

# 甜菜夜蛾虫酰肼抗性品系选育及相对适合度研究<sup>\*</sup>

周利琳<sup>1</sup> 王贻莲<sup>2</sup> 望 勇<sup>1</sup> 司 越<sup>1</sup> 丛晓平<sup>1</sup> 司升云<sup>1\*\*</sup>

(1. 武汉市蔬菜科学研究所 武汉 430065; 2. 山东省科学院中日友好生物技术研究中心 济南 250014)

**摘 要** 本试验在室内对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 武汉敏感品系进行了 8 代群体汰选后分别于 9、10、12 代采用了单对汰选。结果表明虫酰肼处理后各单对品系后代幼虫存活率发生明显分离,  $F_{9(s1)}$ 、 $F_{10(s2)}$  和  $F_{12(s3)}$  代幼虫平均存活率分别为 48.34%、11.72% 和 2.37%, 筛选后分别为 84.00%、83.33% 和 7.29%。经过 12 代汰选后, 汰选品系抗性倍数为敏感品系的 5.24 倍, 且单对汰选世代对虫酰肼的抗性发展较快, 其抗性倍数分别是群体汰选的 1.27、1.67 和 1.38 倍。比较单对汰选世代与群体汰选世代某些生物学特性, 显示单对汰选世代并不存在生长发育和生殖不利性, 表明在虫酰肼群体汰选中穿插几代单对汰选可以加速抗性品系的选育。汰选品系相对于敏感品系具有 0.31 的适合度, 表明甜菜夜蛾对虫酰肼产生抗性后存在适合度缺陷。

**关键词** 甜菜夜蛾, 虫酰肼, 抗药性, 种群适合度

## Selection of *Spodoptera exigua* for tebufenozide resistance and relative fitness of the resultant resistant strain

ZHOU Li-Lin<sup>1</sup> WANG Yi-Lian<sup>2</sup> WANG Yong<sup>1</sup> SI Yue<sup>1</sup> CONG Xiao-Ping<sup>1</sup> SI Sheng-Yun<sup>1\*\*</sup>

(1. Wuhan Institute of Vegetables Sciences, Wuhan 430065, China;

2. Biotechnology Research Center of Shandong Academy of Sciences, Jinan 250014, China)

**Abstract** A Wuhan-susceptible strain of *Spodoptera exigua* (Hübner) was selected for in the laboratory through 12 generations of selective breeding, using mass selection, alternating with single selection in the 9th, 10th and 12th generations. We found that survival rates of *S. exigua* larvae from different single pair families after treatment with tebufenozide were significantly different. Average survival rates were 48.34%, 11.72%, 2.37% respectively in  $F_{9(s1)}$ ,  $F_{10(s2)}$  and  $F_{12(s3)}$ , compared with 84.00%, 83.33% and 7.29% respectively in selected single pair families. After selection for 12 generations by mass and single selection, the selected strain showed a 5.24-fold increase in resistance to tebufenozide compared with the susceptible strain. Resistance of single selected generations increased faster than that of mass selected generations, the increases of the former being 1.27, 1.67, 1.38 times, respectively, that of the latter. In comparisons of some biological parameters between mass and single selected generations of *S. exigua*, the single selected generations did not display developmental or reproductive disadvantages. The speed of development of resistance selection was increased by alternating a few generations of single pair selection in the mass-selected population. The selected strain had a fitness of 0.31 relative to the susceptible strain. This indicates that the development of tebufenozide-resistance in *S. exigua* has a fitness cost.

**Key words** *Spodoptera exigua*, tebufenozide, resistance, relative fitness

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 是一种世界性多食性重要农业害虫, 目前已对有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类、昆虫生长调节剂类等多类杀虫剂产生了抗药性, 包括双酰肼类仿 20-

羟基蜆皮酮杀虫剂虫酰肼(周利琳等, 2008), 抗性治理已成为甜菜夜蛾综合防治中的难题之一。目前国内外有关甜菜夜蛾对虫酰肼抗性选育的报道结果均表明甜菜夜蛾对虫酰肼抗性上升缓慢。黄

<sup>\*</sup> 资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(200803007)。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者, E-mail: sishengyun@126.com

