

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.02.005

# 荧光假单胞菌 LSW-4 联合苗强壮对烟草青枯病的 防控效果及促生作用

白建淞<sup>1</sup>, 汪安斌<sup>2</sup>, 刘知军<sup>1</sup>, 瞿远军<sup>1</sup>,  
张贺翠<sup>2</sup>, 陆宁<sup>3</sup>, 丁伟<sup>4</sup>

1. 贵州省烟草公司 黔南州公司 瓮安分公司, 贵州 黔南 558000;
2. 西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400715;
3. 贵州省烟草科学研究院, 贵阳 550081;
4. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715

**摘要:** 烟草青枯病是严重的烟草根茎病害, 防控难度大且造成损失巨大。针对贵州省黔南地区烟草青枯病危害严重的问题, 评估了荧光假单胞菌 LSW-4 联合苗强壮在大田环境下对烟草生育期、农艺性状、防控效果及经济效益的影响。结果显示: 荧光假单胞菌 LSW-4 联合苗强壮处理对烟草具有促生作用, 全生育期缩短 10 d; 旺长期及打顶后 7 d 对烟草农艺性状的影响最显著, 打顶后 7 d 株高、茎围、最大叶长、最大叶宽、有效叶片数和最大叶面积明显优于空白对照组, 差异具有统计学意义; 并且其农艺性状均优于单用苗强壮处理。荧光假单胞菌 LSW-4 联合苗强壮处理烟草青枯病防控效果最佳, 苗强壮次之, 发病初期相对防效达 100.00%, 发病高峰期相对防效为 76.01%, 发病后期防效仍为 66.89%。经济性方面, 荧光假单胞菌 LSW-4 联合苗强壮处理相比空白对照, 每 667 m<sup>2</sup> 产量增加 23.07 kg, 每 667 m<sup>2</sup> 产值提升 1 065.80 元, 烟叶均价提高 2.78 元/kg。可见荧光假单胞菌 LSW-4 联合苗强壮可协同增效, 促进烟草生长并提高防控效果。

**关键词:** 烟草青枯病; 荧光假单胞菌;

复配组合; 促生作用; 病害防控

中图分类号: S432.4

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2025)02-0045-08

## Control Effect and Growth-Promoting Function of *Pseudomonas fluorescens* LSW-4 Combined with Seedling Strengthening on Tobacco Bacterial Wilt

收稿日期: 2024-04-04

基金项目: 中国烟草总公司科技项目(110202101055(LS-15)); 西南大学校内横向项目[M2022052]。

作者简介: 白建淞, 助理农艺师, 主要从事烤烟生产技术推广。

通信作者: 丁伟, 博士, 教授。

BAI Jiansong<sup>1</sup>, WANG Anbin<sup>2</sup>, LIU Zhijun<sup>1</sup>, QU Yuanjun<sup>1</sup>,  
ZHANG Hecui<sup>2</sup>, LU Ning<sup>3</sup>, DING Wei<sup>4</sup>

1. Weng'an Branch of Qiannan Company of Guizhou Tobacco Company, Qiannan Guizhou 558000, China;

2. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. Guizhou Academy of Tobacco Science, Guiyang 550081, China;

4. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China

**Abstract:** Tobacco bacterial wilt is a serious root disease of tobacco, which is difficult to control and causes a great loss to tobacco production. Aiming at the problem of serious damage to tobacco by bacterial wilt in Qiannan area of Guizhou Province, the effects of *Pseudomonas fluorescence* LSW-4 combined with promoting seedling strength on tobacco growth period, agronomic traits, disease control effect and economic benefit in field were evaluated. The results showed that the combined treatment of LSW-4 with promoting seedling strength had a growth-promoting effect on tobacco, and the whole growth period was shortened by 10 days. The most significant effects on agronomic traits of tobacco was observed in flowering period and 7 days after topping. The index of plant height, stem circumference, maximum leaf length, maximum leaf width, effective leaf number and maximum leaf area in treatment group were significantly better than those of in blank control group at 7 days after topping, and the differences were statistically significant. The agronomic characters of combined treatment were better than that of promoting seedling strength. The control effect of LSW-4 combined with seedling strength was the best, followed by seedling strength. The relative control effect was 100.00% when treatment applied at the early stage of infection, 76.01% at the peak period of incidence, and 66.89% at the later stage of the disease. In terms of economic characteristics, compared with the blank control, the yield of LSW-4 combined seedling strengthening treatment increased by 23.07 kg per 667 m<sup>2</sup>, the output value increased by 1, 065.80 yuan per 667 m<sup>2</sup>, and the average price of tobacco leaf increased by 2.78 yuan/kg. It can be seen that the combined treatment of *P. fluorescein* LSW-4 with seedling strengthening can synergistically promote tobacco growth and improve the control effect.

