

2011, 37(1): 0142–0146
ISSN 0257–4799; CN 32–1115/S
E-mail: CYKE@chinajournal.net.cn

几种常用杀虫剂对家蚕的毒力及亚致死剂量对家蚕生长发育的影响

罗雁婕^{1,2} 谢道燕¹ 柴建萍¹ 刘永光¹ 黄平¹ 丁伟²

(¹云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 云南蒙自 661100; ²西南大学植物保护学院, 重庆 400716)

摘要 采用食下毒叶法测定吡虫啉、炔螨特、溴虫腈、敌敌畏、辛硫磷和吡虫啉6种常用杀虫剂对家蚕的毒力,并研究炔螨特、溴虫腈、敌敌畏和吡虫啉4种杀虫剂的2种亚致死剂量(LC_5 、 LC_{15})对家蚕生长发育的影响,为蚕区桑园害虫防治选择对家蚕安全的杀虫剂提供参考。结果表明,6种杀虫剂对家蚕的毒力大小依次为吡虫啉>辛硫磷>敌敌畏>吡虫啉>溴虫腈>炔螨特,其对家蚕96 h的 LC_{50} 分别为0.256、0.556、8.912、50.689、119.715、351.691 mg/L,毒力皆随着时间的累积而增加;炔螨特、溴虫腈、敌敌畏3种杀虫剂的 LC_5 、 LC_{15} 2种亚致死剂量对存活家蚕幼虫的历期、眠蚕体质量、全茧量和茧层量与对照相比无明显差异,且相同药剂不同亚致死剂量间对家蚕的影响差异不显著。

关键词 杀虫剂; 毒力; 亚致死效应; 家蚕

中图分类号 S888.74⁺9; S881.2 **文献标识码** B **文章编号** 0257–4799(2011)01–0142–05

Toxicity and Effect of Sublethal Dosage of Several Common Pesticides to Growth and Development of the Silkworm, *Bombyx mori*

LUO Yan-Jie^{1,2} XIE Dao-Yan¹ CHAI Jian-Ping¹ LIU Yong-Guang¹ HUANG Ping^{1*} DING Wei²

(¹Institute of Sericulture & Apiculture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Mengzi Yunnan 661100, China;

²College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract In order to provide reference for choosing safe pesticides in controlling pests in mulberry gardens of silkworm (*Bombyx mori*) raising area, the toxicity of 6 common pesticides, namely pyridaben, propargite, chlorfenapyr, DDVP, phoxim and imidacloprid, to silkworm was assayed through feeding the larvae with poisoned leaves, and the effect of two sublethal dosages (LC_5 and LC_{15}) of 4 pesticides, namely propargite, chlorfenapyr, DDVP and imidacloprid, to silkworm growth and development was investigated. The results indicated that the toxicity of pesticides to the silkworm larvae were in the order of imidacloprid > phoxim > DDVP > pyridaben > chlorfenapyr > propargite. Their LC_{50} to silkworm at 96 h after treatment was 0.256, 0.556, 8.912, 50.689, 119.715 and 351.691 mg/L, respectively. And the toxicity increased with the prolongation of time. The developmental stages, body weight of molting larvae, cocoon weight and cocoon shell weight of survived larvae from treatments at LC_5 and LC_{15} of propargite, chlorfenapyr and DDVP showed no significant difference compared with the control. Moreover, no significant difference was observed between treatments at LC_5 and LC_{15} of the same pesticide.

Key words Pesticide; Toxicity; Sublethal effect; *Bombyx mori*

收稿日期:2010–10–17 接受日期:2010–11–17

资助项目:云南省自然科学基金项目(No.2010ZC170),现代农业产业技术体系建设专项(蚕桑)。

作者简介:罗雁婕(1979–),女,云南,助理研究员,博士研究生。

E-mail:yanjieluo@126.com

通信作者:黄平,副研究员。

E-mail:hp6988@vip.sohu.com

目前,桑园病虫害的防治仍以化学防治为主,因桑园病虫害防治药剂选择不当或用剂量、施药方法不当造成家蚕农药急、慢性中毒事件时有发生,已成为制约蚕桑生产稳定与发展的主要瓶颈之一^[1]。以往关于农药对家蚕的安全性研究主要集中在田间

