

## Review Artikel : Potensi Actinomycetes Sebagai Antijamur Pada Suatu Tanaman

Alfina Oktavianti, Isyana Salsabilla

Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Singaperbangsa Karawang  
Correspondence Author email : 2010631210001@student.unsika.ac.id

### Abstrak

Kerusakan tanaman akibat jamur fitopatogenik merupakan masalah serius dalam bidang pertanian. Pendekatan konvensional menggunakan pestisida sintetik terbukti efektif mengendalikan penyakit tanaman, namun menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan serta meningkatkan resistensi patogen terhadap bahan kimia. Oleh karena itu, penelitian terkini berfokus pada pengembangan agen biokontrol ramah lingkungan dan efektif. Banyak studi menunjukkan potensi penggunaan agen biokontrol berbasis mikroba, seperti bakteri dan jamur dari genus *Streptomyces*, *Bacillus*, dan *Pseudomonas*, dalam melindungi tanaman dari penyakit. Khususnya, *Actinomycetes* merupakan kelompok bakteri yang menghasilkan metabolit sekunder bioaktif, telah berhasil digunakan sebagai agen biokontrol melawan jamur dan bakteri fitopatogenik. Penelitian ini menggunakan metode studi literatur *review* dengan penelusuran literatur melalui Google Scholar dan Pubmed, dengan kata kunci Aktivitas Antijamur, *Actinomycetes*, Fitopatogen dan Agen Biokontrol Tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan *Actinomycetes* sebagai agen antijamur banyak dimanfaatkan pada bidang pertanian dan *Actinomycetes* memiliki berbagai mekanisme antagonis dalam melawan jamur fitopatogen yakni melalui metabolit sekunder, induksi resistensi inang, siderofor, dan enzim litik. Artikel ulasan ini mengkaji berbagai mekanisme *Actinomycetes* sebagai agen biokontrol dalam pertanian, serta peran antagonisnya terhadap jamur fitopatogenik sebagai alternatif terhadap penggunaan fungisida sintetik dimasa yang akan datang.

**Kata kunci:** Aktivitas Antijamur, *Actinomycetes*, Fitopatogen dan Agen Biokontrol Tanaman

### Abstract

Plant damage caused by phytopathogenic fungi is a serious issue in agriculture. Conventional approaches using synthetic pesticides have proven effective in controlling plant diseases but pose environmental and health problems and increase pathogen resistance to chemicals. Consequently, recent research focuses on developing environmentally friendly and effective biocontrol agents. Numerous studies highlight the potential use of microbial-based biocontrol agents, such as bacteria and fungi from the genera *Streptomyces*, *Bacillus*, and *Pseudomonas*, in protecting plants from diseases. Specifically, actinomycetes, a subgroup of bacteria that produce bioactive secondary metabolites, have been successfully utilized as biocontrol agents against phytopathogenic fungi and bacteria. This study employs a literature review method, searching through Google Scholar and PubMed with keywords such as Antifungal Activity, *Actinomycetes*, Phytopathogens, and Plant Biocontrol Agents. The results indicate that actinomycetes are widely used as antifungal agents in agriculture, possessing various antagonistic mechanisms against phytopathogenic fungi through secondary metabolites, host resistance induction, siderophores, and lytic enzymes. This review article examines the various mechanisms of actinomycetes as biocontrol agents in agriculture and their antagonistic roles against phytopathogenic fungi, presenting an alternative to the future use of synthetic fungicides.

