

八种常用农药与蜡蚧轮枝菌 JMC-01 的相容性及对烟粉虱若虫的毒力测定*

谢 婷** 景亮亮 张晓霞 张 英 马 跃 姜 灵 王新谱 贾彦霞***

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘 要 【目的】为明确 8 种常用农药与蜡蚧轮枝菌的相容性及对烟粉虱 *Bemisia tabaci* 若虫的毒力。【方法】该试验采用涂板法和浸渍法分别测定了 8 种常用农药对蜡蚧轮枝菌菌丝生长、孢子萌发和产孢量以及对烟粉虱若虫的 LC_{50} 和共毒系数。【结果】结果表明, 随着农药稀释倍数的增加, 蜡蚧轮枝菌菌丝生长抑制率、孢子萌发抑制率和产孢抑制率依次降低。其中, 生物源农药乙基多杀菌素、藜芦碱、印楝素与蜡蚧轮枝菌的相容性和协同增效作用最好。乙基多杀菌素、藜芦碱、印楝素在 10 倍稀释浓度下, 孢子萌发抑制率分别为 20.02%、16.41%、15.38%; 产孢抑制率分别为 17.77%、15.90%、14.96%; 菌丝生长抑制率分别为 9.96%、8.87%、9.74%。蜡蚧轮枝菌与印楝素、藜芦碱混合后协同增效作用最好, CTC 最大值分别为 315 和 302。【结论】因此, 应用蜡蚧轮枝菌防治烟粉虱, 选择相容性好、共毒系数高的农药以低剂量与蜡蚧轮枝菌复配使用, 可以大幅度减少农药的用量, 对温室大棚烟粉虱的生物防治提供参考依据。**关键词** 农药; 蜡蚧轮枝菌 JMC-01; 烟粉虱; 相容性; 共毒系数

Compatibility of 8 common pesticides with *Lecanicillium lecanii* JMC-01 and the toxicity of different pesticide- *L. lecanii* combinations toxicity to *Bemisia tabaci* nymphs

XIE Ting** JING Liang-Liang ZHANG Xiao-Xia ZHANG Ying
MA Yue JIANG Ling WANG Xin-Pu JIA Yan-Xia***

(Ningxia University Agricultural College, Yinchuan 750021, China)

Abstract [Objectives] To determine the compatibility of eight common pesticides with *Lecanicillium lecanii* JMC-01, and the toxicity of combinations of each pesticide and *L. lecanii* JMC-01 to *Bemisia tabaci* nymphs. [Methods] The effects of each of eight pesticides on the spore germination and sporulation of *L. lecanii*, and their LC_{50} and co-toxicity coefficients with respect to *B. tabaci* nymphs, were tested using the coating and dipping methods. [Results] The growth inhibition rate, spore germination inhibition rate and sporulation inhibition rate of *L. lecanii* decreased with pesticide dilution factor. The bio-pesticide lspineteram, veratrine and azadirachtin were the most compatible and had the best synergistic effect with *L. lecanii*. The inhibition rates of spore germination for 10-fold dilutions of lspineteram, veratrine and azadirachtin were 20.02%, 16.41%, and 15.38%, respectively, and sporulation inhibition rates were 17.77%, 15.90%, and 14.96%, respectively. Mycelial growth inhibition rates for the above pesticides were 9.96%, 8.87%, and 9.74%, respectively. The best synergistic control was achieved using a combination of azadirachtin and veratrine with *L. lecanii*. Maximum CTC was 315 and 302, respectively. [Conclusion] Selecting pesticides that are compatible with *L. lecanii*, and that have a high co-toxicity coefficient at low doses, can significantly reduce the amount of pesticide required to control *B. tabaci* in greenhouses.

Key words pesticide; *Lecanicillium lecanii* JMC-01; *Bemisia tabaci*; compatibility; co-toxicity coefficient

*资助项目 Supported projects: 宁夏自然科学基金项目(2018AAC03038); 宁夏“十三五”重点研发计划重大项目(2018BBF02021-02; 2016BZ09-03)

**第一作者 First author, E-mail: ganxie_2018@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: helenjia_2006@126.com

收稿日期 Received: 2019-05-13; 接受日期 Accepted: 2019-09-12

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)属半翅目 Hemiptera, 粉虱科 Aleyrodidae, 全球范围均有分布, 寄主种类繁多, 主要危害蔬菜, 花卉等。烟粉虱原产于热带、亚热带地区, 随着全球经济贸易传播到世界各地, 给农业生产造成严重的经济损失 (向玉勇等, 2004)。我国有关烟粉虱最早的记载是在 1949 年 (周尧, 1949)。烟粉虱以刺吸式口器刺吸植物汁液, 造成植物萎蔫、黄化、皱缩等症状, 最终影响植物的品质、产量以及观赏价值。目前, 对烟粉虱的有效防控还是以化学农药为主。为了提高农产品的产量和质量, 降低害虫对农药的抗性和农药残留对人类健康的威胁和环境污染, 现亟需开发对环境友好、对非靶标生物安全、不易产生抗药性等特点的防治措施。昆虫病原真菌作为生物防治的方法之一, 已成为国内外专家的研究热点, 例如, 白僵菌 (赵东容, 2018)、绿僵菌 (王慧, 2013)、蜡蚧轮枝菌 (陈宇平等, 2010)、玫瑰色棒束孢 (念晓歌等, 2014) 等对农业害虫的防治有大量研究。

