

苯醚甲环唑和嘧菌酯对家蚕的生长发育毒性

莫秀芳^{1,2}, 李星翰¹, 王晓岚¹, 尹晓辉^{*1}

(1. 浙江农林大学 农业与食品科学学院, 杭州 311300; 2. 华南农业大学 农学院, 广州 510642)

摘要: 为评价在桑园及周围农田使用 10% 苯醚甲环唑水分散粒剂 (WG) 和 250 g/L 嘧菌酯悬浮剂 (SC) 对家蚕的影响, 采用浸叶法对 2 龄起家蚕连续喂食染毒桑叶, 测定了 2 种药剂对家蚕的急性毒性及生长发育毒性。急性试验结果表明, 10% 苯醚甲环唑 WG 和 250 g/L 嘧菌酯 SC 对 2 龄起蚕的 96 h-LC₅₀ 值分别为 353.58 和 498.66 mg/L。生长发育毒性试验结果表明: 10% 苯醚甲环唑 WG 最高剂量 (200 mg/L) 和最低剂量 (50 mg/L) 组对 2~4 龄家蚕的发育历期均有显著影响, 但随着龄期增长其影响逐渐减弱; 250 g/L 嘧菌酯 SC 可使家蚕幼虫发育历期明显延长, 发育严重不齐, 其最高剂量组 (250 mg/L) 试虫死亡率显著高于平均水平, 不同龄期试虫的发育历期及眠蚕体重与对照组相比均差异显著, 对个体生长发育水平影响明显, 并出现了未结茧即化蛹的现象。虽然 10% 苯醚甲环唑 WG 和 250 g/L 嘧菌酯 SC 对家蚕均为低毒、低风险性, 但其对家蚕的发育历期、眠蚕体重、繁殖力及其他主要经济学性状等指标均可产生不同程度的影响, 因此, 桑蚕养殖区在使用这 2 种杀菌剂时也应注意避免污染桑叶, 以免给蚕业生产造成损失。

关键词: 苯醚甲环唑; 嘧菌酯; 水分散粒剂; 悬浮剂; 家蚕; 急性毒性; 生长发育毒性

中图分类号: TQ450.261; S482.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2018)06-0758-07

Toxicity of difenoconazole and azoxystrobin on the growth and development of *Bombyx mori*

MO Xiufang^{1,2}, LI Xinghan¹, WANG Xiaolan¹, YIN Xiaohui^{*1}

(1. Agricultural and Food Science College, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China;

2. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to evaluate the influence of 10% difenoconazole water dispersible granule (WG) and 250 g/L azoxystrobin suspension concentrate (SC) on silkworms in mulberry gardens and surrounding agricultural fields, the acute toxicity and developmental toxicity were investigated in laboratory by exposing both fungicides to silkworm, *Bombyx mori*. The 2nd instar larvae of silkworm was continuously fed with leaves exposed to fungicides. The results of acute toxicity showed that the 96 h-LC₅₀ for the 2nd instar larvae to 10% difenoconazole WG and 250 g/L azoxystrobin SC were 353.58 mg/L and 498.66 mg/L, respectively. The results of the development toxicity experiments showed that the highest dose (200 mg/L) and the lowest dose (50 mg/L) of 10% difenoconazole WG had significantly

收稿日期: 2018-05-12; 录用日期: 2018-11-07.

基金项目: 浙江省自然科学基金 (LY14B070014).

作者简介: 莫秀芳, 女, 硕士研究生, E-mail: 1729928650@qq.com; *尹晓辉, 通信作者 (Author for correspondence), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为农药生态毒理与环境毒理学, E-mail: yinxh@zafu.edu.cn

effect on the development duration of the 2nd-4th instars larvae of silkworm, however the influence gradually became less obvious with instar. 250 g/L azoxystrobin SC had significantly effect on silkworms. The development duration of larvae was prolonged, and the development was seriously irregularity. The mortality of high concentration group (250 mg/L) was significantly above the average. Compared with the control, the development duration and the weight of molting silkworm larvae had obvious differences. In addition, the pupal stage without cocooning was observed. Although 10% difenoconazole WG and 250 g/L azoxystrobin SC have low toxicity and low risk to silkworm, they can influence the development duration, silkworm weight, fecundity and other major economic traits of silkworm. Therefore, when using these two fungicides in silkworm area, to control the loss of silkworm production, mulberry leaf pollution should be avoided.

