

甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼抗药性选育 及其抗性生化机理初探*

赵琪¹ 闫乾¹ 郑宇¹ 王少丽² 张友军² 邱立红^{1**}

(1. 农业部农药化学与应用技术重点开放实验室 中国农业大学应用化学系 北京 100193;

2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

摘要 在室内用甲氧虫酰肼对甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 幼虫进行抗药性选育, 经过 13 代汰选, 甜菜夜蛾抗性种群 (Met-R) 对甲氧虫酰肼的抗性倍数为 4.19 倍; 交互抗性测定发现, Met-R 甜菜夜蛾对毒死蜱、高效氯氰菊酯、虫螨腈、虫酰肼、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐等药剂的交互抗性比值在 1.05~2.07 之间, 不存在交互抗性。离体酶活性测定结果表明, Met-R 甜菜夜蛾 5 龄幼虫中肠谷胱甘肽 S-转移酶比活力是相对敏感种群 (SS) 甜菜夜蛾的 2.44 倍, 存在显著性差异, 说明谷胱甘肽 S-转移酶活性增强可能与甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼产生抗药性有关; 但 Met-R 甜菜夜蛾全酯酶催化活性与 SS 的无显著性差异, 说明其抗药性可能与酯酶无关。

关键词 甜菜夜蛾, 甲氧虫酰肼, 抗药性, 谷胱甘肽 S-转移酶, 酯酶, 活性

Selection for resistance of *Spodoptera exigua* to methoxyfenozide and preliminary study on the mechanisms of resistance

ZHAO Qi¹ YAN Qian¹ ZHENG Yu¹ WANG Shao-Li² ZHANG You-Jun² QIU Li-Hong^{1**}

(1. Key Laboratory of Pesticide Chemistry & Application Technology, Department of Applied Chemistry,

China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract After 13 generations' selection in the laboratory, the methoxyfenozide-selected strain (Met-R) of *Spodoptera exigua* (Hübner) showed only a 4.19-fold increase in resistance to methoxyfenozide. Met-R showed no cross-resistance to chlorpyrifos, beta-cypermethrin, chlorfenapyr, tebufenozide or emamectin benzoate, with resistance ratio increases of 1.05-2.07-fold. *In vitro* biochemical studies showed that GST activity in the midgut of 5th instar larvae of Met-R was 2.44 times greater than in larvae of the susceptible strain (SS), indicating that enhanced GST activity may be associated with the resistance of *S. exigua* to methoxyfenozide. In contrast, nonspecific-esterase activity in Met-R showed no significant difference from that in SS, suggesting that nonspecific-esterase may not be involved in the resistance.

Key words *Spodoptera exigua*, methoxyfenozide, resistance, GST, esterase, activity

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, 在我国的发生范围已遍及 20 余个省、市、自治区 (徐进等, 2010), 成为制约我国农业生产发展的主要害虫之一。目前国内外对甜菜夜蛾仍以化学药剂防治为主, 杀虫剂的长期大量使用, 导致甜菜夜蛾对很多种类杀虫剂产生了不同程度的抗药性。甲氧虫酰

肼为非甾醇双酰胺基肼类杀虫剂, 由于其作用机制独特, 因而对鳞翅目害虫活性高, 并具有高选择性, 是农林业害虫防治中的常用药剂之一。有关甲氧虫酰肼使用后的害虫抗药性发展问题, 国外已有报道 (Mascarenha *et al.*, 1998; Moulton *et al.*, 2002; Smaghe *et al.*, 2003), 但国内的相关报道则很少。

* 资助项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (200803007) 和北京市自然科学基金项目 (6102021)。

** 通讯作者, E-mail: lihongqiyang@126.com

收稿日期: 2011-12-23, 接受日期: 2012-07-11

本文通过甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼的抗药性选育,了解甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼的抗药性产生和发展情况,并测定抗性选育种群甜菜夜蛾对其他种类药剂的交互抗性,为今后的抗性风险评估提供依据。另外,通过测定抗性选育种群 5 龄幼虫离体酶(谷胱甘肽 S-转移酶、全酯酶)的活性,初步探讨了甜菜夜蛾对该昆虫生长调节剂的抗药性生化机理。

