УДК 574.22 ***DOI 10.52578/2305-9397-2025-4-3-132-140***
МРНТИ 34.27.23

Әбілда Ж.Қ., докторант, **основной автор**, https://orcid.org/0000-0001-8505-5243
Институт биологии и биотехнологии растений, г. Алматы, ул. Тимирязева 45, 050040, Казахстан, zemaletta@gmail.com
Дауров Д.Л., PhD, https://orcid.org/0000-0003-3073-4577
Институт биологии и биотехнологии растений, г. Алматы, ул. Тимирязева 45, 050040, Казахстан, dias.daurov@gmail.com
Канат Р., бакалавр, https://orcid.org/0009-0009-2418-5920
Институт биологии и биотехнологии растений, г. Алматы, ул. Тимирязева 45, 050040, Казахстан, udinjate.tt0ey@8shield.net
Чой Х., бакалавр, https://orcid.org/0009-0005-6091-4028
Институт биологии и биотехнологии растений, г. Алматы, ул. Тимирязева 45, 050040, Казахстан, h.choi@mail.ru
Бегалы А.Б., бакалавр, https://orcid.org/0009-0009-2848-336X
Институт биологии и биотехнологии растений, г. Алматы, ул. Тимирязева 45, 050040, Казахстан, abegaly15@gmail.com
Рамазанова Р.Х., кандидат сельскохозяйственных наук, https://orcid.org/0000-0002-2059-709X
ТОО "Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им.У.У.Успанова" г. Алматы, пр.Аль-Фараби 75В, 050060, Казахстан, soilkz@mail.ru
Танирбергенов С.И., PhD, https://orcid.org/0000-0002-6403-0984
ТОО "Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им.У.У.Успанова" г. Алматы, пр.Аль-Фараби 75В, 050060, Казахстан, soilkz@mail.ru
Жумагулова М.К., PhD, https://orcid.org/0000-0001-9392-3688
ТОО "Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им.У.Успанова" г. Алматы, пр. Аль-Фараби 75В, 050060, Казахстан, soilkz@mail.ru

Abilda Zh.K., PhD student, **the main author**, https://orcid.org/0000-0001-8505-5243
Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty, 050040, Kazakhstan, zemaletta@gmail.com
Daurov D.L., PhD, https://orcid.org/0000-0003-3073-4577
Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty, 050040, Kazakhstan, dias.daurov@gmail.com
Kanat R., Bachelor, https://orcid.org/0009-0009-2418-5920
Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty, 050040, Kazakhstan, udinjate.tt0ey@8shield.net
Choi H., Bachelor, https://orcid.org/0009-0005-6091-4028
Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty, 050040, Kazakhstan, h.choi@mail.ru
Begaly A.B., Bachelor, https://orcid.org/0009-0009-2848-336X
Institute of Plant Biology and Biotechnology, 45 Timiryazev St., Almaty, 050040, Kazakhstan, abegaly15@gmail.com
Ramazanova R.Kh., Candidate of Agricultural Sciences, https://orcid.org/0000-0002-2059-709X
LLP “Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U.Uspanov”, Almaty, Al-Farabi Ave. 75V, 050060, Kazakhstan, soilkz@mail.ru
Tanirbergenov S.I., PhD, https://orcid.org/0000-0002-6403-0984
LLP “Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U.Uspanov”, Almaty, Al-Farabi Ave. 75V, 050060, Kazakhstan, soilkz@mail.ru
Zhumagulova M.K., PhD, https://orcid.org/0000-0001-9392-3688
LLP “Kazakh Scientific Research Institute of Soil Science and Agrochemistry named after U.U.Uspanov”, Almaty, Al-Farabi Ave. 75V, 050060, Kazakhstan, soilkz@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ПОЛИВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ НА СОСТАВ МИКРОБИОТЫ ОКУЛЬТУРЕННЫХ ПОЧВ
THE EFFECT OF SUGAR BEET IRRIGATION REGIME ON THE COMPOSITION OF MICROBIOTA IN CULTIVATED SOILS

АННОТАЦИЯ

Засуха и техногенное загрязнение являются ключевыми факторами деградации почв и снижения продуктивности агроценозов. Одним из индикаторов устойчивости почвы является разнообразие и активность почвенного микробиома, включая микроорганизмы, обладающие ферментативной активность. Цель исследования выявить распространённость микро-организмов в почвах посевных площадей сахарной свёклы и оценить их значение как показателя устойчивости микробного сообщества в условиях агроэкосистем.

