

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.04.005

## 青枯病生物防治研究进展

刘帅康<sup>1</sup>, 黎听<sup>1</sup>, 丰慧<sup>1</sup>, 张翼飞<sup>2</sup>,  
黄宁<sup>2</sup>, 周粟禾<sup>1</sup>, 刘忠伟<sup>3</sup>, 蔡璘<sup>1</sup>

1. 贵州大学烟草学院/贵州省烟草品质研究重点实验室, 贵阳 550025;
2. 贵州省烟草公司 贵阳市公司, 贵阳 550100;
3. 贵州大学 农业生物工程研究院, 贵阳 550025

**摘要:** 青枯病是由青枯雷尔氏菌引发的细菌性病害, 是一种重要的植物土传病害, 可造成植物大量死亡甚至绝收, 危害十分严重, 目前尚无有效的解决办法. 利用生防菌防治植物病害能够很好地保证无毒、安全、无公害农业产品的生产. 近年来, 在青枯病的生物防治方面取得了一定的研究进展. 本文着重综述了 4 种生防菌(芽孢杆菌、链霉菌、丛枝菌根真菌、噬菌体)应用于青枯病的研究进展, 阐述了其防治青枯病的原理, 指出了生物防治的现存问题及可深入研究的方向, 并对青枯病的生物防治作出了展望.

**关键词:** 青枯病; 生物防治; 芽孢杆菌;  
链霉菌; 丛枝菌根真菌; 噬菌体

中图分类号: S432

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)04-0039-08

## Advances in Biological Control of Bacterial Wilt

LIU Shuaikang<sup>1</sup>, LI Ting<sup>1</sup>, FENG Hui<sup>1</sup>, ZHANG Yifei<sup>2</sup>,  
HUANG Ning<sup>2</sup>, ZHOU Lihe<sup>1</sup>, LIU Zhongwei<sup>3</sup>, CAI Lin<sup>1</sup>

1. College of Tobacco Science of Guizhou University / Laboratory of Tobacco Quality Research of Guizhou Province, Guiyang 550025, China;
2. Guizhou Province Tobacco Company Guiyang City, Guiyang 550100, China;
3. Agricultural Bioengineering Research Institute of Guizhou University, Guiyang 550025, China

**Abstract:** Bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* is an important soil-borne disease of plant, which often cause a large number of death of plants or even no harvest of crop, and the

收稿日期: 2023-03-25

基金项目: 黔科合基础-ZK[2023]-096; 贵大(国)创字(2022)047号.

作者简介: 刘帅康, 硕士研究生, 主要从事植物病害防控研究.

通信作者: 蔡璘, 教授.

harm is very serious. There is no effective solution at present. Biocontrol bacteria can be used to control plant diseases to ensure the production of non-toxic, safe and pollution-free agricultural products. In recent years, the biological control of bacterial wilt has also made some progress. In this paper, the research progress of biocontrol bacteria applied for control of bacterial wilt was summarized from four aspects: *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp., *Arbuscular mycorrhizal fungi* and Phage. The principle of biological control of bacterial wilt was expounded. The existing problems and further research directions of biological control of bacterial wilt were pointed out, and the biological control of bacterial wilt was prospected.

**Key words:** bacterial wilt; biological control; *Bacillus* spp.; *Streptomyces* spp.; *Arbuscular mycorrhizal fungi*; Phage

