NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-9]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

03.00.00-BIOLOGIYA
journal.namdu.uz
BIOLOGICAL

UO‘K 579.64:632.4

STREPTOMYCES ROCHEI IMB/AN RUz SHTAMMINING FITOPATOGEN ZAMBURUG‘LARGA NISBATAN ANTAGONISTIK XUSUSIYATLARINI BAHOLASH

Qosimova Sharifa Shuxratjon qizi
O‘zRFA Mikrobiologiya instituti 2-bosqich tayanch doktoranti
E-mail: qosimovasharifa700@gmail.com
ORCID: 0009-0006-1017-0523
Mamarasulov Bahodir Dalixonovich
O‘zRFA Mikrobiologiya instituti katta ilmiy xodimi (PhD)
E-mail: bakhodirmamarasulov0285@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0455-8928
G‘olibov Farhod Tolibovich
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti 2-bosqich magistranti
E-mail: golibovfarhod@gmail.com
ORCID: 0009-0009-0759-3893

Annotatsiya: *Ushbu tadqiqotda tuproqdan ajratib olingan Streptomyces izolyatlarining molekulyar-genetik identifikatsiyasi va fitopatogen zamburug‘larga qarshi antifungal faolligi o‘rganildi. Birlamchi skrining natijalariga ko‘ra, ajratilgan shtammlar ichidan eng yuqori faollikka ega bo‘lgan bittasi tanlab olindi va to‘liq genom sekvenirlash (WGS) tahlili natijasida ushbu faol shtamm Streptomyces rochei turi vakili ekanligi aniqlandi va Streptomyces rochei IMB/AN RUz nomi bilan NCBI xalqaro ma’lumotlar bazasiga joylashtirildi. In vitro sharoitida qarama-qarshi o‘stirish usuli orqali shtammning Alternaria alternata, Verticillium dahliae, Fusarium culmorum, Fusarium oxysporum, Fusarium vasinfectum hamda Fusarium sp. fitopatogen zamburug‘lariga qarshi antagonistik ta’siri o‘rganildi. Tadqiqot natijalari ushbu shtamm o‘simliklarning zamburug‘li kasalliklariga qarshi samarali biopreparatlar yaratishda istiqbolli bioagent bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *Streptomyces rochei, tuproq izolyatlari, to‘liq genom sekvenirlash (WGS), NCBI, fitopatogen zamburug‘lar, antifungal faollik, antagonizm.*

ОЦЕНКА АНТАГОНИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШТАММА STREPTOMYCES ROCHEI IMB/AN RUz ПО ОТНОШЕНИЮ К ФИТОПАТОГЕННЫМ ГРИБАМ

Аннотация: *В данном исследовании изучены молекулярно-генетическая идентификация и антифунгальная активность изолятов Streptomyces, выделенных из почвы, против фитопатогенных грибов. По результатам первичного скрининга среди выделенных штаммов был отобран 1 штамм с наивысшей активностью. На основании полногеномного секвенирования (WGS) установлено, что активный штамм принадлежит к виду Streptomyces rochei, и он был депонирован в международную базу данных NCBI под названием Streptomyces rochei IMB/AN RUz. Методом встречного культивирования in vitro изучено антагонистическое действие штамма против таких фитопатогенных грибов, как Alternaria alternata, Verticillium dahliae, Fusarium culmorum, Fusarium oxysporum, Fusarium vasinfectum и Fusarium sp. Результаты исследования показывают, что данный штамм может быть перспективным биоагентом для создания эффективных биопрепаратов против грибковых заболеваний растений.*

Ключевые слова: *Streptomyces rochei, почвенные изоляты, полногеномное секвенирование (WGS), NCBI, фитопатогенные грибы, антифунгальная активность, антагонизм.*

