

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.05.003

烟草靶斑病生物防治研究进展

周郑雄¹, 祝曾¹, 高峰¹, 马志锋², 陈静¹

1. 贵州省烟草公司遵义市公司桐梓分公司, 贵州 遵义 563200;

2. 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

摘要: 烟草靶斑病由立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani* Kühn)侵染叶片所致, 该病害严重威胁着烟草的产量和品质。近年来, 随着抗病品种培育、化学防治以及生物防治等举措协同推进, 烟草靶斑病的防治取得了显著成效。其中, 生物防治不仅符合可持续农业发展的战略目标, 且防控效果优良。通过系统梳理烟草靶斑病的发病特点和危害特征, 重点阐述链霉菌、芽孢杆菌、井冈霉素等生防因子在烟草靶斑病防控中的最新进展, 总结了用于防治烟草靶斑病的主要微生物种类及代谢产物, 以为烟草靶斑病的精准、可持续防控提供理论依据与技术支持。

关键词: 烟草靶斑病; 链霉菌; 芽孢杆菌;
井冈霉素

中图分类号: S435.7

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2025)05-0015-08

Progress on Biological Control of Tobacco Target Spot Disease

ZHOU Zhengxiong¹, ZHU Zeng¹, GAO Feng¹,
MA Zhifeng², CHEN Jing¹

1. Tongzi Branch of Zunyi Company of Guizhou Tobacco Company, Zunyi Guizhou 563200, China;

2. College of Tobacco/Guizhou Key Laboratory of Tobacco Quality Research, Guizhou University, Guiyang 550025, China

Abstract: Tobacco target spot disease is primarily caused by *Rhizoctonia solani* Kühn, a pathogen that significantly affects the leaves of tobacco plants. This disease poses a serious threat to both the yield and quality of tobacco. In recent years, prevention and control of tobacco target spot disease have achieved significant progress, primarily through the cultivation of resistant varieties, chemical control, and biological control. Among these methods, biological control not only

收稿日期: 2024-07-08

基金项目: 四川中烟工业有限责任公司科技项目(10202317BA500)资助。

作者简介: 周郑雄, 助理农艺师, 主要从事烟叶生产技术研究。

通信作者: 陈静, 农艺师。

aligns with the strategic goals of sustainable agricultural development but also demonstrates effective management outcomes. Therefore, this review, through sorting the incidence characteristics and hazards of tobacco target spot disease, recent advancements in biological control strategies, specifically application of *Streptomyces*, *Bacillus* species, and Jinggangmycin were mainly expounded. This review summarizes the main microbial species or metabolic products utilized for managing tobacco target spot disease, providing a scientific reference and technical support for precise and sustainable control of this disease.

Key words: tobacco target spot disease; *Streptomyces*; *Bacillus*; Jinggangmycin

烟草靶斑病是一类危害烟草叶片的病害,其病原菌无性世代为立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani* Kühn),有性世代为瓜亡革菌[*Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk]^[1]。该病害自1948年在巴西首次发现后^[2],又在多个国家相继出现,哥斯达黎加、美国、南非、加拿大等国均有报道^[3-7]。我国于2005年首次报道该病害,发病地在辽宁省丹东市烟区。2006年,辽宁省丹东市宽甸和凤城烟区再次检出该病害,严重影响当地烟区的产量^[8]。此后,烟草靶斑病在我国多地频发。2011年,谭海文等^[9]在广西省罗城、南丹、钟山三地发现烟草靶斑病,当田间湿度过大时,发病程度增加。2013—2014年,苏燕妮等^[10]报道吉林省柳河县、黑龙江省林口县、宾县等烟叶产区大面积爆发烟草靶斑病,烟叶损失十分严重。2016年,云南省普洱市和临沧市烟区发病面积超过5 333 hm²,严重地块发病率可达100%,直接经济损失巨大^[11]。2019年,贵州省开阳县、清镇市等烟区发现烟草靶斑病,给烟草生长带来极大威胁,区域平均经济损失达20%^[12]。综上,烟草靶斑病已对中国多个地区的烟草经济造成了重大冲击。

