21种杀菌剂对家蚕的急性毒性与风险评价

俞瑞鲜, 王彦华, 吴声敢, 吴长兴, 陈丽萍, 苍涛, 赵学平*

浙江省农业科学院农产品质量标准研究所 省部共建国家重点实验室浙江省植物有害生物防控重点实验室 农业部农药残留检测重点实验室 杭州 310021

摘要: 旨在为桑园及周围农田合理选择和使用农药提供科学依据, 采用食下毒叶法测定了农业生产上常用的21种杀菌剂对家蚕的急性毒性, 并进行了风险评价。急性毒性测定结果表明: 20% 苯醚甲环唑微乳剂、10% 氟硅唑水乳剂、12.5% 腈菌唑水乳剂、12.5% 烯唑醇可湿性粉剂和70% 噁霉灵可湿性粉剂对家蚕的96 h-LC₅₀值为46.5(41.9~54.0)~154(124~207) mg·L⁻¹, 属于中毒级; 20% 叶枯唑可湿性粉剂、720 g·L⁻¹ 百菌清悬浮剂、10% 醚菌酯水乳剂、2% 春雷霉素水分散粒剂、430 g·L⁻¹ 戊唑醇悬浮剂、400 g·L⁻¹ 嘧霉胺悬浮剂、40% 丙环唑微乳剂、45% 咪鲜胺微乳剂、80% 烯酰吗啉水分散粒剂、24% 井冈霉素可溶性粉剂、250 g·L⁻¹ 己唑醇悬浮剂、15% 三唑酮水乳剂、70% 苯醚甲环唑·咪鲜胺可湿性粉剂、50% 苯甲·丙环唑乳油、36% 丙环·咪鲜胺水乳剂和600 g·L⁻¹ 烯酰·百菌清悬浮剂16种杀菌剂对家蚕的96 h-LC₅₀值均大于200 mg·L⁻¹, 属于低毒级。急性风险评价结果表明: 20% 叶枯唑可湿性粉剂、720 g·L⁻¹ 百菌清悬浮剂、24% 井冈霉素可溶性粉剂和600 g·L⁻¹ 烯酰·百菌清悬浮剂对家蚕的96 h-LC₅₀值均大于2 000 mg·L⁻¹, 故没有进行风险评价。20% 苯醚甲环唑微乳剂、10% 氟硅唑水乳剂、12.5% 腈菌唑水乳剂、70% 噁霉灵可湿性粉剂、400 g·L⁻¹ 嘧霉胺悬浮剂、45% 咪鲜胺微乳剂和80% 烯酰吗啉水分散粒剂7种药剂对家蚕具有高风险, 其他10种药剂对家蚕具有中等风险。因此, 在桑园和桑园附近大田使用杀菌剂时, 应采取适宜措施降低其对家蚕的急性毒性风险, 以免对桑蚕生产造成危害。

关键词: 杀菌剂; 家蚕; 急性毒性; 风险评价

文章编号: 1673-5897(2011)6-643-06 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Acute Toxicity and Risk Assessment of 21 Fungicides to the Larvae of *Bombyx mori*

Yu Ruixian, Wang Yanhua, Wu Shenggan, Wu Changxing, Chen Liping, Cang Tao, Zhao Xueping*

State Key Lab Breeding Base for Zhejiang Sustainable Plant Pest Control, Key Lab for Pesticide Residue Detection, Institute of Quality and Standard for Agro-products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences Hangzhou 310021, China

Received 7 March 2011 accepted 22 July 2011

Abstract: To provide scientific basis for appropriate selection and application of pesticides in mulberry gardens as well as surrounding agricultural fields, acute toxicities of 21 commonly used fungicides to silkworm (*Bombyx mori*) were evaluated in the laboratory using the leaf dipping method, and the risk assessment for these fungicides was also made accordingly. The toxicity test results indicated that the 96 h-LC₅₀ values of 20% ME difenoconazole, 10% EW flusilazole, 12.5% EW myclobutanil, 12.5% WP diniconazole and 70% WP hymexazol ranged between 46.5(41.9-54.0) and 154(124-207) mg·L⁻¹, which were classified as middle-level toxicity, and the 96 h-LC₅₀ values of 20% WP bismethiazol, 720 g·L⁻¹ SC chlorothalonil, 10% EW kresoxim-methyl, 2% WG kasugamycin, 430 g·L⁻¹ SC tebuconazole, 400 g·