青枯病是常见的植物病害,在烟草、茄子、番茄、花生等植株中均可发生,可对品质与产量产生严重影响。青枯病的病原菌是青枯雷尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*),为一种土传病原细菌,在世界各国广泛分布,寄主植物多达50余科200多个属<sup>[1]</sup>。青枯病发病时环境温度多为20℃以上,温湿度越高(温度20℃以上、湿度80%以上)发病越严重。青枯病的典型特征是发病时间短,蔓延速度快。植物被青枯雷尔氏菌侵染后,植株顶端幼嫩的组织如幼叶、新生叶等出现萎蔫,在叶片还未退黄变枯前,植株快速脱水、青枯、凋萎。青枯病的病状往往具有一定的规律性,即中午枯萎,在早上和夜晚恢复正常,多次重复发生,枯萎程度会逐渐加剧,直至植株死亡<sup>[2]</sup>。患病植株茎秆中空,茎秆里面的纤维管组织会变成褐色,用力挤压横向切开患病植株基部,切口处会流出白色菌液。在气候干燥、温度较高的情况下,几天内植株便会枯萎死亡,叶片颜色变淡,整株植物茎叶保持绿色。烟草青枯病的主要特征为前期传播速度平缓、后期急剧。整个病害主要有3个阶段,分别为病害首发期(移栽后43~67 d)、蔓延期(移栽后67~97 d)、全面暴发期(移栽后97 d至采收)<sup>[3]</sup>。烟草青枯病是典型的维管束病害,主要受害部位在根部,中后期根部发黑腐烂,表皮组织出现叶片萎蔫、条斑、发黑腐烂。烟草感染青枯病后,茎、叶的导管结构变黑,接着病原菌侵入皮层和髓部,外表出现典型的黑色条斑<sup>[4]</sup>。

青枯病的防治方法目前主要有培育抗病品种、化学防治、生物防治等,这些方法能够在一定程度上减少青枯病的发生,但有局限性。目前还未筛选出能有效抗青枯病的植株品种,且抗病品种较少,选育过程复杂,难度较大,存在抗性效果较差、抗性较易消失的缺点。青枯病难以依靠杀菌剂彻底根除<sup>[5]</sup>,大量使用农药会带来一系列的安全问题。随着人们观念的发展,对青枯病的防治也提出了更高的要求,在有效防治青枯病的基础上,还需符合现代农业的发展要求。生物防治是一种绿色无污染的防控技术,通过一些特定生物及其代谢产物防治病虫害、杂草等,符合绿色发展的宗旨<sup>[6]</sup>。目前已开发为生物农药的生防细菌主要有假单胞杆菌属(*Pseudomonas* spp.)、芽孢杆菌属(*Bacillus* spp.)、土壤杆菌属(*Agrobacterium* spp.)、产碱菌属(*Alcaligenes* spp.)和链霉菌属(*Streptomyces* spp.)等<sup>[7]</sup>。随着对植物病害生物防治研究的深入,越来越多的生防真菌被发现和应用,如盾壳霉(*Coniothyrium minitans*)、酵母(*Saccharomyces*)、菌根真菌(*Mycorrhizal fungi*)等<sup>[8]</sup>。生物防治具有安全、绿色、无污染等优点,通过利用生物之间产生的物质来抑制病原菌的生长,从而减弱病害的影响,能够起到长期控制病虫害的作用。目前生物防治是防治青枯病的热点方式,并取得了一定的成果,防治青枯病的生防菌主要包括芽孢杆菌、链霉菌、丛支菌根真菌及噬菌体病毒等。

## 1 芽孢杆菌

芽孢杆菌具有易保存、繁殖能力强、易培养的特点,相较于其他的生防菌更加受到商家及

研究单位的重视. 芽孢杆菌属为土壤中的优势细菌属, 对农作物的生长发育具有促进作用. Guo 等<sup>[9]</sup>研究发现 *velezensis* 芽孢杆菌 Ba168 对烟草黑胫病的生物防治作用(图 1). 目前防治青枯病的芽孢杆菌主要有巨大芽孢杆菌(*B. megaterium*)、枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)、凝固芽孢杆菌(*B. coagulans*)、多黏芽孢杆菌(*B. polymyza*)、蜡状芽孢杆菌(*B. cereus*)等.