烟草靶斑病在烟草苗期和成熟期皆有发生,尤以成熟期危害最甚。苗期表现为生长不良、叶片发黄和株型矮小,呈区域发生;成熟期表现为被侵染烟叶的病斑早期呈水渍状,自下向上扩展,多呈近圆形或不规则形,边缘呈黄褐色,中央颜色较淡或近白色,并伴有同心纹。该同心纹的中心和边缘常发生撕裂现象,似子弹射击靶标后留下的孔洞,所以称为“烟草靶斑病”。在发病后期,病斑易破裂穿孔,且病斑融合易引起叶片枯萎坏死^[13]。此外,该病害也可延伸至茎部,使其颜色由绿转棕甚至变为黑色,最终使茎部严重萎蔫,病叶与植株分离。当田间湿度较大时,烟草叶片背部常见白色霉层,为该病病原菌的菌丝体和有性世代的子实层。综上所述,该病主要侵染烟草叶片,严重影响了烟草品质和卷烟产量。

1 靶斑病生物防治的作用与地位

生物防治是一种高效且安全的绿色防控手段,具有对人畜安全、环境兼容性好、有助于保护生物多样性、不易产生抗性及来源广泛等优点。研究发现,灰色链霉菌和芽孢杆菌对烟草靶斑病均有较好的抑制效果^[14-16]。莽春霞^[14]从土壤中筛选出对烟草靶斑病具有良好拮抗作用的生防链霉菌S128,其在离体叶片上的防效达69.93%。芽孢杆菌(*Bacillus*)是一种植物根际促生菌,广泛应用于生物防治领域,对紫外线、高盐、高酸、高热和辐射等具有很强的抗性,能够在植物生长过程中发挥重要作用,多数能产生植酸酶。已有研究证实,贝莱斯芽孢杆菌具有一定的防病促生能力,该菌分布广泛,对人畜无毒无害,符合绿色环保理念,不会造成环境污染,且其抑菌谱广。此外,具有生物拮抗作用的木霉菌对立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani* Kühn)引起的靶斑病具有很好的治疗作用。其中,哈茨木霉菌(*Trichoderma harzianum* Rifai)可抑制靶斑病病原菌的生长,对该病有较好的防治作用。

当前,烟草靶斑病的防治方法包括抗病品种培育、化学防治和生物防治等。抗病品种培育依赖种质资源的筛选,然而,很难筛选出对立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani* Kühn)具有稳定抗性的抗病品种^[17]。化学防治通常涉及化学药剂在苗期的消毒处理,以降低早期病害的发生率。

在大田生长阶段,化学药剂的施用能有效地控制烟草靶斑病,但其对环境健康存在潜在危害。随着绿色可持续农业理念的普及,开发安全有效且环境兼容性好的防治方法成为当前研究的重要方向。在此背景下,生物防治作为一种可行的替代方案日益受到重视。近年来,我国各大烟区在烟草靶斑病生物防治技术的研发中积极投入,致力于研发出高效的生防菌剂。

2 用于靶斑病生物防治的主要菌株

研究发现,灰色链霉菌(*Streptomyces griseus*)和芽孢杆菌(*Bacillus*)对烟草靶标病菌有较好的抑制效果^[15-17]。8%井冈霉素可溶液剂的田间防效优于多抗霉素、噁唑酰胺和菌核净等常用药剂^[18]。基于此,本文系统梳理了灰色链霉菌、芽孢杆菌及井冈霉素在烟草靶斑病生物防治中的最新进展,旨在为构建绿色、高效的病害防控技术体系提供理论依据与实践参考。

2.1 灰色链霉菌

灰色链霉菌(*Streptomyces griseus*)隶属链霉菌科,其次级代谢产物大多具有抗菌和抗病毒活性^[19-20]。因此,它在诸多烟草病害的防治中发挥着重大作用,例如黑胫病、青枯病、赤星病、花叶病毒病等^[21-35]。莽春霞^[14]自辽宁省丹东市烟田土壤中分离得到灰色链霉菌,该菌落呈灰白色,单个菌落形态扁平,多为圆形或近圆形,表面干燥,边缘不光滑,呈轮纹状生长。在显微镜下观察孢子及孢子丝形态,发现该菌孢子量多、表面光滑、形状有圆形和椭圆形,平均每个孢子链含14个孢子。

