

甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾亚致死效应研究

王建军, 田大军

(扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009)

摘要:在室内研究了甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾的亚致死效应。结果表明,亚致死剂量甲氧虫酰肼能抑制斜纹夜蛾幼虫的生长发育,显著降低产卵量和孵化率。此外,研究还发现,亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾酯酶、多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶具有一定的诱导作用。与对照相比,LC₁₀ 剂量甲氧虫酰肼处理斜纹夜蛾 24 h 后以及 LC₃₀ 剂量处理 48 h 和 96 h 后,酯酶活性显著提高;LC₁₀ 剂量处理 24 h 后,多功能氧化酶活性显著提高;LC₃₀ 剂量处理 96 h 后,谷胱甘肽 S-转移酶活性显著提高。

关键词:亚致死效应;甲氧虫酰肼;斜纹夜蛾;解毒酶

中图分类号: S435.622 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2009)03-0212-06

Sublethal Effects of Methoxyfenozide on *Spodoptera litura* (Fabricius)

WANG Jian-jun, TIAN Da-jun

(College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Methoxyfenozide (RH-2485) belongs to a new group of insect growth regulators, bisacylhydrazines, which mimic natural insect moulting hormone by binding competitively to ecdysteroid receptors and inducing a premature larval moult. Although acute toxicity tests have shown that methoxyfenozide is the most potent non-steroidal ecdysone agonist to date against larval Lepidoptera, and exhibits a high degree of safety to non-target insects, knowledge about the sublethal effects of methoxyfenozide is still limited. Considering that non-lethal impacts of insecticides on various life history parameters may affect pest population dynamics, we investigated the sublethal effects of methoxyfenozide on *Spodoptera litura* (Fabricius), a worldwide-distributed agricultural pest. Based on the bioassay results, 3rd instar larvae of *S. litura* were treated with methoxyfenozide at concentrations corresponding to LC₃₀ and LC₁₀ by the artificial diet incorporation method. Higher rate of deformed pupa and lower eclosion rate were observed, and the fecundity and egg hatchability were significantly decreased compared with control, suggesting that methoxyfenozide at sublethal concentrations had a negative effect on population development of *S. litura*. The sublethal effects of methoxyfenozide on detoxification enzymes were also studied. After exposure to methoxyfenozide at LC₁₀ for 24 h and LC₃₀ for 48 h and 96 h, the activities of esterase (EST) were significantly increased compared with control. The activities of microsomal multifunctional oxidase (MFO) and glutathione S-transferases (GST) were also significantly enhanced when 3rd instar larvae were treated with methoxyfenozide at LC₁₀ for 24 h and LC₃₀ for 96 h, respectively. These results indicated that detoxification enzymes of *S. litura* could be induced by methoxyfenozide depending on the concentration and the time after treatment. Finally, the importance of sublethal effects of insecticides on development, reproduction and detoxification enzymes of pests were discussed.

Key words: sublethal effects; methoxyfenozide; *Spodoptera litura*; detoxification enzymes

收稿日期: 2008-06-05

作者简介: 王建军(1970-), 男, 博士, 副教授, drjianjun@yahoo.com.cn

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目资助(2006BAD08A08)

斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) 是一种世界性分布的重要农业害虫,可严重危害棉花、大豆、烟草和蔬菜等多种重要的经济作物^[1-2]。斜纹夜蛾每年可发生多代,发生量大,易暴发成灾。目前对斜纹夜蛾的防治仍以化学防治为主,大量化学杀虫剂的使用导致斜纹夜蛾对有机氯、有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯以及苏云金杆菌(Bt)等多类杀虫剂产生了不同程度的抗药性^[3-4]。

甲氧虫酰肼(methoxyfenozide, RH-2485)是由罗姆-哈斯公司(Rohm-Hass)开发的新型酰基肼类杀虫剂,通过作用于蜕皮激素受体而导致昆虫致死性蜕皮^[5]。该药剂对鳞翅目昆虫具有高度的选择毒性,并且对环境和非靶标生物安全,已经成为替代有机磷和拟除虫菊酯类杀虫剂防治棉花、玉米、蔬菜及其它农作物上多种鳞翅目害虫的理想品种^[6]。田间试验表明,甲氧虫酰肼对棉花斜纹夜蛾的药效与溴虫腈相当,但持效期长,是防治斜纹夜蛾的理想药剂^[7]。本文研究了亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾生长发育和解毒酶系的影响,旨在了解斜纹夜蛾对甲氧虫酰肼的亚致死效应,从而为合理使用该杀虫剂及斜纹夜蛾抗性综合治理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试虫源及饲养

