

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы: пәнаралық = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина: междисциплинарный. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2025. - № 3 (127). - P.138-153. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/10.51452/kazatu.2025.3(127).2016

УДК 632.4.01/08:579.64

Исследовательская статья

Изучение микромицетов, выделенных из клубней картофеля, пораженных сухой гнилью в Казахстане

Муранец А.П.¹ , Жаныбекова Ж.Т.¹ , Есимсеитова А.К.^{1,2} ,
Рыскельдина А.Ж.¹ , Какимжанова А.А.^{1,2} 

¹Национальный центр биотехнологии, Астана, Казахстан

²ТОО «Greenlab», Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Какимжанова А.А.: kakimzhanova1968@mail.ru

Соавторы: (1: AM) muranets@rambler.ru; (2: ЖК) zhanargul.zhanybekova0210@gmail.com

(3: AE) asel_1388@bk.ru; (4: AP) anararyskeldina@gmail.com

Получено: 11.07.2025 **Принято:** 26.09.2025 **Опубликовано:** 30.09.2025

Аннотация

Предпосылки и цель. Картофель (*Solanum tuberosum* L.) занимает одно из ведущих мест среди продовольственных культур мира, культивируясь более чем в 159 странах. При потенциальной урожайности до 60-100 т/га потери при хранении могут достигать 60% вследствие поражения клубней фитопатогенами. Среди возбудителей заболеваний, возникающих в период хранения, особенно опасными считаются грибы рода *Fusarium* из-за их способности вызывать гниение клубней. Целью данного исследования является комплексная идентификация возбудителей сухой гнили клубней картофеля.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись клубни картофеля с признаками сухой гнили. Для морфологических исследований осуществляли выделение чистых культур возбудителей на питательных средах, после чего проводили описание макроскопических характеристик колоний и микроскопическое изучение структурных особенностей. Молекулярная идентификация включала выделение геномной ДНК, амплификацию генов мишени, секвенирование полученных фрагментов и последующее сопоставление последовательностей с данными международной базы GenBank для определения вида изоляционных штаммов. Патогенность выделенных штаммов оценивали путём искусственного заражения здоровых клубней.

Результаты и обсуждение. В результате из клубней картофеля с симптомами сухой гнили были выделены изоляты, принадлежащие родам *Alternaria*, *Talaromyces*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*. Тест на патогенность для изолятов рода *Alternaria*, *Talaromyces* и *Fusarium* показал, что все исследованные изоляты вызывали заболевание клубней с различной степенью поражения. Наибольшую агрессивность продемонстрировали гриб рода *Fusarium*, вызывая полную деградацию тканей клубней в течение двух месяцев экспозиции. Повторное выделение тех же культур из инфицированных тканей с подтверждением их идентичности по морфологическим и молекулярным признакам соответствует постулатам Коха и подтверждает связь между патогеном и заболеванием.

Закключение. Проведённый филогенетический анализ представителей рода *Fusarium* показал, что различные виды формируют чётко разграниченные и статистически поддерживаемые группы, что свидетельствует об их генетической разнородности и подтверждает обоснованность видовой классификации при использовании мультилокусного подхода. Казахстанский изолят *Fusarium sporotrichioides* сгруппировался с эталонным эпитипным штаммом, что надёжно подтверждает его таксономическую идентичность на основе маркеров: внутреннего транскрибируемого спейсера (ITS) и фактора элонгации трансляции 1-альфа (TEF-1 α).

Ключевые слова: *Fusarium*; ITS; TEF-1 α ; сухая гниль.

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) в мировой структуре возделывания пищевых растений занимает одно из ведущих мест. Это основной продукт питания для 1,3 миллиарда человек с мировым производством более 368 млн т в 2018 году [1]. Более 159 стран занимаются выращиванием картофеля, в настоящее время известно более 5000 сортов этой культуры [2]. Расчетная потенциальная продуктивность культуры в оптимальных условиях может составлять 60-100 т/га [3].

В современных условиях, когда картофель выращивается в больших масштабах, экономически не оправданы потери продукции на завершающих операциях технологического цикла. Картофель может поражаться с заметным экономическим ущербом примерно 54 видами фитопатогенных грибов, 39 видами вирусов, 19 видами нематод, 3 видами фитоплазм, 11 видами бактерий. Значительная часть полученного урожая, от 30 до 60%, может быть потеряна при хранении [4-5].

В Казахстане возбудителями сухой гнили могут быть грибы *F. oxysporum*, а также другие виды этого рода [6-8].

По данным российских исследователей в качестве возбудителей гнилей и увядания картофеля выявлены представители семи комплексов видов фузариевых грибов – *Fusarium sambucinum*, *F. oxysporum*, *F. tricinctum*, *F. incarnatum-equiseti*, *F. redolens*, *F. solani* и *F. nisikadoi* [9]. В Татарстане основными возбудителями сухой гнили выделялись виды *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichioides*. По результатам клубневого картофеля анализа, проведенного в этом регионе распространенность сухой фузариозной гнили составляла 77,8% [10, 11].

Идентификация возбудителей осуществляется с использованием, как морфологических характеристик, так и молекулярных методов, что обеспечивает более точное и надежное определение их видовой принадлежности. Для микромицетов, как известно, оптимальным для идентификации является *ITS* регион, он рекомендован как первичный ДНК-штрихкод для различных групп грибов [12].

Однако, для значительной части таксонов (~17%) было показано, что *ITS* является малоинформативным, поэтому они не могут быть надежно идентифицированы до видового уровня [13, 14]. Недостаточная информативность при использовании *ITS* может быть связана с недавно показанной внутригеномной изменчивостью для мультикопийных генов, которая в некоторых случаях может превышать межвидовую изменчивость (особенно это проблематично для видовых комплексов), что затрудняет идентификацию видов [15]. Вторичные ДНК-штрихкоды - в основном белок кодирующие участки (например, *TEF1-a*, *RPB1*, *RPB2*, *β -tubulin*, *CaM*), всё чаще внедряются для идентификации внутривидовых таксонов, где *ITS* не обеспечивает достаточной точности [16].

Как показал обзор научной литературы, исследованием таксономического статуса и вредоносности грибов, поражающих клубни картофеля, активно занимаются учёные во всех регионах мира, где данная культура широко возделывается. Эти исследования способствуют более успешной селекционной работе, направленной на создание сортов, устойчивых к возбудителям сухой гнили картофеля [17].

В связи с этим, изучение спектра патогенов, вызывающих сухую гниль клубней в условиях Казахстана, представляет особую актуальность и важность для обеспечения продовольственной безопасности страны.

Настоящее исследование направлено на комплексную идентификацию возбудителей сухой гнили картофеля с применением морфологических и молекулярных методов, а также тестирования патогенности выделенных изолятов. Полученные результаты могут служить основой для разработки эффективных стратегий контроля сухой гнили картофеля.

Материалы и методы

Объектами исследований были, пораженные сухой гнилью, клубни картофеля сортов казахстанской и зарубежной селекции: Бабаев, Үшқоңыр, Альянс, Памяти Конаева, Астана, Жанайсан, Аксор, Карасайский, Эдем, Тохтар, Нэрли, Тамаша, Болашақ, Диар, Улан, Тамыр, Гала, Коломба, Романо. Клубни картофеля для исследований были получены из ТОО «Казахский научно-исследовательский институт плодоовощеводства» (КазНИИ плодоовощеводства)

Алматынської області, фермерських господарств Костанайської області, фермерських і дачних господарств Акмолинської області в 2023-2024 роках.

Картофель в Алматынської вирощувався на темно-каштановій, среднесуглинистий ґрунті. В пахотному шарі ґрунту міститься 2,9-3,0% гумусу; 0,18-0,20% загального азоту; 0,19-0,20% валового фосфору. Клімат передгірної зони юго-востока Казахстану є різко континентальним. Середня температура липня 22-24 °С тепла, січня – 6-10 °С морозу. Річне кількість атмосферних опадів становить 350-600 мм.

