

БИОЛОГИЯ ПОЧВ

ГРНТИ 68.05.45

DOI: 10.51886/1999-740X_2024_4_28

А.К. Туякова^{1*}, М.С. Уразова¹, С.М. Шайхин¹, А.М. Сатенова¹, А.С. Ергалиева¹БИОРАЗНООБРАЗИЕ МИКРОМИЦЕТОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ РИЗОСФЕРЫ
ГАЛОФИТНЫХ РАСТЕНИЙ КАЗАХСТАНА¹ТОО «Республиканская коллекция микроорганизмов», Z01B6F8, г. Астана,
ул. Ш. Уалиханова, 13/1, Казахстан, *e-mail: altynay_79@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследования биоразнообразия почвенных микроскопических грибов, выделенных в осенне-летний период из ризосферы галофитных растений, произрастающих на территории Акмолинской, Алматинской и Туркестанской областей (Казахстан). Для создания биопрепаратов, обеспечивающих стимуляцию роста и защиту посадочного материала в лесопарковых зонах и садоводческих хозяйствах, нами были выделены и проидентифицированы 352 культивируемых микроорганизмов, принадлежащие к родам *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Curtobacterium*, *Erwinia* и др. Всего нами было изучено 8 микроскопических грибов. Выделение и культивирование грибов проводили на среде Чапека при 28°C±2°C в течение 10 дней. Кроме использования методов исследования культурально-морфологических признаков грибов, были также применены и молекулярно-генетические. Идентификация с использованием метода сравнения нуклеотидных последовательностей, кодирующих ген 18S рРНК выделенных нами культур, показала, что разнообразие их ограничено представителями лишь трех родов: *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*, с доминированием последних двух.

Ключевые слова: солончак, плесневые грибы, микромицеты, биоразнообразие, галофитные растения, ризосфера.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время более 75% сельскохозяйственных земель Казахстана подвержены деградации, одной из основных причин является засоление. Избыток соли отрицательно влияет на структуры почв и в дальнейшем они могут стать непригодными для использования в земледелии.

Галофитные растения, произрастающие на засоленных почвах и солончаках, испытывая стресс, потребляют больше питательных веществ, в случае их недостатка, рост и развитие растений замедляется. Благодаря симбиотическим микроорганизмам, способным усваивать молекулярный азот, растения преодолевают дефицит веществ [1].

Галофиты, составляющие около 1% видов мировой флоры, могут восстанавливать поврежденные и недоиспользуемые среды и превращать их в

продуктивные сельскохозяйственные угодья, улучшая агробиоразнообразие и предотвращая деградацию почвы [2, 3].

В последние годы особый интерес вызывает разнообразие экстремофильных микроорганизмов и их совместная эволюция с растением в агрессивной среде. И к настоящему времени изучено достаточно много штаммов галофильных и солеустойчивых бактерий, выделенных из засоленных почв [4].

В солончаках микробные сообщества, взаимодействующие с ризосферой, филлосферой и эндосферой галофитов, включают в себя представителей доменов архей и бактерий, и царства грибов [5].

Почвенные микромицеты играют важную роль и оказывают решающее влияние на экосистемы, принимая участие в круговороте питательных веществ [6]. Отдельные виды микроорганизмов

изучены с целью прикладного использования их метаболитов [7, 8]. Несмотря на экологическую значимость почвенных грибов, выживающих в условиях засоления почвы, исследований, посвященных изучению биоразнообразия очень мало [9, 10].

Изучение разнообразия аборигенных штаммов микроорганизмов засоленных почв представляет научный интерес с перспективой практического использования их в различных отраслях биотехнологии [11, 12]. Глобальные экологические проблемы, такие как загрязнение окружающей среды, разрушение среды обитания в результате деятельности человека, рост населенных пунктов, использование пестицидов потенциально могут повлиять на разнообразие почвенных микромицетов [13].

Для эффективного лесоразведения и садоводства в Казахстане актуальна разработка биопрепаратов на основе аборигенных штаммов ризобактерий, максимально приспособленных к местам их применения. Данные биопрепараты позволят интенсифицировать процесс биологической трансформации фосфора и фиксации азота, будут подавлять рост и развитие фитопатогенных микроорганизмов, стимулировать рост саженцев и усиливать устойчивость растений к стрессам.