供试斜纹夜蛾于2004年采自河北廊坊,室内不接触任何药剂饲养2年以上。

供试幼虫用人工饲料在培养皿(直径9 cm)中饲养,人工饲料配方为麦胚粉550 g、大豆150 g、琼脂60 g、酵母粉40 g、对羟基苯甲酸甲酯8.0 g、山梨酸4.0 g、肌醇0.65 g、头孢1 g、甲醛4 mL、复合维生素14.13 g、水2000 mL。成虫在一次性塑料杯(直径5 cm,高11 cm)内的蜡纸上产卵,每杯两雄两雌,喂以10%蜂蜜水。饲养条件为温度 $27\pm 1^{\circ}\text{C}$,光照D16:L8,相对湿度70%~80%。

1.2 供试药剂

24%雷通(甲氧虫酰肼)悬浮剂(美国陶氏益农公司),甲萘酚(上海同方精细化工有限公司,化学纯), α -乙酸萘酯(上海试剂一厂,化学纯),固蓝B盐(国药集团化学试剂有限公司,化学纯),2,4-二硝基氯苯(CDNB)(上海生工生物工程有限公,化学纯),还原型谷胱甘肽(GSH)(第二军医大学政翔试剂化学研究所),对硝基苯酚(Bio

Basic Inc,分析纯),对硝基苯甲醚(AIfa Aesar,分析纯),还原型辅酶 II 四钠盐(NADPHNa₄)(Bio Basic Inc 进口分装),牛血清蛋白(上海蓝季科技发展有限公司),考马斯亮蓝 G250(上海化学试剂采购供应站)。

1.3 毒力测定

采用饲料混毒法。用水将雷通稀释成系列浓度梯度,在人工饲料配置后期,将其加入并混匀($V_{\text{甲氧虫酰肼}}:V_{\text{人工饲料}}=1:9$),使美满混入人工饲料后的浓度分别为6、3、1.5、0.75、0.375、0.1875 mg·L⁻¹,清水作为对照。具体做法是:在一次性塑料杯中分别加入5 mL 10倍于欲配置饲料浓度的药液,再分别加入45 mL人工饲料,立即搅匀,然后放入4℃冰箱保存待用。将已配好的混毒饲料加入培养皿,每个培养皿接10头3龄斜纹夜蛾幼虫,重复3次。96 h后检查死亡率,虫体变小严重发黑、表皮畸形、针刺没有反应或不能协调运动的试虫为死亡。

1.4 亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾生长发育的影响

根据毒力回归线求得LC₁₀、LC₃₀,配置相应浓度的混毒饲料(配置方法同1.3),清水作为对照。在指形管中装入1.5~2 g混毒饲料,每管接入大小和体重较一致、饥饿24 h的3龄斜纹夜蛾幼虫,每处理30头,4 d后更换成无毒的人工饲料。分别称取初始、4 d、6 d后的虫重,第一天蛹重,观察并记录3龄~6龄的发育历期、蛹期、畸蛹率、羽化率、畸翅率、产卵量和孵化率。

1.5 亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾解毒酶的影响

分别用LC₁₀、LC₃₀浓度的甲氧虫酰肼处理斜纹夜蛾3龄幼虫(方法同1.4),分别于处理后24 h、48 h和96 h取试虫置于-70℃冰箱中保存,供相关酶系的活性测定。

1.5.1 酯酶活性的测定。参照Harold等^[8]方法。将各时间段取出的3头斜纹夜蛾幼虫在1 mL 0.1 mol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH=7.5)中冰浴匀浆,匀浆液于12000 g,4℃离心15 min,上清液做酶液备用,平行重复3次。将27 mg固蓝B盐溶解于45 mL 0.1 mol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH=7.0),加入 α -乙酸萘酯(0.113 mol·L⁻¹,溶于50%丙酮)100 μL ,滤纸过滤作为底物溶液。反应体系含4 mL底物溶液和20 μL 匀浆液,于25℃水浴反应30 min,待颜色稳定后在722 N可见分

