

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2019.01.012

施肥处理对不同抗性品种香蕉枯萎病的 防控效果

龙媛^{1,2}, 杨宝明¹, 黄玉玲¹, 白亭亭¹, 徐胜涛¹, 尹可锁¹, 番华彩¹, 曾莉¹, 李迅东¹,
郭志祥¹, 李永平¹, 杨德荣³, 李进平³, 郑泗军^{1,4*}

¹云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南昆明 650205; ²屏边县新华乡农业技术推广站, 云南屏边 661205; ³云南云天化股份有限公司, 云南昆明 650228; ⁴国际生物多样性中心, 云南昆明 650205

摘要:【目的】随着香蕉枯萎病菌 4 号生理小种热带型(简称 *Foc* TR4)在云南的入侵、传播和蔓延,对云南的香蕉产业产生严重的威胁。通过实时荧光定量 PCR 分析蕉园定植香蕉后 7 个月内的土壤中枯萎病病原菌 TR4 含量动态变化,明确不同香蕉品种的大田抗性表现以及不同肥料的防控效果,为枯萎病的防控提供技术参考。【方法】选用巴西蕉、桂蕉 1 号、南天黄和自主选育的云蕉 1 号为供试品种开展田间试验,设置虾肽有机肥+虾肽特护+虾肽果叶康(简称:虾肽有机肥处理)、常规有机肥+微生物制剂(简称:微生物处理)和常规有机肥(简称:对照)3 个处理,调查 4 个品种在 4 个时间段的枯萎病发病率和 3 种肥料的防治效果。【结果】在月平均枯萎病病原菌 TR4 含量均超过 2000 拷贝的土壤条件下,4 个品种的发病率在 3 个施肥处理中均表现出差异性,南天黄、云蕉 1 号的发病率与其他 2 个主栽感病品种的发病率差异达显著水平;3 种施肥处理间的发病率达显著差异,发病率从高到低表现为对照>虾肽有机肥处理>微生物处理。【结论】施用微生物制剂对降低枯萎病发病率起一定的作用。南天黄的抗病性较强,云蕉 1 号也表现出较强的抗性,但还有待进一步改良和提高抗性。

关键词: 香蕉枯萎病 4 号生理小种热带型; 发病率; 品种; 微生物制剂

The effect of an invasive *Fusarium* disease on different banana varieties under various fertilization treatments

LONG Yuan^{1,2}, YANG Baoming¹, HUANG Yuling¹, BAI Tingting¹, XU Shengtao¹, YIN Kesuo¹,
FAN Huacai¹, ZENG Li¹, LI Xundong¹, GUO Zhixiang¹, LI Yongping¹,
YANG Derong³, LI Jinping³, ZHENG Sijun^{1,4*}

¹Institute of Agriculture Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China;
²Agricultural Technology Extension Station of Xinhua Village, Pingbian, Yunnan 661205, China; ³Yunnan Yuntianhua Co., Ltd, Kunming, Yunnan 650228, China; ⁴Bioversity International, Kunming, Yunnan 650205, China

Abstract: 【Aim】The invasion, expansion and spread of banana wilt disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (*Foc* TR4)) in Yunnan province have led to serious threats to the stable banana industry and local farmer income. By analyzing the occurrence status of banana wilt disease in a seriously infected banana plantation, the prevention and control effects of different banana varieties and fertilization treatments on *Fusarium* wilt were identified, which provided a technical guideline for the prevention and control of this invasive disease. 【Method】Field trials were set up using three treatments: shrimp peptide organic fertilizer + shrimp peptide special protection + shrimp peptide fruit Yekang (simplified as shrimp peptide organic fertilizer treatment), conventional organic fertilizer + microbial preparations (simplified as microbial treatment), and conventional organic fertilizer (simplified as control). Four different banana varieties of Brazilian, Guijiao No. 1, Nantianhuang, and Yunjiao No. 1 were evaluated for its resistance to TR4 in above three treatments. The disease incidence of TR4 in different fertilizer treatments and applied varieties was determined in four time periods during banana growth. The rhizosphere soil from the banana plantation was sampled for determination

