

# 南方根结线虫和香蕉枯萎病菌4号生理小种 对香蕉复合致病力的测定

马冉<sup>1</sup> 徐春玲<sup>1</sup> 项宇<sup>1,2</sup> 赵传波<sup>1</sup> 谢辉<sup>1</sup>

1. 华南农业大学植物线虫研究室/华南农业大学植物检疫线虫检测与防疫研究中心, 广州 510642;

2. 农业部全国农业技术推广服务中心, 北京 100125

**摘要** 通过室内盆栽接种测试的方法, 测定南方根结线虫(*Moidogyne incognita*)和香蕉枯萎病菌4号生理小种(*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4)对香蕉2个感枯萎病品种(巴西蕉和大蕉)和抗枯萎病品种(农科1号)的复合致病力。结果表明: 对于供试的感病品种, 先接种南方根结线虫能显著减轻香蕉枯萎病的发病程度; 同时接种2种病原物和先接种香蕉枯萎病菌5 d后接种南方根结线虫能加重香蕉枯萎病的发展; 复合侵染能抑制南方根结线虫的种群数量, 其中先接种香蕉枯萎病菌和同时接种2种病原物对南方根结线虫种群数量抑制作用更大; 对于抗病的品种农科1号, 2种病原物的同时接种能导致香蕉对枯萎病抗性的部分丧失。

**关键词** 香蕉; 香蕉枯萎病菌4号生理小种; 南方根结线虫; 复合侵染; 致病力

**中图分类号** S 432.4<sup>+</sup>5; S 668.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2012)01-0062-07

香蕉(*Musa* spp.)是世界第四大粮食作物,在亚洲、非洲、澳大利亚和热带美洲广泛种植<sup>[1]</sup>。在香蕉种植过程中,植物病原线虫和真菌常同时存在,共同侵染香蕉。在世界范围内,根结线虫(*Meloidogyne* spp.)是最重要的植物病原线虫之一<sup>[2]</sup>,尖孢镰孢菌古巴专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, 又称香蕉枯萎病菌)是最重要的植物病原真菌<sup>[3]</sup>。在我国的香蕉种植区,以南方根结线虫(*M. incognita*)为优势种群的根结线虫病发生普遍<sup>[4]</sup>,由香蕉枯萎病菌4号生理小种(*Foc* 4)引起的香蕉枯萎病也发生严重<sup>[5]</sup>,这2种病原物的共同侵染已对香蕉种植业造成较大的影响。因此,研究南方根结线虫和香蕉枯萎病菌4号生理小种对我国香蕉种植区主栽品种的复合致病作用具有重要意义。对于枯萎病的防治,最经济有效的措施是抗病品种的选育和种植<sup>[6]</sup>,但利用抗病品种防治枯萎病需要考虑其他潜在病原物的影响<sup>[7]</sup>。目前,我国种植的香蕉品种中,有的品种如农科1号,对香蕉枯萎病有一定的抗性,但是在根结线虫作用下,这些品种的抗病性能如何尚不明确。

根结线虫与尖孢镰孢菌(*Fusarium oxysporum*)对棉花<sup>[8]</sup>、豆类<sup>[6,9-11]</sup>和香蕉<sup>[7,12-13]</sup>等多种作物

复合侵染的相互作用关系已有研究报道。这些研究表明,根结线虫和尖孢镰孢菌复合侵染的结果与根结线虫的种类、尖孢镰孢菌的生理小种和寄主植物种类等均有关,甚至在同一寄主植物的不同品种上,2种病原物相互作用的结果也不相同。根结线虫的侵染对寄主植物抗枯萎病的影响与抗病品种的特异性相关<sup>[8,13-14]</sup>。Castillo等<sup>[6]</sup>测定了鹰嘴豆4个抗枯萎病品种在甘蓝根结线虫(*M. artiellia*)和尖孢镰孢菌鹰嘴豆专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*)的复合侵染下的抗性表现,结果发现其中3个品种的抗性丧失,只有1个品种的抗性表现比较稳定。

已有的关于根结线虫与香蕉枯萎病菌相关性的研究报道均未明确是香蕉枯萎病菌几号生理小种<sup>[7,12-13]</sup>。关于南方根结线虫与香蕉枯萎病菌4号生理小种对香蕉的复合侵染作用,以及在南方根结线虫侵染下香蕉抗枯萎病品种的抗性表现也尚无相关报道。本试验通过盆栽接种的方法,观察和分析了南方根结线虫和香蕉枯萎病菌4号生理小种在侵染香蕉过程中的相互关系,旨在为进一步揭示这2种病原物的复合致病机制和合理利用抗病品种防治香蕉枯萎病提供科学依据。

