

蜡蚧轮枝菌和缨小蜂 对假眼小绿叶蝉的协同控制作用

郑珊珊, 姜荣良[☆], 田 麟, 林成辉, 王联德^{*}

(福建农林大学 生物农药与化学生物学教育部重点实验室 福建 福州 350002)

摘要: 研究了假眼小绿叶蝉 (*Empoasca vitis*) 的寄生蜂缨小蜂 (*Schizophragma parvulus*) 和寄生真菌蜡蚧轮枝菌 (*Lecanicillium lecanii*) 单独使用和联合使用时对假眼小绿叶蝉种群的控制作用。结果表明, 在单独进行控制时 (在一个世代内按每株放雌蜂 3 头的密度释放缨小蜂, 或按 5×10^7 孢子/mL 施菌 2 次), 对假眼小绿叶蝉种群的控制效果分别达到 52.7% 和 50.9%, 但下一代假眼小绿叶蝉种群增长趋势指数仍然高于 1, 表明单独使用寄生蜂缨小和寄生真菌蜡蚧轮枝菌不能有效控制假眼小绿叶蝉种群的增长; 缨小蜂和蜡蚧轮枝菌联合使用, 对假眼小绿叶蝉种群的控制效果分别达 82.9% 和 90.8%, 且下一代假眼小绿叶蝉种群增长趋势指数低于 1, 表明下一代假眼小绿叶蝉种群数得到有效控制。

关键词: 假眼小绿叶蝉; 缨小蜂; 蜡蚧轮枝菌; 协同控制

中图分类号: S476 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)02-0282-06

Effectiveness of *Schizophragma parvulus* and *Lecanicillium lecanii* in Controlling Tea Leafhopper *Empoasca vitis* Population

ZHENG Shan-shan, JIANG Rong-liang[☆], TIAN Lin,
LIN Cheng-hui, WANG Lian-de^{*}

(Key Laboratory of Biopesticide and Biochemistry, MOE. / Faculty of Plant Protection, Fujian, Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The effectiveness of *Schizophragma parvulus* and *Lecanicillium lecanii* in controlling tea leafhopper *Empoasca vitis* populations on tea plants was determined in separated and combined greenhouse experiments. The results showed that spraying *L. lecanii* (5×10^7 spores per ml, twice per generation) and releasing *S. parvulus* (3 female per plant, once per generation), 52.7 and 50.9% of whitefly populations were controlled, respectively. The increasing index of leafhopper population (I) subjected separately to either natural enemies was above 1, indicating the substantial ineffective control of leafhopper population. However, when the two natural enemies were used together with the same rate mentioned above (*L. lecanii* spraying twice followed by releasing *S. parvulus* once or twice in one generation), 82.9% and 90.8% of leafhopper populations were controlled. Moreover, the increasing index of leafhopper population subjected to both natural enemies together was below 1, indicating the substantial reduction in leafhopper population. The combined treatments provided a better control effect on leafhopper than separated ones, and there was no contradictory effect between both natural enemies.

收稿日期: 2011-12-06 修回日期: 2012-01-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(30771452)、农业部 948 项目(2008Z17)和福建省科技计划重点项目(2007I0004, 2010N0006)

作者简介: 郑珊珊(1987—), 女, 硕士生, 主要从事害虫微生物防治研究, [☆]与第一作者同等贡献; ^{*} 通讯作者: 王联德, 教授, 博士, E-mail: wangliande@yahoo.com。

Key words: *Empoasca vitis*; *Schizophragma parvulus*; *Lecanicillium lecanii*; effectiveness

