

网络出版时间:2018-12-04 10:11
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20181204.1010.012.html>

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.06.006

生物杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病的防治效果及农艺性状的影响

陈长卿^{1a}, 褚逸轩^{1a}, 谢 昭^{1a}, 曹哲铭^{1a}, 姜 云^{1b}, 隋 策², 高 洁^{1a}
(1 吉林农业大学 a 农学院, b 生命科学学院, 吉林 长春 130118; 2 吉林省烟草公司长春市公司, 吉林 长春 130033)

【摘 要】 【目的】筛选防治烟草镰刀菌根腐病的有效药剂,促进生物菌剂在烟草生产上应用。【方法】以 10⁹ cfu/g NJ13 WP(*Bacillus methylotrophilus*)、10¹⁰ cfu/g FG14 WP(*B. amyloliquefaciens*)、10⁹ cfu/g NT35 WP(*B. velezensis*)和 10¹⁰ cfu/g FS6 WP (*B. amyloliquefaciens*)4 种生物杀菌剂为材料,采用生长速率法测定 4 种生物杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病菌的室内毒力,采用灌根法进行病害的田间药效试验,并测定烟草的农艺性状。【结果】10¹⁰ cfu/g FG14 和 10⁹ cfu/g NJ13 2 种生物杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病菌的 EC₅₀ 值分别为 0.342 和 0.581 mg/L,10⁹ cfu/g NT35 和 10¹⁰ cfu/g FS6 2 种生物杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病菌的毒力较强,其 EC₅₀ 值分别为 2.655 和 8.189 mg/L。4 种生物杀菌剂田间防效达 42.97%~70.19%,其中 10⁹ cfu/g NT35 1 350~2 250 g/hm² 处理防治效果较好,防效达 63.60%~70.19%;防治效果超过 50%的生物杀菌剂对烟草农艺性状产生了一定的影响,对烟草根、茎、叶生长均有不同程度的促进作用。【结论】10⁹ cfu/g NT35 1 350~2 250 g/hm²、10⁹ cfu/g NJ13 1 350~1 800 g/hm²、10¹⁰ cfu/g FG14 2 250 g/hm² 和 10¹⁰ cfu/g FS6 2 250 g/hm² 处理对烟草镰刀菌根腐病的田间防治效果较好,防效在 60%以上。

【关键词】 生物杀菌剂;烟草镰刀菌;根腐病;田间防效
【中图分类号】 S435.72 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2019)06-0041-06

Control effect of biological fungicides on tobacco fusarium root rot and influence on agronomic traits of tobacco

CHEN Changqing^{1a}, CHU Yixuan^{1a}, XIE Zhao^{1a}, CAO Zheming^{1a},
JIANG Yun^{1b}, SUI Ce², GAO Jie^{1a}

(1 a College of Agronomy, b College of Life Science, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;
2 Changchun Tobacco Corporation, Jilin Province Tobacco Corporation, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract: 【Objective】The aim of this study is to screen effective agents for controlling tobacco fusarium root rot and promote the application of biological control in tobacco production. 【Method】The indoor toxicity of four biological fungicides including 10⁹ cfu/g NJ13 WP(*Bacillus methylotrophilus*), 10¹⁰ cfu/g FG14 WP (*B. amyloliquefaciens*), 10⁹ cfu/g NT35 WP (*B. velezensis*) and 10¹⁰ cfu/g FS6 WP (*B. amyloliquefaciens*) against *Fusarium oxysporum* was determined using the mycelial growth rate method. Field control trail was also conducted by the pouring inoculation method and the agronomic traits of tobacco were measured. 【Result】The EC₅₀ values of 10¹⁰ cfu/g FG14 WP and 10⁹ cfu/g NJ13 WP were 0.342 and

【收稿日期】 2018-04-20
【基金项目】 国家重点研发计划项目(2017YFD0201106);吉林省烟草绿色防控重大专项(2017220000270029);吉林省自然科学基金项目(20150101098JC);吉林省教育厅科学技术研究项目(2015189);吉林省市县科技进步推进项目(20160412017XH)
【作者简介】 陈长卿(1978—),男,黑龙江伊春人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事植物病害生物防治研究。
E-mail:ccqjy@163.com
【通信作者】 高 洁(1964—),女,吉林梨树人,教授,博士,博士生导师,主要从事植物病害综合防治研究。
E-mail:jiegao115@126.com

