

**РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ФИТОПАТОГЕНЫ ИЗ КОМПЛЕКСА ВИДОВ *FUSARIUM FUJIKUROI*.
Часть 2. ПОРАЖАЕМЫЕ РАСТЕНИЯ, МИКОТОКСИНЫ, ПОТЕНЦИАЛ В КАЧЕСТВЕ
ВОЗБУДИТЕЛЕЙ МИКОЗОВ ЧЕЛОВЕКА**

Г.Д. Соколова¹, Н.И. Будынков^{1*}, Е.Е. Целипанова^{2}**

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вяземы, Россия;

² Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф.

Владимирского, Москва, Россия

Эл. почта: * oranzar@yandex.ru; ** elena-tselip@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23.06.2024; принята к публикации 30.08.2024

В обзоре продолжено рассмотрение патогенных и токсигенных свойств гетероталлических видов, входящих в комплекс *Fusarium fujikuroi* (FFSC, комплекс FFS), а именно *F. subglutinans*, *F. circinatum*, *F. sacchari*, *F. thapsinum* и *F. nygamai*. В дополнение к данным о видовом разнообразии поражаемых растений и способности к образованию фумонизинов в обзор включены сведения о менее изученных метаболитах грибов из комплекса FFS с потенциальной токсичностью для теплокровных, таких как монилиформин, производные циклогексадепептидов (боверин и энниатин), фузариевая кислота, фузарин и фузапролиферин. Обращено внимание на случаи микозов у людей, когда возбудителями могут выступать представители FFSC.

Ключевые слова: комплекс видов *Fusarium fujikuroi*, фитопатогены, микотоксины, микозы человека.

COMMON PHYTOPATHOGENS FROM THE *FUSARIUM FUJIKUROI* SPECIES COMPLEX.

Part 2. AFFECTED PLANTS AND MYCOTOXINS AND THEIR POTENTIAL AS AGENTS OF HUMAN MYCOSES

G.D. Sokolova¹, N.I. Budynkov^{1*}, E.E. Tselipanova^{2}**

¹ All-Russian Institute of Phytopathology, Bolshiye Vyazemy, Russia;

² Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia

Email: * oranzar@yandex.ru; ** elena-tselip@yandex.ru

The review continues considering the pathogenic properties of heterothallic species included in the *Fusarium fujikuroi* complex (FFSC) with emphasis on the species *F. subglutinans*, *F. circinatum*, *F. sacchari*, *F. thapsinum* and *F. nygamai*. In addition to data on the species diversity of affected plants and the ability to form fumonisins, the review includes information on less studied fungal metabolites from the FFS complex with potential toxicity to warm-blooded animals, such as moniliformin, cyclohexadepsipeptide derivatives (beauvericin and enniatins), fusaric acid, fusarins and fusaproliferin. Attention is drawn to cases of mycoses in humans, when the causative agents may be representatives of FFSC.

Keywords: *Fusarium fujikuroi* species complex, phytopathogens, mycotoxins, emerging mycotoxins, agents of human mycosis.

Введение

Комплекс видов *F. fujikuroi* (*F. fujikuroi* species complex, FFSC, или, по названию половой стадии, *Gibberella fujikuroi* species complex, GFSC) включает более 80 филогенетических видов [58], и их список продолжает увеличиваться. Основной путь размножения грибов этой группы – бесполой. Наличие половой стадии обнаружено у 11 гетероталлических видов (спаривающихся популяций, mating population, MP) [77]. Среди них *F. verticillioidei*, *F. fujikuroi* и *F. proliferatum*, которым был посвящен предыдущий обзор. Цель данного обзора состоит в обобщении информации о гетероталлических видах *F. subglutinans*, *F. circinatum* (американская клада), *F. sacchari* (азиатская клада), *F. thapsinum* и *F. nygamai* (африканская клада), являющихся членами FFSC.

F. subglutinans

F. subglutinans (Wollenw. & Reinking) Nelson, Toussoun, Marasas – один из распространенных фитопатогенов, который может поражать корни, стебель и початки кукурузы. Проведенный в 2002 году [105] филогенетический анализ коллекции, включающей изоляты *F. subglutinans* из разных стран, выявил, что они подразделяются на две группы. В 2011 году [101] группа 1 была выделена в новый филогенетический вид – *F. temperatum* sp. nov. (*F. temperatum* Scaufl., Munaut). Соотношение изолятов *F. subglutinans* и *F. temperatum* на кукурузе различается в зависимости от региона выращивания. Так, в некоторых европейских странах (Бельгия, Польша, Германия) преобладает *F. temperatum* [63, 92, 100, 106]. Изоляты *F. temperatum* из Германии при инокуляции початков кукурузы проявляли более высокую агрессивность, чем изоляты *Fusarium verticillioidei* и *F. subglutinans*. При этом все изоляты *F. temperatum* и *F. subglutinans* были патогенными для пшеницы и показали симптомы поражения колосов от умеренной до серьезной степени тяжести [93]. Кроме кукурузы *F. temperatum* был обнаружен в семенах сорго [70].

Относительно способности этих видов к образованию фумонизинов (FB) литературные сведения противоречивы. Например, по оценке 13 изолятов *F. subglutinans* и 12 изолятов *F. temperatum* из Аргентины

был сделан вывод, что эти виды не могут биосинтезировать фумонизины из-за отсутствия необходимых генов для биосинтеза [51]. Однако ранее [49] на примере двух изолятов *F. temperatum* было показано, что представители этого вида способны продуцировать FB1, количество которого зависело от температуры, активности воды (aw), времени инкубации и взаимного влияния других образуемых грибом метаболитов, таких как фузапролиферин, монилиформин и боверицин. Могли продуцировать FB1 изоляты из Бельгии [101]. По сообщениям из Китая, тестируемые изоляты *F. temperatum* биосинтезировали фумонизины, причем со значительным преобладанием FB2 над FB1 [127]. Изоляты могли инфицировать пшеницу, но были более патогенными по отношению к кукурузе [127]. Корейские исследователи сообщали, что концентрация фумонизинов в стеблях кукурузы, инфицированных *F. temperatum*, была выше, чем в стеблях, инфицированных *F. subglutinans* [115]. В лабораторных условиях между этими филогенетически близкими видами могут наблюдаться перекрестные скрещивания [52, 70].

F. circinatum

Представитель комплекса FFSC, первоначально обозначаемый как *F. subglutinans* f. sp. *pini*, был обнаружен среди фитопатогенов, вызывающих смоляной рак разных видов сосны (pine pitch canker, PPC). После проведения тестов на спаривание патоген выделили в отдельный вид *F. circinatum* (Nirenberg, O'Donnell) emend. Britz, Coutinho, Wingfield, Marasas (MP H) [15, 16, 83]. В лабораторных условиях некоторые изоляты *F. circinatum* могли скрещиваться с изолятами *F. subglutinans* [36, 47, 133], а также с изолятами *F. temperatum* [35].

