

印楝素乳油对小菜蛾种群的控制作用

侯有明¹, 庞雄飞², 梁广文²

(1. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 2. 华南农业大学昆虫生态研究室, 广州 510642)

摘要: 通过室内外系统试验探讨了印楝素乳油对小菜蛾 *Plutella xylostella* 种群的控制作用。结果表明, 其控制作用主要表现在对成虫产卵的显著忌避作用、对幼虫的拒食作用以及对生长发育的影响和减少幼虫危害力等方面。印楝素乳油 0.005 mL/L 处理对成虫的忌避率为 78.3%, 对幼虫的选择性和非选择性拒食率分别为 71.8% 和 62.9%, 幼虫总取食量是对照的 59.0%, 使小菜蛾种群趋势指数 (*I* 值) 降为 2.4, 干扰作用控制指数 (*IIPC*) 为 0.1079。采用状态空间分析法就印楝素乳油施用后小菜蛾种群数量动态的模拟分析亦表明, 其显著的控制作用表现在种群发展初期对成虫的忌避作用。

关键词: 印楝素; 小菜蛾; 种群控制; 忌避作用; 拒食作用

中图分类号: S436.341.24; S436.36 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296 (2002) 01-0052-06

Effects of azadirachtin against the diamondback moth, *Plutella xylostella*

HOU You-Ming¹, PANG Xiong-Fei², LIANG Guang-Wen² (1. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Effects of azadirachtin dosages on population dynamics of the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella*, were investigated in both laboratory and field. The results showed that azadirachtin strongly deterred the adult from laying eggs and significantly inhibited larval feeding on the plant with it. When 0.005 mL/L of azadirachtin was applied, 78.3% of the adults of DBM was kept away from the host plant and larval antifeedant ranged from 62.9% to 71.8%. Total food intake by DBM larva decreased to 59.0% of that in the control. The index of population trend of DBM decreased to 2.4 from 22.0 in the control. The interference index of population control was 0.1079. Based on the space-state equation of cybernetics, models of DBM population dynamics were set up, which indicated the deterrent activity of azadirachtin to the adult egg-laying played a key role in population control.

Key words: azadirachtin; *Plutella xylostella*; population control; deterrent effect; antifeedant effect

应用昆虫对异源植物次生化合物的拒食和忌避特性控制害虫为害, 在蔬菜害虫生态调控中有着广阔的前景 (庞雄飞, 1999; 庞雄飞等, 2000), 尤其是对于小菜蛾 *Plutella xylostella* 等害虫, 其虫源大多来自菜田以外生境或邻近菜田, 应用这类化合物的效果更为显著 (庞雄飞等, 2000)。印楝素 (azadirachtin) 是第一个从印楝 *Azadirachta indica* 种子中获得的一种活性物质。自 1927 年 Mann 等 (赵善欢, 1998) 观察到印度西部的沙漠蝗 *Schistocerca gregaria* 大发生时印楝树未受其害以来, 引起世界各国研究印楝的热潮。大量研究表明, 印楝中的活性物质杀虫范围广, 作用机理特殊, 害虫不易产生抗性 (Schmutterer, 1990; Dimetry *et al.*, 1993;

Musabyimana *et al.*, 2001)。然而, 在印楝植物活性物质的应用中, 对其杀虫效果的研究较多, 而以忌避作用为基础的综合评价较少。1997~1999 年, 作者在深圳龙岗生态村, 就印楝素乳油对小菜蛾种群的拒食和忌避作用进行了室内活性测定和田间控制效应的系统调查, 并利用生命表评价其控制作用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

印楝素乳油由华南农业大学昆虫毒理研究室提供。用清水稀释到 5.00、4.17、3.57、3.13 和 2.78 $\times 10^{-3}$ mL/L 5 个浓度处理, 其相应的田间用量分别

基金项目: 国家自然科学基金 (39870441), 中国博士后科学基金 (2000) 和福建省教育厅资助项目 (K20031)

第一作者简介: 侯有明, 男, 1966 年 9 月生, 汉族, 陕西白水人, 博士, 副教授, 主要从事昆虫生态与害虫综合治理的研究, E-mail: ymhou@fjau.edu.cn

