



袁敏, 韦治艳, 杨洪, 欧后丁, 杨茂发, 金鑫. 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾生物学特性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (2): 459–472.

## 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾生物学特性的影响

袁敏<sup>1</sup>, 韦治艳<sup>1</sup>, 杨洪<sup>2\*</sup>, 欧后丁<sup>1</sup>, 杨茂发<sup>2</sup>, 金鑫<sup>3</sup>

(1. 贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025; 2. 贵州大学烟草学院, 贵阳 550025; 3. 贵州省烟草公司贵阳市公司, 贵阳 550003)

**摘要:** 为探讨溴氰菊酯对烟草粉蛾的亚致死效应, 本文采用烟叶浸渍法以溴氰菊酯亚致死浓度 ( $LC_{10}$  和  $LC_{25}$ ) 胁迫烟草粉蛾 3 龄幼虫, 并通过年龄-龄期两性生命表的方法探究溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾发育和繁殖的影响。结果显示: 与对照相比, 溴氰菊酯  $LC_{10}$ 、 $LC_{25}$  处理  $F_0$  代的平均单雌产卵量显著下降;  $LC_{25}$  处理  $F_0$  代的产卵前期及总产卵前期明显长于对照;  $LC_{25}$  处理与  $LC_{10}$  处理和对照间,  $F_0$  代雌、雄虫寿命均差异显著;  $LC_{10}$  处理和  $LC_{25}$  处理  $F_1$  代与对照存活率明显下降,  $F_1$  代各处理间的卵、1 龄幼虫、3 龄幼虫、5 龄幼虫、7 龄幼虫和蛹的发育历期无显著差异; 但  $LC_{25}$  处理组 2 龄、4 龄、6 龄幼虫历期比对照延长了且差异显著;  $LC_{25}$  处理组的成虫前期比对照组延长了且差异显著。同时  $LC_{25}$  处理的雌、雄虫寿命最短, 但 3 个处理间差异不显著。研究表明, 亚致死浓度的溴氰菊酯能够抑制烟草粉蛾的生长发育和繁殖, 以上研究结果可为田间用药控制烟草粉蛾提供理论参考。

**关键词:** 烟草粉蛾; 溴氰菊酯; 年龄-龄期两性生命表; 亚致死

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 02-0459-12

## Effects of sublethal concentrations of deltamethrin on the biological characteristics of *Ephestia elutella* Hübner

YUAN Min<sup>1</sup>, WEI Zhi-Yan<sup>1</sup>, YANG Hong<sup>2\*</sup>, OU Hou-Ding<sup>1</sup>, YANG Mao-Fa<sup>2</sup>, JIN Xin<sup>3</sup> (1. Institute of Entomology, Guizhou University, The Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Region, Guiyang 550025, China; 2. College of Tobacco Science of Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Guiyang Tobacco Company in Guizhou Province, Guiyang 550003, China)

**Abstract:** In order to investigate the sublethal effect of deltamethrin on *Ephestia elutella* Hübner, the sublethal effects of deltamethrin ( $LC_{10}$  and  $LC_{25}$ ) on the development and reproduction of *E. elutella* were studied by tobacco leaf impregnation method, and the data were analyzed by age-stage-specific life table method. The results showed that the average single female oviposition of  $F_0$  generation treated with  $LC_{25}$  and  $LC_{10}$  was significantly less than that of the control; the pre-ovulation period and total pre-ovulation period of  $LC_{25}$  treatment were significantly longer than the control; between  $LC_{25}$  treatment and  $LC_{10}$  treatment and control, the life span of female and male were very different. There were no significant difference in the developmental duration of eggs, 1<sup>st</sup> instar larvae, 3<sup>rd</sup> instar larvae, 5<sup>th</sup> instar larvae, 7<sup>th</sup> instar larvae and pupa in the  $F_1$  generation. However, the duration of the 2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup>, and 6<sup>th</sup> instar larvae in the  $LC_{25}$  treatment group was higher than that of the control, and the difference was significant. The adult

基金项目: 贵阳市烟叶仓储害虫发生规律及防治研究 (筑烟科 [2015] 01 号)

作者简介: 袁敏, 女, 硕士研究生, 研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: 18786751402@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 杨洪, 博士, 教授, 主要研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: agr.hyang@gzu.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-03-04; 接受日期 Accepted: 2019-08-06

stage of the  $LC_{25}$  treatment group was prolonged and significantly different than the control group. At the same time, the life expectancy of  $LC_{25}$  treatment of females and males was the shortest, but the difference between the three treatments was not significant. Studies have shown that sublethal concentrations of deltamethrin can inhibit the growth and reproduction of *E. elutella*. The above results can provide reference for field treatment of *E. elutella*.

**Key words:** *Ephestia elutella* Hübner; deltamethrin; age-stage-specific life tables; sublethal

烟草粉蛾 *Ephestia elutella* Hübner 属鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae, 该虫起源于北半球温带地区, 现在已通过贸易扩散到南半球的温带地区 (Cox and Bell, 1991), 为世界性的仓储害虫, 在我国除西藏外, 其他地区的烟仓中均有发现 (Geneve, 1996; 罗梅浩和李正跃, 2010)。烟草粉蛾是危害烟草的主要害虫之一 (罗梅浩等, 2002), 直接或间接危害储藏期的烟叶, 主要通过幼虫在烟叶中潜伏取食叶肉危害, 造成烟叶成丝率下降, 加之虫源性异物的污染, 使烟叶品质质量严重下降 (胡益培和马淑健, 1987)。目前, 化学防治仍为控制烟草粉斑蛾危害的主要途径, 主要以化学熏蒸剂和化学防护剂防控其危害, 防护剂主要用于空烟仓、烟草包装物、墙壁等杀虫消毒 (周汉平等, 2008; 韩忠明等, 2014)。

溴氰菊酯 (Deltamethrin, DM) 又称敌杀死, 是在研究天然除虫菊酯化学结构的基础上合成的一种含有  $\alpha$ -氰基的 II 型拟除虫菊酯类仿生杀虫剂, 其性质稳定, 杀虫谱广, 生物活性高, 通过抑制昆虫神经轴突部位传导, 具有胃毒和触杀作用 (Elliott *et al.*, 1974; 严红等, 2003), 为世界主要的杀虫剂之一 (Hougard *et al.*, 2002; Soderlund *et al.*, 2003)。溴氰菊酯适用于防治旱粮作物、茶和烟草等作物的多种害虫, 尤其对鳞翅目幼虫有较高的杀虫活性 (罗守进, 2012)。研究表明, 该杀虫剂对烟草粉蛾的幼虫具有较高的毒力, 可用于防控烟草粉蛾 (周汉平等, 2008; 韩忠明等, 2014; 袁敏等, 2018)。但是, 长期大量使用该杀虫剂, 将会导致害虫的再猖獗 (王荫长等, 1994); 其次, 烟草粉蛾的幼虫具有较强的耐药性 (Ashworth, 1993), 低浓度的杀虫剂会影响害虫的取食、生长发育、繁殖等问题以及引起抗药性的发展 (Alizadeh *et al.*, 2012; Dong *et al.*, 2017), 杀虫剂对害虫的亚致死效应可在分析种群动态规律的基础上, 较好地阐明杀虫剂对害虫的影响 (杨洪等, 2012), 但是目前关于溴氰菊酯胁迫对

烟草粉蛾生物学特性的影响未见报道。所以, 研究溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾的影响对于防治烟草粉蛾具有重要的指导意义。本文以溴氰菊酯  $LC_{10}$  和  $LC_{25}$  处理烟草粉蛾 3 龄幼虫, 观察其亲代 ( $F_0$  代) 和子一代 ( $F_1$  代) 的发育历期、繁殖力、存活率等参数的变化, 组建两性生命表, 探究溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾繁殖力的影响, 为科学合理使用溴氰菊酯提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

烟草粉蛾试虫源自贵州省贵阳市烟草公司仓库 (采集时间: 2016 年 5 月), 在贵州大学昆虫所人工气候室内采用半人工饲料进行多代繁殖饲养 (T: 25℃; RH: 75%; L:D = 14:10), 半人工饲料参考袁敏等 (2018) 饲料配方。定期检查幼虫发育、蛹羽化、成虫产卵状况, 收集卵粒于成品烟叶上进行饲养, 毒力测定试验取 3 龄幼虫供试。