0.581 mg/L, respectively. The 10^9 cfu/g NT35 WP and 10^{10} cfu/g FS6 WP were also toxic with EC_{50} values of 2.655 and 8.189 mg/L, respectively. The control effect of the four biological fungicides was 42.97% to 70.19%, and 10^9 cfu/g NT35 1 350—2 250 g/hm² was the best with the effect of 63.60% to 70.19%. The fungicides with control effect of >50% had influence on the agronomic traits of tobacco and promoted the growth of tobacco root, stem and leaf. 【Conclusion】 The treatments of 10^9 cfu/g NT35 1 350—2 250 g/hm², 10^9 cfu/g NJ13 1 350—1 800 g/hm², 10^{10} cfu/g FG14 2 250 g/hm² and 10^{10} cfu/g FS6 2 250 g/hm² had control effect of over 60%.

Key words: biological fungicide; tobacco fusarium; root rot; field effect

烟草是我国重要的经济作物之一,种植面积和总产量均占世界的 1/3 以上,烟草及其制品生产已成为我国烟区财政收入的重要来源和广大农民脱贫致富的重要途径。然而,烟草在种植过程中病害种类繁多,我国烟草侵染性病害多达 68 种^[1],且主要是叶部和根茎类病害,其中烟草猝倒病、立枯病、根黑腐病和镰刀菌根腐病是主要的根茎类病害。烟草镰刀菌根腐病(*Fusarium* spp.)是局部发生的病害,该病害具有潜在发展重要性,可单独发生,也常伴随烟草青枯病、黑胫病等根茎类病害混合发生,给烟叶生产带来毁灭性的损失。2013 年仅河南省平顶山烟区烟草根腐病发病率在 5%~10%,造成 3 000 万元的经济损失^[2]。目前烟草镰刀菌根腐病的防治主要采用化学药剂防治,但由于缺乏特效药剂,烟草根腐病的治理难度较大,同时还会产生农药残留、环境污染等负面效应^[3]。为提高农产品安全水平,保障农业生态环境可持续发展,农业部 2015 年正式启动了“减肥减药”两减行动,国家烟草总局 2016 年相继启动了烟草绿色防控重大专项,着重提倡研究和推广应用生物制剂,以减少和替代化学农药的使用,推进农业有害生物的绿色防控。

近年来,随着生物防治研究与应用的加强,一些生防微生物因具有环境友好、广谱抗菌活性、诱导抗性、促进植物生长以及极强的抗逆能力等优势,极具生防应用价值,目前已有一些产品在作物病害防治上广泛应用,如芽孢杆菌、木霉菌、假单胞杆菌、淡紫拟青霉、链霉菌等^[4]。曹明慧等^[5]从烟株根际土壤中分离筛选到 1 株对烟草黑胫病有较好生防作用的多粘类芽孢杆菌(*Paenibacillus polymyxa*) C-5。喻会平等^[6]通过室内筛选、盆栽和大田试验,发现枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*) B41 和恶臭假单胞菌(*Pseudomonas putida*) B57、解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*) L7 和 L47 复配后对烟草黑胫病具有较好的防治作用。陈德鑫等^[7]发现,卵寄生真菌刀孢蜡蚧菌(*Lecanicillium psalliotae*) CGM-

CC5329 能寄生烟草根结线虫的卵和雌虫,田间防效达 80%以上。易龙等^[8-9]从烟草根际土壤中分离并筛选出对烟草根黑腐病病菌有较强拮抗作用的枯草芽孢菌株(*B. subtilis*) R27 和吸水链霉菌(*Streptomyces hygroscopicus*) TA21。段燕平等^[10]从烟草根际土壤中筛选获得 1 株对青枯病防效达到 66.0% 的枯草芽孢杆菌 SH7。研究表明,木霉菌和 EM 生物菌剂对烟草镰刀菌根腐病具有一定的防治效果^[2,11]。综上所述,已报道的生防菌株或菌剂对烟草根茎类病害表现出了较好的防治效果,显示出生物杀菌剂具有较好的应用前景。但目前针对烟草镰刀菌根腐病缺少特效药剂,以及土传病害化学防治持效期短的问题报道较少。因此,开展该病害的生物防治研究,筛选获得高效生物杀菌剂十分必要。本研究以烟草镰刀菌根腐病为研究对象,测定本课题组自主分离、筛选、鉴定并研制的 4 种生物杀菌剂对该病害的室内毒力及田间防治效果,以期对烟草镰刀菌根腐病的防治提供有效的生防菌剂,促进生物防治在烟草病害绿色防控上的应用。

