

球孢白僵菌 Bb84 对 Q 型烟粉虱的 时间-剂量-死亡率模型分析

王艳秋¹, 周婷婷¹, 林华峰^{*1}, 金 鹏¹, 李茂业¹, 陈德鑫²

(1. 安徽农业大学 植物保护学院, 合肥 230036; 2. 中国农业科学院 烟草研究所, 山东 青岛 266101)

摘 要: 为获得对 Q 型烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 具有高毒力的杀虫真菌菌株并将其应用于生产, 采用喷雾法测定了 5 个球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 菌株对烟粉虱若虫的毒力, 并运用时间-剂量-死亡率模型分析了 *B. bassiana* 84 (Bb84) 菌株对烟粉虱若虫的时间效应和剂量效应。结果表明: 在 5 个供试菌株中, Bb84 菌株对烟粉虱 3 龄若虫的致死速度快、致死率最高, 逐日死亡率随着 Bb84 菌株孢子浓度的增加而上升, 且其对 2、4 龄烟粉虱若虫也有较高的毒力。用时间-剂量-死亡率模型分析其剂量效应与时间效应, 结果表明: 随着 Bb84 菌株接种时间的延长, 相应的致死中浓度 (LC₅₀) 值随之降低, 剂量效应逐渐增强; 当 Bb84 菌株处理浓度为 1.0×10^7 、 1.0×10^8 和 1.0×10^9 孢子/mL 时, 其对烟粉虱 3 龄若虫的致死中时间 (LT₅₀) 值分别为 5.44、4.61 和 4.05 d, 即 LT₅₀ 值随菌株孢子浓度的增加而减小, 时间效应增强。因此, 在实际生产中, 当球孢白僵菌 Bb84 菌株的浓度高于 1.0×10^8 孢子/mL 时, 对烟粉虱 3 龄若虫的防治效果较好。

关键词: 球孢白僵菌; Bb84 菌株; Q 型烟粉虱; 毒力; 时间-剂量-死亡率模型

中图分类号: S433.3 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2016)04-0459-06

Time-dose-mortality of the *Beauveria bassiana* strain Bb84 on Q-biotype *Bemisia tabaci*

WANG Yanqiu¹, ZHOU Tingting¹, LIN Huafeng^{*1}, JIN Peng¹, LI Maoye¹, CHEN Dexin²

(1. School of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Tobacco Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266101, Shandong Province, China)

Abstract: In order to obtain entomogenous fungi strains with high toxicity against Q-biotype *Bemisia tabaci* and apply it to the production, the toxicity of *Beauveria bassiana* strain against Q-biotype *B. tabaci* were measured by using the method of spray. And the time-dose-mortality (TDM) model was applied to analyze the time and dose effects of strain Bb84 on Q-biotype *B. tabaci*. The results showed that the mortality rate of strain Bb84 against the 3rd nymph was the highest and its lethality was the highest among the five tested strains and the daily cumulative mortality increased with the concentrate of conidial suspension. Strain Bb84 also had high toxicity to the 2nd and 4th nymph. The analysis of

收稿日期: 2015-12-08; 录用日期: 2016-05-27.

基金项目: 安徽省烟草公司2015年科技重点研究项目 (20150551007); 中国烟草总公司科研重点项目 (110201202003).

作者简介: 王艳秋, 女, 硕士, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: yanqiuwang1990@163.com; *林华峰, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 教授, 主要从事昆虫病理学与害虫防治研究, E-mail: hf.lin@163.com

TDM model showed that the LC_{50} value decreased and dose effect increased with the extension of time; LT_{50} values were 5.44, 4.61 and 4.05 d for the 3rd nymph of *B. tabaci* at spore concentrations of 1.0×10^7 , 1.0×10^8 and 1.0×10^9 spores/mL, respectively. Thus the LT_{50} value decreased and time effect increased with the extension of dose. Therefore, in the actual production, when the concentration of the *B. bassiana* strain Bb84 is higher than 1.0×10^8 spores/mL, the control effect of the 3rd nymph of *B. tabaci* is better.

