

# 甜菜夜蛾抗氯氟氰菊酯品系相对适合度、抗性生化机理及抗性遗传方式

刘永杰<sup>1,2</sup>, 沈晋良<sup>1\*</sup>

(1. 南京农业大学, 农业部农业病虫监测与治理重点开放实验室, 南京 210095;

2. 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

**摘要:** 比较了甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 抗氯氟氰菊酯品系和敏感品系的繁殖和生长发育特征。结果表明: 抗性品系幼虫发育历期延长、蛹重减轻、化蛹率和产卵量降低, 抗性品系的适合度为 0.61, 抗性品系在繁殖和生长发育上存在明显的生存劣势。用两品系 3 龄幼虫分别测定胡椒基丁醚 (PBO)、增效磷 (SV<sub>1</sub>)、脱叶磷 (DEF) 和顺丁烯二酸二乙酯 (DEM) 对氯氟氰菊酯的增效作用, 抗性品系增效倍数与敏感品系增效倍数之比分别为 14.1、14.8、2.3 和 2.3 倍, 胡椒基丁醚和增效磷对氯氟氰菊酯增效作用最明显, 表明多功能氧化酶参与了甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性。抗性品系 3 龄幼虫酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶的活性分别为敏感品系的 1.05 倍和 0.91 倍, 抗性品系 5 龄幼虫多功能氧化酶 O-脱甲基活性为敏感品系的 1.05 倍, 两品系间 3 种酶的活性差异不显著, 表明甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性与酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶及多功能氧化酶 O-脱甲基活性无关。用剂量对数-死亡率值回归线分析法研究甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性遗传规律, 表明甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性为常染色体遗传、多基因控制; 正、反交后代的显性度分别为 0.61 和 0.43, 抗性遗传为不完全显性。

**关键词:** 甜菜夜蛾; 氯氟氰菊酯; 抗药性; 相对适合度; 生化机理; 遗传

**中图分类号:** Q965.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296 (2003) 05-0567-06

## Biochemical mechanism and genetics of resistance to *lambda*-cyhalothrin in the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, and the relative fitness of the resistant strain

LIU Yong-Jie<sup>1,2</sup>, SHEN Jin-Liang<sup>1\*</sup> (1. Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Department of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

**Abstract:** Comparison of the relative fitness of *lambda*-cyhalothrin resistant and susceptible strains of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), indicated that the resistant strain possessed reproductive and developmental disadvantages, including lower pupation and oviposition rates, prolonged larval period and lighter weight. The biochemical mechanism of resistance to *lambda*-cyhalothrin was investigated using enzyme synergists (PBO, SV<sub>1</sub>, DEF and DEM) and enzymatic activity assays of esterase, glutathione S-transferase and microsomal O-demethylase. The synergistic ratios of PBO, SV<sub>1</sub>, DEF and DEM were 14.1, 14.8, 2.3 and 2.3 folds between resistant and susceptible strains respectively. Synergism to *lambda*-cyhalothrin by PBO and SV<sub>1</sub> was the most distinct. This implied that mixed-function oxidase was involved in the resistance to *lambda*-cyhalothrin. The ratios of the enzymatic activity of esterase, glutathione S-transferase and microsomal O-demethylase in resistant and susceptible strains were 1.05, 0.91 and 1.05 folds, respectively. These results indicate that detoxification enzymes such as esterase, glutathione S-transferase and microsomal O-demethylase contribute little to the resistance of the beet armyworm to *lambda*-cyhalothrin. The results of genetic analysis indicated that *lambda*-cyhalothrin resistance in the beet armyworm appears to be controlled by two or more autosomal genes. The dominance degrees (*D*) of the F<sub>1</sub> progenies from the reciprocal crosses (F<sub>1</sub>, R<sub>♀</sub> × S<sub>♂</sub> and F<sub>1</sub>, R<sub>♂</sub> × S<sub>♀</sub>) were 0.61 and 0.43, respectively, and the major gene (*s*) involved is incompletely dominant. The resistant strain possessed 0.61 of

基金项目: 江苏省“十五”重点攻关项目 (BE2001354); 国家“十五”攻关项目 (2001BA509B08)

作者简介: 刘永杰, 男, 1963 年 6 月生, 博士, 副教授, 从事害虫抗药性及杀虫剂毒理研究, E-mail: lyj630619@yahoo.com.cn

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: shenjl@public1.ppt.js.cn

收稿日期 Received: 2002-11-04; 接受日期 Accepted: 2003-02-10

the fitness value relative to the isogenic susceptible strain.