收稿日期 Received: 2000-02-10; 接受日期 Accepted: 2001-04-15

为 4.50、3.75、3.21、2.81 和 2.50 mL/hm²，以清水处理为对照。

1.2 生物活性测定

1.2.1 忌避作用测定：取长 25 cm、宽 20 cm、高 15 cm 的网盒，分别放入刚羽化的小菜蛾成虫 1 对，在盖内顶部事先贴上已用不同浓度印楝素处理过的蜡纸（面积约 120 cm²），在盖外围盖一湿纱布保湿，室温下保存，统计成虫在蜡纸上的产卵量和卵孵化情况。每一处理重复 30 次。计算其对成虫产卵的忌避率：忌避率 = [(对照组产卵量 - 处理组产卵量) / 对照组产卵量] × 100%。

1.2.2 拒食活性测定：用打孔器（D = 1.8 cm）制备好的菜心 *Brassica campestris* ssp. *chinensis* var. *utilis* 叶圆片，将其浸入不同浓度的处理液中，3 s 后取出，晾干后放入垫有滤纸的培养皿（D = 9 cm）中。每皿放入处理和对照各 3 片，交错排列，然后接入已饥饿 4 h 的 4 龄幼虫 1 头，每一处理重复 30 次，以清水处理为对照。分别于接虫后 8、16、24 h 采用透明坐标胶片测定各叶被食面积，由此计算其选择性拒食率。非选择性拒食活性测定方法同上，仅是在一培养皿内全部放入处理叶，而另一培养皿内全部放入对照叶，每皿同样放入 6 片圆叶。

1.2.3 毒杀作用：取直径 1.9 cm、高 4.6 cm 的小瓶，以微量注射器注入 25 μL 不同浓度处理液，然后每瓶放入 5 头各龄幼虫，用湿沙布盖好瓶口保湿，置于室温下饲养，每隔 2 h 检查各龄幼虫死亡情况，直至 24 h。每处理重复 30 次，以清水处理为对照。

1.2.4 对取食量及发育历期的影响：采集 2~3 叶期叶片，清洗后浸入不同处理液中，10 s 后取出，晾干后接入已饥饿 2 h 的 2 龄幼虫，让其取食 2 h 后移出备用。将干净叶片放入垫有滤纸的培养皿（D = 9 cm）中，叶面向上，用一湿棉球放于叶柄处保湿，接入备用幼虫，每皿 1 头，每 2 天更换 1 次叶片，每天采用透明坐标胶片测定取食叶面积，每隔 2 h 观察记录幼虫蜕皮时间，直至化蛹为止，以清水处理为对照，共设 30 组重复。

1.2.5 对化蛹和蛹羽化的影响：取 4 龄幼虫若干，饥饿 2 h 后饲食以上浸泡处理过的叶片，每皿 5 头，以清水为对照，每处理重复 30 次，每天检查记录化蛹数和成虫羽化数。

1.3 田间控制效应

按印楝素乳油不同浓度处理，分别于菜心子叶期（出苗后 3 天）开始第 1 次喷施，以后隔 5 天再

喷施 1 次，连续喷施 3 次，以喷施清水为对照，每一处理面积 0.01 hm²。试验地常规管理。分别于第 1 次喷施的前 1 天和喷施后每天调查不同处理区小菜蛾及其它害虫和天敌的种类、数量和年龄结构，在每一处理区内随机取样 15 点，每点 0.11 m²。每一处理重复 3 次。

施药后的菜田，自小菜蛾卵期起，逐日调查各虫态数量变动。同时，将卵、各龄幼虫及蛹带回室内观察，记录被寄生卵数和孵化数、各龄幼虫和蛹被寄生数与羽化数，由此估计各虫态存活率。蛹羽化后统计其雌雄比例，并 1 雌 1 雄配对放入罐头瓶内，加入 1 张叶片。每天更换叶片并统计其产卵量，由此估计成虫的产卵情况。每一处理重复 30 对。生命表的组建按照庞雄飞（1990）的方法进行。

