

农药对家蚕 (*Bombyx mori* L.) 的亚致死效应研究进展

朱九生^{1,2}, 王 静², 乔雄梧², 韩巨才^{1,*}

(1. 山西农业大学农学院, 太谷 030801; 2. 山西省农业科学院山西省农药重点实验室, 太原 030031)

摘要:明确农药对家蚕的影响对综合评价农药的生态效应与合理使用农药具有理论和实践意义。从生长发育、经济性状和食物利用方面综述了农药对家蚕的亚致死效应;从生理代谢、组织器官显微结构和培养细胞方面介绍了亚致死效应产生的机制,并结合杀虫剂对其它鳞翅目昆虫亚致死影响方面的研究结果对其进行了讨论,提出了今后加强研究的重点。总的来说,亚致死剂量农药的胁迫可使家蚕幼虫眠性不齐,眠蚕体重和蛹重减轻,发育历期延长,严重者结茧(上簇)时间推迟,且吐丝营茧功能失常,最终导致蚕茧质量下降。桑叶上残留的农药在一定程度上还会对家蚕的取食行为以及食物摄入后的消化吸收产生影响。农药对家蚕亚致死效应产生的机制目前主要有 3 个:家蚕体内正常生理水平和代谢平衡受到扰动、家蚕的一些重要组织器官如中肠和后丝腺等微形态结构受到损伤和家蚕卵巢细胞出现凋亡现象。农药对家蚕的亚致死效应因农药种类、试验剂量和家蚕受药时间而异,产生的机理也十分复杂。今后应着重开展新农药对家蚕亚致死效应研究,特别是对生化和分子机制方面的研究以及农药复合污染对家蚕影响的研究。

关键词:农药;亚致死剂量;家蚕;亚致死效应;机理

文章编号:1000-0933(2008)07-3334-10 中图分类号:Q965.9, S884.9+6 文献标识码:A

Research advance in sublethal effects of pesticides on silkworm, *Bombyx mori* L.

ZHU Jiu-Sheng^{1,2}, WANG Jing², QIAO Xiong-Wu², HAN Ju-Cai^{1,*}

1 College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

2 Key Laboratory of Pesticides of Shanxi, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3334 ~ 3343.

Abstract: Understanding the effects of pesticides on silkworms is important for both evaluation of pesticides ecological effects and rational application of pesticides. In this paper, effects of pesticides on growth and development, economic characters and food utilization of silkworm were reviewed. In addition, the mechanisms of sublethal effects of pesticides on silkworm, in terms of physiology and metabolism, tissue ultrastructure and cultured cell, were introduced and discussed by considering research results of sublethal effects of insecticides on other order lepidoptera. Overall, sublethal doses of pesticides result in inconsistent molting, reduced weight of both dormant larval and pupa and prolonged developmental duration. Sometimes, cocoon-making time of larvae affected seriously is delayed, and functions of cocoon-making or spinning are impaired. All of those in turn may influence cocoon quality and silk production. Food consumption and utilization of silkworm are also affected when exposed to sublethal doses of pesticides. Disruption of normal physiological and metabolic equilibrium, dramatically adverse changes in important tissues, such as midgut and silk gland, and damage

基金项目:山西省回国留学人员科研资助项目(2005-82)

收稿日期:2007-10-03; **修订日期:**2008-04-15

作者简介:朱九生(1963~),男,山西新绛人,副研究员,主要从事农药环境毒理学研究。E-mail: zjs5963@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xwqiao@public.ty.sx.cn

Foundation item: The project was financially supported by the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars of Shanxi Province(No. 2005-82)

Received date:2007-10-03; **Accepted date:**2008-04-15

Biography: ZHU Jiu-Sheng, Associate professor, mainly engaged in agricultural chemical environment toxicology. E-mail: zjs5963@163.com

of ovary cells are primary mechanisms for sublethal effects of pesticides on silkworm. sublethal effects of pesticides on silkworm are variable, and depend on pesticide types, experimental concentrations and treatment duration. Since the mechanisms of sublethal effects of pesticides on silkworm are complicated, it is necessary, further, to investigate sublethal effects of new pesticides on silkworm, in terms of biochemical and molecular mechanisms, and effects of combined pollution of pesticides on silkworm.

Key Words: pesticides; sublethal doses; silkworm; sublethal effects; mechanisms

家蚕(*Bombyx mori* L.)又名桑蚕、白蚕,是一种在农业生态系统中对环境十分敏感的鳞翅目昆虫,也是农药非靶标生物的代表物种之一。作为一种重要的经济昆虫,全世界因饲养家蚕而兴起的蚕丝业总产值高达上千亿美元^[1],而且随着世界经济贸易一体化进程的加快和高新技术的进步,蚕丝业将会带动其他行业如制造业、燃料业、服务业、服装业等快速发展,蚕业在世界的可持续发展前景十分广阔。

然而,家蚕在人们的长期驯养过程中,由于人为地提供适合其生长发育的环境条件,使其在经济性状得到充分表现的同时,抗逆性明显减弱,极易受到外界各种因素如温度、湿度、食物以及农药等的影响^[2]。其中,农药的使用具有明显的不确定性,不仅使用种类、剂量和次数因年份或防治对象而异,而且不同品种的作用机制也不尽相同,并且新的农药品种不断问世,造成家蚕农药中毒事件频繁发生^[3~6],这已成为制约蚕桑业发展的主要瓶颈之一^[5~7]。目前国内外有许多关于农药对家蚕影响的研究报告,研究内容一方面集中在田间施药后农药对家蚕的残效性测定以及在实验室条件下农药与家蚕的剂量效应关系,即各种农药的毒力测定实验^[8~16];另一方面则集中在农药对家蚕的生长发育、生理和行为等方面的亚致死效应^[17~23],并逐渐成为研究的重点。开展农药对家蚕的亚致死效应研究不仅为蚕桑区合理使用农药进行有害生物治理提供科学依据,而且也是利用家蚕作为环境质量指示生物的理论基础。本文就近年来有关农药对家蚕亚致死效应研究进展作一综述,并就该研究领域存在问题和今后的研究重点提出了思考。

