


Перевод на английский язык <https://vavilov.elpub.ru/jour>

Особенности видового состава патогенных грибов рода *Fusarium* в биоценозах кукурузы Воронежской области

Т.М. Коломиец , М.И. Киселева, Н.С. Жемчужина, Л.Ф. Панкратова, С.А. Елизарова

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, р.п. Большие Вяземы, Одинцовский район, Московская область, Россия
 lomi1@yandex.ru


Аннотация. Кукуруза относится к основным культурам современного мирового земледелия. Она стоит на первом месте по валовым сборам зерна и на втором – по посевным площадям, уступая лишь основной хлебной культуре земного шара – пшенице. Одна из актуальных задач аграрного производства – проблема увеличения валового сбора зерна и зеленой массы кукурузы. Высокая потенциальная урожайность очень часто остается нереализованной вследствие развития болезней, прямые потери от которых оцениваются в 20–50 %. Цель настоящей работы – изучение видового состава микромицетов на растениях кукурузы, собранных в разные фазы вегетации в мае-июле 2020 г. в Воронежской области, идентификация фитопатогенных грибов из рода *Fusarium*, выявление патогенных и фитотоксичных штаммов грибов рода *Fusarium* для пополнения коллекции Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии. Сохранение инфекционного материала грибов из рода *Fusarium* имеет немаловажное значение для фитопатологических, иммунологических, селекционных, генетических и токсикологических исследований. В результате проведенного микологического анализа обнаружено большое количество изолятов грибов из родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Periconia*, *Pythium*, *Trichothecium* и др., выделенных из пораженных корней, стеблей и початков кукурузы в Воронежской области в 2020 г. Изоляты грибов из семи таксономических групп: *Fusarium fujikuroi* Nirenberg (*F. moniliforme*, *F. verticillioides*), *Fusarium oxysporum* Schldt., *Fusarium culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc., *Fusarium graminearum* Schwabe, *Fusarium heterosporum* Nees & T. Nees (*F. loli*), *Fusarium roseum* Link (*F. sambucinum*), *Fusarium sporotrichioides* Sherb., были проверены по патогенности и фитотоксичности на всходах растений-тестеров. Показано, что патогенная и фитотоксичная активность у грибов как между видами *Fusarium*, так и в пределах одного вида существенно различается. Наибольшую опасность для кукурузы представляют виды *F. sporotrichioides*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. fujikuroi*, *F. oxysporum*, *F. heterosporum*, обладающие высокой интенсивностью проявления фитотоксической активности, связанной с тем, что они способствуют синтезу и накоплению опасных токсинов в тканях растений. В результате проведенных исследований отобрано 55 штаммов грибов из рода *Fusarium*, относящихся к семи видам. Стабильные по морфолого-культуральным признакам и изученные по патогенности и фитотоксичности изоляты помещены на длительное хранение в Государственную коллекцию фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов, созданную на базе Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии.

Ключевые слова: коллекции микроорганизмов; микромицеты; генетическое разнообразие; кукуруза; фитопатогены; *Fusarium*.

Для цитирования: Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина Н.С., Панкратова Л.Ф., Елизарова С.А. Особенности видового состава патогенных грибов рода *Fusarium* в биоценозах кукурузы Воронежской области. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(6):583-592. DOI 10.18699/VJGB-22-71

A characteristic of the species composition of pathogenic fungi of the genus *Fusarium* in corn biocenoses of the Voronezh region

T.M. Kolomiets , M.I. Kiseleva, N.S. Zhemchuzhina, L.F. Pankratova, S.A. Elizarova

All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology, Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow region, Russia
 lomi1@yandex.ru

Abstract. Corn is one of the main crops of modern world agriculture. It ranks first in terms of gross grain harvests and second in terms of acreage, ceding only to the main grain crop of the globe, wheat. The problem of increasing the production of grain and green mass of corn remains one of the urgent tasks of agricultural production. High potential yields very often remain untapped due to diseases, direct losses from which are estimated at 20–50 %. The purpose of this work was to study the species composition of micromycetes on corn collected in different phases of vegetation in May–July 2020 in the Voronezh region, to identify phytopathogenic genus *Fusarium* fungi, to study pathogenic and phytotoxic strains of the fungi to replenish the collection of the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology. Preservation of infectious material of fungi from the genus *Fusarium* is of no small importance for phytopathological, immunological, breeding, genetic and toxicological studies. As a result of the mycological studies carried out, a lot of fungi isolates from the genera *Fusarium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Periconia*, *Pythium*, *Trichothecium*, etc., isolated from the affected roots, stems and ears of corn in the Voronezh region in 2020 were

identified. Fungi isolates from seven taxonomic groups: *Fusarium fujikuroi* Nirenberg (*F. moniliforme*, *F. verticillioides*), *Fusarium oxysporum* Schltdl., *Fusarium culmorum* (Wm.G. Sm.) Sacc., *Fusarium graminearum* Schwabe, *Fusarium heterosporum* Nees & T. Nees (*F. loli*), *Fusarium roseum* Link (*F. sambucinum*), *Fusarium sporotrichioides* Sherb. were tested for pathogenicity and phytotoxicity on seedlings of plant-testers. It has been shown that pathogenic and phytotoxic activity in fungi varies significantly between *Fusarium* species and within the same species. The greatest danger to corn is represented by the species *F. sporotrichioides*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. fujikuroi*, *F. oxysporum*, *F. heterosporum*, which have a high intensity of phytotoxic activity associated with the fact that they contribute to the synthesis and accumulation of dangerous toxins in plant tissues. As a result of the conducted studies, 55 strains of fungi from the genus *Fusarium* belonging to seven species were selected. The isolates, stable in morphological and cultural characteristics and studied for pathogenicity and toxicity, were placed for long-term storage in the Russian State Collection of Plant Pathogenic Microorganisms and Cultivars for Identification of Phytopathogenic Microbial Strains at the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology.

Key words: collections of microorganism; micromycetes; genetic diversity; corn; plant pathogens; *Fusarium*.

For citation: Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina N.S., Pankratova L.F., Elizarova S.A. A characteristic of the species composition of pathogenic fungi of the genus *Fusarium* in corn biocenoses of the Voronezh region. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(6):583-592. DOI 10.18699/VJGB-22-71

Введение

Наряду с тем что кукуруза сахарная (лат. *Zea mays* L. ssp. *mays*) является единственным культурным представителем рода Кукуруза (*Zea*) семейства Злаки (Poaceae) и самым древним хлебным растением в мире, она остается одной из самых востребованных культур в реалиях современного земледелия (Сотченко, 2005). Кукуруза стоит на первом месте по валовым сборам зерна и на втором по посевным площадям, уступая лишь основной хлебной культуре земного шара – пшенице. Крупнейшие производители кукурузы – США (около половины мирового урожая), Китай, Бразилия, Мексика, Франция, Аргентина, Индия, Индонезия, Италия и Румыния (Бабич, 1986; Березкин, Малько, 1998; Elmore, Abendroth, 2008). В России кукурузу возделывают главным образом в южных районах страны (Супрунов, 2009).

Благодаря высокой урожайности и полезным качествам кукурузы значение ее для разностороннего использования трудно переоценить. На продовольственные цели в странах мира приходится более 20 % зерна кукурузы, технические – 15–20 % и примерно две трети – на корм скоту (Сотченко, 2009).

