

棘孢木霉与 30% 霜霉·啞菌酯协同防治烟草镰刀菌根腐病

刘 畅, 李小杰, 张梦丹, 陈玉国, 苗淑月, 邱 睿, 白静科, 尚颐茹, 李淑君*

(河南省农业科学院烟草研究所, 烟草行业黄淮烟区烟草病虫害绿色防控重点实验室, 河南 许昌 461000)

摘 要: 为筛选防治烟草镰刀菌根腐病高效、安全的复配剂, 采用菌丝生长速率法测定生防棘孢木霉 Tr-0111、化学杀菌剂 30% 霜霉·啞菌酯对尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)的毒力及两者的相容性, 同时测定两者混配对尖孢镰刀菌的毒力系数, 并通过盆栽试验评价其对烟草镰刀菌根腐病的防治效果。结果表明, 30% 霜霉·啞菌酯和棘孢木霉 Tr-0111 对尖孢镰刀菌均具有较强的毒力, 其 EC_{50} 值分别为 0.0643 mL/L、 2.36×10^2 cfu/mL, 且两者相容性好。除 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 4 : 6$ 时无增效作用, 其他 8 个混配比例均具有增效作用, 其中 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$ 时增效比率最高, 为 1.16, 抑菌率为 68.37%。盆栽试验结果表明, $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$ 时, 对烟草镰刀菌根腐病的防效最好, 为 78.18%, 其次为 7 : 3 和 1 : 9, 防效分别为 77.27% 和 72.73%, 均显著高于单一使用 30% 霜霉·啞菌酯和棘孢木霉 Tr-0111。因此, 可以将 0.0643 mL/L 30% 霜霉·啞菌酯和 2.36×10^2 cfu/mL 棘孢木霉 Tr-0111 以 5 : 5 比例混匀复配应用于烟田防治烟草镰刀菌根腐病, 减少化学农药使用。

关键词: 烟草镰刀菌根腐病; 尖孢镰刀菌; 30% 霜霉·啞菌酯悬浮剂; 棘孢木霉; 复配

中图分类号: S435.72

文献标识码: A

文章编号: 1007-5119 (2024) 01-0048-06

Synergistic Control of Tobacco *Fusarium* Root Rot by *Trichoderma asperellum* and 30% Propamocarb·Azoxystrobin

LIU Chang, LI Xiaojie, ZHANG Mengdan, CHEN Yuguo, MIAO Shuyue, QIU Rui,
BAI Jingke, SHANG Yiru, LI Shujun*

(Tobacco Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory for Green Prevention and Control of Tobacco Diseases and Pests in the Huanghuai Growing Area, Xuchang 461000, Henan, China)

Abstract: The screening of the high-efficient and safe mixtures is of great importance for the prevention and control of tobacco *Fusarium* root rot. In this study, the mycelial growth rate method was used to determine the toxicity and compatibility and the toxicity coefficient of biocontrol agent *Trichoderma asperellum* Tr-0111 and chemical fungicide 30% propamocarb-azoxystrobin against *F. oxysporum*. In addition, their control effect on tobacco *Fusarium* root rot was evaluated through pot experiments. The results indicated that both 30% propamocarb-azoxystrobin and *Trichoderma asperellum* Tr-0111 had strong virulence against *F. oxysporum*, with EC_{50} values of 0.0643 mL/L and 2.36×10^2 cfu/mL, and showed good compatibility. The combination of 30% propamocarb-azoxystrobin and *Trichoderma asperellum* Tr-0111 with different ratio showed synergistic effect, except for $V_{30\% \text{ propamocarb-azoxystrobin}} : V_{\text{Tr-0111}} = 4 : 6$. The highest synergistic effect was obtained when 30% propamocarb-azoxystrobin and *Trichoderma asperellum* Tr-0111 was mixed at the ratio of 7 : 3, with the synergistic ratio 1.16 and antibacterial rate 68.37%. The pot experiment showed that, the best control effect (78.18%) against tobacco *Fusarium* root rot was obtained when $V_{30\% \text{ propamocarb-azoxystrobin}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$, followed by 7 : 3 and 1 : 9, with control effects of 77.27% and 72.73%, respectively. These control effects were all significantly higher than the single use of 30% propamocarb-azoxystrobin and *Trichoderma asperellum* Tr-0111. Therefore, to reduce the use of chemical pesticides, the mixture of 0.0643 mL/L of 30% propamocarb-azoxystrobin and 2.36×10^2 cfu/mL *Trichoderma asperellum* Tr-0111 at the ratio of 5 : 5 is recommended for the control of tobacco *Fusarium* root rot.