Keywords: *Beauveria bassiana*; Bb84; Q-biotype *Bemisia tabaci*; toxicity; time-dose-mortality model

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是一种重要的世界性害虫，其寄主包括果树、蔬菜、花卉及杂草等 74 个科 500 余种植物，且寄主范围仍在不断扩大^[1-2]。其对植物的危害主要包括直接吸取植物汁液、分泌蜜露影响植物的光合作用以及传播植物病毒等^[3]。自 20 世纪 90 年代以来，其在中国农田和园林植物上的危害逐年加重，给农业生产造成了巨大的经济损失^[4-5]。

目前，化学防治仍然是控制烟粉虱危害的主要手段。但由于烟粉虱体表被覆蜡质外壳，化学农药很难渗透且其抗药性不断增强^[6-8]，给防治工作带来了极大的困难。因此，对烟粉虱宜采取以生物防治为主的综合治理对策。虫生真菌是世界各国研究应用较多的一类昆虫病原微生物，尤其是白僵菌 *Beauveria bassiana*，可侵染 15 目 149 科 700 多种昆虫^[9]，近年其在实验室、温室和大田防

治烟粉虱的试验中已显现出较大的控制潜能^[10-13]。但是，虫生真菌对害虫的致病周期较长，且不同种、株系的虫生真菌对害虫的毒力差异较大，使其在实际应用中受到一定限制。因此，筛选对烟粉虱毒力高、致病周期短的真菌或菌株是开展烟粉虱生防的一项重要研究内容^[14]。

本研究组在筛选对烟粉虱高毒力菌株的过程中，发现一株球孢白僵菌 Bb84 对烟粉虱致死速度较快，致死率较高，随后研究了其对烟粉虱不同龄期若虫的毒力，并运用时间-剂量-死亡率模型分析其时间效应和剂量效应，较准确地评价了该菌株防治烟粉虱的潜力。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

供试白僵菌菌株，由安徽农业大学生物防治实验室保存，其来源见 表 1。

表 1 供试白僵菌菌株的来源

Table 1 Hosts and origins of the tested strains		
菌株 Strains	寄主 Hosts	原始采集地 Original localities
<i>Beauveria bassiana</i> 84 (Bb84)	铜绿金龟子 <i>Anomala corpulenta</i>	安徽牯牛降 Guniujiang, Anhui
<i>Beauveria bassiana</i> qing (Bbqing)	叶蝉 <i>Paraphlepsius</i>	安徽琅琊山 Langyashan, Anhui
<i>Beauveria bassiana</i> 14 (Bb14)	象甲 <i>Curculionidae</i>	安徽牯牛降 Guniujiang, Anhui
<i>Beauveria bassiana</i> 12 (Bb12)	榆绿毛萤叶甲 <i>Pyrrhalta aenescens</i>	安徽巢湖 Chaohu, Anhui
<i>Beauveria bassiana</i> 22 (Bb22)	斑衣蜡蝉 <i>Lycorma delicatula</i>	安徽琅琊山 Langyashan, Anhui

1.2 供试昆虫

供试烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) (经鉴定为 Q 隐种) 采自安徽省和县温室蔬菜大棚，在安徽农业大学植物保护学院智能人工气候室 (ZRS-1JSW) 室内的黄瓜上连续饲养 20 代以上，获得 2、3、4 龄若虫供试。

1.3 不同菌株的毒力测定

采用喷雾法^[15]进行测定。供试白僵菌菌株在萨氏培养基 (Sabouraud dextrose agar plus 1%

peptone, SDAY) 上培养 10 d 后，将分生孢子刮到 10 mL 0.05% 的 Tween-80 水溶液中，涡旋振荡 30 min，用血球计数板计数，配制成 1.0×10^8 孢子/mL 的孢子悬浮液。摘取带虫黄瓜苗，随机标记烟粉虱 3 龄若虫 30 头，移除多余的若虫。取 1 mL 供试菌株孢子悬浮液，采用喷雾法处理试虫，自然晾干，用脱脂棉包裹黄瓜叶柄基部后放入直径为 15 cm 的培养皿中，并加入适量无菌水保湿。以 0.05% 的 Tween-80 水溶液作空白对照。

共计 6 个处理，每处理重复 3 次。将培养皿置于 (25±1) °C、相对湿度 85% 和光照 L : D = 14 : 10 的恒温人工气候箱内培养，逐日镜检记录若虫死亡 (若虫体表长出菌丝判定为死亡) 数量，直至若虫全部死亡或羽化。

