

拮抗菌发酵的生物有机肥对茄子生长和青枯病的防治效果^①

乔焕英, 丁传雨, 沈其荣, 陈巍*

(南京农业大学江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室, 南京 210095)

摘要: 采用盆栽试验研究了拮抗菌发酵的生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 对茄子植株的生长以及青枯病防治效果的影响。结果表明: ①苗期茄子植株生长 30 天时, 施用 BIO-36 和 BIO-23 的处理鲜重显著增加, 尤其 BIO-36 处理的茄子根系的总长、总表面积和总体积提高 8.58 倍、2.74 倍和 16.57 倍; ②茄子苗移栽 35 天时, 施用 BIO-36 和 BIO-23 的处理株高、地上部和地下部生物量都有显著提高, 青枯病的发病率低, 分别为 4.1% 和 8.3%; ③施用 BIO-36 和 BIO-23 的处理的茄子根际的真菌数量比对照 CK 增加了 4.1~4.6 倍和 3.89~4.64 倍, 放线菌数量增加了 3.38~3.78 倍和 3.08~3.47 倍, 根际茄科劳尔氏菌的数量分别为 1.5×10^5 cfu/g、 2.1×10^5 cfu/g, 都控制在 10^6 cfu/g 数量级以下, 而对照处理数量级达到了 1.23×10^6 cfu/g。施用拮抗菌发酵的生物有机肥能显著促进茄子植株的生长, 有效地降低茄子青枯病的发病率。

关键词: 生物有机肥; 茄子; 青枯病; 生物防治; 拮抗菌

中图分类号: S144.1

茄子是中国南北各地广泛栽培的夏秋季重要蔬菜, 20 世纪 90 年代以来, 种植面积迅速扩大^[1]。茄子青枯病是由茄科劳尔氏菌 (*Ralstonia solanacearum*) 侵染所致, 是一种世界毁灭性土传病害, 该病已成为影响茄子高产的主要障碍。我国长江流域普遍受其危害, 一般减产 20%~30%, 严重时损失 50%~60%^[2], 造成了巨大的农业损失。茄科劳尔氏菌是一种土壤习居菌, 能够在无寄主的情况下在土壤中存活很长时间, 发病是从根系侵入植株, 待地上部表现症状时再用药剂防治时为时已晚, 且化学药剂还会造成残留污染, 危害人畜安全^[3]。因此研制开发一种高效环境友好型的生物制剂已经成为当前生产研究的重要方向和目标。

近几十年以来, 国内外的许多学者研究在土壤或者植物根际引入有益微生物来防治青枯病等多种土传病害的发生^[4]。拮抗菌如芽孢杆菌 (*Bacillus spp.*)、假单胞菌 (*Pseudomonas spp.*)、无致病力青枯菌等^[5-7] 都能抑制青枯病害的发生, 但大多是单一菌株制剂, 防治效果有限。此外, 施用有机肥也能减缓青枯病的发生, 如由工农业废弃物资源改性和发酵加工而成的生态有机肥能有效地降低番茄青枯病的发病率^[8]; 家畜粪便的堆肥能防治青枯病的发生^[9], 但是有机肥防治青枯病害的效果也是有限的。

利用拮抗微生物菌株与腐熟的有机肥混合进行二次发酵生产的生物有机肥, 来防治茄子青枯病的研究正在兴起, 但尚缺研究报道。本文选择了两株菌 II-36 和 I-23 菌株, 在温室条件下, 通过盆栽试验研究了两株菌株的菌悬液以及经过二次发酵的生物有机肥对茄子青枯病的防治效果, 以期为研制微生物有机肥料和防治茄子青枯病提供理论依据, 为可持续农业健康发展提供一条可行的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试菌株 茄子青枯病拮抗菌为江苏省固体有机废弃物资源化高技术研究重点实验室自行筛选获得, 为 I-23 和 II-36 菌, 经鉴定为枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*); 茄子青枯病原菌为茄科劳尔氏菌 (*Ralstonia solanacearum*), 对茄子有强致病性 (生理小种 1 号), 由南京农业大学植物保护学院提供。

1.1.2 供试肥料 有机肥料基本状况: 有机肥是以菜粕为原料, 经筛选的高效分泌蛋白的微生物分解而制成的氨基酸有机肥料, 含有机质 44.2%、氨基酸 8.0%、N 4.4%、 P_2O_5 2.3%、 K_2O 0.67%、水分 28.5%; 猪粪堆肥含有机质 30.4%、N 2.01%、 P_2O_5 3.07%、 K_2O 1.1%、水分 28.5%。