收稿日期(Received): 2018-09-04 接受日期(Accepted): 2018-11-16
基金项目: 云南省科技创新人才计划(高端科技人才)项目(2015HA034); 国家香蕉产业技术体系专项(CARS-31-08); 云南主要农作物重大有害生物监测、灾变规律及防控机制项目(2018BB016)
作者简介: 龙媛, 女。研究方向: 农业技术推广。E-mail: 496991469@qq.com
* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: sijunzheng63@163.com

of pathogen content. The pathogen content in the soil was analyzed by real-time fluorescence quantitative PCR. 【Result】 The disease incidence of the four tested varieties in the three treatments varied. The disease incidence of Nantianhuang and Yunjiao No.1 was significantly lower than that of other two varieties. There was also a significant difference in disease incidence of the three treatments. The disease incidence from high to low was control > shrimp peptide organic fertilizer treatment > microbial treatment. The results indicated microbial agents could reduce the disease incidence of *Fusarium* wilt to certain content. The average monthly TR4 pathogen content in heavily infected banana plantation was more than 2000 copies; while the highest one reached 15148.9 copies. 【Conclusion】 Nantianhuang and Yunjiao No. 1 showed the highest disease resistance in field compared the two other varieties. However, further improvement of their resistance is needed before practical application is feasible.

Key words: *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4; disease incidence; variety; microbial preparation

香蕉枯萎病 *Fusarium oxysporum* 又称香蕉黄叶病或巴拿马病 Panama disease, 是由尖孢镰刀菌古巴专化型 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* 感染而引起维管束坏死的真菌土传病害, 一旦发病则整株死亡, 病菌蔓延速度快(黎永坚和于莉, 2006)。世界上主要香蕉产区均不同程度地受到香蕉枯萎病的危害(肖爱萍和游春平, 2005)。香蕉枯萎病菌 4 号生理小种热带型最初从印度尼西亚传入到我国台湾省, 然后从台湾扩散到广东(1996 年)、福建(2001 年)、海南(2002 年)、广西(2006 年)和云南(2009 年)等地(Zheng *et al.*, 2018a, 2018b)。2009 年 7 月, 云南西双版纳勐腊县香蕉产区首次发现香蕉枯萎病, 感病香蕉 15 万株, 发病面积超过 2000 hm², 该病发展迅速, 给当地香蕉产业造成严重损失(曾莉等, 2016)。

香蕉枯萎病菌是兼性寄生菌, 腐生能力很强, 可在土壤中存活长达 30 年, 很难根治(王振中, 2006)。目前, 防控香蕉枯萎病主要通过化学药剂、生物防治、抗病品种选育等方法, 其中选育抗病品种是解决香蕉枯萎病的有效途径(刘文清等, 2010; Siamak & Zheng, 2018)。20 世纪 80 年代, 台湾选育出一些对香蕉枯萎病具有较好抗耐性的香蕉品种。2006 年, 广东省选育并审定的抗枯 5 号是我国大陆第一个香蕉枯萎病抗病品种, 之后陆续审定其他几个抗病品种。但总体而言, 我国目前选育的抗枯品种还很少, 并且抗性不强(黄素梅等, 2014)。香蕉枯萎病的发生与香蕉品种的抗性、环境条件、土壤中病原菌数量等因素有关(何欣等, 2010)。施用有机肥对香蕉枯萎病起到一定的防控作用(王瑾等, 2017), 室内研究表明, 木霉菌株(唐孜等, 2006)和枯草芽孢杆菌(周登博等, 2016)对香蕉枯萎病菌有抑制作用。土壤中拮抗菌的种类和数量会直接影响香蕉枯萎病菌的数量, 当拮抗菌的种类增加时

