



代晓彦, 李翌菡, 沈祖乐, 等. 球孢白僵菌与玫烟色棒束孢制剂对柑橘木虱的防治[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(1): 63-68.

球孢白僵菌与玫烟色棒束孢制剂对柑橘木虱的防治

代晓彦^{1,2}, 李翌菡¹, 沈祖乐¹, 许炜明¹, 吴建辉¹, 任顺祥¹, 邱宝利¹

(1 华南农业大学 农学院/广东省生物农药创制与应用重点实验室/广东省农业害虫生物防治工程技术研究中心
广东 广州 510642; 2 山东省农业科学院 植物保护研究所, 山东 济南 250100)

摘要:【目的】研究 2 株高致病力菌株球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 和玫烟色棒束孢 *Isaria fumosorosea* 菌株对柑橘木虱 *Diaphorina citri* 不同虫态的致病力及田间防控效果。【方法】球孢白僵菌和玫烟色棒束孢孢子稀释成 1×10^4 、 1×10^5 、 1×10^6 、 1×10^7 、 1×10^8 mL⁻¹, 室内喷施法研究其对木虱低龄、高龄若虫与成虫的侵染致死效果; 在笼罩条件下研究其在半田间条件下对柑橘木虱成虫种群的控制作用。【结果】2 种真菌制剂对柑橘木虱低龄若虫的致病力高于高龄若虫。7 d 后球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱高龄若虫的 LC₅₀ 值分别为 3.6×10^4 和 5.2×10^4 mL⁻¹, 对低龄若虫的 LC₅₀ 值分别为 3.5×10^4 和 4.2×10^4 mL⁻¹, 而对柑橘木虱成虫的 LC₅₀ 值分别为 1.4×10^5 和 1.6×10^5 mL⁻¹。在半田间条件下, 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的 LC₅₀ 值分别为 3.7×10^5 和 1.2×10^6 mL⁻¹。同一孢子浓度对柑橘木虱的致死率室内效果优于半田间。2 种真菌制剂对柑橘木虱成虫的致死时间与孢子浓度有关, LT₅₀ 随着真菌孢子悬浮液浓度的增加而递减, 球孢白僵菌孢子浓度为 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^8$ mL⁻¹ 时, 柑橘木虱成虫的 LT₅₀ 值为 5.2~4.4 d; 玫烟色棒束孢孢子浓度为 $1 \times 10^6 \sim 1 \times 10^8$ mL⁻¹ 时, 柑橘木虱成虫的 LT₅₀ 值为 5.3~4.9 d。【结论】球孢白僵菌和玫烟色棒束孢菌株对柑橘木虱有良好的生物防治效果, 柑橘木虱各虫态的死亡率与病原真菌的孢子浓度正相关。

关键词: 柑橘木虱; 球孢白僵菌; 玫烟色棒束孢; 致病力; 生物防治
中图分类号: S828 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2017)01-0063-06

The biocontrol effects of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* on Asian citrus psyllid

DAI Xiaoyan^{1,2}, LI Yihan¹, SHEN Zule¹, XU Weiming¹, WU Jianhui¹, REN Shunxiang¹, QIU Baoli¹
(1 College of Agriculture, South China Agricultural University/Key Laboratory of Bio-Pesticide Innovation and Application/Engineering Technology Research Center of Agricultural Pest Biocontrol, Guangzhou 510642, China;
2 Plant Protection Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan 250100, China)

Abstract:【Objective】To study pathogenicity and biological control effects of two entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* to the nymphs and adults of Asian citrus psyllid (ACP) *Diaphorina citri*. 【Method】The spore suspensions of *B. bassiana* and *I. fumosorosea* were diluted to 1×10^4 , 1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 and 1×10^8 mL⁻¹, and then were sprayed on ACP younger instar, older instar nymphs and adults indoor to study the lethal effects and under semi-field conditions to study the control effects against ACP adult population. 【Result】*B. bassiana* and *I. fumosorosea* had higher pathogenicity to younger nymphs (2-3 instar) than to older nymphs (4-5 instar). After seven days infection, the LC₅₀ of *B. bassiana* and *I. fumosorosea* to ACP older nymphs were 3.6×10^4 and 5.2×10^4

