

ГРИБЫ – ВОЗБУДИТЕЛИ БОЛЕЗНЕЙ РАСТЕНИЙ

УДК 579.64 : 632.4.01/.08

МИКОБИОТА КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ, ВЫРАЩЕННЫХ В КАМЧАТСКОМ КРАЕ

© 2025 г. Д. Н. Скоков^{1,*}, А. А. Цинделиани^{1,**}, О. И. Хасбиуллина^{2,***},
В. В. Гайнатулина^{2,****}, С. Н. Еланский^{1,3,*****}, Е. М. Чудинова^{1,*****}

¹ Российский университет дружбы народов, 117198 Москва, Россия

² Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФИЦ “Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)”, 684033 Камчатский край, Россия

³ Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, 119991 Москва, Россия

*e-mail: qases-0987@yandex.ru

**e-mail: archil7876@yandex.ru

***e-mail: khasbiullina@kamniish.ru

****e-mail: vera30.10@mail.ru

*****e-mail: snelansky@mail.ru

*****e-mail: chudiel@mail.ru

Поступила в редакцию 16.09.2024 г.

После доработки 14.10.2024 г.

Принята к публикации 22.12.2024 г.

В данной работе проведено изучение видового разнообразия грибов, выделенных из пораженных болезнями клубней картофеля, выращенных в Камчатском крае. Определение видовой принадлежности показало, что 44 из 48 изученных штаммов относились к отделу *Ascomycota* (классы *Dothideomycetes*, *Sordariomycetes*, *Saccharomycetes*, *Orbiliomycetes*) и четыре штамма – к отделу *Basidiomycota* (класс *Agaricomycetes*). Анализ видовой принадлежности показал их принадлежность к следующим видам: аскомицеты – *Boeremia exigua*, *B. foveata*, *Clonostachys rosea*, *C. solani*, *Fusarium avenaceum*, *F. merismoides*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides*, *F. torulosum*, *Geotrichum candidum*, *Helminthosporium solani*, *Orbilia oligospora*, *Plectosphaerella* sp., *Trichocladium solani*, *Verticillium albo-atrum*, *Volutella* sp.; базидиомицеты – *Sistotrema brinkmannii*, *Rhizoctonia solani* AG-3, *Ceratobasidium* sp. AG-I. Исследование показало, что среди патогенов преобладают широко распространенные во всех картофелеводческих регионах виды *Boeremia exigua* и *B. foveata*, *Rhizoctonia solani*, *Helminthosporium solani*, *Trichocladium solani*, *Fusarium* spp. Штаммы этих видов отличались достаточно высокой патогенностью. В то же время были выделены и виды, ранее на картофеле не отмечавшиеся. Среди них были отмечены как непатогенные для тканей клубня картофеля (*Sistotrema brinkmannii*, *Ceratobasidium* sp. AG-I, *F. merismoides*) так и слабopatогенный *Volutella* sp. Штаммы *Arthrobotrys oligospora* находили на клубнях, пораженных нематодой. Для более полного понимания ассоциированной с картофелем микобиоты необходимо продолжение исследований в неизученных районах Камчатского края и российского Дальнего Востока в целом.

Ключевые слова: болезни картофеля, грибные болезни картофеля, клубни картофеля, хранение картофеля

DOI: 10.31857/S0026364825040087, EDN: bfkyua

ВВЕДЕНИЕ

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) считается третьей по потреблению культурой в мире после пшеницы и риса (FAO, 2022). В Камчатском крае объем производства картофеля составляет около 16 тыс. тонн (Potatosystem, 2024). Картофель составляет значительную часть рациона жителей Камчатки. После уборки большая часть клубней закладывается на хранение. В процессе хранения из-за высухания, дыхания и развития микроорганизмов

теряется значительная часть урожая. Качество и внешний вид клубней ухудшаются; у семенных клубней снижается всхожесть. Чтобы обеспечить низкие потери при хранении и высокое качество продукта необходимо тщательно контролировать качество закладываемых на хранение клубней и условия их хранения, отслеживать развитие фитопатогенных микроорганизмов во время хранения.

Клубни картофеля отличаются высоким содержанием воды и питательных веществ, что делает

их подходящим субстратом для развития разнообразных микроорганизмов. Практически повсеместно на клубнях встречаются *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, *Helminthosporium solani* Durieu et Montagne, виды родов *Fusarium* и *Alternaria*. Частота встречаемости различных видов различается в зависимости от сорта, времени вегетации, технологии выращивания, места произрастания (Meng et al., 2012; Qin et al., 2017; Mardanov et al., 2019; Loit et al., 2020).

Для исследования разнообразия грибов, ассоциированных с клубнями картофеля, применяют такие методы, как выделение чистых культур и метагеномный анализ. Китайские исследователи изучили микобиоту клубней в процессе хранения с помощью метагеномного профилирования (Xie et al., 2022). Однако этот метод в большинстве случаев позволяет идентифицировать грибок только до рода (иногда — до видового комплекса, редко — до вида) и не дает возможности изучить его биологические свойства. Работ, в которых проведено выделение чистых культур грибов и проанализировано их видовое разнообразие, довольно мало. В работе А.Ф. Белосохова и соавторов (Belosokhov et al., 2023) проанализированы грибы, выделяемые из пораженных болезнями клубней в Европейской части России.