**Key words:** *Spodoptera exigua*; lambda-cyhalothrin; insecticide resistance; relative fitness; biochemical mechanism; genetics

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 是一种世界性分布的多食性重要农业害虫, 近年来在我国南北方广大地区连续暴发成灾。抗药性发展是一个重要原因, 长期大量使用化学药剂导致该虫对有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯、苯甲酰脲及多杀菌素等多类杀虫剂产生抗性, 绝大多数常规杀虫剂防治效果显著下降, 已不能有效控制其危害, 目前主要使用虫酰肼、多杀菌素、除尽、艾玛菌素及茚虫威等具有特殊作用机理的杀虫剂 (Moulton *et al.*, 2000)。

昆虫的抗药性是药剂选择的结果, 昆虫在药剂选择压力下通过提高体内解毒酶的活性, 加速降解进入体内的杀虫剂而表现出抗性。已有研究表明, 甜菜夜蛾对多种杀虫剂的抗性与酯酶 (Delorme and Fournier, 1988; Brewer and Trumble, 1994)、谷胱甘肽 S-转移酶 (GSTs) (Laecke and Smaghe, 1995) 或多功能氧化酶 (MFO) (Smaghe *et al.*, 1998) 的活性提高有关。甜菜夜蛾对氰戊菊酯的抗性为多基因控制, 显性遗传 (Brewer and Trumble, 1991), 对多杀菌素的抗性为不完全显性 (Moulton *et al.*, 2000)。在我国许多地区甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯产生了较高抗性, 但其抗性生化机理和遗传方式尚未见报道。我们研究了甜菜夜蛾抗氯氟氰菊酯品系的相对适合度及抗性生化机理和遗传方式, 以期制定合理的抗性治理策略提供一些依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试甜菜夜蛾

敏感品系 (S) 由武汉科诺生物技术有限公司提供, 在室内未接触任何药剂的情况下用人工饲料连续饲养多年。在本实验室用人工饲料继续饲养供实验用。

抗性品系 (R) 于 2001 年 9 月采自南京市江浦大禹生物技术有限公司园艺场甜菜田, 对氯氟氰菊酯属高水平抗性, 室内用点滴法汰选 2 代后抗性达 5 000 倍以上。

### 1.2 供试药剂和试剂

97% 氯氟氰菊酯 (南京第一农药厂), 90% 增效磷 (SV<sub>1</sub>) (山东乐陵农药厂), 胡椒基丁醚 (PBO)、

脱叶磷 (DEF) (Sigma 产品), 顺丁烯二酸二乙酯 (DEM) (分析纯, 上海试剂三厂),  $\alpha$ -乙酸萘酯 ( $\alpha$ -NA) (化学纯, 上海试剂一厂), 固蓝 B 盐 (Fluka 产品), 1,2-二氯-4-硝基苯 (DCNB) (德国 Merck 产品), 还原型谷胱甘肽 (GSH) (Sigma 进口分装), 对硝基苯甲醚 (p-NA) (分析纯, 北京化工厂), 还原型辅酶 II (NADPH) (Sigma 产品), 对-硝基苯酚 (分析纯, 江苏吴江市青云精细化工厂), 二巯苏糖醇 (DTT) (Serva 产品), 乙二胺四乙酸 (EDTA) 和苯基硫脲 (PTU) (分析纯, 上海试剂一厂)。

