

尖镰孢菌和禾谷镰孢菌引起的大豆根腐病生物防治研究

张红骥¹, Allen G. Xue², Jinxiu Zhang², 许艳丽¹, 于德才³

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. Eastern Cereal and Oilseed Research Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa K1A0C6; 3. 黑龙江省农业科学院 植物脱毒苗木研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要:以大豆与禾谷类作物轮作体系中引起大豆根腐病的尖镰孢菌(*F. oxysporum*)和禾谷镰孢菌(*F. graminearum*)为研究对象,测试分离于大豆和小麦根部及根际土壤的生防菌对 2 种病原菌防治效果。结果表明:拮抗试验中所测试的生防菌对 2 种镰孢菌抑菌效果差异不显著,生防菌 HJ-ZT1、HJ-MM7、HJ-ZT2、CH-Tr14、HJ-MM8 和 CH-Tr18 的抑菌率显著高于 CH-Tr51、HJ-MM35、HJ-MM9 和 ACM941。温室条件下生防菌处理对尖镰孢菌和禾谷镰孢菌 2 种病原菌的防效及对大豆的促生作用均存在差异,CH-Tr12、ACM941、SB24 + HJ-MM7 和化学药剂对尖镰孢菌防效效果较好,并很大程度促进植株生长;生防菌 CH-Tr14、HJ-MM7 和 CH-Tr12 对禾谷镰孢菌防治效果较好。田间试验中,生防菌处理 ACM941 + HJ-MM7 使大豆增产 10%, CH-Tr14 增产 9%, CH-Tr12 增产 8%,与化学对照增产 6% 差异不显著。

关键词:尖孢镰孢菌;禾谷镰孢菌;木霉菌;大豆;生物防治

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2011)01-0113-06

Biocontrol of Soybean Root Rot caused by *F. oxysporum* and *F. graminearum*

ZHANG Hong-ji¹, Allen G. Xue², Jinxiu Zhang², XU Yan-li¹, YU De-cai³

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS, Harbin 150081, Heilongjiang; 2. Eastern Cereal and Oilseed Research Centre Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa K1A0C6; 3. Viruses-free Seedling Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

Abstract: The trails were conducted in Eastern Cereal and Oilseed Research Centre Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa. The target of this research was screening the biocontrol treatments against the soybean root rot caused by *F. oxysporum* and *F. graminearum* in crop rotation systems (soybean/wheat/corn). The experiments demonstrated that *F. oxysporum* and *F. graminearum* isolated from soybean roots could cause soybean root rot, and the pathogenicity of *F. oxysporum* was stronger than that of *F. graminearum*. Thirteen biocontrol strains isolated respectively from soybean roots, wheat roots and two crop's rhizosphere soil were used in this study, which were supplied by Eastern Cereal and Oilseed Research Centre Agriculture and Agri-Food Canada and Northeast Institute of Geography and Agricultural ecology, CAS. The control efficiency of the biocontrol strains was not significantly different between *F. oxysporum* and *F. graminearum* in the lab, and the control efficiency of ZT1, MM7, ZT2, Tr14, MM8 and Tr18 were higher significantly than Tr51, MM35, MM9 and ACM. In the greenhouse, the restraint efficiency of the biocontrol treatments on two *Fusarium*, and their promotion growth on soybean were both different significantly. Meanwhile the effects of thirteen biocontrol treatments were also different significantly. Tr12, ACM, SB24 + MM7 and chemical CK could restrain *F. oxysporum* colonization in certain degree and promote the growth of soybean; however Tr14, MM7 and Tr12 could also restrain *F. graminearum*. The field trails found that biological control agent ACM + MM7 could increase soybean yield by 10% compared with the CK under the soil inoculated by *Fusarium*, while CH-Tr14, CH-Tr12 and chemical control could also increase the yield by 9%, 8% and 6%, respectively.

