

甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性机理*

兰亦全** 赵士熙

(福建农林大学植物保护学院,福州 350002)

摘 要 通过对活体增效作用进行测定和生化分析,探讨了甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性机理。结果表明,增效醚(PBO)、增效磷(SV₁)、磷酸三苯酯(TPP)和顺丁烯二酸二乙酯(DEM)对甜菜夜蛾抗氰戊菊酯品系(Fen-R)和敏感品系(S)的增效倍数之比分别为10.2、7.8、12.5和1.1,对抗顺式氯氰菊酯品系(Cyp-R)和敏感品系(S)的增效倍数之比分别为21.6、15.5、8.6和1.2。PBO、SV₁和TPP对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯均有显著增效作用,表明多功能氧化酶和羧酸酯酶均参与了甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性。Fen-R品系和Cyp-R品系4龄幼虫羧酸酯酶的活性分别是S品系的1.9和2.2倍,而谷胱甘肽-S-转移酶活性与S品系差异不显著,表明羧酸酯酶活性的提高是甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯产生抗性的重要原因,谷胱甘肽-S-转移酶与两种药剂的抗性无关。Fen-R品系和Cyp-R品系的Na-K-ATPase活性与S品系均无显著差异,但在相同浓度下氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯对S品系Na-K-ATPase的抑制作用显著高于抗性品系,表明抗性品系Na-K-ATPase对杀虫剂的敏感性已明显降低。

关键词 甜菜夜蛾 氰戊菊酯 顺式氯氰菊酯 抗药性 生化机理

文章编号 1001-9332(2010)01-0203-06 **中图分类号** S481+4 **文献标识码** A

Resistance mechanisms of *Spodoptera exigua* (Hübner) to fenvalerate and alpha-cypermethrin. LAN Yi-quan, ZHAO Shi-xi (College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2010 21(1): 203-208.

Abstract: By using synergist bioassay and biochemical analysis, this paper approached the resistance mechanisms of *Spodoptera exigua* (Hübner) to fenvalerate and alpha-cypermethrin. The synergistic ratios of piperonyl butoxide (PBO), o,o-diethyl-o-phenyl-thiophosphate (SV₁), triphenyl phosphate (TPP), and diethyl maleate (DEM) between fenvalerate-resistant strain (Fen-R) and susceptible strain were 10.2, 7.8, 12.5, and 1.1, and those between alpha-cypermethrin resistant strain (Cyp-R) and susceptible strain were 21.6, 15.5, 8.6, and 1.2, respectively. Significant synergisms of PBO, SV₁, and TPP to fenvalerate and alpha-cypermethrin were observed, implying that multifunctional oxidase and carboxylesterase were involved in the resistance to fenvalerate and alpha-cypermethrin. The carboxylesterase activities in the fourth instar larvae of Cyp-R and Fen-R strains were 1.9 and 2.2 folds of the corresponding susceptible strains, respectively, but no differences were found in the glutathione-S-transferase activities between the resistant and susceptible strains, which indicated that carboxylesterase played an important role in the resistance of *S. exigua* to fenvalerate and alpha-cypermethrin, while glutathione-S-transferase contributed little to the resistance. There were no significant differences in the Na-K-ATPase activities between the resistant and susceptible strains, but the inhibition of fenvalerate and alpha-cypermethrin on Na-K-ATPase was higher in the susceptible strains than in the resistant strains, indicating the decreased sensitivity of Na-K-ATPase in resistant strains.

Key words: *Spodoptera exigua*; fenvalerate; alpha-cypermethrin; insecticide resistance; biochemical mechanism.

