

常用化学农药对球孢白僵菌 HFW-05 菌株的影响及其混用对小菜蛾的联合毒力

曹伟平¹, 宋 健¹, 陆 晴², 魏利民³, 冯书亮¹, 杜立新¹

(1. 河北省农林科学院 植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心, 河北 保定 071000;

2. 唐山市农业科学院, 河北 唐山 063001; 3. 保定职业技术学院, 河北 保定 071000)

摘要: 球孢白僵菌 HFW-05 对粉虱有很高的杀虫活性, 为扩大该菌株的杀虫范围及明确其与常用化学农药的混用效果, 测定了 HFW-05 菌株对小菜蛾的杀虫活性及化学药剂对 HFW-05 菌株孢子生长发育的影响。结果表明, HFW-05 菌株对小菜蛾幼虫表现出很高的杀虫活性, 5×10^7 孢子/mL 浓度下, HFW-05 菌株对小菜蛾 2、3 龄幼虫的 6 d 校正死亡率分别为 86.7% 和 76.7%, 各试验浓度下对 2 龄小菜蛾幼虫的毒力显著高于 3 龄幼虫。随浓度降低化学药剂对孢子萌发的抑制作用均明显减弱, 药剂对孢子的影响与菌药混用时对昆虫的毒力影响没有明显的相关性。常规用量下, 抑太保、三氟氯氰菊酯和辛硫磷强烈抑制孢子萌发, 孢子萌发率为 0.0 和 7.9%, 药剂 5 倍稀释液与 1×10^6 孢子/mL 孢悬液混用, 辛硫磷、灭多威、灭幼脲 III 号对小菜蛾表现为拮抗作用, 校正死亡率分别为 23.4%、16.2% 和 20.5%, 其余药剂均表现为毒力相加作用, 抑太保、氟虫脲的增效作用显著, 对小菜蛾的校正死亡率分别为 93.3% 和 98.0%。可见菌药合理混用对改善小菜蛾的生物防治有一定的指导意义。

关键词: 球孢白僵菌; 小菜蛾; 化学农药; 联合作用; 增效作用

中图分类号: S476 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)增刊-0358-05

Effects of Chemical Pesticides on Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* HFW-05 Strain and the Joint Toxicity of Their Mixtures against the Diamondback Moth *Plutella xylostella*(L.) (Lepidoptera: Plutellidae)

CAO Wei-ping¹, SONG Jian¹, LU Qing², WEI Li-min³, FENG Shu-liang¹, DU Li-xin¹

(1. Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, IPM Centre of Hebei Province, Baoding 071000, China; 2. Tangshan Academy of Agricultural Sciences, Tangshan 063001, China; 3. Baoding Vocational and Technical College, Baoding 071000, China)

Abstract: *Beauveria bassiana* HFW-05 strain is highly virulent against *Bemisia tabaci*. To broaden its insecticidal range and determine the joint toxicity of the mixtures of conidia spores and chemical pesticides, the bioassay of HFW-05 strain to 2nd and 3rd instar larvae of diamondback moth *Plutella xylostella*(L.) and the conidia germination and mycelia growth of HFW-05 were carried out. The results showed that HFW-05 strain was highly toxic to larvae of diamondback moth. The corrected mortality of conidia spores of the concentration 5×10^7 /mL to 2nd and 3rd instar larvae 6 d after infection were 86.7% and 76.7% separately, and the toxicity to the 2nd instar larvae was markedly higher than to 3rd instar larvae at all tested concentration. The inhibitory action of chemical agents on spores was significantly reduced with decreasing concentration. There was no significant correlation between the impact of chemicals on spores and the toxicity of fungus mixed drug to *P. xylostella*. At conventional dosage, chlorfluazuron, cyhalothrin and phoxim strongly inhibited spores growth with 0.0 and 7.9% germination respectively. The virulence of 5-fold dilution of phoxim, methomyl and diflubenzuron III mixed 1×10^6 /mL spores to the *P. xylostella* exhibited antergic with corrected mortality 23.4%, 16.2% and 20.5% respectively. But the other agents showed