В работе представлен сравнительный анализ почвенного микробиома при двух типах орошения сахарной свеклы – традиционном (T1-T4) и капельном (D1-D3). Методом прямого выделения микроорганизмов идентифицировано 10 таксонов, включающих бактерии (*Bacillus cereus, Bacillus subtilis, Bacillus pseudomycoides, Escherichia coli, Klebsiella sp., Rhodococcus jostii, Thermobifida fusca)* и грибы *(Aspergillus niger, Rhizomucor pusillus, Coriolus versicolor*). Общая частота встречаемости микроорганизмов варьировала от 2 (*Thermobifida fusca*) до 14 (*Rhodococcus jostii и Coriolus versicolor*), что отражает их различную адаптивность к лимитирующему фактору – режиму полива.

Результаты показали, что капельное орошение способствует формированию более стабильного микробного консорциума за счёт оптимизации влагового режима и предотвращения резких колебаний влажности. Было установлено, что такие микроорганизмы, как *Rhodococcus jostii* и *Coriolus versicolor*, встречаются во всех образцах, что подтверждает их высокую устойчивость. Bacillus cereus показал широкую распространённость и высокую выживаемость, что указывает на его ключевую роль в регуляции почвенной активности.

ANNOTATION

Drought and man-made pollution are key factors in soil degradation and reduced agricultural productivity. One indicator of soil sustainability is the diversity and activity of the soil microbiome, including microorganisms with enzymatic activity. The aim of the study is to identify the prevalence of microorganisms in the soils of sugar beet cultivation areas and to assess their significance as an indicator of microbial community stability in agroecosystems.

The paper presents a comparative analysis of the soil microbiome under two types of sugar beet irrigation: traditional (T1–T4) and drip (D1–D3). Using the direct isolation method, 10 taxa were identified, including bacteria (*Bacillus cereus, Bacillus subtilis, Bacillus pseudomycoides, Escherichia coli, Klebsiella sp., Rhodococcus jostii, Thermobifida fusca*) and fungi (*Aspergillus niger, Rhizomucor pusillus, Coriolus versicolor*). The overall frequency of occurrence of microorganisms ranged from 2 (*Thermobifida fusca*) to 14 (*Rhodococcus jostii* and *Coriolus versicolor*), reflecting their varying adaptability to the limiting factor–irrigation regime.

The results showed that drip irrigation contributes to the formation of a more stable microbial consortium by optimizing the moisture regime and preventing sharp fluctuations in humidity. It was found that microorganisms such as *Rhodococcus jostii* and *Coriolus versicolor* are found in all samples, confirming their high resistance. Bacillus cereus showed widespread distribution and high survival rate, indicating its key role in regulating soil activity.

Ключевые слова: *капельное орошение, традиционное орошение, микроорганизмы, влажность почвы, сахарная свекла*

Key words: *drip irrigation, traditional irrigation, microorganisms, soil moisture, sugar beet*

Введение. Засуха является одним из основных факторов потери урожая с сельскохозяйственных земель [1]. Однако дефицит воды также выступает глобальной проблемой снижения урожайности и ухудшения качества получаемой продукции. Низкий уровень влажности крайне отрицательно влияет на биологическую активность почвы [2], поддержание которой зависит от ферментативной активности микроорганизмов. Бактерии рода *Bacillus* и *Klebsiella* способны к регулированию фитогормонов в почве [3], которые имеют влияние на скорость роста культур [4]. В том числе индол-3-уксусная кислота вырабатываемая *Bacillus subtilis* и *Bacillus cereus* увеличивает длину клубней и стеблей у клубнеплодных овощей [5]. *Aspergillus niger* производит фитазу, которая увеличивает рост побегов растений, *Rhizomucor pusillus* может производить высокоактивные декстриногенные и сахарогенные ферменты, которые до прорастания семян находятся в неактивной форме [6].