收稿日期: 2011-03-07 录用日期: 2011-07-22

基金项目: 浙江省农业科学院院选项目(2010R28Y01E01) 科技部国际合作项目(S2010GR0905)

作者简介: 俞瑞鲜(1982-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为农药应用与环境安全性评价, E-mail: yuruixian@163.com;

* 通讯作者(Corresponding author), E-mail: zhaoxueping@tom.com

L^{-1} SC pyrimethanil ,40% ME propiconazol ,45% ME prochloraz ,80% WG dimethomorph ,24% SP jingangmycin ,250 $g \cdot L^{-1}$ SC hexaconazole ,15% EW triadimefon ,70% WP difenoconazole prochloraz ,50% EC difenoconazole propiconazol ,36% EW propiconazol prochloraz and 600 $g \cdot L^{-1}$ SC dimethomorph chlorothalonil were higher than 200 $mg \cdot L^{-1}$, which were classified as low-level toxicity. The acute risk assessment results showed that (1) because the 96 h- LC_{50} values of 20% WP bismethiazol ,720 $g \cdot L^{-1}$ SC chlorothalonil ,24% SP jingangmycin and 600 $g \cdot L^{-1}$ SC dimethomorph chlorothalonil were higher than 2 000 $mg \cdot L^{-1}$, no risk assessment for these four fungicides were made; (2) the acute risk of seven fungicides such as 10% EW flusilazole ,12.5% EW myclobutanil ,20% ME difenoconazole ,70% WP hymexazol ,400 $g \cdot L^{-1}$ SC pyrimethanil ,45% ME prochloraz and 80% WG dimethomorph were high; (3) the acute risk of the other ten fungicides were intermediate. It is indicated that when fungicides are applied in or near mulberry fields , measures should be taken to reduce the risk of acute toxicity to silkworm caused by fungicides in order to avoid harm to the silk production.

Keywords: fungicide; *Bombyx mori*; acute toxicity; risk assessment

家蚕(*Bombyx mori*)又名桑蚕、白蚕,是我国特有的一种重要丝织性昆虫,在我国农业生态系统和农业经济中占有重要地位^[1]。由于桑叶是家蚕的唯一食料,桑叶受到农药污染后对蚕业安全威胁很大^[2]。目前,化学防治仍是控制植物病虫害的重要手段^[3],但桑园及周围农田防治药剂品种选用不当或用药量和施药方法不当所造成的桑叶污染而引发的家蚕中毒事件频繁发生,已成为制约桑蚕生产稳定和发展的主要瓶颈之一^[4-5]。

关于农药对家蚕毒性评价的研究已有诸多报道,但所涉及的农药品种大多为杀虫剂和除草剂,研究结果表明,大部分杀虫剂种类如拟除虫菊酯类、有机磷类、氨基甲酸酯类、新烟碱类和苯基吡唑类等对家蚕都有较高的急性毒性效应和生态风险,而大部分除草剂对家蚕的毒性为低毒,少量除草剂品种如50%草甘膦可溶性粉剂,80%莠灭净可湿性粉剂和10%吡嘧磺隆可湿性粉剂对家蚕毒性为中毒和高毒级^[6-10]。杀菌剂是一类重要的农药类别,其在国内外农药市场上的比重呈现上升趋势,且新的品种也不断上市^[11]。至今,关于杀菌剂对家蚕毒性效应与风险评价的研究还不够深入,因此,探讨和评价常用杀菌剂对家蚕的急性毒性具有重要应用价值。为了明确杀菌剂对家蚕的毒性效应,本研究测定了当前农业生产上常用的21种杀菌剂对家蚕的急性毒性并进行了相应的风险评价,同时观察了家蚕中毒症状,以期对桑园及其周围农田用药和农药环境毒理评价提供科学依据。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 供试生物