假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* (Gothe) 隶属同翅目 (Homoptera) 叶蝉科 (Cicadellidae) 是我国茶树上危害性最大的害虫之一。该虫以成、若虫刺吸茶树嫩梢芽叶汁液,使受害芽叶失水萎缩而枯焦,形成“焦头、焦边”,严重时全叶枯焦,甚至脱落,严重影响茶叶的产量和品质^[1]。发生危害的茶园一般年份夏秋茶损失达20%左右,重灾年损失高达50%以上,占茶树病虫害之首位^[2]。据几年来的调查,茶农对该虫每年要防治10多次,以化学农药防治为主,由于化学农药的大量喷施导致茶叶农药残留量严重超标。过分依赖化学药剂防治假眼小绿叶蝉容易引起茶园生态系统恶化、茶叶农药残留超标等诸多问题。因此,开展假眼小绿叶蝉生物防治对有发展机茶生产十分必要。王朝禹等^[3]、丁永官等^[4]、蔡国贵等^[5]、淮小英等^[6]、姜荣良^[7]研究了利用白僵菌菌(*Beauveria bassiana*)、玫烟色拟青霉(*Paecilomyces fumosoroseus*)和蜡蚧轮枝菌(*Lecanicillium lecanii*)等防治假眼小绿叶蝉的试验,取得良好效果。邝炳乾^[8]、孙椒德等^[9]、王沅江等^[10]、韩宝俞和陈世龙^[11]、李慧玲和林乃铨^[12]研究了保护和利用寄生赘蜂和卵寄生蜂缨小蜂控制假眼小绿叶蝉。本文研究了利用蜡蚧轮枝菌和缨小蜂对假眼小绿叶蝉种群进行控制的方法和效果,旨在为以生物防治为主的有机茶园中假眼小绿叶蝉可持续治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试菌剂蜡蚧轮枝菌,来源于广东林科院生防室从林间分离得到的菌株 V₃₄₅₀,经紫外诱变选育出的 V_{3450-U-P1} 菌株^[7]。

供试的假眼小绿叶蝉缨小蜂(*Schizophragma parvulus* Ogloblin),系通过茶园采摘茶梢、室内剥取茶梢内被寄生的叶蝉卵培养所得。

假眼小绿叶蝉卵的获得:供试的假眼小绿叶蝉新鲜卵,系用自种茶苗,经净化的茶梢,于室内逐日供叶蝉产卵后取得。饲养小绿叶蝉的养虫笼规格为30 cm×30 cm×30 cm,两面为有机玻璃,四面100目尼龙纱网;茶园净化茶梢的套袋规格为50 cm×60 cm的80目尼龙纱网。

寄生蜂卵卡盒及制作:从茶梢剥出完整的假眼小绿叶蝉卵,采用分步保湿培养及镜检观察,正常卵,呈星月形,初产时为乳白色,颜色均匀,水渍状明显,卵壳柔软,后渐变为淡绿色;被寄生卵,卵由乳白色转为颜色不均匀,卵壳相对较硬,进一步培养,卵壳逐渐转为透明,可见卵壳内有间歇状蠕动物,再保湿培养,逐渐出现黑色眼点,然后羽化出寄生蜂成虫。将茶梢剥出完整的被寄生的假眼小绿叶蝉卵置于寄生蜂卵卡盒中园形凹槽中,每个寄生蜂卵卡盒(10个凹槽,每个凹槽10粒)放100粒被寄生的假眼小绿叶蝉卵。

1.2 研究方法

试验设置:于2009年5—6月和2010年5—6月在福建农林大学园艺学院教学试验进行,除冬季修剪外,较少采摘和使用化学农药。茶园棚室(31 m×10 m)用2 m高100目尼龙网纱隔离成18个小区(约15 m²,宽3 m,长5 m),小区之间设1垄(宽0.5 m)空白(不作任何处理)作为保护区。试验分独立作用试验和联合作用试验。

独立作用试验:试验分对照区(CK1)、放蜂区(A)和蜡蚧轮枝菌(V_{3450-U-P1}菌株)防治区(B)。放蜂区按每畦1个寄生蜂卵卡盒(100头雌蜂)释放缨小蜂;每区在假眼小绿叶蝉成虫高峰期放蜂;蜡蚧轮枝菌防治区均按5×10⁷孢子/mL喷施,对照区不进行任何处理,每个处理重复3次。

联合作用试验:试验分为3个区,缨小蜂放蜂密度和蜡蚧轮枝菌喷施浓度同。C区:缨小蜂释1次,蜡蚧轮枝菌施2次,蜡蚧轮枝菌分别在假眼小绿叶蝉低龄若虫和高龄若虫高峰期施菌;缨小蜂在假眼小绿叶蝉成虫产卵高峰期释放。D区:缨小蜂释放1次,蜡蚧轮枝菌施1次,蜡蚧轮枝菌假眼小绿叶蝉低龄若虫喷施,缨小蜂在假眼小绿叶蝉成虫产卵高峰期释放。CK2:为对照区:不做任何处理,每个处理重复3次。

