

Научная статья/Research Article

УДК 582.28; 579.26

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-62-69

Юлия Александровна Литовка^{1✉}, Полина Васильевна Шнайдер²,
Анна Александровна Леоненко³, Марина Максимовна Патрушева⁴,
Антон Алексеевич Тимофеев⁵, Наталья Валентиновна Фомина⁶, Игорь Николаевич Павлов⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск, Россия

^{1,2,4,6,7}Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева,
Красноярск, Россия

^{1,2,3,4,5,6,7}litovkajul@rambler.ru

ГЕТЕРОГЕННОСТЬ СИБИРСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ ФУЗАРИОИДНЫХ ГРИБОВ ПО ФИТОПАТОГЕННЫМ СВОЙСТВАМ

Цель работы – исследование фитопатогенности сибирских штаммов фузариоидных грибов (*Fusarium*, *Neocosmospora*), ассоциированных с зерновыми культурами, и их внутривидовой гетерогенности по патогенным свойствам. Выявлены высокотоксичные виды *F. sporotrichioides* и *F. oxysporum*, метаболиты которых снижают средний показатель лабораторной всхожести семян *Triticum aestivum* и *Larix sibirica* на 50 % и более по сравнению с контролем. Виды *F. sporotrichioides* и *F. fujikuroi* SC ингибируют развитие в равной степени стебля и корня пшеницы; *N. solani* и *F. oxysporum* угнетают в большей степени корневую систему. Показаны внутривидовые различия по степени фитотоксичности в отношении проростков Zeamays и динамике накопления метаболитов для видов *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *N. solani* и *F. fujikuroi* SC. Средние показатели ингибирования роста корней варьируют от 52 до 89 %. Для всех штаммов установлено нарастание фитотоксического эффекта (до 98 %) при увеличении времени культивирования (14 суток и более). Исследован уровень синтеза Т-2 фузариотоксина для наиболее распространенного в регионе вида *F. sporotrichioides*. Максимальная концентрация (5,3–5,5 мг/кг) отмечена у штамма, выделенного из ячменя и его моноспоровых культур; концентрация токсина у моноконидиальных клонов варьировала от 0,94 до 5,4 мг/кг. Уровень синтеза токсина у штаммов, выделенных из пшеницы, составил 0,05–0,84 мг/кг. Выявлена гетерогенность *F. sporotrichioides* по фитопатогенным свойствам: исследуемые штаммы ингибируют развитие пшеницы в широких пределах (на 36–79 % по сравнению с контролем) с формированием некрозов интенсивностью до 1,6 балла. Выявлены моноконидиальные линии *F. sporotrichioides*, отличные от природного изолята по фитопатогенности, преимущественно в сторону ее увеличения (ингибирование роста до 95 %, некроз до 2,6 баллов).

Ключевые слова: фитопатогенность, фитотоксичность, фузариоидные грибы, некроз, лабораторная всхожесть, проростки, *Fusarium*, *Neocosmospora*

Для цитирования: Гетерогенность сибирских популяций фузариоидных грибов по фитопатогенным свойствам / Ю.А. Литовка [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 10. С. 62–69. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-62-69.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00052.

Yulia Alexandrovna Litovka^{1✉}, Polina Vasilievna Schnaider², Anna Alexandrovna Leonenko³,
Marina Maksimovna Patrusheva⁴, Anton Alexeyevich Timofeev⁵, Natalia Valentinovna Fomina⁶,
Igor Nikolayevich Pavlov⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