2.2 芽孢杆菌

芽孢杆菌(*Bacillus*)是革兰氏阳性菌,其特征是能在恶劣环境下产生有较强抗逆性的芽孢。据《伯杰氏系统细菌学手册》记载,该菌属已有142种芽孢杆菌被鉴定,而且数量还在不断增加。作为植物根际促生菌的重要一员,芽孢杆菌(*Bacillus*)具有耐紫外线、耐盐、耐酸碱及耐高温辐射等特性,已经作为生防菌剂大量应用于植物病害防治领域。芽孢杆菌有多个分支,包括贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)、解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)、多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)等^[36-46]。

2.2.1 贝莱斯芽孢杆菌

贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)由Ruiz-Garcia等^[47]在西班牙贝莱斯河水中分离获得,所获的两株菌分别编号为CR-14b和CR-502T。如今,芽孢杆菌已广泛应用于烟草病害防治。夏丽娟等^[48]针对烟草白粉病进行研究,证实其对烟草白粉病有较好的抑制效果,且防效优于枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*),有持效期长、稳定性好等特点。此外,贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)还可与其他生物材料联用以增强防治成效。例如,曹帅等^[49]发现,*B. velezensis* B4-7与5%水稻秸秆生物炭协同,对烟草青枯病防效可达80.6%;陈丹阳等^[15]自健康烟株根际筛得一株*B. velezensis*,平板对峙抑菌活性显著;此外,汤佳萸^[16]等在广西发现了烟草靶斑病,进行离体抑菌试验后发现贝莱斯芽孢杆菌CY30对该病菌抑菌率达64.5%。

2.2.2 解淀粉芽孢杆菌

2001年,Yoshida等^[50]于健康桑叶中分离获得*B. amyloliquefaciens* RC-2,其活性成分为环脂肽Iturin A2,可破坏病原菌膜结构。目前,解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*)已应用于植物病害防治。段海明等^[51]通过抑菌圈法发现,解淀粉芽孢杆菌的发酵上清液30倍稀释液对葡萄白腐病菌的抑制率达90%,表明*B. amyloliquefaciens*的发酵产物具有潜在的开发利用前景。胡进玲^[52]发现解淀粉芽孢杆菌LYZ69对苜蓿炭疽病抑菌率为91.56%,喷施解淀粉芽孢杆菌LYZ69的植株发病率从100%降低到55.32%,死亡率从85.56%降至0。同时该菌对霜霉、褐斑及茎点霉叶斑病亦有显著抑制,表明其广谱抗性较好。邹海露^[53]在湖南烟区筛选得

到 GT-5 与 GT-6 两株解淀粉芽孢杆菌,二者对烟草靶斑病病原菌的抑菌率分别为 63.98% 与 50.07%,具备进一步开发价值。

2.2.3 井冈霉素

井冈霉素最早由沈寅初院士于井冈山地区的土壤中发现,是我国自主开发并大规模生产应用的农用抗生素,主要用于水稻纹枯病的防治^[54-61]。井冈霉素具有较强的内吸性,易被菌体细胞吸收并在其内部迅速传导,起到干扰和抑制菌体细胞生长和发育的作用。

在井冈霉素对土壤可培养微生物的生态效应研究中,有学者发现,随着井冈霉素浓度梯度的增大,土壤中细菌、放线菌和真菌的数量呈先增加后减少的变化趋势;具体而言,在低浓度条件下,其毒性极低,而当浓度较高时则表现出一定毒性,但短时间内微生物群落可自行恢复。然而,若浓度过高,可能对土壤微生物造成不可恢复的影响^[62]。由此可见,低浓度的井冈霉素对土壤危害小,且能促进土壤微生物的活动,可作为绿色生防药剂使用。刘海民^[63]在井冈霉素防治水稻纹枯病作用机理的研究中发现,井冈霉素的防治效果可能与其能抑制海藻糖酶的活性有关。复配研究亦表明,井冈霉素与蜡质芽孢杆菌 SC 混用对水稻纹枯病的防效达 90%,发病率由 49.29% 降至 8.44%,显著优于单剂^[64]。目前,该配方思路已被引伸至烟草靶斑病防控,成为化学—生物防治协同减量的重要模板。