卵系统调查:各区均在处理后第2天进行调查,放蜂区、蜡蚧轮枝菌防治区,对照区每隔3 d调查1次,总共调查假眼小绿叶蝉的一个世代(4周左右)。用五点法进行取样,每点调查24个芽及芽下4叶

上 1~2 龄 3~5 龄若虫和成虫的数量。每次调查完后,采取 1 芽 4 叶标准芽梢 20 个带回室内镜检,记录寄生和正常卵的数量。

卵期死亡因子观察:取样带回室内 40 倍解剖镜下镜检观察,轻轻撕开茶梢组织表皮,发现卵由乳白色转为颜色不均匀,卵壳同有间歇状蠕动物,逐渐出现黑色眼点,进一步培养即羽化出寄生蜂成虫,则认为被寄生。卵完整但不能正孵化,则认为是其它因子(植物抗虫生气候等因素)致死。

若虫、成虫系统调查:茶小绿叶蝉喜阴凉且活动性强,善跳跃,给田间抽样调查带来难度。试验期间,抽样调查一般在晨露未干前(08:30 以前)该虫不太活动时进行,阴天则可全天进行。因每小区实为一垄,故采用对茶树编号的方法,调查时随机选取一编号的茶树作为起始抽样株,然后每隔 2 株抽取 1 株,每小区共查 10 株,每株抽查 10 片嫩叶(取芽下第二片嫩叶),轻轻地翻看(受触动的芽叶不用于观察)就地计数并记载若虫数和成虫数,最后按处理统计每 10 叶虫数,以及各个虫期的死亡因子和数量。首次在菌前调查虫口基数,然后每隔 3 d 调查一次,在第二次用菌 2 周后作最后一次调查。

成虫和若虫期死亡因子观察:田间 20 倍手持放大镜观察,发现若虫有被取食剩下的残渣被捕食;虫尸有菌丝体或带回室内保湿培养发现有菌丝体,则认为真菌寄生。其它致死因素、成虫逐日存活率、雌性比率、卵量的估计:成虫逐日存活率估计按王沅江等^[10]方法估计。雌性比率、卵量的估计,田间固定 5 株茶树上 20 倍手持放大镜逐日观察成虫逐日存活率;田间每小区随即网捕 200 头成虫镜检统计雌性比率,解剖雌成虫卵巢管统计出雌成虫卵量。

田间试验期间的当地气象数据从当地气象站获得。

分析方法:根据庞雄飞^[13]和王沅江等^[10]方法,以作用因子组配茶小绿叶蝉 2 年自然种群的平均生命表,估计茶小绿叶蝉在不同条件下的种群发展趋势;利用庞雄飞等提出种群干扰作用控制指数(interference index of population control *IIPC*)方程(1 式)^[14]和植物保护剂的干扰作用控制指数评价方程(2 式)^[14]:

$$I = N_1/N_0 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdots S_K F \cdot P_F \cdot P_\varphi [\sum P_{fd}(S_{Aa})^d] \tag{1}$$

$$IIPC = \frac{I}{I'} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdots S_i \cdots S_K F \cdot P_F \cdot P_\varphi [\sum P_{fd}(S_{Aa})^d]}{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdots S_i \cdots S_K F \cdot P_F \cdot P_\varphi [\sum P_{fd}(S_{Aa})^d]} \tag{2}$$

(1)(2) 式中 *I* 为种群趋势指数 *I'* 为排除作用因子 *i* 后的种群趋势指数, *IIPC* 为干扰作用控制指数, *N*₁、*N*₀ 分别为下一代、当代的种群数量, *S*_{*i*} 为各个作用因子相对应的存活率 (*i* = 1, 2, 3, …, *K*), *S*_{*i*} 为排除作用因子 *i* 后相对应的存活率, *F* 为设定的标准卵量, *P*_{*F*} 为达标卵量的概率, *P*_{*φ*} 为雌性概率, *P*_{*fd*} 为成虫逐日产卵概率, *S*_{*Aa*} 为成虫逐日存活率。

