

## 球孢白僵菌对桃蚜及其两种捕食性天敌的影响\*

朱虹<sup>1\*\*</sup> 骆绪美<sup>2</sup> 宋仅星<sup>1</sup> 樊美珍<sup>1</sup> 李增智<sup>1</sup><sup>1</sup>安徽农业大学安徽省微生物防治重点实验室, 合肥 230036; <sup>2</sup>安徽省林业科学研究院, 合肥 230031)

**摘要** 从自然感病的温室桃蚜上分离到一株球孢白僵菌 Bb21, 测定了该菌株对桃蚜的致病性及其对两种捕食性天敌的影响. 结果表明: Bb21 菌株对桃蚜的致病力强, LD<sub>50</sub> 为 97 孢子·mm<sup>-2</sup>, 95% 置信区间为 45~191 孢子·mm<sup>-2</sup>; 对草蛉 2 龄幼虫有较弱的致病性, LD<sub>50</sub> 为 1089 孢子·mm<sup>-2</sup>, 是桃蚜的 11.2 倍; 对异色瓢虫致病性极小, 高浓度处理 (5×10<sup>8</sup> 孢子·mL<sup>-1</sup>) 的平均感染率仅为 13%. 该菌株低浓度处理对两种捕食性天敌的发育历期和生殖力均无显著影响, 但高浓度处理 (5×10<sup>8</sup> 孢子·mL<sup>-1</sup>) 使异色瓢虫的幼虫期平均缩短 1.4 d, 羽化率降低 33%, 产卵量减少 14%, 使普通草蛉的幼虫期平均缩短 0.7 d, 羽化率降低 24%, 产卵量减少 11%. 该菌株对桃蚜的半致死剂量远低于对两种捕食性天敌的半致死剂量, 并且在防治桃蚜使用浓度下对两种捕食性天敌成虫羽化率和繁殖力的影响极小, 可作为温室桃蚜的生物控制因子在有害生物综合治理中应用.

**关键词** 球孢白僵菌 桃蚜 普通草蛉 异色瓢虫

文章编号 1001-9332(2011)09-2413-06 中图分类号 S476.1 文献标识码 A

**Effects of *Beauveria bassiana* on *Myzus persicae* and its two predaceous natural enemies.** ZHU Hong<sup>1</sup>, LUO Xu-mei<sup>2</sup>, SONG Jin-xin<sup>1</sup>, FAN Mei-zhen<sup>1</sup>, LI Zeng-zhi<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Anhui Province Key Laboratory of Microbial Control, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; <sup>2</sup>Anhui Academy of Forestry, Hefei 230031, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(9): 2413-2418.

**Abstract:** A *Beauveria bassiana* strain Bb21 was isolated from naturally infected green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). The effects of the strain on *M. persicae* and its two predaceous natural enemies *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) and *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) were investigated under laboratory conditions. Bb21 had strong pathogenicity to *M. persicae*, with the LD<sub>50</sub> of 97 conidia·mm<sup>-2</sup> (45-191, 95% confidence interval), but was less pathogenic to the second instar nymph of *C. carnea*, with the LD<sub>50</sub> of 1089 conidia·mm<sup>-2</sup>. The LD<sub>50</sub> for *C. carnea* was 10.2 times higher than that for *M. persicae*. The pathogenicity of Bb21 to *H. axyridis* was very weak, with a low infection rate of 13% even at a high concentration 5×10<sup>8</sup> conidia·mL<sup>-1</sup>. The Bb21 at low conidia concentration had less effect on the developmental period and fecundity of the two predaceous natural enemies. However, when applied at the high concentration 5×10<sup>8</sup> spores·mL<sup>-1</sup>, Bb21 shortened the larval stage of *H. axyridis* averagely by 1.4 d and decreased the adult emergence rate and fecundity by 33% and 14%, respectively, and shortened the larval stage of *C. carnea* averagely by 0.7 d and decreased the adult emergence rate and fecundity by 24% and 11%, respectively. Since the LD<sub>50</sub> for green peach aphid was much lower than that for the two predaceous natural enemies, and had very low effect on the adult emergence rate and fecundity of the two predators at the concentration recommended for field spray, Bb21 could be applied as a biocontrol agent of *M. persicae* in the integrated management of pernicious organisms.