### 1.3 组建种群生命表方法

随机从抗性和敏感品系中各挑取 10 对 (雌、雄各 10 头) 即将羽化的蛹, 放入养虫笼中, 成虫喂以 10% 蜜糖水, 养虫笼壁贴白纸供其产卵, 每日更换白纸, 统计产卵量, 直至雌蛾全部死亡, 计算各品系平均产卵量。每日产出的卵放入养虫缸内, 随机抽取卵块, 孵化后统计孵化率。从每个品系中随机挑取 100 头初孵幼虫, 置于试管中单头饲养, 逐日记录生长发育情况至成虫羽化。区分雌、雄蛹并称量。分别计算幼虫发育历期、存活率、蛹期、化蛹率、蛹重及羽化率。每品系重复 3 次。控制条件为 (27 ± 1) °C, 光周期为 14L:10 D。种群数量趋势指数  $I = N_{n+1}/N_n$ ,  $N_n$  为起始种群个数 (初孵幼虫),  $N_{n+1}$  为繁殖一代后种群个数 (初孵幼虫)。抗性种群相对适合度为其种群数量趋势指数除以敏感种群数量趋势指数。计算各种群生物学特性及相对适合度参数, 采用新复极差 (DMRT) 测验法比较不同种群各项平均数的差异显著性。

### 1.4 毒力测定方法

参照谭福杰 (1987) 的方法。将原药用丙酮稀释成系列浓度, 用毛细管微量点滴器 (体积为 0.048  $\mu$ L) 将药液点滴于 3 龄幼虫 (体重为 5 ~ 7 mg/头) 胸部背面, 每处理 30 头幼虫, 重复 3 次, 每浓度共 90 头, 以丙酮作对照。处理后的幼虫喂以人工饲料, 控制条件同上, 48 h 检查结果。用本实验室建立的 BA 生物测计数据处理与管理系 统计算毒力回归式、LD<sub>50</sub> 值及 95% 置信限。

### 1.5 增效作用测定

用增效剂胡椒基丁醚、增效磷、脱叶磷和顺丁

烯二酸二乙酯分别同时预处理抗性和敏感品系3龄幼虫,胡椒基丁醚和增效磷的点滴量为 $4.8\ \mu\text{g}/\text{头}$ ,脱叶磷和顺丁烯二酸二乙酯的点滴量为 $0.96\ \mu\text{g}/\text{头}$ ,1 h后再分别点滴氯氟氰菊酯系列浓度的药液,以丙酮作对照,48 h检查结果。饲养条件和数据统计方法同上。将测定结果( $\text{LD}_{50}$ )与未用增效剂的测定结果( $\text{LD}_{50}$ )进行比较,计算增效比(synergistic ratio)。

### 1.6 酯酶活力测定

参照 Delorme 和 Fournier (1988) 的方法。取3龄幼虫20头,用3 mL磷酸缓冲液( $0.5\ \text{mol/L}$ , pH 7.0)于匀浆器中匀浆,匀浆液于 $10\ 000\times g$ 、 $4\ ^\circ\text{C}$ 离心15 min,取上清液作酶液备用。取1 mL酶液、2 mL  $\alpha$ -乙酸萘酯( $1\times 10^{-3}\ \text{mol/L}$ )和固蓝B盐( $1\times 10^{-3}\ \text{mol/L}$ )混合溶液, $25\ ^\circ\text{C}$ 温浴30 min,在紫外可见分光光度计波长595 nm处测定OD值。每处理重复3次。

### 1.7 谷胱甘肽S-转移酶活力测定

参照 Booth (1961) 的方法。取3龄幼虫40头,用3 mL磷酸缓冲液( $0.1\ \text{mol/L}$ , pH 7.5)于匀浆器中匀浆,匀浆液于 $10\ 000\times g$ 、 $4\ ^\circ\text{C}$ 离心15 min,取上清液作酶液备用。取0.44 mL酶液、3 mL DCNB甲醇溶液( $63\times 10^{-3}\ \text{mol/L}$ )和60  $\mu\text{L}$  Tris-HCl缓冲液( $0.1\ \text{mol/L}$ , pH 8.9, 含 $15\times 10^{-3}\ \text{mol/L}$ 还原型谷胱甘肽),以不加酶液作对照,用Tris-HCl缓冲液补足体积。 $25\ ^\circ\text{C}$ 温浴10 min,取反应液于波长340 nm处测定OD值。每处理重复3次。