### 1.2 供试烟叶及药剂

成品烟叶品种: 云烟 85; 级别: 中桔四。

杀虫剂: 凯安保 (溴氰菊酯) (有效成份含量 25 克/升) 乳油, 拜耳有限责任公司。

### 1.3 生物测定

采用烟叶浸渍法测定烟草粉蛾 3 龄幼虫对溴氰菊酯的敏感性。先进行初步毒力测定试验, 确定有效浓度, 然后按等比配制包括有效浓度在内的 5 个浓度梯度, 每个浓度为 1 个处理, 以蒸馏水作为稀释溶液。每浓度药液量 200 mL; 再剪取同一级别的烟叶 (18 cm × 12 cm × 6 cm), 然后将烟叶浸入上述不同浓度药液 30 s 后晾干, 分别装入养虫盒 (19.5 cm × 13.4 cm × 7.2 cm) 内, 每盒接入 20 头 3 龄幼虫。每处理重复 3 次, 并设空白对照。将各处理放入温度为 25℃、相对湿度为 75%、光周期为 14 L:10 D 的恒温培养箱中, 72 h 后调查记录幼虫死亡虫数, 计算  $LC_{10}$  和  $LC_{25}$  值及其置信

限 (用毛笔刷轻触虫体, 以不能正常爬行作为死亡)。

#### 1.4 溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾生物学特性的影响

##### 1.4.1 溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾 $F_0$ 代生物学特性的影响

收集龄期和生理状态一致的烟草粉蛾 3 龄幼虫。根据前期的毒力测定结果, 分别以  $LC_{10}$ 、 $LC_{25}$ 、CK (蒸馏水) 采用烟叶浸渍法处理烟叶 30 s 后晾干, 装入养虫盒内, 每盒接入 200 头 3 龄幼虫。72 h 后将存活的烟草粉蛾转移干净的塑料盒 (直径 7.5 cm × 高 4 cm) 内以换新的烟叶饲养, 每个塑料盒 1 头, 每处理重复 80 次, 并将各处理放入温度为 25℃、相对湿度为 75%、光周期为 14 L:10 D 的培养箱中, 每隔 5 d 更换一次烟叶。待幼虫化蛹羽化后, 根据雌雄个体进行一比一配对, 于上述塑料盒中进行观察, 并放入小片烟叶于塑料盒中便于雌虫产卵在烟叶上, 如有多余没有配对的雌虫, 则从实验初期的幼虫羽化的成虫中随机挑选配对。每隔 24 h 观察一次, 记录 3 龄到成虫的发育历期、存活率、羽化率、成虫的产卵前期、产卵期、产卵量、成虫寿命等。

##### 1.4.2 溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾 $F_1$ 代生物学特性的影响

收集  $F_0$  代各处理烟草粉蛾所产的卵 80 粒。孵化后单头置于有新的烟叶的塑料盒 (直径 7.5 cm × 高 4 cm) 内饲养, 饲养方法同 1.4.1。记录 1 龄到 7 龄、蛹期的成活率及发育历期, 观察老熟幼虫的化蛹率、蛹的羽化率, 记录雌虫比例, 收集到的雌雄配对后置于有指型管内交配产卵,  $F_1$  代初孵化幼虫出现起, 每隔 24 h 观察一次, 记录卵量和初孵化幼虫数量并移除, 直到成虫死亡 (雌性成虫没有产卵即可认为交尾失败, 卵粒干瘪或 15 天后未孵化视为死亡)。组建两性生命表。

#### 1.5 数据处理

根据实验数据, 采用 SPSS 17.0 软件的 Probit 模型拟合毒力回归方程, 并确定溴氰菊酯对烟草粉蛾 3 龄幼虫的亚致死浓度值  $LC_{10}$ ,  $LC_{25}$  以及 95% 置信区间。

各处理  $F_0$ 、 $F_1$  代的生命表原始数据按照年龄 - 阶段两性生命表理论 (Chi, 1988) 的统计方法进行记录, 原始生命表参数的计算在程序 TWO SEX-MS Chart 中运行 (Chi, 2016)。在每个处理

中, 计算出产卵前期 (adult pre-oviposition period of female adult, APOP)、总产卵前期 (Total pre-oviposition period of female counted from 3<sup>rd</sup> instar larva, TPOP)、年龄 - 阶段特征存活率,  $S_{xj}$  ( $x$  是年龄,  $j$  是龄期)、雌虫年龄 - 特征繁殖率 ( $f_{xj}$ )、群年龄 - 特征存活率 ( $l_x$ )、种群年龄 - 特征繁殖率 ( $m_x$ )、特定年龄 - 阶段寿命期望值 ( $e_{xj}$ )、年龄 - 阶段生殖值 ( $v_{xj}$ ) 和种群参数: 净增殖率 ( $R_0$ )、内禀增长率 ( $r$ )、平均世代周期 ( $T$ )、周限增长率 ( $\lambda$ )。  $S_{xj}$ 、 $l_x$ 、 $f_{xj}$ 、 $m_x$ 、 $l_x m_x$ 、 $e_{xj}$ 、 $v_{xj}$  曲线通过 Sigma Plot 12.5 作图。种群参数计算公式如下:

净增殖率 (Net production rate,  $R_0$ ) 表示每个雌性个体在一个世代里可以产生的雌性子代个数, 即每个世代种群的增值倍数。  $R_0 = \sum l_x m_x$

内禀增长力 (Intrinsic rate of increase,  $r$ ), 又称内禀增长率, 即有稳定年龄组成的昆虫种群的最大瞬时增长速率  $r_m = \frac{\ln R_0}{T}$

周限增长率 (Finite time of increase,  $\lambda$ ), 表示经过一个世代昆虫种群的总增长率  $\lambda = e^{r_m}$

平均世代周期 (Mean generation time,  $T$ )  $T = \frac{\sum l_x m_x X}{R_0}$

式中,  $x$  为时间间隔天数 (d);  $l_x$  表示雌虫在  $x$  期间的存活率;  $m_x$  表示在  $x$  期间平均每雌产卵数。用 Paired bootstrap test (TWO SEX-MS Chart) 程序来估计不同药剂亚致死浓度作用下烟草粉蛾的种群参数、发育历期和繁殖值间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 溴氰菊酯对烟草粉蛾 3 龄幼虫的毒力测定

溴氰菊酯对烟草粉蛾 3 龄幼虫的毒力测定的结果见表 1, 结果表明, 该药对烟草粉蛾 3 龄幼虫处理 72 h 的亚致死浓度  $LC_{10}$ 、 $LC_{25}$ 、 $LC_{50}$  分别为 0.02 mg/L、0.05 mg/L、0.12 mg/L。

### 2.2 溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾生物学特性的影响

#### 2.2.1 溴氰菊酯对烟草粉蛾 $F_0$ 代发育和繁殖的影响

溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾  $F_0$  代的影响结果 (表 2) 表明: 各处理间的 3 龄幼虫和蛹的发育历期无显著差异, 与对照相比,  $LC_{10}$  和  $LC_{25}$  处理组 4

龄、5 龄、6 龄幼虫发育历期均显著延长, LC<sub>25</sub> 处理组 7 龄幼虫发育历期显著延长; 此外, LC<sub>25</sub> 处理组 5 龄幼虫发育历期比 LC<sub>10</sub> 处理延长 1.05 d, 且差异显著。成虫寿命和雌虫生殖力结果表明: LC<sub>25</sub> 处理的产卵前期 (APOP) 及总产卵前期 (TPOP)

显著长于对照; LC<sub>25</sub> 处理与 LC<sub>10</sub> 处理的平均单雌产卵量分别为 46.31 粒和 56.79 粒, 明显少于对照 (75.83 粒); LC<sub>25</sub> 处理与对照间, 雌、雄虫寿命均差异显著, LC<sub>10</sub> 处理与对照间, 雌、雄虫寿命差异不显著, 其中 LC<sub>25</sub> 处理的雄、雌成虫寿命最短。

表 1 溴氰菊酯对烟草粉螟 3 龄幼虫毒力测定

Table 1 Toxicity of deltamethrin to the 3<sup>rd</sup> instar larvae of *Ephestia elutella*

虫龄 Developmental stage	LC <sub>10</sub> (mg/L) (95% CL)	LC <sub>25</sub> (mg/L) (95% CL)	LC <sub>50</sub> (mg/L) (95% CL)	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	χ <sup>2</sup> 值 Chi-square value	df
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> instar larvae	0.02 (0.00 ~ 0.05)	0.05 (0.01 ~ 0.10)	0.12 (0.05 ~ 0.22)	2.81 ± 0.40	5.87	3

注: CL: 置信区间。Note: Confidence interval.