3 靶斑病生物防治的应用技术

3.1 灰色链霉菌的应用

有学者以烟草靶斑病为靶标,系统比较了灰色链霉菌(*Streptomyces griseus*)与胶质芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginosus* Krassilnikov)、侧孢芽孢杆菌(*Breibacillus laterosporus*)、多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)、哈茨木霉菌(*Trichoderma harzianum* Rifai)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)6种商品化生防菌剂的离体抑菌活性,抑菌效果从高到低依次为枯草芽孢杆菌(94.26%)、灰色链霉菌(88.70%)、胶质芽孢杆菌(78.55%)、侧孢芽孢杆菌(77.54%)、多粘类芽孢杆菌(75.67%)、哈茨木霉菌(73.37%),地衣芽孢杆菌(73.05%)。进一步探讨灰色链霉菌对烟草靶斑病病原菌的作用机理时发现,该菌可使病原菌的菌丝发生畸变,表现为菌丝节间变短、变粗、形态扭曲、菌丝分隔增多等现象,推测其可能通过溶解细胞壁致菌丝畸形,从而抑制病原菌生长^[14]。

温室试验结果表明,喷菌 7 d 后,灰色链霉菌的保护效果和防效分别为 69.43% 和 67.32%,仅次于枯草芽孢杆菌(70.98% 和 70.57%),显著优于其余 5 种商品菌剂。可见,灰色链霉菌兼具高效与稳定两大优势,是烟草靶斑病绿色防控的优选菌株。然而,实现田间大规模应用仍需注意选择合适的固体发酵基质,考虑加水量、接种量和装瓶量等因素的影响。后续应通过响应面法或人工智能算法建立标准化生产参数,以保证制剂质量与防效稳定性。

3.2 芽孢杆菌的应用

3.2.1 贝莱斯芽孢杆菌的应用

曹帅等^[49]发现贝莱斯芽孢杆菌 B4-7 联合 5% 水稻秸秆生物炭处理对病害的防治效果最佳,防效可达 80.59%。该菌株主要通过营养和生态位竞争、拮抗及诱导等作用机制减少病原菌对资源的占据,有效降低病原菌的数量,实现病害防控。因此,提高贝莱斯芽孢杆菌在资源竞争中的优势,是其发挥生防效能的关键。陈丹阳等^[15]发现,贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)在 30 °C 条件下保存 30 d 后,活菌率与相对活性仍保持较高水平。随着温度升高,活菌率与相对活性逐渐下降,但在强高温条件下,仍然保持一定的活力,表现出耐高温特性。在强酸条件(pH=2)下,活菌率与相对活性分别为 24.11% 和 35.50%;在强碱条件(pH=12)下,活菌率与相对活性分别为 16.19% 和 29.99%,表明该菌株有较强的耐酸碱性。此外,在与 12 种市售药

剂(井冈霉素、甲基硫菌灵、菌核净、代森锰锌、腐霉利、噻氟酰胺、三唑酮、百菌清、甲硫·戊唑醇、退菌特、阿维啞菌灵、肟菌酯·戊唑醇)进行的抗药剂性试验中,均未出现抑菌圈,说明贝莱斯芽孢杆菌对这些药剂无抗性,具备良好的复配潜力。这一发现为其与化学药剂联合用于烟草靶斑病的防治提供了理论依据。

汤佳萸等^[16]发现贝莱斯芽孢杆菌 CY30 在实验室条件下对烟草靶斑病病原菌的抑菌率为 64.5%。然而,田间试验结果显示,首次施药 7 d 后,防效为 10.88%,第二次施药 7 d 后,防效达到 26.23%,第三次施药 7 d 后,防效达到 32.80%,防治效果并不理想,推测可能与当地烟叶叶际微生物群落结构不适宜该菌株定殖有关,具体机制有待进一步研究。