收稿日期: 2016-03-15 优先出版时间: 2016-12-28
优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20161228.0922.004.html>
作者简介: 代晓彦 (1988—) 女, 硕士, E-mail: abeamsunshine@163.com; 通信作者: 邱宝利 (1973—) 男, 教授, 博士, E-mail: baileyqiu@scau.edu.cn
基金项目: 广东省科技计划 (2015A020209140); 广州市科技计划 (201509010023); 广州市产学研协同创新重大专项对外合作项目 (201604030029); 广东省普通高校省级重大科研项目 (2014-16)

mL^{-1} , to ACP younger nymphs were 3.5×10^4 and $4.2 \times 10^4 \text{ mL}^{-1}$, and to ACP adults were 1.4×10^5 and $1.6 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ respectively. Under semi-field conditions, the LC_{50} of *B. bassiana* and *I. fumosorosea* to ACP adults increased to 3.7×10^5 and $1.2 \times 10^6 \text{ mL}^{-1}$. The lethal effects of two fungi at the same spore concentration against ACP in semi-field were lower than those indoor. Meanwhile, the lethal time of both fungi to ACP adults was correlated with spore concentration. The LT_{50} decreased with the increase of spore concentration, ranged between 5.2 – 4.4 days when the spore concentration of *B. bassiana* varied from 1×10^5 to $1 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$, and ranged between 5.3 – 4.9 days when the spore concentration of *I. fumosorosea* varied from 1×10^6 to $1 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$. 【Conclusion】 Both *B. bassiana* and *I. fumosorosea* have good biocontrol effects against ACP. The fatality rates of ACP are positively correlated with the concentrations of fungal spores.

Key words: Asian citrus psyllid; *Beauveria bassiana*; *Isaria fumosorosea*; pathogenicity; biological control

柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 属半翅目 Hemiptera 木虱科 Psyllidae, 是当前柑橘类水果生产中的一种重要害虫, 其寄主主要为芸香科的柑橘属和九里香属植物^[1-2]。柑橘木虱成虫和若虫在寄主植物的嫩梢嫩叶上刺吸取食, 造成植株营养不良^[3-4]。木虱成虫常在叶脉上栖息, 偏好嫩梢、幼叶、新芽, 雌虫喜在新芽上产卵, 若虫孵化后直接为害新梢^[5]。除直接为害柑橘外, 柑橘木虱还是柑橘黄龙病病菌亚洲型 *Candidatus Liberibacteria asiaticus* 和美洲型 *Candidatus Liberibacteria americanus* 的重要媒介昆虫^[6]。防控柑橘木虱, 切断黄龙病传播途径成为控制柑橘黄龙病传播蔓延的关键环节^[7-8]。目前针对柑橘木虱的防治主要有化学、物理、生物防治等方法。但是化学防治对环境污染严重, 物理和农业防治又各有一定局限性, 生物防治因安全、环保、可持续、低能耗等优点受到人们的重视^[9]。

昆虫病原真菌被认为是具有广阔应用前景的生物防治资源类群, 笔者前期在实验室条件下, 筛选获得了对柑橘木虱有高致病力的 2 株昆虫病原真菌菌株球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* E 菌株与玫烟色棒束孢 *Isaria fumosorosea* B 菌株^[10], 本文研究了这 2 株优良菌株制剂对柑橘木虱不同虫态的致病力及田间防控效果, 以明确这 2 种菌株对柑橘木虱的最佳防治浓度等参数, 为评价其对柑橘木虱的防治潜力, 进而研发柑橘木虱高效生防制剂奠定技术基础。

1 材料与方法

1.1 材料

柑橘木虱最早采集于华南农业大学校内九里香 *Murraya paniculata* 植株上, 继代种群用九里香饲养于广东省农业害虫生物防治工程技术研究中心(华南农业大学)试验网室内。