В Костанайської області картофель вирощувався на чорноземах звичайних карбонатних. Потужність гумусового горизонту становила 40-80 см. Вміст гумусу – не менше 4%, азоту 0,4-0,7%. Клімат різко континентальний помірний. Характерними рисами є різкі сезонні і добові коливання температури, сухість повітря і часті сильні вітри. Середня температура липня – 21,5 °С, січня – -15 °С. Середньорічне кількість опадів – 290-360 мм.

В Акмолинської області ґрунту, на яких вирощувався картофель, були темно-каштанові карбонатні з вмістом гумусу 2,9%. Вміст рухомих форм поживних речовин дуже низький – нітратний азот 2,01 мг/кг, рухомий фосфор – 3,85 мг/кг. Клімат території різко континентальний, середньорічна температура повітря позитивна і становить +1,7 °С. Характерним кліматичним фактором є опади, від кількості і часу випадіння яких залежить урожайність вирощуваних культур. Середньорічна сума опадів 301,2 мм з нерівномірним розподілом по вегетації, літній період характеризується сухістю.

В роки досліджень 2023-2024 метеорологічні умови суттєво не відрізнялися від середніх багаторічних даних. На більшій частині території Казахстану за 2023-2024 роки опадів випало або близько норми, або трохи більше норми. Максимально перевищена річна норма в Акмолинської області. Літом значення середньої по країні аномалії температури повітря літом становило 0,93 °С, очаг негативних аномалій займав Костанайська області. Найбільші перевищення середніх температур були в Алматынської області [18, 19].

Нами був проведений комплекс методів дослідження отриманого матеріалу, включаючий макроскопічний (патогRAFічний), мікроскопічний, мікробіологічний методи.

Макроскопічний (патогRAFічний) метод дозволяє діагностувати хворобу неозброєним оком або за допомогою лупи. Згідно цьому методу, збудитель хвороби визначається за характерними плодовими тілами, спороношенням, а також за ознаками патологій. На основі цих ознак можна встановити тип хвороби (таблиця 1).

Таблиця 1 – Симптоми ураження клубней картофеля, за макроскопічним аналізом [20]

№	Макроскопічний аналіз	Хвороба
1	На клубнях видно сіро-бурі, трохи вдавнені плями, м'якоть рихла, буровата з порожнечами, заповнені мицелієм гриба. Існують складки покривної тканини навколо місця первинного плями. На поверхні складок утворюються рихлі подушечки спороношення грибів. Появляються жовтуваті, рожеві або білі подушечки. При глибокому ураженні пробкова тканина і м'якоть чорніє, клубень висихає, стає легким і твердим.	Фузаріозна гниль
2	На поверхні клубней, утворюються різко відмінні від здорової частини вдавнені плями неправильної форми, більш темні, ніж покривна тканина. На поверхні великих плям існують морщини, розташовані по колу. На розрізі в місцях некрозу тканини клубня загнивають за типом сухої гнилі, перетворюючись в щільну, тверду, суху чорно-коричневу масу, різко відмінну від здорової тканини.	Альтеріоз, макроспориоз

Для більш точного визначення збудителя зазвичай застосовують додаткові методи, як правило, в лабораторних умовах.

Мікроскопічний метод використовувався для визначення виду збудителя і встановлення наявності патогена в тканинах рослини. Завдяки мікроскопії можливо виявити характерні ознаки, притаманні конкретному патогену, такі як форма і колір спор у грибів.

Определения зараженности клубней картофеля. Для получения чистых культур микроорганизмов, стерильно переносили выросшие гифы или споронии на агаризованные среды, которые содержали антибиотик тетрациклин, для предотвращения роста нежелательных микроорганизмов. В дополнение к этим методам применяли изоляцию по одной гифе, которая переносилась на отдельную чашку Петри с питательной средой, что способствовало получению однородных, чистых культур.

Используемые питательные среды включали: овсяной агар, среду Чапека, картофельно-глюкозный агар, Сабуро, Ниберенга и голодный агар с листьями гвоздики. Эти среды обеспечивают оптимальные условия для роста различных видов микромицетов и позволяют их идентификацию и последующий анализ.

Идентификация микромицетов осуществлялась на основе морфолого-культуральных признаков с использованием методов световой микроскопии на микроскопах (MICROS, Austria), при общем увеличении $\times 100$, $\times 600$, $\times 1000$ раз. Для установления видовой принадлежности гриба использовали определители [21-23].

Анализ патогенности штаммов выделенных изолятов к клубням картофеля проводили по методике, предложенной Т.Ю. Гагжаевой и др. (2023) [24]. Клубни картофеля сорта гала (урожай 2024 г.) поверхностно обрабатывали 5% гипохлоритом натрия в течение 2-3 мин, промывали дистиллированной водой и высушивали при комнатной температуре. В столонной части делали отверстие глубиной 20 мм и шириной 5 мм. Из культур грибов, предварительно выращенных на Чапека в течение 7 суток, вырезали диски диаметром 4 мм и помещали их внутрь отверстия в клубне, которое закрывали вырезанным цилиндром клубня. Одним штаммом инокулировали 3 клубня, затем помещали их в стеклянные кюветы, неплотно закрывали крышкой и инкубировали в течение 4 недель. В контрольном варианте в отверстие помещали диск чистой средой Чапека. При появлении ростков на клубнях, их удаляли. 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.

ДНК экстракция и ПЦР амплификация. Геномную ДНК выделяли по протоколу цетилтриметиламмоний бромид (СТАБ) [25] с некоторыми модификациями: вместо сбора мицелия с агаровой поверхности мицелий выращивали в жидкой среде Чапека и собирали биомассу центрифугированием. Амплификация целевых регионов проводилась методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в общем объеме 30 мкл. Смесь ПЦР содержала 5 мкл ДНК, 1 единицу Taq DNA полимеразы (ThermoFisher), 0,2 mM каждого дНТФ, 10 $\times$ буфер KCl (ThermoFisher), 2,5 mM MgCl₂, и 10 пмоль каждого праймера. Программа амплификации включала следующие этапы: начальную денатурацию при 94 °C в течение 5 мин; 30 циклов, состоящих из денатурации при 95 °C в течение 30 сек, отжига при 52 °C в течение 40 сек для регионов *ITS1-5.8S rDNA-ITS2* рибосомной ДНК и фактора элонгации трансляции 1- α (*TEF-1 α*) [26], и элонгации при 72 °C в течение 50 сек; конечная элонгация при 72 °C в течение 7 мин. ПЦР проводился с использованием амплификатора SimpliAmp (Applied Biosystems). Олигонуклеотидные праймеры, использованные в данном исследовании, были синтезированы в Лаборатории разработки средств молекулярной диагностики (Астана, Казахстан). Секвенирование выполняли с использованием набора BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems) в соответствии с инструкциями производителя, а последующее разделение фрагментов осуществляли на автоматическом генетическом анализаторе 3730xl DNA Analyzer (Applied Biosystems). Анализ и сборка нуклеотидных последовательностей выполнялись с использованием программного обеспечения SeqMan (DNA Star). Концевые фрагменты, включая участки с низким качеством прочтения и последовательности праймеров, были удалены.