3.2.2 解淀粉芽孢杆菌的应用

邹海露^[53]在染病烟田中收集健康烟株的根际土壤,制备成浓度为 10^{-6} 、 10^{-7} 和 10^{-8} g/mL 的土壤悬浮液,涂布培养后经分离纯化获得多个单菌落。利用拮抗培养法筛选出 2 株对烟草靶斑病病原菌菌丝生长有明显抑制作用的解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*),分别命名为 GT-5 和 GT-6。实验发现这两株菌对烟草靶斑病病原菌的抑制率分别为 63.98% 和 50.07%,表现出良好的抑菌活性,具有潜在的生防应用价值。

3.3 井冈霉素的应用

马欣等^[18]开展了新登记农药 8% 井冈霉素可溶液剂对烟草靶斑病的田间防治试验,结果表明,与多抗霉素、噻呋酰胺和菌核净等常用药剂相比,井冈霉素防效最好。在辽宁省凤城烟田试验地,第一次施药后防效为 86.94%,第二次施药后防效有所下降,为 79.81%,平均防效达 83.38%。而多抗霉素、噻呋酰胺和菌核净的平均防效分别为 69.33%、79.31% 和 74.67%。上述结果表明,井冈霉素对烟草靶斑病的防治效果较好,适宜在田间施用。

李再明等^[65]在云南开展了 10% 井冈霉素水剂对烟草靶斑病的田间防治试验,结果显示其防治效果优于其他 8 种参试药剂。第一次施药后 7 d,防效为 62.58%,第二次施药前,防效为 65.30%,第二次施药后 7 d,防效为 66.76%。其余 8 种参试药剂的防效在第一次施药后 7 d 为 32.61%~55.13%,第二次施药前防效为 39.17%~59.14%,第二次施药后 7 d 防效为 41.13%~60.06%,此外,井冈霉素对烤烟经济性状的影响也最为显著,对比增产 54.81%,其他 8 种防治烟草靶斑病的药剂,对比增产 27.13%~48.15%。

4 展望

当前,烟草靶斑病的研究基础仍显薄弱,诸多机制尚未阐明,直接制约了高效防控技术的突破。抗病种质资源稀缺,且选育周期长、难度大,进一步抬高了防治门槛。因此,“化学药剂为主”仍是生产上的主导策略。尽管化学药剂具有药效快、施用量少、成本低等优势,但长期频繁施用带来的土壤残留超标、微生态失衡及抗药性激增问题日益严峻。相比之下,生物防治有着诸多优点。一是环境污染小。生防菌或其活性代谢产物易降解,可显著降低面源污染。二是对作物有额外增益。部分菌株兼具防病与促生双重功能,有望减少化肥投入。三是对土壤友好。通过提高微生物多样性,重建根际微生态,增强土壤健康。然而,针对烟草靶斑病的生物防治实践仍然存在一些瓶颈,如对于烟草靶斑病的防治研究相对较少,没有足够的理论和数据支撑,难以大规模生产投入;配套体系不完善,一旦大规模发病,很难防治;已有报道显示,部分链霉菌和芽孢杆菌菌株对靶斑病病原菌抗性稳定,但可选项依旧稀少;生防菌的定殖能力与竞争活力极易受温度、pH、土著微生物群落等环境因素干扰,田间效果稳定性差;同菌株最适培养条件差异显著,多菌株联合发酵工艺复杂,规模化生产成本高。因此,后续研究应侧重开发可大规模防治烟草靶斑病的生防菌剂,在对已知有抗性的菌株进行实验的同时,提高生防菌株对环境资源的竞争能力也是发挥生防作用的关键。

参考文献:

- [1] 吴元华, 赵艳琴, 赵秀香, 等. 烟草靶斑病原鉴定及生物学特性研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(5): 521-527.
- [2] COSTA A S. Mancha aureolada erequeima do fumo causades por *Corticium solani* [J]. Biologicol, 1948, 14: 113-114.
- [3] VARGAS G E. Infection by Basidiospores of *Thanatephorus cucumeris* Causing a Follar Disease in Tobacco [J]. Turrialba, 1973(23): 357-359.
- [4] SHEW H D. Infection and Development of Target Spot of Flue-Cured Tobacco Caused by *Thanatephorus cucumeris* [J]. Plant Disease, 1990, 74(12): 1009.
- [5] GUTIERREZ W A, SHEW H D, MELTON T A. Sources of Inoculum and Management for *Rhizoctonia solani* Damping-off on Tobacco Transplants under Greenhouse Conditions [J]. Plant Disease, 1997, 81(6): 604-606.
- [6] MEYER J C, VAN WYK R J, PHILLIPS A J L. *Rhizoctonia* Leaf Spot of Tobacco in South Africa [J]. Plant Pathology, 1990, 39(1): 206-207.
- [7] GARIBALDI A, TABONE G, BERTETTI D, et al. First report of *Rhizoctonia solani* AG4 HG-1 causing Crown Rot on *Abelmoschus manihot* in Italy [J]. Journal of Plant Pathology, 2020, 102(4): 1303-1303.
- [8] 吴元华, 王左斌, 刘志恒, 等. 我国烟草新病害-靶斑病 [J]. 中国烟草学报, 2006, 12(6): 22-中插 1.
- [9] 谭海文. 广西烟草真菌性病害调查 [D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [10] 苏燕妮, 董雪, 赵艳琴, 等. 东北地区烟草靶斑病菌(*Rhizoctonia solani*)融合群、致病力分化及品种抗病性研究 [J]. 植物保护, 2016, 42(1): 170-174.
- [11] 侯慧慧, 孙剑萍, 刘子仪, 等. 云南烟草靶斑病(*Rhizoctonia solani* Kühn)病原鉴定及其融合群研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2018, 49(2): 203-208.
- [12] 黄宁, 周建云, 赵一君, 等. 烟草靶斑病病原鉴定及室内药剂毒力测定 [J]. 山地农业生物学报, 2023, 42(3): 70-75.
- [13] 肖艳松, 钟权, 吴文信, 等. 湖南烟草靶斑病的病原鉴定及分子检测 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(6): 711-715.
- [14] 莽春霞. 烟草靶斑病生防链霉菌的鉴定、作用机理及应用研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [15] 陈丹阳, 甘勇, 张万金, 等. 烟草靶斑病拮抗菌的筛选鉴定及抗逆性研究 [J/OL]. 四川农业大学学报, 2022: 1-13. (2022-10-21). <https://link.cnki.net/doi/10.16036/j.issn.1000-2650.202108044>.
- [16] 汤佳英, 桑维钧, 张得平, 等. 广西烟草靶斑病原菌鉴定与防效试验 [J]. 江苏农业科学, 2024, 52(24): 127-132.
- [17] ELLIOTT P E, LEWIS R S, SHEW H D, et al. Evaluation of Tobacco Germplasm for Seedling Resistance to Stem Rot and Target Spot Caused by *Thanatephorus cucumeris* [J]. Plant Disease, 2008, 92(3): 425-430.
- [18] 马欣, 寇宝石, 李继博, 等. 新农药 8%井冈霉素可溶液剂对烟草靶斑病的防治效果 [J]. 安徽农业科学, 2022, 50(11): 133-134.
- [19] CHATER K F. Recent Advances in Understanding *Streptomyces* [J]. F1000Research, 2016, 5: 2795.
- [20] DE LIMA PROCÓPIO R E, DA SILVA I R, MARTINS M K, et al. Antibiotics Produced by *Streptomyces* [J]. The Brazilian Journal of Infectious Diseases, 2012, 16(5): 466-471.
- [21] 韩瑞华, 江凯, 康业斌. 玫瑰黄链霉菌联合杀菌剂对烟草疫霉的防治效果 [J]. 中国生物防治学报, 2024, 40(3): 710-716.
- [22] 王静, 孔凡玉, 张成省, 等. 放线菌 F8 对烟草黑胫病的拮抗作用及其产酶活性 [J]. 中国烟草科学, 2013, 34(2): 49-53.
- [23] 邹朔飞, 董祥立, 李继业, 等. 烟草黑胫病拮抗链霉菌筛选及田间防效试验 [J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(2): 49-53.