光光度计上于 595 nm 测吸光值。对照以 20 μL 磷酸缓冲液(0.1 mol \cdot L⁻¹, pH=7.5)代替酶液。以 mOD \cdot min⁻¹ \cdot mg⁻¹ 表示酶活性。

1.5.2 谷胱甘肽 S-转移酶活性的测定。 参照 Scharf 等^[9] 方法。酶液制备同 1.5.1。配制 63 mmol \cdot L⁻¹ CDNB 甲醇溶液作为 CDNB 储存液, 配制含 15 mmol \cdot L⁻¹ 还原型谷胱甘肽的 0.1 mol \cdot L⁻¹ 磷酸缓冲液(pH=6.5)作为 CDNB 分析液。反应体系为 20 μL 酶液加 3.22 mL CDNB 分析液和 160 μL CDNB 储存液, 25 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 30 min, 在 722 N 可见分光光度计上于 334 nm 测 OD 值。以 mOD \cdot min⁻¹ \cdot mg⁻¹ 表示酶活性。

1.5.3 多功能氧化酶 O-脱甲基活性的测定。 参照 Shang 等^[10] 方法。将各时间段取出的 3 头斜纹夜蛾幼虫在 1.5 mL 磷酸缓冲液(0.1 mol \cdot L⁻¹, pH=7.8)中充分匀浆, 经玻璃棉过滤后, 10000 g, 4 $^{\circ}\text{C}$ 离心 15 min, 上清液作酶液备用, 平行重复 3 次。反应体系含酶液 1 mL、NADPH (0.25 g \cdot L⁻¹, 缓冲液配制) 1 mL、52.5 mmol \cdot L⁻¹ 对硝基苯甲醚(丙酮配制) 0.1 mL 和磷酸缓冲液 0.9 mL。置 37 $^{\circ}\text{C}$ 气浴摇床中振荡 30 min, 加 1 mol \cdot L⁻¹ HCl 1 mL 终止反应后, 加入氯仿 5 mL 摇匀抽提。在氯仿层移取入 3 mL 到另一试管内, 加 0.5 mol \cdot L⁻¹ NaOH 3 mL 萃取, 取水相 2 mL 于比色皿中, 在 722 N 可见分光光度计上于 400 nm 处测定 OD 值。以 mOD \cdot min⁻¹ \cdot mg⁻¹ 表示酶活性。

1.5.4 蛋白质含量测定。 参照 Bradford^[11] 考马斯亮蓝 G-250 法。

1.6 数据分析

LC₅₀ 计算、完全随机设计单因素方差分析和 LSD 多重比较均使用 DPS 软件。

2 结果与分析

2.1 甲氧虫酰肼亚致死剂量的确定

根据生物测定结果, 利用几率值分析法建立的毒力回归方程为 $y = 4.6629 + 1.5326x$, $r = 0.9117$, 计算得 LC₅₀ 为 1.6594 mg \cdot L⁻¹, LC₁₀ 和 LC₃₀ 分别为 0.2420 和 0.7547 mg \cdot L⁻¹。LC₁₀ 和 LC₃₀ 2 个亚致死剂量作为下面研究的药剂用量。

2.2 亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾生长发育的影响

亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾生长发育的影响见表 1。与对照相比, LC₃₀ 甲氧虫酰肼对

斜纹夜蛾幼虫的体重有明显影响, 并且延长了 3 龄到 6 龄幼虫发育时间, 但 LC₁₀ 甲氧虫酰肼影响较小。试验还发现, 尽管 LC₁₀ 和 LC₃₀ 甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾蛹期没有影响, 却提高了畸蛹率和畸翅率, 降低了羽化率, 并且这些影响随着剂量的增加而加大。此外, 处理组的产卵量和孵化率与对照相比都显著降低, LC₁₀ 甲氧虫酰肼处理的斜纹夜蛾单雌产卵量和孵化率分别只有 931 粒和 32%, 而 LC₃₀ 甲氧虫酰肼处理的斜纹夜蛾只有 532 粒和 2%, 说明甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾有一定的化学绝育性。

