

◆ 药效与应用 ◆

生防菌与铜制剂协同防治番茄青枯病的效果研究

黄小威, 干华磊, 桑松, 杨婷婷, 贺俞闽, 陈俊鹏*

(宁波三江益农化学有限公司 浙江宁波 315000)

摘要:通过平皿试验筛选出对茄科劳尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)高效拮抗的生防菌,并进行生化和分子鉴定,明确对病原菌防效最佳的生防菌株为贝莱斯芽孢杆菌SJBV-002。铜离子的耐受度试验证实,菌株SJBV-002对王铜具有较好的相容性,该菌株可与王铜进行混用。盆栽试验结果显示,施用后14 d, SJBV-002对番茄青枯病的防效达到63.7%,与王铜混用的防效达到81.65%。田间试验结果表明,药后20 d, 84%王铜DF 7.5 kg/hm²+500亿CFU/g SJBV-002 WP 15 kg/hm²对番茄青枯病防效为85.35%,显著优于生防菌和王铜单剂处理。

关键词:生防菌;铜制剂;青枯病;协同作用;防治效果

中图分类号:S 476 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2026.01.018

Study on the efficacy of combinative action of biocontrol bacteria and copper fungicide against tomato bacterial wilt

HUANG Xiaowei, GAN Hualei, SANG Song, YANG Tingting, HE Yumin, CHEN Junpeng*

(Ningbo Sunjoy Agroscience Co., Ltd., Zhejiang Ningbo 315000, China)

Abstract: Through plate assays, biocontrol bacteria highly antagonistic against *Ralstonia solanacearum* were screened, followed by biochemical and molecular identification. The best biocontrol strain against the pathogen was identified as *Bacillus velezensis* SJBV-002. The tolerance test to copper ions confirmed that strain SJBV-002 had good compatibility with copper oxychloride, the strain could be combined with copper oxychloride for application. Pot plant experiments showed that the control efficacy of strain SJBV-002 against tomato bacterial wilt reached 63.7%, while the efficacy of combinative action of biocontrol bacteria and copper oxychloride increased to 81.65% at the 14th day after application. Field trial results indicated that a treatment combining copper oxychloride 84% DF at 7.5 kg/hm² + *Bacillus velezensis* SJBV-002 WP at 15 kg/hm² achieved a control efficacy of 85.35% against tomato bacterial wilt at the 20th day after application, and was significantly superior to the efficacies of single-agent applications of the biocontrol agent and copper oxychloride.

Key words: biocontrol bacteria; copper fungicide; bacterial wilt; combined application; control efficacy

番茄(*Solanum lycopersicum*)是我国重要的蔬菜作物,其产量常年位居各类蔬菜之首^[1]。长期规模化单一种植和连作易引发番茄根腐病、黄萎病、青枯病等土传病害。青枯病是由茄科劳尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)引起的土传细菌性病害,可侵染番茄、马铃薯、辣椒等多种作物,导致60%~100%的产量损失^[2-3]。茄科劳尔氏菌定殖于植物根系,从根系侵入植株,突破作物皮层并蔓延至维管

系统,阻断水分运输,最终导致植株枯萎。其在土壤中存活时间长。早期症状表现为主茎部分叶片萎蔫下垂,仅中午显症,早晚恢复,植株仍保持绿色;随病情加剧,萎蔫部分逐渐扩展至整株,最终导致植株枯死^[4]。因此,防控由茄科劳尔氏菌引起的番茄青枯病,对于保障番茄产业可持续发展至关重要。

目前,我国防治番茄青枯病的主要方式包括:化学防治(如铜制剂、农用抗生素等)^[5],抗病品种选

收稿日期:2025-05-08

作者简介:黄小威(1991—),男,硕士,研究方向为作物土传病害防治。E-mail:huangxw@sunjoyagro.com

通信作者:陈俊鹏(1973—),男,硕士,研究方向为作物土传病害防治。E-mail:chenjp@sunjoyagro.com

育 轮作等种植模式调整^[6]、生物防治、综合治理。铜制剂是目前最常用的化学药剂,但长期单一施用导致防效欠佳。研究表明,芽孢杆菌属生防菌对多种植物病原菌具有抑制作用,可用于多种植物病害的防控,且已有将其用于番茄青枯病防治的相关报道,但实际应用中难以达到理想的防治效果^[7-8]。