Молекулярная идентификация и филогенетический анализ. Молекулярная идентификация была проведена для подтверждения таксономической принадлежности грибных изолятов, первоначально определённых на основе морфологических признаков, из пораженных сухой гнилью, клубней картофеля. Для этого были амплифицированы фрагменты ядерного генома, включающие ITS, а также TEF-1 α , после чего они были секвенированы. Полученные последовательности были выровнены и отредактированы для формирования

консенсусных последовательностей. Далее выровненные последовательности сравнивались с зарегистрированными в базе данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) с использованием инструмента Basic Local Alignment Search Tool (Blast). Множественное выравнивание последовательностей было выполнено с использованием программного обеспечения Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA11). На основе этих данных построено филогенетическое дерево методом ближайших соседей (Neighbour Joining, NJ). Поддержка ветвей оценивалась с использованием бутстрэп-анализа, проведенного с 1000 репликациями. Позиции, содержащие пропуски или отсутствующие данные, были исключены посредством опции полного удаления.

Результаты и обсуждение

В результате исследований было выделено 37 изолятов микромицетов. Грибы вида *Alternaria alternata*, в количестве пяти, были выделены из пораженных клубней, выращенных в Акмолинской и Костанайской областях. Три изолята *Talaromyces ucrainicus* выделены из клубней картофеля, пораженных сухой гнилью, в Акмолинской области. Наибольшее количество изолятов принадлежало грибам рода *Fusarium*, из них 24 изолята *F. Sporotrichioides* выделены из клубней картофеля с признаками сухой гнили в Акмолинской, Костанайской и Алматинской областях. Изоляты *F. oxysporum*, *F. solani* и *F. acuminatum* были выделены только в Алматинской области (таблица 2).

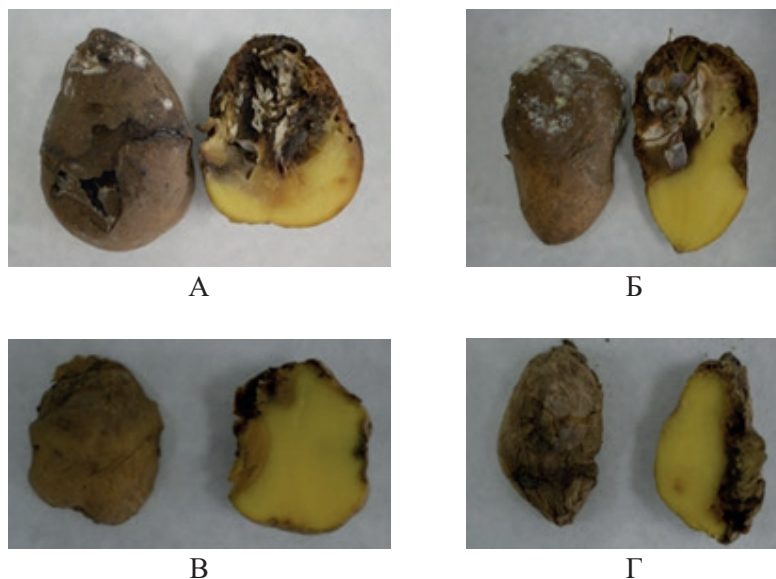
Таблица 2 – Изоляты микромицетов, выделенных из клубней картофеля с симптомами сухой гнили

№ п/п	Идентифицированный вид	Количество изолятов	Сорт картофеля	Место отбора образцов
1	<i>Alternaria alternata</i>	5	Гала, Коломбо, Родрига, Болашак, Тамаша	Акмолинская, Костанайская области
2	<i>Talaromyces ucrainicus</i>	3	Гала, Коломбо, Родрига	Акмолинская область
3	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	24	Гала, Коломбо, Родрига, Болашак, Тамаша, Аксор, Ушкоңыр, Бабаев, Нэрли	Акмолинская, Костанайская, Алматинская области
4	<i>Fusarium oxysporum</i>	1	Тамыр	Алматинская область
5	<i>Fusarium solani</i>	2	Үшкоңыр	Алматинская область
6	<i>Fusarium acuminatum</i>	1	Болашак	Алматинская область
7	<i>Fusarium graminearum</i>	1	Не установлен	Акмолинская область

Культурально-морфологические признаки, выделенных микромицетов. Основная причина порчи картофеля при его хранении – это активное развитие микроорганизмов. Ассоциации микромицетов на клубнях картофеля представляют сложные комплексы различных классов этого царства. Подавляющая часть фитопатогенных микромицетов заражает клубни картофеля еще на материнском растении во время вегетации, а также во время уборки и транспортировки, что в последствии вызывает заболевания хранения полученной продукции.

Для проведения анализа по выделению изолятов и видовой идентификации возбудителей сухой гнили картофеля было проанализировано более 300 клубней картофеля, полученных с Алматинской (КазНИИ плодовоовощеводства), Костанайской области (фермерские хозяйства) и Акмолинской области (фермерские и дачные хозяйства).

На пораженных микромицетами клубнях картофеля мы наблюдали различные симптомы поражения (рисунок 1).



А, Б - клубни картофеля, пораженные возбудителями фузариозной гнилью;
В, Г - клубни картофеля, пораженные смешанной гнилью

Рисунок 1 – Пораженные клубни картофеля, представленные для фитопатологического и микробиологического анализа

Нами были проанализированы клубни картофеля с явными признаками поражения их сухой гнилью. Из пораженных клубней картофеля на питательных средах были выделены микромицеты родов *Alternaria*, *Talaromyces*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*.

При культивировании на питательных средах нами были изучены морфологические и культуральные признаки микромицетов. Колонии гриба рода *Alternaria* на 7 сутки были диаметром до 15 мм, круглой формы, края колоний были мицелиального типа, цвет молодых колоний в возрасте 3 суток зеленоватый, с возрастом становился коричнево-черным. Конидиеносцы в мицелии были простыми или разветвленными, одиночными или в пучках, коричневатые, конидии одиночные или в цепочках, иногда разветвленных с одной или тремя перегородками, от яйцевидные до цилиндрических форм, в верхней части у многих видов вытянутые в шейку. Микромицет по культурально-морфологическим признакам был идентифицирован как *A. alternata* (рисунок 2).

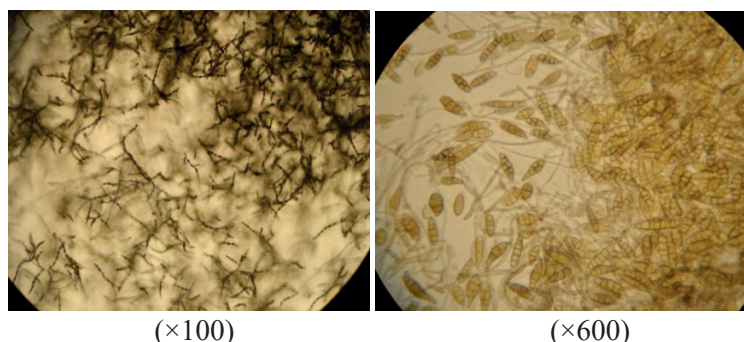


Рисунок 2 – Микроскопирование микромицетов рода *Alternaria*

Колонии микромицета рода *Penicillium* бархатистые, почти войлочные, вначале белые, потом голубовато-зеленые, реверс тускло-персикового цвета до мясного при старении. Конидии эллипсоидальные, яйцевидные или почти шаровидные, шероховатые (рисунок 3). Известно, что грибы этого рода являются сопутствующей инфекцией и часто выделяются из сельскохозяйственной продукции при хранении.