收稿日期: 2012-07-29

基金项目: 国家“863”项目(2011AA10A203); 国家“863”项目(2011AA10A201); 国家“948”项目(2011-G4); 河北省财政项目(F12C10034)。

作者简介: 曹伟平(1975-), 女, 河北饶阳人, 副研究员, 硕士, 主要从事害虫生物防治研究。

通讯作者: 杜立新(1978-), 男, 河北武安人, 副研究员, 博士, 主要从事害虫生物防治研究。

additive effect for the toxicity to *P. xylostella*. Chlorfluazuron and fipronil showed significant synergistic activity with corrected mortality 93.3% and 98.0% separately. This result may be used to improve biocontrol of the pest.

Key words: *Beauveria bassiana*; *Plutella xylostella* (L.); Chemical pesticide; Joint toxicity; Synergistic activity

小菜蛾(*Plutella xylostella* L.) 是世界性十字花科蔬菜的主要害虫,也是对农药产生抗性最严重的害虫之一^[1-5]。近年来,小菜蛾的危害日益严重。白僵菌(*Beauveria bassiana*) 等虫生真菌早已开始被用于防治小菜蛾的试验及应用,但是生物防治的杀虫速率较慢一直是制约生物制剂大规模生产与应用的关键因素。

将昆虫病原菌与化学杀虫剂进行科学混用,一方面可以解决病原真菌杀虫速率较慢的问题,提高杀虫效果,另一方面可以很大程度上缓解害虫对化学农药产生抗药性的问题。国内外学者对白僵菌与杀虫剂相容性进行了大量研究^[6-13],但因菌株、杀虫剂成分、剂型及目标昆虫不同,其相容性有较大差别,无特定规律可循。球孢白僵菌菌株 HFW-05 对粉虱有很高的杀虫活性^[14]。针对小菜蛾对蔬菜的严重危害,同时为扩大 HFW-05 菌株的杀虫范围,测

定了 HFW-05 菌株对小菜蛾的杀虫活性;选用 10 种防治小菜蛾的常用化学农药,研究供试药剂对 HFW-05 菌株孢子生长发育的影响,同时测定该白僵菌孢子与供试农药的亚致死浓度混用对小菜蛾的杀虫活性,旨在探索提高虫生真菌防治效果和改善速效性的新方法。

1 材料和方法

1.1 供试菌株及昆虫

球孢白僵菌 HFW-05 为河北省农科院植保所分离并保存。供试昆虫:田间采集健康小菜蛾幼虫,带回室内饲养,待其再次产卵孵化后,以 2~3 龄幼虫为试验用虫。

1.2 供试药剂

选取田间防治小菜蛾的常用化学药剂(表 1)。

表 1 防治小菜蛾的常用化学药剂

Tab.1 Commonly used chemical pesticides against *P. xylostella*

农药 Chemical pesticide	杀虫剂类别 Pesticide sorts	常规用量 Dosage	生产厂家 Manufacturers
40% 辛硫磷 Phoxim EC	有机磷类	1 000 ×	湖北仙隆化工股份有限公司
5% 抑太保 Chlorfluazuron EC	昆虫生长调节剂	1 500 ×	日本石原产业株式会社
25% 灭幼脲Ⅲ号 Chlorbenzuron No.3 SC	昆虫生长调节剂	2 000 ×	河南安阳林药厂
1% 甲维盐 Proclaim R(banleptm) EC	半合成抗生素	4 000 ×	河北威远生物化工有限公司
5% 氟虫脲 Fipronil SC	苯基吡唑类	2 500 ×	安万特杭州作物科学有限公司
20% 灭多威 Methomyl EC	氨基甲酸酯类	500 ×	山东华阳农药化工集团有限公司
10% 吡虫啉 Imidacloprid WP	烟碱类	2 000 ×	河北威远生物化工有限公司
2.5% 三氟氯氰菊酯 Cyhalothrin EC	拟除虫菊酯	3 000 ×	英国捷利康有限公司农业部
4.5% 高效顺反氯氰菊酯 Beta cypermethrin EC	拟除虫菊酯	3 000 ×	山东华阳农药化工集团有限公司
2.5% 多杀菌素 Spinosad SC	大环内酯类	1 000 ×	上海泰禾(集团)有限公司