^{1,2,4,6,7}Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

^{1,2,3,4,5,6,7}litovkajul@rambler.ru

HETEROGENEITY OF SIBERIAN FUSARIOID FUNGI POPULATIONS
IN PHYTOPATHOGENIC PROPERTIES

The purpose of the work is to study the phytopathogenicity of Siberian strains of fusarium fungi (*Fusarium*, *Neocosmospora*) associated with grain crops, and their intraspecific heterogeneity in pathogenic properties. Highly toxic species have been identified *F. sporotrichioides* and *F. oxysporum*, the metabolites of which reduce the average laboratory germination of *Triticumaestivum* and *Larixsibirica* seeds by 50 % or more compared to the control. The species *F. sporotrichioides* and *F. fujikuroi* SC inhibit the development of the stem and root of wheat to an equal extent; *N. solani* and *F. oxysporum* suppress the root system to a greater extent. Intraspecific differences in the degree of phytotoxicity in relation to *Zeamays* seedlings and the dynamics of accumulation of metabolites for the species *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *N. solani* and *F. fujikuroi* SC are shown. Average root growth inhibition rates range from 52 to 89 %. For all strains, the phytotoxic effect increased (up to 98 %) with increasing cultivation time (14 days or more). The level of synthesis of T-2 fusariotoxin was studied for the most common species in the region, *F. sporotrichioides*. The maximum concentration (5.3–5.5 mg/kg) was observed in a strain isolated from barley and its monosporous crops; the toxin concentration in monoconidial clones varied from 0.94 to 5.4 mg/kg. The level of toxin synthesis in strains isolated from wheat was 0.05–0.84 mg/kg. The heterogeneity of *F. sporotrichioides* in terms of phytopathogenic properties was revealed: the studied strains inhibit the development of wheat within a wide range (by 36–79 % compared to the control) with the formation of necrosis with an intensity of up to 1.6 points. Monoconidial lines of *F. sporotrichioides* were identified, differing from the natural isolate in phytopathogenicity, mainly in the direction of its increase (growth inhibition up to 95%, necrosis up to 2.6 points).

Keywords: phytopathogenicity, phytotoxicity, fusarium fungi, necrosis, laboratory germination, seedlings, *Fusarium*, *Neocosmospora*

For citation: Heterogeneity of Siberian fusarioid fungi populations in phytopathogenic properties / Yu.A. Litovka [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(10): 62–69. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-62-69.

Acknowledgments: the study has been supported by grant № 23-26-00052 of the Russian Science Foundation.

Введение. Фузариоидные грибы (род *Fusarium* sensu stricto и близкородственные рода) являются значимыми фитопатогенами зерновых культур и встречаются во всех зерносеющих регионах. Они вызывают заболевания различных органов у широкого круга растений-хозяев, накапливаются в сельскохозяйственной продукции и контаминируют ее микотоксинами. Заболевания могут протекать бессимптомно (при заражении растения видами *F. poae*, *F. Sporotrichioides* и *F. tricinatum*) либо с видимыми проявлениями в виде окрашенного спороношения (*F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*). Патологическое действие фузариоидных грибов на растение определяется наличием и степенью проявления факторов фитопатогенности, которые существенно варьируют у различных видов и популяций. Внутривидовой полиморфизм фитопатогенных грибов и влияние почвенно-климатических условий способствуют отбору экологически пластичных и патогенных популяций, которые доминируют в структуре фитопато-

тогенного комплекса и вытесняют виды с невысокой встречаемостью [1–5].

Цель исследования – изучение внутривидовой гетерогенности по фитопатогенным свойствам у сибирских штаммов фузариоидных грибов.

Задачи: определить фитотоксические свойства метаболитов грибов на семенах и проростках листовницы и пшеницы; исследовать динамику фитотоксической активности на проростках кукурузы у наиболее активных штаммов; оценить гетерогенность по фитопатогенным свойствам у доминирующего в регионе вида.

Объекты и методы. Объектами исследования служили 52 изолята фузариоидных грибов (*Fusarium*, *Neocosmospora*) из коллекции лаборатории лесных культур, микологии и фитопатологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Грибы изолировали в чистую культуру из образцов *Triticum aestivum* L. и *Hordeum vulgare* L. с признаками заболевания (колос, зерновки, стебель, корни). Первичную идентификацию осуществляли на основании культурально-

морфологических признаков [6–10], с обязательной молекулярно-генетической верификацией – секвенирование ДНК гена фактора элонгации трансляции (TEF-1 α) и второй по величине субъединицы РНК-полимеразы (RPB2) [10]. На рисунке 1 представлено филогенетическое дерево, построенное на основании нуклеотидных последовательностей 31 изолята *F. sporotrichioides*, включая 1 новый сибирский штамм [11], секвенированных по одному локусу. Последовательности выровнены по таксону *Atractium stilbaster* [10].