①基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103004) 资助。

* 通讯作者 (chenwei@njau.edu.cn)

作者简介: 乔焕英 (1985—), 女, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事生物有机肥料的研究。E-mail: qiaohuanying@163.com

含 II-36 菌株的生物有机肥的制备: 将 II-36 拮抗菌株装入 LB 液体培养基中, 30℃ 振荡培养 48 h, 含量达到 1.0×10^8 cfu/g 以上, 8000 r/min 离心去除上层发酵液, 用无菌水按相同的比例将菌体悬浮后备用, 再按照 10% (V/W) 接种量分别接种到氨基酸有机肥料和猪粪堆肥中进行二次发酵, 之后两者按一定比例混合而成。

含 I-23 菌株的生物有机肥的制备: 同 II-36 菌株。

1.1.3 供试作物和土壤 供试茄子品种为扬茄一号 (江苏省镇江市镇研种业有限公司生产)。营养钵育苗土壤为未种植过茄子的健康土壤 (水稻土, 采自江苏宜兴); 盆栽土壤为连续 5 年种植茄子的塑料大棚连作土壤 (水稻土, 江苏泰州)。

1.2 试验设计

试验设置 6 个处理, 见表 1。

表 1 盆栽试验不同施肥设计

Table 1 Fertilization treatments of pot experiment

处理	营养钵	移栽
CK	单施化肥	单施化肥
OF	单施普通有机肥	单施普通有机肥
A-36	单加 II-36 菌	单加 II-36 菌
A-23	单加 I-23 菌	单加 I-23 菌
BIO-36	施含 II-36 菌株的生物有机肥	施含 II-36 菌株的生物有机肥
BIO-23	施含 I-23 菌株的生物有机肥	施含 I-23 菌株的生物有机肥

营养钵育苗期试验: 于 2010 年 5 月 10 日至 2010 年 6 月 10 日在南京农业大学江苏省固体有机废弃物资源化利用高技术研究重点实验室的温室内进行。营养钵装土 350 g/杯, 每个处理重复 50 次, 每个营养钵培育一株幼苗。单加拮抗菌 II-36 和 I-23 菌液处理以 10^8 cfu/g 土均匀拌入土中, 微生物肥料以 2% 的施用量 (w/w) 均匀拌入土中, 6 个处理的氮磷钾含量差异用化肥补齐至等量。

盆钵 (移栽土壤) 试验: 装土 5 kg/盆, 每个处理重复 30 次。先在每盆土中接入 10^6 cfu/g 土的茄科劳尔氏菌菌悬液, 拮抗菌 II-36 和 I-23 菌液处理以 10^8 cfu/g 土均匀拌入病土中, 生物肥料以 0.5% 的施用量 (w/w) 均匀拌入病土中, 肥料与病原土充分混合均匀, 6 个处理的氮磷钾含量差异用化肥补齐至等量。

当营养钵中茄子幼苗长出 5 ~ 6 片真叶时将生长一致的幼苗连同营养钵中土壤一起移栽至盆钵中, 每盆移栽一棵。常规水肥管理, 观察并记录发病情况。

茄子幼苗移栽后 15 天时对照处理植株开始发病, 到 35 天对照处理植株发病严重, 结束试验。

盆栽试验于 2010 年 6 月 10 日至 2010 年 7 月 15 日 (共 35 天), 试验地点同上。

1.3 营养钵育苗试验

1.3.1 茄子营养钵苗期幼苗鲜重的测定 营养钵苗期试验结束后 (播种后 30 天), 收获时将一次性塑料杯剪开, 用自来水将附着在根系的土壤冲洗干净, 之后再用去离子水清洗一遍, 整株称重。

1.3.2 幼苗根系的总长、总表面积和体积的测定 将茄子幼苗的根系剪下来, 用吸水纸轻轻擦掉叶片上的水分, 通过根系扫描仪 (WinRHIZO 2008a) 扫描后分析。