EVALUATION OF THE ANTAGONISTIC PROPERTIES OF STREPTOMYCES ROCHEI STRAIN IMB/AN RUz AGAINST PHYTOPATHOGENIC FUNGI

Abstract: *In this study, the molecular-genetic identification and antifungal activity of Streptomyces isolates obtained from soil against phytopathogenic fungi were investigated. Based on the primary screening results, one strain with the highest activity was selected from the isolated strains. According to the whole-genome sequencing (WGS) analysis, the active strain was identified as a representative of the Streptomyces rochei species and deposited into the NCBI international database under the strain designation*

Streptomyces rochei IMB/AN RUz. The antagonistic activity of the strain against phytopathogenic fungi including Alternaria alternata, Verticillium dahliae, Fusarium culmorum, Fusarium oxysporum, Fusarium vasinfectum, and Fusarium sp. was evaluated using the dual culture method in vitro. The results of the study indicate that this strain could be a promising bioagent for developing effective biopreparations against fungal diseases in plants.

Keywords: *Streptomyces rochei, soil isolates, whole-genome sequencing (WGS), NCBI, phytopathogenic fungi, antifungal activity, antagonism.*

Kirish

O‘simliklarning zamburug‘li kasalliklari qishloq xo‘jaligi ekinlarining hosildorligi va mahsulot sifatiga jiddiy zarar yetkazuvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Fitopatogen zamburug‘lar, xususan *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Rhizoctonia* va boshqa ko‘plab turlar o‘simlikning ildizi, poyasi, bargi hamda mevasini zararlab, ekin maydonlarida kasalliklarning keng tarqalishiga olib keladi.[1]. Bunday patogenlarga qarshi kurashishda an’anaviy ravishda sintetik fungitsidlar keng qo‘llanilsa-da, ularning uzoq muddatli qo‘llanilishi patogenlarda rezistentlikning shakllanishi, atrof-muhit ifloslanishi, foydali mikroorganizmlar faoliyatining susayishi va qoldiq moddalarning oziq-ovqat mahsulotlarida to‘planishi kabi muammolarga olib keladi [2]. Shu sababli ekologik jihatdan xavfsiz va samarali biologik himoya vositalarini izlash hozirgi qishloq xo‘jaligi biotexnologiyasining muhim yo‘nalishlaridan biriga aylangan [1, 2].

Aktinobakteriyalar, ayniqsa *Streptomyces* avlodiga mansub shtammlar, keng spektrli antimikrob faollikka ega bo‘lgan ikkilamchi metabolitlar, hujayra devorini parchalovchi fermentlar, uchuvchi organik birikmalar hamda o‘sishni rag‘batlantiruvchi moddalarni sintezlash qobiliyati bilan ajralib turadi. Bu mikroorganizmlar fitopatogenlarga nisbatan bevosita antagonistik ta’sir ko‘rsatish bilan birga, sideroforlar orqali temir ionlari uchun raqobat qilish, patogen hujayra devorini zararlash va o‘simlikning tabiiy himoya mexanizmlarini faollashtirish orqali ham kasalliklarga qarshilikni oshiradi. Mazkur xususiyatlar tufayli *Streptomyces* shtammlari o‘simlik kasalliklarini boshqarishda samarali biologik fungitsid sifatida qo‘llanish imkoniyatiga ega bo‘lib, integratsiyalashgan zararkunandalarga qarshi kurashish (IPM) tizimlarida muhim o‘rin egallaydi. [2, 3].