Фитопатогенные свойства оценивали по модифицированной методике Челковского-Манки на проростках пшеницы сорта Красноярская-12. Исследуемые штаммы высевали на картофельно-сахарозный агар (КСА) в чашки Петри и культивировали их в течение пяти суток при 24 °С в темноте. Семена поверхностно стерилизовали 70 % этанолом в течение 3 мин и замачивали в стерильной воде на 24 ч при 24 °С для

набухания. На мицелий гриба раскладывали набухшие семена в количестве 10 штук в трехкратной повторности, контролем служили семена, разложенные на поверхности стерильного КСА. Чашки в течение 7 сут выдерживали в темноте при 24 °С, после чего измеряли длину появившихся ростков (мм) и регистрировали степень их поражения по четырехбалльной шкале: 0 баллов – здоровый росток; 1 балл – точечный некроз ткани; 2 балла – некроз около 50 % площади ткани; 3 балла – гибель.

Биотестирование метаболитов проводили на семенах пшеницы сорта Тулунская-12, *Larix sibirica* Ledeb. и проростках *Zea mays* L. сорта Лакомка [6]. Иммуноферментный анализ Т2 фузариотоксина проводили стандартным методом (ГОСТ Р 52471-2005) на базе Краевой ветеринарной лаборатории. Культуры грибов выращивали на стерильном рисе в течение 10 сут при 25 °С.

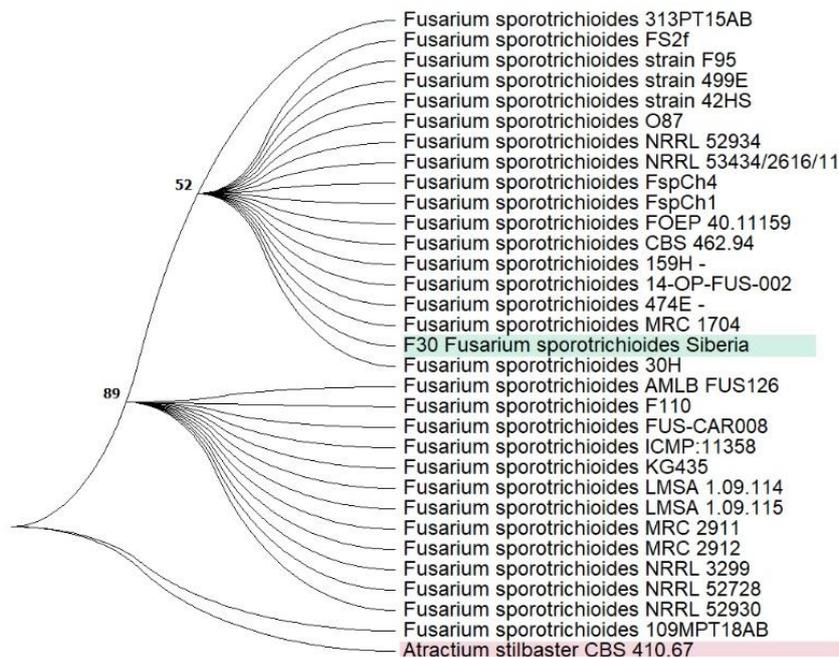


Рис. 1. Филогенетическое дерево на основе метода максимального правдоподобия (ML) для штамма F30 и последовательностей *Fusarium sporotrichioides* из NCBI GenBank с использованием праймеров TEF-1 α . Бутстреп-значения более 50 % указаны рядом с кластерами. В качестве внешней группы использовали *Atractium stilbaster* (Link)

Результаты и их обсуждение. На первом этапе провели оценку влияния метаболитов фузариоидных грибов на токсигенной среде. Установлено, что уровень фитотоксичности варьирует в пределах вида и между отдельными видами по показателям лабораторной всхожести

семян пшеницы и листовницы (табл. 1). В группу высокотоксичных отнесены виды *Fusarium sporotrichioides* Sherb. и *Fusarium oxysporum* Schldtl. – средний показатель всхожести семян в пределах каждого вида был ниже контрольного значения на 50 % и более. Группу умеренно

токсичных образуют виды *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc., *Neocosmospora solani* (Mart.) L. Lombard & Crous и неидентифицированные изоляты из комплекса *F. fujikuroi*: пределы варьирования лабораторной всхожести составили

27,1–64,1 %. Семена пшеницы оказались более чувствительными к метаболитам *Fusarium poae* (Peck) Wollenw., *Fusarium acuminatum* Ellis & Everh. и *Fusarium culmorum* (Wm.G. Sm.) по сравнению с лиственницей сибирской.