表 2 溴氰菊酯胁迫对烟草粉螟 F<sub>0</sub> 代成虫前发育历期的影响Table 2 Effects of stress of deltamethrin on immature stages of *Ephestia elutella* in F<sub>0</sub>

龄期 Developmental stages	发育历期 (d) Developmental duration		
	CK	LC <sub>10</sub>	LC <sub>25</sub>
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> instar larva	8.04 ± 0.11 a	7.68 ± 0.22 a	7.40 ± 0.31 a
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> instar larva	7.22 ± 0.17 b	8.34 ± 0.20 a	8.39 ± 0.24 a
5 龄幼虫 5 <sup>th</sup> instar larva	8.56 ± 0.21 c	9.08 ± 0.29 b	10.13 ± 0.33 a
6 龄幼虫 6 <sup>th</sup> instar larva	9.04 ± 0.17 b	10.38 ± 0.49 a	11.39 ± 0.56 a
7 龄幼虫 7 <sup>th</sup> instar larva	12.84 ± 0.18 b	13.57 ± 0.31 ab	14.56 ± 0.50 a
蛹 Pupa	10.94 ± 0.08 a	11.03 ± 0.10 a	11.29 ± 0.30 a
成虫前期 Pre-adult	57.56 ± 0.53 b	58.53 ± 0.75 b	62.42 ± 1.16 a

注: 表中数据是平均值 ± 标准误, 同一行数据后不同字母表示差异显著 (P < 0.05, Paired bootstrap test), 下表同。  
Note: Data in the table are represented as mean ± SE. Means in the same row followed by different letters are significantly different (P < 0.05) by the paired bootstrap test. Same for the following Tables.

表 3 溴氰菊酯胁迫对烟草粉螟 F<sub>0</sub> 代成虫寿命和雌虫生殖力的影响Table 3 Effects of stress of deltamethrin on adult female fecundity of *Ephestia elutella* in F<sub>0</sub> (mean ± SE)

参数 Parameters	性别 Gender	CK	LC <sub>10</sub>	LC <sub>25</sub>
成虫寿命 (d) Adult longevity	雄 Male	5.86 ± 0.19 a	5.29 ± 0.20 a	4.71 ± 0.32 b
	雌 Female	5.55 ± 0.12 a	5.37 ± 0.16 a	4.94 ± 0.17 b
产卵前期 (d) Adult preoviposition period (APOP)	雌 Female	1.02 ± 0.06 b	1.16 ± 0.12 ab	1.33 ± 0.12 a
产卵前期 (d) Total preoviposition period (TPOP)	雌 Female	58.07 ± 0.70 b	60.70 ± 0.96 b	64.27 ± 1.27 a
平均产卵量 (卵/雌) Mean fecundity (eggs/female)	雌 Female	75.83 ± 2.18 a	56.97 ± 5.20 b	46.31 ± 4.77 b

### 2.2.2 溴氰菊酯对烟草粉蛾 $F_0$ 代存活率与繁殖力的影响

年龄-阶段特征存活率 ( $S_{xj}$ ) 曲线 (图 1) 表示烟草粉蛾从 3 龄幼虫到年龄  $x$  和阶段  $j$  的可能性, 在各个体之间复杂的生长发育阶段形成了大量的时间重叠, 自 4 龄幼虫开始, 后期的生长中,  $LC_{10}$  处理和  $LC_{25}$  处理较对照存活率有一个明显的下降;  $LC_{25}$  处理由 3 龄幼虫完全发育为成虫的概率为 65.00%, 略低于  $LC_{10}$  处理 (73.75%), 其中对照存活率最高, 为 96.25%。种群特定年龄存活率 ( $l_x$ ) 曲线 (图 2) 显示, 2 个处理和 1 个对照的种群特定年龄存活率 ( $l_x$ ) 在生长阶段的后期有一个较陡的一个斜线, 这个时期为种群死亡高发期; 雌虫年龄-阶段繁殖力 ( $f_{x7}$ ) 总体趋势为先增后降, 指的是在年龄  $x$  和阶段  $j$  各处理烟草粉蛾  $F_0$  代的平均产卵量。3 个处理  $F_0$  代的  $f_x$ ,  $m_x$  和  $l_x m_x$  最大值都小于对照, 说明溴氰菊酯处理烟草粉蛾 3 龄幼虫后  $F_0$  代的产卵量有影响。特定年龄-阶段寿命期望值 ( $e_{xj}$ ) 曲线 (图 3) 表示年龄  $x$  阶段  $j$  的个体预期能存活的总时间, 随着年龄的增长, 寿命期望值会随之降低, 对照寿命期望值最高 2 个

处理的寿命期望值。对照组 3 龄幼虫  $e_{xj}$  值最高,  $LC_{25}$  处理组的 4 龄幼虫  $e_{xj}$  值略高于 3 龄幼虫, 并且随着发育历期的增加, 生命期望值降低。但是, 当 1 头雌性个体发育到成虫阶段后, 其  $e_{xj}$  值又会升高。年龄-阶段生殖值 ( $v_{xj}$ ) 曲线 (图 4) 表示年龄  $x$  阶段  $j$  的个体对未来种群的贡献, 2 个处理和 1 个对照的雌成虫随着龄期的增加而达到生殖高峰, 雌成虫开始产卵,  $v_{xj}$  值显著升高; 3 个处理雌成虫的  $v_{xj}$  值都呈现先升高后降低的趋势。对照在 50 d 达到高峰生殖力为 123.07 粒, 第 52 天  $LC_{10}$  处理达到生殖高峰为 81.17 粒,  $LC_{25}$  处理则在 57 d 时达到最高峰为 52.30 粒。

### 2.2.3 溴氰菊酯对烟草粉蛾 $F_0$ 代生命表参数影响

3 个处理烟草粉蛾  $F_0$  代的种群参数如表 4 所示: 3 个处理  $F_0$  代的内禀增长率 ( $r$ )、周限增长率 ( $\lambda$ )、净增值率 ( $R_0$ ), 对照最高而  $LC_{25}$  处理最低, 并且与对照处理之间差异显著,  $LC_{10}$  处理的内禀增长率 ( $r$ )、周限增长率 ( $\lambda$ ) 比对照都小且差异显著, 比  $LC_{25}$  处理都大且差异显著,  $LC_{10}$  处理的净增值率 ( $R_0$ ) 与对照间差异显著, 但与  $LC_{25}$  处理间差异不显著。

表 4 溴氰菊酯胁迫下烟草粉蛾  $F_0$  代生命表参数

Table 4 Life table parameters of *Ephesia elutella* in  $F_0$  under the stress of deltamethrin (mean  $\pm$  SE)

参数 Parameter	CK	$LC_{10}$	$LC_{25}$
内禀增长率 ( $r$ ) Intrinsic rate of increase	0.06 $\pm$ 0.005 a	0.05 $\pm$ 0.005 b	0.04 $\pm$ 0.005 c
周限增长率 ( $\lambda$ ) Finite rate of increase	1.06 $\pm$ 0.007 a	1.05 $\pm$ 0.008 b	1.04 $\pm$ 0.008 c
净增值率 ( $R_0$ ) Net reproductive rate	39.84 $\pm$ 6.18 a	20.61 $\pm$ 3.55 b	16.93 $\pm$ 3.12 b

### 2.2.4 溴氰菊酯胁迫烟草粉蛾 $F_1$ 代发育和繁殖的影响

溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾  $F_1$  代的影响结果 (表 5) 显示: 各处理间卵、1 龄幼虫、3 龄幼虫、5 龄幼虫、7 龄幼虫、蛹的发育历期无显著差异;  $LC_{25}$  处理组 2 龄、4 龄、6 龄幼虫历期比对照延长且差异显著, 也比  $LC_{10}$  处理组延长但差异不显著;  $LC_{25}$  处理组的成虫前期 (79.37 d) 比对照组延长且差异显著, 与  $LC_{10}$  (76.51 d) 处理组间也延长了但差异不显著,  $LC_{10}$  处理组的成虫前期比对照组延长但差异不显著。同时表 6 表明:  $LC_{25}$  处理与

$LC_{10}$  处理和对照间,  $LC_{25}$  处理的雌、雄虫寿命最短,  $LC_{25}$  处理的雌虫的寿命 (4.88 d) 与对照雄虫寿命 (5.57 d) 差异显著; 但  $LC_{25}$  处理与  $LC_{10}$  处理的平均单雌产卵量分别为 66.28 粒和 68.08 粒, 少于对照 (76.41 粒), 但 3 个处理间差异不显著。

### 2.2.5 溴氰菊酯对烟草粉蛾 $F_1$ 代存活率与繁殖力的影响

年龄-阶段特征存活率 ( $S_{xj}$ ) 曲线 (图 5) 表示烟草粉蛾从卵到年龄  $x$  和阶段  $j$  的可能性, 在各个体之间复杂的生长发育阶段形成了大量的时间重叠, 自卵开始, 后期的生长中,  $LC_{10}$  处理和