九里香种苗购置于广州市增城区小楼苗圃基地, 用 1.5 L 塑料钵盆栽在广东省农业害虫生物防治工程技术研究中心网室内, 定时浇水、施肥和剪枝。

前期试验筛选的对柑橘木虱具有高致病力的球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* E 菌株和玫烟色棒束孢 *Isaria fumosorosea* B 菌株^[10]。

40 倍显微镜(宁波舜宇仪器有限公司 BH300); 人工气候箱(江苏金坛仪器厂 PQX-250)。

1.2 方法

1.2.1 真菌孢子悬浮液制剂的配制 将球孢白僵菌 E 菌株和玫烟色棒束孢 B 菌株分别接种于 PDA 培养基上, 在 $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、12 h 光: 12 h 暗、3 000 lx 光照度的培养箱中培养 10 d, 然后挑取生长良好的菌落, 用 0.03% (φ) 的吐温-80 无菌水稀释, 经磁力搅拌器搅拌 30 min, 待孢子完全被打散后过滤, 得到较纯的孢子悬浮液, 母液的孢子浓度在 40 倍显微镜下以血球计数板计数, 再分别稀释成 1×10^4 、 1×10^5 、 1×10^6 、 1×10^7 和 $1 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$ 。

1.2.2 真菌制剂对柑橘木虱若虫的致病力测定 将柑橘木虱成虫接种于干净健康的九里香植株嫩枝上, 每株九里香接入 20 对成虫, 让成虫产卵 24 h 后赶走成虫, 分别待柑橘木虱若虫发育至低龄(2~3 龄)与高龄(4~5 龄)时进行试验。

选取含有低龄若虫和高龄若虫的嫩芽, 保证每个嫩芽上有 20 头若虫, 然后用手提喷雾器喷施不同浓度的球孢白僵菌和玫烟色棒束孢孢子悬浮液, 直至叶面全面湿润但不形成药滴, 然后将处理的盆栽植株置于温度为 $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、光周期为 12 h 光: 12 h 暗, 光照度 3 000 lx, 相对湿度 90% 的人工气候箱内, 7 d 后, 调查柑橘木虱低龄与高龄若虫的死亡率。对

照(CK)为0.03%(φ)的吐温-80 无菌水,同一孢子浓度及对照试验重复3次。

1.2.3 真菌制剂对柑橘木虱成虫的致病力测定
选取干净健康并具有嫩枝嫩梢的九里香植株,每株接入20对5日龄的木虱成虫,待其在嫩枝上定居取食时,用圆筒形顶部有尼龙纱网(60目)的养虫笼罩住整个植株,以防柑橘木虱逃逸,然后按照“1.2.2”的方法检测真菌对柑橘木虱成虫的致病力。

1.2.4 真菌制剂对柑橘木虱半田间种群的防控
利用钢丝架制作高120 cm,直径为50 cm的圆形网罩,一端开口,其余部位用60目的尼龙纱网封围。将30盆长势一致、嫩芽较多、健康干净的九里香植株分别用网罩罩住,确保柑橘木虱无法逃逸。

每个网罩中释放30头日龄为4~5 d的成虫,第2天用手提喷雾器分别向植株上喷施不同浓度的球孢白僵菌和玫烟色棒束孢真菌孢子悬浮液,每天记录柑橘木虱的死亡数,连续观察7 d。对照为0.03%(φ)的吐温-80 无菌水。网罩内放入温湿度计,记录温度和湿度。试验重复3次。