Значительно большее количество работ посвящено анализу какой-то одной таксономической группы, например, рода или вида (Yarmeeva et al., 2021, 2023; Kokaeva et al., 2022; Gavrilova et al., 2024; Kutuzova et al., 2017; Elansky et al., 2024). Исследование внутривидового разнообразия показывает, что внутри одного вида могут встречаться штаммы, различающиеся по экологическим оптимумам, патогенности в отношении разных сортов картофеля и восприимчивости к фунгицидам (Kutuzova et al., 2017; Yarmeeva et al., 2021).

Видовой и внутривидовой состав патогенов картофеля в разных регионах мира изучен неравномерно. Так, хорошо изучены страны Европы и Сев. Америки, несколько хуже — Азия и Ю. Америка. Африка южнее Сахары практически не исследована. Одним из малоисследованных регионов мира является и российский Дальний Восток. В представленной работе приведен анализ чистых культур грибов, выделенных из клубней картофеля, выращенных на юге Камчатского края из местного семенного материала и имевших признаки поражения грибными болезнями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выделение чистых культур и определение видовой принадлежности. Микроорганизмы выделяли из клубней с признаками грибных поражений по методике, описанной в статье Elansky et al. (2024) с небольшими модификациями. Клубни отбирали в коммерческих картофелехранилищах в процессе хранения либо при уборке. Брали только клубни, произведенные на территории Камчатского края из семенного материала, выращенного также на территории Камчатского края. Выделение микроорганизмов из клубней проводили либо сразу после отбора из хранилища, либо, при невозможности немедленного выделения, каждый клубень заворачивали в бумагу, помещали вместе с другими клубнями в крафт-пакет и хранили при 5°C.

Перед выделением чистых культур клубни картофеля тщательно мыли, протирали 70%-м этиловым спиртом, обсушивали на фильтровальной бумаге, разрезали стерильным ножом, после чего с помощью стерильной микробиологической петли, скальпеля или препаровальной иглы ткань клубня (кусочек размером 0.5–1 мм) с границы здоровой и пораженной зон помещали в центр чашки Петри с картофельно-глюкозным агаром (КГА), в который добавляли антибиотики ципрофлоксацин (20 мг/л) или пенициллин (бензилпенициллина натриевая соль, 1000 ед./мл). Инкубировали чашки в темноте при температуре около 20°. При такой температуре успешно растут разные группы грибов и замедляется рост бактерий. После достижения колонией выделяемого гриба диаметра около 40 мм мицелий с края колонии пересаживали на новую чашку Петри с питательной средой. Все культуры проверяли на равномерность роста (отсутствие секторов). В случае присутствия секторов из каждого сектора брали отдельные споры или (при отсутствии спороношения) кусочки конца активно растущей гифы и рассеивали на чистые чашки с питательной средой. Чистые культуры хранили в пробирках со скошенным агаром (КГА) в холодильнике; для длительного хранения мицелий и споры смешивали с 15%-м глицерином и замораживали на –80°C.

Определение видовой принадлежности. Видовую принадлежность определяли с использованием стандартных культурально-морфологических характеристик (структура колонии, форма и размер спор и конидиеносцев и др.) и молекулярных методов. ДНК из мицелия грибов выделяли так, как описано в статье С.Н. Еланского с соавторами (Elansky et al., 2022). С помощью ПЦР амплифицировали участок, содержащий фрагмент рДНК ITS1–5.8S–ITS2 (ITS) с праймерами ITS4 TCCTCCGCTTATTGATATGC;

ITS5 GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG (Innis et al., 1990) или участок гена элонгации трансляции *tef1α* с праймерами EF1 ATGGGTAAGGARGACAAGAC; EF2 GGARGTACCAGTSATGTT (O'Donnell et al., 1998) по программе, рекомендованной авторами. После проведения реакции длину и чистоту ПЦР-продуктов контролировали с помощью электрофореза в 1%-м агарозном геле. Очистку ПЦР-продуктов осуществляли с помощью коммерческого набора CleanUpStandart (“Евроген”). Секвенирование ДНК проводили по методу Сэнгера в компании “Евроген”. Полученные последовательности сравнивали с последовательностями из базы Genbank NCBI с помощью поисковика BLAST.

Тестирование патогенности. Тестирование патогенности осуществляли на ломтиках клубней картофеля (Yarmeeva et al., 2023) сорта Гала. Внешне здоровые клубни картофеля мыли, сушили, обрабатывали 70%-м спиртом и разрезали на ломтики. Ломтики картофеля помещали во влажную камеру, представляющую из себя чашку Петри со смоченной фильтровальной бумагой на дне. Культуру тестируемого гриба наращивали на среде КГА в течение семи сут при 25°C, после чего вырезали агаровый блок с мицелием гриба размером 5 × 5 мм и помещали его в центр ломтика. Тест на патогенность проводили при 25°C и 10°C в темноте. На седьмые сут инкубации измеряли диаметр

