

蜡蚧轮枝菌毒素对温室中烟粉虱种群控制作用的评价

王联德¹, 黄 建^{1*}, 刘 波²

(1. 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; 2. 福建省农业科学院生物技术中心, 福建 福州 350003)

摘要:在室内测定蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱种群干扰作用基础上, 通过分别组建蜡蚧轮枝菌毒素和化学杀虫剂作用下的烟粉虱第 5、6 代自然种群生命表, 采用种群趋势指数 (I) 和干扰作用控制指数 ($IIPC$) 分析法, 比较蜡蚧轮枝菌毒素和化学杀虫剂对茄子上烟粉虱的防治效果, 评价蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱的防治作用。结果表明, 毒素对烟粉虱室内种群的干扰作用主要表现在对成虫的忌避作用和对若虫的毒杀作用; 温室大棚中施用 400mg/L 的蜡蚧轮枝菌毒素, 对烟粉虱第 5 代和第 6 代的控制指数 $IIPC$ 分别为 0.064 和 0.023, 连续施用毒素后, 第 6 代种群趋势指数 I 为 0.68, 烟粉虱种群基本得到控制; 温室大棚中施用重量 10% 吡虫啉可湿性粉剂 (稀释 1000 倍), 对烟粉虱第 5 代和第 6 代的控制指数 $IIPC$ 分别为 0.44 和 1.01, 化防区第 5 代的 I 为 12.95, 第 6 代的 I 为 30.23, 分别为对照区的 0.44 倍和 1.01 倍, 连续使用化学杀虫剂, 容易造成烟粉虱再猖獗。重要因子分析揭示毒素比化学杀虫剂更利于温室烟粉虱种群控制。

关键词: 烟粉虱; 蜡蚧轮枝菌毒素; 控制效果; 种群趋势指数; 干扰作用控制指数

文章编号: 1000-0933(2006)02-0391-08 中图分类号: Q142, Q939.9 文献标识码: A

Assessment of the control effectiveness of insecticidal toxins from *Verticillium lecanii* on the population of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in greenhouse

WANG Lian-De¹, HUANG Jian^{1*}, LIU Bo² (1. Key Laboratory of Biopesticide and Biochemistry MOE., Fujian Agriculture & Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Biotechnology Center, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 391 ~ 398.

Abstract: Laboratory and field experiments were conducted to assess the effectiveness of insecticidal toxins from *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas on *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) in the greenhouse. In the laboratory, crude toxins from three strains of *V. lecanii* (V3450, Vp28, and V16063) at 1000 mg/L were applied systemically to eggplant seedlings that were then exposed to whiteflies. Deterrence of adults and toxicity to offspring were then evaluated. The formulae

$$IIPC_{tox} = \frac{N_{ITr}}{N_{ICk}} = \frac{P_{hTr} \cdot N_{FTr} \cdot S_{ETr} \cdot S_{NTr} \cdot S_{PTr}}{P_{hCk} \cdot N_{FCk} \cdot S_{ECk} \cdot S_{NCk} \cdot S_{PCk}}$$

were used to assess the interference of the toxin to the laboratory population of whiteflies. Insecticidal toxins from *V. lecanii* at 400 mg/L and chemical pesticides diluted 1:1000 were tested against *B. tabaci* on eggplants in the greenhouse. Estimated population indices from life tables constructed for the 5th and 6th generation of *B. tabaci* were respectively 1.88 and 0.68, for *V. lecanii* toxins and 12.95 and 30.23 for chemical insecticides. The interference indice of population control ($IIPC$) values were 0.064 and 0.023, and 0.41 and 1.01, respectively. This predicted a decreased 7th generation whitefly population after spraying the crude toxin in contrast to an increase on plants treated with chemical insecticide that surpassed that on untreated plants, this despite a smaller index of the whitefly population immediately after spraying chemical insecticide. These results indicted that

基金项目: 福建省科技资助项目 (2004N024); 福建省青年科技人才创新基金资助项目 (2005J018)

收稿日期: 2005-06-20; **修订日期:** 2005-12-30

作者简介: 王联德 (1967~), 男, 博士, 副教授, 主要从事昆虫生态与害虫生物防治研究. E-mail: wangliande@yahoo.com

* 通讯作者 Author of Correspondence. E-mail: wangliande@yahoo.com

Foundation item: The project was supported by Science and Technological Foundation of Fujian Province (No. 2004N024), Science and Technological Foundation for Young Talent of Fujian Province (No. 2005J018)

Received date: 2005-06-20; **Accepted date:** 2005-12-20

Biography: WANG Lian-De, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in insect ecology and biological control of pest insect. E-mail: wangliande@yahoo.com

application of crude toxins from *V. lecanii* to be the preferred treatment for control of *B. tabaci* and conservation of their natural enemies in the greenhouse environment.