为解决番茄青枯病防治难题,本研究借鉴“化学+”协同防控思路,通过将化学铜制剂与对铜具有良好耐受度的生防菌剂组合应用,以达到协同增效的目的^[9-10]。具体来说,利用化学药剂杀灭部分病原菌,同时借助耐铜生防菌抢占土壤生态位,两者协同显著降低作物感染病原菌的风险,从而提高防病效果,保障番茄产量,为番茄青枯病的防控提供新的方法和思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试病原菌株 茄科劳尔氏菌(*R. solanacearum*),由三江益农作物保护有限公司生测中心提供。

化学药剂:铜制剂,84%王铜WG,宁波三江益农化学有限公司。

供试生防菌菌株 SJBC-01、SJBC-02、SJBC-03、SJBC-04、SJBC-05、SJPA-01、SJPA-02、SJPA-03、SJBA-01、SJBA-02、SJBA-03、SJBV-001、SJBV-002、SJBV-003、SJSF、SJCB、SJR-02,由三江益农作物保护有限公司生测中心保藏并提供。

供试菌剂:500亿CFU/g贝莱斯芽孢杆菌(SJBV-002)可湿性粉剂,宁波三江益农化学有限公司提供。

1.2 试验方法

1.2.1 对病原细菌拮抗效果测定

室内抑菌试验采用打孔法进行。移取振荡培养72 h、稀释100倍的茄科劳尔氏菌培养液6 mL,置于600 mL灭菌并冷却至50℃左右的LB培养基中,迅速摇动使培养基与病原菌培养液混合均匀,分装至培养皿(每皿约20 mL)。待培养基冷却凝固制成平板备用。用直径5 mm的无菌打孔器在平板中央打孔,每孔分别注入不同初筛菌株振荡培养24 h的培养液25 μL,每个处理重复3次。28℃培养3 d,根据抑菌圈确定复筛菌株^[11]。挑选高度拮抗的菌株接种于试管斜面,于4℃保存备用,作为后续盆栽和大田试验的备选菌株。菌株拮抗分级标准如下:抑菌圈6~10 mm,有抗菌性;10 mm,轻度拮抗;11~15 mm,中度

拮抗;16~20 mm,高度拮抗。

1.2.2 生防菌的鉴定

通过扫描电镜观察菌体形态特征。将筛选出的生防菌菌株在LB平板划线,于30℃培养24~48 h,观察所得单菌落的形态、颜色等。

生理生化试验参考《伯杰氏系统细菌学手册》^[12]和《常见细菌系统鉴定手册》^[13],进行革兰氏染色、接触酶试验、淀粉水解试验等。

分子生物学鉴定以细菌DNA提取试剂盒提取筛选的生防菌菌株DNA作为模板,以16S rRNA基因通用引物27F/1492R对供试菌株的16S rRNA基因进行PCR扩增。将扩增产物送至华大基因生物科技有限公司进行测序,测序结果上传NCBI(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)进行BLAST比对,使用MEGA5.0(Bootstrap设为1 000)构建系统发育树。

1.2.3 菌株SJBV-002对王铜耐受度测试

制备生防菌菌液:将生防菌剂接种至装有10 mL LB培养基的三角瓶中,在28℃条件下以180 r/min振荡培养24~48 h,使菌液浓度达到 1×10^9 CFU/mL。

铜耐受度测试:采用梯度稀释法,将菌液稀释至 1×10^6 CFU/mL,吸取0.5 mL稀释后菌液加入装有50 mL药液的三角瓶中,以180 r/min振荡30 min(模拟田间用药)。取带菌药液100 μL涂布于LB平板,28℃黑暗培养24~48 h,记录生防菌菌落数。试验设置铜离子质量浓度分别为250 μg/mL、500 μg/mL、1 000 μg/mL,设置不加药对照处理,每个处理3次重复。通过菌落计数调查药剂对生防菌的抑制率。