Ushbu tadqiqotning maqsadi tuproq namunalaridan ajratib olingan *Streptomyces rochei* IMB/AN RUz shtammining molekulyar-genetik identifikatsiyasini amalga oshirish hamda uning *Alternaria alternata*, *Verticillium dahliae*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium vasinfectum* va *Fusarium* sp. ga nisbatan antagonistik faolligini qarama-qarshi o‘stirish (*dual culture*) usuli yordamida *in vitro* sharoitida baholashdan iborat. Olingan natijalar mahalliy *Streptomyces* shtammlari asosida biologik himoya vositalarini ishlab chiqishga oid keyingi tadqiqotlar uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Adabiyotlar tahlili

Streptomyces rochei tuproq ekotizimlarida keng tarqalgan bo‘lib, turli fitopatogen zamburug‘larga nisbatan yuqori antifungal faollik namoyon etadi [3, 4]. Ilmiy adabiyotlarda bu tur *Fusarium oxysporum*, *Fusarium moniliforme*, *Curvularia lunata* va *Pythium aphanidermatum* kabi patogen zamburug‘larning o‘sishini cheklash qobiliyatiga ega ekanligi qayd etilgan [3, 4, 5]. Masalan, *S. rochei* ACTA1551 shtammi *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* qo‘zg‘atadigan pomidor fuzarioz viltiga qarshi himoya ta’sirini ko‘rsatgan va o‘simlik o‘sishini rag‘batlantirgan [3]. Boshqa tadqiqotlarda *S. rochei* uchuvchi metabolitlari *F. moniliforme* miseliysining o‘sishini 63,75%, *C. lunata* miseliysini esa 68,52% ga kamaytirgani aniqlangan [4]. Bundan tashqari, *S. rochei* G-6 shtammi asosidagi fermentatsiya mahsuloti bodringning *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* qo‘zg‘atadigan so‘lish kasalligini kamaytirishi va o‘simlik o‘sishini rag‘batlantirishi ko‘rsatilgan [5].

Tadqiqot metodologiyasi

***Streptomyces* izolyatlarini ajratib olish.** *Streptomyces* izolyatlarini ajratib olish uchun tuproq namunalari organik moddalarga boy va o‘simliklar rizosferasiga yaqin bo‘lgan hududlarning 5–10 sm chuqurlikdagi qatlamidan olindi va steril polietilen paketlarda, 4°C haroratda laboratoriyaga yetkazildi. Tuproq namunalari dastlab 30°C haroratda 48 soat davomida quritildi. So‘ngra ulardan 10 g olinib, 100 ml 0,9 % li NaCl eritmasiga solindi. Namunalar 28 °C haroratda 30 daqiqa davomida sheyker inkubatorda inkubatsiya qilindi va dastlabki 10^{-1} suspenziya tayyorlandi. Keyingi bosqichda tayyorlangan suspenziyadan 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} va 10^{-5} darajali seriyali suyultirishlar olindi. Seriyali suyultirishning 10^{-4} va 10^{-5} darajalaridan 100 mkl miqdorda olinib, Starch Casein Agar (SCA) oziqa muhiti sirtiga ekildi. Namunalar 28 °C haroratda 7 kun davomida inkubatsiya qilindi. Inkubatsiyaning 5–7-kunlarida o‘ziga xos morfologik belgilarga ega bo‘lgan *Streptomyces* izolyatlari ajratib olindi va keyingi tadqiqotlar uchun toza kultura holatiga keltirildi.

***Streptomyces* izolyatining molekulyar-genetik identifikatsiyasi.** Tanlab olingan faol *Streptomyces* izolyatining molekulyar identifikatsiyasi to‘liq genom sekvenirlash (WGS) tahlillari asosida olib borildi. Buning uchun izolyat 7 kun davomida 30 °C haroratda ISP2 oziqa muhitida o‘stirildi. So‘ngra biomassani ajratib olish maqsadida kultura suyuqligi 6000 aylanma/daqiqa tezlikda 10 daqiqa davomida sentrifugalandi. Genomik DNK natriy dodesilsulfat (SDS) usuli yordamida ajratib olindi [6]. Ajratilgan DNK molekulasining sifati agaroza gel-elektroforezida tekshirildi, uning miqdori

esa Qubit® 2.0 Fluorometer (Thermo Scientific) qurilmasida aniqlandi. To‘liq genom profilini aniqlash maqsadida yuqori sifatli DNK namunalari Illumina platformasida 100× ko‘rsatkichda sekvenirlashdan o‘tkazildi. Olingan nukleotidlar ketma-ketligi xalqaro NCBI ma’lumotlar bazasi yordamida tahlil qilish uchun tayyorlandi.