2 结果与分析

2.1 菌剂和缨小蜂对假眼小绿叶蝉种群的独立作用

蜡蚧轮枝菌和缨小蜂单独使用时,对假眼小绿叶蝉种群的控制作用见表 1。表 1 表明,在无任何防治措施条件下,假眼小绿叶蝉种群趋势增长指数 *I* 达到 2.20,即下一代假眼小绿叶蝉种群的数量将增长 2.20 倍;放蜂区和施菌区,假眼小绿叶蝉种群趋势增长指数分别降低了 1.16 和 1.12。干扰作用控制指数 *IIPC* 表明,放蜂和施菌,对假眼小绿叶蝉种群的控制效果分别达到了 52.7% 和 50.9%。然而,放蜂区和施菌区下一代假眼小绿叶蝉的种群趋势增长指数仍大于 1,表明假眼小绿叶蝉种群将继续增长,下一代假眼小绿叶蝉种群数仍未得到有效控制。

2.2 菌剂和缨小蜂对假眼小绿叶蝉种群的联合作用

蜡蚧轮枝菌和缨小蜂联合使用时,对假眼小绿叶蝉种群的控制作用见表 2。表 2 表明,在无任何防治措施条件下,假眼小绿叶蝉种群趋势增长指数 *I* 达到 2.14,即下一代假眼小绿叶蝉种群的数量将增长 2.14 倍;放蜂 1 次和施菌 1 次,假眼小绿叶蝉种群趋势增长指数分别降低了 1.78;放蜂 1 次和施菌 2 次,假眼小绿叶蝉种群趋势增长指数分别降低了 1.94。蜡蚧轮枝菌和缨小蜂联合使用时,下一代假眼小绿叶蝉种群趋势增长指数小于 1,表假眼小绿叶蝉种群将负增长,下一代假眼小绿叶蝉种群数得到控制。干扰作用控制指数 *IIPC* 表明,放蜂 1 次和施菌 1 次,对假眼小绿叶蝉种群的控制效果达 82.9%;放蜂 1 次和施菌 2 次,对假眼小绿叶蝉种群的控制效果达 90.8% 效果最佳。

表1 蜡蚧轮枝菌和缨小蜂单独使用时对假眼小绿叶蝉种群数量控制作用

Tab.1 Effects of *S. parvulus* and *L. lecanii* on *E. vitis* populations

虫期 Stage	作用因子 Acting factors		假眼小绿叶蝉种群存活率 Survival rate of <i>E. vitis</i> populations		
			对照区 Control	放蜂区 Releasing <i>S. parvulus</i>	施菌区 Spraying <i>L. lecanii</i>
卵 Eggs	捕食	S1	1.000	1.000	1.000
	缨小蜂寄生	S2	0.832	0.438	0.853
	其它	S3	0.964	0.938	0.953
1~2龄幼虫 1 st - 2 nd instar larvae	捕食	S4	0.726	0.767	0.788
	寄生	S5	1.000	1.000	1.000
	真菌寄生	S6	0.864	0.821	0.635
3~5龄幼虫 3 rd - 5 th instar larvae	其它	S7	0.981	0.926	0.998
	捕食	S8	0.806	0.857	0.881
	寄生	S9	1.000	1.000	1.000
成虫 Adults	真菌寄生	S10	0.804	0.767	0.522
	其它	S11	0.987	0.977	0.980
	逐日存活率	S12	0.867	0.843	0.740
	雌性概率	S13	0.673	0.672	0.670
	达标卵量概率	S14	0.122	0.123	0.121
	种群趋势指数(<i>I</i>)		2.20	1.04	1.08
	干扰作用控制指数(<i>IIPC</i>)		1.000	0.473	0.491

标准卵量定为 100 粒/雌。Standard productivity is assumed to be 100 head per female.