Целью данной работы являлось выделение и анализ таксономического разнообразия культивируемых почвенных грибов, выделенных из галофитных растений Казахстана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выделение и идентификация плесневых грибов. Объектами исследования послужили восемь изолятов плесневых грибов (ЛБ2, ПШЗ, ЛБ4, К5, Т6, К7, Т9, К10), выделенные из ризосферы галофитных растений. Отбор проб проводили по общепринятой методике в осенне-летний период в течение всего

вегетативного сезона 2023 г. Для выделения культур грибов использовался метод серийных разведений с дальнейшим высевом почвенной суспензии на плотную среду Чапека с последующим изолированием в чистую культуру и изучением культурально-морфологических признаков [14, 15]. Для первичной идентификации грибов использовали традиционные определители.

Выделение ДНК из грибов осуществлялось с использованием коммерческих наборов согласно протоколу производителя СТАВ методом.

Спектрофотометрическое определение концентрации ДНК выполнено на приборе NanoDrop 1000. Основными длинами волн, которые используются для измерения поглощения ДНК, являются 260 нм (УФ-область) и 280 нм (белковая компонента ДНК).

ПЦР (полимеразную цепную реакцию) проводили с праймерами ITS 5 5'-ggaagtaaaagtcgtaacaagg-3' и ITS 4 5'-tcctccgcttattgatatgc-3' в общем объеме 25 мкл. ПЦР-смесь содержала 15 нг ДНК, 1 единицу Taq ДНК-полимеразы (Fermentas), по 0,2 мМ каждого dNTP, 10-кратный буфер KCl (Fermentas), 2,5 мМ MgCl₂ и 10 пмоль каждого праймера. Программа ПЦР-амплификации включала первоначальную денатурацию при 95°C в течение 6 минут; 35 циклов: 94°C в течение 30 секунд, 52°C в течение 30 секунд и 72°C в течение 1 минуты; и окончательная элонгация при 72°C в течение 9 минут. Программу ПЦР выполняли с использованием термоциклера Simpli Amp (Applied Biosystems). Реакцию секвенирования проводили с использованием набора BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems) согласно инструкции производителя с последующим разделением фрагментов на автоматизированном генетическом анализаторе 3730xl DNA Analyser (Applied Biosystems) [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разнообразие и состав бактериальных сообществ ризосферы зависят не только от вида растения, но также и от свойств почвы. Хотя многообразные виды и даже генотипы растений формируют относительно уникальные ризобактериальные сообщества, которые могут быть во многом сходными либо неодинаковыми в разных условиях и географических регионах.

Ризосферная микробиота, известная как второй геном растений и включающая бактерии, грибы и оомицеты, тесно связана с ростом и иммунитетом растений. В последние десятилетия хорошо изучены типичные функцио-

нальные группы ризосферных микроорганизмов - ризобии, микоризные грибы и фитопатогены, влияющие на рост и иммунитет растений [17].

В данном исследовании выделены плесневые грибы из различных ризосфер галофитных растений: лебеды белой (*Atriplex cana*), полыни Шренка (*Artemisia schrenkiana*), кермека Гмелина (*Limonium gmelinii*) и тамарикса (*Tamarix*), произрастающих на территории Акмолинской, Алматинской и Туркестанской областей. При пересеве выделенных грибов на Чапека агар наблюдали колонии разной формы, размера и окраски. Изолированные колонии представлены на рисунке 1.