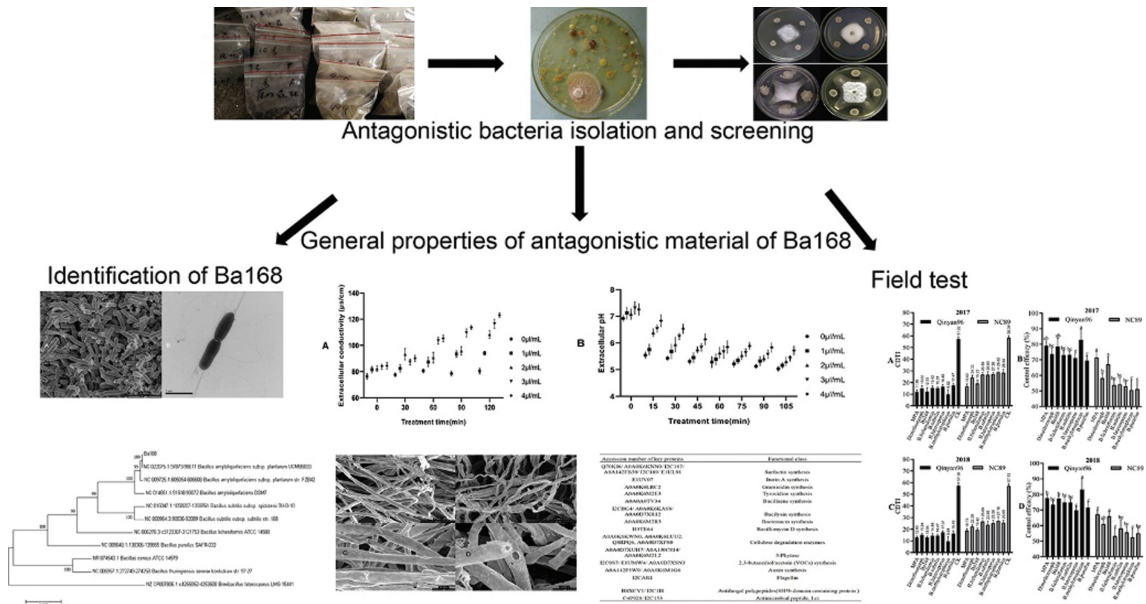


图 1 *velezensis* 芽孢杆菌 Ba168 对烟草黑胫病的防治作用<sup>[9]</sup>

植物根基促生菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)是土壤中能够直接或间接促进植物生长的微生物<sup>[10]</sup>, 能与病原菌产生拮抗作用<sup>[11]</sup>, 诱导植物抗性系统(Induce Systemic resistance, ISR)<sup>[12]</sup>. 贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)是芽孢杆菌中的一个新种, 备受研究者的关注, 贝莱斯芽孢杆菌具有广泛的抑菌活性, 被广泛应用于防治植物病害<sup>[13]</sup>. 余水等<sup>[14]</sup>的研究发现, 贝莱斯芽孢杆菌 MT310 对烟草赤星病菌(*Alternaria alternata*)的抑菌率可达 68.76%. 贝莱斯芽孢杆菌能促进黄瓜、马铃薯、辣椒等的生长, 能够有效抑制赤星病菌、青枯病菌等病原菌的生长<sup>[15]</sup>. 贝莱斯芽孢杆菌能够促进植物的生长、抑制病原菌、提高宿主的免疫能力等, 被广泛地应用于农作物病害的防控. 周向平等<sup>[16]</sup>的研究表明, 贝莱斯芽孢杆菌 F10 能够显著降低烟草青枯病的发病率与病情指数, 还能够促进烟株大田生长, 改善烤烟的农艺性状, 提高烟叶的等级, 从而提高经济效益.

枯草芽孢杆菌抑菌谱广, 除了对植物生长的促进作用外, 还对多种植物病害有良好的防治效果<sup>[17]</sup>. 甘金佳等<sup>[18]</sup>的研究表明, 100 亿芽孢杆菌/g 枯草芽孢杆菌可湿性粉剂能够对西红柿植株根部土壤中的青枯病病原菌的数量产生影响. 王丽丽等<sup>[19]</sup>的研究发现, 枯草芽孢杆菌可调节土壤中其他微生物的数量结构, 可实现西红柿青枯病防治的目标, 减少病害的发生; 施用枯草芽孢杆菌可湿性粉剂能够显著降低西红柿根部土壤中的青枯病病原菌数量, 对根部细菌数量具有先抑制后促进增长的作用, 而对真菌数量具有先促进后抑制的作用; 对放线菌的数量具有显著促进增长的作用, 使土壤微生物朝着有利于西红柿健康生长的方向进行.