* 科技部国际合作计划项目(2005DFA30440)和福建省教育厅项目(K04041)资助。

** 通讯作者。E-mail: yiquanlan@163.com

2009-06-12 收稿, 2009-11-09 接受。

甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua* Hübner) 是近年来严重制约我国农业生产的多食性害虫。自 20 世纪 80 年代中后期以来, 随着气候条件和栽培制度等因素的变化, 在我国发生危害的范围不断扩大, 程度日趋严重。长期以来, 由于对甜菜夜蛾的防治主要依靠化学农药, 导致该虫对拟除虫菊酯^[1-3]、有机磷^[4-6]、氨基甲酸酯^[7-9]、多杀菌素^[10]及昆虫生长调节剂^[11-12]等多类杀虫剂均产生了不同程度的抗性。我国各地尤其以对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性程度最为严重, 目前此类药剂基本上难以有效控制甜菜夜蛾的危害, 生产上主要使用溴虫腈、茚虫威等具有特殊作用机理的药剂。

昆虫对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性机理通常包括昆虫表皮被穿透速率降低、解毒代谢作用增强和靶标部位敏感性下降等。Delorme 和 Fournier^[13] 研究认为, 甜菜夜蛾对溴氰菊酯的抗性主要与酯酶代谢能力增强和表皮穿透率降低有关。Brewer 和 Trumble^[14] 报道指出, 甜菜夜蛾对氰戊菊酯抗性的主导机制是酯酶的代谢能力增强。表皮穿透性降低和多功能氧化酶活性提高是我国甜菜夜蛾对氯氟氰菊酯产生抗性的重要机理^[15-17]。本文通过对增效剂的活体生物测定和生化分析, 探讨了甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氟菊酯两种拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性机理, 以期制定合理的抗性治理策略提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 甜菜夜蛾 1) 抗性品系 (R): 将采自福建省福州市建新镇空心菜田的第一代甜菜夜蛾, 在室内用人工饲料饲养、繁殖, 作为抗性品系选育的原始材料。氰戊菊酯抗性品系 (Fen-R) 和顺式氯氟菊酯抗性品系 (Cyp-R) 均用相应药剂以点滴法连续汰选甜菜夜蛾 4 龄幼虫 10 代后获得。2) 敏感品系 (S): 由华中农业大学植保系提供。

1.1.2 药剂和试剂 96.55% 氰戊菊酯原药 (日本住友化学工业株式会社)、90% 顺式氯氟菊酯原药 (福建福农生化有限公司)、95% 增效醚 (PBO)、99% 磷酸三苯酯 (TPP) 和 88% 增效磷 (SV₁) 均为山东农业大学植物保护学院友情赠送, 99% 顺丁烯二酸二乙酯 (DEM) (上海试剂三厂); 固蓝 B 盐 (Fluka 公司)、 α -萘酚、1-氯-2,4-二硝基苯 (CDNB)、乙二胺四乙酸 (EDTA) 和 ATP 钠盐均为中国医药集团上海化学试剂公司产品, 毒扁豆碱、十二烷基硫酸钠 (SDS)、还原型谷胱甘肽 (GSH) 和

乌本苷均为华美生物工程公司产品, 考马斯亮蓝为 Sigma 公司产品, 其他试剂均为国产分析纯。

1.2 研究方法

1.2.1 毒力测定 采用微量点滴法^[6], 将药剂用丙酮稀释成 5~7 个系列浓度, 用微量点滴仪滴到 4 龄幼虫的胸部背板, 每头 1.0 μ l, 对照组用丙酮处理。每个浓度处理 30 头, 重复 3 次。处理后将试虫放入养虫盒内用人工饲料单头饲养, 饲养温度 (27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 70%~80%、光周期 12:12 (L:D), 48 h 后检查死、活虫数, 计算虫口死亡率、校正死亡率, 并按机率分析法求出 LD_{50} 值。

1.2.2 增效剂增效作用测定 将增效醚 (PBO)、增效磷 (SV₁)、磷酸三苯酯 (TPP) 和顺丁烯二酸二乙酯 (DEM) 分别与药剂按 1:1 混合, 配成丙酮液并稀释成系列浓度, 以点滴法处理。试虫饲养、观察及结果统计同点滴法。然后比较药剂单用和加入增效剂后的 LD_{50} 值, 并计算出增效剂对药剂的增效比 (synergistic ratio, SR)。