**Key words:** tobacco bacterial wilt; *Pseudomonas fluorescens*; biocontrol bacteria; growth promoting effect; disease control

近年来,贵州省黔南布依族苗族自治州加快烟叶产业转型,致力于构建现代烟草农业生产体系,探索烟叶增效、烟农增收、生态增值的绿色化发展路径,力求打造黔南山地现代农业绿色低碳发展样本<sup>[1]</sup>。然而,由于长期连作及农业生态平衡破坏,黔南烟区青枯病危害日益加重,已成为制约烟草产业绿色发展的主要障碍之一<sup>[2]</sup>。烟草青枯病由青枯雷尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)引起,该菌是第二大破坏性植物病原细菌,对烟草和其他重要茄科作物具有致死作用<sup>[3]</sup>。烟草青枯病可系统性地侵害烟株的根、茎及叶片,发病初期表现为烟株下部叶片主脉一侧的叶肉组织萎蔫、发黄,湿度较大时呈水渍状褪绿斑。随着病情发展,烟株一侧叶片枯萎,呈现“半边疯”状或整株枯萎。成熟期暴发时整株发黄,并在茎部的一侧形成黑色条斑<sup>[4]</sup>。

烟草青枯病的防控措施主要包括农药施用、作物轮作和土壤消毒等,但这些方法的防治效果仍不理想<sup>[5-7]</sup>。过度使用农药不仅容易导致病原菌产生抗药性,还可能对环境造成负面影响,进而引发公共健康问题<sup>[8]</sup>。研究表明,含钙和钼的土壤改良剂通过降低病原菌载量、改善土壤

理化性质以及根际微生物多样性来降低青枯病的发病率<sup>[9]</sup>。近年来,利用生防菌进行生物防治已成为一种有效且生态友好的防治策略。生防菌通过生态位排斥、直接拮抗、定殖以及产生次生代谢产物等方式控制病害<sup>[10]</sup>。此外,它们在寄主植物固氮、抗菌化合物及植物生长促进剂的生成方面具有广谱效应,并能诱导植物产生免疫抗性<sup>[11]</sup>。当前,利用内生菌和根际细菌等生物防治手段已成为降低青枯病发病率的有效方法<sup>[12]</sup>。研究表明,解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*) ZM9 通过生态位排斥机制有效控制烟草青枯病,抑制率达到 38.2%<sup>[13]</sup>。解淀粉芽孢杆菌 WS-10 成功定殖于烟草根部和根际土壤中,依靠生物膜的形成以及水解酶和胞外多糖的分泌,其田间防效达 72.02%<sup>[14]</sup>。

在大田试验中,增施枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*)和荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*) 3 种菌剂均能显著提高烟草对青枯病的抗性,且荧光假单胞菌剂可显著提升烟草根际微生物群落的均一性及碳源代谢能力<sup>[15]</sup>。Tahir 等<sup>[16]</sup>研究发现,萎缩芽孢杆菌(*Bacillus artrophaeus*) LSSC22 和解淀粉芽孢杆菌 FZB42 通过产生挥发性有机化合物抑制青枯病菌,并可作为植物生长促进剂。此外,某些生防菌通过提高烟草中氧化氢酶和多酚氧化酶的活性来诱导植物产生抗性,在盆栽试验中,使用贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*) EM-1 处理烟草,接种青枯病菌 5 d 后,青枯病病情指数为 5.8,较对照组降低了 45.23%<sup>[17]</sup>。铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*) NXHG29 在体外对烟草赤星病菌(*Alternaria alternata*) 和青枯病菌具有强烈的拮抗活性,且在盆栽试验中显著降低了黑胫病和青枯病的发病率<sup>[18]</sup>。