1.4 盆钵试验

1.4.1 茄子干重 茄子植株收获时, 将地上部和地下部剪开, 于 105℃ 下杀青 15 min 后 70℃ 烘至恒重, 称重, 记录地上部和地下部干重。

1.4.2 病情调查 茄子幼苗移栽后, 每天观察茄子植株生长情况。移苗后第 15 天 (2010 年 6 月 25 日) 发现 CK 处理有茄子植株开始萎焉发病。之后每天调查记录各处理茄子植株的发病情况, 到第 35 天 CK 处理植株发病严重时试验结束, 收获茄子植株。茄子青枯病的发病率按如下方法计算:

$$\text{发病率} = \text{处理发病株数} / \text{处理重复次数} \times 100\%$$

1.4.3 土壤微生物数量 (病原菌、细菌、放线菌及真菌) 的测定 ①根际土壤: 抖落所有粘在茄子植株根系上的土壤后, 将根称重, 按每 10 g 根加 90 ml 无菌水的比例放入事先装有玻璃珠的三角瓶中, 再将三角瓶放置在摇床上 170 r/min 震荡 20 min, 洗脱在无菌水中的土壤即为根际土壤; ②土体土壤: 将移栽用盆钵的土壤充分混匀后, 取 500 g 混合样, 放入 4℃ 冰箱中待用。

微生物数量采用系列稀释平板法计数^[10], 将土样稀释成 10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} 等不同稀释度的土壤溶液。用无菌吸管分别由不同稀释度的土壤溶液中各吸取 0.1 ml 放入准备好的培养基平板, 涂布均匀, 于 28℃ 培养箱培养。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基, 放线菌采用高氏 1 号培养基, 真菌采用马丁氏培养基。病原菌 (茄科劳尔氏菌) 采用 SMSA-E 选择性培养基^[11]。

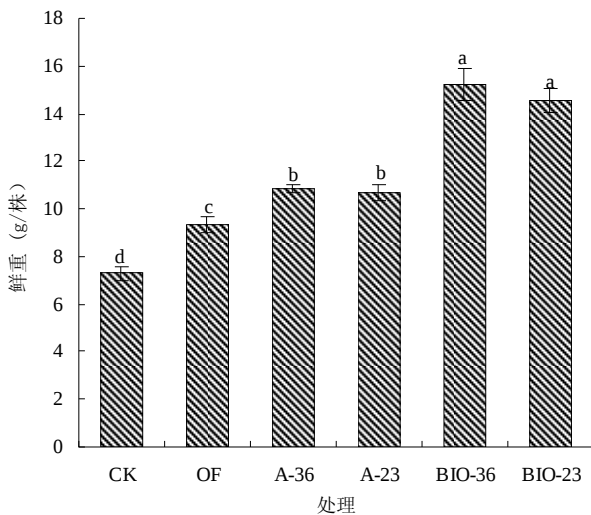
1.5 数据分析

使用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计分析软件进行数据统计和显著性水平检验。

2 结果分析

2.1 生物有机肥对苗期茄子植株生物量的影响

图 1 表明，苗期植株生长一个月时，CK 处理与生物有机肥（BIO-36 和 BIO-23）、单加拮抗菌悬液（A-36 和 A-23）和 OF 处理的植株鲜重均存在显著差异。施用生物有机肥（BIO-36 和 BIO-23）能显著促进苗期茄子的生长，鲜重分别比 CK 增长了 2.09 倍和 2.00 倍。



（不同小写字母表示 LSD 检验处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平，下同）

图 1 不同处理对苗期茄子植株生物量的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on biomass of eggplant seedlings

2.2 生物有机肥对苗期茄子植株根系生长的影响

从表 2 可以看出，各施肥处理相比 CK 处理，都能使根系的总长、总表面积和总体积有不同程度的增

加。其中 BIO-36 处理根系的总长、总表面积和总体积分别比 CK 处理增长 8.58 倍、2.74 倍和 16.57 倍，与其他各处理都存在显著性差异，其茄子根系发达，能够很好地吸收土壤中的水分和营养，抵抗病原菌对根系的侵染。

表 2 不同处理对苗期茄子根系生长的影响

Table 2 Effects of different treatments on root growth of eggplant seedlings

处理	根系总长 (cm)	根系总表面积 (cm ²)	根系总体积 (cm ³)
CK	121.21 ± 7.24 f	91.28 ± 5.64 e	0.07 ± 0.01 e
OF	266.41 ± 13.33 e	132.69 ± 8.10 d	0.15 ± 0.03 de
A-36	468.46 ± 32.28 c	177.78 ± 12.87 c	0.31 ± 0.09 c
A-23	391.82 ± 51.84 d	168.54 ± 14.85 c	0.24 ± 0.04 d
BIO-36	1 039.59 ± 49.07 a	250.23 ± 12.36 a	1.16 ± 0.08 a
BIO-23	893.13 ± 43.31 b	200.51 ± 9.75 b	1.05 ± 0.05 b