3 讨论

假眼小绿叶蝉是有机茶园中发生最普遍和最难以控制的害虫之一,假眼小绿叶蝉可持续治理技术的研究成为有机茶生产的重点^[15]。茶小绿叶蝉的生物防治在近十多年取得了很大的进展,生物防治具有化学防治无可比拟的优点,即对环境的友好性,成为无公害茶园和有机茶园理想的防治措施。但是生物防治也有其不足之处,即生物农药尤其是微生物农药的抗逆性差、见效慢、杀虫谱窄、造价高等,影响了其在生产中的应用。

多种生物防治措施综合协调利用,是害虫可持续治理技术的体现,包括多种天敌昆虫的协调利用和天敌与虫生真菌及其代谢产物配合使用两方面^[16]。在烟粉虱(*Bemisia tabaci*)可持续治理中应用较成功。邱宝利等^[17]报道了浆角蚜小蜂(*Eretmocerus* sp.)和粉虱座壳孢(*Aschersonia aleyrodinis*)对烟粉虱的联合控制作用。菌剂和寄生蜂、捕性天敌相配合,丽蚜小蜂(*Encarsia formosa*)能与粉虱座壳孢菌配合使用,粉虱座壳孢菌孢子不会感染寄生在粉虱体内的三龄以后的幼蜂^[18-20],寄生蜂也很少在感病的粉虱上产卵。Labbé等^[21]发现白僵菌不会感染温室白粉虱的捕食性天敌蝽(*Dicyphus hesperus*)和寄生蜂丽蚜小蜂(*Encarsia formosa*)。Potrich等^[22]报道赤眼蜂(*Trichogramma pretiosum*)只被绿僵菌会感染,而不会被白僵菌感染。捕食性天敌能携带孢子,有助真菌孢子传播和害虫真菌病的流行。Wright等^[23]将玫瑰烟色拟青霉与丽蚜小蜂、浆角蚜小蜂(*Eretmocerus* sp.)、小黑瓢虫(*Delphastus catalinae*)协调使用,成功防治了烟粉虱的为害。王联德^[24]、Wang等^[25]将蜡蚧轮枝菌毒素与小黑瓢虫协调使用,成功防治了温室大棚中茄子上烟粉虱的为害。Jazzar等^[26]探讨了用捕食性天敌(*Camptotylus reuteri*, *Macrolophus caliginosus*)、寄生蜂与蜡蚧霉的多种天敌对烟粉虱的协调防治。

表 2 蜡蚧轮枝菌和缨小蜂对假眼小绿叶蝉种群数量的联合控制作用
Tab.2 Combined effects of *S. parvulus* and *L. lecanii* on *E. vitis* populations

虫期 Stage	作用因子 Acting factors		假眼小绿叶蝉种群存活率 Survival rate of <i>E. vitis</i> populations		
			对照区 Control	放蜂 + 施菌 1 次 Parasitoids + fungus once	放蜂 + 施菌 2 次 Parasitoids + fungus twice
卵 Eggs	捕食	S1	1.000	1.000	1.000
	缨小蜂寄生	S2	0.832	0.642	0.782
	其它	S3	0.965	0.869	0.836
1 ~ 2 龄幼虫 1 st - 2 nd instar larvae	捕食	S4	0.736	0.777	0.789
	寄生	S5	1.000	1.000	1.000
	真菌寄生	S6	0.875	0.641	0.489
3 ~ 5 龄幼虫 3 rd - 5 th instar larvae	其它	S7	0.928	0.865	0.837
	捕食	S8	0.816	0.857	0.882
	寄生	S9	1.000	1.000	1.000
成虫 Adults	真菌寄生	S10	0.804	0.528	0.478
	其它	S11	0.987	0.894	0.866
	逐日存活率	S12	0.867	0.703	0.683
	雌性概率	S13	0.674	0.674	0.674
	达标卵量概率	S14	0.118	0.080	0.056
	种群趋势指数(<i>I</i>)		2.140	0.367	0.197
	干扰作用控制指数(<i>IIPC</i>)		1.000	0.171	0.092

标准卵量定为 100 粒/雌。Standard productivity is assumed to be 100 head per female.