Кукуруза как пищевая культура занимает третье место в мире по посевным площадям, уступая только пшенице и рису. По урожайности зерна у нее лидирующее положение: в нем содержится 65–70 % углеводов, 9–12 % белка, 4–8 % растительного масла (в зародыше до 40 %) и лишь около 2 % клетчатки. Кроме того, кукуруза богата витаминами А, В1, В2, В6, Е, С, D, F, незаменимыми аминокислотами, минеральными солями, микроэлементами и используется на продовольственные и медицинские цели (Сотченко, 2002).

В современном мире кормовая кукуруза дает большие урожаи и высокопитательный корм, благодаря чему имеет решающее значение в развитии животноводства. В кормовом балансе кукуруза стоит на первом месте из-за ее калорийных особенностей и возможности использования как зерна, так и зеленой массы – силоса (<https://universityagro.ru/растениеводство/кукуруза/>; Ивашенко и др., 2006; Сотченко, Горбачева, 2011).

Кукуруза имеет немаловажное значение и для промышленности. Кукурузное масло служит сырьем для получения дорожных красок, мыла и заменителей резины. Куку-

рузный крахмал применяют для аппретирования тканей и кожи, повышения плотности и гладкости бумаги; в производстве вискозного волокна, взрывчатых веществ, декстринового клея. Из стеблей и других вегетативных частей растений получают строительные и упаковочные материалы, бумагу, улучшающие добавки для почвы, взрывчатку. Из кочерыжек початков кукурузы выделяют фурфурол – сырье для производства пластмасс, нейлона и других синтетических веществ (<https://universityagro.ru/растениеводство/кукуруза/>).

Одна из актуальных задач аграрного производства – проблема увеличения валового сбора зерна кукурузы (Сотченко, 2005). В условиях России высокая потенциальная урожайность кукурузы часто остается нереализованной вследствие развития болезней, среди которых основная роль принадлежит микромицетам из родов *Fusarium*, *Bipolaris*, *Alternaria* и др. Прямые потери зерна от корневой гнили и фузариоза початков оцениваются в 20–50 % (Ивашенко, 2007, 2012).

Широко распространенными заболеваниями кукурузы, особенно в районах с повышенной влажностью, являются фузариоз початков и корневая гниль. В этих районах поражается до 50–60 % посевов кукурузы. Большую группу болезней кукурузы представляют грибы из рода *Fusarium*: *Fusarium acuminatum* Ellis & Everh., *F. culmorum* (W.G. Sm.) Sacc., *F. equiseti* (Corda) Sacc., *F. gibbosum* Appel. et Wollenw., *F. graminearum* Schwabe, *F. heterosporum* Nees & T. Nees, *F. oxysporum* f. *conglutinans* (Wollenw.) W.C. Snyder & H.N. Hansen, *F. oxysporum* f. *cucumerinum* Berk. & Broome, *F. poae* (Peck) Wollenw., *F. roseum* Link, *F. solani* (Mart.) Sacc., *F. sporotrichioides* Sherb. и др. (Ali et al., 2005; Eller et al., 2008).

Фузариоз початков, вызываемый гембиотрофным грибом *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (syn. *Fusarium moniliforme* J. Sheld., сумчатая стадия – *Gibberella fujikuroi*), приводит к снижению урожая и ухудшению его качества (Miller et al., 2007; Murillo-Williams, Munkvold, 2008; Mesterhazy et al., 2012). При хранении початков в условиях высокой влажности и недостаточной аэрации грибок продуцирует микотоксины, известные как фумонизины. Эти токсины канцерогенны для человека и животных (Clements, White, 2004; Robertson-Hoyt et al., 2007).

Что касается видов, вызывающих корневую гниль, то низкая температура в период прорастания семян, повышенная влажность и кислотность почвы усиливают развитие заболевания (Супрунов, 2009). При этом на поверхности прорастающей зерновки образуется слабый налет гриба розового или белого цвета. Вскоре после выхода растений кукурузы на поверхность росток бурет и отмирает. Если росток выживает, то он имеет слабо развитую корневую систему, растения задерживаются в росте, листья засыхают, часто полегают (Иващенко и др., 2006).

Поскольку возбудители корневой гнили и фузариоза початков обитают в почве на растительных остатках и зерне, вопрос изучения круга наиболее патогенных микромицетов, в том числе из рода *Fusarium*, актуален для разработки экологически чистых методов борьбы с ними, включая и создание устойчивых к болезни сортов и гибридов кукурузы (Hooker, 1967; Иващенко, 2009а; Иващенко, Матвеева, 2010). Особое внимание при этом уделяется созданию инфекционных фондов, на которых проводятся мероприятия по оценке и отбору устойчивых форм (Иващенко, 2007, 2009б). Немаловажное значение имеет и подготовка составов инфекционных фондов, которая включает изучение видового состава микромицетов кукурузы, выявление наиболее патогенных изолятов грибов рода *Fusarium* и создание условий для длительного их хранения без потери патогенных свойств.

Микологический анализ образцов кукурузы и анализ научной литературы, связанной с разрабатываемым вопросом, свидетельствует о том, что мониторинг видового состава грибов на возделываемой культуре в настоящее время весьма актуален как для принятия срочных профилактических и оздоровительных мер, так и для развития стратегии предотвращения негативных последствий от развития болезней. Исследования, направленные на изучение видового состава микромицетов, вызывающих корневую гниль и фузариоз початков, в итоге обуславливают возможность получения экологически чистых и стабильных урожаев кукурузы.

Сохранение инфекционного материала грибов из рода *Fusarium* имеет немаловажное значение для фитопатологических, иммунологических, селекционных, генетических и токсикологических исследований (Дубовой и др., 2016; Коломиец и др., 2018; Kolomiets, Zhemchuzhina, 2018). Для решения поставленных задач в соответствии с Федеральным законом от 10.01.02. № 7-ФЗ (ред. от 24.11.2014, с изм. от 29.12.2014) «Об охране окружающей среды» Постановлением Правительства РФ от 24.06.1996 № 725-47 «О мерах по сохранению и рациональному использованию коллекций микроорганизмов, культивируемых клеток высших растений, перевиваемых соматических клеток позвоночных», а также с учетом положений Конвенции о биологическом разнообразии (1992 г.) и рекомендаций Европейской организации по экономическому и социальному развитию (GENERAL GUIDELINES FOR ALL BRCS, 2006; GUIDANCE FOR THE OPERATION OF BIOLOGICAL RESOURCE CENTRES (Part 2: Micro-Organism Domain), 2006; OECD Best Practice Guidelines for BRCS 2007) была создана Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов

микроорганизмов Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ГКФМ ВНИИФ). Она является Государственным депозитарием фитопатогенных микроорганизмов.

Что касается создания коллекции грибов из рода *Fusarium*, то основными ее задачами были не только сохранение жизнеспособности и генетической стабильности штаммов этих грибов по морфолого-культуральным признакам в течение длительного времени, но и пополнение фонда новыми видами с различным спектром свойств патогенности и фитотоксичности, а также увеличение круга географических территорий сбора пораженных образцов кукурузы (Гагкаева, Левитин, 2005; Гагкаева и др., 2008). Для выполнения этих задач образцы зараженных растений, ежегодно поступающие из различных районов страны, подвергаются микологическим исследованиям, на основании данных анализа материала проводится отбор наиболее патогенных и фитотоксичных образцов в коллекцию.

