

几种农药对玫烟色拟青霉致病力的影响

黄 振, 任顺祥, 吴建辉, 黄 涛

(教育部生物防治工程研究中心, 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:玫烟色拟青霉孢子粉与8种常用农药相容性的测定结果显示:普力克、啶虫脒、高效氯氰菊酯和吡虫啉4种农药与玫烟色拟青霉的相容性较好,在常规使用浓度下孢子的萌发率均在75%以上;随着培养液中三唑酮、百菌清和阿维菌素浓度的增加,玫烟色拟青霉分生孢子的萌发率下降。在第10 d,农药与玫烟色拟青霉的3种混合物中高效氯氰菊酯对3龄小菜蛾、啶虫脒对3龄蚜虫和吡虫啉对2龄烟粉虱的致死率分别为90.43%、92.34%和93.72%,但阿维菌素与玫烟色拟青霉的混合物对3龄小菜蛾的致死率仅为64.24%,与单独使用玫烟色拟青霉的致死率87.35%相比差异显著。因此,啶虫脒、高效氯氰菊酯和吡虫啉3种农药在常规使用浓度下可与玫烟色拟青霉混合使用。在使用玫烟色拟青霉3 d后喷施普力克和百菌清对2龄烟粉虱的防治效果没有影响,但喷施杀毒虱与三唑酮对2龄烟粉虱的致死率分别为39.37%和43.31%。

关键词:玫烟色拟青霉; 化学杀虫剂与杀菌剂; 生物相容性

中图分类号:S432.4

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2008)03-0016-05

Effect of Pesticides on Infectious Activity of *Paecilomyces fumosoroseus*

HUANG Zhen, REN Shun-xiang, WU Jian-hui, HUANG Tao

(Engineering Research Center of Biological Control, Ministry of Education,

College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The compatibility of *Paecilomyces fumosoroseus* with 8 widely used pesticides was investigated by using 24 h liquid culturing in 0.1 – 1.0 fold concentrations of recommendation for field spray. The results showed that four pesticides, including propamocarb, beta-cypermethrin, acetamiprid and imidacloprid, exhibited the high compatibility with *P. fumosoroseus* having germination rates exceeding 75%, inhibitory effects of triadimefon, chlorothalonil, abamectin on the germination of *P. fumosoroseus* conidia increased with the pesticide concentrations increased. There were no effects of beta-cypermethrin, acetamiprid and imidacloprid on infectious mortality of *P. fumosoroseus* in 10 d after treatment with the mortality of 90.43% on the 3rd instar of *Plutella xylostella*, 92.34% on the 3rd instar of *Myzus persicae* and 93.72% on the 2nd instar of *Bemisia tabaci*, respectively. When mixed together, the inhibitory effects of abamectin were observed on infectious activity of *P. fumosoroseus* against the 3rd instar of *P. xylostella* with mortality of 64.24%, significantly lower than *P. fumosoroseus* with mortality of 87.35%. No effects of propamocarb and chlorothalonil on infectious activity of *P. fumosoroseus* against the 2nd instar of *B. tabaci* was observed in 10 d after treatment, when fungicides were sprayed after *P. fumosoroseus* used 3 d later, while sandofan and triadimefon exhibited the negative effects when against the 2nd instar of *B. tabaci* with mortality of 39.37% and 43.31%, respectively.

Key words: *Paecilomyces fumosoroseus*; chemical insecticides and fungicides; biological compatibility

收稿日期:2007-12-27

作者简介:黄 振(1970—),男,博士; 通讯作者:任顺祥(1957—),男,教授,博士,E-mail: rensxcn@yahoo.com.cn

基金项目:国家973项目(2006CB102005);华南农业大学校长基金(2006K047)