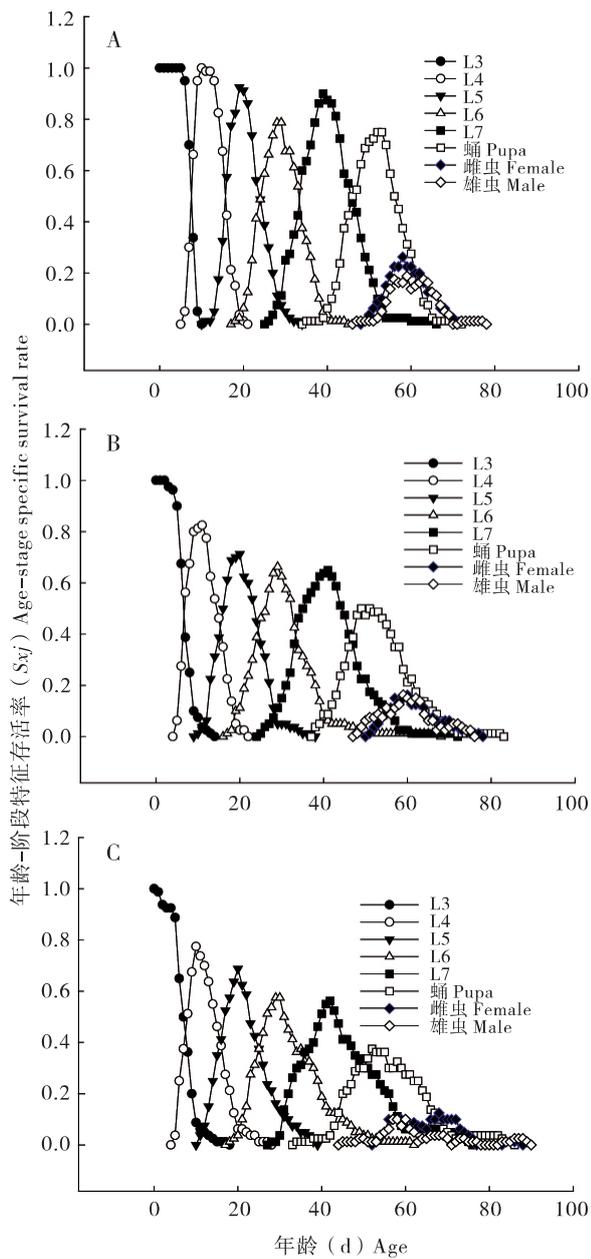


图1 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾  $F_0$  代年龄 - 龄期特征存活率 ( $S_{xj}$ )

Fig. 1 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-stage specific survival rate ( $S_{xj}$ ) of the  $F_0$  offspring of *Ephesia elutella*  
 注: A, 0 (CK); B,  $LC_{10}$ ; C,  $LC_{25}$ 。L3, 3 龄幼虫; L4, 4 龄幼虫; L5, 5 龄幼虫; L6, 6 龄幼虫; L7, 6 龄幼虫。下图同。Note: A, 0 (CK); B,  $LC_{10}$ ; C,  $LC_{25}$ ; L3, 3<sup>rd</sup> instar larva; L4, 4<sup>th</sup> instar larva; L5, 5<sup>th</sup> instar larva; L6, 6<sup>th</sup> instar larva; L7, 7<sup>th</sup> instar larva. Same for the following figures.

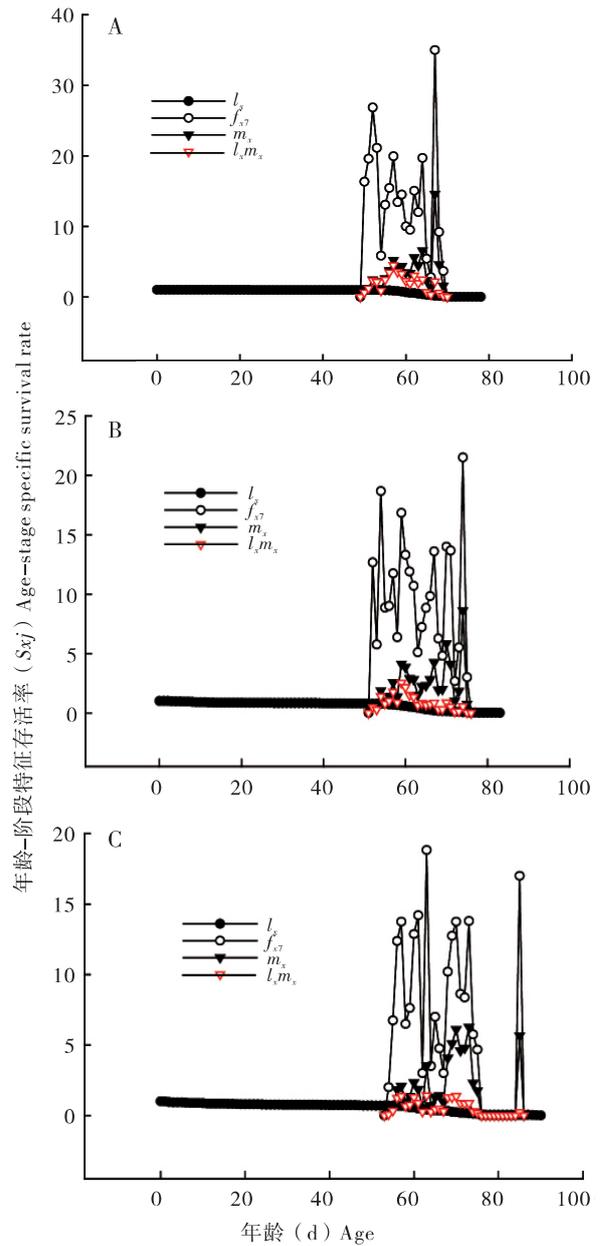


图2 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾  $F_0$  代种群年龄 - 特征存活率 ( $l_x$ )、雌虫年龄 - 特征繁殖率 ( $f_{x7}$ )、种群年龄 - 特征繁殖率 ( $m_x$ ) 和种群年龄 - 特征繁殖值 ( $l_x m_x$ ) 的影响

Fig. 2 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-specific survival rate ( $l_x$ ), female age-specific fecundity ( $f_{x7}$ ), age-specific fecundity of the total population ( $m_x$ ), and age-specific maternity ( $l_x m_x$ ) of the  $F_0$  offspring of *Ephesia elutella*

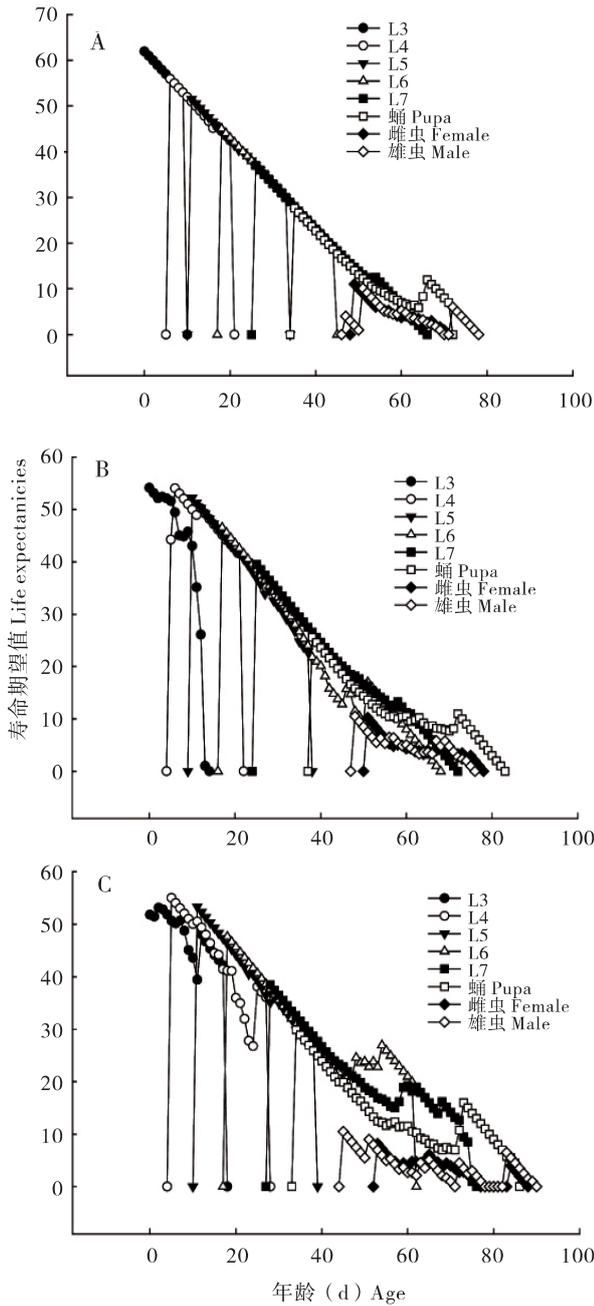


图3 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾  $F_0$  代特定年龄 - 阶段寿命期望值 ( $e_{xj}$ ) 的影响