昆虫病原真菌是最早被鉴定为昆虫病原的微生物 (Ghaffari *et al.*, 2017), 作为一种可开发为环境友好型生物农药的重要资源, 已被开发为防治粉虱、蚜虫、木虱、白蚁、蚊虫等害虫的商业生物防治剂 (Keppanana *et al.*, 2018)。蜡蚧轮枝菌 *Lecanicillium lecanii* 属于半知菌类, 是一种优良的昆虫病原真菌, 寄主范围广泛, 对

蚜虫类 (刘浩等, 2012; 蔡春霞等, 2018)、蓟马 (黄鹏等, 2006)、烟粉虱 (王联德等, 2006; 洪慧金等, 2011)、蚧虫类 (袁盛勇等, 2016) 等有良好的寄生作用。但是由于其防效慢、受环境因素的限制等问题, 都影响了昆虫病原真菌在生产实际中的应用效果。为此, 将昆虫病原真菌与杀虫剂复配进行防治害虫, 既能减少农药的用量也能加快防效速度。本试验通过浸渍法和培养皿法, 测定了常用杀虫剂与蜡蚧轮枝菌的相容性及其对烟粉虱若虫的室内毒力, 以期在减肥减药等背景下, 昆虫病原真菌在病虫害的防控中发挥更大的作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株: 蜡蚧轮枝菌 JMC-01, 2017 年 5 月分离自宁夏银川军马场 (N 38°33', E 106°08') 温室大棚罹病烟粉虱体上。JMC-01 菌株通过 ITS 核苷酸序列鉴定, GenBank 号为 MH312006 (姜灵, 2018), 菌株现保藏于中国典型培养物保藏中心 (CCTCC NO: M2018303), 专利号为 201811310451.X。

供试虫源: 宁夏银川军马场 (N 38°33', E 106°08') 温室大棚番茄 (碧娇) 植株上。

供试杀虫剂: 见表 1。

表 1 供试农药种类信息			
Table 1 Information of chemical insecticides tested			
供试药剂 Pesticide tested	农药类别 Category	浓度 (mg/L) Concentration	生产厂家 Manufacturers
10%氯噻啉可湿性粉剂 10% imidaclothiz WP	新烟碱类 Neonicotinoid insecticides	50	南通江山 Nantong Jiangshan
60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 60 g/L spinetoram FF		20	陶氏益农 Dow AgroSciences
50%吡蚜酮水分散粒剂 50% pymetrozine WG	多杀菌素类 Spinetoram insecticides	200	先正达 Syngenta
0.3%藜芦碱可溶液剂 0.3% veratrine AY	吡啶类 Pyridine insecticides	12.5	山东赛德 Shandong Saide
0.5%印楝素乳油 0.5% azadirachtin EC	植物源类 Botanical insecticides	0.6	成都绿金 Chengdu Lvjun
22.4%螺虫乙酯悬浮剂 22.4% spirotetramat SC	植物源类 Botanical insecticides	147	拜耳 Bayer
20%噻虫胺悬浮剂 20% clothianidin SC	季酮酸类化合物 Tetronic acid derivatives	60	江苏辉丰 Jiangsu Huifeng
5%甲维盐水分散粒剂 5% emamectin WG	新烟碱类 Neonicotinoid insecticides	4.17	河北冠龙 Hebei Guanlong

1.2 试验方法

1.2.1 孢子萌发的测定 用含 $w=0.05\%$ 吐温 80 无菌水充分洗脱蜡蚧轮枝菌, 用恒温振荡器 (上海跃进 92B 台式恒温振荡器) 混匀, 制成浓度为 1×10^7 孢子/mL 的孢子悬浮液。利用孢子悬浮液将杀虫剂配成田间推荐使用浓度、5 倍稀释浓度 (在田间推荐使用浓度基础上稀释) 和 10 倍稀释浓度 (在田间推荐使用浓度基础上稀释), 并以不含药剂的孢子悬浮液作为对照, 分装至 1.5 mL 离心管中, 各处理 5 个重复。摇床 (上海博迅 THZ-92B 气浴恒温振荡器) 震荡 24 h 后, 观察其孢子萌发量, 计算孢子萌发抑制率。