1.2.4 室内防效试验

番茄青枯病菌菌液制备:将茄科劳尔氏菌接入LB液体培养基,于28℃、200 r/min条件下培养3~4 d,菌落数至 1×10^{10} CFU/mL,再用无菌水稀释50倍,制成 2×10^8 CFU/mL的菌悬液。

通过盆栽试验调查防效。空白对照(CK-)将幼苗移栽至土壤中,先浇灌30 mL清水,4 h后再浇灌80 mL清水,7 d后再次浇灌80 mL清水。阳性对照(CK+)将幼苗移栽至土壤中,先浇灌30 mL病原菌悬浮液,4 h后再浇灌80 mL清水,7 d后再次浇灌80 mL清水,调查植株发病情况。药剂处理:将幼苗移栽至土壤中,先浇灌30 mL病原菌悬浮液,4 h后浇灌80 mL药剂,7 d后再次浇灌80 mL药剂,调查植株发病情况;药剂分别为84%王铜DF(1 000倍液)、SJBV-002(1×10^8 CFU/mL)、SJBV-002(1×10^8 CFU/mL)+84%王铜DF(1 000倍液)。

每个处理3次重复,每次重复15株番茄。控制温度28℃,相对湿度60%~80%,光照周期12 h。分别于灌根后14 d、30 d,统计发病株数和病级值,根据公式(1)和公式(2)计算病情指数和防治效果。

病情分级参考文献[14]。0级,无萎蔫;1级,叶片枯萎1%~25%;3级,叶片枯萎26%~50%;5级,叶片枯萎51%~75%;7级,叶片枯萎76%~100%。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级发病株数} \times \text{各级病情级值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高病情级值}} \quad (1)$$

$$\text{防治效果}/\% = \frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.5 生防菌结合铜制剂灌根对番茄青枯病的田间防效试验

试验地设在广东省饶平县联饶镇下寨村番茄种植基地,试验田为青枯病常发地块。将番茄种植地分为12个小区,设4个灌根处理:(1)空白处理,以水灌根;(2)500亿CFU/g贝莱斯芽孢杆菌(SJBV-002)WP 15 kg/hm²;(3)84%王铜DF 7.5 kg/hm²;(4)84%王铜DF 7.5 kg/hm²+500亿CFU/g贝莱斯芽孢杆菌(SJBV-002)WP 15 kg/hm²。每个处理设3次重复,灌根量为400 mL/株,每个处理灌根处理2次。第1次灌根后15 d再次灌根,第2次灌根后20 d统计各处理组番茄青枯病发病情况。

发病率和防治效果计算公式如式(3)和式(4)^[15]。

$$\text{发病率}/\% = \frac{\text{发病植株数}}{\text{调查总植株数}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{防治效果}/\% = \frac{\text{对照发病率} - \text{处理发病率}}{\text{对照发病率}} \times 100 \quad (4)$$

1.3 数据分析

以Microsoft Excel 2013对试验数据进行初步处理,使用DPS数据处理系统分析数据差异显著性,使用MEGA 5.0软件进行系统进化树构建。

2 结果与分析

2.1 菌株拮抗测定结果

经初筛、复筛试验得到11株对青枯病菌有抑制作用的生防菌,结果见表1。拮抗细菌中,10株表现出中度拮抗。菌株SJBV-002菌株表现出高度拮抗,对茄科劳尔氏菌具有明显的抑制效果,抑菌圈直径为2.17 cm(图1)。

表1 生防菌株对茄科劳尔氏菌抑菌效果

菌株	抑菌圈平均值/cm	菌株	抑菌圈平均值/cm
SJBC-01	0	SJBA-02	1.45
SJBC-02	0	SJBA-03	1.40
SJBC-03	0	SJBV-001	1.42
SJBC-04	0	SJBV-002	2.17
SJBC-05	0	SJBV-003	1.23
SJPA-01	0	SJSF	1.30
SJPA-02	1.23	SJCB	1.30
SJPA-03	1.10	SJR-02	1.57
SJBA-01	1.20		

