

生防菌 FJAT-346-PA 的内生定殖特性及对香蕉枯萎病的防治效果

余超^{1,2} 肖荣凤¹ 刘波^{1*} 林乃铨² 陈璐¹

(1. 福建省农业科学院农业生物资源研究所, 福州 350003; 2. 福建农林大学生物防治研究所, 福州 350002)

摘要: 内生生防菌 FJAT-346-PA 是一株从香蕉植株体内分离的对香蕉枯萎病原菌具有良好抑制作用的铜绿假单胞菌。为研究该生防菌在植株体内的定殖动态, 采用逐步提高诱导浓度的方法, 筛选获得稳定的双抗(抗利福平和卡那霉素, 浓度均为 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$) 菌株 FJAT-346-PA-K, 跟踪分析了该菌株在香蕉组培苗、盆栽苗及大田植株体内的定殖情况, 并调查该菌株对香蕉生长特性的影响和对香蕉枯萎病的防治效果。结果显示: 香蕉植株根部和茎部均有该菌定殖, 在盆栽苗和大田苗根部的最大定殖量分别为 2.15×10^5 CFU/g 和 8.00×10^3 CFU/g; 该生防菌对香蕉有明显的促长作用, 显著提高香蕉的株高和叶片数量; 对香蕉枯萎病具有较好的防治效果, 盆栽防效和田间防效分别为 83.67% 和 82.00%。

关键词: 香蕉枯萎病; 铜绿假单胞菌; 定殖特性; 防治效果

Endophytic colonization of biocontrol bacterium FJAT-346-PA and its efficiency against banana *Fusarium* wilt

Yu Chao^{1,2} Xiao Rongfeng¹ Liu Bo^{1*} Lin Naiquan² Chen Lu¹

(1. Agricultural Bio-Resources Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, Fujian Province, China; 2. Biological Control Research Institute, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian Province, China)

Abstract: An endophytic biocontrol bacterium FJAT-346-PA, which was isolated from banana and identified as *Pseudomonas aeruginosa*, showed high inhibition on mycelial growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. In order to study the colonization characteristic of FJAT-346-PA inside the plant, an antibiotic-marked experiment was conducted to screen stable antibiotic-marked strain by enhancing the inducing concentration of antibiotic gradually. A double antibiotic-marked strain FJAT-346-PA-K was obtained while the inducing concentration of antibiotic rifampicin and kanamycin were both at 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$. After that, the colonization of antibiotic-marked strain FJAT-346-PA-K inside the tissue-culturing seeding, pot-culturing seeding and field plant of banana were analyzed. Meanwhile, the effect of the biocontrol agent on the plant growth and its control efficiency against banana *Fusarium* wilt banana were also investigated. The results showed that FJAT-346-PA-K could colonize in the roots and stems of banana, with maximum of 2.15×10^5 CFU/g and 8.00×10^3 CFU/g at roots of pot-culturing seeding and filed plant, respectively. FJAT-346-PA-K was also found to promote the plant growth remarkably by increasing the plant height and the leaf number. The endophytic biocontrol bacterium performed good control potential against banana *Fusarium* wilt disease with control efficiencies of 83.67% in the semi-field experiment and 82.00% in

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903049)

作者简介: 余超,男,1985年生,硕士研究生,研究方向为生物防治, email: yudoxichao@163.com

* 通讯作者(Author for correspondence), email: fzliubo@163.com; 收稿日期: 2010-04-21

the field experiment.

Key words: banana *Fusarium* wilt; *Pseudomonas aeruginosa*; colonization; biological control