2.3 亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾解毒酶的影响

2.3.1 酯酶。 亚致死剂量甲氧虫酰肼对酯酶的影响见表 2。处理和对照斜纹夜蛾酯酶活性都随着发育时间的增加而逐渐提高。与对照相比, LC₁₀ 剂量甲氧虫酰肼处理斜纹夜蛾 24 h 后以及 LC₃₀ 剂量甲氧虫酰肼处理斜纹夜蛾 48 h 和 96 h 后, 酯酶活性显著提高。

2.3.2 多功能氧化酶。 亚致死剂量甲氧虫酰肼对多功能氧化酶的影响见表 3。处理和对照斜纹夜蛾多功能氧化酶活性都是在 96 h 最高。与对照相比, LC₁₀ 甲氧虫酰肼处理斜纹夜蛾 24 h 后, 多功能氧化酶活性显著提高。但在 LC₁₀ 和 LC₃₀ 剂量甲氧虫酰肼处理斜纹夜蛾 48 h 和 96 h 后, 多功能氧化酶活性无显著差异, 表明亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾多功能氧化酶的诱导作用具有明显的时间效应。

2.3.3 谷胱甘肽 S-转移酶。 亚致死剂量甲氧虫酰肼对谷胱甘肽 S-转移酶的影响见表 4。与酯酶相似, 处理和对照斜纹夜蛾谷胱甘肽 S-转移酶都随着发育时间的增加而逐渐提高。与对照相比, LC₃₀ 甲氧虫酰肼处理斜纹夜蛾 96 h 后, 谷胱甘肽 S-转移酶活性显著提高。

3 讨论

随着毒理学的发展, 杀虫剂亚致死效应越来越受到重视。一方面, 一些药剂在较低剂量条件下对某些害虫产生刺激繁殖作用, 这也是导致害虫再猖獗的主要原因之一。如用溴氰菊酯 12.5 g \cdot hm⁻²、7.5 g \cdot hm⁻² 处理褐飞虱后, 分别引起褐飞虱产卵量提高 39%、60%^[12]。另一方面, 包括酰基肼类杀虫剂在内的一些药剂在亚致死剂量条件下能干扰害虫生长发育和繁殖, 从而对害虫种

群产生持续的控制作用。王贻莲等^[13]研究表明,虫酰肼能降低甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)产卵量、化蛹率、羽化率,提高畸形蛹、畸形蛾比例,缩短成虫寿命及产卵时间。Trisyo-no 和 Chippendale^[14]研究发现,0.03 mg·kg⁻¹和 0.06 mg·kg⁻¹虫酰肼以及 0.005 mg·kg⁻¹和 0.01 mg·kg⁻¹甲氧虫酰肼能够延缓西南玉米秆草螟 *Diatraea grandiosella* (Dyar) 幼虫发育,减轻蛹重,降低羽化率。在本研究中,与对照相比,

LC₁₀ 和 LC₃₀ 甲氧虫酰肼处理的斜纹夜蛾单雌产卵量和孵化率都显著降低。这种亚致死效应可能与甲氧虫酰肼干扰斜纹夜蛾的生殖生理行为有关。Seth 等^[15]研究表明,抑食肼和虫酰肼作用于斜纹夜蛾 6 龄幼虫后,能影响雄虫与未处理雌虫的正常交配,导致产卵量减少,孵化率降低,进一步研究发现,杀虫剂处理过的雄成虫精子转移能力下降。

表 1 亚致死浓度甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾生长发育和繁殖的影响

Table 1 Effects of sublethal concentration of methoxyfenozide on the development and reproduction of *S. litura*