1 材料与方法

1.1 材料

烟草镰刀菌根腐病菌(*Fusarium oxysporum*) 分离自吉林省通化市柳河县三源浦镇烟草根腐病发生烟田,由吉林农业大学植物病害综合防治实验室分离、纯化、保存、鉴定并提供。

4 种生物杀菌剂 NJ13 WP(简称 NJ13,含 10^9 cfu/g 甲基营养型芽孢杆菌(*Bacillus methylotrophicus*))、FG14 WP(简称 FG14,含 10^{10} cfu/g 解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*))、NT35 WP(简称 NT35,含 10^9 cfu/g 贝莱斯芽孢杆菌(*B. velezensis*))和 FS6 WP(简称 FS6,含 10^{10} cfu/g 解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*)),均由吉林农业大学植物病害综合防治实验室自主研制并提供;中农绿康 WP(浓度 5×10^8 cfu/g,中农绿康(北

京)生物技术有限公司)生物杀菌剂对照,80%克菌丹 WDG(安道麦马克西姆有限公司)和 30%精甲·噁霉灵 AS(浙江禾本科技有限公司)化学杀菌剂对照。

1.2 方 法

1.2.1 不同杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病菌的室内抑菌效果 采用生长速率法^[12]测定抑菌效果。将 7 种杀菌剂分别配成 10⁴,10³,10²,10,1 和 0.1 mg/L 6 个质量浓度的溶液,加入灭菌后冷却至 40℃的培养基中分别制成含药平板。取预先培养长满平板的病原菌,在菌落边缘均匀打取直径 5 mm 的菌饼,菌丝面朝下接种到各含药培养基平板中央。以加入无菌水为对照,每处理及对照 3 个平板,重复 3 次,25℃培养 3~5 d 后检查各处理的生长情况。十字交叉法测量菌落直径,计算抑菌率,转化为几率值。以药剂质量浓度对数(*x*)与抑菌几率值(*y*)建立各药剂对烟草镰刀菌根腐病菌的毒力回归方程,并计算抑制菌丝生长的 EC₅₀ 值,比较各药剂毒力。

抑菌率=[(对照菌落直径-菌饼直径)-
(处理菌落直径-菌饼直径)]/
(对照菌落直径-菌饼直径)×100%。

1.2.2 不同杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病的田间防治效果 田间药效试验选在吉林省柳河县三源浦镇晋福屯烟草镰刀菌根腐病连年发生田块进行。田间药效试验供试烟草品种为“吉烟 9 号”,垄宽 1.2 m,株距 0.6 m。7 种杀菌剂设置低、中、高 3 个有效用量,NJ13、FG14、NT35 和 FS6 4 种生物杀菌剂有效用量为1 350,1 800 和 2 250 g/hm²,中农绿康有效用量为1 200,1 500 和 1 800 g/hm²,克菌丹有效用量为 360,480 和 600 g/hm²,精甲·噁霉灵有效用量为 180,225 和 270 g/hm²,每个用量 3 次重复,各

小区随机排列,每小区 30 株烟草,采用灌根方式施药,以清水处理为对照,兑水量 1 150 L/hm²。烟草移栽时间为 2017 年 5 月 15 日,分别在 5 月 31 日、6 月 17 日和 7 月 4 日施药,共施药 3 次。参照李海江等^[2]的方法,于 7 月 18 日和 8 月 25 日(收获期)调查 2 次,每个小区调查全部 30 株烟草。病情分级标准如下:0 级,无病、植株生长正常;1 级,植株生长基本正常或稍有矮化,少数根系坏死,中下部叶片退绿(或变色);3 级,病株株高比健株矮 1/4~1/3,或半数根坏死,1/2~2/3 以上叶片萎焉,中部叶片稍有干尖、干边;5 级,病株株高比健株矮 1/3~1/2,大部分根系坏死,2/3 以上萎焉,明显干尖、干边;7 级,病株株高比健株矮 1/2 以上,全株叶片凋萎,根系全部坏死,近地表的次生根明显受害;9 级,病株基本枯死。按照以下公式计算病情指数及防效。