Keywords: tobacco *Fusarium* root rot; *F. oxysporum*; 30% propamocarb-azoxystrobin suspension agent; *Trichoderma asperellum*; compound

烟草镰刀菌根腐病是河南烟区近年来为害严重的土传病害之一。2017—2019 年, 李小杰等^[1]在

河南省 11 个产烟区采集的 644 份根茎类病害样品中, 镰刀菌属平均检出率最高, 占 52.10%, 且发

基金项目: 上海烟草集团科技项目(2022310000140541); 中国烟草总公司重大科技项目 [110202101051(LS-11)]; 河南省农业科学院科技创新团队专项项目(2022TD26); 中国烟草总公司重大科技项目 [110202201026(LS-10)]

第一作者: 刘 畅(1990—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事烟草植保研究工作。E-mail: 1032627408@qq.com

***通信作者:** 李淑君(1966—), 女, 研究员, 主要从事烟草植保研究工作。E-mail: lishujun9396@126.com

收稿日期: 2023-08-28

修回日期: 2023-12-01

生及流行趋势增强^[2-3]。其中尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)为害最为严重^[4], 给烟叶生产带来严重的经济损失^[5-6]。目前, 防控烟草根茎病害最直接、见效最快的方法仍然是化学防治^[2]。生物防治是目前比较流行的防治方法, 在对病害起到防控作用的同时, 可有效减少农药残留, 降低因病害抗性而增加的防治难度^[7]。生物防治筛选出的生防菌株在平板对峙试验中对病原菌的抑制率较高^[8-11], 但因其防效与环境、气候及定殖能力密切相关, 存在稳定性差、显效慢等弊端^[12], 鲜见在田间应用高效的生防菌株的报道。

生物防治与化学防治相结合既能减少化学药剂的施用量, 又能提高生物防治的稳定性, 达到有效控制病害的效果, 因此在植物病害防治领域受到广泛关注。谷春艳等^[13]将咪鲜胺(0.0453 mg/L)与解淀粉芽胞杆菌 WH1G(2.3×10^6 cfu/mL)复配, 发现 $V_{\text{咪鲜胺}} : V_{\text{WH1G}} = 5 : 5$ 时对病菌抑制的增效作用和防治效果最好, 毒性比率为 1.432, 防效为 69.94%; 复配剂对草莓炭疽病的田间防效达 67.91%, 显著高于单剂防效。在烟草上, 黄小琴等^[14]发现 170.01 mg/L 硫酸链霉素与 3.3×10^7 cfu/mL Bs2-4 菌体积比为 4 : 6 时, *IR* 值为 1.232; 复配剂对烟草青枯病菌生长抑制率达 68.59%, 烟草青枯病防效达 65.85%, 显著高于单剂防效。但尚未有针对烟草镰刀菌根腐病的研究报道。本研究通过测定生防棘孢木霉 Tr-0111、化学杀菌剂对尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)的毒力及两者的相容性, 同时测定混配剂对尖孢镰刀菌的毒力系数, 并通过盆栽试验评价其对烟草镰刀菌根腐病的防治效果, 明确棘孢木霉与药剂联用的最佳混配比例, 以期为生防制剂的开发提供技术支持, 为烟草镰刀菌根腐病的可持续防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试菌株及化学药剂

生防菌株: 棘孢木霉 Tr-0111(*Trichoderma asperellum*), 由本实验室分离保存^[15]。

病原菌: 烟草尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*), 由本实验室分离保存, 采用 PDA 培养基

(北京百奥乐吉)于 25 °C 条件下培养。

化学药剂: 30% 霜霉·啞菌酯悬浮剂, 购于四川利尔作物科学有限公司。

1.2 化学药剂对尖孢镰刀菌的毒力测定

采用菌丝生长速率法^[16]测定 30% 霜霉·啞菌酯对尖孢镰刀菌菌丝生长的抑制效果。根据预试验结果, 配置含 30% 霜霉·啞菌酯的 PDA 平板, 有效成分浓度分别为 0.01、0.05、0.25、1.25、6.25、10.00 mL/L, 以不含药剂处理为空白对照, 每组处理重复 3 次。选用直径为 5 mm 的打孔器, 打取培养 5 d 的尖孢镰刀菌菌落边缘制备菌饼, 挑取菌饼分别接种于不同浓度的含药平板中心, 25 °C 恒温培养箱中倒置培养。待对照处理的尖孢镰刀菌刚长满平板时, 利用十字交叉法测量各处理菌落生长直径, 计算各处理对病原菌的抑制率, 并求出 EC_{50} 值。