收稿日期: 2011-05-11

基金项目: 国家香蕉产业技术体系项目(nycytx-33)和国家公益性行业(农业)科研专项(200903049)

马冉, 硕士研究生。研究方向: 植物线虫学。E-mail: maran86510@163.com

通讯作者: 谢辉, 教授。研究方向: 植物线虫学。E-mail: xiehui@scau.edu.cn

# 1 材料与方法

## 1.1 供试材料

1) 线虫。南方根结线虫 (*M. incognita*) 由华南农业大学植物线虫研究室采集鉴定,并在温室中的番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 根系上接种保存,在空心菜 (*Ipomoea aquatica*) 根系上接种扩大繁殖。从接种扩繁南方根结线虫的空心菜根部挑取成熟的卵块,置于清水中于 25 °C 下孵化 2 d 后,用无菌水配制成 200 条/mL 的 2 龄幼虫 (J2) 接种液。

2) 病菌。香蕉枯萎病菌 4 号生理小种 (*Foc 4*) 由华南农业大学真菌研究室采集鉴定和提供,病菌在 PDA 培养基上保存,采用 YPD(酵母浸出粉蛋白胨葡萄糖培养液) 摇菌的方法获取供试接种孢子,用无菌水配制成  $10^7$  个/mL 的孢子接种悬浮液,放入 4 °C 冰箱中备用。

3) 香蕉苗。供试香蕉品种为 2 个对香蕉枯萎病感病品种巴西蕉、大蕉和 1 个抗枯萎病品种农科 1 号均由广州市农业科学研究所提供。将 4~5 叶期的香蕉苗,用自来水洗净其根部,清洗后的水和介质混合液过孔径 0.250 mm 和孔径 0.038 mm 组合筛,收集孔径 0.038 mm 筛上的滤渣,用改良的贝曼漏斗法进行线虫分离<sup>[15]</sup>,检验供试香蕉苗根际是否存在植物寄生线虫。如果没有线虫,直接将蕉苗栽入盛有灭菌土的盆钵中;如果有线虫,则按照 Tsang 等<sup>[16]</sup>的方法用热水浸根,除去线虫后再栽培。同时,在洁净工作台上把香蕉根部剪成 1 cm 长的小段,然后纵向方向切为 4 个部分,将小块样品铺于 PDA 平板上,25 °C 下培养 5~7 d 后进行鉴定,确定购买的蕉苗根内无香蕉枯萎病菌后再使用。

种植蕉苗的介质体积比为泥塘土:沙:基质=3:1:3, pH 6.8, 经 121 °C 高温灭菌 120 min, 恢复 2 周后备用。种植蕉苗的盆钵为 1.2 L 塑料花盆,每盆装介质 1 000 mL。香蕉苗移栽 20 d 后,株高约 10~15 cm 时,接种供试病原物。

## 1.2 试验设计

试验分别设单独、同时、间隔接种南方根结线虫和(或)香蕉枯萎病菌 4 号生理小种等处理,设不接种病原物的蕉苗为空白对照处理,共 8 个处理。CK:等量清水;M:单独接种南方根结线虫;F:单独接种镰孢菌 4 号生理小种;M+F:同时接种南方根结线虫和镰孢菌 4 号生理小种;F+5M:先接种镰孢菌 4 号生理小种,5 d 后接种南方根结线虫;F+

12M:先接种镰孢菌 4 号生理小种,12 d 后接种南方根结线虫;M+5F:先接种南方根结线虫,5 d 后接种镰孢菌 4 号生理小种;M+12F:先接种南方根结线虫,5 d 后接种镰孢菌 4 号生理小种。每种处理 5 个重复,接种量为南方根结线虫 800 条/株,镰孢菌 4 号生理小种病菌孢子  $5 \times 10^7$  个/株。接种时用玻璃棒在蕉苗的周围均匀插 3 个小孔,把线虫悬浮液和(或)孢子悬浮液分别从小孔注入,然后覆好灭菌土,接种后 5 d 内不浇水,以免线虫被冲走,5 d 后进行正常浇水管理。试验于 2010 年 4 月至 6 月在大棚内进行,温室的温度为 17~28 °C,接种后试验持续 60 d。