1.2.3 羧酸酯酶活性测定 参照 Van Asperen^[18] 的方法, 取甜菜夜蛾 4 龄幼虫 20 头, 用 0.04 mol \cdot L⁻¹ pH 7.0 的磷酸缓冲液 3 ml 于玻璃匀浆器中冰浴下匀浆, 匀浆液于 10000 $\times g$ 高速冷冻离心机 4 $^{\circ}\text{C}$ 下离心 10 min, 取上清液作为酶液备用。取 5 ml 3×10^{-4} mol \cdot L⁻¹ α -萘酚酯底物 (内含 0.2 ml 1×10^{-3} mol \cdot L⁻¹ 的毒扁豆碱), 1 ml 酶液摇匀, 以 0.04 mol \cdot L⁻¹ pH 7.0 的磷酸缓冲液作为对照, 于 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中温育 30 min, 立即加入显色剂 (1% 固蓝 B 盐和 5% 十二烷基硫酸钠按 2:5 体积比混合而成) 摇匀, 显色 30 min 后, 在紫外可见分光光度计 600 nm 处测定 OD 值, 每处理重复 3 次。

1.2.4 谷胱甘肽-S-转移酶活性测定 参照 Booth 等^[19] 的方法, 取甜菜夜蛾 4 龄幼虫 40 头, 用 0.1 mol \cdot L⁻¹ pH 6.5 磷酸缓冲液 3 ml 于玻璃匀浆器中冰浴下匀浆, 匀浆液于 10000 $\times g$ 高速冷冻离心机 4 $^{\circ}\text{C}$ 下离心 15 min, 取上清液作为酶液备用。取 0.5 ml 酶液、0.4 ml 0.01 mol \cdot L⁻¹ 1-氯-2,4-二硝基苯 (CDNB)、0.4 ml 0.01 mol \cdot L⁻¹ 还原型谷胱甘肽 (GSH)、2.7 ml 0.1 mol \cdot L⁻¹ pH 6.5 的磷酸缓冲液, 以不加酶液为对照, 于 25 $^{\circ}\text{C}$ 水浴保温 10 min 后, 加一滴碘甲烷终止反应, 快速于紫外可见分光光度计 340 nm 处测定 OD 值, 每处理重复 3 次。

1.2.5 Na-K-ATPase 活性及杀虫剂抑制作用的测定 Na-K-ATPase 活性测定参照冯北元等^[20] 和何运

转等^[21]的方法. 在杀虫剂的抑制作用试验中,先用丙酮将杀虫剂配制成一定浓度的母液,再用酶源制备过程中的缓冲液稀释至 400 mg · L⁻¹(现配现用),与酶液在 37 ℃ 水浴中保温 5 min 后,加入反应体系中测定 Na-K-ATPase 活性.

1.2.6 米氏常数(K_m)和最大反应速度(V_{max})的测定
先建立不同底物浓度梯度,然后采用上述相应的酶活性测定方法测定不同底物浓度的酶活性,利用 Lineweaver-Burk 作图法求 K_m 值和 V_{max} 值.

1.2.7 酶源蛋白含量测定 参照 Bradford^[22]的考马斯亮蓝法进行.

1.3 数据处理

采用 DPS 软件进行数据处理,用 Duncan 多重比较法检验各处理间的差异显著性.

2 结果与分析

2.1 杀虫剂对甜菜夜蛾毒力测定结果

与 S 品系相比,经室内连续 10 代抗性选育后, Fen-R 品系对氰戊菊酯的抗性达 698.5 倍, Cyp-R 品系对顺式氯氰菊酯的抗性达 2755.4 倍(表 1).

