

两株烟草根际拮抗菌的生防和促生效果研究

吴秉奇¹, 梁永江², 丁延芹¹, 陈晓明², 王玉军³, 徐 峥¹, 杜秉海^{1*}

(1. 山东农业大学生命科学学院, 山东省农业微生物重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州 遵义 563000; 3. 山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安 271018)

摘 要: 使用植物根际促生细菌 (PGPR) 来防治土传病害是目前生物防治的研究热点。在温室内进行盆栽试验以研究从烟株根际筛选出的两株生防细菌对烟草黑胫病的防治和促生效果, 试验设 4 个处理, 分别为接种生防菌 YC0573、YC0136、药剂对照 (甲霜灵锰锌) 和发病对照。结果表明, 温室条件下 YC0573 和 YC0136 的防治效果分别达到 90.9% 和 95.4%, 均高于甲霜灵锰锌 (86.4%); 接种生防菌的烟株生长状况明显好于对照烟株。对不同生长期烟株叶片叶绿素含量、电解质相对渗透率以及超氧化物歧化酶、过氧化物酶、多酚氧化酶、苯丙氨酸解氨酶、过氧化氢酶等系统抗性相关指标进行测定, 结果显示, 两株拮抗菌可诱导烟株产生系统抗性 (ISR), 增强对病害的防御力, 并且能有效防治烟草黑胫病, 促进烟株生长, 具有良好的应用潜力。

关键词: 烟草; 植物根际促生细菌; 烟草黑胫病; 防治效果; 促生作用; 诱导系统抗性

中图分类号: S572.08

文章编号: 1007-5119 (2013) 01-0066-06

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.01.013

Study on Disease-preventing and Growth-promoting Effects of Two Antifungal Bacteria from Tobacco Rhizosphere

WU Bingqi¹, LIANG Yongjiang², DING Yanqin¹, CHEN Xiaoming², WANG Yujun³, XU Zheng¹, DU Binghai^{1*}

(1. Shandong Key Laboratory of Agricultural Microbiology, College of Life Sciences, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China; 2. Zunyi Tobacco Company of Guizhou province, Zunyi, Guizhou 563000, China; 3. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract: Using plant growth-promoting rhizobacteria to control soil borne plant diseases is an promising field in biological control. The objectives of this study were to determine the effect of plant growth-promoting of two biocontrol bacterial strains. They were screened from tobaccos rhizospheric soil and its controlling tobacco black shank. The experiment design was four treatments, including biocontrol bacterium YC0573 or YC0136 was applied as a soil drench respectively, metalaxyl mancozeb, and the disease control. The results showed that YC0573 and YC0136 reduced disease severity by 90.9% and 95.4%, both of them were better than metalaxyl mancozeb (86.4%); and the tobaccos growth of the treatments with YC0573 and YC0136 were better than control. The content of chlorophyll, leakage rate of electrolyte, and the activity of SOD, POD, PPO, PAL and CAT in 30 days, 60 days and 90 days after inoculation were determined, and the results indicated that PGPR strains YC0573 and YC0136 could control tobacco black shank effectively and promote tobacco growth. Both of the two strains could induce system resistance of tobaccos.

Keywords: tobacco; plant growth-promoting rhizobacteria; tobacco black shank; control effect, promote growth; induce system resistance

烟草黑胫病 (*Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*) 是我国发生最为严重的烟草土传病害之一, 其造成的年均损失约为 12 303.38 万元, 仅次于病毒病^[1-2]。目前我国主要采用甲霜灵等化学农药来防治, 但是长期使用化学农药容易使病原菌产生

抗药性, 导致防治效果下降^[3]。此外, 长期、反复和大量使用化学农药可引起土壤、水体和大气的污染, 同时也杀伤了其他有益微生物、昆虫和畜禽, 破坏了生态平衡^[4]。采用抗病育种又存在时间长、抗源少等问题, 抗病性与品质之间往往存在矛盾^[5]。

基金项目: 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目 (2008ZYYCKJ-01)

作者简介: 吴秉奇, 男, 硕士, 主要从事分子微生物与生物防治研究。E-mail: wubingqi@163.com。*通信作者, E-mail: du_binghai@163.com。