生防菌是生物防治的有效措施之一,本研究针对黔南州瓮安县烟草青枯病的严重危害,评估了苗强壮和生防菌 LSW-4 对田间烟草生育期、农艺性状、防控效果及经济效益的影响,旨在探索有效的烟草青枯病防控措施,并为绿色防控技术提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地情况

试验地位于黔南州瓮安县珠藏镇市湾村,海拔 1 005 m,经纬度为 107°15'12"E、27°19'33"N,土壤 pH 值为 4.4~4.8,前茬作物为烟草,地块为烟草青枯病常年发生地。

### 1.2 试验材料

试验品种为“湘烟 7 号”,种植密度为每 667 m<sup>2</sup> 1 000~1 100 株,采用托盘育苗的方式进行育苗,田间管理均按当地烟叶生产标准进行。试验材料为烟草育苗专用微生物菌肥苗强壮(有效活菌数≥100 亿个/g),由重庆西农植物保护科技开发有限公司提供;荧光假单胞菌 LSW-4 由西南大学天然产物农药研究室提供。

### 1.3 试验方法

试验共设置 3 个处理,每个处理 3 次重复,随机区组设计,设置保护行,其余措施均按照当地相关技术标准进行统一大田管理。处理方法如下:T1 为育苗时在育苗基质中添加苗强壮复合微生物菌剂每 667 m<sup>2</sup> 100 g,混合均匀使用;T2 为育苗时用苗强壮,移栽时将发酵(在黔南州瓮安县珠藏镇高水烟叶收购点根据微生物发酵罐的发酵工艺流程对菌液进行发酵)完成的 LSW-4 菌液稀释 1 000 倍液(10<sup>6</sup> cfu/mL)于定根水中,200 mL/株进行灌根;T3 为空白对照。

## 1.4 调查内容

### 1.4.1 烟草生育期调查

参照《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T 142—2010)的要求对不同处理进行烟草生育期调查,生育期分为伸根期、旺长期、成熟前期和成熟后期<sup>[19]</sup>。

### 1.4.2 农艺性状调查

根据《烟草农艺性状调查测量方法》(YC/T 142—2010)中的方法,分别在团棵期、旺长期以及打顶后7 d测量烟株的农艺性状,并利用公式(1)计算叶面积。

$$\text{叶面积}(\text{cm}^2) = 0.6345 \times \text{叶长}(\text{cm}) \times \text{叶宽}(\text{cm}) \quad (1)$$

### 1.4.3 病害调查

按照《烟草病虫害分级及调查方法》(GB/T 23222—2008)标准,以株为单位在发病后进行分级调查,采用五点取样法在不同处理中每隔5 d调查1次,连续调查11次。并按公式(2)(3)(4)计算发病率、病情指数和相对防效。

$$\text{发病率}(\%) = \frac{\text{发病株数}}{\text{调查总株数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{发病株数} \times \text{该病级代表值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高病级代表值}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{相对防效}(\%) = \frac{\text{对照区病情指数} - \text{处理区病情指数}}{\text{对照区病情指数}} \times 100\% \quad (4)$$

### 1.4.4 烟草经济性状调查

试验过程中,参考当地烟叶收购价格,对不同处理的烟叶总产量、总产值和均价进行统计和计算。

## 1.5 数据处理与统计分析

运用 Microsoft Excel 2016 进行数据汇总,采用 SPSS 23.0 统计软件以独立样本  $t$  检验进行组间差异分析,并用 GraphPad Prism 8.0.2 进行图形绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 生防菌处理对烟草生育期的影响

生防菌处理对烟草生育期的影响如表1所示,苗强壮和苗强壮+LSW-4处理均能够缩短烟草的生育期。其中,苗强壮+LSW-4处理对烟草的伸根期、旺长期和成熟前期的影响最大,且旺长期和成熟前期差异明显,成熟后期时长势基本一致。与空白对照组比较,苗强壮+LSW-4处理烟草的全育期减少了10 d,伸根期、旺长期和成熟前期分别缩短了2 d、3 d和4 d;苗强壮处理烟草的全育期减少了4 d,与苗强壮处理比较,苗强壮+LSW-4处理烟草的全育期减少了6 d。

