

◆ 残留与环境 ◆

7种杀菌剂对家蚕的急性毒性效应研究

李 敏¹, 张 兰², 毛连纲², 朱丽珍², 吴 迟², 张清明^{1*}, 刘新刚^{2*}

(1. 青岛农业大学植物医学学院, 山东省植物病虫害绿色防控工程研究中心, 山东青岛 266109; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193)

摘要:为评价40%嘧霉胺悬浮剂等7种常用杀菌剂对非靶标生物家蚕的毒性效应, 采用浸叶法开展急性毒性试验, 并结合田间施药量计算预测暴露浓度(PEC)和预测无效应浓度(PNEC), 通过风险商值(RQ)进行初级风险评估。结果表明, 2%低聚糖素水剂和100 g/L氰霜唑悬浮剂对家蚕的急性毒性等级分别为低毒和中毒, 暴露风险可接受; 24%噻呋酰胺悬浮剂对家蚕低毒, 但最外围一行桑树暴露风险不可接受, 应尽量避免在桑园及附近使用。40%嘧霉胺悬浮剂、30%稻瘟酰胺悬浮剂、25%吡唑醚菌酯悬浮剂及25%吡唑醚菌酯乳油对家蚕的急性毒性为中毒至高毒, 暴露风险不可接受, 应禁止在桑园及附近农田使用。本研究为7种农药的合理使用和风险评价提供理论依据和技术支撑。

关键词: 杀菌剂; 家蚕; 急性毒性; 初级风险评估; 暴露风险

中图分类号: 450.2⁺6 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2025.04.010

Study on the acute toxicity effects of seven fungicides to *Bombyx mori*

LI Min¹, ZHANG Lan², MAO Liangang², ZHU Lizhen², WU Chi², ZHANG Qingming^{1*}, LIU Xingang^{2*}

(1. Shandong Engineering Research Center for Environment-Friendly Agricultural Pest Management, College of Plant Health and Medicine, Qingdao Agricultural University, Shandong Qingdao 266109, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to evaluate the toxic effects of seven commonly used fungicides, including pyrimethanil 40% SC, on non-target organisms *Bombyx mori*, acute toxicity tests were conducted by leaf-dipping method. The PEC and PNEC were calculated based on the field-recommended dosage, the primary risk assessment was conducted through RQ. The results showed that the acute toxicity classifications of oligosaccharins 2% AS and cyazofamid 100 g/L SC to *B. mori* were low toxicity and moderate toxicity, respectively. And the exposure risks were acceptable. The acute toxicity classification of thifluzamide 24% SC to *B. mori* was low toxicity, but the exposure risk of the outer row of mulberry trees was unacceptable. It should be avoided to use in and around mulberry orchards. The acute toxicity classifications of pyrimethanil 40% SC, fenoxanil 30% SC, pyraclostrobin 25% SC, and pyraclostrobin 25% EC to *B. mori* were from moderate to high toxicity. And the exposure risks to *B. mori* were unacceptable. Therefore, their use in and around mulberry orchards should be prohibited. This study provided theoretical basis and technical support for the rational use and risk assessment of seven pesticides.

Key words: fungicides; *Bombyx mori*; acute toxicity; primary risk assessment; exposure risk

收稿日期: 2024-12-02

作者简介: 李敏(2001—), 女, 山东菏泽人, 硕士研究生, 主要从事农药残留与环境生态毒理研究。E-mail: lmin1232024@163.com

通信作者: 张清明(1978—), 山东滨州人, 博士, 教授, 主要从事农药残留与环境毒理、污染土壤微生物修复等研究。

E-mail: zhangqingminghf@163.com

共同通信作者: 刘新刚(1978—), 男, 山东潍坊人, 博士, 研究员, 主要从事农药环境行为、生态毒理、农药污染防控等研究。

E-mail: xgliu@ippcaas.cn

家蚕(*Bombyx mori*) 又称桑蚕,是起源于我国的一种吐丝结茧昆虫,具有重要的生态地位和极高的经济价值^[1]。而农药作为防治病虫害的重要生产资料,其长期持续性投入使用对有益非靶标生物家蚕造成潜在威胁。已有研究表明,农药暴露会使家蚕体重减轻,并在组织学水平上对家蚕造成损伤,如丝腺结构造成损伤,降低吐丝结茧能力等^[2-3]。农药飘移污染桑叶造成家蚕中毒,严重制约了蚕桑业的安全稳定发展^[4-5]。

