

香蕉抗病品种配套调土增菌的 枯萎病防控技术

周登博^{1,2} 井涛^{1,2} 王尉^{1,2} 李凯^{1,2} 陈宇丰^{1,2} 赵炎坤^{1,2} 张妙宜^{1,2} 冯筠庭^{1,2}

魏永赞^{1,2} 起登凤^{1,2} 谢江辉^{1,2*}

(¹ 中国热带农业科学院热带生物技术研究所, 热带作物生物育种全国重点实验室
海南海口 571101

²中国热带农业科学院三亚研究院 海南三亚 572025)

摘要: 香蕉是果粮兼用作物, 是世界第二大水果, 为全球约 20 亿人提供碳水化合物, 香蕉产业在我国热区乡村振兴中发挥重要作用。但由尖孢镰刀菌古巴专化型 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) 引发的香蕉枯萎病, 病原菌传播快、适应性强且孢子能长期休眠, 难以通过传统化学防治手段根治, 曾在我国香蕉主产区大面积发生, 造成重大损失, 严重制约产业健康发展。经过多年攻关, 国家香蕉产业技术体系形成一套香蕉枯萎病综合防控的技术体系, 有效遏制了该病在我国的蔓延。据此, 本文从防治适期、植前调查、抗病品种选择、土壤调理、有益微生物添加和少耕免耕栽培等方面, 系统介绍了抗病品种配套调土增菌的枯萎病防控技术的主要措施, 以期为香蕉产业健康可持续发展提供技术支撑。

关键字: 香蕉; 枯萎病; 品种; 调土增菌; 防控

中图分类号: S668.1

Technology for the Prevention and Control of Banana *Fusarium* Wilt Based on Disease-Resistant Varieties Combined with Soil Improvement and Beneficial Microbial Enhancement

基金项目: 国家香蕉产业技术体系 (CARS-31); 海南省科技人才创新项目 (KJRC2023B16); 海南省重点研发项目 (ZDZF2025GXJS137)。

作者简介: 周登博 (1982—), 副研究员, 研究方向为热带作物病害生物防控。E-mail: zhoudengbo@itbb.org.cn

*通信作者: 谢江辉 (1973—), 研究员, 研究方向为热带果树栽培。

ZHOU Dengbo^{1,2}, JING Tao^{1,2}, WANG Wei^{1,2}, LI Kai^{1,2}, CHEN Yufeng^{1,2}, ZHAO Yankun^{1,2},
ZHANG Miaozi^{1,2}, FENG Junting^{1,2}, WEI Yongzan^{1,2}, QI Dengfeng^{1,2}, XIE Jianghui^{1,2*}

(¹National Key Laboratory of Tropical Crop Biotechnology and Breeding, Institute of Tropical Bioscience
and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan;

²Sanya Research Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Sanya 572025, Hainan)

Abstract: Banana is a dual-purpose crop for both fruit and staple food, and ranks as the second most important fruit worldwide. It provides carbohydrates for approximately 2 billion people globally, and the banana industry plays a crucial role in tropical agriculture and rural revitalization in China. However, banana *fusarium* wilt, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*), is difficult to eradicate through traditional chemical control methods due to the pathogen's rapid spread, strong adaptability, and long-term dormant spores. The disease has occurred on a large scale in major banana-producing regions in China, resulting in substantial economic losses and severely restricting the healthy development of the banana industry. After years of dedicated research, the National Banana Industry Technology System has developed a comprehensive prevention and control technical system for banana fusarium wilt, which has effectively curbed the spread of the disease in China. Based on this, this paper systematically introduced the main measures of the fusarium wilt prevention and control technology combining disease-resistant varieties with soil improvement and beneficial microbial enhancement. The strategy encompassed optimal control period, pre-planting investigation, selection of disease-resistant varieties, soil conditioning, application of beneficial microorganisms, and reduced-tillage or no-tillage cultivation, aiming to provide technical support for the healthy and sustainable development of the banana industry.