家蚕品种为恒丰×富玉,由浙江省农业科学院

蚕桑研究所提供,用常规方法催青并饲养至2龄起蚕备用,饲养温度为(25±1)℃,相对湿度为70%~85%,光周期为14h:10h(光照:黑暗)。桑树品种为农桑12号,桑叶采自浙江省农业科学院蚕桑研究所桑园,未接触农药。

1.2 供试药剂

20%叶枯唑可湿性粉剂(bismethiazol,20% WP);720 $g \cdot L^{-1}$ 百菌清悬浮剂(chlorothalonil,720 $g \cdot L^{-1}$ SC);10%醚菌酯水乳剂(kresoxim-methyl,10% EW);10%氟硅唑水乳剂(flusilazole,10% EW);12.5%腈菌唑水乳剂(myclobutanil,12.5% EW);20%苯醚甲环唑微乳剂(difenoconazole,20% ME);2%春雷霉素水分散粒剂(kasugamycin,2% WG);430 $g \cdot L^{-1}$ 戊唑醇悬浮剂(tebuconazole,430 $g \cdot L^{-1}$ SC);70%噁霉灵可湿性粉剂(hymexazol,70% WP);12.5%烯唑醇可湿性粉剂(diniconazole,12.5% WP);400 $g \cdot L^{-1}$ 咪唑胺悬浮剂(pyrimethanil,400 $g \cdot L^{-1}$ SC);40%丙环唑微乳剂(propiconazol,40% ME);45%咪鲜胺微乳剂(prochloraz,45% ME);80%烯酰吗啉水分散粒剂(dimethomorph,80% WG);24%井冈霉素可溶性粉剂(jingangmycin,24% SP);250 $g \cdot L^{-1}$ 己唑醇悬浮剂(hexaconazole,250 $g \cdot L^{-1}$ SC);15%三唑酮水乳剂(triadimefon,15% EW);70%苯醚甲环唑·咪鲜胺可湿性粉剂(difenoconazole·prochloraz,70% WP);50%苯甲·丙环唑乳油(difenoconazole·propiconazol,50% EC);36%丙环·咪鲜胺水乳剂(propiconazol·prochloraz,36% EW);600 $g \cdot L^{-1}$ 烯酰·百菌清悬浮剂(dimethomorph·chlorothalonil,600 $g \cdot L^{-1}$ SC)。上述药剂均由浙江省农业科学院生态监测研究中心提供。

1.3 试验方法

采用《化学农药环境安全评价试验准则》中推荐的食下毒叶法^[12],并在此基础上略加改进。经预试验明确药剂有效浓度范围后,将药剂用蒸馏水以等比级差稀释成5~7个梯度浓度,从桑树上采集健壮的子叶(第2、3片展开片),洗净擦干,且除去桑叶上的较粗叶脉。每10 mL药液浸渍10 g桑叶,尽量使药液均匀浸在桑叶上,浸叶时间为10 s。浸药后将桑叶在通风处自然晾干后放入直径为9 cm的培养皿内,每个培养皿接入20头2龄蚕作为1个处理,每个处理设3个重复。以清水浸渍桑叶作为空白对照。处理后的试虫置于温度为(25±1)℃、相对湿度为70%~85%、光周期为14 h:10 h(光照:黑暗)的人工气候箱内,观察并记录农药处理后96 h内家蚕中毒症状及死亡数。用镊子轻触虫体无反应视为死亡,用“DPS数据处理系统”9.50标准版计算各药剂对家蚕96 h的半致死浓度值(96 h-LC₅₀)和其95%置信限。当对照组死亡率小于5%时为有效试验。