1 亚致死效应及其家蚕接触亚致死剂量农药的途径

农药施用于田间后,除了对目标生物的直接杀伤作用外,随着个体间接触药量的差异以及时间的推移,对部分目标生物个体或抗药性个体或非目标生物还存在着亚致死效应^[24~28]。亚致死效应是指受农药作用后存活个体在行为、生理、生物学等方面的异常变化,包括生物学和生态学行为的改变、生殖力的变化、抗药性的发展等^[28]。一些特异性杀虫剂如昆虫生长调节剂对鳞翅目昆虫的亚致死效应主要体现在成虫寿命、生殖力和种群动态变化等方面^[29~31]。对引起亚致死效应的农药剂量迄今为止还没有一个严格和统一的界定,一般把不引起实验对象死亡,但对其正常的行为或生理活动有亚致死效应的剂量称之为农药的亚致死剂量。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^[25,27,32]。由于不同剂量对试验生物生理和行为的影响程度不同,从应用的角度出发,亚致死剂量的取值范围不宜脱离试验农药在环境中的实际残留量值。

农药对桑叶和蚕室的污染及家蚕接触亚致死剂量农药的途径可以归纳为以下几个方面。(1)外源污染:农药是在桑园附近的农田使用,而不是直接施在桑园里,经由水源(水稻等作物用药后,因夏秋季多雨,导致含有农药的田间水流入池塘沟渠,经桑园治虫用水二次污染桑园)^[33]、空气(农作物治虫时农药雾滴通过风雨的携带,漂落到临近的桑园,特别是使用迷雾机喷药时,由于雾滴细,更易造成农药漂移)^[4~6,33,34]和器械(喷雾器等用药器械农田、桑园混用,造成污染)^[6,33]3种途径污染桑园。通过外源污染到达桑叶上的农药其浓度要低于田间实际使用浓度,家蚕一旦食用此类桑叶就有可能接触到亚致死剂量农药。(2)内源污染:桑园防治病虫害用药不当造成的污染^[6,33,34]。由于气候的变化,桑园病虫害呈多发性趋势,虫害基数大、种类多、危害重,加之目前乡村蚕桑技术网络不健全,技术指导不到位,桑园治虫不当造成桑叶污染和家蚕中毒现象时有发生。主要表现为:一是用药浓度过大,残效期延长;二是多使用农药混配制剂(通常是在短残效期杀虫剂中混入少量的长残效期农药如拟除虫菊酯类杀虫剂)或农药成份掺假,虽治虫效果极好,但残效期特别

长。家蚕如果食用那些因各种原因(桑园郁蔽,通风透光极差,降雨减少,雨水冲刷净化能力下降等)农药未完全降解或仍在残效期内的桑叶,也有可能接触到亚致死剂量农药。(3)蚕室空气污染:在桑园、蚕室附近的农田喷施农药时,农药雾滴随风漂浮至蚕室,可造成空气污染,引起家蚕农药中毒^[6]。此外,蚕具及养蚕用品清洗或消毒不当,也有可能引起家蚕微量农药中毒^[6]。

2 农药对家蚕的亚致死效应

农药可以直接引起家蚕死亡,也会对家蚕的生长发育、取食行为等方面产生不良影响。特别是接触农药亚致死剂量后的家蚕,其死亡率很低或者不死亡,但正常的生长发育和生理代谢受到干扰,家蚕的经济性状和营养利用效率也因此受到影响。

2.1 对家蚕的生物学影响

生长现象是家蚕体内各种生理作用的综合表现,主要包括体重、体积、体表面积等方面的增长。其中,眠蚕体重是家蚕生长发育较为敏感的指标之一,微量的农药就有可能造成眠蚕体重的变化和眠性的不齐。Saha等^[23]用有机磷农药噻硫磷($10, 20, 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理过的桑叶饲喂家蚕后,家蚕幼虫、蛹和成虫体重均显著降低,并且随着浓度的增高影响程度加大。用磷胺和马拉硫磷处理的家蚕,其幼虫体重也明显低于对照^[23, 35]。鲁兴萌等^[22]用微量氯氰菊酯($0.11 \times 10^{-6} \sim 1.08 \times 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理家蚕后,3龄眠蚕的体重显著下降,并且随着氯氰菊酯浓度的升高,处理组有入眠时间推迟和眠性不齐的趋势。张海燕等^[36]用微量阿维菌素($0.1 \times 10^{-3}, 1.0 \times 10^{-3}, 10.0 \times 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理4龄起蚕(刚蜕皮进入4龄期的蚕叫4龄起蚕), $1.0 \times 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上浓度阿维菌素连续添食后眠蚕体重显著减轻,虽然试虫中大部分能够入眠,但入眠的时间有所推迟。

发育历期延长也是农药对家蚕生物学影响的一个重要方面。经噻硫磷($10, 20, 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理过的家蚕,幼虫历期和蛹历期显著延长^[23]。经杀虫双($1.7 \times 10^{-9} \sim 1.7 \times 10^{-11} \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$)处理过的家蚕,不论是春蚕还是秋蚕,其幼虫蜕皮期和发育历期都比对照要长^[37]。对3龄起蚕进行连续添食用氯氰菊酯($0.1 \times 10^{-6}, 1.0 \times 10^{-6}, 10.0 \times 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理过的桑叶,3龄期家蚕未见明显中毒症状,但入眠推迟,龄期延长,其后食桑量降低、行动迟缓^[38]。

农药对家蚕的生殖力也有一定的影响。Begum等^[39]就硫丹等7种农药的亚致死剂量对家蚕的影响进行了研究,发现用有机氯农药硫丹($2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)和七氯($100, 200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理后的雌蛾产卵量减少,未受精卵数量增加,孵化率降低。用有机磷农药噻硫磷和敌敌畏、氨基甲酸酯类农药西维因、拟除虫菊酯类农药氯氰菊酯处理家蚕后也得出相似的结论^[23, 40~43]。

根据 Begum 等人^[39]的研究结果,农药对家蚕生物学亚致死效应可概况为以下几个方面:对幼虫而言,处理后的幼虫体重减轻,虫体开始收缩变小,一些幼虫不能吐丝结茧,大部分幼虫在吐丝过程中死于簇格中,有些幼虫虽能正常结茧,但不能化蛹。对蛹而言,蛹体变小,有些不能发育成成虫或成虫发育不全,或在羽化前后死亡。对成虫而言,羽化后的蛾子不能正常交尾,产不育卵数量增加。子代幼虫有些死于胚胎发育过程中,有些不能正常孵化或孵化后24h后死亡。