玫烟色拟青霉 *Paecilomyces fumosoroseus* 是一种重要的昆虫病原真菌,能寄生多种昆虫,包括同翅目(褐飞虱 *Sogatella furcifera* Horvath、粉虱 *flies*、蚜虫 *aphids*)、鳞翅目(云尺蛾 *Buzura thibetaria* Oberthur)、双翅目(家蝇 *Musca domestica* Domestica)、鞘翅目、膜翅目等,同时也是土壤分离物中的常见菌种之一^[1]。广泛分布于热带、亚热带地区以及温带的温室内,并可在自然生境和农业生态系统的粉虱种群中形成流行病^[2-3]。20世纪80年代末,玫烟色拟青霉在墨西哥、比利时等国已作为微生物杀虫剂,用于防治温室或大田作物上的烟粉虱^[4-5]。20世纪90年代以来,在国外有关玫烟色拟青霉分离鉴定、培养性状、代谢产物、遗传变异、致病性测定、应用等方面的研究报告^[6-8]显著增多。美国 and 欧洲正致力于开发一种能适用于防治温室和大田中烟粉虱的芽孢子或芽孢子菌丝体制剂^[4-5]。在我国,关于玫烟色拟青霉高致病菌株的筛选^[9-11]及该菌对菜青虫 *Artogeia rapae* L.^[12]、温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)^[13]、烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennius)^[14-16]的防治方面均有报道。玫烟色拟青霉在菌株筛选与大田应用过程中暴露出杀虫速度较慢、易受环境条件影响等缺点,为了充分发挥其应用潜力,该菌与化学农药的混配、剂型的选择等方面的研究^[15-16]已有报道。有研究表明低剂量的吡虫啉与玫烟色拟青霉混合后能提高杀虫效果^[15-16],可取得较好的经济效益和生态效益。开展化学农药与杀虫剂相容性研究是为了开发复配制剂,充分发挥虫生真菌在大田中的应用潜力,避免因与不相容的化学农药混合使用而降低药效。本研究通过评价目前常用的8种农药对玫烟色拟青霉分生孢子的活力、菌落生长和药效的影响,为合理开发及应用玫烟色拟青霉制剂和大规模的田间应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌株孢子粉的培养 玫烟色拟青霉 *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize), PF01-N10, 菌株保藏号 CCTCC No.: M207088, 专利号 200710031511. X. 将保存在斜面上的玫烟色拟青霉菌种取出活化,接种到含 PDA 培养基的平板上,然后放入培养箱(广东韶关科力实验仪器有限公司, PXY-300Q-A 型)中培养,温度为(27.0 ± 0.5)℃。

1.1.2 供试农药 64% 杀毒虱可湿性粉剂(有效成分为恶霜灵 8% + 代森锰锌 56% 复配剂),瑞士诺

华, $\rho = 1\ 280\ \mu\text{g/mL}$; 20% 三唑酮可湿性粉剂, 江苏省建湖, $\rho = 150\ \mu\text{g/mL}$; 72.2% 普力克可湿性粉剂, 德国艾格福公司, $\rho = 902.5\ \mu\text{g/mL}$; 75% 百菌清可湿性粉剂, 江苏新沂, $\rho = 1\ 000\ \mu\text{g/mL}$; 1.8% 阿维菌素乳油, 浙江台州, $\rho = 4\ \mu\text{g/mL}$; 4.5% 高效氯氰菊酯乳油, 江苏连云港, $\rho = 20\ \mu\text{g/mL}$; 3% 啉虫脲乳油, 江苏吴县, $\rho = 500\ \mu\text{g/mL}$; 10% 吡虫啉可湿性粉剂, 江苏吴县, $\rho = 12.5\ \mu\text{g/mL}$ 。

1.1.3 含药培养基平板的制备 将各种农药用无菌水稀释成3种质量浓度^[17]供试: A) 1.1.2 中所用浓度(1.0 ×); B) 1.1.2 中所用浓度稀释5倍(0.2 ×); C) 1.1.2 中所用浓度稀释10倍(0.1 ×)。在已制备好的直径为9 cm 的 PDA 培养基平板中每皿滴入约0.1 mL 药液, 倾斜培养皿使药液均匀布满培养基表面待用。

1.2 方法

1.2.1 分生孢子萌发率的测定 将培养了10 d 的分生孢子粉加入到质量分数为2% 葡萄糖和0.5% 蛋白胨的混合培养液中, 孢子浓度约为 $10^4\ \text{mL}^{-1}$ 。在孢子悬浮液中加入1.1.3 中的供试药剂, 每种药剂测试3种质量浓度。将含不同浓度及类型的孢子悬浮液在(25 ± 1)℃ 下振荡培养(100 r/min), 培养24 h 后取样镜检并计算孢子萌发率。各农药品种每浓度3次重复, 以不加农药的孢子悬浮液作为对照。