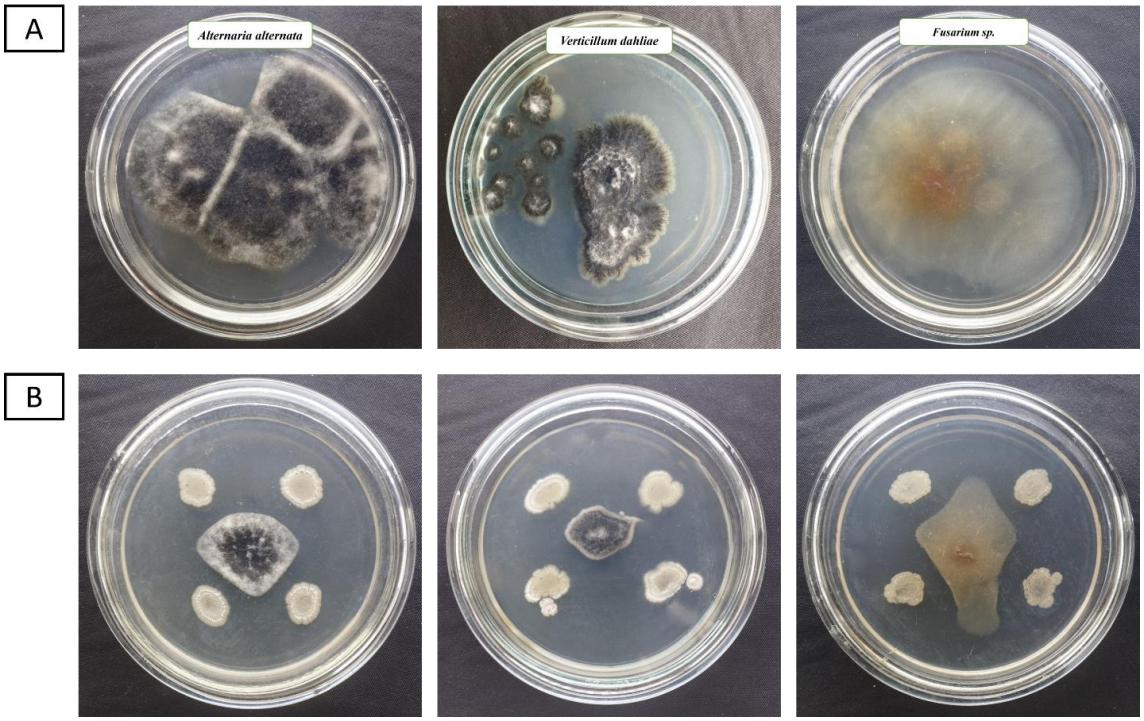
***Streptomyces rochei* IMB/AN RUz shtammining antifungal faolligini aniqlash.** *Streptomyces rochei* shtammining fitopatogen zamburug‘larga nisbatan antifungal faolligi *in vitro* sharoitida, qarama-qarshi o‘stirish (*dual culture*) usuli orqali baholandi. Test-shtammlar sifatida *Fusarium* sp., *Fusarium vasinfectum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata* va *Verticillium dahliae* fitopatogen zamburug‘laridan foydalanildi. Tajriba o‘tkazish uchun kartoshka-dekstroza agari (PDA) quyilgan petri chashkasining markaziy qismiga faol o‘sayotgan fitopatogen zamburug‘ mitseliysidan kesib olingan disk (diametri 5 mm) joylashtirildi. Zamburug‘ diskidan teng masofada joylashgan periferik to‘rtta nuqtaga *Streptomyces rochei* shtammining toza kulturasi nuqtali usulda ekildi. Nazorat varianti sifatida faqat fitopatogen zamburug‘ mitseliysi ekilgan chashkalardan foydalanildi. Barcha namunalar 28 °C haroratda 5–7 kun davomida inkubatsiya qilindi. Inkubatsiya muddati yakunlangach, fitopatogen zamburug‘lar koloniyasi o‘sishini to‘xtatuvchi zonalarning ko‘rsatkichlari baholandi. Tajribada qo‘llanilgan fitopatogen zamburug‘lar o‘sishini to‘xtatish foizi Trivedi tomonidan taklif etilgan formula: $I\ (\%) = ((R_1 - R_2) / R_1) \times 100$ bo‘yicha hisoblab chiqildi [7]. (Bu yerda: I – o‘sishni cheklash darajasi, %; R_1 – nazorat variantidagi zamburug‘ mitseliysining radial o‘sishi, mm; R_2 – tajriba variantidagi zamburug‘ mitseliysining radial o‘sishi, mm).