Keywords: difenoconazole; azoxystrobin; water dispersible granule (WG); suspension concentrate (SC); *Bombyx mori*; acute toxicity; growth and developmental toxicity

家蚕 *Bombyx mori* L. 原产于中国, 是一种具有很高经济价值的泌丝昆虫, 人工驯化已有 5 000 多年历史。由于长期的自然选择和人工选择, 同时经过长期室内饲养, 家蚕对野外生存条件、特别是对农药等外源化合物的适应能力很弱^[1]。在中国, 由于农桑混植比较普遍, 农田使用药剂发生飘移以及桑园病虫害防治用药不当都可能会导致桑叶污染, 从而引起家蚕农药中毒, 影响其生长发育过程及桑蚕养殖业经济^[1-2], 每年因农药残留造成的家蚕中毒事件可导致中国蚕茧产量损失在 30% 以上^[3]。因此, 在中国农药登记与环境安全评价中, 农药对家蚕的急性毒性是一项必不可少的指标^[4]。此外, 随着环境生态保护意识的增强, 研究农药对家蚕的慢性毒性也越来越受到重视, 但目前关于杀菌剂对家蚕影响的研究报道并不多。现有研究显示, 一些杀菌剂可影响家蚕正常的生长发育和生理代谢, 造成眠蚕质量下降、眠起不齐及发育历期延长等问题, 进而影响家蚕的全茧量、茧层量和茧层率等^[2, 5], 给养蚕业造成较大的经济损失。因此, 重视农药污染对家蚕的慢性毒性同样具有重要意义。

苯醚甲环唑 (difenoconazole) 属三唑类脱甲基抑制剂, 具有内吸性和治疗作用, 防病谱广^[6]。啉菌酯 (azoxystrobin) 属甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂, 具有保护、治疗、铲除和抗产孢作用^[7]。目前上述 2 种杀菌剂均已被广泛应用于柑橘、葡萄、花卉等果树及其他农作物病害的防治中^[8], 但有关其对家蚕的相关研究均主要集中在急性毒性和风险评估方面^[9-12]。鉴于此, 本研究采用食下毒叶法测定了苯醚甲环唑和啉菌酯常用剂型对家蚕的急性毒性

和生长发育毒性, 以期对上述杀菌剂对家蚕生态风险的全面评估及其合理使用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试家蚕

家蚕 *Bombyx mori* L. 品种为 P50, 由浙江省杭州市蚕桑所提供。用常规方法催青、自主孵化和饲养。饲养条件: 恒温箱温度 (26 ± 2) °C, 相对湿度 75%~85%, 光照 16 h : 8 h。急性毒性和生长发育毒性均采用健康、生长一致的 2 龄起蚕供试。

1.2 药剂

有效成分质量分数为 10% 的苯醚甲环唑水分散粒剂 (10% difenoconazole WG), 其田间推荐最高剂量为 450 倍液 (有效成分 220 mg/L); 有效成分质量浓度为 250 g/L 的啉菌酯悬浮剂 (250 g/L azoxystrobin SC), 田间推荐最高剂量为 750 倍液 (有效成分 200 mg/L)。上述药剂均由先正达 (苏州) 作物保护有限公司生产。

1.3 试验方法

急性毒性试验采用文献推荐的浸叶法^[4]连续喂食染毒桑叶, 生长发育毒性试验参考池艳艳等的方法^[8]。

1.3.1 急性毒性测定 根据预试验所确定的浓度范围, 按一定比例设置 5 个梯度质量浓度 (有效成分, 以下同) (啉菌酯 125、250、500、1 000 及 2 000 mg/L, 苯醚甲环唑 100、200、400、800 及 1 600 mg/L), 并设 1 个空白对照。每处理 3 次重复, 每重复 20 头 2 龄起蚕。采用浸叶法染毒, 选取桑树顶端新鲜有光泽的嫩叶, 以 20 mL 不同浓度药液均匀浸渍 5 g 桑叶, 浸渍 10 s 后于通风处

晾干。以清水浸渍桑叶为空白对照。将处理后桑叶移入 12 cm 培养皿中，接入健康、有活力的 2 龄起蚕，置于 $(26 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱内，按常规方法饲养，连续喂食染毒桑叶 96 h，分别观察记录 24、48、72 及 96 h 的累积死亡数、存活家蚕头数及中毒症状。对照组死亡率小于 10% 的试验为有效试验。计算累积死亡率和校正死亡率，并运用 SPSS 19.0 软件进行统计分析，得出 2 种杀菌剂制剂对家蚕的 96h-LC₅₀ 值及其 95% 置信限。

