

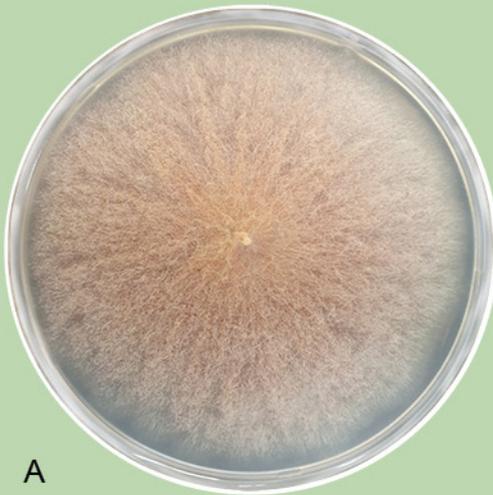


ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

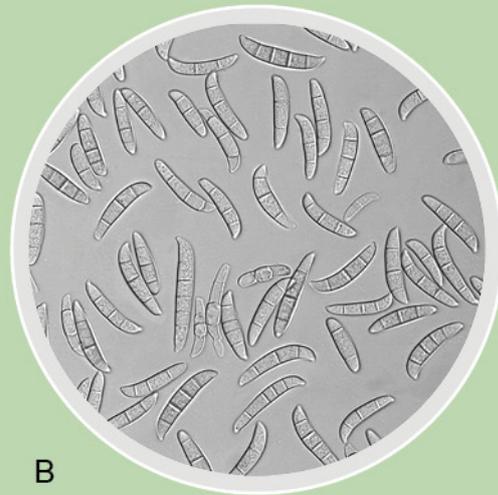
ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2023 TOM VOLUME 106 ВЫПУСК ISSUE 3



A



B



C



D

Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

Для оформления обложки использованы изображения гриба *Fusarium sambucinum* и пораженные им клубни картофеля (к статье Гагкаевой Т.Ю. и др., стр. 137–145) [ориг.]:

Культура гриба *Fusarium sambucinum* (MFG 70133) (A), макроконидии гриба на SNA (B), Фузариозная сухая гниль картофеля: с. Арроу (C) и с. Гала (D).

For the cover design, the images of *Fusarium sambucinum* and Fusarium dry rot of potatoes were used (to the publication Gagkaeva T.Yu. et al., p. 137–145) [orig.]:

Fusarium sambucinum (MFG 70133) on PSA (A), macroconidia on SNA (B), Fusarium dry rot of potatoes: cv. Arrow (C) and cv. Gala (D).

FUSARIUM SAMBUCINUM – ВОЗБУДИТЕЛЬ СУХОЙ ГНИЛИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Т.Ю. Гагкаева*, А.С. Орина, И.И. Трубин, О.П. Гаврилова, А.В. Хютти

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург

* ответственный за переписку, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru

Среди 140 изолятов грибов *Fusarium*, выделенных из клубней картофеля с симптомами сухой гнили из четырёх федеральных округов РФ в 2021–2022 гг., доля *F. sambucinum* составила 37.8%. Принадлежность 19 изолятов разного происхождения виду *F. sambucinum* подтвердили секвенированием участка гена фактора элонгации трансляции EF-1 α . Оценивали диапазон морфологических признаков генетически охарактеризованных штаммов *F. sambucinum* при культивировании на питательных средах, скорость роста на картофельно-сахарозной среде в диапазоне температур 5–35 °C и патогенность к клубням картофеля сорта Гала при температурах 5 и 23 °C. Оптимальной для всех штаммов была температура 25 °C, при которой средняя скорость роста штаммов составила 13.68 \pm 0.67 мм/сутки. Верхней критической температурой, останавливающей рост штаммов, было 35 °C, а при 5 °C штаммы были способны расти со средней скоростью 0.85 \pm 0.27 мм/сутки. Большинство штаммов вызывало более обширные симптомы гнили клубней при температуре 23 °C, чем при 5 °C, однако выявлены штаммы, на агрессивность которых температура не оказывала влияние. Связи между происхождением штаммов *F. sambucinum* и их агрессивностью не обнаружено.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, фузариозная сухая гниль, *Fusarium sambucinum*, температурный оптимум, скорость роста, патогенность

Поступила в редакцию: 04.08.2023

Принята к печати: 12.10.2023

Введение

Серьезную проблему картофелеводства представляют потери урожая, обусловленные грибными заболеваниями. Фузариозная сухая гниль картофеля (ФСГК), вызываемая грибами рода *Fusarium*, имеет широкое распространение и снижает продовольственное и семенное качество клубней (Анисимов и др., 2009; Хадиева и др., 2018; Du et al., 2012; Stefańczyk et al., 2016; Azil et al., 2021).

Фузариевые грибы инфицируют клубни картофеля в поле и в процессе хранения (Wharton et al., 2007). Вегетативный способ размножения картофеля способствует распространению патогенов, сохраняющихся на клубнях. Симптомы сухой гнили проявляются в виде небольших коричневых пятен на клубнях, часто вдавленных, иногда с темным окаймлением. Высыхание внутренних тканей под воздействием грибов часто приводит к образованию концентрических колец и морщинистости перидермы (Secor, Salas, 2001).

Изучением таксономического статуса и вредоносности видов грибов *Fusarium*, заселяющих клубни картофеля, занимаются исследователи во всех регионах мира, массово производящих картофель. Согласно опубликованной информации, около 11–13 видов *Fusarium* связаны с сухой гнилью картофеля, но в зависимости от условий выращивания видовой состав грибов варьирует (Белосохов и др., 2022; Cullen et al., 2005; Tiwari et al., 2020; Azil et al., 2021). По этой причине представляется ценным получение знания о точном видовом составе возбудителей ФСГК, их патогенности и чувствительности к фунгицидам.

Цель исследования заключалась в характеристике физиолого-биохимических свойств штаммов *F. sambucinum*, выделенных из клубней картофеля с симптомами ФСГК, выращенного на территории РФ.

Материалы и методы**2.1. Выделение грибов *Fusarium* из клубней картофеля**

В 2021–2022 гг. из 46 партий семенного картофеля, поступивших на анализ в лабораторию иммунитета растений к болезням ФГБНУ ВИЗР, отбирали клубни с признаками сухой гнили. Выделение чистых культур грибов из пораженных растительных тканей производили на питательной среде общепринятыми микологическими методами (Гагкаева и др., 2011). Моноспорные изоляты хранятся в коллекции микологии и фитопатологии ФГБНУ ВИЗР.