**Key words:** *Beauveria bassiana*; *Myzus persicae*; *Chrysoperla carnea*; *Harmonia axyridis*.

桃蚜 (*Myzus persicae*) 是为害温室蔬菜和园艺植

物的重要害虫, 又是多种植物病毒的主要传播媒介. 在生态学上, 蚜虫属于典型的 r-对策型, 随着化学农药的大量使用, 蚜虫的抗药性问题日益严重<sup>[1-3]</sup>. 以

\* 国家自然科学基金项目 (31000872) 资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: zhu hong@ahau.edu.cn

2011-03-07 收稿, 2011-06-28 接受.

生态学原理为基础,依据现代有害生物综合管理(IPM)的基本思想,协调运用各种适宜的技术和方法尤其是生物防治的方法,抑制桃蚜种群数量,将桃蚜种群密度控制在经济阈值之下是解决这一问题的主要途径。

桃蚜的生物防治因子主要有捕食性天敌、寄生性天敌和虫生真菌。目前,蚜虫的许多天敌昆虫已商品化生产,例如异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)、普通草蛉(*Chrysoperla carnea*)和食蚜瘿蚊(*Aphidoletes aphidimyza*)等<sup>[4-5]</sup>。蚜虫的虫生真菌主要有虫霉(Entomophthorales)、球孢白僵菌(*Beauveria bassiana*)、玫烟色拟青霉(*Paecilomyces fumosoroseus*)和蜡蚧轮枝菌(*Lecanicillium lecanii*)等。然而,由于虫生真菌存在杀虫效果慢、受环境影响大的弱点,虫生真菌与其他手段配合使用可以取长补短<sup>[6]</sup>,因此将虫生真菌和捕食性天敌昆虫组合使用,建立多因子的桃蚜生态防控体系,符合现代有害生物综合管理的要求。研究表明,球孢白僵菌寄主范围广,部分球孢白僵菌菌株对天敌昆虫有较强的致病性<sup>[7]</sup>,在越冬的瓢虫中也曾观察到球孢白僵菌流行病的发生<sup>[8]</sup>。因此,在球孢白僵菌作为微生物杀虫剂与天敌昆虫组合使用之前,有必要评价其对天敌昆虫的影响。本文研究了球孢白僵菌 Bb21 菌株对原寄主桃蚜的致病性,及其对两种重要捕食性天敌异色瓢虫和普通草蛉的影响,旨在为该菌株与天敌昆虫的进一步组合应用提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验菌剂及昆虫

球孢白僵菌 Bb21 菌株从田间自然感病的温室桃蚜虫尸上经分离纯化获得,在萨氏培养基(SDAY)斜面上保存于 4℃ 冰箱。使用前经接种桃蚜 2 次复壮,PDA 培养基中传代培养 2 次,然后在 25℃ 日光照 14 h 培养箱中培养 12 d,用 5 mL 0.05% Tween-80 收集分生孢子,配制成相应浓度的孢子悬浮液,喷雾前采用 1.5% 水琼脂测定孢子萌发率。

桃蚜种群于 2009 年 8 月采自田间未施农药的蔬菜地。新产无翅孤雌蚜采回后在养虫室内接种于白菜(*Brassica chinensis*)植株上,然后在温度(25±1)℃光照 16L:8D 下培养,建立室内饲养群。测定时,取饲养群内 30 只无翅成蚜转接至新的白菜植株上,繁殖 24 h 后,用毛笔移去所有成蚜,保留若蚜继续饲养 7 d,备用。异色瓢虫和普通草蛉购自 NABIS 公

司(Natural Biocontrol Systems),购回后瓢虫用桃蚜饲养至 3 龄、草蛉饲养至 2 龄幼虫备用。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 球孢白僵菌对桃蚜的致病性试验** 球孢白僵菌对桃蚜的致病性测定采用离体叶盘法<sup>[9]</sup>。选择生长良好的白菜叶片,用直径为 80 mm 的打孔器制作圆形叶盘,放入直径为 90 mm 的培养皿中。培养皿底部垫一层圆形湿滤纸保湿,皿盖上设有尼龙网覆盖的直径为 1 cm 的圆形通风孔。测定时,将生长一致的 7 d 成年桃蚜用小号毛笔从白菜植株上转移至培养皿中的叶盘上,将叶盘置 Potter 喷雾塔下进行喷雾处理,分别采用  $1 \times 10^5$ 、 $1 \times 10^6$ 、 $1 \times 10^7$  和  $1 \times 10^8$  (每毫升孢子数,下同)4 个孢子浓度进行喷雾,每叶盘喷雾 1.5 mL。孢子沉积量测定参考 Vicentini 等<sup>[10]</sup>方法,在每次喷雾过程中,将一个盛有 2 mL 0.05% Tween-80 的直径为 3.5 cm 的一次性塑料培养皿放置在叶盘边,喷雾完成后用血球计数板计数培养皿中收集的孢子数,根据培养皿面积计算孢子沉积量(每平方毫米孢子数,下同)。对照组喷 1.5 mL 0.05% Tween-80 溶液。