1.3.2 生长发育毒性试验 通过急性毒性试验，观察 2 种农药不同浓度处理组家蚕的生长发育和蜕皮情况，并参照急性试验浓度，以农药的田间最高推荐剂量按比例稀释后进行家蚕生长发育毒

性试验。按一定比例分别设 3 个质量浓度处理组(噻菌酯 250、125 及 62.5 mg/L，苯醚甲环唑 200、100 及 50 mg/L) 及 1 个空白对照组，每组 3 个重复，每重复 20 头 2 龄起蚕。给药及空白对照组桑叶处理同 1.3.1 节。记录家蚕各龄期的发育历期、眠蚕体重和平均每雌产卵量；于结茧 8 d 后剪开蚕茧，称量茧层量及全茧量，计算结茧率、茧层率、化蛹率和死笼率；待羽化后记录羽化虫数，计算羽化率^[8]。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 软件进行统计分析。

表 1 农药对家蚕的毒性与风险性等级划分标准^[4]
Table 1 Criteria of toxicity and risk of pesticides to *B. mori*^[4]

毒性等级 Toxicity grade	致死中浓度 LC ₅₀ /(mg/L)	风险性等级 Risk grade	田间施药浓度/LC ₅₀ Dosage used in field/LC ₅₀
剧毒 Extreme toxicity	LC ₅₀ ≤ 0.5	极高风险性 Extreme risk	≥ 10
高毒 High toxicity	0.5 < LC ₅₀ ≤ 20	高风险性 High risk	≥ 1.0 ~ < 10
中毒 Moderate toxicity	20 < LC ₅₀ ≤ 200	中等风险性 Moderate risk	≥ 0.1 ~ < 1.0
低毒 Slight toxicity	LC ₅₀ > 200	低风险性 Slight risk	< 0.1

2 结果与分析

2.1 家蚕中毒症状观察

经 2 种杀菌剂处理后，家蚕的中毒症状具有一定相似性，如体缩、吐液、僵直、体色发黑、

呈“C”形或“S”形以及拒食等(表 2)，详情见附加材料 1 补充图(SFig. 1)。此外，经同种药剂不同浓度处理后，家蚕的中毒症状存在一定差异，通常高浓度处理组中毒症状更明显。

表 2 家蚕 2 龄起幼虫接触 2 种杀菌剂后的中毒症状
Table 2 Acute toxic symptom of the 2nd instar larvae of *B. mori* to two fungicides

杀菌剂 Fungicide	体缩 Shrink	吐液 Spit liquid	“C”或“S”形 “C” or “S” shape	僵直 Rigid	体色黑 Black
10% 苯醚甲环唑水分散粒剂 10% difenoconazole WG	√	√	√	√	√
250 g/L 噻菌酯悬浮液 250 g/L azoxystrobin SC	√	√	√	√	√

注：中毒症状的观察时间为处理后 24、48、72 及 96 h，“√”表示家蚕出现此类中毒症状。
Note: Toxic symptom was record at 24, 48, 72 and 96 h after the treatment. “√” indicated that the treated silkworm showed the correspondent symptom.

2.2 供试 2 种杀菌剂对家蚕的急性毒性

从 2 种杀菌剂对家蚕的 96 h-LC₅₀ 值(表 3)可知，10% 苯醚甲环唑 WG 和 250 g/L 噻菌酯 SC 对家蚕的毒性等级均为低毒，其风险性等级为低风险性^[4]。

2.3 供试 2 种杀菌剂对家蚕的生长发育毒性

2.3.1 对家蚕发育历期的影响 结果见表 4。10% 苯醚甲环唑 WG 于 2~3 龄期给药，各处理组

受试家蚕 2 龄和 3 龄的发育历期均与对照差异显著 ($P < 0.05$)；4 龄时，100 和 200 mg/L 浓度组与对照差异显著 ($P < 0.05$)；各浓度组 5 龄家蚕的发育历期均与对照无显著差异 ($P < 0.05$)。

250 g/L 噻菌酯 SC 62.5 mg/L 浓度组对 2 龄家蚕发育历期的影响与对照无显著差异 ($P < 0.05$)，125 和 250 mg/L 浓度组则与对照差异显著 ($P < 0.05$)；3 龄时，62.5 和 250 mg/L 浓度组与对照均