病情指数=
$$\frac{\sum(\text{病株数} \times \text{相对级数})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级数}} \times 100;$$

防效=
$$\frac{\text{对照区病情指数}-\text{处理区病情指数}}{\text{对照区病情指数}} \times 100\%。$$

1.2.3 不同杀菌剂对烟草农艺性状的影响 收获期每小区随机选择 10 株烟草测量茎粗、根长、根鲜质量和叶鲜质量,取平均值。

1.2.4 数据处理 采用 DPS 软件进行试验数据处理,DMRT 法进行显著性分析,对防效、茎粗、根长、根鲜质量和叶鲜质量各指标间进行多元相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病菌的室内毒力 不同杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病菌菌丝生长的室内毒力测定结果见表 1。

表 1 不同杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病菌菌丝生长的毒力

Table 1 Toxicity of different fungicides to mycelium growth of *Fusarium oxysporum*

药剂 Fungicide	平均抑菌率/% Inhibitory rate	回归方程 Toxic regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)
FG14	22.50~80.00	y=7.045+0.142x	0.980	0.342
NJ13	28.75~74.38	y=6.992+0.131x	0.931	0.581
精甲·噁霉灵 Metalaxyl-M hymexazol	15.63~93.75	y=9.614+0.346x	0.931	1.424
NT35	15.25~78.75	y=7.513+0.195x	0.937	2.655
FS6	12.75~74.13	y=7.372+0.208x	0.960	8.189
中农绿康 Zhongnonglūkang	17.87~56.87	y=6.214+0.134x	0.982	80.520
克菌丹 Captan	18.50~77.88	y=6.872+0.203x	0.958	100.403

由表 1 可见,供试药剂对该病菌均表现出一定的毒力,不同药剂之间抑菌效果存在差异。其中 NJ13 和 FG14 的 EC₅₀ 值小于 1.000 mg/L,以 FG14

对烟草镰刀菌根腐病菌的毒力作用最强,EC₅₀ 值仅为 0.342 mg/L,抑制效果最好,抑菌率在 22.50%~80.00%。精甲·噁霉灵、NT35 和 FS6 对病菌的毒

力也较强,其 EC₅₀ 值分别为 1. 424,2. 655 和 8. 189 mg/L。中农绿康和克菌丹对烟草镰刀菌根腐病菌的 EC₅₀ 值大于 80 mg/L。

2.2 不同杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病的田间防治效果

田间药效试验结果(表 2)表明,7 种杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病均具有防治效果,第 1 次调查防效 17. 89%~85. 80%,第 2 次调查防效 37. 32%~82. 94%。从药剂类别来看,NJ13、FG14、NT35 和 FS6 4 种生物杀菌剂的防效不同,第 1 次调查防效 29. 80%~76. 62%,第 2 次调查防效 42. 97%~70. 19%,其中 NT35 1 350~2 250 g/hm² 处理防效

为 63. 60%~70. 19%,FG14 2 250 g/hm² 处理防效为 62. 22%,NJ13 1 350~1 800 g/hm² 处理防效为 60. 14%~61. 38%,FS6 2 250 g/hm² 处理防效为 60. 61%;对照生防菌剂中农绿康 1 800 g/hm² 处理防效为 69. 12%,化学杀菌剂精甲·噁霉灵在有效用量范围内防效为 78. 17%~82. 94%,克菌丹 600 g/hm² 的防效达 60. 58%,而 360~480 g/hm² 有效成分用量的防效较低。2 次调查的防治结果有一定的变化,除 NT35、精甲·噁霉灵 180 和 270 g/hm² 处理第 1 次防治效果高于第 2 次防治效果外,其他处理均呈现第 2 次调查防治效果高于第 1 次防治效果。