Fig. 3 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-specific life expectancies ( $e_{xj}$ ) of the  $F_0$  offspring of *Ephestia elutella*

LC<sub>25</sub>处理较对照存活率无明显的下降; LC<sub>25</sub>处理由卵龄幼虫完全发育为成虫的概率为 72.50%, 略低于 LC<sub>10</sub>处理 (76.25%), 其中对照存活率最高, 为 88.75%。种群特定年龄存活率 ( $l_x$ ) 曲线 (图6) 显示, 2 个处理和 1 个对照的种群特定年

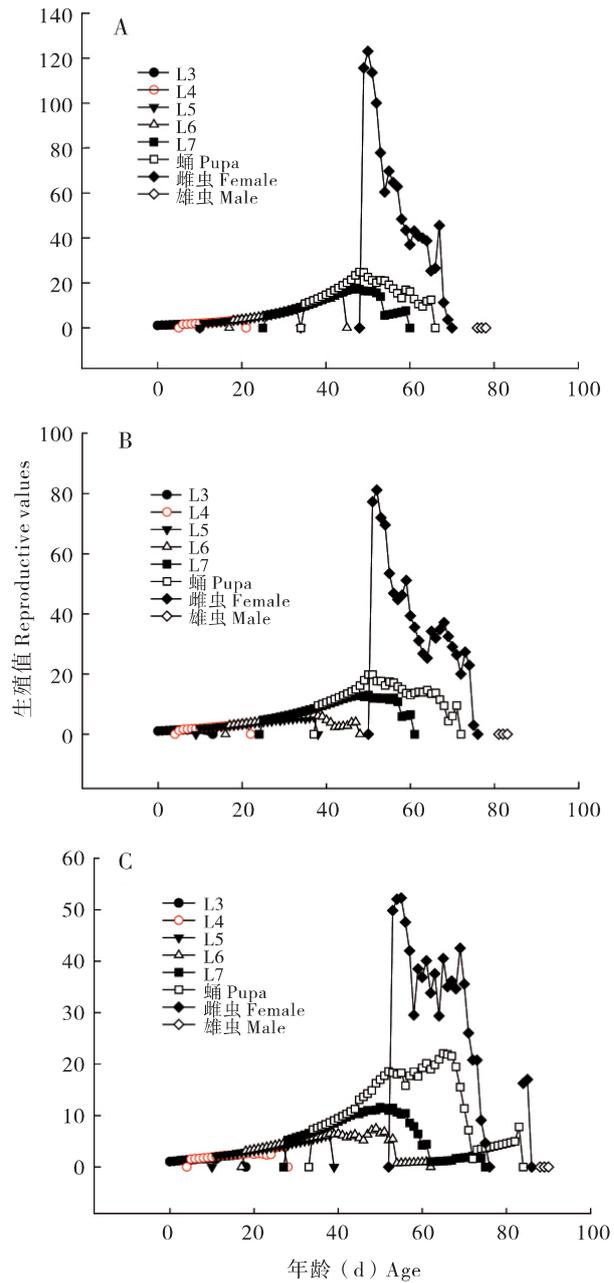


图4 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾  $F_0$  代年龄 - 阶段生殖值 ( $v_{xj}$ ) 的影响

Fig. 4 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-specific reproductive values ( $v_{xj}$ ) of the  $F_0$  offspring of *Ephestia elutella*

龄存活率 ( $l_x$ ) 在生长阶段的后期有一个较陡的一个斜线, 这个时期为种群死亡高发期; 雌虫年龄 - 阶段繁殖力 ( $f_{x10}$ ) 总体趋势不明显, 指的在年龄  $x$  和阶段  $j$  各处理烟草粉蛾  $F_1$  代的平均产卵量。LC<sub>10</sub>处理和 LC<sub>25</sub>处理处理  $F_1$  代的  $f_x$ ,  $m_x$  和  $l_x m_x$  最大

表 5 溴氰菊酯胁迫对烟草粉螟  $F_1$  代成虫发育历期的影响Table 5 Effects of stress of deltamethrin on immature stages of *Ephestia elutella* in  $F_1$ 

龄期 Developmental stages	发育历期 (d) Developmental duration		
	CK	LC <sub>10</sub>	LC <sub>25</sub>
卵 Egg	5.56 ± 0.07 a	5.66 ± 0.08 a	5.65 ± 0.07 a
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> instar larva	6.30 ± 0.15 a	6.36 ± 0.16 a	6.47 ± 0.13 a
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> instar larva	7.58 ± 0.18 a	8.18 ± 0.22 ab	8.38 ± 0.30 b
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> instar larva	7.76 ± 0.18 a	7.93 ± 0.26 a	8.04 ± 0.25 a
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> instar larva	7.66 ± 0.23 a	7.93 ± 0.25 a	8.90 ± 0.33 b
5 龄幼虫 5 <sup>th</sup> instar larva	8.19 ± 0.19 a	8.05 ± 0.20 a	8.61 ± 0.24 a
6 龄幼虫 6 <sup>th</sup> instar larva	8.92 ± 0.22 a	9.07 ± 0.30 ab	9.70 ± 0.23 b
7 龄幼虫 7 <sup>th</sup> instar larva	13.00 ± 0.31 a	13.62 ± 0.45 a	12.92 ± 0.34 a
蛹 Pupa	10.89 ± 0.18 a	10.95 ± 0.09 a	11.54 ± 0.28 a
成虫前期 Pre-adult	76.21 ± 1.25 a	76.51 ± 0.65 a	79.37 ± 0.82 b

表 6 溴氰菊酯胁迫对烟草粉螟  $F_1$  代成虫寿命和雌虫生殖力的影响Table 6 Effects of stress of deltamethrin on adult female fecundity of *Ephestia elutella* in  $F_1$ 

参数 Parameters	性别 Gender	CK	LC <sub>10</sub>	LC <sub>25</sub>
成虫寿命 (d) Adult longevity	雄 Male	5.57 ± 0.23 a	5.38 ± 0.18 ab	4.88 ± 0.18 b
	雌 Female	5.56 ± 0.11 a	5.42 ± 0.21 a	5.40 ± 0.18 a
产卵前期 (d) Adult preoviposition period (APOP)	雌 Female	1.13 ± 0.05 a	1.05 ± 0.07 a	1.12 ± 0.12 a
总产卵前期 (d) Total preoviposition period (TPOP)	雌 Female	77.90 ± 0.98 a	77.65 ± 0.83 a	79.40 ± 1.10 a
平均产卵量 (卵/雌) Mean fecundity (eggs/female)	雌 Female	76.41 ± 2.80 a	68.08 ± 3.95 a	66.28 ± 4.27 a

值都小于对照,说明溴氰菊酯处理烟草粉螟 3 龄幼虫后  $F_1$  代的产卵量有影响。特定年龄 - 阶段寿命期望值 ( $e_{xj}$ ) 曲线 (图 3) 表示年龄  $x$  阶段  $j$  的个体预期能存活的总时间,随着年龄的增长,所有个体的预期寿命期望值会随之降低,对照寿命期望值最高 2 个处理的寿命期望值。2 个处理和 1 个对照的预期寿命长短相差不大。1 个雌性个体发育到成虫阶段后,其  $e_{xj}$  值有所升高。年龄 - 阶段生殖值 ( $v_{xj}$ ) 曲线 (图 4) 表示年龄  $x$  阶段  $j$  的个体对未来种群的贡献,2 个处理和 1 个对照的雌成虫随着龄期的增加而达到生殖高峰,雌成虫开始产卵,  $v_{xj}$  值显著升高; 3 个处理雌成虫的  $v_{xj}$  值都呈

现先升高后降低的趋势。对照在 68 d 达到高峰生殖力为 112.82 粒,第 52 天 LC<sub>10</sub> 处理达到生殖高峰为 106.81 粒,LC<sub>25</sub> 处理则在 69 d 时达到最高峰为 113.51 粒。

#### 2.2.6 溴氰菊酯对烟草粉螟 $F_1$ 代生命表参数影响

3 个处理烟草粉螟  $F_1$  代的种群参数如表 7 所示: 3 个处理  $F_1$  代的内禀增长率 ( $r$ )、周限增长率 ( $\lambda$ )、净增值率 ( $R_0$ ),对照最高而 LC<sub>25</sub> 处理最低,但 2 个处理与对照之间除净增值率 ( $R_0$ ) 外差异不显著,LC<sub>10</sub> 处理的净增值率 ( $R_0$ ) 比对照都小且差异显著,比 LC<sub>25</sub> 处理都大且差异显著; 3 个处理间的平均世代时间 ( $T$ ) 差异不显著。