2023年,我国农药产品登记总量达46 058个,其中杀菌剂有12 682个,占比27.53%,仅次于杀虫剂^[6]。杀菌剂中,苯胺基嘧啶类、咪唑类、苯基酰胺类、噻唑酰胺类、甲氧基丙烯酸酯类和植物源杀菌剂等因杀菌活性高,杀菌谱广,被广泛用于水果、蔬菜、粮食作物防治病害,在农业生产中占据举足轻重的地位。为提高经济效益,其在桑树、西瓜、花生等经济作物上的应用已经十分普遍^[7]。农作物病害发生高峰期往往是桑蚕养殖期^[8]。目前,噻霉胺、吡唑醚菌酯、噻呋酰胺、稻瘟酰胺、氰霜唑、低聚糖素等农药的研究大部分集中在药效和残留等方面,对家蚕急性毒性研究相对较少。因此,探究以上几类杀菌剂对家蚕的毒性效应,对保证蚕桑业生产具有十分重要的意义。

急性毒性试验是评价农药对非靶标生物毒性的重要手段,开展环境风险评估是安全管理的基础,也是农药登记管理的必须环节^[9-10]。因此,本文以噻霉胺、吡唑醚菌酯、噻呋酰胺、稻瘟酰胺、氰霜唑、低聚糖素等农药为研究对象,采用浸叶法开展对家蚕的急性毒性试验,同时结合田间推荐剂量进行初级风险评估,旨在为杀菌剂的安全合理使用奠定理论基础,同时也为我国蚕桑业的可持续发展提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试生物

家蚕品种为碧波×洞庭,卵块购于海盐县铭禾蚕桑合作社。蚕卵置于温度 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度70%~85%,光周期14 h(光照):10 h(黑暗)条件下,在人工智能气候箱中催青并饲养至2龄起蚕备用。

试验用桑叶为桑树新梢尖端下数第3~4片嫩叶,叶片呈浅绿色,有光泽,微皱。

1.1.2 供试农药

40%噻霉胺悬浮剂、2%低聚糖素水剂、30%稻瘟酰胺悬浮剂、100 g/L氰霜唑悬浮剂、24%噻呋酰胺

悬浮剂、25%吡唑醚菌酯悬浮剂、25%吡唑醚菌酯乳油,均由中国农业科学院植物保护研究所提供。

1.2 试验方法

参照GB/T 31270.11—2014《化学农药环境安全评价试验准则 第11部分 家蚕急性毒性试验》,采用浸叶法进行试验^[11]。试验设置1~7个处理组。40%噻霉胺悬浮剂质量浓度设为1.00、1.70、2.89、4.91、8.35 mg/L;30%稻瘟酰胺悬浮剂质量浓度设为20.00、38.00、72.20、137.00、261.00、495.00、941.00 mg/L;100 g/L氰霜唑悬浮剂质量浓度设为18.60、26.00、36.40、51.00、71.40、100.00、140.00 mg/L;24%噻呋酰胺悬浮剂质量浓度设为800.00、960.00、1 150.00、1 380.00、1 660.00 mg/L;25%吡唑醚菌酯悬浮剂质量浓度设为20.00、26.00、33.80、43.90、57.10、74.30 mg/L;25%吡唑醚菌酯乳油质量浓度设为5.00、7.50、11.20、16.90、25.30、38.00 mg/L;2%低聚糖素水剂质量浓度设为2 000.00 mg/L。称取质量为 (5 ± 0.5) g的桑叶浸入50 mL供试溶液中10 s,取出晾干。放入垫有滤纸的培养皿中,每皿接入20头2龄起蚕,每个处理组3次重复,并设置清水空白对照组。将各处理放入人工气候室中饲养。记录染毒完成后24、48、72、96 h家蚕的中毒症状和死亡情况。

采用SPSS25.0软件进行数据处理及分析,计算供试农药 LC_{50} (96 h)、95%置信限、毒力回归方程,以及相关系数(r),并评价药剂对家蚕的急性毒性,进行初级风险评估。

