсичное зерно обладает сильным негативным действием на иммунную систему теплокровных организмов [6]. Следует отметить, что в РФ предельно допустимые количества (ПДК) микотоксинов в зерне и пищевой продукции установлены только в отношении четырёх фузариотоксинов: дезоксиниваленол, зеараленол, фумонизин и Т-2 токсин. А вторичные метаболиты второго по уровню биологической опасности рода *Alternaria* в зерне не регламентируются. По данным многих исследований [7, 8], его высокая заражённость и токсичность видоспецифичными метаболитами приводят к гибели лабораторных крыс и повреждению тканей и органов у человека и животных. Поэтому

в США и странах ЕС стандартизируется более 20 опасных микотоксинов и вводится ограничение на отдельные токсины рода *Alternaria* в продуктах для детского питания [9]. Определённую опасность представляют и другие микроорганизмы, не имеющие выраженного фитопатогенного действия, например, виды *Cladosporium* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. и др. При благоприятных условиях среды они способны к паразитированию и снижению урожая до 80%, а также к деструкции зерновок, изменению их физических свойств и химического состава [10]. Сочетанное действие патогенной и сапрофитной микрофлоры на биоценозы ячменя вызывает пятнистость листьев (тёмно-бурая, сетчатая, полосатая), корневые гнили, фузариоз и чёрный зародыш.

Все микромицеты, ассоциированные с питающими растениями-хозяевами, могут распространяться на значительные расстояния с семенным материалом [11]. Учитывая, что семена являются источником сохранения инфекции большинства болезней ячменя, внимание экотоксикологов и фитопатологов к их заражённости, особенно, чужеродными и инвазивными патогенами должно быть постоянным. Эти исследования актуализируются в связи с тем, что предпосевная обработка семян фунгицидами часто не убивает внутреннюю инфекцию, так как она, локализуясь во внутренних слоях перикарпия и в зародыше, сохраняется в жизнеспособном состоянии до 3-х лет. Кроме того, по данным [6], токсинообразующие патогенные грибы быстрее, чем другие контаминирующие зерно микроорганизмы, приобретают резистентность к фунгицидам и восстанавливают плотность популяции после обработок. Поэтому темпы роста затрат на химическую защиту не покрываются приростом чистого зерна.

Поскольку значительную селективную роль в формировании микробиологических комплексов растений и зерна играет генотип, целью наших исследований была биоэкологическая и иммунологическая оценка сортов ярового ячменя, созданных в двух Кировских НИУ: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ.

Объекты и методы исследования

Исследования выполнены в ФАНЦ Северо-Востока. Объектом исследований были 18 новых сортов и мутантных линий ячменя, семена которых формировались в сходных агроэкологических условиях вегетации 2018–2020 гг. Стандарт – Белгородский 100, исходная форма для получения мутантов – Биос 1. Семена подвергались фитопатологической экспертизе [12] и микробиологическому анализу, а растения иммунологической оценке [13, 14]. Для выделения микромицетов в культуру обеззараженные в $KMnO_4$ семена закладывали в чашки Петри на картофельно-глюкозный агар (КГА) в трёхкратной повторности. Через 5 сут выросшие вокруг зерновок колонии пересевали на свежий КГА. Идентификацию микромицетов в зависимости от интенсивности роста колонии проводили на 10–14 сутки. Использовали микроскоп Биолам с увеличением от 40 до 1600 и определители [15–17].

Для характеристики структуры микробиологических комплексов применяли показатели частоты встречаемости и доминирования рода (вида). Частоту встречаемости определяли по числу зерновок, в которых таксон идентифицирован и выражали в процентах от количества инфицированных семян. Род (вид) относили к доминирующим, если его доля составляла более 50% от всех выявленных таксонов.

Для обработки экспериментальных данных применяли пакет селекционно-ориентированных и биометрико-генетических программ AGROS, версия 2.07.