2.2 增效剂对甜菜夜蛾不同品系的活体增效作用

分别测定了 PBO、SV₁、TPP 和 DEM 4 种增效剂对甜菜夜蛾不同品系 4 龄幼虫的增效作用. PBO、SV₁、TPP 和 DEM 对 Fen-R 品系和 S 品系增效倍数

之比分别为 10.2、7.8、12.5 和 1.1(表 2),对 Cyp-R 品系和 S 品系增效倍数之比分别为 21.6、15.5、8.6 和 1.2(表 3). PBO、SV₁ 和 TPP 对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯均有显著增效作用,而 DEM 对两种药剂的增效作用不明显,表明甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性与多功能氧化酶和羧酸酯酶有关,与谷胱甘肽-S-转移酶关系不密切.

2.3 甜菜夜蛾幼虫羧酸酯酶活性及动力学常数

从表 4 可以看出, Fen-R 品系和 Cyp-R 品系 4 龄幼虫羧酸酯酶的活性、 K_m 值和 V_{max} 值与 S 品系差异均达显著水平, Fen-R 品系和 Cyp-R 品系羧酸酯酶的活性分别是 S 品系的 1.9 倍和 2.2 倍, Fen-R 品系和 Cyp-R 品系羧酸酯酶的 K_m 值显著小于 S 品系, V_{max} 值显著大于 S 品系. 这进一步证实了活体增效作用的测定结果,表明甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性与羧酸酯酶活性提高有关,抗性品系与敏感品系的羧酸酯酶不仅存在量的差异,也存在质的差异.

2.4 甜菜夜蛾幼虫谷胱甘肽-S-转移酶活性及动力学常数

甜菜夜蛾抗性品系和敏感品系 4 龄幼虫谷胱甘肽-S-转移酶的活性及动力学常数测定结果(表 5)显示, Fen-R 品系和 Cyp-R 品系谷胱甘肽-S-转移酶

表 1 杀虫剂对甜菜夜蛾抗性品系和敏感品系的毒力

Tab.1 Toxicity of insecticides to the resistant and susceptible strains of *Spodoptera exigua*

药剂 Insecticide	品系 Strain	回归方程 Regression function	LD ₅₀ (95% 置信限) LD ₅₀ (95% confidence limit) (μg · g ⁻¹)	抗性倍数 Resistance ratio (R/S)
氰戊菊酯	Fen-R	$y = -0.9647 + 2.4516x$	271.008(225.378 ~ 316.638)	698.5
Fenvalerate	S	$y = 5.0628 + 1.4666x$	0.388(0.264 ~ 0.571)	1
顺式氯氰菊酯	Cyp-R	$y = -0.2188 + 2.4497x$	135.015(98.252 ~ 171.778)	2755.4
Alpha-cypermethrin	S	$y = 6.9486 + 1.4852x$	0.049(0.040 ~ 0.059)	1

表 2 不同增效剂在甜菜夜蛾 Fen-R 品系和 S 品系中对氰戊菊酯的增效作用

Tab.2 Synergism of different synergists to fenvalerate in the Fen-R and S strains of *Spodoptera exigua*

药剂 Insecticide	Fen-R 品系 Fen-R strain		S 品系 S strain		SR ₁ /SR ₂
	LD ₅₀ (95% 置信限) LD ₅₀ (95% confidence limit) (μg · g ⁻¹)	增效比 Synergism ratio (SR ₁)	LD ₅₀ (95% 置信限) LD ₅₀ (95% confidence limit) (μg · g ⁻¹)	增效比 Synergism ratio (SR ₂)	
氰戊菊酯 Fenvalerate (Fen)	271.008(225.378 ~ 316.638)	1.0	0.388(0.264 ~ 0.571)	1.0	
Fen + PBO	26.569(18.340 ~ 31.059)	10.2	0.376(0.305 ~ 0.512)	1.0	10.2
Fen + SV ₁	28.831(22.306 ~ 33.648)	9.4	0.323(0.248 ~ 0.455)	1.2	7.8
Fen + TPP	16.729(12.838 ~ 19.442)	16.2	0.298(0.227 ~ 0.406)	1.3	12.5
Fen + DEM	169.380(121.057 ~ 196.478)	1.6	0.259(0.187 ~ 0.343)	1.5	1.1