表 2 不同杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病的防治效果
Table 2 Control effect of different fungicides against tobacco fusarium root rot in the field

药剂 Fungicide	有效用量/(g·hm ⁻²) Effective component amount	第 1 次调查 The first evaluation		第 2 次调查 The second evaluation	
		病情指数 Disease index	平均防效/% Control effect	病情指数 Disease index	平均防效/% Control effect
NJ13	1 350	4. 61±0. 24	37. 63±6. 36 de	6. 30±1. 62	61. 38±4. 78 bcdef
	1 800	4. 81±0. 40	35. 84±0. 98 de	6. 41±0. 85	60. 14±8. 23 bcdef
	2 250	5. 25±0. 37	29. 80±2. 99 ef	9. 04±0. 90	44. 58±7. 07 defg
FG14	1 350	4. 95±0. 25	33. 49±3. 61 def	9. 32±0. 93	42. 97±6. 80 efg
	1 800	4. 44±0. 17	39. 88±5. 89 de	7. 56±1. 30	53. 66±8. 50 cdefg
	2 250	4. 36±0. 15	40. 71±6. 63 de	6. 19±0. 33	62. 22±3. 23 bcde
NT35	1 350	2. 17±0. 10	70. 43±3. 51 ab	4. 81±1. 62	70. 19±5. 13 abc
	1 800	2. 48±0. 50	65. 56±5. 73 bc	5. 98±0. 27	63. 60±2. 10 bcd
	2 250	1. 85±0. 74	76. 62±7. 09 ab	5. 93±1. 34	63. 82±8. 27 bc
FS6	1 350	4. 99±0. 30	33. 00±4. 37 ef	9. 19±0. 35	43. 56±6. 13 efg
	1 800	4. 74±0. 27	36. 42±3. 06 de	7. 48±2. 09	56. 59±3. 33 cdef
	2 250	4. 44±0. 77	41. 75±4. 91 de	6. 48±1. 13	60. 61±6. 51 bcdef
中农绿康 Zhongnonglùkang	1 200	4. 94±0. 39	33. 81±4. 72 def	9. 34±3. 24	43. 54±3. 75 efg
	1 500	4. 74±0. 32	36. 61±1. 80 de	9. 26±0. 74	42. 93±7. 83 efg
	1 800	3. 70±0. 96	51. 37±4. 95 cd	5. 04±1. 85	69. 12±5. 15 abc
克菌丹 Captan	360	6. 15±0. 48	17. 89±2. 43 f	12. 33±1. 77	37. 32±3. 90 g
	480	5. 04±0. 17	32. 19±4. 27 ef	12. 50±1. 57	42. 36±2. 93 fg
	600	3. 55±0. 46	51. 57±6. 32 cd	6. 67±2. 94	60. 58±6. 64 bcdef
精甲·噁霉灵 Metalaxyl-M hymexazol	180	1. 48±0. 37	79. 15±7. 01 ab	3. 70±1. 62	78. 17±9. 37 ab
	225	2. 04±0. 67	73. 72±6. 42 ab	3. 56±0. 53	78. 49±2. 78 ab
	270	1. 11±0. 58	85. 80±6. 61 a	2. 96±1. 62	82. 94±9. 54 a
对照 CK		7. 52±0. 73		16. 52±1. 13	

注:同列数据后标不同小写字母表示经 Duncan's 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。表 3 同。
Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. The same for Table 3.

2.3 不同杀菌剂对烟草农艺性状的影响

根据田间防效结果选取了收获期防治效果超过 50% 的处理,分别测定了各处理植株的茎粗、根长、根鲜质量和叶鲜质量,结果见表 3。由表 3 可以看出,供试杀菌剂对烟草根、茎、叶生长产生了不同程度的影响,相比清水对照各测定指标均有提高。供试药剂处理烟草茎粗为 22. 00~27. 42 mm,根长为

27. 52~32. 17 cm,根鲜质量为 234. 80~307. 80 g/株,叶鲜质量为 3. 67~6. 76 kg/株。通过对各处理防效、茎粗、根长、根鲜质量和叶鲜质量进行相关分析,结果(表 4)发现,各指标之间呈现正相关,相关系数为 0. 19~0. 87,其中叶鲜质量与茎粗($R=0. 87$)、根鲜质量与根长相关性($R=0. 67$)极显著,防效与茎粗、叶鲜质量($R=0. 55$)显著相关。