1.2.2 菌落生长的测定 将菌株配制成 $10^4\ \text{mL}^{-1}$ 的分生孢子悬浮液, 分别取适量的悬浮液滴入 PDA 培养基上, 用三角玻璃棒涂匀, 待1~2 d 长出菌丝后用直径为13 mm 的打孔器取新鲜菌落, 接种于含有农药的 PDA 平板上, 置于培养箱中培养(14 h 光: 10 h 暗)。每个菌株10个重复, 设无农药的 PDA 平板培养为对照。第5、10 d 测定菌落直径。

1.2.3 寄主植物的种植 盆栽黄瓜 *Cucumis sativus* L.、芥蓝 *Brassica alboglabra* Bailey, 每盆1株苗, 常规肥水管理, 上盆时施足基肥, 黄瓜、芥蓝3叶时施根外追肥。当幼苗有6~10片展开叶时供试。

1.2.4 供试昆虫的饲养 将温室中在黄瓜、芥蓝上饲养6代以上的烟粉虱 *Bemisia tabaci*、蚜虫 *Myzus persicae*、小菜蛾 *Plutella xylostella* 成虫, 接种到无虫的黄瓜、芥蓝幼苗上, 待产卵一定时间后, 清除成虫, 将幼苗置于(25.0 ± 0.5)℃ 的空调养虫室内(14 h 光: 10 h 暗), 待烟粉虱发育至2龄、蚜虫和小菜蛾发育至3龄时供试。

1.2.5 杀虫剂对玫烟色拟青霉致病力的影响 用含 $w = 0.1\%$ 吐温80 的无菌水收集玫烟色拟青霉的

分生孢子与杀虫剂一起配制成悬浮液,其中分生孢子的浓度为 $1.0 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$,杀虫剂的浓度为 1.1.2 所示. 将带有烟粉虱若虫、蚜虫和小菜蛾幼虫的叶片浸入悬浮液中,以 $w = 0.1\%$ 吐温 80 的无菌水处理为对照,处理 15 s 后取出,自然晾干. 每处理为 10 片叶,每叶 30 ~ 50 头虫,3 次重复. 将试验叶片连同植株一起放在空调养虫室内. 在第 5、10 d 检查并记录感染的死亡虫数.

1.2.6 杀菌剂对玫烟色拟青霉致病力的影响 将带有烟粉虱 2 龄若虫的黄瓜叶片浸入 $1.0 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$ 的孢子悬浮液中,以 $w = 0.1\%$ 吐温 80 的无菌水处理为对照,处理 15 s 后取出,自然晾干. 每处理为 10 片叶,每叶 30 ~ 50 头虫,3 次重复. 将试验叶片连同植株一起放在空调养虫室内. 在使用玫烟色拟青霉处理后的第 3 d 喷施杀菌剂,浓度为 1.1.2 所示. 在第 5、10 d 检查并记录感染的死亡虫数,并观察叶片发病情况.

1.3 数据处理

菌落生长抑制率 = (对照区培养皿菌落直径 - 处理区培养皿菌落直径) / 对照区培养皿菌落直径 $\times 100\%$;

累计死亡率 = 样本中死亡的总虫数 / 样本总虫数 $\times 100\%$;

累计校正死亡率 = (处理区的死亡率 - 对照区的死亡率) / (1 - 对照区的死亡率) $\times 100\%$.

玫烟色拟青霉对烟粉虱的累计死亡率、累计校正死亡率的比较采用多重比较方差分析法. 所有数据均采用 SAS 程序进行分析^[18].

2 结果与分析

2.1 农药对玫烟色拟青霉孢子萌发率的影响

农药对玫烟色拟青霉孢子萌发率的影响因农药的种类不同而呈现差异(表 1),即使在杀毒虱为 0.1 倍常规使用浓度的培养液中分生孢子也不萌发,说明其与玫烟色拟青霉完全不相容;但普力克、啶虫脒、高效氯氰菊酯和吡虫啉 4 种农药与拟青霉的相容性较好,在常规使用浓度下孢子的萌发率均在 75% 以上. 在分别含有三唑酮、百菌清和阿维菌素的培养液中,分生孢子的萌发率随培养液中农药浓度的增加而降低.