Key words: *Bemisia tabaci*; insecticidal toxins of *Verticillium lecanii*; effectiveness; population trend index; interference index of population control

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 是一种寄主范围广泛的世界性害虫,除直接取食为害外,还分泌蜜露影响光合作用,污染作物品质,同时传播植物病毒,诱发植物病毒病,全球平均每年的经济损失超过 3 亿美元^[1]。烟粉虱在我国 20 世纪 40 年代就有记载,但一直因为害不重而未被列入主要害虫^[2]。近年来危害更大的 B-生物型烟粉虱入侵我国,并迅速蔓延至 20 多个省市,在许多地区暴发成灾,给蔬菜、花卉生产造成重大经济损失^[3]。由于化学药剂的大量使用,导致烟粉虱对主要类型杀虫剂均产生了不同程度抗药性^[4],因此寻找可替代的防治方法成为当务之急。

蜡蚧轮枝菌 *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viégas 是欧美、前苏联等国家研究和应用于防治粉虱等温室害虫的有效生物农药之一,然而由于对高湿度的要求,使得该菌在露地作物上使用受到一定限制^[5,6]。近年,发现该菌的发酵代谢产物——毒素对粉虱、蚜虫等害虫有毒杀活性^[6-10],该类毒素对天敌相对安全^[6],田间防治试验表明该类毒素对粉虱和蚜虫等害虫具有较强的毒杀作用^[10-12]。为更好地开发和利用这类毒素,通过比较蜡蚧轮枝菌毒素和化学杀虫剂对茄子上烟粉虱种群的防治效果,评价了蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱种群的控制作用。

1 材料与方法

1.1 材料

室内试验所用毒素为蜡蚧轮枝菌 Vp28、Vl6063 和 V3450 菌株发酵液中提取的毒素粗提物(浓度为 10^5 mg/L)^[6],大棚温室的田间试验仅用 V3450 菌株发酵液毒素粗提物(浓度为 10^5 mg/L),试验时按所需浓度用含 0.03% 吐温-80 的蒸馏水溶液稀释配成。杀虫剂为 10% 吡虫啉可湿性粉剂(常州农药厂,使用浓度为稀释 1000 倍)。

室内试验供试昆虫为福建农林大学植保学院养虫室茄子苗上的烟粉虱种群,供试植物为播种后 30d 的 10cm 高的茄子苗。田间试验供试昆虫为福建省农业科学院生物技术中心大棚温室茄子上的烟粉虱种群,供试植物为该中心大棚温室配方土壤栽培的茄子苗,肥水管理采用全自动遥控植物营养液滴灌。

1.2 室内实验的设计与观察

用 1000 mg/L 的 V3450、Vp28、Vl6063 菌株毒素药液采取浸叶法^[7]处理茄子幼苗叶片。待成虫在笼罩盆栽茄子幼苗叶片上产卵后,将笼罩盆栽幼苗移至温室(温度 $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$, $RH = 75\% \sim 78\%$, $L:D = 14h:10h$),在卵粒周围标识,跟踪卵的发育直到孵化,每处理 200 粒卵,将刚孵化的 1 龄若虫用小毛笔接到经处理的茄子叶片上,用经改装的解剖镜(卸去底座,固定在可升降的铁支架上)观察并记录,直至成虫死亡。

居留率的测定:每个处理取相同面积甘薯叶 2 片,处理叶用干净的毛笔将 1000 mg/L 的 V3450、Vp28、Vl6063 菌株毒素药液轻刷于叶片上,对照叶用清水 + 体积 0.03% 吐温-80 刷叶。凉干 30s 后,处理叶和对照叶均插入湿润的花泥上保湿,并放入培养皿中,盖上玻璃马灯罩($\phi 12\text{cm}$, 高 20cm)。每一处理接入烟粉虱成虫 20 头,重复 4 次,玻璃马灯罩上用保鲜膜(保鲜膜用昆虫针扎孔)罩好,置于室温下,24h 后统计成虫在处理叶和对照叶上的分布情况,由(1)式计算毒素 1000 mg/L 浓度处理叶、对照叶烟粉虱的居留率。

$$\text{居留率 } Ph(\%) = \frac{\text{处理 24h 后着虫量}}{\text{接入虫量}} \times 100 \quad (1)$$

单雌产卵量的测定:如图 1 所示,所用甘薯枝的叶片经 1000 mg/L 的毒素处理。对照组甘薯叶用含体积 0.01% 丙酮、0.03% 吐温-80 的水溶液处理,凉 30min 待叶片药水凉干。每一处理接 20 对刚羽化的雌、雄成虫,接虫前先饥饿 3~5h。玻璃马灯罩上用保鲜膜(保鲜膜用昆虫针扎孔)罩好,置于室温下,让其交配,产卵,48h 后,双目解剖镜下计数叶片上烟粉虱的卵量,计算单雌平均产卵量。每一处理重复 3 次。

1.3 田间试验的设计与调查方法

试验于 2002 年 8 ~ 10 月进行。温室大棚 (8 × 50 m², 棚室内种植茄子, 行距 0.4 m, 株距 0.5 m) 用塑料薄膜隔成 9 个小区 (7 × 3 m²), 设计成毒素区、化防区和对照区, 各试验小区于 1 龄若虫高峰期喷施处理液, 连续 2 周每周喷施 1 次。毒素区处理液为浓度 400 mg/L 的 V3450 毒素粗提物, 化防区处理液为稀释 1000 倍的重量 10% 吡虫啉可湿性粉剂, 对照区喷施清水。每处理设 3 个重复。处理后第 2 天开始调查, 每隔 2 天调查 1 次。