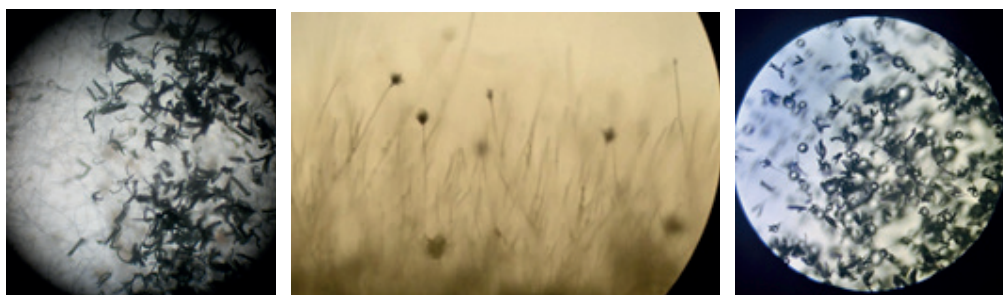


Рисунок 3 – Микроскопирование микромицетов рода *Penicillium* (×100)

Колонии микромицета рода *Talaromyces* (рисунок 4) были желтой окраски ограниченно-растущие, воздушный мицелий жёлтый, реверс имел зеленовато-желтоватую окраску, конидиеносцы были двухъярусные, конидии яйцевидные, гладкостенные. Микромицет был идентифицирован как *T. ucrainicus*.

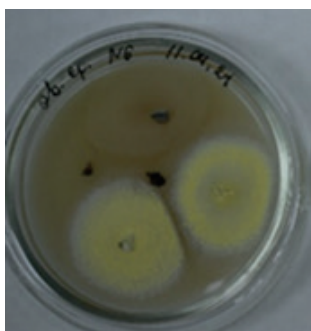
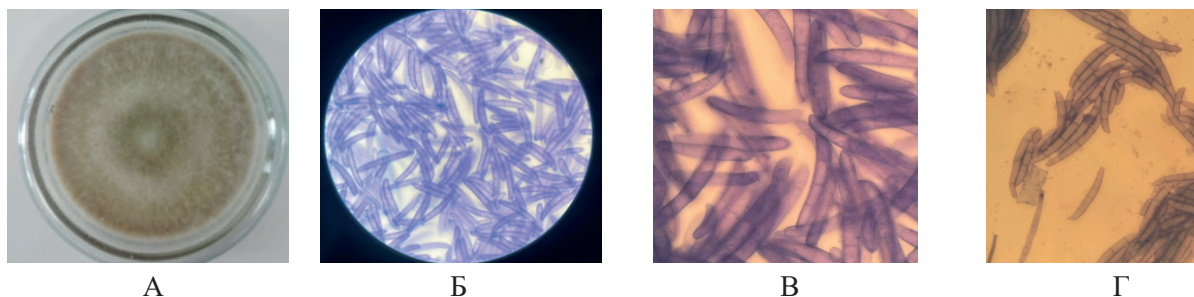


Рисунок 4 – Морфологические признаки рода *Talaromyces*, выделенных из клубней картофеля

Мицелий у большинства изолятов *Fusarium* spp. поверхностный, от хлопьевидного до войлочного, клочковатый, часто редкий, иногда рост его был концентрическими кругами. Окраска мицелия изолятов была кремовая, бледно-персиковая. Окраска реверса варьировала от кремового до бледно-персикового, в зависимости от старения культуры. Спороношение обильное, макроконидии образуются на густо ветвящихся конидиеносцах в воздушном мицелии или редуцированных до палисадного слоя фиалидах (рисунок 5).



А

Б

В

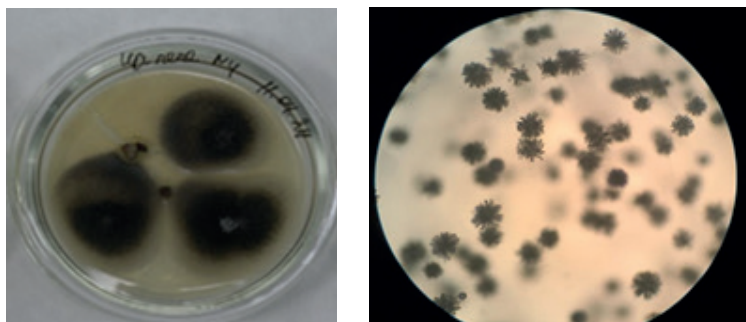
Г

А - Морфология колоний грибов рода *Fusarium*; Б - Микроскопирование микромицетов рода *Fusarium* (×600); В - Микроскопирование микромицетов рода *Fusarium* (×1000); Г - Микроскопирование микромицетов рода *Fusarium* (×1000)

Рисунок 5 – Морфологические признаки грибов рода *Fusarium*, выделенных из пораженных сухой гнилью, клубней картофеля

В мире более 13 видов *Fusarium* вызывают заболевание картофеля сухой гнилью [27-29]. Зачастую, микромицеты *A. alternata* и грибы родов *Fusarium* spp. образуют патоккомплексы на растениях картофеля [30, 31].

Колонии *Aspergillius niger* черные, рыхлые с порошкообразной поверхностью, конидиеносцы светло-коричневые, с конидиальной головкой на вершине (рисунок 6). Конидии шаровидные, мелкошиповатые.



А - Морфология колоний *Aspergillius niger*;
Б - Микроскопирование микромицетов *Aspergillius niger* (×100)

Рисунок 6 – Морфологические признаки рода *Aspergillius niger*,
выделенных из клубней картофеля

Об ухудшении фитосанитарного и санитарного состояния растений на полях и в картофелехранилищах за счет значительного развития на листьях и клубнях картофеля грибов из рода *Aspergillus*, а также родов *Alternaria*, *Fusarium* и др. отмечают также ряд исследователей [32].

Изучение патогенности, выделенных микромицетов

Для изучения патогенности некоторых видов микромицетов, выделенных из пораженных сухой гнилью клубней картофеля был заложен опыт в трехкратной повторности. В опыте по изучению патогенности использованы изоляты грибов *A. alternata*, *T. ucrainicus*, микромицеты *p. Fusarium*. Все выделенные изоляты проявили патогенность к клубням картофеля в тестах, развивая симптомы, схожие с теми, которые были обнаружены в клубнях, из которых они были выделены. Практически во всех случаях уже через 3 суток после инфицирования в клубнях, в месте внесения инфекции, появлялись очаги сухой гнили. При визуальном осмотре клубней в вариантах, инокулированных микромицетами вокруг инокуляционного канала были разрушены основные ткани, образовывались углубления разного размера, иногда формировался воздушный мицелий на поверхности клубня. Ткань клубня под воздействием гриба усыхала, и в зависимости от агрессивности микромицета, происходило образование внутренних полостей разного размера, отделенных от внешне здоровой ткани границей от светло- до темно-коричневого цвета (рисунок 7).



А - Контроль; Б - *A. alternata*; В - *T. ucrainicus*; Г - *p. Fusarium*
Рисунок 7 – Изучение патогенности изолятов микромицетов, выделенных
из пораженных сухой гнилью клубней картофеля (1 месяц экспозиции)

Поверхность образовавшейся полости была выстлана мицелием и спороношением гриба, а через 3 недели во всех случаях диаметр пораженного участка увеличивался, достигая, в зависимости от агрессивности изолята от 5 до 20 мм. Самый агрессивный изолят микромицета был из рода *Fusarium*, степень разрушения тканей на 25 день составила 65% (рисунок 8).