施药后的残效期以及农药对家蚕的毒力评价。由于桑园中喷施的农药在环境中的毒力会随时间的推移而逐渐下降,在此过程中对家蚕的毒力会出现一个亚致死剂量,因此农药对家蚕的亚致死效应也逐渐成为近几年的研究热点^[1]。所谓亚致死效应是指受农药作用后存活生物个体在行为、生理、生物学性状等方面的异常变化,包括生物学和生态学行为的改变、生殖能力的变化、抗药性的发展等^[2]。本研究在测定6种桑园常用杀虫杀螨剂对家蚕的毒力基础上,选择其中4种杀虫剂的2种亚致死剂量(LC_5 、 LC_{15}),分析其对家蚕幼虫生长发育的影响,旨在阐明这些杀虫剂对家蚕的亚致死效应,为蚕区桑园害虫防治科学合理地选择和使用杀虫剂,以及桑园专用药剂的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试药剂与家蚕品种

供试杀虫剂:96%吡蚜灵(pyridaben)原药(山东省联合农药工业有限公司产品),90%炔螨特(propargite)原药(青岛瀚生生物科技股份有限公司产品),95%溴虫腈(chlorfenapyr)原药(云南省化工研究院产品),97%敌敌畏(DDVP)原药(天津农药厂产品),92.0%辛硫磷(phoxim)原药(昆明农药厂产品),95%吡虫啉(imidacloprid)原药(南京红太阳集团有限公司产品)。

家蚕品种:菁松×皓月(云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所提供)。

桑树品种:湖桑32号,16年生。

1.2 杀虫剂对家蚕的毒力测定及亚致死剂量的确定

在预试验基础上,采用食下毒叶法,将供试药剂用蒸馏水(含0.1% TritonX-100)稀释成6个系列浓度:吡蚜灵—500.0、250.0、125.0、62.5、31.25、15.625 mg/L;炔螨特—500.0、250.0、125.0、62.5、31.25、15.625 mg/L;溴虫腈—200.0、100.0、50.0、25.0、12.5、6.25 mg/L;敌敌畏—10.0、5.0、2.5、1.25、0.625、0.312 5 mg/L;辛硫磷—5.0、2.5、1.25、0.625、0.312 5、0.156 3 mg/L;吡虫啉—0.1、0.05、0.025、0.125、0.062 5 mg/L。选择无污染的适熟桑叶,去除叶柄后分别在各种药剂配制的系列浓度的

药液中浸渍1 min后取出,对照为蒸馏水(含0.1% TritonX-100),室内晾干后置于30 cm×20 cm×10 cm的塑料饲养框内,从2龄起蚕开始每天连续添食,每一种药剂的每一种浓度药液为一个处理区,每个处理设3个重复,每个重复饲养30头2龄起蚕。整个试验期间置于25℃±1℃、相对湿度75%~85%的恒温室内。连续添食药叶24 h和96 h后调查毒力情况,数据使用POLO软件处理,计算出半致死浓度(LC_{50})值和毒力回归方程斜率(b)。

1.3 杀虫剂对家蚕的亚致死效应试验

根据毒力回归方程,确定炔螨特、溴虫腈、敌敌畏、吡虫啉4种杀虫剂对家蚕3龄幼虫的 LC_5 、 LC_{15} 2种亚致死剂量。参照“1.2”的药叶处理方法,对照为蒸馏水(含0.1% TritonX-100),从2龄起蚕至5龄蚕期一直分别饲喂4种杀虫剂的2种亚致死剂量药液处理的桑叶,观察存活幼虫各龄期历期,并在每次就眠时称量存活眠蚕的体质量,并继续饲养至结茧、化蛹为止。结茧后1周称量全茧量、茧层量、蛹体质量。调查数据采用INST-AT数据分析软件处理。

2 结果与分析

2.1 6种常用杀虫剂对家蚕的毒力测定

从表1显示的检测结果可见,将6种供试杀虫剂的不同稀释药液分别给2龄起蚕连续添食24 h和96 h后,不同杀虫剂对家蚕的毒力具有明显的差异,连续添食药叶96 h后家蚕对药剂的敏感性从高到低依次为:吡虫啉>辛硫磷>敌敌畏>吡蚜灵>溴虫腈>炔螨特。食下敌敌畏、辛硫磷和吡虫啉药叶24 h对家蚕的 LC_{50} 分别为10.780、0.815和0.505 mg/L,而食下药叶96 h对家蚕的 LC_{50} 分别为8.912、0.556 mg/L和0.256 mg/L。食下吡蚜灵、炔螨特和溴虫腈药叶24 h和96 h对家蚕的 LC_{50} 则存在时间差异:家蚕取食经溴虫腈处理的桑叶24 h内没有引起明显的死亡,其 LC_{50} 值较大,但食下药叶96 h,对家蚕的 LC_{50} 为119.715 mg/L;吡蚜灵和炔螨特对家蚕96 h的毒力分别是24 h毒力的29.613和2.222倍。不同药剂处理对家蚕的致死作用不同,但药剂对家蚕的毒力皆随着时间的累积而增加。