Key words: *F. oxysporum*; *F. graminearum*; Soybean; *Trichoderma*; Biocontrol

镰孢菌(*Fusarium* spp.)引起的大豆根腐病(Soybean root rot)是一种发生广、危害重、防治困难的世界性病害,其中以美国、加拿大、日本和中国等地发生严重^[1]。在加拿大东部地区大豆根部分离

的主要镰孢菌为尖镰孢菌(*F. oxysporum* complex)、茄腐镰孢菌(*F. solani* complex)、燕麦镰孢菌(*F. avenaceum*)、禾谷镰孢菌(*F. graminearum*)、拟枝孢镰孢菌(*F. sporotrichoides*)、三线镰孢

收稿日期:2010-10-09

基金项目:2007 MOE-AAFC PhD RESEARCH PROGRAM (2007 年教育部-加拿大农业部联合培养博士生项目)。

第一作者简介:张红骥(1978-),女,博士,副研究员,主要从事植物病害生物控制和土壤微生态研究。

通讯作者:许艳丽(1958-),女,研究员,博士生导师,主要从事作物病害和土壤微生态研究。E-mail: xyll@neigae.hb.ac.cn。

(*F. tricinctum*)、锐顶镰孢菌(*F. acuminatum*)和木贼镰孢菌(*F. equisiti*)^[2]。经课题组鉴定尖镰孢菌、禾谷镰孢菌、燕麦镰孢菌和三线镰孢菌对大豆根部均具有很强的致病性。目前轮作是加拿大大部分农场主要耕作方式,在加拿大东部地区大豆主要与禾本科作物轮作,可降低病害的发生,充分利用土壤资源,持续提高作物产量^[3]。然而镰孢菌也是引起禾谷类作物根部的主要病原菌,其中澳大利亚、法国、新西兰、加拿大、美国和中国都有严重发病的报道^[4-6]。在不同的农业生态系统中,镰孢菌的种类、优势种群和致病性存在很大差异^[7-8],致使轮作系统中禾谷类作物根部的致病镰孢菌也给大豆带来威胁。该研究分别测试不同来源的生防菌株对

尖镰孢菌和禾谷镰孢菌引起的根腐病的防治效果及对大豆生长的影响,以筛选抑菌范围广、防治效果好、促生作用和定殖能力强的生防菌处理。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 病原菌和生防菌 病原菌:尖镰孢菌和禾谷镰孢菌分离于加拿大渥太华中心试验农场。生防菌:生防菌株见表 1,其中粉红螺旋聚孢霉 ACM941 对菜豆根腐病致病性镰孢菌有很好的拮抗作用^[9],细菌菌株 SB24 课题组已研究证明对镰孢菌具有很好的控制效果。

表 1 供试生防菌株

Table 1 Biocontrol strains used in the test

属名 Genus	菌株名称 Isolates	菌株来源 Source of isolate	分离部位 Isolation location
木霉属 <i>Trichoderma</i> spp.	HJ-ZT2	分离于加拿大农业部中心农场	大豆根部
	CH-Tr51	加拿大农业部病理研究室	小麦根际土壤
	HJ-MM35	中国科学院东北地理与农业生态研究所	大豆田土壤
	CH-Tr14	加拿大农业部病理研究室	小麦根际土壤
	HJ-ZT1	分离于加拿大农业部中心农场	大豆根部
	CH-Tr18	加拿大农业部病理研究室	小麦根际土壤
	HJ-MM8	中国科学院东北地理与农业生态研究所	大豆根际土壤
	CH-Tr9	加拿大农业部病理研究室	小麦根际土壤
	HJ-MM7	中国科学院东北地理与农业生态研究所	大豆根际土壤
	H-Tr12	加拿大农业部病理研究室	小麦根际土壤
粉红螺旋聚孢霉 <i>Clonostachys rosea</i>	HJ-MM9	中国科学院东北地理与农业生态研究所	大豆根际土壤
	ACM941	加拿大农业部病理研究室	小麦根际土壤
芽孢杆菌 <i>Bacillus</i> spp.	SB24	加拿大农业部病理研究室	大豆根际土壤

1.1.2 培养基 PDA 培养基:39 g PDA 试剂溶于 1 L 水中。NA 培养基:牛肉浸膏 3.0 g;蛋白胨 10.0 g;NaCl 5.0 g;琼脂 20 g;水 1 000 mL;pH7.0。麦粒培养基:麦粒 60% 含水量浸泡 12 h 灭菌 1 h 后待用。