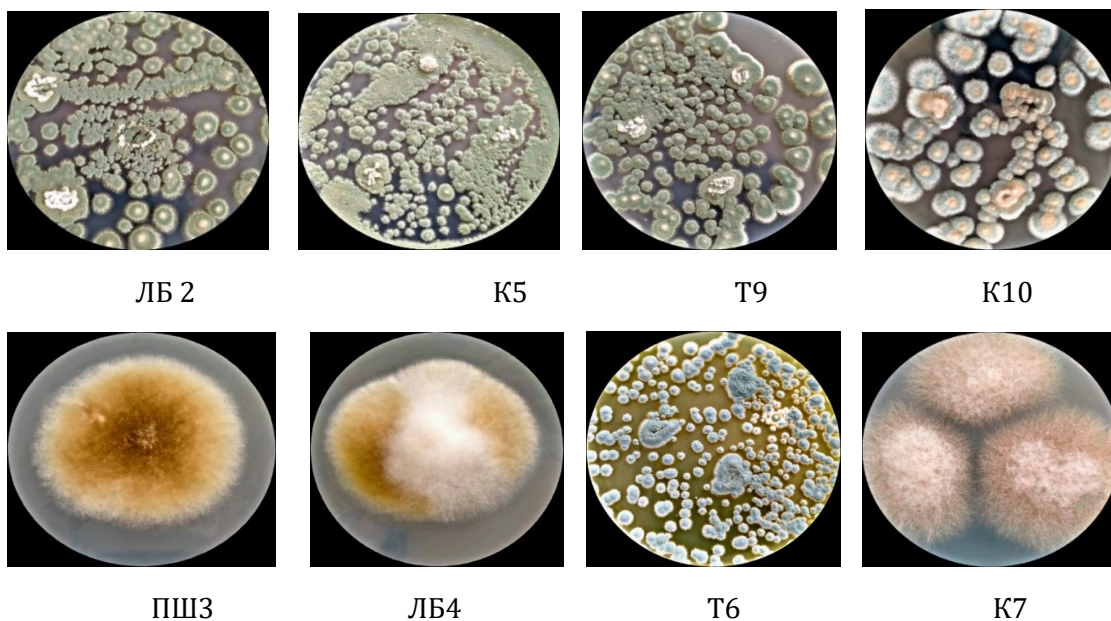


Рисунок 1 - Морфология изолированных колоний 5-дневных на среде Чапека

На чашках с выросшими плесневыми грибами наблюдались зеленоватого, коричневого и розового цвета колонии с пушистым, бархатистым

мицелием. В таблице 1 представлены морфологические признаки выделенных грибов.

Таблица 1 - Морфологические признаки исследуемых грибов

Изоляты выделенных грибов	Морфология колоний
ЛБ 2	колонии зеленоватого цвета, светлые бархатистые
ПШ3	колонии коричневого цвета, мицелий пушистый
ЛБ4	колонии коричневого цвета, мицелий пушистый
К5	колонии зеленоватого цвета, бархатистые, с белой каймой на периферии
Т6	цвет колонии зеленый, мицелий бархатистый
К7	мицелий бледно-розового цвета
Т9	колонии зеленоватого цвета, светлые бархатистые
К10	колонии зеленоватого цвета, бархатистые

Для установления точного таксономического анализа проведена молекулярно-генетическая идентификация грибов методом определения прямой нуклеотидной последовательности фрагмента *ITS* гена, с последующим определением нуклеотидной идентичности с последовательностями, депонированными в международной базе

данных Gene Bank, а также построением филогенетических деревьев с нуклеотидными последовательностями с референтных штаммов.

В анализ были включены нуклеотидные последовательности *ITS* гена, филогенетически наиболее связанных микроорганизмов.