成虫的抽样方法及田间种群居留率的测定: 田间种群居留率的测定: 每小区随机选 10 株茄子, 每天早上用翻叶法^[13] 轻轻翻转叶片, 背面朝上, 用 1 cm²/格的透明坐标纸计算每格的成虫数量。由此统计每小区成虫密度。由式(2)计算田间种群居留率。

$$\text{田间种群居留率 } Ph(\%) = \frac{\text{处理 24h 后成虫密度}}{\text{处理前成虫密度}} \times 100 \quad (2)$$

卵和若虫的抽样方法: 以 1/30 m² 为抽样单位随机取样, 每个样点随机取茄子苗上、中、下 3 个层次的叶片各 3 片, 放在保鲜袋内封口带回实验室内, 用打孔器在叶片叶脉两边随机取 3.14 cm² 的圆形小碟, 叶脉两边各 2 个^[14]。解剖镜下观察计数各虫期的数量、存活情况和死亡因子。

伪蛹羽化率的统计: 每次调查取样的叶片随机选 2 张, 叶柄插于浸泡植物营养液的花泥中, 置于干燥器中, 待伪蛹全部羽化后, 根据羽化孔统计羽化情况和被寄生或捕食情况。

雌雄比的统计: 将刚羽化的成虫放入冰柜冻死, 镜检统计成虫雌雄比。

成虫平均产卵量的统计: 将成虫配对, 放入玻璃马灯罩内的茄子新鲜幼叶上 (叶柄插于浸泡植物营养液的花泥中, 马灯罩置于培养皿中, 上端口用网纱盖住), 观察其产卵情况, 共设 20 ~ 25 对重复, 统计烟粉虱的平均产卵量。

各虫期的死亡因子的划分: 烟粉虱卵期作用因子有捕食性天敌的捕食, 自然因素死亡和生理不孵等因子。被捕食的卵包括了生理不孵的卵, 按其逻辑作用排列为“捕食及其他”和“不孵”, “捕食及其他”包括捕食和气候自然因素死亡及人为操作过程中机械脱落的卵。幼虫期作用因子有捕食性天敌的捕食, 自然因素死亡, 以及相对独立的因子: 化学杀虫剂作用、真菌寄生、毒素毒杀作用。被捕食的幼虫可能包括真菌寄生、化学杀虫剂和毒素亚致死状态的幼虫, 因此按其逻辑作用排列 (见表 2)。虽然寄生蜂可选择幼虫, 但只有到伪蛹期才致死寄主, 故将寄生蜂寄生作用统归伪蛹期^[12], 真菌寄生、毒素毒杀可能致死已被寄生的, 按期逻辑作用列于寄生作用前。成虫期的作用因子有毒素作用下的取食和产卵忌避作用, 居留下的成虫, 虽能取食补充营养, 但毒素作用使得产卵量减少^①, 所以用忌避指数和毒素作用下的平均产卵量 (达标准卵量概率) 表示。

化学杀虫剂和毒素毒性测定: 从田间开始用药起, 定期采摘处理区叶片, 用叶柄插在浸泡植物营养液的花泥中, 在室内分别饲养, 观察各阶段的存活率、死亡率。

记录各虫期的数量以及田间各虫期的死亡因子和数量, 根据庞雄飞等提出的生命表组建方法^[16] 计算相应虫期各个作用因子的存活率, 组建烟粉虱第 5、6 代生命表。

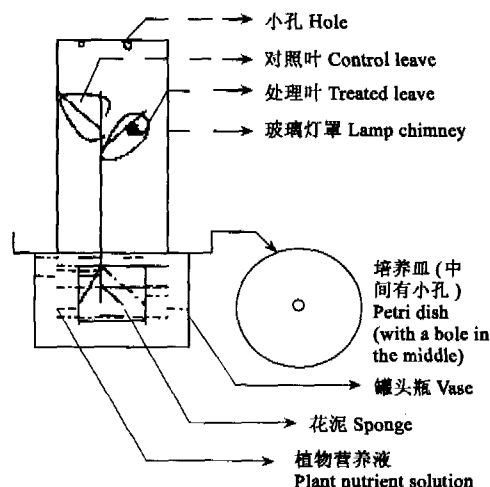


图 1 烟粉虱产卵量测定装置

Fig. 1 Apparatus for testing oviposition of *Bemisia tabaci*

① 王联德. 蜡蚧轮枝菌毒素及其对烟粉虱种群控制作用的研究. 博士学位论文, 福州: 福建农林大学, 2003

1.4 统计与分析方法

庞雄飞等提出种群干扰作用控制指数(interference index of population control, *IIPC*)方程(3式)^[16]和植物保护剂的干扰作用控制指数评价方程(4式)^[17]:

$$IIPC = \frac{N_{ITr}}{N_{ICk}} = \frac{N_{OTr} \cdot S_{ETr} \cdot S_{STr} \cdot S_{LTr} \cdot S_{PTr} \cdot F \cdot P_{FTr} \cdot P_{\frac{F}{Tr}} \cdot P_{hTr} \cdot [\sum P_{fdTr} (S_{AoTr})^d]}{N_{OCK} \cdot S_{ECK} \cdot S_{SCK} \cdot S_{LCK} \cdot S_{PCK} \cdot F \cdot P_{FCK} \cdot P_{\frac{F}{CK}} \cdot P_{hCK} \cdot [\sum P_{fdCK} (S_{AoCK})^d]} \quad (3)$$

$$IIPC_{PP} = \frac{N_{ITr}}{N_{ICk}} = \frac{N_{OTr} \cdot S_{ETr} \cdot S_{STr}}{N_{OCK} \cdot S_{ECK} \cdot S_{SCK}} \quad (4)$$