收稿日期: 2011-12-23, 接受日期: 2012-06-30

琳瑞等(2005)在室内用虫酰肼对甜菜夜蛾幼虫进行抗药性选育,经过12代的汰选,甜菜夜蛾对虫酰肼产生了5.47倍的抗性,抗性发展缓慢。贾变桃等(2006)用虫酰肼筛选甜菜夜蛾广东深圳种群,与起始种群相比,筛选至13~17代时敏感性开始下降,筛选至25代时抗性倍数达到11.2倍,从28代后抗性倍数大于10倍(最高达24.6倍),34代后抗性为17.0倍。刘玮玮等(2008)采用浸渍法分别对甜菜夜蛾3龄幼虫 $LC_{50}$ 剂量隔代和 $LC_{10}$ 剂量继代汰选,前者汰选至11代时幼虫对该药剂的敏感性未发生明显变化,后者汰选至19代时抗性增加2.52倍。Smagghe等(1998)对甜菜夜蛾室内品系用虫酰肼连续筛选了12代,在10代时 $LC_{50}$ 增至5.2倍,且前5代敏感性没有明显变化(1.9倍)。Moulton等(2002)用虫酰肼对泰国甜菜夜蛾田间种群进行了不连续的3次(第2、9、17代)汰选,至17代时与相对敏感品系相比抗性达到150.00倍,与选育前相比抗性达到15倍,但至9代时抗性仅上升3.80倍。

以上抗性品系的获得均采用的是幼虫群体汰选法,为加快甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性选育,本试验采用幼虫群体汰选与成虫单对汰选相结合的方法汰选武汉敏感品系,探讨了单对汰选法在加快甜菜夜蛾对虫酰肼抗性选育中的作用,并比较了虫酰肼对甜菜夜蛾汰选品系与敏感品系的相对适合度差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试甜菜夜蛾

敏感品系(SS):由武汉大学生命科学院和武汉科诺生物技术有限公司提供,在室内未接触任何药剂用人工饲料连续饲养十余年,经测定该种群对多种杀虫剂敏感。在作者实验室用人工饲料继续饲养供试。

汰选品系(RR):采用群体汰选与单对汰选相结合的方法汰选武汉敏感品系而得,共汰选了12代。群体汰选法:根据上一代毒力测定的结果,将20%虫酰肼SC(tebufenozide,美国陶氏益农公司产品)配制成杀死种群70%左右的剂量,混入人工饲料内即得汰选试虫饲料,用其饲喂3龄幼虫,24 h后换用正常人工饲料饲养,存活者作为下一代汰选虫源。单对汰选法:于第9、10、12代采用该方法进行汰选,将甜菜夜蛾雌雄成虫单对配对,配对

成虫数分别为50、50、35对,将交配成功的单对后代隔离成一系列单对品系,再从每个单对品系中挑选48头整齐一致的3龄幼虫,用一个适当的剂量处理,根据测定结果选出死亡率最低的2~3个品系,将其未测定的幼虫混合留种,供下一代筛选用。起始代用 $F_0$ 表示,药剂筛选第1、2、...12代分别用 $F_1$ 、 $F_2$ 、... $F_{12}$ 表示,单对汰选后代分别用 $F_{9(s1)}$ 、 $F_{10(s2)}$ 、 $F_{12(s3)}$ 表示。

### 1.2 试虫饲养方法

幼虫3龄前在玻璃缸( $d=26\text{ cm}$ ,  $h=12\text{ cm}$ )内用人工饲料饲养,3龄后放在塑料养虫盒( $l=36\text{ cm}$ ,  $w=28\text{ cm}$ ,  $h=12\text{ cm}$ )内饲养直至化蛹,每盒150头,记录各世代化蛹率、畸蛹率、雌雄平均蛹重、蛹性比、羽化率及畸蛾率。成虫放在烧杯( $d=9\text{ cm}$ ,  $h=15\text{ cm}$ )内用10%蜂蜜水饲养,每杯40头正常成虫,雌雄性比为1:1,瓶壁围有白纸供其产卵,每2 d更换一次产卵纸,更换2次,记录前6 d产卵量及卵块孵化率,观察记录雌雄成虫寿命直至其死亡。饲养条件为:温度( $27\pm1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $70\%\pm10\%$ ,光照周期L:D=12:12,各品系各虫态饲养条件均相同。