孢子萌发抑制率=

$$\frac{\text{对照组孢子萌发数} - \text{处理组孢子萌发数}}{\text{对照组孢子萌发数}} \times 100\%。$$

1.2.2 菌丝生长的测定 吸取 100 μL 杀虫剂于 PDA 培养基上制成含毒平板, 取 20 μL 孢子悬浮液置于含毒平板中央, 以不含毒 PDA 平板作为对照, 培养 10 d, 计算菌丝生长抑制率。

菌丝生长抑制率=

$$\frac{\text{对照组菌落平均直径} - \text{处理组菌落平均直径}}{\text{对照组菌落平均直径}} \times 100。$$

1.2.3 产孢量的测定 用 0.5 cm 的打孔器在 1.2.2 的培养基菌落上打 2 个菌饼, 把菌饼放入含 $w=0.05\%$ 吐温 80 无菌水中充分洗脱孢子, 恒温振荡器 (上海跃进 92B 台式恒温振荡器) 充分混匀, 纱布过滤后, 血球计数板 (上海求精) 计数, 计算产孢抑制率。

产孢抑制率=

$$\frac{\text{对照组产孢量} - \text{处理组产孢量}}{\text{对照组产孢量}} \times 100。$$

1.2.4 8 种农药与蜡蚧轮枝菌对烟粉虱若虫的室内毒力测定 利用含 $w=0.05\%$ 吐温 80 无菌水将每种药剂配置成 5 个浓度梯度。藜芦碱配置浓度为 4、8、12、20 和 32 mg/L; 噻虫胺配置浓度为 25、35、60、95 和 155 mg/L; 螺虫乙酯配置浓度为 50、90、140、230 和 370 mg/L; 氯噻啉配置浓度为 20、30、50、80 和 130 mg/L; 乙基多杀菌素配置浓度为 5、15、20、35 和 55 mg/L; 甲维盐配置浓度为 1、3、4、7 和 11 mg/L; 吡蚜

酮配置浓度为 80、120、200、320 和 520 mg/L; 印楝素配置浓度为 0.2、0.4、0.6、1.0 和 1.6 mg/L。取带有烟粉虱若虫的番茄叶片, 每个叶片保留 30 头 2-3 龄若虫, 浸泡 10 s, 用保湿棉球包住叶柄, 置于培养皿 ($\phi=90$ mm) 中, 于光照培养箱 (上海跃进 RQX-250 智能人工气候箱) (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 80%, L:D=14:10 下培养 48 h, 记录若虫死亡数, 计算 LC_{50} 。

用同样方法将蜡蚧轮枝菌配制成浓度为 1×10^8 、 1×10^7 、 1×10^6 、 1×10^5 和 1×10^4 孢子/mL, 测定其对烟粉虱若虫的毒力, 方法同上。

1.2.5 3 种生物源农药与蜡蚧轮枝菌对烟粉虱的联合毒力 将 1×10^7 孢子/mL 的蜡蚧轮枝菌与 3 种生物源农药藜芦碱、印楝素、乙基多杀菌素 (分别设置 3 个浓度, 每个浓度各稀释 5 倍和 10 倍计算其共毒系数) 以体积比 1:1 混合, 浸液法测定对烟粉虱若虫的致病力, 方法同上。培养 5 d 后记录死虫数, 计算 LC_{50} 、置信区间、毒力回归方程及共毒系数。

$$\text{毒力指数 (TI)} = \frac{\text{标准药剂的LC}_{50}}{\text{供试药剂的LC}_{50}} \times 100;$$

$$\text{混合药剂的毒力指数 (ATI)} =$$

$$\frac{\text{标准药剂的LC}_{50}}{\text{混合药剂的LC}_{50}} \times 100;$$

混剂理论毒力指数 (TTI) = $\text{TI}(\text{a}) \times \text{a}$ 在混剂中所占比例 + $\text{TI}(\text{b}) \times \text{b}$ 在混剂中所占比例;

共毒系数 (CTC) =

$$\frac{\text{混剂实际毒力指数ATI}}{\text{混剂理论毒力指数TTI}} \times 100。$$

1.3 数据处理

试验数据利用 Excel 2010 和 DPS 7.05 软件进行统计分析, Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 8 种农药对蜡蚧轮枝菌孢子萌发的影响

随着农药稀释倍数增加, 其对蜡蚧轮枝菌的孢子萌发抑制率逐渐减小, 各处理间存在显著差异 (表 2)。

表 2 8 种农药对蜡蚧轮枝菌孢子萌发的影响
Table 2 Effect of 8 pesticides on spore germination of *Lecanicillium lecanii*