1.3 HFW-05 菌株孢子悬液制备

将 HFW-05 菌株接种于 SDAY 培养基(成分:葡萄糖 40 g,酵母 10 g,蛋白胨 10 g,琼脂 20 g,水 1 000 mL)上, (26 ± 1) °C, 14L:10D 培养,待形成分生孢子后用 0.05% (V/V) 无菌 OP 水溶液收集孢子,经磁力搅拌器搅拌 30 min 将孢子完全均匀打散后经 4 层无菌纱布过滤,获得孢子悬浮液母液,以血球计数板计数,4 °C 保存备用,待使用时用无菌水稀释至试验所需浓度。

1.4 HFW-05 菌株对小菜蛾的毒力测定

毒力测定采用喷雾法,将大小一致的健康小菜蛾幼虫放在 11 cm 大滤纸上,用手持喷雾器均匀喷雾,待滤纸上水分渗透后,挑选行动活泼的试虫置于

底部铺有双层滤纸的灭菌养虫盒中,加入新鲜甘蓝叶片,用保鲜膜将盒口封好并用针扎小孔通气, (26 ± 1) °C、14L:10D 光照培养箱中培养。每日检查死亡虫数,以毛笔轻触试虫体表,5 s 内完全不动者即为死亡。每处理 30 头,设 3 次重复,设清水(含 0.05% OP 乳化剂)对照,对照自然死亡率在 5% 内且无僵虫视为有效结果。

1.5 杀虫剂与 HFW-05 菌株孢子萌发、菌丝生长的影响

参照文献[12,15],采用 SDAY 培养基含药平板法测定药剂对孢子萌发率及菌丝生长的影响,每种药剂测试 3 种浓度:①常规使用浓度(1.0 ×);②常规使用浓度稀释 5 倍(0.2 ×);③常规使用浓度

稀释 10 倍(0.1 ×)。将各药剂以试验剂量加到灭菌培养基中,接种浓度为 1 × 10⁶ 孢子/mL 白僵菌孢悬液(26 ± 1) °C 培养。均以未添加杀虫剂处理作为对照,每处理设 3 次重复。

1.6 HFW-05 与化学农药混用对小菜蛾的交互作用

将化学农药与 HFW-05 菌株孢悬液混配,使农药达到供试浓度,孢子终浓度为 1 × 10⁶ 孢子/mL,测定农药与球孢白僵菌 HFW-05 菌株混用对小菜蛾的联合毒力,方法同 1.4。

1.7 数据处理

试验数据采用 SPSS 10 统计软件中 One-way ANOVA 进行方差分析。

由 χ^2 检验白僵菌与药剂联合的交互作用类型,各个处理供试昆虫的死亡率转换为校正死亡率。

$$M = [M_N + M_I(1 - M_N)]$$

$$M_E = MN$$

$$\chi^2 = (M_{NI} - M_E)^2 / M_E$$

其中 M_N 、 M_I 分别是白僵菌孢悬液和化学农药单独处理供试昆虫的实际校正死亡率, M_{NI} 为菌药混用对小菜蛾的实际校正死亡数, M 、 M_E 为菌药混用对试虫的期望致死率和期望致死数, N 为供试昆虫总数。计算 χ^2 值后与 χ^2 值表进行比较。

当 $\chi^2 < 3.84$ (1df 和 $P = 0.05$) 时,显示 2 种杀虫因子混用表现出相加作用;

当 $\chi^2 \geq 3.84$ (1df 和 $P = 0.05$) 及 $M_{NI} < M_E$ 时,显示 2 种杀虫因子混用表现出拮抗作用;

当 $\chi^2 \geq 3.84$ (1df 和 $P = 0.05$) 及 $M_{NI} > M_E$ 时,显示 2 种杀虫因子混用表现出增效作用。

2 结果与分析

2.1 HFW-05 菌株对小菜蛾幼虫的室内活性测定

表 3 HFW-05 菌株对小菜蛾幼虫的毒力

Tab.3 Toxicity of HFW-05 strain against 2nd and 3rd instar larvae of *P. xylostella* (L.)