式中, N_{ITr} 和 N_{ICk} 分别为处理和对照的下代卵量; N_{OTr} 和 N_{OCK} 分别为处理和对照的当代卵量; S_{ETr} 、 S_{STr} 、 S_{LTr} 和 S_{PTr} 分别表示处理区卵、低龄幼虫、高龄幼虫、和蛹的存活率; S_{ECK} 、 S_{SCK} 、 S_{LCK} 和 S_{PCK} 分别表示对照区卵、低龄幼虫、高龄幼虫、和蛹的存活率; F 为设定的标准卵量; P_{FTr} 和 P_{FCK} 分别表示处理区和对照区达标准卵量的概率; $P_{\frac{F}{Tr}}$ 和 $P_{\frac{F}{CK}}$ 分别表示处理区和对照区雌虫比率; P_{hTr} 和 P_{hCK} 分别表示处理区和对照区成虫迁移后的居留率; P_{fdTr} 和 P_{fdCK} 分别表示处理区和对照区成虫逐日存活率。

在(4)式的基础上,根据毒素对烟粉虱室内种群的作用情况和作用机理(即成虫的产卵和取食的忌避作用,以及对卵、若虫和伪蛹的毒杀作用^①),将公式改为下式,用以评价毒素对烟粉虱室内种群的干扰作用:

$$IIPC_{Tox} = \frac{N_{ITr}}{N_{ICk}} = \frac{P_{hTr} \cdot N_{FTr} \cdot S_{ETr} \cdot S_{NTTr} \cdot S_{PTTr}}{P_{hCK} \cdot N_{FCK} \cdot S_{ECK} \cdot S_{NCK} \cdot S_{PCK}} \quad (5)$$

式中, P_{hTr} 和 P_{hCK} 分别为处理和对照的粉虱居留率; N_{FTr} 和 N_{FCK} 分别为处理和对照的烟粉虱单雌产卵量; S_{ETr} 和 S_{ECK} 分别为处理和对照的烟粉虱孵化率; S_{NTTr} 和 S_{NCK} 分别为处理和对照的烟粉虱若虫存活率; S_{PTTr} 和 S_{PCK} 分别为处理和对照的烟粉虱伪蛹羽化率。

田间试验数据用作用因子组配生命表组建方法组建第 5、6 代生命表,在各虫期的基础上,按作用因子的顺序依次统计其存活率($S_i, i = 1, 2, 3, \dots$),从而计算种群趋势指数(I , index of population trend, 即下代卵量(N_t)与当代卵量(N_0)的比值,)相当于表 2 所列的各组分相对应的存活率、所设定标准卵量(F)、达标卵量的概率和雌性比率的乘积。

表 1 蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱的干扰作用

Table 1 The *IIPC* of the crude toxin of *Verticillium lecanii* on *Bemisia tabaci*

菌株毒素 Toxin	毒素浓度 Concentration mg/L	忌避指数 Deterrent index P_{hTr}/P_{hCK}	单雌卵量比率 Fecundity ratio N_{FTr}/N_{FCK}	卵孵化指数 Hatching index S_{ETr}/S_{ECK}	若虫存活指数 Survival index of larvae S_{NTTr}/S_{NCK}	蛹期羽化指数 Emergency index of pupae S_{PTTr}/S_{PCK}	<i>IIPC</i>
V3450	1000	0.3554	0.7035	0.7108	0.3260	0.8423	0.0488
Vp28	1000	0.3577	0.7637	0.7699	0.4298	0.8662	0.0783
V6063	1000	0.3349	0.7171	0.7514	0.4267	0.8575	0.0660

* P_{hTr} 、 P_{hCK} 分别为处理和对照的烟粉虱居留率; N_{FTr} 、 N_{FCK} 分别为处理和对照的烟粉虱单雌产卵量; S_{ETr} 、 S_{ECK} 分别为处理和对照的烟粉虱孵化率; S_{NTTr} 、 S_{NCK} 分别为处理和对照的烟粉虱若虫存活率; S_{PTTr} 、 S_{PCK} 分别为处理和对照的烟粉虱伪蛹羽化率 P_{hTr} 、 P_{hCK} are the residential ratio of *B. tabaci* under treatment and control, respectively; N_{FTr} 、 N_{FCK} are the fecund of per female *B. tabaci* under treatment and control, respectively; S_{ETr} 、 S_{ECK} are the hatching ratio of eggs under treatment and control, respectively; S_{NTTr} 、 S_{NCK} are the survival ratio of larvae of *B. tabaci* under treatment and control respectively; S_{PTTr} 、 S_{PCK} are the emergency ratio of *B. tabaci* under treatment and control, respectively

$$I = N_t/N_0 = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \dots \cdot F \cdot P_F \cdot P_{\frac{F}{Tr}} \quad (6)$$