Сообщества микроорганизмов могут различаться в зависимости от факторов среды, в том числе влажности, типа почвы и преобладания тех или иных микро и макроэлементов [7]. Таким образом наличие и разнообразие почвенных микроорганизмов – это один из признаков устойчивости и эффективности агроценоза [8].

Особенностью агроценозов является постоянное поддержание системы человеком. При котором лимитирующий фактор используется как инструмент повышения эффективности. Однако микробиом почв искусственно созданных экосистем, таких как агроценозы, в значительной степени регулируется условиями, созданными человеком [9].

В данной статье в качестве лимитирующего фактора рассмотрен тип полива сахарной свеклы, для оценки эффективности которого были отобраны 10 оптимальных микроорганизмов из числа базидиомицетов, аскомицетов, зигомицетов и бактерий [10]. Подобный подход позволяет не только оценить влияние агротехнических практик на почвенную микробиоту, но и выявить наиболее адаптивные группы микроорганизмов, участвующие в поддержании ферментативной активности почвы.

Следует отметить, что при капельном и традиционном орошении формируются разные условия для микробных сообществ [11]. Капельное орошение обеспечивает более равномерное распределение влаги и создает благоприятные условия для бактерий, ассоциированных с корневой зоной, в то время как при традиционном поливе возможны локальные переувлажнения и пересыхания, что снижает устойчивость отдельных видов микроорганизмов [12]. Кроме того, при капельном поливе наблюдается более стабильное функционирование ферментативных систем почвы, связанных с углеродным и азотным обменом [13], что напрямую отражается на росте и урожайности сахарной свеклы.

Таким образом, изучение реакций микроорганизмов на различные режимы орошения позволяет сделать выводы о потенциальной устойчивости агроэкосистемы к стрессовым факторам и выявить микроорганизмы-индикаторы, которые можно использовать для оценки биологической активности и качества почв.

Материалы и методы исследований. Почвенные образцы были отобраны с посевных полей в Джамбульской области с координатами 43°01'31.6"N 71°27'00.5"E для традиционного орошения, и 43°00'07.2"N 71°25'58.1"E для капельного орошения.

Объектом исследования являются микроорганизмы почв под посевы сахарной свеклы с капельным и традиционным методами орошения в Джамбульской области. Пробы почвы были отобраны по методу конверта согласно ГОСТу 17.4.4.02-84 на глубинах 0-10 и 30-40 см. Были изучены 8 образцов почвы с традиционным орошением и 6 образцов с капельным орошением.

Почвенные образцы были отобраны и заморожены в жидком азоте, и хранились при – 80°C для сохранения геномной ДНК.

Геномная ДНК была выделена согласно протоколу компании Qiagen набора DNeasy PowerSoil Kit. Этапы выделения включали гомогенизацию и лизис, очистку ДНК от неорганических составляющих, белков и солей.

Выявление бактериальной ДНК проводилось с использованием универсальных праймеров (прямой праймер 27F: AGAGTTTGATCCTGGCTCAG и обратный праймер 1492R: GGTTACCTTGTTACGACTT) и (прямой праймер F1: AGAGTTTGATCITGGCTCAG и обратный праймер R2: ACGGCTACCTTG TTACGACTT) для амплификации фрагмента гена 16S рДНК. Условия термоциклирования были следующими: начальная денатурация при 94°C в течение 3 минут, затем 30 циклов денатурации при 94°C в течение 45 секунд, температура отжига при 56°C в течение 60 секунд и удлинение при 72°C в течение 90 секунд.

Также использованы универсальные праймеры для идентификации фунги (прямой праймер P-ITS1: TCCGTAGGTGAACCTGCGG и обратный праймер P-ITS4: TCCTCCGCTTATTGATATGC) для амплификации ITS региона рДНК. Условия термоциклирования были следующими: начальная денатурация при 95°C в течение 5 минут, затем 25 циклов денатурации при 94°C в течение 50 секунд, температура отжига при 56°C в течение 50 секунд и удлинение при 72°C в течение 1 минуты, с окончательным удлинением при 72°C в течение 7 минут.

Детекция ДНК-продуктов амплификации проведена с использованием 1,5% агарозного геля и визуализирована с помощью бромида этидия и ультрафиолета.