Таблица 1

Лабораторная всхожесть семян злаковых и хвойных растений под действием метаболитов сибирских штаммов рода *Fusarium*

Комплекс видов / вид	Количество штаммов	Лабораторная всхожесть семян, % от контроля*	
		<i>Triticum</i> L.	<i>Larix sibirica</i>
<i>Fusarium sambucinum</i> species complex			
<i>F. sambucinum</i>	4	64,5–103,7**	61,3–101,2
<i>F. sporotrichioides</i>	12	14,2–51,4	17,9–54,1
<i>F. poae</i>	4	47,9–74,1	69,1–92,3
<i>F. culmorum</i>	5	29,5–64,1	49,8–78,1
<i>Fusarium tricinctum</i> species complex			
<i>F. acuminatum</i>	6	43,1–75,4	57,7–82,3
<i>F. avenaceum</i>	8	27,3–58,4	30,9–63,3
<i>Fusarium oxysporum</i> species complex			
<i>F. oxysporum</i>	5	19,4–54,2	16,9–57,3
<i>Fusarium fujikuroi</i> species complex			
<i>Fusarium</i> sp.	4	29,3–61,3	25,5–64,2
<i>Neocosmospora</i>			
<i>N. solani</i>	4	27,1–63,5	24,2–68,1

*Всхожесть семян в контроле в расчетах принята за 100 %; 0–30 % – высокая степень фитотоксичности; 30–70 % – средняя; более 70 % – слабая.

**Минимальное и максимальное значения в пределах выборки.

Пролонгированный фитотоксический эффект проявился в ингибировании развития стебля и корня (рис. 2). На семисуточных проростках пшеницы ингибирование роста стебля варьировало от 3 до 46 %, главного корня – от 2 до 73 % относительно контроля. Максимальная фитотоксичность характерна для изолятов *F. sporotrichioides*. Штаммы *F. sporotrichioides* и *F. fujikuroi* SC угнетали развитие в равной степени стебля и корня; *N. solani* и *F. oxysporum* сильнее ингибировали корневую систему. На 14-суточных проростках *L. sibirica* ингибирование роста стебля составило от 8 до 63 %, корневой системы – от 14 до 75 %. Максимальной токсигенностью обладали метаболиты *F. oxysporum*, *F. avenaceum*, *N. solani*, *F. sporotrichioides* и *F. fujikuroi* SC.

Динамику фитотоксической активности исследовали на двухсуточных проростках *Z. mays*, используя фильтраты фитотоксичных культур, полученные на токсигенной среде в течение 49 сут (рис. 3).

Для всех исследуемых штаммов характерна высокая фитотоксичность – средние показатели

ингибирования роста корней варьировали от 52 до 89 %. Выявлены внутривидовые различия по степени фитотоксической активности и динамике накопления метаболитов. Например, штаммы *F. sporotrichioides* были разделены на три группы. Штаммы первой группы (50 % исследованных культур) оказывали сильное фитотоксическое действие (более 50 % ингибирования роста) в течение всего периода с постепенным увеличением фитотоксичности до 79–98 %. Штаммы из второй группы (30 %) проявили сначала умеренное фитотоксическое действие (10–25 %), а затем выраженное (39–81 %). Третья группа (20 %) представлена штаммами, которые в начальный период стимулировали развитие корней, но затем отмечено существенное ингибирование (58–87 %). Внутривидовая гетерогенность по фитотоксичности также выявлена у *F. avenaceum* (ингибирование роста корней 38–74 %), *F. Oxysporum* (47–98 %), *N. solani* (58–83 %) и *F. fujikuroi* SC (44–98 %).