处理后的叶盘在空气中自然晾干后,随机放置在 35 cm×40 cm×35 cm 有机玻璃箱中,在 25℃ 光周期 14 L:10 D 的人工气候室中继续培养。有机玻璃箱底部垫湿润吸水纸保湿,前 24 h 通过将玻璃箱密封使相对湿度控制在 95% 以上,24 h 后将箱门打开一小孔,使相对湿度保持在 50%~70%。每隔 24 h 移走新产若蚜并更换新鲜白菜叶盘,观察记录各处理的死亡情况;并将虫尸移出,放于培养皿内 25℃ 保湿培养,将发白产孢的虫尸经镜检确认表面菌落是球孢白僵菌后记为侵染数,持续观察 7 d。每处理 5 个重复,每重复 20 只蚜虫。

**1.2.2 球孢白僵菌对异色瓢虫和普通草蛉的影响试验** 根据前期预试验结果,该菌株对异色瓢虫和普通草蛉的致病性低于蚜虫,因此采用相对较高的  $5 \times 10^5$ 、 $5 \times 10^6$ 、 $5 \times 10^7$ 、 $5 \times 10^8$  4 个浓度分别对异色瓢虫和普通草蛉进行喷雾,对照组喷 1.5 mL 0.05% Tween-80 溶液。每处理 5 个重复,每重复 10 只幼虫。喷雾结束后,将幼虫放置在直径 80 mm 带有蚜虫的白菜叶盘上,每叶盘放置 2 只,然后将叶盘置于上部有通风孔的直径为 90 mm 的培养皿中,再放置在有机玻璃箱中,温度和湿度控制与上述桃蚜相同。每天更换新的带有蚜虫的叶盘,取出死亡的瓢虫和草蛉虫尸,记录感染数,计算感染率。待幼虫化蛹后记录蛹和最终出现的成虫数量,计算成虫羽化率。

试验过程中,每天记录瓢虫和草蛉幼虫化蛹时间和蛹的羽化时间,计算幼虫期和蛹期.成虫羽化后按每培养皿 1 对成虫分装,每天投喂带有桃蚜的白菜叶盘,待产卵后,将卵移入新的培养皿中孵化,记录总产卵量、雄虫寿命、雌虫寿命和卵孵化率.

感染率分析参考 Zhou 等<sup>[11]</sup>方法:将死亡虫尸先用 75% 乙醇浸泡 1 min,再用 4% 次氯酸钠浸泡 5 min,蒸馏水洗 3 次后,放在培养皿中保湿,待虫尸表面长出白色菌丝并产孢后,在解剖镜下根据产孢结构确定是否因白僵菌感染而死亡.

### 1.3 数据处理

使用 SPSS 17.0 软件对各组试验数据进行平方根转换后做正态性检验(Kolmogorov-Smirnov test,  $P > 0.05$ ),符合正态性分布的数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用 LSD 法进行多重比较;非正态性分布数据采用 Kruskal-Wallis 法进行非参数检验.  $LD_{50}$  计算采用 probit 分析, Pearson 拟合度检验.

## 2 结果与分析

### 2.1 球孢白僵菌对桃蚜的致病性

采用不同浓度球孢白僵菌孢子悬液( $0$ 、 $10^5$ 、 $10^6$ 、 $10^7$ 、 $10^8$ )对成年桃蚜喷雾后,单位面积孢子沉积测量值( $\pm SD$ )分别为( $0 \pm 0$ )、( $8 \pm 1$ )、( $59 \pm 6$ )、( $597 \pm 21$ )、( $5967 \pm 153$ ).桃蚜的累积感染死亡率随浓度和时间的增加逐渐增加(图 1).5 个浓度梯度处理桃蚜 6 d 后的感染死亡率差异显著( $P < 0.05$ ).  $LD_{50}$  值为 97(每平方毫米孢子数,下同),95% 置信区间为 45 ~ 191( $df = 2$ ,  $\chi^2 = 3.6$ ,  $P = 0.17$ ).在试验条件下最高感染死亡率为 91%,对照组平均死亡率为 2%,其中感染死亡率为 0.这表明该菌株对桃蚜的致病性较强.