表 3 不同杀菌剂对烟草农艺性状的影响
Table 3 Influence of different fungicides on agronomic traits of tobacco

药剂 Fungicide	有效用量/(g·hm ⁻²) Effective component amount	茎粗/mm Stem diameter	根长/cm Root length	根鲜质量/(g·株 ⁻¹) Fresh root weight	叶鲜质量/ (kg·株 ⁻¹) Fresh leave weight
NJ13	1 350	23.68±0.19 abc	28.41±0.21 ab	270.51±5.02 abcd	5.13±0.36 abc
	1 800	22.59±1.15 abc	27.82±0.66 ab	234.80±7.54 de	3.67±0.25 bc
FG14	1 800	22.00±0.71 bc	27.92±1.08 ab	240.20±12.00 cde	3.77±0.90 bc
	2 250	25.23±2.69 abc	29.35±1.29 ab	281.50±14.79 abc	4.56±1.11 abc
NT35	1 350	22.72±1.42 abc	28.91±2.06 ab	288.47±13.84 ab	4.80±0.86 abc
	1 800	22.93±0.35 abc	29.79±0.79 a	287.20±15.58 ab	3.80±0.22 bc
	2 250	25.47±0.44 abc	28.75±1.10 ab	282.27±17.06 abc	5.52±1.15 abc
FS6	1 800	23.43±1.03 abc	29.51±1.36 ab	279.91±19.43 abcd	4.44±0.13 abc
	2 250	24.85±1.86 abc	29.19±1.29 ab	263.04±3.91 abcd	5.18±0.84 abc
中农绿康 Zhonglonglūkang	1 800	27.05±2.17 ab	27.59±1.38 ab	264.05±9.33 abcd	5.82±1.04 ab
克菌丹 Captan	600	25.32±2.70 abc	27.52±1.16 ab	243.77±11.05 bcde	5.05±1.42 abc
精甲·噁霉灵 Metalaxyl-M hymexazol	180	23.66±0.61 abc	28.42±1.05 ab	274.43±4.88 abcd	4.05±0.23 bc
	225	24.45±2.22 abc	30.20±3.10 a	303.55±21.06 a	4.36±0.80 abc
	270	27.42±0.95 a	32.17±2.42 a	307.80±21.25 a	6.76±0.69 a
对照 CK		21.47±1.09 c	24.69±0.79 b	214.30±9.79 e	3.33±0.28 c

表 4 杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病防治效果与烟草农艺性状的相关分析

Table 4 Correlation between control effect and agronomic traits of tobacco treated with different fungicides

指标 Index	防效 Control effect	茎粗 Stem diameter	根长 Root length	根鲜质量 Fresh root weight	叶鲜质量 Fresh leave weight
防效 Control effect	1.00				
茎粗 Stem diameter	0.55 *	1.00			
根长 Root length	0.27	0.28	1.00		
根鲜质量 Fresh root weight	0.36	0.19	0.67 * *	1.00	
叶鲜质量 Fresh leave weight	0.55 *	0.87 * *	0.30	0.26	1.00

注：* 代表 $P<0.05$ 水平显著，* * 代表 $P<0.01$ 水平显著。
Note: * indicates significant difference at $P<0.05$ level, * * indicates significant difference at $P<0.01$ level.

3 讨 论

烟草镰刀菌根腐病是烟草生产上一种重要的根茎类病害,在个别地区发生严重。李海江等^[2]报道指出,在整地期、移栽期、团棵期、旺长期和打顶期同时进行液体 EM 菌剂灌根处理对烟草根腐病的防治具有较为显著的效果,发病率和死亡率分别为 18% 和 11%;陈小均等^[11]通过盆栽试验证明,施用木霉菌 2 250 g/hm² 对烟草苗期根腐病具有较好的防治效果。朱亚峰等^[13]通过小区试验证明,苯甲·福美双对打瓜镰刀菌根腐病防治效果较好,平均防效为 46.4%,其次是多菌灵和噁霉灵,平均防效分别为 45.3%和 45.1%。李姝江等^[14]报道,解淀粉芽孢杆菌 BA-12 可湿性粉剂 500~1 000 倍稀释菌剂对核桃镰刀菌根腐病的盆栽试验防治效果为 50.15%~61.25%。邵红涛等^[15]报道,木霉菌菌株 MM35、MM9 和 MM3 对大豆尖孢镰刀菌根腐病的防治效果为 51.05%~66.34%。本研究田间防效试验结果表明,精甲·噁霉灵和克菌丹 2 种化学杀菌剂及