香蕉枯萎病是由尖孢镰刀菌古巴专化型 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* 引起的维管束坏死的土传病害,是香蕉上的重要病害,严重威胁着香蕉种植业^[1]。由于该菌在土壤中可存活多年且可在香蕉的整个生育期侵染,同时还存在多个专化型^[2-3],防治上有一定难度。目前尚无有效的抗病品种,现有的化学药剂在防治上也难以奏效,生物防治特别是利用内生菌防菌是当前的有效途径^[1]。国内外利用生防菌防治香蕉枯萎病已有一些研究报道,Thangavelu 等^[4]从香蕉根际土壤中分离到 1 株哈茨木霉,通过离体与田间试验均测得该菌对香蕉枯萎病的防效优于多菌灵;Saravanan 等^[5]比较了荧光假单胞菌等 8 种生防菌在离体、盆栽和大田条件下对香蕉枯萎病的防效,发现荧光假单胞菌的抑菌作用最好;Cao 等^[6]研究了 242 株香蕉叶和根部内生放线菌对枯萎病菌的抑制作用,发现健康香蕉植株内对枯萎病菌有抑制作用的放线菌比例高于病株;Lian 等^[7]研究表明,香蕉组培苗接种内生细菌后,有效降低了香蕉枯萎病菌对组培苗的侵染且对植株有一定促长作用;葛慈斌等^[8]、钟小燕等^[9]、马红娟等^[10]、肖爱萍等^[11]、游春平等^[12]均筛选到对香蕉枯萎病有抑制作用的拮抗菌。国内外关于铜绿假单胞菌对植物病害的防治也有一些报道,Viji 等^[13]研究结果显示,预先施用铜绿假单胞菌防治黑麦草灰斑病效果显著;Dutta 等^[14]研究发现铜绿假单胞菌能诱导木豆系统抗病性,抵御镰刀菌的侵染;Siddiqui & Shaikat^[15]研究表明,用铜绿假单胞菌处理土壤,显著减少根结线虫的数量,促进了番茄植株生长。但利用铜绿假单胞菌防治香蕉枯萎病,国内外尚未见报道。

本试验利用本研究室筛选的一株对香蕉枯萎病有较好抑制作用的生防菌铜绿假单胞菌 FJAT-346-PA,对其在香蕉植株体内的定殖特性、对香蕉生长特性的影响以及对香蕉枯萎病的防治效果进行了研究。

1 材料与方法

1.1 材料

生防菌菌株 FJAT-346-PA 为铜绿假单胞菌 *Pseudomonas aeruginosa*,分离自香蕉植株体内,并委托福建省疾病预防控制中心进行了小白鼠急性经口

毒性检测,LD₅₀ > 5 000 mg/kg BW,属低毒(检测报告编号为“闽疾控中心卫检农 09-0004”);病原指示菌为香蕉古巴专化型 4 号生理小种 FJAT-370。2 个菌株均由本研究室提供。香蕉品种为香牙蕉(商品名:台蕉 2 号)。抗生素利福平(rifampicin)购自美国 Sigma 公司,卡那霉素(kanamycin)购自浙江华泰生物科技有限公司,均为粉剂,分别用无菌水和 95% 乙醇溶解。

1.2 方法

1.2.1 FJAT-346-PA 对香蕉枯萎病病原菌的抑制作用

采用抑菌圈法^[16]测定生防菌 FJAT-346-PA 对香蕉枯萎病病原菌的抑制作用。取孢子浓度为 10⁷ CFU/mL 的病原指示菌 FJAT-370 悬浮液 1 mL,加入 100 mL 马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基中混匀倒板,待平板冷却后在平板中间打直径 6 mm 孔,注入 50 μL 浓度为 10⁷ CFU/mL 生防菌 FJAT-346-PA 菌悬液,加无菌水为对照,每处理 3 次重复,30 ℃ 培养 5 天,测抑菌圈直径。

1.2.2 FJAT-346-PA 抗生素标记菌株的筛选及其稳定性

参考吴蔼民等^[17]方法,逐步提高培养基中抗生素浓度对生防菌 FJAT-346-PA 进行系统诱导,获得同时抗利福平和卡那霉素 2 种抗生素的双抗菌株。取 10 个双抗菌株菌落分别接种至不含抗生素的 LB 培养液,于 30 ℃、170 r/min 振荡培养 12 h 后,再于相同培养条件下连续转接 20 代。取适量菌液涂布在含 300 μg/mL 利福平和卡那霉素的 LB 固体培养基上,以不含抗生素的 LB 固体培养基为对照,30 ℃ 培养 36 h 后观察菌落状态。采用抑菌圈法比较标记前后菌株对病原菌 FJAT-370 的抑制效果;挑取生防菌原始菌株和双抗菌株单菌落,分别接入装有 100 mL 灭菌 NA 培养液的 500 mL 三角瓶中,3 次重复,于 30 ℃ 下 170 r/min 振荡培养,以未接菌 NA 培养液为对照。接菌后 48 h 内每隔 2 h 在超净工作台中心吸取 2 mL 菌液测定 OD₆₀₀ 值,以时间为横轴,以 OD 值为纵轴绘制生长曲线,比较二者的生长速率。挑选出与原始菌株特性相近且性状稳定的抗生素标记菌株,记为 FJAT-346-PA-K。