1.1.3 大豆品种 大豆品种 PR46 由加拿大禾谷类和油料作物研究所病理试验室提供。

1.2 试验方法

1.2.1 镰孢菌致病力测定 参照 Xue 等^[9]的方法,大豆种子用 10% 次氯酸钠(NaClO)表面消毒 1 min,用蒸馏水反复清洗 4 次,种子平铺在灭菌吸水纸上再放到培养皿内,室温条件下培养,每隔 12 h 喷无菌水,发芽后待用。将分离出的镰孢菌分别在 PDA 培养基中 25℃ 恒温培养 7 d,用打孔器打取直径为 2 mm 的菌片待用。灭菌的吸水纸折叠多层剪

成小块,将吸水纸用无菌水浸透,把发芽 48 h 的种子置于灭菌纸中央,挑取培养好的镰孢菌菌片接种到萌发种子的根毛区。接种后的植株放在双层灭菌纸中折起,然后用铝箔纸包裹起来。底部浸在蒸馏水中以便种子吸水,顶端打开利于植物生长。将包好的铝箔纸放在小的浅盘里,然后将其置于 25℃ 培养箱中培养 10 d。每天检测吸水纸中的含水量,按需水量加水。

1.2.2 生防菌拮抗能力测定 研究测试 12 个真菌菌株(HJ-ZT2、CH-Tr51、HJ-MM35、CH-Tr14、HJ-ZT1、CH-Tr18、HJ-MM8、CH-Tr9、HJ-MM7、CH-Tr12、HJ-MM9、ACM941)对 2 株病原菌的拮抗能力,从生长 7 d 的病原菌菌落边缘打取直径 5 mm 菌饼,放在 PDA 平板的一侧,同样大小的生防菌菌饼放于相距 7.5 cm 处。对照只接尖镰孢菌。25℃ 黑暗培养

7 d,每个处理 4 次重复,2 次重复试验。计算抑制率 $I = R1/R2$ ($R1$ 为对峙培养皿中尖镰孢菌面对生防菌所生长的距离、 $R2$ 为对照皿中尖镰孢菌生长的距离)。

1.2.3 温室盆栽防效测定 菌种扩繁:量取一定量的麦粒放在容器中,用水反复清洗干净,加入足够量的水浸泡 12 h。滤出水后在 121℃ 的灭菌锅里灭菌 60 min,冷却后将 PDA 上培养的镰孢菌接种到麦粒培养基中,在 25℃ 的培养箱中培养 15 d 即可接种使用。

生防菌剂制备:PDA 平皿上活化的生防真菌培养 7 d,用无菌水依次稀释配制成 10^7 cfu · mL⁻¹ 孢子悬浮液,将配制好的菌悬液与褐煤载体按 1:10 的比例配成生防真菌制剂,再将生防真菌制剂和大豆种子按 1:10 的质量比进行拌种,自然风干后待用。生防细菌菌剂的制备是将细菌用 NA 培养基活化 2 d,后将其接入液体 NA 培养基,25℃ 摇瓶培养 2 d,其它方法同真菌。

盆栽试验:试验设计为随机区组设计,共设 16 个生防处理,单菌制剂为 HJ-ZT2、CH-Tr51、HJ-MM35、CH-Tr14、HJ-ZT1、CH-Tr18、HJ-MM8、CH-Tr9、HJ-MM7、CH-Tr12、HJ-MM9、ACM941、复配菌剂为 ACM941 + HJ-MM7、SB24 + ACM941 和 SB24 + HJ-MM7,设分别只接尖镰孢菌和禾谷镰孢菌为对照、Vitaflor280 药剂拌种为化学对照,每个处理 4 次重复。生防菌剂按土壤质量的 5% 接种到土壤中,混合均匀后播入已消毒的大豆种子 8 粒,25℃ 昼夜交替温室条件培养,30 d 后调查株高、鲜重和发病情况,发病情况的分级标准参照陈宗泽等^[7],2 次重复试验。

1.2.4 大豆根腐病田间防治效果的测定 试验于 2008 年在加拿大禾谷类和油料作物研究所中心试验农场进行,土壤分别接种尖镰孢菌和禾谷镰孢菌,镰孢菌菌剂的接种量是 $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。生防菌处理和接种方式与温室试验相同。采用随机区组设计,每个处理 4 次重复,30 d 后调查出苗率,收获期调查病害严重度、株高、各产量性状及大豆产量。各指标较对照增加值计算均为:(处理 - 对照)/对照。