## 2 链霉菌

自然界绝大多数抗生素由链霉菌产生, 利用链霉菌对青枯病进行防治较为普遍. El-Abyard

等<sup>[20]</sup>研究发现,交替使用链霉菌菌株极美链霉菌(*S.pulcher*)、灰白链霉菌(*S.canescens*)和柠檬荧光链霉菌(*S.citreco fluorescens*)对种子进行包衣处理,在42~63 d可成功地控制 *Ralstonia solanacearum* 引发的青枯病. Xiao 等<sup>[21]</sup>研究发现 *Streptomyces* sp. FX13 能够在体外和体内通过产生寡霉素 A 抑制抗杀菌剂葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*),显示出其对灰霉病的生物防治潜力(图2).

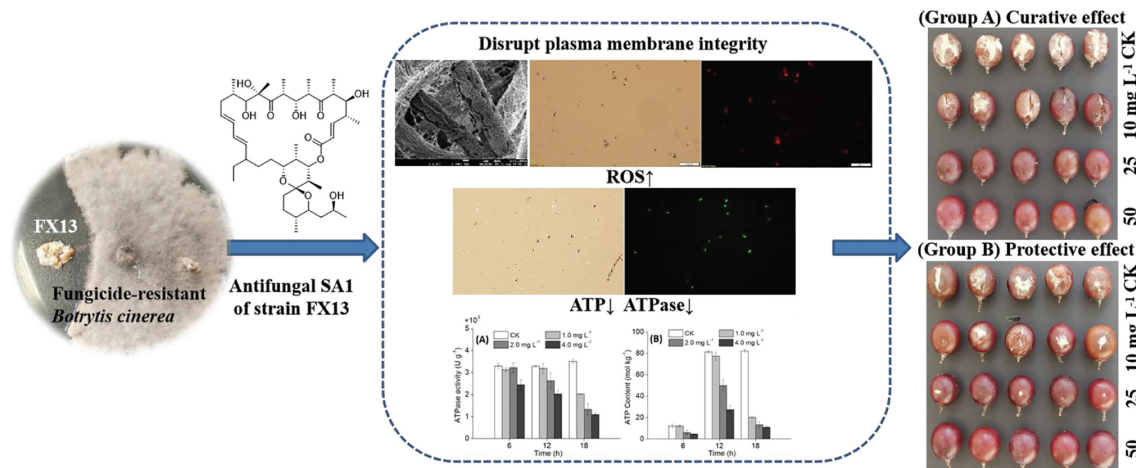


图2 寡霉素 A 抑制 ATP 酶和 ATP 含量,诱导 ROS 积累,抑制葡萄孢菌的生长<sup>[21]</sup>

娄彻氏链霉菌(*Streptomyces rochei*)是一种放线菌.李威等<sup>[22]</sup>研究发现,娄彻氏链霉菌 XL-6 是对茄子青枯病菌有强抑制作用的放线菌菌株,菌株 XL-6 的发酵液中含有的抑菌活性物质在 70 °C 以下具有较强的抑菌活性, pH 值 5~8 时对青枯菌有较强的抑制效果.发酵液中的抑菌物质不受蛋白酶、紫外线的影响,娄彻氏链霉菌 XL-6 的发酵产物在不同环境条件下对青枯菌的抑制效果具有稳定性.

链霉菌对多种植物的青枯病具有较好的防治效果,但大多单一菌株的防治时间较短,防治效果不理想.通过利用不同生长条件、生态适应性与作用机制等特点拮抗菌株的共同作用,从而提高防病效果与稳定性<sup>[23]</sup>.灰锈赤链霉菌(FX81)菌株的生态适应性强,深红紫链霉菌(FX28)菌株有较强的抑制病菌孢子萌发的能力,FX81 与 FX28 菌株之间无明显的拮抗作用,两菌株之间具有较强的亲和性,将两菌株以相同比例复合发酵、培养后发现其对番茄青枯病的抑菌圈平均直径显著大于单一菌株抑菌圈平均直径<sup>[24]</sup>,将 FX81 与 FX28 菌株复合具有良好的防控青枯病病菌的效果.