发育阶段	LC ₃₀	LC ₁₀	CK
初始虫重/(g·头 ⁻¹)	0.1237±0.0466a	0.1048±0.0246a	0.1027±0.0276a
4 天重/(g·头 ⁻¹)	0.4118±0.1674b	0.5714±0.1472a	0.5967±0.1750a
6 天重/(g·头 ⁻¹)	0.5968±0.2486a	0.7272±0.2079a	0.8341±0.4953a
L3-L6/d	10.2500±1.9702a	8.8519±1.0991b	8.4667±1.0417b
蛹重/(g·头 ⁻¹)	0.2826±0.0486b	0.3065±0.0515ab	0.3326±0.0609a
蛹期/d	9.0000±0.8660a	9.2273±1.6119a	9.0800±0.7204a
畸蛹率/%	50.00	18.52	16.67
羽化率/%	90.00	95.45	100.00
畸翅率/%	20.00	13.64	12.00
成虫寿命/d	6.3333±1.3663a	7.3333±2.4221a	8.0000±1.2910a
单雌产卵量/粒	532±105c	931±370b	1841±114a
孵化率/%	1.9033±0.5705c	32.4333±2.8521b	90.9040±3.9612a

注:同行内同字母表示经 LSD 多重比较后差异不显著(P<0.05)。

表 2 亚致死浓度甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾酯酶活性的影响

Table 2 Effects of sublethal concentration of methoxyfenozide on the activity of esterase of *S. litura*

浓度	酯酶活性/(mOD·min ⁻¹ ·mg ⁻¹)		
	24 h	48 h	96 h
LC ₃₀	2396.043±168.0549ab	8427.8039±926.9516a	13151.5762±1163.7341a
LC ₁₀	2404.8622±199.7353a	6663.2995±395.8611b	7780.1128±168.5278b
CK	2080.3287±93.2577b	6359.5430±306.6418b	8590.1891±445.7837b

注:同行内同字母表示经 LSD 多重比较后差异不显著(P<0.05)。

表 3 亚致死浓度甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾多功能氧化酶活性的影响

Table 3 Effect of sublethal concentration of methoxyfenozide on the activity of MFOs of *S. litura*

浓度	多功能氧化酶活性/(mOD·min ⁻¹ ·mg ⁻¹)		
	24 h	48 h	96 h
LC ₃₀	11.4916±1.0053b	12.8474±1.4770a	17.5864±1.7659a
LC ₁₀	13.9143±0.1411a	13.4463±1.2087a	16.3344±0.4374a
CK	11.1462±0.7788b	12.0908±1.5172a	14.6744±1.5638a

注:同行内同字母表示经 LSD 多重比较后差异不显著(P<0.05)。

表 4 亚致死浓度甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾谷胱甘肽 S-转移酶活性的影响

Table 4 Effect of sublethal concentration of methoxyfenozide on the activity of GSTs of *S. litura*

浓度	谷胱甘肽-S-转移酶活性/(mOD·min ⁻¹ ·mg ⁻¹)		
	24 h	48 h	96 h
LC ₃₀	598.3±60.5a	810.8±76.3a	1122.3±199.8a
LC ₁₀	651.4±59.2a	746.5±27.2a	839.6±52.3b
CK	631.7±71.1a	812.4±39.5a	861.5±50.2b

注:同行内同字母表示经 LSD 多重比较后差异不显著(P<0.05)。

亚致死剂量杀虫剂不仅能影响害虫的生长发育和繁殖,也可以对害虫体内的解毒酶系产生诱导作用,并为害虫抗药性进化提供持续的选择压力^[16]。李晓涛等^[17]用 $0.0015\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 氟虫腈点滴处理二化螟4龄幼虫后,发现亚致死剂量氟虫腈对多功能氧化酶活性表现出显著的诱导效应。梁沛等^[18]用亚致死剂量阿维菌素和高效氯氰菊酯处理小菜蛾 *Plutella xylostella* 敏感品系后,发现两处理组的谷胱甘肽 S-转移酶活性与对照组比分别提高了42%和70%。Rumpf等^[19]用亚致死剂量氯氰菊酯处理褐蛉 *Micromus tasmaniae* 幼虫后,也发现其谷胱甘肽 S-转移酶活性显著增加,但用亚致死剂量苯氧威处理后,谷胱甘肽 S-转移酶活性却显著降低。高希武等^[20]研究发现,LD₅₀剂量的对硫磷和灭多威对棉铃虫3龄幼虫谷胱甘肽 S-转移酶的活性均没有影响。这些研究表明,亚致死剂量杀虫剂对不同昆虫、不同解毒酶活性的诱导作用存在差异。本研究发现,与对照相比,亚致死剂量甲氧虫酰肼对斜纹夜蛾酯酶、多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶活性具有一定的诱导作用,并且这种诱导作用具有明显的时间和剂量效应,推测酯酶、多功能氧化酶和谷胱甘肽 S-转移酶可能参与斜纹夜蛾对甲氧虫酰肼的解毒代谢,并且可能在斜纹夜蛾对甲氧虫酰肼的抗药性进化过程中具有重要作用。