1.4 高毒力菌株的毒力测定

将筛选出的高毒力菌株配制成浓度为 1.0 × 10⁸ 孢子/mL 的孢子悬浮液，对 2、3 和 4 龄若虫进行毒力测定；同时配制 1.0 × 10⁹、1.0 × 10⁸、1.0 × 10⁷、1.0 × 10⁶ 和 1.0 × 10⁵ 孢子/mL 5 种不同浓度的孢子悬浮液，研究不同浓度孢子悬浮液对 3 龄若虫的毒力。孢子悬浮液配制方法、试虫的处理和记录方法同 1.3 节。

1.5 数据处理与分析

用每天观察的平均活虫与死虫数计算各处理的死亡率，并以 Abbott 公式 (1) 计算校正死亡率。

校正死亡率/% =
$$\frac{\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}}{1 - \text{对照组死亡率}} \times 100$$
 (1)

不同白僵菌菌株的毒力测定数据用 Excel 软件处理，采用最小显著差异法 (LSD) 进行多重比较。

Bb84 菌株不同浓度孢子悬浮液对 3 龄若虫的毒力测定数据采用时间-剂量-死亡率模型 (TDM)^[16] 进行模拟分析。在该模拟分析中，将剂量效应和时间效应统一到一个模型中，可考察时间、剂量效应的互作，能够体现出生测数据的完整性和客观性。该模型表述见式 (2)。

$$p_{ij} = 1 - \exp[-\exp(\tau_j + \beta \lg(d_i))] \quad (2)$$

式 (2) 中：p_{ij} 表示在时间 t_j (j = 1, 2, 3, ...J) 即接种后第 j 日由剂量 d_i (i = 1, 2, 3, ...i) 引起的试虫累计死亡概率，待估参数 β 是与剂量效应有关的斜率，是描述假设存在的每个关键生物受体所接

受的活 (毒) 性分子的平均数目；τ_j 为实际对应于时间 t_j 的参数，即是相应于时间区间 [t_{j-1}, t_j] 的未知参数。由于累计死亡率在时间上是连续的，不能满足模型模拟变量的独立性假设。因此考虑剂量 d_i 使试虫在时间区间 [t_{j-1}, t_j] 内可能发生的条件死亡概率可表示为：

$$q_{ij} = 1 - \exp[-\exp(\gamma_j + \beta \lg(d_i))] \quad (3)$$

式 (3) 中：β 与式 (2) 相同，γ_j 为描述区间 [t_{j-1}, t_j] 内的时间效应参数，条件死亡率的计算依赖于相互完全独立的时间区间。它是时间区间结束时的实际死亡数与起始时的存活数之比。式 (3) 可通过二项式分布变量的最大似然函数逼近法求得参数 γ_j 和 β 的最大似然估计，进而估计出所有参数。计算与模拟过程均使用 DPS 软件^[17]完成。

2 结果与分析

2.1 不同菌株对烟粉虱3龄若虫的毒力

结果 (表 2) 显示，不同白僵菌菌株对烟粉虱均有毒力，但差异显著。Bb84、Bbqing 及 Bb14 菌株第 8 天的累计校正死亡率显著高于 Bb12 和 Bb22，其中 Bb84 菌株的致死率最高，达 83.91%。接种后 3~8 d，Bb84 菌株致死率始终高于其他菌株，且第 5 天时其致死率已超过 50%，这些结果表明，Bb84 菌株对烟粉虱 3 龄若虫有较高的毒力，且致死速度快。

2.2 Bb84 菌株对烟粉虱不同龄期若虫的毒力

Bb84 菌株对 2、3、4 龄若虫均有较强的毒力，LT₅₀ 值分别为 4.45、4.94 和 5.33 d，校正死亡率随着虫龄的增加而降低，且不同龄期间差异显著 (表 3)。本研究结果表明，Bb84 菌株对不同龄期若虫有不同的毒力，且龄期越小越易侵染。