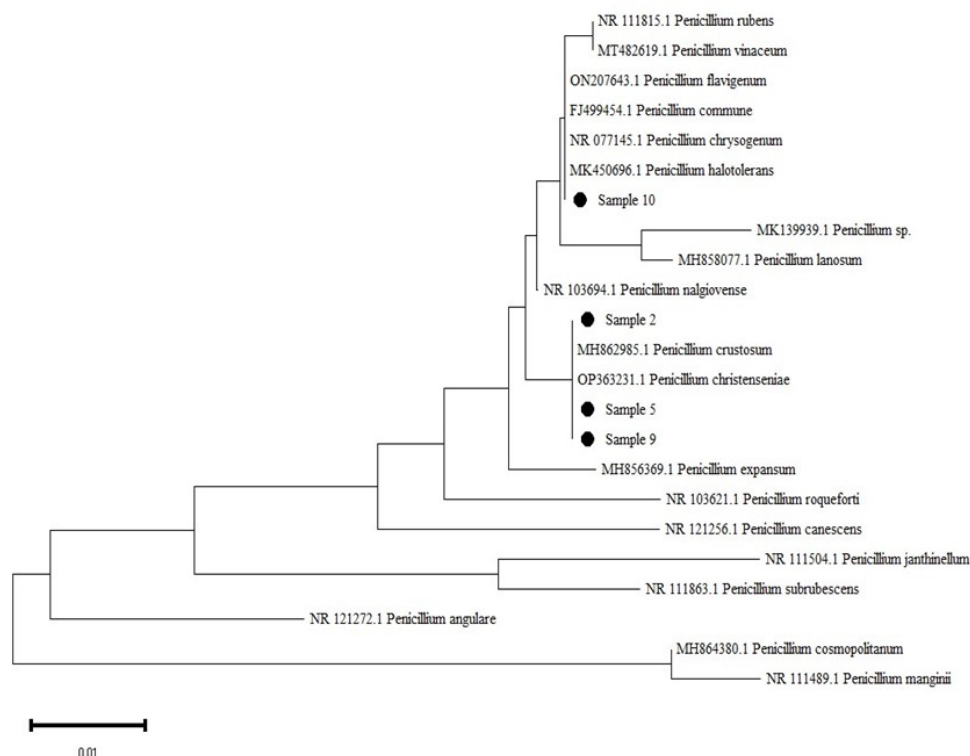


Рисунок 2 – Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа фрагмента гена *ITS* образцов 2 (ЛБ2), 5 (К5), 9 (Т9) и 10(К10)

Как видно на рисунке 2 штаммы 2 (ЛБ2), 5 (К5), 9 (Т9) расположены на одной ветки с *Penicillium crustosum*, *Penicillium christenseniae*, образец 10 (К10)

расположен на одной клade с *Penicillium halotolerans*, *Penicillium flavigenum*, *Penicillium commune*, *Penicillium chrysogenum*.



Рисунок 3 – Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа фрагмента гена ITS образцов 3 (ПШЗ), 4 (ЛБ4) и 6 (Т6)

На рисунке 3 изображено филогенетическое дерево построенное на основании анализа фрагмента гена *ITS* образцов 3 (ПШЗ), 4 (ЛБ4) и 6 (Т6). Как

видно на рисунке штаммы 3, 4 и 6 расположены на одной клade с *Alternaria tenuissima*, *Alternaria arborescens*, *Alternaria alternata*, *Alternaria burnsii*.