поражения ломтика. При температуре 10°C результаты измеряли также и на 14-е сутки инкубации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Были выделены в чистые культуры и проанализированы 48 штаммов грибов. Определение видовой принадлежности по культурально-морфологическим признакам и по структуре видоспецифичных участков ДНК показало, что 44 штамма относились к отделу *Ascomycota* (классы *Dothideomycetes*, *Sordariomycetes*, *Saccharomycetes*, *Orbiliomycetes*) и четыре штамма — к отделу *Basidiomycota* (класс *Agaricomycetes*). Анализ показал их принадлежность к следующим видам: аскомицеты — *Boeremia exigua* (Desm.) Aveskamp, Gruyter et Verkley, *B. foveata* (Foister) Aveskamp, Gruyter et Verkley, *Clonostachys rosea* (Link) Schroers, Samuels, Seifert et W. Gams, *C. solani* (Harting) Schroers et W. Gams, *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. merismoides* Corda, *F. oxysporum* Schltdl., *F. sporotrichioides* Bilai, *F. torulosum* (Berk. et M.A. Curtis) Gruyter et J.H.M. Schneid., *Geotrichum candidum* Link, *Helminthosporium solani* Durieu et Mont., *Plectosphaerella* sp., *Trichocladium solani* Belosokhov et Elansky, *Verticillium albo-atrum* Zerselg. d. Kartoff., *Volutella* sp.; базидиомицеты — *Sistotrema brinkmannii* (Bres.) J. Erikss., *Rhizoctonia solani*, *Ceratobasidium* sp. (табл. 1).

Таблица 1. Штаммы, выделенные из клубней, выращенных в Камчатском крае

Название штамма гриба	Видовое название гриба	Класс, порядок	NCBI ITS	NCBI TEF
<i>Ascomycota</i>				
23KaPT4_6	<i>Boeremia exigua</i>	<i>Dothideomycetes</i> <i>Pleosporales</i>	PP092291	PP942997
23KaPT21	<i>B. exigua</i>		PP092296	PP942998
23KaPT2_2	<i>Boeremia foveata</i>		PP092288	—*
23KaPT4_2	<i>B. foveata</i>		PP092289	PP942999
23KaPT4_5	<i>B. foveata</i>		PP092290	PP943000
3KaPT10_1	<i>B. foveata</i>		PP092292	PP943001
23KaPT10_2	<i>B. foveata</i>		PP092293	PP943002
23KaPT15	<i>B. foveata</i>		PP092294	—
23KaPT15_1	<i>B. foveata</i>		PP092295	PP943001
22KaPT7_2	<i>Helminthosporium solani</i>		PP087964	—
22KaPT9_2	<i>Clonostachys rosea</i>	<i>Sordariomycetes</i> <i>Hypocreales</i>	PP087509	—
23KaPT19	<i>C. rosea</i>		PP087510	—
23KaPT29	<i>C. rosea</i>		PP737156	—
22KaPT4	<i>Clonostachys solani</i>		PP087514	—
23Kamf1	<i>Fusarium avenaceum</i>		OR591464	PP130635
23KaPT11	<i>Fusarium avenaceum</i>		PP134918	PP130633

Таблица 1. Окончание

Название штамма гриба	Видовое название гриба	Класс, порядок	NCBI ITS	NCBI TEF	
23KaPT18_1	<i>Fusarium avenaceum</i>	<i>Sordariomycetes</i> <i>Glomerellales</i>	OR591465	PP130634	
22KamPT3_2	<i>F. merismoides</i>		OR533484	PP098294	
23KaPT15_2	<i>Fusarium oxysporum</i>		PP736822	PP130636	
23KaPT10_6	<i>F. sporotrichioides</i>		—	PP098295	
23KaPT10_7	<i>F. sporotrichioides</i>		PP093695	PP098296	
23KaPT15_5	<i>F. sporotrichioides</i>		—	PP746783	
22KaPT2_2	<i>F. torulosum</i>		PP087418	PP094240	
23KaPT7_1B	<i>F. torulosum</i>		PP087415	PP094243	
23KaPT7_1	<i>F. torulosum</i>		PP087416	PP094242	
23KaPT8_1	<i>F. torulosum</i>		PP087417	PP094241	
22KaPT5	<i>Volutella</i> sp.		PP087515	—	
22KaPT16	<i>Plectosphaerella cucumerina</i>		PP940832	PP955789	
23KaPT4_7	<i>P. cucumerina</i>		PP940835	PP955790	
23KaPT13_1	<i>P. cucumerina</i>		PP940834	—	
23KaPT22	<i>P. cucumerina</i>		PP940833	PP955791	
23KaPT_20	<i>Verticillium albo-atrum</i>		PP125027	—	
23KaPT2_1	<i>Trichocladium solani</i>		<i>Sordariomycetes</i> <i>Sordariales</i>	PP091309	—
23KaPT2_2	<i>T. solani</i>			PP091310	—
23KaPT3	<i>T. solani</i>			PP091311	—
23KaPT4_1	<i>T. solani</i>			PP091312	—
23KaPT7_2	<i>T. solani</i>			PP091313	—
23KaPT17	<i>T. solani</i>			PP091314	—
23KaPT18_7	<i>T. solani</i>			PP091315	—
23KaPT68	<i>T. solani</i>			PP736398	—
22KamPT3_1	<i>Orbilia oligospora</i>		<i>Orbiliomycetes</i> <i>Orbiliaceae</i>	OR531681	—
22KamPT13_2	<i>O. oligospora</i>			PP739168	—
23KaPT69	<i>O. oligospora</i>	PP736400		—	
23KaPT2_3	<i>Geotrichum candidum</i>	<i>Saccharomycetes</i> <i>Saccharomycetales</i>	PP125163	—	
23KaPT7G	<i>G. candidum</i>		PP732550	—	
<i>Basidiomycota</i>					
23KaPT5	<i>Rhizoctonia solani</i> AG-3	<i>Agaricomycetes</i> <i>Cantharellales</i>	PP091751	—	
23KaPT13	<i>R. solani</i> AG-3		PP732571	—	
23KaPT70	<i>R. solani</i> AG-3		PP732572	—	
22KaPT17	<i>Ceratobasidium</i> sp. AG-I	<i>Agaricomycetes</i> <i>Corticiales</i>	PQ109081	—	
23KaPT18_2	<i>Sistotrema brinkmannii</i>		PP125025	—	

Примечание. *Не анализировали.