1.3 农药对家蚕的毒性等级划分

参照《化学农药环境安全评价试验准则》将农药对家蚕的急性毒性划分为4个等级^[12-13]。剧毒, $LC_{50} \leq 0.5$ mg/L;高毒, $0.5 < LC_{50} \leq 20$ mg/L;中毒, $20 < LC_{50} \leq 200$ mg/L;低毒, $LC_{50} > 200$ mg/L。

1.4 初级风险评估

1.4.1 初级暴露分析

参照NY/T 2882.5—2016《农药登记环境风险评估指南 第5部分 家蚕》^[14]。针对7种杀菌剂实际使用情况,分别在单次施药飘移和多次施药飘移场景来进行暴露分析。查询中国农药信息网,仅24%噻呋酰胺悬浮剂在作物生长期单次施药。通过试验所得 LC_{50} ,结合最大田间施药量及飘移因子等计算最外围和次外围一行桑树的预测暴露浓度(PEC)和预测无效应浓度(PNEC),进而计算风险商值(RQ)。

单次施药场景下,最外围一行桑树预测暴露浓度(PEC_{sa-1})、次外围一行桑树预测暴露浓度(PEC_{sa-2})计算公式见公式(1)和公式(2)。

$$PEC_{sa-fr}=AR \times PDF_{fr} \times RUD_{95} \times DF_{PHI} \tag{1}$$

$$PEC_{sa-sr}=AR \times PDF_{sr} \times RUD_{95} \times DF_{PHI} \tag{2}$$

多次施药场景下,最外围一行桑树预测暴露浓度(PEC_{ma-fr})、次外围一行桑树预测暴露浓度(PEC_{ma-sr})计算公式见公式(3)和公式(4)。

$$PEC_{ma-fr}=AR \times PDF_{fr} \times RUD_{95} \times MAF \times DF_{PHI} \tag{3}$$

$$PEC_{ma-sr}=AR \times PDF_{sr} \times RUD_{95} \times MAF \times DF_{PHI} \tag{4}$$

式中:AR为农药有效成分田间最大施用量,kg/hm²;PDF_{fr}为最外围一行桑树上飘移因子;PDF_{sr}为次外围一行桑树上飘移因子;RUD₉₅为桑树上第95百分位的单位面积农药残留量。MAF为多次施药因子,根据公式(5)计算;DF_{PHI}为农药降解系数,根据公式(6)计算。*n*为施药次数,其中24%噻呋酰胺悬浮剂施药1次,40%嘧霉胺悬浮剂、100 g/L 氰霜唑悬浮剂施药2次,2%低聚糖素水剂、25%吡唑醚菌酯悬浮剂、30%稻瘟酰胺悬浮剂施药3次,25%吡唑醚菌酯乳油施药4次;是施药间隔期,除24%噻呋酰胺悬浮剂外,其余杀菌剂间隔期为7 d;DT₅₀为农药降解半衰期,默认为10 d;PHI为桑叶安全间隔期,默认值为1 d。

$$MAF=\frac{1-e^{(-n_i \times \ln 2/DT_{50})}}{1-e^{(-i \times \ln 2/DT_{50})}} \tag{5}$$

$$DF_{PHI}=e^{(-\ln 2/DT_{50} \times PHI)} \tag{6}$$

1.4.2 初级效应分析和风险表征
修正半致死浓度(LC_{50-c})、预测无效应浓度(PNEC)和风险商值(RQ)根据公式(7)~公式(9)计算。

$$LC_{50-c}=LC_{50-GB} \times Fc \tag{7}$$

$$PNEC=\frac{EnP}{UF} \tag{8}$$

$$RQ=\frac{PEC}{PNEC} \tag{9}$$

式中:LC_{50-GB}为试验得到的半致死浓度,mg/L;Fc为校正因子,默认值为0.46;EnP为毒性终点;UF为不确定因子,默认值为70^[15]。

当RQ≤1时,风险可接受;RQ>1,风险不可接受。

2 结果与分析

2.1 7种杀菌剂处理后家蚕中毒症状

试验中,杀菌剂处理后家蚕中毒症状主要表现为拒食、吐液,身体变软、扭曲且呈“S”形、发黄。其中,空白对照组和2%低聚糖素水剂处理组无家蚕死亡现象,且无中毒症状。不同药剂的性质、作用方式、防治对象及作用机理等不同,家蚕的具体中毒症状也各不相同。家蚕中毒症状见表1。