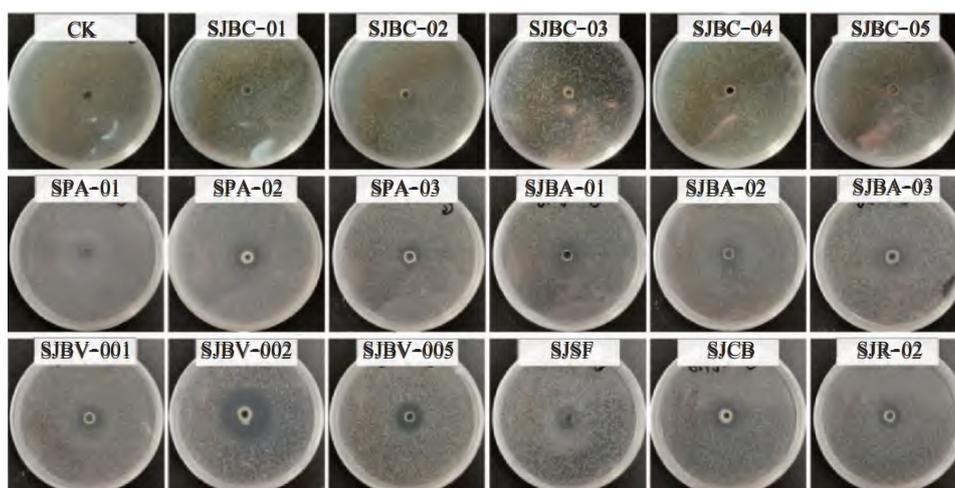


图1 生防菌对茄科劳尔氏菌的抑菌圈

2.2 菌株鉴定结果

将菌株(SJBV-002)进行生理生化检测,结果显示:革兰氏染色试验、耐10% NaCl试验、L-阿拉伯糖利用试验、柠檬酸钠利用试验、接触酶试验、氧化酶试验、硝酸还原试验、淀粉水解试验结果均呈阳性;

厌氧生长、H₂S产生试验结果呈阴性。SJBV-002菌株革兰氏染色试验结果为阳性,其可在10% NaCl水溶液和pH=5环境下生长。

将SJBV-002的生理生化性状检测结果与《伯杰氏系统细菌学手册》和《常见细菌系统鉴定手册》的检

索表进行比对,确定其性状与贝莱斯芽孢杆菌的相应性状一致。SJBV-002菌落形态及扫描电镜图如图2。



图 2 菌株SJBV-002菌落形态(左)及扫描电镜图(右)