不利于香蕉枯萎病菌的繁殖和侵染(周博登等, 2016)。

由于各个地区的香蕉枯萎病菌遗传背景不同, 可能会导致香蕉种质抗病性的地区性差异(宋晓兵等, 2016)。近年来, 西双版纳地区的香蕉园正遭受枯萎病的严重威胁, 导致许多发病蕉园地被撂荒。若改种旱地作物, 需 8 年以上才可以再种香蕉, 若改种水生作物, 2~3 年可再种香蕉。但在云南种植香蕉一般多为山地和坡地, 不适合种植水生作物, 这种趋势必将导致香蕉种植面积减少, 直接威胁香蕉产业的健康可持续发展(李燕和张林, 2016)。因此, 选育适宜本地区的抗病新品种和探索有效的施肥方法成为当务之急。

1 材料与方法

1.1 材料与试验地

供试香蕉品种: 生产上的主栽感病品种巴西蕉 Brazilian 和桂蕉 1 号 Guijiao No1.、抗病品种南天黄 Nantianhuang、自主选育品种云蕉 1 号 Yunjiao No1., 其中云蕉 1 号是由云南省农业科学院农业环境资源研究所选育出的香蕉枯萎病抗病新品种。所有供试香蕉苗均由云南省农业科学院环境资源研究所农业生物多样性与香蕉研究室提供组培苗。一级组培苗经过苗床炼苗而成二级苗。

供试肥料: 常规有机肥、虾肽有机肥、虾肽特护、虾肽果叶康、微生物制剂(主要包含白僵菌、绿僵菌、放线菌、硅酸盐芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌、多粘芽孢杆菌、木霉菌、光合菌、酵母菌等)、复合肥(15-15-15S)、磷酸二铵(17-42-0)、尿素、磷酸钾、复合肥(15-15-25S)均由云南云天化股份有限公司提供。

试验地位于云南省景洪市勐罕镇橄榄坝(东经 100°56'13", 北纬 21°51'43"; 海拔 540 m), 为已连续种植 10 年的香蕉地, 种植感病品种巴西蕉的发病率在 90% 以上, 土壤已经遭受香蕉枯萎病 4 号生理

小种热带型 TR4 的侵染。

1.2 试验方法

1.2.1 不同抗性香蕉品种定植及施肥设计 试验采用裂区设计,分别设置 3 个处理为 3 个大区,每个大区种 4 个品种,每个品种 5 次重复,一次重复种植 30 株香蕉。每个试验大区 20 个小区,3 个试验大区共计 60 个小区,每个小区面积 135 m²,共计 8100 m²。

处理 1(对照)施用常规有机肥(基肥)0.750 kg·m⁻²;处理 2(虾肽有机肥处理)施用虾肽有机肥(基肥)+虾肽特护+虾肽果叶康,施用量分别为 0.750 kg·m⁻²、0.100 kg·株⁻¹、0.020 kg·株⁻¹;处理 3(微生物处理)施用常规有机肥(基肥)+微生物制剂,施用量分别为 0.750 kg·m⁻²、0.005 kg·m⁻²(灌根)、0.300 g·m⁻²(喷叶)。3 个处理都施用复合肥(15-15-15S)、磷酸二铵(17-42-0)、尿素、硫酸钾和复合肥(15-15-25S),施用量分别为 0.750 kg·m⁻²、0.030 kg·m⁻²、0.200 kg·株⁻¹、0.070 kg·株⁻¹、0.050 kg·株⁻¹,施用期均以 2 个叶龄为间隔期。处理 2、处理 3 分别施入二氧化氯(0.003 kg·m⁻²)作土壤消毒处理。2016 年 6 月 23 日定植,定植苗为生长至 6~7 片叶的二级苗。

1.2.2 土壤样品实时定量 PCR 分析 种植香蕉后,即 2016 年 7、8、9、10、11、12 月,2017 年 1 月,共计 7 个月,每个月各取样一次。

土壤取样方法:用土壤采样器取香蕉植株根际周围土壤,每个小区各随机取 4 株香蕉根际周围的土壤作为 4 次重复,每次重复取表土 10~20 cm 的 5 个点,并将 5 个点的土样混合,再分别将同一小区的 4 次重复土样混合为一份土样。