2 结果与分析

2.1 印楝素乳油对小菜蛾成虫产卵、化蛹及羽化的影响

印楝素乳油对小菜蛾成虫产卵、化蛹及羽化的影响见表 1。印楝素不同浓度处理对成虫产卵忌避率的方差分析达极显著水平，且随处理浓度的增加，忌避作用增强，5.00 × 10⁻³ mL/L 处理的忌避率为 78.3%；从其对成虫寿命和总产卵量的影响来看，不同处理间虽然差异显著，但影响的程度较小。不同处理对化蛹率的影响较小，但对蛹羽化率的影响差异显著，且随处理浓度的增加，蛹羽化率降低，但降低的幅度不大，最高不超过 10%。由此可见，印楝素对小菜蛾种群的控制作用主要体现在对成虫产卵的忌避作用。

2.2 印楝素乳油对小菜蛾幼虫的拒食作用

不同浓度印楝素处理对小菜蛾幼虫的选择性和非选择性拒食率的方差分析均达极显著水平（表 2），且随着施用浓度的增加其拒食率增大，不同处理时间的选择性拒食活性和非选择性拒食活性具有明显的一致性。但从两者的相对值比较来看，选择性拒食率高于非选择性拒食率。

2.3 印楝素乳油对小菜蛾幼虫的毒性

不同浓度印楝素乳油对小菜蛾各龄幼虫的毒杀活性见表 3。对不同浓度印楝素乳油处理 24 h 后各龄幼虫平均死亡率的方差分析表明，虽然 1~3 龄幼虫死亡率差异达极显著水平，且随施用浓度的增加死亡率增大，但其绝对值较小；同时对 4 龄幼虫的作用不显著，各处理间的变化较小。

表 1 不同浓度印楝素对小菜蛾产卵、化蛹和羽化的影响*

Table 1 Effects of azadirachtin of different concentrations on oviposition, pupation and emergence of the diamondback moth

浓度 ($\times 10^{-3}$ mL/L)	产卵忌避率 (%)	成虫寿命 (d)	产卵量 (粒/雌)	化蛹率 (%)	羽化率 (%)
Concentration	Oviposition deterrence	Life-span of adult	Number of eggs laid	Pupation	Emergence
ck	-	11.4 \pm 3.2 abc	268.3 \pm 12.7 a	94.3 \pm 3.4 a	100.0 \pm 0.0 a
5.00	78.3 \pm 3.3 a	10.3 \pm 3.4 ef	226.7 \pm 18.8 d	92.6 \pm 1.7 ab	92.2 \pm 1.4 e
4.17	73.1 \pm 4.6 b	9.9 \pm 2.9 f	241.3 \pm 25.3 e	93.2 \pm 1.6 ab	94.8 \pm 2.4 de
3.57	66.3 \pm 5.3 c	10.7 \pm 3.2 de	248.2 \pm 34.2 e	94.1 \pm 2.4 ab	94.2 \pm 1.3 cd
3.13	37.4 \pm 6.1 d	11.0 \pm 4.1 cd	257.4 \pm 21.7 a	93.9 \pm 2.8 ab	96.4 \pm 2.3 b
2.78	8.3 \pm 3.2 e	11.4 \pm 5.6 bed	254.4 \pm 38.4 b	94.3 \pm 3.4 a	99.9 \pm 3.2 a

* 表中数据为平均值 \pm 标准误, 数据后有相同字母者是经 Duncan 新复极差检验差异不显著 ($P > 0.05$), 下同

The data in the table denote mean \pm SE and those followed by the same letter indicate no significant difference at the level of 0.05 by Duncan's multiple range test. The same for the following tables

表 2 不同浓度印楝素对小菜蛾幼虫的拒食作用*

Table 2 Antifeedant effects of azadirachtin of different concentrations on larvae of the diamondback moth

浓度 ($\times 10^{-3}$ mL/L)	选择性拒食率 Selective antifeedant rate (%)			非选择性拒食率 Non-selective antifeedant rate (%)		
	8 h	16 h	24 h	8 h	16 h	24 h
5.00	89.5 \pm 2.5 a	78.9 \pm 3.2 a	71.8 \pm 2.8 a	82.6 \pm 1.4 a	69.8 \pm 3.1 a	62.9 \pm 3.3 a
4.17	82.8 \pm 2.9 b	63.4 \pm 1.5 b	53.9 \pm 1.5 b	78.9 \pm 2.1 ab	54.6 \pm 3.3 b	47.7 \pm 1.5 ab
3.57	78.6 \pm 3.1 bc	60.2 \pm 3.2 b	47.6 \pm 2.2 bc	67.1 \pm 1.3 b	52.4 \pm 1.7 b	37.6 \pm 3.3 b
3.13	54.1 \pm 1.6 c	30.3 \pm 2.3 c	21.4 \pm 3.2 c	49.6 \pm 1.4 c	28.3 \pm 2.2 c	18.3 \pm 2.4 c
2.78	31.2 \pm 2.4 d	22.6 \pm 3.2 d	18.4 \pm 1.7 c	27.7 \pm 1.5 d	20.3 \pm 2.2 d	15.3 \pm 3.2 c