供试昆虫 Tested insect	龄期 Larval instar	回归方程($Y = a + bX$) Regression equation	相关系数 r	拟合度 X^2	致死中浓度/ (孢子/mL) LC50	95% 置信度 95% confidence interval
小菜蛾	2	$Y = 0.3637 + 0.7852x$	0.981	10.5	8.026×10^5	$4.706 \times 10^5 \sim 13.688 \times 10^5$
<i>Plutella xylostella</i>	3	$Y = 0.7495 + 0.5953x$	0.994	2.1	1.380×10^7	$0.853 \times 10^7 \sim 2.233 \times 10^7$

2.2 10 种化学农药对 HFW-05 菌株孢子萌发率的影响

HFW-05 菌株分生孢子与化学药剂的相容性因农药种类及浓度的不同存在差异性。常规用量的抑太保与三氟氯氰菊酯强烈抑制孢子萌发,24 h 内均未见孢子萌发,表明此浓度下 2 种药剂与白僵菌完全不相容;辛硫磷常规使用浓度对 HFW-05 菌株分生孢子同样有很强的抑制作用,萌发率仅为 7.9%。

小菜蛾幼虫感染 HFW-05 菌株孢子后 2 d 时开始出现少量试虫死亡,4 d 出现死亡高峰期,之后趋于平缓;试虫死亡初期虫体僵硬,之后体色变红,若继续保湿死亡试虫虫体即有白色菌丝伸出,表明死虫为白僵菌正常感染致死。随着 HFW-05 菌株孢子浓度的增大,菌株对小菜蛾的校正死亡率随之升高,浓度为 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^8$ 孢子/mL 的菌液对小菜蛾 2 龄幼虫 6 d 的校正死亡率分别为 27.8%、40.0%、77.2%、86.7% 和 91.9%,显著高于对小菜蛾 3 龄幼虫的校正死亡率(表 2),对小菜蛾 2、3 龄幼虫的 LC50 分别为 8.026×10^5 、 1.380×10^7 孢子/mL(表 3)。可见, HFW-05 菌株对小菜蛾幼虫有很高的杀虫活性,发挥其致病作用需要 3~5 天的时间。

表 2 HFW-05 菌株对小菜蛾 2、3 龄幼虫的毒力

Tab.2 Toxicity of HFW-05 strain against 2nd and 3rd instar larvae of *P. xylostella* (L.)

孢子浓度/(孢子/mL) Concentration	龄期 Larval instar	校正死亡率/% Corrected mortality		
		2d	4d	6d
1×10^8	2	27.8 a	65.6 a	91.9 a
	3	19.3 b	57.3 ab	79.6 b
5×10^7	2	24.4 a	63.3 a	86.7 a
	3	14.4 b	54.2 ab	74.7 b
1×10^7	2	18.9 b	49.9 ab	77.2 b
	3	5.9 c	33.9 b	49.7 c
1×10^6	2	6.7 c	23.3 c	40.0 c
	3	1.7 d	9.5 d	23.1 d
1×10^5	2	0.0 d	5.6 d	27.8 d
	3	0.0 d	2.8 e	10.7 e

注:表中数据经 Duncan 氏新复极差检验,同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 4~6 同。

Note: Table entries followed by different lower-case letters in each column were different at the significance level of $P < 0.05$ base on Duncan's new multiple range test. The same letters are not significantly different, while the different letters are significantly different. The same as Tab.4~6.

但这 3 种药剂常规使用浓度 5、10 倍的稀释液中孢子萌发率显著提高,为 70% 左右,与对照组仍差异显著。在供试药剂及浓度下,多杀菌素及灭幼脲 3 号的三种稀释液中孢子萌发率最高,与空白对照差异不显著;甲维盐、氟虫脲、灭多威、吡虫啉和高效顺反氯氰菊酯的 3 种试验浓度与对照相比均有不同程度的显著性差异(表 4)。随着浓度的降低,化学药剂对孢子萌发抑制作用减小,孢子萌发率均有所提