## 1.3 检查方法

不同处理的香蕉苗放置在温室里,病原物接种 60 d 后,把植株从盆钵中取出,洗净根部。表面水分晾干后测量株高,称根质量和地上部植株质量,检查统计根部根结数和根结指数,对土壤中和根中的线虫进行分离统计。根结指数参照 Negron 和 Acosta<sup>[17]</sup>的方法分 0~5 级。0 级:无根结或卵块;1 级:1~2 个根结或卵块/株;2 级:3~10 个根结或卵块/株;3 级:11~30 个根结或卵块/株;4 级:31~100 个根结或卵块/株;5 级:100 个以上根结或卵块/株。根系上卵的统计方法:将根切成 20 mm 的小段,采用 Hussey 和 Barker<sup>[18]</sup>的方法分离提取根系虫卵,并采用 Byrd 等<sup>[19]</sup>的方法染色,然后在解剖镜下统计卵的数量。每盆土壤混合均匀后定量取 100 mL,用改良的贝曼漏斗法分离其中的线虫<sup>[15]</sup>,统计 2 龄幼虫和雄虫数。记录香蕉枯萎病的发病严重程度,并参考 Brake 等<sup>[20]</sup>的方法将香蕉枯萎的病严重程度分为 5 级。1 级:叶部没有斑纹和黄化;2 级:下层叶片轻微黄化或有斑纹;3 级:下层叶片大部分黄化,中部叶片开始黄化;4 级:大部分叶片黄化;5 级:植株枯死。从接种的香蕉苗根部分离出的真菌经 PDA 培养 5~7 d 后进行鉴定,以确定侵染真菌是否为香蕉枯萎病菌 4 号生理小种。

## 1.4 统计分析

试验数据统计分析采用 SAS 软件(9.1.3)处理,用 DMRT 法进行方差分析,在 5% 显著水平上进行多重比较。

# 2 结果与分析

## 2.1 单独和复合侵染对香蕉生长的影响

试验结果表明,所有未接种病原物的对照蕉株

均生长良好,无枯萎症状(表 1)。所有接种处理蕉株的株高、根质量和地上部分鲜质量均低于或显著低于健康对照蕉株,对枯萎病感病的品种大蕉和巴西蕉,除了大蕉 M+5F 处理地上部鲜质量略大于 M 处理,巴西蕉 F+12M、M+5F 和 M+12F 处理的根质量略大于 M 处理,这 2 个香蕉品种的其他生长量均是 M 处理大于或显著大于 F 处理和复合侵染处理。因此,对这 2 个香蕉品种,香蕉枯萎病菌单独侵染和与南方根结线虫复合侵染对蕉株的危害均大于南方根结线虫单独侵染。对于大蕉,各接种处理之间,F 处理蕉株的生长量最低,其中株高差异不显著,根质量和地上部质量除了分别与 M+5F 处理蕉株的根质量和地上部质量差异显著外,与其他复合接种处理蕉株间差异均不显著。因此,对大蕉的危害,复合侵染并不大于香蕉枯萎病菌单独侵染,其中 M+5F 处理的危害程度反而显著小于香蕉枯萎病菌单独侵染。对于巴西蕉,F 处理蕉株的株高

和地上部鲜质量显著大于 M+F 处理且与其他复合接种处理蕉株的差异不显著,F 处理蕉株的根质量大于 M+F 处理,但显著小于其他复合接种处理蕉株。因此,对巴西蕉的危害,复合侵染中香蕉枯萎病菌与南方根结线虫同时侵染大于香蕉枯萎病菌单独侵染。

农科 1 号各接种处理蕉株之间,M+F 处理的生长量最低,并与 F 处理差异显著;F 处理蕉株的株高和地上鲜质量最大,其中地上鲜质量差异显著,F 处理蕉株根质量大于或显著大于复合侵染处理,小于 M 处理但差异不显著;其他各处理蕉株间的差异不显著。因此,对农科 1 号的危害,香蕉枯萎病菌单独侵染小于南方根结线虫单独侵染和南方根结线虫与香蕉枯萎病菌的复合侵染;南方根结线虫与香蕉枯萎病菌同时侵染对蕉株的危害最大,并与香蕉枯萎病菌单独侵染差异显著,而与南方根结线虫单独侵染和其他复合侵染差异不显著(表 1)。

表 1 南方根结线虫和香蕉枯萎病菌 4 号生理小种复合侵染对香蕉生长量的影响<sup>1)</sup>

Table 1 Influence of different combinations of *M. incognita* and *Foc* 4 inoculums on banana growth

处理 Treatments	大蕉 <i>Musa paraolisiaca</i>			巴西蕉 Baxi banana			农科 1 号 Nongke No. 1		
	I <sup>2)</sup>	II	III	I	II	III	I	II	III
CK	24.12 a	11.85 a	24.84 a	29.30 a	5.71 a	23.31 a	26.30 a	6.96 a	24.24 a
M	19.62 b	5.20 b	12.26 bc	22.82 b	2.96 b	16.30 b	20.66 bc	5.35 b	14.87 b
F	15.36 c	2.14 d	7.43 d	19.28 c	1.63 c	9.55 c	24.20 ab	5.32 b	20.84 a
M+F	18.52 bc	2.71 cd	8.95 cd	14.62 d	1.32 c	5.01 d	19.56 c	3.61 c	13.55 b
F+5M	18.48 bc	3.41 cd	8.49 cd	18.74 c	3.29 b	11.41 c	20.74 bc	5.16 b	14.08 b
F+12M	18.50 bc	3.32 bcd	10.30 bcd	20.08 c	3.14 b	11.27 c	21.22 bc	4.87 bc	15.48 b
M+5F	18.02 bc	4.81 bc	13.19 b	18.92 c	3.28 b	10.54 c	21.68 bc	4.62 bc	15.40 b
M+12F	18.12 bc	3.39 bcd	8.79 cd	20.10 c	3.06 b	10.96 c	21.22 bc	4.53 bc	14.65 b