1.3 数据分析

计算不同处理接种后柑橘木虱的死亡率,用死亡率-浓度几率值分析法求毒力回归方程,计算致死中浓度(LC₅₀);用死亡率-时间几率值计算致死中时间(LT₅₀)。

试验数据应用SAS 8.01 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱若虫的致死率

不同浓度的球孢白僵菌孢子悬浮液侵染柑橘木虱低龄与高龄若虫7 d后的死亡率见表1。孢子浓度为1×10⁴ mL⁻¹时,球孢白僵菌对柑橘木虱高龄和低龄若虫的致死率都低于50%,孢子浓度为1×10⁵ mL⁻¹,其对柑橘木虱低龄若虫的侵染致死率达到63.3%,对高龄若虫的侵染致死率为55.0%。在孢子浓度大于1×10⁶ mL⁻¹时,球孢白僵菌对柑橘木虱的低龄和高龄若虫表现出了较高的致死率,且随着浓度的增大,致死率越来越高;在1×10⁸ mL⁻¹的浓度时,球孢白僵菌孢子悬浮液对柑橘木虱低龄和高龄若虫的致死率都超过了90%。此外,试验结果表明球孢白僵菌对柑橘木虱低龄若虫有更好的侵染致死效果。

不同浓度玫烟色棒束孢孢子悬浮液处理柑橘木虱低龄与高龄若虫,7 d后若虫的死亡率表明,随着浓度的增加,玫烟色棒束孢对柑橘木虱低龄与高龄

若虫的致死率越来越高。1×10⁴ mL⁻¹孢子悬浮液对木虱低龄与高龄若虫的侵染致死率分别只有36.5%、33.3%,当孢子浓度为1×10⁵ mL⁻¹时,木虱低龄与高龄若虫的致死率为58.9%和53.4%,而1×10⁸ mL⁻¹孢子悬浮液对木虱低龄若虫的致死率达到88.3%,对高龄若虫的致死率也达到83.7%,说明玫烟色棒束孢对柑橘木虱低龄若虫有较好的防治效果。玫烟色棒束孢对柑橘木虱的高龄若虫的致死率低于低龄若虫,说明玫烟色棒束孢对低龄若虫的侵染效果更好。

表1 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱若虫侵染7 d后的致死率¹⁾

Tab.1 The fatality rates of <i>Diaphorina citri</i> nymphs after infected seven days with different concentrations of <i>Beauveria bassiana</i> and <i>Isaria fumosorosea</i> %			
菌株	孢子浓度/mL ⁻¹	低龄若虫	高龄若虫
球孢白僵菌	1×10 ⁴	41.0±10.0c	46.4±3.3de
	1×10 ⁵	63.3±5.8b	55.0±2.9dc
	1×10 ⁶	78.6±4.4b	71.7±3.3bc
	1×10 ⁷	87.6±4.4ab	82.9±4.4ab
	1×10 ⁸	96.7±5.7a	93.3±4.4a
	CK	28.3±6.7c	22.5±4.4e
玫烟色棒束孢	1×10 ⁴	36.5±4.4c	33.3±3.3b
	1×10 ⁵	58.9±5.8b	53.4±3.9b
	1×10 ⁶	73.0±2.9b	68.5±3.3a
	1×10 ⁷	81.8±4.4a	76.3±3.3a
	1×10 ⁸	88.3±4.9a	83.7±6.7a
	CK	27.7±6.7c	21.7±1.7c

1) 同一菌株同列数据后凡具有一个相同字母者,表示差异不显著(P>0.05,SSR法)。

2.2 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的致死率

在实验室条件下,不同浓度的球孢白僵菌和玫烟色棒束孢孢子悬浮液处理柑橘木虱成虫,3 d后各处理均有个体发病死亡,感病的柑橘木虱成虫表面大部分能见到白色菌丝,7 d后的累积侵染死亡率见表2。结果表明:2种优良菌株孢子悬浮液在1×10⁴和1×10⁵ mL⁻¹时对柑橘木虱成虫的致死率低于50%,但随着浓度的升高,2种真菌孢子制剂对柑橘木虱成虫的致死率逐渐升高,在1×10⁸ mL⁻¹孢子浓度下,球孢白僵菌对柑橘木虱成虫的致死率达到91.0%,玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的致死率也达到88.3%。此外,与对若虫的侵染能力相似,玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的侵染致死率小于球孢白僵菌。

表 2 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫侵染 7 d 后的致死率¹⁾

Tab. 2 The fatality rates of *Diaphorina citri* adults after infected seven days with different concentrations of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* %