Целью настоящей работы стали изучение видового состава микромицетов на растениях кукурузы, собранных в разные фазы вегетации в мае-июле 2020 г. в Воронежской области, идентификация фитопатогенных грибов из рода *Fusarium*, выявление патогенных и фитотоксичных штаммов грибов рода *Fusarium* для пополнения коллекции ФГБНУ ВНИИФ.

Материалы и методы

Материалом для исследований были растения кукурузы с различными признаками поражения грибными инфекциями на листьях, стеблях и корнях. Образцы районированных сортов кукурузы (Аякс, Донская высокорослая, Зерноградский) были собраны в разные фазы вегетации, согласно классификации фенологического развития по системе ВВСН: формирование 5–6-го листа – ф.2, трубкования или формирование 8–10-го листа – ф.32, налива – молочной спелости – ф.75 (Large, 1954; Lancashire et al., 1991). Все работы были выполнены с использованием оборудования ЦКП ГКФМ ФГБНУ ВНИИФ (<http://www.vniif.ru/vniif/page/ckp-gkmf/1373>).

Фитосанитарное состояние образцов оценивали по общепринятым в фитопатологии методикам (Gerlach, Nirenberg, 1982; Leslie, Summerell, 2006; Dictionary..., 2008; Watanabe, 2010). Виды грибов определяли по морфологии спор под микроскопом при увеличении $\times 400$ (Билай, 1977; Билай, Элланская, 1982; Гагкаева и др., 2008).

Выделение симбиотрофных и сапрофитных микромицетов из пораженных растений проводили с использованием голодного, картофельно-глюкозного и картофельно-морковного агар-агаров. Грибы из образцов кукурузы изолировали по стандартной методике (Билай, 1977; Билай, Элланская, 1982). Отмытые водопроводной водой больные растения каждого образца разрезали на фрагменты размером 5–10 мм, стерилизовали в 50 % спирте в течение 20–30 с и в асептических условиях раскладывали на поверхность 2 % картофельно-глюкозного агар-агара в чашки Петри (по 4–6 кусочков в каждую). Образец был представлен не менее чем 150–200 фрагментами пораженной ткани. Чашки Петри помещали

в термостат с температурой 22–24 °С. Наблюдение за развитием грибов проводили ежедневно. По мере роста колоний грибов делали отсев кусочком мицелия на питательную среду в центр чашки Петри. Чистые культуры грибов просматривали под микроскопом. Виды грибов идентифицировали по основным морфологическим признакам колоний и спор: скорости роста, окраске мицелия и его структуре, пигментации, форме, размерам апикальной и базальной клеток макроконидий, наличию микроконидий. Для оценки размера макроконидий брали средний показатель микрокопирования, 300 конидий.

В качестве справочной литературы при установлении видовой принадлежности гриба использовали определители (Gerlach, Nirenberg, 1982; Билай, Курбацкая, 1990; Leslie, Summerell, 2006; Dictionary..., 2008; Watanabe, 2010). Современный таксономический статус выделенных видов *Fusarium* уточняли по адресу <http://www.indexfungorum.org/>.

Частоту встречаемости отдельных видов *Fusarium* в образцах пораженных растений в процентах определяли по формуле

$$P = (100 \times n) / N,$$

где P – частота встречаемости вида в популяции (в %); N – общее количество изолятов грибов рода *Fusarium* в выборке; n – количество изолятов определенного вида *Fusarium* в выборке.

Изоляты грибов, выделенные из пораженных образцов кукурузы, помещали на хранение в лабораторию ГКФМ ФГБНУ ВНИИФ. Изоляты содержались в холодильниках при температуре 7–10 °С в биологических пробирках на косяках питательной среды – картофельно-глюкозном агар-агаре (Билай, Элланская, 1982).

Патогенные и токсичные свойства штаммов изучали, применяя метод биопробы на семенах. Патогенность споровых суспензий и фитотоксичность фильтратов культуральных жидкостей (ФКЖ) грибов тестировали на семенах пшеницы (сорт Мироновская 808). О степени патогенности и токсичности штаммов судили по влиянию суспензий конидий и ФКЖ на всхожесть семян, развитие ростка и первичных корней пшеницы, однако основным показателем считали длину корней.

Определение степени патогенности и токсичности проводили на 5-е сутки от начала проращивания семян. Если длина проростков и корней (в мм) в опытном варианте составляла 0–30 % от длины контроля, то это свидетельствовало о сильной патогенной (П) и сильной токсичной (Т) активности гриба; 31–50 % – умеренной патогенности (УП) и умеренной токсичности (УТ); 51–70 % – слабой патогенности (СП) и слабой токсичности (СТ); 71–100 % – о непатогенных (НП) и нетоксичных (НТ) свойствах изолятов. Длину ростков и первичных корней семян, пророщенных в воде, считали контролем и принимали за 100 % (Парфенова, Алексеева, 1995).

Результаты и обсуждение

Микологические исследования анализируемых растений кукурузы, собранных в разные фазы вегетации (формирование 5–6-го листа, трубкование, молочная спелость), показали наличие на них микромицетов, относящихся как к фитопатогенам, так и к сапротрофам. Всего из образ-

цов кукурузы было выделено и идентифицировано более 30 видов микромицетов.

Сапротрофные виды грибов из родов *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Periconia*, *Pythium*, *Trichothecium* и др. преобладали на тканях корней и прикорневых участках стеблей кукурузы (табл. 1). На листьях образцов чаще обнаруживали гетеротрофные виды грибов. Практически половина (1600 ед.) идентифицированных из листьев и корней изолятов грибов принадлежала к родам *Alternaria*, *Bipolaris*, *Exserohilum* и *Fusarium*. Следует отметить, что частота встречаемости грибов *Alternaria* spp. зависела от фенологической фазы растений кукурузы. Так, в фазу формирования 5–6-го листа грибы этого рода значительно чаще выделяли из тканей корней кукурузы, в фазу молочной спелости – с листьев.

Симптоматический анализ образцов кукурузы выявил признаки инфицирования их возбудителем *Exserohilum turcicum* (Pass.) K.J. Leonard & E.G. Suggs (= *Setosphaeria turcica*). На листьях кукурузы нижнего яруса отмечали крупные пятна, серые – в центре и с более темными краями с сажистым налетом. Образцы с такими признаками встречались в фазу трубкования и молочной спелости, интенсивность поражения их была низкой и колебалась от 1 до 20 % площади листа нижнего яруса.

Изоляты *Bipolaris sorokiniana* Shoemaker (*Cochliobolus sativus*) преимущественно находили на корнях и прикорневой части стеблей кукурузы в фазу формирования 5–6-го листа. На листьях в эту и более поздние фенофазы гриб не идентифицировался.