1.4 农药对家蚕毒性和风险评价的等级划分

农药污染桑叶后对家蚕造成的急性毒性按LC₅₀的大小划分为4个等级:低毒(LC₅₀>200 mg·L⁻¹)、中毒(20 mg·L⁻¹<LC₅₀≤200 mg·L⁻¹)、高毒(0.5 mg·L⁻¹<LC₅₀≤20 mg·L⁻¹)和剧毒(LC₅₀≤0.5 mg·L⁻¹)。农药污染桑叶后对家蚕的风险评价可以根据田间施药浓度与LC₅₀的比值来进行分析,同样划分为4个等级:极高风险性(>10)、高风险性(1~10)、中等风险性(0.1~1)和低风险性(<0.1)^[13]。以LC₅₀值的95%置信限是否有重叠作为判断不同种药剂毒性差异是否显著的标准^[14]。

2 结果(Results)

2.1 供试杀菌剂对家蚕的急性毒性排序

杀菌剂对家蚕的急性毒性测定结果表明,不同作用机制的杀菌剂对家蚕的LC₅₀值存在较大差异,同一作用机制的不同杀菌剂品种对家蚕的LC₅₀值也存在较大差异。本研究测定的21种杀菌剂对家蚕96 h的急性毒性排序为:20%苯醚甲环唑微乳剂>10%氟硅唑水乳剂、12.5%腈菌唑水乳剂、12.5%烯唑醇可湿性粉剂>70%噁霉灵可湿性粉剂>2%春雷霉素水分散粒剂、400 g·L⁻¹啞霉胺悬浮剂>45%咪鲜胺微乳剂>80%烯酰吗啉水分散粒剂、15%三唑酮水乳剂、36%丙环·咪鲜胺水乳剂≥40%

丙环唑微乳剂、430 g·L⁻¹戊唑醇悬浮剂、50%苯甲·丙环唑乳油、10%醚菌酯水乳剂≥250 g·L⁻¹己唑醇悬浮剂>70%苯醚甲环唑·咪鲜胺可湿性粉剂;此外20%叶枯唑可湿性粉剂、720 g·L⁻¹百菌清悬浮剂、24%井冈霉素可溶性粉剂和600 g·L⁻¹烯酰·百菌清悬浮剂对家蚕的毒性极低,因稀释倍数所限,无法精确测出LC₅₀值,但上述4种药剂对家蚕96 h-LC₅₀值均>2 000 mg·L⁻¹(表1)。

2.2 供试杀菌剂处理后家蚕中毒症状观察

在试验过程中,20%叶枯唑可湿性粉剂、720 g·L⁻¹百菌清悬浮剂、24%井冈霉素可溶性粉剂和600 g·L⁻¹烯酰·百菌清悬浮剂处理后没有观察到家蚕有明显的中毒症状,也进一步表明上述4种药剂对家蚕的急性毒性较低。家蚕取食其他杀菌剂处理后的桑叶,均表现出一定的中毒症状。其中,家蚕取食经430 g·L⁻¹戊唑醇悬浮剂、12.5%烯唑醇可湿性粉剂、80%烯酰吗啉水分散粒剂和36%丙环·咪鲜胺水乳剂处理的桑叶后,表现出蚕体扭曲的中毒症状,其他药剂也均使家蚕表现出不同程度的侧倒、微动和吐水等中毒症状(表2)。

2.3 供试杀菌剂对家蚕的急性毒性等级和风险评价

供试杀菌剂对家蚕的急性毒性等级和风险评价结果表明,20%苯醚甲环唑微乳剂、10%氟硅唑水乳剂、12.5%腈菌唑水乳剂、12.5%烯唑醇可湿性粉剂和70%噁霉灵可湿性粉剂5种杀菌剂对家蚕96 h-LC₅₀值为46.5(41.9~54.0)~154(124~207) mg·L⁻¹,属中毒级;但20%苯醚甲环唑微乳剂、10%氟硅唑水乳剂、12.5%腈菌唑水乳剂和70%噁霉灵可湿性粉剂4种杀菌剂的田间最高施药浓度与其对家蚕96 h-LC₅₀值的比值为1.60~5.38,属高风险;12.5%烯唑醇可湿性粉剂的田间最高施药浓度与其96 h-LC₅₀值的比值为0.485,属中等风险。其余16种杀菌剂对家蚕的96 h-LC₅₀值均大于200 mg·L⁻¹,属低毒级;其中400 g·L⁻¹啞霉胺悬浮剂、45%咪鲜胺微乳剂和80%烯酰吗啉水分散粒剂3种药剂的田间最高施药浓度与其对家蚕的96 h-LC₅₀值的比值为2.29~3.72,属高风险;2%春雷霉素水分散粒剂、15%三唑酮水乳剂、36%丙环·咪鲜胺水乳剂、40%丙环唑微乳剂、430 g·L⁻¹戊唑醇悬浮剂、50%苯甲·丙环唑乳油、10%醚菌酯水乳剂和250 g·L⁻¹己唑醇悬浮剂8种药剂的田间最高施药浓度与其对家蚕的96 h-LC₅₀值的比值为0.169~0.991,属中等风险;20%叶枯唑可湿性粉剂、720 g·L⁻¹百菌清悬浮剂、24%井