1.2.5 统计分析 采用 SPSS 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 尖镰孢菌和禾谷镰孢菌对大豆致病性鉴定

尖镰孢菌使大豆根部产生大面积黑色病斑甚至整个根部坏死。禾谷镰孢菌的致病性从症状看要轻于尖镰孢菌,它在根部形成黑色或红色病斑,

根的伸长生长不会受到抑制且有些植株发病症状很轻。该试验中对照在 PDA 培养基接触的根部,颜色变暗,但与病斑有很大区别。

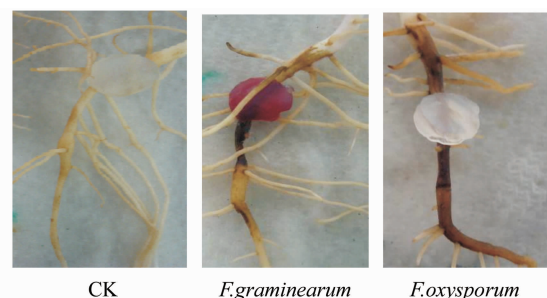


图 1 尖镰孢菌和禾谷镰孢菌对大豆幼苗致病性
Fig.1 The pathogenicity of *F. oxysporum* and *F. graminearum* on soybean seedling

2.2 生防菌对尖镰孢菌和禾谷镰孢菌的平板拮抗作用

实验室控制条件下生防菌株对尖镰孢菌和禾谷镰孢菌的拮抗效果差异不显著 ($P < 0.05$),但不同生防菌的抑菌率差异显著 ($P > 0.05$)。合并分析可知:HJ-ZT1、HJ-MM7、HJ-ZT2、CH-Tr14、HJ-MM8 和 CH-Tr18 的抑菌率分别为 70.4%、66.45%、68.27%、66.72%、64.53% 和 64.02%,显著高于 CH-Tr51、HJ-MM35、HJ-MM9 和 ACM941 (图 2)。其中 HJ-ZT1、HJ-MM7 和 HJ-ZT2 生长速度较快,在与禾谷镰孢菌和尖镰孢菌的对峙试验中 HJ-ZT1 和 HJ-ZT2 菌丝密集且将禾谷镰孢菌菌丝覆盖继续生长,禾谷镰孢菌菌丝被溶解而变得稀疏;HJ-MM7 在交界处菌丝停止生长,孢子密集出现明显的抑菌带,镰孢菌菌丝生长受到抑制。ACM941 在平板试验中生长速度较慢看不出对镰孢菌的拮抗作用,而 Xue 等研究表明其在田间应用具有良好的抑菌效果^[9],因此需进一步测试其抑菌能力。

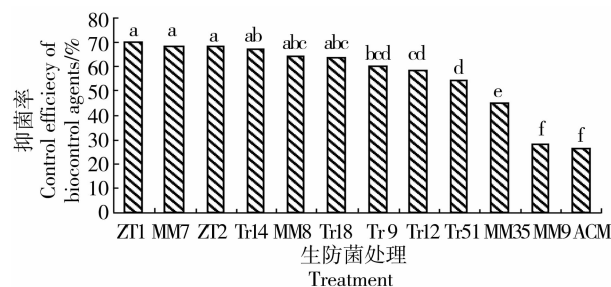


图 2 生防菌对尖镰孢菌和禾谷镰孢菌的平板拮抗效果
Fig.2 The inhabitation efficiency of biocontrol fungi on *F. Oxysporum* and *F. graminearum* in the plates

2.3 生防菌对大豆镰孢菌根腐病盆栽防治效果和促生作用

温室条件生防菌处理对尖镰孢菌和谷镰孢菌的防效及促生作用均存在差异 (表 2)。CH-Tr12 对

尖镰孢菌防治效果最好为 72%, 与 ACM941、SB24 + HJ-MM7 和化学对照的防效差异不显著。菌株 HJ-MM35、CH-Tr12、ACM + HJ-MM7、SB24 + ACM941、CH-Tr18 和 CH-Tr9 可在很大程度上促进植株的生长。生防菌 CH-Tr14、HJ-MM7 和 CH-Tr12 对禾谷镰孢菌防治效果较好, 防效分别为 37%、38%、36% 和 36%, 显著高于 HJ-ZT2 和 HJ-MM8; 且