1 材料与方 法

1.1 供试甜菜夜蛾

相对敏感种群(SS):1999 年 8 月中下旬从河北邯郸采回甜菜夜蛾田间幼虫,在室内温度(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度在 70% 左右,光周期为 L:D = 12:12,期间未接触任何化学药剂,采用人工饲料正常继代饲养至今的甜菜夜蛾种群。

抗性选育种群(Met-R):由相对敏感种群(SS)在室内用甲氧虫酰肼以浸渍法逐代选育,经 13 代汰选而获得。

1.2 供试药剂

98.2% 甲氧虫酰肼(methoxyfenozide)原药,农业部药检所提供;96.1% 毒死蜱(chlorpyrifos)原药,中国农业大学理学院分析实验室提供;90% 灭多威(methomyl)原药,中国农业大学理学院分析实验室提供;95% 高效氯氰菊酯(beta-cypermethrin)原药,北京市东旺农药厂;95% 虫螨腈(chlorfenapyr)原药,北京市华戎生物激素厂;95% 虫酰肼(tebufenozide)原药,江苏宝灵化工有限公司;97% 呋喃虫酰肼(furan tebufenozide)原药,江苏省农药研究所有限公司;98.1% 氟啶脲(chlorfluazuron)原药,江苏扬农化工集团有限公司;95% 虱螨脲(lufenuron)原药,中国农业大学理学院生测实验室提供;54.8% 茚虫威(indoxacarb)原药,美国杜邦;88% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(emamectin benzoate)原药,北京市东旺农药厂;5% 氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)悬浮剂,杜邦公司。丙酮(分析纯),曲拉通 TritonX-100,北京化学试剂公司。

1.3 试验方法

1.3.1 抗性选育方法 甜菜夜蛾的抗药性选育采用浸渍法进行,以相对敏感种群 3 龄甜菜夜蛾幼虫作为 F_0 代供试。在预试验的基础上,将甲氧

虫酰肼用 5‰ TritonX-100 水稀释成一定浓度,该浓度使试虫死亡率在 50% ~ 70% 之间。将试虫放入浸虫笼内,浸入有药液的烧杯中 3 s 后取出,用吸水纸擦去虫体残留的药液,待虫体晾干后放入装有新鲜饲料的指形管,1 头/管,48 h 后检查结果,以不能正常爬行为死亡。在试虫数目足够的情况下每代汰选 1 000 头,分装成 2 头/管。将处理试虫放回养虫室内饲养,期间及时清理死亡幼虫,使存活幼虫化蛹、羽化并产卵繁殖下一代,待试虫生长至 3 龄时,以相同的方法继续进行汰选。得到甲氧虫酰肼抗性选育种群(简称 Met-R 种群)。

1.3.2 毒力测定方法 药剂的毒力测定采用浸叶法进行,参考 Moulton 等(2002)方法并略作改进。原药先用丙酮配制成 1 000 mg/L 或 2 000 mg/L 的母液,根据预试验结果,用 5‰ TritonX-100 水溶液按等比或等差方法将供试药剂稀释成 5 ~ 7 个浓度。将洗净的油麦菜叶片晾干后,剪成 4 cm 长,2 cm 宽的叶条,在药液中浸渍 10 s,取出,再次晾干后放入培养皿内,下置滤纸,上放叶片,每培养皿 2 片叶片,接入整齐一致的 3 龄幼虫,每皿接虫 10 头。以浸渍 5‰ TritonX-100 水溶液的叶片为对照组。每处理重复 3 次,共 180 ~ 240 头试虫。将药剂处理后的试虫置于温度为(26 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 75%,光照周期为 L:D = 12:12 的养虫室内。对甲氧虫酰肼、虫酰肼、氟啶脲、虱螨脲等昆虫生长调节剂,72 h 检查结果,其他药剂 48 h 检查结果,以幼虫不能正常爬行为死亡标准。