Проявление болезней, вызванных грибами из рода *Fusarium*, имело схожую симптоматику. Как правило, на листьях, стеблях, прикорневой шейке и корнях кукурузы отмечали бурые или желтые участки, часто с признаками мацерации или трухлявости. Изучение в культуре образцов пораженных тканей растений кукурузы позволило выделить в чистую культуру более 900 изолятов рода *Fusarium* и идентифицировать их по морфологическим признакам (скорости роста колонии, окраске и структуре мицелия), наличию, форме и размерам макро- и микроконидий (при наличии); следующие 11 видов этого рода – *F. culmorum*, *F. gibbosum*, *F. graminearum*, *F. heterosporum*, *F. fujikuroi*, *F. incarnatum*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. roseum*, *F. sporotrichioides*, *F. solani* (табл. 2). В ряде случаев из одного образца пораженной ткани кукурузы выделяли более чем один-два микромицета из рода *Fusarium*. Особенно часто это отмечали при выделении в чистую культуру *F. oxysporum*, которому, как правило, сопутствовали виды *F. roseum*, *F. poae*, *F. solani* и др.

Частота встречаемости фузариевых грибов была неоднозначной и заметно менялась в зависимости от фазы вегетации кукурузы и, возможно, складывающихся погодных условий сезона. В комплексе микромицетов из рода *Fusarium* на посевах кукурузы в Воронежской области наиболее часто встречались виды *F. heterosporum* и *F. oxysporum*. Суммарная доля этих двух видов составляла половину от всех идентифицированных изолятов, принадлежащих другим видам *Fusarium*. Тем не менее колебания по частоте встречаемости этих видов грибов наблюдали во все фенологические фазы развития кукурузы. При

Таблица 1. Виды микромицетов, обнаруженные на посевах кукурузы в Воронежской области в 2020 г.

Вид гриба	Фенологические фазы развития		
	Формирование 5–6-го листа	Трубкавание	Молочная спелость
<i>Acremonium</i> sp.	++	++	+++
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	+++	+++	+++
<i>Alternaria tenuissima</i> (Kunze) Wiltshire	+++	+++	+++
<i>Aspergillus ustus</i> (Bainier) Thom & Church	++	+++	++
<i>Aspergillus flavus</i> Link	+	+++	++
<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	+++	+++	++
<i>Bipolaris sorokiniana</i> Shoemaker	+++	+	++
<i>Botrytis cinerea</i> Pers.	++	++	+++
<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	++	+	++
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries	+++	++	+++
<i>Cephalosporium</i> sp.	+	+	++
<i>Chaetomium murorum</i> Corda	+++	+++	+++
<i>Curvularia</i> sp.	+	+	+
<i>Gliocladium</i> sp.	+	+	++
<i>Exserohilum turcicum</i> (Pass.) K.J. Leonard & E.G. Suggs	–	+	++
<i>Fusarium culmorum</i> (Wm.G. Sm.) Sacc.	++	++	+++
<i>Fusarium gibbosum</i> Appel & Wollenw.	+	+	++
<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe	+	++	+
<i>Fusarium heterosporum</i> Nees & T. Nees	+++	+++	+++
<i>Fusarium fujikuroi</i> Nirenberg	++	+++	+++
<i>Fusarium incarnatum</i> (Desm.) Sacc.	–	–	+
<i>Fusarium oxysporum</i> Schltdl.	+++	+++	+++
<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wollenw.	–	+	+++
<i>Fusarium roseum</i> Link	+	+++	++
<i>Fusarium solani</i> (Mart.) Sacc.	–	++	++
<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.	++	++	+++
<i>Mucor mucedo</i> Fresen.	+++	+++	+++
<i>Nigrospora</i> sp.	++	++	+++
<i>Penicillium</i> sp.	+++	+++	+++
<i>Periconia</i> sp.	++	++	++
<i>Pythium</i> sp.	++	++	+++
<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb.) Vuill	+++	+++	++
<i>Talaromyces luteus</i> (Zukal) C.R. Benj.	+	+	+
<i>Trichoderma</i> sp.	++	+	+
<i>Trichothecium roseum</i> (Pers.) Link	++	+++	+++
Стерильные мицелии	++	+++	+++

Примечание. «+» – от 1 до 10 изолятов гриба; «++» – от 11 до 20 изолятов гриба; «+++» – выше 20 изолятов гриба.

оценке частоты встречаемости видов из рода *Fusarium* в фазу молочной спелости было замечено, что доля изолятов *F. heterosporum* и *F. oxysporum* снижалась в 1.5–2 раза (см. табл. 2). Следует указать также, что изоляты *F. heterosporum* чаще выделялись с пораженных корней кукурузы, а *F. oxysporum* – со стеблей.

При микологических исследованиях тканей кукурузы изоляты *F. fujikuroi* находили во всех вариантах опыта.

Частота встречаемости гриба постепенно менялась от низкой (6.5 %) в фазу формирования 5–6-го листа до высокой (19.4 %) в фазу молочной спелости. Вероятно, с течением времени создавались условия, более благоприятные для накопления *F. fujikuroi* в почве и на растениях кукурузы. Аналогичную картину наблюдали и для видов *F. poae* и *F. sporotrichioides*, частота встречаемости которых значительно менялась от фазы формирования 5–6-го листа

Таблица 2. Частота встречаемости видов рода *Fusarium*, выявленных на пораженных образцах кукурузы из Воронежской области в 2020 г.

Вид гриба	Фенологические фазы развития						Частота встречаемости видов	
	Формирование 5–6-го листа		Трубкавание		Молочная спелость			
	Ед.	%	Ед.	%	Ед.	%	Ед.	%
<i>F. culmorum</i>	28	13.0	22	6.9	31	8.2	81	8.9
<i>F. gibbosum</i>	7	3.3	0	0	12	3.2	19	2.1
<i>F. graminearum</i>	5	2.3	12	3.8	5	1.3	22	2.4
<i>F. heterosporum</i>	66	30.7	108	33.7	68	18.6	242	26.5
<i>F. fujikuroi</i>	14	6.5	32	10.0	73	19.9	119	13.0
<i>F. incarnatum</i>	0	0	0	0	7	1.8	7	0.8
<i>F. oxysporum</i>	81	37.7	76	23.8	51	13.5	208	22.8
<i>F. poae</i>	0	0	7	2.2	44	11.7	51	5.6
<i>F. roseum</i>	2	0.9	25	7.8	12	3.2	39	4.3
<i>F. solani</i>	0	0	20	6.2	17	4.5	37	4.0
<i>F. sporotrichioides</i>	12	5.6	18	5.6	57	15.1	87	9.6
Количество изолятов	215	100	320	100	377	100	912	100

до фазы молочной спелости, соответственно, от низкой (0 и 5.6 %) до высокой (11.7 и 15.1 %).

Что касается *F. culmorum*, то значительных колебаний по частоте встречаемости гриба на образцах кукурузы в разные фенологические фазы не обнаружено. Это свидетельствует о достаточно высокой жизнеспособности микромицета, занимающего определенную нишу в патокмплексе *Fusarium* spp. Как правило, макроконидии гриба выявляли на пораженных образцах с корней и листьев нижнего яруса.

Виды *F. roseum*, *F. solani*, *F. graminearum*, *F. gibbosum*, *F. incarnatum* в патогенном комплексе фузариозных грибов на кукурузе встречались достаточно редко. В основном изоляты этих микромицетов определяли на пораженных корнях и прикорневой зоне стеблей. Возможно, либо эти виды грибов не играют существенной роли в патогенезе кукурузы, либо не было условий для их развития.