2.2. Идентификация грибов *Fusarium*

Первоначальную идентификацию грибов проводили по сумме морфолого-культуральных признаков (Gerlach,

Nirenberg, 1982; Nirenberg, 1995).

Для уточнения видового статуса выбрали 19 штаммов *F. sambucinum* различного происхождения, в том числе в исследование включили штаммы из коллекции лаборатории, ранее выделенные из клубней картофеля. У всех штаммов секвенировали фрагмент гена фактора элонгации трансляции EF-1 α (*TEF*). Амплификацию проводили с использованием специфических праймеров EF1/EF2 согласно протоколу и инструкциям авторов (O'Donnell et al., 1998). Секвенирование фрагментов выполняли на секвенаторе ABI Prism 3500 (Applied Biosystems, Hitachi, Япония) с использованием набора реактивов BigDye Terminator v3.1 (Applied Biosystems, США). Ручное редактирование

хроматограмм нуклеотидных последовательностей каждого штамма и выравнивание проводили в программе Vector NTI Advance 10 (Thermo Fisher Scientific, США). С помощью инструмента Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) в базе данных NCBI GenBank производили поиск гомологичных последовательностей с наибольшим сходством.

2.3. Фенотипическая характеристика штаммов *F. sambucinum*

Все штаммы выращивали при 25 °С на питательной среде на основе картофельного отвара (картофельно-сахарозный агар, КСА) и агаре Чапека (ЧА) для диагностики фенотипа культуры и скорости роста. Культуры инкубировали 7 суток в темноте. Для этого чашки Петри со средами были засеяны агаровыми дисками диаметром 4 мм, полученными из ранее выращенных культур.

Сравнение морфологических структур, в том числе формы, числа перегородок, размеров конидий, проводили на синтетическом агаре Ниренберг (SNA) через 14 суток роста (Gerlach, Nirenberg, 1982). По возможности выполняли 30–50 измерений каждой структуры. Исследование микроструктур и фотосъемку осуществляли с помощью микроскопов BX53 и SZX16 (Olympus Corporation, Япония), оснащённых камерой Jenoptik Gryphax PROKYON (Jenoptik AG, Германия). Записанные изображения редактировались в Adobe Photoshop CC 2018 (Adobe System Incorporated, США).

Для выявления скорости роста, из колоний 17 штаммов *F. sambucinum*, предварительно выращенных на КСА в темноте при 25 °С, стерильным пробочным сверлом вырезали диски диаметром 4 мм и помещали их мицелием вниз на поверхность свежей КСА в центр пластиковой чашки Петри диаметром 85 мм. Культивировали штаммы в темноте в термостатируемых шкафах Innova 44R (Eppendorf,

Германия) в диапазоне температур 5–35 °С с шагом в 5 °С. На 5 сутки измеряли диаметр колонии гриба в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

2.4. Анализ патогенности штаммов *F. sambucinum* к клубням картофеля

Клубни картофеля сорта Гала (урожай 2022 г., Тульская обл.) массой ~40 г поверхностно стерилизовали 5%-ным гипохлоритом натрия в течение 2–3 мин, промывали дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре. Затем микробиологическим сверлом в области столона вырезали отверстие глубиной 20 мм и шириной 5 мм, сохраняя цилиндр вырезанной ткани.

Из культур грибов, предварительно выращенных на КСА в течение 7 суток, микробиологическим сверлом вырезали диски диаметром 4 мм и помещали их внутрь отверстия в клубне, которое закрывали сохранённым цилиндром. Одним штаммом инокулировали не менее 5 клубней, затем помещали их в пластиковые кюветы, плотно закрывали крышкой и инкубировали при температурах 5 °С или 23 °С в течение 4 недель. В контрольном варианте в отверстие помещали диск чистой среды КСА. Через две недели инкубации у клубней удаляли появившиеся проростки. Через 4 недели клубни разрезали пополам вдоль оси инокуляции и измеряли перпендикулярные диаметры симптома поражения (мм), рассчитывая его средние размеры для клубня. Средние размеры некрозов для каждого варианта оценивали, исключая средние размеры инокуляционного канала в контроле.

2.6. Статистическая обработка результатов

Для статистического анализа полученных данных (расчёт среднего, доверительных интервалов, дисперсионного анализа) использовали программы Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0.

3. Результаты

3.1. Частота выявления гриба *F. sambucinum*

Из проанализированных клубней картофеля с симптомами сухой гнили из четырёх федеральных округов (ФО) европейской части РФ за два года исследований выделены и сохранены 140 изолятов грибов рода *Fusarium* (табл. 1). Выделенные изоляты были идентифицированы

как представители не менее 15 видов, из которых чаще остальных возбудителей заболевания встречался вид *F. sambucinum* Fuckel sensu stricto – доля его изолятов составила в среднем 21.4% от всех выделенных изолятов *Fusarium* в 2021 г. и 54.6% – в 2022 г.

Таблица 1. Представленность изолятов *Fusarium sambucinum*, выделенных из клубней картофеля с симптомами ФСГК из регионов РФ

Федеральный округ РФ, n = число образцов, шт.	Субъект РФ	2021		2022	
		Всего изолятов <i>Fusarium</i> , шт.	Доля <i>F. sambucinum</i> , %	Всего изолятов <i>Fusarium</i> , шт.	Доля <i>F. sambucinum</i> , %
Северо-Западный, n=18	Архангельская обл., Вологодская обл., Ленинградская обл., Новгородская обл., Псковская обл.	28	14.3	10	45.4
Центральный, n=19	Калужская обл., Московская обл., Рязанская обл., Тульская обл., Ярославская обл.	27	37.0	14	53.8
Приволжский, n=7	Республика Башкортостан, Удмуртская Республика, Чувашская Республика, Самарская обл.	23	13.0	21	61.8
Северо-Кавказский, n=2	Ставропольский край	15	20.0	2	50.0
Итого, n=46		93	21.4	47	54.6

Table 1. Representation of *Fusarium sambucinum* isolated from potato tubers with Fusarium dry rot symptoms, harvested in different regions of the Russian Federation