* 选择性拒食率 = [(ck 组取食量 - 处理组取食量) / (ck 组取食量 + 处理组取食量)] \times 100%; 非选择性拒食率 = [(ck 组取食量 - 处理组取食量) / ck 组取食量] \times 100%

Selective antifeedant rate = [(leaf area ingested by larvae in ck - that by treated larvae) / (leaf area ingested by larvae in ck + that by treated larvae)] \times 100%. Non-selective antifeedant rate = [(leaf area ingested by larvae in ck - that by treated larvae) / leaf area ingested by larvae in ck] \times 100%

表 3 不同浓度印楝素对小菜蛾幼虫的毒性

Table 3 Toxicity of azadirachtin of different concentrations on larvae of the diamondback moth

龄期	浓度 ($\times 10^{-3}$ mL/L)	处理 24 h 后的死亡率 (%)
Instars	Concentration	Mortality 24 h after treatment
1~2	ck	0.7 \pm 0.2 e
	5.00	6.8 \pm 1.1 a
	4.17	5.4 \pm 1.4 b
	3.57	4.1 \pm 2.3 c
	3.13	2.6 \pm 0.2 c
	2.78	1.1 \pm 0.1 d
3	ck	0 c
	5.00	8.5 \pm 2.1 a
	4.17	6.4 \pm 2.2 a
	3.57	3.6 \pm 1.6 b
	3.13	2.1 \pm 1.2 b
	2.78	0.1 \pm 0.0 c
4	ck	0 a
	5.00	0.1 \pm 0.0 a
	4.17	0.1 \pm 0.0 a
	3.57	0 a
	3.13	0 a
	2.78	0 a

表 4 不同浓度印楝素对小菜蛾幼虫发育和取食的影响

Table 4 Effects of azadirachtin of different concentrations on development and food intake by larvae of the diamondback moth

龄期	浓度	历期 (d)	取食量 (mm^2 /头)
Instars	($\times 10^{-3}$ mL/L)	Duration	Food intake
	Concentration		(mm^2 /individual)
1~2	ck	3.5 \pm 0.8 a	12.4 \pm 3.3 a
	5.00	4.7 \pm 1.7 de	5.8 \pm 1.4 d
	4.17	4.5 \pm 1.6 de	7.9 \pm 2.9 c
3	3.57	3.2 \pm 1.2 bc	9.4 \pm 3.7 b
	ck	1.7 \pm 0.4 a	31.4 \pm 4.2 a
	5.00	4.1 \pm 1.4 d	19.3 \pm 3.2 d
4	4.17	4.0 \pm 1.2 de	24.5 \pm 4.1 c
	3.57	3.4 \pm 0.9 bc	26.5 \pm 3.8 b
	ck	2.9 \pm 0.6 a	231.4 \pm 12.4 a
	5.00	4.7 \pm 0.9 e	136.9 \pm 9.8 d
	4.17	3.8 \pm 1.2 bc	136.8 \pm 14.6 c
	3.57	3.2 \pm 1.4 a	178.1 \pm 19.3 b

表 5 印楝素乳油对小菜蛾种群控制效应的生命表评价 (深圳, 碧岭, 1997~1999)

Table 5 Evaluation of azadirachtin against population of the diamondback moth with its life-table (Biling, Shenzhen, 1997~1999)