表 1 6 种常用杀虫剂对家蚕幼虫毒力比较

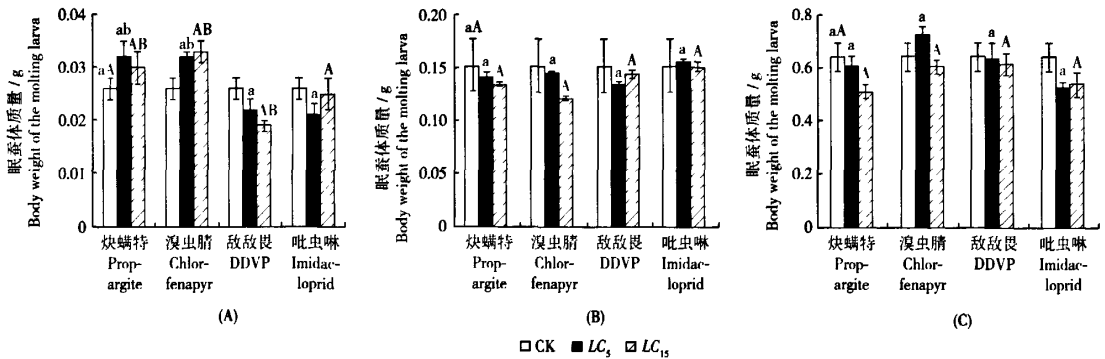
Table 1 A comparison on toxicity of 6 common pesticides to larvae of *Bombyx mori*

药剂 Pesticide	24 h			96 h	
	回归方程 b 值 $\pm$ xx b value of regression equation $\pm$ xx	LC_{50} / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (95% 置信区间 95% confidence interval)	回归方程 b 值 $\pm$ xx b value of regression equation $\pm$ xx	LC_{50} / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (95% 置信区间 95% confidence interval)	
吡虫啉 Pyridaben	1.202 ± 0.108	$1\,501.048 (619.139 \sim 25\,621.162)$	5.688 ± 0.300	$50.689 (44.930 \sim 57.336)$	
炔螨特 Propargite	4.260 ± 0.627	$781.291 (597.708 \sim 2\,202.087)$	2.883 ± 0.260	$351.691 (259.989 \sim 679.377)$	
溴虫腈 Chlorfenapyr	0.896 ± 0.503	$(> 5\,000.000)$	2.514 ± 0.135	$119.715 (100.137 \sim 148.880)$	
敌敌畏 DDVP	2.354 ± 0.437	$10.780 (9.110 \sim 12.771)$	2.486 ± 0.472	$8.912 (7.673 \sim 10.364)$	
辛硫磷 Phoxim	5.424 ± 0.326	$0.815 (0.734 \sim 0.896)$	6.945 ± 0.417	$0.556 (0.465 \sim 0.667)$	
吡虫啉 Imidacloprid	2.489 ± 0.103	$0.505 (0.356 \sim 0.683)$	6.815 ± 0.408	$0.256 (0.245 \sim 0.267)$	

2.2 4 种常用杀虫剂亚致死剂量对家蚕的亚致死效应

2.2.1 对眠蚕体质量的影响 微弱不良因素刺激会造成眠蚕体质量变化和眠性不齐,因此,眠蚕体质量是家蚕生长发育性状中较为敏感的指标之一^[3]。分别用 4 种杀虫剂的 LC_5 、 LC_{15} 亚致死剂量药液处理的桑叶饲喂家蚕 2 龄起蚕,其眠蚕体质量变化如图 1 所示:炔螨特和溴虫腈的 2

个处理组的 2 眠蚕体质量比对照显著增加 ($P < 0.05$),敌敌畏和吡虫啉 LC_5 亚致死剂量处理组与对照无显著差异,但敌敌畏 LC_{15} 亚致死剂量处理组的 2 眠蚕体质量比对照显著降低 ($P < 0.05$)。4 种杀虫剂的 2 种亚致死剂量处理对 3 眠蚕和 4 眠蚕体质量影响不大。同一药剂不同亚致死剂量间对同龄期眠蚕体质量的影响无显著差异 ($P > 0.05$)。



图柱上方标不同小写字母表示不同药剂 LC_5 亚致死剂量浓度处理差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 检验),
标不同大写字母表示不同药剂 LC_{15} 亚致死剂量浓度处理差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 检验)。

Different lowercase letters above the bars mean significant difference after treatment with LC_5 sublethal dosages of various pesticides ($P < 0.05$, Tukey test).
Different uppercase letters above the bars mean significant difference after treatment with LC_{15} sublethal dosages of various pesticides ($P < 0.05$, Tukey test).