注：同一列数据小写字母不同表示 LSD 检验处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平，下同。

2.3 生物有机肥对茄子植株生长的影响

茄子植株收获时，测定株高和生物量（表 3）。生物有机肥（BIO-36 和 BIO-23）的促生效果最好，株高是 CK 的 2.28 ~ 2.76 倍和 2.19 ~ 2.64 倍，地上部鲜重是 CK 的 3.12 ~ 3.20 倍和 2.87 ~ 2.96 倍，此外，地上部干重、地下部鲜重和干重与 CK 相比也都有显著性差异。生物有机肥与单加拮抗菌悬液、OF 处理相比，差异也都达到显著水平。BIO-36 和 BIO-23 相比，地上部和地下部的生物量差异也达到显著水平，说明 BIO-36 对茄子促生效果最好。

表 3 不同处理对茄子植株生长的影响（幼苗移栽后 35 天）

Table 3 Effects of different treatments on the growth of eggplants

处理	株高 (cm)	地上部鲜重 (g)	地上部干重 (g)	地下部鲜重 (g)	地下部干重 (g)
CK	35.63 ± 4.04 d	51.24 ± 2.78 e	7.03 ± 0.27 f	4.09 ± 0.19 f	1.05 ± 0.15 e
OF	50.17 ± 2.16 c	68.62 ± 5.06 d	9.56 ± 0.30 e	6.78 ± 0.38 e	1.92 ± 0.21 d
A-36	60.00 ± 2.00 b	118.5 ± 3.31 c	19.93 ± 1.06 c	16.53 ± 1.14 c	2.93 ± 0.31 c
A-23	57.93 ± 1.37 b	114.63 ± 3.20 c	14.35 ± 0.68 d	10.74 ± 1.65 d	1.87 ± 0.14 d
BIO-36	88.85 ± 1.61 a	161.9 ± 6.72 a	28.15 ± 1.89 a	30.9 ± 1.33 a	5.84 ± 0.25 a
BIO-23	85.16 ± 1.89 a	145.1 ± 1.68 b	25.38 ± 0.83 b	24.39 ± 1.38 b	3.72 ± 0.51 b

2.4 生物有机肥对茄子青枯病的防治效果

不同处理茄子植株青枯病的发病率见图 2，茄子植株移栽后 35 天，CK 发病率最高，达到 91.7%，生物

有机肥（BIO-36 和 BIO-23）处理发病率最低，分别为 4.1% 和 8.3%，与其他处理相比，差异达到显著水平，施用有机肥与 CK 没有显著性差异。

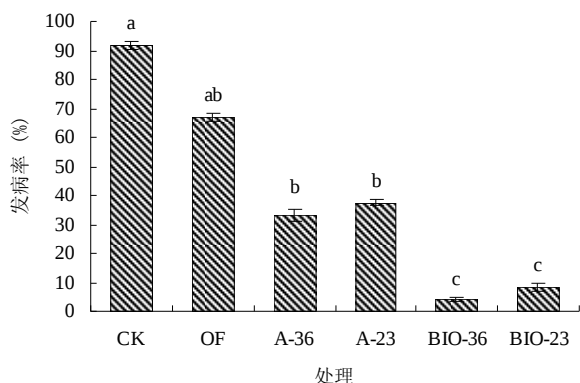


图 2 不同处理对茄子青枯病发病率的影响 (幼苗移栽后 35 天)

Fig. 2 Effects of different treatments on incidence of eggplant bacterial wilt

2.5 生物有机肥对茄子根际土壤以及土体土壤茄科劳尔氏菌数量的影响

土壤中茄科劳尔氏菌的多少直接影响到茄子青枯

病的发生。通过对根际和土体土壤中茄科劳尔氏菌的计数发现 (图 3), 生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 的根际和土体土壤中数量很低 (数量级为 10^5 cfu/g), 与其他处理相比差异达到显著水平, 有机肥 (OF) 和 CK 处理的病原菌数量最高 (数量级为 10^6 cfu/g)。