表 3 供试 2 种杀菌剂对家蚕的急性毒性 (96 h)

Table 3 Acute toxicity of two fungicides to *B. mori* (96 h)

杀菌剂 Fungicide	毒力回归方程 Toxicity regressive equation	相关系数 <i>r</i>	96 h-LC ₅₀ /(mg/L)	95% 置信区间 95% FI/(mg/L)
10% 苯醚甲环唑水分散粒剂 10% difenoconazole WG	$y = -6.777\ 8 + 4.621\ 5x$	0.973 2	353.58	310.94~395.79
250 g/L 嘧菌酯悬浮剂 250 g/L azoxystrobin SC	$y = -9.378\ 1 + 5.329\ 5x$	0.961 0	498.66	347.08~713.98

表 4 供试 2 种杀菌剂对家蚕幼虫发育历期的影响

Table 4 Influence of two fungicides on the developmental duration of *B. mori* larvae

药剂 Fungicide	质量浓度, 有效成分 Mass conc., a.i./(mg/L)	家蚕幼虫发育历期 (<i>n</i> = 3) Average of developmental duration of silkworm larvae (<i>n</i> = 3)/h			
		2 龄 Second instar	3 龄 Third instar	4 龄 Fourth instar	5 龄 Fifth instar
对照 Control		66.56 ± 0.69 a	57.54 ± 1.56 a	95.23 ± 1.31 a	120.45 ± 2.76 a
10% 苯醚甲环唑水分散粒剂 10% difenoconazole WG	50	69.00 ± 0.00 b	67.13 ± 2.86 b	90.52 ± 2.30 ab	121.72 ± 1.78 a
	100	70.00 ± 0.00 bc	68.80 ± 1.22 b	86.26 ± 1.07 b	120.97 ± 1.84 a
	200	71.24 ± 0.73 c	72.13 ± 3.64 b	88.57 ± 1.46 b	118.62 ± 5.53 a
250 g/L 嘧菌酯悬浮剂 250 g/L azoxystrobin SC	62.5	71.00 ± 0.00 a	78.80 ± 3.17 b*	97.07 ± 0.48 a	130.00 ± 3.40 a*
	125	76.22 ± 2.42 b	100.42 ± 9.58 ab*	96.41 ± 3.87 a	151.07 ± 15.40 a*
	250	79.43 ± 1.22 b	— c*	— c	— c*

注: 表中数据经 LSD (D) 检验, 同列数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著。*同列数据方差同质性检测显著性小于 0.05, 采用 Dunnett T₃ (3) 检验; “—” 表示试验家蚕全部死亡, 未获得相关数据。

Note: Data in the same column followed by different lowercase letters in the table indicate significant difference by LSD (D) test. * The significant of data in the same column was less than 0.05 by variance homogeneity test, with Dunnett T₃ (3) test. The “—” indicate that relevant data was not obtainable because all the silkworms were dead.

差异显著 ($P < 0.05$), 且 250 mg/L 浓度组入眠家蚕几近于无; 对 4 龄和 5 龄家蚕而言, 则 62.5 和 125 mg/L 浓度组的发育历期与对照无显著差异 ($P < 0.05$)。

总之, 于 2~3 龄期给药, 2 种杀菌剂在一定程度上会影响受试家蚕的发育历期, 尤其是经 250 g/L 嘧菌酯 SC 处理后, 总体发育历期与对照相比显著延长了 1~5 d ($P < 0.05$), 且其发育历期随药剂质量浓度的增大而延长。经 10% 苯醚甲环唑 WG 处理 2~3 龄期的家蚕幼虫后, 其总体发育历期与对照相比差距不超过 10 h, 差异不显著 ($P < 0.05$)。且随着试虫龄期增大, 2 种杀菌剂各浓度组与对照的差异均趋于不显著。

2.3.2 对家蚕眠蚕和熟蚕体重的影响 结果 (表 5) 显示: 10% 苯醚甲环唑 WG 于家蚕 2~3 龄期给药, 随着药剂质量浓度升高, 眠蚕体重均显著降低, 且呈现剂量-效应关系, 其中 4 眠时, 50 mg/L 处理组与对照存在显著差异 ($P < 0.05$); 其余各浓度处理组熟蚕体重与对照则均无显著差异 ($P < 0.05$)。