1.2.3 FJAT-346-PA-K 在香蕉植株体内的定殖

在组培苗体内的定殖:向冷却至 35 ℃ 的组培培

培养基中加入 2 mL 浓度为 10^7 CFU/mL 的生防菌 FJAT-346-PA-K 发酵液,待培养基冷凝后接入 30 天苗龄的香蕉组培苗,10 天时拔取香蕉苗,用无菌水冲洗植株,去除表面附着的培养基及菌体,切取横切面大小为 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的组织薄片,用扫描电镜(JSM-6380)观察生防菌在香蕉组培苗内的内生定殖情况。

在室内盆栽苗体内的定殖:采用伤根法浇灌接种 5~6 叶期的香蕉盆栽苗,生防菌 FJAT-346-PA-K 菌液浓度为 10^7 CFU/mL,接种量为每株 50 mL,以空白培养液为对照。分别于接种后 5、10、15、20、25、45、65 天随机选取 3 株,每株分别切取根、茎、叶 3 个样品。样品依次于 75% 酒精浸泡 30 s、10% 次氯酸钠消毒 8 min、无菌水清洗 3 遍,表面消毒后研磨,梯度稀释选择合适的浓度涂 NA 平板,30℃ 培养 36 h 后计数,计算各部位平均每克(鲜重)组织的含菌量。

在大田苗体内的定殖:处理方法同盆栽苗。接种后每 7 天取样 1 次,直至分离不到生防菌 FJAT-346-PA-K 为止。

1.2.4 FJAT-346-PA-K 对香蕉植株生长特性的影响

采用伤根接种法接种香蕉盆栽苗,生防菌 FJAT-346-PA-K 和香蕉枯萎病病原菌 FJAT-370 均用 NA 培养液稀释至浓度为 10^7 CFU/mL。试验设 4 个处理:①只接种生防菌;②先接种生防菌,3 天后再接种病原菌;③只接种病原菌;④只接种无菌 NA 培养液。每处理 20 株盆栽苗。接种后第 45 天测定株高、叶片数和根冠比。根冠比的测定方法是香蕉植株地上和地下部分别于 105℃ 杀青 15 min,65℃ 恒温烘干至恒重,称重^[18]。

1.2.5 FJAT-346-PA-K 对香蕉枯萎病的防治效果

盆栽防效测定采用伤根接种法接种,生防菌 FJAT-346-PA-K 的接种浓度为 10^7 CFU/mL,病原菌 FJAT-370 的接种浓度为 10^5 CFU/mL,设 6 个处理:①只接种生防菌;②先接种生防菌,3 天后接种病原菌;③先接种病原菌,3 天后接种生防菌;④同时接种生防菌和病原菌;⑤只接种病原菌;⑥清水对照。以上各处理接种量均为 50 mL/株,每处理 30 株香蕉盆栽苗。接种 30 天后调查病情指数,枯萎病病情分级标准参考许文耀等^[19]的方法。病情指数 = $[\sum(\text{病情等级株数} \times \text{代表数值}) / (\text{植株总数} \times \text{最高发病代表数值})] \times 100$ 。

田间试验选在福建省农业科学院甘蔗研究所的试验基地进行。试验分处理组和对照组,每组 50 株

大田香蕉苗,采用伤根接种法,接种浓度为 10^7 CFU/mL,接种量为 50 mL/株,以清水为对照。接种 240 天后调查发病率,计算防治效果。防治效果 (%) = $[(\text{对照发病率} - \text{处理发病率}) / \text{对照发病率}] \times 100$

1.3 数据统计分析

试验数据采用 DPS 3.01 软件的 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 FJAT-346-PA 对香蕉枯萎病病原菌的抑制作用