Natijalar va ularning tahlili

***Streptomyces* izolyatlarini ajratib olish.** Tuproq namunalaridan seriyali suyultirish va selektiv oziqa muhitiga ekish orqali *Streptomyces* izolyatlari ajratib olindi. Ajratib olingan izolyatlarning makro- va mikromorfologik belgilari, substrat hamda havo mitseliysi va spora zanjirlari tuzilishiga ko‘ra ularning *Streptomyces* avlodiga xosligi aniqlandi. Olingan natijalarga ko‘ra, tuproq mikroflorasidan jami 8 ta toza *Streptomyces* shtammlari izolyatsiya qilindi. Ularning biologik xususiyatlarini baholash maqsadida cross-streak usulida birlamchi skrining o‘tkazildi. Skrining natijalariga ko‘ra, eng yuqori antagonistik ta’sir namoyon etgan 1 ta faol shtamm tanlab olindi va keyingi tadqiqotlar uchun saqlab qo‘yildi.

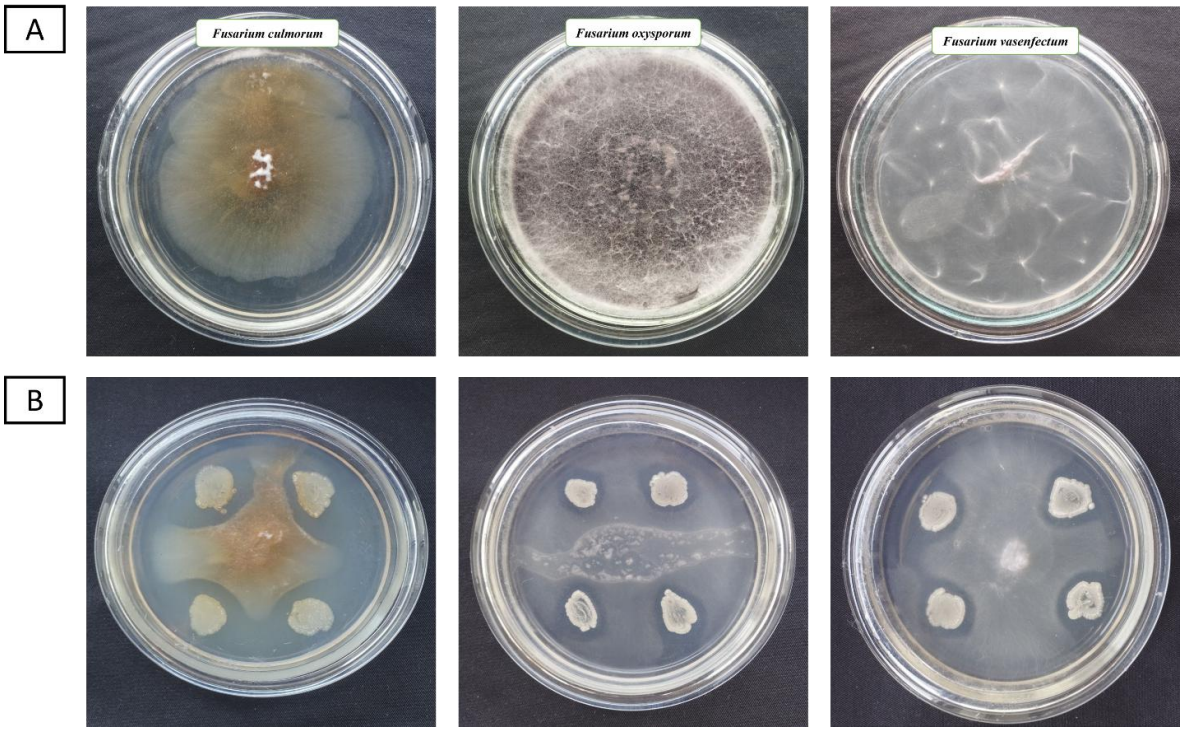
***Streptomyces rochei* IMB/AN RUz shtammining molekulyar-genetik identifikatsiyasi va NCBI GenBank tahlili.** Birlamchi skriningda yuqori biologik faollik ko‘rsatgan IMB/AN RUz izolyatining taksonomik o‘rnini aniqlash va xalqaro ro‘yxatdan o‘tkazish maqsadida molekulyar-genetik identifikatsiya ishlari olib borildi. To‘liq genom profilini aniqlash uchun Illumina platformasida 100× to‘liq genom sekvenirlash (WGS) o‘tkazildi. Olingan nukleotidlar ketma-ketligi NCBI GenBank xalqaro bazasiga joylashtirildi. Ushbu WGS loyihasi NCBI PGAP dasturi yordamida avtomatik annotatsiya va tahlil qilindi. Keng qamrovli genom tahlili natijalariga