250 g/L 嘧菌酯 SC 于家蚕 2~3 龄期给药, 各浓度组 2 龄眠蚕体重与对照相比均有显著差异 ($P <$

0.05); 3 龄之后, 250 mg/L 处理组家蚕由于发育差异太大, 入眠时间相差严重, 从第 7 天开始出现大量家蚕死亡, 至第 21 天死亡率达 95%~100%, 因此无法测得眠蚕体重; 此外, 125 和 62.5 mg/L 组对 4 龄眠蚕和熟蚕体重的影响与对照差异显著 ($P < 0.05$), 且死亡率分别为 25% 和 0, 而这 2 个处理组对 3 龄眠蚕体重的影响与对照却无显著差异 ($P < 0.05$)。

总之, 于 2~3 龄期给药, 供试 2 种农药均会在一定程度上影响受试家蚕眠蚕体重。经 10% 苯醚甲环唑 WG 处理后, 4 眠时 50 mg/L 组与对照存在显著差异 ($P < 0.05$); 250 g/L 嘧菌酯 SC 处理后, 其各龄期眠蚕体重与对照相比均有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.3.3 对家蚕经济学性状的影响 结果 (表 6) 显示: 于家蚕 2~3 龄期给药, 随着苯醚甲环唑质量浓度升高, 茧层量显著降低, 且存在显著的剂量-效应关系 ($P < 0.05$); 各浓度处理组家蚕的结茧率也均受到显著影响 ($P < 0.05$); 而各浓度组全茧量、茧层率、化蛹率、死笼率及羽化率则均与对照无显著差异 ($P < 0.05$)。

于家蚕 2~3 龄期给药, 随嘧菌酯质量浓度升

表 5 供试 2 种杀菌剂对家蚕眠蚕及熟蚕体重的影响

Table 5 Influence of two fungicides on the weight of molting and matured *B. mori*

药剂 Fungicide	质量浓度 Mass conc., a.i./(mg/L)	眠蚕体重 (<i>n</i> = 3) Average of weight of molting silkworm larvae (<i>n</i> = 3)/g			
		2 眠 Second molting	3 眠 Third molting	4 眠 Fourth molting	熟蚕 Matured silkworm
对照 Control		0.019 0 ± 0.000 79 ab	0.085 4 ± 0.000 87 ab	0.417 8 ± 0.002 64 a	2.649 3 ± 0.065 39 a
10% 苯醚甲环唑水分散粒剂 10% difenoconazole WG	50	0.019 5 ± 0.000 29 ab	0.087 2 ± 0.000 84 ab	0.435 1 ± 0.001 46 b*	2.796 6 ± 0.034 73 a
	100	0.020 2 ± 0.000 44 a	0.089 3 ± 0.000 44 a	0.425 8 ± 0.004 25 ab*	2.650 7 ± 0.030 87 a
	200	0.018 1 ± 0.000 19 b	0.082 3 ± 0.003 85 b	0.391 3 ± 0.017 41 ab*	2.614 0 ± 0.103 53 a
250 g/L 噁菌酯悬浮剂 250 g/L azoxystrobin SC	62.5	0.016 7 ± 0.000 44 c	0.071 8 ± 0.004 42 ab*	0.412 0 ± 0.009 25 a	2.623 7 ± 0.087 70 a
	125	0.015 2 ± 0.000 82 cd	0.060 2 ± 0.002 82 ab*	0.346 6 ± 0.006 04 b	2.376 6 ± 0.034 33 b
	250	0.013 9 ± 0.000 21 d	— c*	— c	— c

注：表中数据经 LSD (D) 检验，同列数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著。* 同列数据方差同质性检测显著性小于 0.05，用 Dunnett T₃ (3) 检验。“—”表示试验家蚕全部死亡，未获得相关数据。

Note: Data in the same column followed by different lowercase letters in the table indicate significant difference by LSD (D) test . * The significant of data in the same column was less than 0.05 by variance homogeneity test, with Dunnett T₃ (3) test. The “—” indicate that relevant data was not obtainable because all the silkworms were dead.