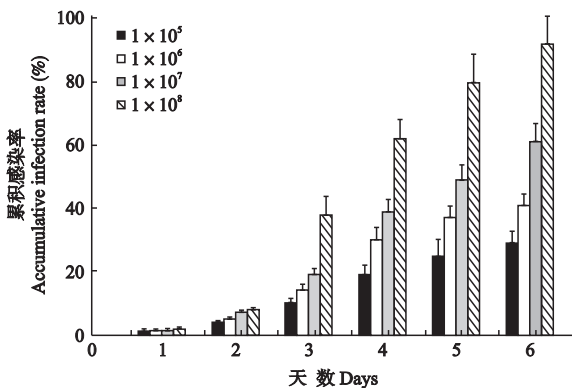


图 1 球孢白僵菌 Bb21 对桃蚜的感染率

Fig. 1 Pathogenicity of *Beauveria bassiana* Bb21 on *Myzus persicae*.

### 2.2 球孢白僵菌对普通草蛉和异色瓢虫的致病性

**2.2.1 对普通草蛉的致病性** 采用不同浓度球孢白僵菌孢子悬液( $0$ 、 $5 \times 10^5$ 、 $5 \times 10^6$ 、 $5 \times 10^7$ 、 $5 \times 10^8$ )对普通草蛉 2 龄幼虫进行喷雾后,测得单位面积孢子沉积量( $\pm SD$ )分别为( $0 \pm 0$ )、( $34 \pm 3$ )、( $293 \pm 28$ )、( $3067 \pm 49$ )和( $29883 \pm 764$ ).处理 6 d 后,累积感染死亡率随浓度的升高逐渐增加(图 2A),对照组感染率为 3%.方差分析结果表明, $5 \times 10^5$ 、 $5 \times 10^6$ 和  $5 \times 10^7$ 处理组与对照组均无显著差异, $5 \times 10^8$ 处理组与对照组差异显著( $P < 0.05$ ). Probit 分析表明,球孢白僵菌 Bb21 菌株对草蛉 2 龄幼虫的  $LD_{50}$  为 1089,95% 置信限为 638 ~ 1877( $\chi^2 = 0.42$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0.8$ ).球孢白僵菌 Bb21 对普通草蛉的  $LD_{50}$  是桃蚜的 11.2 倍,表明该菌株对草蛉致病性较弱.

喷雾后第 4 天部分草蛉幼虫开始化蛹,第 7 天化蛹完全.16 d 后成虫开始羽化,其羽化率随剂量的增加而减少.对照组羽化率为 100%. $5 \times 10^5$ 、 $5 \times 10^6$ 和  $5 \times 10^7$ 处理组普通草蛉成虫羽化率与对照组无显著差异, $5 \times 10^8$ 处理组与对照组差异显著( $P < 0.05$ ).采用最高浓度( $5 \times 10^8$ )喷雾后,成虫羽化率最低,为 76%.

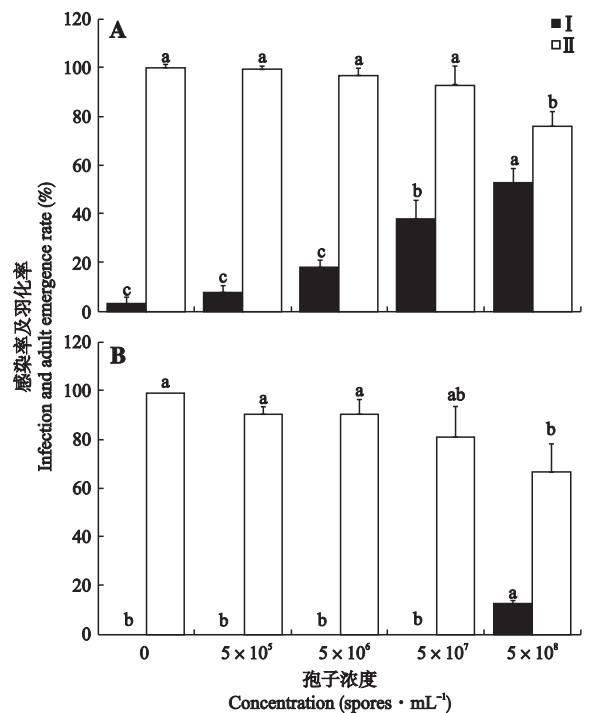


图 2 球孢白僵菌 Bb21 对普通草蛉(A)和异色瓢虫(B)感染率(I)及成虫羽化率(II)的影响

Fig. 2 Effects of *Beauveria bassiana* Bb21 on the larvae infection (I) and adult emergence (II) of *Chrysoperla carnea* (A) and *Harmonia axyridis* (B).