### 1.3 室内毒力测定

采用幼虫饲毒法,将简单人工饲料(大豆粉25 g,大麦粉20 g,酵母粉10 g,琼脂5 g,水250 mL)配制好后分别称取25 g置于8个小烧杯中,于60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中保温;将虫酰肼稀释成7个浓度,按湿重比1:10的剂量加入饲料中,对照中加2.5 mL水,充分搅匀,趁热倒入8个24孔盘(约1.04 g/孔)中,待其冷却凝固后每孔接入一头健康、大小一致的3龄幼虫(约10 mg/头),每个浓度24头试虫为1个处理,设2次重复共48头试虫。置于温度( $28\pm0.5$ ) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度( $70\pm10$ )%,光照周期L:D=12:12的光照培养箱内(250-D型,江苏常州国华电器有限公司产品),72 h检查幼虫死亡数(以虫体不能正常爬行为死亡标准),计算死亡率,用浓度-死亡率法计算药剂 $LC_{50}$ ,建立回归方程。

### 1.4 实验种群生命表

从敏感品系和汰选品系中各随机挑取72头初孵幼虫,置于24孔盘中单头饲养,逐日记录生长发育情况至成虫羽化,分别计算各虫态、幼虫各龄期死亡率。随机从各品系中各挑取15对正常羽化的成虫放入玻璃烧杯( $d=9\text{ cm}$ ,  $h=15\text{ cm}$ )

内,用 10% 蜂蜜水饲养,瓶壁贴白纸供其产卵,每日更换白纸,记录产卵量,直至雌蛾全部死亡,计算各品系平均单雌产卵量。产卵纸放入玻璃缸(d = 26 cm,h = 12 cm)内,孵化后计算孵化率。按下列公式计算种群数量趋势指数及抗性种群相对适合度:

种群数量趋势指数 = 预计下代种群初孵幼虫数 / 起始种群初孵幼虫数,

抗性种群相对适合度 = 抗性种群数量趋势指数 / 敏感种群数量趋势指数。

1.5 数据统计方法

试验所得生物学指标数据运用 DPS (v7.05 版) 统计软件进行直线回归及 Duncan 氏多重比较分析(原始数据不作任何转换)。

2 结果与分析

2.1 虫酰肼抗性品系汰选方法的比较

在 3 次单对汰选分别配对的 50、50、35 对单对品系中, 分别有 2 (4.00%)、1 (2.00%)、3 (8.57%) 对未产卵; 1 (2.00%)、2 (4.00%)、2 (5.71%) 对产卵极少 (10 ~ 50 粒); 有 6 (12.00%)、9 (18.00%)、9 (25.71%) 对产卵为无效卵(非受精卵)未孵化,均舍弃,即分别剩余 41 对、38 对、21 对单对品系。然后从各个剩余的单对品系中挑选 3 龄幼虫 48 头饲毒处理,饲毒浓度分别为 0.40、0.67、1.00 mg/kg,72 h 后检查死亡率,各单对品系幼虫存活率见表 1。分别选取存活率较高的单对品系 3、2、2 对(以 ▲ 标示)作为下代汰选虫源。

由表 1 可以看出,各单对品系幼虫分别经

表 1 虫酰肼处理后甜菜夜蛾各单对品系后代的幼虫存活率  
Table 1 Larvae survival rate of progeny of *Spodoptera exigua* in different single pair families treaded with tebufenozide