Результаты и их обсуждение. Проведён анализ распределения 10 видов микроорганизмов в почвенных образцах (T1-T4 (традиционное орошение), D1-D3 (капельное орошение)).

Общее количество микроорганизмов по образцам варьировало от 4 (T3-1) до 10 (D3-1), что указывает на различный уровень микробного разнообразия в разных точках отбора. В целом,

образцы с капельным орошением отличались более высоким разнообразием, чем почвы с традиционным орошением.

Тепловая карта (рис. 1) показала выраженные различия между микроорганизмами по частоте встречаемости.

Рисунок 1 – Тепловая карта распределения микроорганизмов по образцам

Согласно результатам, почвенный микробиом характеризуется присутствием устойчивых таксонов, преимущественно актинобактерий (*Rhodococcus jostii*) и базидиомицетов (*Coriolus versicolor*).

R. jostii, зарегистрирован во всех образцах обеих серий (100% встречаемости) (рис. 2). Этот микроорганизм известен как один из ключевых деструкторов органических ксенобиотиков и устойчивых поллютантов [14], что свидетельствует о его исключительной экологической пластичности и способности выживать при различных режимах увлажнения [15]. Аналогичная закономерность выявлена для базидиомицета *C. versicolor*, который также сохранялся во всех образцах. *C. versicolor* патогенный гриб, выделяющий фермент polygalacturonase (PG), который расщепляет пектин в клеточных стенках сахарной свеклы [16]. Механизмы защиты растения, вырабатывают polygalacturonase-inhibiting proteins (PGIPs), которые помимо устойчивости к патогенам, повышают характеристику свеклы. Сахарная свекла, обработанная PGIP, имеет высокие показатели содержания сахара, общей биомассы, биомассы корней, максимального периметра свеклы, содержания аминокислот, калия и натрия [17].

Рисунок 2 – Классификация соотношения встречаемости микроорганизмов

*ВВ – высокая встречаемость, ШР – широкое распространение, СВ – средняя встречаемость, НВ – низкая встречаемость

В то же время низкая частота встречаемости *Thermobifida fusca* (обнаружена лишь в 2 образцах капельного орошения) может указывать на её узкую экологическую нишу и низкую толерантность к лимитирующим факторам, особенно связанным с влагой и концентрацией органического субстрата.

Особое внимание заслуживает динамика *Bacillus cereus*, который известен как спорообразующий микроорганизм, способный выдерживать неблагоприятные условия среды, включая колебания влажности и температуры [18]. В исследуемых образцах *B. cereus* обнаруживался во всех вариантах орошения, однако с разной частотой. При традиционном орошении его наличие фиксировалось в 75% случаев, что свидетельствует о том, что данный вид сохраняет высокую устойчивость даже в условиях периодического пересыхания почвы и нестабильного влагорежима.

При капельном орошении частота обнаружения *B. cereus* была ещё выше – близкая к 100%. Это демонстрирует, что стабильная подача влаги создает благоприятные условия для его вегетативных форм, снижая необходимость перехода к спорообразованию. Следовательно, можно предположить, что в условиях капельного орошения популяция данного микроорганизма более активна в метаболическом отношении, что положительно сказывается на его участии в разложении органического вещества и мобилизации питательных элементов в почве.

Низкая встречаемость *B. subtilis* и *T. fusca* свидетельствует о том, что данные виды менее конкурентоспособны в подобных условиях. Это может быть связано как с их физиологическими особенностями, так и с межвидовой конкуренцией.

Частая встречаемость факультативно-патогенных бактерий (*Escherichia coli, Klebsiella sp.*) [19] может отражать антропогенное воздействие и возможное фекальное загрязнение, что также имеет важное санитарно-экологическое значение.

Сравнительное исследование микробного разнообразия в образцах почвы с различными системами орошения (традиционное – T1-T4 и капельное – D1-D3) позволило оценить выживаемость и адаптивные реакции микроорганизмов на лимитирующие факторы среды.