表 3 不同增效剂在甜菜夜蛾 Cyp-R 品系和 S 品系中对顺式氯氰菊酯的增效作用
Tab.3 Synergism of different synergists to alpha-cypermethrin in the Cyp-R and S strains of *Spodoptera exigua*

药 剂 Insecticide	Cyp-R 品系 Cyp-R strain		S 品系 S strain		SR ₁ /SR ₂
	LD ₅₀ (95% 置信限)	增效比	LD ₅₀ (95% 置信限)	增效比	
	LD ₅₀ (95% confidence limit) (μg · g ⁻¹)	Synergism ratio (SR ₁)	LD ₅₀ (95% confidence limit) (μg · g ⁻¹)	Synergism ratio (SR ₂)	
顺式氯氰菊酯 Alpha-cypermethrin (Alpha)	135. 015(98. 252 ~ 171. 778)	1. 0	0. 049(0. 040 ~ 0. 059)	1. 0	
Alpha + PBO	4. 471(2. 517 ~ 5. 729)	30. 2	0. 035(0. 025 ~ 0. 054)	1. 4	21. 6
Alpha + SV ₁	7. 259(5. 335 ~ 9. 147)	18. 6	0. 041(0. 027 ~ 0. 058)	1. 2	15. 5
Alpha + TPP	9. 784(6. 848 ~ 12. 056)	13. 8	0. 031(0. 018 ~ 0. 042)	1. 6	8. 6
Alpha + DEM	103. 858(78. 260 ~ 125. 393)	1. 3	0. 045(0. 027 ~ 0. 063)	1. 1	1. 2

表 4 甜菜夜蛾抗性品系和敏感品系羧酸酯酶的活性及动力学常数比较
Tab.4 Comparison of activity and kinetic constants of carboxylesterase in the resistant and susceptible strains of *Spodoptera exigua*

品 系 Strain	活性 Activity		K _m		V _{max}	
	数值 Value (μmol · mg ⁻¹ pro · min ⁻¹)	R/S	数值 Value (μmol · L ⁻¹)	R/S	数值 Value (μmol · mg ⁻¹ pro · min ⁻¹)	R/S
S	1. 697 ± 0. 032c	1	0. 54 ± 0. 03a	1	1. 46 ± 0. 07b	1
Fen-R	3. 224 ± 0. 052b	1. 90	0. 29 ± 0. 02b	0. 54	2. 34 ± 0. 14a	1. 60
Cyp-R	3. 733 ± 0. 064a	2. 20	0. 33 ± 0. 03b	0. 61	2. 21 ± 0. 12a	1. 51

同列不同字母表示差异显著(*P* < 0. 05)Different letters in the same column meant significant difference at 0. 05 level. 下同 The same below.

表 5 甜菜夜蛾抗性品系和敏感品系谷胱甘肽-S-转移酶的活性及动力学常数比较
Tab.5 Comparison of activity and kinetic constant of GSTs in the resistant and susceptible strains of *Spodoptera exigua*

品 系 Strain	活性 Activity		K _m		V _{max}	
	数值 Value (OD · mg ⁻¹ pro · 5 min ⁻¹)	R/S	数值 Value (μmol · L ⁻¹)	R/S	数值 Value (μmol · mg ⁻¹ pro · min ⁻¹)	R/S
S	0. 726 ± 0. 025a	1	0. 70 ± 0. 05a	1	1. 65 ± 0. 11a	1
Fen-R	0. 687 ± 0. 043a	0. 95	0. 68 ± 0. 05a	0. 97	1. 80 ± 0. 13a	1. 09
Cyp-R	0. 798 ± 0. 085a	1. 10	0. 73 ± 0. 04a	1. 04	1. 73 ± 0. 08a	1. 05

的活性、K_m 值、V_{max} 值与 S 品系均无显著差异 ,说明甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性并未引起谷胱甘肽-S-转移酶的变化.