1)表中数据为 5 次重复的平均值,同列数据后字母相同者,表示在 5%水平上差异不显著(DMRT 法),下表同。Data in the table were average of five replicates,data followed by the same letters in columns means the differences are not significant in 5% level(Duncan multiple range test),the same as following tables;

2) I:株高/cm Plant height; II.根质量/g Root weight; III.地上部鲜质量/g Shoot weight.

## 2.2 南方根结线虫对香蕉枯萎病菌致病力的影响

试验结果表明,大蕉 F+5M 处理蕉株的枯萎病严重度大于 F 处理,并显著大于其他复合侵染处理;M+F 处理蕉株的枯萎病严重度小于 F 处理但差异不显著,其他 3 个复合侵染处理则都显著小于 F 处理。巴西蕉 M+F 处理蕉株的枯萎病严重度显著大于 F 处理和其他复合侵染处理,F+5M 与 F 处理的结果相同,M+5F、M+12F 和 F+12M 处理蕉株的枯萎病严重度显著小于 F 处理,但 M+5F 和 M+12F 处理蕉株的严重度相同并显著小于 F+12M 处理。因此,与 F 处理相比,各复合侵染处理中,只有 F+5M 处理加重了大蕉枯萎病的发展,

M+F 处理加重了巴西蕉枯萎病的发展,其他的复合侵染处理不影响或减弱了枯萎病的发展。另外,巴西蕉先接种南方根结线虫比先接种香蕉枯萎病菌 4 号生理小种的处理对枯萎病的抑制作用更加明显。农科 1 号 M+F 处理蕉株的枯萎病严重度显著大于 F 处理,其他的复合侵染处理严重度与 F 处理差异不显著,表明南方根结线虫和香蕉枯萎病菌 4 号生理小种同时侵染香蕉加重了枯萎病的发展,但 2 种病原物其他复合侵染方式对枯萎病的发展无显著影响。因此,南方根结线虫对农科 1 号抗性的影响,仅在同时侵染时才造成对枯萎病抗性的部分丧失(表 2)。

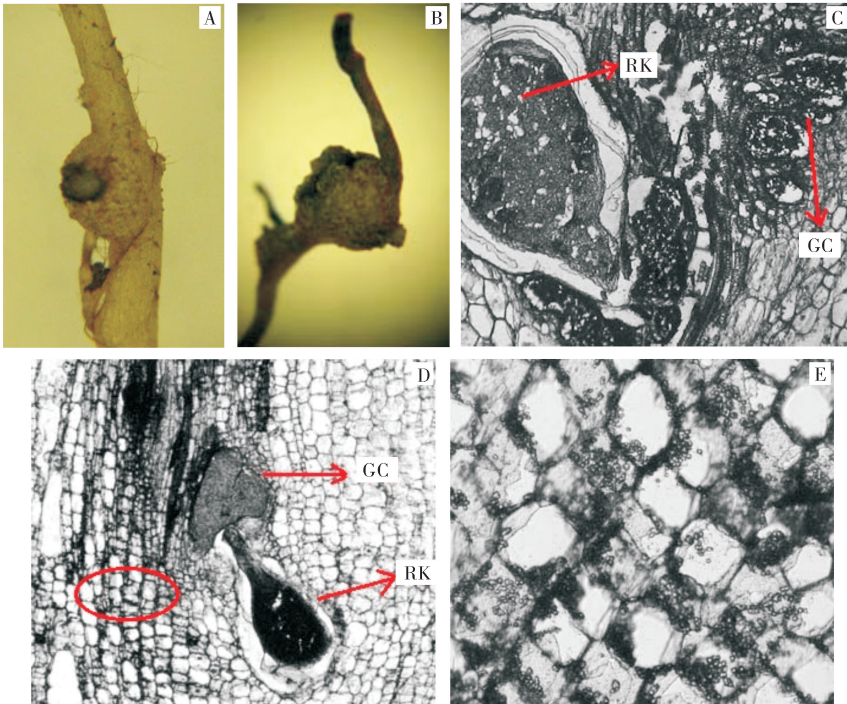
表 2 南方根结线虫和香蕉枯萎病菌 4 号生理小种复合侵染对香蕉枯萎病严重度的影响