Federal District of the Russian Federation, n*	Subject of the Russian Federation	2021		2022	
		Total number of <i>Fusarium</i> strains	Proportion of <i>F. sambucinum</i> , %	Total number of <i>Fusarium</i> strains	Proportion of <i>F. sambucinum</i> , %
Northwestern, n=18	Arkhangelsk Oblast, Vologda Oblast, Leningrad Oblast, Novgorod Oblast, Pskov Oblast	28	14.3	10	45.4
Central, n=19	Kaluga Oblast, Moscow Oblast, Ryazan Oblast, Tula Oblast, Yaroslavl Oblast	27	37.0	14	53.8
Volga, n=7	Bashkortostan, Udmurtia, Chuvashia, Samara Oblast	23	13.0	21	61.8
North Caucasian, n=2	Stavropol Krai	15	20.0	2	50.0
Total, n=46		93	21.4	47	54.6

*n = number of samples

3.2. Молекулярно-генетическая идентификация штаммов

Анализ нуклеотидных последовательностей фрагмента гена фактора элонгации *TEF* 19 штаммов выявил их высокое сходство с гомологичной последовательностью штамма *F. sambucinum* CBS 146.95 = NRRL 22187 (MW834277), которое составляло 99.8–100%. В то же время, сходство с гомологичной последовательностью *F. robustum* Gerlach CBS 637.76 = NRRL 13392 (MW928842), вида наиболее близкородственного *F. sambucinum*, оказалось значительно ниже – 94.8–95.3%. Таким образом, принадлежность анализируемых штаммов виду *F. sambucinum* считали установленной. В дальнейшем проводили исследования свойств генетически охарактеризованных штаммов гриба. Полученные нуклеотидные последовательности штаммов *F. sambucinum* были депонированы в NCBI GenBank (табл. 2).

3.3 Морфолого-культуральные особенности штаммов

По макроморфологическим признакам штаммы *F. sambucinum* обладали высоким сходством. При культивировании на КСА воздушный мицелий у большинства штаммов поверхностный, от хлопьевидного до войлочного, клочковатый, часто редкий, у некоторых штаммов более обильный, иногда растет концентрическими кругами. Типичная окраска мицелия кремовая, бледно-персиковая. Окраска реверса на КСА сходная и варьирует от кремового до бледно-персикового (рис. 1). Пигментация штаммов MFG 70208, 70133, 70134 на данной среде через неделю культивирования при 23–25 °С приобретала бледно-розовые оттенки. На ЧА воздушный мицелий также поверхностный, от хлопьевидного до войлочного, часто редкий, как правило, менее окрашен, чем культуры на КСА. Колонии часто имеют неровные, лопастные края. Реверс на ЧА – бледно-кремового цвета, редко с розоватыми оттенками.

Таблица 2. Использованные в исследовании штаммы гриба *Fusarium sambucinum*, выделенные из клубней картофеля с симптомами ФСГК

№ п/п	Номер штамма в коллекции	Происхождение, сорт	Год	Номер <i>TEF</i> в GenBank
1	MFG 60833	Вологодская обл., Бриз	2020	OR020701
2	MFG 70102	Новгородская обл., Аврора	2020	OR020704
3	MFG 70133	Ярославская обл., Арроу	2020	OR020710
4	MFG 70134	Ярославская обл., Арроу	2020	OR020711
5	MFG 70135	Ставропольский край, Коломба	2020	OR020712
6	MFG 70149	Самарская обл., Королева Анна	2020	OR020717
7	MFG 70160	Московская обл., Ньютон	2021	OR020724
8	MFG 70175	Калужская обл., Ньютон	2021	OR020730
9	MFG 70166	Чувашская Республика, Ривьера	2021	OR020728
10	MFG 70201	Вологодская обл., Крепыш	2021	OR020734
11	MFG 70202	Удмуртская Республика, Галя	2021	OR020735
12	MFG 70208	Рязанская обл., Коломба	2022	OR020736
13	MFG 70210	Рязанская обл., Коломба	2022	OR020737
14	MFG 80005	Новгородская обл., Бриз	2020	OR020738
15	MFG 80204	Московская обл., Коломба	2021	OR020739
16	MFG 80337	Тульская обл., Винета	2022	OR020741
17	MFG 80361	Омская обл., Ривьера	2022	OR020742
18	MFG 80362	Омская обл., Ривьера	2022	OR020743
19	MFG 80365	Омская обл., Ривьера	2022	OR020744

Table 2. *Fusarium sambucinum* strains isolated from potato tubers with dry rot symptoms and included in the study

№	Collection number of strain	Origin, cultivar	Year	GenBank accession numbers of <i>TEF</i> sequences
1	MFG 60833	Vologda Oblast, Breeze	2020	OR020701
2	MFG 70102	Novgorod Oblast, Aurora	2020	OR020704
3	MFG 70133	Yaroslavl Oblast, Arrow	2020	OR020710
4	MFG 70134	Yaroslavl Oblast, Arrow	2020	OR020711
5	MFG 70135	Stavropol Krai, Colomba	2020	OR020712
6	MFG 70149	Samara Oblast, Queen Anna	2020	OR020717
7	MFG 70160	Moscow Oblast, Newton	2021	OR020724
8	MFG 70175	Kaluga Oblast, Newton	2021	OR020730
9	MFG 70166	Chuvashia, Riviera	2021	OR020728
10	MFG 70201	Vologda Oblast, Krepysch	2021	OR020734
11	MFG 70202	Udmurtia, Gala	2021	OR020735
12	MFG 70208	Ryazan Oblast, Colomba	2022	OR020736
13	MFG 70210	Ryazan Oblast, Colomba	2022	OR020737
14	MFG 80005	Novgorod Oblast, Breeze	2020	OR020738
15	MFG 80204	Moscow Oblast, Colomba	2021	OR020739
16	MFG 80337	Tula Oblast, Vineta	2022	OR020741
17	MFG 80361	Omsk Oblast, Riviera	2022	OR020742
18	MFG 80362	Omsk Oblast, Riviera	2022	OR020743
19	MFG 80365	Omsk Oblast, Riviera	2022	OR020744

Спороношение обильное, макроконидии образуются на густо ветвящихся конидиеносцах в воздушном мицелии или редуцированных до палисадного слоя фиалидах. Спородохии образуются быстро, обильные, лососевые, оранжевые, часто покрывают всю поверхность культуры.

Конидиогенные клетки – монофиалиды, вначале цилиндрические, затем в густоветвящихся конидиеносцах, бочонковидные, с воротничком – размеры от 7.8×2.6 и до 19.1×8.1 (в среднем 13.8×3.4) мкм.