| 处理序号<br>Number | 幼虫存活率(%)<br>Larvae survival rate |                     |                     | 处理序号<br>Number | 幼虫存活率(%)<br>Larvae survival rate |                     |                     |
|----------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|
|                | F <sub>9(s1)</sub>               | F <sub>10(s2)</sub> | F <sub>12(s3)</sub> |                | F <sub>9(s1)</sub>               | F <sub>10(s2)</sub> | F <sub>12(s3)</sub> |
| 1              | 60.00                            | 0.00                | 2.08                | 22             | 45.00                            | 6.12                | —                   |
| 2              | 36.67                            | 10.42               | 0.00                | 23             | 20.00                            | 4.26                | —                   |
| 3              | 70.00                            | 66.67▲              | 6.25▲               | 24             | 55.00                            | 8.33                | —                   |
| 4              | 43.33                            | 12.50               | 4.17                | 25             | 40.00                            | 100.00▲             | —                   |
| 5              | 60.00                            | 2.08                | 2.08                | 26             | 10.00                            | 22.50               | —                   |
| 6              | 20.00                            | 10.42               | 2.08                | 27             | 50.00                            | 2.08                | —                   |
| 7              | 70.00                            | 12.50               | 2.08                | 28             | 70.00                            | 6.25                | —                   |
| 8              | 25.00                            | 2.08                | 4.00                | 29             | 54.55                            | 4.17                | —                   |
| 9              | 90.00▲                           | 8.00                | 0.00                | 30             | 60.00                            | 6.90                | —                   |
| 10             | 56.67                            | 18.75               | 0.00                | 31             | 43.33                            | 2.08                | —                   |
| 11             | 43.33                            | 16.67               | 0.00                | 32             | 35.00                            | 4.17                | —                   |
| 12             | 56.67                            | 8.33                | 0.00                | 33             | 56.67                            | 4.17                | —                   |
| 13             | 40.00                            | 25.00               | 2.08                | 34             | 33.33                            | 4.17                | —                   |
| 14             | 40.00                            | 18.75               | 0.00                | 35             | 50.00                            | 8.33                | —                   |
| 15             | 70.00                            | 4.17                | 2.08                | 36             | 70.00                            | 4.17                | —                   |
| 16             | 45.00                            | 12.50               | 0.00                | 37             | 53.33                            | 4.17                | —                   |
| 17             | 50.00                            | 4.17                | 4.17                | 38             | 60.00                            | 12.50               | —                   |
| 18             | 26.67                            | 4.17                | 2.08                | 39             | 85.00▲                           | —                   | —                   |
| 19             | 46.67                            | 2.08                | 4.17                | 40             | 25.00                            | —                   | —                   |
| 20             | 80.00▲                           | 2.08                | 8.33▲               | 41             | 63.33                            | —                   | —                   |
| 21             | 23.33                            | 4.17                | 2.08                | 平均值 Mean       | 48.34 (84.00▲)                   | 11.72 (83.33▲)      | 2.37 (7.29▲)        |

注:▲表示筛选出的存活率较高的单对品系。  
The marks indicate the single pair families with the higher larvae survival rate.

0.40、0.67、1.00 mg/kg 浓度处理后,各单对品系幼虫存活率发生明显分离, $F_{9(s1)}$ 、 $F_{10(s2)}$ 和  $F_{12(s3)}$  代幼虫存活率分别为 10.00% ~ 90.00%、0 ~ 100.00% 和 0 ~ 8.33%, 平均存活率分别为 48.34%、11.72% 和 2.37%, 而经过筛选后的单对品系平均幼虫存活率分别为 84.00%、83.33% 和 7.29%。

从虫酰肼对甜菜夜蛾的抗性选育结果(表 2)可以看出,甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性呈缓慢波动

上升趋势,采用群体汰选法经过 12 代的室内汰选,其抗性倍数只有敏感品系的 3.81 倍,属敏感性降低阶段;采用群体汰选与单对汰选相结合的方法经过 12 代的室内汰选,其抗性倍数只有敏感品系的 5.24 倍,属低等抗性水平。比较单对汰选世代与平行的群体汰选世代致死中浓度,3 个单对汰选世代抗性倍数(相对敏感品系)分别是群体汰选的 1.27、1.67 和 1.38 倍,至  $F_{12(s3)}$  代时已显著提高(其  $LC_{50}$  值 95% 置信限与  $F_{12}$  代的无交叉)。