F. circinatum может поражать растения сосны на всех стадиях жизни. Серьезность заболевания варьирует в зависимости от уровня инфекционной нагрузки, степени восприимчивости хозяина и условий окружающей среды [113, 131]. Поражение семян сосны приводит к замедлению роста, увяданию и гибели. Однако отмечены случаи, когда патоген эндифитно колонизировал развивающееся растение без визуальных признаков поражения. Например, в экспериментальных условиях ухудшение состояния корней сосны *Pinus radiata* наблюдалось лишь по истечении не менее 52 недель, когда у растений проявились уже надземные симптомы [114]. Бессимптомная колонизация семян сосны не позволяет визуально выявить зараженные растения в посадочном материале и исключить занесение патогена на новые территории. Перемещение зараженных семян или саженцев сосны по странам и континентам является одной из причин глобального распространения патогена. В европейских странах фитопатоген внесен в список карантинных организмов. Торговля потенциально зараженным материалом, таким как черенки, саженцы или семена сосны, ограничена. Проводятся международные совместные исследования по оценке эффективности разных молекулярных методов с целью создания стандартных диагностических протоколов, пригодных для целей скрининга *F. circinatum* и согласованного их использования [37, 62, 122].

Следует отметить, что в качестве растений-хозяев для *F. circinatum* могут служить также травянистые растения [22, 111]. Как было показано, один и тот же изолят гриба мог вести себя в травах как эндифит, а в отношении растений сосны выступал в качестве патогена [60]. В связи с этим фитосанитарная практика борьбы с *F. circinatum* должна учитывать, что важным источником инокулома для сосновых лесов, питомников и ландшафтных насаждений могут выступать травы [61]. Из сельскохозяйственных культур *F. circinatum* может эндогенно колонизировать кукурузу [112].

F. sacchari

Патоген сахарного тростника (*Saccharum officinarum* L.), идентифицированный в 1913 году как *Cephalosporium sacchari*, в 1971 году был отнесен к *F. sacchari* (E.J. Butler) W. Gams. Половая стадия, первоначально описанная как *G. fujikutoi* var. *subglutinans*, или *G. fujikutoi* MP B, впоследствии была обозначена как *G. sacchari* [68]. В зависимости от восприимчивости сорта и климатических условий поражение фитопатогеном может проявляться в виде увядания растений, поражения стебля и листьев, а также в форме деформирования и отмирания верхушки растения – болезнь Покка Босенг (Pokkah Boeng) [11, 28, 33, 125].

Что касается других видов растений, то изоляты *F. sacchari* могут угнетать прорастание, вести себя как эндифиты или слабые паразиты по отношению к дикому рису или его культивируемым сортам, а также вызывать корневые и прикорневые поражения кукурузы и сорго [91]. Китайские фитопатологи сообщали об обнаружении *F. sacchari* в составе патогенов, вызывающих фузариозы початков кукурузы [38], а также колосьев пшеницы [126]. Имеются сведения о периодическом выделении изолятов *F. sacchari* среди патогенов сорго в Таиланде [76]. Сообщалось об обнаружении *F. sacchari* среди возбудителей фузариоза листьев бананов в Китае [29], а также о выделении *F. sacchari* из подгнивших плодов бананов, прибывших в Италию из Коста Рики [99].

F. thapsinum* и *F. nygamai

Несколько видов, относящихся к FFS комплексу, были впервые обнаружены среди патогенов сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), в том числе *F. nygamai* Burgess, Trimboli и *F. thapsinum* Klittich, Leslie, Nelson, Marasas. Попутно отметим, что в 2001 году появилось сообщение о выявлении на сорго еще одного вида – *F. andiyazi*, половую стадию которого не удалось получить в лабораторных условиях, несмотря на то, что изоляты обладали типами спаривания MAT-1 и MAT-2 [74, 90]. С открытием *F. andiyazi* этот вид стали идентифицировать наряду с *F. thapsinum* и *F. nygamai*. По степени патогенности в тестах на проростках сорго

виды располагались в ряд: *F. thapsinum* > *F. andiyazi* > *F. nygamai* [69]. При этом высокие уровни фумонизинов продуцировали только изоляты *F. nygamai* [69]. Корейские фитопатологи сообщали о *F. thapsinum* и *F. proliferatum* как наиболее вирулентных из встречающихся на сорго видах *Fusarium* [26]. Однако по сведениям из Буркина-Фасо *F. thapsinum* может вести себя как эндофит на сорго [118].

Появились сведения об обнаружении видов *F. thapsinum*, *F. nygamai* и *F. andiyazi* в патоконкомплексх других сельскохозяйственных культур, таких как кукуруза [71, 104, 117, 129], рис [8, 42, 73], пшеница [134], соя [89], фасоль [123], сахарная свекла [116], сахарный тростник [10, 11]. Заметим, что по данным из Уганды изоляты *F. andiyazi*, выделенные из хранившегося зерна кукурузы, обладали способностью продуцировать фумонизины [129].

Разнообразие вторичных метаболитов, продуцируемых представителями FFSC, с потенциальной токсичностью для теплокровных

Кроме фумонизинов – признанных микотоксинов, содержание которых регламентируется в продовольственном и фуражном зерне кукурузы («regulated mycotoxins»), представители FFSC могут продуцировать широкий набор других вторичных метаболитов с потенциальной токсичностью для потребителей сельскохозяйственной продукции. Из-за недостаточности накопленных данных для обоснования необходимости их контроля такие метаболиты обозначаются в литературе как «emerging mycotoxins» – эмерджентные микотоксины [65], а иногда как нерегулируемые микотоксины (unregulated mycotoxins). Наиболее известны из них монилиформин (MON), фузариевая кислота (fusaric acid, FA), фузарины (FUS), фузапролиферин (FUP), а также производные циклогексадепептидов – боверицин (beauvericin, BEA) и энниатины (enniatin, EN) [65]. Как видно из табл. 1, большинство представителей FFSC способно продуцировать указанные метаболиты. В связи с этим зерно, зараженное патогенами данного комплекса, кроме фумонизинов может содержать еще несколько вероятных микотоксинов [12, 64, 80]. Распространенность, частота встречаемости, концентрация в продуктах питания и кормах для животных, биологическая активность и токсикологический потенциал эмерджентных микотоксинов и их смесей с регулируемые микотоксинами нуждаются в дальнейших исследованиях [39–41, 46].

Табл. 1

Регламентируемые (фумонизины) и потенциальные (эмерджентные) микотоксины, продуцируемые представителями FFSC

Виды грибов	Фумонизины и потенциальные микотоксины*						Литература
	FB	BEA (ENN)	MON	FA	FUS	FUP	
<i>F. verticillioides</i>	+		+	+	+		[17, 18, 80]
<i>F. musae</i>				+			[102]
<i>F. sacchari</i>		+		+			[54, 86]
<i>F. fujikuroi</i>	+	+	+	+	+		[80, 81, 82, 107]
<i>F. proliferatum</i>	+	+	+	+		+	[7, 23, 80, 86, 132]
<i>F. subglutinans</i>		+	+	+		+	[34, 48, 102, 106]
<i>F. temperatum</i>	+	+	+	+		+	[49, 50, 51, 106, 115, 127, 128]
<i>F. thapsinum</i>			+	+	+		[69, 90]
<i>F. andiyazi</i>	+			+	+		[90, 129]
<i>F. nygamai</i>	+	+		+			[21, 69, 72, 97]
<i>F. circinatum</i>		+		+		+	[45, 78, 94]

* FB – фумонизины типа B; BEA, ENN – боверицин, энниатины; MON – монилиформин; FA – фузариевая кислота; FUS – фузарины; FUP – фузапролиферин.