表 1 7 种杀菌剂处理的家蚕中毒症状

药剂名称	拒食	吐液	身体变软	身体发黄	身体扭曲呈“S”形
40%嘧霉胺悬浮剂	×	×	√	×	√
2%低聚糖素水剂	×	×	×	×	×
30%稻瘟酰胺悬浮剂	×	×	√	√	√
100 g/L 氰霜唑悬浮剂	√	√	×	×	×
24%噻呋酰胺悬浮剂	√	×	×	×	√
25%吡唑醚菌酯悬浮剂	√	√	×	×	×
25%吡唑醚菌酯乳油	√	√	×	×	√

注:表中“√”和“×”分别表示症状的有和无。

2.2 7种杀菌剂对家蚕的毒力测定

采用浸叶法,研究了7种杀菌剂对家蚕的急性毒性,结果见表2。试验结果显示,40%嘧霉胺悬浮剂、25%吡唑醚菌酯乳油对家蚕高毒,LC₅₀分别为3.11、12.20 mg/L;30%稻瘟酰胺悬浮剂、100 g/L 氰霜唑悬浮剂、25%吡唑醚菌酯悬浮剂对家蚕的毒性为

中毒,LC₅₀分别为85.20、89.20、41.40 mg/L。这几种药剂对家蚕的急性毒性较高,在桑园及周围环境中应避免使用,同时应注意同种药剂不同剂型的合理选择。24%噻呋酰胺悬浮剂、2%低聚糖素水剂对家蚕的急性毒性较低,但在实际生产过程中需注意农药飘移造成的桑叶污染问题,合理使用药剂。

表 2 7 种杀菌剂对家蚕急性毒性和毒力回归方程

药剂名称	LC ₅₀ /(mg/L)	95%置信限/(mg/L)	毒性等级	毒力回归方程	r ²
40%嘧霉胺悬浮剂	3.11	2.81~3.45	高毒	y=-1.436+2.910x	0.996
30%稻瘟酰胺悬浮剂	85.20	75.90~95.30	中毒	y=-4.980+2.580x	0.970
100 g/L 氰霜唑悬浮剂	89.20	81.40~99.30	中毒	y=-5.836+2.992x	0.967

(续表 2)

药剂名称	LC ₅₀ /(mg/L)	95%置信限/(mg/L)	毒性等级	毒力回归方程	r ²
24%噻唑酰胺悬浮剂	1 270.00	1 200.00~1 340.00	低毒	y=-16.460+5.300x	0.925
2%低聚糖素水剂	>2 000		低毒		
25%吡唑醚菌酯悬浮剂	41.40	39.50~43.50	中毒	y=-11.261+6.963x	0.986
25%吡唑醚菌酯乳油	12.20	7.79~18.00	高毒	y=-2.671+2.459x	0.850

2.3 初级风险评估

结合对家蚕的毒性终点与最大施药量等数据进行了供试农药对家蚕的暴露风险评估,结果见表 3。在单次施药飘移暴露场景下,24%噻唑酰胺悬浮剂对桑园最外围一行桑树暴露风险商值RQ_{sa-ft}为4.496,次外围一行桑树暴露风险商值RQ_{sa-st}为0.275。

在多次施药飘移暴露场景下,40%啮霉胺悬浮剂、2%低聚糖素水剂、30%稻瘟酰胺悬浮剂、100g/L氰霜唑悬浮剂、25%吡唑醚菌酯悬浮剂和25%吡唑醚菌酯乳油对桑园最外围一行桑树暴露风险商值为0.047~152.730 次外围一行桑树暴露风险商值为0.003~9.351。