1.3.3 抗药性生物测定方法 用浸渍法分别测定甜菜夜蛾相对敏感种群及抗性种群对甲氧虫酰肼及其他药剂的 LC_{50} 值,然后计算抗性或交互抗性倍数。抗性倍数 = F_n 代 LC_{50} (或 LC_{90}) 值/ F_0 代 LC_{50} (或 LC_{90}) 值 (n 表示汰选代数);交互抗性倍数 = 抗性选育种群(Met-R) LC_{50} 值/相对敏感种群(SS) LC_{50} 值。

1.3.4 离体酶活性测定方法

1.3.4.1 酶源制备 取甜菜夜蛾 5 龄初幼虫或幼虫中肠,分别置于玻璃匀浆器中,加入 3 mL 0.1 mol/L, pH7.0 磷酸缓冲液匀浆 2 ~ 3 min。在 2°C , 14 000 r/min 离心 30 min,取上清液为酶源,分别用于全酯酶或谷胱甘肽 S-转移酶活力测定。各重复 3 次。

1.3.4.2 谷胱甘肽 S-转移酶活性测定 主要参

照慕卫(2002)方法进行。

1.3.4.3 全酯酶活性测定 取 0.5 mL 待测酶液,加入 0.5 mL 0.04 mol/L pH7.0 磷酸缓冲液,再加入 5 mL 0.0003 mol/L α -乙酸萘酯溶液于具塞试管中,于 30℃ 恒温水浴中振荡 30 min 后,分别加入 1 mL 显色液,摇匀。15 min 后,于 600 nm 处测 OD 值。重复 3 次。根据酶源蛋白含量和 α -萘酚标准曲线计算全酯酶活性,单位 $\mu\text{mol}/(\text{mg}\cdot\text{Pr}\cdot\text{min})$ 。

1.3.4.4 蛋白质含量测定 采用 Bradford (1976) 方法进行。

1.3.5 数据统计分析 毒力测定试验数据采用

Probit 软件进行处理,计算不同药剂的毒力回归方程及 LC_{50} 值、95% 置信限等。离体酶活性实验数据采用 SPSS 16.0 统计软件进行差异性显著分析, $P < 0.05$ 表明差异性显著。

2 结果与分析

2.1 甲氧虫酰肼对甜菜夜蛾的抗性选育

使用甲氧虫酰肼汰选甜菜夜蛾 13 代,得到甲氧虫酰肼抗性选育种群 Met-R。甲氧虫酰肼对该种群 F_{13} 代的 LC_{50} 值为 25.97 mg/L,与初始的 S 种群相比,抗性倍数上升至 4.19 倍。其抗药性发展情况见表 1。

表 1 甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼的抗药性发展
Table 1 Resistance development of *Spodoptera exigua* to methoxyfenozide

汰选代数 Selected generations	毒力回归方程 Regression equation ($y = a + bx$)	LC_{50} (mg/L)	95% 置信区间 (mg/L) 95% Confidential interval (mg/L)	抗性倍数 Resistant ratio
F_0	$y = 4.18 + 1.03x$	6.20	3.57 - 10.75	1.00
F_5	$y = 2.81 + 1.45x$	32.66	23.05 - 46.28	5.27
F_6	$y = 3.35 + 1.21x$	23.07	14.35 - 37.08	3.72
F_8	$y = 3.77 + 0.86x$	27.50	16.38 - 46.16	4.44
F_{13}	$y = 3.88 + 0.79x$	25.97	14.78 - 45.63	4.19

表 1 数据表明,采用甲氧虫酰肼对甜菜夜蛾抗性选育的最初 5 代,抗性上升较快;继续汰选 1 代后,抗性下降,说明其抗性遗传是不稳定的;继续汰选后抗性上升, F_8 代抗性上升至 4.44 倍;此后,由于种群数目不稳定,为保证有足够的试虫进行汰选且不至于因选择压过大而导致种群灭亡,汰选浓度一直维持在较低水平 (15 mg/L)。经过 19 代饲养、药剂汰选 13 代后该抗性选育种群对甲氧虫酰肼 LC_{50} 值为 25.97 mg/L,抗性倍数与相对敏感种群 (SS) 相比上升 4.19 倍。