Keywords: banana; *Fusarium* wilt; variety; soil improvement and beneficial microbial enhancement; disease prevention and control

香蕉 (*Musa* spp.) 是多年生大型草本植物, 属芭蕉科 (*Musaceae*) 芭蕉属 (*Musa*)。香蕉是果粮兼用作物, 是世界第二大水果、第四大粮食作物, 也是全球约 20 亿人口碳水化合物的重要来源^[1]。香蕉产量高、分布广、果肉富含蛋白质、维生素、矿物质等多种营养成分, 特别是每 100 g 香蕉果肉含钾量约 350~420 mg, 在常见水果中位居前列; 此外香蕉含有 5-羟色胺有助于调节情绪, 因此香蕉被誉为“来福果”“智慧果”和“爱情果”^[2]。2023 年全球有 130 多个国家种植香蕉, 分布在南北回归线之间的亚洲、美洲和非洲等发展中国家。中国是香蕉原产地之一, 有着 3000 多年的栽培历史。新中国成立以来, 随着农业种植结构调整和系列惠农政策的落实, 我国香蕉产业发展迅速, 成为热带高效农业的支柱产业, 在乡村振兴中发挥着重要作用。据农业农村部统计, 2024 年我国香蕉种植面积 31.2 万 hm², 产量 1162.2 万 t, 年产值约 421.4 亿元人民币, 约占热带作物一产总产值的

1/5。然而, 伴随产业规模的不断扩张, 香蕉枯萎病已成为制约产业发展的瓶颈问题。

香蕉枯萎病又称巴拿马病、黄叶病, 是由尖孢镰刀菌古巴专化型真菌 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, 简称 *Foc*) 引起的毁灭性土传真菌病害, 病原菌主要通过雨水、灌溉、种苗、土壤、农机具传播, 感病植株自下而上逐渐出现黄化萎蔫、假茎纵裂、维管束褐变至整株枯亡的症状^[3,4]。香蕉植株一旦感病会在 1~2 年内迅速蔓延至全部蕉园, 且难以通过传统化学防治手段彻底根治, 其防控是世界性难题。自 1996 年在我国广东番禺首次发现以来, 香蕉枯萎病曾在我国香蕉主产区大面积发生, 并造成重大损失, 严重制约产业健康发展。针对这一产业难题, 国家香蕉产业技术体系创建了以“抗病品种应用为核心、病原菌快速检测为指导、土壤调理为基础、有益微生物添加为补充、少耕免耕栽培为配套”的香蕉抗病品种配套调土增菌的枯萎病防控技术, 主要技术路线见图 1。本文概述了枯萎

病综合防控的技术要点，旨在为香蕉枯萎病防控提供技术指导并为产业的健康可持续发展提供技术支撑。该技术已入选农业农村部 2024 年和 2025 年农业主推技术。

1 防治适期

香蕉枯萎病菌 (*Foc*) 根据其侵染品种可分为 3 个生理小种，4 号生理小种 (*Foc* TR4) 几乎可感染所有的栽培品种^[5]，于 2021 年被我国列为农业植物检疫性有害生物，*Foc* TR1 只侵染粉蕉品种，这 2 个生理小种是目前生产上主要的致病性病菌。根据上述 2 个生理小种的流行规律与侵染特点，该病菌在土壤中营腐生生活，其对环境的适应性强，病原菌可以厚垣孢子的形式长期休眠，在温度、湿度等环境条件适宜（温度 26~30 °C，田间持水量 25% 以上），且有合适寄主植物的条件下，孢子萌发，即可以形成侵染^[6]。而我国植蕉区土壤及气候环境适宜，在香蕉生长的全生育期均可实现病菌侵染。因此对该病的防控也应该贯穿全生育期，而在种植前对土壤进行各种调理，创造不利于病菌萌发、侵染的土壤环境对后期发挥防控效果尤为重要。

2 植前调查

植前调查分为种植前土壤监测和生育期植株发病监测。种植前土壤监测主要是对土壤中氮、磷、钾、有机质、pH 值、微量元素、病原菌的监测。前期研究发现，致病菌孢子悬浮液浓度为 10^3 CFU · g⁻¹ 是香蕉枯萎病发病的临界浓度^[7,8]，因此在种植前对

土壤进行监测可有针对性地制定防控策略。

生育期田间病株监测是对田间发病的可疑病株进行解剖检查并进行病菌分离培养和鉴定，可以做到及早清除病株，防止病害进一步扩散蔓延，具体可参见《热带作物品种资源抗病虫性鉴定技术规程 香蕉叶斑病、香蕉枯萎病和香蕉根结线虫病》（NY/T 2248—2012）和《香蕉枯萎病菌 4 号小种检疫检测与鉴定》（GB/T 29397—2012）。