抑制率 = (对照菌落直径 - 处理菌落直径) / 对照菌落直径 × 100%。

1.3 棘孢木霉 Tr-0111 对尖孢镰刀菌的毒力测定

用无菌水配置棘孢木霉 Tr-0111 孢子液, 根据预试验结果, 制备含不同浓度梯度孢子液的 PDA 平板, 孢子液浓度分别为 10、 1.0×10^2 、 1.0×10^3 、 1.0×10^4 、 1.0×10^5 、 1.0×10^6 孢子/mL, 以不含孢子液处理为空白对照, 每组处理重复 3 次。参照 1.2 的方法, 将平板置于 25 °C 恒温培养箱中倒置培养 3 d, 测定棘孢木霉 Tr-0111 对尖孢镰刀菌的抑制率, 并求 EC_{50} 值。

1.4 化学药剂与棘孢木霉 Tr-0111 的相容性测定

根据药剂毒力测定结果, 配制成 EC_{50} 浓度的含药 PDA 平板, 选用直径为 5 mm 的打孔器, 打取培养 5 d 的生防菌 Tr-0111 菌饼接种于含药 PDA 平板中心, 以不加药剂的 PDA 平板为空白对照(CK), 每处理 3 次重复。置于 25 °C 恒温培养箱中培养, 待空白对照平板上的 Tr-0111 刚长满平板时, 利用十字交叉法测量含药 PDA 平板上生防菌菌落直径, 计算抑制率。

1.5 棘孢木霉 Tr-0111 与化学药剂复配对尖孢镰刀菌的毒力测定

根据 30% 霜霉·啞菌酯悬浮剂及棘孢木霉 Tr-

0111 单剂毒力测定结果, 选择药剂和生防菌的 EC_{50} 浓度, 制备不同配比的药剂与生防菌孢子液的 OA 和 PDA 平板, 按体积比 10:0、9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9、0:10 混合为 10 种复配培养基, 倒平板。以普通 PDA 平板为空白对照。选用直径为 5 mm 的打孔器, 打取培养 5 d 的尖孢镰刀菌菌落边缘制备菌饼, 挑取菌饼分别接种于复配剂平板中心, 每组处理重复 3 次, 25 °C 恒温培养箱中倒置培养 3 d, 利用交叉法测量各处理菌落生长直径, 计算出各处理对病原菌的实际抑菌率、理论抑菌率。用 Horsfall 法进行联合毒力增效计算^[17], 根据增效比率值, 判断不同配方的协同作用效果。若增效比率 $IR > 1$ 为增效作用; $IR = 1$ 为加和作用; $IR < 1$ 为拮抗作用。其计算公式为: $IR = \text{混剂实际抑菌率} / \text{混剂理论抑菌率}$ 。

混剂理论抑菌率 = 药剂 EC_{50} 浓度单独使用时实际抑菌率 × 配比中的百分率 + 生防菌 EC_{50} 浓度单独使用时实际抑菌率 × 配比中的百分率。

1.6 菌药复配剂对烟草尖孢镰刀菌根腐病的盆栽防效测定

根据 1.5 试验结果, 选取具有增效作用的 3 个复配剂 ($V_{30\% \text{霜霉·啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5:5、7:3、1:9$) 进行防效测定, 同时设置 30% 霜霉·啞菌酯悬浮剂和 Tr-0111 单剂以及空白对照处理。取长势一致的烟苗(苗龄 35 d 左右, 4 片真叶), 移栽至装满基质(75 g)的 180 mL 一次性塑料水杯中(水杯上口直径 6.5 cm, 高 8.0 cm), 用不同处理复配剂及病原菌液灌根烟苗。烟苗移栽当天, 将于 180 r/min, 28 °C 摇床振荡培养 7 d 的尖孢镰刀菌菌液用细胞破碎仪破碎 20~30 s, 灌根接种烟苗, 5 mL/株。同时灌根各处理药剂 5 mL/株, 7 d 后第二次灌根各处理药剂 5 mL/株, 每处理 10 株烟苗, 3 次重复。开始发病后, 按 GB/T 23222—2008《烟草病虫害分级及调查方法》^[18] 进行调查, 直至发病情况稳定, 计算发病率及病情指数。