杀虫剂 Insecticide	孢子萌发抑制率(%) Inhibition rate of spore germination (%)		
	1c	0.2c	0.1c
藜芦碱 Veratrine	60.78±1.03Fa	48.92±0.89Eb	16.41±0.89Ec
螺虫乙酯 Spirotetramat	64.91±0.51Ea	54.59±1.03CDb	21.05±1.55Dc
乙基多杀菌素 Spinetoram	68.52±0.52Da	50.98±2.25DEb	20.02±0.52Dc
印楝素 Azadirachtin	70.07±0.52CDa	42.73±3.22Fb	15.38±0.52Ec
氯噻啉 Imidaclothiz	72.14±0.89Ca	58.72±1.86BCb	44.27±0.89ABc
噻虫胺 Clothianidin	68.00±1.37Da	53.04±0.52DEb	42.21±1.36Bc
吡蚜酮 Pymetrozine	80.91±0.51Aa	65.94±0.89Ab	45.82±0.89Ac
甲维盐 Emamectin	75.23±0.89Ba	62.85±0.89ABb	38.59±0.52Cc

1c: 推荐浓度; 0.2c: 5 倍稀释浓度; 0.1c: 10 倍稀释浓度。表中数据为平均数±标准误, 同列数据后标有不同大写字母及同行数据后标有不同小写字母间表示在 0.05 水平的差异显著。下表同。
1c: Recommended concentration; 0.2c: 5-fold dilution concentration; 0.1c: 10-fold dilution concentration. Data in the table are mean ± SE, and followed by different uppercase letters in the same column and lowercase letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level, respectively. The same below.

在田间推荐浓度下, 每种农药对蜡蚧轮枝菌孢子萌发抑制率最高, 均在 60%以上。在 5 倍稀释浓度下, 吡蚜酮和甲维盐的抑制率最高, 在 60%以上, 其中印楝素和藜芦碱的抑制率分别为 42.73%和 48.92%。在 10 倍稀释浓度下, 吡蚜酮、氯噻啉、噻虫胺、甲维盐的抑制率较高在 38.59%-45.82%之间, 其余药剂抑制率均较低在 15.38%-21.05%之间。

2.2 8 种农药对蜡蚧轮枝菌产孢量的影响

随着农药稀释倍数增加, 其对蜡蚧轮枝菌的

产孢抑制率逐渐减小, 各处理间存在显著差异(表 3)。

在田间推荐浓度下, 吡蚜酮对蜡蚧轮枝菌产孢抑制率最高, 为 70.10%, 其余药剂的抑制率均在 50%以上。在 5 倍稀释浓度下, 吡蚜酮的抑制率最高, 为 57.95%, 其余药剂抑制率均在 35%以上。在 10 倍稀释浓度下, 吡蚜酮、氯噻啉、噻虫胺、甲维盐的抑制率较高在 30.85%-44.86%之间, 乙基多杀菌素、螺虫乙酯、藜芦碱、印楝素抑制率均较低, 分别为 17.77%、17.76%、15.90%、14.96%。

表 3 8 种农药对蜡蚧轮枝菌产孢量的影响
Table 3 Effect of 8 pesticides on sporulation of *Lecanicillium lecanii*

杀虫剂 Insecticide	产孢抑制率(%) Inhibition rate of sporulation (%)		
	1c	0.2c	0.1c
藜芦碱 Veratrine	52.27±0.93Da	40.19±2.47EFb	15.90±1.62Dc
螺虫乙酯 Spirotetramat	61.68±0.93BCa	45.80±0.93CDb	17.76±2.47Dc
乙基多杀菌素 Spinetoram	57.95±1.62CDa	35.52±1.62Fb	17.77±0.93Dc
印楝素 Azadirachtin	61.69±2.47BCa	41.13±1.62DEb	14.96±2.47Dc
氯噻啉 Imidaclothiz	62.62±1.87ABCa	50.47±0.93BCb	40.19±4.07ABc
噻虫胺 Clothianidin	63.55±1.62ABCa	51.40±2.47Bb	37.39±2.47Bc
吡蚜酮 Pymetrozine	70.10±4.67Aa	57.95±1.62Ab	44.86±0.93Ac
甲维盐 Emamectin	67.29±3.37ABa	40.19±0.94EFb	30.85±2.47Cc

2.3 8 种农药对蜡蚧轮枝菌菌丝生长的影响

随着农药稀释倍数增加,其对蜡蚧轮枝菌的菌丝生长抑制率逐渐减小,各处理间存在显著差异(表4)。

在田间推荐浓度下,吡蚜酮对蜡蚧轮枝菌产孢抑制率最高,为37.23%,其余药剂的抑制率均在25%以上。在5倍稀释浓度下,噻虫胺的抑制率最高,在28.14%以上,其余药剂抑制率均在20%以上。在10倍稀释浓度下,吡蚜酮、氯噻啉、甲维盐、噻虫胺、螺虫乙酯,抑制率在21.21%-11.69%之间,其中乙基多杀菌素、印楝素和藜芦碱抑制率最低,分别为、9.96%、9.74%和8.87%。