在常规使用浓度下,农药对玫烟色拟青霉菌落生长的抑制作用与农药的种类有关(表 2). 在第 5 d 杀毒虱、阿维菌素和百菌清对菌落生长的抑制率在 50% 以上,而普力克、高效氯氰菊酯、啶虫脒和吡虫啉的抑

制率在 1.0% 以下;随着时间的延长,普力克、高效氯氰菊酯、啶虫脒和吡虫啉对菌落的抑制率有所增加,其他农药对菌落生长的抑制率则有所下降.

表 1 含不同浓度农药的营养液中玫烟色拟青霉分生孢子的萌发率¹⁾

Tab. 1 Germination percentages of *P. fumosoroseus* conidia suspended in nutritional liquid containing varying concentration of different pesticides

农药种类 pesticide	孢子萌发率 percentage of conidia germination / %		
	0.1 x	0.2 x	1.0 x
杀毒虱 sandofan	0.00 $\pm$ 0.00 d	0.00 $\pm$ 0.00 b	0.00 $\pm$ 0.00 c
三唑酮 triadimefon	43.24 $\pm$ 2.13 b	16.78 $\pm$ 2.16 b	9.67 $\pm$ 1.04 c
普力克 propamocarb	89.14 $\pm$ 2.45 a	80.25 $\pm$ 2.32 a	78.21 $\pm$ 2.17 b
百菌清 chlorothalonil	10.03 $\pm$ 0.98 c	6.54 $\pm$ 1.11 b	0.00 $\pm$ 0.00 d
阿维菌素 abamectin	15.86 $\pm$ 1.02 c	5.27 $\pm$ 1.32 b	0.00 $\pm$ 0.00 c
高效氯氰菊酯 beta-cypermethrin	93.57 $\pm$ 2.03 a	89.23 $\pm$ 2.56 a	85.42 $\pm$ 2.34 a
啶虫脒 acetamiprid	95.41 $\pm$ 3.52 a	92.22 $\pm$ 3.06 a	90.17 $\pm$ 3.83 a
吡虫啉 imidacloprid	95.86 $\pm$ 3.04 a	93.61 $\pm$ 3.21 a	90.21 $\pm$ 2.86 a

1) 表中数据为平均值 $\pm$ 标准误,同列数字后英文字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著(DMRT 法),对照组孢子萌发率 98.58% $\pm$ 0.87%

表 2 含农药的营养液中玫烟色拟青霉菌落生长的抑制率¹⁾

Tab. 2 Inhibitory effect of different pesticides on mycelia growth of *P. fumosoroseus* in nutritional liquid

农药种类 pesticide	抑制率 inhibitory effect / %	
	5 d	10 d
杀毒虱 sandofan	75.34 $\pm$ 6.35 a	47.33 $\pm$ 4.79 a
三唑酮 triadimefon	29.84 $\pm$ 4.15 b	8.31 $\pm$ 2.86 c
普力克 propamocarb	0.78 $\pm$ 1.04 c	8.25 $\pm$ 3.46 b
百菌清 chlorothalonil	54.03 $\pm$ 5.07 a	46.15 $\pm$ 3.26 a
阿维菌素 abamectin	65.86 $\pm$ 3.21 a	43.27 $\pm$ 2.70 a
高效氯氰菊酯 beta-cypermethrin	0.01 $\pm$ 0.35 c	3.65 $\pm$ 1.15 c
啶虫脒 acetamiprid	-9.76 $\pm$ 4.32 c	0.94 $\pm$ 3.15 c
吡虫啉 imidacloprid	0.00 $\pm$ 0.00 c	13.27 $\pm$ 4.63 c

1) 表中数据为平均值 $\pm$ 标准误,同列数字后英文字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著(DMRT 法)

2.2 杀虫剂对玫烟色拟青霉致病力的影响

杀虫剂与玫烟色拟青霉的混合物对小菜蛾、蚜虫和烟粉虱的累计死亡率见表 3. 在第 5 d,阿维菌素与玫烟色拟青霉的混合物对小菜蛾 3 龄幼虫的死亡率与 2 个单剂对照区相比差异不显著,在第 10 d 玫烟色拟青霉对照区小菜蛾的死亡率显著高于另外 2 个小区. 这说明阿维菌素不适合与玫烟色拟青霉混合使用. 在第 10 d,高效氯氰菊酯与玫烟色拟青霉