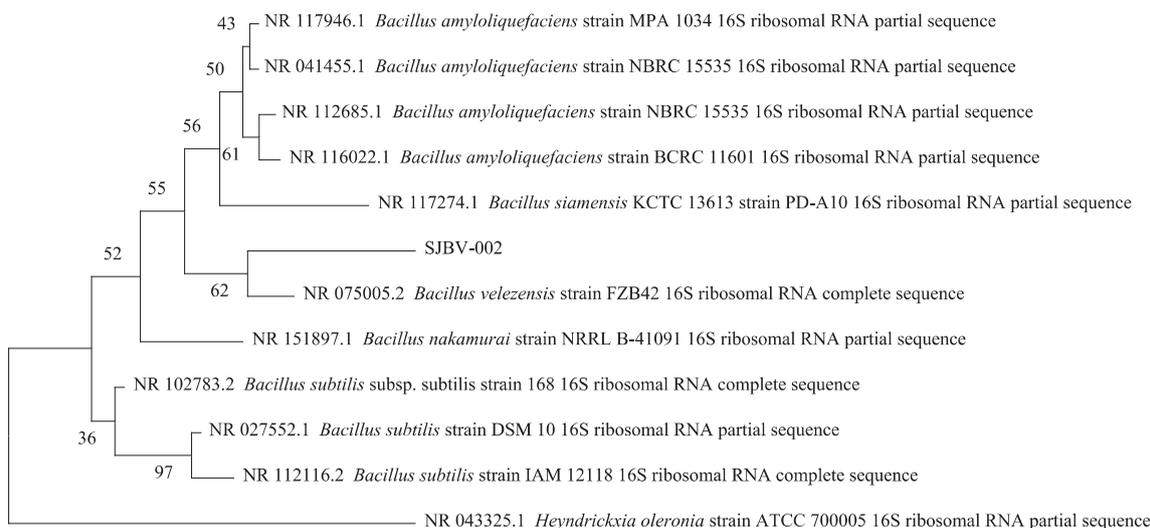


图 3 基于16S rRNA 基因构建的SJBV-002 菌株系统发育树

2.4 SJBV-002对王铜的耐受度

从表2、图4可以看出,不同质量浓度铜离子处理后,菌株SJBV-002菌落数与对照相比无显著差异,菌落在LB培养基上的生长也未表现出明显的畸形或突变。表明该菌株对王铜具有较好的耐受度,可在后续的防效验证试验中复配使用。

表 2 SJBV-002经不同质量浓度王铜处理的菌落数

处理	质量浓度/($\mu\text{g}/\text{mL}$)	菌落数/(CFU/mL)
CK		$(1.97 \pm 0.48) \times 10^9$ a
Cu^{2+}	250	$(1.65 \pm 0.34) \times 10^9$ a
Cu^{2+}	500	$(1.69 \pm 0.26) \times 10^9$ a
Cu^{2+}	1 000	$(1.77 \pm 0.32) \times 10^9$ a

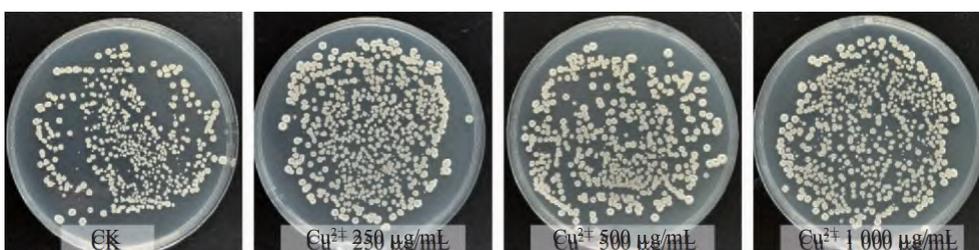


图 4 不同浓度王铜处理后 SJBV-002 涂板菌落

2.5 室内盆栽试验结果

温室盆栽试验中, SJBV-002(1×10^8 CFU/mL) + 84%王铜DF(1 000倍液)处理与单剂相比,增效作用明显,药后14 d的防效为81.65%,显著优于菌剂单剂和王铜单剂处理。随着时间推移,各处理防效

在LB培养基上,于28 $^{\circ}\text{C}$ 培养24 h,菌落呈中等大小、乳白色,表面扁平,粗糙不透明,边缘不整齐,干燥且有褶皱,中央凹状突起,细胞呈直杆状,直径0.5~0.8 μm ,长1.0~4.0 μm 。

2.3 菌株测序结果

将菌株SJBV-002的16S rRNA基因序列利用Blast工具与数据库中已知的相关序列进行在线比对,发现其与贝莱斯芽孢杆菌菌属的同源性高达99%。进一步选取与贝莱斯芽孢杆菌同属的菌株,用MEGA5.0软件构建系统发育树,结果如图3所示。

逐渐下降,药后30 d,菌剂单剂的防效为56.31%,王铜单剂(对照药剂)的防效为48.39%,菌剂+王铜处理的防效为77.61%,显著优于菌剂、王铜单剂处理。表明二者组合使用对番茄青枯病的防治有显著的增效作用(表3、图5)。

表3 室内盆栽试验结果

处理	灌根后14 d		灌根后30 d	
	病情指数	防效/%	病情指数	防效/%
阳性对照	78.09 ± 1.95		87.91 ± 1.83	
84%王铜DF(1 000倍液)	36.23 ± 1.46	53.60 ± 1.67a	45.37 ± 1.63	48.39 ± 1.71a
SJBV-002(1 × 10 ⁸ CFU/mL)	28.35 ± 1.55	63.70 ± 3.33b	38.41 ± 1.44	56.31 ± 2.11b
SJBV-002(1 × 10 ⁸ CFU/mL) + 84%王铜DF(1 000倍液)	14.33 ± 0.98	81.65 ± 1.23c	19.68 ± 0.86	77.61 ± 1.38c