表 3 杀菌剂对家蚕的评估结果

药剂名称	施药场景	飘移场景	PEC/(mg/kg桑叶)	PNEC/(mg/kg桑叶)	风险商值	风险表征
24%噻唑酰胺悬浮剂	单次施药	最外围一行桑树	37.526	8.346	4.496	不可接受
		次外围一行桑树	2.298	8.346	0.275	可接受
40%啮霉胺悬浮剂	多次施药	最外围一行桑树	0.895	0.020	43.772	不可接受
		次外围一行桑树	0.055	0.020	2.680	不可接受
2%低聚糖素水剂	多次施药	最外围一行桑树	0.615	13.143	0.047	可接受
		次外围一行桑树	0.038	13.143	0.003	可接受
30%稻瘟酰胺悬浮剂	多次施药	最外围一行桑树	9.223	0.560	16.473	不可接受
		次外围一行桑树	0.565	0.560	1.009	不可接受
100 g/L 氰霜唑悬浮剂	多次施药	最外围一行桑树	0.149	0.586	0.254	可接受
		次外围一行桑树	0.009	0.586	0.016	可接受
25%吡唑醚菌酯悬浮剂	多次施药	最外围一行桑树	7.686	0.272	28.250	不可接受
		次外围一行桑树	0.471	0.272	1.730	不可接受
25%吡唑醚菌酯乳油	多次施药	最外围一行桑树	12.245	0.080	152.730	不可接受
		次外围一行桑树	0.750	0.080	9.351	不可接受

3 结论与讨论

本研究通过测定7种杀菌剂的急性毒性,结合田间施药因子进行了杀菌剂对家蚕的初级风险评估。结果表明,7种杀菌剂中,2%低聚糖素水剂和24%噻唑酰胺悬浮剂对家蚕的急性毒性为低毒,其他5种杀菌剂对家蚕的急性毒性为中毒至高毒。24%噻唑酰胺悬浮剂虽然对家蚕低毒,但其初级风险评估显示,其对桑园最外围一行桑树的暴露风险不可接受。100 g/L 氰霜唑悬浮剂对家蚕的急性毒性为中毒,但其暴露风险可接受。因此,仅以毒性或者初级风险评估判断供试农药对家蚕的危害有一定的局限性,应该综合考虑以上2种因素,科学评估农药对家蚕的风险。此外,25%吡唑醚菌酯悬浮剂和25%吡唑醚菌酯乳油由于剂型不同,对家蚕的急性毒性也有所不同。因此,应根据桑园及周围的环境条件、

作物种类等因素,合理选择农药剂型并采取科学施药方式,尽量减少施药后农药对家蚕造成的危害。

本研究在实验室进行了7种杀菌剂对家蚕的急性毒性试验,并根据《农药登记环境风险评估指南》,结合中国农药信息网中药剂的最大推荐剂量进行初级风险评估。农药在田间施用过程中会受到多种因素的影响,为使药剂评估结果更加贴合实际,可以进行田间试验,采用实际生产中农药在桑叶上的残留进行高级风险评估^[16]。

此外,针对本研究中家蚕风险较高的杀菌剂,建议关注其对家蚕的亚致死效应,获得更多的数据支撑高阶风险评估^[17]。另外,可以开展更多的家蚕毒性机制研究,探明其生理生化和分子水平指标作为环境污染生物标志物,从而合理安全使用农药,减少农药对家蚕的副作用,为蚕桑业健康发展 (下转第 76 页)

μg/mL 样品中未检测出萘乙酸残留。

3 结论

本研究制备了一种聚离子液体磁性材料,该材料对萘乙酸、对氯苯氧乙酸钠具有较好的吸附性能。此磁性材料应用于分散固相萃取过程,效果良好。同时,本研究建立了黄瓜汁中萘乙酸、对氯苯氧乙酸钠的残留检测方法,该方法结合了高效的磁分离技术、便捷的分散固相萃取技术,适用于较复杂基质中痕量药物的检测。

参考文献

- [1] 邵吉,秦国富,刘佳,等.市售水果中植物生长调节剂残留状况分析[J].中国卫生检验杂志,2023,33(12):1504-1506.
- [2] 邹桂花,胡美华,等.植物激素在蔬菜中的应用探讨[J].现代农业科技,2011(12):182-183.
- [3] WIERUCKA M, BIZIUK M. Application of magnetic nanoparticles for magnetic solid-phase extraction in preparing biological, environmental and food samples[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2014, 59: 50-58.
- [4] CHEN L, WANG T, TONG J. Application of derivatized magnetic materials to the separation and the preconcentration of pollutants in water samples[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2011, 30(7): 1095-1108.