表 2 虫酰肼对甜菜夜蛾的抗性选育结果

Table 2 The results of artificial selection for resistance to 20% tebufenozide SC in *Spodoptera exigua*

| 汰选世代<br>Selected<br>generation | 饲毒浓度<br>(mg/kg)<br>Inoculated<br>concentration | 毒力回归方程<br>LC-P line | 相关<br>系数<br>$r$ | 致死中浓度<br>$LC_{50}$<br>(mg/kg) | 标准误<br>SE | 95% 置信限<br>95% CL | 抗性<br>倍数<br>R/S |
|--------------------------------|------------------------------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|-----------|-------------------|-----------------|
| $F_0$                          | 0.00                                           | $y = 6.90 + 2.24x$  | 0.93            | 0.14                          | 0.02      | 0.10 - 0.19       | 1.00            |
| $F_1$                          | 0.40                                           | $y = 6.64 + 2.96x$  | 0.95            | 0.28                          | 0.02      | 0.24 - 0.33       | 2.00            |
| $F_2$                          | 0.40                                           | $y = 7.00 + 3.35x$  | 0.99            | 0.25                          | 0.02      | 0.22 - 0.29       | 1.79            |
| $F_3$                          | 0.50                                           | $y = 6.61 + 2.54x$  | 0.96            | 0.23                          | 0.02      | 0.20 - 0.27       | 1.64            |
| $F_4$                          | 0.50                                           | $y = 6.37 + 3.18x$  | 0.99            | 0.37                          | 0.03      | 0.31 - 0.44       | 2.64            |
| $F_7$                          | 0.67                                           | $y = 6.67 + 3.66x$  | 0.99            | 0.35                          | 0.02      | 0.31 - 0.40       | 2.50            |
| $F_8$                          | 0.67                                           | $y = 5.77 + 3.92x$  | 0.95            | 0.64                          | 0.06      | 0.54 - 0.76       | 4.57            |
| $F_9$                          | 0.80                                           | $y = 6.26 + 2.78x$  | 0.97            | 0.35                          | 0.05      | 0.26 - 0.47       | 2.50            |
| $F_{9(s1)}$                    | 0.00                                           | $y = 6.55 + 4.41x$  | 0.97            | 0.44                          | 0.02      | 0.40 - 0.49       | 3.14            |
| $F_{10}$                       | 0.80                                           | $y = 6.22 + 2.58x$  | 0.99            | 0.34                          | 0.02      | 0.29 - 0.39       | 2.43            |
| $F_{10(s2)}$                   | 0.00                                           | $y = 5.42 + 1.69x$  | 0.97            | 0.57                          | 0.68      | 0.05 - 5.93       | 4.07            |
| $F_{12}$                       | 1.00                                           | $y = 6.46 + 5.37x$  | 0.99            | 0.53                          | 0.30      | 0.50 - 0.56       | 3.81            |
| $F_{12(s3)}$                   | 0.00                                           | $y = 5.69 + 5.10x$  | 0.99            | 0.73                          | 0.28      | 0.69 - 0.78       | 5.24            |

注:抗性倍数 =  $LC_{50}$ (汰选品系) /  $LC_{50}$ (敏感品系)。

Resistance ratio =  $LC_{50}$ (selected population) /  $LC_{50}$ (susceptible population)。

单对汰选世代与平行的群体汰选世代化蛹率、畸蛹率、平均蛹重、雌蛹比例、羽化率、畸蛾率、成虫死亡中时、单雌产卵量及孵化率结果如表 3 所示。

由表 3 可以看出,单对汰选世代  $F_{9(s1)}$ 、 $F_{10(s2)}$  与平行的群体汰选世代  $F_9$ 、 $F_{10}$  相比,两者变化规律相同。以  $F_{9(s1)}$ 、 $F_9$  为例,单对汰选世代具有较高的化蛹率、蛹重、羽化率、单雌产卵量和孵化率,分别增加 88.36%、20.88 mg、7.12 mg、26.32%、32.43%、178.36 粒/♀、5.34%;具有较低的畸蛹率和畸蛾率,分别降低 20.27%、8.23% (♀)、

9.11% (♂);成虫死亡中时延长,分别增加 2.81 d、1.81 d;雌蛹比例与自然种群性比相差 1.69%,比平行的群体汰选世代的 2.91% 低 1.22%。