### 3 菌根真菌

菌根真菌能够与植物的根系紧密结合,在植物根系内外均有分布,增加植物与周围环境之间的联系. El-Sharkaw 等<sup>[25]</sup>的研究发现,丛枝菌根真菌(*Arbuscular mycorrhizal fungi*)、哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)和荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*)协同处理最大程度(80%)地降低了豌豆尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)对植物的危害程度(图3),因此可以用丛枝菌根真菌来防治青枯病.

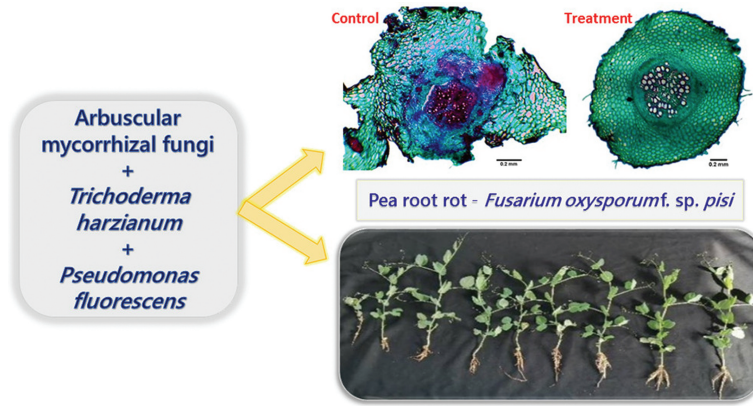


图 3 丛枝菌根真菌、哈茨木霉和荧光假单胞菌对豌豆尖孢镰刀菌的防治<sup>[25]</sup>

丛枝菌根真菌是广泛分布于土壤中的一类真菌,能与大多数植物形成共生关系<sup>[26]</sup>.刘先良等<sup>[27]</sup>研究发现,丛枝菌根真菌对感染烟草青枯病的幼苗具有一定的保护作用,能够提高烟草幼苗的株数、叶片过氧化物酶的活性、磷含量及 MDA 含量等,可有效降低烟草青枯病的发病率和病情指数,提高植株对烟草青枯病的抗性.

#### 4 噬菌体

噬菌体(Phage)是一类能够侵扰细菌的一类病毒,具有宿主特异性,是病毒中分布最普遍、最广泛的一类.噬菌体对人体的健康菌群不会造成任何伤害,因此噬菌体在医学方面具有较高的特异性<sup>[28]</sup>.噬菌体可以对宿主细菌实现精准裂解,可用于靶向治疗,具有易分离、特异性强、扩增速度快、易保存和生产、有自我复制的局限性、不易形成抗性等特点<sup>[29-30]</sup>.Holtappels 等<sup>[31]</sup>报道了一种基于噬菌体的预防性种子治疗,这种治疗能够限制病原体的影响(图 4).