收稿日期: 2011-10-8

修回日期: 2012-04-11

因此,生物防治越来越受到人们的重视,其中利用细菌特别是植物根际促生细菌(PGPR)防治土传病害成为生物防治的重要研究领域^[6-7]。20世纪80年代以来,随着对PGPR的深入研究,发现其可以诱导植物系统抗性(ISR),成为生物防治新一轮的研究热点^[8]。

目前,已经发现多种具有防治烟草黑胫病作用的根际细菌,例如地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*) GP13^[9],多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*) C-5等^[10],但是大多数的报道局限于生防菌的防病效果及对病原菌的拮抗作用,PGPR诱导烟草系统抗性以及对烟草生理指标的影响等方面的研究仍少见报道,烟草在种植过程中易受到多种细菌、真菌、病毒等病害的侵染,因此,PGPR诱导系统抗性使烟草具有对多种病害的抵抗能力在烟草生产中具有十分重要的意义。

笔者研究两株烟草黑胫病拮抗菌多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*) YC0573、YC0136的防病和促生效果,并且通过测定烟草抗性相关生理指标来探讨其对烟株系统抗性的诱导作用,为生防菌在烟草田间的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 盆栽土壤 试验用土壤取自泰安当地农田,每盆装土大约 10 kg,土壤理化性质为全氮 6.41 g/kg,全磷 1.13 g/kg,全钾 7.20 g/kg,有机质 9.89 mg/g,腐殖质 2.42 mg/g,速效磷 93.23 mg/kg,速效钾 86.23 mg/kg,铵态氮 6.58 mg/kg,硝态氮 62.74 mg/kg, pH 7.31。

1.1.2 肥料与药剂 美康田佳牌复合肥(山东康田化肥有限公司),总有效成分 40%,其中 $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O)=20:10:10$,按照 5 g/盆用量溶解后浇灌于土壤中。58%甲霜灵锰锌可湿性粉剂(江苏宝灵化工有限公司)。

1.1.3 烟草 烟草品种为 K326,在育苗基质中培育至 5~6 片真叶,备用。

1.1.4 供试菌种 分离自贵州烟田根际土壤的两

株多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*) YC0573 和 YC0136,平板对峙实验中对烟草寄生疫霉(*Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*)均具有强烈的拮抗作用,菌株 YC0136 对烟草青枯病病原菌茄科雷尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)也具有很强的拮抗能力。烟草黑胫病病原菌(*Phytophthora nicotianae* var. *nicotianae*)由山东农业大学植物保护学院张广民教授惠赠。其他供试菌株由本实验室筛选保存。

1.1.5 培养基 拮抗菌活化采用 LB 培养基,拮抗菌摇瓶发酵采用豆芽汁培养基(黄豆芽 200 g,蔗糖 20 g,蒸馏水 1000 mL),黑胫病病原菌活化采用燕麦培养基^[10]。

1.2 方法

1.2.1 菌悬液的制备 拮抗菌活化后在 30 °C、170 r/min 摇瓶发酵培养 3 d,用无菌水稀释成 1×10^8 CFU/mL。黑胫病病原菌采用杨建卿(2001)的方法^[11],制备成浓度为 10^4 个/mL 游动孢子悬液。

1.2.2 试验设计 试验在山东农业大学日光温室内进行,设置 4 个处理,即 A:接种生防菌 YC0573; B:接种生防菌 YC0136; C:施加甲霜灵锰锌作为药剂对照; D:发病对照。5 次重复,每重复 3 棵烟苗。

选择长势一致的 5~6 片真叶期的烟苗,移栽前将烟草幼苗在 1×10^8 CFU/mL 浓度的 YC0573 或 YC0136 菌液中浸根 30 min,然后将烟苗移栽至盆中,药剂对照和发病对照采用培养基浸根。缓苗 3 d 后用移液枪头将相应的菌悬液(1×10^8 CFU/mL)灌入烟株根际,每株烟 4 mL 菌液,同时取 1 mL 菌液淋于茎基部,发病对照接入等量培养基,药剂对照采用 58%甲霜灵锰锌可湿性粉剂 500 倍稀释液浇灌处理,每盆 150 mL。1 d 后将配制好的黑胫病游动孢子菌悬液(10^4 个/mL)灌接于各处理烟苗根部,接种量为 5 mL/株。其余按照温室常规管理,浇水保湿以利于发病。