表1 生防菌处理对烟草生育期的影响

d

| 处理方法 | 伸根期 | 旺长期 | 成熟前期 | 成熟后期 | 全育期 |
|------|-----|-----|------|------|-----|
| T1   | 36  | 32  | 21   | 41   | 130 |
| T2   | 34  | 31  | 19   | 40   | 124 |
| T3   | 36  | 34  | 23   | 41   | 134 |

注: T1 为施用苗强壮, T2 为施用苗强壮+LSW-4, T3 为空白对照。

2.2 生防菌处理对烟草农艺性状的影响

生防菌处理不同时期农艺性状分析如表 2 所示,苗强壮和苗强壮+LSW-4 处理对烟草的生长均具有较好的促生作用,苗强壮+LSW-4 处理烟草旺长期和打顶后 7 d 的促生效果最为显著。在旺长期,苗强壮+LSW-4 处理后烟草株高、最大叶长、最大叶宽和最大叶面积明显高于空白对照组,差异均具有统计学意义,且相比于空白对照组分别提高了 11.85%、16.25%、17.35%和 36.42%。在打顶后 7 d,苗强壮+LSW-4 处理烟草的株高、茎围、最大叶长、最大叶宽、有效叶片数和最大叶面积均明显高于空白对照,差异均具有统计学意义,且相比于空白对照组分别提高了 12.55%、14.76%、15.27%、26.07%、13.68%和 45.32%;同时苗强壮+LSW-4处理烟草的农艺性状优于苗强壮处理。

表 2 生防菌处理对不同时期烟草农艺性状的影响

| 生育期     | 处理方法 | 株高/<br>cm    | 茎围/<br>cm   | 最大叶长/<br>cm  | 最大叶宽/<br>cm | 有效叶片数/<br>片 | 最大叶面积/<br>cm <sup>2</sup> |
|---------|------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|---------------------------|
| 团棵期     | T1   | 43.61±1.20a  | 7.91±0.13a  | 58.20±0.81ab | 21.32±0.12a | 12.30±0.07a | 787.31±42.30a             |
|         | T2   | 44.26±0.96a  | 8.06±0.36a  | 60.13±1.34a  | 21.84±0.68a | 12.94±0.24a | 833.25±46.35a             |
|         | T3   | 35.19±1.61b  | 7.12±0.07a  | 54.35±1.31b  | 19.21±0.34a | 11.25±0.15a | 662.46±35.12a             |
| 旺长期     | T1   | 61.32±1.02ab | 10.01±0.07a | 66.54±1.62a  | 25.17±0.42a | 15.20±0.13a | 1 026.67±89.57a           |
|         | T2   | 63.15±1.36a  | 10.72±0.24a | 67.32±1.27a  | 25.36±0.58a | 15.67±0.51a | 1 083.24±91.42a           |
|         | T3   | 56.46±1.62b  | 9.25±0.16a  | 57.91±1.03b  | 21.61±0.63b | 14.30±0.11a | 794.04±76.32b             |
| 打顶后 7 d | T1   | 121.21±1.20a | 12.71±0.06a | 93.20±5.12a  | 32.62±2.43a | 21.20±0.21a | 1 928.98±136.42a          |
|         | T2   | 123.04±1.94a | 12.91±0.13a | 94.36±7.26a  | 33.42±1.38a | 21.94±0.94a | 2 000.90±142.81a          |
|         | T3   | 109.32±1.01b | 11.25±0.05b | 81.86±4.76b  | 26.51±0.13b | 19.30±0.19b | 1 376.93±116.37b          |

注: T1 为施用苗强壮, T2 为施用苗强壮+LSW-4, T3 为空白对照; 小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义( $p<0.05$ )。

2.3 生防菌处理对烟草青枯病的防控效果

苗强壮+LSW-4 处理烟草青枯病 6 月 29 日开始发生,比空白对照组延迟 5 d,随后病情指数逐渐升高,7 月 14 日后急剧上升,进入发病高峰期。7 月 14 日以后,苗强壮+LSW-4 和苗强壮处理的烟草病情指数及发病率明显低于空白对照组,其中苗强壮+LSW-4 处理防控效果更佳(图 1)。