井冈霉素可溶性粉剂和 600 g·L⁻¹烯酰·百菌清悬浮剂 精确测出 LC₅₀ 值, 没有进行风险评价(表 1)。
4 种药剂对家蚕的毒性极低, 因稀释倍数所限, 无法

表 1 21 种杀菌剂对家蚕的急性毒性与风险评价

Table 1 Acute toxicity and risk assessment of 21 fungicides to the larvae of *Bombyx mori*

杀菌剂	毒性回归方程	96 h-LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	毒性 等级	田间最高施药 浓度/(mg·L ⁻¹)	田间最高施药 浓度与 LC ₅₀ 比值	风险评价
20% 叶枯唑可湿性粉剂	-	> 2 000	低毒	750	< 0.375	-
720 g·L ⁻¹ 百菌清悬浮剂	-	> 2 000	低毒	5 063	< 2.53	-
10% 醚菌酯水乳剂	y = -2.3186 + 2.5070x	830(523 ~ 2 190)	低毒	667	0.804	中等风险性
10% 氟硅唑水乳剂	y = -0.2954 + 2.8086x	76.8(64.2 ~ 97.3)	中毒	175	2.28	高风险性
12.5% 腈菌唑水乳剂	y = -2.7191 + 4.0798x	78.0(69.8 ~ 89.1)	中毒	125	1.60	高风险性
20% 苯醚甲环唑微乳剂	y = -5.0866 + 6.0493x	46.5(41.9 ~ 54.0)	中毒	250	5.38	高风险性
2% 春雷霉素水分散粒剂	y = -13.7231 + 7.8102x	250(224 ~ 276)	低毒	108.3	0.433	中等风险性
430 g·L ⁻¹ 戊唑醇悬浮剂	y = -11.3755 + 5.9428x	569(515 ~ 652)	低毒	437.5	0.769	中等风险性
70% 噁霉灵可湿性粉剂	y = -5.1385 + 4.6357x	154(124 ~ 207)	中毒	500	3.25	高风险性
12.5% 烯唑醇可湿性粉剂	y = -8.1246 + 6.5238x	103(88 ~ 115)	中毒	50	0.485	中等风险性
400 g·L ⁻¹ 啉霉胺悬浮剂	y = -27.6172 + 13.5812x	252(242 ~ 262)	低毒	937.5	3.72	高风险性
40% 丙环唑微乳剂	y = -32.5087 + 13.7123x	544(501 ~ 576)	低毒	500	0.919	中等风险性
45% 咪鲜胺微乳剂	y = -7.9851 + 5.2691x	291(271 ~ 317)	低毒	667	2.29	高风险性
80% 烯酰吗啉水分散粒剂	y = -9.0106 + 5.4883x	357(330 ~ 388)	低毒	912.5	2.56	高风险性
24% 井冈霉素可溶粉剂	-	> 2 000	低毒	312.5	< 0.156	-
250 g·L ⁻¹ 己唑醇悬浮剂	y = -18.9677 + 8.1734x	856(817 ~ 895)	低毒	150	0.175	中等风险性
15% 三唑酮水乳剂	y = -8.1533 + 5.1247x	369(339 ~ 398)	低毒	300	0.813	中等风险性
70% 苯醚甲环唑·咪鲜胺可湿性粉剂	y = -20.5969 + 8.0738x	480(1 401 ~ 1 559)	低毒	250	0.169	中等风险性
50% 苯甲·丙环唑乳油	y = -15.8410 + 7.4917x	605(510 ~ 685)	低毒	225	0.372	中等风险性
36% 丙环·咪鲜胺水乳剂	y = -7.8149 + 4.8228x	454(351 ~ 825)	低毒	450	0.991	中等风险性
600 g·L ⁻¹ 烯酰·百菌清悬浮剂	-	> 2 000	低毒	1 800	< 0.90	-