Результаты и обсуждение

В ходе фитоэкспертизы выявлено, что лабораторная всхожесть семян составила в среднем по сортименту 91,5%, варьируя от 78,0% (Памяти Родины, Добряк, мутантная линия М 10-12) до 100% (Боярин, Биос 1). Значимое снижение признака отмечено у сортов: Памяти Родины, Добряк, Эколог, Белгородский 100, мутантных линий: М 10-12, М 2-37-6, М 9-5-3 ($HSP_{05} = 8,3$). Не установлено достоверной связи признака с происхождением изучаемых генотипов. Уровень лабораторной всхожести у сортов ФАНЦ Северо-Востока составил в среднем 89,3%, мутантов – 91,0%. В исследовании [5] выявлена разнонаправленная связь между всхожестью семян и представителями наиболее обильной микобиоты:

Alternaria spp. и *Bipolaris sorokiniana*. Отрицательной ($r = -0,64$) она была в контаминации с *B. sorokiniana*.

Отсутствие значимости различий между двумя генофондными группами проявилось и по общей заражённости семян ($HSP_{05} = 11,0$). При очень высоком уровне признака и широком его варьировании (от 70,5 до 93,0%) заражённость сортов составила в среднем 81,3%, мутантных линий – 85,5% (рис.). Наименьшей (70,5–75,5%) она была у сортов: 94-13, Боярин и Тандем, мутантов: М 4-10 и М 11-13 Ха. Высокая заражённость может быть спровоцирована недостатком тепла, повышенной влажностью в период налива зерновки и увеличением продолжительности созревания [10, 18]. Наши образцы семян формировались в условиях отклонения среднемесячной суммы осадков от нормы на 92–130%, средне-суточной температуры – от -2,1 до +2,3 °С в июле и августе 2018–2020 гг. Тем не менее, влияние конкретных условий среды (осадки, температура, влажность) на микобиоту (особенно *Alternaria* spp.) зерновых биоценозов является недостаточно изученным [19].

Разнообразие микробного сообщества семян ячменя было представлено грибными культурами, среди которых идентифицировали представителей 8 родовых таксонов: *Alternaria* spp., *Bipolaris* spp., *Torula* spp., *Cladosporium* spp., *Stemphylium* spp., *Curvularia* spp., *Penicillium* spp. и *Fusarium* spp. Многие из этих грибов ранее были выявлены и в контаминанте семян яровой тритикале [20]. Для выяснения многообразных и сложных биоэкологических связей растения (сорта) с данными культурами их систематизировали в четыре микобиотических комплекса: грибы родов *Alternaria* и *Fusarium*; *Bipolaris sorokiniana*; сапрофиты с тёмнопигментированным мицелием, куда вошли штаммы *Cladosporium* spp., *Torula* spp., *Stemphylium* spp., *Curvularia* spp. и *Penicillium* spp. Такая систематизация обоснована уровнем биологической опасности идентифицированной микобиоты. Известно, что грибы *Fusarium*, *Alternaria* и *Bipolaris* продуцируют хозяин-специфичные токсины, вызывающие гибель растительных клеток и подавляющие защитные механизмы генотипа и в целом рассматриваются как факторы патогенности [21], а также вызывают многие болезни растений ячменя. Грибы – сапротрофы относятся к условно-патогенной таксономической группе и, в той или иной мере, являются сопутствующей микрофлорой зерна.