ko‘ra, shtamm *Streptomyces rochei* turi vakili ekanligi aniqlandi va unga IMB/AN RUz nomi berildi. NCBI Nucleotide bazasida ushbu WGS loyihasiga JBSVSD000000000.1 kirish raqami berildi. Tadqiqot natijalari xalqaro ma’lumotlar bazasida quyidagi unikal raqamlar bilan ro‘yxatga olindi: nukleotid yozuvi: JBSVSD000000000, BioProject: PRJNA1376241 va BioSample: SAMN53716722.

***Streptomyces rochei* IMB/AN RUz shtammining antifungal faolligi tahlili.** *In vitro* sharoitida o‘tkazilgan qarama-qarshi o‘stirish (*dual culture*) tajribalari *Streptomyces rochei* IMB/AN RUz shtammining fitopatogen zamburug‘larga nisbatan turlicha darajada antagonistik faollikka ega ekanligini ko‘rsatdi (1-rasm). Petri chashkasi chetlarida rivojlangan to‘rtta *Streptomyces rochei* koloniyasi va markazdagi zamburug‘lar mitseliysi o‘rtasida aniq chegaralangan o‘sishni to‘xtatuvchi zonalar hosil bo‘ldi. Bu holat *Streptomyces rochei* IMB/AN RUz shtammi tomonidan agar muhitiga diffuziyalanuvchi biofaol antifungal metabolitlar ajralib chiqayotganligini ko‘rsatishi mumkin.



1-rasm. ***Streptomyces rochei*** **IMB/AN RUz shtammining fitopatogen zamburug‘larga nisbatan** ***in vitro*** **sharoitidagi antagonistik ta’siri**

A – nazorat – fitopatogen zamburug‘larning shtammsiz o‘sishi; **B – tajriba** – *S. rochei* IMB/AN RUz shtammining *Alternaria alternata*, *Verticillium dahliae* va *Fusarium* sp. zamburug‘lariga antagonistik ta’siri.