Table 2 Influence of different combinations of inoculums of *M. incognita* and *Foc 4* on the wilting severit

处理 Treatments	大蕉 <i>Musa paraolisiaca</i>	巴西蕉 Baxi banana	农科 1 号 Nongke No. 1
F	3.5 ab	3.8 b	1.4 b
M+F	2.7 bc	4.0 a	2.8 a
F+5M	3.7 a	3.8 b	1.8 b
F+12M	2.5 c	3.0 c	1.6 b
M+5F	2.5 c	2.8 d	1.2 b
M+12F	2.3 c	2.8 d	1.8 b

### 2.3 香蕉枯萎病菌对南方根结线虫致病力的影响

1) 侵染后的症状及组织病变。试验结果表明, 南方根结线虫单独侵染和与香蕉枯萎病菌复合侵染蕉株形成的根结不同。线虫单独侵染形成的根结圆润, 呈正常根的颜色(图 1-A), 根结纵切后可见多个巨型细胞(图 1-C); 线虫与病菌复合侵染形成的根结干枯, 呈褐色(图 1-B), 根结纵切后可见巨型细胞融合(图 1-D), 且在根结附近的薄壁细胞内有大量的真菌孢子(图 1-E)。



A,C. 单独侵染; B,D. 复合侵染; E. 根结附近薄壁细胞内的真菌孢子; GC 表示巨型细胞; RK 表示南方根结线虫。 A,C. Infected by *M. incognita* alone; B,D. Co-infected by *M. incognita* and *Foc 4*; E. Fungal spores in parenchyma cells around root-knot; GC for giant cells; RK for female nematode.

图 1 南方根结线虫单独侵染和与香蕉枯萎病菌复合侵染巴西蕉产生的根结

Fig. 1 Root knots of Baxi banana infected with *M. incognita* alone and together with *Foc 4* respectively

2) 病菌对南方根结线虫的致病力。南方根结线虫对香蕉的致病力随着香蕉枯萎病菌 4 号生理小种的侵染和两者相互作用的时间而表现出差异(表 3)。在 3 个香蕉品种上的各接种处理中, 南方根结线虫的致病力指标, 除了农科 1 号品种的 M+5F 处理的 100 mL 土中线虫数大于 M 处理但差异不显著、F+12M 处理蕉株的根结指数等于 M 处理以及巴西蕉的 M+5F 处理和 M+12F 处理蕉株的根结指数等于 M 处理以外, 均是 M 处理大于或显著大于南方根结线虫和香蕉枯萎病菌复合接种处理。对于大蕉和巴西蕉, 综合单株根部卵量、根结指数和 100 mL 土中线虫数 3 个指标, 与 M 处理的蕉株相

比, 差异最大的处理分别是 M+F 和 F+5M 处理, 其次是 F+12M 处理, 再次是 M+5F 和 M+12F 处理。对于农科 1 号, 3 个致病力指标, 与 M 处理的蕉株相比, 差异显著并且最大的都是 M+F 处理; 除 F+5M 和 M+5F 处理蕉株的根结指数与 M 处理差异显著外, 其他各复合侵染处理的 3 个南方根结线虫的致病力指标都与 M 处理差异不显著; F+5M、F+12M、M+5F 和 M+12F 处理蕉株间的根结线虫致病力数据差异不显著。因此, 在蕉株根部, 香蕉枯萎病菌的复合侵染显著抑制了南方根结线虫的侵染和致病力, 对于感枯萎病香蕉品种大蕉和巴西蕉, 先接种香蕉枯萎病菌 5 d 后接种南方根结线

表 3 香蕉枯萎病菌 4 号生理小种对南方根结线虫侵染香蕉致病力的影响<sup>1)</sup>Table 3 Effects of *Foc 4* on the virulence of *M. incognita* to bananas

处理 Treatments	大蕉 <i>Musa paraolisiaca</i>			巴西蕉 Baxi banana			农科 1 号 Nongke No. 1		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
M	264.8 a	3.6 a	62.6 a	340.5 a	4.0 a	96.8 a	337.2 a	4.0 a	73.4 a
M+F	138.1 c	2.0 c	23.2 d	161.4 cd	2.8 b	38.7 d	160.8 b	3.0 c	38.2 b
F+5M	158.8 bc	2.8 b	13.0 e	149.0 d	3.2 b	34.2 d	269.5 ab	3.6 b	72.7 a
F+12M	141.7 c	2.8 b	19.4 d	197.9 bcd	3.8 a	49.1 c	286.2 a	4.0 a	64.0 a
M+5F	205.4 b	3.4 ab	44.6 b	235.7 b	4.0 a	60.5 b	252.8 ab	3.0 c	74.4 a
M+12F	178.3 bc	3.2 ab	34.6 c	214.8 bc	4.0 a	54.6 b	228.8 ab	3.8 ab	61.6 a

1) I: 单株根部卵个数 No. eggs per root; II: 根结指数 Root-knot index; III: 100 mL 土中线虫条数 No. nematode population in 100 mL soil.