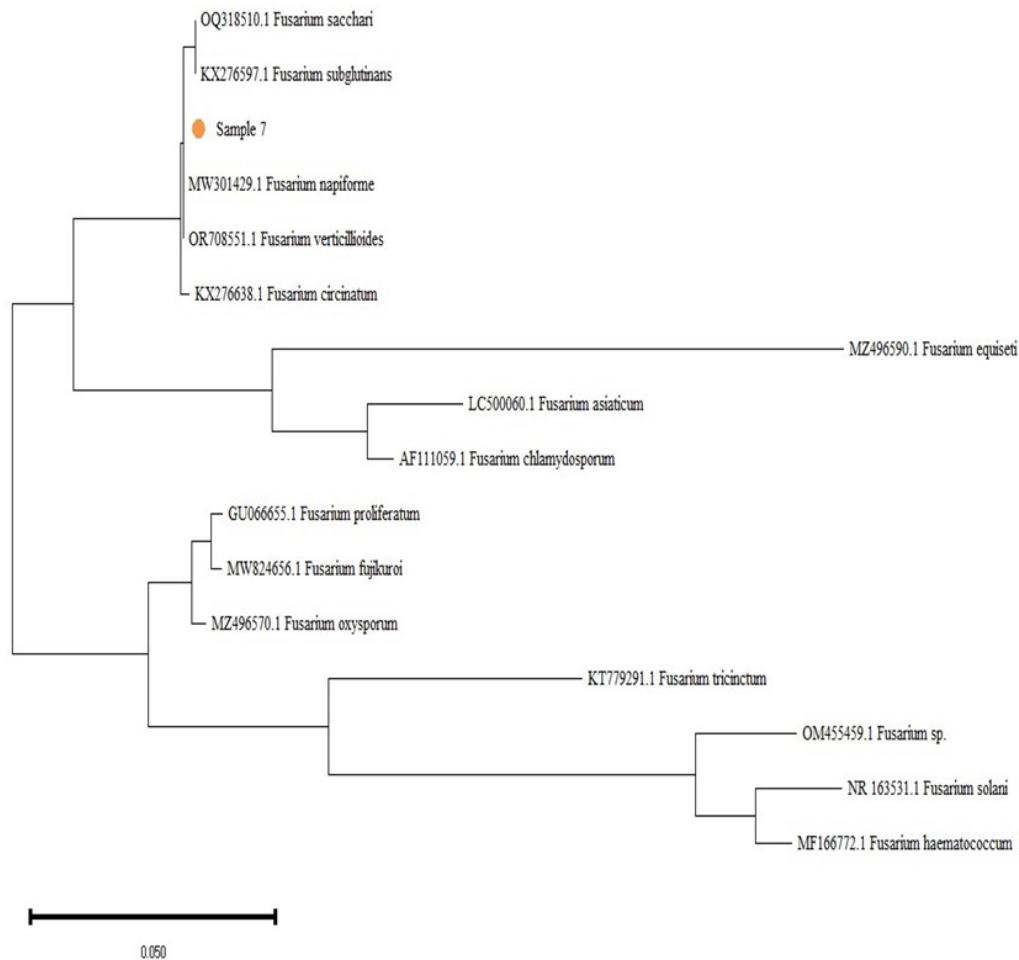


Рисунок 4 – Филогенетическое дерево, построенное на основании анализа фрагмента гена ITS образца 7 (K7)

На рисунке 4 изображено филогенетическое дерево построенное на основании анализа фрагмента гена *ITS* образца 7. Как видно на рисунке штамм 7(K7) расположен на одной кладе с *Fusarium napiforme* и *Fusarium verticillioides*.

Учитывая высокую идентичность *ITS*, у данных видов для достоверной идентификации требуется проведение анализа нуклеотидной последователь-

ности генов, кодирующих белки или фенотипический анализ.

Так, в составе галофильных микроорганизмов, изолированных из образцов ризосферы, выявлено присутствие плесневых грибов *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium*.

В таблице 2 представлены результаты молекулярно-генетической идентификации исследуемых грибов.

Таблица 2 – Результаты молекулярно-генетической идентификации исследуемых микромицетов

Изоляты дрожжей	Процент совпадения с референтными последовательностями (по GenBank)	Родовая принадлежность
ЛБ 2	99,84	<i>Penicillium</i>
ПШЗ	100	<i>Alternaria</i>
ЛБ4	100	<i>Alternaria</i>
К5	100	<i>Penicillium</i>
Т6	100	<i>Alternaria</i>
К7	100	<i>Fusarium</i>
Т9	100	<i>Penicillium</i>
К10	99,84	<i>Penicillium</i>

В результате исследования культивируемых почвенных грибов из ризосферы галофитных растений, выявлено, что их разнообразие существенно не отличалось. Из почвы ризосферы *Atriplex cana* были выделены штаммы *Alternaria* sp, *Penicillium* sp. Биоразнообразие ризосферы *Artemisia schrenkiana*, *Limonium gmelinii* представлено штаммами *Alternaria* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp. Образец почвы ризосферы *Tamarix* показал разнообразие штаммов *Penicillium* sp, *Alternaria* sp.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования ризосферы галофитных растений, произрастающих в Акмолинской, Алматинской и

Туркестанской областей, позволили отобрать 8 штаммов почвенных грибов. В ходе таксономического анализа микробиоты исследуемых образцов определено, что самыми распространенными родами являются *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium*, встречающиеся во всех исследованных образцах. Разнообразие микроскопических грибов в образцах растений и почвы из этих регионов, оказалось незначительным.