2.2 Met-R 种群甜菜夜蛾对其它药剂的交互抗性

Met-R 种群甜菜夜蛾对其它药剂的交互抗性测定结果见表 2。

由表 2 可知,经过 13 代抗药性选育、抗性倍数上升至 4.19 倍的 Met-R 种群甜菜夜蛾,对所选用的有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类、吡

咯类、昆虫生长调节剂类、二萜类、鱼尼丁受体类、阿维菌素类的药剂仍然比较敏感,其中毒力较高的药剂为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和氯虫苯甲酰胺, LC_{50} 值分别为 5.56×10^{-3} mg/L 和 9.16×10^{-2} mg/L,其次是虫螨腈、虱螨脲、虫酰肼和氟啶脲, LC_{50} 值均低于 10 mg/L。Met-R 种群甜菜夜蛾对所测试药剂的抗性倍数在 0.83 ~ 2.07 倍之间,说明不存在交互抗性。

2.3 谷胱甘肽 S-转移酶活性测定

对 SS 种群和 Met-R 种群 5 龄幼虫中肠进行了谷胱甘肽 S-转移酶活性的测定 (表 3)。

表 3 结果表明, Met-R 种群 5 龄幼虫中肠谷胱甘肽 S-转移酶比活力是 SS 种群的 2.44 倍,且两种群间存在显著性差异,说明谷胱甘肽 S-转移酶活性增强可能是甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼产生抗药性的原因之一。

表 2 Met-R 种群甜菜夜蛾对其它药剂的交互抗性

Table 2 Cross-resistance of methoxyfenozide-resistant *Spodoptera exigua* population (Met-R) to other insecticides

药剂类别 Insecticide classification	药剂 Insecticides	Met-R 种群 LC ₅₀ LC ₅₀ of Met-R population (mg/L)	SS 种群 LC ₅₀ LC ₅₀ of SS population (mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
有机磷类 Organophosphates	毒死蜱 Chlorpyrifos	59.45	36.40	1.63
氨基甲酸酯类 Carbamates	灭多威 Methomyl	886.50	493.07	1.80
拟除虫菊酯类 Pyrethroids	高效氯氟菊酯 Beta-cypermethrin	12.36	7.45	1.64
吡咯类 Pyrroles	虫螨腈 Chlorfenapyr	2.35	2.17	1.09
昆虫生长调节剂 Insect growth regulators	虫酰肼 Tebufenozide	7.95	9.56	0.83
	呋喃虫酰肼 Furan tebufenozide	14.02	9.88	1.42
	氟啶脲 Chlorfluazuron	8.08	4.66	1.73
	虱螨脲 Lufenuron	2.45	1.18	2.07
二嗪类 Oxadiazine	茚虫威 Indoxacarb	28.23	14.15	2.00
鱼尼丁受体抑制剂类 Ryanodines receptor inhibitors	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	9.16×10^{-2}	9.91×10^{-2}	0.92
阿维菌素类 Avermectins	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	5.56×10^{-3}	5.32×10^{-3}	1.05

表 3 各种群甜菜夜蛾 5 龄幼虫中肠谷胱甘肽 S-转移酶比活力 (OD 值/mg·Pr·min)

Table 3 Activities of glutathione S-transferase in the midgut of the 5th instar larvae from different *Spodoptera exigua* populations

种群名称 Populations	重复 Replicates			均值 Mean value	比值 Ratio
	I	II	III		
SS	0.5846	0.5294	0.5442	$0.5527 \pm 0.0165a$	1.00
Met-R	1.2018	1.4982	—	$1.3500 \pm 0.1482b$	2.44

注: I, II, III 列每一个数据均由 3 个重复求平均值所得;均值为 3 次重复的平均值 \pm 标准误差 (mean \pm SE);均值后字母不同表示两者间差异显著 ($P < 0.05$);“—”表示舍去该值。下表同。

Data in column I, II and III are presented as mean \pm SE (the average of three replicate). The mean value followed by different letters indicate significantly different at 0.05 level. “—” means the value was abandoned. The same below.