Макроконидии изогнуты дорсивентрально – изгиб сильнее в верхней трети конидии, таким образом, что наибольшая ширина конидии сдвинута ближе к апикальной клетке. Вентральная сторона конидий прямая или слегка изогнута. Апикальная клетка короткая, прямая или слегка загнутая, клювовидная, часто с сосочком на конце. Базальная клетка имеет выраженную ножку или сосочек.

Макроконидии типично с 3–4 перегородками. Размеры конидий с 3 перегородками в среднем 24.02×4.53 мкм (диапазон $16.06–30.87 \times 3.32–5.80$ мкм). Размеры конидий с 4 перегородками в среднем 27.22×4.65 мкм (диапазон $23.36–33.69 \times 3.65–5.63$ мкм). Достоверных различий между штаммами по средним размерам макроконидий не выявлено.

Микроконидии в культурах отсутствуют, но в воздушном мицелии встречаются одноклеточные или с 1 перегородкой конидии, часто необильные, в среднем 11.90×2.88 (диапазон $8.89–15.88 \times 2.01–3.84$ мкм).

Для штаммов *F. sambucinum*, выделенных из клубней картофеля, образование хламидоспор не характерно, даже при длительном культивировании они обычно очень редкие, невыраженные.

Установлено, что оптимальной температурой для культивирования всех штаммов *F. sambucinum* является 25°C , при которой скорость роста штаммов варьировала от 11 до 15 мм/сутки (в среднем, 13.68 мм/сутки).

При температуре 5°C росли 88% штаммов *F. sambucinum* (кроме MFG 60833 и MFG 70202). Максимальная скорость роста 1.5–1.8 мм/сутки отмечена у

штаммов MFG 70135 и MFG 70166 и MFG 80362 (рис. 2). При температурах 15°C и 30°C достоверных различий между показателями роста штаммов не выявлено 6.97–6.33 мм/сутки. При максимальной температуре 35°C рост штаммов не наблюдался, за исключением штамма MFG 70135 из Ставропольского края, скорость роста колонии которого составила 0.8 мм/сутки.

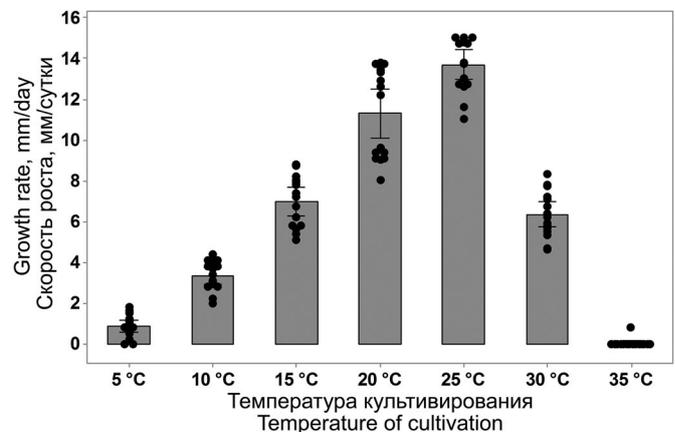


Рисунок 2. Влияние температуры культивирования на рост штаммов *F. sambucinum* (КСА, 5 суток, в темноте).

Точками указаны значения для индивидуальных штаммов, столбики обозначают средние для выборки штаммов, отрезками указаны доверительные интервалы при уровне значимости $p < 0.05$

Figure 2. Effect of cultivation temperature on the growth of *F. sambucinum* strains (PSA, 5 days, in darkness). The dots indicate values for individuals, the bars indicate the average values for the strains, and the intervals indicate confidence intervals at the significance level of $p < 0.05$

3.4 Патогенность штаммов

В контроле (не инокулированных грибами вариантах) размер повреждения клубней сорта Гала составил в среднем 13.5–14.1 мм вне зависимости от температуры инкубации.