表1 球孢白僵菌 Bb21 对异色瓢虫和普通草蛉发育历期及生殖力的影响

Table 1 Effects of *Beauveria bassiana* Bb21 on developmental period and fecundity of *Harmonia axyridis* and *Chrysoperla carnea*

种名 Species	处理 Treatment (spores · mL <sup>-1</sup> )	幼虫期 Larvae stage (d)	蛹期 Pupa stage (d)	雄虫寿命 Longevity of male (d)	雌虫寿命 Longevity of female (d)	产卵量 Fecundity (eggs)	卵孵化率 Hatchability (%)
异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i>	0	13.5±1.1a	4.8±1.0a	63.6±10.1a	77.2±8.4a	604±90a	81.5±6.4a
	5×10 <sup>5</sup>	13.7±0.8a	4.8±0.8a	52.5±9.8a	74.1±7.8a	602±120a	79.4±8.1a
	5×10 <sup>6</sup>	13.1±0.7a	4.7±0.7a	63.9±12.0a	73.5±7.4a	575±51ab	80.3±8.4a
	5×10 <sup>7</sup>	12.8±0.6ab	4.5±1.0a	66.4±12.3a	76.3±9.1a	546±86ab	78.4±7.3a
	5×10 <sup>8</sup>	12.1±0.7b	4.9±1.0a	65.0±12.1a	69.3±7.6a	517±60b	79.2±7.7a
普通草蛉 <i>Chrysoperla carnea</i>	0	9.1±0.7a	10.2±0.8a	35.7±3.4a	40.7±3.6a	801±81a	91±6a
	5×10 <sup>5</sup>	9±0.8ab	10.1±0.7a	36±2.4a	41.0±2.4a	774±88ab	90±7a
	5×10 <sup>6</sup>	8.9±0.6ab	10.1±0.9a	35.7±2.9a	40.5±2.6a	773±50ab	90±6a
	5×10 <sup>7</sup>	8.8±0.6ab	9.7±0.8a	35.8±2.2a	40.6±2.3a	732±67bc	88±4a
	5×10 <sup>8</sup>	8.4±0.7b	9.8±0.8a	35.2±1.9a	39.3±3.1a	712±57c	90±6a

同列不同字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level.

**2.2.2 对异色瓢虫的致病性** 采用不同浓度球孢白僵菌孢子悬液 ( $0, 5 \times 10^5, 5 \times 10^6, 5 \times 10^7, 5 \times 10^8$ ) 对异色瓢虫 3 龄幼虫进行喷雾后, 孢子沉积量 ( $\pm$ SD) 分别为 ( $0 \pm 0$ )、( $32 \pm 2$ )、( $299 \pm 23$ )、( $3063 \pm 119$ )、( $30267 \pm 643$ )。球孢白僵菌处理对异色瓢虫感染死亡率影响较小 (图 2B)。其中  $5 \times 10^5$ 、 $5 \times 10^6$  和  $5 \times 10^7$  处理组的感染率均为 0, 与对照组无显著差异。高浓度处理 ( $5 \times 10^8$ ) 与对照组差异显著 ( $P < 0.05$ ), 平均死亡率为 13%。

随着球孢白僵菌孢子使用浓度的增加, 异色瓢虫的羽化率平均值总体呈下降趋势。高浓度处理组 ( $5 \times 10^7, 5 \times 10^8$ ) 羽化率与对照组差异显著 ( $P < 0.05$ )。  $5 \times 10^8$  处理组的羽化率最低, 为 67%。说明球孢白僵菌 Bb21 对异色瓢虫羽化率的影响大于对感染率的影响。

### 2.3 球孢白僵菌对两种捕食性天敌发育历期和生殖力的影响

球孢白僵菌 Bb21 菌株处理对异色瓢虫和普通草蛉的幼虫期和产卵量有一定影响 (表 1)。不同浓度处理组两种捕食性天敌的幼虫期和产卵量与对照组差异显著 ( $P < 0.05$ ), 高浓度 ( $5 \times 10^8$ ) 处理使异色瓢虫的幼虫期平均缩短 1.4 d, 产卵量减少 14%; 使普通草蛉的幼虫期平均缩短 0.7 d, 产卵量减少 11%。但该菌株对两种捕食性天敌的蛹期、雄虫寿命、雌虫寿命和卵孵化率无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