与其它处理差异不显著。化学对照处理的大豆出苗率显著高于其它处理, 复配后的生防菌处理 ACM941 + HJ-MM7 和 SB24 + ACM941 可以使出苗率提高 21% 和 23%。且 CH-Tr18、CH-Tr9、ACM941 和 SB24 + ACM941 处理均较大程度的提高植株的根长、株高、根干重和地上部干重。

表 2 生防菌对尖镰孢菌和禾谷镰孢菌的抑菌效果及对大豆促生作用

Table 2 The inhabitation efficiency of biocontrol treatments on *F. oxysporum* and *F. graminearum* and the promotion growth of biocontrol fungi on soybean in greenhouse

病原菌 Pathogen	处理 Treatment	防效 BE/%	出苗率 EM/%	增出苗率 IEM/%	根长 RL/cm	增根长 IRL/%	株高 SL/cm	增株高 ISL/%	根干重 RDW/g	增根干重 IRDW/%	株重 SDW/g	增株重 ISDW/%
<i>F. oxysporum</i>	HJ-ZT2	32 def	77.78	8 abc	5.99	7 cde	8.06	-11 fgh	0.154	1 bede	0.046	27 ab
	CH-Tr51	10 g	79.17	10 abc	5.71	7 de	13.56	49 ab	0.186	22 a	0.042	15 b
	HJ-MM35	25 efg	76.39	6 abc	5.90	6 cde	12.71	40 ab	0.170	12 abc	0.044	21 ab
	CH-Tr14	13 fg	56.95	-21d	5.43	-3 e	9.88	9 cdef	0.154	1 bede	0.041	12 b
	HJ-ZT1	43 cde	79.17	10 abc	6.55	17 bede	11.87	31 abcd	0.168	11 abcd	0.042	17 b
	CH-Tr18	49 bed	76.39	6 abc	7.91	41 ab	13.75	51 a	0.178	17 ab	0.046	27 ab
	HJ-MM8	43 cde	79.17	10 abc	6.54	17 bede	12.35	36 abc	0.167	10 abcd	0.045	23 ab
	CH-Tr9	51 bed	76.39	6 abc	7.34	31 abcd	12.29	35 abcd	0.179	18 ab	0.045	24 ab
	HJ-MM7	42 cde	66.67	-8 cd	5.88	5 cde	8.53	-6 efg	0.145	-4 cde	0.043	19 ab
	CH-Tr12	72 a	76.39	6 abc	8.85	58 a	11.01	21 bede	0.173	14 ab	0.051	41 a
	HJ-MM9	53 bc	81.95	13 abc	7.23	29 abcd	6.44	-29 gh	0.136	-11 e	0.043	19 ab
	ACM941	55 abc	83.33	15 ab	6.56	17 bede	8.35	-8 efgh	0.146	-4 cde	0.043	17 b
	ACM941 + HJ-MM7	44 bed	77.78	8 abc	7.44	33 abc	9.68	7 def	0.162	7 abcd	0.047	29 ab
	SB24 + ACM941	20 fg	76.39	6 abc	6.12	9 cde	11.20	23 abcd	0.180	19 a	0.047	30 ab
	SB24 + HJ-MM7	62 ab	68.06	-6 bed	6.99	25 bede	5.82	-36 h	0.144	-5 de	0.043	18 b
	Chemical CK	53 abc	86.11	19 a	7.33	31 abcd	6.14	-32 gh	0.134	-12 e	0.042	14 b
	CK		72.22		5.60		9.09		0.152		0.036	
<i>F. graminearum</i>	HJ-ZT2	9c	58.31	13 bc	7.36	6bc	8.59	7 h	0.176	9 bed	0.058	56 ab
	CH-Tr51	19 abc	56.70	10 bed	8.27	19 abc	9.12	14 fgh	0.173	7 bed	0.054	43 ab
	HJ-MM35	31 ab	55.88	9 bed	7.67	10 bc	9.41	18 efgh	0.169	5cd	0.051	35 abc
	CH-Tr14	37 a	51.51	0.2 bed	7.06	1 c	10.53	32 bede	0.148	-9 d	0.040	6 c
	HJ-ZT1	24 abc	58.26	13 bc	8.68	25 ab	10.90	36 abcd	0.192	19 abc	0.048	28 bc
	CH-Tr18	23 abc	58.88	15bc	8.36	20 abc	12.14	52 a	0.200	24 ab	0.056	51 ab
	HJ-MM8	15 bc	54.85	7 bed	7.53	8 bc	9.99	25 cdefg	0.180	11 bc	0.055	47 ab
	CH-Tr9	28 abc	53.49	4 bed	8.41	21 abc	11.23	40 abc	0.195	21 abc	0.052	40 ab
	HJ-MM7	38 a	41.38	-19 d	8.21	18 abc	9.56	20 defgh	0.188	17 bc	0.061	63 a
	CH-Tr12	36 a	44.80	-13 cd	7.83	12bc	10.93	37 abcd	0.190	18 bc	0.052	38 abc
	HJ-MM9	31 ab	41.42	-19 d	8.04	15 abc	10.42	30 bcdef	0.194	20 abc	0.051	38 abc
	ACM941	35 ab	58.97	15 bc	9.41	35 a	12.18	52 a	0.220	36 a	0.057	53 ab
	ACM941 + HJ-MM7	33 ab	62.30	21 b	7.78	12 bc	11.04	38 abc	0.200	24 ab	0.048	29 abc
	SB24 + ACM941	30 ab	63.29	23 b	8.05	16 abc	11.41	43 ab	0.198	22 ab	0.052	40 ab
	SB24 + HJ-MM7	26 abc	48.63	-5 bed	8.30	19 abc	8.76	10 gh	0.169	5 cd	0.050	34 abc
	Chemical CK	36 a	89.07	73 a	8.67	25 ab	11.22	40 abc	0.180	11 bc	0.058	54 ab
	CK		51.39		6.96		8.00		0.161		0.037	