1.2.3 防病及促生效果调查 接种病原菌 7 d 后,按照文献^[12]调查各处理烟株的发病情况和农艺性

状,计算各处理烟株的病情指数、发病率和相对防效。烟草种植期结束后,取出烟株用清水洗净,自然条件下风干后测量烟株鲜质量,将烟株放置于烘箱中 105 ℃杀青 30 min,60 ℃继续烘干 48 h,取出测整株干质量。

1.2.4 烟草叶片生理指标的测定 烟株移栽后 30、60、90 d 时,各处理取从上至下数第 4 片展开的叶片,剪碎混合均匀后测定以下指标,3 次重复取平均值。

叶绿素含量、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性测定参照文献[13],多酚氧化酶(PPO)活性采用文献[14]的方法,过氧化氢酶(CAT)采用过氧化氢分解量法测定^[15],电解质相对渗透率用电导法测定^[15]。

1.2.5 烟草根系发育情况测定 烟草生长期结束后,移出整个烟株,用清水洗净风干后称取烟株地下部分鲜质量,计算烟株的根冠比。根系活力的测定采用 TTC 法^[16]。

1.2.6 数据统计 采用 SPSS 18.0 软件,Duncan 新复极差法,在 0.05 水平上分析差异显著性($p < 0.05$)。

2 结果

2.1 拮抗菌对烟草病害的防治效果

由表 1 看出,接种拮抗菌可推迟烟草的发病时间,烟草病情指数明显低于对照。接种 35 d 后 YC0573 的相对防效可达到 90.9%,YC0136 的相对防效达到 95.4%,两株拮抗菌对黑胫病的防效均高于农用药剂甲霜灵锰锌(86.4%)。

2.2 拮抗菌对烟株生长发育的影响

由图 1 可以看出,YC0573、YC0136 处理烟株的长势要优于甲霜灵锰锌、发病 CK,其中株高和最大叶面积 2 项指标最为明显,表现在各时期 YC0573、YC0136 处理均与发病 CK 差异显著。与甲霜灵锰锌处理相比,除 60 d 株高外,差异也都达到显著水平。各处理烟株在 60 d 时长势差距较为明显,YC0573 处理株高、茎围、叶数、最大叶面积分别比发病 CK 提高 75.18%、17.73%、28.33%和 70.92%,差异显著,和甲霜灵锰锌处理相比,茎围、叶数、最大叶面积分别高出 10.51%、26.23%、65.75%,差异显著;同时期 YC0136 处理株高、茎围、叶数、最大叶面积分别比发病 CK 高出 83.71%、24.73%、23.33%和 82.58%,差异显著;与甲霜灵锰锌处理相比茎围、叶数、最大叶面积分别高出 17.08%、21.31%、77.04%,差异达到显著水平。烟草生长的后期,接种生防菌的烟株依然能够表现出一定的生长优势。

由表 2 看出,用生防菌株处理的烟株干质量与对照间的差异均达到显著水平,YC0573、YC0136 处理分别比发病 CK 高出 53.38%和 64.19%;与甲霜灵锰锌处理相比高出 44.25%和 54.41%。烟株鲜质量方面,YC0136 处理和对照间的差异能够达到显著水平,比发病 CK 高出 28.80%,比甲霜灵锰锌处理高出 22.45%。无论是鲜质量还是干质量,甲霜灵锰锌、发病 CK 之间差异均不显著。

2.3 烟草叶片系统抗性相关生理指标

从表 3 可以看出,4 种处理的烟株叶片除电解质相对渗透率外的各项指标均呈现先升高再降低的趋势,处理间差异主要体现在烟株移栽后 30 和

表 1 拮抗菌对烟草黑胫病温室防效

Table 1 Effect of tobacco black shank in greenhouse

处理	接种后发病时间/d	接种 7 d		接种 14 d		接种 21 d		接种 28 d		接种 35 d	
		病情指数	防效/%	病情指数	防效/%	病情指数	防效/%	病情指数	防效/%	病情指数	防效/%
YC0573	21	0	100	0	100	1.67a	93.3	3.33a	89.5	3.33a	90.9
YC0136	28	0	100	0	100	0a	100	1.67a	94.7	1.67a	95.4
甲霜灵锰锌	21	0	100	0	100	1.67a	93.3	5.00a	84.2	5.00a	86.4
发病 CK	7	8.33	-	15.00	-	25.0b	-	31.7b	-	36.7b	-