Анализ патогенности на ломтиках клубней картофеля показал, что вирулентностью отличаются все исследованные штаммы за исключением штаммов видов *Arthrobotrys oligospora*, *Sistotrema brinkmannii*, *Geotrichum candidum*, *Ceratobasidium* sp., *F. merismoides* и *F. oxysporum*. Очень слабо заражали ткань клубня штаммы *Volutella* sp.

Фомоидные грибы лучше развивались при низких температурах. Так, при температуре 25°C на седьмые сут диаметр поражения у разных штаммов варьировал 4 до 18 мм. При 10°C поражение шло активнее, на седьмые сутки диаметр поражения превышал 10 мм у всех анализируемых штаммов, через две недели некоторые штаммы

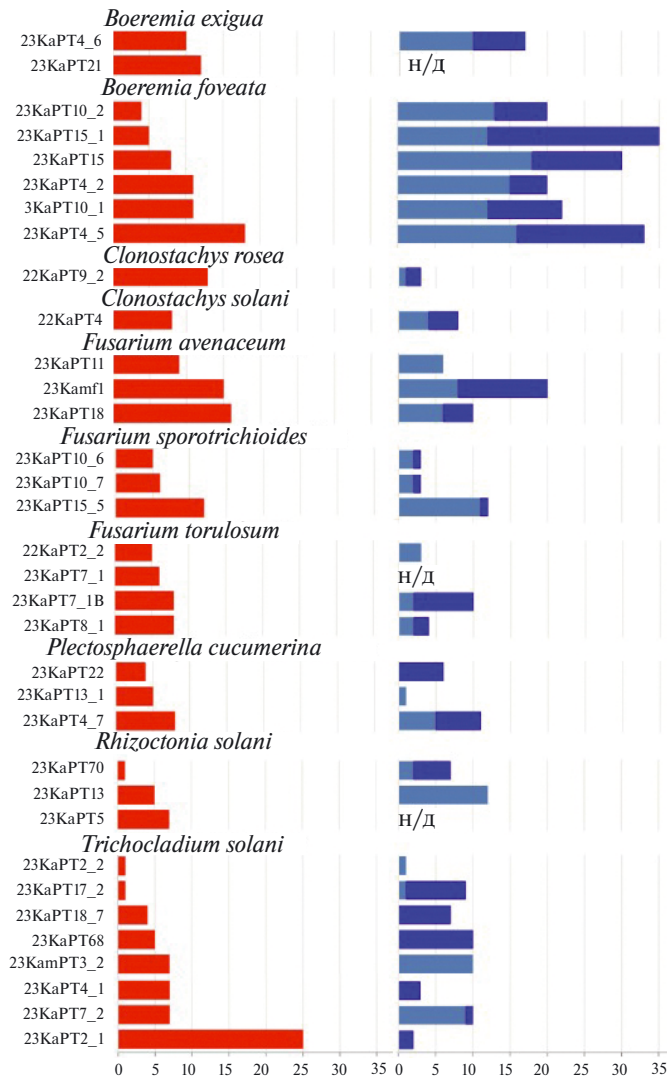


Рис. 1. Патогенность штаммов в тесте на ломтиках картофеля. Красным показан диаметр поражения на седьмые сут инкубации при 25°C, серым — седьмые сут инкубации при 10°C, синим — прирост колонии за вторую неделю инкубации. На рисунке приведены только штаммы, проявившие патогенные свойства.

распространились практически по всей поверхности ломтика (рис. 1). Другим холодолюбивым грибом показал себя *Rhizoctonia solani* AG-3. Он также был более агрессивен при 10°C.

Штаммы рода *Fusarium* сильно различались по патогенности. Как было сказано выше, *F. merismoides* и *F. oxysporum* не вызывали поражение тканей картофеля, *F. sporotrichioides* поражал ткань ломтика клубня при температуре 25°C и не вызывал поражения при 10°C. Штаммы *F. torulosum* и *F. avenaceum* поражали ломтики как при 10°C, так и при 25°C, но в целом были агрессивнее при 25°C.

Штаммы *Trichocladium solani* также обладали разной степенью патогенности. Из исследованных нами один штамм был практически не патогенен, два штамма были агрессивны при 25°C и слабо агрессивны при 10°C, три штамма были более активны при 10°C, два штамма отличались небольшой агрессивностью при обеих температурах.

Исследованные штаммы обоих видов рода *Clonostachys* оказались патогенными для тканей клубней картофеля. При этом один из штаммов *C. rosea* отличался довольно высокой агрессивностью при 25°C. Штамм *C. solani* был более агрессивным при 10°C.

Plectosphaerella cucumerina заражали ломтики клубней достаточно эффективно, причем при 25°C активность штаммов была выше. Два штамма из трех исследованных показали хорошую агрессивность и при 10°C.

ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении пораженных клубней картофеля из Камчатского края мы обнаружили довольно много фомоидных грибов — анаморфных аскомицетов, способных формировать пикниды. Внешне пораженные клубни соответствовали описаниям фомоза, имеющимся в литературе. На клубнях были темные поражения, сверху покрытые отслаивающейся кожицей. Фомоидные грибы, поражающие клубни картофеля, относятся преимущественно к трем видам из порядка *Pleosporales*: *Juxtiphoma eupyrena* (Sacc.) Valenz.-Lopez, Crous, Stchigel, Guarro et J.F. Cano, *Boeremia foveata* (A'Hara, 2015). Из них на Камчатке были выявлены *B. foveata* и *B. exigua*. Морфологически выделенные штаммы отличались друг от друга. Штаммы *B. exigua* на среде КГА образовывали колонии оливкового цвета и росли с высокой скоростью, штаммы *B. foveata* отличались низкой скоростью роста, молодые колонии были светло-бежевого цвета, реверс колонии — красно-коричневый. По последовательности участка рибосомных генов ITS штаммы разных видов *Boeremia* отличались незначительно, однако разделялись на клады. При исследовании последовательности *tef1α* штаммы отчетливо разделились на *B. foveata* и *B. exigua*. Интересно, что на одном клубне были найдены одновременно два разных вида *Boeremia*. Анализ литературных источников показал, что единичные находки *B. foveata* были отмечены в Ленинградской обл. (Korina et al., 2021), при проверке семенных клубней в Зап. Сибири поражения фомоидными грибами были отмечены у 3.4% клубней (Pilipova, Shaldyaeva, 2019). В Московской, Магаданской, Астраханской областях

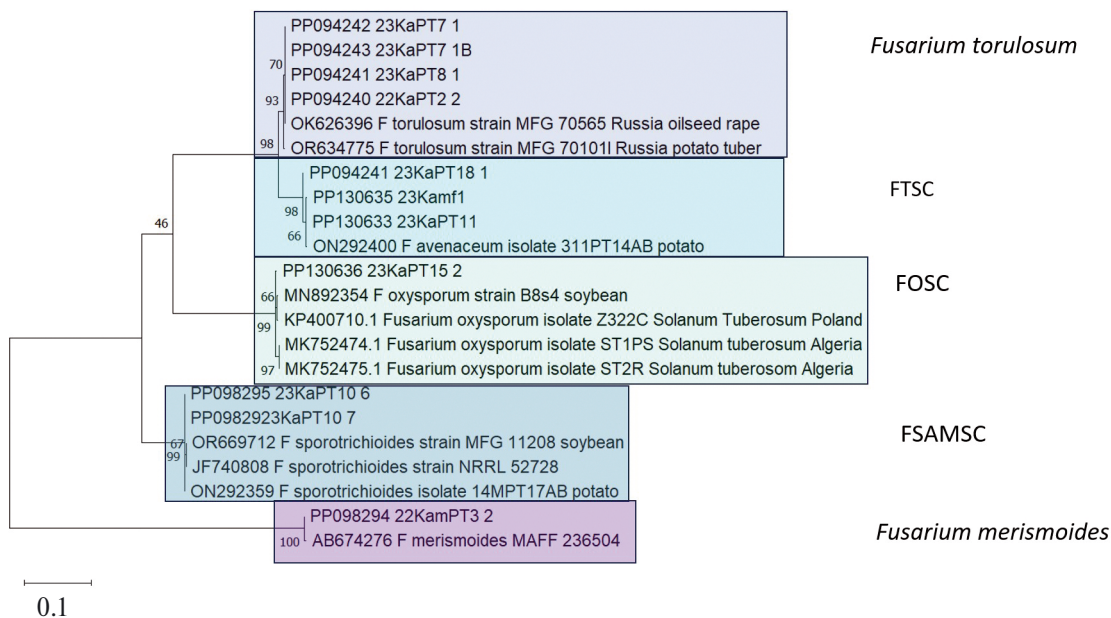


Рис. 2. Филограмма грибов рода *Fusarium*, построенная на основании анализа части гена *tef 1α*. Построено в программе MegaX с использованием алгоритма наибольшего правдоподобия ML.

наша группа находила другого представителя формоидных грибов *Juxtiphoma eupyrena* (Belosokhov et al., 2023).

Представители рода *Fusarium* встречались на клубнях достаточно часто. Как правило, они вызывали развитие заболеваний по типу сухой гнили. На основании прочтения участков ITS и *tef 1α* грибы этой группы разделились на следующие таксономические группы: *F. torulosum*, *F. merismoides* (виды вне видовых комплексов), *F. avenaceum*, относящийся к *F. tricinctum* species complex (FTSC), *F. sporotrichioides* из *F. sambucinum* species complex (FSAMSC), *F. oxysporum* из *F. oxysporum* species complex (FOSC). На основании сравнения последовательностей участка гена *tef 1α* можно сделать вывод о том, что эти виды сходны с теми, что были найдены на клубнях картофеля ранее (рис. 2). Исключение составляет *F. merismoides*, в базе NCBI не содержится похожих последовательностей этого вида фузариума, выделенных с клубней картофеля.