在重要因子分析中,应用排除作用控制指数法,即在试验中,如果排除一个因子 j 的作用,则其对应的存活率 $S_j = 1$,排除作用控制指数即为:

① 王联德. 蜡蚧轮枝菌毒素及其对烟粉虱种群控制作用的研究. 博士学位论文,福州:福建农林大学,2003

$$EIPC_j = I_j/I = (S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdots 1 \cdots F \cdot P_F \cdot P)/(S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdots S_j \cdots F \cdot P_F \cdot P) = 1/S_j \quad (7)$$

表示排除因子 j 的作用,种群趋势指数将增长为原来的位数。如果排除多个因子,则

$$EIPC_{j_1,j_2,j_3,\cdots} = 1/(S_{j_1})(S_{j_2})(S_{j_3})(\cdots) \quad (8)$$

用于综合分析各类因子对种群趋势的作用^[15]。

2 结果与分析

2.1 蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱室内种群的干扰作用

蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱的干扰作用控制指数(表 1)表明,3 个菌株(V3450、Vp28 和 V16063)毒素 1000 mg/L 溶液对烟粉虱均具有较强的干扰作用,主要表现在对成虫的忌避作用和对若虫的毒杀作用,干扰作用控制指数(IIPC)分别为 0.0488、0.0783 和 0.0660,V3450 菌株毒素的干扰作用最强,Vp28 的干扰作用最弱。

2.2 蜡蚧轮枝菌毒素及化学杀虫剂对烟粉虱自然种群控制作用的评价

从表 2 的试验结果可见,毒素区烟粉虱的第 5、6 代种群趋势指数(I)分别为 1.88 和 0.68。第 5 代 I 值虽然仍大于 1,但与对照区($I'_{ck} = 29.33$)相比, I 值比对照区明显降低。第 6 代 I 值小于 1,说明连续喷施 400 mg/L 的毒素至第 6 代,第 7 代种群数量不再增长,烟粉虱种群得到控制。采用干扰作用控制指数(IIPC)分析,第 5、6 代的 IIPC 值分别为 0.064 和 0.023,即施用 V3450 毒素可引起第 6、7 代 I 值分别下降为对照区的 0.064 和 0.023 倍,说明蜡蚧轮枝菌毒素提取物在温室大棚有较好的应用前景。

表 2 蜡蚧轮枝菌毒素与化学杀虫剂对烟粉虱种群数量控制作用的比较¹⁾

Table 2 Comparison of the effects of the toxin of <i>Verticillium lecanii</i> and chemical pesticide on the population of <i>Bemisia tabaci</i>			第 5 代作用因子存活率			第 6 代作用因子存活率		
虫期 Stage	作用因子 Acting factors		Survival rate of 5th generation			Survival rate of 6th generation		
			对照区 Control	毒素区 Toxin	化防区 Insecticide	对照区 Control	毒素区 Toxin	化防区 Insecticide
卵 Eggs	捕食及其它 Predation & others	S1	0.8161	0.9673	0.8527	0.8006	0.8100	0.9833
	不孵 Non-hatch	S2	0.9521	0.6580	0.9530	0.9311	0.6514	0.9510
1 龄幼虫 1st instar nymph	捕食及其它 Predation & others	S3	0.9264	0.9373	0.9381	0.9033	0.8933	0.9773
	化学杀虫剂 Insecticide	S4	1.0000	1.0000	0.6216	1.0000	1.0000	0.7956
	真菌寄生 Fungi parasitism	S5	0.9840	0.9204	0.9351	0.9860	0.8913	0.9366
2~4 龄幼虫 2 nd ~4 th instar nymph	毒素毒杀 Toxin	S6	1.0000	0.7164	1.0000	1.0000	0.7200	1.000
	捕食及其它 Predation & others	S7	0.9000	0.9106	0.9211	0.8990	0.8724	0.9907
	化学杀虫剂 Insecticide	S8	1.0000	1.0000	0.6048	1.0000	1.0000	0.8921
伪蛹 Pupa	真菌寄生 Fungi parasitism	S9	0.9041	0.8970	0.9330	0.9823	0.8227	0.9440
	毒素毒杀 Toxin	S10	1.0000	0.5127	1.0000	1.0000	0.5044	1.0000
	捕食及其它 Predation & others	S11	0.9203	0.9624	0.9862	0.9046	0.9140	0.9961
成虫 Adult	真菌寄生 Fungi parasitism	S12	0.9428	0.8846	0.9935	0.9811	0.8167	0.9972
	毒素毒杀 Toxin	S13	0.9999	0.7412	1.0000	1.000	0.7388	1.000
	寄生蜂寄生 Parasitoids parasitism	S14	0.8903	0.8997	0.9903	0.8620	0.8011	0.9967
	忌避指数 Deterrent index, DI2)	S15	1.0000	0.4420	1.0000	1.0000	0.4367	1.0000
	存活率 Survival	S16	1.0000	0.7973	0.4200	1.0000	0.7973	0.8250
	雌性概率 Probability of female	S17	0.5725	0.6470	0.5731	0.5714	0.6388	0.5728
	达标准卵量概率 ³⁾ Probability of standard productivity	S18	0.2877	0.2217	0.2514	0.2910	0.1608	0.2844
种群趋势指数(I) Population growth index			29.33	1.88	12.95	29.83	0.68	30.23
干扰作用控制指数(IIPC)			1	0.064	0.44	1	0.023	1.01