高。

表 4 10 种化学农药对 HFW-05 菌株萌发率的影响

Tab. 4 Effect of ten chemical pesticides on conidia spores germination of HFW-05 strain

不同药剂处理 Insecticides	萌发率/% Rate of germination		
	1.0 ×	0.2 ×	0.1 ×
40% 辛硫磷 Phoxim EC	7.9f	61.8b	76.7d
5% 抑太保 Chlorfluazuron EC	0.0f	77.7b	82.9bc
25% 灭幼脲Ⅲ号 Chlorbenzuron No.3 SC	84.2ab	83.9ab	86.8ab
1% 甲维盐 Proclaim R(banleptm) EC	76.5bc	75.8b	82.7bc
5% 氟虫脲 Fipronil SC	72.1cd	78.3b	81.7bc
20% 灭多威 Methomyl EC	65.0de	73.3b	81.1bc
10% 吡虫啉 Imidacloprid WP	57.9e	78.8b	81.3bc
2.5% 三氟氯氰菊酯 Cyhalothrin EC	0.0f	70.4b	73.6cd
4.5% 高效顺反氯氰菊酯 Beta cypermethrin EC	75.2bc	80.0b	82.0bc
2.5% 多杀菌素 Spinosad SC	98.7a	97.0a	98.7a
对照 CK	97.7a	97.7a	97.7a

注: 1.0 ×. 常规使用浓度; 0.2 ×. 常规使用浓度稀释 5 倍; 0.1 ×. 常规使用浓度稀释 10 倍。

Note: 1.0 ×. Recommended dosage; 0.2 ×. One fifth of recommended dosage; 0.1 ×. One tenth of recommended dosage.

2.3 10 种化学农药对 HFW-05 菌株生长速率的影响

化学药剂对 HFW-05 菌株菌丝生长速率的影响结果(表 5)显示,供试药剂对菌丝生长速率与对孢子萌发率的作用趋势有所不同。对孢子萌发抑制作用很强的药剂辛硫磷、抑太保,在 3 种药剂浓度下对菌株的生长同样显示了较强的抑制作用,但在三氟氯氰菊酯的 3 种浓度下,菌丝的生长速率与对照组

差异不显著,且稍快于对照组;在试验使用浓度下,灭幼脲、甲维盐、氟虫脲、高效顺反氯氰菊酯等药剂对 HFW-05 菌株生长速率基本无负效应,在较低浓度下反而在一定程度上会促进菌株生长,甲维盐尤为明显。与其他药剂相比,对孢子萌发率无负影响的多杀菌素和对孢子萌发率抑制作用稍弱的吡虫啉却极显著地抑制了菌丝的生长速率。所有处理中,随着供试杀虫剂浓度的降低,白僵菌的生长速率均呈现逐渐升高的趋势。

表 5 10 种杀虫剂对 HFW-05 菌株生长速率的影响

Tab. 5 Effect of ten chemical pesticides on mycelia growth of HFW-05 strain

不同药剂处理 Insecticides	生长速率/(cm/d) Rate of growth		
	1.0 ×	0.2 ×	0.1 ×
40% 辛硫磷 Phoxim EC	0.12b	0.16cde	0.17bc
5% 抑太保 Chlorfluazuron EC	0.11b	0.15de	0.17bc
25% 灭幼脲Ⅲ号 Chlorbenzuron No.3 SC	0.18a	0.18abcd	0.18bc
1% 甲维盐 Proclaim R(banleptm) EC	0.18a	0.20a	0.21a
5% 氟虫脲 Fipronil SC	0.17a	0.18abcd	0.19ab
20% 灭多威 Methomyl EC	0.12b	0.14ef	0.16cd
10% 吡虫啉 Imidacloprid WP	0.02d	0.13f	0.13e
2.5% 三氟氯氰菊酯 Cyhalothrin EC	0.17a	0.19ab	0.19ab
4.5% 高效顺反氯氰菊酯 Beta cypermethrin EC	0.18a	0.19abc	0.19ab
2.5% 多杀菌素 Spinosad SC	0.07c	0.12f	0.13e
对照 CK	0.17a	0.17bcd	0.17bc

表 6 球孢白僵菌 HFW-05 与杀虫剂混用对小菜蛾的毒力

Tab. 6 Toxicity of mixture of insecticides and *B. bassiana* strain HFW-05 to *P. xylostella* (L.)