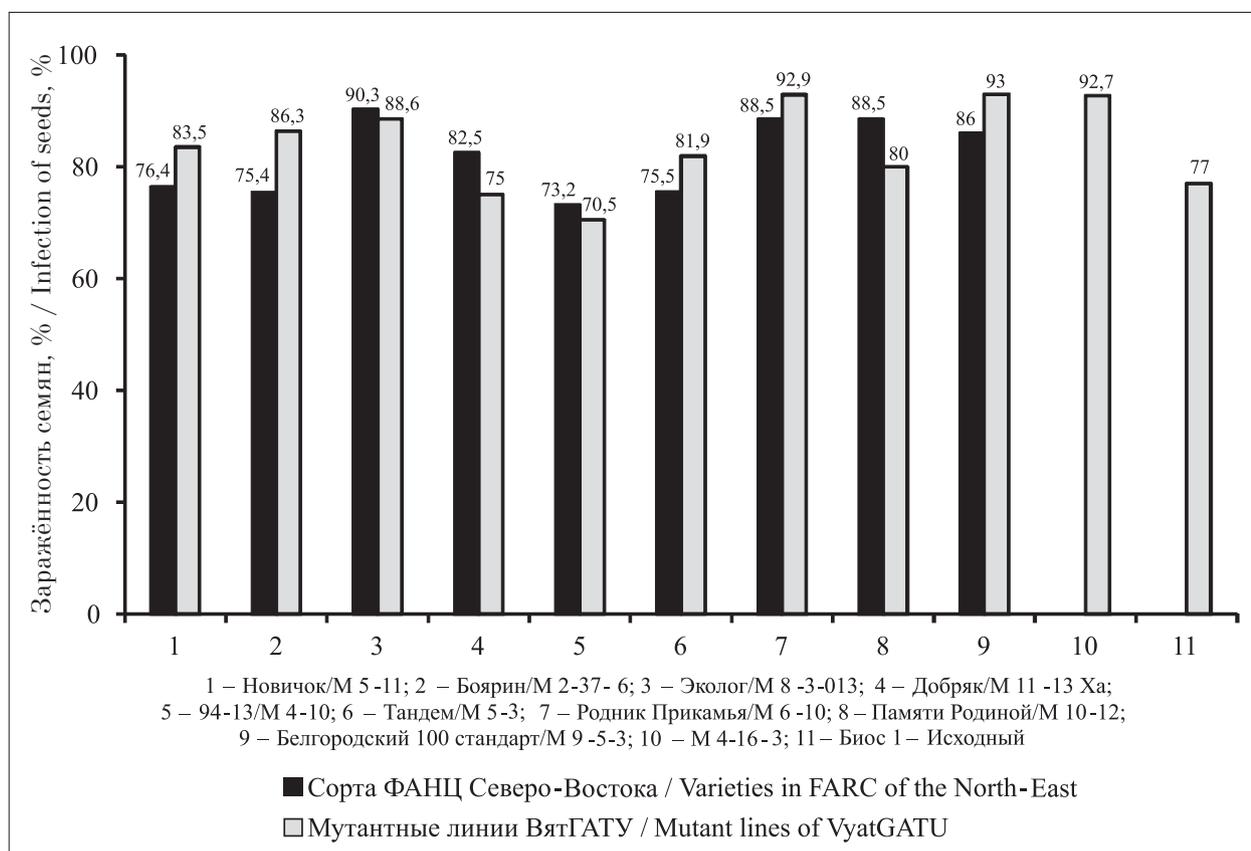


Рис. Общая заражённость семян (%) изучаемых генотипов ячменя
 Fig. Total infection of seeds (%) studied barley genotypes

Численность грибных таксонов изучаемых образцов семян варьировала от трёх (Эколог, М 4-10) до шести (Новичок, Добряк, Тандем, Памяти Родиной, Белгородский 100, М 10-12). При этом виды *Alternaria* spp. и *Bipolaris sorokiniana* выявлены во всех сортах с частотой от 13,0 до 48,0% и от 3,0 до 32,0%. Ранее уже сообщалось [4, 22], что альтернариозные грибы в зерновых биоценозах выполняют функцию средообразователей, поскольку численность и биомасса их, как правило, выше остальных представителей микобиоты. Грибы рода *Fusarium* (*F. oxysporum*, *F. sporotrichoides*, *F. poae* и *F. avenaceum*) идентифицированы в 16 образцах. Среди них вид *F. sporotrichoides* имел наибольшую долю в контаминанте – до 21,0%; вид *F. oxysporum* изолирован в 6 образцах, а достаточно эндемичный для нашей зоны *F. avenaceum* – лишь у мутанта М 10-12. Сапротрофная микобиота присутствовала во всех образцах с совокупной долей от 2,0 до 52,0%. Среди этой таксономической группы наибольшая представленность была у рода *Torula*, который выявлен в 14 образцах, виды *Cladosporium* spp. – в 12, *Stemphylium* spp. и *Curvularia* spp. – в 5, а *Penicillium* spp. – лишь у сорта Памяти Родиной. Следует отметить, что