本研究中,寄生蜂缨小蜂能和蜡蚧轮枝菌联合控制茶假眼小绿叶蝉。缨小蜂不仅与捕食性天敌不同,它只能寄生茶梢组织内的叶蝉卵,并在寄主卵内生长发育,加上该缨小蜂成蜂寿命很短^[12]。因此,即使带菌后靠它感染叶蝉成若虫的机会极少,也和暴露在叶片上的粉虱及其天敌有接触机会完全不同。缨小蜂除了寄生茶梢组织内的叶蝉卵外,还可刺死茶梢组织内的叶蝉卵,这一点习性同许多寄生蜂除寄生寄主昆虫外还刺死寄主昆虫相似^[27]。蜡蚧轮枝菌既是昆虫病原真菌,也是植物内生真菌,能在植物组织内生长,能降低来取食的昆虫的产卵量和存活率^[28-31];植物内生真菌也能产生次生挥发性物质吸引寄生蜂来寄生害虫^[32]。缨小蜂寄生茶梢组织内的叶蝉卵和刺死茶梢组织内的叶蝉卵的过程,将蜡蚧轮枝菌带入了茶梢组织内,在叶蝉卵的营养和茶梢组织内湿度满足下可能茶梢组织内萌发生长,作为植物内生真菌影响茶梢附近部位组织内未寄生的叶蝉卵的孵化和成虫的取食和产卵,若虫的取食和生长。同时也可能产生次生挥发性物质吸引缨小蜂来寄生茶梢附近部位组织内未寄生的叶蝉卵。从叶蝉下代若虫其它死亡因子作用显著增强和下代成虫的产卵量显著降低可以看出,茶梢组织内的蜡蚧轮枝菌可能对叶蝉下代存活和发育产生了影响。证实有待进一步的深入研究。总之,本研究结果表明,寄生蜂缨小蜂能和蜡蚧轮枝菌联合控制茶假眼小绿叶蝉。

在我国南方茶区,假眼小绿叶蝉的寄生蜂有多种,其中,缨小蜂为优势种寄生蜂^[8-9,12]。福州茶园微小裂骨缨小蜂(*S. parvulus*)为主^[8-9,11]。南方地区气温高多湿,尤其是茶园中郁蔽度大,湿度高,比较适宜真菌的生长寄生^[11],因此,两种天敌在茶假眼小绿叶蝉的生物防治方面都具比较广阔的应用空间。

致谢:林乃铨老师鉴定缨小蜂;研究生洪慧金、欧阳志刚、周然、王金明 2007 级实习生林钊、蒋慧珍、李金河、黄岸达、陈慧龙、王宇芳 2008 级实习生王进继、朱建西、林枫、林荣铨等同学,参与寄生蜂卵卡盒及制作和田间调查,谨致谢意!

参考文献:

[1]张汉鹄,谭济才.中国茶树害虫及其无公害治理[M].合肥:安徽科学技术出版社,2004:244-250.