低浓度药剂处理 Different insecticides in one fifth of recom mended dosage	校正死亡率/% Correted mortality			理论致死 率/% Theoretical mortality	理论致死数 The number of lethal in theory	实际死亡数 The number of Death	卡 方 值 χ^2	相互作用 Reciprocity
	菌剂 Strain	杀虫剂 Insecticide	菌药混合 Mixture					
40% Phoxim EC	51.0a	13.6ef	23.4de	57.4	11.43	4.5	4.20	aa
5% Chlorfluazuron EC	51.0a	38.7de	93.3ab	69.0	13.88	18.5	1.54	ae
25% Chlorbenzuron No.3 SC	51.0a	13.9ef	20.5de	57.3	11.43	4.0	4.83	aa
1% Proclaim R(banleptm) EC	51.0a	43.5d	53.2c	72.6	14.37	10.5	1.04	ae
5% Fipronil SC	51.0a	85.1a	98.0a	97.9	19.51	19.5	0.00	ae
20% Methomyl EC	51.0a	0.0g	16.2e	51.2	10.20	3.2	4.86	aa
10% Imidacloprid WP	51.0a	5.1f	37.0d	54.3	10.72	7.4	1.05	ae
2.5% Cyhalothrin EC	51.0a	26.3e	84.1b	64.1	12.78	16.8	1.29	ae
4.5% Beta cypermethrin EC	51.0a	68.9c	84.2b	85.0	16.91	16.8	0.00	ae
2.5% Spinosad SC	51.0a	79.5b	79.7b	90.1	17.94	15.8	0.26	ae

注: aa. 拮抗作用; ae. 相加作用。

Note: aa. Antagonistic action; ae. Additive effect.

2.4 HFW-05 菌株孢子与杀虫剂混用对小菜蛾毒力的影响

HFW-05 菌株孢子与低浓度(常规浓度稀释 5 倍)化学药剂混用后对小菜蛾的杀虫效果见表 6。试验表明,辛硫磷、灭幼脲及灭多威抑制白僵菌的药效发挥,与菌株混用后表现为明显的拮抗作用,对小

菜蛾的校正死亡率分别为 23.4%、20.5% 和 16.2%;其他药剂与 HFW-05 孢子均表现出毒力相加作用。氟虫脲的杀虫速效性好,与白僵菌混用的校正死亡率可达 98% 以上,其次依次为抑太保、三氟氯氰菊酯及高效顺反氯氰菊酯,吡虫啉与白僵菌混用虽然表现为相加作用,但校正死亡率也仅为 37%。将各

处理得到的僵虫保湿放置,表面均覆有白色菌丝,表明 HFW-05 孢子可以正常侵染虫体。

3 结论与讨论

在采用优质菌种资源的同时,选择生物学相容性好的农药以低剂量与昆虫病原真菌合理混用,不但可加快白僵菌的感染速度,发挥生防病原菌的持续药效,另一方面适量杀虫剂可削弱害虫的抗性,在提高对目标害虫毒力的同时还降低对环境的污染,可谓“一举多得”。

对白僵菌来说,菌丝生长受到抑制并不表明产孢量和孢子活力下降^[16]。许寿涛^[12]认为以孢子在含不同浓度农药的营养液中的萌发率作为相容性指标具有实际意义,从本试验的结果看,化学杀虫剂对白僵菌的负效应主要体现在孢子的萌发及菌丝的抑制作用,但菌药混用时对昆虫的毒力与此负效应并没有严格的相关性。