2.6 生物有机肥对茄子根际土壤微生物群落结构的影响

当 CK 处理茄子植株严重发病并收获时, 不同处理对茄子植株根际土壤微生物群落结构的影响不同 (表 4)。与 CK 相比, 其他处理中的真菌、放线菌、细菌都有不同程度的增加, 生物有机肥可以显著增加土壤中真菌和放线菌数量, BIO-36 和 BIO-23 处理根际土壤的真菌数量比 CK 分别增加 4.10 ~ 4.60 倍和 3.89 ~ 4.64 倍, 放线菌数量分别增加了 3.38 ~ 3.78 倍和 3.08 ~ 3.47 倍, 细菌数量虽然也有增加, 但没有真菌和放线菌增加幅度大。

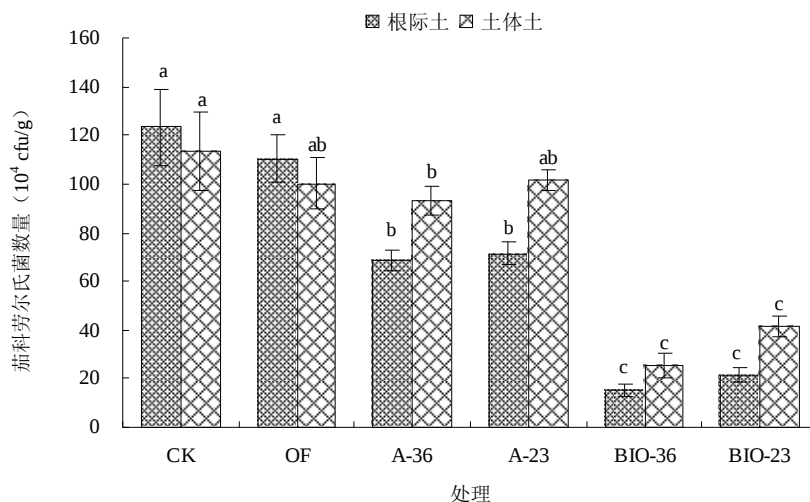


图 3 不同处理对茄子根表及根际土壤茄科劳尔氏菌数量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on numbers of *Ralstonia solanacearum* in rhizosphere and rhizosphere soils of eggplants

表 4 不同处理对茄子根际土壤微生物数量的影响

Table 4 Total microbial numbers in rhizosphere soils in different treatments

处理	真菌 (10^3 cfu/g 土)	放线菌 (10^5 cfu/g 土)	细菌 (10^6 cfu/g 土)
CK	23.7 ± 2.08 e	27.5 ± 2.55 e	52.3 ± 2.00 c
OF	35.3 ± 2.52 d	38.0 ± 3.00 d	53.7 ± 2.52 c
A-36	51.0 ± 2.65 c	61.8 ± 4.51 c	58.7 ± 2.08 ab
A-23	45.3 ± 1.53 cd	56.0 ± 3.00 c	55.3 ± 3.05 bc
BIO-36	102.7 ± 3.05 a	98.0 ± 3.61 a	60.2 ± 2.16 a
BIO-23	96.4 ± 4.01 b	89.7 ± 3.06 b	59.5 ± 1.41 a

3 讨论

3.1 生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 对茄子植株生长的影响

本研究表明, 施用拮抗菌发酵的生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 均对茄子生长有显著的促进作用。其中, BIO-36 处理的各项指标显著高于 CK 和其他处理 (图 1 和表 3)。这与凌宁等^[12]、何欣等^[13]施用生物有机肥能显著促进西瓜和香蕉植株的生长, 增加其产量的结果一致。本试验用生物有机肥是采用拮抗菌 (II-36 和 I-23) 与有机肥载体 (腐熟的猪粪堆

肥和氨基酸有机肥料) 经过二次发酵得到的, II-36 和 I-23 为两株枯草芽孢杆菌, 是植物促生菌 (plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR) [14], 它们作为功能菌对植株的促生起着关键作用。II-36 菌株的效果最显著, 可能原因之一就是 II-36 的定殖能力比较强, 能够长期定殖于土壤中, 成为土壤的优势菌, 与土著菌竞争营养位点, 进而能在土壤中持久地存活。

茄子幼苗根系的生长发育状况和活力的强弱将直接影响植株个体的生命活动 [16-17]。本试验结果显示: 与 CK 相比, 施用生物有机肥可显著提高茄子幼苗根系的总长、总表面积和体积 (表 2)。这与陈武等 [18] 的研究结果: 3 株枯草芽孢杆菌的菌悬液对烟草幼苗根系有良好的促进效果、使烟草幼苗长势较好、生长比较健壮、缩短大田植株的生长时期、较好地抵抗病原菌的侵染一致。