浓度 Concentration ($\times 10^{-3}$ mL/L)	起始卵量 Initial egg number in 0.11 m ²	成虫忌避 后存活率 Adult survival rate after deterrence	各虫态存活率 Survival rate at different stages					下代预 期卵量 Expected number of eggs in next generation	种群趋 势指数 Index of population trend (<i>I</i>)	干扰作用 控制指数 Interference index of population control (<i>I</i> PC)
			卵 Egg	1~2 龄 1st-2nd instars	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	蛹 Pupae			
ck	11.1	1	0.7955	0.6414	0.7498	0.8400	0.6410	243.0	22.0	—
5.00	2.4	0.2168	0.7375	0.4522	0.6131	0.7964	0.6295	5.7	2.4	0.1079
4.17	3.0	0.2686	0.7689	0.5460	0.6347	0.8211	0.6332	12.0	4.0	0.1823
3.57	3.7	0.3373	0.7630	0.6269	0.7286	0.8322	0.6396	24.9	6.7	0.3038
3.13	6.9	0.6264	0.7764	0.6154	0.7343	0.8337	0.6384	86.4	12.5	0.5679
2.75	10.1	0.9171	0.7926	0.6340	0.7405	0.8391	0.6410	198.0	19.5	0.8898

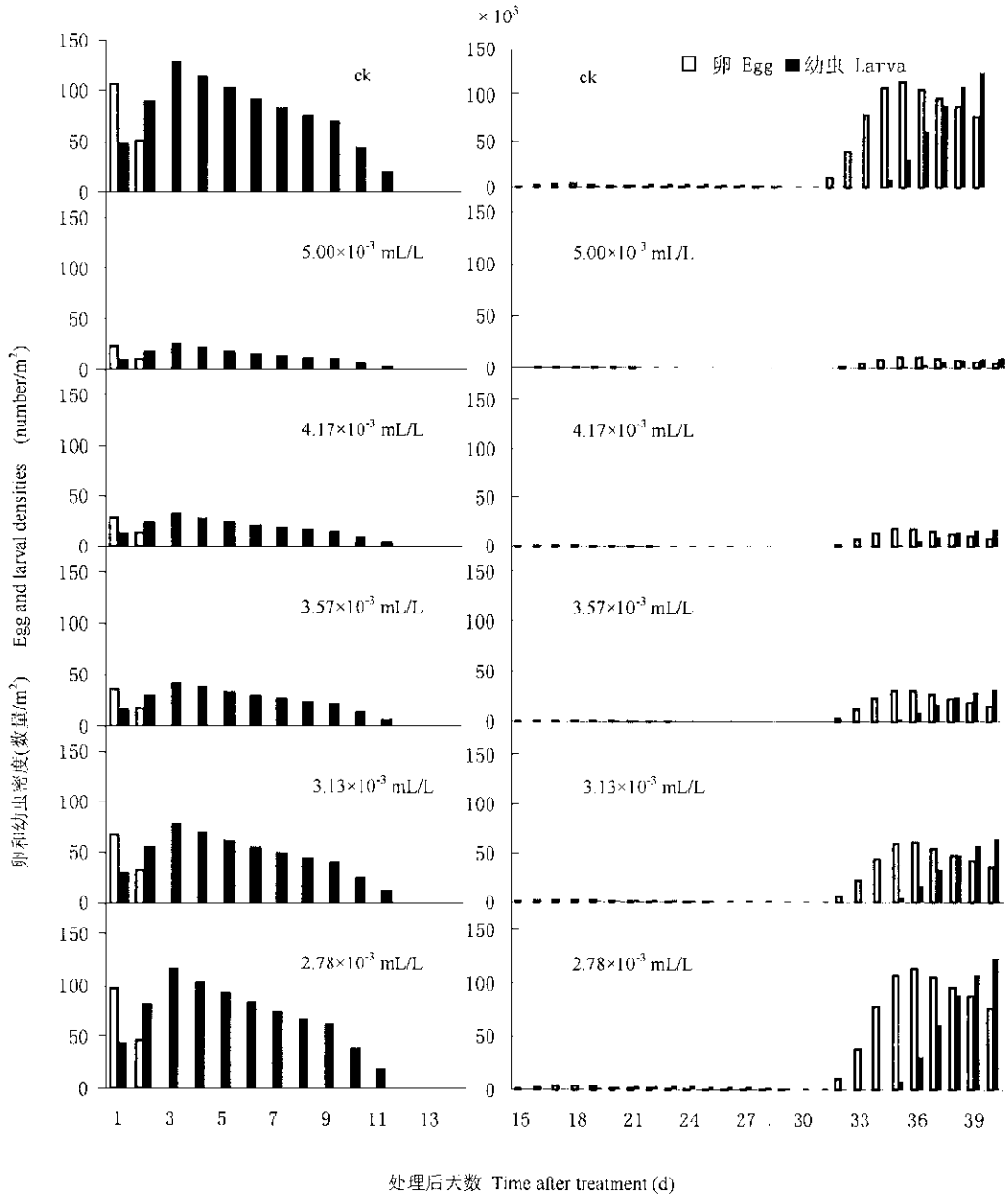


图 1 印楝素乳油对小菜蛾种群数量控制的动态模拟图

Fig. 1 Models of the population dynamics represented by egg and larva of the diamondback moth controlled with azadirachtin of different concentrations

2.4 印楝素乳油对小菜蛾幼虫发育和取食的影响

小菜蛾 1~2 龄幼虫饲食不同浓度的印楝素乳油后的生长发育情况见表 4。不同浓度印楝素处理对各龄幼虫历期和取食量影响的方差分析均达极显著水平。随着处理浓度的增大,发育历期延长,总取食量减少。印楝素 5.00、4.17、 3.57×10^{-3} mL/L 处理的幼虫总取食量分别是对照组的 59.0%、71.3% 和 77.6%。