виды пенициллов в комплексе с другими сапротрофами (*Aspergillus* spp., *Mucor* spp., *Rhizopus* spp., *Epicoccu* spp., *Cladosporium* spp. и др.) вызывают плесневение зерна, как в поле, так и при его хранении [10]. Кроме того в комплексе с фузариозными грибами они способны негативно влиять на продукционный потенциал растений ржи [22]. Низкая представленность видов *Penicillium* spp. может иметь и филогенетическую обусловленность. В грибном контаминанте сапротрофы образовывали чаще всего бинарные и тройные консорциумы, в которых наибольшее доленое участие (15,0–52,0%) было у быстрорастущего рода *Torula*. Поэтому среди всех выявленных таксонов только его можно отнести к доминирующим.

Оценивая генофондные группы ячменя по среднему уровню микробного пула, можно отметить превышение (на 1,2; 5,0 и 5,3%) доли видов *Fusarium* spp., *Alternaria* spp. и *B. sorokiniana* и снижение (на 6,6%) доли сапротрофов у мутантных линий по сравнению с сортами ФАНЦ Северо-Востока.

Выявлено также специфичное действие таксономических групп на заражённость семян. Так, существенное (при $P \geq 0,95$) влияние оказывала альтернариозная инфекция ($r = 0,45$),

а действие *Fusarium* spp. и *B. sorokiniana* на признак было относительно слабое ($r = 0,35$ и $0,23$). Между этими группами микроорганизмов выявлена слабая положительная связь (r от $0,12$ до $0,37$) как пример возможных симбиотических взаимоотношений. Аналогичные результаты ранее получены при изучении микрофлоры семян овса [23]. Что касается сапротрофов, то их влияние на заражённость семян было отрицательным и слабым ($r = -0,10$). Между этой инфекцией и другими группами микроорганизмов выявлена достоверная (при $P \geq 0,95$) отрицательная связь ($r = -0,71$ – *Alternaria* spp., $r = -0,72$ – *B. sorokiniana*, $r = -0,49$ – *Fusarium* spp.), что опосредованно отражает присутствие конкурентных биотических взаимодействий и угнетающее действие преобладающих в микоценозе сапротрофов на фитопатогены.

Для дальнейшей иммунологической и биоэкологической оценки сортов и новых линий ячменя была проанализирована восприимчивость их к болезням, индуцируемым грибами *Bipolaris* и *Drechslera*. Устойчивостью к сетчатой пятнистости среди сортов ФАНЦ Северо-Востока характеризуются Добряк, Эколог и Новичок при степени поражения до 12,6%, к тёмно-бурой пятнистости – Новичок, Эколог, Добряк, Тандем и 94-13 при состоянии признака до 12,7%. Выявлено, что степень поражения корневыми гнилями в лабораторных тестах у большинства сортов и линий существенно (при $P \geq 0,95$) выше, чем в полевых условиях. Эта тенденция особенно характерна для генотипов с высокой заражённостью семян (Родник Прикамья, Памяти Родиной, М 10-12, М 6-10, М 8-3-013), что свидетельствует о прямом фитотоксичном действии фоновой микрофлоры на начальном этапе онтогенеза растений. В полевых условиях сложившийся гомеостаз семенной инфекции, вероятно, нарушается под действием аборигенной почвенной микрофлоры и механизмов устойчивости генотипа. Следует отметить, что степень поражения корневыми гнилями сортов ФАНЦ Северо-Востока была значительно ниже мутантных линий, однако эти изменения статистически не доказаны. Высокоустойчивых форм в том и другом генофондном материале не обнаружено. Умеренную устойчивость (развитие болезни до 20,3%) проявили сорта Боярин, Новичок и Тандем. Слабо поражаемые пятнистостями сорта Эколог и Добряк характеризуются устойчивостью к корневым инфекциям в фазу восковой спелости, но восприимчивостью к болезни в начале онтогене-

за. Среди мутантных можно выделить линии М 11-13 Ха и М 2-37-6, степень поражения корневых гнилями была 33,3 и 36,0%, у наиболее восприимчивого мутанта – 64,0%.