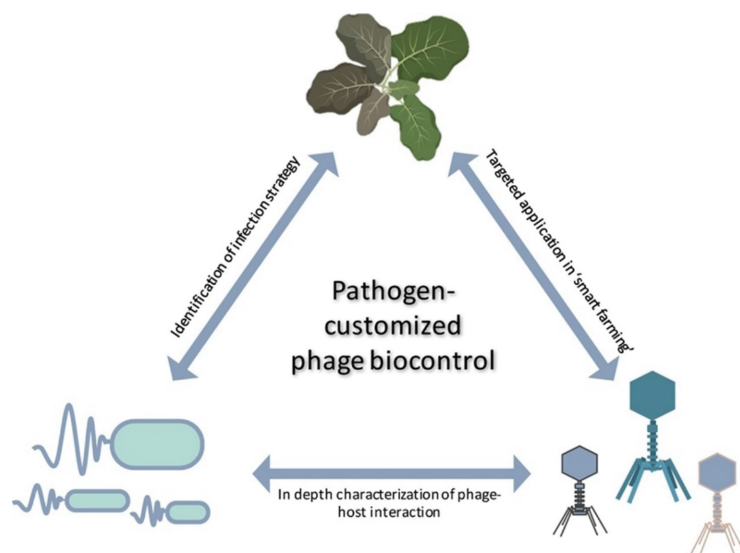


图 4 噬菌体对病原菌侵染植物的影响<sup>[31]</sup>

青枯雷尔氏菌通常是从感染青枯病的植株根部土壤中筛选获得<sup>[32]</sup>.Tanaka 等<sup>[33]</sup>报道了青枯病菌噬菌体对烟草青枯病具有良好的防治效果,当 *Ralstonia solanacearum* M4S 菌株与感染该菌株的噬菌体共同施用,能够使发病率从对照组的 95.8%降低至 14.5%.Johnson 等<sup>[34]</sup>的

研究发现,从河水中分离的噬菌体能够在自然条件下通过灌溉水防治由青枯雷尔氏菌引起的植物枯萎病.噬菌体能够明显降低植物枯萎病的发病率和环境水样中病原菌的含量.但是,目前利用青枯雷尔氏菌噬菌体防治青枯病仍面临2个主要的问题,首先是青枯病病原菌能够分泌大量胞外多糖阻止噬菌体的吸附,其次是噬菌体有高效的特异性,治疗性噬菌体往往对某一型或者几型的细菌有效<sup>[35]</sup>,对其他细菌的防治效果较弱或者没有作用,使噬菌体的大量应用受到限制.

## 5 问题与展望

目前青枯病的防治仍是农业生产上的一个难题,还没有有效防治青枯病的化学试剂.生物防治亦难以应用,主要原因有生防菌在大田条件下不稳定、受环境因素影响多、防治时间短,以至于达不到彻底防治的目的.青枯雷尔氏菌是一类易发生变异的土传细菌,其在田间生理生化特征、菌体形态、致病性等方面都存在差异<sup>[36]</sup>.尽管国内外学者在青枯病领域已经取得了研究进展,但仍然有不少问题亟待解决.本文介绍的4种生物防治方法目前仍处于试验阶段,在农业生产实践中应用较少,对青枯病的防治效果还存在一定的问题,如在田间条件下防治效果不太稳定、有关其生物安全性的研究较少等.

芽孢杆菌的抑菌谱较广,对多种植物病害均有一定的防控效果.唐萍等<sup>[37]</sup>通过研究发现,贝莱斯芽孢杆菌DJ85对昆明小鼠表现出无毒、无溶血性、无刺激性、无致病性,而且对红霉素、青霉素G、诺氟沙星等抗菌药物敏感,表明贝莱斯芽孢杆菌DJ85具有较高的生物安全性.链霉菌能够产生抗生素来抑制植物病原菌,但易受环境条件的影响,将其与杀线剂复配能够弥补二者的不足,既能增强链霉菌的稳定性,又能充分发挥链霉菌与杀线剂的协同作用,减少农药使用<sup>[38]</sup>.学者们推测菌根真菌防治青枯病的原理为,菌根真菌独特的生长状态和其占有的生态位能够形成一种机械屏障,阻止病原菌对寄主的侵入,不仅可以达到防治青枯病的目的,还可以增强植株对环境的适应性.噬菌体具有宿主特异性,能够使其具有环境安全性,但治疗谱较窄;而且,噬菌体对环境的适应能力有限,更倾向于感染同一土壤的细菌;此外,应用噬菌体防治时,其作用时间和剂量难以掌控<sup>[39]</sup>.但随着分子手段在噬菌体改造上的应用,开发出高效、使用方便、无污染的噬菌体制剂只是时间上的问题<sup>[40]</sup>.

青枯病的防治一直是农业生产领域的重点,化学农药防治青枯病的效果有限,化学农药的长期及不合理的施用也会带来许多社会问题和环境问题.生物防治可以弥补化学防治的缺点,但仍有许多的问题尚待解决.随着技术的不断完善和深入,相信青枯病生物防治的前景是相当广阔的.