### 1.8 多功能氧化酶O-脱甲基活力测定

参照 Hansen 和 Hodgson (1971) 的方法。在冰盘上1.15% KCl 溶液中解剖5龄幼虫(体重为160~200 mg)50头,取出中肠清洗干净,放入匀浆器中,加3 mL缓冲液( $0.1\ \text{mol/L}$ , pH 7.8, 含0.1 mmol/L DTT, 0.1 mmol/L EDTA, 0.1 mmol/L PTU)匀浆,匀浆液于 $10\ 000\times g$ 、 $4\ ^\circ\text{C}$ 离心15 min,取上清酶液备用。取1 mL酶液、1 mL对硝基苯甲醚( $4\times 10^{-3}\ \text{mol/L}$ )、0.2 mL NADPH ( $0.5\times 10^{-3}\ \text{mol/L}$ )和0.8 mL磷酸缓冲液( $0.1\ \text{mol/L}$ , pH 7.8)依次加入试管,以不加NADPH作对照。置于 $37\ ^\circ\text{C}$ 恒温气浴摇床中震荡30 min,加入1 mL HCl ( $1\ \text{mol/L}$ )终止反应。再加入5 mL氯仿萃取,在氯仿层移取3 mL到另一试管内,加入3 mL NaOH ( $0.5\ \text{mol/L}$ )溶液萃取。取NaOH溶液层2 mL,在波长400 nm处测定OD值。每处理重复3次。用对硝基苯酚制作标准曲线。

## 1.9 抗性遗传分析方法

设杂交组合:正交( $F_1$ ): $R_{\text{♀}}\times S_{\text{♂}}$ ;反交( $F'_1$ ): $R_{\text{♂}}\times S_{\text{♀}}$ ;回交(BC): $F_1(R_{\text{♀}}\times S_{\text{♂}})\rightarrow F_{1\text{♂}}\times S_{\text{♀}}$ ;自交( $F_2$ ): $F_1(R_{\text{♀}}\times S_{\text{♂}})$ 代自交。分别测定抗性、敏感、正交、反交、回交及自交代3龄幼虫对氯氟氰菊酯的剂量对数-死亡机率值线。按 Tsukamoto (1963) 的方法进行抗性遗传方式初步分析。若甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性为单基因遗传,则回交代毒力曲线在死亡率50%处, $F_2$ 代在死亡率25%或75%处会出现明显平坡。如果不出明显平坡,表明抗性为两个或两个以上基因控制。按 Stone (1968) 的方法计算 $F_1$ 代抗性基因显(隐)性程度。证实用毒力反应曲线初步分析结果,还需进行卡方( $\chi^2$ )适合性检验,如果 $\sum_{i=1}^n \chi^2 > \chi^2_{0.05}(df = n - 1)$ ( $n$ 为浓度系列梯度数),则说明结果与期望不适合,即抗性不是单基因遗传;反之,则表明结果与期望相符,抗性为单基因遗传。

## 2 结果与分析

### 2.1 抗性品系相对适合度

从相对适合度测定结果可看出,抗性与敏感品系的幼虫历期、化蛹率、雌雄蛹重及成虫产卵量分别为 $12.6\pm 0.3$ 天和 $13.2\pm 0.6$ 天、 $(86.0\pm 2.7)\%$ 和 $(75.3\pm 3.5)\%$ 、 $(113.5\pm 0.5)\ \text{mg}$ 和 $(101.0\pm 2.2)\ \text{mg}$ (♀)、 $(119.2\pm 1.3)\ \text{mg}$ 和 $(106.6\pm 3.2)\ \text{mg}$ (♂)及 $823.1\pm 49.3$ 粒和 $675.2\pm 75.7$ 粒(表1),在 $P=0.05$ 水平上差异显著,即抗性品系幼虫发育历期延长、蛹重减轻、化蛹率和产卵量降低。抗性品系相对于敏感品系的适合度为0.61,表明抗性品系在繁殖及生长发育上存在明显的生存劣势。

### 2.2 活体增效作用

用敏感和抗性品系3龄幼虫分别测定胡椒基丁醚、增效磷、脱叶磷和顺丁烯二酸二乙酯对氯氟氰菊酯的增效作用,敏感品系分别增效2.3、1.3、2.9及1.5倍,抗性品系分别增效32.5、19.3、6.6及3.5倍,抗性品系增效倍数与敏感品系增效倍数之比分别为14.1、14.8、2.3及2.3倍(表2)。胡椒基丁醚对氯氟氰菊酯的增效作用最明显,表明多功能氧化酶参与了甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性,而脱叶磷和顺丁烯二酸二乙酯的增效作用显著低于