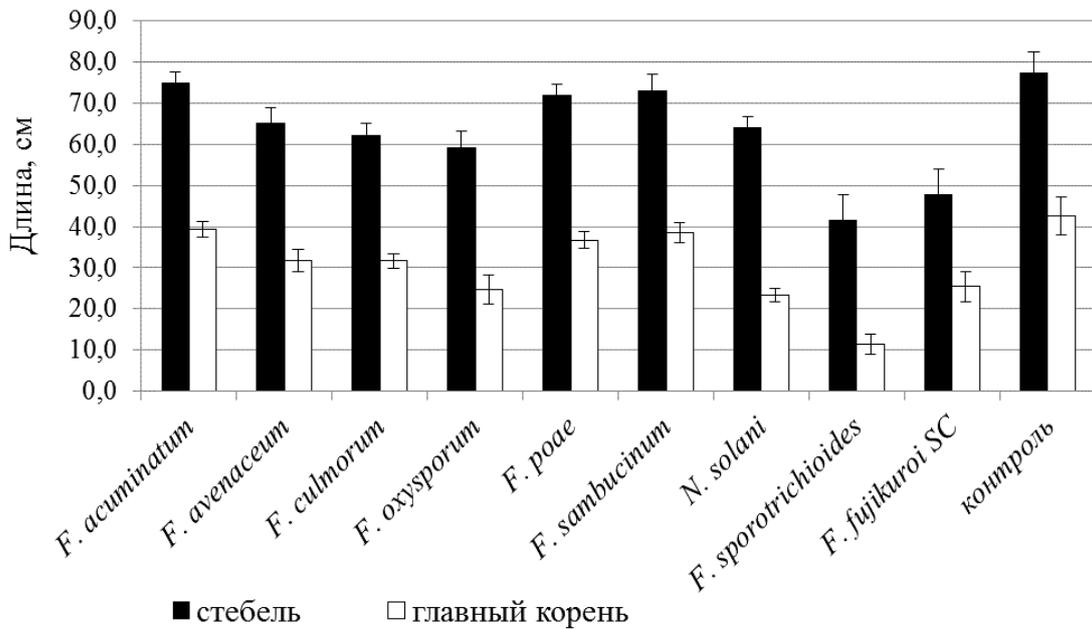


Рис. 2. Морфометрические показатели проростков *Triticum aestivum* под влиянием метаболитов сибирских штаммов фузариоидных грибов

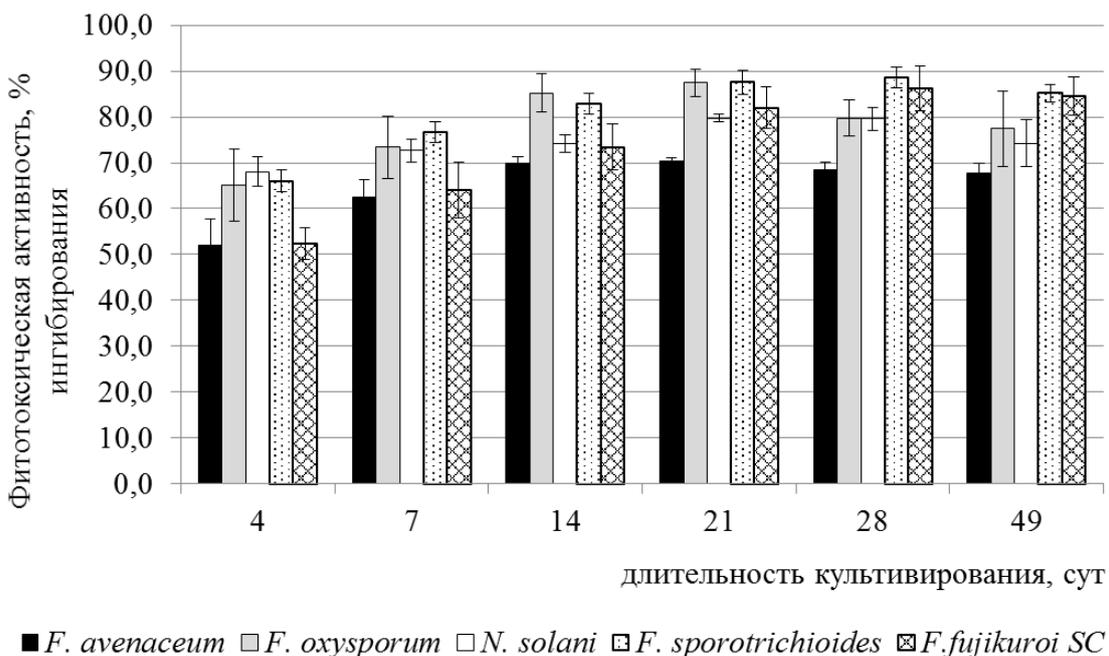


Рис. 3. Динамика фитотоксической активности сибирских штаммов фузариоидных грибов в отношении корней *Zea mays*

Для изолятов вида *F. sporotrichioides*, как наиболее распространенного на исследуемой территории [11], был проведен иммуноферментный анализ на наличие Т2-фузариотоксина. Токсин выявлен во всех исследуемых культурах, однако его концентрация варьировала между отдельными штаммами в пределах вида и среди моноспоровых культур одного штамма (табл. 2).