## 2.2 甜菜夜蛾敏感品系与汰选品系的相对适合度

组建了敏感品系和汰选品系实验种群生命表,由表 4 可以计算出敏感品系和汰选品系的种群趋势指数分别为 184.64 和 56.66,即汰选品系相对于敏感品系具有 0.31 的适合度,表明甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性付出了明显的生物学代价。

表 3 虫酰肼对甜菜夜蛾群体汰选与单对汰选品系某些生物学特性的影响  
Table 3 Effect of tebufenozide on some biological parameters of mass selected and single selected strains in *Spodoptera exigua*

| 生物学指标<br>Biological parameters | 汰选世代 Selected generation |                    |                  |                     |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------|---------------------|
|                                | F <sub>9</sub>           | F <sub>9(s1)</sub> | F <sub>10</sub>  | F <sub>10(s2)</sub> |
| 化蛹率(%) Pupation rate           | 2.44 ± 0.35bB            | 90.80 ± 1.17aA     | 33.60 ± 5.67bB   | 86.04 ± 1.98aA      |
| 畸蛹率(%) Abnormal pupae rate     | 23.57 ± 2.34aA           | 3.30 ± 1.10bB      | 12.44 ± 0.98aA   | 10.50 ± 1.32aA      |
| 平均蛹重(mg/头) ♀                   | 75.19 ± 1.75bB           | 96.07 ± 1.48aA     | 80.76 ± 6.35aA   | 95.53 ± 2.79aA      |
| Pupal weight ♂                 | 74.84 ± 0.92bB           | 81.96 ± 0.98aA     | 81.25 ± 3.02aA   | 86.60 ± 3.30aA      |
| 雌蛹比率(%) Female pupae rate      | 47.09 ± 1.44aA           | 51.69 ± 0.90aA     | 56.14 ± 0.59aA   | 47.37 ± 0.88bB      |
| 羽化率(%) ♀                       | 52.56 ± 6.47bA           | 78.88 ± 1.99aA     | 61.67 ± 6.00bA   | 82.00 ± 4.16aA      |
| Emergence rate ♂               | 56.03 ± 3.81bB           | 88.46 ± 2.14aA     | 57.25 ± 1.75bB   | 90.67 ± 1.77aA      |
| 畸蛾率(%) ♀                       | 14.39 ± 2.85aA           | 6.16 ± 0.21bA      | 28.18 ± 1.00aA   | 16.33 ± 1.45bB      |
| Abnormal adult rate ♂          | 16.28 ± 2.78aA           | 7.17 ± 0.69bA      | 30.14 ± 2.19aA   | 6.21 ± 0.76bB       |
| 成虫死亡中时(d) ♀                    | 6.02 ± 0.13bB            | 8.83 ± 0.44aA      | 6.64 ± 0.21aA    | 6.93 ± 0.29aA       |
| LT <sub>50</sub> ♂             | 6.47 ± 0.26bB            | 8.28 ± 0.15aA      | 6.76 ± 0.19aA    | 7.03 ± 0.26aA       |
| 单雌产卵量(粒/雌) Eggs/♀              | 243.33 ± 17.42bB         | 421.69 ± 13.02aA   | 151.67 ± 13.86bA | 308.09 ± 33.65aA    |
| 孵化率(%) Egg hatchability        | 78.08 ± 4.66aA           | 83.42 ± 1.71aA     | 51.43 ± 5.14aA   | 63.30 ± 2.33aA      |

注:表中数据为平均值 ± 标准差,同行数据后标有不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Data are mean ± SE, and followed by different lowercase or uppercase letters in the same row indicate significantly different at 0.05 or 0.01 level, respectively.