发病初期(6 月 24 日)只有空白对照发生烟草青枯病,发病率为 1.25%,病情指数为 0.27,相对防效为 100%;发病高峰期(7 月 14 日),苗强壮+LSW-4、苗强壮处理和空白对照组烟草的发病率分别为 8.19%、8.00%、23.75%,病情指数分别为 2.84、3.40 和 11.84,苗强壮+LSW-4、苗强壮处理相对防效分别为 76.01%和 71.28%;发病后期(8 月 3 日),苗强壮+LSW-4、苗强壮处理和空白对照组烟草的发病率分别为 27.28%、31.57%和 53.24%,病情指数分别为 7.81、11.21 和 23.59,苗强壮+LSW-4、苗强壮处理相对防效分别为 66.89%和 52.48%(图 1、表 3);说明苗强壮+LSW-4 处理对烟草青枯病具有较好的防控效果。



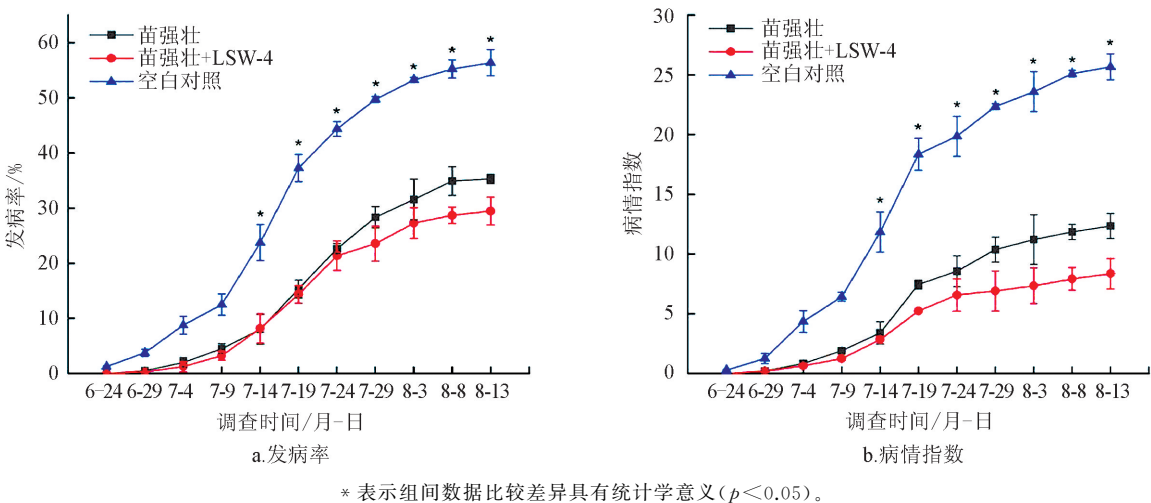


图 1 生防菌处理烟草青枯病的发病率与病情指数

| 表 3 生防菌处理烟草青枯病的相对防效 |          |         |          |          |         | %        |
|---------------------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|
| 处理方法                | 6 月 24 日 | 7 月 4 日 | 7 月 14 日 | 7 月 24 日 | 8 月 3 日 | 8 月 13 日 |
| T1                  | 100.00   | 80.69   | 71.28    | 56.90    | 52.48   | 50.11    |
| T2                  | 100.00   | 85.06   | 76.01    | 68.89    | 66.89   | 63.47    |

注：T1 为施用苗强壮，T2 为施用苗强壮+LSW-4，T3 为空白对照。

2.4 生防菌处理对烟草经济性状的影响

各处理烟草的产值、产量和均价如表 4 所示，与空白对照组比较，苗强壮+LSW-4 处理每 667 m<sup>2</sup> 的产量提高了 23.07 kg，每 667 m<sup>2</sup> 的产值增加了 1 065.80 元，且烟叶均价提升了 2.78 元/kg；与苗强壮处理比较，苗强壮+LSW-4 处理每 667 m<sup>2</sup> 的产量增收了 3.12 kg，每 667 m<sup>2</sup> 产值增加了 271.71 元，且烟叶均价提升了 1.22 元/kg。因此，苗强壮+LSW-4 处理对烟草经济性状提升效果最好。

| 表 4 生防菌处理对烟草经济性状的影响 |                            |                           |                          |
|---------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 处理方法                | 每 667 m <sup>2</sup> 产量/kg | 每 667 m <sup>2</sup> 产值/元 | 均价/(元·kg <sup>-1</sup> ) |
| T1                  | 142.26                     | 4 301.94                  | 30.24                    |
| T2                  | 145.38                     | 4 573.65                  | 31.46                    |
| T3                  | 122.31                     | 3 507.85                  | 28.68                    |