注:数据后字母不同代表处理间差异显著($p < 0.05$),下同。

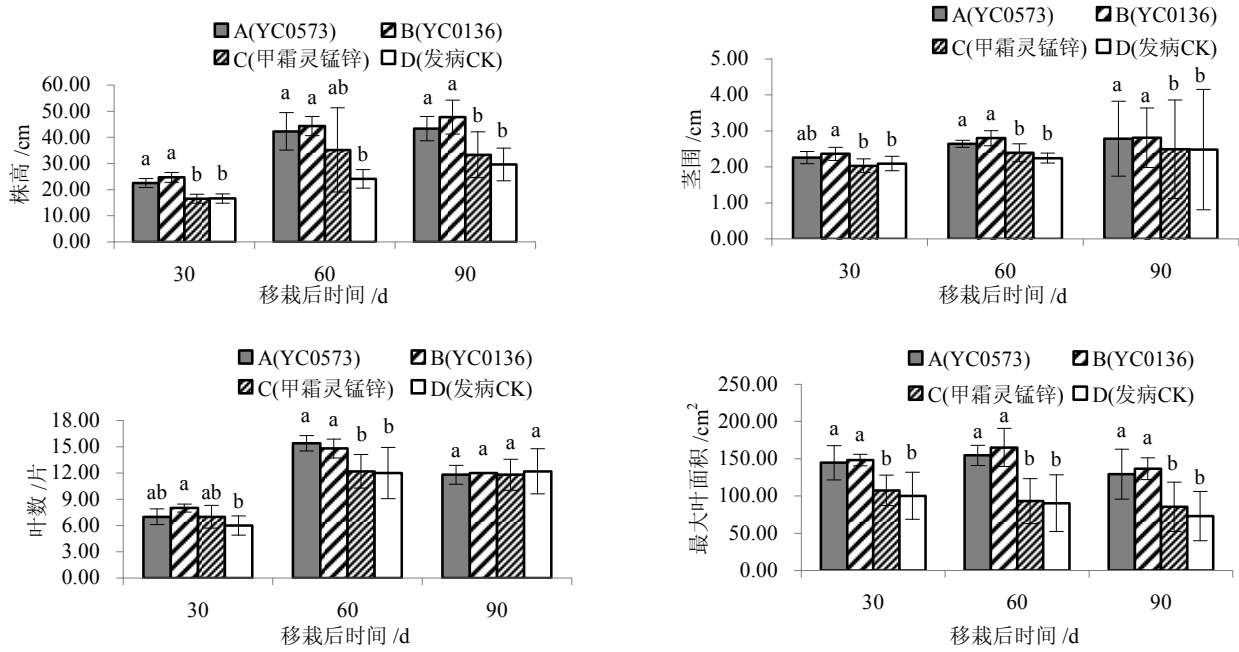


图 1 不同生长期各处理烟株农艺性状

Fig.1 Agronomic traits of tobacco in different growing phase

注：不同字母代表显著性差异 ($p < 0.05$)。

60 d 时，即团棵期和旺长期，90 d 时差异不大。60 d 时生防菌处理烟株与对照间差异最为明显，7 项指标的差异均可达到显著水平，YC0573 处理叶绿素含量、SOD、POD、PPO、PAL、CAT 活性分别比发病 CK 高出 20.77%、15.42%、17.25%、24.53%、24.60%和 35.68%，电解质相对渗透率低于发病

表 2 各处理烟株生物量

Table 2 Biomass of tobacco

处理	鲜质量/g	干质量/g
YC0573	(78.64±7.76)ab	(14.05±1.94)a
YC0136	(84.97±7.24)a	(15.04±2.02)a
甲霜灵锰锌	(69.39±10.57)b	(9.74±1.45)b
发病 CK	(65.97±13.51)b	(9.16±0.65)b