2.5 印楝素乳油对小菜蛾种群控制作用评价

应用庞雄飞 (1990) 提出的种群干扰效应控制指数求出的不同浓度印楝素处理对小菜蛾种群的干扰作用控制指数见表 5。这里生命表的组建是从卵期开始,并以单位面积 (0.11 m^2) 内的卵量作为起始虫态和数量,计算出下代卵量,两者之比作为小菜蛾种群趋势指数 I 值。种群控制指数 ($IIPC$) 是先分别计算出处理区和对照区的起始卵量和不同虫态存活率之乘积,两者之比为 $IIPC$ 值。

$$\text{种群趋势指数 } I = \frac{\text{下代预期卵量 } N_1}{\text{起始卵量基数 } N_0}$$

$$\text{种群干扰作用控制指数 } IIPC = \frac{(N'S'_0'S'_1'S'_2'\cdots S'_{n-1}'S'_n')}{(NS_0S_1S_2\cdots S_{n-1}S_n)}$$

式中 N' 、 N 分别为处理区与对照区的起始卵量; S'_i 、 S_i 分别为处理区与对照区各虫态存活率。

由表 5 可知,不同浓度印楝素处理均可以压低小菜蛾种群数量,尤其是 5.00、 4.17×10^{-3} mL/L 处理的作用效果明显。在试验的使用浓度范围内,随施用浓度的不断提高,其控制作用愈来愈强。这表明尽管印楝素对小菜蛾各龄幼虫的毒杀作用较小,但由于其对成虫具有较强的忌避作用和对幼虫显著的拒食作用,因而对小菜蛾种群具有较好的控制效果,尤其是印楝素 5.00×10^{-3} mL/L 处理,可使种群趋势指数 (I 值) 降为 2.4,比对照降低 90% 左右。

2.6 印楝素乳油对小菜蛾种群系统数量控制的动态模拟

应用庞雄飞 (1990) 和庞雄飞等 (1995) 提出的害虫种群系统控制理论中的状态空间分析法,就印楝素对小菜蛾种群系统数量控制作用进行模拟分析,结果见图 1。

由图 1 可知,不同浓度印楝素处理可以显著压低小菜蛾种群数量,尤其是 5.00、 4.17×10^{-3} mL/L 浓度的作用效果明显,且随着使用浓度的不断提高,其控制作用愈来愈强。同时可以看出,印楝素对小菜蛾种群数量的控制作用主要是同其对成虫的

显著忌避作用有关。在种群发展初期,由于印楝素对成虫显著的忌避作用,其卵量基数降低,从而有效地控制其种群的发展。但从小菜蛾种群数量的绝对值来看,其种群增长数量还是比较高的,尤其是在处理 30 天后,种群增长比较迅速,这表明尽管印楝素对小菜蛾种群数量具有一定的控制作用,但从持续控制的角度分析,仅仅采用这一措施还不能完全控制种群数量的增长,尤其是在第 2 代以后,要结合其它措施同时应用,方可使其危害降低下来。