Максимальная концентрация Т-2 фузариотоксина отмечена для штамма Fs11, выделенного из зерновок ячменя. Содержание микотоксина у его моноспоровых культур соответствовало уровню родительского штамма (5,3–5,4 мг/кг) либо было существенно ниже (0,94–2,74 мг/кг). Уровень синтеза токсинов у штаммов, выделенных из зерновок пшеницы, был меньше и находился в пределах 0,05–0,84 мг/кг.

Содержание Т-2 фузариотоксина в культурах *Fusarium sporotrichioides*, выращенных на рисовом зерне

Штамм	Источник выделения	Концентрация токсина (мг/кг), X ср. ± m
Fs11	Зерновки ячменя сорта Ача	5,50±0,89
Fs11-3	Моноспоровые культуры штамма Fs11	5,40±0,87
Fs11-9		5,30±0,86
Fs11-10		2,74±0,44
Fs11-4		0,94±0,15
Z11-1	Зерновки пшеницы, сорт Тулунская-12	0,84±0,14
Z31-5	Зерновки пшеницы, сорт Красноярская-12	0,81±0,13
Z37-1	Зерновки пшеницы, селекционная линия «К64-2»	0,14±0,02
Z12	Зерновки пшеницы, сорт Мана-2	0,05±0,014

На следующем этапе оценивали фитопатогенные свойства живых культур *F. Sporotrichioides*. Исследование проводили на проростках пшеницы сорта Красноярская-12, оценивая длину проростка (патогенность) и наличие некроза корней (агрессивность) по сравнению с контролем. Все исследуемые штаммы достоверно ингибировали развитие проростков по сравнению с контролем: 70 % штаммов снижали длину на 50–79 % (средний показатель группы 67 %); 30 % штаммов – в диапазоне 36–49 % (средний показатель 43 %) (рис. 4). Отмечено наличие некроза в тканях с максимумом до 1,6 балла (по трехбалльной шкале); при этом

более чем у 50 % культур степень некроза составила 0,9–1,6 балла.

Для токсигенного штамма Fs11 *F. Sporotrichioides* получены 16 моноконидиальных культур, фитопатогенность которых исследовали аналогичными методами. Установлено, что у 81 % клонов показатели фитопатогенности выше, чем у родительского штамма, длина проростков уменьшилась на 84–95 % по сравнению с контролем. Более 50 % клонов вызывали некрозы корней от 1,8 до 2,6 балла, что превышает исходный показатель в среднем в 1,6 раза. У 19 % моноспоровых культур показатели патогенности достоверно не отличаются от родительского штамма.