表 3 拮抗菌对烟草叶片部分生理指标的影响

Table 3 Effect of antagonism bacterium on physiological index of tobacco leaves

指标	移栽后时间/d	YC0573	YC0136	甲霜灵锰锌	发病 CK
叶绿素/(mg·g ⁻¹ FW)	30	1.95a	1.80ab	1.52bc	1.45c
	60	2.50a	2.38a	2.11b	2.07b
	90	1.50a	1.47a	1.45a	1.44a
电解质相对渗透率	30	29.54b	25.37c	32.29b	37.40a
	60	22.43b	21.75b	29.34a	32.58a
	90	35.29b	36.29ab	37.24ab	38.572a
SOD/(U·g ⁻¹ FW)	30	194.68a	178.47a	147.87a	135.925a
	60	228.70a	222.16a	202.74b	198.14b
	90	139.64a	130.21a	127.17a	133.13a
POD/(U·g ⁻¹ FW)	30	143.02ab	156.18a	106.58c	127.07b
	60	186.71a	189.60a	140.89c	159.24b
	90	147.29a	158.49a	133.51a	143.78a
PPO/(U·g ⁻¹ FW)	30	124.00ab	132.00a	113.87bc	103.470c
	60	158.40a	164.00a	137.33b	127.20c
	90	137.60a	138.13a	127.47b	125.606b
PAL/(U·g ⁻¹ FW)	30	888.00ab	910.00a	730.00bc	710.67c
	60	1144.67ab	1193.33a	1071.33b	918.67c
	90	860.67a	886.67a	848.00a	834.00a
CAT/(U·g ⁻¹ FW)	30	6.72a	7.41a	5.57b	4.169c
	60	8.29a	8.99a	6.75b	6.11b
	90	4.24a	4.27a	4.19a	4.16a

CK 31.15% ;YC0136 处理叶绿素含量、SOD、POD、PPO、PAL、CAT 活性分别比发病 CK 高出 14.97%、12.12%、19.00%、27.57%、29.90%和 47.13%，电解质相对渗透率比发病 CK 低 33.24%；甲霜灵锰锌处理各项指标中仅有 PPO 和 PAL 活性两项高于发病 CK 且差异显著，分别高出 7.96%和 16.62%，POD 活性反而低于发病 CK。30 d 时，YC0573、YC0136 处理叶绿素含量、电解质相对渗透率、PPO、PAL、CAT 活性共 5 项指标与发病 CK 差异显著，YC0136 处理 POD 含量与发病 CK 的差异也达到显著水平，而甲霜灵锰锌处理仅有电解质相对渗透率和 CAT 活性两项指标和发病 CK 差异显著。90 d 时，YC0573、YC0136 处理只有 PPO 活性与发病 CK 差异都能够达到显著水平，此外 YC0573 处理的电解质相对渗透率也与发病 CK 差异显著，而甲霜灵锰锌处理各项指标与发病 CK 间均无显著性差异。

整体上来看，两株拮抗菌对烟株叶片生理指标的影响大致相同，YC0573 对叶绿素含量、SOD 活性的影响更大，而 YC0136 对其他 5 项指标的影响更为明显。

2.4 烟草根系发育

表 4 显示，生防菌能够促进烟草根系的发育，提高烟草的根系活力，农用药剂对烟株的根系发育反而有一定的遏制。YC0573、YC0136 处理地下部分鲜质量大于甲霜灵锰锌、发病 CK，其中 YC0136 处理与发病 CK 差异显著，增加 43.56%；YC0573、YC0136 处理的根冠比与甲霜灵锰锌、发病 CK 相比有增大的趋势，但是差异不显著；YC0573、YC0136 处理烟株根系活力分别比发病 CK 高出 13.13%和 13.63%，差异显著；而甲霜灵锰锌处理烟株根系活力相比于发病 CK 有降低的趋势，但差异不显著。