Вредоносность корневых инфекций проявилась и в снижении нарастания биомассы корней у 14-ти дневных проростков ($r = -0,33$) при положительной и достоверной ($P \geq 0,95$) связи ($r = 0,48$) между листьями и корнями растений.

В настоящее время сорт Добряк успешно проходит Государственное сортоиспытание (ГСИ), а сорта Боярин и Памяти Дудина (мутантная линия М 8-3-013) в 2020 г. переданы на ГСИ за высокую урожайность и агроэкологическую адаптивность. Перспективными являются также мутанты М 2-37-6, М 9-5-3, М 11-13 Ха и линия 94-13 как источники ценных агро- и экобиологических признаков при создании новых сортов [24].

Заключение

Несмотря на сходные агроэкологические условия вегетации растений, выявлена более высокая заражённость семян и поражённость корневыми инфекциями мутантных линий ячменя ВятГАТУ по сравнению с сортами ФАНЦ Северо-Востока, что указывает на сортоспецифичность этих процессов. В контаминанте семян идентифицировано 8 грибных таксонов, но лишь альтернариозная инфекция достоверно связана с заражённостью семян. Обнаруженные антагонистические взаимодействия между сапротрофным микробиологическим комплексом и видами *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. и *Bipolaris sorokiniana* свидетельствуют о возможности подавления фитопатогенов при доминировании сапротрофов в контаминанте семян. Полученные данные об уровне устойчивости сортов и мутантных линий к наиболее распространённым болезням ячменя, заражённости семян и анализ взаимоотношений микроорганизмов, представляют определённый практический и научный интерес для селекционного и производственного процесса, минимализации экологических рисков и получения биологически полноценного зерна.

References

1. Volkova G.V., Astapchuk I.L. The spread of *Pyrenophora teres* on barley crops in the North-Caucasus region // Grain Economy of Russia. 2019. No. 2. P. 263–68 (in Russian). doi: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-63-68