### 参考文献:

- [1] KAWASAKI T, SATSUMA H, FUJIE M, et al. Monitoring of *Phytopathogenic Ralstonia Solanacearum* Cells Using Green Fluorescent Protein-Expressing Plasmid Derived from Bacteriophage phiRSS1 [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2007, 104(6): 451-456.
- [2] 赵灿. 探究番茄青枯病的生物防治策略[J]. *农村实用技术*, 2020(6): 68-69.
- [3] 黎妍妍, 王林, 孙光伟, 等. 清江流域烟区烟草青枯病流行时间动态及气象因素分析[J]. *中国烟草学报*, 2017, 23(4): 77-83.
- [4] 赵同灵, 曾德武, 彭孟祥, 等. 烟草青枯病防治研究进展 [J]. *湖南农业科学*, 2021(5): 108-110, 114.
- [5] 何洪令, 李钠钾, 孙成成, 等. 烟草青枯病的生物防治研究进展 [J]. *植物医生*, 2021, 34(2): 4-8.
- [6] 王永生. 生物防治技术的意义与应用 [J]. *农业工程技术*, 2021, 41(14): 49-50.

- [7] 许彦君, 刘海龙, 刘新晶, 等. 细菌对植物病害生物防治研究进展 [J]. 大豆科技, 2011(5): 18-22, 34.
- [8] 魏赛金, 倪国荣, 潘晓华. 水稻主要有害真菌生物防治研究进展 [J]. 江西科学, 2014, 32(2): 123-129.
- [9] GUO D S, YUAN C H, LUO Y Y, et al. Biocontrol of Tobacco Black Shank Disease (*Phytophthora Nicotianae*) by *Bacillus Velezensis* Ba168 [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2020, 165: 104523.
- [10] ARRUDA L, BENEDUZI A, MARTINS A, et al. Screening of Rhizobacteria Isolated from Maize (*Zea Mays* L.) in Rio Grande do Sul State (South Brazil) and Analysis of Their Potential to Improve Plant Growth [J]. Applied Soil Ecology, 2013, 63: 15-22.
- [11] HAYAT R, ALI S, AMARA U, et al. Soil Beneficial Bacteria and Their Role in Plant Growth Promotion: a Review [J]. Annals of Microbiology, 2010, 60(4): 579-598.
- [12] 杨海莲, 孙晓璐, 宋未. 植物根际促生细菌和内生细菌的诱导抗病性的研究进展 [J]. 植物病理学报, 2000, 30(2): 106-110.
- [13] FAN B, WANG C, DING X L, et al. AmyloWiki: an Integrated Database for *Bacillus Velezensis* FZB42, the Model Strain for Plant Growth-Promoting *Bacilli* [J]. Database: the Journal of Biological Databases and Curation, 2019, 2019: baz071.
- [14] 余水, 丁海霞, 罗玉英, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 MT310 生防机制初探 [J]. 山地农业生物学报, 2020, 39(5): 23-28.
- [15] 蔡长平, 黄军, 曾艳, 等. 一株辣椒内生拮抗细菌的筛选及初步鉴定 [J]. 湖南农业科学, 2018(7): 1-4.
- [16] 周向平, 滕凯, 肖启明, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 F10 促生作用及对烟草青枯病的防治效果 [J]. 烟草科技, 2022, 55(7): 9-16.
- [17] 乔俊卿, 陈志谊, 梁雪杰, 等. 枯草芽孢杆菌 Bs916 防治番茄青枯病 [J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(2): 229-234.
- [18] 甘金佳, 孙成荣, 尹华田, 等. 枯草芽孢杆菌可湿性粉剂防治西红柿青枯病的田间药效试验 [J]. 南方园艺, 2020, 31(6): 38-41.
- [19] 王丽丽, 李洋, 林乐志. 抑制番茄青枯病拮抗菌株的田间生防效果 [J]. 浙江农业科学, 2018, 59(2): 291-292.
- [20] EL-ABYAD M S, EL-SAYED M A, EL-SHANSHOURY A R, et al. Towards the Biological Control of Fungal and Bacterial Diseases of Tomato Using Antagonistic *Streptomyces* spp. [J]. Plant and Soil, 1993, 149(2): 185-195.
- [21] XIAO L, NIU H J, QU T L, et al. *Streptomyces* sp. FX13 Inhibits Fungicide-Resistant *Botrytis Cinerea* in Vitro and in Vivo by Producing Oligomycin A [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2021, 175: 104834.
- [22] 李威, 肖熙鸥, 李可, 等. 娄彻氏链霉菌 XL-6 的抑菌活性及对茄子幼苗的防病促生效应 [J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(4): 531-536.
- [23] 赖宝春, 姚锦爱, 戴瑞卿, 等. 2 株拮抗放线菌复合防治番茄青枯病的研究 [J]. 中国生物防治学报, 2021, 37(5): 1035-1040.
- [24] 陈志谊, 刘邗洲, 刘永锋, 等. 拮抗细菌菌株之间的互作关系及其对生物防治效果的影响 [J]. 植物病理学报, 2005, 35(6): 539-544.
- [25] EL-SHARKAWY H H A, ABBAS M S, SOLIMAN A S, et al. Synergistic Effect of Growth-Promoting Microorganisms on Bio-Control of *Fusarium Oxysporum* f. sp. pisi, Growth, Yield, Physiological and Anatomical Characteristics of Pea Plants [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2021, 178: 104939.
- [26] SMITH S E, READ D J. Mycorrhizal Symbiosis (Second Edition) [M]. Academic Press, 1997.
- [27] 刘先良, 刁向银, 申鸿, 等. 接种丛枝菌根真菌对烟草青枯病抗性的影响 [J]. 烟草科技, 2014, 47(5): 94-98.
- [28] SVIRCEV A, ROACH D, CASTLE A. Framing the Future with Bacteriophages in Agriculture [J]. Viruses, 2018, 10(5): 218.
- [29] ABEDON S T, GARCÍA P, MULLANY P, et al. Editorial: Phage Therapy: Past, Present and Future [J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8: 981.
- [30] JONES J B, JACKSON L E, BALOGH B, et al. Bacteriophages for Plant Disease Control [J]. Annual Review