**Keywords :** Antifungal Activity, *Actinomycetes*, Phytopathogens, and Plant Biocontrol Agents

## PENDAHULUAN

Salah satu masalah yang terjadi pada bidang pertanian adalah ditemukannya kerusakan pada sejumlah tanaman yang disebabkan oleh jamur fitopatogenik [1]. Cara konvensional untuk mengendalikan jamur fitopatogen yakni dengan penggunaan pestisida sintetik. Pestisida sintetik mampu mengendalikan penyakit tanaman secara efektif, namun beberapa fungisida menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan yang parah [2]. Selain itu, meningkatnya resistensi patogen terhadap bahan kimia pertanian menyebabkan organisme non-target terkena dampak negatif terhadap penggunaan pestisida tersebut, sehingga hal ini tidak dianggap sebagai solusi jangka panjang [3]. Oleh karena itu, upaya-upaya baru ini difokuskan pada pengembangan agen yang ramah lingkungan, dan efektif dalam melawan patogen tanaman untuk pengelolaan penyakit pada tanaman.

Banyak penelitian terbaru yang membahas kemungkinan penggunaan agen biokontrol berbasis mikroba sebagai pengganti dari agrokimia [4]. Berbagai bakteri dan jamur, seperti *Streptomyces*, *Bacillus*, *Pseudomonas* dan lainnya, telah berhasil digunakan sebagai agen biokontrol. Berbagai bakteri dapat mendukung tanaman inangnya dalam meningkatkan pertumbuhan atau melindunginya dari penyakit patogen [3].

Dari semua mikroba rhizosfer, *Actinomycetes* dianggap sebagai agen biokontrol yang potensial karena telah banyak digunakan untuk melindungi tanaman dari berbagai jamur dan bakteri fitopagenik [5]. Genus *Streptomyces* merupakan subkelompok dari bakteri *Actinomycetes* yang memiliki kemampuan dalam menghasilkan berbagai metabolit sekunder bioaktif [6]. Baru-baru ini, *Streptomyces* telah banyak diterapkan sebagai biokontrol untuk penyakit pada tanaman. Interaksi *Streptomyces* dengan jamur patogen biasanya disebabkan oleh produksi enzim pendegradasi dinding sel seperti selulase, kiinase, amilase dan glukonase [2]. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan *Actinomycetes* sebagai agen biokontrol pada jamur fitopatogen telah menjadi alternatif dalam penggunaan fungisida sintetik [7]. Beberapa penelitian tentang *Actinomycetes* telah banyak dilaporkan, pada *review* artikel kali ini akan membahas berbagai mekanisme *Actinomycetes* yang digunakan sebagai agen biokontrol karena pengaruhnya dalam pertanian dan mekanisme antagonisnya terhadap jamur fitopatogenik.

## METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan kajian literatur dengan melakukan pengumpulan beberapa hasil penelitian yang telah terverifikasi kredibel. Pengumpulan artikel dilakukan evaluasi ulang oleh peneliti untuk

menghasilkan analisis yang valid. Sumber artikel diperoleh dengan menelusuri artikel ilmiah melalui jurnal internasional seperti Google Scholar dan PubMed. Dalam penulisan artikel *review*, peneliti menggunakan beberapa kata kunci yang terdiri dari Aktivitas Antijamur, *Actinomyces*, Fitopatogen dan Agen Biokontrol Tanaman. Kriteria inklusi yang digunakan pada penulisan *article review* ini mencakup jurnal penelitian yang membahas mengenai potensi *Actinomyces* yang dapat dimanfaatkan sebagai bioagen antijamur pada tanaman. Kriteria eksklusi yang digunakan meliputi artikel yang diterbitkan pada rentang waktu lebih dari 5 tahun, artikel yang tidak sesuai dengan kriteria, dan artikel yang tidak lengkap. Berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, hasil skrining artikel yang terpilih sesuai kriteria tersebut dijadikan sebagai sumber utama sebanyak 6 artikel dan sebanyak 24 artikel sebagai sumber data tambahan yang dipublikasikan pada tahun 2019 sampai dengan 2024.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

*Actinomyces* merupakan bakteri gram positif yang memiliki kemiripan dengan jamur dan banyak dimanfaatkan menjadi salah satu produsen antimikroba alami [8]. *Actinomyces* mampu memproduksi spora karena mengalami kekurangan nutrisi, sehingga *Actinomyces* bertahan hidup hingga menemukan suatu kondisi yang menguntungkan untuk tetap hidup [9].

Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa *Actinomyces* memiliki metabolit sekunder yang banyak dimanfaatkan sebagai produksi antibiotik, enzim, agen antitumor, penghambat enzim, biosurfaktan dan lain sebagainya [10]. *Actinomyces* sangat penting bagi suatu tanaman karena mampu melindungi akar tanaman dengan cara menghambat pertumbuhan jamur patogen berdasarkan kemampuannya untuk menghasilkan antibiotik secara in vitro [11]. Penggunaan *Actinomyces* sebagai agen biokontrol telah banyak dijelaskan oleh penelitian sebelumnya, hal ini dikarenakan *Actinomyces* mampu meningkatkan hasil tanaman, dan mampu mengurangi penggunaan fungisida sintetik [12]. *Actinomyces* telah dipelajari sebagai agen biokontrol pada jamur fitopatogenik dengan berbagai mekanismenya, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mekanisme *Actinomyces* Dalam Mengendalikan Jamur Fitopatogen

Jenis	Fitopato	Inan	Mekani	Refer
<i>Actinomycetes</i>	gen	g	sme	ensi
			Antago	
			nis	
<i>Streptomycetes</i> sp.	<i>Colletotrichum fragaria</i>	Stroberi	Metabolit sekunder	[13]
<i>S. sampsonii</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Kacang Hijau	Metabolit sekunder	[2]

	um		er	
<i>Streptomycetes</i> sp.	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Tomat	Induksi resistensi inang (anti biofilm)	[14]
<i>Amycolatopsis</i> sp.	<i>F. graminearum</i>	Jagung	Enzim litik	[15]
<i>S. sichuanensis</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>	Pisang	Sidorofor	[16]
<i>S. rameus</i>	<i>R. bataticola</i>	Kacang	Siderofor dan enzim litik	[17]

Penerapan agen biokontrol dianggap sebagai strategi alternatif untuk mengendalikan patogen tanaman [18]. Biokontrol berkontribusi dalam meminimalkan penggunaan pestisida kimia dan mengurangi pencemaran lingkungan. Dalam beberapa dekade terakhir, beberapa mikroorganisme seperti *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces spp* dan spesies *Bacillus* diketahui memiliki agen biocontrol [19; 20]. Penelitian yang dilakukan oleh Li et al., 2021, berhasil mendapatkan strain bakteri yang memiliki kemampuan sebagai agen antijamur spektrum luas yang berhasil diisolasi dari buah mengkudu. Strain tersebut diisolasi berhasil menghambat infeksi *C. fragariae* pada buah

stroberi dan efektif mampu menjaga buah tersebut dari fitopatogen. Mekanisme antijamur diselidiki dengan dengan menguji pengaruhnya terhadap perkecambahan spora dan profil morfologi dengan menggunakan mikroskop electron. Senyawa antimikroba yang dihasilkan dari ekstrak strain QN1NO4 diidentifikasi lebih lanjut dengan GC-MS. Hasil menunjukkan bahwa strain bakteri tersebut mampu merupakan agen biokontrol yang menjajikan untuk mengendalikan penyakit pasca panen buah stroberi.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Gebily et al., 2021, berhasil mengisolasi bakteri dari tanah rizosfer yang dikumpulkan dari tanaman yang berbeda berhasil mendapatkan bakteri *S. sampsonii* yang dilakukan evaluasi bioagen terhadap *S. sclerotiorum*. *S. sampsonii* lebih efisien sebagai bioagen dalam mereduksi pertumbuhan miselia sebesar 84,50%. Aktivitas parasit *Streptomyces spp*. Pada *S. Sclerotiorum* menunjukkan deformasi bila diamati dengan cahaya dan pemindaian mikroskop elektron. Berdasarkan hasil tersebut, terbukti bahwa *S. sampsonii* mempunyai potensi sebagai agen biocontrol dan pupuk hayati dalam mengendalikan *S. clerotiorum* yang merupakan agen penyebab penyakit kapang putih pada kacang hijau.

