

УДК 579.64

РИЗОСФЕРНЫЕ ЭНЕТРОБАКТЕРИИ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ОБЪЕКТЫ БИОТЕХНОЛОГИИ

*А.Р. Гальперина**, *О.Б. Сопрунова*, *А.Ш. Бареева*

*Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный технический университет», Астрахань, Россия*

**E-mail: alina_r_s@rambler.ru*

В период 2019-2024 гг. проведены исследования по изучению микроорганизмов ризосферы культурных и дикорастущих растений. В ходе исследований сформирована коллекция из 50 изолятов, обладающих биотехнологически ценными свойствами: способностью к солюбилизации неорганических фосфатов, синтезу индолилуксусной кислоты, антифунгальной активностью и стимулирующим эффектом по отношению к семенам томатов. Видовая идентификация изолятов выявила доминирование представителей рода *Enterobacter*, также были выявлены представители родов *Klebsiella*, *Mixta*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus*.

Ключевые слова: аридные экосистемы, микроорганизмы ризосферы, свойства микроорганизмов

Аридная зона – природная зона, характеризующаяся особенностями климата, приводящими к недостатку влаги для жизни организмов. Для растений, обитающих в аридных и полуаридных зонах, характерны сложные адаптационные стратегии, включающие в себя биохимические, физиологические и молекулярные механизмы для смягчения различных биотических и абиотических стрессов. Помимо приспособительных функций самих растений в аридных условиях существенно возрастает значимость ризосферной микробиоты, прошедшей эволюционный отбор на оптимальное функционирование и взаимодействие с макроорганизмом. Роль ризосферной микробиоты в увеличении доступности питательных веществ является ключом к разработке климатически оптимизированных агротехнических методов [1,2].

Сообщество микроорганизмов ризосферы обладает пластичностью и способно адаптироваться к абиотическим стрессам, повышая устойчивость к ним растения. Ризосферные микроорганизмы аридных экосистем являются природным резервуаром для выделения штаммов с широким перечнем биотехнологически ценных свойств: солюбилизации нерастворимых соединений фосфора, антагонизму к фитопатогенам, фиксацией молекулярного азота, увеличением пула органического углерода и синтезу фитогормонов [3].

В период 2019-2024 гг. проведены исследования по изучению микроорганизмов ризосферы следующих культурных и дикорастущих растений, произрастающих на территории Астраханской области: мята перечная – *Mentha piperita*, малина садовая – *Rubus idaeus*, смородина черная – *Ribes nigrum*, подсолнечник однолетний – *Helianthus annuus*, чеснок посевной – *Allium sativum*, подсолнечник клубеносный – *Helianthus tuberosus*, вяз мелколистный – *Ulmus parvifolia*, подорожник большой – *Plantago major*, верблюжья колючка обыкновенная – *Alhagi pseudoalhagi*, дурнишник обыкновенный – *Xanthium strumarium*; тростник южный – *Phragmites australis*; солодка голая – *Glycyrrhiza glabra*, полынь малоцветковая – *Artemisia pauciflora*, полынь австрийская – *Artemisia austriaca*, сарсазан шишковидный – *Halocnemum strobilaceum*; солерос европейский – *Salicornia europaea*; седобассия очитковидная – *Sedobassia sedoides*; сведа высочайшая – *Suaeda altissima*; камфоросма монпельйская – *Camphorosma monspeliaca*; хвойник двуколосковый – *Ephedra distachya*; солянка содоносная –

Salsola soda; астрагал яйцеплодный – *Astragalus testiculatus*; боялыч древовидный - *Xylosalsola arbuscula*; сведа солончаковая - *Suaeda salsa*.

Культурные растения подвергались агротехническому воздействию: регулярные поливы, подкормки и обработки от вредителей и заболеваний. Дикорастущие отбирались в местах, максимально удаленных от водоемов, солелюбивые – в местах явного засоления.

Изучение микроорганизмов вели методом накопительных культур, акцент делали на выделении фосфатмобилизирующих микроорганизмов [4]. Всего за указанный период было исследовано более 125 проб ризосферы растений, поставлено 300 накопительных культур и выделено более 140 изолятов. Изучение тинкториальных признаков изолятов выявило доминирование грамотрицательных форм - 97%, грамположительные формы составили – 3%. По морфологии клеток все выделенные изоляты были представлены палочковидными формами, из которых спорообразующих – 3%, неспорообразующих – 97%. Активной подвижностью обладали 54% изолятов. 50 изолятов, сохраняющих жизнеспособность *in vitro*, отобрали для последующих исследований [5, 6,7, 8].