注：T1 为施用苗强壮，T2 为施用苗强壮+LSW-4，T3 为空白对照。

3 结论与讨论

烟草青枯病是一种难以防治的土传细菌性病害，生物防治被认为是控制此类病害的有效途径之一<sup>[20]</sup>。生防菌防治烟草青枯病可以减少化学农药使用、降低环境污染、增加根际微生物多样性，并有助于减缓病原菌抗药性的产生，同时促进烟株生长<sup>[21-22]</sup>。本研究表明，生防菌处理能够促进田间烟草的生育期和农艺性状，与空白对照相比，LSW-4 复合菌剂处理明显缩短了烟

草生育期,缩短了10 d。打顶后7 d, LSW-4 复合菌剂处理的烟草农艺性状明显优于空白对照,也优于苗强壮处理。

土壤理化性质恶化、土壤微生物失衡及根际微生物多样性变化是青枯病和黑胫病等土传病害发生的主要原因<sup>[23]</sup>。因此,通过土壤保育、利用生防菌调节微生态平衡并增强土壤免疫力,能够营造健康的土壤环境和多样的微生物群落,对烟草青枯病的生态防控具有重要意义。本研究表明, LSW-4 复合菌剂在防控烟草青枯病方面优于苗强壮,表明苗强壮与 LSW-4 组合具有协同增效作用。6月24日空白对照组开始发生烟草青枯病, LSW-4 复合菌剂和苗强壮处理晚5 d,说明 LSW-4 复合菌剂和苗强壮处理在一定程度上能延缓烟草青枯病的发生。随着病害的发生(7月14日),田间烟草青枯病进入发病高峰期,发病率快速升高, LSW-4 复合菌剂处理烟草的相对防效高达76.01%。到发病后期(8月3日),苗强壮处理烟草的相对防效为52.48%,而苗强壮+LSW-4 处理烟草的相对防效高达66.89%。何洪令<sup>[24]</sup>的研究发现,在田间利用 LSW-4 灌根处理,对烟草青枯病的相对防效为79.97%,这与本研究的结果一致,提示均能够有效防控烟草青枯病。

综上所述,本研究结果表明 LSW-4 复合菌剂处理能够减少烟草的全生育期(10 d),有效促进烟草生长,并显著提高烟草的产量和质量,且均优于苗强壮处理。此外, LSW-4 复合菌剂处理对烟草青枯病的防控效果最好,苗强壮处理次之。其中, LSW-4 复合菌剂处理烟草的发病率和病情指数均明显低于空白对照,发病初期相对防效高达100.00%。发病高峰期的相对防效高达76.01%,发病后期的相对防效仍然有66.89%。因此,通过 LSW-4 复合菌剂处理能使两者达到协同增效的作用,能更好促进烟草生长,增强防控效果。