2-rasm. ***Streptomyces rochei*** **IMB/AN RUz shtammining fitopatogen zamburug‘larga nisbatan** ***in vitro*** **sharoitidagi antagonistik ta’siri**

A – nazorat – fitopatogen zamburug‘larning shtammsiz o‘sishi; **B – tajriba** – *S. rochei* IMB/AN RUz shtammining *Fusarium culmorum*, *Fusarium oxysporum* va *Fusarium vasinfectum* zamburug‘lariga antagonistik ta’siri.

Hosil bo‘lgan zonalarning o‘lchamlari zamburug‘larning turiga qarab sezilarli darajada farq qildi. Shtammning antagonistik samaradorligi *Verticillium dahliae* (63.33%), *Fusarium culmorum* (55.00%) va *Alternaria alternata* (54.76%) variantlarida yuqori bo‘lib, bu zamburug‘lar mitseliysining radial o‘sishi nazoratga nisbatan yarmidan ko‘proqqa

cheklandi va koloniya shakli deformatsiyaga uchradi. *Fusarium* sp. (42.50%), *Fusarium oxysporum* (40.00%) va *Fusarium vasinfectum* (35.56%) variantlarida shtammning antifungal faolligi o‘rtacha bo‘lib, o‘sishni to‘xtatuvchi zonalar kichik o‘lchamda hosil bo‘ldi va zamburug‘ mitseliysi *Streptomyces* koloniyasiga yaqin masofagacha o‘sdi. Nazorat chashkalarida barcha test-zamburug‘lar oziqa muhiti sirtini to‘liq qoplagan bo‘lsa, tajriba namunalarida shtamm ta’sirida mitseliy o‘sishi turlicha darajada cheklandi. Har bir fitopatogen zamburug‘ga nisbatan o‘lchangan mitseliy radiusi hamda Trivedi formulasi bo‘yicha hisoblangan o‘sishni cheklash darajasining yakuniy foiz ko‘rsatkichlari 1-jadvalda keltirildi.

1-jadval

***Streptomyces rochei* IMB/AN RUz shtammining fitopatogen zamburug‘lar o‘sishini to‘xtatish samaradorligi darajasi**

№	Zamburug‘lar	Nazorat radiusi (R_1, mm)	Tajriba radiusi (R_2, mm)	O‘sishni cheklash darajasi (%)
1	*Alternaria alternata*	42	19	54.76%
2	*Verticillium dahliae*	30	11	63.33%
3	*Fusarium* sp.	40	23	42.50%
4	*Fusarium culmorum*	40	18	55.00%
5	*Fusarium oxysporum*	45	27	40.00%
6	*Fusarium vasinfectum*	45	29	35.56%

Xulosalar

Tuproq namunalaridan ajratib olingan faol shtammning to‘liq genom sekvenirlash (WGS) tahlillariga ko‘ra *Streptomyces rochei* turi vakili ekanligi aniqlandi va *Streptomyces rochei* IMB/AN RUz nomi bilan NCBI GenBank xalqaro ma’lumotlar bazasiga joylashtirildi. *In vitro* sharoitida o‘tkazilgan qarama-qarshi o‘stirish tajribalarida ushbu shtammning *Alternaria alternata*, *Verticillium dahliae*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium* sp., *Fusarium oxysporum* va *Fusarium vasinfectum* fitopatogen zamburug‘lariga turlicha darajada antagonistik ta’siri o‘rganildi. Shtammning antifungal faolligi *Verticillium dahliae* (63.33%), *Fusarium culmorum* (55.00%) va *Alternaria alternata* (54.76%) variantlarida yuqori, *Fusarium* sp. (42.50%), *Fusarium oxysporum* (40.00%) va *Fusarium vasinfectum* (35.56%) variantlarida esa o‘rtacha bo‘ldi. Olingan natijalar *S. rochei* IMB/AN RUz shtammini qishloq xo‘jaligi ekinlarining zamburug‘li kasalliklariga qarshi ekologik xavfsiz biopreparatlar yaratishda istiqbolli bioagent sifatida qo‘llash imkoniyatini ko‘rsatadi; biroq buning uchun o‘simlik sharoitida (*in vivo*) qo‘shimcha tadqiqotlar talab etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Olanrewaju, O. S., & Babalola, O. O. (2023). Streptomyces: implications and interactions in plant growth promotion. Applied Microbiology and Biotechnology, 107, 1–18. https://doi.org/10.1007/s00253-023-12439-1