土壤病原菌含量测定:土壤样品采用 Mo Bio Power Soil DNA Isolation Kit (Catalog No. 12888-50),然后进行实时定量 PCR 分析土壤中枯萎病 4 号生理小种的孢子量,实时定量 PCR 采用 Takara SYBR Premix Ex Taq TM (Tli RHaase H Plus)试剂盒 (Code NO.RR820)。引物和具体程序均参照 Lin *et al.* (2013),扩增的目的片段大小为 242 bp,标准曲线的建立采用含有 242 bp 目的片段的重组质粒 PMD18-T-242,测定抽提的质粒 DNA 的浓度,根据以下公式将质粒 DNA 的浓度换算成拷贝数,设置 1×10⁷、1×10⁶、1×10⁵、1×10⁴、1×10³、1×10²、1×10¹ copy number·μL⁻¹ 7 个梯度标准样品制作标准曲

线,标准曲线要求 R²>0.99,90<Eff%<110。被测样品中病原菌含量根据仪器检测结果、抽提 DNA 所用的样品质量、抽提获得的 DNA 总量、配置 q PCR 反应体系所用的模板量换算为每克土壤样品含有的病原菌含量,单位为 copy number·g⁻¹,基因拷贝数=6.02×10²³ copies·mol⁻¹×质粒浓度 g·μL⁻¹/MW,MW(双链 DNA 的平均分子质量)g·mol⁻¹=碱基数×660/碱基。

1.2.3 数据统计方法 植株发病的判断标准:以植株下部叶片黄化 4 片以上或假茎基部有 2 块以上叶鞘开裂、裂缝大于 10 cm 为依据(刘文清等,2010),统计定植后第 5、7、9、11 个月的发病植株数,计算累计发病率。

发病率%=(发病植株数/调查株数)×100。
土壤枯萎病原菌月平均含量为 60 个试验小区所取土样分别测得的病原菌含量的平均值。

2 结果与分析

2.1 土壤中枯萎病原菌含量分析

目前尚无人对香蕉枯萎病重病地的病原菌含量动态变化进行连续监测。本研究在香蕉种植一个月之后的 2016 年 7、8、9、10、11、12 月和 2017 年 1 月对蕉园土壤进行取样分析。种植香蕉后连续监测的 7 个月份内土壤中 TR4 的月平均含量差异比较大,动态变化明显(图 1)。最低含量均超过 2000 copy number·g⁻¹,最高达 15148.9 copy number·g⁻¹,说明种植香蕉的土壤中枯萎病原菌入侵严重。

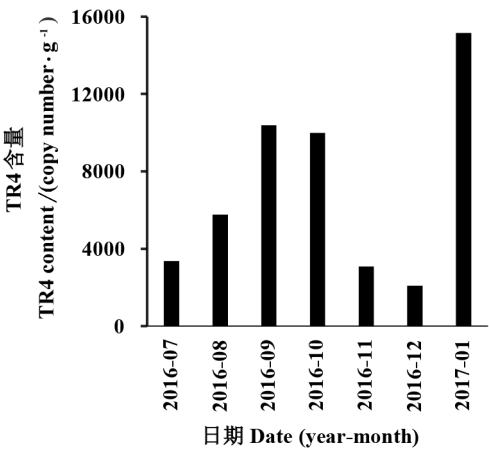


图 1 土壤中 TR4 的含量

Fig.1 The content of TR4 in the soil of the studied banana plantation

2.1.1 不同香蕉品种在常规有机肥处理(对照)中的发病率 由图 2 可知,定植后第 5 个月巴西蕉、

桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 38.00%、33.00%、24.67%、16.67%，4 个品种发病率差异显著；定植后第 7 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄分别达 69.33%、68.00%、46.00%、43.67%，巴西蕉和桂蕉 1 号发病率无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号有显著差异；定植后第 9 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 84.33%、82.66%、57.33%、49.00%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，南天黄和云蕉 1 号有显著差异。南天黄与云蕉 1 号的发病率有显著差异。定植后第 11 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 93.00%、91.33%、62.67%、50.00%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号有显著差异。南天黄与云蕉 1 号有显著差异。这 4 个时期 4 个品种间的抗性均表现为南天黄>云蕉 1 号>桂蕉 1 号>巴西蕉。