2.2 对家蚕经济性状的影响

蚕茧质量的高低,关系着蚕业生产的经济效益,关系着整个茧丝绸行业的生存与发展。通常用全茧量、茧层量、茧层率3个重要经济指标来衡量蚕茧质量的高低。

用杀螟硫磷和乙硫磷的亚致死剂量($0.2LD_{50}$)处理的桑叶饲喂5龄家蚕至上簇,全茧量、茧层量和茧层率均显著降低,其中,乙硫磷的影响程度大于杀螟硫磷^[44]。用不同浓度的三唑磷处理家蚕,高于 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度处理的家蚕结茧时间比对照晚1~3d,部分家蚕上簇后吐平板丝,或吐很薄的一层丝后即死亡;还有部分家蚕虽丝腺较发达,但不结茧,体色渐渐发黑死亡;有些家蚕虽能够结茧,但蚕茧明显小于对照,茧层较薄,全茧量与茧层率等指标明显降低^[45]。用微量氯氰菊酯处理过的桑叶连续喂饲家蚕,家蚕除入眠时间推迟和眠性不齐外,上簇过程更为延长。开始和结束上簇与对照处理的时间有一定的差异,并且这种差异程度随用药剂量的增高而加大;当连续喂饲浓度在 $1.08 \times 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 染药桑叶时,全茧量显著下降;当连续喂饲浓度在

$10.80 \times 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 染药桑叶时,全茧量和茧层率均极显著下降^[22]。何丽华等^[46]用不同浓度甲基锡在不同时间添食饲喂家蚕至上簇结茧,发现添食甲基锡浓度 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 试验组茧层量和茧层率分别低于对照区。昆虫生长调节剂噻嗪酮虽对家蚕的死亡率和发育历期没有影响,但全茧量和茧层量与对照有一定的差异^[47]。可见,在亚致死剂量农药胁迫下,家蚕经济性状受到影响,表现在结茧(上簇)时间延迟,全茧量或茧层量或茧层率降低。其影响程度因农药品种、接触农药的时间和剂量而异。

2.3 对家蚕营养利用效率的影响

不同的营养条件对昆虫食物利用的影响可通过计算取食量、利用率、转化率、消化率等指标加以分析。利用这些指标可以估计不同条件下昆虫的营养利用效率,评价昆虫生长的优劣程度。

有研究表明,农药对家蚕的食物利用有负面的影响。Vyjayanthi 等^[21]采用标准重量分析法研究了氰戊菊酯亚致死剂量(LD_{25})对迈索尔(Mysore)和 NB_4D_2 家蚕品种 4 龄和 5 龄幼虫饲料利用率的影响。结果表明,用氰戊菊酯点滴处理后的两种家蚕品种,不论是 4 龄幼虫还是 5 龄幼虫,其营养指数(包括取食量、同化率)和营养效率指数(包括食物利用率、食物转化率)均显著降低,并且随着用药浓度的增高其影响程度增大。分析认为,这是氰戊菊酯干扰了家蚕取食行为和扰动了体内消化生理的结果。

但也有研究认为,在食物中添加少量的杀虫剂对家蚕食物利用可产生正向影响。Radhakrishna 等^[48]研究了有机磷杀虫剂对不同家蚕品种饲料利用率的影响。结果显示,在桑叶上添加低浓度的杀螟硫磷和乙硫磷时,家蚕食下桑叶转化成体质的量增加,转化效率和转化比率增高,家蚕的经济性状显著改善。但家蚕不同品种间表现出不同的同化效率。家蚕品种 NB_4D_2 饲以杀螟硫磷和乙硫磷处理过的桑叶后表现出同化效率降低,而家蚕品种迈索尔在饲以相同杀虫剂处理过的桑叶后同化效率增加。前者同化效率的降低可由转化效率的增加得以补偿,即幼虫通过降低用于呼吸的能量而增加转化效率。

可以推测,桑叶上存在的农药可能在一定程度上改变了家蚕食物的性质(食物适口性和营养成分比例等),从而影响家蚕的取食行为以及摄入后的消化吸收等。

3 农药对家蚕亚致死效应的机制

目前涉及到农药对家蚕亚致死效应作用机制的研究主要包括对家蚕生理代谢、组织器官和培养细胞的影响 3 个方面。

3.1 对家蚕生理代谢的影响

3.1.1 对靶标酶的影响

在昆虫和其它节肢动物中,乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)能够迅速水解兴奋性神经递质乙酰胆碱而保持神经突触传递的正常功能,是有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的重要作用靶标,其活性变化是敏感的农药毒理学指标,已被广泛应用于农药的毒性和环境污染评价。

用有机磷杀虫剂杀螟硫磷和乙硫磷的亚致死剂量($0.2LC_{50}$)处理 5 龄家蚕后,试蚕脑部、脂肪体和丝腺体中的 AChE 活性均受到抑制,同时组织中乙酰胆碱含量升高^[49]。表明有机磷杀虫剂的胁迫可干扰家蚕神经中枢细胞的能量代谢过程,使家蚕正常的生理代谢失衡和行为发生改变。家蚕脑部 AChE 可以作为生物标记物用于监测桑园生态系统中的有机磷农药污染^[49]。

3.1.2 对家蚕体内保护酶的影响

生物体内含有多种抗氧化酶,它们在清除体内过量的自由基、保护细胞免受损伤中起着重要作用。其中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)是机体重要的抗氧化系统成员,丙二醛(MDA)是细胞脂质过氧化的最终产物,因此,检测超氧化物歧化酶和脂质过氧化物丙二醛的含量,可以反映机体清除自由基的能力及细胞受损的严重程度^[50],对家蚕来说就可以检测家蚕受到农药侵害的严重度。

朱越雄等^[51]测定了乐胺磷对家蚕 5 龄幼虫血液超氧化物歧化酶活性的影响。结果显示,处理后 48h 以内,血液中 SOD 的活性均高于对照,但至 5 龄后期血液中 SOD 活性低于对照;并且乐胺磷浓度越大,对 SOD 活性影响越大。这也说明 SOD 活力在家蚕受到农药的胁迫时,能够作出相应的含量变化。因此可以通过测

定 SOD 活性来描述家蚕受到毒害的程度以及环境的污染程度。

3.1.3 对家蚕体内蛋白含量和消化酶活性的影响

全变态昆虫幼虫的体液蛋白主要是一种贮藏蛋白,它作为氨基酸贮存库在昆虫的变态发育中起重要的作用。家蚕受到农药胁迫,体内蛋白含量与对照相比明显降低。经亚致死剂量($0.2LC_{50}$)杀螟硫磷和乙硫磷处理的 5 龄家蚕,其脂肪体和丝腺体中蛋白质、DNA 和 RNA 含量均显著低于对照^[52]。经多效唑 400、600、800mg·kg⁻¹浓度处理的 5 龄家蚕,随着处理时间的延长,体液中蛋白含量变动不大或呈现下降趋势,而未处理的家蚕,随着正常摄食,蛋白含量明显上升;多效唑 200mg·kg⁻¹处理的家蚕虽与未处理的家蚕变化趋势一致,但上升幅度在处理 5d 内显著低于对照^[53]。