表 7 溴氰菊酯胁迫下烟草粉蛾 F<sub>1</sub> 代生命表参数  
Table 7 Life table parameters of *Ephestia elutella* in F<sub>1</sub> under the stress of deltamethrin

参数 Parameter	CK	LC <sub>10</sub>	LC <sub>25</sub>
内禀增长率 ( $r$ ) Intrinsic rate of increase	0.05 ± 0.002 a	0.04 ± 0.001 a	0.04 ± 0.003 a
周限增长率 ( $\lambda$ ) Finite rate of increase	1.05 ± 0.004 a	1.04 ± 0.003 a	1.04 ± 0.009 a
净增殖率 ( $R_0$ ) Net reproductive rate	37.25 ± 3.07 a	30.6 ± 1.51 b	20.71 ± 1.02 c
平均世代时间 ( $T$ ) (d) Mean generation time	78.97 ± 0.37 a	78.71 ± 0.39 a	80.56 ± 0.22 a

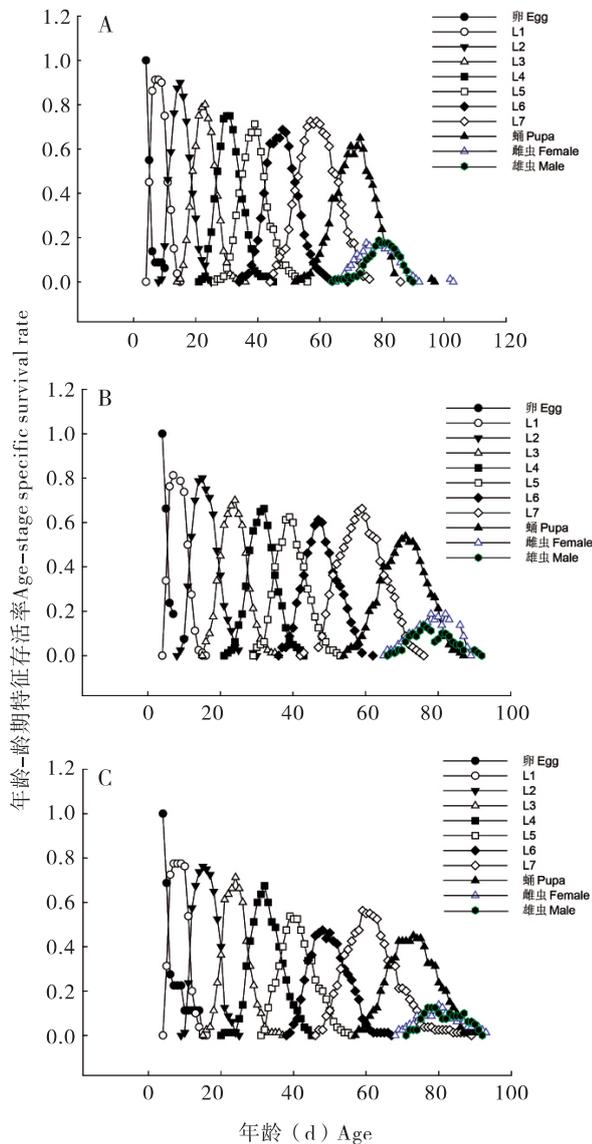


图 5 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾 F<sub>1</sub> 代年龄 - 龄期特征存活率 ( $S_{xj}$ )

Fig. 5 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-stage specific survival rate ( $S_{xj}$ ) of the F<sub>1</sub> offspring of *Ephestia elutella*

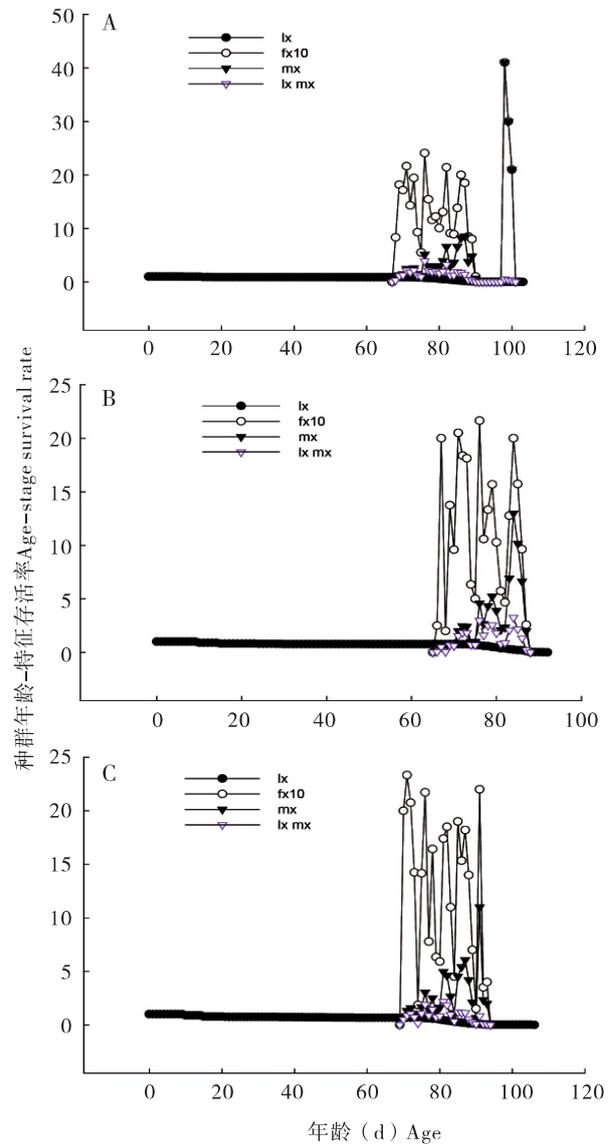


图 6 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾 F<sub>1</sub> 代种群年龄 - 特征存活率 ( $l_x$ )、雌虫年龄 - 特征繁殖率 ( $f_{x10}$ )、种群年龄 - 特征繁殖率 ( $m_x$ ) 和种群年龄 - 特征繁殖值 ( $l_x m_x$ ) 的影响

Fig. 6 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-specific survival rate ( $l_x$ ), female age-specific fecundity ( $f_{x10}$ ), age-specific fecundity of the total population ( $m_x$ ), and age-specific maternity ( $l_x m_x$ ) of the F<sub>1</sub> offspring of *Ephestia elutella*

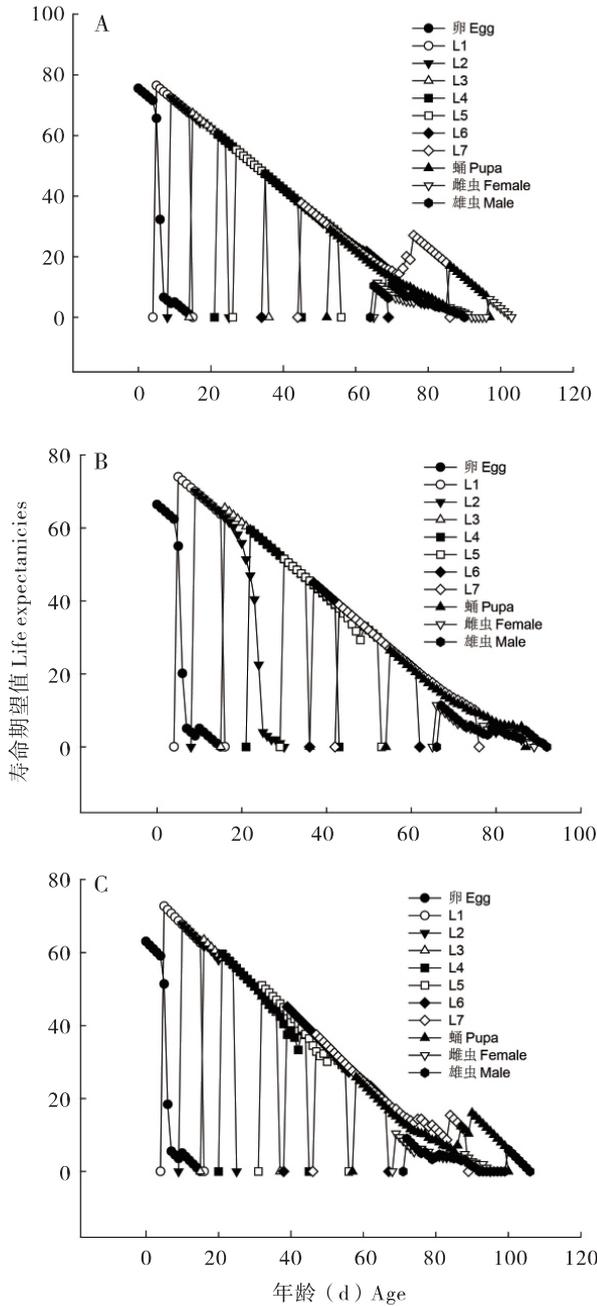


图7 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾  $F_1$  代特定年龄 - 阶段寿命期望值 ( $e_{xj}$ ) 的影响