- [24] 陆铮铮, 李小霞, 肖仲久. 放线菌、地榆和大蒜防治烟草青枯病试验 [J]. 中南农业科技, 2023(11): 242-244.
- [25] 廖鑫琳, 郭鑫, 杨季学, 等. 拮抗青枯雷尔氏菌的放线菌筛选及其防病作用 [J]. 中国农业科学, 2024, 57(7): 1319-1334.
- [26] 许大风, 倪海军, 季学军, 等. 烟草青枯病拮抗菌的筛选及发酵条件试验 [J]. 烟草科技, 2016, 49(3): 24-29.
- [27] 陆铮铮, 骆颖. 拮抗放线菌 F7-2 对烟草青枯菌的抑制作用及初步鉴定 [J]. 农技服务, 2020, 37(10): 5-6.
- [28] 张薇. 烟草青枯菌拮抗放线菌的筛选、鉴定及发酵条件研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [29] 张立帆. 烟草青枯病拮抗放线菌的分离鉴定及其生防效果的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [30] 刘丹. 烟草赤星病化学药剂筛选及生防制剂的初步研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.
- [31] 曾莉, 朱孟沼, 刘树芳, 等. 放线菌活性产物对烟草赤星病抑制作用的初步筛选研究 [J]. 西南农业学报, 2006, 19(5): 889-892.
- [32] 何莲. 烟草赤星病菌拮抗菌的筛选及应用研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006.
- [33] 姜仁杰, 王宝华, 石金开. 放线菌代谢产物对烟草花叶病毒的抑制效果 [J]. 植物保护, 1981, 7(5): 12-13.
- [34] 陈力力. 放线菌 HNS2-2 的分离、鉴定及抗烟草花叶病毒活性产物的研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [35] 曹毅, 陆宁, 夏海黔, 等. 抗烟草花叶病毒活性放线菌的初步筛选和鉴定 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 100-102.
- [36] 李亮亮, 李磊, 甄静, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 HYN-9 的分离、鉴定及其对花生白绢病的生防作用 [J]. 花生学报, 2024, 53(2): 55-62.
- [37] 张琦, 刘应敏, 杨东燕, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 SM2 对番茄灰霉病的生防效果 [J]. 中国瓜菜, 2024, 37(2): 66-73.
- [38] 刘爽, 唐锐, 谭丹, 等. 解淀粉芽孢杆菌 OMR1-7 菌株对拟石莲花属多肉植物黑腐病的生防效果 [J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2024, 39(1): 54-63.
- [39] 宛甜甜. 解淀粉芽孢杆菌 SN16-1 对水稻稻瘟病的防治作用及其诱抗机理研究 [D]. 上海: 华东理工大学, 2023.
- [40] 赵志祥, 王殿东, 周亚林, 等. 枯草芽孢杆菌 Ya-1 对辣椒枯萎病的防治及其对根际真菌群落的影响 [J]. 生物技术通报, 2023, 39(9): 213-224.
- [41] 侯凯丽, 冯宇航, 杨从军. 枯草芽孢杆菌 WR 菌株对番茄灰霉病的生防潜力 [J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2023, 40(1): 30-34.
- [42] 周京龙, 冯自力, 冯鸿杰, 等. 棉花内生蜡状芽孢杆菌 YUPP-10 对棉花黄萎病的防治作用及机制 [J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2717-2727.
- [43] 邓云, 田大刚, 苏妍, 等. 多粘类芽孢杆菌 NPDY05-8 对玉米茎基腐病的防治效果及对土壤微生物的影响 [J]. 福建农业学报, 2023, 38(12): 1445-1452.
- [44] 卓平清, 王瀚, 王昱, 等. 一株多粘类芽孢杆菌的鉴定及其对花椒根腐病菌 *Fusarium solani* 的抑菌作用 [J]. 绵阳师范学院学报, 2023, 42(5): 68-74.
- [45] 潘培培. 多粘类芽孢杆菌 P8-1 的生防效果及其根际定殖特性研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2021.
- [46] COMPANT S, CLÉMENT C, SESSITSCH A. Plant Growth-Promoting Bacteria in the Rhizo- and Endosphere of Plants: Their Role, Colonization, Mechanisms Involved and Prospects for Utilization [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(5): 669-678.
- [47] RUIZ-GARCÍA C, BÉJAR V, MARTÍNEZ-CHECA F, et al. *Bacillus velezensis* sp. nov., a Surfactant-Producing Bacterium Isolated from the River Vélez in Málaga, Southern Spain [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2005, 55(1): 191-195.
- [48] 夏丽娟, 梁竞宇, 李靖, 等. 贝莱斯芽孢杆菌对烟草白粉病的毒力与防效及对烟草的安全性评价 [J]. 农药科学与管理, 2022, 43(7): 31-36, 24.
- [49] 曹帅, 李金梦, 王蓝琴, 等. 贝莱斯芽孢杆菌 B4-7 联合水稻秸秆生物炭对烟草青枯病的防治作用 [J]. 南方农