图 1 4 种杀虫剂亚致死剂量对 2 眠期 (A)、3 眠期 (B)、4 眠期 (C) 家蚕幼虫体质量的影响

Fig. 1 Sublethal effects of 4 pesticides on body weight of the 2nd (A), 3rd (B) and 4th (C) instar molting larvae of *Bombyx mori*

2.2.2 对幼虫全龄经过的影响 经 4 种杀虫剂的 2 种亚致死剂量处理后的家蚕幼虫发育历期不同程度有所延长,其中敌敌畏亚致死剂量处理对家蚕幼虫的龄期影响最大 (表 2, $P < 0.05$)。

2.2.3 对蛹体质量的影响 吡虫啉的 2 种亚致死

剂量处理组的家蚕健蛹的体质量明显比对照减少 (表 2, $P < 0.01$),而其它 3 种杀虫剂的亚致死剂量对健蛹体质量的影响不显著,相同药剂的 2 个亚致死剂量处理组与对照之间的健蛹体质量并无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2.4 对全茧量的影响 如表2所示,4种杀虫剂的2种亚致死剂量处理对家蚕的全茧量影响不同:吡虫啉2个处理组的全茧量明显低于对照($P < 0.01$),其它药剂则对家蚕全茧量的影响没有显著差异。

2.2.5 对茧层量的影响 除了快螨特外的其它药剂 LC_5 与 LC_{15} 剂量组间对家蚕产茧量的影响无显著

性差异(表2, $P > 0.05$)。快螨特 LC_5 剂量组的茧层量与对照无差异,但 LC_{15} 剂量组的茧层量却明显下降($P < 0.01$),2个亚致死剂量间差异显著($P < 0.05$);吡虫啉2个处理组的茧层量低于对照($P < 0.05$),而溴虫腈2个处理组的茧层量则明显比对照高($P < 0.01$)。

表2 4种常用杀虫剂亚致死剂量对家蚕生长发育及产茧量的影响

Table 2 Sublethal effects of 4 common pesticides on *Bombyx mori* growth, development and cocoon yield

药剂 Pesticide	处理 Treatment	幼虫历期 / d Larval duration	健康蛹体质量 / g Healthy pupa weight	全茧量 / g Cocoon weight	茧层量 / g Cocoon shell weight
CK	-	25.800 ± 0.540	1.185 ± 0.039	1.608 ± 0.047	0.418 ± 0.016
快螨特 Propargite	$LC_5/62.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	26.700 ± 0.476	1.165 ± 0.029	1.560 ± 0.037	0.402 ± 0.014 a
	$LC_{15}/125.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	26.367 ± 0.577	1.061 ± 0.042	1.409 ± 0.093	0.297 ± 0.035 ** ab
溴虫腈 Chlorfenapyr	$LC_5/25.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	26.367 ± 2.309	1.253 ± 0.090	1.718 ± 0.107	0.470 ± 0.016 **
	$LC_{15}/50.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	28.700 ± 1.732	1.278 ± 0.108	1.756 ± 0.126	0.470 ± 0.018 **
敌敌畏 DDVP	$LC_5/1.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	29.700 ± 2.117 *	1.067 ± 0.021	1.510 ± 0.042	0.398 ± 0.018
	$LC_{15}/5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	30.800 ± 0.436 *	1.014 ± 0.027	1.442 ± 0.021	0.369 ± 0.025
吡虫啉 Imidacloprid	$LC_5/0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	28.267 ± 1.097	0.938 ± 0.012 **	1.270 ± 0.016 **	0.337 ± 0.003 **
	$LC_{15}/0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	29.433 ± 0.462	0.935 ± 0.062 **	1.259 ± 0.062 **	0.338 ± 0.020 *

表中数据为 $\bar{x} \pm s$; 同列数据后标有“*”、“**”分别表示同一亚致死浓度处理后药剂间在 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 水平差异显著; 同列数据后标有不同字母表示同一药剂不同亚致死剂量处理差异显著($P < 0.05$, Tukey 检验)。

Datum was of $\bar{x} \pm s$. Data in the same column followed by “*” and “**” mean significant difference at the $P < 0.05$ and $P < 0.01$ levels between different pesticides under the same sublethal dosage. Data in the same column followed by different letters means significant difference between different sublethal dosages of the same pesticide ($P < 0.05$, Tukey test).