Pengendalian biologis terhadap fitopatogen juga dilakukan oleh Kaari, et al., 2022, dalam penelitiannya mendapatkan tujuh isolat *Streptomyces* yang menunjukkan aktivitas biofilm terhadap *Ralstonis*

*solanacearum* yang dicampurkan dengan pupuk kandang yang diperkaya dengan *Streptomyces* (SFYM) untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mengendalikan layu bakteri pada tomat yang disebabkan oleh *R. solanacearum*. Hasil menunjukkan, tanaman yang diberikan perlakuan SFYM memiliki tunas dan akar yang lebih panjang. Tanaman tomat yang diberikan perlakuan UP1A-1 (pupuk yang diperkaya dengan kultur streptomyces) menunjukkan tingkat peroksida, polifenol oksidase, dan fenilalanin ammonia lyase yang tinggi. Polifenol oksidase diketahui dapat mengoksidase senyawa fenolik dan digunakan untuk pengendalian penyakit tanaman. Temuan penelitian tersebut mengungkapkan bahwa pupuk kandang yang diperkaya dengan kultur *Streptomyces* UP1A-1 dapat diterapkan sebagai alternatif ramah lingkungan terhadap bahan sintesis untuk mengendalikan penyakit layu dan mendorong pertumbuhan pada tanaman tomat.

Qi, et al., 2022, melanjutkan penelitiannya yang sebelumnya mendapatkan isolat *Streptomyces* sp. SCA3-4<sup>T</sup>, yang memiliki aktivitas antijamur spektrum luas yang berhasil diisolasi dari tanah rhizosfer. Aktivitas antijamur strain SCA3-4<sup>T</sup> diketahui berkaitan erat dengan produksi siderofor dan ekstraknya mampu menginduksi apoptosis sel Foc TR4 atau *Fusarium oxysporum*. Percobaan pada strain tersebut menunjukkan hasil yang secara signifikan mampu menghambat infeksi Foc TR4 pada akar dan umbi bibit pisang serta

mampu menurunkan indeks penyakit. Oleh karena itu strain SCA3-4<sup>T</sup> merupakan sumber mikroba yang dapat di eksplorasi sebanyak penemuan senyawa alami baru dan dapat dikembangkan sebagai biopeptisida untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap Foc TR4.

*Fusarium graminearum* merupakan patogen tanaman yang menyebabkan busuk pada akar jagung. Penggunaan fungisida dalam produksi jagung merupakan tindakan yang perlu dilakukan untuk mengendalikan patogen tersebut. Carbera, et al., 2020, berhasil mengisolasi sebanyak tiga belas strain *Actinobacteria* yang diisolasi dari tanah di sekitar akar jagung. Sebanyak 23% diketahui menunjukkan pertumbuhan yang dapat menghambat pertumbuhan miselia *F. graminearum*. Pada salah satu strain yaitu *Amycolaptosis* BX17 menunjukkan antagonis in vitro terhadap strain *Fusarium* karena memiliki aktivitas anjamur yang diseksresikan oleh bakteri tersebut. Percobaan tersebut menunjukkan bahwa *F. graminearum* yang menyebabkan nekrosis akar yang memengaruhi sifat tanaman jagung dapat dicegah oleh *Amycolaptosis* BX17. Penelitian ini mengungkapkan bahwa komunitas *Actinobacteria* memiliki kontribusi terhadap perlindungan tanaman terhadap patogen seperti *Fusarium*.