2.5 甜菜夜蛾幼虫 Na-K-ATPase 活性及杀虫剂的抑制作用

从表6可以看出 ,Fen-R 品系和 Cyp-R 品系的

Na-K-ATPase 活性与 S 品系均无显著差异 ,在相同浓度下(400 mg · L⁻¹),氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯对 S 品系 Na-K-ATPase 的抑制率分别达 69. 67% 和 65. 02% ,显著高于对 Fen-R 品系和 Cyp-R 品系的抑制率 ,说明抗性品系 Na-K-ATPase 对杀虫剂的敏感性已明显降低.

3 讨 论

在药剂处理下 ,昆虫可通过提高多功能氧化酶、羧酸酯酶、谷胱甘肽-S-转移酶等体内主要解毒酶系的活性 ,加速对进入其体内药剂的降解作用而表现出代谢抗性. 已有研究表明多功能氧化酶在甜菜夜蛾抗药性中起着重要作用. Smagghe 等^[23]通过增效剂增效试验证明多功能氧化酶参与了甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性. 刘永杰等^[17]比较测定了抗氯氟氰菊酯甜菜夜蛾品系和敏感品系 5 龄幼虫不同组织的细胞色素 P450 含量及中肠多功能氧化酶活性 ,发现抗性

表 6 甜菜夜蛾抗性品系和敏感品系 Na-K-ATPase 的活性及杀虫剂抑制作用

Tab.6 Activity of Na-K-ATPase and inhibition of insecticides on the resistant and susceptible strains of *Spodoptera exigua*

品系 Strain	活性 Activity (nmol · mg ⁻¹ pro · min ⁻¹)	R/S	抑制率 Inhibitory rate (%)	
			氰戊菊酯 Fenvalerate	顺式氯氰菊酯 Alpha-cypermethrin
S	106. 315 ± 5. 269a	1	69. 67 ± 4. 76a	65. 02 ± 4. 41a
Fen-R	104. 189 ± 5. 435a	0. 98	14. 17 ± 3. 62c	18. 30 ± 3. 69b
Cyp-R	110. 568 ± 9. 622a	1. 04	23. 62 ± 4. 03b	11. 08 ± 2. 40c

品系的细胞色素 P450 含量和多功能氧化酶活性均显著高于敏感品系,证实甜菜夜蛾对氯氰菊酯的抗性 with 多功能氧化酶活性提高密切相关. 本研究中活体增效作用测定结果发现,PBO 和 SV₁ 对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯均有显著增效作用,表明甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性 with 多功能氧化酶活性提高有关. 为了进一步证实多功能氧化酶在甜菜夜蛾对以上两种药剂抗性中的作用,还须全面比较抗性品系和敏感品系多功能氧化酶的 O-脱甲基、羟基化、环氧化等作用.

酯酶水解代谢能力的增强是昆虫对拟除虫菊酯杀虫剂产生抗性的重要机制. Delorme 和 Fournier^[13] 研究发现,甜菜夜蛾抗溴氰菊酯品系的酯酶活性显著高于敏感品系,前者对溴氰菊酯的降解速率是后者的 17 倍. 酯酶代谢能力增强是甜菜夜蛾对氰戊菊酯产生抗性的主要机制^[14]. 但也有研究表明,酯酶与甜菜夜蛾对拟除虫菊酯杀虫剂的抗性关系不大,如刘永杰和沈晋良^[15] 报道甜菜夜蛾抗氯氰菊酯品系与敏感品系的酯酶活性无明显差异,Laecke 等^[24] 也发现酯酶与甜菜夜蛾对溴氰菊酯的抗性无关. 本研究中活体增效作用试验和离体生化测定结果均表明,羧酸酯酶活性提高是甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯产生抗性的重要原因之一,离体生化测定结果还发现抗性品系与敏感品系的羧酸酯酶不仅存在量的差别,也存在质的差别. 综合以上研究结果,说明酯酶在甜菜夜蛾对拟除虫菊酯杀虫剂抗性中的作用与具体品种有关.