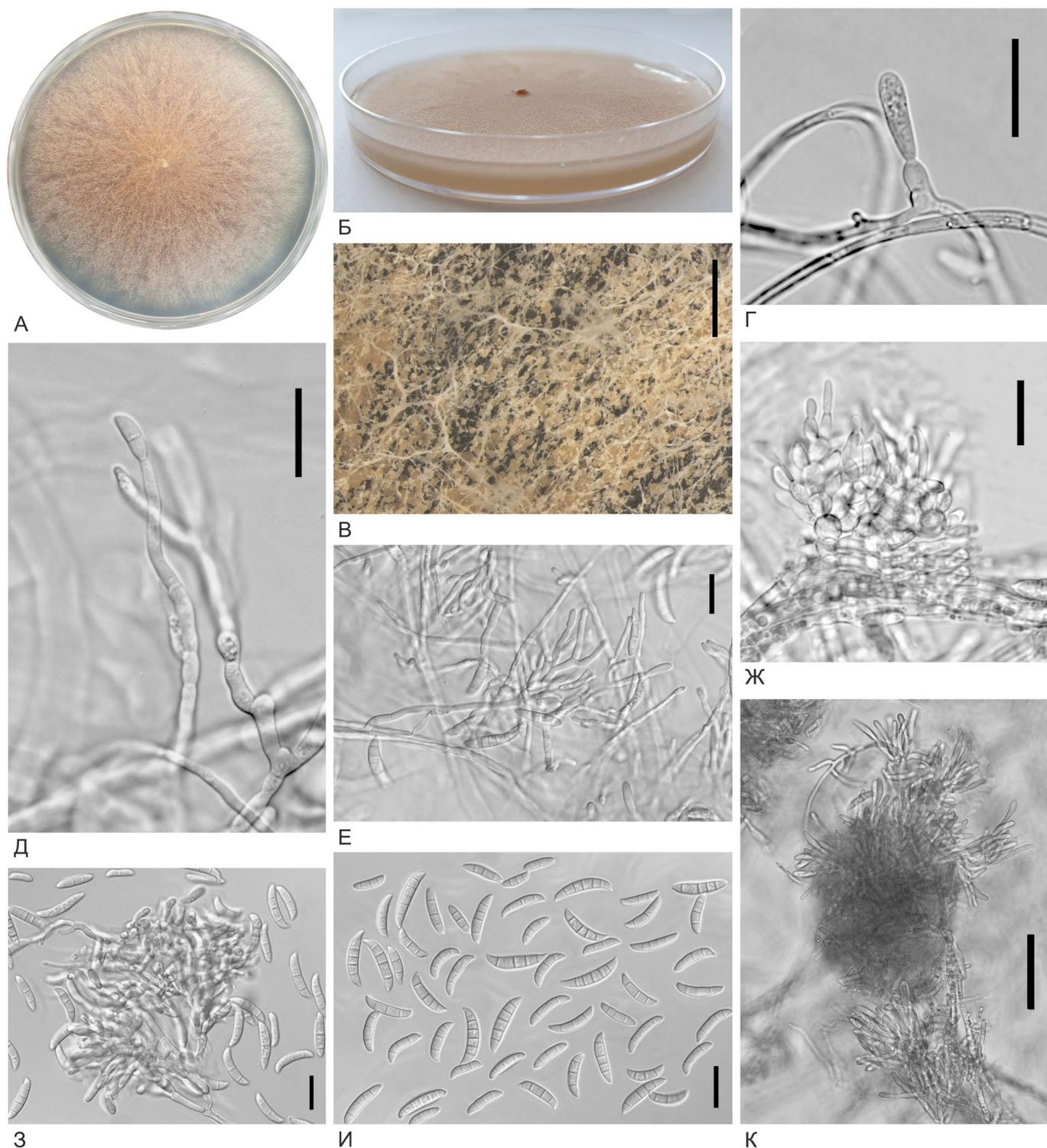


Рисунок 1. Культура гриба *F. sambucinum* (MFG 70133), выращенная на КСА при 25 °С в течение 6 суток в темноте (А, Б), спородохии гриба в воздушном мицелии (В). Конидиогенные структуры гриба на SNA: простая фиалидная клетка на гифе (Г), простой конидиеносец (Д), разветвленные конидиеносцы (Е–З, К), макроконидии (И). Шкалы: В (1 мм), Г–И (20 мкм), К (50 мкм)

Figure 1. *Fusarium sambucinum* (MFG 70133) culture after 6 days growth at 25 °С on PSA in darkness (А, Б), sporodochia formed in aerial mycelium (В). Conidiogenous cells formed on SNA: simple phialide on the hypha (Г), simple conidiophore (Д), branched conidiophores (Е–З, К), macroconidia (И). Scale bars: В (1 mm), Г–И (20 μm), К (50 μm)

Во всех вариантах, инокулированных штаммами *F. sambucinum*, при визуальном осмотре клубней отмечены темные углубления разного размера вокруг инокуляционного канала, образование воздушного мицелия на поверхности клубня, а по мере высыхания пораженной ткани поверхность клубня сморщивалась концентрическими

кольцами. Ткань клубня под воздействием гриба усыхала, и в зависимости от агрессивности штамма происходило образование внутренних полостей разного размера, отделенных от внешне здоровой ткани границей от светло- до темно-коричневого цвета (рис. 3). Поверхность образовавшейся полости была выстлана мицелием и спороношением

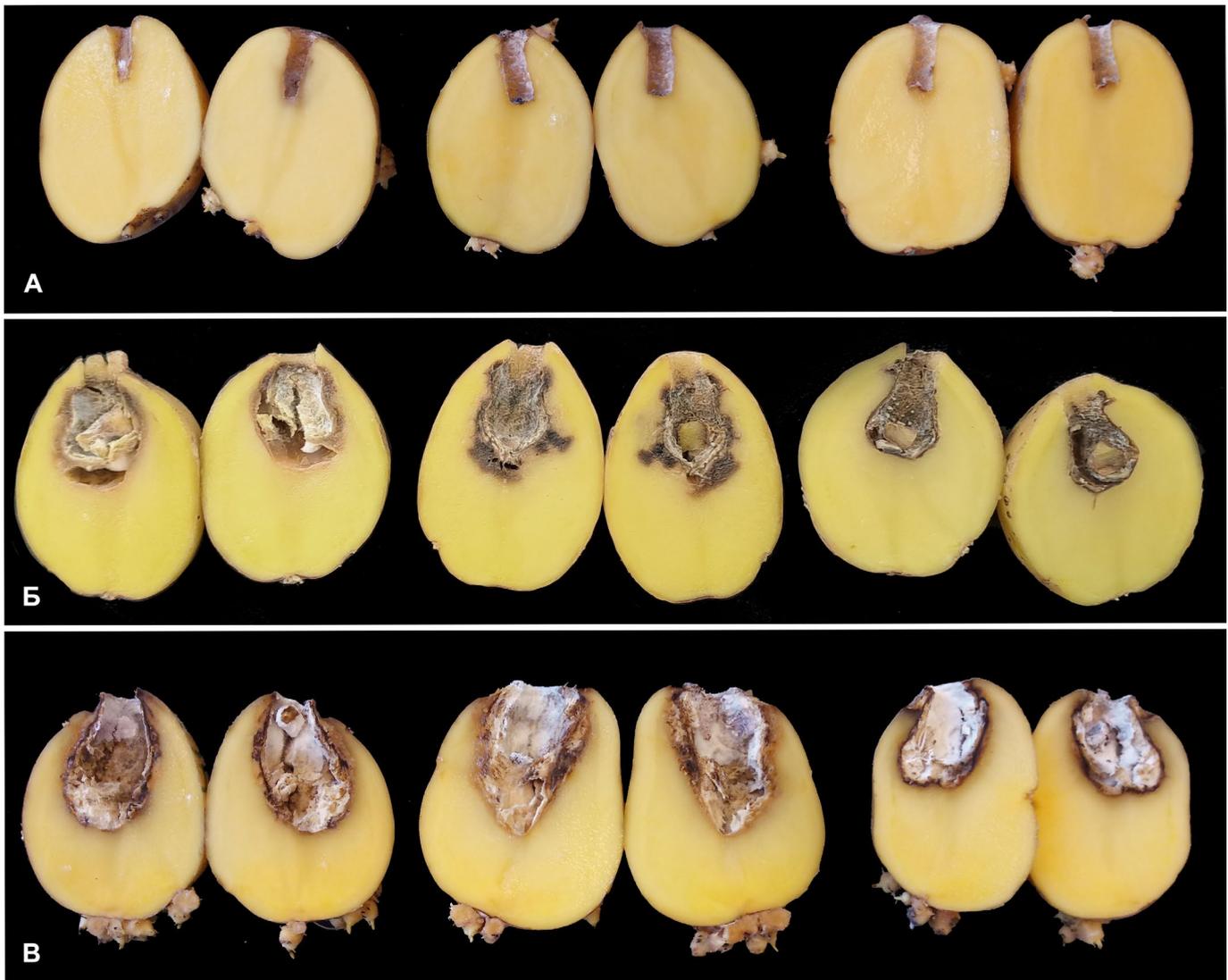


Рисунок 3. Симптомы поражения клубней сорта Гала (4 недели, в темноте).