В результате микологических исследований получен биологический материал, представленный большим количеством изолятов грибов: 11 видов из рода *Fusarium*; 55 изолятов грибов из 7 таксономических групп (*F. fujikuroi*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. heterosporum*, *F. roseum*, *F. sporotrichioides*) были проверены по патогенности и фитотоксичности на всходах растений-тестеров.

В табл. 3 приведены результаты оценки влияния метаболитов споровых суспензий и фильтратов культуральных жидкостей изолятов грибов наиболее патогенных и фитотоксичных видов из рода *Fusarium* на развитие проростков пшеницы сорта Мироновская 808 (всхожесть семян, длина ростка и корней). Показано, что изоляты грибов из рода *Fusarium*, представленные разными видами, обладали широким внутривидовым разнообразием по изучаемым признакам. В пределах одного вида встречались штаммы гриба, принадлежащие к разным категориям – от патогенных/токсичных до непатогенных/нетоксичных (см. рисунок).

Высокие фитотоксичные и патогенные свойства показали виды *F. sporotrichioides* и *F. graminearum*. Фильтраты культуральной жидкости и споровые суспензии изолятов этих видов практически полностью подавляли развитие проростков растений сорта-тестера.

Виды грибов *F. culmorum*, *F. fujikuroi*, *F. oxysporum*, *F. heterosporum* обладали более сильными фитотоксичными, чем патогенными, свойствами, проявляя умеренно-токсичную и токсичную реакцию к проросткам сорта-тестера. Вид *F. roseum* характеризовался слабыми патогенностью и фитотоксичностью.

Заключение

В результате микологического анализа состава микромицетов на пораженных растениях кукурузы в разные фенологические фазы развития растений выделено более 30 видов микромицетов. На корнях и прикорневой зоне кукурузы преобладали сапротрофные виды грибов из родов *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Periconia*, *Pythium*, *Trichothecium* и др. На листьях чаще обнаруживали гетеротрофные виды грибов, принадлежащие к родам *Alternaria*, *Bipolaris*, *Exserohilum* и *Fusarium*. Необходимо отметить, что частота встречаемости грибов *Alternaria* spp. зависела от фенологической фазы растений кукурузы. На листьях кукурузы нижнего яруса был идентифицирован возбудитель *Exserohilum turcicum*. Возбудитель *Bipolaris sorokiniana* преимущественно инфицировал корни и прикорневую часть стебля кукурузы в фазу формирования 5–6-го листа.

В течение онтогенеза на посевах кукурузы в Воронежской области встречались 11 видов грибов из рода *Fusarium*: *F. culmorum*, *F. gibbosum*, *F. graminearum*, *F. heterosporum*, *F. fujikuroi*, *F. incarnatum*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. roseum*, *F. sporotrichioides*, *F. solani*. Среди них с высокой частотой отмечены два вида – *F. heterosporum* и *F. oxysporum*. Похожие виды патогенов на кукурузе идентифицированы зарубежными учеными (Ali et al., 2005;

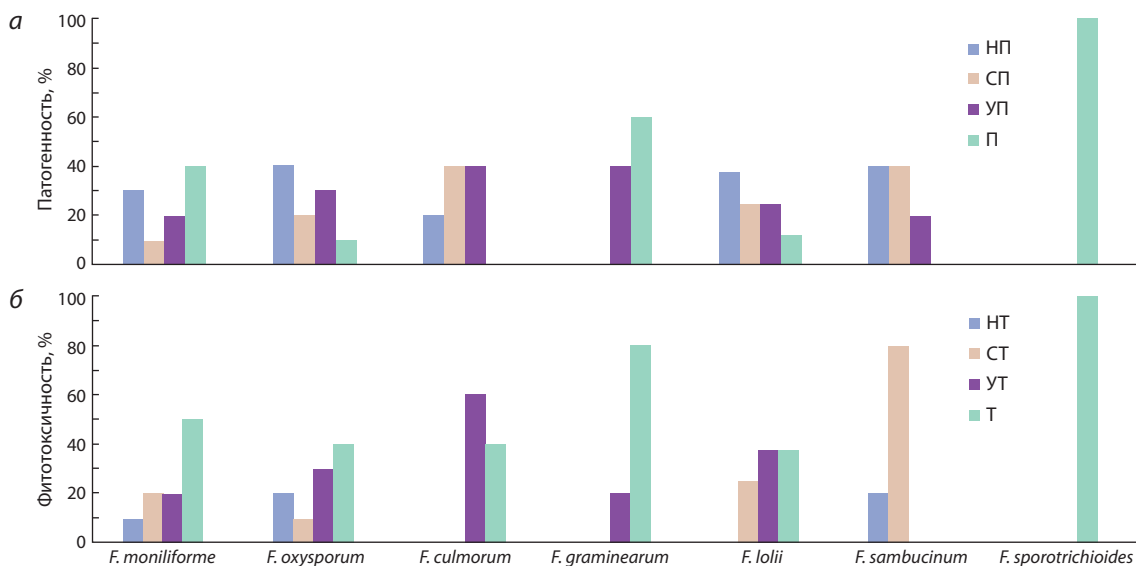
Таблица 3. Характеристика штаммов грибов семи видов из рода *Fusarium* по патогенности споровых суспензий и фитотоксичности культуральной жидкости на проростках пшеницы сорта Мироновская 808 (в % к контролю)