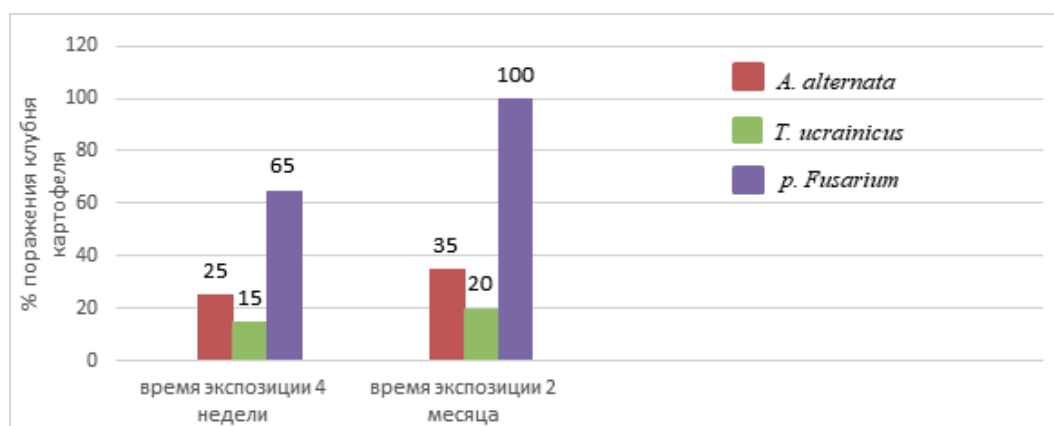


Рисунок 8 – Относительные размеры поражения клубней картофеля сорта Гала (некроз) при инокуляции штаммами микромицетов *A. alternata*; *T. ucrainicus*; *p. Fusarium*

Среднюю степень образования гнили при заражении здоровых клубней, вызывали изоляты гриба *A. alternata* до 25%, слабую – изоляты рода *T. ucrainicus* до 14%. Через два месяца экспозиции некрозы тканей клубня картофеля увеличились до 30 и 20% в первых вариантах. Инокулирование клубней мицелием грибов рода *Fusarium* полностью разрушили ткани клубня картофеля (рисунок 9).



А - Контроль; Б - *p. Fusarium*

Рисунок 9 – Клубни картофеля, пораженные сухой гнилью (2 месяца экспозиции)

Молекулярная идентификация и филогенетический анализ

Из инфицированных тканей картофеля были повторно выделены те же культуры, что и использованные для инокуляции, подтвержденные по морфологическим признакам и проведенному секвенированию, что соответствует постулатам Коха.

Среди представителей рода *Fusarium* изолят, выделенный из картофеля в Казахстане, был молекулярно подтвержден как *F. sporotrichioides* на основании анализа последовательностей двух маркеров, *TEF-1a* и *ITS*. Кроме того, на основании анализа одного маркера были идентифицированы и другие виды рода *Fusarium*, включая *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. acuminatum*, *F. graminearum*. Поиск в программе BLAST показал, что нуклеотидные последовательности *ITS*-региона исследованных изолятов имеют высокую степень гомологии с представителями видов *F. oxysporum*, *F. solani* и *F. acuminatum*. Выделенные казахстанские изоляты *F. oxysporum* оказались идентичны бельгийскому штамму (OW987875.1), а также французскому (OW985550.1) и пакистанскому штамму FCO4 (LR535800.1). Изолят *F. solani* показали идентичность с японским изолятом NH111 (AB498917), а *F. acuminatum* – с американским изолятом Scobey-MT (MK729582.1). Кроме того, один из изолятов был идентифицирован как *F. graminearum*, продемонстрировав 99,17% гомологии с референтной последовательностью (GenBank: ON216319.1).

Согласно литературным данным, виды *F. oxysporum* и *F. solani* ранее были выделены из клубней картофеля [33]. В то время как такие представители рода *Fusarium*, как *F. graminearum* и *F. acuminatum*, по данным исследований, чаще ассоциируются с заболеваниями других растений [34, 35].

Для надёжной идентификации *F. sporotrichioides* был проведен мультилокусный филогенетический анализ с использованием референтных последовательностей изолятов

Код изолята	Географический регион	Растение-хозяин	Вид	Номер GenBank (<i>ITS</i>)	Номер GenBank (<i>TEF-1α</i>)
ISO-1	Казахстан	Картофель	<i>F.sporotrichioides</i>		
23KaPT10_7	Россия	Картофель	<i>F.sporotrichioides</i>	PP093695.1	PP098296.1
F.sam-2	США	Картофель	<i>F. sambucinum</i>	PQ625445.1	PQ631360.1
F.oxу-2	США	Картофель	<i>F. oxysporum</i>	PQ625444.1	PQ631359.1
F.sol-1	США	Картофель	<i>F. solani</i>	PQ605423.1	PQ623321.1
N-43-1	Китай	Картофель	<i>F. acuminatum</i>	MT560377.1	MT749769.1
N-32-1	Китай	Картофель	<i>F. equiseti</i>	MT560375.1	MT749767.1
DR-5	Китай	Картофель	<i>F. nirenbergiae</i>	PP794585.1	PP795696.1
MP5	Индия	Не известен	<i>F. sambucinum</i>	OM190496.1	OM319357.1
F3	Китай	Картофель	<i>F. foetens</i>	OM370930.1	OM370932.1
SPL16046	Корея	Батат	<i>F. oxysporum</i>	KY508358.1	KY508346.1
SPL16128	Корея	Батат	<i>F. solani</i>	KY796230.1	KY796236.1
Fsa0737-R	Польша	Картофель	<i>F. sambucinum</i>	KC899117.1	KC899119.1

Phylogenetic tree showing the relationships between various *Fusarium* species and strains, based on ITS1-5.8S rDNA. The scale bar represents 0.02 substitutions per site.

- F.sam-2 Fusarium sambucinum* (US)
- Fsa0737-R Fusarium sambucinum* (PL)
- MP5 Fusarium sambucinum* (IN)
- ISO-1 Fusarium sporotrichioides* isolate (KZ)
- 23KaPT10 7 Fusarium sporotrichioides* (RU)
- N-32-1 Fusarium equiseti* (CN)
- F3 Fusarium foetens* (CN)
- DR-5 Fusarium nirenbergiae* (CN)
- SPL16046 Fusarium oxysporum* (KR)
- N-43-1 Fusarium acuminatum* (CN)
- F.sot-1 Fusarium solani* (US)
- SPL16126 Fusarium solani* (KR)
- CBS 119156 Neoneectria coccinea*

147

Заключение

За два года исследований в чистую культуру было выделено 37 изолятов микромицетов, участвующих в патологическом процессе разложения растительных тканей по типу «сухой» гнили. Идентификация возбудителей сухой гнили картофеля была выполнена на основе культурально-морфологических признаков и молекулярных маркеров (*ITS* и *TEF-1α*), что позволило достоверно установить их видовую принадлежность. Среди всего числа выделенных изолятов грибов 29 (74,5%) были отнесены к роду *Fusarium*. Из остальных идентифицированных грибов встречались *Alternaria alternata*, *Talaromyces ucrainicus*, а также грибы рода *Aspergillus*, *Penicillium*. В ходе теста на патогенность наибольшую агрессивность продемонстрировали грибы рода *Fusarium*, вызывая полную деградацию тканей клубней. Повторное выделение тех же культур из инфицированных образцов, с подтверждением их идентичности по морфологическим и молекулярным признакам, соответствует постулатам Коха и подтверждает причинно-следственную связь между патогеном и заболеванием. Кроме того, филогенетический анализ представителей рода *Fusarium* показал, что различные виды формируют чётко разграниченные и статистически поддерживаемые группы, что свидетельствует об их генетической разнородности и обоснованности видовой классификации при использовании мультилокусного подхода. Казахстанский изолят *Fusarium sporotrichioides* сгруппировался с эталонным штаммом-эпитипом, что надёжно подтверждает его таксономическую идентичность.

Вклад авторов

АМ и ЖЖ: методология, проведение анализа и подготовка первоначального варианта рукописи; АР и АЕ: исследование; АК: проектное управление, концептуализация, рецензирование и редактирование.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках научно-технической программы BR22885335 «Обеспечение устойчивого развития картофелеводства, овощеводства и бахчеводства в Казахстане на основе селекции, семеноводства, биотехнологии и инновационных агротехнологий» на 2024-2026 годы при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан.