1) 1 龄若虫高峰期喷施药(毒素 400 mg/L 液/10% 吡虫啉可湿性粉剂 1000 倍液),连续 2 周每周喷施 1 次 Application at 400 mg/L crude toxin dilution or Imidacloprid (WP, 10% diluted 1:1000) twice at weekly interval; 2) 忌避指数(Deterrent index, DI) = P_{hT}/P_{hC} , P_{hT} 、 P_{hC} 分别为田间种群处理区和对照区的烟粉虱居留率 P_{hT} 、 P_{hC} are the residential ratio of *B. tabaci* under treatment and control population, respectively, in the test plot in greenhouse; 3) 标准卵量定为 400 粒/雌。Standard productivity is assumed to be 400 head per female

试验同时设置化防区,与蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱的作用进行比较(表 2)。在化防区,施用吡虫啉后,烟粉虱第 5、6 代种群的 I 值分别为 12.95 和 30.23,说明第 6、7 代烟粉虱种群数量分别上升为第 5 代的 12.95 倍和第 6 代的 30.23 倍。利用干扰作用控制指数分析,化防区的第 5 代的 $IIPC$ 值为 0.44,但到第 6 代 $IIPC$ 跃增为 1.01,第 7 代种群增长与对照区相当。说明在温室大棚中蜡蚧轮枝菌毒素提取物比杀虫剂对烟粉虱的防治效果更佳。

2.3 烟粉虱种群系统中重要因子的分析

从表 3 计算的排除作用控制指数 ($EIPC$) 可见,对照区中,成虫的下代卵量概率和卵期的“捕食及其它”对烟粉虱的种群数量消长起着重要作用,为成虫期的重要因子,第 5 代种群 $EIPC$ 值分别为 6.09 和 1.23,第 6 代种群 $EIPC$ 值分别为 6.64 和 1.25。如果排除这 2 个因子的作用,烟粉虱第 5 代种群增长趋势指数将分别比原来增长 6.09 和 1.23 倍,第 6 代种群增长趋势指数将分别比原来增长 6.64 和 1.25 倍。

毒素区,成虫的下代卵量概率和 2 龄若虫期毒素的毒杀作用为重要因子,这 2 个因子作用下的第 5 代 $EIPC$ 分别为 19.78 和 1.95,第 6 代代 $EIPC$ 分别为 28.46 和 1.98,如排除其中每一因子的作用,其第 5 代的 I 值将分别比原来增长 19.78 和 1.95 倍,第 6 代的 I 值将分别比原来增长 28.46 和 1.98 倍。

化防区,第 5 代种群成虫的下代卵量概率和 2 - 4 龄的杀虫剂为重要因子, $EIPC$ 值分别为 16.58 和 1.65。第 6 代种群只有成虫的下代卵量概率为重要因子, $EIPC$ 为 7.45。由于连续地使用化学杀虫剂,到第 6 代这 2 个因子的控制作用大大下降,从而造成第 6 代种群增长趋势指数大大上升(I 值上升为 30.23),比对照区(29.83)还高。

表 3 各处理区中各作用因子的控制指数¹⁾
Table 3 The $EIPC$ of the factors in different treatment plots