表 1 甜菜夜蛾抗性和敏感品系相对适合度比较\*

Table 1 Comparison of relative fitness of *lambda*-cyhalothrin-resistant and susceptible strains of *S. exigua*\*

生物学特性 Biological characteristics	敏感品系 Susceptible strain	抗性品系 Resistant strain
孵化率 Egg hatchability (%)	90.6 ± 2.4 a	91.3 ± 2.2 a
1 龄至 3 龄幼虫存活率 Survival rate of 1st to 3rd instar (%)	92.7 ± 1.2 a	91.3 ± 1.5 a
4 龄至 5 龄幼虫存活率 Survival rate of 4th to 5th instar (%)	98.0 ± 1.1 a	98.9 ± 1.1 a
幼虫期 Larva period (d)	12.6 ± 0.3 a	13.2 ± 0.6 b
化蛹率 Pupation rate (%)	86.0 ± 2.7 a	75.3 ± 3.5 b
蛹期 Pupa period (d)	6.7 ± 0.2 a	7.0 ± 0.5 a
蛹重 (♀) Pupal weight (♀) (mg)	113.5 ± 0.4 a	101.0 ± 2.2 b
蛹重 (♂) Pupal weight (♂) (mg)	119.2 ± 1.3 a	106.6 ± 3.2 b
羽化率 Emergence rate (%)	83.0 ± 3.8 a	79.7 ± 1.1 a
雌虫比例 Female ratio (%)	51.8 ± 0.8 a	51.4 ± 0.7 a
产卵量 Number of eggs laid per female	823.1 ± 49.3 a	675.2 ± 75.7 b
净增殖率 Intrinsic rate of natural increase (%)	280.9	176.7
相对适合度 Rate of relative fitness	1	0.61

\* 数据后有不同字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ) Means in the same column followed by different letters are significantly different ( $P \leq 0.05$ ) by DMRT.

表 2 不同增效剂在甜菜夜蛾敏感和抗性品系中对氯氟氰菊酯的增效作用

Table 2 Synergism of different synergists to *lambda*-cyhalothrin in susceptible and resistant strains of *S. exigua*

药剂 Insecticide	抗性品系 Resistant strain		敏感品系 Susceptible strain		增效倍数 之比 SR1/SR2
	LD <sub>50</sub> (μg/头) LD <sub>50</sub> (μg/larva)	增效比 SR1	LD <sub>50</sub> (μg/头) LD <sub>50</sub> (μg/larva)	增效比 SR2	
氯氟氰菊酯 <i>lambda</i> -cyhalothrin	1.0999 (0.8213 ~ 1.4844)	1	0.00021 (0.0002 ~ 0.0003)	1	
氯氟氰菊酯 + 胡椒基丁醚 <i>lambda</i> -cyhalothrin + PBO	0.0338 (0.0195 ~ 0.1263)	32.5	0.00009 (0.00006 ~ 0.00002)	2.3	14.1
氯氟氰菊酯 + 增效磷 <i>lambda</i> -cyhalothrin + SV <sub>1</sub>	0.0571 (0.0436 ~ 0.0721)	19.3	0.00016 (0.00012 ~ 0.0002)	1.3	14.8
氯氟氰菊酯 + 脱叶磷 <i>lambda</i> -cyhalothrin + DEF	0.1659 (0.1247 ~ 0.2382)	6.6	0.00007 (0.00005 ~ 0.0001)	2.9	2.3
氯氟氰菊酯 + 顺丁烯二酸二乙酯 <i>lambda</i> -cyhalothrin + DEM	0.3187 (0.2463 ~ 0.4199)	3.5	0.00014 (0.0001 ~ 0.0002)	1.5	2.3

SR: Synergistic ratio

胡椒基丁醚, 酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶与甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯抗性的关系不大。