3.2 生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 对茄子植株发病率的影响

研究表明, 生物有机肥在连作土壤条件下能防治茄子青枯病的发生, 以 BIO-36 处理效果最显著 (图 2), CK 发病率达到 91.7%, 而 BIO-36 处理的发病率仅为 4.1%, 单一菌剂 (A-36 和 A-23 处理的发病率分别为 33.3% 和 37.5%) 和单一有机肥 (发病率为 66.7%) 处理对青枯病的防治效果不如生物有机肥显著, 其原因可能是拮抗菌没有与合适的载体结合, 较难在土壤中存活很长时间而筛选自茄子根际的 II-36 和 I-23 拮抗菌株, 更易在茄子种植土壤中形成优势种群, 以致在茄子植株根系表面形成有效的“生物防御层” [12], 从而能有效抑制 (或抵抗) 病原菌侵染。这与单一的拮抗菌 [20] 或者有机肥 [21] 对茄子青枯病的防治效果有限的结论一致; Trillas 等 [19] 用农业废弃物制作的堆肥与木霉属真菌组合可显著抑制黄瓜菌核病, 也说明有益微生物与合适的有机载体结合更有益于病害的防治。

3.3 生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 对茄子根系和土壤微生物群落结构的改善

本试验结果表明, 生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 显著增加根际土壤中真菌和放线菌数量, BIO-36 和 BIO-23 处理根际土壤的真菌数量比 CK 分别增加了 4.10~4.60 倍、3.89~4.64 倍, 放线菌数量分别增加了 3.38~3.78 倍、3.08~3.47 倍, 细菌数量增加幅度不大 (表 4), 根际和土体土壤中茄科劳尔氏菌的数量很低 (数量级为 10^5 cfu/g) (图 3)。这与肖相政等 [22] 研究发现施用生物有机肥可以提高土壤微生物的 AWCD 值、降低青枯病的病情指数、提高防病效果一致; 蔡

燕飞等 [8] 利用工农业废弃物改良和发酵而成的生态有机肥对番茄的青枯病也有一定的防治效果, 还可以改善土壤微生物结构, 使土壤中真菌和放线菌比例上升, 细菌的相对含量减少, 主要是病原细菌减少, 有益细菌的含量小幅度增加。

综上所述, 生物有机肥 (BIO-36 和 BIO-23) 能显著促进茄子的植株生长, 降低青枯病的发病率, 改善土壤微生物区系, 使土壤中的生态系统朝着健康有益的方向发展, 为微生物创造良好的生态环境, 避免了土壤中有害物种的增多而引起土传连作病害, 生物有机肥防治青枯病的机理还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 孙义, 居正英, 林玲, 杨启银, 周益军. 茄子黄萎病生防内生细菌 29-12 发酵条件的初步研究. 江苏农业学报, 2008, 24(4): 425-430
- [2] 封林林, 屈冬玉, 金黎平, 连勇. 茄子抗青枯病研究进展. 中国蔬菜, 2000(5): 47-50
- [3] Bartlett DW, Clough JM, Godwin JR, Hall AA, Hamer M, Parr-Dobrzanski B. The strobilurin fungicides. Pest Management Science, 2002, 58: 649-662
- [4] James CR. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. Annual Review of Phytopathology, 1993, 31: 53-80
- [5] Ran LX, Liu CY, Wu GJ, Van Loon LC, Bakker PAHM. Suppression of bacterial wilt in Eucalyptus urophylla by fluorescent *Pseudomonas* spp. in China. Biological Control, 2005, 32: 111-120
- [6] 陈庆河, 翁启勇, 胡方平. 无致病力青枯菌株对番茄青枯病的防治效果. 中国生物防治, 2004, 20(1): 42-44
- [7] Lemessa F, Zeller W. Screening rhizobacteria for biological control of *Ralstonia solanacearum* in Ethiopia. Biological Control, 2007, 42: 336-344
- [8] 蔡燕飞, 廖宗文, 章家恩, 孔维栋, 何成新. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响. 应用生态学报, 2003, 14(3): 349-353
- [9] 赵娜, 蔡昆争, 汪国平, 王勇. 家畜堆肥诱导番茄对青枯病的抗性及其生理机制. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 2 058-2 063
- [10] 李阜棣, 喻子牛, 何绍江. 农业微生物实验技术, 北京: 中国农业出版社, 1996: 178-181
- [11] Bellstedt DU. Enzyme-linked immunosorbent assay Detection of *Ralstonia solanacearum* // Robert B. Potatoes: The South African Experience. New York: Humana Press, 2009: 51-62