表 2 不同菌株对烟粉虱若虫的毒力

菌株 Fungal strains	累计校正死亡率 Accumulative corrected mortality/%					
	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d
Bb84	18.89 ± 0.01 a	29.89 ± 0.04 a	57.47 ± 0.01 a	70.11 ± 0.01 a	79.31 ± 0.02 a	83.91 ± 0.02 a
Bbqing	3.33 ± 0.02 b	16.09 ± 0.04 b	29.89 ± 0.03 b	42.53 ± 0.03 c	65.52 ± 0.06 b	78.16 ± 0.05 ab
Bb14	15.56 ± 0.02 a	26.67 ± 0.01 a	39.08 ± 0.04 b	50.57 ± 0.03 b	58.62 ± 0.03 bc	68.97 ± 0.05 b
Bb12	0	8.05 ± 0.01 bc	17.24 ± 0.04 c	37.93 ± 0.02 c	50.57 ± 0.01 c	57.47 ± 0.01 c
Bb22	0	2.30 ± 0.01 c	12.2 ± 0.04 d	22.22 ± 0.01 d	28.89 ± 0.01 d	34.44 ± 0.03 d

注：表中数据为平均值 ± 标准误，同列数据后字母相同表示差异不显著 (P > 0.05)。
Note: The data in the table were means ± SE and the means in each column with the same letter had no significant difference at 0.05 level when tested by LSD.

表 3 Bb84 菌株对烟粉虱不同龄期若虫毒力

Table 3 Toxicity of strain Bb84 against different nymphs age

若虫龄期 Instar nymph	回归方程 Regression equation	相关系数 (r) Correlation coefficient	校正死亡率* Corrected mortality*/%	LT ₅₀ /d
2 龄 2 nd instar	$y = 3.01 + 0.45x$	0.987 7	90.80 ± 1.15 a	4.45
3 龄 3 rd instar	$y = 3.10 + 0.38x$	0.970 4	81.61 ± 2.23 b	4.94
4 龄 4 th instar	$y = 2.72 + 0.43x$	0.981 8	70.11 ± 1.15 c	5.33

注：* 表示数据为平均值 ± 标准误，数据后字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$)。
Note: * The data were means ± SE and the means with the same letter had no significant difference at 0.05 level when tested by LSD.

2.3 不同浓度白僵菌 Bb84 孢子悬浮液处理后烟粉虱 3 龄若虫的逐日死亡率

图 1 描述了接种白僵菌 Bb84 后烟粉虱 3 龄若虫的累计校正死亡率变化情况。接种后第 3 天烟粉虱开始发病出现死亡，其累计校正死亡率随 Bb84 孢子浓度的增加和作用时间的延长而增大，至第 7 天，在孢子浓度分别为 1.0×10^5 、 1.0×10^6 、 1.0×10^7 、 1.0×10^8 和 1.0×10^9 孢子/mL 时，其校正死亡率分别为 31.03%、41.38%、67.82%、81.61% 和 88.51%，此后烟粉虱死亡率随处理时间延长而无明显变化。

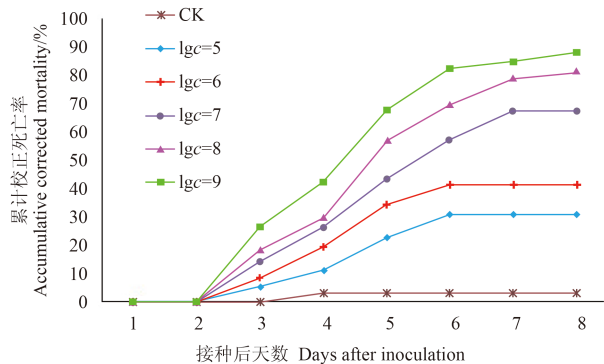


图 1 接种白僵菌 Bb84 后烟粉虱若虫逐日累计死亡率
Fig. 1 The daily accumulative mortality of *Bemisia tabaci* treatment with *Beauveria brongniartii* 84

2.4 时间-剂量-死亡率模型模拟分析

鉴于烟粉虱若虫接种白僵菌 Bb84 后第 3 天开始死亡，第 8 天后死亡率无明显变化，且试虫死亡过程缓慢，故选用 TDM 模型进行分析^[16, 18]。选取 3~8 d 的累计死亡率数据，并与对照组死亡率进行校正后，进行 TDM 模型分析和参数估计，模拟结果见表 4。所建模型的 $\chi^2 = 6.42$ ($df = 8$, $P = 0.60$)，小于 $\chi^2 = 15.51$ ，说明该数据通过了 Hosmer-Lemeshow 拟合度测试，拟合模型的异质性不显著，模型有效^[15]。