图5 药后30 d各处理番茄长势

2.6 田间试验结果

第2次施药后20 d, 84%王铜DF 7.5 kg/hm²、500亿CFU/g SJBV-002 WP 15 kg/hm²处理对大田番茄青枯病的防治效果分别为51.86%、63.18%。84%王铜DF 7.5 kg/hm² + 500亿CFU/g SJBV-002 WP 15 kg/hm²处理的防效为85.35%, 联合使用的防效显著优于单剂处理(表4)。青枯病发生情况见图6。

表4 对番茄青枯病的田间防效

处理	发病率/%	防效/%
CK	50.10 ± 1.89a	
84%王铜DF 7.5 kg/hm ²	24.12 ± 2.06b	51.86 ± 1.76c
500亿CFU/g SJBV-002 WP 15 kg/hm ²	18.44 ± 1.34c	63.18 ± 1.94b
84%王铜DF 7.5 kg/hm ² + 500亿CFU/g SJBV-002 WP 15 kg/hm ²	7.34 ± 1.17d	85.35 ± 2.35a



图6 对照区番茄集中发病(左)及发病病株(右)

3 讨论

青枯病是番茄主要土传病害,近些年在全国各番茄种植区呈蔓延趋势。铜制剂为防治土传细菌病害的主流药剂之一,本研究选用王铜开展试验。室内盆栽试验结果表明,生防菌和铜制剂对青枯病的防效与病原菌接种量密切相关,且随着接种量增加,防效呈明显下降趋势。为保证药剂防效评价的一致性,重复试验中将病原菌的接种量固定为2 × 10⁸ CFU/mL。田间试验结果表明,采用稀释灌根的施药方式,84%王铜DF对番茄青枯病的防效为51.86%,结果与佃锬佳等^[16]报道的氢氧化铜防效相近。SJBV-002单剂防效为63.18%,与熊汉琴^[17]报道的3个芽孢杆菌制剂防效相近。但无论是生防菌剂还是铜制剂单剂,防效均未达到可推广程度。本次研究中将SJBV-002生防菌剂与王铜联合使用,田间防效超过85%,显著优于两者单剂处理。该试验结果与黄慧婧^[18]采用TR-1菌株1 × 10⁸ CFU/mL + 21.4%柠檬·络氨铜水剂1 600倍液组合表现出的协同增效结果类似。生防菌与含铜化学药剂混用对番茄青枯病的防效显著提升,验证了菌药复配思路在番茄青枯病防治中的可行性。本研究尚未就菌株SJBV-002对番茄的生长促进效果及其在番茄根部及根际土壤的定殖进行研究,且生防菌剂与铜制剂的最佳增效配比也有待明确,后续将进一步开展相关研究^[19]。