供试化学农药中,辛硫磷、灭多威对白僵菌 HFW-05 菌株孢子的生长发育表现为较强的抑制作用,生测结果与此相符合,表现为明显的拮抗作用;灭幼脲Ⅲ号是一种新型特异性昆虫生长调节剂,李增智^[13]证明亚致死浓度灭幼脲对白僵菌孢子萌发抑制作用小,与本试验的结果相符,但灭幼脲Ⅲ号与 HFW-05 菌株二者混用表现为拮抗作用,防治小菜蛾的效果并不理想,菌药混合对小菜蛾的校正死亡率仅为 20.5%。其他杀虫剂对孢子生长发育的影响与其和孢子混用对小菜蛾的毒力作用无明显的相关性,与已有杀虫剂与白僵菌相容性的研究结果亦存在一定的差异。可见因菌株来源、杀虫剂成分、剂型及目标昆虫的不同,白僵菌与化学杀虫剂的相容性有较大差别,所以,建议以白僵菌与农药混用对目标害虫毒力的交互作用作为其相容性指标,此过程虽然比较繁琐,但对于指导田间应用更具有实际意义。

化学杀虫剂对昆虫的致死多为触杀或喂毒作用,从试验结果看,较低浓度下,多数杀虫剂对白僵菌孢子的萌发率、生长速率的负影响明显减弱,按化学农药的常规浓度防治目标害虫后,在一定时间后再施用白僵菌,随着农药的挥发,有效成分逐渐降低,农药对白僵菌孢子的影响会有很大程度的消弱,因此,有必要参考室内生测结果,在田间做进一步的药效试验。

参考文献:

- [1] Iqbal M, Wright D J. Evaluation of resistance, cross-resistance and synergism of abamectin and teflubenzuron in a multi-resistant field population of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 1997, 87: 481 - 483.
- [2] 吴敏, 韩召军, 孟建业, 等. 南京地区小菜蛾的抗药性检测及初步分析 [J]. 昆虫学报, 2005, 48(4): 633 - 636.
- [3] 吴刚, 江树人. 田间小菜蛾抗药性监测及毒理机制研究 [J]. 植物保护学报, 2002, 29(4): 351 - 355.
- [4] 赵怀玲, 尤民生. 小菜蛾抗药性及其治理对策的研究进展 [J]. 华东昆虫学报, 2001, 10(1): 82 - 88.
- [5] 赵锋, 王沫, 李建洪. 小菜蛾对九种杀虫剂的抗药性 [J]. 昆虫知识, 2006, 43(5): 640 - 643.
- [6] Quintela E D, McCoy 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]. Environmental Entomology, 1998, 27: 110 - 122.
- [7] Majchrowicz L, Poprawski T J. Effects *in vitro* of nine fungicides on growth of entomopathogenic fungi [J]. Biocontrol Science Technology, 1993, 3: 321 - 336.
- [8] 崔永三, 李兰珍, 周新胜. 化学农药对白僵菌的影响及菌药合用的初步研究 [J]. 森林病虫害通讯, 1997, 1: 6 - 8.
- [9] 李增智, 杨震, 汤坚. 12 种化学杀虫剂对 3 种虫生真菌孢子萌发影响的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23(3): 360 - 365.
- [10] 蔡国贵, 林庆源, 徐耀昌. 应用白僵菌与溴氰菊酯混合防治马尾松毛虫研究 [J]. 华东昆虫学报, 2002, 11(1): 95 - 100.
- [11] 邱国森, 陈文, 林华球. 灭幼脲Ⅲ号与白僵菌混合剂对马尾松毛虫的防治效果 [J]. 广东林业科技, 2000, 16(3): 21 - 27.
- [12] 许寿涛. 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(2): 158 - 162.
- [13] 陈斌, 冯明光. 两种杀虫真菌制剂与低用量吡虫啉对温室同防效评价 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1934 - 1938.
- [14] 曹伟平, 王金耀, 冯书亮, 等. 球孢白僵菌 HFW-05 的诱变筛选及其对烟粉虱若虫的毒力测定 [J]. 中国生物防治, 2007, 23(2): 133 - 137.
- [15] 孙继美, 汤坚, 丁贵银. 球孢白僵菌不同菌株生物学特性的研究 [J]. 安徽农业大学学报, 1996, 23(3): 297 - 302.
- [16] Todorova S I, Codderre D, Duchesne R M. Compatibility of *Beauveria bassiana* with selected fungicides and herbicides [J]. Bio Control, 1998, 27: 427 - 433.