Контрольный вариант, 23 °С (А), инокуляция грибом *F. sambucinum* MFG 80005 при 5 °С (Б) и при 23 °С (В)

Figure 3. Symptoms of *Fusarium* dry rot on the tubers of potato cv. Gala (4 weeks after inoculation, in darkness). The control variant, 23 °C (A), inoculation with *F. sambucinum* strain MFG 80005 at 5 °C (Б) and at 23 °C (В)

гриба, окраска воздушного мицелия варьировала от белой до серо-лососевой.

При температуре инкубирования 5 °С анализируемые штаммы *F. sambucinum* вызывали симптомы повреждения клубней в диапазоне 6.7–15.9 (в среднем 11.6 ± 2.3) мм. При 23 °С штаммы вызывали в два раза более обширные симптомы 12.8–32.5 (в среднем 23.3 ± 6.1) мм. Отмечена достоверная положительная корреляция между размерами

симптомов, вызываемых штаммами при двух температурах (0.54, $p < 0.05$). Однако два штамма MFG 70149 и MFG 80337 вызвали идентичные по размеру повреждения клубней при контрастных температурах (рис. 4). В тоже время штаммы MFG 70135, 70202, 70208, 80005, 80204, 80361, 80362 вызывали в 2.5 раза более обширные поражения клубней при температуре 23 °С, чем при 5 °С.

Обсуждение

Исследования видового состава грибов рода *Fusarium*, вызывающих сухую гниль картофеля на европейской территории РФ, показали, что повсеместно с наибольшей частотой встречается *F. sambucinum*. Данный вид является доминирующим среди грибов – возбудителей сухой гнили картофеля во многих регионах мира, где возделывают данную культуру: на севере Китая (Du et al., 2012), в США (Estrada et al., 2010; Gachango et al., 2012), Иране (Esfahani, 2005), Тунисе (Daami-Remadi et al., 2006), в Алжире (Azil et al., 2021), Шотландии (Choiseul et al., 2001), Польше (Stefańczyk et al., 2016). Недавно опубликовано

первое сообщение о выявлении *F. sambucinum* как возбудителя ФСГК в Кыргызстане (Erper et al., 2022). Многие исследователи характеризуют *F. sambucinum* как наиболее агрессивный по отношению к клубням картофеля патоген, чем другие встречающиеся виды. Кроме клубней, *F. sambucinum* может встречаться и на других органах картофеля. Так, в Алжире доля изолятов данного вида, выделенных из клубней, составила 56.3%, а с корней и стеблей – 16 и 11%, соответственно (Azil et al., 2021). Этот гриб проникает в картофель через корни, а затем колонизирует сосуды ксилемы стеблей, вызывая некроз нижних листьев

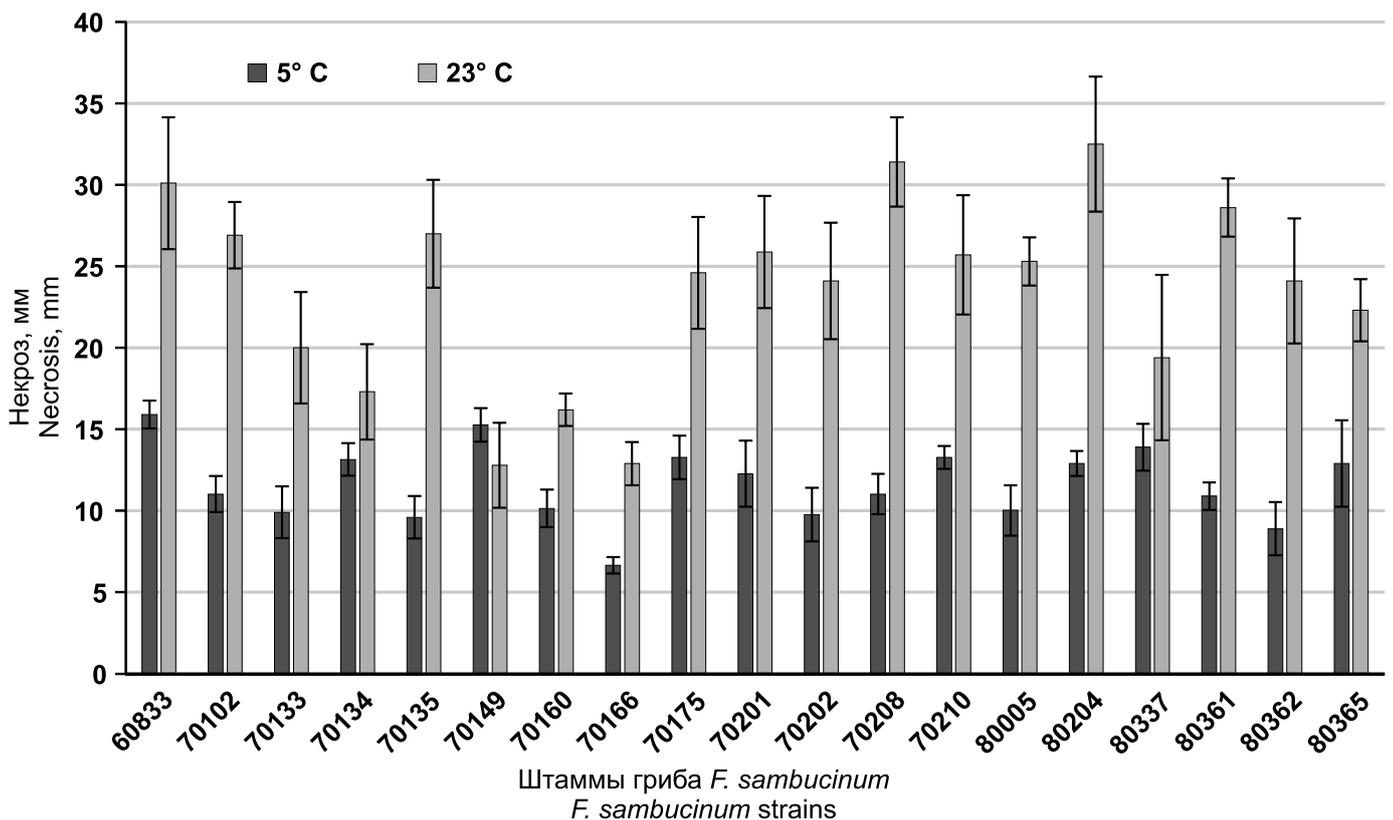


Рисунок 4. Относительные размеры поражения клубней картофеля при инокуляции штаммами *F. sambucinum* (сорт Гала, 4 недели, в темноте)