Список литературы

- 1 Stokstad, E. (2019). The New Potato. Breeders Seek a Breakthrough to Help Farmers Facing an Uncertain Future. *Science*, 363, 574-577.
- 2 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Международный день картофеля*. <https://www.fao.org/international-potato-day/r>
- 3 Шафикова, ТН, Бояркина, СВ, Омеличкина, ЮВ, Таусон, ЕЛ, Федосеева, ИВ. (2008). Диагностика возбудителя кольцевой гнили в клубнях картофеля методом полимеразной цепной реакции. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 3, 4-8.
- 4 Игнатов, АН, Панычева, ЮС, Воронина, МВ, Джалилов, ФС. (2018). Бактериозы картофеля в Российской Федерации. *Картофель и овощи*, 1, 3.
- 5 Torres, MD, Fradinho, P., Rodríguez, P., Falqué, E., Santos, V., Domínguez, H. (2020). Biorefinery concept for discarded potatoes: Recovery of starch and bioactive compounds. *Journal of Food Engineering*, 275, 109886.
- 6 Асылбек, АМ, Рахимова, ЕВ, Мироненко, НВ, Сулейменова, СЕ, Красавин, ВФ, Ертаева, БА. (2016). Идентификация возбудителя фузариоза картофеля на юго-востоке казахстана. *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный)*, 4(91), 4-12.
- 7 Красавин, ВФ, Ертаева, БА, Красавина, ВК, Мошняков, АН, Шарипова, ДС. (2020) Адаптирование к внедрению зарубежных высокопродуктивных сортов картофеля на юго-востоке Казахстана. *Исследование, результаты*, 4(88), 249-254.

- 8 Хасанов, ВТ, Әжімахан, МӘ, Тулеева, АК, Ну, В., Zhang, Z. (2023). Идентификация вирусной инфекции и изучение устойчивости селекционного материала картофеля к сухой фузариозной гнили. *Вестник Кызылординского университета имени Коркыт Ата*, 2(65), 132-143.
- 9 Гагкаева, ТЮ, Орина, АС, Гаврилова, ОП, Трубин, ИИ, Хютти, АВ. (2025). Распространение фузариозной сухой гнили клубней картофеля в Российской Федерации. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 26 (1), 98-106.
- 10 Хадиева, ГФ, Лутфуллин, МТ, Акосах, ЙА. (2018). Анализ микромицетов рода *Fusarium*, изолированных из инфицированных клубней картофеля, выращенных в Республике Татарстан. *Достижения науки и техники АПК*, 3, 34-39.
- 11 Сираева, ЗЮ. (2020). Эффективность адаптивно-интегрированной защиты картофеля на высоком инфекционном фоне. *Биомика*, 12(3), 367-375.
- 12 Блохин, ЮИ, Соколова, ОА, Щербинина, ПК, Зейрук, ВН. (2023). Защита картофеля в период его вегетации и хранения. *Агропромышленные технологии Центральной России*, 1 (27), 122-128.
- 13 Lücking, R., Aime, MC, Robbertse, B., Miller, AN, Ariyawansa, HA, Aoki, T., Schoch, CL. (2020). Unambiguous identification of fungi: where do we stand and how accurate and precise is fungal DNA barcoding? *IMA fungus*, 11(1), 14.
- 14 Vu, D., Groenewald, M., De Vries, M., Gehrman, T., Stielow, B., Eberhardt, U., Verkley, GJM. (2019). Large-scale generation and analysis of filamentous fungal DNA barcodes boosts coverage for kingdom fungi and reveals thresholds for fungal species and higher taxon delimitation. *Studies in mycology*, 92(1), 135-154.
- 15 Paloi, S., Luangsa-Ard, JJ, Mhuanthong, W., Stadler, M., Kobmoo, N. (2022). Intragenomic variation in nuclear ribosomal markers and its implication in species delimitation, identification and barcoding in fungi. *Fungal Biology Reviews*, 42, 1-33.
- 16 Tekpinar, AD, Kalmer, A. (2019). Utility of various molecular markers in fungal identification and phylogeny. *Nova Hedwigia*, 109(1-2), 187-224.
- 17 Ганнибал, ФБ, Полуэктова, ЕВ, Гагкаева, ТЮ, Гомжина, ММ, Хютти, АВ. (2024). Грибы, ассоциированные с картофелем, и их значение как патогенов в России. *Новости защиты растений (Вестник Защиты Растений)*, 107(4), 148-164.
- 18 Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». (2023). *Обзор об особенностях климата на территории Казахстана 2023. года* <https://www.kazhydromet.kz/ru/post/2655>
- 19 Республиканское государственное предприятие «Казгидромет». (2024). *Обзор об особенностях климата на территории Казахстана*. https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/280/year_file_en/682ca255cbcd60bzorosobennostey-klimata_kazahstan-za-2024
- 20 Органическое Живое Земледелие. *Защита от болезней*. <https://www.bashinkom.ru/ojz/zashchita-ot-bolezney/bolezni-kartofelya/>
- 21 Bilai, VI. (1977). *Fusaria*. Kiev: Naukova Dumka Publ.
- 22 Gerlach, W., Nirenberg, H. (1982). The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas. *Mitt. Biol. Bundesans Land-Forstwirtschaft Berlin-Dahlem*.
- 23 Литвинов, МА. (1967). Определитель микроскопических почвенных грибов.
- 24 Гагкаева, ТЮ, Орина, АС, Трубин, ИИ, Гаврилова, ОП, Хютти, АВ. (2023). *Fusarium sambucinum* – возбудитель сухой гнили клубней картофеля. *Вестник защиты растений*, 106 (3), 137-145.
- 25 Carter-House, D., Stajich, J., Unruh, S., Kurbessoian, T. (2020). Fungal CTAB DNA Extraction. [dx.doi.org/10.17504/protocols.io.bhx8j7rw](https://doi.org/10.17504/protocols.io.bhx8j7rw)
- 26 Fungal Diseases. (2024). *Target Genes, Primer Sets, and Thermocycler Settings for Fungal DNA Amplification*. https://www.cdc.gov/fungal/hcp/laboratories/settings-for-dna-amplification.html?utm_source
- 27 Tiwari, RK, Kumar, R., Sharma, S., Sagar, V., Aggarwal, R., Naga, KC, Kumar, M. (2020). Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech*, 10, 1-18.
- 28 Azil, N., Stefańczyk, E., Sobkowiak, S., Chihat, S., Bouregghda, H., Śliwka, J. (2021). Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria. *European Journal of Plant Pathology*, 159(3), 495-509.

29 Белосохов, АФ, Ярмеева, ММ, Долгов, АМ, Миславский, СМ, Албантов, ГП, Курчаев, МЛ, и др. (2022). Грибы рода *Fusarium* на клубнях картофеля. *Современная микология в России*, 9, 250-252.

30 Приходько, ЕС, и др. (2019). Влияние метеусловий на развитие патоконплекса *Alternaria* - *Fusarium* в посадках картофеля. Земледелие и растениеводство. *Достижение науки и техники АПК*, 33(1), 14-22.

31 Приходько, ЕС, Смирнов, АН. (2019). Вредоносность патоконплекса Фузариоз – *Alternaria* в посадках картофеля. *Картофель и овощи*, 27-28.

32 Смирнов, АН, Смирнова, ОГ. (2019). Имунитет растений как фактор, сдерживающий сопряженные увядания растений в условиях урбанизированной среды. *Аграрная наука*, 2, 45-49.

33 Асылбек, АМ, Рахимова, ЕВ, Мироненко, НВ, Сулейменова, СЕ, Красавин, ВФ, Ертаева, БА. (2016). Идентификация возбудителя фузариоза картофеля на юго-востоке Казахстана. *Вестник Науки Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина*, 4(91), 4-12.

34 Гагкаева, ТЮ, Гаврилова, ОП, Левитин, ММ. (2014). Биоразнообразие и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium*. *Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера»*, 6(1), 36-45.

35 Аграрий Казахстана. Мониторинг микробного фона зерновых культур на протяжении десятилетий. <http://abkaz.kz/monitoring-mikrobnogo-fona-zernovykh-kultur-na-protyazhenii-desyatiletij>.