- [5] 王志,王春.磁性固相萃取技术研究的新进展[J].色谱,2012,30(10):977-979.
- [6] 党永锋,马晓国,邹建平.离子液体负载修饰磁性纳米材料的制备及用于水样中痕量镉离子的测定[J].分析测试学报,2012,31(7):823-827.
- [7] 陈彪,隆泉,郑保忠.磁性离子液体的应用研究[J].化学进展,2012,24(增刊1):225-234.
- [8] 阮佳,曾延波,张剑,等.烯基离子液体为单体的磁性分子印迹聚合物及其用于酚类化合物的萃取和检测[J].分析试验室,2015,34(7):745-750.
- [9] 苑亚楠.功能化石墨烯/酚醛树脂吸附剂的制备及在复杂样品前处理中的应用[D].河北保定:河北大学,2020.
- [10] ZUO Y, JIAO Z, MA L, et al. Hydrogen bonding induced UCST phase transition of poly(ionic liquid)-based nanogels[J]. Polymer, 2016, 98: 287-293.
- [11] Han Y, Yang C, Zhou Y, et al. Ionic liquid-hybrid molecularly imprinted material-filter solid-phase extraction coupled with hplc for determination of 6-benzyladenine and 4-chlorophenoxyacetic acid in bean sprouts[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 65(8):1750-1757.
- [12] CAO J K, YAN H Y, SHEN S G, et al. Hydrophilic molecularly imprinted melamine-urea-formaldehyde monolithic resin prepared in water for selective recognition of plant growth regulators[J]. Analytica Chimica Acta, 2016, 943: 136-145.
- [13] 项灿.离子液体表面功能化磁性材料制备及其吸附性能研究[D].河北保定:河北大学,2017.

(编辑:顾林玲)

(上接第70页)

提供科学依据^[18-19]。

参考文献

- [1] 中国科学院.养蚕与丝绸业的发展[DB/OL]. [2024-12-01]. <http://www.kepu.net.cn/gb/lives/insect/relation/rlt2102.html>.
- [2] ASHRAF H Q, AYESHA Q, NIKHIL M. Oxidative stress, DNA damage, and histological alterations in *Bombyx mori* exposed orally to pesticide dimethoate[J]. Physiological Entomology, 2022, 48(1): 1-13.
- [3] XU X Y, TONG X L, WU X L, et al. Titanium dioxide nanoparticles relieve silk gland damage and increase cocooning of *Bombyx mori* under phoxim-induced toxicity[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2022, 245: 114100.
- [4] 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(2):54-55.
- [5] 潘美良,周华初.家蚕农药中毒的发生与预防[J].蚕桑通报,2005,36(3):64-65.
- [6] 张君霞,王倩,徐怀瑞,等.2013—2023年中国小麦杀菌剂登记现状[J].农药,2024,63(2):79-83;99.
- [7] 王芳,高丽霞,王宏青.家蚕农药中毒原因分析及预防对策[J].广东蚕业,2024,58(1):1-3.
- [8] 盛俊杰.农药对家蚕急性毒性试验和安全性评价研究[D].江苏苏州:苏州大学,2018.
- [9] 程禹,邵辉,刘春艳,等.77%氢氧化铜水分散粒剂对6种陆生生物的毒性及环境风险评估[J].生态毒理学报,2021,16(5):364-376.
- [10] 周艳明,姜辉,袁奎奎,等.农药环境风险评估技术体系发展动态

[J].现代农药,2023,22(4):21-28.

- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.化学农药环境安全评价试验准则第11部分:家蚕急性毒性试验:GB/T 31270.11—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [12] 国家环保局.化学农药环境安全性评价试验准则[J].农药科学与管理,1990(4):4-7.
- [13] 蔡道基,杨佩芝,龚瑞忠,等.化学农药环境安全评价试验准则[M].北京:化学工业出版社,1989.
- [14] 农业农村部农药检定所.农药登记环境风险评估指南 第5部分 家蚕:NY/T 2882.5—2016[S].北京:中国农业出版社,2016.
- [15] 贾新茹,袁野,张月秋,等.200 g/L氯虫苯甲酰胺悬浮剂施用于稻田的环境风险评估[J].现代农药,2022,21(2):43-48;55.
- [16] 魏杰,谢源,陈蓓蓓,等.8%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐可溶液剂对4种环境昆虫的急性毒性与初级风险评估[J].农药,2022,61(6):423-427.
- [17] 柳新菊,俞瑞鲜,吴声敢,等.甲氧虫酰胺对家蚕的急性慢性毒性效应及生态风险评估[J].生态毒理学报,2022,17(4):554-562.
- [18] 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.
- [19] 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.

(编辑:顾林玲)