### 2.3 代谢酶活性比较

以 3 龄幼虫整体匀浆为母液, 测定抗性和敏感品系酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶的活性。抗性品系酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶的活性分别是敏感品系的 1.05 倍和 0.91 倍, 两品系酯酶和谷胱甘肽转移酶的活性没有显著差异。以解剖 5 龄幼虫的中肠匀浆为母液, 测定抗性品系多功能氧化酶 O-脱甲基活性为敏感品系的 1.05 倍, 两者差异也不显著 (表 3)。表明甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性与酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶及多功能氧化酶 O-脱甲基

活性无关。

### 2.4 抗性遗传分析

**2.4.1 显性度测定:** 抗性和敏感品系正交和反交代 3 龄幼虫的毒力测定结果表明, 其 LD<sub>50</sub> 值分别为 0.0764 μg/头和 0.0906 μg/头, 两者差异不显著 (95% 置信限基本重叠) (表 4), 并且在抗性品系饲养过程中, 其性比接近于 1:1。因此, 甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性为常染色体遗传, 不属性连锁遗传。抗性和敏感品系正交和反交的 LD<sub>50</sub> 值与敏感亲本的 LD<sub>50</sub> 值之比为 382.0 ~ 453.0 倍, 与抗性亲本的 LD<sub>50</sub> 值之比为 12.1 ~ 14.4 倍, 抗性水平介于两亲本之间, 且明显偏向抗性品系。由图 1 也可看

出, 正、反交的 LD-P 线均靠近抗性品系的。按 Stone (1968) 报道的公式, 由表 4 数据计算正交  $F_1$  代和反交  $F'_1$  代的显性度分别为 0.61 和 0.43, 二者介于 0~1 之间, 证明抗性的主基因为不完全显性。

**2.4.2 抗性遗传因子数测定:** 正交  $F_1 (R_{\sigma} \times S_{\sigma})_{\sigma}$  与敏感亲本  $S_{\sigma}$  回交, 得到实测回交代对氯氟氰菊酯的反应曲线在死亡率 50% 处没有出现明显平坡 (图 1), 亲本  $F_{1\sigma} \times F_{1\sigma}$  自交得到  $F_2$  代对氯氟氰菊

酯的反应曲线在死亡率 25% 或 75% 处也没有明显平坡 (图 2), 且从图形上看, 实测回交代和  $F_2$  代的曲线分别与相应的期望曲线存在明显差异。实测与期望反应曲线的  $\chi^2$  适合性检验结果表明, 自交  $\chi^2_{(F_2)} = 42.68$ ,  $> \chi^2_{0.05} (16.919, df = 9)$ ; 回交  $\chi^2_{(BC)} = 47.45$ ,  $> \chi^2_{0.05} (15.507, df = 8)$ , 即  $\chi^2$  检验不符合单基因假设, 证明抗性为多基因遗传。

表 3 甜菜夜蛾抗性和敏感品系酯酶、谷胱甘肽 S-转移酶及多功能氧化酶 O-脱甲基酶活性比较  
Table 3 Comparison of the activities of esterase, glutathione S-transferase and microsomal O-demethylase in susceptible and resistant-*lambda*-cyhalothrin strains of *S. exigua*

解毒代谢酶 Detoxification enzymes	抗性品系	敏感品系	酶活性比
	Resistant strain	Susceptible strain	Ratio of R/S
酯酶 Esterase [ $\mu\text{mol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$ ]	0.7449 $\pm$ 0.0246	0.7084 $\pm$ 0.0909	1.05
谷胱甘肽 S-转移酶 Glutathione S-transferase [OD/( $\text{mg} \cdot \text{min}$ )]	0.0856 $\pm$ 0.0196	0.0944 $\pm$ 0.0064	0.91
多功能氧化酶 O-脱甲基酶 Microsomal O-demethylase [ $\text{nmol}/(\text{mg} \cdot \text{min})$ ]	0.1708 $\pm$ 0.0103	0.1620 $\pm$ 0.0161	1.05

表 4 氯氟氰菊酯对甜菜夜蛾抗性、敏感品系及正交、反交、回交和自交后代的毒力  
Table 4 Responses of susceptible, resistant parents and hybrid progeny of two strains of *S. exigua* to *lambda*-cyhalothrin