2.4 8 种农药与蜡蚧轮枝菌对烟粉虱若虫的室内毒力测定

通过对8种常用农药与蜡蚧轮枝菌对烟粉虱若虫的室内毒力测定可以看出印楝素的LC₅₀最低为0.90,其次是甲维盐、藜芦碱和乙基多杀菌素(表5)。

2.5 3 种生物源农药与蜡蚧轮枝菌的室内联合毒力

根据表2、表3和表4的研究,选择相容性较好的3种生物源农药进行毒力测定。由表6可以看出,3种药剂与蜡蚧轮枝菌以不同浓度混合使用后,LC₅₀均小于单独药剂,共毒系数均大于

表 4 8 种农药对蜡蚧轮枝菌菌丝生长的影响
Table 4 Effect of 8 pesticides on mycelial growth of *Lecanicillium lecanii*

杀虫剂 Insecticide	菌丝生长抑制率(%) Inhibition rate of mycelial growth (%)		
	1c	0.2c	0.1c
藜芦碱 Veratrine	32.64±0.90Ba	22.73±0.99Db	8.87±1.15Bc
螺虫乙酯 Spirotetramat	34.85±0.57ABa	22.30±0.22Db	11.69±1.50Bc
乙基多杀菌素 Spinetoram	34.85±0.21ABa	25.33±0.99BCb	9.96±0.22Bc
印楝素 Azadirachtin	25.97±0.38Ca	21.86±0.22Db	9.74±0.37Bc
氯噻啉 Imidaclothiz	37.01±0.75Aa	23.60±0.57CDb	20.56±0.94Ac
噻虫胺 Clothianidin	36.58±0.57Aa	28.14±0.43Ab	18.40±1.62Ac
吡蚜酮 Pymetrozine	37.23±1.42Aa	25.76±0.78Bb	21.21±1.15Ac
甲维盐 Emamectin	34.85±0.78ABa	22.73±0.38Db	19.70±0.57Ac

表 5 8 种杀虫剂与蜡蚧轮枝菌对烟粉虱若虫的毒力测定
Table 5 Determination of virulence of 8 pesticides and *Lecanicillium lecanii* on the nymphs of *Bemisia tabaci*

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	相关系数 Coefficient correlation (r)	LC ₅₀ (mg/L)	95%置信区间 95% confidence interval
JMC-01	y=3.21x+0.30	0.996 6	6.30	1.60×10 ⁶ – 6.22×10 ⁷
藜芦碱 Veratrine	y=3.71x+1.69	0.948 5	5.81	4.914 3 – 6.863 1
氯噻啉 Imidaclothiz	y=0.57x+2.68	0.961 1	30.00	26.512 1 – 33.805 8
吡蚜酮 Pymetrozine	y=1.03x+1.74	0.954 3	193.81	164.762 3 – 227.981 4
噻虫胺 Clothianidin	y=2.43x+1.70	0.969 1	32.44	27.491 0 – 38.303 4
螺虫乙酯 Spirotetramat	y=0.12x+2.36	0.932 0	117.82	102.286 4 – 135.723 3
乙基多杀菌素 Spinetoram	y=2.76x+1.74	0.954 4	19.38	16.482 4 – 22.793 2
印楝素 Azadirachtin	y=5.12x+2.68	0.954 7	0.90	0.798 8 – 1.024 5
甲维盐 Emamectin	y=4.18x+1.42	0.909 8	3.81	3.122 1 – 4.653 9

表 6 3 种生物源农药与蜡蚧轮枝菌对烟粉虱若虫的联合毒力

Table 6 The combined toxicity of 3 biogenic pesticides and *Lecanicillium lecanii* on the nymphs of *Bemisia tabaci*