家蚕体内蛋白质含量变化与体内蛋白酶活性有关。昆虫肠道蛋白酶是一类能够催化蛋白质肽键断裂形成氨基酸的系列水解酶。家蚕摄入农药,可引起体内蛋白酶活性变化。用亚致死剂量($0.2LD_{50}$)杀螟硫磷和乙硫磷处理 5 龄家蚕,其脂肪体和血淋巴中蛋白酶活性上升,总蛋白含量减少(分解)的同时自由氨基酸含量增加,同时伴随着丙氨酸转氨酶、天冬氨酸转氨酶和谷氨酸脱氢酶活性显著增强,表明蚕体内发生严重蛋白水解作用和多种氨基酸的转氨作用^[54]。家蚕体内蛋白酶活性也可能受到农药的抑制。家蚕取食添加有乐胺磷农药的桑叶,在添加浓度($0.01 \sim 10.0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)范围内,家蚕肠液蛋白酶活性与乐胺磷的添食量成负相关。在家蚕 5 龄初期,添食乐胺磷引起家蚕肠液蛋白酶活性下降,但至 5 龄末期已基本消除^[19]。有研究表明,低浓度的马拉硫磷($0.002\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)对家蚕体内蛋白质的消化和氨基酸的吸收没有不良影响^[55]。

除蛋白酶外,农药还对其它消化酶产生不良影响。用亚致死剂量(LC_{25})氰戊菊酯处理的家蚕,其中肠内蛋白酶、淀粉酶和蔗糖酶活性显著降低,海藻糖酶活性增强,其影响程度取决于家蚕的龄期和品种^[56]。

在农药的胁迫下,家蚕体内碳水化合物的代谢也会发生变化。家蚕在亚致死剂量($0.2LC_{50}$)杀螟硫磷和乙硫磷胁迫下,血淋巴和脂肪体内丙酮酸含量和乳酸脱氢酶活性降低的同时乳酸水平升高,进入卡尔文循环中的丙酮酸减少,进而琥珀酸脱氢酶和苹果酸脱氢酶显著降低,导致呼吸速率减弱,碳水化合物的代谢发生变化^[20]。杀螟硫磷和乙硫磷对家蚕体内糖的代谢也有一定的影响^[57]。

3.1.4 家蚕对农药抗性的生化机制研究

不同家蚕品种对农药的敏感性可能是有差异的。梅丽娟等^[58]通过测定家蚕体内与异丙威解毒酶有关的一些酯酶的活性以及杀虫剂的增效作用,证明了家蚕体内磷酸酯酶、羧酸酯酶活性与抗性无关。家蚕对异丙威的抗性,部分原因是由于乙酰胆碱酯酶对异丙威的敏感性下降而引起的。对家蚕农药抗性的生化机制研究有助于家蚕的品种选育。

3.2 对家蚕组织器官亚显微结构的影响

对试虫组织器官的观察有助于阐明农药对家蚕亚致死效应的病理学机制。家蚕 2 龄幼虫在低于半致死剂量 10 倍以上的杀虫双胁迫下直至熟蚕,其后丝腺的基板、腺细胞及内膜均有损伤,表现为基板明显增厚,细胞膜破裂,胞浆外溢,胞浆内粗面内质网和滑面内质网增生,微绒毛断裂、崩解,说明杀虫双影响了家蚕的吐丝功能^[18]。

转基因植物作为一类新型农药在实验条件下对家蚕的消化功能可能有一定的影响。用洒过转苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)基因水稻纯合品系 KMD2 生米粉的桑叶喂养 3 龄家蚕直至 5 龄中期,试虫中肠亚显微结构发生了明显的变化,表现为中肠内壁、杯形细胞和圆筒形细胞的微绒毛明显变粗、变短,中肠细胞线粒体和粗面型内质网的数量明显减少^[59]。说明生米粉中含量较高的 Bt 杀虫蛋白,影响了家蚕主要消化器官——中肠的亚显微结构,进而降低家蚕的消化和吸收功能,最终导致家蚕生长发育的延缓和推迟。

上述研究结果显示,微量农药有可能使家蚕的一些重要组织器官如中肠和后丝腺等微形态结构受到损伤,影响家蚕的营养吸收功能和吐丝功能,从而进一步影响家蚕的生长发育和经济性状。

3.3 对家蚕培养细胞的影响

细胞凋亡又称程序性细胞死亡,是细胞内外因子刺激后发生的自由基因调控的生理性死亡行为,它对机

体的发育、存活及保持正常生理功能都有重要意义。已有研究表明,在农药及其他污染物的胁迫下,家蚕卵巢细胞会出现凋亡现象。

用阿特拉津处理家蚕卵巢培养细胞,当浓度超过 $0.0625\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,家蚕卵巢培养细胞 48h 的存活率显著降低;用供试农药 $0.0625\sim 0.5000\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 24h 后,卵巢细胞核出现明显的凋亡现象;用该农药 $0.5000\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 48h 后,家蚕卵巢培养细胞 DNA 链发生断裂。认为阿特拉津对家蚕卵巢细胞增殖和凋亡的影响有明显的时间与剂量效应,长期处于阿特拉津污染的环境中对家蚕可能有严重的细胞毒性^[60]。环境激素壬基酚对家蚕卵巢培养细胞也有一定的影响。 $0.032\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下浓度的壬基酚对卵巢细胞增殖有促进作用,但壬基酚浓度继续增加则出现毒害,细胞生长和增殖受到抑制,死亡细胞明显增加,具有浓度效应和时间效应。壬基酚对卵巢培养细胞的 LC_{50} (72h) 为 $0.051\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,浓度超过 $0.128\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,能诱导卵巢细胞 DNA 链发生断裂,导致 DNA 损伤^[61]。

4 讨论与结语

近年来,关于杀虫剂对昆虫亚致死效应的研究已成为一个新的热点领域。以家蚕为对象的研究仅是其中的一小部分,大部分研究集中在害虫及其天敌方面,研究内容主要涉及到对昆虫的行为、生长发育和生殖力以及抗药性发展的影响等。其中亚致死剂量的杀虫剂对昆虫生殖力和生长发育影响的研究较多,研究结果因杀虫剂品种、使用剂量和作用对象而异。