试虫	毒力回归式	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{头}$ ) (95% FL)	抗性倍数
Strains or generations	LD-P lines	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{larva}$ ) (95% FL)	Ratio of resistance
敏感品系 (S)	$y = 13.5760 + 2.3376x$	0.0002 (0.0002 ~ 0.0003)	1
抗性品系 (R)	$y = 4.9153 + 2.0471x$	1.0999 (0.8213 ~ 1.4844)	5 499.5
正交 $F_1 (R_{\sigma} \times S_{\sigma})$	$y = 6.4674 + 1.3141x$	0.0764 (0.0534 ~ 0.1114)	382.0
反交 $F'_1 (R_{\sigma} \times S_{\sigma})$	$y = 6.8997 + 1.8213x$	0.0906 (0.0671 ~ 0.1213)	453.0
自交 $F_2 (F_{1\sigma} \times F_{1\sigma})$	$y = 6.8125 + 1.1398x$	0.0257 (0.0181 ~ 0.0367)	128.5
回交 BC ( $F_{1\sigma} \times S_{\sigma}$ )	$y = 8.036 + 1.2780x$	0.0042 (0.0030 ~ 0.0060)	21.0

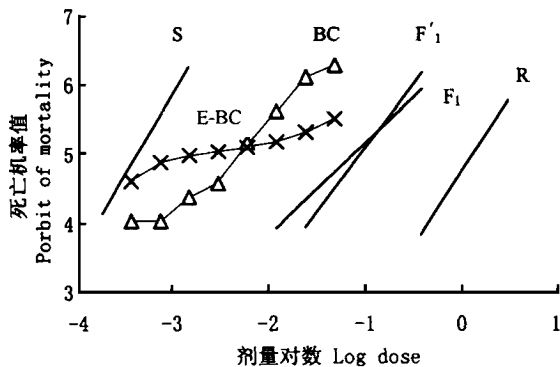


图 1 氯氟氰菊酯对抗性 (R)、敏感 (S) 亲本及正交 ( $F_1$ )、反交 ( $F'_1$ ) 和回交 (BC) 后代的毒力

Fig. 1 Responses of resistant and susceptible parents, progeny of  $F_1$ ,  $F'_1$  and BC to *lambda*-cyhalothrin

注: E-BC (x) 为回交后代的期望剂量反应曲线

E-BC (x): Expected BC curved line

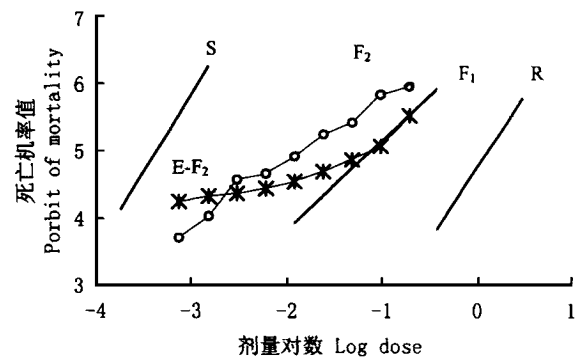


图 2 氯氟氰菊酯对抗性 (R)、敏感 (S) 亲本及正交 ( $F_1$ ) 和自交 ( $F_2$ ) 后代的毒力

Fig. 2 Responses of resistant and susceptible parents, progeny of  $F_1$  and  $F_2$  to *lambda*-cyhalothrin

注: E- $F_2$  (\*) 为自交后代的期望剂量反应曲线

E- $F_2$  (\*): Expected  $F_2$  curved line

### 3 讨论

在害虫抗性水平较低时, 如果抗性害虫存在适度上的不利性, 当停止使用杀虫剂后, 由于敏感基因的稀释作用, 会使抗性基因频率下降, 害虫逐渐恢复对药剂的敏感性。本实验测定甜菜夜蛾抗氯氟氰菊酯品系存在繁殖和生长发育上的某些不利性, 这与慕卫等 (2001) 报道的结果基本一致。目前氯氟氰菊酯等拟除虫菊酯类杀虫剂防治甜菜夜蛾效果普遍较差, 其抗性的形成并达到高水平抗性是一个重要原因, 生产上应暂停使用此类药剂, 在防治中采取其它措施。