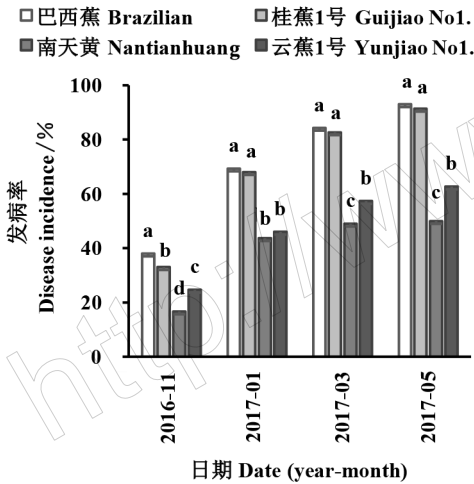


图 2 4 个香蕉品种的发病率(对照)

Fig.2 Disease incidence of four banana varieties (CK)

不同小写字母表示同一时期不同品种在 5% 水平上差异显著。

Different small letters indicate significant differences among varieties at the same time at 0.05 level.

2.1.2 不同香蕉品种在虾肽有机肥处理中的发病率 由图 3 可知,定植后第 5 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 36.00%、32.00%、22.00%、13.00%，4 个品种的发病率差异显著；定植后第 7 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 67.66%、66.67%、43.33%、38.00%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号有显著差异。南天黄与云蕉 1 号有显著差异；定植后第 9 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 82.00%、81.33%、

53.00%、45.00%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号有显著差异。南天黄与云蕉 1 号有显著差异；定植后第 11 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 91.67%、88.67%、60.67%、48.33%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号有显著差异。南天黄与云蕉 1 号有显著差异。这 4 个时期 4 个品种间的抗性均表现为南天黄>云蕉 1 号>桂蕉 1 号>巴西蕉。

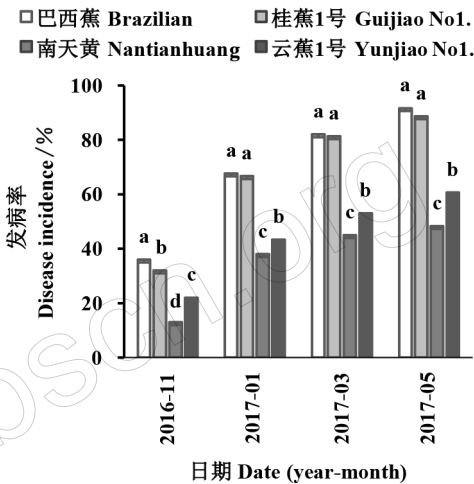


图 3 4 个香蕉品种的发病率(肽虾有机肥处理)

Fig.3 Disease incidence recorded in the four banana varieties under the shrimp peptide organic fertilizer treatment

不同小写字母表示同一时期不同品种在 5% 水平上差异显著。

Different small letters indicate significant differences among varieties at the same time at 0.05 level.

2.1.3 不同香蕉品种在微生物处理中的发病率 由图 4 可知,定植后第 5 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 32.67%、30.00%、18.83%、11.67%，4 个品种的发病率差异显著；定植后第 7 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 59.33%、58.67%、37.67%、33.67%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号差异显著。南天黄与云蕉 1 号有显著差异；定植后第 9 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 81.00%、80.33%、50.00%、41.00%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号有显著差异。南天黄与云蕉 1 号有显著差异；定植后第 11 个月巴西蕉、桂蕉 1 号、云蕉 1 号、南天黄的发病率分别达 88.67%、87.66%、56.33%、47.00%，巴西蕉和桂蕉 1 号无显著差异，与南天黄和云蕉 1 号有显著差异。南天黄与云蕉 1 号有显著差异。这 4 个时期 4 个品种间的抗性均表现为