表 4 烟草根系发育情况

Table 4 Root development of tobacco

处理	根部鲜质量/g	根冠比/%	根系活力/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$)
A(YC0573)	(10.63±1.83)ab	(15.62±2.28)a	(120.80±2.04)a
B(YC0136)	(11.93±1.69)a	(16.31±1.69)a	(121.33±10.79)a
C(甲霜灵锰锌)	(9.20±1.84)b	(15.21±1.22)a	(102.16±1.26)b
D(发病 CK)	(8.31±1.92)b	(14.43±1.48)a	(106.78±3.19)b

3 讨论

多粘类芽孢杆菌 (*Paenibacillus polymyxa*) 作为生防细菌在国内外均有报道，该菌产生的次生代谢产物对很多植物病原菌具有抑制作用，同时可以促进作物生长，诱导作物产生系统抗病性^[17-18]。因其具有防病效果好、对人畜安全和无环境污染等优点而受到重视，我国农业部将其列为免做安全鉴定的一级菌种。本试验结果表明，烟草根际接种多粘类芽孢杆菌 (*Paenibacillus polymyxa*) YC0573 和 YC0136 显著降低了黑胫病病情指数，接种 35 d 后温室相对防效分别达到 90.9%和 95.4%，防治效果好于甲霜灵锰锌，同时能够促进烟草的生长发育。对烟草根系发育的调查中发现两株细菌都能够不同程度的促进烟草的根部生长，根系活力高于对照，而施加甲霜灵锰锌的烟株根系活力反而略低于发病对照，这可能是因为甲霜灵锰锌抑制了土壤中某些对烟草根系发育起到重要作用的微生物所致。

研究表明，生物因子和非生物因子等多种诱导因子可诱导植物产生系统抗性^[19-20]。各种诱导因子都可以诱导植物体内 SOD、POD、CAT、PAL、PPO 等防御酶活性的升高以及叶绿素、电解质相对渗透率等生理指标的改变。其中 SOD、POD 和 CAT 与植物体内活性氧的清除密切相关^[21]，PAL 和 PPO 与植物体内酚类代谢和木质素的形成有关，是与系统抗性密切相关的酶^[22]，叶绿素含量是衡量植物光合作用能力的大小重要指标，植物受到逆境胁迫时叶绿素含量会有所下降，电解质相对渗透率则反映了植物对病原菌抵抗力的强弱，细胞电解质渗透率小则不易受到病原菌的侵害。Liang 等^[21]通过分根法在黄瓜根部分别接种生防菌 L8 和猝倒病原菌发现黄瓜根部和叶片中 SOD、POD、CAT、PPO 和 PAL 活性均显著升高，并且降低了黄瓜幼苗猝倒病的发病率；Vanitha 等^[23]研究发现番茄根际接种荧光假单胞菌 (*Pseudomonas fluorescens*) 增强了番茄对青枯病的抗性，PPO、PAL 等防御酶活性显著提升，并且通过 RT-PCR 手段发现有关酶合成基因的表达水平显著升高；王芳等^[24]从细菌 B6 中提取出一种

活性蛋白,直接处理烟草叶片后提升了叶片 PPO、POD、PAL 的活性,增强了叶片对黄瓜花叶病毒的抗性。本研究发​​现拮抗细菌 YC0573 和 YC0136 诱导系统抗性好于化学诱导因子(甲霜灵锰锌),叶片中几种防御酶活性和叶绿素含量均显著高于对照,电解质相对渗透率比对照有所降低,同时温室试验中发现接种生防菌的烟草花叶病发病率比对照有所降低,最高幅度可达 33.33%,以上结果证明两株生防细菌可诱导烟草产生系统抗性,增强烟草对病害的抵抗力。烟草移栽 60 d 时,生防细菌诱导系统抗性作用最为显著,此时也是烟草田间病害的高发期,诱导作用在烟草生长后期仍有一定体现。

4 结 论

本试验结果表明,温室条件下拮抗菌 YC0573 和 YC0136 对烟草黑胫病具有良好的防治作用,同时证明了两株菌均能够诱导烟株系统抗性,具有很强的应用潜力。试验中首先对烟株浸根处理,使生防菌在烟株根部和根际土壤中占据有利的生态位点,结果显示此种处理方式生防菌的功效表现较好,这为生防菌在田间应用方式提供了有价值的参考,有关生防菌在烟草根部的定殖能力和田间应用效果还有待进一步的试验证明。