菌株	孢子浓度/mL ⁻¹	成虫
球孢白僵菌	1 × 10 ⁴	34.6 ± 4.5cd
	1 × 10 ⁵	49.5 ± 5.4c
	1 × 10 ⁶	61.4 ± 6.2bc
	1 × 10 ⁷	82.3 ± 8.7ab
	1 × 10 ⁸	91.0 ± 5.9a
	CK	22.1 ± 4.4d
玫烟色棒束孢	1 × 10 ⁴	31.2 ± 5.9cd
	1 × 10 ⁵	45.2 ± 4.4bc
	1 × 10 ⁶	51.4 ± 6.0b
	1 × 10 ⁷	72.9 ± 8.2a
	1 × 10 ⁸	88.3 ± 6.7a
	CK	21.6 ± 2.9d

1) 同一菌株同列数据后凡具有一个相同字母者,表示差异不显著($P>0.05$,SSR 法)。

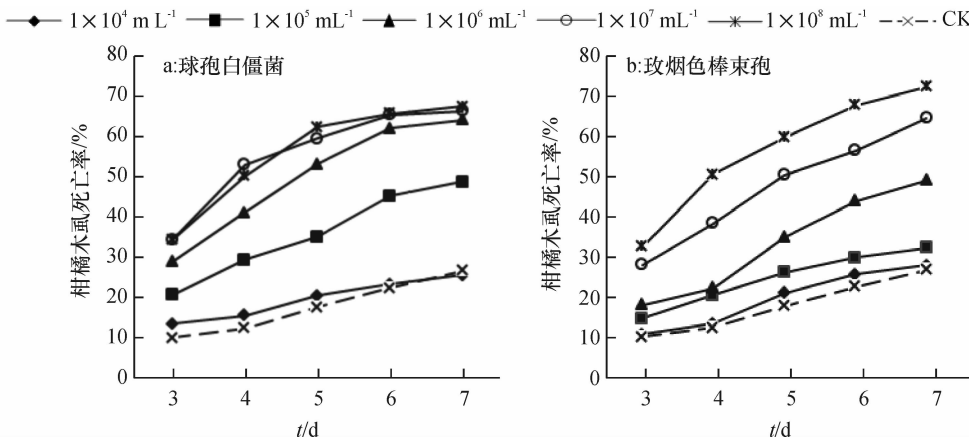


图 1 半田间条件下球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的致死率

Fig. 1 The fatality rates of *Diaphorina citri* adults infected with different concentrations of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* under semi-field conditions

昆虫病原真菌的杀虫效果相对较慢,由图 1 可知,喷施后第 3 天各处理中均有柑橘木虱成虫的死亡,此后柑橘木虱成虫的死亡率不断增加,而且随着处理浓度的升高而增加,表明 2 种昆虫病原真菌对柑橘木虱成虫种群的控制效果随着作用时间的延长越来越好。

2.4 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢真菌制剂对柑橘木虱成虫致死的时间效应

在半田间条件下球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的致死中时间见表 3。柑橘木虱成虫的 LT₅₀随病原真菌孢子悬浮液制剂浓度的增加而缩短。球孢白僵菌孢子浓度为 1 × 10⁴和 1 × 10⁵ mL⁻¹、玫烟色棒束孢孢子浓度在 1 × 10⁴ ~ 1 × 10⁶ mL⁻¹时,柑橘木虱成虫的最终死亡率均低于 50%,因此无 LT₅₀,而在浓度为 1 × 10⁶ ~ 1 × 10⁸ mL⁻¹ 的范围内,球