- 业学报, 2022, 53(9): 2568-2574.
- [50] YOSHIDA S, HIRADATE S, TSUKAMOTO T, et al. Antimicrobial Activity of Culture Filtrate of *Bacillus amyloliquefaciens* RC-2 Isolated from Mulberry Leaves [J]. *Phytopathology*[®], 2001, 91(2): 181-187.
- [51] 段海明, 余利, 梁海申, 等. 解淀粉芽孢杆菌 gfj-4 发酵上清液和化学杀菌剂混配抑制葡萄白腐病菌的室内筛选 [J]. 西北农业学报, 2018, 27(8): 1216-1224.
- [52] 胡进玲. 解淀粉芽孢杆菌对苜蓿炭疽病的生物防治效果及机理研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [53] 邹海露. 湖南烟草靶斑病病原鉴定与生防菌筛选 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2021.
- [54] 沈寅初, 周良玮, 陈祥健, 等. 井冈霉素产生菌的选育 [J]. 微生物学通报, 1980(2): 49-50.
- [55] 沈寅初. 农用抗生素-井冈霉素开发研究 [J]. 抗生素, 1981, 6(1): 58-62. [知网]
- [56] 沈寅初. 井冈霉素应用和开发概况 [J]. 生物防治通报, 1985, 1(1): 55.
- [57] 沈寅初. 井冈霉素研究开发 25 年 [J]. 植物保护, 1996, 22(4): 44-45.
- [58] 沈亦. 农用抗生素井冈霉素发酵工艺条件的改革试验 [J]. 抗生素, 1981(6): 9-21.
- [59] 陈力力, 鲁迎新. 微波诱变选育井冈霉素高产菌 [J]. 生物技术, 2003, 13(5): 14-15.
- [60] 邹坚. 井冈霉素高产菌种的选育 [J]. 世界农药, 2003, 25(6): 42-43.
- [61] 一种高纯度井冈霉素粉剂的制备方法. 浙江省, 浙江工业大学, 2008-01-01.
- [62] 王家德, 钱海丰, 胡宝兰, 等. 井冈霉素对土壤可培养微生物的生态效应 [J]. 农药, 2006, 45(11): 771-774, 787.
- [63] 刘海民. 井冈霉素防治水稻纹枯病作用机理研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [64] 焉山. 2%井冈霉素·8 亿个/g 蜡质芽孢杆菌悬浮剂防治水稻纹枯病药效试验 [J]. 现代化农业, 2022(1): 13-14.
- [65] 李再明, 杨学红, 王庙昌, 等. 9 种防治烟草靶斑病的药剂筛选试验 [J]. 云南农业科技, 2022(2): 13-15.

责任编辑 孙文静 崔玉洁