Figure 4. Relative lesion size in potato tubers inoculated with the *F. sambucinum* strains (cv. Gala, 4 weeks, in darkness)

и одностороннее пожелтение куста, хлороз, обесцвечивание сосудов, остановку роста, увядание и, в конечном итоге, гибель растения (Hwang, Evans, 1985). Фузариоз картофеля приводит, согласно разным оценкам, к потерям урожая от 30 до 50%, а также к снижению качества клубней (Kerkeni et al., 2013; Tiwari et al., 2020).

По нашим наблюдениям, в регионах Европейской части РФ в 2022 году *F. sambucinum* значительно превалировал над другими видами, вызывающими ФСГК, частота его выявления была в три раза выше, чем в 2021 г. По всей видимости, в 2022 году складывались условия, способствующие распространению и адаптации данного гриба. В зависимости от условий возделывания, структура сообществ грибов может изменяться, поэтому встречаемость видов, выделенных из клубней картофеля разного происхождения, значительно различается (Хадиева и др., 2018; Белосохов и др., 2022).

Секвенирование последовательностей фрагмента гена фактора элонгации *TEF* выявило высокую степень гомологии штаммов *F. sambucinum* между собой и штаммом *F. sambucinum* CBS 146.95 = NRRL 22187, выделенного из клубней картофеля в Англии. Морфометрическая характеристика также показала значительное сходство штаммов, выделенных из клубней картофеля. Как правило, все они имеют необильный воздушный мицелий и типичную кремовую – нежно-персиковую окраску при выращивании на КСА. Однако известно, что в пределах одного и того же вида *F. sambucinum* sensu stricto встречаются культуры красной, розовой или желтой окраски (Nirenberg, 1995; Logrieco et al., 1995; Baturo-Ciesniewska et al., 2015). На основании исследований в 1995 году фенотипически

гетерогенный вид *F. sambucinum* sensu lato был разделен на три таксона: *F. sambucinum* sensu str., *F. venenatum* Nirenb. и *F. torulosum* (Berk. & Curt.) Nirenb. Наши исследования коллекции изолятов, выделенных из картофеля, подтвердили наличие всех трёх видов (Гагкаева, неопубликованные данные), однако штаммы *F. sambucinum* sensu str., идентификация которых подтверждена секвенированием *TEF*, характеризовались высоким фенотипическим сходством. Только три штамма из Ярославской и Рязанской областей при культивировании при 23–25 °C на КСА приобретали слабый розовый оттенок. Быстрое и обильное образование типичного спороношения в виде дельфиновидной формы макроконидий у кремовых культур с необильным мицелием позволяет довольно легко идентифицировать штаммы *F. sambucinum* sensu str.

Все анализированные штаммы *F. sambucinum* активнее росли на питательной среде при температуре 25 °C. При максимальной в эксперименте температуре 35 °C рост 94% штаммов прекращался, а при минимальной температуре 5 °C 88% штаммов продолжали расти, но скорость роста значительно замедлялась.

В процессе хранения клубни могут охлаждаться до экстремально низких температур, что, безусловно, оказывает влияние на производственное качество картофеля. Полученные в нашем исследовании результаты анализа патогенности *F. sambucinum* к клубням картофеля сорта Гала при температуре 5 °C, приближенной к условиям хранения картофеля, и при 23 °C, оптимальной для роста гриба показали, что в контрастных температурных условиях все штаммы оказались патогенными, но с разной степенью агрессивности. Большинство штаммов вызывало

значительно более обширные симптомы при температуре 23 °С, по сравнению с 5 °С. В то же время, агрессивность штаммов MFG 70149 из Самарской обл. и MFG 80337 из Тульской обл. не различалась при этих температурах. Более высокая агрессивность штаммов *F. sambucinum* к клубням картофеля, по сравнению с другими видами фузариевых грибов, была отмечена неоднократно (Peters et al., 2008; Gachango et al., 2012; Stefańczyk et al., 2016; Azil et al., 2021; Tiwari et al., 2023). Также показано отсутствие влияния температуры хранения клубней на частоту выделения этого гриба (Peters et al., 2008).

Показатели агрессивности штаммов соответствовали стандартному нормальному распределению: 52.5% и 57.9% анализированных штаммов *F. sambucinum* вызывали симптомы большей величины, чем средний показатель при температурах 5 °С и 23 °С, соответственно. Не выявлено чётко выраженной зависимости между происхождением штаммов и их агрессивностью. Также нет связи

Исследование выполнено при поддержке РНФ (№ проекта 23-26-00105).

Библиографический список (References)