2.3 半田间条件下球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫种群的防控效果

在田间笼罩条件下,不同浓度的球孢白僵菌和玫烟色棒束孢孢子悬浮液对柑橘木虱成虫种群 7 d 后的防控效果见图 1,试验结果表明,在 1 × 10⁴ mL⁻¹ 孢子浓度处理 7 d 后,球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的致死率分别为 23.3% 和 25.8%,而随着浓度的升高,柑橘木虱的死亡率越来越高,当孢子浓度升至 1 × 10⁶ mL⁻¹ 处理 7 d 时,球孢白僵菌对柑橘木虱的致死率超过 60%,玫烟色棒束孢对柑橘木虱的致死率也接近 50%;而喷施孢子浓度 1 × 10⁸ mL⁻¹ 7 d 后,球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱田间成虫种群的致死率分别为 69.3% 和 72.1%,效果比较理想。但总体来说,在半田间条件下,2 种病原真菌对柑橘木虱的控制效果明显弱于实验室条件下的。

孢白僵菌对柑橘木虱成虫的 LT₅₀为 5.2 ~ 4.4 d;在 1 × 10⁷ 和 1 × 10⁸ mL⁻¹ 的浓度下,玫烟色棒束孢对柑

表 3 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱成虫的致死中时间¹⁾

Tab. 3 The lethal time of *Diaphorina citri* adults infected with different concentrations of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* d

孢子浓度/mL ⁻¹	球孢白僵菌	玫烟色棒束孢
1 × 10 ⁴	—	—
1 × 10 ⁵	—	—
1 × 10 ⁶	5.2 ± 0.3	—
1 × 10 ⁷	4.6 ± 0.4	5.3 ± 0.3
1 × 10 ⁸	4.4 ± 0.2	4.9 ± 0.2

1) “—”表示柑橘木虱成虫的最终死亡率低于 50%,无 LT₅₀。

橘木虱成虫的 LT_{50} 分别是 5.3 和 4.9 d。相同浓度下半田间球孢白僵菌对柑橘木虱成虫的致死中时间 LT_{50} 短于玫烟色棒束孢的。

2.5 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱若虫的致病力分析

球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱不同若

虫、成虫种群的致病力回归分析见表 4。从表 4 可看出,各致病力回归方程拟合程度显著水平均大于 0.05,各菌株回归方程相关系数均高于 0.93,表明不同浓度下 2 种昆虫病原真菌制剂对柑橘木虱侵染致死率所求的回归方程是合适的。

表 4 球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱致病力的回归方程

Tab.4 Regression equations of pathogenicities of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* against *Diaphorina citri* at different stages

菌株	柑橘木虱种群	致病力回归方程 ¹⁾	LC_{50}/mL^{-1}	95% 置信区间	R
球孢白僵菌	低龄若虫	$y = 2.81 + 0.48x$	3.5×10^4	3.3 ~ 3.7	0.954 1
	高龄若虫	$y = 3.25 + 0.39x$	3.6×10^4	3.1 ~ 4.0	0.964 4
	成虫实验室种群	$y = 2.78 + 0.43x$	1.4×10^5	1.0 ~ 1.7	0.945 1
	成虫田间种群	$y = 3.50 + 0.27x$	3.7×10^5	32.0 ~ 43.0	0.964 2
玫烟色棒束孢	低龄若虫	$y = 2.22 + 0.60x$	4.2×10^4	3.9 ~ 4.6	0.946 8
	高龄若虫	$y = 2.77 + 0.49x$	5.2×10^4	4.8 ~ 5.6	0.938 6
	成虫实验室种群	$y = 1.69 + 0.64x$	1.6×10^5	13.0 ~ 19.0	0.964 7
	成虫田间种群	$y = 3.06 + 0.32x$	1.2×10^6	100.0 ~ 140.0	0.950 6