1.7 数据分析

利用 Excel 软件对数据进行整理, 结合 DPS 数据处理系统统计软件, 以药剂浓度对数值为横坐

标, 相对抑制率为纵坐标, 做回归直线, 求出毒力回归方程和相关系数 r , 根据最小二乘法计算出有效中浓度(EC_{50})。利用 Duncan 氏新复极差法进行处理间差异显著性分析。

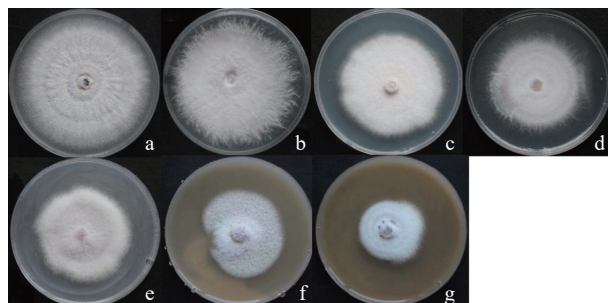
2 结果

2.1 30% 霜霉·啞菌酯对尖孢镰刀菌的毒力分析

由表 1、图 1 可知, 化学药剂 30% 霜霉·啞菌酯对尖孢镰刀菌的菌丝生长有不同程度的抑制作用, 药剂的毒力均随着药剂质量浓度增加而增强。30% 霜霉·啞菌酯悬浮剂在较低浓度下能有效抑制尖孢镰刀菌的生长, 其 EC_{50} 为 0.0643 mL/L。

表 1 供试药剂对尖孢镰刀菌的毒力测定
Table 1 Toxicity of the tested chemicals against *Fusarium oxysporum*

浓度 Content/ (mL·L ⁻¹)	抑制率/% Inhibition ratio/%	回归方程 Regression equation	EC_{50} / (mL·L ⁻¹)	相关系数 Correlation coefficient
0.01	31.53			
0.05	47.47			
0.25	66.37	$Y = 0.2715X + 5.3235$	0.0643	0.9691
1.25	68.35			
6.25	71.32			
10.00	81.32			



注: a-g 的药剂质量浓度分别为 0、0.01、0.05、0.25、1.25、6.25、10.00 mL/L。

Note: The fungicide concentration of a-g is 0, 0.01, 0.05, 0.25, 1.25, 6.25, 10.00 mL/L.

图 1 30% 霜霉·啞菌酯对尖孢镰刀菌的平板抑制效果
Fig. 1 The inhibitory effect of 30% propamocarb azoxystrobin on *F. oxysporum*

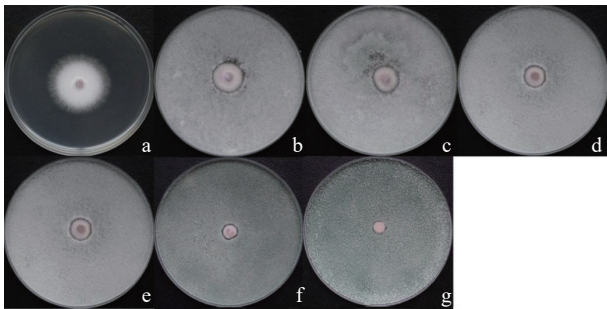
2.2 生防棘孢木霉 Tr-0111 对尖孢镰刀菌的毒力分析

单剂棘孢木霉 Tr-0111 对尖孢镰刀菌的毒力测定结果表明(表 2、图 2): 孢子量为 $10 \sim 1.0 \times 10^6$ cfu/mL 的 Tr-0111 对尖孢镰刀菌均有一定的抑制作用, 抑制率 38.83%~71.29%, 当含菌量为 1.0×10^6 时, 抑