有害生物综合管理的观点要求我们从生态系统整体观念出发, 协调运用多种防治措施, 最大限度地发挥自然控制因子的作用, 将虫害控制在经济允许

水平之下。实践证明, 单纯依靠某一种生防因子将害虫完全控制是不切实际的, 单一生防因子的过度使用必将会导致与化学农药过度使用相似的后果。因此, 根据各种生防因子的时空生态位, 建立多因子的生态缓冲体系, 做到优势互补、综合防控, 是持续控制农林害虫的必然选择。本试验对虫生真菌球孢白僵菌与两种捕食性天敌昆虫的相容性进行了研究, 结果表明, 该菌株对桃蚜的半致死剂量远低于对两种捕食性天敌的半致死剂量, 并且在桃蚜的防治使用浓度下 ( $5 \times 10^7$ ) 对两种捕食性天敌成虫羽化率和繁殖力的影响极小, 因此该菌株与异色瓢虫和普通草蛉具有很好的相容性。

近年来, 随着大量微生物杀虫剂的商品化和微生物杀虫剂与天敌昆虫配合使用研究的深入, 许多研究者在微生物杀虫剂对天敌昆虫的影响方面进行了深入研究。Zhou 等<sup>[11]</sup> 研究表明, 采用 5 个浓度梯度 ( $10^4 \sim 10^8$ ) 玫烟色棒束孢 (*Isaria fumosorosea*) 喷雾处理对浅色斧瓢虫 (*Axinoscymnus cardilobus*) 幼虫的存活率、繁殖率、寿命和世代历期无显著影响, 表明该菌株与捕食性天敌昆虫浅色斧瓢虫完全相容。董辉等<sup>[12]</sup> 研究表明, 黄绿绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*) 在实验室条件下对通缘步甲 (*pterostichus geblerii*)、中华芫菁 (*Epicauta chinensis*)、云纹虎甲 (*Cicindeila elisae*) 等天敌个体无致病作用, 而且在田间试验中发现该菌对蝗虫天敌的种类和数量都具有显著的保护作用。黄金水等<sup>[13]</sup> 采用白僵菌油剂在林间连续 3 年防治马尾松毛虫 (*Dendrolimus punctatus*), 对天敌昆虫无显著影响。Jacobson 等<sup>[14]</sup> 研究表明, 两个球孢白僵菌商品制剂 (Naturalis-L 和 Botani-Gard WP) 在实验室和温室条件下防治黄瓜西花蓟

马 (*Frankliniella occidentalis*) 过程中对捕食性天敌黄瓜钝绥螨 (*Amblyseius cucumeris*) 没有损害. Thungrabeab 等<sup>[15]</sup> 研究表明, 孢子浓度为每毫升  $1 \times 10^8$  孢子时, 球孢白僵菌 Bb5335 菌株对 3 种天敌昆虫七星瓢虫 (*C. septempunctata*)、普通草蛉和盲蝽 (*Dicyphus tamanimii*) 均无致病性, 但绿僵菌对普通草蛉和盲蝽的校正死亡率分别为 4% 和 10%. James 等<sup>[7]</sup> 比较了球孢白僵菌、莱氏野村菌 (*Nomuraea rileyi*)、玫烟色拟青霉、黄绿绿僵菌重要虫生真菌对会聚长足瓢虫 (*Hippodamia convergens*) 1 龄幼虫的致病性. 结果表明, 在浓度为每毫升  $1 \times 10^8$  孢子时, 以莱氏野村菌最安全, 未见有感染, 绿僵菌、两株球孢白僵菌和玫烟色拟青霉处理后瓢虫的死亡率分别为 97%、95%、75% 和 56%. 在 Poprawski 等<sup>[16]</sup> 的研究中, 白僵菌对另一种瓢虫 *Serangium parcesetosum* 具有强致病性 (80% 死亡率), 而玫烟色拟青霉则几乎不具致病力. Laird 等<sup>[17]</sup> 曾表列了 16 个属瓢虫在自然条件下可以被白僵菌感染, 但是未见有被拟青霉感染. Magalhaes 等<sup>[18]</sup> 报道, 白僵菌孢悬液直接喷雾后对十二星瓢虫 (*Coleomegilla maculata*) 和另一种捕食性瓢虫 *Eriopis connexa* 成虫的感染率分别为 60% 和 35%. 这些试验结果表明, 昆虫病原真菌对天敌昆虫的致病性是存在的, 但取决于不同菌株和不同天敌昆虫, 而且跟孢子浓度有关.