虫期 Stage	作用因子 Acting factors		第 5 代控制指数 ($EIPC = 1/S_i$)			第 6 代控制指数 ($EIPC = 1/S_i$)		
			$EIPC$ of 5th generation			$EIPC$ of 6th generation		
			对照区 Control	毒素区 Toxin	化防区 Insecticide	对照区 Control	毒素区 Toxin	化防区 Insecticide
卵 Egg	捕食及其它 Predation & others	S1	1.23	1.17	1.04	1.25	1.23	1.02
	不孵 Non-hatch	S2	1.05	1.52	1.05	1.07	1.54	1.05
1 龄幼虫 1st instar nymph	捕食及其它 Predation & others	S3	1.08	1.07	1.07	1.11	1.12	1.02
	化学杀虫剂 Insecticide	S4	1.00	1.00	1.61	1.00	1.00	1.26
	真菌寄生 Fungi parasitism	S5	1.02	1.09	1.07	1.01	1.12	1.07
	毒素毒杀 Toxin	S6	1.00	1.40	1.00	1.00	1.39	1.00
2 ~ 4 龄幼虫 2 nd ~ 4 th instar nymph	捕食及其它 Predation & others	S7	1.11	1.10	1.09	1.11	1.15	1.01
	化学杀虫剂 Insecticide	S8	1.00	1.00	1.65	1.00	1.00	1.12
	真菌寄生 Fungi parasitism	S9	1.11	1.11	1.07	1.02	1.22	1.06
	毒素毒杀 Toxin	S10	1.00	1.95	1.00	1.00	1.98	1.00
蛹 Pupa	捕食及其它 Predation & others	S11	1.09	1.04	1.00	1.35	1.09	1.00
	真菌寄生 Fungi parasitism	S12	1.06	1.13	1.01	1.02	1.22	1.00
	毒素毒杀 Toxin	S13	1.00	1.35	1.00	1.00	1.35	1.00
	寄生蜂寄生 Parasitoids parasitism	S14	1.12	1.11	1.01	1.16	1.25	1.00
成虫 Adult	忌避指数 Deterrent index, DI	S15	1.00	2.26	1.00	1.00	2.29	1.00
	存活率 Survival	S16	1.00	1.25	2.38	1.00	1.28	1.00
	下代卵量概率 Probability of next generation productivity, PF		6.09	19.78	16.58	6.64	28.46	7.45
	$EIPC(tox)$ 毒素 Toxin		1.00	10.41	1.00	1.00	10.89	1.00
	$EIPC(fu)$ 真菌寄生 Fungi parasitism		1.20	1.37	1.17	1.05	1.67	1.13
	$EIPC(p.n.)$ 捕食及其它 Predation & others		1.61	1.45	1.21	2.08	1.73	1.05
	$EIPC(p.r.)$ 寄生蜂寄生 Parasitoids parasitism		1.12	1.11	1.01	1.16	1.25	1.00

1) $EIPC(PF) = 1/S15 \cdot S16 \cdot S17 \cdot S18$; $EIPC(tox) = 1/S6 \cdot S10 \cdot S13 \cdot S15 \cdot S16$; $EIPC(fu) = 1/S5 \cdot S9 \cdot S12$; $EIPC(p.n.) = 1/S1 \cdot S3 \cdot S7 \cdot S11$; $EIPC(p.r.) = 1/S14$

利用排除作用控制指数($EIPC$)分析,毒素区的“真菌寄生”控制指数比对照区大,说明毒素利于烟粉虱真菌病害的发生;第5、6代种群寄生蜂作用分别为1.11和1.25,“捕食及其他”的作用分别为1.45和1.73,虽然比对照区有所减小,但比化防区同类因子的控制指数大。说明毒素对天敌的影响杀虫剂小,连续使用杀虫剂,第6代种群中寄生蜂的控制作用几乎丧失($EIPC_{(p,r)} = 1.00$)。

3 讨论

本文通过室内和田间试验相结合,应用于干扰作用控制指数方程评价蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱室内种群的作用,应用作用因子组配的生命表方法设计田间试验,运用种群趋势指数和控制指数评价蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱种群发展的影响。

在烟粉虱种群系统中,蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱种群各虫期都有干扰作用,但由于对各虫期的作用方式和干扰作用程度不同,对成虫的作用既表现拒食、产卵忌避和毒杀作用,又表现对产卵量的影响;同时对未成熟期各阶段的敏感性也不同^①。用传统的忌避率、拒食率和校正死亡率只能反映出采用防虫措施后短期内的效果,难以反映出毒素在害虫种群整个世代乃至几个世代中的干扰作用。应用于干扰作用控制指数法,可以全面反映毒素对害虫种群的干扰作用。室内试验结果表明,蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱室内种群的干扰作用主要是对成虫忌避作用和对若虫存活的干扰作用,在种群干扰作用控制指数(式3)^[15]和植物保护剂的干扰作用控制指数评价方程(式4)^[16]基础上,提出毒素对害虫种群干扰作用评价模型(式5),用于评价蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱室内种群的干扰作用。

通过田间系统调查各虫态的数量,并将抽样叶片带回室内观察各虫态死亡原因,组建自然种群生命表,排除了一些作用因子在田间难于统计的缺陷^[17]。应用这种方法组建烟粉虱自然种群生命表,解决了田间难以统计烟粉虱被捕食(/寄生)的捕食(/寄生)率的问题。通过室内雌成虫产卵量的观察,估计出蜡蚧轮枝菌毒素对成虫产卵量的影响,以及对烟粉虱种群发展的影响。这些都是校正死亡百分率无法反映的。种群趋势指数能反映烟粉虱种群下代的发展趋势;而校正死亡百分率仅能反映采取措施后短期内的效果。

化防区连续施用吡虫啉,对温室大棚内的主要天敌桨角蚜小蜂有一定程度的杀伤作用,在天敌作用下降的情况下烟粉虱种群发展迅速,因而容易出现害虫再猖獗现象^[18],导致第7代的种群数量比不采取任何防虫措施的对照区上升得快,造成了害虫再猖獗。这为温室大棚中提倡非化学控制烟粉虱猖獗危害提供了依据。毒素区与对照区的重要因子“捕食及其他”的控制指数相近,第5代的控制指数分别为1.61和1.45,第6代的控制指数分别为2.08和1.73,说明应用蜡蚧轮枝菌毒素防治烟粉虱,能保护天敌,发挥天敌的自然控制作用。