Rhizoctonia solani — широко распространенный патоген картофеля. Он был обнаружен на 30% исследованных клубней, причем все, кроме одного, протестированные штаммы относились к самой распространенной на картофеле анастомозной группе AG-3 (многоядерные *Rhizoctonia* = *Thanatephorus* spp.). Определение принадлежности к анастомозной группе проводили по анализу последовательностей участка ITS (Yarmeeva et al., 2021). Также был обнаружен непатогенный для тканей клубня штамм анастомозной группы AG-I (двухядерные *Rhizoctonia* = *Ceratobasidium*

spp.). Штаммы этой таксономической группы отмечались как возбудители корневых гнилей тропических растений *Crotalaria juncea* (Díaz-Nájera et al., 2023) и *Hedychium coronarium* (Zheng et al., 2023). Сведений о находках штаммов этой группы на картофеле нам найти не удалось.

Среди анализируемых клубней с Камчатки часто присутствовал широко распространенный патоген *Helminthosporium solani*, вызывающий серебристую паршу картофеля. Этот вид грибов обнаруживали в большинстве исследованных партий клубней картофеля из разных регионов России и зарубежных стран (Kutuzova et al., 2017; Chudinova et al., 2020). Он вызывает повреждение и расслоение кожуры клубней, не поражая внутренние ткани. Поэтому на ломтиках мы его не тестировали.

С пораженных клубней было выделено восемь штаммов гриба *Trichocladium solani*, ранее описанного нашей группой как новый вид (Belosokhov et al., 2022). *T. solani* вызывает «желтую гниль» клубней, похожую на сухую гниль, вызываемую фузариумами. При внешнем осмотре на пораженных клубнях видны сухие уплотнения. При разрезании клубней в полости виден светло-желтый мицелий. На картофельно-глюкозном агаре гриб образует светло-желтые колонии, которые через некоторое время приобретают желтый насыщенный цвет, через 21 день колонии начинают темнеть. *T. solani* ранее были нами обнаружены в Московской, Калужской, Костромской областях и в Кыргызстане.

Geotrichum candidum известен как патогенный для картофеля вид, вызывающий резиновую гниль клубней. Распространен повсеместно. Однако штаммы *G. candidum* из клубней Камчатки оказались безопасными для клубней картофеля: поражения тканей ломтика при искусственном заражении не было отмечено. Штаммы были выделены с сильно пораженных клубней, на которых были найдены другие патогенные виды. Возможно, появление этих штаммов на клубнях носит вторичный характер.

P. cucumerina ранее была описана как патоген картофеля; поражение этим видом было зарегистрировано на территории Китая и Пакистана (Gao et al., 2016, Alam et al., 2021), мы также находили этот вид гриба в Московской обл. (Belosokhov et al., 2023).

Volutella sp. ранее не была описана как патогенный для картофеля гриб, однако при тестировании патогенности на ломтиках картофеля она показала себя слабым патогеном. *Volutella* sp. вызвала разрушение ткани на расстоянии 2–3 мм от агарового блока при температуре 25°C, при 10°C поражения ткани клубня выявлено не было. У вида *Volutella citrinella* показана нематитидная активность (Zhang et al., 2021).

Грибы рода *Clonostachys* считаются непатогенными для картофеля. В литературе имеются данные, что некоторые штаммы *C. rosea* используются в качестве агентов биоконтроля при создании биофунгицидов. Полученные нами данные показывают, что среди штаммов этого вида могут встречаться и патогенные представители.

Штаммы *Arthrobotrys oligospora* не поражали ломтики клубней картофеля. Этот гриб относится к хищным нематофаговым грибам и имеет ловчие петли для нематод. Штаммы *A. oligospora* были выделены из клубней, пораженных нематодами.

Sistotrema brinkmannii — дереворазрушающий гриб из отдела базидиомицетов. Ранее на картофеле не обнаруживался. Заражения ломтиков клубня картофеля не вызывал.

Возбудитель фитофтороза картофеля оомицет *Phytophthora infestans* распространен практически во всех регионах возделывания картофеля, в том числе на Дальнем Востоке и на Камчатке, где вызывает эпифитотийное развитие заболевания (https://agroAtlas.ru/ru/content/diseases/Solani/Solani_Phytophthora_infestans/index.html). В настоящей работе мы не приводим анализ штаммов этого возбудителя, так как он хорошо известен в Камчатском крае.

Результаты впервые проведенного на Камчатке анализа микобиоты клубней картофеля с симптомами грибных заболеваний показали, что среди патогенов преобладают широко распространенные во всех картофелеводческих регионах виды *Boeremia exigua*