注: - 表示该药剂对家蚕的毒性极低, 因稀释倍数所限, 无法精确测出 LC₅₀ 值, 没有进行风险评价。

表 2 家蚕接触 21 种杀菌剂后的急性中毒症状

Table 2 Acute toxic symptoms of 21 fungicides in the larvae of *Bombyx mori*

杀菌剂	吐液	体缩	扭曲	侧倒	静卧	晃头	拒食
20% 叶枯唑可湿性粉剂	-	-	-	-	-	-	-
720 g·L ⁻¹ 百菌清悬浮剂	-	-	-	-	-	-	-
10% 醚菌酯水乳剂	√	-	√	√	-	-	√
10% 氟硅唑水乳剂	-	-	√	√	√	-	√
12.5% 腈菌唑水乳剂	√	-	√	√	-	-	√
20% 苯醚甲环唑微乳剂	-	-	√	√	-	-	√
2% 春雷霉素水分散粒剂	-	-	-	√	-	-	√
430 g·L ⁻¹ 戊唑醇悬浮剂	-	-	√	-	-	√	√
70% 噁霉灵可湿性粉剂	√	-	-	√	-	-	√
12.5% 烯唑醇可湿性粉剂	√	-	√	-	-	-	√
400 g·L ⁻¹ 啉霉胺悬浮剂	√	-	-	√	-	-	√
40% 丙环唑微乳剂	-	-	√	√	-	-	√
45% 咪鲜胺微乳剂	-	√	√	√	√	-	√
80% 烯酰吗啉水分散粒剂	-	-	√	-	-	-	√
24% 井冈霉素可溶粉剂	-	-	-	-	-	-	-
250 g·L ⁻¹ 己唑醇悬浮剂	√	-	-	-	-	-	√
15% 三唑酮水乳剂	-	-	√	√	√	-	√
70% 苯醚甲环唑·咪鲜胺可湿性粉剂	-	-	-	√	-	-	√
50% 苯甲·丙环唑乳油	-	-	√	√	-	-	√
36% 丙环·咪鲜胺水乳剂	-	-	√	-	-	-	√
600 g·L ⁻¹ 烯酰·百菌清悬浮剂	-	-	-	-	-	-	-

3 讨论 (Discussion)

不同的药剂,由于其本身的性质、作用方式、防治对象及作用机理等不同,其毒性测定方法也有所差异^[14]。建立能够准确反映农药对家蚕毒性及其变化的标准方法是进行农药对家蚕安全性评价的先决条件。用于农药对家蚕毒性的测定方法主要有食下毒叶法、夹毒叶片法、触杀法(包括容器药膜法与点滴法)和熏蒸法等^[6,15]。其中,夹毒叶片法、触杀法和熏蒸法可分别单独反映出农药对家蚕的胃毒、触杀和熏蒸毒性,而食下毒叶法则可全面反映农药对家蚕的胃毒、触杀和熏蒸毒性,更接近于农药对家蚕的实际危害情况且可简化试验程序,已成为《化学农药环境安全性评价试验准则》中农药对家蚕毒性测定的首选方法^[16]。因此,本研究采用食下毒叶法测定农药对家蚕的毒性效应。