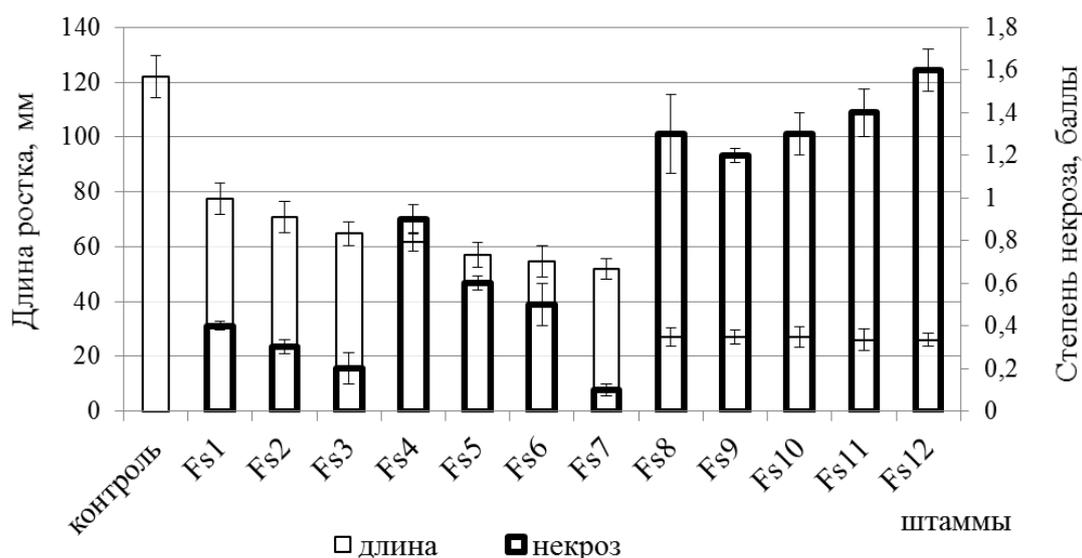


Рис. 4. Фитопатогенность сибирских штаммов *Fusarium sporotrichioides* на проростках *Triticum aestivum*

Заключение. Сибирские штаммы фузариоидных грибов в различной степени ингибируют лабораторную всхожесть семян и замедляют ростовые процессы злаковых и хвойных растений. Максимальная фитотоксичность отмечена для видов *F. sporotrichioides* и *F. oxysporum*, в меньшей степени фитотоксичны *F. avenaceum*, *N. solani* и неидентифицированные изоляты *F. fujikuroi* SC. Выявлены внутривидовые различия по динамике накопления метаболитов и фитотоксичности в отношении проростков *Z. mays* для видов *F. sporotrichioides*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *N. solani* и *F. fujikuroi* SC, при этом для всех штаммов фитотоксический эффект возрастал (до 98 %) при увеличении времени культивирования.

Максимальная концентрация Т-2 фузариотоксина (до 5,5 мг/кг) отмечена у штамма *F. sporotrichioides*, выделенного из ячменя, и его моноспоровых культур, при этом содержание токсина у клонов существенно варьировало (0,94–5,4 мг/кг). Уровень синтеза токсина у остальных штаммов был ниже и составил 0,05–0,84 мг/кг.

Выявлена внутривидовая гетерогенность *F. sporotrichioides* по фитопатогенности: при моноконидиальном рассеве выщепляются линии, отличные от природного штамма, преимущественно в сторону увеличения патогенности, что указывает на микроклональную структуру популяции по токсикогенным свойствам и свидетельствует о вероятности появления более агрессивных клонов.

Список источников

1. *Билай В.И.* Фузариоз. Киев: Наукова думка, 1977. 443 с.
2. Фузариоз зерновых культур / *Т.Ю. Гагкаяева* [и др.] // Приложение к журналу «Защита и карантин растений». 2011. № 5. С. 70–112.
3. *Иващенко В.Г., Бучнева Г.Н., Шупилова Н.П.* Грибы рода *Fusarium* на пшенице в Центрально-Черноземном регионе России: распространенность и формы проявления болезней // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41, № 6. С. 546–553.
4. *Шешегова Т.К.* Фузариоз колоса и зерна озимой ржи // Защита и карантин растений. 2003. № 4. С. 50–51.
5. *Дьяков Ю.Т.* Популяционная биология фитопатогенных грибов. М.: Муравей, 1998. 382 с.

6. Методы экспериментальной микологии / под ред. *В.И. Билай*. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
7. Methods for research on soil borne phytopathogenic fungi / edited by *L.L. Singleton, J.D. Mihail, C.M. Rush*. St. Paul, Minnesota: APS Press, 1992. 264 p.
8. *Nelson P.E., Toussoun T.A., Marasas W.F.O.* *Fusarium* species: an illustrated manual for identifications. The Pennsylvania State University Press, 1983. 193 p.
9. *Leslie J.F., Summerell B.A.* The *Fusarium* laboratory manual. USA: Blackwell Publishing, 2006. 388 p.
10. *Fusarium: more than a node or a foot-shaped basal cell* / *P.W. Crous* [et al.] // Studies in Mycology. 2021. 98: 100116.
11. *Литовка Ю.А.* Видовой состав и представленность грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах (пшеница и ячмень), выращиваемых в условиях Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2017. № 6 (129). С. 140–149.