本研究发现甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性与酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶无关, 与以往报道有所不同 (Delorme and Fournier, 1988; Brewer and Trumble, 1994; Laecke and Smagghe, 1995), 这可能与该品系产生抗性的用药背景有关, 不同地区甜菜夜蛾的抗性机理可能存在差异。多功能氧化酶是一个复杂酶系, 氧化代谢除 O-脱甲基作用外, 还有羟基化、环氧化作用等。生测表明多功能氧化酶参与了甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性, 但生化测定结果表明, 甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性与多功能氧化酶 O-脱甲基作用无关, 可能还有其它代谢作用参与了对氯氟氰菊酯的抗性, 因此, 证实多功能氧化酶对氯氟氰菊酯的抗性作用机制, 还须测定羟基化和环氧化作用等。

害虫抗性是抗性基因被药剂选择的结果, 本研究证明甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性为多基因控制, 主基因为不完全显性, 其抗性与表皮穿透性降低 (刘永杰和沈晋良, 2003) 和多功能氧化酶活性提高有关, 至少涉及到控制这两方面的基因。氯氟氰菊酯等拟除虫菊酯类杀虫剂的靶标部位是昆虫神经轴突上的钠离子通道, 击倒抗性是昆虫对拟除虫菊酯类杀虫剂产生抗性的一个重要机制, 已证明与钠离子通道基因发生突变有关。目前尚未有关于甜菜夜蛾抗性与神经敏感性降低有关的报道, 神经靶标不敏感性是否参与了甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯的抗性, 其抗性的分子机制有待进一步研究。

### 参 考 文 献 (References)

- Booth J, 1961. An enzyme from rat liver catalyzing conjugations with glutathione. *Biochem. J.*, 79: 516.
- Brewer M L, Trumble J T, 1991. Inheritance and fitness consequence of resistance to fenvalerate in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 84: 1 638 - 1 644.
- Brewer M L, Trumble J T, 1994. Beet armyworm resistance to fenvalerate and methomyl: resistance variation and insecticide synergism. *J. Agric. Entomol.*, 11: 291 - 300.
- Delorme R, Fournier D, 1988. Esterase metabolism and reduced penetration are cause of resistance to deltamethrin in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 32: 240 - 246.
- Hansen L G, Hodgson E, 1971. Biochemical characteristics of insect microsomes: N- and O-demethylation. *Biochem. Pharmacol.*, 20: 1 569 - 1 678.
- Laecke V K, Smagghe G D, 1995. Detoxifying enzymes in greenhouse and laboratory strains of beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.*, 88 (4): 777 - 781.
- Liu Y J, Shen J L, 2003. Cuticular penetration mechanism of resistance to lambda-cyhalothrin in *Spodoptera exigua* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica*, 46 (3): 288 - 291. [刘永杰, 沈晋良, 2003. 甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯抗性的表皮穿透机理. 昆虫学报, 46 (3): 288 - 291]
- Moulton J K, Pepper D A, Dennehy T J, 2000. Beet armyworm (*Spodoptera exigua*) resistance to spinosad. *Pest Management Science*, 56: 842 - 848.
- Mu W, Wu K M, Liang G M, Zhang W J, 2001. The relative fitness of lambda-cyhalothrin-resistant, -susceptible and hybrid genotypes of *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 3 (4): 49 - 52. [慕卫, 吴孔明, 梁革梅, 张文吉, 2001. 高效氯氟氰菊酯不同抗性基因型甜菜夜蛾相对适合度研究. 农药学学报, 3 (4): 49 - 52]
- Smagghe G, Dhadialla T S, Derycke S, 1998. Action of the ecdysteroid agonist tebufenozide in susceptible and artificially selected beet armyworm. *Pesticide Science*, 54 (1): 27 - 34.
- Stone B F, 1968. The inheritance of DDT-resistance in the cattle tick, *Boophilus microplus*. *Aust. J. Agric. Res.*, 13: 984 - 1 007.
- Tan F J, 1987. Monitoring method of pesticide resistance on agricultural pests. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 10 (4): 107 - 122. [谭福杰, 1987. 农业害虫抗药性测定方法. 南京农业大学学报, 10 (4): 107 - 122]
- Tsukamoto M, 1963. The log dosage-probit mortality curve in genetic searches of insect resistant to insecticides. *Botyu-Kagaku*, 28: 91 - 98.