制率最高，为 71.29%，Tr-0111 的抑制中浓度为 2.36×10^2 cfu/mL。

表 2 棘孢木霉 Tr-0111 对尖孢镰刀菌的毒力测定
Table 2 Toxicity of Tr-0111 against *F. oxysporum*

孢子量 Content/ (cfu·mL ⁻¹)	抑制率/% Inhibition ratio/%	回归方程 Regression equation	EC ₅₀ / (cfu·mL ⁻¹)	相关系数 r
10	38.83	Y=0.1649X+4.6088	2.36×10 ²	0.9907
1×10 ²	48.81			
1×10 ³	55.06			
1×10 ⁴	62.55			
1×10 ⁵	66.29			
1×10 ⁶	71.29			



注：a-g 的孢子液浓度分别为 0、10、1×10²、1×10³、1×10⁴、1×10⁵、1×10⁶ cfu/mL。

Note: The spore liquid concentration of a-g is 0、10、1×10²、1×10³、1×10⁴、1×10⁵、1×10⁶ cfu/mL.

图 2 棘孢木霉 Tr-0111 对尖孢镰刀菌的平板抑制效果
Fig. 2 The inhibitory effect of *Trichoderma asperellum* Tr-0111 on *F. oxysporum*

2.3 30% 霜霉·啉菌酯与生防棘孢木霉 Tr-0111 的相容性

由表 3、图 3 知，0.0643 mL/L 30% 霜霉·啉菌酯悬浮剂对 Tr-0111 的抑制率为 0.00%，说明该浓度下 30% 霜霉·啉菌酯悬浮剂与 Tr-0111 相容性很好，可作为复配剂。

表 3 30% 霜霉·啉菌酯对 Tr-0111 菌丝生长的影响
Table 3 The effect of 30% propamocarb-azoxystrobin on the mycelial growth of Tr-0111

处理 Treatment	菌落直径/cm Colony diameter/cm	抑菌率/% Inhibition rate/%
CK	8.50±0.00	
0.0643 mL/L 30%霜霉·啉菌酯	8.50±0.00	0

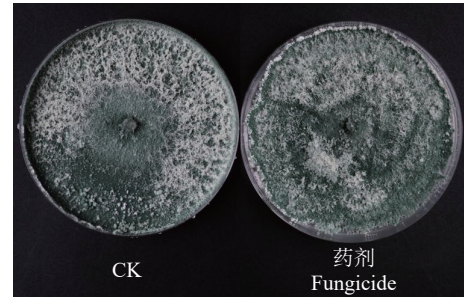


图 3 0.0643 mL/L 30% 霜霉·啉菌酯对 Tr-0111 的平板抑制效果

Fig. 3 The inhibitory effect of 30% propamocarb azoxystrobin on Tr-0111

2.4 复配剂对尖孢镰刀菌的联合毒力分析

根据以上试验结果，0.0643 mL/L 的 30% 霜霉·啉菌酯悬浮剂与 2.36×10^2 cfu/mL 的棘孢木霉 Tr-0111 发酵液，按不同体积进行配比测定联合毒力。如表 4 所示，只有 $V_{30\% \text{霜霉·啉菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 4 : 6$ 时不具有增效作用，其他配比均具有增效作用。当 $V_{30\% \text{霜霉·啉菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$ 时，增效比率最高，为 1.16，此时抑菌率为 68.37%。 $V_{30\% \text{霜霉·啉菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$ 时，实际抑菌率最高，为 70.38%，此时增效比率为 1.08。因此选择 $V_{30\% \text{霜霉·啉菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$ 和 $V_{30\% \text{霜霉·啉菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$ 做室内盆栽防效试验。为做对比，同时验证 $V_{30\% \text{霜霉·啉菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$ 的防效。

表 4 复配剂对尖孢镰刀菌的联合毒力测定

Table 4 Co-toxicity of the mixture against *F. oxysporum*

$V_{30\% \text{霜霉·啉菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}}$ $V_{30\% \text{ propamocarb-azoxystrobin}} : V_{\text{Tr-0111}}$	菌落直径/cm Colony diameter/cm	实际抑菌率/% Actual inhibition rate/%	理论抑菌率/% Expected inhibition rate/%	增效比率(IR) Efficiency enhancement ratio
10:0	1.45±0.05	56.33	56.33	1.00
9:1	1.13±0.05	65.86	57.28	1.15
8:2	1.17±0.10	64.86	58.23	1.11
7:3	1.05±0.05	68.37	59.19	1.16
6:4	1.05±0.05	68.37	60.14	1.14
5:5	1.17±0.05	64.86	61.09	1.06
4:6	1.03±0.08	68.88	77.07	0.89
3:7	1.18±0.08	64.36	63.00	1.02
2:8	1.02±0.08	69.38	63.96	1.08
1:9	0.98±0.04	70.38	64.91	1.08
0:10	1.13±0.05	65.86	65.86	1.00
CK	3.32±0.23			