目前, 有些学者在球孢白僵菌其他菌株对异色瓢虫和普通草蛉的影响方面进行了研究. Roy 等<sup>[6]</sup> 研究表明, 球孢白僵菌 GHA 菌株在高浓度 (每毫升  $10^9$  孢子) 时对异色瓢成虫感染率为 20%, 低浓度 (每毫升  $10^5$  和  $10^7$  孢子) 时未见感染. Cottrell 等<sup>[19]</sup> 发现, 球孢白僵菌对异色瓢虫的感染率远低于对美国本地一种瓢虫 *Olla vnigrum* 的感染率, 在最高浓度 (每毫升  $3.9 \times 10^8$  孢子) 时, 该菌株处理后异色瓢虫的死亡率为 31.8%, 对照死亡率为 11.1%. 并认为这是异色瓢虫从亚洲引入美国后能够迅速扩展成为优势种群的原因之一. Thungrabeab 等<sup>[15]</sup> 研究表明, 在孢子浓度为每毫升  $1 \times 10^8$  孢子时, 球孢白僵菌 Bb5335 菌株对普通草蛉无致病性. Donegan 等<sup>[20]</sup> 研究表明, 温度、饥饿和营养压力可以提高球孢白僵菌对普通草蛉的致病性. 本研究结果表明, 球孢白僵菌 Bb21 菌株低浓度 ( $5 \times 10^5$  和  $5 \times 10^6$ ) 处理后两种捕食性天敌的感染率、羽化率与对照均无显著差异. 该菌株对普通草蛉 2 龄幼虫的  $LD_{50}$  是其对桃蚜  $LD_{50}$  的 11.2 倍, 即使在高浓度 ( $5 \times 10^8$ ) 处理时对异色瓢虫的最高感染率仅为 13%, 该菌株高浓度喷雾对两种

捕食性天敌的感染率、成虫羽化率、生命历期和生殖力有一定的影响.

然而, 实验室饲养的天敌因为生存条件胁迫, 其感染率往往会高于自然条件下的感染率<sup>[21-24]</sup>. 虽然已有许多实验室研究资料证实虫生真菌对多种天敌昆虫具有致病性, 但 Roy 等<sup>[25]</sup> 在综合大量文献资料后, 认为生态感病性 (ecological susceptibility) 往往低于生理感病性 (physiological susceptibility). Ludwig 等<sup>[26]</sup> 比较了一株商品化制剂的球孢白僵菌 JW-1 菌株在实验室和温室条件下对 4 种天敌昆虫的致病性, 结果表明, 该菌株在实验室条件下对 4 种天敌昆虫均有一定的致病性, 但在温室条件下侵染率明显降低. 本研究表明, 球孢白僵菌 Bb21 菌株在实验室条件下对异色瓢虫和普通草蛉有较弱的影响, 但是可以预见在温室中该菌株对两种捕食性天敌的影响会更小. 因此, 将 Bb21 菌株与这两种捕食性天敌一起协调应用于温室桃蚜综合管理是可行的.

#### 参考文献

- [1] Yao J-R (姚建仁), Zheng Y-Q (郑永权), Dong F-S (董丰收). Discussion on pesticide pollution and toxicosis and the controlling counter-measures. *Plant Protection* (植物保护), 2001, **27**(3): 31-35 (in Chinese)
- [2] Ying S-H (应盛华), Feng M-G (冯明光), Xu S-T (许寿涛). Field efficacy of emulsifiable suspensions of *Beauveria bassiana* conidia for control *Myzus persicae*. *Chinese journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2003, **14**(4): 545-548 (in Chinese)
- [3] Foster SP, Denholm I, Devonshire AL. The ups and downs of insecticide resistance in peach-potato aphids (*Myzus persicae*) in the UK. *Crop Protection*, 2000, **19**: 873 - 879
- [4] Wang S (王 甦), Zhang Y-Z (张润志), Zhang F (张 帆). Research progress on biology and ecology of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(9): 2117-2126 (in Chinese)
- [5] Vuong PT, Kim J, Song Y. The seasonal occurrence of the two aphid species, *Myzus persicae* and *Aphis gossypii*, and their natural enemies on vegetable crops in Chinju, Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2001, **4**: 41-44
- [6] Pu Z-L (蒲蛰龙), Li Z-Z (李增智). *Insect Mycology*. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 1996 (in Chinese)
- [7] James RR, Lighthart B. Susceptibility of the convergent lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) to four ento-