- [2]朱俊庆. 茶树害虫[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 96-104.
- [3]王朝禹, 谭远碧. 应用 Ef465-3 菌剂防治小绿叶蝉[J]. 中国茶叶, 1990(3): 26-27.
- [4]丁永官, 章东方, 徐庆丰, 等. 白僵菌防治茶小绿叶蝉试验[J]. 安徽农业科学, 1996, 24(5): 59-60.
- [5]蔡国贵. 假眼小绿叶蝉白僵菌优良菌株筛选及其应用研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(4): 568-571.
- [6]濮小英, 冯明光. 两种杀虫真菌制剂对茶小绿叶蝉的田间防效评价[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 619-622.
- [7]姜荣良. 蜡蚧轮枝菌高效抗逆菌株筛选[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [8]邝炳乾. 广西茶小绿叶蝉类的二种寄生赘蜂[J]. 广西农业科学, 1990(6): 33-34.
- [9]孙椒德, 许德元, 林阿祥. 假眼小绿叶蝉缨小蜂的发生与寄生效果[J]. 茶叶科学技术, 1998(4): 18-20.
- [10]王沅江, 谢振伦, 庞雄飞. 假眼小绿叶蝉自然天敌控制作用的评价[J]. 生态科学, 1995: 42-48.
- [11]韩宝瑜, 陈世龙. 皖南密植茶园和茶林间作茶园昆虫真菌群落结构和动态[J]. 安徽农业科学, 1996.
- [12]李慧玲, 林乃铨. 假眼小绿叶蝉卵缨小蜂的生物学特性研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(6): 407-413.
- [13]庞雄飞. 种群数量控制指数及其应用[J]. 植物保护学报, 1990, 17(1): 1-16.
- [14]莫美华, 庞雄飞. 小菜蛾颗粒体病毒对小菜蛾防治作用评价[J]. 生态学报, 1999, 9(5): 24-27.
- [15]王庆森, 黄建. 高香凤有机茶园假眼小绿叶蝉的空间分布研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 234-237.
- [16]王联德, 黄建. 烟粉虱的为害及其生物防治策略[J]. 福建农林大学学报, 2006, 35(4): 365-371.
- [17]邱宝利, 任顺祥, 肖燕. 蚜小蜂和粉虱壳孢对烟粉虱的控制作用研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2251-2254.
- [18]Fransen J J, van Lenteren J C. Host selection and survival of the parasitoid *Encarsia formosa* on greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum*, in the presence of hosts infected with the fungus *Aschersonia aleyrodis* [J]. Entomol Exp Appl, 1993, 69: 239-249.
- [19]Fransen J J, van Lenteren J C. Survival of the parasitoid *Encarsia formosa* after treatment of parasitized greenhouse whitefly larvae with fungal spores of *Aschersonia aleyrodis* [J]. Entomol Exp Appl, 1994, 71: 235-243.
- [20]Ramakers P M J, Samson R A. *Aschersonia aleyrodis*, a fungal pathogen of whitefly II: application as a biological insecticide in glasshouses [J]. Zeitschrift für Angewandte Entomologie, 1984, 97: 1-8.
- [21]Labbé R M, Gillespie D R, Cloutier C, et al. Compatibility of an entomopathogenic fungus with a predator and a parasitoid in the biological control of greenhouse whitefly [J]. Biocont Sci Technol, 2009, 19: 429-446.
- [22]Potrich M, Alves L F A, Haas J, et al. Seletividade de *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* a *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. Neotrop Entomol, 2009, 38: 822-826.
- [23]Wraight S P, Carruthers R I, Jaronski S T, et al. Evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* for microbial control of the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii* [J]. Biol Control, 2000, 17: 203-217.
- [24]王联德. 蜡蚧轮枝菌毒素及其对烟粉虱种群控制作用[D]. 福州: 福建农林大学, 2003.
- [25]Wang L, Huang J, You M, et al. Effects of toxins from two strains of *Verticillium lecanii* (Fungi: Hyphomycetes) on bioattributes of a predatory ladybeetle, *Delphastus catalinae* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. J Appl Ent, 2005, 129: 32-38.
- [26]Jazzar C, Hammad E A F. Efficacy of multiple biocontrol agents against the sweet potato whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato [J]. J Appl Ent, 2004, 129(3): 188-194.
- [27]Zang Lian sheng, Liu Tong xian. Host feeding of three whitefly parasitoid species (Hymenoptera: Aphelinidae) on *Bemisia tabaci* B biotype (Homoptera: Aleyrodidae), with implication for whitefly biological control [J]. Entomol Exp Appl, 2008, 127: 55-63.
- [28]Vega F E, Posada F, Catherine Aime, et al. Entomopathogenic fungal endophytes [J]. Biol Control, 2008, 46: 72-82.
- [29]Gurulingappa P, Sword G A, Murdoch G, et al. Colonization of crop plants by fungal entomopathogens and their effects on two insect pests when in planta [J]. Biol Control, 2010, 55: 34-41.
- [30]Gurulingappa P, McGee P A, Sword G A. Endophytic *Lecanicillium lecanii* and *Beauveria bassiana* reduce the survival and development of *Aphis gossypii* following contact with conidia and secondary metabolites [J]. Crop Protection, 2011, 30: 349-353.
- [31]Gurulingappa P, McGee P A, Sword G A. *In vitro* and *in planta* compatibility of insecticides and the endophytic entomopathogen, *Lecanicillium lecanii* [J]. Mycopathologia, 2011, 172: 161-168.
- [32]Vidal S. Entomopathogenic fungi as endophytes: a new plant protection strategy [J]. IOBC/WPRS Bulletin, 2011, 66: 91-97.