Представители FFSC как возбудители фузариозных поражений человека

Грибы рода *Fusarium* относятся к универсальным (versatile, trans-kingdom) патогенам, способным колонизировать не только различные виды растений, но также поражать представителей других царств живой природы, в частности животных, в том числе человека [2, 95, 119]. Изоляты из комплекса FFS входят в число часто встречающихся этиологических агентов фузариозов человека, особенно среди сельскохозяйственных рабочих в регионах с тропическим и субтропическим климатом [30, 79, 120]. У иммунокомпетентных пациентов поражение может затрагивать глаза, кожные покровы, ногти. Инфицирование пациентов с нарушенным или ослабленным иммунитетом часто приводит к инвазивным и диссеминированным микозам, терапия которых осложняется устойчивостью патогенов к большинству противогрибковых препаратов. Успех излечения в значительной степени зависит от корректной идентификации выделенного у пациента изолята патогена и от определения степени его чувствительности к имеющимся противогрибковым препаратам [5, 87]. В табл. 2 приведены литературные данные о случаях фузариозов, вызванных разными видами грибов из комплекса FFS.

Случаи микозов человека, вызываемых представителями FFSC

Представитель FFSC	Заболевание			
	Кератит	Онихомикоз	Инвазивный микоз	Другие
<i>F. verticillioide</i>			[27, 44, 103]	[13, 53]
<i>F. musae</i>			[124]	[43]
<i>F. sacchari</i>	[9, 24]	[56]	[55]	
<i>F. fujikuroi</i>				[3, 121]
<i>F. proliferatum</i>	[109]	[14, 57, 84, 85]	[1, 31, 32, 98, 110]	[59, 75, 88, 96, 108]
<i>F. subglutinans</i>				[20, 25]
<i>F. temperatum</i>	[4]			
<i>F. thapsinum</i>				[6]
<i>F. andiyazi</i>			[66]	
<i>F. nygamai</i>			[67]	

Заключение

Широкие адаптационные возможности микромицетов из комплекса FFS позволяют им обитать, размножаться и распространяться на различных субстратах, подстраивая свой метаболизм к абиотическим факторам окружающей среды, а также обеспечивая взаимодействие с биотическими факторами. Большие площади сельскохозяйственных земель, занятых обычно монокультурой, способствуют распространению фитопатогенов, которые могут успешно колонизировать данную культуру в складывающихся погодноклиматических условиях. Вредоносность представителей FFSC связана не только со снижением урожайности, но также с угрозой загрязнения собранного урожая микотоксинами. Традиционно проблемами фитосанитарного мониторинга и контроля растений занимаются фитопатологи и специалисты по защите растений. Однако в последние годы внимание к фитопатогенам возросло со стороны медицинских микологов, идентифицирующих данные виды грибов среди этиологических агентов инвазивных фузариозов с высоким риском летальности у людей с ослабленным иммунитетом. В октябре 2022 года Всемирная организация здравоохранения [19, 130] впервые опубликовала список из 19 приоритетных грибковых патогенов. Из трех категорий грибов – критического, высокого и среднего приоритета – *Fusarium* spp. вошли в группу высокого приоритета. Список составлен с целью сосредоточить внимание специалистов разного профиля на основных грибковых патогенах, вызывающих инвазивные заболевания, и стимулировать дальнейшие исследования по диагностике, фармацевтике и лекарственной резистентности патогенов.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Батманова НА, Багирова НС, Григорьевская ЗВ, Валиев ТТ, Бельшева ТС, Киргизов КИ, Варфоломеева СР. Успешная диагностика и лечение фузариоза у больной острым лейкозом. Гематология и трансфузиология. 2022;67(1):139-49. doi: 10.35754/0234-5730-2022-67-1-139-149.
2. Соколова ГД, Будынков НИ, Целипанова ЕЕ, Глинушкин АП. Разнообразие видов в комплексе *Fusarium solani* (*Neocosmospora*) и их патогенность для растений и человека. Микология и фитопатология. 2022;56(1):3–16.

Общий список литературы/Reference List

1. Batmanova NA, Bagirova NS, Grigorievskaya ZV, Valiev TT, Belysheva TS, Kirgizov KI, Varfolomeeva SR. [Successful diagnosis and treatment of fusariosis in patient with acute leukemia]. Gematologiya i Transfuziologiya. 2022;67(1):139-49. doi: 10.35754/0234-5730-2022-67-1-139-149. (In Russ.)
2. Sokolova GD, Budynkov NI, Tselipanova EE, Glinushkin AP. Species diversity in the *Fusarium solani* (*Neocosmospora*) complex and their pathogenicity for plants and humans. Doklady Biological Sciences. 2022;507(1):416-27. doi: 10.1134/s0012496622060217.
3. Aggarwal A, DelPilar-Morales E. Pelvic abscess by *Fusarium fujikuroi* in an immunocompetent woman. Infect Dis Clin Pract. 2021;29(6):e347–e351. doi: 10.1186/s12879-014-0588-y.
4. Al-Hatmi AMS, Bonifaz A, de Hoog GS, Vazquez-Maya L, Garcia-Carmona K, Jacques F, Meis JF, van Diepeningen AD. Keratitis by *Fusarium temperatum*, a novel opportunist. BMC Infect Dis. 2014;14:588. doi: 10.1186/s12879-014-0588-y.
5. Al-Hatmi AMS, Van Diepeningen AD, Curfs-Breuker I, de Hoog GS, Meis JF. Specific antifungal susceptibility profiles of opportunists in the *Fusarium fujikuroi* complex. J Antimicrob Chemother. 2015;70(4):1068-71. doi: 10.1093/jac/dku505.
6. Azor M, Gené J, Cano J, Sutton DA, Fothergill AW, Rinaldi MG, Guarro J. In vitro antifungal susceptibility and molecular characterization of clinical isolates of *Fusarium verticillioide* (*F. moniliforme*) and *Fusarium thapsinum*. Antimicrob Agents Chemother. 2008; 52(6):2228-31. doi: 10.1128/aac.00176-08.
7. Bacon CW, Porter JK, Norred WP, Leslie JF. Production of fusaric acid by *Fusarium* species. Appl Environ Microbiol. 1996;62(11):4039-43. doi: 10.1128/aem.62.11.4039-4043.1996.