贝莱斯芽孢杆菌 NT35、甲基营养型芽孢杆菌 NJ13、解淀粉芽孢杆菌 FG14、FS6 和中农绿康 5 种生物杀菌剂对烟草镰刀菌根腐病防治效果达 60% 以上,防效接近或高于已报道的杀菌剂。其中生防菌剂 NT35 在供试有效用量下总体防治效果较好,防效均超过 60%,其中 1 350 g/hm² 处理的防治效果最高,达到 70.19%。本研究筛选获得了防治烟草镰刀菌根腐病的有效药剂及微生物菌剂,但仍需进一步田间试验,明确应用关键技术,为生物杀菌剂在烟草镰刀菌根腐病防治中的示范与应用奠定基础。

关于微生物菌剂或菌肥对烟草农艺性状的影响,刘爱辉等^[16]研究发现,6 种抗重茬土壤改良剂对烟草株高、茎围、叶片数和叶面积等农艺性状均有促进生长作用。刘艳霞等^[17]通过两年田间试验证明,施用微生物有机肥可以显著提高烟叶产量,相比对照两年平均增产 2.4~2.6 倍。本研究测定了防效超过 50%不同处理烟草的茎粗、根长、根鲜质量和叶鲜质量,经相关性分析发现,各农艺性状指标与防效均呈现正相关,相关系数为 0.27~0.55,其中防

效与茎围、叶鲜质量呈显著正相关。此结果与已有报道相一致。同时说明该病害影响烟草根茎叶正常生长,不同杀菌剂对于病害的有效防治促进了烟草的生长,并提高了烟叶产量。

[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,1997,18(4):1-7.
Chen R T,Zhu X C,Wang Z F,et al. Investigation report on tobacco infectious diseases in 16 main tobacco provinces (areas) in China [J]. China Tobacco Science,1997,18(4):1-7.

[2] 李海江,王正平,宋学立,等. 河南省平顶山烟区烟草根腐病发病情况调查及 EM 菌剂防治效果研究 [J]. 农学学报,2017,7(2):25-30.
Li H J,Wang Z P,Song X L,et al. Tobacco root rot incidence in Pingdingshan tobacco area and control effects of EM microbial agent [J]. Journal of Agricultural,2017,7(2):25-30.

[3] 赵杰,王静,李乃会,等. 烟草镰刀菌根腐病病菌致病粗毒素的研究 [J]. 植物保护,2013,39(3):61-66.
Zhao J,Wang J,Li N H,et al. A study on the pathogenic crude toxin of the tobacco root rot extracted from *Fusarium* sp [J]. Plant Protection,2013,39(3):61-66.

[4] 赵荣艳,杨靖华,蒋士君. 烟草病害生物防治研究进展 [J]. 安徽农业科学,2006,34(22):5918-5919.
Zhao R Y,Yang J H,Jiang S J. Research progress on biological control of tobacco diseases [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2006,34(22):5918-5919.

[5] 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,2011,48(1):151-159.
Cao M H,Ran W,Yang X M,et al. Screening of antagonistic bacteria against tobacco black shank and its biological effect [J]. Acta Pedologica Sinica,2011,48(1):151-159.

[6] 喻会平,罗定棋,代园凤,等. 烟草黑胫病拮抗细菌复合菌株的筛选与防治效果评价 [J]. 中国农学通报,2015,31(8):102-107.
Yu H P,Luo D Q,Dai Y F,et al. Effects of compound biocontrol strains against tobacco black shank disease [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2015,31(8):102-107.