Шифр штамма	Патогенность (споровая суспензия)				Токсичность (культуральная жидкость)			
	Всхожесть семян, %	Длина ростка, %	Длина корней, %	Степень влияния	Всхожесть семян, %	Длина ростка, %	Длина корней, %	Степень влияния
<i>F. fujikuroi</i> Nirenberg								
ZM-FF-4з	100.0	109.9±3.2	103.9±4.0	НП	100.0	96.1±3.5	61.0±2.6	СТ
ZM-FF-2з	100.0	113.7±5.2	99.5±4.0	НП	100.0	117.6±2.9	76.4±2.4	НТ
ZM-FF-4з-1	96.7	113.0±4.2	104.8±3.1	НП	100.0	66.7±4.3	58.2±3.3	УТ
ZM-FF-2л-1	100.0	87.3±4.6	65.6±3.6	СП	100.0	92.1±2.6	59.1±2.6	СТ
ZM-FF-2кш	100.0	75.8±5.3	45.2±3.6	УП	100.0	87.7±4.5	50.7±3.3	УТ
ZM-FF-5з	96.7	80.1±3.3	44.0±2.7	УП	100.0	73.3±2.6	86.1±1.7	Т
ZM-FF-5к-1	83.3	52.4±4.3	18.7±2.2	П	95.1	68.4±3.7	17.7±4.1	Т
ZM-FF-1п	95.5	47.5±2.7	27.5±2.3	П	100.0	67.7±4.4	22.2±2.2	Т
ZM-FF-5п	90.0	64.4±3.3	25.5±3.4	П	96.7	65.7±5.1	28.3±4.6	Т
ZM-FF-6з	87.7	62.3±4.7	21.1±3.7	П	100.0	83.3±3.3	25.1±3.5	Т
<i>F. oxysporum</i> Schlecht.								
ZM-FO-1л	100.0	114.1±4.4	109.5±2.2	НП	100.0	101.5±3.2	77.6±2.4	НТ
ZM-FO-1ст	100.0	111.1±3.1	101.9±1.5	НП	100.0	83.5±5.2	39.5±2.8	УТ
ZM-FO-2к	100.0	108.6±2.3	85.4±1.7	НП	100.0	91.1±4.4	43.1±4.3	УТ
ZM-FO-8л	100.0	106.5±4.2	88.0±2.5	НП	96.7	74.1±2.8	26.6±1.6	Т
ZM-FO-2л	100.0	101.2±4.1	54.5±2.0	СП	96.7	30.7±1.9	6.6±1.1	Т
ZM-FO-4з-2	96.7	105.5±3.5	60.8±2.2	СП	100.0	104.0±3.7	80.3±2.2	НТ
ZM-FO-4л-2	100.0	76.7±5.2	42.2±2.5	УП	96.7	96.5±3.1	43.6±2.5	УТ
ZM-FO-4ст	96.7	78.2±5.8	46.2±2.4	УП	100.0	86.7±3.1	45.3±4.5	УТ
ZM-FO-3з	100.0	84.1±3.3	40.3±3.7	УТ	100.0	51.8±5.0	25.8±2.4	Т
ZM-FO-8з	95.0	43.3±4.8	21.7±3.5	Т	100.0	55.8±5.4	18.5±3.7	Т
<i>F. culmorum</i> (Sm.) Sacc.								
ZM-FC-1з	100.0	70.4±5.7	40.8±2.4	УП	96.7	96.5±3.1	43.6±2.5	УТ
ZM-FC-2к	96.7	78.2±5.8	56.2±4.4	СП	100.0	51.8±5.0	25.8±2.4	Т
ZM-FC-3ст	100.0	83.5±5.8	75.7±4.7	НП	100.0	86.7±3.3	49.5±3.5	УТ
ZM-FC-6л	100.0	83.1±3.5	53.3±5.5	СП	100.0	56.6±3.5	21.1±1.9	Т
ZM-FC-4к-1	100.0	75.5±4.3	43.7±4.9	УП	96.7	95.5±3.7	45.5±4.2	УТ
<i>F. graminearum</i> Schwabe.								
ZM-FG-3п	83.3	49.4±4.7	29.5±3.2	П	96.7	86.7±3.0	44.8±3.3	УТ
ZM-FG-3кш	96.7	63.3±5.1	56.7±4.7	УП	90.0	23.3±2.7	15.7±2.5	Т
ZM-FG-2п	95.0	55.4±4.3	17.5±3.3	П	93.7	76.7±3.5	46.7±3.7	УТ
ZM-FG-1кш	100.0	33.3±3.4	12.5±3.7	П	100.0	64.3±3.2	49.7±3.3	УТ
ZM-FG-1л-2	83.3	66.7±4.5	29.1±3.7	П	91.1	65.7±3.0	45.4±3.5	УТ
ZM-FG-5п-1	100.0	67.3±4.2	64.7±3.5	УП	100.0	40.3±3.8	15.3±3.3	Т
ZM-FG-6кш	96.3	63.3±4.2	44.7±5.1	УП	90.0	33.3±1.5	8.7±2.5	Т
ZM-FG-4л	100.0	81.1±4.4	58.9±3.5	УП	100.0	27.3±3.5	16.7±2.7	Т
ZM-FG-1к-2	98.5	53.4±4.7	22.5±3.2	П	100.0	75.6±4.3	44.4±3.0	УТ
ZM-FG-3п-1	100.0	63.7±4.3	27.7±5.2	П	95.0	33.3±2.4	19.1±2.5	Т
<i>F. heterosporum</i> Nees & T. Nees								
ZM-FL-1к	100.0	103.5±1.8	77.0±1.6	НП	100.0	84.4±3.0	40.7±1.9	УТ
ZM-FL-2л	100.0	109.3±2.5	87.8±2.3	НП	100.0	86.2±2.2	42.3±1.2	УТ
ZM-FL-1к-1	100.0	106.9±2.1	81.3±3.0	НТ	86.5	32.1±2.7	15.7±3.5	Т
ZM-FL-3л	100.0	97.2±2.4	64.9±1.6	СП	96.7	84.3±3.8	52.8±2.9	СТ
ZM-FL-3л-1	96.7	75.5±4.3	66.7±2.7	СП	96.7	76.3±3.2	57.3±4.2	СТ
ZM-FL-2кш	98.6	66.5±5.4	50.7±4.7	УП	100.0	88.7±3.7	46.1±3.5	УТ
ZM-FL-3к	96.7	86.7±3.0	44.9±3.3	УП	93.3	43.4±2.5	19.7±3.5	Т
ZM-FL-3л-2	83.3	47.7±4.3	23.3±3.2	П	90.0	36.7±4.7	25.7±1.5	Т

Окончание таблицы 3

Шифр штамма	Патогенность (споровая суспензия)				Токсичность (культуральная жидкость)			
	Всхожесть семян, %	Длина ростка, %	Длина корней, %	Степень влияния	Всхожесть семян, %	Длина ростка, %	Длина корней, %	Степень влияния
<i>F. roseum</i> Link								
ZM-FR-5к	100.0	101.3±1.8	93.8±3.2	НП	100.0	96.3±1.7	93.9±2.1	НТ
ZM-FR-1к-1	100.0	99.1±2.8	95.3±4.1	НП	100.0	87.3±4.6	65.6±3.6	СТ
ZM-FR-4п	100.0	90.9±1.8	68.7±3.8	СП	100.0	92.3±2.5	65.4±2.7	СТ
ZM-FR-4л-1	100.0	92.3±1.5	65.5±3.4	СП	96.7	84.3±3.8	62.8±3.9	СТ
ZM-FR-6к	96.7	88.8±2.3	48.8±2.5	УП	100.0	90.6±4.0	61.4±2.5	СТ
<i>F. sporotrichioides</i> Swerb.								
ZM-FS-4к	100.0	34.5±4.5	15.9±1.7	П	100.0	29.8±1.9	4.2±0.8	Т
ZM-FS-8к	90.0	53.6±7.1	21.5±2.6	П	90.0	43.3±2.3	15.7±2.5	Т
ZM-FS-2ст	88.3	53.6±3.3	10.5±3.3	П	98.2	51.1±4.3	25.1±3.6	Т
ZM-FS-2л-2	85.7	44.7±3.4	8.5±3.5	П	100.0	44.1±3.5	22.5±3.3	Т
ZM-FS-6ст	90.0	47.7±3.8	11.1±3.5	П	95.0	43.3±2.3	11.1±2.5	Т
ZM-FS-1к-1	90.0	57.3±3.6	22.3±2.4	П	85.3	23.5±2.3	4.7±2.5	Т
ZM-FS-4к-2	100.0	55.7±4.1	15.1±3.5	П	83.7	23.7±2.1	5.5±2.5	Т

Примечание. НП/НТ – непатогенный/нетоксичный; СП/СТ – слабопатогенный/слаботоксичный; УП/УТ – умеренно-патогенный/умеренно-токсичный; П/Т – патогенный/токсичный.



Распределение видов грибов из рода *Fusarium* по патогенности (а) и фитотоксичности (б), %.

Eller et al., 2008). В течение многолетних исследований В.Г. Иващенко с коллегами обнаружили 15 видов грибов фузариозной этиологии на посевах кукурузы в России (Иващенко, 2012).