的混合物对小菜蛾的死亡率显著高于 2 个单剂对照区的死亡率,为 90 % 以上;结合高效氯氰菊酯对分生孢子萌发率和菌落生长的抑制率分析表明,高效氯氰菊酯与玫烟色拟青霉混合可提高小菜蛾的死亡率,为 90.43%。与此相类似,啉虫脒与玫烟色拟青霉混合可提高蚜虫的死亡率,为 92.34%;吡虫啉与玫烟色拟青霉混合也可提高对烟粉虱的死亡率,为 93.72%。因此,啉虫脒、高效氯氰菊酯和吡虫啉可与玫烟色拟青霉混合使用。

表 3 杀虫剂对玫烟色拟青霉致病力的影响¹⁾

Tab.3 Effect of insecticide on infectious activity of *P. fumosoroseus*

农药种类 pesticide	防治对象 target insect	累计校正死亡率 accumulative adjusted mortality/%	
		5 d	10 d
阿维菌素 + 玫烟色拟青霉 abamectin + <i>P. fumosoroseus</i>	小菜蛾	75.86 ± 3.61 b	64.24 ± 2.03 c
阿维菌素 abamectin	小菜蛾	73.66 ± 3.32 b	60.85 ± 3.06 c
玫烟色拟青霉 <i>P. fumosoroseus</i>	小菜蛾	67.51 ± 2.59 b	87.35 ± 2.07 b
高效氯氰菊酯 + 玫烟色拟青霉 beta-cypermethrin + <i>P. fumosoroseus</i>	小菜蛾	83.52 ± 3.03 a	90.43 ± 3.36 a
高效氯氰菊酯 beta-cypermethrin	小菜蛾	56.34 ± 2.17 c	43.22 ± 3.05 d
啉虫脒 + 玫烟色拟青霉 acetamiprid + <i>P. fumosoroseus</i>	蚜虫	89.13 ± 4.32 a	92.34 ± 3.15 a
啉虫脒 acetamiprid	蚜虫	80.24 ± 3.28 a	74.19 ± 2.45 b
玫烟色拟青霉 <i>P. fumosoroseus</i>	蚜虫	52.46 ± 2.73 c	78.17 ± 3.62 b
吡虫啉 + 玫烟色拟青霉 imidacloprid + <i>P. fumosoroseus</i>	烟粉虱	87.25 ± 3.14 a	93.72 ± 3.13 a
吡虫啉 imidacloprid	烟粉虱	81.19 ± 3.30 a	67.04 ± 3.18 c
玫烟色拟青霉 <i>P. fumosoroseus</i>	烟粉虱	55.23 ± 3.32 c	80.10 ± 1.19 b

1) 表中数据为平均值 ± 标准误,同列数字后英文字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著(DMRT 法)

2.3 杀菌剂对玫烟色拟青霉致病力的影响

杀菌剂对玫烟色拟青霉致病力的影响因杀菌剂的种类不同而不同(表 4)。在使用普力克和百菌清后的第 10 d,2 龄烟粉虱的累计校正死亡率分别为 78.25% 和 73.34%,与对照区相比差异不显著,说明这 2 种杀菌剂在喷菌液 10 d 后对玫烟色拟青霉的致病力没有影响;但使用了杀毒矾和三唑酮 10 d 后烟粉虱的累计死亡率分别为 39.37% 和 43.31%,与对照的累计死亡率 80.10% 相比差异显著,表明杀毒矾和三唑酮能显著降低玫烟色拟青霉对烟粉虱的死亡率,这与表 1 中这 2 种杀菌剂对菌落生长的影响一致。第 10 d 在只使用玫烟色拟青霉的对照区,黄瓜叶片上的霜霉病发生较严重,但使用了杀菌剂的处理区霜霉病发生较轻或无病害症状发生。