Данные исследования расширяют представления о биоразнообразии микромицетов и их возможностях расти и адаптироваться в экстремальных условиях, а также применение их в земледелии.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РК в рамках грантового финансирования по проекту AP19678528: «Получение биопрепаратов, обеспечивающих стимуляцию роста и защиту посадочного материала в лесопарковых зонах и садоводческих хозяйствах Казахстана» на 2023-2025 год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dodd I.C., Perez F.A. Microbial amelioration of crop salinity stress// Journal of Experimental Botany. – 2012. – Vol.63. - P. 3415–3428.
2. Duarte B., Caçador I. Iberian Halophytes as Agroecological Solutions for Degraded Lands and Biosaline Agriculture// Sustainability. -2021. – Vol. 13, № 2. - P. 1005.
3. Flowers T. J., Colmer T. D. Salinity tolerance in halophytes// New Phytologist. – 2008.-Vol. 179, № 4. - P. 945–963.
4. Андронов Е.Е. Изучение структуры микробного сообщества почв разной

степени засоления с использованием TRFLP и ПЦР с детекцией в реальном времени// Почвоведение. – 2012. - № 2. - С. 173-183.

5. Mukhtar S., Malik K. A., Mehnaz S. Microbiome of halophytes: Diversity and importance for plant health and productivity// Microbiol. Biotechnol. Lett. - 2019.-

- № 47 (1). - P. 1–10.

6. Swift M.J., Bohren S.E., Carter A.M., Izac P.L. Woomer Biological management of tropical soils: interacting process research and farm practice. - Chichester: TSBF/Wiley-Sayce Publication, 1994 – 252 p.

7. Lobanova K.V., Tashpulatov Zh.Zh., Pshenichnov E.A., Gulyamova T.G. Synthesis of bacteriorhodopsin by Halobacterium sodomense K91r// Chemistry of Natural Compounds. – 2011. - №47(5). - С. 862–863.

8. Кулонов А.И., Мирзарахметова Д.Т. Липиды умеренно галофильных бактерий соленого озера региона Аральского моря// Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн. - 2021. - № 12(90). - С. 20.

9. Бондаренко С., Георгиева М., Биланенко Е. Экстремофильные грибы на побережье гиперсоленого озера Баскунчак// Природа. - 2020. - №5. - С. 12-18.

10. Квеситадзе Э. Галофильность мицелиальных грибов, выделенных из солончаков Южного Кавказа// Biotechnologia Acta. - 2015.- Vol. 8, - №3. - С. 56-66.

11. Dighton J. Fungi in ecosystem processes. - New York. - 2003. - 432 p.

12. Халилова Э.А., Котенко С.Ц., Исламмагомедова Э.А., Гасанов Р.З., Абакарова А.А., Аливердиева Д.А. Экстремофильные микробные сообщества засоленных почв и их разнообразие в регионе Прикаспийской низменности// Аридные экосистемы. - 2017. – Т. 23, - № 2 (71). - С. 52-56.

13. Tsui K.M., Fryar S.C., Hodgkiss I.J., Hyde K.D., Poonyth A.D., Taylor J.E, 1998. The effect of human disturbance on fungal diversity in the tropics// Fungal Diversity. -1998. - Vol. 1. - P. 19-26.

14. Саттон Д. Определитель патогенных и условно-патогенных грибов. - М.: Мир, 2001.- 486 с.

15. Литвинов М.А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов. - Л.: Наука, 1969. - 128 с.

16. Berdimuratova K. T., Amirgazin A.O., Kuibagarov M.A., Lutsay V.B., Mukanov, K. K., Shevtsov A.B. Optimization of PCR Purification Using Silica Coated Magnetic Beads// Eurasian Journal of Applied Biotechnology. - №1.- 2020.

17. Van der Ent S., Van Wees S. C., Pieterse C. M. Jasmonate signaling in plant interactions with resistance-inducing beneficial microbes// Phytochemistry. – 2009.

– Vol. 70. – P. 1581–1588.

REFERENCES

1. Dodd I.C., Perez F.A. Microbial amelioration of crop salinity stress// Journal of Experimental Botany. – 2012. – Vol.63. - P. 3415–3428.

2. Duarte B., Caçador I. Iberian Halophytes as Agroecological Solutions for Degraded Lands and Biosaline Agriculture// Sustainability. -2021. – Vol. 13, - № 2. - P. 1005.