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	相关系数 Coefficient correlation (r)	LC ₅₀ (mg/L)	95%置信区间 95% confidence interval	共毒系数 CTC
JMC-01	$y=3.21x+0.30$	0.996 6	6.30	$1.60 \times 10^6 - 6.22 \times 10^7$	—
藜芦碱 Veratrine	$y=3.71x+1.69$	0.948 5	5.81	4.914 3 – 6.863 1	—
Veratrine +JMC-01(3 : 10 ⁷)	$y=4.64x+1.26$	0.998 9	2.00	1.364 3 – 2.656 3	302
Veratrine +JMC-01(6 : 10 ⁷)	$y=4.47x+1.19$	0.976 5	2.80	2.068 7 – 3.786 1	215
Veratrine +JMC-01(9 : 10 ⁷)	$y=3.99x+2.21$	0.973 9	2.85	2.403 1 – 3.389 2	212
乙基多杀菌素 Spinetoram	$y=2.76x+1.74$	0.954 4	19.38	16.482 4 – 22.793 2	—
Spinetoram+JMC-01(15 : 10 ⁷)	$y=4.84x+0.30$	0.939 8	3.29	0.699 3 – 15.513 6	289
Spinetoram +JMC-01(30 : 10 ⁷)	$y=4.60x+0.76$	0.954 3	3.38	1.242 7 – 9.223 8	281
Spinetoram+JMC-01(45 : 10 ⁷)	$y=3.93x+1.44$	0.999 1	5.49	3.004 1 – 10.030 1	173
印楝素 Azadirachtin	$y=5.12x+2.68$	0.954 7	0.90	0.798 8 – 1.024 5	—
Azadirachtin+JMC-01(0.3 : 10 ⁷)	$y=5.06x+0.21$	0.992 3	0.50	0.010 7 – 22.952 6	315
Azadirachtin +JMC-01(0.9 : 10 ⁷)	$y=5.47x+1.63$	0.993 4	0.51	0.400 7 – 0.655 6	308
Azadirachtin +JMC-01(1.2 : 10 ⁷)	$y=5.81x+2.90$	0.973 2	0.53	0.458 3 – 0.607 3	297

120, 说明菌药混合均具有协同增效作用。而且可以明显看出同一种药剂随着药浓度的增加, 共毒系数逐渐减小, 说明药剂浓度过高, 不利于增效作用。

印楝素和蜡蚧轮枝菌以体积比为 1 (0.3 mg/L) : 1 (10⁷ cfu/mL) 混合后, CTC 为 315, 而且印楝素和蜡蚧轮枝菌以 1 (0.9 mg/L) : 1 (10⁷ cfu/mL) 和 1 (1.2 mg/L) : 1 (10⁷ cfu/mL) 混合后, CTC 分别为 308 和 297, 说明印楝素在 0.3-1.2 mg/L 之间的浓度范围之内与蜡蚧轮枝菌均有很好的协同增效作用; 藜芦碱和蜡蚧轮枝菌 1 (3 mg/L) : 1 (10⁷ cfu/mL) 混合后, CTC 为 302, 增效作用最明显。其次为乙基多杀菌素, 最高 CTC 为 289。

3 结论与讨论

在农业生产上, 病虫害的防治是个关键问题。迄今为止, 喷洒化学农药仍是防治病虫害的主要手段。但是农药的大量使用会产生“3R”问题, 为此亟需环境友好型的防治方法来辅助或者替代。目前, 国内外学者对于化学农药与病原真菌复配进行防治害虫已经做了大量研究。诸多学者研究了球孢白僵菌与化学农药的相容性, 并

且分别筛选出了与球孢白僵菌相容性较好的化学农药, 为以后的生防提供参考(顾丽端等, 2008; 曹伟平等, 2016; 范晓杰等, 2017; 姜灵等, 2018)。谷祖敏等(2006)及姜灵(2018)研究了蜡蚧轮枝菌与化学农药的相容性, 分别得出植物源农药与蜡蚧轮枝菌的相容性较好和化学农药对蜡蚧轮枝菌的抑制率较大的结论。本实验可知, 生物源农药乙基多杀菌素、藜芦碱、印楝素与蜡蚧轮枝菌 JMC-01 菌丝生长抑制率、产孢抑制率、孢子萌发抑制率是最小的, 并且随着杀虫剂稀释浓度越大, 其抑制率越小。这与熊琦等(2012)、王慧(2013)、林晓婷(2017)的研究相一致。在杀虫剂 10 倍稀释浓度下, 乙基多杀菌素、藜芦碱、印楝素对蜡蚧轮枝菌孢子萌发抑制率、产孢抑制率、菌丝生长抑制率均是最小的。由此可知, 10 倍稀释浓度下的 3 种生物源农药与蜡蚧轮枝菌的相容性较好。

昆虫病原真菌与杀虫剂复配的主要目的是为了提高杀虫速率, 快速有效控制田间虫口密度, 同时减少农药残留和污染(王峰等, 2017)。本实验测定了 3 种生物源农药与蜡蚧轮枝菌的室内毒力, 由表 6 可知, 印楝素和藜芦碱与蜡蚧轮枝菌复配后的协同增效作用是最好的; 其中以

最低浓度与蜡蚧轮枝菌复配后对烟粉虱若虫的 CTC 均高于 300, 表明印楝素和藜芦碱与蜡蚧轮枝菌复配使用具有良好的协同增效作用。由此可见, 经过对药剂和药剂浓度的选择, 与昆虫病原真菌复配使用, 可以大幅度降低农药的用量并加速蜡蚧轮枝菌的杀虫作用。