很多亚致死剂量的杀虫剂对害虫有刺激增殖的作用,这可能是导致某些害虫再猖獗的主要原因之一。如 Nemoto 等^[62]的研究发现用亚致死剂量的灭多威处理小菜蛾 4 龄幼虫和蛹,其成虫的生殖力增强,雌成虫的产卵量明显高于对照组。另一些研究结果却表明杀虫剂对某些害虫的繁殖具有抑制作用。如 Laecke 等^[31]用亚致死剂量的氟啶脲、除虫脲和氟铃脲处理甜菜夜蛾的 3 龄幼虫,用氟啶脲处理的幼虫无一化蛹;后两种药剂处理后有近 90% 的个体不能发育为成虫。在 10% 的蜂蜜水中加入一定量的氟啶脲 ($0.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 饲喂刚羽化的成虫虽可使其产卵量增加,但卵的孵化率只有 16%,其 F1 代所产卵仅有个别的能够发育到 5 龄幼虫。

已有较多学者开始研究亚致死效应的作用机制,以鳞翅目害虫为对象的研究领域主要集中在解毒酶系和性信息素通讯系统方面。

昆虫的解毒酶系主要包括羧酸酯酶 (CaE)、谷胱甘肽 S-转移酶 (GSTs) 和多功能氧化酶 (MFO) 等,其活性能被各种外源化合物诱导,这使得昆虫在受到非常严重的化学环境压力作用下能迅速作出反应,从而存活下来。梁沛等^[63]的研究结果表明,亚致死剂量 (LC_{17}) 的阿维菌素和高效氯氰菊酯处理对小菜蛾敏感品系的 GSTs 活性有一定的诱导作用,而抗性品系的 GSTs 活性有一定抑制作用;对 GSTs 动力学研究表明,敏感品系用高效氯氰菊酯处理后 GSTs 的 K_m 值比对照降低了近 40%,说明高效氯氰菊酯处理后, GSTs 对底物的亲和力明显增强。黄诚华等^[64]的研究结果表明,二化螟和大螟幼虫经氟虫腈亚致死剂量处理后,体内相关的解毒酶系活性及其反应动力学参数均受到不同程度影响,根据 2 种螟虫体内解毒酶系的不同反应,推测大螟可能因对底物具有高亲和力的 MFO 并通过诱导产生的 GSTs 以及 CaE 与氟虫腈结合增强而使其体内药剂的有效浓度明显降低,最终表现为对氟虫腈的适应能力明显强于二化螟。

昆虫的繁殖过程是一个两性之间复杂的生理和行为的协调过程,是在神经和激素的调控下进行的。杨智化等^[65]研究结果表明,亚致死剂量 (LD_{30}) 的马拉硫磷和溴氰菊酯使亚洲玉米螟性合成信息素的量下降,对亚洲玉米螟雌蛾求偶活动产生明显的影响。Haynes 等^[66]报道,亚致死剂量的二氯苯醚菊酯点滴棉红铃虫 (*Pectinophora gossypiella*), 4d 内雌蛾求偶百分率均呈下降状态。可见亚致死剂量杀虫剂对昆虫繁殖的影响,可能是通过对昆虫性信息素通讯系统的干扰作用而进行的。

还有学者通过研究亚致死量对昆虫触角电位的影响来探讨亚致死效应的作用机制。亚致死剂量 ($0.2\times 10^{-4}\text{mg}\cdot\text{头}^{-1}$) 闹羊花素-Ⅲ处理亚洲玉米螟成虫后,其触角电位反应发生了严重漂移,表明药剂处理后触角的电生理反应与正常试虫不同,药剂处理的触角在感受外界化学信号时产生了与正常试虫不同的信号^[67]。这很可能引起成虫行为反应异常,进而影响其在寻找寄主、配偶、栖息场所、躲避天敌等时的正常行为。

可以看出,农药对家蚕和害虫亚致死效应研究的重点不同,前者侧重于生长发育、食物的利用和经济性状,后者则侧重于生殖力、行为和抗药性;对亚致死效应作用机制的研究,前者主要从生理代谢和组织的亚显微结构等方面来探讨,后者则主要集中在解毒酶系和信息素通讯系统方面。农药对害虫亚致死效应的机理研究可为拓宽亚致死剂量农药对家蚕影响的研究思路提供参考。

综上所述,桑叶上残留的亚致死剂量农药可使家蚕幼虫眠性不齐,眠蚕体重和蛹重减轻,发育历期延长,严重者结茧(上簇)时间推迟,且吐丝营茧功能失常,最终导致蚕茧质量下降。桑叶上残留的农药在一定程度上还能通过改变食物的适口性和营养成份比例进一步影响家蚕的取食行为以及摄入后的消化吸收。亚致死效应产生的机理,一是亚致死剂量农药可引发昆虫体内正常生理水平和代谢平衡的扰动,对家蚕生理代谢产生不同程度的影响;二是微量农药还可使家蚕的一些组织微形态结构受到损伤,影响家蚕的吐丝功能和营养吸收功能;三是在农药及其他污染物的胁迫下,家蚕卵巢细胞还有可能出现凋亡现象。

在农田生态系统中,只要施用农药,桑叶及蚕室周围环境就有可能遭受农药的污染,家蚕就有可能接触到亚致死剂量农药。研究亚致死剂量农药的影响是全面衡量一种农药对家蚕生态效应所不可忽视的。目前对家蚕的亚致死效应研究主要集中在对家蚕生长发育、经济性状和食物利用等方面,从更深层次的酶动力学及分子水平上对亚致死效应产生的机理进行的研究仅限于少数几种农药品种。随着农药的种类、施用条件和方法以及家蚕受药时的龄期、生理状况和接触时间的不同,农药对家蚕的亚致死效应也是多样的。因此需要更多的研究来评估在农田生态系统中常用的农药对家蚕的影响。加强新农药对家蚕亚致死效应研究,特别是对生化和分子机制方面的研究以及农药复合污染对家蚕的影响,是今后农药生态毒理学的一个重要发展方向。

实际上,农药对其他生物,包括微生物、植物、动物以及人类均存在亚致死效应这一普遍现象^[28]。如早已引起人类关注的农药“三致”,即致畸、致癌和致突变问题以及农药的生物富集问题等。进一步研究农药在生态系统中的深远影响,探讨亚致死效应的生化、分子机制,对于合理使用农药,减少其副作用将具有重要的现实意义。

References:

- [1] Zheng J Z, Chen G J. The strategic analysis on the silk industry in economy globalization. *Commercial Res.*, 2003, 13: 139—141.
- [2] Ma H, Wang K Y, Liu L, *et al.* Advance of research on toxicology and safety evaluation of pesticides to silkworm. *Pestic. Sci. Admin.*, 2005, 26(5): 15—18.
- [3] Yu C C. Present status of the low dosage pesticide poisoning of silkworm in Suzhong area and the preventive measures. *Sichuan Seric.*, 2003, 3: 40—41.
- [4] Duan W P. Causes investigation of large amount non-cocoonin silkworms during mid-autumn in 2006. *Guangxi Seric.*, 2007, 44(1): 36—38.
- [5] Xiong C Z, Gu L M. Consideration of pesticide poisoning of mid-autumn silkworm on large amount. *Chin. Seric.*, 2007, 28(2): 54—55.
- [6] Xie Y N, Cao Z H. Reasons analysis on pesticide poisoning of silkworm and prevention and control measures. *Newsletter of Seric. and Tea*, 2007, 3: 21—22.
- [7] Kuribayashi S. Damage of silkworms caused by pesticides and preventive measures. *Japan Agri. Res. Quartely*, 1988, 22: 274—283.
- [8] Suhas Y, Devia M C. Studies on the effect of insecticide sprayed mulberry leaves to silkworm, *Bombyx mori* L. *Pestic.*, 1985, 19: 216—218.
- [9] Naseema B A, Shivanandappa T. Acute toxicity of insecticides to the Multivoltine and Bivoltine Races of the silkworm, *Bombyx mori* L. *Pestic. Res. J.*, 1996b, 8(1): 22—26.
- [10] Faruki S I. Toxicity of a synthetic commercial pyrethroid pesticide to some races of silkworm *Bombyx mori* L. *J. Asiat. Soc. Bangladesh. Sci.*, 2000, 26: 149—156.
- [11] Gong R Z, Chen Y, Chen L Y, *et al.* Safety evaluation of brofluthrin to environmental organisms. *Chin. J. Pestic. Sci.*, 2001, 3(2): 67—72.
- [12] Li B T. Toxicity of six insecticides to silkworm and their safety evaluation. *Chin. J. Pestic. Sci.*, 2001, 3(3): 83—85.
- [13] Wang Z H, Du J X, Liang M Z, *et al.* Residue toxicity experiment of the several common mulberry's pesticide to silkworm. *Acta Sericol. Sin.*, 2002, 28(2): 146—151.
- [14] Ma H, Jiang H, Tao C J. Toxicity evaluation of twenty seven pesticides to *Bombyx mori* L. *Chin. J. Pestic. Sci.*, 2005, 7(2): 156—159.
- [15] Zhu J W, Wei F L, Li S N, *et al.* Acute toxicity of chlorpyrifos to silkworm (*Bombyx mori*). *Acta Sericol. Sin.*, 2006, 32(2): 272—275.
- [16] Chen L P, Zhao X P, Wu C X, *et al.* Toxicities and safety evaluation of four pesticides with different toxicological mechanism on silkworm. *J.*

- Zhejiang Agri. Sci. ,2006,3:330—332.
- [17] Yamanoi F. Effects of pesticides on the economical characters of the administered generation and the next generation of the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Seric. Sci. Jpn. ,1984,53:292—298.
- [18] Chen R, Xu F N. The effect of dimehypo on the ultrastructure of silkworm's silk gland. Ent. Knowl. ,1992,32(2):122—124.
- [19] Cao G L, Zhu Y X. Effect of methamidophos-dimethoate emulsifiable on the protease activity of silkworm midgut. Jiangsu Seric. ,1999,3:8—10.
- [20] Nath B S. Changes in carbohydrate metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* L. exposed to organophosphorus insecticides. Pestic. Biochem. Physiol. ,2000,68(2):127—137.
- [21] Vyjayanthi N, Subramanyam M V V. Effect of fenvalerate-20EC on sericigenous insects — food utilization in the late-age larva of the silkworm, *Bombyx mori* L. Ecotoxicol. and Environ. Safety, 2002,53:206—211.
- [22] Lu X M, Zhou Q, Zhou J Q, et al. Toxicity of low dosage cypermethrin to the silkworm, *Bombyx mori* L. Chin. J. Pestic. Sci. ,2003,5(4):42—46.
- [23] Saha C R, Saha B N, Kuan A R. Effect of insecticide treated mulberry (*Morus alba*) leaves on the growth and development of *Bombyx mori*. Bangladesh J. Zool. ,2005,33(2):155—163.
- [24] Haynes K F. Sublethal effect of neurotoxic insecticides on insect behavior. Ann. Rev. of Entomol. ,1988,33:149—168.
- [25] Liu L. Study on features of sublethal damage to *Bacillus anthracis* spores caused by chemical disinfectants. J. Veteri. Sci. Technol. ,1996,26(6):27—29.
- [26] Delpuech J M, Gareau E, Terrier O, et al. Sublethal effects of the insecticide chlorpyrifos on the sex pheromonal communication of *Trichogramma brassicae*. Chemosphere, 1998,36:1775—1785.
- [27] Pedersen A, John D, Gauthier D. Sublethal effects of *Bacillus thuringiensis* on the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*. Entomol. Exp. Appl. ,1997,83:253—262.
- [28] Wang X Y. Sublethal effects of insecticides on insect. World Pestic. ,2004,26(3):24—27.
- [29] Li H J, Qiao X J, Wang J X. Application and prospects of halidephenyl-halidebenzoyl urea insecticides. Shandong For. Sci. and Technol. ,2004,1:38—39.
- [30] Biddinger D J, Hull L A. Sublethal effects of selected insecticides on growth and reproduction of a laboratory susceptible strain of tufted apple bud moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol. ,1999,92(2):314—324.
- [31] Laeche K V, Degheele D, Audat M. Effect of a sublethal dose of chitin synthesis inhibitors on *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). Parasitica. ,1989,45(4):90—98.
- [32] Delpuech J M, Legallet B, Terrier O, et al. Modifications of the sex pheromonal communication of *Trichogramma brassicae* by a sublethal dose of deltamethrin. Chemosphere, 1999,38:729—739.
- [33] Zhang Z X, Wei Q E, Wu Z J. Effect of low dosage pesticide pollution on mulberry garden and counter-strategies. Guangxi Seric. ,2001,38(2):28—30.
- [34] Zhou Y K, Xie T J, Wan C G, et al. Reasons analysis on pesticide poisoning of silkworm and the prevention measures. Newsletter of Seric. and Tea, 2007,2:7—8.
- [35] Srinivas P, Rao A P. Studies on some commercial aspects in relation to phosphamidon treatment of *Bombyx mori* L. larva. Indian J. Comp. Anim. Physiol. ,1992,10(1):37—41.
- [36] Zhang H Y, Zhou Q, Pan M L, et al. Toxicity of avermectin to the silkworm, *Bombyx mori*. Bull. Seric. ,2006,37(1):18—20.
- [37] Wang J, Yin D Q, Lu G F, et al. Effects of dimehypo (disodium 2-methylaminotrimethylene dithiosulfonate) on growth and cocooning of silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Saturniidae). Pestic. Sci. ,1999,55:1070—1076.
- [38] Sun K F, Zhou Q, Zhou J Q, et al. Investigate on the toxicity of low dosage pyrethroids to the silkworm (*Bombyx mori*). Bull. Seric. ,2002,33(3):27—29.
- [39] Begum A N, Shivanandappa T. Effect of sublethal dosage of insecticides on biological attributes of the silkworm, *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). Indian J. Seric. ,2003,42(1):50—56.
- [40] Khan A R, Saha B N. Effect of synthetic pyrethroid on the reproductive potential of the mulberry silkworm, *Bombyx mori* L. Bangladesh J. Zool. ,2005,33(1):117—119.
- [41] Khan A R, Saha B N, Kuan A R. Effect of cypermethrin-contaminated mulberry leaves on the growth and development of *Bombyx mori*. J. Asiat. Soc. Bangladesh Sci. ,1999,25(1):103—111.
- [42] Saha B N, Kuan A R. The growth and development of mulberry silkworm, *Bombyx mori* L. as influenced by dichlorvos. J. Asiat. Soc. Bangladesh Sci. ,1997,23(2):187—194.
- [43] Venkata R S, Sivarami R N, Ramamurthy R. Carbaryl effect on the growth and silk qualities of *Bombyx mori* L. Pestic. ,1989,19(10):216—218.