- [12] 凌宁, 王秋君, 杨兴明, 徐阳春, 黄启为, 沈其荣. 根际施用微生物有机肥防治连作西瓜枯萎病研究. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5): 1 136-1 141
- [13] 何欣, 郝文雅, 杨兴明, 沈其荣, 黄启为. 生物有机肥对香蕉植株生长和香蕉枯萎病防治的研究. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 978-985
- [14] Stephane C, Brion D, Jerzy N, Christophe C, Essaid AB. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environment Microbiology*, 2005, 71(9): 4 951-4 959
- [15] 陈晓斌, 张炳欣. 植物根围促生细菌(PGPR)作用机制的研究进展. 微生物学杂志, 2000, 20(1): 38-41
- [16] 郭培国, 陈建军, 李荣华. pH 值对烤烟根系活力及烤后烟叶化学成分的影响. 中国农业科学, 2000, 33(1): 39-45
- [17] 曹丹, 宗良纲, 肖峻, 张倩, 赵妍. 生物肥对有机黄瓜生长及土壤生物学特性的影响. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2 587-2 592
- [18] 陈武, 何命军, 易建华, 周燕, 成志军. 三株拮抗菌对烟草幼苗根系活力的影响. 湖南农业科学, 2005(4): 26-27
- [19] Trillas MI, Cotxarrera L, Casanova E, Cortadellas N. Ultrastructural changes and localization of chitin and callose in compatible and incompatible interactions between carnation callus and *Fusarium oxysporum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2000, 56(3): 107-116
- [20] Guo JH, Qi HY, Guo YH, Ge HL, Gong LY, Zhang LX, Sun PH. Biocontrol of tomato wilt by plant growth-promoting rhizobacteria. *Biological Control*, 2004, 29: 66-72
- [21] 吕卫光, 杨广超, 沈其荣, 张春兰, 诸海燕, 余廷园. 有机肥对连作西瓜生长和土壤微生物区系的影响. 上海农业学报, 2006, 22(4): 96-98
- [22] 肖相政, 刘可星, 廖宗文. 生物有机肥对番茄青枯病的防效研究及机理初探. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2 368-2 373

Effects of Bio-organic Fertilizers Fermented with Antagonistic Strains on Growth Enhancement and Control of Bacterial Wilt Disease of Eggplant

QIAO Huan-ying, DING Chuan-yu, SHEN Qi-rong, CHEN Wei

(Jiangsu Key Laboratory for Organic Solid Waste Utilization, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Pot experiments were carried out to investigate the effects of two new bio-organic fertilizers (BIO-36 and BIO-23) fermented with different antagonistic strains on plant growth and the suppression on the disease. The results were as follows. (1) Application of BIO-36 and BIO-23 significantly increased fresh weights of eggplant seedlings after grown in nursery cups for 30 days. BIO-36 showed most distinct root growth enhancement, being 8.48 to 8.69 times higher in total root length, 2.70 to 2.77 times higher in total surface root area, and 15.5 to 18 times higher in root volume than control. (2) Plant height, shoot and root biomass in the treatments of BIO-36 and BIO-23 were significantly increased after grown for 35 days in the big pots, in which soil inoculated with the pathogen and seedlings were transplanted from nursery cups, while disease incidence of the bacterial wilt was significantly reduced to 4.1% for BIO-36 and 8.3% for BIO-23 in contrast to 91.7% for control. (3) BIO-36 and BIO-23 increased rhizosphere fungi by 4.1 to 4.6 and 3.89 to 4.64 times and rhizosphere actinomycetes by 3.38 to 3.78 times and 3.08 to 3.47 times, respectively, as compared with control, but did not significantly change bacterial counts. However, BIO-36 and BIO-23 reduced the counts of *Ralstonia solanacearum* in rhizosphere by almost one order of magnitude when compared with control. Therefore, the application of the bio-organic fertilizers could effectively control the bacterial wilt disease and promote plant growth of eggplant.

Key words: Bio-organic fertilizer, Eggplant, Bacterial wilt disease, Bio-control, Antagonists