References

1 Stokstad, E. (2019). The New Potato. Breeders Seek a Breakthrough to Help Farmers Facing an Uncertain Future. *Science*, 363, 574-577.

2 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Mezhdunarodnyj den' kartofelya*. <https://www.fao.org/international-potato-day/ru>. [in Russ].

3 Shafikova, TN, Boyarkina, SV, Omelichkina, JV, Tauson, EL, Fedoseeva, IV. (2008). Potato ring rot pathogen detection by polymerase chain reaction in potato tubers. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 3, 4-8.

4 Ignatov, AN, Panycheva, YuS, Voronina, MV, Dzhililov, FS. (2018). Bakteriozy kartofelya v Rossiiskoi Federacii. *Kartofel' i ovoshchi*, 1, 3. [in Russ].

5 Torres, MD, Fradinho, P., Rodríguez, P., Falqué, E., Santos, V., Domínguez, H. (2020). Biorefinery concept for discarded potatoes: Recovery of starch and bioactive compounds. *Journal of Food Engineering*, 275, 109886.

6 Asylbek, AM, Rahimova, EV, Mironenko, NV, Sulejmenova, SE, Krasavin, VF, Ertayeva, BA. (2016). Identifikaciya vozбудitelya fuzarioza kartofelya na yugo-vostoke kazahstana. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina (mezhdisciplinarnyi)*, 4(91), 4-12. [in Russ].

7 Krasavin, VF, Ertayeva, BA, Krasavina, VK, Moshnyakov, AN, Sharipova, DS. (2020) Adaptirovanie k vnedreniyu zarubezhnyh vysokoproduktivnyh sortov kartofelya na yugo-vostoke Kazahstana. *Issledovanie, rezul'taty*, 4(88), 249-254. [in Russ].

8 Hasanov, VT, Əzhimahan, MƏ, Tuleeva, AK, Hu, B., Zhang, Z. (2023). Identifikaciya virusnoj infekcii i izuchenie ustojchivosti selekcionnogo materiala kartofelya k suhoj fuzarioznoj gnili. *Vestnik Kyzylordinskogo universiteta imeni Korkyt Ata*, 2(65), 132-143. [in Russ].

9 Gagkaeva, TYu, Orina, AS, Gavrilova, OP, Trubin, II, Hyutti, AV. (2025). Rasprostraneni fuzarioznoi suhoi gnili klubnei kartofelya v Rossiiskoi Federacii. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 26(1), 98-106. [in Russ].

10 Hadieva, GF, Lutfullin, MT, Akosah, JA. (2018). Analiz mikromicetov roda *Fusarium*, izolirovannyh iz inficirovannyh klubnej kartofelya, vyrashchennyh v Respublike Tatarstan. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 3, 34-39. [in Russ].

11 Siraeva, ZYu. (2020). Effektivnost' adaptivno-integrirrovannoi zashchity kartofelya na vysokom infekcionnom fone. *Biomika*, 12(3), 367-375. [in Russ].

12 Blohin, YuI, Sokolova, OA, Shcherbinina, PK, Zejruk, VN. (2023). Zashchita kartofelya v period ego vegetacii i hraneniya. *Agropromyshlennye tekhnologii Central'noi Rossii*, 1(27), 122-128. [in Russ].

- 13 Lücking, R., Aime, MC, Robbertse, B., Miller, AN, Ariyawansa, HA, Aoki, T., Schoch, CL. (2020). Unambiguous identification of fungi: where do we stand and how accurate and precise is fungal DNA barcoding? *IMA fungus*, 11(1), 14.
- 14 Vu, D., Groenewald, M., De Vries, M., Gehrman, T., Stielow, B., Eberhardt, U., Verkley, GJM. (2019). Large-scale generation and analysis of filamentous fungal DNA barcodes boosts coverage for kingdom fungi and reveals thresholds for fungal species and higher taxon delimitation. *Studies in mycology*, 92(1), 135-154.
- 15 Paloi, S., Luangsa-Ard, JJ, Mhuanong, W., Stadler, M., Kobmoo, N. (2022). Intragenomic variation in nuclear ribosomal markers and its implication in species delimitation, identification and barcoding in fungi. *Fungal Biology Reviews*, 42, 1-33.
- 16 Tekpinar, AD, Kalmer, A. (2019). Utility of various molecular markers in fungal identification and phylogeny. *Nova Hedwigia*, 109(1-2), 187-224.
- 17 Gannibal, FB, Poluektova, EV, Gagkaeva, TYu, Gomzhina, MM, Hyutti, AV. (2024). Griby, associirovannye s kartofelem, i ih znachenie kak patogenov v Rossii. *Novosti zashchity rastenij (Vestnik Zashchity Rastenij)*, 107(4), 148-164. [in Russ].
- 18 Respublikanskoe gosudarstvennoe predpriyatie «Kazgidromet». (2023). *Obzor obosobennostyah klimata na territorii Kazahstana 2023. goda* <https://www.kazhydromet.kz/ru/post/2655>. [in Russ].
- 19 Respublikanskoe gosudarstvennoe predpriyatie «Kazgidromet». (2024). *Obzor obosobennostyah klimata na territorii Kazahstana*. https://www.kazhydromet.kz/uploads/calendar/280/year_file_en/682ca255cbcd6obzorobosobennostey-klimata_kazahstan-za-2024 [in Russ].
- 20 Organicheskoe ZHivoe Zemledelie. *Zashchita ot boleznej*. <https://www.bashinkom.ru/ojz/zashchita-ot-bolezney/bolezni-kartofelya> [in Russ].
- 21 Bilai, VI. (1977). *Fusaria*. Kiev: Naukova Dumka Publ.
- 22 Gerlach, W., Nirenberg, H. (1982). The Genus *Fusarium* – a Pictorial Atlas. *Mitt. Biol. Bundesans Land-Forstwirtschaft Berlin-Dahlem*.
- 23 Litvinov, MA. (1967). *Opredelitel' mikroskopicheskikh pochvennykh gribov*. [in Russ].
- 24 Gagkaeva, TYu, Orina, AS, Trubin, II, Gavrilova, OP, Hyutti, AV. (2023). *Fusarium sambucinum – vzbuditel' suhoj gnili klubnej kartofelya. Vestnik zashchity rastenij*, 106(3), 137-145. [in Russ].
- 25 Carter-House, D., Stajich, J., Unruh, S., Kurbessoian, T. (2020). Fungal CTAB DNA Extraction. [dx.doi.org/10.17504/protocols.io.bhx8j7rw](https://doi.org/10.17504/protocols.io.bhx8j7rw)
- 26 Fungal Diseases. (2024). *Target Genes, Primer Sets, and Thermocycler Settings for Fungal DNA Amplification*. https://www.cdc.gov/fungal/hcp/laboratories/settings-for-dna-amplification.html?utm_source
- 27 Tiwari, RK, Kumar, R., Sharma, S., Sagar, V., Aggarwal, R., Naga, KC, Kumar, M. (2020). Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech*, 10, 1-18.
- 28 Azil, N., Stefańczyk, E., Sobkowiak, S., Chihat, S., Bouregghda, H., Śliwka, J. (2021). Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria. *European Journal of Plant Pathology*, 159(3), 495-509.
- 29 Belosohov, AF, YArmeeva, MM, Dolgov, AM, Mislavskij, SM, Albantov, GP, Kurchaev, ML, i dr. (2022). Griby roda *Fusarium* na klubnykh kartofelya. *Sovremennaya mikologiya v Rossii*, 9, 250-252. [in Russ].
- 30 Prihod'ko, ES, i dr. (2019). Vliyanie meteuslovij na razvitie patokompleksa *Alternaria - Fusarium* v posadkah kartofelya. *Zemledelie rastenievodstvo. Dostizhenie nauki i tekhniki APK*, 33 (1), 14-22. [in Russ].
- 31 Prihod'ko, ES, Smirnov, AN. (2019). Vredonosnost' patokompleksa *Fuzarioz – Alternaria* v posadkah kartofelya. *Kartofel' i ovoshchi*, 27-28. [in Russ].
- 32 Smirnov, AN, Smirnova, OG. (2019). Immunitet rastenii kak faktor, sderzhivayushchii sopryazhennye uvyadaniya rastenii v usloviyah urbanizirovannoi sredy. *Agrarnaya nauka*, 2, 45-49. [in Russ].
- 33 Asylbek, AM, Rahimova, EV, Mironenko, NV, Sulejmenova, SE, Krasavin, VF, Ertaeva, BA. (2016). Identifikaciya vzbuditelya fuzarioza kartofelya na yugo-vostoke Kazahstana. *Vestnik Nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta imeni S. Seifullina*, 4(91), 4-12. [in Russ].