结果显示,生防菌 FJAT-346-PA 对香蕉枯萎病病原菌产生明显的透明抑菌圈,抑菌圈平均直径为 2.90 cm。

2.2 FJAT-346-PA 抗生素标记菌株的筛选及其稳定性

在不同浓度利福平和卡那霉素选择压力下,经多代培养筛选获得对二者抗性均为 300 $\mu\text{g/mL}$ 的双抗菌株 FJAT-346-PA-K,其在非选择压力下连续培养 20 代后,抗性仍稳定。菌株 FJAT-346-PA-K 对病原菌 FJAT-370 的抑菌圈平均直径为 2.80 cm,与原始菌株 FJAT-346-PA(平均直径为 2.90 cm)无明显差异。标记前后菌株生长速率(测定培养液 OD₆₀₀)基本一致,在培养 14 h 时 OD₆₀₀ 值达到最大,分别为 2.62 和 2.64(图 1)。

2.3 FJAT-346-PA-K 在香蕉植株体内的定殖

香蕉组培苗接种生防菌 FJAT-346-PA-K 10 天时,扫描电镜定性观察发现,在接种生防菌的香蕉植株根及茎的内部组织中均有生防菌存在(图 2-A、C),而无菌水空白对照中无菌体存在(图 2-B、D)。生防菌 FJAT-346-PA-K 在香蕉盆栽苗根部的定殖量呈先上升后下降的趋势,接种第 5 天的内生定殖量为 5.10×10^4 CFU/g,接种 10 天的内生定殖量达到最大,为 2.15×10^5 CFU/g,随后呈下降趋势,至第 65 天,在香蕉根部分离不到 FJAT-346-PA-K(图 3-A);该生防菌在香蕉盆栽苗茎部的定殖量较小,接种 10 天时达到最大,为 33.00 CFU/g(图 3-B);在香蕉植株叶部分离不到生防菌 FJAT-346-PA-K。生防菌 FJAT-346-PA-K 在大田香蕉苗根部接种 7 天时的内生定殖量最大,为 8.00×10^3 CFU/g,之后定殖量呈下降趋势,在接种 35 天后基本分离不到生防菌 FJAT-346-PA-K,而在大田香蕉苗茎部和叶部没有分离到生防菌 FJAT-346-PA-K。

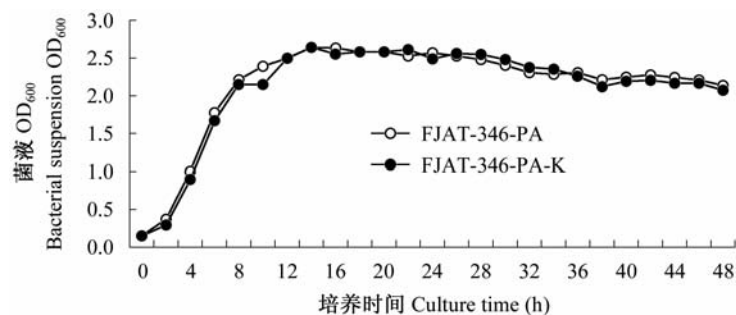


图1 双抗菌株 FJAT-346-PA-K 与原始菌株 FJAT-346-PA 的生长曲线

Fig. 1 The growth curve of mutant strain FJAT-346-PA-K and wild-type strain FJAT-346-PA