Busuk akar kacang hijau yang disebabkan oleh *Rhizoctonia bataticola*. Penelitian yang dilakukan oleh Meena et al.,

2021 melakukan pengujian antagonis terhadap *Streptomyces* yang memiliki aktivitas antijamur yang beragam dan produksi metabolit sekunder yang melimpah, Dalam penelitian yang dilakukan, telah berhasil mengidentifikasi isolat *Streptomyces* sp. yang berpotensi mengurangi busuk akar kacang hijau. Sebanyak sembilan isolat aktinobakteri rhizosfer kacang hijau dievaluasi untuk potensi antagonistik terhadap patogen yang menyebabkan akar busuk. Isolat aktinobakteri GgS 48 terbukti efektif mengurangi pertumbuhan miselium *R. bataticola* sebesar 65,3% dalam teknik kultur ganda dan meningkatkan pertumbuhan kacang hijau dalam kondisi in vitro. Aktinobakteri *S. rameus* GgS 48 menunjukkan aksi antijamur terhadap *R. bataticola* dengan penggulangan hifa, yang dikonfirmasi di bawah mikroskop elektron. Isolat ini juga menunjukkan produksi siderofor dan enzim hidrolitik, seperti kitinase dan protease. Kitinase yang diproduksi oleh GgS 48 telah dimurnikan memiliki potensi besar dalam mengurangi pertumbuhan miselium *R. bataticola*.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah disebutkan sebelumnya, *Actinomycetes* mampu menghasilkan metabolit sekunder dengan sifat antijamur [1]. Banyak metabolit yang ditemukan memiliki sifat antimikroba yang mirip dengan jamur fitopatogenik seperti amfoterisin B, *natamycin* dan *neopeptine* [21]. Amfoterisin B secara selektif menghasilkan perubahan permeabilitas dengan menginduksi lisis sel pada membrane sel jamur [22].

*Natamycin* mampu menghambat pertumbuhan jamur pada membran sel jamur, dan *neopeptine* mampu menghambat biosintesis dinding sel mikroba pada Tingkat enzimatik [11].

Mekanisme antagonis lainnya yaitu dengan memproduksi siderofor. Strain *Actinomycetes* dapat menghasilkan siderofor tipe hidroksamat yang dikenal sebagai *deferoxamine* [23]. Produksi siderofor yang cukup oleh agen biocontrol dapat membatasi ketersediaan  $Fe^{3+}$  pada jamur fitopatogenik. Dengan demikian, virulensi nya menjadi terbatas karena mikroorganisme tersebut mengalami kekurangan zat besi sehingga tidak dapat melakukan proses sintesis, respirasi, transfer fotosintesis dan reduksi nitrat [11]. *Actinomycetes* juga mampu menghasilkan enzim litik seperti kitinase dan protease yang mampu mendegradasi dinding sel jamur sehingga menyebabkan kematian sel [15]. Protease dapat menghidrolisis protein, khususnya mannoprotein sehingga membentuk dinding sel jamur fitopatogenik [11]. Resistensi yang diinduksi pada tanaman diaktifkan oleh *Actinomycetes* antagonis yang menyebabkan respon pada pertahanan inang melalui beberapa reaksi kimia [14]. *Actinomycetes* mampu menginduksi respon pertahanan pada tanaman melalui produksi berlebih dari suatu enzim yang berhubungan dengan pertahanan, dengan memperkuat struktur dinding sel, kemudian menghindari masuknya jamur fitopatogen, dan

mengkatalisis oksidasi senyawa fenolik menjadi kuionon sehingga menjadi beracun bagi jamur tersebut [24].

## **KESIMPULAN**

*Actinomycetes* dianggap sebagai agen biokontrol yang potensial karena telah banyak digunakan untuk melindungi tanaman dari berbagai jamur fitopagenik. Genus *Streptomyces* merupakan subkelompok dari bakteri *Actinomycetes* yang memiliki kemampuan dalam menghasilkan berbagai metabolit sekunder bioaktif. Interaksi *Streptomyces* dengan jamur patogen biasanya disebabkan oleh produksi enzim pendegradasi dinding sel seperti selulase, kiinase, amilase dan glukonase. Berdasarkan hasil *review* artikel sebanyak 6 jurnal yang dijadikan sebagai sumber utama, menyatakan bahwa beberapa dari jenis *Actinomycetes* yang telah disampaikan dapat menghambat bahkan bersifat mematikan pada berbagai jenis jamur patogen seperti *Colletotrichum fragaria*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Ralstonia solanacearum*, *F. Graminearum*, *Fusarium oxysporum* dan *R. bataticola*. Sehingga, penggunaan *Actinomycetes* sebagai agen biokontrol pada jamur fitopatogen dapat dijadikan alternatif dalam penggunaan fungsida sintetik.