Показано, что патогенная и фитотоксичная активность у грибов как между видами *Fusarium*, так и в пределах одного вида существенно различается. Наибольшую опасность для кукурузы представляют фузариевые грибы следующих видов: *F. sporotrichioides*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. fujikuroi*, *F. oxysporum*, *F. heterosporum*, обладающие высокой интенсивностью проявления фитотоксической активности, связанной со способностью к синтезу и накоплению опасных токсинов в тканях растений. Результаты исследований пшеницы, ранее полученные

нами, во многом совпадают с данными, представленными в статье. Штаммы *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. heterosporum*, *F. oxysporum*, выделенные с пшеницы, обладали широким внутривидовым разнообразием по этим признакам. Среди них так же, как и на кукурузе, встречались штаммы грибов с разным уровнем патогенной и фитотоксичной активности (Жемчужина и др., 2021).

Характер воздействия ФКЖ штаммов грибов *F. graminearum*, *F. heterosporum*, *F. fujikuroi*, *F. solani* и *F. redolens* на проростки ячменя определяется высокой, а *F. avenaceum*, *F. poae* – слабой фитотоксичностью. Из всех перечисленных видов наиболее патогенными и фитотоксичными на ячмене оказались изоляты *F. sporotrichioides* и *F. sambucinum*. У видов *F. culmorum* и *F. oxysporum*, в от-

личие от выделенных с кукурузы, распределение частот встречаемости всех категорий патогенности и фитотоксичности было примерно одинаковым (Коломиец и др., 2018).

Таким образом, в результате микологических исследований, проведенных на пораженных образцах кукурузы из Воронежской области, Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов ВНИИФ была пополнена 55 штаммами грибов, относящимися к семи видам патогенов из рода *Fusarium*. Отобранные штаммы фитопатогенов, стабильные по морфолого-культуральным признакам, охарактеризованные по свойствам патогенности и фитотоксичности, заложены на длительное хранение с использованием методов лиофилизации и криоконсервации.

Список литературы / References

- Бабиц А.А. Тенденции развития кукурузоводства в США. *Кукуруза и сорго*. 1986;4:40.
[Babich A.A. Trends in the development of maize industry in the USA. *Kukuruzna i Sorgo = Maize and Sorghum*. 1986;4:40. (in Russian)]
- Березкин А.Н., Малько А.М. Организация семеноводства сельскохозяйственных культур в Канаде. М.: Изд-во МСХА, 1998.
[Berezkin A.N., Malko A.M. Organization of Crop Seed Production in Canada. Moscow: Publishing House of the Ministry of Agriculture, 1998. (in Russian)]
- Билай В.И. Фузариоз. Киев: Наук. думка, 1977.
[Bilai V.I. Fusarii. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1977. (in Russian)]
- Билай В.И., Курбачкая З.А. Определитель токсинообразующих микромицетов. Киев: Наук. думка, 1990.
[Bilai V.I., Kurbatskaya Z.A. Guide to Toxin-Forming Micromycetes. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1990. (in Russian)]
- Билай В.И., Элланская И.А. Основные микологические методы в фитопатологии. В: Методы экспериментальной микологии. Справочник. Киев: Наук. думка, 1982;418-431.
[Bilai V.I., Ellanskaya I.A. Basic mycological methods in plant pathology. In: Methods of Experimental Mycology. Handbook. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1982;418-431. (in Russian)]
- Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Современное состояние таксономии грибов рода *Fusarium* секции *Sporotrichiella*. *Микология и фитопатология*. 2008;42(3):201-214.
[Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P., Levitin M.M. Modern taxonomy of fungi from the genus *Fusarium* section *Sporotrichiella*. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2008;42(3):201-214. (in Russian)]
- Гагкаева Т.Ю., Левитин М.М. Современное состояние таксономии грибов комплекса *Gibberella fujikuroi*. *Микология и фитопатология*. 2005;39(6):3-14.
[Gagkaeva T.Yu., Levitin M.M. Current state of the art in the taxonomy of the fungi belonging to *Gibberella fujikuroi* complex. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 2005;39(6):3-14. (in Russian)]
- Дубовой В.П., Жемчужина Н., Елизарова С., Горелов П. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов ВНИИФ. *Аналитика*. 2016;1:76-79.
[Dubovoy V., Zhemchuzhina N., Elizarova S., Gorelov P. State collection of phytopathogenic microorganisms from All-Russian Research Institute of Phytopathology. *Analitika = Analytics*. 2016;1:76-79. (in Russian)]
- Жемчужина Н.С., Киселева М.И., Коломиец Т.М., Аблова И.Б., Глинушкин А.П., Елизарова С.А. Выявление разнообразия микромицетов рода *Fusarium* в агроэкосистемах равнинной части Северного Кавказа для пополнения Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(8):874-881. DOI 10.18699/VJ21.101.
- [Zhemchuzhina N.S., Kiseleva M.I., Kolomiets T.M., Ablova I.B., Glinushkin A.P., Elizarova S.A. Revealing the diversity of *Fusarium* micromycetes in agroecosystems of the North Caucasus plains for replenishing the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the All-Russian Scientific Research Institute of a Phytopathology. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(8):874-881. DOI 10.18699/VJ21.101. (in Russian)]
- Ивашченко В.Г. Распространенность основных болезней кукурузы в России и СНГ. *Вестн. защиты растений*. 2007;S:68-81.
[Ivashchenko V.G. Prevalence of major maize diseases in the USSR and the CIS. *Vestnik Zashchity Rasteniy = Plant Protection News*. 2007;S:68-81. (in Russian)]
- Ивашченко В.Г. Технология отбора исходного материала и создания гибридов кукурузы с групповой и комплексной устойчивостью к болезням и засухе. СПб: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2009а.
[Ivashchenko V.G. Technology of Selection of Source Material and Creation of Maize Hybrids with Group and Complex Resistance to Diseases and Drought. St. Petersburg: All-Russian Research Institute of Plant Protection of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2009a. (in Russian)]
- Ивашченко В.Г. Устойчивость кукурузы к основным болезням и эффективность ее использования при скрининге. В: Современные иммунологические исследования, их роль в создании новых сортов и интенсификации растениеводства. М.: ВНИИФ, 2009б; 54-61.
[Ivashchenko V.G. Resistance of maize to major diseases and the effectiveness of its use in screening. In: Modern Immunological Studies, Their Role in the Creation of New Varieties, and the Intensification of Crop Production. Moscow: VNIIF, 2009b;54-61. (in Russian)]
- Ивашченко В.Г. Болезни кукурузы фузариозной этиологии: основные причины и следствия. *Вестн. защиты растений*. 2012;4: 3-19.
[Ivashchenko V.G. Fusarium maize diseases: main causes and consequences. *Vestnik Zashchity Rasteniy = Plant Protection News*. 2012;4:3-19. (in Russian)]
- Ивашченко В.Г., Матвеева Г.В. Самоопыленные линии кукурузы (оценка на устойчивость к болезням). В: Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 796. СПб., 2010.
[Ivashchenko V.G., Matveeva G.V. Self-pollinated maize lines: assessment for disease resistance. In: Catalog of the VIR World Collection. Issue 796. St. Petersburg, 2010. (in Russian)]
- Ивашченко В.Г., Сотченко Е.Ф., Сотченко Ю.В. Совершенствование системы оценок кукурузы на устойчивость к засухе и фузариозу початков. *Вестн. защиты растений*. 2006;1:16-20.
[Ivashchenko V.G., Sotchenko E.F., Sotchenko Yu.V. Improving the evaluation system of maize for resistance to drought and Fusarium cob rot. *Vestnik Zashchity Rasteniy = Plant Protection News*. 2006;1:16-20. (in Russian)]
- Коломиец Т.М., Жемчужина Н.С., Панкратова Л.Ф., Александрова А.В., Киселева М.И., Елизарова С.А. Микромицеты Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов, вызывающие микозы и микотоксикозы человека и животных. *Усп. мед. микологии*. 2018;19:371-372.
[Kolomiets T.M., Zhemchuzhina N.S., Pankratova L.F., Alexandrova A.V., Kiseleva M.I., Elizarova S.A. Micromycetes of the State Collection of phytopathogenic microorganisms causing mycoses and mycotoxicoses in humans and animals. *Uspekhi Meditsinskoy Mikologii = Advances in Medical Mycology*. 2018;19:371-372. (in Russian)]
- Парфенова Т.А., Алексеева Т.П. Токсическое влияние фильтрата культуральной жидкости грибов рода *Fusarium* на семена пшеницы. *Микология и фитопатология*. 1995;29(1):78-82.
[Parfenova T.A., Alekseeva T.P. Toxic effect of culture fluid filtrate of *Fusarium* fungi on wheat seeds. *Mikologiya i Fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*. 1995;29(1):78-82. (in Russian)]