2.5 复配剂对尖孢镰刀菌的盆栽防治效果

由表5、图4知,30%霜霉·啞菌酯悬浮剂和棘孢木霉 Tr-0111 单剂与复配剂均有防治效果。3种复配剂的防效显著高于2个单剂,复配剂间防效

差异不显著。 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$ 时,防治效果最好,防效为78.18%。其次为 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$,防效为77.27%。 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$ 时,防效为72.73%。

表5 30%霜霉·啞菌酯与 Tr-0111 复配对尖孢镰刀菌的室内防效

Table 5 Interior efficacy of the mixture of 30% propamocarb·azoxystrobin and Tr-0111 on *F. oxysporum*

处理 Treatment	浓度 Concentration	病情指数 Disease index	防效/% Efficacy/%
CK		40.74±10.27aA	
30%霜霉·啞菌酯	0.0643 mL/L	20.11±2.98bcB	50.64aA
Tr-0111	2.36×10^2 cfu/mL	23.26±5.69bAB	42.91aA
$V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$		8.89±1.81cB	78.18bB
$V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$		9.26±2.77cB	77.27bB
$V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$		11.11±0.91bcB	72.73bB

注:表中不同大小写字母分别表示在 $p < 0.01$ 和 $p < 0.05$ 水平差异显著。

Note: The different capital and lowercase letters in the same column showed significant difference at $p < 0.05$ and $p < 0.01$ levels, respectively.



注: a-f 分别为对照、30%霜霉·啞菌酯、Tr-0111、 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$ 、 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$ 、 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$ 。

Note: a-f is CK, 30% propamocarb·azoxystrobin, Tr-0111, $V_{30\% \text{ propamocarb} \cdot \text{azoxystrobin}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$, $V_{30\% \text{ propamocarb} \cdot \text{azoxystrobin}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$, $V_{30\% \text{ propamocarb} \cdot \text{azoxystrobin}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$.

图4 复配剂对尖孢镰刀菌的盆栽防治效果

Fig. 4 Efficacy of the mixture on *F. oxysporum* in potted plants

3 讨论

啞菌酯(azoxystrobin)属线粒体呼吸抑制剂,兼具保护和治疗作用,具有杀菌谱广的特点,对囊菌纲、担子菌纲、半知菌类和卵菌纲中的大部分病原菌有效,可用于防治多种作物病害^[19]。蒋冰心等^[20]和汪汉成等^[21]报道啞菌酯对大豆疫霉根腐病菌和烟草立枯丝核病菌有很好的抑菌效果。本研究表

明30%霜霉·啞菌酯悬浮剂和棘孢木霉有一定相容性。棘孢木霉在不同作物上的防病效果已有报道,唐若怡等^[22]研究表明,棘孢木霉能显著抑制玉蜀黍丝核菌生长,郑柯斌等^[23]报道海洋生境棘孢木霉 TCS007 对16种植物病原菌的抑制率在56.65%~87.62%。因此可以用两者复配防治烟草镰刀菌根腐病。

复配剂对尖孢镰刀菌的联合毒力测定试验结果表明,当 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$ 时,增效比率最高。 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$ 时,实际抑菌率最高。但复配剂对尖孢镰刀菌的盆栽防治试验结果显示, $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$ 时,防治效果最好,这可能是因为盆栽环境与PDA平板环境不同所致,复配剂毒力试验中PDA平板在培养箱内放置,温湿度及光照条件恒定,营养充分。盆栽试验是在约20 m²室内进行,温度分布不均匀,湿度不恒定。有关3个体积比的复配剂防效需通过大田试验进一步验证。

4 结论

本研究结果表明,30%霜霉·啞菌酯悬浮剂和棘孢木霉有一定相容性,且对尖孢镰刀菌有较强毒力,抑制中浓度较低。当 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 7 : 3$ 时,复配剂对尖孢镰刀菌的联合毒力增效比率最高。 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 1 : 9$ 时,复配剂实际抑菌率最高。 $V_{30\% \text{霜霉} \cdot \text{啞菌酯}} : V_{\text{Tr-0111}} = 5 : 5$ 时,盆栽防治效果最好。建议将0.0643 mL/L 30%霜霉·啞菌酯和 2.36×10^2 cfu/mL 棘孢木霉 Tr-0111 以5:5