Fig. 7 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-specific life expectancies ( $e_{xj}$ ) of the  $F_1$  offspring of *Ephestia elutella*

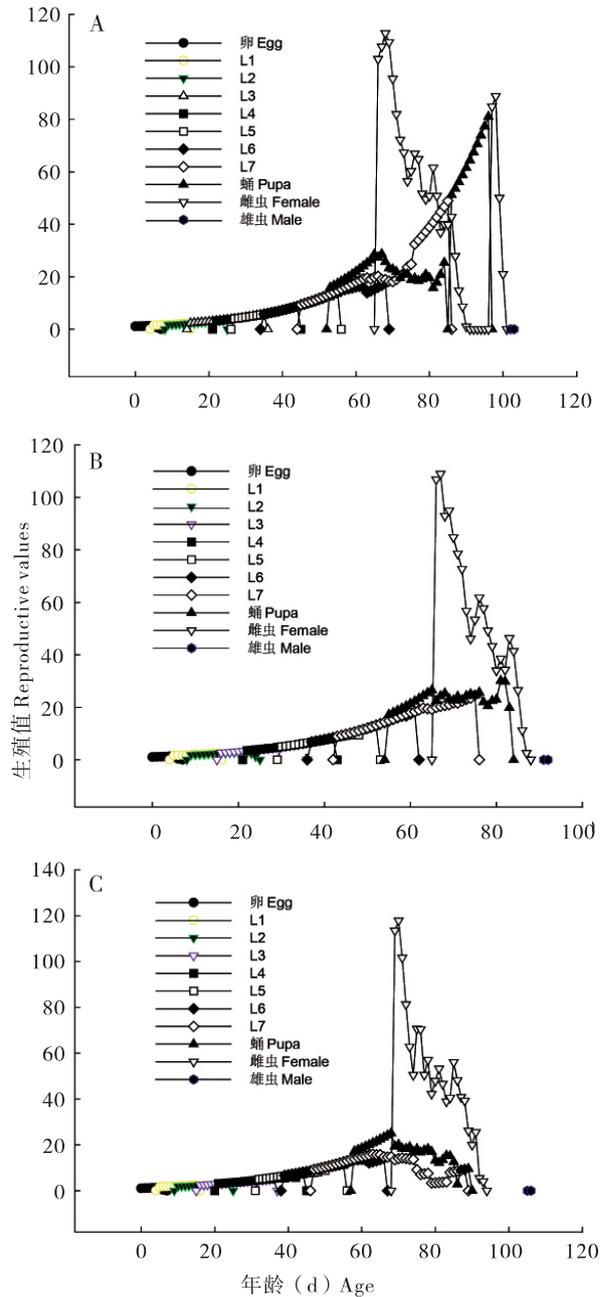


图8 溴氰菊酯亚致死浓度对烟草粉蛾  $F_1$  代年龄 - 阶段生殖值 ( $v_{xj}$ ) 的影响

Fig. 8 Effect of sublethal concentration of deltamethrin on age-specific reproductive values ( $v_{xj}$ ) of the  $F_1$  offspring of *Ephestia elutella*

### 3 结论与讨论

杀虫剂亚致死效应主要是研究药剂的亚致死浓度对害虫种群动态变化中的生物学和生态学行为、生殖力的变化及抗药性的发展等 (Stark *et al.*, 2003)。亚致死效应的研究能为药剂的合理

使用、避免或减少该药剂的副作用提供一定的理论依据。本研究运用 Chi (1988) 创建的年龄 - 龄期两性生命表理论, 对传统生命表补充和改进, 以溴氰菊酯两个亚致死 ( $LC_{10}$  和  $LC_{25}$ ) 浓度处理烟草粉蛾 3 龄幼虫后, 发现溴氰菊酯亚致死浓度显著抑制烟草粉蛾  $F_0$  的生长发育和繁殖, 并表现出浓度效应; 其亚致死浓度  $LC_{25}$  处理下,  $F_1$  代幼

虫总的发育历期与对照相比显著延长雌成虫和雄成虫的寿命也缩短。这与以溴氰菊酯亚致死浓度 ( $LC_{30}$ ) 处理烟草潜叶蛾后其  $F_0$  代幼虫的发育历期延长的结果相似 (Rafiee - dastjerdi *et al.*, 2013)。

杀虫剂胁迫对昆虫净增殖率的影响, 是杀虫剂影响昆虫种群动态的关键因素。本研究中, 用溴氰菊酯 ( $LC_{10}$  和  $LC_{25}$ ) 处理后, 其  $F_0$  代和  $F_1$  代的净增殖率与对照相比均显著降低, 另外,  $F_0$  代和  $F_1$  代平均产卵量均降低, 其中  $F_0$  代平均产卵量与对照组相比分别降低了 24.87% 和 38.93%, 且与对照组相比均差异显著, 其中  $F_1$  代平均产卵量与对照组相比分别降低了 9.59% 和 13.26%, 但与对照组相比无显著差异, 表明烟草粉蛾受溴氰菊酯亚致死浓度 ( $LC_{10}$  和  $LC_{25}$ ) 胁迫后对  $F_0$  代的生殖具有抑制作用。在前人的研究中, 用菊酯类杀虫剂处理鳞翅目也有相似的结果。例如: 高效氯氰菊酯能显著抑制处理当代小菜蛾 *Plutella xylostella* 的生长发育和生殖, 并对其下一代的生长发育及种群增长也有明显的抑制, 产卵量均显著低于对照组 (宋亮等, 2013)。但是, 溴氰菊酯能够显著刺激稻飞虱 *Nilaparvata lugens* 生殖 (Chelliah *et al.*, 1980; Salim *et al.*, 1987; 汤爱兵等, 2007; 徐广春等, 2008; Bao *et al.*, 2009; Ling *et al.*, 2011), 这表明溴氰菊酯对不同的昆虫的亚致死效应不同, 可能是不同的昆虫对溴氰菊酯的响应机制差异造成的。

本实验中  $LC_{10}$  和  $LC_{25}$  处理组  $F_0$ 、 $F_1$  代的内禀增长率 ( $r$ )、周限增长率 ( $\lambda$ ) 及净增殖率 ( $R_0$ ) 等于对照种群参数与对照相比均下降, 与近年来关于杀虫剂对小菜蛾、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 等鳞翅目害虫的亚致死效应研究结果一致 (冯从经等, 2008; Perveen, 2011; 马凤娟等, 2012; Abbas *et al.*, 2012; 桑松等, 2014; Rehan and Freed, 2015; 陈羿渠等, 2017), 这些研究结果表明, 溴氰菊酯亚致死浓度能够有效抑制烟草粉蛾种群的增长速率。

杀虫剂对害虫的亚致死效应会随着其在害虫体内残留时间的延长而增强, 同时受害虫种类、性别、化学杀虫剂和处理浓度的影响 (全林发等, 2016)。总之, 本研究的结果表明, 溴氰菊酯不但对烟草粉蛾有致死作用, 其亚致死浓度胁迫能进一步抑制下一代烟草粉蛾的种群增长。本研究仅在室内使用溴氰菊酯胁迫对烟草粉蛾两性生命表