此外，在设施农业政策的引领下，现代智能技术更多地运用于作物病害监控，以提高预测时效和精度，例如，研究人员利用卫星遥感成功建立了基于二元逻辑归类评估香蕉枯萎病侵染区的方法^[9]。检测技术的不断更新为及时发现病原、有效实施隔离和遏制香蕉枯萎病措施提供了指导。

3 选择合适的抗（耐）病品种和健康种苗

3.1 品种选择

利用抗病品种防治香蕉枯萎病是最经济、最有效的途径，合理使用抗病品种，使“良种”与“良法”配套是香蕉枯萎病防控的重要措施。李华平等^[8]采用苗期抗性评价法对我国当前的 18 个香蕉主栽品种（系）进行了 *Foc* TR4 抗性测定，结果表明现有香蕉品种（系）不存在免疫的品种（系），在 *Foc* TR4 (1×10^6 孢子 · mL⁻¹) 的接种条件下，发病率均可高于 50%；但在 *Foc* TR4 (1×10^5 孢子 · mL⁻¹) 或低于该标准，很多香蕉品种（系）表现出良好的抗性，如‘佳丽蕉’‘海贡蕉’‘中蕉 9 号’和‘中热 1 号’对 *Foc* TR4 表现为高抗，

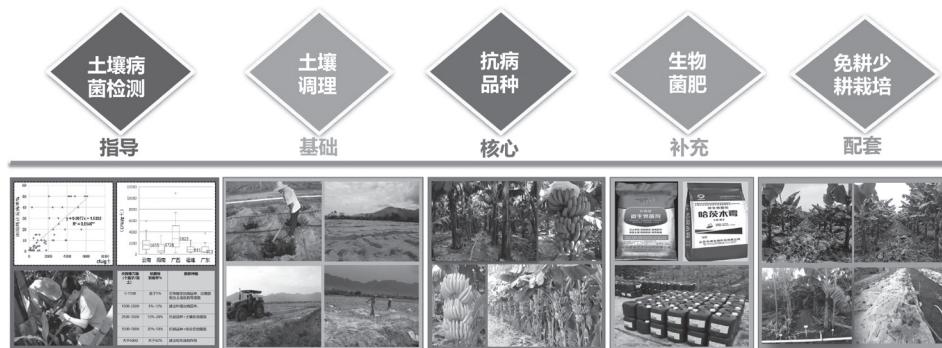


图 1 香蕉抗病品种配套调土增菌的枯萎病防控技术主要技术路线

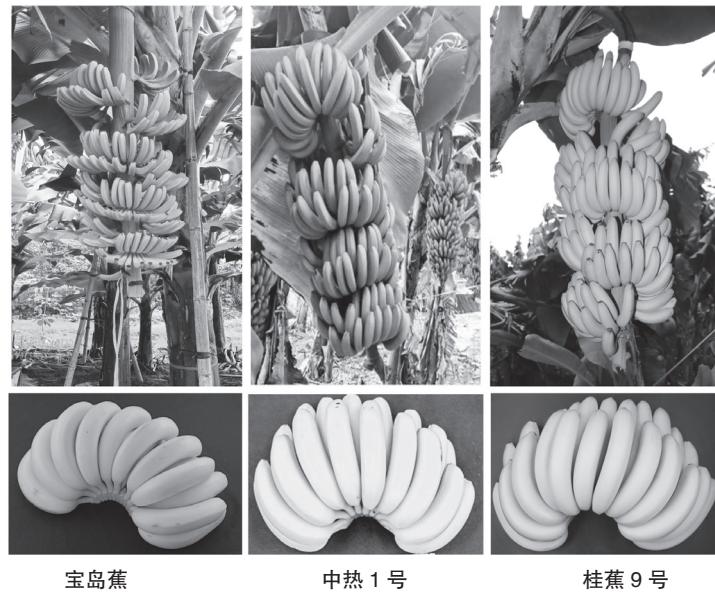


图 2 目前生产推广种植的香蕉抗(耐)病优质品种

来源：国家香蕉产业技术体系

‘中热 2 号’‘南天黄’‘宝岛蕉’‘桂蕉 2 号’和‘苹果粉’表现出中度偏强的抗性，‘粤科 1 号’和‘农科 1 号’表现出中度抗性。目前生产推广种植的香蕉抗(耐)病优质品种主要有‘宝岛蕉’‘桂蕉 9 号’‘南天黄’‘中热 1 号’和‘粉杂 1 号’等品种(图 2)。为实施香蕉枯萎病的有效防控，根据各香蕉产区自然气候条件和耕作制度要求，应选择符合国家级、省级香蕉品种管理要求、具有较强抗(耐)枯萎病能力的品种作为主导品种。发病率低的蕉园，发现病株及时清除并处理周边土壤和植株。发病率 5%~20% 的蕉园更新可直接种植抗(耐)病品种，发病率大于 20% 的蕉园更新可合理轮作，再种植抗(耐)病品种。推荐种植农业农村部 2024 年农业主导品种‘宝岛蕉’和 2025 年农业主导品种‘桂蕉 9 号’。

3.2 种植健康种苗

二级种苗繁育对香蕉枯萎病有良好的预防作用，在病田就地取土制营养钵以及在病区育苗的方法，不但会加重病害发生，更会将病土传带入无病地块，应严加禁止。因此，种苗繁育基地应远离枯萎病发病区，且应采用无枯萎病的塘土、田土或基质，制作营养钵，减轻枯萎病的危害。

4 土壤调理

4.1 调节土壤酸碱度