南天黄>云蕉 1 号>桂蕉 1 号>巴西蕉。

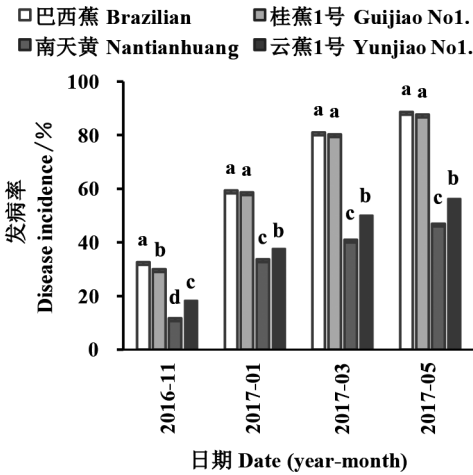


图 4 4 个香蕉品种的发病率 (微生物处理)

Fig.4 Disease incidence of recorded in the four banana varieties under the microbial treatment

不同小写字母表示同一时期不同品种在 5% 水平上差异显著。
Different small letters indicate significant differences among varieties at the same time at 0.05 level.

表 1 不同施肥处理香蕉枯萎病发病率

Table 1 The disease incidence of banana wilt in different fertilization treatments

处理 Treatment	发病率 Disease incidence/%			
	第 5 个月 After 5 months	第 7 个月 After 7 months	第 9 个月 After 9 months	第 11 个月 After 11 months
对照 Control	28.08±0.52a	56.75±0.25a	68.33±0.38a	74.25±0.50a
虾肽有机肥处理 Shrimp peptide organic fertilizer treatment	25.75±0.50b	53.92±1.01b	65.33±0.14b	72.33±0.63b
微生物处理 Microbial treatment	23.17±0.14c	47.33±0.29c	63.08±0.72c	69.92±0.52c

同列数据 (平均值±标准误) 后不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。
The data (means±SD) in the same column with the different letters mean significant differences at 5% level.

种植在试验区的 4 个香蕉品种的发病率存在显著差异,特别是感病品种和抗病品种间发病率差异大。南天黄的抗性较强,云蕉 1 号较巴西蕉和桂蕉 1 号表现出较强的抗性,与徐胜涛等 (2017) 对这 3 个品种室内抗性鉴定结果相吻合。

3 种施肥处理间的发病率虽有显著差异,但施肥处理对枯萎病的防治效果远低于品种自身抗性对枯萎病的防控效果。这说明通过抗病育种选育出抗性较高的品种是目前解决枯萎病危害最有效最直接的途径,施用微生物制剂改良土壤条件也能降低发病率。这与现阶段提倡对香蕉枯萎病采用“以选育抗病品种为主导,以综合防控相应配套措施为辅”的防控策略相应证。在探索香蕉枯萎病综合防治方法的同时不能忽视传播途径造成的影响,通过实施严格的种苗调运检疫,农用工

2.2 施用不同肥料对香蕉枯萎病的防治效果

3 个施肥处理间的发病率差异显著,微生物处理、虾肽有机肥处理的枯萎病发病率均降低,与对照相比,虾肽有机肥处理在香蕉定植后第 5、7、9、11 个月的防治率分别达 8.29%、5.00%、4.40%、2.60%;微生物处理在香蕉定植后第 5、7、9、11 个月的防治率分别达 17.49%、16.60%、7.70%、5.80%,虾肽有机肥处理和微生物处理的防治率均随时间推移下降,说明这 2 个处理的防治效果由前期到后期逐渐减弱 (表 1)。

3 讨论与结论

试验蕉园内种植的 4 个品种均表现出较高的发病率,一定程度上说明本试验所选择的蕉园枯萎病严重。试验地土壤中病原菌的月平均含量均超过室内试验的发病临界浓度,即香蕉枯萎病病原孢子悬液浓度 1×10^3 CFU · g⁻¹ (何欣等,2010),土壤中枯萎病原菌含量高,具备土壤病原菌含量促使发病的条件,验证了品种在该条件下的抗性表现。