8. Balmas V, Corda P, Marcello A, Bottalico A. *Fusarium nygamai* associated with *Fusarium* foot rot of rice in Sardinia. *Plant Dis.* 2000;84(7):807. doi: 10.1094/PDIS.2000.84.7.807B.
9. Bansal Y, Chander J, Kaistha N, Singla N, Sood S, van Diepeningen AD. *Fusarium sacchari*, a cause of mycotic keratitis among sugarcane farmers – a series of four cases from North India. *Mycoses.* 2016;59(11):705-9.
10. Bao Y, Pan K, Khan MT, Chen B, Zhang M. High-quality genome sequence resource for *Fusarium andiyazi* causing Pokkah Boeng disease of sugarcane in China. *Mol Plant-Microbe Interact.* 2021;34(8):973-6.
11. Bao Y, Xu Y, Wang S, Yao Z, Rao GP, Zhang M. First report of *Fusarium sacchari* that causes sugarcane wilt disease in China. *Plant Dis.* 2020;104(8):2289.
12. Bertuzzi T, Giorni P, Rastelli S. Co-occurrence of moniliformin and regulated *Fusarium* toxins in maize and wheat grown in Italy. *Molecules.* 2020;25(10):2440. doi: 10.3390/molecules25102440.
13. Bonifaz A, Saldaña M, Araiza J, Mercadillo P, Tirado-Sánchez A. Two simultaneous mycetomas caused by *Fusarium verticillioides* and *Madurella mycetomatis*. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo.* 2017;59:e55. doi: 10.1590/s1678-9946201759055.
14. Brasch J, Shimanovich I. Persistent fingernail onychomycosis caused by *Fusarium proliferatum* in a healthy woman. *Mycoses.* 2011;55(1):86-9.
15. Britz H, Coutinho TA, Wingfield MJ, Marasas WFO, Gordon TR, Leslie JF. *Fusarium subglutinans* f. sp. *pini* represents a distinct mating population in the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Appl Environ Microbiol.* 1999;65(3):1198-201.
16. Britz H, Coutinho TA, Wingfield MJ, Marasas WFO. Validation of the description of *Gibberella circinata* and morphological differentiation of the anamorph *Fusarium circinatum*. *Sydowia.* 2002;54:9-22.
17. Brown DW, Butchko RA, Busman M, Proctor RH. Identification of gene clusters associated with fusaric acid, fusarin, and perithecial pigment production in *Fusarium verticillioides*. *Fungal Genet Biol.* 2012;49(7):521-32. doi: 10.1016/j.fgb.2012.05.010.
18. Brown DW, Lee SH, Kim LH, Ryu JG, Lee S, Seo Y, Kim YH, Busman M, Yun SH, Proctor RH, Lee T. Identification of a 12-gene fusaric acid biosynthetic gene cluster in *Fusarium* species through comparative and functional genomics. *Mol Plant Microbe Interact.* 2015;28(3):319-32. doi: 10.1094/MPMI-09-14-0264-R.
19. Burki T. WHO publish fungal priority pathogens list. *Lancet Microbe* 2023;4(2):E74. doi: 10.1016/S2666-5247(23)00003-4.
20. Campos-Macías P, Arenas-Guzmán R, Hernández-Hernández F. *Fusarium subglutinans*: A new eumycetoma agent. *Med Mycol Case Rep.* 2013;2:128-31. doi: 10.1016/j.mmcr.2013.06.004.
21. Capasso R, Evidente A, Cutignano A, Vurro M, Zonno MC, Bottalico A. Fusaric and 9,10-dehydrofusaric acids and their methyl esters from *Fusarium nygamai*. *Phytochemistry.* 1996;41(4):1035-39. doi: 10.1016/0031-9422(95)00716-4.
22. Carter JW, Gordon TR. Infection of the native California grass, *Bromus carinatus*, by *Fusarium circinatum*, the cause of pitch canker in pines. *Plant Dis.* 2020;104(1):194-7. doi: 10.1094/PDIS-04-19-0800-RE.
23. Ceranic A, Svoboda T, Berthiller F, Sulyok M, Samson JM, Güldener U, Schuhmacher R, Adam G. Identification and functional characterization of the gene cluster responsible for fusaproliferin biosynthesis in *Fusarium proliferatum*. *Toxins.* 2021;13(7):468. doi: 10.3390/toxins13070468.
24. Chander J, Singla N, Gulati N, Sood S. *Fusarium sacchari*: A cause of exogenous fungal endophthalmitis: First case report and review of literature. *Mycopathologia.* 2010;171(6):431-4. doi: 10.1007/s11046-010-9374-6.
25. Chen QX, Li CX, Huang WM, Shi JQ, Li SF. Cutaneous hyalohyphomycosis caused by *Fusarium subglutinans*. *Eur J Dermatol.* 2010;20(4):526-7. doi: 10.1684/ejd.2010.0982.
26. Choi J-H, Nah J-Y, Jin H-S, Lim S-B, Paek J-S, Lee MJ, Jang JY, Lee T, Hong SK, Choi H-W, Kim J. Occurrence of *Fusarium* species in Korean sorghum grains. *Res Plant Dis.* 2019;25(4):213-9. doi: 10.5423/RPD.2019.25.4.213.
27. Cocchi S, Codeluppi M, Venturelli C, Bedini A, Grottola A, Gennari W, Cavrini F, Benedetto FD, De Ruvo N, Rumpianesi F, Gerunda GE, Guaraldi G. *Fusarium verticillioides* fungemia in a liver transplantation patient: successful treatment with voriconazole. *Diagn Microbiol Infect. Dis.* 2011;71(4):438-41. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2011.08.024.
28. Costa MM, Melo MP, Guimarães EA, Veiga CMO, Sandin FC, Moreira GM, Costa SS, Pfenning LH. Identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with pokkah boeng of sugarcane in Brazil. *Plant Pathol.* 2019;68(7):1350-60. doi: 10.1111/ppa.13053.
29. Cui Y, Wu B, Peng A, Song X, Chen X. The genome of banana leaf blight pathogen *Fusarium sacchari* str. FS66 harbors widespread gene transfer from *Fusarium oxysporum*. *Front Plant Sci.* 2021;12:629859. doi: 10.3389/fpls.2021.629859.
30. Dalyan Cilo B, Al-Hatmi AMS, Seyedmousavi S, Rijs AJMM, Verweij PE, Ener B, de Hoog GS, van Diepeningen AD. Emergence of fusarioses in a university hospital in Turkey during a 20-year period. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2015;34:1683-91. doi: 10.1007/s10096-015-2405-y.
31. Dananché C, Cassier P, Sautour M, Gautheron N, Wegrzyn J, Perraud M, Bienvenu A-L, Nicolle M-C, Boibieux A, Vanhems P. Fungaemia caused by *Fusarium proliferatum* in a 5 patient without definite immunodeficiency. *Mycopathologia.* 2015;179(1-2):135-40. doi: 10.1007/s11046-014-9817-6.