#### 参考文献:

- [1] 邱龙云. 技术赋能: 实现乡村振兴的策略选择——基于黔南州瓮安县烤烟产业实践的思考[J]. 山西农经, 2022(15): 31-33.
- [2] CHEN D, ZHOU Y J, WANG M, et al. Succession Pattern in Soil Micro-Ecology under Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) Continuous Cropping Circumstances in Yunnan Province of Southwest China[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 12: 785110.
- [3] 刘勇, 韦树谷, 叶鹏盛, 等. 烟草青枯病的发生流行及生防菌防控的根际微生物效应研究进展[J]. 烟草科技, 2024, 57(2): 91-102.
- [4] 丁伟, 刘颖, 李石力, 等. 烟草青枯病的病原特性及流行预警[J]. 植物医生, 2020, 33(2): 1-10.
- [5] 王焱, 黄纯杨, 杨亮, 等. 烟草青枯病复配增效药剂筛选及田间防效[J]. 农药, 2022, 61(10): 776-780.
- [6] NICOLOPOULOU-STAMATIP, MAIPASS, KOTAMPASIC, et al. Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture[J]. *Frontiers in Public Health*, 2016, 4: 148.
- [7] 祖庆学, 聂忠扬, 林松, 等. 新形势下烟草青枯病发生特点与防治技术措施[J]. 植物医学, 2022, 1(1): 90-96.
- [8] 韩松庭, 丁伟. 烟草青枯病的化学防治研究进展[J]. 植物医生, 2019, 32(5): 20-25.
- [9] 郑世燕, 丁伟, 杜根平, 等. 增施矿质营养对烟草青枯病的控病效果及其作用机理[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1099-1110.
- [10] AHMED W, YANG J, TANY J, et al. *Ralstonia solanacearum*, a Deadly Pathogen: Revisiting the Bacterial Wilt Biocontrol Practices in Tobacco and Other Solanaceae[J]. *Rhizosphere*, 2022, 21: 100479.
- [11] 王焱, 韩松庭, 杨亮, 等. 生物有机肥对烟草青枯病防控的研究进展[J]. 植物医生, 2020, 33(6): 18-23.
- [12] ELSAYED T R, JACQUIOD S, NOUR E H, et al. Biocontrol of Bacterial Wilt Disease through Complex Interaction between Tomato Plant, Antagonists, the Indigenous Rhizosphere Microbiota, and *Ralstonia so-*

- lanacearum*[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2020, 10: 2835.
- [13] HU Y, ZHAO W, LI X H, et al. Integrated Biocontrol of Tobacco Bacterial Wilt by Antagonistic Bacteria and Marigold[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 16360.
- [14] AHMED W, DAI Z L, ZHANG J H, et al. Plant-Microbe Interaction: Mining the Impact of Native *Bacillus Amyloliquefaciens* WS-10 on Tobacco Bacterial Wilt Disease and Rhizosphere Microbial Communities[J]. *Microbiology Spectrum*, 2022, 10(4): e0147122.
- [15] 刘晓姣, 麻子君, 薛乐, 等. 3 种有益菌剂对烟草抗青枯病及根际微生物功能多样性的影响[J]. *植物医生*, 2021, 34(4): 23-30.
- [16] TAHIR H A S, GU Q, WU H J, et al. *Bacillus* Volatiles Adversely Affect the Physiology and Ultra-Structure of *Ralstonia Solanacearum* and Induce Systemic Resistance in Tobacco Against Bacterial Wilt[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 40481.
- [17] SUI X N, HAN X B, CAO J M, et al. Biocontrol Potential of *Bacillus velezensis* EM-1 Associated with Suppressive Rhizosphere Soil Microbes Against Tobacco Bacterial Wilt[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 940156.
- [18] SONG S, LI S U N, JUN-XIONG S H I. Effects of Successive Application of Bioorganic Fertilizer on Controlling Tobacco Wilt Caused by *Ralstonia solanacearum*[J]. *Soils*, 2013, 45(3): 451-458.
- [19] 王垚, 张宸, 漆夏燕, 等. 高海拔烟区移栽时间和育苗措施对烟草生长发育及经济性状的影响[J]. *植物医生*, 2021, 34(5): 30-36.
- [20] HU Y, LI Y Y, YANG X Q, et al. Effects of Integrated Biocontrol on Bacterial Wilt and Rhizosphere Bacterial Community of Tobacco[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 2653.
- [21] 和国优, 郭建伟, 孔垂思. 生防菌对烟草青枯病控制的研究进展[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(23): 9-16.
- [22] 李碧德. 两种生防菌(*Paenibacillus polymyxa* 与 *Pseudomonas fluorescens*)防控烟草青枯病的特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [23] TANG T T, SUN X, LIU Q, et al. Treatment with Organic Manure Inoculated with a Biocontrol Agent Induces Soil Bacterial Communities to Inhibit Tomato *Fusarium* Wilt Disease[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2023, 13: 1006878.
- [24] 何洪令. 烟草青枯菌拮抗细菌的筛选鉴定及其生防特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021.

责任编辑 苏荣艳