и *B. foveata*, *Rhizoctonia solani*, *Helminthosporium solani*, *Trichocladium solani*, *Fusarium* spp. Штаммы этих видов отличались достаточно высокой патогенностью при температурах 10 и 25°C. В то же время были выделены и виды, ранее на картофеле не отмечавшиеся. Среди них были отмечены как непатогенные для тканей клубня картофеля (*Sistotrema brinkmannii*, *Ceratobasidium* sp. AG-I, *F. merismoides*) так и слабопатогенные *Volutella* sp. Некоторой неожиданностью для нас было обнаружение непатогенных штаммов *Fusarium oxysporum* и *Geotrichum candidum* и патогенных *Clonostachys solani* и *C. rosea*. Последний считается перспективным штаммом для использования в биопрепаратах для защиты растений. При отборе активных штаммов *C. rosea* с целью использования их в качестве агентов биоконтроля следует учитывать их возможную патогенность для растений. Не было обнаружено встречающегося повсеместно возбудителя антракноза и черной пятнистости клубней картофеля *Colletotrichum coccodes*, хотя штаммы этого вида мы обнаруживали в Приморском крае (Yarmeeva et al., 2023), где он, по-видимому, широко распространен. Отсутствие этого вида может быть связано с особенностями почвы и климатическими условиями Камчатки. В целом, работа показала уникальность региона, в котором на картофеле были обнаружены виды, ранее на этой культуре не отмечавшиеся. Для более полного понимания ассоциированной с картофелем микобиоты необходимо продолжение исследований в неизученных р-нах Камчатского края и российского Дальнего Востока в целом.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-16-00048).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- A'Hara D. Detection and identification of *Phoma* pathogens of potato. Meth. Mol. Biol. 2015. V. 1302. P. 17–27. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2620-6_2
- Alam M.W., Malik A., Rehman A. et al. First report of potato wilt caused by *Plectosphaerella cucumerina* in Pakistan. J. Plant. Pathol. 2021. V. 103. P. 687. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-00771-y>
- Belosokhov A., Yarmeeva M., Kokaeva L. et al. *Trichocladium solani* sp. nov. — a new pathogen on potato tubers causing yellow rot. J. Fungi. 2022. V. 8. e1160. <https://doi.org/10.3390/jof8111160>
- Belosokhov A.F., Yarmeeva M.M., Mislavsky S.M. et al. Mycobiota of potato tubers. Mikologiya i fitopatologiya. 2023. Vol. 57(2). P. 123–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0026364823020046>
- Chudinova E.M., Kokaeva L. Yu., Elansky S.N. et al. The occurrence of thiabendazole-resistant isolates of *Helminthosporium*

- solani* on potato seed tubers in Russia. J. Plant Dis. Protect. 2020. V. 127. P. 421–423.
<http://dx.doi.org/10.1007/s41348-020-00313-1>
- Díaz-Nájera J.F., Ayvar-Serna S., Vargas-Hernández M. et al. First report of *Ceratobasidium* sp. causing root rot of *Crotalaria juncea* in Mexico. New Dis. Rep. 2023. V. 47. e12165.
<https://doi.org/10.1002/ndr2.12165>
- Elansky A.S., Mislavskiy S.M., Chudinova E.M. et al. *Fusarium* species affecting potato tubers and tomato fruits in Uganda. Mikologiya i fitopatologiya. 2024. V. 58 (2). P. 163–174.
<http://dx.doi.org/10.31857/S0026364824020077>
- Elansky S.N., Chudinova E.M., Elansky A.S. et al. Microorganisms in spent water-miscible metalworking fluids as a resource of strains for their disposal. J. Cleaner Production. 2022. V. 350. e131438.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131438>
- FAO. 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>. Accessed 15.11.2024.
- Gao J., Zhang Y.Y., Zhao X.J. et al. First report of Potato wilt caused by *Plectosphaerella cucumerina* in Inner Mongolia, China. Plant Dis. 2016. V. 100 (12). P. 2523.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-01-16-0028-PDN>
- Gavrilova O., Orina A., Trubin I. et al. Identification and pathogenicity of *fusarium* fungi associated with dry rot of potato tubers. Microorganisms. 2024. V. 12 (3). P. 598. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms12030598>.
- Innis M.A., Gelfand D.H., Sninsky J.J. et al. PCR Protocols: A guide to methods and applications. Academic Press, San Diego, 1990. P. 315.
- Kokaeva L.Y., Yarmeeva M.M., Kokaeva Z.G. et al. Phylogenetic study of *Alternaria* potato and tomato pathogens in Russia. Diversity. 2022. V. 14 (8). P. 685.
<https://doi.org/10.3390/d14080685>
- Kopina M.B., Uvarova D.A., Shukhin D.I. et al. On some pycnidial fungi on vegetative potatoes in the Non-Black Earth Region of central Russia. Fitosanitariya. Karantin rasteniy. 2021. N3. P. 27–39. (In Russ.).
<https://doi.org/10.69536/FKR.2021.49.59.001>
- Kutuzova I.A., Kokaeva L.Y., Pobendinskaya M.A. et al. Resistance of *Helminthosporium solani* strains to selected fungicides applied for tuber treatment. J. Plant Pathol. 2017. V. 99 (3). P. 635–642.
<http://dx.doi.org/10.4454/jpp.v99i3.3950>
- Loit K., Soonvald L., Astover A. et al. Temporal and cultivar-specific effects on potato root and soil. Fungal Diversity. 2020. V.10 (10). e1535.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10101535>
- Mardanov A., Lutfullin M., Hadiyeva G. et al. Structure and variation of root-associated microbiomes of potato grown in alfisol. World J. Microbiol. Biotechnol. 2019. V. 35 (12). P. 181.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-019-2761-3>
- Meng P.P., Liu X., Qiu H.Z. et al. Fungal population structure and its biological effect in rhizosphere soil of continuously cropped potato. Ying Yong Sheng tai xue bao – The Journal of Applied Ecology. 2012. V. 23 (11). P. 3079–3086.
- O'Donnell K., Kistler H.C., Cigelnik E. et al. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. PNAS. 1998. V. 95 (5). P. 2044–2049.
<https://doi.org/10.1073/pnas.95.5.2044>
- Pilipova Yu., Shaldyaeva E. Monitoring of pests as a basis for phytosanitary optimization of potato agroecosystems. Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost. 2019. N1. P. 42–50. (In Russ.).
- Potatosystem. 2024. <https://potatosystem.ru/kartofelevodstvo-dalnevostochnyj-federalnyj-okrug>. Accessed 15.11.2024.
- Qin S., Yeboah S., Xu X. et al. Analysis on fungal diversity in rhizosphere soil of continuous Cropping potato subjected to different furrow-ridge mulching managements. Front. Microbiol. 2017. V. 10 (8). Art. 845.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00845>
- Xie T., Shen S., Hao Y. et al. Comparative analysis of microbial community diversity and dynamics on diseased tubers during potato storage in different regions of Qinghai China. Front. Genet. 2022. V. 13. e818940.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2022.818940>
- Yarmeeva M., Kutuzova I., Kurchaev M. et al. *Colletotrichum* species on cultivated *Solanaceae* crops in Russia. Agriculture 2023. V. 13. P. 511.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13030511>
- Yarmeeva M.M., Kokaeva L.Y., Chudinova E.M. et al. Anas-tomosis groups and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia solani* strains isolated from potato in Russia. J. Plant Dis. Prot. 2021. V. 128. P. 1253–1261.
<http://dx.doi.org/10.1007/s41348-021-00490-7>
- Zhang X., Zhang H., Jiang Z. et al. A new strain of *Volutella citrinella* with nematode predation and nematicidal activity, isolated from the cysts of potato cyst nematodes in China. BMC Microbiol. 2021. V. 21. P. 323.
<https://doi.org/10.1186/s12866-021-02385-x>
- Zheng J., Yao L., Liu C. et al. First report of *Ceratobasidium* sp. AG-I (binucleate *Rhizoctonia*) causing root rot of *Hedychium coronarium* Koen in China. Can. J. Plant Pathol. 2023. V. 45 (2). P. 168–175.
<https://doi.org/10.1080/07060661.2022.2162607>
- Белосохов А.Ф., Ярмеева М.М., Миславский С.М. и др. (Белосохов et al.) Микобиота клубней картофеля. // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 2. С. 123–133.
- Копина М.Б., Уварова Д.А., Шухин Д.И. и др. (Kopina et al.) О некоторых пикнидиальных грибах на вегетирующем картофеле в Нечерноземье средней полосы России // Фитосанитария. Карантин растений. 2021. № 3. С. 27–39.
- Пилипова Ю., Шалдыева Е. (Pilipova, Shaldyaeva) Мониторинг вредных организмов как основа фитосанитарной оптимизации агроэкосистем картофеля // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 1. С. 42–50.