32. Darazam IA, Sharifi G, Jamali E, Khodavaisy S, Gharehbagh FJ, Hakamifard A. Meningoencephalitis caused by *Fusarium proliferatum*: an unusual case. *Infection*. 2022;50(4):1023-7. doi: 10.1007/s15010-022-01761-7.
33. Dela Cueva F, De Torres R, de Castro A, Mendoza J, Balendres MA. Susceptibility of sugarcane to red rot caused by two *Fusarium* species and its impact on stalk sugar level. *J Plant Pathol*. 2019;101:639-46. doi: 10.1007/s42161-019-00253-2.
34. Desjardins AE, Maragos CM, Proctor RH. Maize ear rot and moniliformin contamination by cryptic species of *Fusarium subglutinans*. *J Agr Food Chem*. 2006;54(19):7383-90. doi: 10.1021/jf0612272.
35. De Vos L, Steenkamp ET, Martin SH, Santana QC, Fourie G, van der Merwe NA, Wingfield MJ, Wingfield BD. Genome-wide macrosynteny among *Fusarium* species in the *Gibberella fujikuroi* complex revealed by amplified fragment length polymorphisms. *PLoS ONE*. 2014;9(12):e114682. doi: 10.1371/journal.pone.0114682.
36. De Vos L, van der Nest MA, van der Merwe NA, Myburg AA, Wingfield MJ, Wingfield BD. Genetic analysis of growth, morphology and pathogenicity in the F1 progeny of an interspecific cross between *Fusarium circinatum* and *Fusarium subglutinans*. *Fungal Biology*. 2011;115(9):902-8. doi: 10.1016/j.funbio.2011.07.003.
37. Drenkhan R, Ganley B, Martín-García J, Vahalík P, Adamson K. et al. Global geographic distribution and host range of *Fusarium circinatum*, the causal agent of pine pitch canker. *Forests*. 2020;11(7):724. doi: 10.3390/f11070724.
38. Duan C, Du Q, Tang ZL, Li SC, Wang BB. First report of maize ear rot caused by *Fusarium sacchari* in China. *Plant Dis*. 2019;103(10):2674. doi: 10.1094/pdis-04-19-0829-pdn.
39. EFSA. Scientific opinion on the risks to human and animal health related to the presence of beauvericin and enniatins in food and feed. *EFSA J*. 2014;12(8):3802. doi: 10.2903/j.efsa.2014.3802.
40. EFSA. In vivo toxicity and genotoxicity of beauvericin and enniatins. Combined approach to study in vivo toxicity and genotoxicity of mycotoxins beauvericin (BEA) and enniatin B (ENNB). EFSA Supporting publication 2018:EN-1406. doi: 10.2903/sp.efsa.2018.EN-1406.
41. EFSA. Risks to human and animal health related to the presence of moniliformin in food and feed. *EFSA J*. 2018a;16(3):5082. doi: 10.2903/j.efsa.2018.5082.
42. Eğerci Y, Teksür PK, Morca AU. Identification of *Fusarium andiyazi* associated with the bakanae disease of rice in Turkey. *Curr Microbiol*. 2022;79(10):291. doi: 10.1007/s00284-022-02962-x.
43. Esposto MC, Prigitano A, Tortorano AM. *Fusarium musae* as cause of superficial and deep-seated human infections. *J Mycol Méd*. 2016;26(4):403-5. doi: 10.1016/j.mycmed.2016.02.021.
44. Fanci R, Pini G, Bartolesi AM, Pecile P. Refractory disseminated fusariosis by *Fusarium verticillioides* in a patient with acute myeloid leukaemia relapsed after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation: a case report and literature review. *Rev Iberoam Micol*. 2013;30:51-3. doi: 10.1016/j.riam.2012.05.003.
45. Fotso J, Leslie JF, Smith JS. Production of beauvericin, moniliformin, fusaproliferin, and fumonisins B1, B2, and B3 by fifteen ex-type strains of *Fusarium* species. *Appl Environ Microbiol*. 2002;68(10):5195-97. doi: 10.1128/AEM.68.10.5195-5197.2002.
46. Fremy J-M, Alassane-Kpembi I, Oswald I, Cottrill B, Van Egmond H. A review on combined effects of moniliformin and co-occurring *Fusarium* toxins in farm animals. *World Mycotoxin J*. 2019;12(3):281-91. doi: 10.3920/WMJ2018.2405.
47. Friel CJ, Desjardins AE, Kirkpatrick SC, Gordon TR. Evidence for recombination and segregation of pathogenicity to pine in a hybrid cross between *Gibberella circinata* and *G. subglutinans*. *Mycol Res*. 2007;111(7):827-31. doi: 10.1016/j.mycres.2007.05.004.
48. Fumero MV, Reynoso MM, Chulze S. *Fusarium temperatum* and *Fusarium subglutinans* isolated from maize in Argentina. *Int J Food Microbiol*. 2015;199:86-92. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.01.011.
49. Fumero MV, Sulyok M, Chulze S. Ecophysiology of *Fusarium temperatum* isolated from maize in Argentina. *Food Addit Contam. Part A*. 2016;33(1):147-56. doi: 10.1080/19440049.2015.1107917.
50. Fumero MV, Sulyok M, Ramirez ML, Leslie JF, Chulze SN. Effects of water activity and temperature on fusaric and fusarinolic acid production by *Fusarium temperatum*. *Food Control*. 2020;114:107263. doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107263.
51. Fumero MV, Villani A, Susca A, Haidukowski M, Cimmarusti MT, Toomajian C, Leslie JF, Chulze SN, Moretti A. Fumonisin and beauvericin chemotypes and genotypes of the sister species *Fusarium subglutinans* and *Fusarium temperatum*. *Appl Environ Microbiol*. 2020;86(13):e00133-20. doi: 10.1128/AEM.00133-20.
52. Fumero MV, Yue W, Chiotta ML, Chulze SN, Leslie JF, Toomajian C. Divergence and gene flow between *Fusarium subglutinans* and *F. temperatum* isolated from maize in Argentina. *Phytopathology*. 2021;111(1):170-83. doi: 10.1094/PHYTO-09-20-0434-FI.
53. Georgiadou SP, Velegraki A, Arabatzis M, Neonakis I, Chatzipanagiotou S, Dalekos GN, Petinaki E. Cluster of *Fusarium verticillioides* bloodstream infections among immunocompetent patients in an internal medicine department after reconstruction works in Larissa, Central Greece. *J Hospital Infect*. 2014;86(4):267-71. doi: 10.1016/j.jhin.2014.01.011.
54. Ghannam IAY, Roaiah HF, Hanna MM, El-Nakkady SS, Cox RJ. Identification, crystal structure and antitumor activity of fusaric acid from the sugarcane fungal pathogen, *Fusarium sacchari*. *Int J Pharmacy Technol*. 2014;6(2):6528-35.