1) x 表示孢子浓度的对数值, y 表示致病率。

3 讨论与结论

近年来,柑橘黄龙病在我国及美国、巴西等国家暴发流行^[11-13],要切断黄龙病的传播途径,首先要严管无毒种苗的生产及销售,其次是防控田间柑橘木虱种群的扩散^[14]。由于利用化学药剂防控害虫的负面影响日渐显现,研发物理诱杀以及利用寄生蜂、捕食性瓢虫及昆虫病原真菌防控柑橘木虱的生物防治技术发展迅速^[2]。Lezama-Gutiérrez 等^[15]比较了绿僵菌 *Metarhizium anisoplia*、虫草孢白僵菌 *Cordyceps bassiana* 和玫烟色棒束孢在田间对柑橘木虱成虫和若虫的致病效果,结果发现这 3 种昆虫病原真菌对柑橘木虱若虫的致病力高于对柑橘木虱成虫的。Hoy 等^[16]在佛罗里达柑橘园采集到 1 株对柑橘木虱有致病力的病原菌株,经鉴定为玫烟色棒束孢,生测结果表明,在 28 ℃ 时喷施孢子浓度 1.0×10^7 和 $1.0 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$ 的菌液,该菌株对柑橘木虱的 LT_{50} 为 111.0 和 102.5 h,相当于 4.6 和 4.3 d;致死中浓度 LC_{50} 为 $6.8 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ 。Gandarilla-Pacheco 等^[17]在实验室条件下测定球孢白僵菌、玫烟色棒束孢和绿僵菌孢子浓度 $1 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$ 时对柑橘木虱成虫的致病力,7 d 后柑橘木虱成虫的死亡率为 34.4% ~ 60.7%,远远低于 Hoy 等^[16]及本研究中球孢白僵菌及玫烟色棒束孢孢子浓度 $1 \times 10^8 \text{ mL}^{-1}$ 时对柑橘木虱成虫的致死率,原因可能与同一种昆虫病原真菌不同分离株、光照、温湿度等田间环境因素有关。此

外,张艳璇等^[8]研究了白僵菌对柑橘木虱和胡瓜新小绥螨 *Amblyseius cucumeris* 的毒力差异,发现球孢白僵菌在实验室条件下对柑橘木虱成虫有很强的致病力,可以用来防治柑橘木虱,相同浓度的孢子悬浮液对柑橘木虱的致死率远高于对胡瓜新小绥螨的致死率,但昆虫病原真菌与捕食螨对柑橘木虱及柑橘害螨等的联合控制作用及使用技术仍需要深入研究^[18]。

在本研究中,我们发现球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱低龄与高龄若虫的致病力存在差异,推测可能与柑橘木虱不同龄期的体壁结构差异有关。有研究表明昆虫病原真菌主要通过接触从虫体体壁侵入,低龄幼虫的体壁较薄,真菌孢子更易穿透侵染,而高龄幼虫体壁蜡质层增厚,表皮硬化加强、血细胞数量增多、防卫机制发育健全而增强了抗病性,真菌孢子难以穿透侵染^[19-21]。Lezama-Gutiérrez 等^[15]应用玫烟色棒束孢在果园防治柑橘木虱若虫,第 8 天时被处理的枝芽上柑橘木虱若虫的数目减少,但之后死亡率变化不大。从本试验结果来看,2 种病原真菌对成虫的致死中浓度 LC_{50} 远大于低龄与高龄若虫的 LC_{50} ,在同一浓度下,低龄若虫的致死率大于高龄若虫,因此利用球孢白僵菌和玫烟色棒束孢制剂防治柑橘木虱的适期是低龄若虫种群的高峰期。

本试验结果表明,在半田间条件下 2 种病原真菌在同一浓度下对柑橘木虱成虫的致死率明显低于

实验室的,推测这与田间的温度、湿度及紫外线等环境因子有关,因此,下一步应该深入研究2种真菌制剂侵染柑橘木虱的致病机理、病原真菌制剂的田间喷施控害技术等。此外,在试验过程中未发现球孢白僵菌和玫烟色棒束孢对柑橘木虱卵有较好的致病力,原因可能是卵包裹在嫩芽中,孢子悬浮液难以侵染到卵,这也再次表明,昆虫病原真菌防治柑橘木虱的最佳时期是低龄若虫期。在果园的调查试验中,还发现柑橘木虱存在寄生蜂、捕食性瓢虫及捕食螨等天敌昆虫,利用各类生防因子开展柑橘木虱的综合防控,也是值得研究的重要内容。

参考文献:

- [1] HALBERT S E, NÚÑEZ C A. Distribution of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhyncho: Psyllidae) in the Caribbean basin [J]. Fla Entomol, 2004, 87(3): 401-402.
- [2] INDUSTRY F D O A, MEAD F W. Asiatic citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) [M]. Florida: Division of Plant Industry, 1977.
- [3] 兰景华. 柑橘叶片主要害虫的防治[J]. 四川农业科技, 2007(3): 47-49.
- [4] 李伟明. 柑橘木虱发生危害及防治措施[J]. 农村实用技术, 2009(10): 45.
- [5] 代晓彦, 任素丽, 周雅婷, 等. 黄龙病媒介昆虫柑橘木虱生物防治新进展[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(3): 414-419.
- [6] BOVÉ J M. Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus [J]. J Plant Pathol, 2006, 88(1): 7-37.
- [7] 邓明学. 以控制木虱为重点的柑橘黄龙病综合防治技术研究[J]. 植物保护, 2006, 32(6): 147-149.
- [8] 张艳璇, 孙莉, 林坚贞, 等. 白僵菌 CQBB111 菌株对柑橘木虱和胡瓜新小绥螨的毒力差异[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(1): 56-60.
- [9] 张礼生, 陈红印. 生物防治作用物研发与应用的进展[J]. 中国生物防治学报, 2014, 31(5): 581-586.
- [10] 代晓彦, 李翌菡, 许炜明, 等. 亚洲柑橘木虱2株高致病力病原菌菌株的筛选[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(5): 62-65.
- [11] YANG Y, HUANG M C, BEATTIE G A, et al. Distribution, biology, ecology and control of the psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama, a major pest of citrus: A status report for China[J]. Int J Pest Manage, 2006, 52(4): 343-352.
- [12] MEYER J M, HOY M A. Molecular survey of endosymbionts in Florida populations of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) and its parasitoids *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) and *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae) [J]. Fla Entomol, 2008, 91(2): 294-304.
- [13] TEXEIRA D D C, AYRES J, KITAJIMA E W, et al. First report of a huanglongbing-like disease of citrus in São Paulo State, Brazil and association of a new Liberibacter species, "*Candidatus Liberibacter americanus*", with the disease[J]. Plant Dis, 2005, 89(1): 107.
- [14] 林孔湘. 柑橘黄龙病研究 II: 关于病原的探讨[J]. 植物病理学报, 1956, 2(1): 13-42.
- [15] LEZAMA-GUTIÉRREZ R, MOLINA-OCHOA J, CHACVE-FLORES O, et al. Use of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae*, *Cordyceps bassiana* and *Isaria fumosorosea* to control *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Persian lime under field conditions[J]. Int J Trop Insect Sci, 2012, 32(1): 39-44.
- [16] HOY M A, SINGH R, ROGERS M E. Evaluations of a novel isolate of *Isaria fumosorosea* for control of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) [J]. Fla Entomol, 2010, 93(1): 24-32.
- [17] GANDARILLA-PACHECO F L, GALÁN-WONG L J, LÓPEZ-ARROYO J I, et al. Optimization of pathogenicity tests for selection of native isolates of entomopathogenic fungi isolated from citrus growing areas of México on adults of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) [J]. Fla Entomol, 2013, 96(1): 187-195.
- [18] 张艳璇, 孙莉, 林坚贞, 等. 柑橘木虱及分泌物对胡瓜新小绥螨的吸引作用研究[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(2): 447-453.
- [19] MEYER J M, HOY M A, BOUCIAS D G. Isolation and characterization of an *Isaria fumosorosea* isolate infecting the Asian citrus psyllid in Florida[J]. J Invertebr Pathol, 2008, 99(1): 96-102.
- [20] CHARNLEY A K. Physiological aspects of destructive pathogenesis in insects by fungi: A speculative review[C] // British Mycological Society. Symposium series. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [21] CHARNLEY A K, COBB B, CLARKSON J M. Towards the improvement of fungal insecticides [C] // BCPC symposium proceedings. Cambridge: Cambridge University Press, 1997: 115-126.

【责任编辑 霍 欢】