表中相同字母标注代表差异不显著 $P < 0.05$ 。

Values followed by the same letter within a column are not significantly different at $P = 0.05$ (LSD).

BE: biocontrol efficiency; EM: emergence; RL: root length; SL: stem length; RDW: root dry weight; SDW: stem dry weight.

2.4 生防菌对大豆镰孢菌根腐病田间防治效果和促生作用

由表 3 可知,田间土壤接种病原菌条件下生防菌对尖镰孢菌和禾谷镰孢菌引起的大豆根腐病防治效果差异不显著 ($P < 0.05$)。合并分析可知 ACM941 + HJ-MM7 使大豆增产 10%,显著高于 ACM941 和 CH-Tr51。其中 CH-Tr14 增产 9%,CH-Tr12 为 8%,CH-Tr18 和化学药剂均增产 6%。这表

明化学药剂在苗期防治效果较好,但田间持效性差,而生防制剂持效性长,田间产量增加幅度大。HJ-MM7、CH-Tr12、HJ-MM9 和 SB24 + HJ-MM7 使出苗率有所降低,但均可提高大豆产量,可能由于出苗率相对较低的大豆在空间和营养竞争上占优势,同时生防菌在后期大量繁殖对植株具有一定的保护作用,从而促使植株生长旺盛表现出增产效果。

表 3 田间产量构成因子方差分析
Table 3 Investigating the increased yield of Soybean in the harvest

处理 Treatment	防效 BE/%	出苗 EM	增荚数 IPN/%	增荚重 IPW/%	增粒重 IGW/%	增干重 IDW/%	增产 IY/%
HJ-ZT2	29 abc	8.4 bc	24 bc	18 bc	13 bc	24 bed	5 abc
CH-Tr51	41 a	8.6 bc	37 a	27 a	20 a	35 a	4 c
HJ-MM35	25 abc	9.5 abc	24 bc	16 bc	12 bc	22 bed	4 abc
CH-Tr14	28 abc	9.0 bc	22 bc	15 bc	12bc	21 bed	9ab
HJ-ZT1	39 ab	8.8 bc	25 bc	17 bc	13 bc	23 bed	1 abc
CH-Tr18	40 ab	8.0 bc	30 ab	20 ab	15 ab	27 abc	6 ab
HJ-MM8	28 abc	9.5 abc	26 bc	17 bc	13 bc	24 bed	2 abc
CH-Tr9	22 abc	9.4 abc	30 ab	20 ab	15 ab	28 ab	4 abc
HJ-MM7	37 ab	8.6 bc	22 bc	15 bc	11 bc	21 bed	3 abc
CH-Tr12	35 ab	7.3 c	24 bc	17 bc	12 bc	23 bed	8 ab
HJ-MM9	22 abc	10.5 ab	24 bc	16 bc	12 bc	22 bed	3 abc
ACM941	6 c	10.0 ab	26 bc	18 bc	13 bc	23 bed	0 bc
ACM941 + HJ-MM7	19 abc	11.8 a	19 c	14 bc	10 bc	19 bed	10 a
SB24 + ACM941	31 ab	9.3 abc	21 bc	15 bc	11 bc	19 cd	1 abc
SB24 + HJ-MM7	18 bc	9.1 bc	28 ab	19 ab	14 b	26 ab	5 abc
chemical ck	22 abc	10.3 ab	24 bc	16 b	11 b	22 bc	6 abc