- [44] Nath B S, Raju C S, Suresh A, *et al.* Toxic impact of organophosphorus insecticides on the growth and economic characters of the silkworm, *Bombyx mori* L. J. Environ. Biol., 1997, 18(2): 181—184.
- [45] Zhu J W, Wei F L, Zhu G N. Contact toxicity and chronic toxicity of triazophos, an insecticide for rice field, to the silkworm, *Bombyx mori*. Acta Sericol. Sin., 2006, 32(3): 368—371.
- [46] He L H, Zeng J, Luo C J, *et al.* Toxicity of methyltin on silkworm, *Bombyx mori*. J. Zhejiang Agri. Sci., 2003, 3: 142—144.
- [47] Vassamidaki M E, Harizanis P C, Katsikis S. Effects of applaud on the growth of silkworm (Lepidoptera: Bombycidae). J. Econ. Entomol., 2000, 93(2): 290—292.
- [48] Radhakrishna P G, Delvi M R. Effect of organophosphorous insecticides on food utilization in different races of *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). Sericol., 1992, 32: 71—79.
- [49] Nath B S, Kumar R P S. Toxic impact of organophosphorus insecticides on acetylcholinesterase activity in the silkworm, *Bombyx mori* L.. Ecotoxicol. and Environ. Safety, 1999, 42(2): 157—162.
- [50] Qu B Q, Zhao H Q, He L L. Effect of polymyxin on SOD activities and MDA contents in blood of chickens. Chin. J. Veteri. Sci. Technol., 2003, 33(2): 50—52.
- [51] Zhu Y X, Cao G L. Effect of methamidophos-dimethoate mixture on SOD activities in blood of silkworm. Guangdong Seric., 1999, 33(3): 40—42.
- [52] Nath B S, Raju C S, Krishna P G R, *et al.* Effect of organophosphorus insecticides on protein and nucleic acid contents of fat body and silk gland of the silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). J. Environ. Biol., 1996, 17(4): 269—272.
- [53] Wang N, Xiao L Y, Cheng J L. The elementary study on the physiological effect of paclobutrazo on silkworm. Chin. Seric., 2004, 25(3): 24—26.
- [54] Nath B S, Suresh A, Varma B M, *et al.* Changes in protein metabolism in hemolymph and fat body of the silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) in response to organophosphorus insecticides toxicity. Ecotoxicol. and Environ. Safety, 1997, 36: 69—173.
- [55] Binoy V V, Olakkengil J L. Effect of malathion on the free amino acid content of *Bombyx mori* larva. J. Ecotoxicol. Environ. Monit., 2004, 14(2): 151—156.
- [56] Vyjayanthi N, Subramanyam M V V. Effect of fenvalerate-20EC on sericigenous insects—Digestive enzymes in the nutritive physiology of the silkworm, *Bombyx mori* L. Ecotoxicol. and Environ. Safety, 2002, 53: 212—220.
- [57] 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. Pestic. Biochem. Physiol., 2003, 74(2): 73—84.
- [58] Mei L J, Li Y G, Tang Z H. Studies on the biochemical mechanism of the resistance to isoprocarb in the silkworm, *Bombyx mori*. Acta Agri. Zhejiangensis, 1997, 9(4): 222—223.
- [59] Wang Z H, Shu Q Y, Cui H R, *et al.* The effect of Bt transgenic rice flour on the development of silkworm larvae and the sub-micro-structure of its midgut. Sci. Agric. Sin., 2002, 35(6): 714—718.
- [60] Dai X Y, Xu S Q, Chen X L, *et al.* Effects of environmental hormone atrazine on the cultured BmN cells. Acta Sericol. Sin., 2006, 32(4): 495—499.
- [61] Yi H G, Xu S Q, Dai X Y, *et al.* Effect of environmental hormone nonylphenol on culture cells of lepidopteran insect. Acta Sericol. Sin., 2006, 32(2): 215—220.
- [62] Nemoto H. Mechanism of resurgence of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). Japan Agri. Res. Quarterly, 1993, 27(1): 27—32.
- [63] Liang P, Xia B, Shi T, *et al.* Effect of sublethal doses of abamectin and β -cypermethrin on glutathione S-transferases in diamondback moth *Plutella xylostella* (L.). J. of China Agri. Univ., 2003, 8(3): 65—68.
- [64] Huang C H, Yao H W, Ye G Y, *et al.* Effects of sublethal dose of fipronil on detoxifying enzymes in the larvae of *Chilosuppressalis* and *Sesamia inferens*. Chin. J. Rice Sci., 2006, 20(4): 447—450.
- [65] Yang Z H, Du J W. sublethal effects of two insecticides on the chemical communication system of *Ostrinia furnacalis* (Guenee) (Lepidoptera: Pyralidae). Acta Phytopylacica Sinica, 2003, 30(2): 181—186.
- [66] Haynes K F, Li W G, Baker T C. Control of pink bollworm moth (Lepidoptera: Gelechiidae) with insecticides and pheromones (attracticide): lethal and sublethal effects. J. Econ. Entomol., 1986, 79(6): 1466—1471.
- [67] Xie J J, Zhong G H, Jian M L, *et al.* Effects of sublethal rhodojaponin-III on the electroantennogram to Asiatic corn borer (*Ostrinia furnacalis* Guenee). J. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. (Nat. Sci. ed.), 2006, 34(3): 103—107.