3 讨论

亚致死剂量是一个剂量区间,不同的研究对象和研究目的其取值不同^[2],而不同药剂因作用机制、环境条件差异对家蚕的生理和行为的影响也不同^[4-5]。在本研究中,根据家蚕对快螨特、溴虫腈、敌敌畏和吡虫啉的毒力测定结果,分别选取4种杀虫剂的 LC_5 和 LC_{15} 剂量区间浓度药液自家蚕2龄起茧至5龄蚕期给家蚕添食,结果表明,在整个饲养期间家蚕取食药叶后,药剂对其生长发育和部分产量性状指标的影响不一致且受影响的程度也不同。其中,溴虫腈对家蚕的生长发育及产茧量无不良影响,这与马惠等^[3]的研究结果一致。许多杀虫剂对家蚕均为剧毒或高毒类农药^[5]。但溴虫腈作为高效广谱型杀虫杀螨剂,其在桑树害虫防治中应用前景较好^[3],王冕等^[6]、刘政军等^[7-8]随之开展了不同剂型溴虫腈在桑叶中的降解规律和对家蚕毒效的影响。家蚕对吡虫啉比较敏感,该杀虫剂的2种亚致

死剂量对家蚕的生长发育和产茧量都有较大影响,因此在对桑园病虫害的防治中应慎重选择使用。

杀虫剂的亚致死效应除了表现在对家蚕的生长发育产生影响,还会对家蚕食物的营养转化产生影响。朱九生等^[9]和高海燕等^[10]的研究表明,亚致死剂量的阿维菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对家蚕幼虫的生长和食物利用有明显的抑制作用,其生长指标、营养指标和营养效应指数均显著降低,而近似消化率显著升高。但也有研究认为在食物中添加少量的杀虫剂对家蚕食物的营养转化可产生正向影响^[11],这可能是毒物兴奋效应引起的,即接触低剂量杀虫剂呈刺激或促进作用,而高剂量接触呈抑制作用^[12]。此外,杀虫剂对昆虫的低剂量兴奋效应与亚致死剂量引起的效应有差别,杀虫剂的亚致死剂量能引起昆虫的不良效应,也可引起刺激效应,因此,Cohen^[13]将亚致死剂量所引起的刺激效应归结到毒物低剂量兴奋效应中。二者最大的区别在于:亚致死剂量的刺激效应仅对昆虫的某些指标具有刺

激作用,而对其它指标为抑制作用;低剂量兴奋效应对昆虫的某些指标具有刺激效应的同时,对其它指标并不抑制^[12]。在本研究中,亚致死剂量的溴虫腈使家蚕幼虫生长发育历期有所延长,但产茧量却有所增加,其原因有待进一步探索。

包括本研究供试的6种杀虫剂在内的多数杀虫剂对昆虫的亚致死效应研究中,均采用个体评价指标,如发育历期、生殖力等,但这样的评价方法并不完整,目前已将亚致死效应评价建立在种群水平上^[14-15],如陶士强等^[16-17]采用生命表作为研究手段,更全面评价药剂对桑园朱砂叶螨的亚致死效应,因此在种群水平上评估农药对家蚕影响的研究也有待深入。

目前涉及杀虫剂对家蚕亚致死效应的研究还包括对家蚕生理代谢、组织器官和培养细胞的影响^[1,18-20]。家蚕经人为创造的最佳生长环境条件长期驯养,其抗逆性减弱,对杀虫剂等有毒物质则更加敏感,故可通过杀虫剂影响家蚕的一些生理生化指标的变化来作为生物标记物^[21-23],例如, Nath等^[19]研究认为可通过家蚕乙酰胆碱酯酶(AChE)活性变化作为生物衡量指标用于监测桑园生态系统中的有机磷农药污染。

杀虫剂对生物的亚致死效应研究已成为一个新的热点^[24],研究杀虫剂对家蚕的亚致死效应除了侧重其对家蚕生长发育、食物利用和经济性状的影响外,充分利用杀虫剂对家蚕的低剂量兴奋效应以及将家蚕作为生物标记物指示有毒物质,也是具有应用前景的研究方向。