3 讨论

菜田主要害虫的虫源除菜田本身累积外,大部分来自菜田以外生境或邻近菜田。由于蔬菜茬口多,生育期短,因而菜田生境以外的虫源是其主要虫源。对于这一部分虫源,采用异源植物次生化合物的显著忌避作用,将其阻隔在菜田以外,可以降低害虫虫口基数,减轻为害。本研究结果表明,印楝素乳油对小菜蛾种群的控制作用是十分显著的,其控制的主要机理表现在对成虫的显著忌避作用、对幼虫的拒食作用和减少幼虫的取食量等方面。因此,应用异源植物次生化合物控制菜田生境以外的虫源是蔬菜害虫生态控制中的重要策略,亦是从根本上解决蔬菜主要害虫猖獗为害的重要途径。对这方面的研究前景广阔,对于开发蔬菜保护剂及进一步进行异源植物的抗虫基因工程等有着十分重要的作用。

对于异源植物次生化合物忌避作用的测定,由于室内试验的空间限制,并不能完全反映其真实情况,所测得的忌避作用往往偏小,而田间试验避免了这种限制,能反映异源植物次生化合物的实际忌避作用,所获得的结果更为可靠。同时,在分析方法上,是从小菜蛾的起始卵量开始的,采用以作用因子组配的生命表进行分析,不仅反映出害虫种群的发展趋势和其显著的忌避作用,而且将田间天敌的综合作用纳入其中,是对异源植物次生物质在田间综合作用效果的较为全面的反映。这些方法的应用,为全面评价异源植物次生化合物的作用效应提供了保障。

本研究表明,印楝素乳油可以显著控制小菜蛾种群,然而施用后的小菜蛾种群趋势指数还在 1.0 以上,从持续控制的角度分析,仅仅采用这一措施还不能完全控制其种群数量的增长,需要根据田间

卵量基数, 结合其它措施, 如释放赤眼蜂、喷施小菜蛾颗粒体病毒和应用性诱剂等措施, 进行综合控制, 才能压低种群基数, 减轻为害, 达到持续控制小菜蛾种群的目的。

参 考 文 献 (References)

- Dimetry N Z, Amer S A A, Reda A S, 1993. Biological activity of two neem seed kernel extracts against the twospotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch. *J. Appl. Entomol.*, 116: 308 ~ 312.
- Musabyimana T, Saxena R C, Kairu E W, *et al.*, 2001. Effects of neem seed derivatives on behavioral and physiological responses of the *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Econ. Entomol.*, 94 (2): 449 ~ 454.
- Pang X F, 1990. The construction and application of indices of population control. *Acta Phytomycolica Sinica*, 17 (1): 11 ~ 16. [庞雄飞, 1990. 种群数量控制指数及其应用. 植物保护学报, 17 (1): 11 ~ 16]
- Pang X F, 1999. Plant protectants and plant immune engineering: the application of secondary chemicals against insect pests. *World Sci-Tech. Research Development*, 21 (2): 24 ~ 28. [庞雄飞, 1999. 植物保护剂与植物免疫工程——异源植物次生化合物在害虫防治中的应用. 世界科技研究与发展, 21 (2): 24 ~ 28]
- Pang X F, Liang G W, 1995. System Control of Insect Pest Population. Guangzhou: Guangdong Scientific Press. 15 ~ 30. [庞雄飞, 梁广文, 1995. 害虫种群系统的控制. 广州: 广东科技出版社. 7 ~ 26]
- Pang X F, Zhang M X, Hou Y M, *et al.*, 2000. Evaluation of plant protections against pest insects. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 11 (1): 108 ~ 110. [庞雄飞, 张茂新, 侯有明等, 2000. 植物保护剂防治害虫效果的评价方法. 应用生态学报, 11 (1): 108 ~ 110]
- Schmutterer H, 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. *Ann. Rev. Entomol.*, 35: 271 ~ 297.
- Zhao S H, 1998. Recent advances in studies and application on insect growth regulators. *Forest Pest and Disease*, (1): 43 ~ 44. [赵善欢, 1998. 昆虫生长发育抑制剂最近研究及应用进展. 森林病虫通讯, (1): 43 ~ 44]