本研究测定结果表明:除20%叶枯唑可湿性粉剂、720 g·L⁻¹百菌清悬浮剂、24%井冈霉素可溶性粉剂和600 g·L⁻¹烯酰·百菌清悬浮剂4种药剂对家蚕的急性毒性极低(其对家蚕96 h-LC₅₀值均>2000 mg·L⁻¹)。没有进行风险评价外,其他17种杀菌剂对家蚕的急性毒性等级为低毒或中毒级,但急性风险评价却为中等或高风险。如400 g·L⁻¹嘧霉胺悬浮剂、45%咪鲜胺微乳剂和80%烯酰吗啉水分散粒剂对家蚕96 h的急性毒性等级为低毒,但急性风险评价却为高风险。因此,农药的毒性与其使用后的危害性是两个既有联系又有区别的概念^[17],正确评价农药对家蚕的安全性不能单用其对家蚕的毒性作为评价指标,而应考虑农药在田间的使用情况和环境条件等因素的综合影响^[13]。

本研究主要测定了农药对家蚕的急性毒性,但在农田生态系统中,农药的大量广泛使用,对桑叶及蚕室周围可能造成不同程度的污染,家蚕有可能接触到亚致死剂量的农药。亚致死剂量的农药可改变家蚕的生物学特性、经济性状和营养利用率^[18],其作用机制主要包括对家蚕生理代谢、组织器官和培养细胞的影响^[19-21]。已有报道利用家蚕脂肪体和中肠内丙二醛含量及酶活性变化来监测桑园生态系统中有机磷类杀虫剂的污染状况^[22-25]。但迄今为止,以家蚕的一些生理生化指标作为环境污染的生物标志物的研究还少有报道。笔者建议,今后需要更加关注农药对家蚕的亚致死效应、毒性的生化和分子机制以及农药复合污染对家蚕的影响,以期为合理使用农药,减少其对家蚕的毒副作用,实现蚕业

生产的可持续发展提供科学依据^[26-27]。

通讯作者简介:赵学平(1969—),男,副研究员,主要研究方向为农药应用及环境安全性评价。

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[J]. 商业研究, 2003(13): 139-141
Zheng J Z, Chen G J. The strategic analysis on the silk industry in economy globalization [J]. Commercial Research, 2003(13): 139-141 (in Chinese)
- [2] 谢云南,曹忠宏. 家蚕中毒的原因分析和防控措施[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2007(3): 21-22
- [3] Allsopp E. Investigation into the apparent failure of chemical control for management of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), on plums in the Western Cape Province of South Africa [J]. Crop Protection, 2010, 29(8): 824-831
- [4] Kuribayashi S. Damage of silkworms caused by pesticides and preventive measures [J]. Japanese Agricultural Research Quarterly, 1988, 21(4): 274-283
- [5] 熊彩珍,顾立明. 中秋蚕发生大面积农药中毒的思考[J]. 中国蚕业, 2007, 28(2): 54-55
- [6] Zhan X M, Liu H J, Miao Y G, et al. A comparative study of rac- and S-metolachlor on some activities and metabolism of silkworm, *Bombyx mori* L. [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2006, 85(3): 133-138
- [7] 游文字,陈晓枫,宋敏,等. 16种除草剂对家蚕的毒性评价研究[J]. 生态毒理学报, 2010, 5(1): 91-94
You W Y, Chen X F, Song M, et al. Toxicity evaluation of sixteen herbicides to *Bombyx mori* [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2010, 5(1): 91-94 (in Chinese)
- [8] 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
Si S D, Wang K Y, Lin R H, et al. Toxicity evaluation of twenty-five pesticides to *Bombyx mori* and observation of toxic symptoms [J]. Science of Sericulture, 2007, 33(3): 422-426 (in Chinese)
- [9] 罗雁婕,谢道燕,柴建萍,等. 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[J]. 蚕业科学, 2011, 37(1): 142-146
Luo Y J, Xie D Y, Cai J P, et al. Toxicity and effect of sublethal dosage of several common pesticides to growth and development of the silkworm, *Bombyx mori* [J]. Science of Sericulture, 2011, 37(1): 142-146 (in Chinese)
- [10] 马惠,姜辉,陶传江,等. 27种农药对家蚕的毒性评价