2. Gagkaeva T., Gavrilova O., Orina A., Lebedin Y., Shanin I., Petukhov P., Eremin S. Analysis of toxigenic *Fusarium* species associated with wheat grain from three regions of Russia: Volga, Ural, and West Siberia // *Toxins*. 2019. V. 11. No. 5. Article No. 252. doi: 10.3390/toxins11050252
3. Müller M.E., Urban K., Kppen R., Siegel D., Korn U., Koch M. Mycotoxins as antagonistic or supporting agents in the interaction between phytopathogenic *Fusarium* and *Alternaria* fungi // *World Mycotoxin Journal*. 2015. V. 8. P. 311–321. doi: 10.3920/WMJ2014.1747
4. Gavrilova O.P., Orina A.S., Gogina N.N., Gagkaeva T.Yu. Co-occurrence of the metabolites of *Alternaria* and *Fusarium* fungi associated with small-grain cereals // *Rossiiskaya selskokhoziaistvennaya nauka*. 2020. No. 6. P. 20–23 (in Russian). doi: 10.31857/S2500262720060058
5. Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Hannibal F.B. Micromycetes *Alternaria* spp. and *Bipolaris sorokiniana* and mycotoxins in grain from the Ural Region // *Mikologiya i Fitopatologiya*. 2020. V. 54. No. 5. P. 365–377 (in Russian). doi: 10.31857/S0026364820050086
6. Monastyrsky O.A. Infection of seeds with toxic-forming fungi // *Agro XXI*. 2000. No. 4. P. 6–7 (in Russian).
7. Fraeyman S., Croubels S., Devreese M., Antonissen G. Emerging *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins: occurrence, toxicity and toxicity and toxicity and toxicokinetics // *Toxins*. 2017. V. 9. No. 7. Article No. 228. doi: 10.3390/toxins9070228
8. Kononenko G.P., Burkin A.A., Zotova E.V., Mycotological monitoring. Part 2. Wheat, barley, oat and maize grain // *Veterinary Science Today*. 2020. V. 2. No. 33. P. 139–145 (in Russian). doi: 10.29326/2304-196X-2020-2-33-139-145
9. Rychlik M., Lepper H., Weidner C., Asarn S. Risk evaluation of the *Alternaria* mycotoxic tenuazonic acid in foods for adults and infants and subsequent risk management // *Food Control*. 2016. V. 68. P. 181–185. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.03.035
10. Lavrinova V.A. Change of contamination of winter wheat seeds at storage // *Zashchita i karantin rastenij*. 2015. No. 8. P. 15–16 (in Russian).
11. Lavrinova V.A., Polunina T.S., Gusev I.V. Fungicides against micromycetes complex on winter wheat seeds in north-east of Central Black Earth Region // *International Research Journal*. 2018. No. 10 (76). P. 81–84 (in Russian). doi: 10.23670/IRJ.2018.76.10.016
12. Benken A.A., Khrutovskaya V.N. Laboratory assessment of the disease resistance of plants and the parasitic properties of pathogens of ordinary root rot // *Proceedings of a squal*. 1977. P. 9–13 (in Russian).
13. Grigoriev M.F. Guidelines for the study of the stability of grain crops to root rot. Leningrad: VIR, 1976. 60 p. (in Russian).
14. Petrova O.S., Afanasenko O.S. Methodical recommendations for the diagnosis and methods for assessing the resistance of oats to the causative agents of the leaves spotting. Sankt-Peterburg: Vizr, 2003. 28 p. (in Russian).
15. Bilai V.I. Fusarya. Kiev: Naukova Dumka, 1977. 442 p. (in Russian).
16. Pidoplicko N.M. Mushrooms – parasites of cultivated plants. Determinant. Minsk: Naukova Dumka, 1977. V. 2. 299 p. (in Russian).
17. Khasanov B.A. The determinant of mushrooms – causative agents of “gelminorizes” of plants from labor *Bipolaris*, *Drechslera*, *Exserohilum*. Tashkent: Fan, AN UzbSSR, 1992. 232 p. (in Russian).
18. Sheshhegova T.K., Shchekleina L.M., Shchennikova I.G., Martyanova A.N. Dependence of fungi infection development of cereals on seasonal dynamics of climatic factors // *Achievements of science and technology of agro-industrial complex*. 2017. V. 31. No. 4. P. 58–62 (in Russian).
19. Gannibal F.B. Factors influencing *Alternaria* appearance in grains in European Russia // *Agricultural Biology*. 2018. V. 53. No. 3. P. 605–615 (in Russian). doi: 10.15389/agrjbiology.2018.3.605
20. Sheshhegova T.K., Batalova G.A., Polyplaova L.A., Kovtunenkov V.Ya., Panchenko V.V., Kaldsa A.P. Immunological and selection value of new lines of spring triticale // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 1. P. 104–109 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-104-109
21. Phan C.S., Li H., Kessler P.S., Solomon P.S., Piggott A.M., Piggott A.M., Chooi Y.H. Bipolenins K-N: New sesquiterpenoids from the fungal plant pathogen *Bipolaris sorokiniana* // *Beilstein J. Org. Chem*. 2019. V. 15. P. 2020–2028. doi: 10.3762/bjoc.15.198
22. Shirokikh I.G., Sheshhegova T.K. Complex of soil micromycetes under winter rye and its transformation under the impact of *Fusarium* infection // *Eurasian Soil Science*. 2005. No. 8. P. 874–879 (in Russian).
23. Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Loskutov I.G. Symbiotic relationships between aggressive *Fusarium* and *Alternaria* fungi colonizing oats grain // *Agricultural Biology*. 2017. V. 52. No. 5. P. 986–994 (in Russian). doi: 10.15389/agrjbiology.2017.5.986
24. Zhilin N.A., Zaytseva I.Yu., Shchennikova I.N., Emelev S.A. Effectiveness of the barley cultivar ‘Bios 1’ as source material for breeding // *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020. No. 181 (2). P. 96–100 (in Russian). doi: 10.30901/2227-8834-2020-2-96-100