田间试验能全面反映蜡蚧轮枝菌毒素作用的实际情况,结合室内试验,解决了田间试验的一些偶然性可能带来的误差。通过室内和田间试验相结合,评价蜡蚧轮枝菌毒素对烟粉虱的防治作用可能更为合理。

References:

- [1] Brown J K. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide. *FAO Plant Protection Bulletin*, 1994, 42(1/2): 3 ~ 32.
- [2] Zhou Y A. check list of whitefly in China. *Chinese Journal of Entomology*, 1949, 3 (4): 1 ~ 18.
- [3] Ren S X, Wang Z Z, Qiu B L, et al. The status of *Bemisia tabaci* in China and non-chemical control strategies. *Entomologia Sinica*, 2001, 8(3): 279 ~ 288.
- [4] Palumbo J C, Horowitz A R, Prabhaker N, et al. Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection*, 2001, 20(9): 739 ~ 765.
- [5] Quinlan R J. Use of fungi to control insects in greenhouses. In: Burge M N ed. *Fungi in biological control systems*. Manchester and New York: Manchester University press, 1988. 19 ~ 36.
- [6] 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. Appl. Ent.* 2005, 129: 32 ~ 38.
- [7] Gindin G, Barash I, Harari N, et al. Effect of endotoxin compounds isolated from *Verticillium lecanii* on the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci*.

① 王联德. 蜡蚧轮枝菌毒素及其对烟粉虱种群控制作用的研究. 博士学位论文, 福州: 福建农林大学, 2003

- Phytoparasitica, 1994, 22(3): 189 ~ 196.
- [8] Mitina G, Sergeev G E, Pavlyushin V A. Effect of biochemical and morphocultural properties of *Verticillium leccmii* (Zimm.) Viégas natural isolates on the virulence for *Trialeurodes vaporariorum*, Mikol. Fitopatol., 1997, 31: 57.
- [9] Mitina G V, Sokornova S V, Pavlyushin V A. The effect of the lipid extract from the biomass of entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii* was studied against a number of different insects. Mikol. Fitopatol., 2002, 36: 53 ~ 59.
- [10] Li G X; Gao X W; Liu Q C. Preliminary study on the culture of *Verticillium lecanii* and the insecticidal effect of its metabolites on insects. J. Beijing Agric. Univ. 1995, 21: 409 ~ 415.
- [11] Wang K Q, Li X M, Liu C L. Preliminary study on the control of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* with toxin from *Verticillium lecanii* (Zimm.). Plant Protection, 2000, 26: 44 ~ 45.
- [12] Zhang X H, Li L B, Cheng Z F. Study on the insecticidal activities and physiological activities. J ShanXi Agric. Univ. 2003, 23(40): 316 ~ 318.
- [13] Naranjao S E, Flint H M, Hennerberry T J. Comparative analysis of selected sampling methods for adult *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in cotton. J Econ Entomol, 1995, 88(16): 1666 ~ 1678.
- [14] Liu T X. Population dynamics of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on Spring Collard and relationship to yield in the Lower Rio Grande Valley of Texas. J Econ. Entomol, 2000, 93(3): 750 ~ 756.
- [15] Pang X F and Liang G W. Controls on Population System of Insect Pests. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 1995. 24 ~ 30.
- [16] Pang X F, Zhang M X, Hou Y M, et al. Evaluation of plant protectants against pest insect. Chin. J. Appl. Ecol., 2000, 11(2): 108 ~ 110.
- [17] Mo M H and Pang X F. Evaluation of the effectiveness of PXGV on the population dynamics of *Plutella xylostella* L. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 724 ~ 727.
- [18] Tzeng C C and Kao S S. Toxicity of insecticides to *Eremocerus orientalis* and *Encarsia transvena*- Parasitoids of Silver leaf whitefly (*Bemisia argentifolii*). Plant Prot Bull. 1995, 88, 123 ~ 131.

参考文献:

- [2] 周尧, . 中国粉虱名录. 中国昆虫学杂志, 1949, 3(4): 1 ~ 18.
- [10] 李国霞, 高希武, 等. 蜡蚧轮枝菌的发酵培养及其代谢产物对害虫毒杀作用的初步研究. 北京农业大学学报, 1995, 21, 409 ~ 415.
- [11] 王克勤, 李新民, 等. 蜡蚧轮枝菌毒素防治温室白粉虱初步研究. 植物保护, 2000, 26, 44 ~ 45.
- [12] 张仙红, 李来保, 成志芳. 蜡蚧轮枝菌代谢产物杀虫及植物生理活性的测定. 山西农业大学学报, 2003, 23(4): 316 ~ 318.
- [15] 庞雄飞, 梁广文. 害虫种群系统的控制. 广州: 广东科技出版社, 1995.
- [16] 庞雄飞, 张茂新, 侯有明, 等. 植物保护剂防治害虫效果的评价方法. 应用生态学报, 2000, 11(2): 108 ~ 110.
- [17] 莫美华, 庞雄飞. 小菜蛾颗粒体病毒对小菜蛾防治作用的评价. 生态学报, 1999, 9(5): 24 ~ 727.