毒等防范和隔离措施,防止该病害的进一步传播与蔓延 (Zheng *et al.*, 2018)。

参考文献

黄素梅, 韦绍龙, 龙盛风, 田丹丹, 覃柳燕, 韦弟, 李朝生, 韦华芳, 李小泉, 2014. 几个香蕉品种对枯萎病的抗性与主要性状比较. 中国南方果树, 43(5): 74–77, 80.
何欣, 黄启为, 杨兴明, 冉炜, 徐阳春, 沈标, 沈其荣, 2010. 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. 中国农业科学, 43(18): 3809–3816.
黎永坚, 于莉, 2006. 香蕉枯萎病发病机制及其防治技术研究. 中国农学通报 (8): 515–519.
李燕, 张林, 2016. 云南省香蕉枯萎病发生发展趋势及防控对策. 云南农业 (6): 29–30.
刘文清, 周建坤, 李洪波, 杨贺年, 吕顺, 庄华才, 2010. 抗枯

- 萎病香蕉新品种引种评价. 广东农业科学, 37(3): 110-113.
- 宋晓兵, 彭埃天, 凌金锋, 陈霞, 周娟, 2016. 18 份广东香蕉种质对枯萎病的抗性评价. 生物安全学报, 25(3): 218-221.
- 唐孜, 刘任, 程东美, 林锦旋, 2006. 木霉和杀菌剂对香蕉枯萎病菌的抑制作用. 广东农业科学 (12): 54-55.
- 王瑾, 董文斌, 韦家华, 张野, 莫成恩, 韦彩会, 何永群, 何铁光, 2017. 生物有机肥对香蕉植株生长和香蕉枯萎病防控研究. 西南农业学报, 30(7): 1565-1569.
- 王振中, 2006. 香蕉枯萎病及其防治研究进展. 植物检疫 (3): 198-200.
- 肖爱萍, 游春平, 2005. 香蕉枯萎病防治进展. 江西植保 (2): 67-69.
- 徐胜涛, 白亭亭, 张磊, 番华彩, 杨佩文, 尹可锁, 曾莉, 李迅东, 郭志祥, 杨宝明, 黄玉玲, 李永平, 郑泗军, 2017. 基于表型症状和实时定量 PCR 鉴定不同香蕉品种对枯萎病的抗病性. 西南农业学报, 30(9): 1997-2002.
- 曾莉, 郭志祥, 番华彩, 李洪祥, 唐志敏, 李雁, 杨佩文, 白亭亭, 2016. 云南香蕉枯萎病及防治研究进展. 热带农业科技, 39(4): 19-22, 24.
- 周登博, 井涛, 张锡炎, 起登凤, 陈宇丰, 王飞, 2016. 香蕉枯萎病拮抗菌筛选及其抑菌活性. 植物保护学报, 43(6): 913-921.
- LIN Y H, SU C C, CHAO C P, CHEN C Y, CHANG C J, HUANG J W, CHANG P L, 2013. A molecular diagnosis method using real-time PCR for quantification and detection of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* race 4. *European Journal of Plant Pathology*, 135(2): 395-405.
- ZHENG S J, GARCIA-BASTIDAS F, LI X D, ZENG L, BAI T T, LI H X, FU G, YU Y C, YANG L, NGUYEN H C, DOUANGBOUPHA B, KHAING A A, DRENTH A, MEIJER H, KEMA G H J, 2018a. New geographical insights of the latest expansion of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 into the Greater Mekong subregion. *Frontiers in Plant Science*, 9: 457.
- ZHENG S J, ZENG L, LI X D, GUO Z X, YIN K S, XU S T, BAI T T, YANG Y X, HE S J, YANG P W, FAN H C, YANG B M, HUANG Y L, LI Y P, DAI L Y, 2018b. Agrobiodiversity and agroecological intensification in Yunnan // FAO. *Agroecology for food security and nutrition: proceedings of the international symposium on agroecology in China*: 13-30.
- SIAMAK S B, ZHENG S J, 2018. Banana *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) control and resistance, in the context of developing wilt-resistant bananas within sustainable production systems. *Horticultural Plant Journal*, 4(5): 208-218.

(责任编辑:郭莹)

<http://www.jbscn.org>