参考文献

- [1] 陈瑞泰,朱贤朝,王智发,等. 全国 16 个主产烟省(区)烟草侵染性病害调研报告[J]. 中国烟草科学, 1997 (4): 1-7.
- [2] 王志愿,姜清治,霍沁建,等. 烟草黑胫病的研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26 (21): 250-255.
- [3] 周向平,肖启明,罗宽,等. 烟草黑胫病菌拮抗内生细菌的筛选和鉴定[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2004, 30 (5): 448-453.
- [4] 戈峰,曹东风,李典谟. 我国化学农药使用现状、问题及其减少对策[C]//中国无公害农业的发展策略和途径. 北京:中国农业出版社, 1998: 39-45.
- [5] 张永春,黄镇,杜怀敏,等. 烟草黑胫病拮抗放线菌的分离与筛选[J]. 中国烟草科学, 2007, 28 (5): 5-8.
- [6] Weller D M. Biological control of soil borne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria[J]. Ann. Rev. Phytopathol., 1988, 26: 379-407.
- [7] Klopper J W. Plant growth-promoting rhizobacteria as biological control agents of soil borne diseases[C]// Bay-Peterson J. The biological control of plant diseases. Taiwan: Food and Fertilizer Technology Center, 1991.
- [8] 杨海莲,孙晓璐,孙未. 植物根际促生细菌和内生细菌的诱导抗病性的研究进展[J]. 植物病理学报, 2000, 30 (2): 107-110.
- [9] 方敦煌,李天飞,沐应祥,等. 拮抗细菌 GP13 防治烟草黑胫病的田间应用[J]. 云南农业大学学报, 2003, 18 (1): 48-51.
- [10] 曹明慧,冉炜,杨兴明,等. 烟草黑胫病拮抗菌的筛选及其生物效应[J]. 土壤学报, 2011 (1): 151-159.
- [11] 杨建卿,江彤,陈学平. 烟草疫霉菌的培养及大量产生游动孢子囊方法的研究[J]. 植物保护, 2001, 27 (4): 12-15.
- [12] 全国烟草标准化技术委员会. YC/T 39—1996 烟草病害分级及调查方法[S]. 北京:中国标准出版社, 1996.
- [13] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司, 2000.
- [15] 赵士杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1998.
- [16] 白宝璋,金锦子,白菘,等. 玉米根系活力 TTC 测定法的改良[J]. 玉米科学, 1994, 2 (4): 44-47.
- [17] 姚乌兰,王云山,韩继刚,等. 水稻生防菌株多粘类芽孢杆菌 WY110 抗菌蛋白的纯化及其基因克隆[J]. 遗传学报, 2004, 31 (9): 878-887.
- [18] Beatty P H, Jensen S E. *Paenibacillus polymyxa* produces fusaricidin-type antifungal antibiotics active against *Leptosphaeria maculans*, the causative agent of blackleg disease of canola[J]. Canadian Journal of Microbiology, 2002, 48(2): 159-169.
- [19] Michael O, Walter K, Bob D, et al. Induced disease resistance in plants by chemicals[J]. European Journal of Plant Pathology, 2001, 107(1): 19-28.
- [20] 刘凤权,王金生. 水杨酸对水稻防卫反应酶系的系统诱导[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38 (2): 121-123.
- [21] Liang J G, Tao R X, Zhang X. Induction of resistance in cucumber against seedling damping-off by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) *Bacillus megaterium* strain L8[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(36): 6920-6927.
- [22] 潘亚清,史淑芝. 植物的诱导抗病性研究进展[J]. 植物保护科学, 2005, 8 (21): 366-369.
- [23] Vanthaa S C, Umesha S. *Pseudomonas fluorescens* mediated systemic resistance in tomato is driven through an elevated synthesis of defense enzymes[J]. Biologia plantarum, 2011, 55 (2): 317-322.
- [24] 王芳,王凤龙,申莉莉,等. 拮抗细菌活性蛋白诱导烟草对 CMV 的抗性研究[J]. 中国烟草科学, 2009, 30 (6): 69-72.