## **REFERENCES**

[1] Alblooshi AA, Purayil GP, Saeed EE, Ramadan GA, Tariq S, Altaee AS, El-Tarabily

KA, AbuQamar SF. Biocontrol potential of endophytic actinobacteria against *Fusarium solani*, the causal agent of sudden decline syndrome on date palm in the UAE. *Journal of Fungi*. 2021 Dec 23;8(1):8.

[2] Gebily DA, Ghanem GA, Ragab MM, Ali AM, Soliman NE, Abd El-Moity TH. Characterization and potential antifungal activities of three *Streptomyces* spp. as biocontrol agents against *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary infecting green bean. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 2021 Dec;31:1-5.

[3] Devi S, Sharma M, Manhas RK. Investigating the plant growth promoting and biocontrol potentiality of endophytic *Streptomyces* SP. SP5 against early blight in *Solanum lycopersicum* seedlings. *BMC microbiology*. 2022 Nov 29;22(1):285.

[4] Li Y, Guo Q, He F, Li Y, Xue Q, Lai H. Biocontrol of root diseases and growth promotion of the tuberous plant *Aconitum carmichaelii* induced by *Actinomycetes* are related to shifts in the rhizosphere microbiota. *Microbial ecology*. 2020 Jan;79(1):134-47.

[5] Zhao J, Han L, Yu M, Cao P, Li D, Guo X, Liu Y, Wang X, Xiang W. Characterization of *Streptomyces sporangiiformans* sp. nov., a novel soil actinomycete with antibacterial activity against *Ralstonia solanacearum*. *Microorganisms*. 2019 Sep 17;7(9):360.

[6] Liu D, Yan R, Fu Y, Wang X, Zhang J, Xiang W. Antifungal, plant growth-promoting, and genomic properties of an endophytic

- actinobacterium *Streptomyces* sp. NEAU-S7GS2. *Frontiers in microbiology*. 2019 Sep 10;10:471636.
- [7] Boukaew S, Yossan S, Cheirsilp B, Prasertsan P. Impact of environmental factors on *Streptomyces* spp. metabolites against *Botrytis cinerea*. *Journal of Basic Microbiology*. 2022 May;62(5):611-22.
- [8] Sapkota A, Thapa A, Budhathoki A, Sainju M, Shrestha P, Aryal S. Isolation, characterization, and screening of antimicrobial-producing actinomycetes from soil samples. *International journal of microbiology*. 2020 Mar 26;2020.
- [9] Mitra D, Mondal R, Khoshru B, Senapati A, Radha TK, Mahakur B, Uniyal N, Myo EM, Boutaj H, Sierra BE, Panneerselvam P. Actinobacteria-enhanced plant growth, nutrient acquisition, and crop protection: Advances in soil, plant, and microbial multifactorial interactions. *Pedosphere*. 2022 Feb 1;32(1):149-70.
- [10] Selim MS, Abdelhamid SA, Mohamed SS. Secondary metabolites and biodiversity of actinomycetes. *Journal of Genetic Engineering and biotechnology*. 2021 Dec 1;19(1):72.
- [11] Torres-Rodríguez JA, Reyes-Pérez JJ, Quiñones-Aguilar EE, Hernández-Montiel LG. Actinomycete potential as biocontrol agent of phytopathogenic fungi: Mechanisms, source, and applications. *Plants*. 2022 Nov 23;11(23):3201.
- [12] Li X, Jing T, Zhou D, Zhang M, Qi D, Zang X, Zhao Y, Li K, Tang W, Chen Y, Qi C. Biocontrol efficacy and possible mechanism of *Streptomyces* sp. H4 against postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum fragariae* on strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 2021 May 1;175:111401.
- [13] Li X, Zhang M, Qi D, Zhou D, Qi C, Li C, Liu S, Xiang D, Zhang L, Xie J, Wang W. Biocontrol ability and mechanism of a broad-spectrum antifungal strain *Bacillus safensis* sp. QN1NO-4 against strawberry anthracnose caused by *Colletotrichum fragariae*. *Frontiers in microbiology*. 2021 Sep 17;12:735732.
- [14] Kaari M, Joseph J, Manikkam R, Sreenivasan A, Venugopal G, Alexander B, Krishnan S. Anti-biofilm activity and biocontrol potential of *Streptomyces* cultures against *Ralstonia solanacearum* on tomato plants. *Indian Journal of Microbiology*. 2022 Mar 1:1-8.
- [15] Cabrera R, García-López H, Aguirre-von-Wobeser E, Orozco-Avitia JA, Gutiérrez-Saldaña AH. *Amycolatopsis* BX17: An actinobacterial strain isolated from soil of a traditional milpa agroecosystem with potential biocontrol against *Fusarium graminearum*. *Biological control*. 2020 Aug 1;147:104285.
- [16] Qi D, Zou L, Zhou D, Zhang M, Wei Y, Li K, Zhao Y, Zhang L, Xie J. Biocontrol potential and antifungal mechanism of a novel *Streptomyces sichuanensis* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* tropical race 4 in vitro and in vivo. *Applied*