各浓度处理与时间效应参数的 t 值均达到极显著水平 ($P < 0.01$)，说明供试 Bb84 菌株剂量效应与时间效应极显著。该菌株对烟粉虱剂量效应的斜率 β 为 0.401 9。时间效应参数在烟粉虱接种后第 5 天 (γ_5) 达到最大。

2.5 Bb84 对烟粉虱作用的时间-剂量-死亡率模型分析

图 2 反映的是 TDM 模型估计的 Bb84 菌株对烟粉虱死亡率的剂量效应，随着时间的延长，侵染达到 LC_{50} 和 LC_{90} 值所需的孢子浓度下降。接种后 3~8 d， LC_{50} 估计值分别为 9.07×10^{10} (3 d)、 1.23×10^9 (4 d)、 2.47×10^7 (5 d)、 3.41×10^6 (6 d)、 1.57×10^6 (7 d) 和 1.28×10^6 (8 d) 孢子/mL，由于

表 4 Bb84 菌株对烟粉虱的时间-剂量-死亡率模型模拟及参数估计

Table 4 Parameters estimated by fitting the time-dose-mortality model to analyze the data of Bb84 against *Bemisia tabaci*

条件死亡率模型 Conditional mortality model					累计死亡率模型 Cumulative mortality mode			
参数 Parameter	估计值 Value	标准误 SE	t 测验 t test	P 值 P Value	参数 Parameter	估计值 Value	Var (r)	Cov (τ , β)
β	0.401 9	0.045 1	8.907 0	0.000 1	β	0.401 9	0.001 8	0.001 8
γ_3	-4.770 2	0.368 2	12.955 2	0.000 1	τ_3	-4.770 2	0.122 1	-0.014 1
γ_4	-4.657 3	0.361 6	12.880 0	0.000 1	τ_4	-4.019 0	0.112 7	-0.013 9
γ_5	-4.042 1	0.353 1	11.448 3	0.000 1	τ_5	-3.337 3	0.108 0	-0.013 8
γ_6	-4.222 3	0.357 8	11.802 2	0.000 1	τ_6	-2.991 8	0.105 3	-0.013 6
γ_7	-4.926 7	0.409 8	12.022 8	0.000 1	τ_7	-2.856 9	0.104 9	-0.013 6
γ_8	-6.145 6	0.592 8	10.366 5	0.000 1	τ_8	-2.820 3	0.105 1	-0.013 6

试虫在接种后 3 d 和 4 d 没有大量死亡，所以 3 d 和 4 d 的 LC_{50} 估计值偏大； LC_{90} 估计值变化范围在 $1.24 \times 10^9 \sim 8.80 \times 10^{13}$ 孢子/mL，而整个试验过程中试虫的实际最高累计校正死亡率未达到 90%，故模型估计的 LC_{90} 值整体偏大。

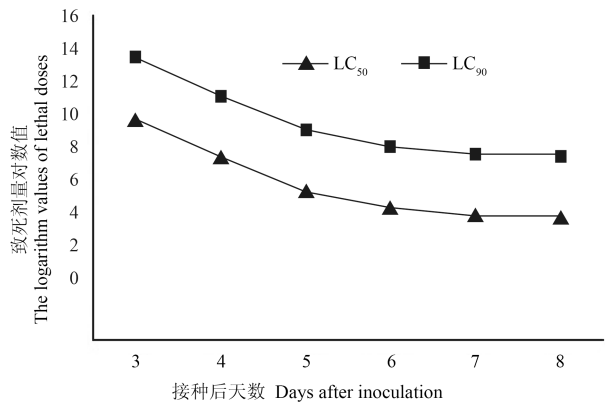


图2 接种后各时段致死剂量估计

Fig. 2 The estimation of LC_{50} and LC_{90} values in each period after inoculated

Bb84 菌株对烟粉虱若虫的致死时间 (LT_{50} 值) 随着孢子浓度的增加而递减。当孢子浓度为 1.0×10^5 和 1.0×10^6 孢子/mL 时，试虫的最终累计校正死亡率小于 50%，计算不出 LT_{50} 值；当孢子浓度分别为 1.0×10^7 、 1.0×10^8 和 1.0×10^9 孢子/mL 时， LT_{50} 值分别为 5.44、4.61 和 4.05 d。所有处理组试虫的最终累计校正死亡率均未达到 90%，计算不出 LT_{90} 值。