有研究表明，土壤 pH 值与香蕉枯萎病发病率、香蕉病情指数呈极显著相关性。*Foc TR4* 喜好的酸性环境对土壤肥力有效性具有较强的破坏力。本团队多年来对不同主产区核心蕉园监测发现，85%蕉园土壤 pH 值小于 5.5^[10]。因此，调节土壤酸碱度(pH 值 5.5 以上)，造成不利于枯萎病在土壤内生存和繁衍的环境条件，是防控病害的有效手段。偏酸性的土壤，种植前宜施用碱性肥料、生石灰等处理土壤。

4.2 土壤消毒

土壤消毒一直是防治土传病害的重要手段，同时也能够减少作物生长期间其他农药的使用，有利于提高作物的产量和品质。刘小玉等通过盆栽试验对土壤消毒剂的筛选试验表明，98%棉隆、50%石灰氮对香蕉枯萎病的防治效果分别为 88.00% 和 74.80%^[11]。王一鸣等在大田条件下采用石灰碳铵熏蒸土壤处理可以显著降低香蕉枯萎病发病率，两季香蕉枯萎病发病率分别比对照降低 40.00% 和 46.62%^[12]。因此推荐使用棉隆、石灰碳铵熏蒸的方法对蕉园土壤进行土壤消毒处理，同时加快土壤

熏蒸药剂的研发也是当务之急。

4.3 土壤养分调理

有研究表明^[10]，蕉园钙镁元素失衡、有机质含量偏低是枯萎病发生的诱因之一，因此增施有机肥提高土壤有机质含量和提升酸性土壤阳离子的交换能力，是有效遏制病害蔓延的措施之一。新植蕉每株宜施2.5~4.5 kg有机肥作为基肥，新植蕉植后或宿根蕉留芽后60~90 d，可采用沟施、穴施或水肥共施等方法增施有机肥，每株2.5~4.5 kg。

5 添加有益微生物菌剂

根际土壤微生物在植物生长发育及病害发生过程中发挥重要作用，微生物群落失衡加剧枯萎病的发生及蔓延。筛选拮抗菌及其对香蕉枯萎病菌的抑制效果和抑菌机理研究，是当前香蕉枯萎病防控研究的热点。国内外研究团队已筛选获得大量抑菌效果良好的拮抗菌株^[13]。目前可利用主要生防真菌因子包括：木霉（*Trichoderma*）、假单胞菌（*Pseudomonas*）、芽孢杆菌（*Bacillus*）和链霉菌（*Streptomyces*）。以拮抗菌为基础，学者们研发了一系列的生物菌肥和生物菌剂用于香蕉枯萎病的防治。通过将发酵的拮抗菌添加到有机肥中制成的生物有机菌肥，在香蕉栽种前直接施用于土壤或在香蕉生长季节通过追肥的方式施用于田间，是目前应用最广、效果较为显著的防控方法^[14]。因此，可选用生物菌剂或菌肥等复合微生物产品作为田间土壤改良的补充措施。微生物产品包括液体微生物菌剂和固体微生物菌肥等，液体微生物菌剂在蕉苗移栽前或移栽时第1次施用，营养生长期每隔14 d施用1次，抽蕾后每个月施用1次。固体微生物肥料在蕉苗移栽时与基肥一起施用，之后每隔2~3个月埋施1次，全生育期施用3~4次。