比例混匀复配应用于烟田防治烟草镰刀菌根腐病, 减少化学农药使用同时提高生防菌的生防效果。

参考文献

- [1] 李小杰, 李琦, 刘畅, 等. 河南烟区烟草根茎类病害调查及病原鉴定[J]. *烟草科技*, 2022, 55(1): 41-47.
LI X J, LI Q, LIU C, et al. Pathogen identification of tobacco rhizomatic diseases in tobacco growing areas of Henan Province[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2022, 55(1): 41-47.
- [2] 于庆涛, 姚廷山. 烟草镰刀菌根腐病研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(17): 34-36.
YU Q T, YAO T S. Advances in tobacco rootrot caused by *Fusarium*[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(17): 34-36.
- [3] 姚晓远. 影响烟草根腐病发生的微生态机制及其调控研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
YAO X Y. Study on the microecological mechanisms and regulation of tobacco root rot[D]. Chongqing: Southwest University, 2019.
- [4] 邱睿, 李小杰, 李成军, 等. 烟草镰刀菌根腐病拮抗细菌的筛选鉴定及促生防病效果[J]. *中国烟草科学*, 2022, 43(6): 31-38.
QIU R, LI X J, LI C J, et al. Screening and identification of antagonistic bacteria against tobacco *Fusarium* root rot and evaluation of their effects on growth promoting and disease control[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2022, 43(6): 31-38.
- [5] 李博. 烟草镰刀菌根腐病发生相关根际微生物分析及生防菌筛选[D]. 郑州: 河南农业大学, 2020.
LI B. Analysis of rhizosphere microorganisms associated with tobacco *Fusarium* root rot and screening of biocontrol microorganism[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2020.
- [6] 刘利佳, 李芳芳, 何雷, 等. 烟草镰刀菌根腐病病原菌的鉴定及其对 5 种杀菌剂的敏感性分析[J]. *河南农业科学*, 2021, 50(7): 101-109.
LIU L J, LI F F, HE L, et al. Pathogen identification of tobacco *Fusarium* root rot and its sensitivity to five fungicides[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2021, 50(7): 101-109.
- [7] 张顺. 烟草“两黑病”的防治措施[J]. *吉林农业*, 2017(4): 89.
ZHANG S. Prevention and control measures for tobacco "Two Black Diseases"[J]. *Jilin agriculture*, 2017(4): 89.
- [8] 姚晨斌. 烟草镰刀菌根腐病生防细菌与真菌的筛选鉴定[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2022.
YAO C X. Screening and identification of biocontrol bacteria and fungi antagonizing *Fusarium* root rot of tobacco[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2022.
- [9] 邱睿, 李小杰, 白静科, 等. 烟草镰刀菌根腐病生防假单胞菌的筛选与鉴定[J]. *中国烟草学报*, 2023, 29(3): 84-93.
QIU R, LI X J, BAI J L, et al. Screening and identification of *Pseudomonas* against *Fusarium* root rot of tobacco[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2023, 29(3): 84-93.
- [10] 王亚月, 贾方方, 李俊营, 等. 烟草黑胫病拮抗菌的筛选鉴定与防病促生作用研究[J]. *中国烟草科学*, 2022, 43(6): 60-67, 75.
WANG Y Y, JIA F F, LI J Y, et al. Screening, identification of a bacterial strain against tobacco black shank and its growth-promoting effects[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2022, 43(6): 60-67, 75.
- [11] 贾孟媛, 王越洋, 唐培培, 等. 烟草黑胫病生防菌的筛选鉴定及其防效[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2023, 49(3): 329-334.
JIA M Y, WANG Y Y, TANG P P, et al. Screening and identification of biocontrol bacteria for tobacco black shank disease and evaluation of the control effect[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2023, 49(3): 329-334.
- [12] 蒋高华, 彭兴华, 李宛晔. 生物有机肥生防菌的应用研究进展[J]. *农业与技术*, 2019, 39(21): 19-20.
JIANG G H, PENG X H, LI W C. Research progress in the application of bio-organic fertilizer biocontrol bacteria[J]. *Agriculture and Technology*, 2019, 39(21): 19-20.