虫和同时接种对南方根结线虫致病力的抑制作用最大,先接种香蕉枯萎病菌再接种南方根结线虫对线虫致病力的抑制影响大于先接种南方根结线虫后再接种香蕉枯萎病菌。

### 3 讨论

#### 3.1 南方根结线虫对 *Foc 4* 侵染香蕉的影响

本试验结果表明,南方根结线虫和香蕉枯萎病菌 4 号生理小种的复合侵染对香蕉枯萎病的影响,与这 2 种病原物接种的先后顺序和间隔时间以及香蕉品种相关。先接种香蕉枯萎病菌 4 号生理小种再接种南方根结线虫和这 2 种病原物同时接种有可能加重香蕉枯萎病的严重度,而先接种南方根结线虫后再接种香蕉枯萎病菌(间隔 5 d 或 12 d)则明显减弱了感枯萎病品种大蕉和巴西蕉的枯萎病发病程度。关于南方根结线虫的侵染对寄主植物枯萎病发生水平的影响,不同文献报道的结果差异较大。Jonathan 和 Rajendran<sup>[7]</sup>认为先接种南方根结线虫后再接种香蕉枯萎病菌和同时接种这 2 种病原物显著加重了香蕉品种 Rasthali 枯萎病的发生,与本试验结果有所不同。Newhall<sup>[12]</sup>和 Loos<sup>[13]</sup>报道香蕉枯萎病菌和南方根结线虫同时侵染香蕉品种 Gros Michel 并没有加重香蕉枯萎病的发生和发展。Poornima 等<sup>[21]</sup>认为多带螺旋线虫的提前侵染显著减弱了香蕉品种 Rasthali (Silk-AAB) 枯萎病的发展,与本试验结果相似。目前,根结线虫对寄主植物枯萎病发生水平的影响机理尚不清楚。传统的观点认为,线虫入侵寄主时产生的伤口会为真菌入侵寄主的皮层组织提供便利,通常会加重枯萎病的发生,但众多的研究表明线虫入侵造成的物理机械作用远没有想象中的重要,生物和生理生化方面的影响显得更加重要<sup>[22-23]</sup>。线虫侵染寄主时产生的伤口

虽为真菌的入侵提供了途径,但线虫侵染也会诱导寄主植物组织细胞木质化,甚至产生系统性抗性(systematic acquired resistance),从而限制真菌的寄生和繁殖<sup>[24]</sup>。线虫和枯萎病菌同时接种时,可能由于没有时间来诱发寄主植物体内抗性的产生,因此会加重枯萎病情的发展。先接种线虫,间隔一段时间再接种枯萎病菌,由于引发了寄主的抗性,从而能显著降低枯萎病情的发展。

本试验先接种香蕉枯萎病菌 4 号生理小种与间隔 5 d 再接种南方根结线虫对香蕉枯萎病发病水平无明显影响,而间隔 12 d 则能减弱香蕉枯萎病情发展。这说明南方根结线虫对香蕉枯萎病发病水平的影响,不仅与接种次序有关,也与间隔时间有关。这种间隔时间的差异是否是寄主体内生理生化因素随着时间变化综合表现的结果,尚待进一步研究。

本试验结果表明,香蕉生长量大小与香蕉枯萎病的发病程度密切相关,枯萎病发生严重度越高,香蕉生长量越小,可见香蕉枯萎病菌 4 号生理小种比南方根结线虫对香蕉生长量的影响更为重要。因此,在南方根结线虫复合侵染没有导致香蕉枯萎病严重度增加的情况下,也不会造成香蕉生长量明显降低。

#### 3.2 线虫的侵染对抗枯萎病香蕉品种抗性的影响

本试验中所选用的抗枯萎病香蕉品种农科 1 号,仅在南方根结线虫和香蕉枯萎病菌 4 号生理小种同时接种时表现抗性部分丧失。France 和 Abawi<sup>[10]</sup>报道抗大豆枯萎病(*Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*)的大豆品种 Calima,仅在大豆枯萎病菌和南方根结线虫同时接种时才表现出枯萎症状,这与本试验结果一致。但也有文献报道,在根结线虫的侵染下,不同寄主对枯萎病的抗性表现不一,甚至同种寄主植物的不同抗病品种也有差异<sup>[6,11]</sup>。