表 4 杀菌剂对玫烟色拟青霉致病力的影响¹⁾

Tab.4 Effect of fungicide on infectious activity of *P. fumosoroseus*

农药种类 pesticide	累计校正死亡率 accumulative adjusted mortality /%	
	5 d	10 d
杀毒矾 sandofan	20.34 ± 6.35 b	39.37 ± 3.40 b
三唑酮 triadimefon	22.45 ± 2.34 b	43.31 ± 3.53 b
普力克 propamocarb	54.82 ± 1.24 a	78.25 ± 1.46 a
百菌清 chlorothalonil	48.64 ± 2.47 a	73.34 ± 2.11 a
玫烟色拟青霉 <i>P. fumosoroseus</i>	55.23 ± 3.32 a	80.10 ± 1.19 a

1) 防治对象为烟粉虱;表中数据为平均值 ± 标准误,同列数字后英文字母相同者表示在 0.05 水平上差异不显著(DMRT 法)

3 讨论

长期以来,昆虫病原真菌与农药的相容性一直是害虫微生物防治中人们普遍关注的问题,真菌孢子对农药的反应随菌株的种类、农药的品种及使用浓度不同而不同^[19-20],有些农药与虫生真菌混合使用有增效作用^[21-22],有些则对虫生真菌有负面影响^[20-23]。在十字花科蔬菜上,与烟粉虱、温室白粉虱、蚜虫等害虫同时发生的病虫害有蓟马、螨类、灰霉病、猝倒病、疫病、霜霉病等,玫烟色拟青霉菌株 PF01-N10 对烟粉虱、温室白粉虱、蚜虫等害虫有很强的侵染力,因此,在使用玫烟色拟青霉防治粉虱和蚜虫时有可能与防治其他几种病虫害的化学农药接触。本研究表明玫烟色拟青霉与农药的相容性因农药的种类及使用浓度而异,总体上看,与杀虫剂的相容性优于杀菌剂,这与白僵菌同化学农药的相容性相一致^[24]。吡虫啉和啉虫脒等能与玫烟色拟青霉同时使用或混用,这样可在短时间内有效地降低害虫的种群数量,又可延长防治效期,这与黄振等^[15]的研究结果一致。

虫生真菌通常在 1~2 d 内能穿透昆虫的表皮侵入寄主体内,避开了这一特殊时期,非内吸性杀菌剂对真菌的杀虫效果则没有太大的影响,这就是推迟 3 d 使用百菌清对玫烟色拟青霉的杀虫效果没有影响的原因;但内吸性杀菌剂能进入昆虫体内,对菌丝的生长有抑制作用,因而能影响玫烟色拟青霉的杀虫效果。玫烟色拟青霉与杀菌剂结合使用的优点在于控制害虫的同时也能有效地控制作物上的病害,本研究中所有喷施了杀菌剂的黄瓜叶片上霜霉病的危害或较轻、或无症状,在对照区大多数黄瓜叶片上能看见霜霉病白色的危害症状。

本研究只是对 8 种农药与玫烟色拟青霉的相容性进行了初步分析,农药对分生孢子萌发和菌丝生长抑制的作用机制目前还知之甚少。除农药活性成

分的直接影响外,其中的助剂也可能有相当的作用^[25]。为发挥玫烟色拟青霉药与化学农药的协同作用,减缓害虫对农药的抗性,有利于延长玫烟色拟青霉在田间的宿存时间,有关化学农药对真菌孢子萌发的抑制机理和影响防治效果的原因还需要做深入的研究。

参考文献:

- [1] 武觀文,王德祥. 中国虫生真菌研究与应用 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993: 203-210.
- [2] LACEY L A, FRANSEN J J, CARRUTHERS R I. Global distribution of naturally occurring fungi of *Bemisia*, their biologies and use as biological control agents [M]// GERLING D, MAYER R T. *Bemisia* 1995: Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management. Andover: Intercept Limited, 1996: 401-433.
- [3] FARIA M, WRIGHT S P. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi [J]. Crop Prot, 2001, 20: 767-778.
- [4] BOLCKMANS K, STERK G, EYAL J, et al. A new microbial insecticide, *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown and Smith strain Apoka 97, for the biological control of whiteflies in greenhouses [C]// LANDBOW F. Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference: Pest and Disease. Brighton: Univ Gent, 1995, 719-724.
- [5] JACKSON M A, MCGUIRE M R, LACEY L A, et al. Liquid culture production of desiccation tolerant blastospores of the bioinsecticidal fungus *Paecilomyces fumosoroseus* [J]. Mycol Res, 1997, 101: 35-41.
- [6] OSBORNE L S, STOREY G K, MCCOY C W et al. Potential for controlling the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*, with the fungus, *Paecilomyces fumosoroseus* [C]// GERLING D. Proc Vth Int Colloq. Adelaide: Invert Pathol, 1990: 386-390.
- [7] VIDAL C, LACEY L A, FARGUES J. Pathogenicity of *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) against *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) with a description of a bioassay method [J]. J Econ Entomol, 1997, 90: 765-772.
- [8] VIDAL C, LACEY L A, FARGUES J. Effect of host plant on the potential of *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) for controlling the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) in greenhouse [J]. Biol Contr, 1998, 12: 191-199.
- [9] 黄振, 任顺祥. 玫烟色拟青霉分离株的生物学特性及其对烟粉虱的致病力 [J]. 中国生物防治, 2004, 20: 248 - 251.
- [10] 吴建辉, 黄振, 任顺祥. 寄主植物对玫烟色拟青霉致病力的影响 [J]. 植物保护学报, 2007, 34: 67-72.
- [11] 陈巍巍, 冯明光. 四株玫烟色拟青霉作为桃蚜微生物防治因子的潜力评价 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 1999, 25: 563-568.
- [12] 梁宗琦, 刘爱英, 陈月碧, 等. 昆虫病原真菌的研究利用 [J]. 植物保护, 1980, 6: 12-14.
- [13] 方祺霞, 杨淑芳, 胡亚梅, 等. 玫烟色拟青霉北京变种防治温室白粉虱的研究 [J]. 生物防治通报, 1986, 2: 129-131.
- [14] 黄振, 任顺祥, 黎崇军. 玫烟色拟青霉对烟粉虱的致病力测定 [J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(1): 40-44.
- [15] 黄振, 任顺祥, 吴建辉. 玫烟色拟青霉和吡虫啉对烟粉虱种群的联合控制作用 [J]. 生态学报, 2006, 26: 3250-3257.
- [16] 陈斌, 冯明光. 两种杀虫真菌制剂与低剂量的吡虫啉对温室烟粉的协同防效评价 [J]. 应用生态学报, 2003, 14: 1934-1938.
- [17] 李增智, 杨震, 汤坚. 12 种化学杀虫剂对虫生真菌孢子萌发的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23: 360-365.
- [18] SAS Institute. SAS user's guide: statistics [M]. Cary, NC: SAS Institute, 1988.
- [19] MAJCHROWICZ L, POPRAWSKI T J. Effects of nine fungicides on growth of entomopathogenic fungi [J]. Biocontr Sci Technol, 1993, 3: 321-336.
- [20] OLMERT I, KENNETH R G. Sensitivity of the entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana*, *Verticillium lecanii*, and *Verticillium* sp. to fungicides and insecticides [J]. Environ Entomol, 1974, 3: 33-39.
- [21] ANDERSON T E, ROBERTS W D. Compatibility of *Beauveria bassiana* isolates with insecticide formulations used in colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) control [J]. J Econ Entomol, 1983, 76: 1437-1441.
- [22] QUINTELA E D, MCMYOEY C W. Synergistic effect of imidacloprid and two entomopathogenic fungi on the behavior and survival of larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in soil [J]. Environ Entomol, 1998, 91: 110-122.
- [23] MAJCHROWICZ L, POPRAWSKI T J. Effects in vitro of nine fungicides on growth of entomopathogenic fungi [J]. Biocontr Sci Technol, 1993, 3: 321-336.
- [24] 许寿涛, 应盛华, 冯明光. 十种常用农药与球孢白僵菌的生物学相容性 [J]. 植物保护学报, 2002, 29: 158-162.
- [25] QUIEMTLA E D. Synergistic effects of imidacloprid on conidial germination and pathogenicity of two entomopathogenic fungi to larvae of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: curculionidae) [D]. Gainesville: College of Agricultural and Life Sciences, University of Florida, 1996.

【责任编辑 周志红】