参考文献

[1] 李志丹,黄奇,林别,等. 利迪链霉菌 M01 对番茄生长、青枯病发

- 病率及根际细菌群落组成的影响[J]. 微生物学通报, 2023, 50(6): 2508-2518.
- [2] KHAN R A, ALAM S S, HAYAT S, et al. Eco-friendly management of bacterial wilt in tomato using dried powder of the wild arid-land medicinal shrub, *Rhazya stricta* [J]. Plant Disease, 2020, 104: 2613-2621.
- [3] 吴思炫, 高复云, 张锐澎, 等. 番茄青枯病生物防治的研究进展[J]. 应用生态学报, 2023, 34(9): 2585-2592.
- [4] RIVERA-ZULUAGA K, HILES R, BARUA P, et al. Getting to the root of *Ralstonia invasion* [J]. Semin Cell Dev Biol, 2023, 148/149: 3-12.
- [5] 王梅, 尹显慧, 龙友华, 等. 几种杀菌剂对番茄青枯病菌的毒力测定及田间药效[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 151-153.
- [6] 陈远松, 朱晓伟, 龚翔宇, 等. 分子标记在我国番茄抗病育种的应用研究进展[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(8): 1415-1420.
- [7] 徐欣韵, 王宁, 丁佳, 等. 番茄青枯病拮抗菌的定向筛选及其抗病促生机制研究[J]. 微生物学报, 2021, 61(10): 3276-3290.
- [8] 黄伟, 宋博, 张丽娟, 等. 一株番茄青枯病拮抗菌JK19的鉴定及其抑菌活性检测[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(7): 1355-1364.
- [9] PENG D, LUO K, JIANG H D, et al. Combined use of *Bacillus subtilis* strain B-001 and bactericide for the control of tomato bacterial wilt [J]. Pest Management Science, 2017, 73(6): 1253-1257.
- [10] 刘继红, 甘良, 蓝星杰, 等. 生防菌与化肥和杀菌剂混用对棉花枯萎病的防病促生作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(7): 165-172.
- [11] 瞿佳, 门欣, 陈锐, 等. 核桃黑斑病拮抗菌WMF106的筛选、鉴定及防效[J]. 微生物学通报, 2021, 48(10): 3621-3631.
- [12] 布坎南 R E, 吉本斯 N E. 伯杰氏系统细菌学手册[M]. 8 版. 北京: 科学出版社, 1984: 729-758.
- [13] 东秀珠, 蔡妙英. 常见细菌系统鉴定手册[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 62-65.
- [14] LEE S M, KONG H G, SONG G C, et al. Disruption of firmicutes and actinobacteria abundance in tomato rhizosphere causes the incidence of bacterial wilt disease [J]. ISME J, 2021, 15(1): 330-347.
- [15] 刘畅, 姚晨斌, 李小杰, 等. 复合生防菌剂对田间烟草根茎类病害的防治效果[J]. 烟草科技, 2021, 54(11): 18-24.
- [16] 佃德佳, 范鸿雁. 46%氢氧化铜水分散粒剂对辣椒青枯病的田间防治效果[J]. 蔬菜, 2015(11): 8-10.
- [17] 熊汉琴. 番茄青枯病拮抗菌的筛选及其生防机制研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [18] 黄慧娟. 番茄青枯病生防细菌的筛选鉴定及其与杀菌剂协同增效特性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [19] 徐欣韵, 王宁, 丁佳, 等. 番茄青枯病拮抗菌的定向筛选及其抗病促生机制研究[J]. 微生物学报, 2021, 61(10): 3276-3290.

(上接第 66 页)

参考文献

- [1] 李岩. 茶叶中农药多残留测定时基质效应研究[D]. 河北秦皇岛: 燕山大学, 2014.
- [2] 胡付照, 陈正行, 李鹤, 等. 茶叶中农药残留标准及检测方法研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(10): 1009-1014.
- [3] 顾佳丽, 赵刚. 农药残留分析技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2014.
- [4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [5] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 植物性食品中除虫脲残留量的测定: GB/T 5009.147—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [6] 中华人民共和国农业部. 水果、蔬菜中杀铃脲等7种苯甲酰胺类农药残留量的测定 高效液相色谱法: NY/T 1720—2009[S]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [7] LIU X Q, LI Y F, MENG W T, et al. A multi-residue method for simultaneous determination of 74 pesticides in Chinese material medica using modified QuEChERS sample preparation procedure and gas chromatography tandem mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography B, 2016, 1015-1016: 1-12.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国农业部, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中除虫脲残留量的测定 液相色谱-质谱法: GB 23200.45—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 陈磊. 乌龙茶中7种苯甲酰胺类农药残留的浸出特性[J]. 福建茶叶, 2014, 36(1): 9-13.
- [10] 王文昌, 吴娟娟, 栗星, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法测定大米和小麦中7种吡啶类农药的残留量[J]. 理化检验-化学分册, 2025, 61(5): 561-567.
- [11] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 化学分析方法验证通则: GB 5009.595—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.