参考文献:

- [1] MATSUURA H, Naito A. Studies on the cold-hardiness and overwintering of *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae). VI. possible overwintering areas predicted from meteorological data in Japan [J]. Applied Entomology Zoology, 1997, 32(1): 167-177.
- [2] 涂业苟,吴孔明,薛芳森,等. 不同寄主植物对斜纹夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响[J]. 棉花学报, 2008, 20(2):105-109.
TU Ye-gou, Wu Kong-ming, Xue Fang-sen, et al. Influence of host plants on larval development, adult fecundity and flight ability of the common cutworm, *Spodoptera litura* [J]. Cotton Science, 2008, 20(2): 105-109.
- [3] 周晓梅,黄炳球. 斜纹夜蛾抗药性及其防治对策的研究进展[J]. 昆虫知识, 2002, 39(2): 98-102.
ZHOU Xiao-mei, Huang Bing-qiu. Insecticide resistance of the common cutworm (*Spodoptera litura*) and its control strategies [J]. Entomological Knowledge, 2002, 39(2): 98-102.
- [4] KRANTHI K R, Jadhav D R, Wanjari R R, et al. Carbamate and organophosphate resistance in cotton pests in India, 1995 to 1999 [J]. Bulletin of Entomological Research, 2001, 91(1):37-46.
- [5] GLENN R C, Tarlochan S D, Ricky H, et al. The chemical and biological properties of methoxyfenozide, a new insecticidal ecdysteroid agonist [J]. Pest Management Science, 2001, 57:115-245.
- [6] 朱丽梅. 一个新的蜕皮激素拮抗剂——甲氧酰肼 [J]. 世界农药, 2001, 23(6):50-52.
ZHU Li-mei. Methoxyfenozide: a new ecdysone agonist [J]. World Pesticides, 2001, 23(6):50-52.
- [7] 刘道贵,包克勤. 24%美满悬浮剂控制棉花斜纹夜蛾的效果 [J]. 安徽农业科学, 2005, 33(10):1810.
LIU Dao-gui, Bao Ke-qin. The controlling effects of 24% methoxyfenozide suspension concentrate against cotton pest *Spodoptera litura* [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2005, 33(10):1810.
- [8] HAROLD J A, Ottea J A. Toxicological significance of enzyme activities in profenofos-resistant tobacco budworms, *Heliothis virescens* (F.) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1997, 58:23-33.
- [9] SCHARF M E, Neal J J, Bennett G W. Changes of insecticide resistance levels and detoxication enzymes following insecticide selection in the german cockroach, *Blattella germanica* (L.) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1998, 59:67-79.
- [10] SHANG C, Soderlund D M. Monooxygenase activity of tobacco budworm (*Heliothis virescens* H.) larvae: tissue distribution and optimal assay conditions for the gut activity [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1984, 79 B(3):407-411.
- [11] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72:248-254.
- [12] 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, 31(5):257-262.
WANG Yin-chang, Fan Jia-qin, Tian Xue-zhi, et al. Studies on the resurgent question of planthoppers induced by deltamethrin and methamidophos [J]. Entomological Knowledge, 1994, 31(5):257-262.
- [13] 王贻莲,司升云,汗钟信,等. 虫酰肼对甜菜夜蛾子代种群的影响 [J]. 植物保护学报, 2006, 33(2): 193-196.