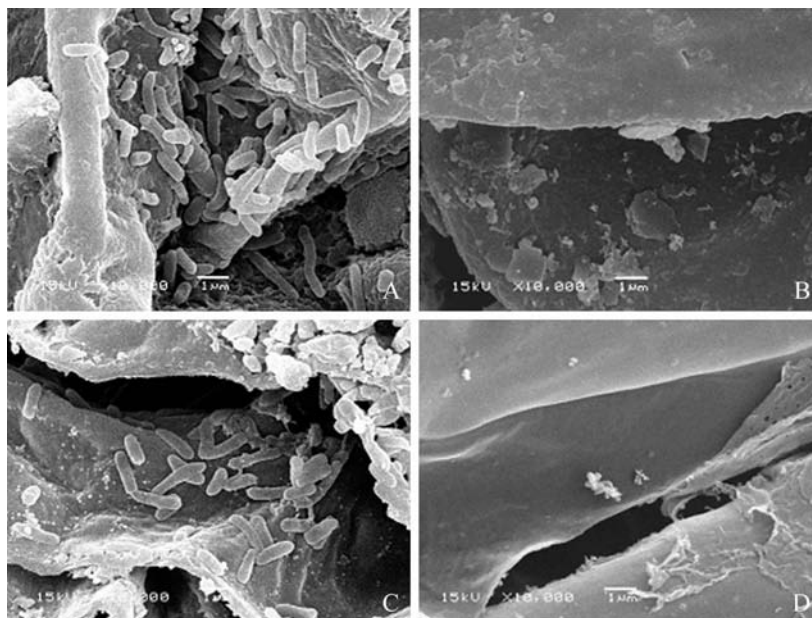


图2 生防菌 FJAT-346-PA-K 在香蕉组培苗体内的定殖情况

Fig. 2 The colonization of strain FJAT-346-PA-K in the tissue culture banana

注: A: 生防菌处理的根部组织; B: 无菌水处理的根部组织; C: 生防菌处理的茎部组织; D: 无菌水处理的茎部组织。Note: A: Root inoculated with strain FJAT-346-PA-K; B: root inoculated with sterile water; C: stem inoculated with strain FJAT-346-PA-K; D: stem inoculated with sterile water.

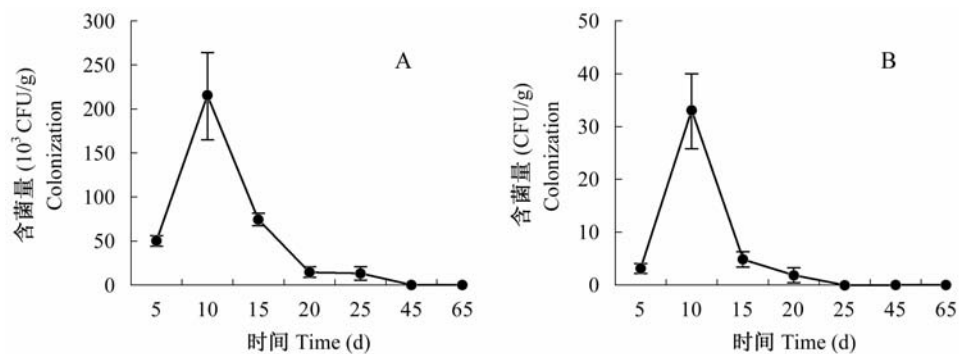


图3 生防菌 FJAT-346-PA-K 在香蕉盆栽苗根部(A)与茎部(B)的定殖动态

Fig. 3 Colonization of strain FJAT-346-PA-K in the roots (A) and stems (B) of potted banana

2.4 FJAT-346-PA-K 对香蕉植株生长特性的影响

结果显示,处理 1、处理 3 和处理 4 间均存在显著差异 ($P < 0.05$),株高分别为 31.40、19.17 和

26.70 cm,叶片数分别为 7.70、5.33 和 6.80 片;而处理 1 与处理 2 间差异不显著 ($P > 0.05$)。4 个处理间根冠比差异不显著(表 1)。

表 1 不同处理的香蕉盆栽苗生长特性

Table 1 The growth characteristics of potted banana in different treatments

处理 Treatment	株高(cm) Height	叶片数 Leaf number	根冠比 Root-shoot ratio
1	31.40 ± 4.20 a	7.70 ± 0.67 a	0.52 ± 0.06 a
2	28.50 ± 2.99 ab	7.10 ± 0.57 ab	0.49 ± 0.05 a
3	19.17 ± 4.88 c	5.33 ± 0.52 c	0.51 ± 0.03 a
4	26.70 ± 2.36 b	6.80 ± 0.92 b	0.49 ± 0.04 a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。Note: Data in the same column followed by different lowercase letters mean significantly different at $P < 0.05$ level.