- of Phytopathology, 2007, 45: 245-262.
- [31] HOLTAPPELS D, FORTUNA K, LAVIGNE R, et al. The Future of Phage Biocontrol in Integrated Plant Protection for Sustainable Crop Production [J]. Current Opinion in Biotechnology, 2021, 68: 60-71.
- [32] 侯玉刚. 青枯菌专性噬菌体的筛选及其防控番茄土传青枯病的效果研究 [D]. 南京: 南京农业大学.
- [33] TANAKA H, NEGISHI H, MAEDA H. Control of Tobacco Bacterial Wilt by an Avirulent Strain of *Pseudomonas Solanacearum* M4S and Its Bacteriophage [J]. Japanese Journal of Phytopathology, 1990, 56(2): 243-246.
- [34] JOHNSON R, GYLES C, HUFF W, et al. Bacteriophages for Prophylaxis and Therapy in Cattle, Poultry and Pigs [J]. Animal Health Research Reviews, 2008, 9(2): 201-215.
- [35] 陈志龙, 陈杰, 许建平, 等. 番茄青枯病生物防治研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 131-134.
- [36] 王震, 郭爱玲, 冯莉. 青枯病生物防治的研究进展 [J]. 中国生物防治, 2007, 23(S1): 82-86.
- [37] 唐萍, 代飞燕, 吴毅歆, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 DJB5 的生物安全性评价 [J]. 南方农业学报, 2019, 50(12): 2720-2727.
- [38] 黑雅娅, 杨树, 张欣, 等. 娄彻氏链霉菌 ZZ-9 与阿维菌素复配对南方根结线虫病的防治效果 [J]. 中国瓜菜, 2022, 35(5): 96-101.
- [39] 杨红武, 张胜, 符昌武, 等. 青枯雷尔氏菌噬菌体的研究与应用进展 [J]. 生物灾害科学, 2022, 45(3): 283-291.
- [40] 高苗. 青枯雷尔氏菌噬菌体的分离鉴定及应用研究 [D]. 北京: 中国农业科学院.

责任编辑 苏荣艳