表 4 甜菜夜蛾敏感品系(SS)与汰选品系(RR)相对适合度的比较  
Table 4 Comparison of relative fitness of susceptible strain (SS) and tebufenozide-selected strain (RR) of *Spodoptera exigua*

| 发育阶段<br>Development stage                                             | 品系 Strain |          |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
|                                                                       | SS        | RR       |
| 1 龄幼虫 Number of 1st instar larvae                                     | 72.00     | 72.00    |
| 死亡率 Mortality of 1st instar larvae (%)                                | 1.39      | 58.33    |
| 2 龄幼虫数 Number of 2nd instar larvae                                    | 71.00     | 30.00    |
| 死亡率 Mortality of 2nd instar larvae (%)                                | 0.00      | 0.00     |
| 3 龄幼虫数 Number of 3rd instar larvae                                    | 71.00     | 30.00    |
| 死亡率 Mortality of 3rd instar larvae (%)                                | 1.41      | 0.00     |
| 4 龄幼虫数 Number of 4th instar larvae                                    | 70.00     | 30.00    |
| 死亡率 Mortality of 4th instar larvae (%)                                | 0.00      | 0.00     |
| 5 龄幼虫数 Number of 5th instar larvae                                    | 70.00     | 30.00    |
| 死亡率 Mortality of 5th instar larvae (%)                                | 0.71      | 0.00     |
| 预蛹数 Number of prepupae                                                | 69.50     | 30.00    |
| 死亡率 Mortality of prepupae (%)                                         | 5.76      | 4.43     |
| 蛹数 Number of pupae                                                    | 65.50     | 28.67    |
| 死亡率 Mortality of pupae (%)                                            | 12.98     | 4.67     |
| 羽化成虫数 Number of adults emerged                                        | 57.00     | 27.33    |
| 雌蛾比例 Female ratio (%)                                                 | 45.61     | 51.22    |
| 单雌产卵量 Number of eggs laid per female                                  | 597.86    | 348.65   |
| 孵化率 Egg hatchability (%)                                              | 85.53     | 83.58    |
| 预计下代初孵幼虫数<br>Number of 1st instar larvae of next generation estimated | 13 293.92 | 4 079.16 |
| 种群趋势指数 Index of population trend                                      | 184.64    | 56.66    |
| 相对适合度 Relative fitness                                                | 1.00      | 0.31     |

### 3 讨论

#### 3.1 甜菜夜蛾抗虫酰肼品系的选育

害虫的抗性品系是抗药性研究,如抗性风险评估、抗性种群相对适合度、抗性生化机制、抗性遗传等研究的基础,通过室内抗性品系选育研究抗性发展规律也是田间抗性预测预报的重要依据。本研究采用群体汰选与单对汰选相结合的方法对甜菜夜蛾共进行了 12 代室内汰选,其抗性倍数只有敏感品系的 5.24 倍,抗性发展缓慢,说明在室内可控条件下,甜菜夜蛾敏感种群不易被诱导对虫酰肼产生抗性,这与 Perng 等(1988)、Lin 等(1989)所述“若对未接触过汰选药剂或与汰选药剂相关的化合物,或对汰选药剂不曾产生抗性的种群进行汰选,则抗性发展缓慢或很难形成抗性”的结论相符。

根据亲本基因型 RR、RS、SS 的杂交后代基因型的变化,采用单对杂交技术可以选育出纯合 RR、SS 亲本基因型的遗传学理论,本研究在对甜菜夜蛾武汉敏感品系进行了 8 代群体汰选后分别于 9、10、12 代采用了单对汰选,结果表明,3 代单对品系幼虫存活率有明显的分离,经过筛选后的单对品系平均幼虫存活率明显提高,说明筛选得到的种群中纯合的抗性个体比例有所增加。进而比较了甜菜夜蛾单对汰选世代与对应的群体汰选世代致死中浓度,相对群体汰选世代,单对汰选世代对虫酰肼抗药性发展较快,说明单对汰选方法对加速甜菜夜蛾虫酰肼抗性品系的选育有一定的促进作用随着汰选代数的增加效果更显著。据吴益东等(1994)、卢美光和范贤林(2002)报道,在筛选棉铃虫对菊酯类抗性品系时,采用单对汰选后抗性上升速度较快。本研究中单对汰选品系抗性上升缓慢,这可能与试验药剂有关,因为影响抗性形成最重要的因子是药剂的选择作用,菊酯类杀虫剂为速效药剂,而属于昆虫生长调节剂类的虫酰肼是一种缓效并且后效应较强的杀虫剂(范贤林和芮昌辉,2006;王怡莲等,2006),作用效果较慢。