2.5 FJAT-346-PA-K 对香蕉枯萎病的防治效果

盆栽试验结果表明,接种生防菌 FJAT-346-PA-K 和香蕉枯萎病病原菌 FJAT-370 30 天后,处理 2、处理 3 和处理 4 的病情指数分别是 11.43、40.00 和 24.29,对香蕉枯萎病的防治效果分别为 83.67%、42.86% 和 65.83%,说明生防菌 FJAT-346-PA-K 对香蕉枯萎病有较好的预防作用。田间试验结果表明,大田苗接种生防菌 FJAT-346-PA-K 240 天后,处理和对照的香蕉枯萎病发病率分别是 4.00% 和 22.00%,生防菌 FJAT-346-PA-K 对香蕉枯萎病的田间防治效果为 82.00%。

3 讨论

传统的观点认为大部分植物内生菌对植物有潜在的致病性,为条件致病菌。当植物健康时一般不表现出病症,但当植物衰老或受到环境条件的胁迫而防御功能严重削弱时,一部分内生菌就会转变为病原菌引起植物病害。现在则认为在内生菌与宿主植物长期协同进化的过程中,二者形成了互利共生的关系:一方面宿主植物产生的光合产物可为内生菌提供其生长所需的营养;另一方面内生菌产生的代谢产物常包含一些促生或抗菌的活性物质,促进植物的生长发育,提高植物抗逆境、抗胁迫和抗病害的能力^[20]。在同一种植物的不同器官组织中,内生菌的种类和数量不同,不同内生菌往往占据不同的生态位,它们在植物体中相互作用,促进或抑制生长,建立一种微生态的动态平衡^[20-21]。目前,筛选对植物病原菌有抑制作用的内生细菌已成为研究热点。

假单胞菌属细菌是植物根际微生态和土壤的优势微生物种群之一^[22],其中铜绿假单胞菌在植

物病害生物防治中已广泛应用。Viji 等^[13]、Siddiqui & Shaukat^[15]、Buysens 等^[23]、胡军华等^[24]、Mansoor 等^[25]及 Adesemoye 等^[26]用铜绿假单胞菌防治农作物病害,均取得很好的效果。本研究筛选的铜绿假单胞菌 FJAT-346-PA 为香蕉内生细菌,该菌对香蕉枯萎病病原菌有很强的离体抑制能力。定殖特性表明,该菌能够很好地在组培苗、盆栽苗及大田香蕉植株根茎部内生定殖,且香蕉的根茎部是生防菌 FJAT-346-PA 定殖的优势生态位。关于铜绿假单胞菌对植物病害的防治机制,有报道认为一方面该菌可有效地抑制病原菌侵染寄主植物^[13,27],另一方面可作为植物促长剂增强植株抗病性^[14]。本研究结果也表明,生防菌 FJAT-346-PA 能明显增加香蕉株高和叶片数,提高植株对枯萎病的抗性,盆栽防效和田间防效可达 83.67% 和 82.00%,且先施用该生防菌再接入病原菌处理组的防治效果显著优于其它处理,说明该铜绿假单胞菌在香蕉苗移栽至大田种植前或种植后尽早施用,可提高植物的防病能力,这与 Lian 等^[7]的提前接种生防菌能有效地抵御病原菌侵害的研究结果相似。刘绍钦等^[28]研究也表明,香蕉枯萎病的施药防治适期应掌握在香蕉由营养体生长期转向孕蕾期之前,以防止病原菌随着温度升高而加剧侵染。铜绿假单胞菌 FJAT-346-PA 的防病机制及环境因子对生防菌发挥抗病作用的影响等还有待进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- [1] 钟群有,郑卓辉,彭增明,等. 香蕉枯萎病生物防治研究概述. 广东农业科学, 2007 (7): 64-65
- [2] 林时迟,张绍升,周乐峰,等. 福建省香蕉枯萎病鉴定. 福