References

1. *Bilaj V.I.* Fuzarii. Kiev: Naukova dumka, 1977. 443 s.
2. Fuzarioz zernovyh kul'tur / *T.Yu. Gagkaeva* [i dr.] // Prilozhenie k zhurnalu «Zaschita i karantin rastenij». 2011. № 5. S. 70–112.
3. *Ivaschenko V.G., Buchneva G.N., Shipilova N.P.* Griby roda *Fusarium* na pshenice v Central'no-Chernozemnom regione Rossii: rasprostranennost' i formy proyavleniya boleznej // Mikologiya i fitopatologiya. 2007. T. 41, № 6. S. 546–553.
4. *Sheshegova T.K.* Fuzarioz kolosa i zerna ozimoy rzhi // Zashchita i karantin rastenij. 2003. № 4. S. 50–51.
5. *D'yakov Yu.T.* Populyacionnaya biologiya fitopatogennyh gribov. M.: Muravej, 1998. 382 s.
6. Metody `eksperimental'noj mikologii / pod red. *V.I. Bilaj*. Kiev: Naukova dumka, 1982. 550 s.
7. Methods for research on soil borne phytopathogenic fungi / edited by *L.L. Singleton, J.D. Mihail, C.M. Rush*. St. Paul, Minnesota: APS Press, 1992. 264 p.
8. *Nelson P.E., Toussoun T.A., Marasas W.F.O.* *Fusarium* species: an illustrated manual for identifications. The Pennsylvania State University Press, 1983. 193 p.

9. *Leslie J.F., Summerell B.A. The Fusarium laboratory manual. USA: Blackwell Publishing, 2006. 388 p.*
10. *Fusarium: more than a node or a foot-shaped basal cell / P.W. Crous [et al.] // Studies in Mycology. 2021. 98: 100116.*
11. *Litovka Yu.A. Vidovoj sostav i predstavlenost' gribov roda Fusarium na zernovyh kul'turah (pshenica i yachmen'), vyraschivaemyh v usloviyah Srednej Sibiri // Vestnik KrasGAU. 2017. № 6 (129). S. 140–149.*

Статья принята к публикации 12.04.2023 / The article accepted for publication 12.04.2023.

Информация об авторах:

Юлия Александровна Литовка¹, профессор кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, ведущий научный сотрудник лаборатории лесных культур, микологии и фитопатологии, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований и биотехнологии, доктор биологических наук

Полина Васильевна Шнайдер², младший научный сотрудник лаборатории лесных культур, микологии и фитопатологии, аспирант

Анна Александровна Леоненко³, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований и биотехнологии, аспирант

Марина Максимовна Патрушева⁴, лаборант лаборатории лесных культур, микологии и фитопатологии, аспирант

Антон Алексеевич Тимофеев⁵, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований и биотехнологии, аспирант

Наталья Валентиновна Фомина⁶, старший научный сотрудник лаборатории лесных культур, микологии и фитопатологии, доцент кафедры химической технологии древесины и биотехнологии, кандидат биологических наук

Игорь Николаевич Павлов⁷, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией лесных культур, микологии и фитопатологии, заведующий кафедрой химической технологии древесины и биотехнологии, доктор биологических наук

Information about the authors:

Yulia Alexandrovna Litovka¹, Professor at the Department of Chemical Technology of Wood and Biotechnology, Leading Researcher at the Laboratory of Forest Crops, Mycology and Phytopathology, Leading Researcher at the Laboratory of Genomic Research and Biotechnology, Doctor of Biological Sciences

Polina Vasilievna Schneider², Junior Researcher, Laboratory of Forest Crops, Mycology and Phytopathology, Postgraduate Student

Anna Alexandrovna Leonenko³, Junior Researcher, Laboratory of Genomic Research and Biotechnology, Postgraduate Student

Marina Maksimovna Patrusheva⁴, Laboratory Assistant at the Laboratory of Forest Crops, Mycology and Phytopathology, Postgraduate Student

Anton Alexeyevich Timofeev⁵, Junior Researcher, Laboratory of Genomic Research and Biotechnology, Postgraduate Student

Natalia Valentinovna Fomina⁶, Senior Researcher at the Laboratory of Forest Crops, Mycology and Phytopathology, Associate Professor at the Department of Chemical Wood Technology and Biotechnology, Candidate of Biological Sciences

Igor Nikolayevich Pavlov⁷, Deputy Director for Research, Head of the Laboratory of Forest Crops, Mycology and Phytopathology, Head of the Department of Chemical Wood Technology and Biotechnology, Doctor of Biological Sciences