参考文献 (References)

- Cao WP, Song J, Zhao JJ, Feng SL, Du LX, 2016. Compatibility of *Beauveria bassiana* with 11 chemical fungicides under laboratory conditions. *Chinese Journal of Biological Control*, 32(6): 749–755. [曹伟平, 宋健, 赵建江, 冯书亮, 杜立新, 2016. 球孢白僵菌与 11 种新型化学杀菌剂的相容性评价. 中国生物防治学报, 32(6): 749–755.]
- Cai CX, Li MY, Chen DX, Pan J, Liu MK, Qi YZ, Xiao LN, Ren CY, Diao VQ, Xu CT, Shen XX, Deng SY, 2018. Biological characteristics of eight *Verticillium lecanii* and their effects on the pathogenicity against *Myzus persicae* aphids, 2018. *Chinese Tobacco Science*, 39(5): 86–93. [蔡春霞, 李茂业, 陈德鑫, 潘敬, 刘明科, 齐禹哲, 肖丽娜, 任春燕, 刁朝强, 徐涛涛, 沈祥祥, 邓双跃, 2018. 八株蜡蚧轮枝菌的生物学特性及其对烟蚜致病性的影响. 中国烟草科学, 39(5): 86–93.]
- Chen YP, Zhang HY, Zhang L, 2010. Toxicity determination of *Lecanicillium lecanii* strain Bj085-1 against *Bemisia tabaci*. *China Plant Protection Guide*, 30(11): 5–9. [陈宇平, 张红艳, 张龙, 2010. 蜡蚧轮枝菌 (*Lecanicillium lecanii*)Bj085-1 菌株对烟粉虱的毒力测定. 中国植保导刊, 30(11): 5–9.]
- Fan XJ, Wang Y, Li XL, Zhou XH, Zhang SC, Zhuang QY, Yu Y, 2017. Compatibility of *Beauveria bassiana* with five pesticides and their cotoxicity to *Bradysia odoriphaga*. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(4): 496–503. [范晓杰, 王琰, 李晓莉, 周仙红, 张思聪, 庄乾营, 于毅, 2017. 球孢白僵菌与 5 种农药的相容性及其对韭菜迟眼蕈蚊的联合毒力. 中国生物防治学报, 33(4): 496–503.]
- Jiang L, 2018. Biological characteristics of *Lecanicillium lecanii* and synergistic with insecticides to *Bemisia tabaci*. Master dissertation. Ningxia: Ningxia University. [姜灵, 2018. 蜡蚧轮枝菌的生物学特性及常用杀虫剂对烟粉虱的协同作用. 硕士学位论文. 宁夏: 宁夏大学.]
- Jiang L, Hong B, Wang XP, Jia YX, 2018. Compatibility of chemical pesticides with *Beauveria bassiana* and synergistic control effect on *Trialeurodes vaporariorum*. *Plant Protection*, 44(1): 199–204. [姜灵, 洪波, 王新谱, 贾彦霞, 2018. 常用杀虫剂与球孢白僵菌的相容性及对温室白粉虱的协同防效. 植物保护, 44(1): 199–204.]
- Hong HJ, Yang YH, Wang LD, 2011. Repellence and feeding deterrence of *Verticillium lecanii* toxic-VIII against *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(1): 60–64. [洪慧金, 杨艺华, 王联德, 2011. 蜡蚧轮枝菌毒素 VIII 对烟粉虱的忌避与拒食活性. 应用昆虫学报, 48(1): 60–64.]
- Huang P, Yu DY, Yao JA, Huang MX, 2006. Correlation between biological characteristics of *Lecanicillium lecanii* and the virulence against *Gynaikothrips ficorum*. *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci.)*, 44(11): 172–176. [黄鹏, 余德亿, 姚锦爱, 黄梦雪, 2006. 蜡蚧轮枝菌生物学特性及其与榕母管蓟马毒力的相关性. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 44(11): 172–176.]
- Keppanana R, Sivaperumalf R, Hussaina M, Dash KC, Bamisile BS, Qasim M, 2018. Investigation and molecular docking studies of *Bassianolide* from *Lecanicillium lecanii* against *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 206/207: 65–72.
- Ghaffari S, Karimi J, Kamali S, Moghadam EM, 2017. Biocontrol of *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) by *Lecanicillium longisporum* and *Lecanicillium lecanii* under laboratory and greenhouse conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2): 605–612.
- Gu LQ, Li CJ, Lin Y, 2008. Compatibility of nine common chemicals with *Beauveria Bassiana*. *Journal of Tangshan Teachers College*, 30(2): 48–50. [顾丽端, 李春香, 林杨, 2008. 九种化学药剂与球孢白僵菌相容性的研究. 唐山师范学院学报, 30(2): 48–50.]
- Gu ZM, Li L, Ji MS, Cheng GW, Wang YZ, 2006. Compatibility of six common pesticides with *Beauveria bassiana* and *Verticillium lecanii*. *Agrochemicals*, 45(5): 325–326. [谷祖敏, 李璐, 纪明山, 程根武, 王英姿, 2006. 6 种常用农药与球孢白僵菌和蜡蚧轮枝菌的相容性. 农药, 45(5): 325–326.]
- Liu H, Zhang L, Zhang ZS, 2012. In-door toxicity and chemicals sensitivity of *Verticillium lecanii* on *Aphis sp.* on *Lycium chinense*. *China Vegetables*, (4): 87–90. [刘浩, 张龙, 张宗山, 2012. 蜡蚧轮枝菌对枸杞蚜虫的室内毒力和常用药剂敏感性测定. 中国蔬菜, (4): 87–90.]
- Lin XT, 2017. Study on the pathogenicity of *Beauveria bassiana* to *Gynaikothrips ficorum*. Master dissertation. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University. [林晓婷, 2017. 球孢白僵菌对榕母管蓟马的致病性研究. 硕士学位论文. 福建: 福建农林大学.]
- Nian XG, Lü LH, He YR, Zhang W, Xie MQ, 2014. Compatibility of thirteen common pesticides with *Isaria fumosorosea* SCAU-IFCF01. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(2): 210–215. [念晓歌,