34 Gagkaeva, TYu, Gavrilova, OP, Levitin, MM. (2014). Bioraznoobrazie i arealy osnovnyh toksinoproduciyushchih gribov roda Fusarium. *Mezhdisciplinarnyi nauchnyi i prikladnoi zhurnal «Biosfera»*, 6(1), 36-45. [in Russ].

35 Agrarii Kazahstana. *Monitoring mikrobnogo fona zernovyh kul'tur na protyazhenii desyatiletii*. <http://abkaz.kz/monitoring-mikrobnogo-fona-zernovyh-kul'tur-na-protyazhenii-desyatiletii> [in Russ].

Қазақстандағы картоптың құрғақ шірік ауруының негізгі қоздырғыштары болып табылатын микромицеттерді зерттеу

Муранец А.П., Жаныбекова Ж.Т., Есимсеитова А.К., Рыскельдина А.Ж.,
Какимжанова А.А.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Картоп (*Solanum tuberosum* L.) – әлемнің 159-дан астам елінде кеңінен өсірілетін, аса маңызды азық-түлік дақылдарының бірі. Өнімділік әлеуеті 60-100 т/га дейін жеткенімен, сақтау барысында фитопатогендердің әсерінен түйнектердің шіруі өнімнің 60% дейін жоғалуына себеп болуы мүмкін. Сақтау кезінде кездесетін фитопатогендердің ішінде түйнек ұлпасының шіріп кетуін тудыратын *Fusarium* туысына жататын саңырауқұлақтар аса қауіпті қоздырғыштар қатарына жатады. Зерттеу жұмысының мақсаты картоптың құрғақ шірік ауруының қоздырғыштарын кешенді түрде анықтау болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Осы зерттеудің нысаны ретінде құрғақ шірік белгілері бар картоп түйнектері алынды. Морфологиялық зерттеулер жүргізу үшін фитопатогендердің таза культуралары қоректік орталарда бөлініп алынып, кейін колониялардың макроскопиялық сипаттамасы мен құрылымдық ерекшеліктері микроскоп арқылы зерттелді. Молекулалық идентификацияға геномдық ДНҚ-ны бөліп алу, гендерді амплификациялау, алынған фрагменттерді секвенирлеу және алынған нуклеотидтік тізбектерді GenBank халықаралық дерекқорындағы мәліметтермен салыстыру арқылы бөлінген штаммдардың түрін анықтау кірді. Бөлініп алынған штаммдардың фитопатогендік қасиеттері сау картоп түйнектерін жасанды инокуляциялау арқылы бағаланды.

Нәтижелер. Құрғақ шірік белгілері байқалған картоп түйнектерінен *Alternaria*, *Talaromyces*, *Fusarium*, *Aspergillus* және *Penicillium* туыстарына жататын саңырауқұлақ изоляттары бөлініп алынды. Түрлік идентификация ДНҚ секвенирлеу әдісі арқылы жүзеге асырылды. *Alternaria*, *Talaromyces* және *Fusarium* туысына жататын изоляттарға жүргізілген патогендік тест нәтижесінде олардың барлығы картоп түйнектерінде ауру тудыра алатыны анықталды, алайда зақымдану дәрежесі әртүрлі болды. *Fusarium* туысының өкілдері ең жоғары агрессивтілік танытып, екі айлық инкубация кезеңінде түйнек ұлпаларының толық ыдырауына себеп болды. Инфекцияланған түйнек ұлпаларынан сол изоляттардың қайта бөлініп алынуы және олардың морфологиялық әрі молекулалық сипаттамалары бойынша бастапқы штаммен сәйкестігі Кох постулаттарына толық сәйкес келіп, патоген мен ауру арасындағы байланысты растайды.

Қорытынды. *Fusarium* туысына жататын саңырауқұлақтарға жүргізілген филогенетикалық талдау олардың генетикалық әртүрлілігін көрсетті: әртүрлі түрі анық ажыратылып, статистикалық тұрғыдан сенімді қолдау тапқан жеке кладалар түзді. Бұл нәтиже түрлік жіктеудің негізділігін дәлелдейтін мультилокустық талдау әдісінің тиімділігін көрсетеді. Қазақстаннан бөлініп алынған *F. sporotrichioides* изоляттарының эталонды эпителий штаммымен топтасуы *ITS* және *TEF-1α* маркерлері негізінде оның таксономиялық сәйкестігін сенімді түрде растайды.

Кілт сөздер: *Fusarium*; *ITS*; *TEF-1α*; құрғақ шірік.

Study of micromycetes causing dry rot disease of potatoes in Kazakhstan

Anna P. Muranets, Zhanargul T. Zhanybekova, Assel K. Yessimseitova, Anara Zh. Ryskeldina,
Almagul A. Kakimzhanova

Abstract

Background and Aim. The potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the world's most important food crops, cultivated extensively in more than 159 countries. Despite a high yield potential of 60-100 t/ha, post-harvest losses during storage can reach up to 60%, primarily due to tuber rot caused by phytopathogens. Among the diverse storage pathogens, fungi of the genus *Fusarium* – known for inducing tuber tissue decay, are particularly aggressive and destructive. This study aimed to comprehensively identify the causative agents of potato dry rot in Kazakhstan.

Materials and Methods. Potato tubers exhibiting dry rot symptoms were examined. Pathogens were identified using morphological and molecular methods, including microscopy, DNA sequencing, and comparison with GenBank data. Pathogenicity was assessed by artificial inoculation of healthy tubers to determine the disease-causing potential of each isolate.

Results. Fungal isolates belonging to the genera *Alternaria*, *Talaromyces*, *Fusarium*, *Aspergillus*, and *Penicillium* were recovered from potato tubers exhibiting symptoms of dry rot. Species-level identification was conducted using DNA sequencing. Pathogenicity tests on isolates from the genera *Alternaria*, *Talaromyces*, and *Fusarium* revealed that all tested isolates were capable of inducing disease in potato tubers, although the severity of tissue damage varied among them. Representatives of the *Fusarium* genus showed the highest aggressiveness, causing complete decay of tuber tissues within a two-month incubation period. The re-isolation of these fungi from infected tubers followed by morphological and molecular characterization, confirmed their consistency with the initial strains, thus fulfilling Koch's postulates and establishing the pathogen-disease relationship.

Conclusion. Phylogenetic analysis of *Fusarium* isolates revealed their genetic diversity, with Distinct species forming separate clades. This demonstrates the reliability of multilocus analysis techniques in species delineation. The *ITS* and *TEF-1α* markers confirmed that the isolate of *F. sporotrichioides*, obtained from Kazakhstan, grouped with a reference epitype strain, confirming its taxonomic identity.

Keywords: *Fusarium*; *ITS*; *TEF-1α*; dry rot.