6 少耕免耕栽培

免少耕栽培能够有效提高农作物产量，通过少耕、不耕的形式，在地表中填充根茬、秸秆，进而提高土壤的风蚀与水蚀，加强土壤中作物所需营养，并具有保湿效果，提高作物的抗旱性能。在香蕉种植管理中，采用免少耕栽培主要是减少动土伤根，尽量降低土壤中的病原菌通过伤根侵染。具体

措施为：一是加强田间管理，尽量不动土少伤根，延长宿根期，少更新；二是发病蕉园栽植感病品种，不应耕作，宜挖穴种植；三是行间宜种植韭菜、冬瓜、南瓜、豆科等浅根系经济作物。

7 挑战及展望

香蕉枯萎病的侵扰曾一度导致我国海南、广东、广西香蕉种植面积锐减，近年来，抗病品种配套调土增菌的枯萎病防控技术（“五位一体”综合防控技术）有效抑制了枯萎病在全国发生趋势。但在有些区域如云南，仍有零星发生的现象，且随着病原菌的进化和传播方式的转变，仍面临一些挑战。一是抗病品种存在多样性不足、抗性品种表现不稳定、抗病品种不丰产等问题，亟需研发抗病品种配套栽培技术。二是目前的病原菌诊断技术尚无法做到田间快速检测，定量检测无法做到精确，亟须开发更快捷准确的病原菌检测方法。三是微生物菌剂菌肥产品受环境和生态区域的影响，生防菌株适应性有差异，且随着病原菌抗药性增强，仍需筛选高效广适的功能菌株来应对病原菌产生的抗药性。四是目前依然缺乏特异性土壤消毒的熏蒸药剂，发现针对枯萎病菌的化合物、研发特异性土壤熏蒸剂，仍是探索枯萎病防控的新策略和新途径。■

参考文献

- [1] 李伟明,陈晶晶,段雅婕,等.香蕉野生种质资源的分类、分布和分子系统发育研究进展[J].园艺学报,2018,45(9):1675~1687.
- [2] 张妙宜,周登博,起登凤,等.香蕉枯萎病综合防控研究进展[J].中国科学:生命科学,2024(10):1843~1852.
- [3] Cui H, Cheng Q, Jing T, et al. *Trichoderma virens* XZ11-1 producing siderophores inhibits the infection of *Fusarium oxysporum* and promotes plant growth in banana plants[J]. Microbial Cell Factories,2025,24(1):1~14.
- [4] Zhou D, He X, Chen Y, et al. Biocontrol potential of newly isolated *Streptomyces noursei* D337-11 from disease suppressive soil and its metabolites against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in banana plants[J]. Frontiers In Microbiology,2019,16:1655103.

» (下转第16页)