В образцах с традиционным орошением (T-серия) наблюдалось более низкое видовое разнообразие. Так, количество зарегистрированных микроорганизмов варьировало от 4 (T3-1) до 8 (T1-2 и T4-2), в среднем составляя 6 видов на образец (рис. 3). Среди наиболее устойчивых микроорганизмов в данной группе были *R. jostii, C. versicolor* и *E. coli*, встречавшиеся практически во всех вариантах. В то же время *B. subtilis* и *T. fusca* отсутствовали либо обнаруживались эпизодически, что свидетельствует о их низкой конкурентоспособности в условиях повышенной влажности и вероятного вымывания органического субстрата.

Капельное орошение (D-серия), напротив, обеспечило более благоприятные условия для микробного разнообразия. В данных образцах регистрировалось от 6 (D1-1) до 10 (D3-1) видов, в среднем 8-9 таксонов, что значительно выше по сравнению с традиционно орошаемыми участками (рис. 3). Здесь сохранялись все устойчивые виды (*R. jostii, C. versicolor, E. coli*), но дополнительно отмечалась регулярная встречаемость *B. subtilis* и *A. niger*, которые практически отсутствовали в серии T. Данный результат указывает на то, что капельное орошение способствует формированию более стабильного микробного консорциума за счёт создания оптимального влагового режима и предотвращения резких колебаний влажности в почве [20].

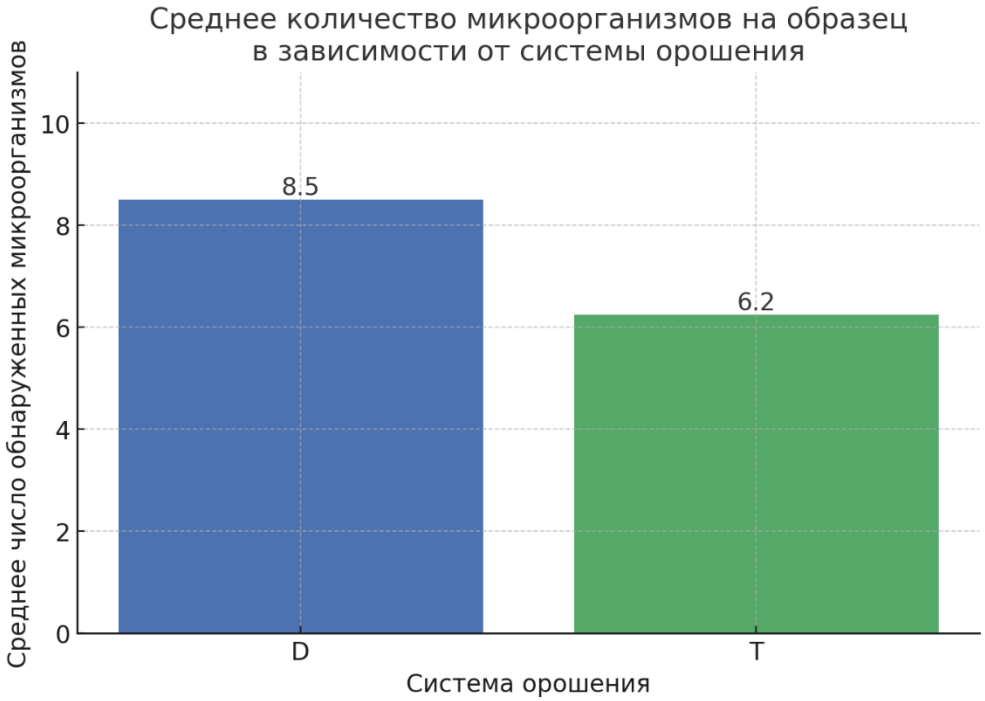

Рисунок 3 – Среднее количество микроорганизмов на образец

Заключение. Таким образом, проведённый анализ показывает, что система орошения является значимым лимитирующим фактором для выживаемости и распространения микроорганизмов. Традиционное орошение ограничивает микробное разнообразие, тогда как капельное способствует поддержанию более сбалансированного и устойчивого микробиома. Выделенные микроорганизмы-индикаторы (*R. jostii*, *C. versicolor*, *E. coli*) могут рассматриваться в качестве ключевых таксонов, определяющих устойчивость микробных сообществ в условиях техногенной нагрузки и различного режима орошения.

Это подтверждает, что капельное орошение обеспечивает более стабильные и благоприятные условия для выживания микроорганизмов, чем традиционная система.