- [13] 谷春艳, 苏贤岩, 杨雪, 等. 解淀粉芽孢杆菌 WH1G 与咪鲜胺协同防治草莓炭疽病[J]. *植物保护*, 2018, 44(2): 184-189.
GU C Y, SU X Y, YANG X, et al. Synergistic effect of antagonistic bacteria WH1G and prochloraz against strawberry anthracnose[J]. *Plant Protection*, 2018, 44(2): 184-189.
- [14] 黄小琴, 刘勇, 张蕾, 等. 烟草青枯病生防芽孢杆菌协同防治药剂的筛选和复配[J]. *农药*, 2015, 54(11): 848-851.
HUANG X Q, LIU Y, ZHANG L, et al. Screening synergistic bactericide combined with bacillus against tobacco bacterial wilt[J]. *Agrochemical*, 2015, 54(11): 848-851.
- [15] 姚晨斌, 李小杰, 李琦, 等. 烟草尖孢镰刀菌拮抗真菌的筛选鉴定及促生作用研究[J]. *中国生物防治学报*, 2021, 37(5): 1066-1072.
YAO C X, LI X J, LI Q, et al. Screening and identification of antagonistic fungal against tobacco *Fusarium oxysporum* and its growth promotion effect[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2021, 37(5): 1066-1072.
- [16] 姚晨斌, 刘畅, 李小杰, 等. 烟草镰刀菌根腐病防治药剂的筛选[J]. *河南农业科学*, 2022, 51(4): 87-94.
YAO C X, LIU C, LI X J, et al. Screening of fungicides for controlling *Fusarium* root rot of tobacco[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2022, 51(4): 87-94.
- [17] 谢立, 贺春萍, 梁艳琼, 等. 枯萎芽孢杆菌 Czk1 与化学杀菌剂协同防治橡胶树根病[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(8): 1625-1633.
XIE L, HE C P, LIANG Y Q, et al. Synergistic effect of fungicides and *Bacillus subtilis* Czk1 against rubber root diseases[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(8): 1625-1633.
- [18] 国家烟草专卖局. 烟草病虫害分级及调查方法: GB/T 23222—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
State Tobacco Monopoly Administration. Grade and investigation method of tobacco diseases and insect pests: GB/T 23222—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [19] 宋敏, 吴翠霞, 张勇, 等. 精甲霜灵·啉菌酯防治花生苗期土传真菌病害效果研究[J]. *农学报*, 2023, 13(1): 6-10.
SONG M, WU C X, ZHANG Y, et al. Efficacy of Metalaxyl-M·fludioxonil-azoxystrobin on controlling soil-borne fungal diseases of peanut seedlings[J]. *Journal of Agriculture*, 2023, 13(1): 6-10.
- [20] 蒋冰心, 盖迪, 陈方新, 等. 大豆疫霉根腐病防治药剂的筛选与复配研究[J]. *安徽农业科学*, 2022, 50(24): 143-145.
JIANG B X, GAI D, CHEN F X, et al. Study on screening of effective fungicides and mixed preparations for controlling soybean phytophthora root and stem rot[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2022, 50(24): 143-145.
- [21] 汪汉成, 张敏, 张之矾, 等. 多菌灵等 5 种杀菌剂对烟草立枯病菌的生物活性[J]. *农药学学报*, 2017, 19(5): 569-575.
WANG H C, ZHANG M, ZHANG Z F, et al. Bioactivities of carbendazim, etc. five fungicides against *Rhizoctonia solani* in tobacco[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2017, 19(5): 569-575.
- [22] 唐若怡, 王柏森, 董纯辛, 等. 棘孢木霉 152-42 诱导多年生黑麦草抗褐斑病的机理初探[J]. *草地学报*, 2023, 31(5): 1314-1321.
TANG R Y, WANG B S, DONG C X, et al. Preliminary study on resistance mechanism of perennial ryegrass induced by *Trichoderma asperellum* 152-42 against brown patch[J]. *Acta Agrestia Sinic*, 2023, 31(5): 1314-1321.
- [23] 郑柯斌, 林海, 周沙, 等. 海洋生境棘孢木霉 TCS007 菌株的鉴定及抑菌活性[J]. *农药学学报*, 2020, 22(5): 801-807.
ZHENG K B, LIN H, ZHOU S, et al. Identification and antifungal activity of marine *Trichoderma asperellum* TCS007[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2020, 22(5): 801-807.