参考文献 (References)

- [1] 朱九生,王静,乔雄梧,等. 农药对家蚕(*Bombyx mori* L.)的亚致死效应研究进展[J]. 生态学报,2008,28(7):3335-3343
- [2] 王小艺. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应[J]. 世界农药,2004,26(3):24-27
- [3] 马惠,王开运,王红艳,等. 溴虫腈对家蚕和桑树害虫的毒力比较[J]. 昆虫学报,2006,49(4):599-603
- [4] 李保同. 六种杀虫剂对家蚕的毒性与安全评价研究[J]. 农药学报,2001,3(3):83-85
- [5] 司树鼎,王开运,林荣华,等. 25种农药对家蚕的毒性评价和中毒症状观察[J]. 蚕业科学,2007,33(3):422-426
- [6] 王冕,刘政军,王开运,等. 不同剂型溴虫腈在桑叶中残留对家蚕生长发育及产茧量的影响[J]. 蚕业科学,2009,35(3):608-612
- [7] 刘政军,谷淑波,王开运,等. 不同剂型溴虫腈对桑叶光合特性

- 及叶质的影响[J]. 蚕业科学,2009,35(2):362-366
- [8] 刘政军. 溴虫腈的剂型与毒效关系及其在桑叶中降解规律研究[D]. 泰安:山东农业大学,2009
- [9] 朱九生,王静,高海燕,等. 亚致死剂量阿维菌素对家蚕食物利用及中肠消化酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2008,19(11):2527-2532
- [10] 高海燕,王静,朱九生,等. 亚致死剂量甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对家蚕食物利用的影响[J]. 农药学报,2008,10(3):297-302
- [11] Radhakrishna P G, Delvi M R. Effect of organophosphorous insecticides on food utilization in different races of *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) [J]. Sericologia, 1992, 32, 71-79
- [12] 黄柯程,曾鑫年,黎卓莹. 低剂量杀虫剂对昆虫的兴奋性效应[J]. 生态毒理学报,2010,5(1):26-31
- [13] Cohen E. Pesticide-mediated homeostatic modulation in arthropods [J]. Pestic Biochem Phys, 2006, 85(1):21-27
- [14] Hamed N, Fathipour Y, Saber M. Sublethal effects of fenpyroximate on life table parameters of the predatory mite *Phytoseius plumifer* [J]. Biocontrol, 2010, 55(2):271-278
- [15] Kim M, Sim C, Shin D, Suh E, et al. Residual and sublethal effects of fenpyroximate and pyridaben on the instantaneous rate of increase of *Tetranychus urticae* [J]. Crop Protection, 2006, 25:542-548
- [16] 陶士强,吴福安. 杀虫剂螨危的亚致死剂量对朱砂叶螨种群参数的影响[J]. 蚕业科学,2009,35(4):865-868
- [17] 陶士强,吴福安,程嘉翎. 杀螨剂“克螨特”亚致死剂量对朱砂叶螨实验种群生命参数的影响[J]. 蚕业科学,2006,32(3):411-413
- [18] Nath B S. Shifts in glycogen metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) in response to organophosphorus insecticides toxicity [J]. Pestic Biochem Phys, 2003, 74(2):73-84
- [19] Nath B S, Kumar R P S. Toxic impact of organophosphorus insecticides on acetylcholinesterase activity in the silkworm, *Bombyx mori* L. [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 1999, 42(2):157-162
- [20] Nath B S. Changes in carbohydrate metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* L. exposed to organophosphorus [J]. Pestic Biochem Phys, 2000, 68(3):127-137
- [21] 马惠,王开运,刘亮,等. 农药对家蚕的毒性及安全评价研究进展[J]. 农药科学与管理,2005,26(5):15-17
- [22] Banni M, Negri A, Dagnino A, et al. Acute effects of benzo[a]pyrene on digestive gland enzymatic biomarkers and DNA damage on mussel *Mytilus galloprovincialis* [J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2010, 73(5):842-848
- [23] Adamski Z, Machalska K, Chorostkowska K, et al. Effects of sublethal concentrations of fenitrothion on beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) development and reproduction [J]. Pestic Biochem Phys, 2009, 94(2/3):73-78
- [24] Desneux N, Decourtaye A, Delpuech J M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods [J]. Annu Rev Entomol, 2007, 52:81-106