Mycobiota of Potato Tubers Grown in Kamchatka Krai

D. N. Skokov^{a,#}, A. A. Tsindelian^{a,##}, O. I. Khasbiullina^{b,###}, V. V. Gainatulina^{b,####},
S. N. Elansky^{a,с,#####}, and E. M. Chudinova^{a,#####}

^a Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

^b Kamchatka Research Institute of Agriculture, branch of the FRC N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Kamchatka krai, Russia

^c Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia

[#]e-mail: 1032193187@rudn.ru

^{##}e-mail: archil7876@yandex.ru

^{###}e-mail: khasbiullina@kamniish.ru

^{####}e-mail: vera30.10@mail.ru

^{#####}e-mail: snelansky@mail.ru

^{#####}e-mail: chudiel@mail.ru

This work studies the diversity of fungi isolated from diseased potato tubers grown in Kamchatka Krai. Species identification showed that 44 of 48 studied strains belonged to the *Ascomycota* (classes *Dothideomycetes*, *Sordariomycetes*, *Saccharomycetes*, *Orbiliomycetes*) and 4 strains to the *Basidiomycota* (class *Agaricomycetes*). Species affiliation analysis showed that they belonged to the following species: *Ascomycota* — *Boeremia exigua*, *B. foveata*, *Clonostachys rosea*, *C. solani*, *Fusarium avenaceum*, *F. merismoides*, *F. oxysporum*, *F. sporotrichioides*, *F. torulosum*, *Geotrichum candidum*, *Helminthosporium solani*, *Orbilia oligospora*, *Plectosphaerella* sp., *Trichocladium solani*, *Verticillium albo-atrum*, *Volutella* sp.; *Basidiomycota* — *Sistotrema brinkmannii*, *Rhizoctonia solani* AG-3, *Ceratobasidium* sp. AG-I. The study showed that dominated pathogens were *Boeremia exigua* and *B. foveata*, *Rhizoctonia solani*, *Helminthosporium solani*, *Trichocladium solani*, *Fusarium* sp. Strains of these species were characterized by high pathogenicity. At the same time, species previously not observed on potatoes were also isolated. Among them were both nonpathogenic for potato tuber tissues (*Sistotrema brinkmannii*, *Ceratobasidium* sp. AG-I, *F. merismoides*) and weakly pathogenic *Volutella* sp. Strains of *Arthrobotrys oligospora* were found on tubers affected by the nematode. For a more complete understanding of the potato-associated mycobiota, it is necessary to continue research in unexplored areas of the Kamchatka Territory and the Russian Far East as a whole.

Keywords: fungal diseases of potatoes, potato diseases, potato storage, potato tubers