参数进行了初步研究, 而在实仓条件下对烟草粉蛾种群的亚致死效应评估还需深入研究。

## 参考文献 (References)

- Abbas N, Shad SA, Razaq M. Fitness cost, cross resistance and realized heritability of resistance to imidacloprid in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 2012, 103 (3): 181 - 188.
- Alizadeh M, Karimzadeh J, Rassouljan GR, *et al.* Sublethal effects of pyriproxyfen, a juvenile hormone analogue, on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Life table study [J]. *Archiv Für Pflanzenschutz*, 2012, 45 (14): 1741 - 1763.
- Ashworth JR. The biology of *Ephesia elutella* [J]. *J. StoredProd Res.*, 1993, 29: 199 - 205.
- Bao H, Liu S, Gu J, *et al.* Sublethal effects of four insecticides on the reproduction and wing formation of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Pest Management Science*, 2009, 65 (2): 170 - 174.
- Chelliah S, Heinrichs EA. Factors affecting insecticide-induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice [J]. *Environmental Entomology*, 1980, 9 (6): 773 - 777.
- Chen YQ, Xiang X, Gong CW, *et al.* Effects of sublethal doses of chlorantraniliprole on the detoxification enzymes activities and the growth and reproduction of *Spodoptera exigua* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (8): 1440 - 1445. [陈羿渠, 向兴, 贡常委, 等. 氯虫苯甲酰胺亚致死剂量对甜菜夜蛾主要解毒酶活性与生长繁殖的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (8): 1440 - 1445]
- Chi H. TWSEX-MSChart: A computer program for the age-stage, two-sex life table analysis [DB/OL]. Taichung: National Chung Hsing University, Taiwan. <http://140.120.197.173/Ecology/>. 2016
- Chi, H. Life-Table Analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals [J]. *Environmental Entomology*, 1988, 17 (1): 26 - 34.
- Cox PD, Bell CH. Biology and ecology of moth pests of stored foods. In: Gorham JR, ed. *Ecology and management of food-industry pests* [J]. Association of Official Analytical Chemists, FDA Bulletin 4, 1991, 181 - 193.
- Dong J, Wang K, Li Y, *et al.* Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole on *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 2016, 136: 58 - 63.
- Elliott M, Farnham AW, Janes NF, *et al.* Synthetic insecticide with a new order of activity [J]. *Nature*, 1974, 248 (7): 10 - 11.
- Feng CJ, Lu JF, Dong QA, *et al.* Effects of sublethal concentration of fenoxycarb and tebufenozide on the development of *Ostrinia furnacalis* Guenée larvae [J]. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2008, 35 (2): 175 - 180. [冯从经, 陆剑锋, 董秋安, 等. 亚致死剂量双氧威和虫酰肼对亚洲玉米螟幼虫生长发育的影响 [J]. 植物保护学报, 2008, 35 (2): 175 - 180]
- Geneve R. International Survey of Pests and Mould in Stored Tobacco [M]. Paris: Bulletin Dinformation Coresta, 1996.
- Han ZM, Meng ZN, Zhou ZJ, *et al.* Indoor poisonous effects of six insecticides on the larva of tobacco moth *Ephesia elutella* (Hübner) [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2014, 41 (1): 87 -

91. [韩志明, 孟昭能, 周再军, 等. 6 种杀虫剂对烟草粉螟幼虫的室内毒杀效果 [J]. 安徽农业大学学报, 2014, 41 (1): 87-91]
- Hougard JM, Duchon S, Zaim M, et al. Bifenthrin: A useful pyrethroid insecticide for treatment of mosquito nets [J]. *Journal of Medical Entomology*, 2002, 39 (3): 526-533.
- Hu YP, Ma SJ. Research on pests in Henan tobacco leaf warehouse [J]. *Chinese Tobacco*, 1987, 1: 20-24. [胡益培, 马淑健. 河南烟叶仓库害虫的研究 [J]. 中国烟草, 1987, 1: 20-24]
- Ling S, Zhang H, Zhang R. Effect of fenvalerate on the reproduction and fitness costs of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* and its resistance mechanism [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2011, 101 (3): 148-153.
- Luo MH, Li ZY. Tobacco Entomology (Second Edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010: 192-197. [罗梅浩, 李正跃. 烟草昆虫学 (第二版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 192-197]
- Luo MH, Ma SJ, Cheng ZS, et al. Study on the economic loss of stored tobacco leaf destroyed by *Ephesia elutella* [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2002, 4: 352-355. [罗梅浩, 马淑健, 程占胜, 等. 烟草粉螟危害对储存烟叶经济损失的研究 [J]. 河南农业大学学报, 2002, 4: 352-355]
- Luo SJ. Study on the application of deltamethrin [J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2012, 2: 45-48. [罗守进. 溴氰菊酯应用的研究 [J]. 农业灾害研究, 2012, 2 (3): 45-48]
- Ma FJ, Li YD, Gao XW. Sublethal effects of metaflumizone on the development and reproduction of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (2): 428-433. [马凤娟, 李永丹, 高希武. 氟氰茚虫腈亚致死剂量对甜菜夜蛾生长发育和繁殖力的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (2): 428-433]
- Perveen F. Effects of Sublethal doses of Chlorfluazuron on the biochemical constituents of eggs of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Canadian Entomologist*, 2011, 143 (2): 178-184.
- Quan LF, Zhang HJ, Shun LN, et al. Research advances in sublethal effect of pesticide [J]. *Journal of Agriculture*, 2016, 6 (5): 33-38. [全林发, 张怀江, 孙丽娜, 等. 杀虫剂对害虫的亚致死效应研究进展 [J]. 农学学报, 2016, 6 (5): 33-38]
- Rafiee-dastjerdi H, Mashhadi Z, Sheikhi Garjan A. Lethal and sublethal effects of abamectin and deltamethrin on potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Journal of Crop Protection*, 2013, 2 (4): 403-409.
- Rehan A, Freed S. Fitness cost of methoxyfenozide and the effects of its sublethal doses on development, reproduction, and survival of *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2015, 44 (5): 513-520.
- Salim M, Heinrichs EA. Insecticide-induced changes in the levels of resistance of rice cultivars to the whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) [J]. *Crop protection*, 1987, 6 (1): 28-32.
- Sang S, Shu BS, Hu MY, et al. Sublethal effect of cyantraniliprole on the development and reproduction of the cabbage cutworm, *Spodoptera litura* [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2014, 35 (5): 64-68. [桑松, 舒本水, 胡美英, 等. 溴氰虫酰胺对斜纹夜蛾生长发育及繁殖的亚致死效应 [J]. 华南农业大学学报, 2014, 35 (5): 64-68]
- Soderlund DM, Knipple DC. The molecular biology of knockdown resistance to pyrethroid insecticides [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2003, 33 (6): 563-577
- Song L, Zhang JM, Lv YB. Sublethal effects of indoxacarb and beta-cypermethrin on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013, 56 (5): 521-529. [宋亮, 章金明, 吕要斌. 茚虫威和高效氯氟菊酯对小菜蛾的亚致死效应 [J]. 昆虫学报, 2013, 56 (5): 521-529]
- Stark JD, Banks JE. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods [J]. *Annual Review of Entomology*, 2003, 48 (1): 505-519.
- Tang AB. The effect of deltamethrin on the fertility of *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Jiangxi Plant Protection*, 2007, 30 (2): 70-71. [汤爱兵. 溴氰菊酯对稻褐飞虱繁殖力的影响 [J]. 江西植保, 2007, 30 (2): 70-71]
- Wang YZ, Fang JQ, Tian XZ, et al. Studies on the resurgent question of planthopper induced by deltamethrin and methamidophos [J]. *Entomological Knowledge*, 1994, 5: 257-262. [王荫长, 范加勤, 田学志, 等. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再猖獗问题的研究 [J]. 昆虫知识, 1994, 5: 257-262]
- Xu GC, Gu ZY, Xu DJ, et al. Effects of five commonly used insecticides on the fertility of *Laodelphax striatellus* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2008, 35 (4): 361-366. [徐广春, 顾中言, 徐德进, 等. 五种常用杀虫剂对灰飞虱繁殖力的影响 [J]. 植物保护学报, 2008, 35 (4): 361-366]
- Yan H, Liu LG, Si N, et al. Effect of deltamethrin on G protein turnover in rat's brain [J]. *Chinese Public Health*, 2003, 19 (1): 19. [严红, 刘烈刚, 石年, 刘毓谷. 溴氰菊酯对大鼠脑组织 G 蛋白转换的影响 [J]. 中国公共卫生, 2003, 19 (1): 19]
- Yang H, Wang Z, Jing DC. Effects of chlorantraniliprole on experimental populations of *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) (Hemiptera: Miridae) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (16): 5184-5190. [杨洪, 王召, 金道超. 氯虫苯甲酰胺对黑肩绿盲蝽实验种群的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32 (16): 5184-5190]
- Yuan M, Ou HD, Yang MF, et al. Sensitivity of *Ephesia elutella* (Hübner) to five insecticides [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2018, 37 (5): 36-40. [袁敏, 欧后丁, 杨茂发, 等. 烟草粉螟对 5 种杀虫剂的敏感性测定 [J]. 山地农业生物学报, 2018, 37 (5): 36-40]
- Zheng WH, Zhao JZ, Ma DY, et al. Development of deltamethrin toxicity and mutagenicity [J]. *Journal of Beijing Agricultural College*, 2004, 1: 77-80. [郑伟华, 赵建庄, 马德英, 等. 溴氰菊酯的毒性和致突变性的研究进展 [J]. 北京农学院学报, 2004, 1: 77-80]
- Zhou HP, Song JZ, Qi LF, et al. Control effects of three protective agents on *Lasioderma serricornis* (Fabricius) and *Ephesia elutella* (Hübner) [J]. *Tobacco Science and Technology*, 2008, 6: 60-62. [周汉平, 宋纪真, 齐凌峰, 等. 3 种防护剂对烟草甲和烟草粉螟的防治效果 [J]. 烟草科技, 2008, 6: 60-62]