Na-K-ATPase 在维持昆虫细胞正常膜电位和保证神经冲动传导中担负着重要的生理功能,与钠离子通道密切相关. 本研究结果表明,甜菜夜蛾抗氰戊菊酯品系和抗顺式氯氰菊酯品系与敏感品系之间的 Na-K-ATPase 活性差异不显著,说明抗性品系神经系统中钠离子通道数量没有减少^[21]. 但在相同浓度下氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯对抗性品系 Na-K-ATPase 的抑制率显著低于敏感品系,表明在抗性品系中 Na-K-ATPase 对杀虫剂的敏感度明显降低,这与伦才智等^[25] 报道的结果一致. 拟除虫菊酯类杀虫剂的作用靶标是昆虫神经轴突上的钠离子通道,目前已发现多种农业昆虫和卫生害虫对拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性 with 钠离子通道基因突变而导致神经敏感性下降有关^[26]. 甜菜夜蛾对氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯的抗性是否涉及钠离子通道的结构变异及不敏感性,还有待于进一步研究.

参考文献

- [1] Wu S-C (吴世昌), Gu Y-Z (顾言真), Shen Z-L (沈忠良), *et al.* Monitoring of insecticide resistance and chemical control in beet armyworm. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 1995, **22**(1): 95-96 (in Chinese)
- [2] Wang K-Y (王开运), Jiang X-Y (姜兴印), Yi M-Q (仪美芹), *et al.* Studies on resistance change and management strategy of *Spodoptera exigua*. *Pesticides* (农药), 2001, **40**(6): 29-32 (in Chinese)
- [3] Lan Y-Q (兰亦全), Zhao S-X (赵士熙), Wu G (吴刚). Realized resistance heritability and resistance risk of *Spodoptera exigua* to cyhalothrin, fenvalerate and alpha-cypermethrin. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(3): 468-471 (in Chinese)
- [4] Chen B-K (陈丙坤), Wang K-Y (王开运), Jiang X-Y (姜兴印), *et al.* Studies and surveys on the insecticides resistance of *Spodoptera exigua*. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 2002, **29**(4): 366-370 (in Chinese)
- [5] Liu Y-J (刘永杰), Shen J-L (沈晋良). Monitoring for four group of insecticide resistance in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Cotton Science* (棉花学报), 2002, **14**(6): 356-360 (in Chinese)
- [6] Lan Y-Q (兰亦全), Zhao S-X (赵士熙). Monitoring of insecticide resistance and its mechanism of *Spodoptera exigua* in Fuzhou, Fujian Province, China. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (福建农林大学学报), 2004, **33**(1): 26-29 (in Chinese)
- [7] Lan Y-Q (兰亦全), Zhao S-X (赵士熙), Wu G (吴刚). Monitoring of insecticides resistance of *Spodoptera exigua* in Fujian Province, China. *Chinese Journal of Tropical Crops* (热带作物学报), 2005, **26**(4): 90-93 (in Chinese)
- [8] Wang K-Y (王开运), Jiang X-Y (姜兴印), Yi M-Q (仪美芹), *et al.* Insecticide resistance and its mechanism of *Spodoptera exigua*. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 2002, **29**(3): 229-234 (in Chinese)
- [9] Liu X-Y (刘向阳), Zhu F-X (朱福兴), Zhang K (张凯). The status of insecticide resistance in the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Bulletin of Entomology* (昆虫知识), 2007, **44**(5): 632-636 (in Chinese)
- [10] Moulton JK, Pepper DA, Dennehy TJ. Beet armyworm (*Spodoptera exigua*) resistance to spinosad. *Pest Management Science*, 2000, **56**: 842-848
- [11] Xu P-J (徐蓬军), Liu Y-J (刘永杰), Li Y-W (李艳伟), *et al.* Monitoring of susceptibility of beet armyworm to insect growth regulators. *Pesticide Science and Administration* (农药科学与管理), 2006, **27**(4): 10-12 (in Chinese)
- [12] Jia B-T (贾变桃), Shen J-L (沈晋良), Liu Y-J (刘永杰). Monitoring and risk assessment of resistance to tebufenozide in *Spodoptera exigua*. *Cotton Science* (棉花