2.4 全酯酶活性测定

对 SS 种群和 Met-R 种群 5 龄幼虫进行了全酯酶活性测定,结果见表 4。由表 4 可知, Met-R 种群整头 5 龄幼虫全酯酶催化活性是 SS 种群的

0.79 倍。Met-R 种群和 SS 种群相比,二者没有显著性差异,说明甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼产生抗药性可能与全酯酶活性无关。

表 4 Met-R 种群与 SS 种群甜菜夜蛾整头 5 龄幼虫全酯酶催化活性 ($\mu\text{mol}/\text{mg} \cdot \text{Pr} \cdot \text{min}$)Table 4 Esterase activities of the 5th instar larvae of *Spodoptera exigua* from Met-R and SS populations

种群名称 Populationname	重复 Replicates			均值 Mean value	比值 Ratio
	I	II	III		
SS	0.1456	0.1367	0.1617	$0.1480 \pm 0.0073a$	1.00
Met-R	0.1270	—	0.1064	$0.1167 \pm 0.0103a$	0.79

3 讨论

3.1 影响甜菜夜蛾抗性发展的因素

害虫抗药性发展的速度除了与药剂本身有关外,还与被选育对象的初始抗性频率和药剂选择压有关,若初始抗性频率低,则抗性发展慢。本研究采用室内连续饲养多代的相对敏感种群甜菜夜蛾为试虫进行药剂汰选,发现其对甲氧虫酰肼的抗性发展比较缓慢,可能与其初始抗性频率比较低有关。因甲氧虫酰肼属昆虫生长调节剂类杀虫剂,具有很强的后效应,即使在用药 96 h 后存活的试虫,也可能有相当一部分会在化蛹至羽化阶段死亡,且对试虫生殖力、后代卵的孵化率也会有一定影响。致使汰选种群的某些世代真正存活的试虫较少,这可能也是造成抗性发展缓慢的重要原因。

在已报道的关于甜菜夜蛾对蜕皮激素类似物抗性选育的研究中,抗性发展缓慢的现象普遍存在。黄琳瑞等(2005)在室内用虫酰肼对甜菜夜蛾 3 龄幼虫进行抗性选育,经过 12 代的汰选,与选育前相比,甜菜夜蛾对虫酰肼仅产生了 5.47 倍的抗性。Smagghe 等(1998)对甜菜夜蛾室内品系用虫酰肼连续筛选了 10 代,其抗性提高了 5 倍,且前 5 代敏感性没有明显变化。贾变桃等(2006)用虫酰肼对甜菜夜蛾初孵幼虫进行 34 代的抗性筛选,与选育前相比抗性达到 17.00 倍,但前 17 代的最高抗性倍数仅为 3.2 倍。Moulton 等(2002)用虫酰肼对泰国一个甜菜夜蛾田间种群进行了 17 代筛选,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,但前 9 代抗性仅上升 3.80 倍。贾变桃等(2007)在室内用虫酰肼对甜菜夜蛾进行了 75 代的选育,最初 16 代($F_0 \sim F_{25}$)筛选期间,抗性增长缓慢,在随后的 $F_{26} \sim F_{50}$ 期间,筛选了 22 代,抗性增长较快,最后 25 代($F_{51} \sim F_{75}$)筛选期间,抗性变化不大。

在其他鳞翅目害虫对甲氧虫酰肼抗性选育的研究中,也发现抗性发展缓慢的现象。王建军等(2009)在室内用甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾经过 12 代 9 次选育,斜纹夜蛾对甲氧虫酰肼的敏感性仅降低 3.95 倍。刘娟等(2009)在室内采用甲氧虫酰肼对棉铃虫敏感品系进行抗性筛选,共饲养 33 代,汰选 29 代,与敏感品系相比,获得抗性指数为 32.99 倍的抗性品系,但在其前 21 代中抗性倍数