Финансирование. Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по бюджетной программе 267 – BR22885097 «Обеспечение рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в интенсивном земледелии на основе новых подходов в сохранении и воспроизводстве плодородия почв».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Cohen I., Zandalinas S. I., Huck C., Fritschi F. B., Mittler R. Meta–analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components // Physiologia Plantarum. – 2021. – Т. 171, № 1. – С. 66–76. DOI: 10.1111/ppl.13203.

2 Silva S. D., Kariyawasam L., Thapa V. R. Impact of drought on soil microbial communities // Biology and Life Sciences. – 2024. – 26 дек. DOI: 10.20944/preprints202412.2272.v1.

3 Amara U., Khalid R., Hayat R. Soil bacteria and phytohormones for sustainable crop production // Maheshwari D. K. (ed.). Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem. – Cham : Springer International Publishing, 2015. – (Sustainable Development and Biodiversity ; vol. 12). – С. 87–103. DOI: 10.1007/978–3–319–24654–3_5.

4 Wang Q. и др. Soil microorganisms in agricultural fields and agronomic regulation pathways // Agronomy. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 669. DOI: 10.3390/agronomy14040669.

5 Wagi S., Ahmed A. Bacillus spp.: potent microfactories of bacterial IAA // PeerJ. – 2019. – Т. 7, № e7258. DOI: 10.7717/peerj.7258.

6 Dela Cruz J. R., Gandalera E. E., Valentino M. J. G. Gibberellin–like activity of fungi associated with vermicast in corn and rice // International Journal of Biosciences. – 2018. – Т. 13, № 3. – С. 297–305. DOI: 10.12692/ijb/13.3.297–305.

7 Wang X. и др. Neglected role of microelements in determining soil microbial communities and fruit micronutrients in loquat orchards // Frontiers in Microbiology. – 2024. – Т. 15. – С. 1447921. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1447921.

8 Romero F. и др. Soil microbial biodiversity promotes crop productivity and agro–ecosystem functioning in experimental microcosms // Science of The Total Environment. – 2023. – Т. 885. – С. 163683. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163683.

9 Schmidt J. E., Vannette R. L., Igwe A., Blundell R., Casteel C. L., Gaudin A. C. M. Effects of agricultural management on rhizosphere microbial structure and function in processing tomato plants // Applied and Environmental Microbiology. – 2019. – Т. 85, № 16. – С. e01064–19. DOI: 10.1128/AEM.01064–19.

10 Lin M. и др. Contrasting key bacteria and fungi related to sugar beet (Beta vulgaris L.) with different resistances to beet rot under two farming modes // Agronomy. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 825. DOI: 10.3390/agronomy13030825.

11 Guo W., Li P., Qi X., Hashem M. S., Xiao Y., She Y. Influence of different irrigation water qualities and irrigation techniques on the soil attributes and bacterial community structure // Agronomy. – 2022. – Т. 12, № 12. – С. 3170. DOI: 10.3390/agronomy12123170.

12 Ning D. и др. Responses of soil microbial community characteristics and enzyme activities to different irrigation modes over four wheat–maize rotation seasons // Agricultural Water Management. – 2024. – Т. 306. – С. 109166. DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109166.

13 Muhammad I. и др. Irrigation and nitrogen fertilization alter soil bacterial communities, soil enzyme activities, and nutrient availability in maize crop // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Т. 13. – С. 833758. DOI: 10.3389/fmicb.2022.833758.

14 Chen N. и др. Isolation and identification of some crude oil–degrading bacterial from soil contaminated with crude oil // Energy Science & Engineering. – 2025. – Т. 13, № 9. – С. 4461–4475. DOI: 10.1002/ese3.70188.

15 LeBlanc J. C., Gonçalves E. R., Mohn W. W. Global response to desiccation stress in the soil actinomycete Rhodococcus jostii RHA1 // Applied and Environmental Microbiology. – 2008. – Т. 74, № 9. – С. 2627–2636. DOI: 10.1128/AEM.02711–07.

16 Li H., Smigocki A. C. Sugar beet polygalacturonase–inhibiting proteins with 11 LRRs confer Rhizoctonia, Fusarium and Botrytis resistance in Nicotiana plants // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2018. – Т. 102. – С. 200–208. DOI: 10.1016/j.pmpp.2018.03.001.