2. Kanini, G. S., Katsifas, E. A., Savvides, A. L., & Karagouni, A. D. (2013). Streptomyces rochei ACTA1551, an indigenous Greek isolate studied as a potential biocontrol agent against Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici. BioMed Research International, 2013, 387230. https://doi.org/10.1155/2013/387230

3. Amin, M. A., et al. (2022). Unraveling the tripartite interaction of volatile compounds produced by Streptomyces rochei and their antifungal activity. Frontiers in Microbiology, 13, 953619. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.953619

4. Tripathi, G., & Rawal, S. K. (1998). Simple and efficient protocol for isolation of high molecular weight DNA from Streptomyces aureofaciens. Biotechnology Techniques, 12(9), 629–631. https://doi.org/10.1023/A:1008076406660

5. Trivedi, P., Pandey, A., & Palni, L. M. S. (2008). In vitro evaluation of antagonistic properties of Pseudomonas corrugata. Microbiological Research, 163(3), 329–336. https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.07.002

6. Bejarano, A., & Puopolo, G. (2023). Microbial diversity in soils suppressive to Fusarium diseases and the role of beneficial rhizosphere communities. Frontiers in Plant Science, 14, 1228749. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1228749

7. El-Akshar, E. A., Abou-Aly, H. E., Tewfike, T. A., & El-Meihy, R. M. (2022). Characterization of promising antifungal bioactive compounds from endophytic actinobacterium Streptomyces rochei OM182844. Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, G. Microbiology, 14(2), 19–29.

8. García-Morales, S., et al. (2023). Antifungal activity of Streptomyces spp. extracts in vitro and post-harvest application against phytopathogenic fungi. Horticulturae, 9(12), 1319. https://doi.org/10.3390/horticulturae9121319

9. Jegan, P., Sethurathinam, S., Iyyamperumal, M., Jacob, R., Kathithachalam, A., Mannu, J., Padmanabhan, S., & Gajendiran, M. (2025). Antifungal and plant-growth promoting potency of Streptomyces rochei against biotic stress caused by Race 4 Fusarium wilt on banana. Plant Stress, 15, 100779. https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100779

10. Khan, S., Srivastava, S., Karnwal, A., & Malik, T. (2025). Development and evaluation of microbial formulations containing Bacillus amyloliquefaciens and Streptomyces rochei for the sustainable management of plant pathogens. Journal of Plant Diseases and Protection, 132(5), 415–429. https://doi.org/10.1007/s41348-025-01138-6

11. Koledenkova, K., Esmaeel, Q., Jacquard, C., & Barka, E. A. (2024). Optimized production and characterization of antifungal compounds from rhizosphere Streptomyces strains using cross-streak and dual culture methods. Annals of Microbiology, 74(2), 204–218.

12. Singh, P., Xie, J., Qi, Y., & Fang, W. (2021). Bioactive antifungal metabolites produced by Streptomyces species help to control diverse phytopathogenic fungi including Alternaria alternata and Fusarium species. Microbial Cell Factories, 20(1), 184–198. https://doi.org/10.1186/s12934-021-01673-9

13. Mamarasulov, B. D., & Qosimova, Sh. Sh. (2025). Streptomyces sp. shtammini antagonistik xususiyatlarini baholash. In International scientific and practical conference «State and prospects of development of fundamental and applied microbiology» (pp. 101–104). https://doi.org/10.5281/zenodo.17185220