55. Guarro J, Nucci M, Akiti T, Gené J, Barreiro MDCC, Gonçalves RT. Fungemia due to *Fusarium sacchari* in an immunosuppressed patient. J Clin Microbiol. 2000;38(1):419-21. doi: 10.1128/JCM.38.1.419-421.2000.
56. Gupta C, Jongman M, Das S, Sneha K, Bhattacharya SN, Seyedmousavi S, van Diepeningen AD. Genotyping and in vitro antifungal susceptibility testing of *Fusarium* isolates from onychomycosis in India. Mycopathologia. 2016;181(7-8):497-504. doi: 10.1007/s11046-016-0014-7.
57. Haghani I, Shams-Ghahfarokhi M, Asl AD, Shokohi T, Hedayati MT. Prevalence, genetic diversity and antifungal susceptibility profiles of *F. fujikuroi*, *F. solani* and *Fusarium incarnatum-equiseti* species complexes from onychomycosis in north of Iran. Mycoses. 2022;65(11):1030-9. doi: 10.1111/myc.13489.
58. Han SL, Wang MM, Ma ZY, Raza M, Zhao P, Liang JM, Gao M, Li YJ, Wang JW, Hu DM, Cai L. *Fusarium* diversity associated with diseased cereals in China, with an updated phylogenomic assessment of the genus. Stud Mycol. 2023;104(1):87-148. doi: 10.3114/sim.2022.104.02.
59. Hashemi SJ, Ardehali MM, Rezaie S, Zibafar E, Shoar MG, Rezaei-Matehkolaei A, Ehteram H, Najafzadeh MJ, Nazeri M. A case of fungus ball-type pansinusitis due to *Fusarium proliferatum*. Mycopathologia. 2015;180(3-4):251-5. doi: 10.1007/s11046-015-9906-1.
60. Hernandez-Escribano L, Iturriza E, Elvira-Recuenco M, Berbegal M, Campos JA, Renobales G, García I, Raposo R. Herbaceous plants in the understory of a pitch canker-affected *Pinus radiata* plantation are endophytically infected with *Fusarium circinatum*. Fungal Ecol. 2018;32:65-71. doi: 10.1016/j.funeco.2017.12.001.
61. Herron DA, Wingfield MJ, Fru F, Wingfield BD, Steenkamp ET. Grasses as a refuge for *Fusarium circinatum* L.–evidence from South Africa. Southern Forests: J Forest Sci. 2020;82(3):253-62. doi: 10.2989/20702620.2020.1813649.
62. Ioos R, Aloï F, Piškur B, Guinet C, Mullett M, Berbegal M, Bragança H, Cacciola SO, Oskay F, Cornejo C. et al. Transferability of PCR-based diagnostic protocols: An international collaborative case study assessing protocols targeting the quarantine pine pathogen *Fusarium circinatum*. Sci Rep. 2019;9(1):8195. doi: 10.1038/s41598-019-44672-8.
63. Jabłońska E, Piątek K, Wit M, Mirzwa-Mróz E, Wakuliński W. Molecular diversity of the *Fusarium fujikuroi* species complex from maize. Eur J Plant Pathol. 2020;158:859-77. doi: 10.1007/s10658-020-02121-7.
64. Jajic I, Dudaš T, Krstovic S, Krska R, Sulyok M, Bagi F, Stankov A. Emerging *Fusarium* mycotoxins fusaproliferin, beauvericin, enniatins, and moniliformin in Serbian maize. Toxins. 2019;11:357. doi: 10.3390/toxins11060357.
65. Jestoi M. Emerging *Fusarium* mycotoxins: fusaproliferin, beauvericin, enniatins, and moniliformin: a review. Crit Rev Food Sci Nutr. 2008;48:21-49. doi: 10.1080/10408390601062021.
66. Kebabcı N, van Diepeningen AD, Ener B, Ersal T, Meijer M, Al-Hatmi AM, Özkocaman V, Ursavaş A, Çetinoğlu ED, Akalin H. Fatal breakthrough infection with *Fusarium andiyazi*: New multi-resistant aetiological agent cross-reacting with *Aspergillus* galactomannan enzyme immunoassay. Mycoses. 2014;57(4):249-55. doi: 10.1111/myc.12142.
67. Krulder JWM, Brimicombe RW, Wijermans PW, Gams W. Systemic *Fusarium nygamai* infection in a patient with lymphoblastic non-Hodgkin's lymphoma. Mycoses. 1996;39(3-4):121-3. doi: 10.1111/j.1439-0507.1996.tb00113.x.
68. Leslie JF, Summerell BA, Bullock S, Doe FJ. Description of *Gibberella sacchari* and neotypification of its anamorph *Fusarium sacchari*. Mycologia. 2005;97(3):718-24. doi: 10.1080/15572536.2006.11832801.
69. Leslie JF, Zeller KA, Lamprecht SC, Rheeder JP, Marasas WFO. Toxicity, pathogenicity and genetic differentiation of five species of *Fusarium* from sorghum and millet. Phytopathology. 2005;95(3):275-83. doi: 10.1094/PHYTO-95-0275.
70. Levic J, Munaut F, Scauflaire J, Stankovic S, Ivanovic D, Krnjaja V. Polyphasic approach used for distinguishing *Fusarium temperatum* from *Fusarium subglutinans*. J Agric Sci Technol. 2019;21 (1):221-32.
71. Leyva-Madrigal KY, Larralde-Corona CP, Apodaca-Sánchez MA, Quiroz-Figueroa FR, Mexia-Bolaños PA, Portillo-Valenzuela S, Ordaz-Ochoa J, Maldonado-Mendoza IE. *Fusarium* species from the *Fusarium fujikuroi* species complex involved in mixed infections of maize in Northern Sinaloa, Mexico. J Phytopathol. 2015;163(6):486-97. doi: 10.1111/jph.12346.
72. Logrieco A, Moretti A, Castella G, Kostecki M, Golinski P, Ritieni A, Chelkowski J. Beauvericin production by *Fusarium* species. Appl Environ Microbiol. 1998;64(8):3084-88. doi: 10.1128/AEM.64.8.3084-3088.1998.
73. Ma Y-M, Zhu J-Z, Li X-G, Wang L-L, Zhong J. Identification and first report of *Fusarium andiyazi* causing sheath rot of *Zizania latifolia* in China. Plants. 2021;10(9):1844. doi: 10.3390/plants10091844.
74. Marasas WFO, Rheeder JP, Lamprecht SC, Zeller KA, Leslie JF. *Fusarium andiyazi* sp. nov., a new species from sorghum. Mycologia. 2001;93(6):1203-10. doi: 10.1080/00275514.2001.12063254.
75. Mohaghegh F, Abtahi-Nacini B, Nasri E, Badiee P, Morovati H, Fakhim H, Farmani A, Meidani M, Ranjbar-Mobarake M, Rasoul Mohammadi R. *Fusarium proliferatum*-induced chronic lip ulcer: successful treatment with itraconazole: a case report. J Med Case Rep. 2022;16(1):346. doi: 10.1186/s13256-022-03575-5.
76. Mohamed Nor NMI, Salleh B, Leslie JF. *Fusarium* species from sorghum in Thailand. Plant Pathol J. 2019;35(4):301-12. doi: 10.5423/PPJ.OA.03.2019.0049.
77. Moretti AN. Taxonomy of *Fusarium* genus: a continuous fight between lumpers and splitters. Zbornik Matice srpske za prirodne nauke. 2009;117:7-13. doi: 10.2298/ZMSPN0917007M.