17 Sacristán–Pérez–Minayo G., López–Robles D. J., Rad C., Miranda–Barroso L. Microbial inoculation for productivity improvements and potential biological control in sugar beet crops // Frontiers in Plant Science. – 2020. – Т. 11. – С. 604898. DOI: 10.3389/fpls.2020.604898.

18 Kulkova I., Dobrzyński J., Kowalczyk P., Bełżecki G., Kramkowski K. Plant growth promotion using Bacillus cereus // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Т. 24, № 11. – С. 9759. DOI: 10.3390/ijms24119759.

19 Hyun M., Lee J. Y., Kim H. A., Ryu S. Y. Comparison of Escherichia coli and Klebsiella pneumoniae acute pyelonephritis in Korean patients // Infection & Chemotherapy. – 2019. – Т. 51,

20 № 2. – С. 130. DOI: 10.3947/ic.2019.51.2.130.

21 Deng Q. и др. Influence of different irrigation methods on the alfalfa rhizosphere soil fungal communities in an arid region // PLoS ONE. – 2022. – Т. 17, № 6. – С. e0268175. DOI: 10.1371/journal.pone.0268175.

REFERENCES

1 Cohen I., Zandalinas S. I., Huck C., Fritschi F. B., Mittler R. Meta–analysis of drought and heat stress combination impact on crop yield and yield components // Physiologia Plantarum. – 2021. – Т. 171, № 1. – С. 66–76. DOI: 10.1111/ppl.13203.

2 Silva S. D., Kariyawasam L., Thapa V. R. Impact of drought on soil microbial communities // Biology and Life Sciences. – 2024. – 26 дек. DOI: 10.20944/preprints202412.2272.v1.

3 Amara U., Khalid R., Hayat R. Soil bacteria and phytohormones for sustainable crop production // Maheshwari D. K. (ed.). Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem. – Cham : Springer International Publishing, 2015. – (Sustainable Development and Biodiversity ; vol. 12). – С. 87–103. DOI: 10.1007/978–3–319–24654–3_5.

4 Wang Q. и др. Soil microorganisms in agricultural fields and agronomic regulation pathways // Agronomy. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 669. DOI: 10.3390/agronomy14040669.

5 Wagi S., Ahmed A. Bacillus spp.: potent microfactories of bacterial IAA // PeerJ. – 2019. – Т. 7, № e7258. DOI: 10.7717/peerj.7258.

6 Dela Cruz J. R., Gandalera E. E., Valentino M. J. G. Gibberellin–like activity of fungi associated with vermicast in corn and rice // International Journal of Biosciences. – 2018. – Т. 13, № 3. – С. 297–305. DOI: 10.12692/ijb/13.3.297–305.

7 Wang X. и др. Neglected role of microelements in determining soil microbial communities and fruit micronutrients in loquat orchards // Frontiers in Microbiology. – 2024. – Т. 15. – С. 1447921. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1447921.

8 Romero F. и др. Soil microbial biodiversity promotes crop productivity and agro–ecosystem functioning in experimental microcosms // Science of The Total Environment. – 2023. – Т. 885. – С. 163683. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163683.

9 Schmidt J. E., Vannette R. L., Igwe A., Blundell R., Casteel C. L., Gaudin A. C. M. Effects of agricultural management on rhizosphere microbial structure and function in processing tomato plants // Applied and Environmental Microbiology. – 2019. – Т. 85, № 16. – С. e01064–19. DOI: 10.1128/AEM.01064–19.

10 Lin M. и др. Contrasting key bacteria and fungi related to sugar beet (Beta vulgaris L.) with different resistances to beet rot under two farming modes // Agronomy. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 825. DOI: 10.3390/agronomy13030825.

11 Guo W., Li P., Qi X., Hashem M. S., Xiao Y., She Y. Influence of different irrigation water qualities and irrigation techniques on the soil attributes and bacterial community structure // Agronomy. – 2022. – Т. 12, № 12. – С. 3170. DOI: 10.3390/agronomy12123170.