3. Flowers T. J., Colmer T. D. Salinity tolerance in halophytes// New Phytologist. – 2008. - Vol. 179, - № 4. - P. 945–963.

4. Andronov E.E. Izuchenie struktury mikrobnogo soobshhestva pochv raznoj stepeni zasoleniya s ispol'zovaniem TRFLP i PCR s detekciej v real'nom vremeni// Pochvovedenie. – 2012. - № 2. - S. 173-183.

5. Mukhtar S., Malik K. A., Mehnaz S. Microbiome of halophytes: Diversity and importance for plant health and productivity// Microbiol. Biotechnol. Lett. - 2019. - №47 (1). - P. 1–10.
6. Swift M.J., Bohren S.E., Carter A.M., Izac P.L. Woomer Biological management of tropical soils: interacting process research and farm practice. - Chichester: TSBF/Wiley-Sayce Publication, 1994 – 252 p.
7. Lobanova K.V., Tashpulatov Zh.Zh., Pshenichnov E.A., Gulyamova T.G. Synthesis of bacteriorhodopsin by Halobacterium sodomense K91r// Chemistry of Natural Compounds. – 2011. - №47(5). - S. 862–863.
8. Kulonov A.I., Mirzarahmetova D.T. Lipidy umerenno galofil'nyh bakterij solenogo ozero regiona Aral'skogo morja// Universum: Himiya i biologiya: jelektron. nauchn. zhurn. - 2021. - № 12(90). - P. 20.
9. Bondarenko S., Georgieva M., Bilanenko E. Jekstremofil'nye griby na poberezh'e gipersolenogo ozero Baskunchak// Priroda. - 2020. - № 5. - S. 12-18.
10. Kvesitadze Je. Galofil'nost' micelial'nyh gribov, vydelennyh iz solonchakov Juzhnogo Kavkaza// Biotechnologia Acta. - 2015.- Vol. 8, - № 3. - S. 56-66.
11. Dighton J. Fungi in ecosystem processes. - New York. - 2003. – 432 p.
12. Halilova Je.A., Kotenko S.C., Islammagomedova Je.A., Gasanov R.Z., Abakarova A.A., Aliverdieva D.A. Jekstremofil'nye mikrobyne soobshhestva zasolennyh pochv i ih raznoobrazie v regione Prikaspijskoj nizmennosti// Aridnye jekosistemy. - 2017. – T. 23, - № 2 (71). - S.52-56.
13. Tsui K.M., Fryar S.C., Hodgkiss I.J., Hyde K.D., Poonyth A.D., Taylor J.E, 1998. The effect of human disturbance on fungal diversity in the tropics// Fungal Diversity. - 1998. - Vol. 1. - P. 19-26.
14. Satton D. Opredelitel' patogennyh i uslovno-patogennyh gribov. - M.: Mir, 2001. - 486 s.
15. Litvinov M.A. Metody izuchenija pochvennyh mikroskopicheskikh gribov. - L.: Nauka, 1969. - 128 s.
16. Berdimuratova K. T., Amirgazin A.O., Kuibagarov M.A., Lutsay V.B., Mukanov, K. K., Shevtsov A.B. Optimization of PCR Purification Using Silica Coated Magnetic Beads// Eurasian Journal of Applied Biotechnology. - №1. - 2020.
17. Van der Ent S., Van Wees S. C., Pieterse C. M. Jasmonate signaling in plant interactions with resistance-inducing beneficial microbes// Phytochemistry. – 2009. – Vol. 70. – P. 1581–1588.