造成寄主植物抗性丧失的原因是多方面的。当抗性基因表达在细胞或组织水平遭到破坏时,抗病基因失效,导致抗性丧失<sup>[6]</sup>。寄主对枯萎病的抗性丧失与黄酮类的植物抗毒素(isoflavanoid phytoalexin cajanol)的表达量减少有关<sup>[25]</sup>。还有文献报道抗枯萎病的植物品种在根结线虫共同侵染下的抗性表现与抗病基因的背景相关,单基因抗性比多基因抗性更容易发生抗性的丧失<sup>[6,10]</sup>。可见根结线虫侵染对品种抗枯萎病的影响与多方面因素有关,导致抗性丧失的机制是复杂的,尚待进一步研究。

### 3.3 Foc 4 对南方根结线虫侵染香蕉的影响

本试验中香蕉枯萎病菌 4 号生理小种的侵染造成了南方根结线虫种群数量的显著下降。其中 2 种病原物同时接种和先接种枯萎病菌再接种南方根结线虫(间隔 5 d 和 12 d)比先接种南方根结线虫再接种枯萎病菌(间隔 5 d 和 12 d)对线虫种群数量抑制更加显著。这与前人研究的结果一致<sup>[6,9,11]</sup>,说明香蕉枯萎病菌的侵染会抑制根结线虫的种群数量。Akisanmi 和 Adekunle<sup>[9]</sup>研究了南方根结线虫 2 龄幼虫入侵大豆根内数量的动态变化,结果表明由于尖孢镰孢菌大豆专化型(*F. oxysporum* f. sp. *glycines*)的侵染造成入侵根内的 2 龄幼虫数量减少。本试验结果显示,被枯萎病菌侵染的根结发生干枯,根结中由线虫诱导产生的巨型细胞被破坏。巨型细胞是根结线虫的营养源,巨型细胞的破坏导致线虫不能获得发育繁殖所必需的营养,因此不能正常发育和繁殖,甚至死亡。可见香蕉枯萎病菌 4 号生理小种的侵染对根结大量破坏,导致了南方根结线虫种群数量的减少。这些与 Negrón 和 Acosta<sup>[17]</sup>关于尖孢镰孢菌咖啡专化型(*Fusarium oxysporum* f. sp. *coffaeae*)对南方根结线虫影响的研究结果和所得结论一致。在本试验中,同时接种和先接种香蕉枯萎病菌 4 号生理小种后再接种南方根结线虫,比先接种南方根结线虫后再接种香蕉枯萎病菌,香蕉枯萎病的发病更加严重,对根部造成的损害也更大,对南方根结线虫种群数量的抑制作用也更加明显。

本试验仅对南方根结线虫和香蕉枯萎病菌 4 号小种对香蕉的复合致病力及其相互影响进行了温室盆栽测定,其大田试验尚有待进行。

### 参 考 文 献

[1] ARIAS P, DANKERS C, LIU P, et al. The world banana econ-

omy 1985-2002[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003: 1.

- [2] 刘志明, 陆光艺, 黄金玲, 等. 不同香蕉品种根渗出物对南方根结线虫卵孵化的影响[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(5): 564-566.
- [3] PLOETZ R C, PEGG K G. *Fusarium wilt*[A]//JONES D R. Diseases of banana, abaca and enset. Wallingford: CABI Publishing, 2000: 143-159.
- [4] 秦碧霞, 陈永惠, 陆秀红, 等. 中国香蕉根结线虫病研究进展[J]. 植物保护, 2005(1): 19-21.
- [5] 王振中. 香蕉枯萎病及其防治研究进展[J]. 植物检疫, 2006, 20(3): 198-200.
- [6] CASTILLO P, NAVAS-CORTES J A, GOMAR-TINOCO D, et al. Interactions between *Meloidogyne artiellia*, the cereal and legume root-knot nematode, and *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* race 5 in chickpea[J]. Phytopathology, 2003, 93: 1513-1523.
- [7] JONATHAN E I, RAJENDRAN G. Interaction of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* on banana [J]. Nematologia Mediterranea, 1998, 26: 9-11.
- [8] WANG C, ROBERTS P A. A fusarium wilt resistance gene in *Gossypium barbadense* and its effect on root-knot nematode-wilt disease complex[J]. Phytopathology, 2006, 96: 727-734.
- [9] AKISANMI O A, ADEKUNLE O K. Effect of *Fusarium oxysporum* f. sp. *glycines* and *Sclerotium rolfsii* on the pathogenicity of *Meloidogyne incognita* race 2 to soybean[J]. Plant and Soil, 2003, 253: 429-435.
- [10] FRANCE R A, ABAWI G S. Interaction between *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* on selected bean genotypes[J]. Journal of Nematology, 1985, 26: 467-474.
- [11] MAHESHWARI T U, SHARMA S B, REDDY D R, et al. Co-infection of wilt-resistant chickpeas by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* and *Meloidogyne javanica* [J]. Journal of Nematology, 1995, 27: 649-653.
- [12] NEWHALL A G. The incidence of Panama disease of banana in the presence of the root knot and burrowing nematodes (*Meloidogyne* and *Radopholus*) [J]. Plant Disease Reporter, 1958, 42: 863-856.
- [13] LOOS C A. Symptom expression of *Fusarium* wilt disease of the Gros Michel banana in the presence of *Radopholus similis* (Cobb, 1893) Thorne, 1949 and *Meloidogyne incognita acrita* (Chitwood, 1949) [J]. Proceedings of the Helminthological Society of Washington, 1959, 26: 103-111.
- [14] JUAN A N, BERNHARD H, RAFAEL M J. Effect of sowing date, host cultivar, and race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* on development of *Fusarium* wilt of chickpea [J]. Phytopathology, 1998, 88: 1338-1346.
- [15] HOOPER D J. Extraction and processing of plant and soil nematodes [M]//LUC M, SIKORA R A, BRIDGE J. Plant parasitic Nematodes in subtropical tropical agriculture. UK: CAB International, Wallingford, 1990: 45-68.