- mogenous fungi. *Environmental Entomology*, 1994, **23**: 190–193
- [8] Roy HE, Brown PMJ, Rothery P, *et al.* Interactions between the fungal pathogens *Beauveria bassiana* and three species of coccinellid: *Harmonia axyridis*, *Coccinella septempunctata* and *Adalia bipunctata*. *BioControl*, 2008, **53**: 265–276
- [9] Hesketh H, Alderson PG, Pye BJ, *et al.* The development and multiple uses of a standardized bioassay method to select hypocrealean fungi for biological control of aphids. *Biological Control*, 2008, **46**: 242–255
- [10] Vicentini S, Faria M, de Oliveira MRV. Screening of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina; Hyphomycetes) isolates against nymphs of *Bemisia tabaci*. *Neotropical Entomology*, 2001, **30**: 97–103
- [11] Zhou FC, Ali S, Huang Z. Influence of the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* on *Axinoscymnus cardilobus* (Coleoptera: Coccinellidae) under laboratory conditions. *Biocontrol Science & Technology*, 2010, **20**: 709–722
- [12] Dong H (董辉), Su H-T (苏红田), Gao S (高松), *et al.* Effect of *Metarhizium anisopliae* on grasshopper and its predaceous natural enemies. *Chinese Journal of Biological Control* (中国生物防治), 2005, **21**(1): 60–62 (in Chinese)
- [13] Huang J-S (黄金水), Tang C-S (汤陈生), Xu Y-C (徐耀昌), *et al.* Effects of ultra low volume *Beauveria bassiana* oil formulation on biological diversity. *Chinese journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(12): 2321–2324 (in Chinese)
- [14] Jacobson RJ, Chandler D, Fenlon J, *et al.* Compatibility of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin with *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acarina: Phytoseiidae) to control *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber plants. *Biocontrol Science and Technology*, 2001, **11**: 391–400
- [15] Thungrabeab M, Tongma S. Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (BALSAM) and *Metarhizium anisopliae* (METSCH) on non target insects. *KMITL Science and Technology Journal*, 2007, **7**(suppl): 8–12
- [16] Poprawski TJ, Legaspi JC, Parker PE. Influence of entomopathogenic fungi on *Serangium parcesetosum* (Coleoptera: Coccinellidae), an important predator of whiteflies (Homoptera: Alerodidae). *Environmental Entomology*, 1998, **27**: 785–795
- [17] Laird M, Lacey LA, Davidson EW. Safety of Microbial Insecticides. Boca Raton: CRC, 1990
- [18] Magalhaes BP, Lord JC, Wraight SP, *et al.* Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and *Zoophthora radicans* to the coccinellid predators *Coleomegilla maculate* and *Eriopis connexa*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1988, **52**: 471–473
- [19] Cottrell TE, Shapiro-Ilan DI. Susceptibility of a native and an exotic lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) to *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2003, **84**: 137–144
- [20] Donegan K, Lighthart B. Effect of several stress factors on the susceptibility of the predatory insect, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae), to the fungal pathogen *Beauveria bassiana*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1989, **54**: 79–84
- [21] Pell JK, Vandenberg JD. Interactions among the aphid *Diuraphis noxia*, the entomopathogenic fungus *Paecilomyces fumosoroseus* and the Coccinellid *Hippodamia convergens*. *Biocontrol Science and Technology*, 2002, **12**: 217–224
- [22] Meyling NV, Pell JK, Eilenberg J. Dispersal of *Beauveria bassiana* by the activity of nettle insects. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2006, **93**: 121–126
- [23] Pell JK, Pluke R, Clark SJ, *et al.* Interactions between two aphid natural enemies, the entomopathogenic fungus *Erynia neoaphidis* Remaudiere and Hennebert (Zygomycetes; Entomophthorales) and the predatory beetle *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Invertebrate Pathology* 1997, **69**: 261–268
- [24] Down RE, Cuthbertson AGS, Mathersa JJ, *et al.* Dissemination of the entomopathogenic fungi, *Lecanicillium longisporum* and *L. muscarium*, by the predatory bug, *Orius laevigatus*, to provide concurrent control of *Myzus persicae*, *Frankliniella occidentalis* and *Bemisia tabaci*. *Biological Control*, 2009, **50**: 172–178
- [25] Roy HE, Pell JK. Interactions between entomopathogenic fungi and other natural enemies: Implications for biological control. *Biocontrol Science and Technology*, 2000, **10**: 737–752
- [26] Ludwig SW, Oetting RD. Susceptibility of natural enemies to infection by *Beauveria bassiana* and impact of insecticides on *Ipheseius degenerans* (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 2002, **18**: 169–178