- Анисимов БВ, Белов ГЛ, Варицев ЮА, Еланский СН и др (2009) Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. М.: Картофелевод, 272 с.
- Белосохов АФ, Ярмеева ММ, Долгов АМ, Миславский СМ и др (2022) Грибы рода *Fusarium* на клубнях картофеля. *Современная микология в России* 9:250–252.
- Хадиева ГФ, Лутфуллин МТ, Акосах ЙА, Малова АВ и др (2018) Анализ микромицетов рода *Fusarium*, изолированных из инфицированных клубней картофеля, выращенных в Республике Татарстан. *Достижения науки и техники АПК* 32(3):34–39. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10307>
- Azil N, Stefańczyk E, Sobkowiak S, Chihat S et al (2021) Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria. *Eur J Plant Pathol* 159:495–509. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02177-5>
- Baturo-Ciesniewska A, Lenc L, Grabowski A, Lukanowski A et al (2015) Characteristics of Polish isolates of *Fusarium sambucinum*: molecular identification, pathogenicity, diversity and reaction to control agents. *Am J Potato Res* 92:49–61. <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9410-z>
- Choiseul J, Allen L, Carnegie SF (2007) Fungi causing dry tuber rots of seed potatoes in storage in Scotland. *Potato Res* 49:241–253. <https://doi.org/10.1007/s11540-007-9020-y>
- Cullen DW, Toth IK, Pitkin Y, Boonham N et al (2005). Use of quantitative molecular diagnostic assays to investigate *Fusarium* dry rot in potato stocks and soil. *Phytopathol* 95:1462–1471. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-1462>
- Daami-Remadi M, Jabnoum-Khiareddine H, Ayed F, El Mahdjoub M (2006). Effect of temperature on aggressivity of Tunisian *Fusarium* species causing potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber dry rot. *J Agron* 5:350–355. <https://doi.org/10.3923/ja.2006.350.355>
- Du M, Ren X, Sun Q, Wang Y, Zhang R (2012). Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of Chinese potato germplasm to the pathogen. *Potato Res* 55(2):175–184. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9217-6>
- Erper I, Alkan M, Zholdosbekova S, Turkkan M, et al (2022) First report of dry rot of potato caused by *Fusarium sambucinum* in Kyrgyzstan. *J Plant Dis Prot* 129:189–191. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00505-3>
- Gachango E, Hanson LE, Rojas A, Hao JJ, Kirk WW (2012) *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides. *Plant Dis* 96:1767–1774. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0932-RE>
- Gerlach W, Nirenberg H (1982) The genus *Fusarium* - a pictorial atlas. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt Für Land- und Forstwirtschaft, Berlin – Dahlem*. 209:1–405.
- Hwang, SF, Evans IR (1985). Eumartii wilt of potato in Alberta. *Can Plant Dis Surv* 65:57–59.
- Kerkeni A, Daami-Remadi M, Khedher MB (2013) In vivo evaluation of compost extracts for the control of the potato *Fusarium* wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *tuberosi*. *Afr J Plant Sci* 7:36–41
- Logrieco A, Peterson SW, Bottalico A (1995) Phylogenetic relationship within *Fusarium sambucinum* Fückel sensu lato, determined from ribosomal RNA sequences. *Mycopathol* 129:153–158. <https://doi.org/10.1007/BF01103340>
- Nirenberg HI (1995) Morphological differentiation of *Fusarium sambucinum* Fückel sensu stricto, *F. torulosum* (Berk. & Curt.) Nirenberg comb. nov. and *F. venenatum* Nirenberg sp. nov. *Mycopathol* 129(3):131–141. <https://doi.org/10.1007/BF01103337>
- O'Donnell K, Cigelnik E, Nirenberg HI (1998) Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia* 90:465–493. <https://doi.org/10.1080/00275514.1998.12026933>
- Peters JC, Lees AK, Cullen DW, Sullivan L, et al (2008) Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain. *Plant Pathol* 57:262–271. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01777.x>
- Secor GA, Salas B (2001) *Fusarium* dry rot and *Fusarium* wilt. In: Stevenson WR, Loria R, Franc G., Weingartner DP (eds) *Compendium of potato diseases* (pp. 23–25). St. Paul: APS Press.
- Stefańczyk E, Sobkowiak S, Brylińska M, Śliwka J (2016). Diversity of *Fusarium* spp. associated with dry rot of potato

- tubers in Poland. *Eur J Plant Pathol* 145:871–884. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0875-0>
- Tiwari RK, Kumar R, Sharma S, Sagar V et al (2020) Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech* 10(11):503. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02496-8>.
- Tiwari RK, Lal MK, Kumar R, Sharma S et al (2023) Impact of *Fusarium* infection on potato quality, starch digestibility, *in vitro* glycemc response, and resistant starch content. *J Fungi* 9:466. <https://doi.org/10.3390/jof9040466>
- Wharton P, Hammerschmidt R, Kirk W (2007) *Fusarium* dry rot. Michigan State University. https://archive.lib.msu.edu/DMC/extension_publications/e2992/e2992.pdf

Translation of Russian References

- Anisimov BV, Belov GL, Varitsev YuA, Elansky SN, Zhuromsky GK et al (2009) [Protection of potatoes from diseases, pests and weeds]. Moscow: Potato grower, 272 p. (In Russian)
- Belosokhov AF, Yarmeeva MM, Dolgov AM, Mislavsky SM, Albantov GP et al. (2022) [Fungi of the genus *Fusarium* on potato tubers]. *Sovremennaya mikologiya v Rossii* 9:250–252. (In Russian)
- Khadijeva GF, Lutfullin MT, Akosakh YA, Malova AV, Mochalova NK et al. (2018) [Analysis of micromycetes of the genus *Fusarium* isolated from infected potato tubers grown in the Republic of Tatarstan]. *Dostizheniya nauki i tehniki APK* 32(3):34–39. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10307> (In Russian)

Plant Protection News, 2023, 106(3), p. 137–135

OECD+WoS: 1.06+RQ (Mycology)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-16041>

Full-text article

FUSARIUM SAMBUCINUM: CAUSING DRY TUBER ROT OF POTATOES

T.Yu. Gagkaeva*, A.S. Orina, I.I. Trubin, O.P. Gavrilova, A.V. Khiutti

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

*corresponding author, e-mail: t.gagkaeva@mail.ru

Among the 140 isolates collected from symptomatic potato tubers in four different European regions of Russia in 2021–2022, as many as 37.8% isolates were identified as *Fusarium sambucinum*. Randomly selected isolates ($n=19$) of *F. sambucinum* were identified with DNA sequence data of the *TEF* locus and morphological characteristics on nutrient media. The growth rate of strains on potato-sucrose agar was assessed in the temperature range of 5–35 °C. The temperature optimum for growth of all strains was set at 25 °C, the average growth rate of strains was 13.68 ± 0.67 mm/day. The upper critical temperature completely arresting growth of strains was 35 °C, while at the temperature of 5 °C the strains were still able to grow at an average rate of 0.85 ± 0.27 mm/day. *Fusarium sambucinum* strains were characterized by their ability to produce symptoms of rot in potato tubers after inoculation and further incubation at 5 and 23 °C. Most strains caused extensive necrosis at the higher temperature, but there were strains whose aggressiveness was not affected by temperature. There is no clearly defined relationship between the origin of *F. sambucinum* strains and their aggressiveness.

Keywords: *Solanum tuberosum*, *Fusarium sambucinum*, *Fusarium* dry rot, growth rate, temperature optimum, pathogenicity

Submitted: 04.08.2023

Accepted: 12.10.2023