При изучении способности изолятов к солибилизации фосфора отмечено, что наиболее активно проявляют эти свойства 6 изолятов, увеличивая количество подвижного фосфора в среде до 6 мкмоль/мл за 60 часов. Выявлено, что 19 изолятов способны к триптофаниндуцированному синтезу ИУК в количестве более 95 мкг/мл [9].

16 изолятов проявляют средний и высокий фунгистатический антагонизм по отношению к микромицетам р. *Alternaria*. Изоляты образуют зоны задержки роста микромицетов, подавляют развитие воздушного мицелия, способствуют формированию излишне разветвленного и септированного мицелия, а также сферопластоподобных структур. Выявлено, что 12 изолятов в виде водных суспензий обладают стимулирующим эффектом по отношению к семенам томатов сортов ранней и средней спелости. Стимулирующее действие проявляется как на всхожесть семян, так и на морфометрические параметры проростков.

Видовая идентификация изолятов проводилась путем секвенирования гена 16SpРНК с последующим поиском гомологичных последовательностей при использовании баз данных EzBioCloud. По итогам исследований изоляты были идентифицированы как представители родов: *Enterobacter* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок *Enterobacterales*, семейство *Enterobacteriaceae*) - 36 изолятов; *Klebsiella* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок *Enterobacterales*, семейство *Enterobacteriaceae*) - 2 изолята; рода *Mixta* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок *Enterobacterales*, семейство *Erwiniaceae*); *Pseudomonas* (филум *Pseudomonadota*, класс *Gammaproteobacteria*, порядок *Pseudomonadales*, семейство *Pseudomonadaceae*); *Bacillus* (филум *Bacillota*, класс *Bacilli*, порядок *Caryophanales*, семейство *Bacillaceae*); *Paenibacillus* (филум *Bacillota*, класс *Bacilli*, порядок *Bacillales*, семейство *Paenibacillaceae*) – по 1 изоляту.

Таким образом, среди выделенных и изученных ризосферных энтеробактерий 6 штаммов способны увеличивать количество подвижного фосфора в среде, 15 штаммов обладают повышенным синтезом ИУК, 10 штаммов проявляют средний и высокий фунгистатический антагонизм по отношению к микромицетам р. *Alternaria*, 11 штаммов в виде водных суспензий обладают стимулирующим эффектом по отношению к семенам томатов сортов ранней и средней спелости. Все выявленные свойства позволяют рассматривать имеющиеся штаммы как основу для создания новых агробiotехнологий, применяемых в условиях аридного климата Астраханской области.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-26-00227 «Генетическая паспортизация ризосферных микроорганизмов аридных экосистем с биотехнологически значимыми свойствами».

Библиографический список

1. Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Экологизация степных агротехнологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 5–11. doi:10.25750/1995-4301-2019-3-005-011.
2. Backer R., Rokem J.S., Pangumaran G., Lamont J., Praslickova D., Ricci E., Subramanian S., Smith D.L. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture // *Frontiers in Plant Science*. 2018. V. 9. Article No. 1473. doi:10.3389/fpls.2018.01473
3. Ayangbenro A.S., Babalola O.O. Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria // *Current Plant Biology*. 2021. V. 25. Article No. 100173. doi:10.1016/j.cpb.2020.100173
4. Методические указания по выделению микроорганизмов, растворяющих труднодоступные минеральные и органические соединения фосфора // Под ред. Г.С. Муромцева. Л.: ВНИИСХМ, 1981. 20 с.
5. Malinovskaya I.M. Determination of phosphate-dissolving activity of microorganisms on liquid and agarised media // *Agroecological Journal*. 2002. No. 3. P. 68–71.
6. Щербаков, А.В. Эндофитные бактерии, населяющие семена пшеницы, перспективные продуценты микробных препаратов для сельского хозяйства // *Достижения науки и техники АПК*. 2013. №7. С.35–38.
7. Актуганов Г.Э., Мелентьев А. И., Галимзянова Н. Ф., Широков А. В. Исследование миколитических свойств аэробных спорообразующих бактерий продуцентов внеклеточных хитиназ // *Микробиология*. 2008. Т. 77. N 6. С. 788-797.
8. Lane D.J. 16S/23S rRNA sequencing. In: *Nucleic acid techniques in bacterial systematics* / Stackebrandt E., Goodfellow M. (Eds.) New York.: John Wiley and Sons, 1991. P. 115-175.
9. Юсупова Д.М., Бареева А.Ш., Гальперина А.Р., Сопрунова О.Б. «Изучение способности ризосферных микроорганизмов к продукции ИУК и влиянию на рост растений» // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2023. №3. С. 83-90. doi:10.31677/2311-0651-2023-41-3-83-90