- 建农业大学学报, 2000, 29(4): 465–469
- [3] 肖爱萍, 游春平. 香蕉枯萎病防治进展. 江西植保, 2005, 28(2): 67–69
- [4] Thangavelu R, Palaniswami A, Velazhahan R. Mass production of *Trichoderma harzianum* for managing *Fusarium* wilt of banana. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 103: 259–263
- [5] Saravanan T, Muthusamy M, Marimuthu T. Development of integrated approach to manage the fusarial wilt of banana. *Crop Protection*, 2003, 22: 1117–1123
- [6] Cao L X, Qiu Z Q, Dai X, et al. Isolation of endophytic actinomycetes from roots and leaves of banana (*Musa acuminata*) plants and their activities against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2004, 20: 501–504
- [7] Lian J, Wang Z F, Cao L X, et al. Artificial inoculation of banana tissue culture plantlets with indigenous endophytes originally derived from native banana plants. *Biological Control*, 2009, 51: 427–434
- [8] 葛慈斌, 刘波, 蓝江林, 等. 生防菌 JK-2 对尖孢镰刀菌抑制特性的研究. 福建农业学报, 2009, 24(1): 29–34
- [9] 钟小燕, 梁妙芬, 甄锡壮, 等. 假单胞菌对香蕉枯萎病菌的抑制作用. 植物保护, 2009, 35(1): 86–89
- [10] 马红娟, 杨秀娟, 阮宏椿, 等. 拮抗细菌对香蕉枯萎病菌的离体抑菌活性研究. 福建农业学报, 2008, 23(3): 251–254
- [11] 肖爱萍, 李庚花, 游春平, 等. 5 株拮抗细菌对香蕉枯萎病菌的抑制作用. 江西农业大学学报, 2005, 27(4): 572–575
- [12] 游春平, 肖爱萍, 傅志岸, 等. 拮抗细菌对香蕉枯萎病的防治效果. 仲恺农业技术学院学报, 2005, 18(4): 16–20
- [13] Viji G, Uddin W, Romaine C P. Suppression of gray leaf spot (blast) of perennial ryegrass turf by *Pseudomonas aeruginosa* from spent mushroom substrate. *Biological Control*, 2003, 26: 233–243
- [14] Dutta S, Mishra A K, Kumar B S D. Induction of systemic resistance against fusarial wilt in pigeon pea through interaction of plant growth promoting rhizobacteria and rhizobia. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40: 452–461
- [15] Siddiqui I A, Shaikat S S. Effects of *Pseudomonas aeruginosa* on the diversity of culturable microfungi and nematodes associated with tomato: impact on root-knot disease and plant growth. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35: 1359–1368
- [16] 王家和. 烟草根病拮抗真菌的分离与筛选. 中国生物防治, 1998, 14(1): 28–31
- [17] 吴嵩民, 顾本康, 傅正擎, 等. 内生菌 73a 在不同抗性品种棉花体内的定殖和消长动态研究. 植物病理学报, 2001, 31(4): 289–294
- [18] 刘国顺, 肖庆礼, 王艳丽. 不同供磷能力的土壤施磷对烤烟根体积和根冠比以及根系伤流组分的影响. 中国烟草学报, 2009, 15(2): 28–32, 40
- [19] 许文耀, 兀旭辉, 林成辉. 香蕉枯萎病防治剂的筛选. 福建农林大学学报(自然科学版), 2005, 34(4): 420–424
- [20] 王坚, 刁治民, 徐广, 等. 植物内生菌的研究概况及其应用. 青海草业, 2008, 17(1): 24–28
- [21] Araujo W L, Maccheroni W, Jr, Aguilar-Vildoso C I, et al. Variability and interactions between endophytic bacteria and fungi isolated from leaf tissues of citrus rootstocks. *Canadian Journal of Microbiology*, 2001, 47: 229–236
- [22] Sturz A V, Christie B R, Nowak J. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2000, 19(1): 1–30
- [23] Buysens S, Heungens K, Poppe J, et al. Involvement of pyochelin and pyoverdine in suppression of *Pythium*-induced damping-off of tomato by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62(3): 865–871
- [24] 胡军华, 张伏军, 蓝希铨, 等. 烟草根际细菌铜绿假单胞菌 swu31-2 的定殖能力及其对烟草青枯病的防治作用. 植物保护, 2009, 35(5): 89–94
- [25] Mansoor F, Sultana V, Ehteshamul-Haque S. Enhancement of biocontrol potential of *Pseudomonas aeruginosa* and *Paecilomyces lilacinus* against root rot of mungbean by a medicinal plant *Launaea nudicaulis* L. *Pakistan Journal of Botany*, 2007, 39(6): 2113–2119
- [26] Adesemoye A O, Obini M, Ugoji E O. Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2008, 39: 423–426
- [27] 楼兵干, 张炳欣, Maarten R. 铜绿假单胞菌株 CR56 在黄瓜和番茄根围的定殖能力. 浙江大学学报, 2001, 27(2): 183–186
- [28] 刘绍钦, 卓国豪, 王壁生, 等. 香蕉镰刀菌枯萎病发生规律初探. 广东农业科学, 2001(1): 38–39