- WANG Yi-lian, Si Sheng-yun, Wang Zhong-xin, et al. Influence of tebufenozide on progeny population of *Spodoptera exigua* [J]. *Acta Phytophylacica Sinica* 2006, 33(2):193-196.
- [14] TRISYONO A, Chippendale G M. Effect of the ecdysone agonists, RH-2485 and tebufenozide, on the Southwestern corn Borer, *Diatraea grandiosella* [J]. *Pesticide Science*, 1998, 53 (2):177-185.
- [15] SETH R K, Kaur J J, Rao D K, et al. Effects of larval exposure to sublethal concentrations of the ecdysteroid agonists RH-5849 and tebufenozide (RH-5992) on male reproductive physiology in *Spodoptera litura* [J]. *Journal of Insect Physiology*. 2004, 50:505-517.
- [16] CHATON P F, Ravanel P, Meyran J C, et al. The toxicological effects and bioaccumulation of fipronil in larvae of the mosquito *Aedes aegypti* in aqueous medium [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2001, 69(3):183-188.
- [17] 李晓涛, 黄青春, 唐振华, 等. 氟虫腈对二化螟生长发育的影响及对解毒酶的诱导效应 [J]. *农药学学报*, 2006, 8(3):250-254.
- LI Xiao-tao, Huang Qing-chun, Tang Zhen-hua, et al. Effects of fipronil on larval development and the induction to detoxification enzyme activity of *Chilo suppressalis* [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2006, 8(3):250-254.
- [18] 梁沛, 夏冰, 石泰, 等. 阿维菌素和高效氯氟菊酯亚致死剂量对小菜蛾谷胱甘肽 S-转移酶的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8(3):65-68.
- LIANG Pei, Xia Bing, Shi Tai, et al. Effect of sublethal doses of abamectin and β -cypermethrin on glutathione S-transferases in diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2003, 8(3):65-68.
- [19] RUMPF S, Hetzel F, Frampton C. Lacewings (Neuroptera: Hemerobiidae and Chrysopidae) and integrated pest management; enzyme activity as biomarker of sublethal insecticide exposure [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1997, 90 (1):102-108.
- [20] 高希武, 董向丽, 郑炳宗, 等. 棉铃虫的谷胱甘肽-S-转移酶(GSTs): 杀虫剂和植物次生物质的诱导与 GSTs 对杀虫剂的代谢 [J]. *昆虫学报*, 1997, 40(2):122-127.
- GAO Xi-wu, Dong Xiang-li, Zheng Bing-zong, et al. Glutathione S-transferase (GSTs) of *Helicoverpa armigera*: induction of insecticides and plant allelochemicals and metabolism of insecticides [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1997, 40(2):122-127. ●
-
- ◁211……(周娟, 等) 棉花茎枝叶形态模型研究
- [9] JALLAS E, Martin P, Sequeira R, et al. Virtual cottons, the firstborn of the next generation of simulation model [J]. *Virtual World*, 2000, 235-244.
- [10] HANAN J S, Heam A B. Linking physiological and architectural models of cotton [J]. *Agricultural System*, 2003, 75:47-77.
- [11] 杨娟, 赵明, 潘学标. 基于 NURBS 曲面的棉花器官建模 [J]. *计算机工程与应用*, 2005, 41(30):185-188.
- YANG Juan, Zhao Ming, Pan Xue-biao. Simulation of cotton organs based on NURBS [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2005, 41(30):185-188.
- [12] 曹卫星, 罗卫红. 作物系统模拟及智能管理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003, 44-47.
- CAO Wei-xing, Luo Wei-hong. *Crop system simulation and intelligent management* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003, 44-47.
- [13] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- Cotton Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. *Cotton cultivation in China* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983.
- [14] 高亮之. 农业模型学基础 [M]. 香港: 天马图书有限公司, 2004: 93-102.
- GAO Liang-zhi. *Foundation of agricultural modeling science* [M]. Hongkong: Tianma Book Ltd Co. Press, 2004: 93-102.
- [15] 潘学标. COTGROW: 棉花生长发育模拟模型 [J]. *棉花学报*, 1996, 8(4): 180-188.
- PAN Xue-biao. COTGROW: cotton growth and development simulation model [J]. *Cotton Science*, 1996, 8(4): 180-188. ●