- Сотченко В.С. Перспективы производства зерна кукурузы в Российской Федерации. В: Материалы науч.-практ. конф. «Селекция семеноводство, производство зерна кукурузы». Пятигорск: Кавказская здравница, 2002;5-16.
[Sotchenko V.S. Prospects of maize grain production in the Russian Federation. In: Proceedings of the Scientific-Practical Conference "Breeding, Seed Industry, and Production of Maize Grain". Pyatigorsk: Kavkazskaya Zdravnitsa Publ., 2002;5-16. (in Russian)]
- Сотченко В.С. Состояние и перспективы производства зерна кукурузы в Российской Федерации. *Кукуруза и сорго*. 2005;1:2-9.
[Sotchenko V.S. The state and prospects of maize grain production in the Russian Federation. *Kukuruzha i Sorgo = Maize and Sorghum*. 2005;1:2-9. (in Russian)]
- Сотченко В.С. Перспективы возделывания кукурузы для производства высокоэнергетических кормов. В: Материалы науч.-практ. конф. «Селекция. Семеноводство. Технология возделывания кукурузы». Пятигорск: Кавказская здравница, 2009;12-22.
[Sotchenko V.S. Prospects of maize cultivation for the production of high-energy fodder. In: Materials of the Scientific-Practical Conference "Maize Breeding, Seed Production, and Cultivation Technology". Pyatigorsk: Kavkazskaya Zdravnitsa Publ., 2009;12-22. (in Russian)]
- Сотченко В.С., Горбачева А.Г. Производство кукурузы и особенности ее семеноводства в России. *Земледелие*. 2011;2:3-5.
[Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G. Maize production and features of its seed industry in Russia. *Zemledelie = Agriculture*. 2011;2:3-5. (in Russian)]
- Супрунов А.И. Создание нового исходного материала для селекции различных подвидов кукурузы и его оценка в агроклиматических зонах России: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Краснодар, 2009.
[Suprunov A.I. Creation of a new source material for the selection of various subspecies of maize and its evaluation in the agroclimatic zones of Russia: Doctor Sci. (Agric.) Dissertation. Krasnodar, 2009. (in Russian)]
- Agarwal V.K., Sinclair J.B. Principles of Seed Pathology. Boca Raton: CRC Press, 1997. DOI 10.1201/9781482275650.
- Ali M.L., Taylor J.H., Liu J., Sun G., William M., Kasha K.J., Reid L.M., Pauls K.P. Molecular mapping of QTLs for resistance to *Gibberella* ear rot in corn, caused by *Fusarium graminearum*. *Genome*. 2005;48(3):521-533. DOI 10.1139/g05-014.
- Clements M.J., White D.G. Identifying sources of resistance to aflatoxin and fumonisin contamination in corn. *J. Toxicol. Toxin Rev*. 2004;23:381-396. DOI 10.1081/TXR-200027865.
- Dictionary of the Fungi. P.M. Kirk, P.F. Cannon, D.W. Minter, J.A. Stalpers (Eds.). Wallingford: CABI, 2008.
- Eller M.S., Robertson-Hout L.A., Paune G.A., Holland J.B. Grain yield and *Fusarium* ear rot of maize hybrids developed from lines with varying levels of resistance. *Maydica*. 2008;53:231-237.
- Elmore R.W., Abendroth L. Agronomics for corn: have we exhausted the easy options. In: Illinois Crop Protection Technology Conference. 2008;75-78.
- Hooker A.L. Inheritance of mature plant resistance to rust in corn. *Phytopathology*. 1967;57:815.
- Gerlach W., Nirenberg H. The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas. Mitt. Biol. Bundesans Land-Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 1982.
- Kolomiets T., Zhemchuzhina N. Genetic resources of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms of the All-Russian Research Institute of Phytopathology (ARRIP). In: Conf. proc. of XXXVII Annual Meeting of the European Culture Collection Organisation, Moscow, 13–15 September 2018. Moscow. 2018;45-46. DOI 10.18699/PlantGen2019-002.
- Lancashire P.D., Bleiholder H., Langeluddecke P., Stauss R., van den Boom T., Weber E., Witzgen-Berger A. A uniform decimal code for the growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 1991;119(3): 561-601. DOI 10.1111/j/1774-7348/1991.tb04895.x.
- Large E.C. Growth stages in cereals illustration of the feekes scale. *Plant Pathol.* 1954;3(4):128-129. DOI 10.1111/j.1365-3059.1954.tb00716.x.
- Leslie J.F., Summerell B.A. The *Fusarium* Laboratory Manual. Iowa: Blackwell Publishing, 2006.
- Mesterhazy A., Lemmens M., Reid L.M. Breeding for resistance to ear rot caused by *Fusarium* spp. in maize (a review). *Plant Breed.* 2012;131(1):1-19. DOI 10.1111/J.1439-0523.2011.01936.X.
- Miller S.S., Reid L.M., Harris L.J. Colonization of maize silks by *Fusarium graminearum*, the causative organism of gibberella ear rot. *Can. J. Bot.* 2007;85(4):369-376. DOI 10.1139/B07-027.
- Murillo-Williams A., Munkvold G.P. Systemic infection by *Fusarium verticillioides* in maize plants grown under three temperature regimes. *Plant Dis.* 2008;92:1695-1700. DOI 10.1094/PDIS-92-12-1695.
- Robertson-Hoyt L.A., Kleinschmidt C.E., White D.G., Payne G.A., Maragos C.M., Holland J.B. Relationships of resistance to *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination with agronomic performance of maize. *Crop Sci.* 2007;47:1770-1778. DOI 10.2135/CROPSCI2006.10.0676.
- Watanabe T. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi. Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species. New York: CRC Press, 2010. DOI 10.1201/9781420040821.

ORCID ID

T.M. Kolomiets orcid.org/0000-0002-1897-2380

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке темы Государственного задания FGGU-2022-0008.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 26.04.2022. После доработки 15.06.2022. Принята к публикации 22.06.2022.