表中相同字母标注代表差异不显著 $P < 0.05$ 。
Values followed by the same letter within a column are not significantly different at $P = 0.05$ (LSD).
BE: biocontrol efficiency; EM; Emergence per meter; IPN: increased pod number; IPW: increased pod weight; IGW: increased grain weight; IDW: increase dry weight; IY: increased yield.

3 讨论

3.1 生防菌株筛选及复配

目前大豆根腐病生防菌株主要分离于大豆根部及根际土壤^[10-12],该研究在轮作系统中分离于小麦根部及根际土壤的生防菌株对大豆根部致病性尖镰孢菌和禾谷镰孢菌均有抑制作用,因此轮作系统中不同作物根际生防菌株均可进行生物防治研究,这拓宽了生防菌株的采集范围。

大豆根腐病是多种病原菌复合侵染,生防菌复配在一定栽培条件下更能适应不同的土壤、多种病原菌和环境变化,从而减轻病害发生程度,促进植株的生长发育^[13-14]。利用复配菌株处理不是简单的累加,而有一定的协同作用,充分发挥不同菌株的生防机制,起到防病增产的作用^[15]。来源于不同

植物根际的生防菌复配,也可有效防治轮作系统中相同病原菌引起的病害。

3.2 生防效果不稳定性

生防菌在不同试验条件下对 2 种镰孢菌的防治效果存在差异。平板拮抗试验中 2 种镰孢菌生长速度相近,生防菌对 2 种镰孢菌表现的拮抗能力差异不显著。温室盆栽条件,生防菌对尖镰孢菌的防治效果要高于禾谷镰孢菌,这是由于尖镰孢菌的致病性较强,在相同接种剂量的温室条件尖镰孢菌引起大豆根腐病发病重,因此生防菌防治效果明显,这与目前研究结果一致^[16]。田间接种试验是在复杂的土壤条件下进行,多年大豆田间分离病原菌结果可知尖镰孢菌的分离频率明显高于禾谷镰孢菌^[8],接种病原菌后尖镰孢菌仍为优势种群,因此生防菌处理对 2 种镰孢菌的防治和增产效果差异不显著。

筛选的生防菌株在实验室抗防治效果较好,但在温室和田间试验中防效有所降低,这是由于生防菌的接种方法为满足加拿大农业实际需求而设定为种子包衣,包衣的效果直接影响到生防菌的生防效果,这可能限制了其菌株的生防作用^[17]。土壤环境中,生防菌受到土壤物理条件和生物条件的影响,也导致了防治效果降低,生防菌防效不稳定,这也是目前生物防治研究普遍存在的问题^[18]。