- 研究[J]. 农药学学报, 2005, 7(2): 156-159
- Ma H, Jiang H, Tao C J, et al. Toxicity evaluation of twenty-seven pesticides to *Bombyx mori* L. [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2005, 7(2): 156-159 (in Chinese)
- [11] McGrath M T. Fungicides and Other Chemical Approaches for Use in Plant Disease Control (Third Edition) [M]. New York: Academic Press, 2009: 412-421
- [12] 国家环保局. 化学农药环境安全评价试验准则[J]. 农药科学与管理, 1990(4): 7
- [13] 王静, 朱九生, 高海燕, 等. 7种农药对家蚕的毒性评价及中毒症状学观察[J]. 生态毒理学报, 2010, 5(1): 57-62
- Wang J, Zhu J S, Gao H Y, et al. Toxicological evaluation of seven pesticides to *Bombyx mori* and observation of toxicosis symptoms [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2010, 5(1): 57-62 (in Chinese)
- [14] 王彦华, 苍涛, 赵学平, 等. 褐飞虱和白背飞虱对几类杀虫剂的敏感性[J]. 昆虫学报, 2009, 52(10): 1090-1096
- Wang Y H, Cang T, Zhao X P, et al. Susceptibility to several types of insecticides in the rice planthoppers *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2009, 52(10): 1090-1096 (in Chinese)
- [15] 李保同. 六种杀虫剂对家蚕的毒性与安全评价研究[J]. 农药学学报, 2001, 3(3): 83-85
- Li B T. Toxicity of six insecticides to silkworm and their safety evaluation [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2001, 3(3): 83-85 (in Chinese)
- [16] 陈锐, 戴珍科, 蔡道基. 溴氰菊酯对家蚕安全性评价的研究[J]. 中国环境科学, 1991, 11(5): 343-346
- Chen R, Dai Z K, Cai D J. Study on the safety assessment of deltamethrin to the silkworm, *Bombyx mori* [J]. China Environmental Science, 1991, 11(5): 343-346 (in Chinese)
- [17] Stark J D, Vargas R I. Toxicity and hazard assessment of fipronil to *Daphnia pulex* [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 62(1): 11-16
- [18] 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
- Zhu J S, Wang J, Qiao X W, et al. Research advance in sublethal effects of pesticides on silkworm, *Bombyx mori* L. [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3335-3343 (in Chinese)
- [19] 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]. Journal of Environmental Biology, 1997, 18(2): 181-184
- [20] Etebari K, Bizhannia A R, Sorati R, et al. Biochemical changes in haemolymph of silkworm larvae due to pyriproxyfen residue [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2007, 88(1): 14-19
- [21] Yin X H, Li S N, Liu S Y, et al. Genotoxicity evaluation of low doses of clodinafop-propargyl to the silkworm *Bombyx mori* using alkaline single-cell gel electrophoresis [J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2008, 26(2): 162-166
- [22] Yamamoto K, Ichinose H, Aso Y, et al. Molecular characterization of an insecticide-induced novel glutathione transferase in silkworm [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 2011, 1810(4): 420-426
- [23] Nath B S, Surendra Kumar R P. Toxic impact of organophosphorus insecticides on acetylcholinesterase activity in the silkworm, *Bombyx mori* L. [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 1999, 42(2): 157-162
- [24] Yu Q Y, Fang S M, Zuo W D, et al. Effect of organophosphate phoxim exposure on certain oxidative stress biomarkers in the silkworm [J]. Journal of Economic Entomology, 2011, 104(1): 101-106
- [25] Hamamoto H, Tonoike A, Narushima K, et al. Silkworm as a model animal to evaluate drug candidate toxicity and metabolism [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 2009, 149(3): 334-339
- [26] Zhang Z Y, Wang D L, Chi Z J, et al. Acute toxicity of organophosphorus and pyrethroid insecticides to *Bombyx mori* [J]. Journal of Economic Entomology, 2008, 101(2): 360-364
- [27] Zhou H L, Chen K P, Yao Q, et al. Molecular cloning of *Bombyx mori* cytochrome P450 gene and its involvement in fluoride resistance [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 160(2-3): 330-336 ◆