ТУЙІН

А.К. Туякова^{1*}, М.С. Уразова¹, С.М. Шайхин¹, А.М. Сатенов¹, А.С. Ергалиева¹
ҚАЗАҚСТАННЫҢ ГАЛОФИТТІ ӨСІМДІКТЕРІНІҢ РИЗОСФЕРАСЫНАН ОҚШАУЛАНҒАН
МИКРОМИЦЕТТЕРДІҢ БИОӘРТҮРЛІЛІГІ

¹«Микроорганизмдердің республикалық коллекциясы» ЖШС,
Z01B6F8, Астана қ, Шоқан Уәлиханов көшесі 13/1, Қазақстан,

*e-mail: altynay_79@mail.ru

Бұл жұмыста Ақмола, Алматы және Түркістан облыстарында (Қазақстан) өсетін галофитті өсімдіктердің ризосферасынан күзгі-жазғы кезеңде оқшауланған топырақтың микроскопиялық саңырауқұлақтарының биоәртүрлілігін зерттеу нәтижелері берілген. Орманды алқаптар мен бау-бақша шаруашылықтарында өсуді ынталандыратын және отырғызылатын материалды қорғайтын биологиялық өнімдерді жасау үшін біз Bacillus,

Pseudomonas, *Arthrobacter*, *Curtobacterium*, *Erwinia* және т.б. тұқымдастарға жататын 352 мәдени микроорганизмдерді оқшаулап, анықтадық. Барлығы 8 микроскопиялық саңырауқұлақтарды зерттедік. Саңырауқұлақтарды оқшаулау және өсіру Чапек ортасында $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ температурада 10 күн бойы жүргізілді. Саңырауқұлақтардың мәдени-морфологиялық сипаттамаларын зерттеу әдістерін қолданумен қатар, молекулалық-генетикалық әдістер де қолданылды. Біз бөліп алған дақылдардың 18S rRNA генін кодтайтын нуклеотидтер тізбегін салыстыру әдісін қолдану арқылы идентификация олардың әртүрлілігі соңғы екеуінің басымдылығымен тек үш тектес: *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium* өкілдерімен шектелетінін көрсетті.

Түйінді сөздер: сортаң, зеңдер, микромицеттер, биологиялық әртүрлілік, галофитті өсімдіктер, ризосфера.

SUMMARY

A.K. Tuyakova^{1*}, M.S. Urazova¹, S.M. Shaikhin¹, A.M. Satenov¹, A.S. Ergalieva¹
BIODIVERSITY OF MICROMYCETES ISOLATED FROM THE RHIZOSPHERE OF
HALOPHYTIC PLANTS OF KAZAKHSTAN

¹«Republican Collection of Microorganisms» LLP, Z01B6F8, Astana,
Valikhanov str, 13/1, Kazakhstan, *e-mail: altynay_79@mail.ru

This paper presents the results of a study of the biodiversity of soil microscopic fungi isolated in the autumn-summer period from the rhizosphere of halophytic plants growing in the Akmola, Almaty and Turkestan regions (Kazakhstan). To create biopreparations that stimulate growth and protect planting material in forest park zones and horticultural farms, we isolated and identified 352 cultivated microorganisms belonging to the genera *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Curtobacterium*, *Erwinia* and others. In total, we studied 8 microscopic fungi. Isolation and cultivation of fungi were carried out on Czapek medium at $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ for 10 days. In addition to using methods for studying the cultural and morphological features of fungi, molecular genetic methods were also used. Identification using the method of comparing nucleotide sequences encoding the 18S rRNA gene of the cultures we isolated showed that their diversity is limited to representatives of only three genera: *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*, with the latter two dominating.

Key words: solonchak, mold fungi, micromycetes, biodiversity, halophytic plants, rhizosphere.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Туякова Алтынай Камидоллаевна - научный сотрудник (лаборатория генетики и биохимии микроорганизмов), e-mail: altynay_79@mail.ru

2. Уразова Майра Салаватовна - ведущий научный сотрудник (лаборатория генетики и биохимии микроорганизмов), кандидат биологических наук, e-mail: urazova.maira01@gmail.com

3. Шайхин Серик Мурзахметович - главный научный сотрудник (лаборатория генетики и биохимии микроорганизмов), доктор биологических наук, e-mail: rkm_shaikhin@mail.ru

4. Сатенова Акбота Мейрамовна - научный сотрудник (лаборатория генетики и биохимии микроорганизмов), PhD докторант, e-mail: amsatenova01@gmail.com

5. Ергалиева Айгерим Сакеновна - научный сотрудник (лаборатория генетики и биохимии микроорганизмов), магистр биологических наук, e-mail: ergaliaigerim@gmail.com