- 吕利华, 何余容, 张伟, 谢梅琼, 2014. 13 种常用农药和玫烟色棒束孢 SCAU-IFCF01 的相容性研究. 中国生物防治学报, 30(2): 210–215.]
- Wang F, Zheng PF, Nong XQ, Wang GJ, Cao GC, Zhang ZH, 2017. Synergistic effect of *Beauveria bassiana* and three pesticides on *Lipaphis erysimi*. *Chinese Journal of Biological Control*, 33(6): 752–759. [王峰, 郑鹏飞, 农向群, 王广君, 曹广春, 张泽华, 2017. 球孢白僵菌与三种农药对萝卜蚜的协同防治效果. 中国生物防治学报, 33(6): 752–759.]
- Wang H, 2013. Pathogenicity and application of different strains of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* to nymphal nymphs. Master dissertation. Anhui: Anhui Agricultural University. [王慧, 2013. 绿僵菌和白僵菌不同菌株对烟粉虱若虫的致病力及应用研究. 硕士学位论文. 安徽: 安徽农业大学.]
- Wang LD, Huang J, Liu B, 2006. Assessment of the control effectiveness of insecticidal toxins from *Verticillium lecanii* on the population of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in greenhouse. *Acta Ecologica Sinica*, 26(2): 391–398. [王联德, 黄建, 刘波, 2006. 蜡蚧轮枝菌毒素对温室中烟粉虱种群控制作用的评价. 生态学报, 26(2): 391–398.]
- Xiong Q, Wang X, Zhu YM, Cao TW, Xue JL, 2012. Compatibility of seven chemical pesticides with *Beauveria bassiana* strain TST05. *Plant Protection*, 38(3): 108–112. [熊琦, 王旭, 朱永敏, 曹天文, 薛皎亮, 2012. 七种化学杀虫剂与球孢白僵菌 TST05 菌株的相容性研究. 植物保护, 38(3): 108–112.]
- Xiang YY, Li ZZ, Zhang F, Luo C, 2004. Progress of study on *Bemisia tabaci* (Gennadius) and *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 23(4): 352–359. [向玉勇, 李子忠, 张帆, 罗晨, 2004. 烟粉虱和温室粉虱的研究进展. 山地农业生物学, 23(4): 352–359.]
- Yuan SY, Yan PF, Kong Q, Deng YL, Zhang HR, Liu ZX, He HF, 2016. Study on virulence of *Verticillium lecanii* against *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *Journal of Environmental Entomology*, 38(4): 748–754. [袁盛勇, 闫鹏飞, 孔琼, 邓裕亮, 张宏瑞, 刘正喜, 何红飞, 2016. 蜡蚧轮枝菌对扶桑绵粉蚧的致病性研究. 环境昆虫学报, 38(4): 748–754.]
- Zhou Y, 1949. Chinese whitefly directory. *Chinese Entomology*, 3(4): 1–18. [周尧, 1949. 中国粉虱名录. 中国昆虫学, 3(4): 1–18.]
- Zhao DR, 2018. Application of *Beauveria bassiana* in the control of agricultural and forestry pests. *Hubei Plant Protection*, (1): 53–55. [赵东容, 2018. 白僵菌在农林害虫防治中的应用. 湖北植保, (1): 53–55.]