12 Ning D. и др. Responses of soil microbial community characteristics and enzyme activities to different irrigation modes over four wheat–maize rotation seasons // Agricultural Water Management. – 2024. – Т. 306. – С. 109166. DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109166.

13 Muhammad I. и др. Irrigation and nitrogen fertilization alter soil bacterial communities, soil enzyme activities, and nutrient availability in maize crop // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Т. 13. – С. 833758. DOI: 10.3389/fmicb.2022.833758.

14 Chen N. и др. Isolation and identification of some crude oil–degrading bacterial from soil contaminated with crude oil // Energy Science & Engineering. – 2025. – Т. 13, № 9. – С. 4461–4475. DOI: 10.1002/ese3.70188.

15 LeBlanc J. C., Gonçalves E. R., Mohn W. W. Global response to desiccation stress in the soil actinomycete Rhodococcus jostii RHA1 // Applied and Environmental Microbiology. – 2008. – Т. 74, № 9. – С. 2627–2636. DOI: 10.1128/AEM.02711–07.

16 Li H., Smigocki A. C. Sugar beet polygalacturonase–inhibiting proteins with 11 LRRs confer Rhizoctonia, Fusarium and Botrytis resistance in Nicotiana plants // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2018. – Т. 102. – С. 200–208. DOI: 10.1016/j.pmpp.2018.03.001.

17 Sacristán–Pérez–Minayo G., López–Robles D. J., Rad C., Miranda–Barroso L. Microbial inoculation for productivity improvements and potential biological control in sugar beet crops // Frontiers in Plant Science. – 2020. – Т. 11. – С. 604898. DOI: 10.3389/fpls.2020.604898.

18 Kulkova I., Dobrzyński J., Kowalczyk P., Bełżecki G., Kramkowski K. Plant growth promotion using Bacillus cereus // International Journal of Molecular Sciences. – 2023. – Т. 24, № 11. – С. 9759. DOI: 10.3390/ijms24119759.

19 Hyun M., Lee J. Y., Kim H. A., Ryu S. Y. Comparison of Escherichia coli and Klebsiella pneumoniae acute pyelonephritis in Korean patients // Infection & Chemotherapy. – 2019. – Т. 51, № 2. – С. 130. DOI: 10.3947/ic.2019.51.2.130.

20 Deng Q. и др. Influence of different irrigation methods on the alfalfa rhizosphere soil fungal communities in an arid region // PLoS ONE. – 2022. – Т. 17, № 6. – С. e0268175. DOI: 10.1371/journal.pone.0268175.

ТҮЙІН

Зерттеу нәтижелері топырақтағы микробтық алуан түрлілік пен ферменттік белсенділік олардың экологиялық жағдайы мен агроценоздардың тұрақтылығының сезімтал көрсеткіштері болып табылатынын көрсетті. Дәстүрлі және тамшылатып суару жағдайларын салыстырмалы талдау айтарлықтай айырмашылықтарды анықтады: тамшылатып суаруда ылғалдың біркелкі бөлінуі мен оның күрт ауытқуларының болмауына байланысты неғұрлым тұрақты микробтық консорциум қалыптасады. Бұл суару режимін топырақ микробиотасын реттеу және агроценоздың тиімділігін арттыру құралы ретінде таңдаудың маңыздылығын дәлелдейді.

Сонымен қатар *Klebsiella sp.* және *Escherichia coli* сияқты факультативті-патогенді бактериялардың анықталуы, әсіресе өнімді тағамдық мақсатта пайдалану жағдайында, олардың агроценоздарда болуы мүмкін қауіптерін ескеруді талап етеді. Олар белгілі бір экологиялық функцияларды атқарғанымен, пайдалы және шартты-патогенді микроорганизмдердің тепе-теңдігін сақтау тұрақты және қауіпсіз ауыл шаруашылығы өндірісінің негізгі шарты болып қала береді.

Осылайша, ферменттік белсенділікті талдау мен микробтық алуан түрлілікті зерттеуді үйлестіру топырақ жағдайын объективті бағалауға ғана емес, сонымен қатар тұрақты егіншілікте және бұзылған экожүйелерді қалпына келтіруде қолдануға перспективалы микроорганизмдерді анықтауға мүмкіндік береді.