3 讨论

用白僵菌防治烟粉虱很早就引起了人们的关注。1998 年，Wraight 等^[19]经初步筛选，发现白僵菌对烟粉虱有较好的致病性；随后 Vicentini 等^[20]也进行了相应的研究；在美国、墨西哥和中美的一些国家，已开发出用于防治粉虱的白僵菌可湿性粉剂和悬浮剂^[21]。本研究所用的 5 个白僵菌菌株对烟粉虱 3 龄若虫均有一定的致病力，其中 Bb84 菌株的致病速度最快、毒力最强，显著高于其他供试菌株，而且其对 2、4 龄若虫也有较高毒力，表明该菌株具有开发成烟粉虱生防制剂的可能性。

从本研究中 Bb84 菌株不同浓度孢子悬浮液对烟粉虱 3 龄若虫的累计校正死亡率可以看出，当浓度由 1.0×10^7 增加至 1.0×10^9 孢子/mL 时，第

7 天的累计校正死亡率由 67.82% 增大到 88.51%。TDM 模型分析结果表明，试虫接种后第 4 天到第 8 天， LC_{50} 值由 1.23×10^9 降至 1.28×10^6 孢子/mL；当处理浓度由 1.0×10^7 增加至 1.0×10^9 孢子/mL 时， LT_{50} 值由 5.44 d 下降至 4.05 d。因此，建议在生产上用浓度高于 1.0×10^8 孢子/mL 的 Bb84 菌株孢子悬浮液防治烟粉虱 3 龄若虫，可达到在较短时间内杀死烟粉虱的目的。

在球孢白僵菌 Bb84 菌株对 Q 型烟粉虱 3 龄若虫的毒力评估中，采用时间-剂量-死亡率模型进行模拟分析，不仅避免了几率分析中的时间与剂量效应相互排斥的问题，还可以得到传统分析方法无法产生的剂量和时间效应互作的趋势信息^[17]，即 LC_{50} 值随时间的下降趋势和 LT_{50} 值随剂量的下降趋势，这样能进一步可靠地评价该菌株的杀虫能力。

参考文献(Reference):

[1] 何玉仙, 杨秀娟, 翁启勇. 农田烟粉虱寄主植物调查初报[J]. 华东昆虫学报, 2003, 12(2): 16-20.
HE Y X, YANG X J, WENG Q Y. Investigations of host plants of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in agricultural field[J]. Entomol J East China, 2003, 12(2): 16-20.

[2] XU J, LIN K K, LIU S S. Performance on different host plants of an alien and an indigenous *Bemisia tabaci* from China[J]. J Appl Entomol, 2011, 135(10): 771-779.

[3] PERRING T M, COOPER A D, RODRIGUEZ R J, et al. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies[J]. Science, 1993, 259(5091): 74-77.

[4] 张芝利, 罗晨. 我国烟粉虱的发生危害和防治对策[J]. 植物保护, 2001, 27(2): 25-30.
ZHANG Z L, LUO C. Occurrence and control countermeasures of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China[J]. Plant Protect, 2001, 27(2): 25-30.

[5] 张友军, 朱国仁, 褚栋, 等. 我国蔬菜作物重大入侵害虫发生、危害与控制[J]. 植物保护, 2011, 37(4): 1-6.
ZHANG Y J, ZHU G R, CHU D, et al. Occurrence, damage and control of important invasive insect pests on the vegetable crops in China[J]. Plant Protect, 2011, 37(4): 1-6.

[6] 慕卫, 刘峰, 刘海涛. 烟粉虱暴发成因及其治理技术研究[J]. 中国农学通报, 2003, 19(4): 108-109.
MU W, LIU F, LIU H T. Outbreak reason of cotton whitefly [*Bemisia tabaci* (Gennadius)] and its integrated pest measure[J]. Chin Agric Sci Bull, 2003, 19(4): 108-109.

[7] 褚栋, 张友军, 丛斌, 等. 世界性重要害虫 B 型烟粉虱的入侵机制[J]. 昆虫学报, 2004, 47(3): 400-406.