一般认为,单对汰选易造成后代近亲繁殖而不利于种群的延续,本试验对单对汰选世代  $F_{9(s1)}$ 、 $F_{10(s2)}$  与平行的群体汰选世代  $F_9$ 、 $F_{10}$  某些生物学特性进行了比较,两者变化规律相同:单对汰选世代具有较高的化蛹率、蛹重、羽化率、单雌产

卵量和孵化率,具有较低的畸蛹率和畸蛾率,成虫死亡中时延长,雌雄蛹性比更接近于自然种群。说明单对汰选世代并不存在生长发育及生殖不利性,在虫酰肼群体汰选中穿插几代单对汰选可以加速抗性品系的选育。

#### 3.2 甜菜夜蛾敏感品系与汰选品系的相对适合度

适合度是指一个生物能生存并把它特性传给下一代的相对能力,一般包括生活力和繁殖力等。本实验种群相对适合度研究结果显示,与敏感品系相比,汰选品系存在生长发育和繁殖不利性,相对适合度为 0.31。这可能是因为:(1)在抗性形成的早期阶段,因抗性基因尚未在群体内稳定建立,抗性种群在一些生物学参数上低于敏感种群,种群的发展呈下降趋势,生物适合度未及时得到调节,从而使抗性种群的适合度低于敏感种群(唐振华,1993);(2)在杀虫剂选择之前,种群中抗性基因的自然发生频率极低,很难被定向选择诱导而稳定遗传,这也许是甜菜夜蛾敏感种群对虫酰肼的抗性产生缓慢的重要原因之一。甜菜夜蛾对虫酰肼低抗种群相对敏感品系表现出生长发育和繁殖的不利性,但高抗性种群是否具有遗传稳定性,从而表现出适合度缺陷(fitness defect)还有待进一步的研究。

#### 参考文献(References)

- Lin JG, Hung CF, Sun CN, 1989. Teflubenzuron resistance and microsomal monooxygenases in larvae of the diamondback moth. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 35 (1): 20—25.
- Moulton JK, Pepper DA, Jansson RK, Dennehy TJ, 2002. Pro-active management of beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to tebufenozide and methoxyfenozide: baseline monitoring, risk assessment, and isolation of resistance. *J. Econ. Entomol.*, 95 (2): 414—424.
- Perng FS, Yao MC, Hung CF, Sun CN, 1988. Teflubenzuron resistance in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.*, 81 (5): 1277—1282.
- Smagghe G, Dhadialla TS, Derycke S, Tirry L, Degheele D, 1998. Action of the ecdysteroid agonist tebufenozide in susceptible and artificially selected beet armyworm. *Pestic. Sci.*, 54 (1): 27—34.
- 范贤林, 芮昌辉, 2006. 棉铃虫对虫酰肼的抗药性汰选. 植

- 物保护, 32(1):98—100.
- 黄琳瑞, 王成菊, 郑明奇, 李学锋, 邱立红, 2005. 甜菜夜蛾对虫酰肼的抗药性研究初报. 农药学学报, 7(4): 376—378.
- 贾变桃, 沈晋良, 刘永杰, 2006. 甜菜夜蛾对虫酰肼的抗药性监测及抗性风险评估. 棉花学报, 18(3):164—169.
- 刘玮玮, 慕卫, 朱炳煜, 刘峰, 2008. 虫酰肼对甜菜夜蛾生长发育的影响及抗性选育. 中国农业科学, 41(5): 1366—1372.
- 卢美光, 范贤林, 2002. 单对汰选方法在加速抗高效氯氟氰菊酯棉铃虫品系汰选中的应用. 农药学学报, 4(2): 89—92.
- 唐振华, 1993. 昆虫抗药性及其治理. 北京: 中国农业出版社. 393.
- 王贻莲, 司升云, 汪钟信, 望勇, 周利琳, 2006. 植物保护学报, 33(2):193—196.
- 吴益东, 沈晋良, 尤子平, 1994. 棉铃虫对氰戊菊酯抗性和敏感品系的选育. 昆虫学报, 37(2):129—135.
- 周利琳, 司升云, 望勇, 刘小明, 2008. 甜菜夜蛾对昆虫生长调节剂的抗药性研究进展. 世界农药, 30(5):16—22, 37.