78. Moretti A, Mulè G, Ritieni A, Logrieco A. Further data on the production of beauvericin, enniatins and fusaproliferin and toxicity to *Artemia salina* by *Fusarium* species of *Gibberella fujikuroi* species complex. *Int J Food Microbiol.* 2007;118(2):158-63. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.004.
79. Najafzadeh MJ, Dolatabadi S, de Hoog S, Esfahani MK, Haghani I, Aghili SR, Ghazvini RD, Rezaei-Matehkolaei A, Abastabar M, Al-Hatmi AMS. Phylogenetic analysis of clinically relevant *Fusarium* species in Iran. *Mycopathologia.* 2020;185(3):515-25. doi: 10.1007/s11046-020-00460-x.
80. Nicolli CP, Haidukowski M, Susca A, Gomes LB, Logrieco A, Stea G, Del Ponte EM, Moretti A, Ludwig H, Pfenning LH. *Fusarium fujikuroi* species complex in Brazilian rice: Unveiling increased phylogenetic diversity and toxigenic potential. *Int J Food Microbiol.* 2020;330:108667. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108667.
81. Niehaus EM, Kleigrew K, Wiemann P, Studt L, Sieber CMK, Connolly LR, Freitag M, Güldener U, Tudzynski B, Humpf H-U. Genetic manipulation of the *Fusarium fujikuroi* fusarin gene cluster yields insight into the complex regulation and fusarin biosynthetic pathway. *Chem Biol.* 2013;20(8):1055-66. doi: 10.1016/j.chembiol.2013.07.004.
82. Niehaus E-M, Studt L, von Bargaen KW, Kummer W, Humpf H-U, Reuter G, Tudzynski B. Sound of silence: The beauvericin cluster in *Fusarium fujikuroi* is controlled by cluster-specific and global regulators mediated by H3K27 modification. *Environ Microbiol.* 2016;18(11):4282-302. doi: 10.1111/1462-2920.13576.
83. Nirenberg HI, O'Donnell K. New *Fusarium* species and combinations within the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia.* 1998;90(3):434-58. doi: 10.2307/3761403.
84. Noguchi H, Hiruma M, Matsumoto T, Kano R, Ihn H. Ungual hyalohyphomycosis caused by *Fusarium proliferatum* in an immunocompetent patient. *J Dermatol.* 2017;44(1):88-90.
85. Noguchi H, Matsumoto T, Kimura U, Hiruma M, Kano R, Yaguchi T, Fukushima S, Ihn H. Ungual hyalohyphomycosis caused by *Fusarium proliferatum* successfully treated with fosravuconazole. *J Dermatol.* 2020;47(7):e251-e253. doi: 10.1111/1346-8138.15358.
86. Noorabadi MT, Masiello M, Taherkhani K, Zare R, Torbati M, Haidukowski M, Somma S, Logrieco AF, Moretti A, Susca A. Phylogeny and mycotoxin profile of *Fusarium* species isolated from sugarcane in Southern Iran. *Microbiol Res.* 2021;252:126855. doi: 10.1016/j.micres.2021.126855.
87. Nucci M, Anaissie E. Invasive fusariosis. *Clin Microbiol Rev.* 2023;36(4):1-28. doi: 10.1128/cmr.00159-22.
88. Palmore TN, Shea YR, Childs RW, Sherry RM, Walsh TJ. *Fusarium proliferatum* soft tissue infection at the site of a puncture by a plant: Recovery, isolation, and direct molecular identification. *J Clin Microbiol.* 2010;48(1):338-42.
89. Pedrozo R, Little CR. First report of seedborne *Fusarium thapsinum* and its pathogenicity on soybean (*Glycine max*) in the United States. *Plant Dis.* 2014;98(12):1745. doi: 10.1094/PDIS-08-14-0806-PDN.
90. Pena GA, Sulyok M, Chulze SN. Effect of interacting conditions of water activity, temperature and incubation time on *Fusarium thapsinum* and *Fusarium andiyazi* growth and toxin production on sorghum grains. *Int J Food Microbiol.* 2020;318:108468. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108468.
91. Petrovic T, Burgess LW, Cowie I, Warren RA, Harvey RP. Diversity and fertility of *Fusarium sacchari* from wild rice (*Oryza australiensis*) in Northern Australia, and pathogenicity tests with wild rice, rice, sorghum and maize. *Eur J Plant Pathol.* 2013;136:773-88. doi: 10.1007/s10658-013-0206-7.
92. Pfordt A, Romero LR, Schiwek S, Karlovsky P, von Tiedemann A. Impact of environmental conditions and agronomic practices on the prevalence of *Fusarium* species associated with ear-and stalk rot in maize. *Pathogens.* 2020;9(3):236. doi: 10.3390/pathogens9030236.
93. Pfordt A, Schiwek S, Rathgeb A, Rodemann C, Bollmann N, Buchholz M, Petr Karlovsky P, von Tiedemann A. Occurrence, pathogenicity, and mycotoxin production of *Fusarium temperatum* in relation to other *Fusarium* species on maize in Germany. *Pathogens.* 2020;9(11):864. doi: 10.3390/pathogens9110864.
94. Phasha MM, Wingfield BD, Wingfield MJ, Coetzee MPA, Hammerbacher A, Steenkamp ET. Deciphering the effect of *FUB1* disruption on fusaric acid production and pathogenicity in *Fusarium circinatum*. *Fungal Biol.* 2021;125(12):1036-47. doi: 10.1016/j.funbio.2021.07.002.
95. Pintye A, Bacsó R, Kovács GM. Trans-kingdom fungal pathogens infecting both plants and humans, and the problem of azole fungicide resistance. *Front Microbiol.* 2024;15:1354757. doi: 10.3389/fmicb.2024.1354757.
96. Poignon C, Blaize M, Vezinet C, Lampros A, Monsel A, Fekkar A. Invasive pulmonary fusariosis in an immunocompetent critically ill patient with severe COVID-19. *Clin Microbiol Infect.* 2020;26(11):1582-4. doi: 10.1016/j.cmi.2020.06.026.
97. Proctor RH, Plattner RD, Brown DW, Seo J-A, Lee Y-W. Discontinuous distribution of fumonisin biosynthetic genes in the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycol Res.* 2004;108(7):815-22. doi: 10.1017/S0953756204000577.
98. Ricna D, Lengerova M, Palackova M, Hadrabova M, Kocmanova I, Weinbergerova B, Pavlovsky Z, Volfova P, Bouchnerova J, Mayer J, Racil Z. Disseminated fusariosis by *Fusarium proliferatum* in a patient with aplastic anaemia receiving primary posaconazole prophylaxis – case report and review of the literature. *Mycoses.* 2016;59(1):48-55.
99. Riolo M, Aloï F, Faedda R, Cacciola SO, Pane A. First report of postharvest fruit rot caused by *Fusarium sacchari* on Lady Finger banana in Italy. *Plant Dis.* 2020;104(8):2290. doi: 10.1094/PDIS-01-20-0143-PDN.