- [16] TSANG M M C, HARA A H, SIPES B. Hot-water treatments of potted palms to control the burrowing nematode, *Radopholus similis*[J]. Crop Protection, 2003, 22:589-593.
- [17] NEGRON J A, ACOSTA N. The *Fusarium oxysporum* f. sp. *coffea-Meloidogyne incognita* complex in Bourbon coffee [J]. Nematropica, 1989, 19:161-168.
- [18] HUSSEY R S, BARKER K R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique [J]. Plant Disease Reporter, 1973, 57:1025-1028.
- [19] BYRD D W, FERRIS H J, NUSBAUM C J. A method for estimation numbers of eggs of *Meloidogyne* sp. in soil[J]. Journal of Nematology, 1972, 3:378-385.
- [20] BRAKE V M, PEGG K G, IRWIN A G, et al. The influence of temperature, inoculums level and race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* on the disease reaction of banana cv. Vavendish[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46:673-685.
- [21] POORNIMA K, ANGAPPAN K, KANNAN R, et al. Interactions of nematodes with the fungal Panama wilt disease of banana and its management[J]. Nematologia Mediterranea, 2007, 35:35-39.
- [22] CAPERTON C M, MARTYN R. Effects of *Fusarium* inoculum density and root-knot nematodes on wilt resistance in summer squash[J]. Plant-Disease, 1986, 70:207-209.
- [23] MAI W F. Interactions among root-knot nematodes and *Fusarium* wilt fungi on host plants[J]. Annual review of Phytopathology, 1987, 25:317-318.
- [24] TOREY G W, EVANS K. Interactions between *Globodera pallida juveniles*, *Verticillium dahliae* and three potato cultivars, with descriptions of associated histopathologies [J]. Plant Pathology, 1987, 36:192-200.
- [25] MARLEY P S, HILLOCKS R J. Effect of root-knot nematodes on cajanol accumulation in the vascular tissues of pigeonpea after stem inoculation with *Fusarium udum* [J]. Phytopathology, 1994, 43:172-176.

## Virulence of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4 complex on bananas

MA Ran<sup>1</sup> XU Chun-ling<sup>1</sup> Xiang Yu<sup>1,2</sup> ZHAO Chuan-bo<sup>1</sup> XIE Hui<sup>1</sup>

1. Laboratory of Plant Nematode/Research Center of Nematodes of Plant Quarantine, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. National Agricultural Technology Extension and Service Center, Ministry of Agriculture, Beijing 100125, China

**Abstract** The virulence of *Meloidogyne incognita* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4 (*Foc* 4) complex in pot experiments was measured on two *Foc* 4-susceptible banana cultivars (Baxi and *Musa paraolisiaca*) and one *Foc* 4-resistant banana cultivar (Nongke No. 1) by inoculating simultaneously and sequentially in greenhouse. Results showed that fusarium wilt severity was significantly reduced when the nematode was inoculated before the fungus, and increased when the two pathogens were inoculated simultaneously or the fungus was introduced 5 days before the nematode. The final number of *M. incognita* was reduced in all the banana cultivars inoculated with the two pathogens. The fungus inoculation before the nematode and concomitant inoculation had a better suppression of nematode population. In *Foc* 4-resistant cultivar, resistance was stable in all the tested except for those inoculated with the two pathogens simultaneously.

**Key words** bananas; *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4; *Moidogyne incognita*; co-infection; virulence

(责任编辑:陈红叶)