[7] 陈德鑫,许家来,曹君正,等. 卵寄生真菌刀孢蜡蚧菌对烟草根结线虫的生物防治 [J]. 中国烟草科学,2012(4):65-69.
Chen D X,Xu J L,Cao J Z,et al. Biocontrol of tobacco root-knot nematodes by egg-parasitic fungus *Lecanicillium psalliotae* [J]. Chinese Tobacco Science,2012(4):65-69.

[8] 易龙,肖崇刚,马冠华. 防治烟草根黑腐病拮抗芽孢菌株的筛选 [J]. 植物病理学报,2011,41(3):333-336.
Yi L,Xiao C G,Ma G H. Screening of antagonistic *Bacillus* spp. against *Thielaviopsis basicola* [J]. Acta Phytopathologica Sinica,2011,41(3):333-336.

[9] 易龙,肖崇刚,马冠华,等. 拮抗放线菌 TA21 对烟草根黑腐病菌的抑制及其控病作用 [J]. 中国生物防治学报,2010,26(2):186-192.

Yi L,Xiao C G,Ma G H,et al. Biocontrol effect and inhibition activity of antagonistic actinomycetes strain TA21 against *Thielaviopsis basicola* [J]. Chinese Journal of Biological Control,2010,26(2):186-192.

[10] 段燕平,杨金广,杨继洪,等. 抗烟草青枯病菌的枯草芽孢杆菌 SH7 的筛选与鉴定 [J]. 吉林农业大学学报,2012,34(1):52-57.
Duan Y P,Yang J G,Yang J H,et al. Screening and identification of *Bacillus subtilis* SH7 strain against *Ralstonia solanacearum* [J]. Journal of Jilin Agricultural University,2012,34(1):52-57.

[11] 陈小均,喻会平,顾怀胜,等. 木霉菌防治烟草根腐病及其土壤优势微生物的相互作用 [J]. 贵州农业科学,2007,35(5):57-59.
Chen X J,Yu H P,Gu H S,et al. Control of tobacco black root rot by applying *Trichoderma harzianum* and the interactions between *Trichoderma harzianum* and superior stains of soil microbe [J]. Guizhou Agricultural Sciences,2007,35(5):57-59.

[12] 孙广宇,宗兆锋. 植物病理学实验技术 [M]. 北京:中国农业出版社,2002.
Sun G Y,Zong Z F. Experimental technique of plant pathology [M]. Beijing:China Agriculture Press,2002.

[13] 朱亚峰,李平,金玉华,等. 北疆地区打瓜镰刀菌根腐病药剂防治研究 [J]. 新疆农业科学,2013,50(7):1271-1276.
Zhu Y F,Li P,Jin Y H,et al. Study on fungicides for controlling root rot of seed watermelon in Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences,2013,50(7):1271-1276.

[14] 李姝江,方馨孜,曾艳玲,等. 解淀粉芽孢杆菌 BA-12 可湿性粉剂研制及对核桃根腐病的防治效果 [J]. 中国生物防治学报,2016,32(5):619-626.
Li S J,Fang X M,Zeng Y L,et al. Preparation of wettable powder of *Bacillus amyloliquefaciens* BA-12 and its control effect on walnut root rot [J]. Chinese Journal of Biological Control,2016,32(5):619-626.

[15] 邵红涛,许艳丽,李春杰,等. 筛选用于防治大豆尖孢镰刀菌根腐病的木霉菌株 [J]. 中国油料作物学报,2004(4):76-79.
Shao H T,Xu Y L,Li C J,et al. Screening *Trichoderma* spp. for biocontrol of root rot of soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2004(4):76-79.

[16] 刘爱辉,刘圣高,张勇,等. 六种微生物土壤改良剂在烟草上的应用效果 [J]. 湖北农业科学,2013,52(24):6017-6019.
Liu A H,Liu S G,Zhang Y,et al. Effects of six microbial soil conditioners on tobacco [J]. Hubei Agricultural Sciences,2013,52(24):6017-6019.

[17] 刘艳霞,李想,曹毅,等. 抑制烟草青枯病型生物有机肥的田间防效研究 [J]. 植物营养与肥料学报,2014(5):1203-1211.
Liu Y X,Li X,Cao Y,et al. Field control efficiency of tobacco specific bio-organic fertilizer on tobacco bacterial wilt [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2014(5):1203-1211.