100. Scauflaire J, Gourgue M, Callebaut A, Munaut F. *Fusarium temperatum*, a mycotoxin-producing pathogen of maize. *Eur J Plant Pathol*. 2012;133(4):911-22. doi: 10.1007/s10658-012-9958-8.
101. Scauflaire J, Gourgue M, Munaut F. *Fusarium temperatum* sp. nov. from maize, an emergent species closely related to *Fusarium subglutinans*. *Mycologia*. 2011;103(3):586-97.
102. Shi W, Tan Y, Wang S, Gardiner DM, De Saeger S, Liao Y, Wang C, Fan Y, Wang Z, Wu A. Mycotoxigenic potentials of *Fusarium* species in various culture matrices revealed by mycotoxin profiling. *Toxins*. 2017;9(1):6. doi: 10.3390/toxins9010006.
103. Siegel M, KanV, Varma A, Benator D. Successful treatment of invasive *Fusarium verticillioides* infection with posaconazole in a man with acute myelogenous leukemia. *Infect Dis Clin Pract*. 2010;18(1):71-4. doi: 10.1097/IPC.0b013e3181b21a01.
104. Simões D, Diogo E, de Andrade E. First report of *Fusarium andiyazi* presence in portuguese maize kernels. *Agriculture*. 2022;12(3):336. doi: 10.3390/agriculture12030336.
105. Steenkamp ET, Wingfield BD, Desjardins AE, Marasas WFO, Wingfield MJ. Cryptic speciation in *Fusarium subglutinans*. *Mycologia*. 2002;94(6):1032-43. doi: 10.2307/3761868.
106. Stępień Ł, Gromadzka K, Chelkowski J, Basińska-Barczak A, Lalak-Kańczugowska J. Diversity and mycotoxin production by *Fusarium temperatum* and *Fusarium subglutinans* as causal agents of pre-harvest *Fusarium* maize ear rot in Poland. *J Appl Genetics*. 2019;60:113-21. doi: 10.1007/s13353-018-0478-x.
107. Studt L, Janevska S, Niehaus EM, Burkhardt I, Arndt B, Sieber CMK, Humpf H, Dickschat JS, Tudzynski B. Two separate key enzymes and two pathway-specific transcription factors are involved in fusaric acid biosynthesis in *Fusarium fujikuroi*. *Environ Microbiol*. 2016;18(3):936-56. doi: 10.1111/1462-2920.13150.
108. Su H, Zhang Q, Li L, Zhao Y, Zhu J, Zhu M. Urinary tract infection (UTI) caused by *Fusarium proliferatum* in an agranulocytosis patient and a review of published reports. *Mycopathologia*. 2015;181(1-2):131-5. doi: 10.1007/s11046-015-9937-7.
109. Sun S, Lui Q, Han L, Ma Q, He S, Li X, Zhang H, Zhang J, Liu X, Wang L. Identification and characterization of *Fusarium proliferatum*, a new species of fungi that cause fungal keratitis. *Sci Rep*. 2018;8(1):4859. doi: 10.1038/s41598-018-23255-z.
110. Suzuki H, Hashimoto T, Sugiura R, Ogata H, Noguchi H, Hiruma M, Yaguchi T, Satoh T. Disseminated cutaneous hyalohyphomycosis caused by *Fusarium proliferatum* in a patient with aplastic anemia. *J Dermatol*. 2023;50(6):e183-e184.
111. Swett CL, Gordon TR. First report of grass species (Poaceae) as naturally occurring hosts of the pine pathogen *Gibberella circinata*. *Plant Dis*. 2012;96(6):908. doi: 10.1094/pdis-02-12-0136-pdn.
112. Swett CL, Gordon TR. Endophytic association of the pine pathogen *Fusarium circinatum* with corn (*Zea mays*). *Fungal Ecol*. 2015;13:120-9. doi: 10.1016/j.funeco.2014.09.003.
113. Swett CL, Gordon TR. Exposure to a pine pathogen enhances growth and disease resistance in *Pinus radiata* seedlings. *Forest Pathol*. 2017;47(1):e12298. doi: 10.1111/efp.12298.
114. Swett CL, Kirkpatrick SC, Gordon TR. Evidence for a hemibiotrophic association of the pitch canker pathogen *Fusarium circinatum* with *Pinus radiata*. *Plant Dis*. 2016;100:79-84. doi: 10.1094/PDIS-03-15-0270-RE.
115. Tägele SB, Kim SW, Lee HG, Lee YS. Aggressiveness and fumonisins production of *Fusarium subglutinans* and *Fusarium temperatum* on Korean maize cultivars. *Agronomy*. 2019;9:88. doi: 10.3390/agronomy9020088.
116. Taha EM. Morphological, phylogenetic, and pathogenic analyses of *Fusarium andiyazi* associated with sugar beet root diseases. *Arch. Phytopathol Plant Protect*. 2020;54(5-6):319-37. doi: 10.1080/03235408.2020.1829873.
117. Tahir A, Khan SN, Javaid A, Riaz M. Morphological and molecular characterization of *Fusarium thapsinum*, causing stalk rot of maize in Punjab, Pakistan. *Mycopath*. 2018;16(2):57-64.
118. Thio GI, Zida EP, Neyia JB, Wulff EG, Lund OS, Boelt B. Genetic diversity of *Fusarium* endophytes strains from sorghum (*Sorghum bicolor* L.) tissues in Burkina Faso. *Int J Biotechnol Mol Biol Res*. 2021;11:1-9. doi: 10.5897/ijbmr2021.0316.
119. Tupaki-Sreepurna A, Kindo AJ. *Fusarium*: The versatile pathogen. *Ind J Med Microbiol*. 2018;36:8-17. doi: 10.4103/ijmm.IJMM_16_24.
120. Tupaki-Sreepurna A, Thanneru V, Natarajan S, Sharma S, Gopi A, Sundaram M, Kindo AJ. Phylogenetic diversity and in vitro susceptibility profiles of human pathogenic members of the *Fusarium fujikuroi* species complex isolated from South India. *Mycopathologia*. 2018;183(3):529-40. doi: 10.1007/s11046-018-0248-7.
121. Urbaniak C, Dadwal S, Bagramyan K, Venkateswaran K. Draft genome sequence of a clinical isolate of *Fusarium fujikuroi* isolated from a male patient with acute myeloid leukemia. *Genome Announc*. 2018;6(25):e00476-18. doi: 10.1128/genomeA.00476-18.
122. Vainio EJ, Bezos D, Bragança H, Cleary M, Fourie G, Georgieva M, Ghelardini L, Hannunen S, Ioos R, Jorge Martín-García J. et al. Sampling and detection strategies for the pine pitch canker (PPC) disease pathogen *Fusarium circinatum* in Europe. *Forests*. 2019;10(9):723. doi: 10.3390/f10090723.
123. Vega-Gutiérrez TA, Douriet-Angulo A, Molina-Cárdenas L, Tirado-Rámirez MA, López-Urquidez GA, López-Orona CA. Root rot and wilt caused by *Fusarium nygamai* of bean (*Phaseolus vulgaris*) in Sinaloa, Mexico. *Plant Dis*. 2022;106(10):2748.
124. Verbeke V, Bourgeois T, Lodewyck T, Van Praet J, Lagrou K, Reynders M, Nulens E. Successful outcome of disseminated *Fusarium musae* fungemia with skin localization treated with liposomal amphotericin B and

- voriconazole in a patient with acute myeloid leukemia. *Mycopathologia*. 2020;185(6):1085-9. doi: 10.1007/s11046-020-00499-w.
125. Viswanathan R. *Fusarium* diseases affecting sugarcane production in India. *Ind Phytopathol*. 2020;73(3):415-24. doi: 10.1007/s42360-020-00241-y.
 126. Wang JH, Peng XD, Lin SH, Wu A-B, Huang S-L. First report of *Fusarium* head blight of wheat caused by *Fusarium sacchari* in China. *Plant Dis*. 2015;99(1):160. doi: 10.1094/PDIS-08-14-0829-PDN.
 127. Wang JH, Zhang JB, Li HP, Gong AD, Xue S, Agboola RS, Liao YC. Molecular identification, mycotoxin production and comparative pathogenicity of *Fusarium temperatum* isolated from maize in China. *J Phytopathol*. 2014;162(3):147-57. doi: 10.1111/jph.12164.
 128. Wit M, Ochodzki P, Warzecha R, Jabłonska E, Mirzwa-Mróz E, Mielniczuk E, Wakulinski W. Influence of endosperm starch composition on maize response to *Fusarium temperatum* Scaufl., Munaut. *Toxins*. 2022;14(3):200. doi: 10.3390/toxins14030200.
 129. Wokorach G, Landschoot S, Audenaert K, Echodu R, Haesaert G. Genetic characterization of fungal biodiversity in storage grains: Towards enhancing food safety in northern Uganda. *Microorganisms*. 2021;9(2):383. doi: 10.3390/microorganisms9020383.
 130. WHO. Fungal priority pathogens list to guide research, development and public health action. Geneva: World Health Organization. 2022.
 131. Zamora-Ballesteros C, Diez JJ, Martín-García J, Witzell J, Solla A, Ahumada R, Capretti P, Cleary M, Drenkhan R, Dvorák M. et al. Pine pitch canker (PPC): Pathways of pathogen spread and preventive measures. *Forests*. 2019;10(12):1158. doi: 10.3390/f10121158.
 132. Zhang T, Zhuo Y, Jia X, Liu JT, Gao H, Song FH, Liu M, Zhang LX. Cloning and characterization of the gene cluster required for beauvericin biosynthesis in *Fusarium proliferatum*. *Sci China Life Sci*. 2013;56(7):628-37. doi: 10.1007/s11427-013-4505-1.
 133. Zhao L, de Hoog S, Hagen F, Kang Y, Al-Hatmi AMS. Species borderlines in *Fusarium* exemplified by *F. circinatum*/*F. subglutinans*. *Fungal Genet Biol*. 2019;132:103262. doi: 10.1016/j.fgb.2019.103262.
 134. Zidan L, Jawdat D, Naffaa W. Morphology, pathogenicity and molecular identification of some *Fusarium* species within the *Gibberella fujikuroi* species complex from wheat in Syria. *Curr Res Environ Appl Mycol. (J. Fungal Biol.)*. 2020;10(1):156-66. doi: 10.5943/cream/10/1/16.