参考文献

- [1] 马汇泉, 辛惠普. 大豆根腐病病原菌种类鉴定及其生态学研究报告[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 1988(2): 115-121. (Ma H Q, Xin H P. Identification Pathogen of soybean root rot and studying the ecology[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 1988(2): 115-121.)
- [2] André Lévesque C. Research information: Characterization of the main causal agents of root rot of soybean in Western Québec and Eastern Ontario[R]. 2003.
- [3] 李玉霞, 马保罗, 尼尔·麦克劳克林, 等. 轮作在保护性耕作中的作用[J]. 农村牧区机械化, 2006(2): 45-46. (Li Y X, Ma B L, Nile M, et al. Function of alternative cropping in conservation tillage[J]. Mechanization in Rural & Pastoral Areas, 2006(2): 45-46.)
- [4] Burgess L W, Backhouse D, Summerell B A, et al. Fusarium-Paul E Nelson Memorial Symposium [M]. Minnesota: The American Phytopathological Society Press, 2001: 271-294.
- [5] 李冬梅, 曹克强, 王爱英, 等. 河北省小麦根病发生现状及致病病原种类调查[J]. 河北农业大学学报, 2001, 24(3): 38-42. (Li D M, Cao K Q, Wang A Y, et al. Investigation on the occurrence root diseases in and pathogen species of wheat in Hebei province[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2001, 24(3): 38-42.)
- [6] Maarten R, Rosemary W, Paul H, et al. Recent advances in biological control of soil borne root diseases of wheat, vegetables and cotton in China and Australia[J]. Shandong Science, 2005, 18(3): 1-8.
- [7] 陈宗泽, 殷勤燕, 戴秉丽, 等. 连作大豆土壤病原菌的分离及其致病性的研究[J]. 吉林农业科学, 1999, 24(2): 36-39. (Cheng Z Z, Yin Q Y, Dai B L, et al. Study on isolation and pathogenicity of soil pathogen in continuous cropping systems of soybean[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1999, 24(2): 36-39.)
- [8] 邢安, 文景芝, 吕国忠, 等. 黑龙江省大豆根腐病株上镰孢菌的分离与鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(8): 5-9. (Xin A, Wen J Z, Lü G Z, et al. Isolation and identification of *Fusarium* species from soybean plant with root-rot symptom in Heilongjiang province[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(8): 5-9.)
- [9] Xue A G. Biological control of pathogens causing root rot complex in field pea biological control ACM941 [J]. Phytopathology, 2003, 93(3): 329-335.
- [10] 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, 26(4): 74-77. (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, 26(4): 74-77.)
- [11] 温广月, 许艳丽, 李春杰, 等. 6株生防细菌对大豆根腐病防治效果初步评价[J]. 大豆科学, 2005, 24(2): 121-125. (Wen G Y, Xu Y L, Li C J, et al. Evaluation of six potential biocontrol agents against soybean root rot [J]. Soybean Science, 2005, 24(2): 121-125.)
- [12] 黄珊珊, 韩雪, 李丽君, 等. 大豆根腐病生防菌株的筛选及鉴定[J]. 东北农业大学学报, 2008, 39(10): 6-10. (Huang S S, Han X, Li L J, et al. Screening and identification of biocontrol strains against soybean root rot pathogens[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(10): 6-10.)
- [13] Hartman G E. Combining effective strains of *Trichoderma harzianum* and solid matrix priming to provide improved biological seed treatment systems[J]. Plant, 1989, 73: 631-637.
- [14] de Boer M, van der Sluis I, van Loon L C, et al. Combining fluorescent *Pseudomonas* spp. strains to enhance suppression of fusarium wilt of radish[J]. European Journal of Plant Pathology, 1999, 105: 201-210.
- [15] 许艳丽, 张红骥, 张匀华, 等. 复配生防菌株防治大豆根腐病的研究[J]. 大豆科学, 2008, 27(2): 270-275. (Xu Y L, Zhang H J, Zhang Y H, et al. Combining biocontrol strains against soybean root rot[J]. Soybean Science, 2008, 27(2): 270-274.)
- [16] 王光华, 周克勤, 金剑, 等. 生防微生物 BRF-1 对大豆根腐病的拮抗作用[J]. 大豆科学, 2004, 23(3): 188-191. (Wang G H, Zhou K Q, Jin J, et al. Antagonism on organism brf-1 against soybean root rot[J]. Soybean Science, 2004, 23(3): 188-191.)
- [17] 赵蕾, 张华英. 木霉菌与种子生物处理[J]. 微生物学杂志, 1998, 18(3): 50-53. (Zhao L, Zhang H Y. The biotreatment of *Trichoderma* and seed [J]. Journal of Microbiology, 1998, 18(3): 50-53.)
- [18] Kredics L, Antal Z, Manczinger L, et al. Influence of environmental parameters on trichoderma strains with biocontrol potential [J]. Food Technology and Biotechnology, 2003, 41(1): 37-42.)