学报), 2006, **18**(3): 164-169 (in Chinese)

[13] Delorme R, Fournier D. Esterase metabolism and reduced penetration are cause of resistance to deltamethrin in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 1988, **32**: 240-246

[14] Brewer MJ, Trumble JT. Beet armyworm resistance to fenvalerate and methomyl: Resistance variation and insecticide synergism. *Journal of Agricultural Entomology*, 1994, **11**: 291-300

[15] Liu Y-J (刘永杰), Shen J-L (沈晋良). Biochemical mechanism and genetics of resistance to lambda-cyhalothrin in the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, and the relative fitness of the resistant strain. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2003, **46**(5): 567-572 (in Chinese)

[16] Liu Y-J (刘永杰), Shen J-L (沈晋良). Cuticular penetration mechanism of resistance to lambda-cyhalothrin in *Spodoptera exigua* (Hübner). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2003, **46**(3): 288-291 (in Chinese)

[17] Liu Y-J (刘永杰), Shen J-L (沈晋良), Zhao X-D (赵旭东), et al. Relationship between multi-function oxidases and the resistance to lambda-cyhalothrin in beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Pesticide Science* (农药学学报), 2005, **7**(1): 19-23 (in Chinese)

[18] Van Asperen K. A study of housefly esterase by means of a sensitive colorimetric method. *Journal of Insect Physiology*, 1962, **8**: 401-416

[19] Booth J, Boyland E, Sims P. An enzyme from rat liver catalyzing conjugations with glutathione. *Biochemical Journal*, 1961, **79**: 516-524

[20] Feng B-Y (冯北元), Xu M-Y (徐慕禹). Microdetermination of Na-K-ATPase in rat brain synaptosomes. *Progress in Biochemistry and Biophysics* (生物化学与生物物理进展), 1981, **17**(2): 48-49 (in Chinese)

[21] He Y-Z (何运转), Li M (李梅), Feng G-L (冯国蕾), et al. Inhibition of pyrethroid insecticides on nerve Na-K-ATPase in house flies (*Musca Domestica*). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 1999, **42**(1): 19-24 (in Chinese)

[22] Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 1976, **72**: 248-254

[23] Smagghe G, Dhadialla TS, Derycke S. Action of the ecdysteroid agonist tebufenozide in susceptible and artificially selected beet armyworm. *Pesticide Science*, 1988, **54**: 27-34

[24] Laecke KV, Smagghe G, Degheele D. Detoxifying enzymes in greenhouse and laboratory strain of beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 1995, **88**: 777-781

[25] Lun C-Z (伦才智), Li Y-W (李艳伟), Liu Y-J (刘永杰), et al. Sensitivity of nerve Na-K-ATPase, Ca-ATPase and Ca-Mg-ATPase in resistant strains of *Spodoptera exigua* to lambda-cyhalothrin. *Chinese Journal of Pesticide Science* (农药学学报), 2006, **8**(4): 335-338 (in Chinese)

[26] Soderlund DM, Knipple DC. The molecular biology of knockdown resistance to pyrethroid insecticides. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2003, **33**: 563-577

作者简介 兰亦全,男,1972年生,博士,副教授.主要从事害虫抗药性及农药毒理研究,发表论文近20篇. E-mail: yiquanlan@163.com

责任编辑 肖红