最高为 7.82 倍。

上述研究结果表明,不同品系甜菜夜蛾(或其他鳞翅目害虫)对双酰基肼类杀虫剂的抗性发展速度不同,总体上来讲抗性选育初期抗性发展缓慢。

3.2 Met-R 种群甜菜夜蛾抗药性生化机制初探

本文初步研究了 Met-R 种群的谷胱甘肽 S-转移酶活性和全酯酶催化活性。结果发现, Met-R 种群谷胱甘肽 S-转移酶比活力和 SS 种群相比,比值为 2.44,二者存在显著性差异,说明谷胱甘肽 S-转移酶活性增强可能是甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼产生抗药性的原因之一;但 Met-R 种群全酯酶催化活性和 SS 种群相比,比值为 0.79,二者不存在显著性差异,说明甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼产生抗药性可能与全酯酶的催化活性关系不大。上述结果与已有的研究报道相一致。Ahmad 等(2002)对苹果蠹蛾田间抗性种群的研究发现,苹果蠹蛾对虫酰肼的抗性与谷胱甘肽 S-转移酶有关。Reyes 等(2004)则报道不同苹果蠹蛾的虫酰肼田间抗性种群的抗药性可能与 MFO 有关,而与酯酶无关。王贻莲(2005)发现,与敏感品系相比,甜菜夜蛾武汉田间种群 3 龄幼虫的谷胱甘肽 S-转移酶活性升高 34.20%,达显著性差异,认为甜菜夜蛾抗性可能与谷胱甘肽 S-转移酶有关。由于目前 Met-R 种群甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼的抗性水平还比较低,通过离体酶活的测定仅初步探讨了其可能的生化机理;欲阐明甜菜夜蛾对甲氧虫酰肼产生抗性的内在机制,还有待抗性达到较高水平后作进一步的深入研究。

参考文献(References)

- Ahmad M, Hollingworth RM, Wise JC, 2002. Broad-spectrum insecticide resistance in obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) from Michigan. *Pest Manag. Sci.*, 58(8):834—838.
- Bradford MM, 1976. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248—254.
- Mascarenha VJ, Graves JB, Leonard BR, Burris E, 1998. Dosage mortality response of third instars of beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to selected insecticides. *J. Agric. Entomol.*, 15(2):125—140.

- Moulton JK, Pepper DA, Jansson RK, Dennehy TJ, 2002. Proactive 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.
- Reyes M, Bouvier JC, Boivin T, Fuentes-Contreras E, Sauphanor B, 2004. Insecticide susceptibility and enzymatic activity of *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) from three apple orchards of Maule Region Chile. *Agr. Tec.*, 64 (3) :229—237.
- Smaghe 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.
- Smaghe G, Pineda S, Carton B, Estal PD, Budia F, Vimuela E, 2003. Toxicity and kinetics of methoxyfenozide in greenhouse selected *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Manag. Sci.*, 59 (11) :1203—1209.
- 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. *农药学报*, 7 (14) :376—378.
- 贾变桃, 沈晋良, 刘叙杆, 2007. 甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性选育、风险评估及交互抗性. *昆虫学报*, 50 (11) :1116—1121.
- 贾变桃, 沈晋良, 刘永杰, 2006. 甜菜夜蛾对虫酰肼的抗性监测及抗性风险评估. *棉花学报*, 18 (3) :164—169.
- 刘娟, 芮昌辉, 范贤林, 董利霞, 2009. 棉铃虫对甲氧虫酰肼的抗性遗传力. *植物保护学报*, 36 (4) :351—355.
- 慕卫, 2002. 甜菜夜蛾抗药性及其机理研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.
- 王建军, 田大军, 庄静, 2009. 斜纹夜蛾对甲氧虫酰肼的抗性选育及抗性风险评估. *江苏农业学报*, 25 (1) :79—83.
- 王贻莲, 2005. 甜菜夜蛾对虫酰肼类杀虫剂抗性发展的初步监测研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.
- 徐进, 贾晖, 仵均祥, 张毅, 冯志强, 郭鹏飞, 李钢, 付小军, 惠军涛, 2010. 甜菜夜蛾无公害防治研究. *陕西农业科学*, 2 :72—74.