- 展趋势[J].农业工程技术(农产品加工业),2013(11):25–31.
- [9] 谭砚文,杨世龙.风险叠加背景下我国粮食安全面临的挑战及对策[J].华南农业大学学报(社会科学版),2024,23(2):1–9.
- [10] 张宁宁,李雪,吕新业,等.百年变局、世纪疫情背景下世界及中国粮食安全面临的风险挑战及应对策略[J].农业经济问题,2022(12):136–141.
- [11] 李丛希,谭砚文.发展饲料生产保障粮食安全[J].农村工作通讯,2022(14):28–29.
- [12] 刘光华,杨秀峰.云南木薯[M].北京:中国农业出版社,2017:64–65.
- [13] 黄溶冰,李玉辉.基于坐标法的SWOT定量测度模型及应用研究[J].科研管理,2008(1):179–187.
- [14] 段春芳,熊贤坤,任树琴,等.几种食用木薯品种生长发育及产量性状分析[J].西南农业学报,2017,30(12):2764–2768.
- [15] 刘倩,刘光华,李月仙,等.怒江干热河谷区域5个木薯品种的综合性状比较[J].西南林业大学学报(自然科学),2018,38(1):66–71.
- [16] 保山市农业农村局.食用木薯生产技术规程:DB5305/T167—2024[S].保山:保山市市场监督管理局,2024.
- [17] 保山市农业农村局.木薯原料粉生产技术规程:DB5305/T47—2020[S].保山:保山市市场监督管理局,2020.
- [18] 刘建平.云南红河州木薯根叶作饲料的应用研究[C]//中国管理科学研究院.中国管理科学文献.云南省红河州畜牧技术推广站,2008:8.
-
- « (上接第9页)
- [5] 李晓娜,曾小红,张慧坚,等.世界香蕉枯萎病防治研究进展[J].中国热带农业,2017(6):71–73.
- [6] 周登博,井涛,起登凤,等.抗香蕉枯萎病菌的卢娜林瑞链霉菌的分离及防效鉴定[J].园艺学报,2017,44(4):664–674.
- [7] 何欣,黄启为,杨兴明,等.香蕉枯萎病致病菌筛选及致病菌浓度对香蕉枯萎病的影响[J].中国农业科学,2010,43(18):3809–3816.
- [8] 李华平,李云锋,聂燕芳.香蕉枯萎病的发生及防控研究现状[J].华南农业大学学报(自然科学版),2019,40(5):128–136.
- [9] Ye H, Huang W, Huang S, et al. Recognition of banana *Fusarium* wilt based on UAV remote sensing[J]. Remote Sensing,2020,12:93839.
- [10] Jing T, Li K, Wang L, et al. Acidification and nutrient
- [19] 宋记明,刘光华,段春芳,等.品种和种植密度对木薯茎叶生重量及营养品质的影响[J].饲料研究,2024,47(16):118–124.
- [20] 姜太玲,严炜,宋记明,等.不同发酵剂对木薯茎叶青贮品质的影响[J].饲料研究,2024,47(5):94–98.
- [21] 保山市农业农村局.饲用木薯生产技术规程:DB5305/T168—2024[S].保山:保山市市场监督管理局,2024.
- [22] 保山市农业农村局.木薯茎叶青贮技术规程:DB5305/T45—2020[S].保山:保山市市场监督管理局,2020.
- [23] 保山市农业农村局.木薯叶饲养蓖麻蚕技术规程:DB5305/T46—2020[S].保山:保山市市场监督管理局,2020.
- [24] 云南省农业标准化技术委员会.木薯副产物肉牛肉羊饲用技术规程:DB53/T1076—2021[S].昆明:云南省市场监督管理局,2021.
- [25] 宋记明,张林辉,周迎春,等.云南省红河州木薯产业发展调研报告[J].热带农业科学,2016,36(9):97–100,108.
- [26] 郭容琦,刘光华,程金焕,等.云南木薯产业化发展前景分析[J].安徽农业科学,2010,38(34):19803–19804.
- [27] 国务院办公厅关于践行大食物观构建多元化食物供给体系的意见[J].中华人民共和国国务院公报,2024(27):13–16.
- [28] 张金泉,王琴飞,余厚美,等.木薯叶的食用价值及加工方式研究[J].美食研究,2023,40(4):95–102.
- [29] 宋小燕,杨朝武,余春林,等.畜禽豆粕减量替代技术研究进展[J].黑龙江畜牧兽医,2024(17):13–17.
- [30] 喻珊,王友印,邢晓东,等.木薯饲料化应用研究进展[J].热带作物学报,2023,44(12):2369–2383.

imbalances drive *Fusarium* wilt severity in banana (*Musa* spp.) grown on tropical Latosols[J]. Jounal of Fungi,2025,11:611.

- [11] 刘小玉,周登博,高祝芬,等.香蕉枯萎病土壤消毒剂的筛选[J].广东农业科学,2012,18:68–70.
- [12] 王一鸣,赖朝圆,阮云泽,等.石灰联合碳铵熏蒸对连作香蕉生长和根际微生物群落结构的影响[J].中国南方果树,2018,47(3):5–13.
- [13] 周登博,井涛,张锡炎,等.香蕉枯萎病拮抗菌筛选及其抑菌活性[J].植物保护学报,2016,43(6):913–921.
- [14] 周登博,井涛,谭昕,等.施用拮抗菌饼肥发酵液和土壤消毒剂对香蕉枯萎病病区土壤细菌群落的影响[J].微生物学报,2013,53(8):842–851.