- Microbiology and Biotechnology. 2022 Feb;106(4):1633-49.
- [17] Meena LI, Rajeswari E, Ahiladevi P, Kamalakannan A, Kalaiselvi T. Antifungal potential of *Streptomyces rameus* GgS 48 against mungbean root rot [*Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butler]. *Journal of Biosciences*. 2022 Mar;47(1):10.
- [18] Ye WQ, Sun YF, Tang YJ, Zhou WW. Biocontrol potential of a broad-spectrum antifungal strain *Bacillus amyloliquefaciens* B4 for postharvest loquat fruit storage. *Postharvest Biology and Technology*. 2021 Apr 1;174:111439.
- [19] Rong S, Xu H, Li L, Chen R, Gao X, Xu Z. Antifungal activity of endophytic *Bacillus safensis* B21 and its potential application as a biopesticide to control rice blast. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2020 Jan 1;162:69-77.
- [20] Einloft TC, de Oliveira PB, Radünz LL, Dionello RG. Biocontrol capabilities of three *Bacillus* isolates towards aflatoxin B1 producer *A. flavus* in vitro and on maize grains. *Food Control*. 2021 Jul 1;125:107978
- [21] Zhang D, Lu Y, Chen H, Wu C, Zhang H, Chen L, Chen X. Antifungal peptides produced by actinomycetes and their biological activities against plant diseases. *The Journal of Antibiotics*. 2020 May;73(5):265-82.
- [22] Hartmann DO, Shimizu K, Rothkegel M, Petkovic M, Ferraz R, Petrovski Ž, Branco LC, Lopes JN, Pereira CS. Tailoring amphotericin B as an ionic liquid: An upfront strategy to potentiate the biological activity of antifungal drugs. *RSC advances*. 2021;11(24):14441-52.
- [23] Zhou D, Jing T, Chen Y, Yun T, Qi D, Zang X, Zhang M, Wei Y, Li K, Zhao Y, Wang W. Biocontrol potential of a newly isolated *Streptomyces* sp. HSL-9B from mangrove forest on postharvest anthracnose of mango fruit caused by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Food Control*. 2022 May 1;135:108836.
- [24] Ebrahimi-Zarandi M, Bonjar GH, Riseh RS, El-Shetehy M, Saadoun I, Barka EA. Exploring two *Streptomyces* species to control *Rhizoctonia solani* in tomato. *Agronomy*. 2021 Jul 8;11(7):1384.