参考文献:

- [1] 郑健壮, 陈国钧. 茧丝绸行业应对经济全球化的战略分析. 商业研究, 2003, 13: 139~141.
- [2] 马惠, 王开运, 刘亮, 等. 农药对家蚕的毒性及安全性评价研究进展. 农药科学与管理, 2005, 26(5): 15~18.

- [3] 郁葱葱. 苏中地区家蚕微量农药中毒的现状与预防对策. 四川蚕业, 2003, 3: 40 ~ 41.
- [4] 段卫平. 2006 年中秋蚕大面积不结茧的原因调查. 广西蚕业, 2007, 44(1): 36 ~ 38.
- [5] 熊彩珍, 顾立明. 中秋蚕发生大面积农药中毒的思考. 中国蚕业, 2007, 28(2): 54 ~ 55.
- [6] 谢云南, 曹忠宏. 家蚕中毒的原因分析和防控措施. 蚕桑茶叶通讯, 2007, 3: 21 ~ 22.
- [11] 龚瑞忠, 陈悦, 陈良燕, 等. 溴氰菊酯对环境生物的安全评价研究. 农药学报, 2001, 3(2): 67 ~ 72.
- [12] 李保同. 六种杀虫剂对家蚕的毒性与安全评价研究. 农药学报, 2001, 3(3): 83 ~ 85.
- [13] 王照红, 杜建勋, 梁明芝, 等. 几种桑园常用杀虫剂对家蚕的残毒期试验. 蚕业科学, 2002, 28(2): 146 ~ 151.
- [14] 马惠, 姜辉, 陶传江. 27 种农药对家蚕的毒性评价研究. 农药学报, 2005, 7(2): 156 ~ 159.
- [15] 朱金文, 魏方林, 李少南, 等. 毒死蜱对家蚕的急性毒性研究. 蚕业科学, 2006, 32(2): 272 ~ 275.
- [16] 陈丽萍, 赵学平, 吴成兴, 等. 4 种不同作用机制的杀虫剂对家蚕的毒性与安全性评价. 浙江农业科学, 2006, 3: 330 ~ 332.
- [18] 陈锐, 徐福南. 杀虫双对家蚕后丝腺的超微结构的影响. 昆虫知识, 1992, 32(2): 122 ~ 124.
- [19] 曹广力, 朱越雄. 乐胺磷对 5 龄期家蚕肠液蛋白酶活性的影响. 江苏蚕业, 1999, 3: 8 ~ 10.
- [22] 鲁兴萌, 周勤, 周金钱, 等. 微量氯氰菊酯对家蚕的毒性. 农药学报, 2003, 5(4): 42 ~ 46.
- [28] 王小艺. 杀虫剂对昆虫的亚致死效应. 世界农药, 2004, 26(3): 24 ~ 27.
- [29] 李洪敬, 乔显娟, 王金秀. 灭幼脲类仿生制剂的应用及其前景. 山东林业科技, 2004, 1: 38 ~ 39.
- [33] 张照新, 魏巧娥, 吴智军. 桑园微量农药污染影响及其防范对策. 广西蚕业, 2001, 38(2): 28 ~ 30.
- [34] 周义奎, 谢同建, 万成功, 等. 家蚕农药中毒的原因及对策. 蚕桑茶叶通讯, 2007, 2: 7 ~ 8.
- [36] 张海燕, 周勤, 潘美良, 等. 阿维菌素对家蚕毒性的试验. 蚕桑通报, 2006, 37(1): 18 ~ 20.
- [38] 孙克坊, 周勤, 周金钱, 等. 微量菊酯类农药对家蚕毒性的调查初报. 蚕桑通报, 2002, 33(3): 27 ~ 29.
- [45] 朱金文, 魏方林, 朱国念. 稻田杀虫剂三唑磷对家蚕的触杀作用与摄入慢性毒性的研究. 蚕业科学, 2006, 32(3): 368 ~ 371.
- [46] 何丽华, 曾健, 骆承军, 等. 甲基锡对家蚕的毒性试验. 浙江农业科学, 2003, 3: 142 ~ 144.
- [50] 区炳庆, 赵海全, 何丽兰. 多黏菌素对雏鸭血液中超氧化物歧化酶活性及丙二醛含量的影响. 中国兽医科技, 2003, 33(2): 50 ~ 52.
- [51] 朱越雄, 曹广力. 残留量乐胺磷对家蚕血液超氧化物歧化酶活性的影响. 广东蚕业, 1999, 33(3): 40 ~ 42.
- [53] 王娜, 肖龙云, 程嘉翎. 多效唑对家蚕生理影响的研究初报. 中国蚕业, 2004, 25(3): 24 ~ 26.
- [58] 梅丽娟, 黎云根, 唐振华. 家蚕对叶蝉散抗性的生物化学机制初探. 浙江农业学报, 1997, 9(4): 222 ~ 223.
- [59] 王忠华, 舒庆尧, 崔海瑞, 等. Bt 转基因水稻米粉对家蚕生长发育及中肠亚显微结构的影响. 中国农业科学, 2002, 35(6): 714 ~ 718.
- [60] 戴璇颖, 徐世清, 陈息林, 等. 环境激素阿特拉津对家蚕卵巢培养细胞(BmN)凋亡的影响. 蚕业科学, 2006, 32(4): 495 ~ 499.
- [61] 裔洪根, 徐世清, 戴璇颖, 等. 环境激素壬基酚对鳞翅目昆虫培养细胞的影响. 蚕业科学, 2006, 32(2): 215 ~ 220.
- [63] 梁沛, 夏冰, 石泰, 等. 阿维菌素和高效氯氰菊酯亚致死剂量对小菜蛾谷胱甘肽 S-转移酶的影响. 中国农业大学学报, 2003, 8(3): 65 ~ 68.
- [64] 黄诚华, 姚洪渭, 叶恭银, 等. 氟虫腈亚致死剂量处理对二化螟和大螟幼虫体内解毒酶系活力的影响. 中国水稻科学, 2006, 20(4): 447 ~ 450.
- [65] 杨智化, 杜家纬. 两种亚致死剂量的农药对亚洲玉米螟化学通讯系统的干扰作用. 植物保护学报, 2003, 30(2): 181 ~ 186.
- [67] 谢建军, 钟国华, 简美玲, 等. 亚致死剂量啉羊花素-III 对亚洲玉米螟 EAG 的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(3): 103 ~ 107.