- CHU D, ZHANG Y J, CONG B, et al. The invasive mechanism of a worldwide important pest, *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B[J]. Acta Entomol Sin, 2004, 47(3): 400-406.
- [8] 郑宇, 赵建伟, 何玉仙, 等. 福建省烟粉虱田间种群抗药性发展及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 271-277.
- ZHENG Y, ZHAO J W, HE Y X, et al. Development of insecticide resistance and its effect factors in field population of *Bemisia tabaci* in Fujian Province, East China[J]. Chin J Appl Ecol, 2012, 23(1): 271-277.
- [9] FENG M G, POPRAWski T J, KHACHATOURIANS G G. Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status[J]. Biocontrol Sci Technol, 1994, 4(1): 3-34.
- [10] ZAKI F N. Efficiency of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Bals), against *Aphis crassivora* Koch and *Bemisia tabaci*, Gennadius[J]. J Appl Entomol, 1998, 122(1-5): 397-399.
- [11] ALVES S B, SILVEIRA C A, LOPES R B, et al. Efficacy of *Beauveria bassiana*, imidacloprid and thiacloprid for the control of *Bemisia tabaci* and the incidence of BGMV[J]. Manejo Integr Plagas, 2001, 61: 31-36.
- [12] ISLAM M T, CASTLE S J, REN S X. Compatibility of the insect pathogenic fungus *Beauveria bassiana* with neem against sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*, on eggplant[J]. Entomol Exp Appl, 2010, 134(1): 28-34.
- [13] MASCARIN G M, KOBORI N N, QUINTELA E D, et al. The virulence of entomopathogenic fungi against *Bemisia tabaci* biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) and their conidial production using solid substrate fermentation[J]. Biol Control, 2013, 66(3): 209-218.
- [14] 刘召, 雷仲仁. 对烟粉虱具有高致病力的虫生真菌筛选[J]. 中国蔬菜, 2014(3): 37-40.
- LIU Z, LEI Z R. Screening of high pathogenic entomopathogenic to tobacco whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius)[J]. China Veget, 2014(3): 37-40.
- [15] 孟豪, 田晶, 付淑惠, 等. 玫烟色棒束孢与球孢白僵菌对桃蚜致病力对比[J]. 植物保护学报, 2014, 41(6): 717-722.
- MENG H, TIAN J, FU S H, et al. Pathogenicity of *Isaria fumosorosea* and *Beauveria bassiana* against the green peach aphid, *Myzus persicae*[J]. Acta Phytophy Sin, 2014, 41(6): 717-722.
- [16] 王联德, 黄建, 林谷园, 等. 蜡蚧轮枝菌对烟粉虱的时间-剂量-死亡率模型研究[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2003, 32(2): 167-171.
- WANG L D, HUANG J, LIN G Y, et al. The time-dose-mortality model of two *Verticillium lecanii* isolates on sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*[J]. J Fujian Agric Forestry Univ (Nat Sci Ed), 2003, 32(2): 167-171.
- [17] 唐启义, 冯明光. DPS数据处理系统: 实验设计、统计分析 & 数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 336-342.
- TANG Q Y, FENG M G. DPS data processing system: experimental design, statistical analysis and data mining[M]. Beijing: Science Press, 2007: 336-342.
- [18] 林华峰, 张松影, 李茂业, 等. 黄绿绿僵菌Mf82悬乳剂对褐飞虱作用的时间-剂量-死亡率模型分析[J]. 菌物学报, 2013, 32(2): 239-247.
- LIN H F, ZHANG S Y, LI M Y, et al. Analyses of time-dose-mortality model of the emulsifiable formulation of *Metarhizium flavoviride* Mf82 against *Nilaparvata lugens*[J]. Mycosystema, 2013, 32(2): 239-247.
- [19] WRAIGHT S P, CARRUTHERS R I, BRADLEY C A, et al. Pathogenicity of the entomopathogenic fungi *Paecilomyces* spp. and *Beauveria bassiana* against the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*[J]. J Invertebr Pathol, 1998, 71(3): 217-226.
- [20] VICENTINI S, FARIA M, de OLIVEIRA M R V. Screening of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) isolates against nymphs of *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) with description of a new bioassay method[J]. Neotrop Entomol, 2001, 30(1): 97-103.
- [21] FARIA M, WRAIGHT S P. Biological control of *Bemisia tabaci* with fungi[J]. Crop Protect, 2001, 20(9): 767-778.

(责任编辑: 金淑惠)