表 6 供试 2 种杀菌剂对家蚕经济学性状的影响

Table 6 Influence of two fungicides on the economic characteristics of *B. mori*

药剂 Fungicide	质量浓度 Mass conc., a.i./(mg/L)	全茧量 Cocoon weight/g	茧层量 Cocoon shell weight/g	茧层率 Rate of cocoon shell/%	结茧率 Cocooning rate/%	化蛹率 Pupation Rate/%	死笼率 Rate of dead worm cocoon/%	羽化率 eclosion rate/%
对照 Control		1.513 9 ± 0.021 6 a	0.198 5 ± 0.004 0 a	13.12 ab	95.00 a	84.28 aa	15.72 a	100 a
10% 苯醚甲环唑 水分散粒剂 10% difenoconazole WG	50	1.445 3 ± 0.020 6 a	0.190 8 ± 0.003 8 ab	13.20 ab	73.33 b	88.25 a	11.75 a	100 a
	100	1.500 7 ± 0.020 8 a	0.194 8 ± 0.003 8 ab	12.98 ab	90.00 ac	89.47 a	10.53 a	100 a
	200	1.428 0 ± 0.071 3 a	0.180 6 ± 0.003 0 b	12.65 ab	80.00 bc	79.50 a	20.50 a	100 a
250 g/L 噁菌酯悬浮剂 250 g/L azoxystrobin SC	62.5	1.587 3 ± 0.006 9 a	0.196 9 ± 0.001 7 a	12.40 a	88.33 a	84.53 a	17.55 a	100 a
	125	1.297 8 ± 0.050 6 a	0.173 8 ± 0.004 1 b	13.41 b	65.00 a	86.01 a	16.37 a	97.78 a
	250	— c	— c	— c	— c	— c	— c	— c

注：表中数据经 LSD (D) 检验，同列数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著。“—”表示试验家蚕全部死亡，未获得相关数据。

Note:Data in the same column followed by different lowercase letters in the table indicate significant difference by LSD (D) test. The “—” indicate that relevant data was not obtainable because all the silkworms were dead.

高，茧层量逐渐下降至 0，且存在明显的剂量-效应关系 ($P < 0.05$)；其最高剂量 (250 mg/L) 处理组家蚕存活率仅为 5%，且基本无蚕茧收获，严重影响其经济学特性各相关指标，与对照差异显著 ($P < 0.05$)；125 mg/L 组除茧层量之外的其他指标均与对照无显著差异 ($P < 0.05$)。

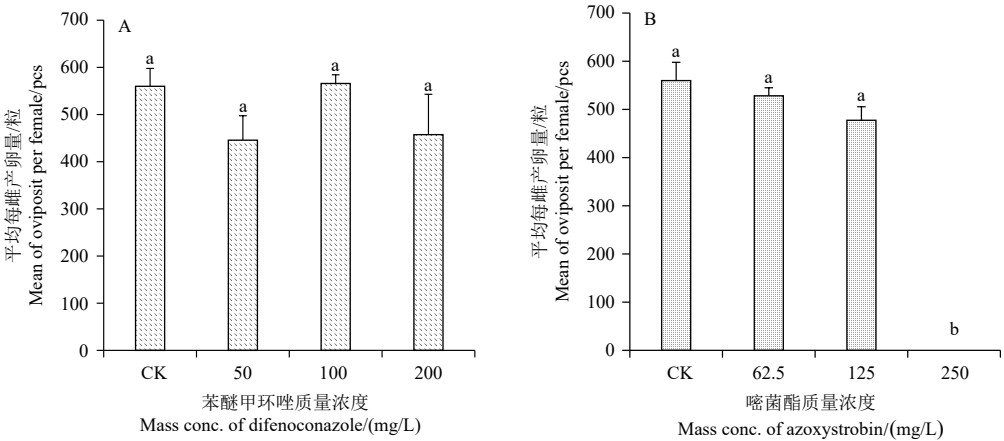
总之，于 2~3 龄期给药，2 种农药均会影响受试家蚕的经济学性状，其中主要影响结茧率和茧层量 2 个指标。

2.3.4 对家蚕繁殖能力的影响 结果见图 1A。10% 苯醚甲环唑 WG 于家蚕 2~3 龄期给药，各浓度组家蚕的平均每雌产卵量与对照相比差异均不显著 ($P < 0.05$)，表明在试验浓度范围内，10% 苯醚甲环唑 WG 对家蚕产卵影响不大。

由图 1B 可见，250 g/L 噁菌酯 SC 各浓度处理组家蚕的产卵量与对照相比均差异显著 ($P < 0.05$)，且随着药剂质量浓度升高，每雌产卵量呈显著下降趋势，高剂量 (250 mg/L) 组由于均未结茧化蛹，产卵量为 0。

3 结论与讨论

笔者通过急性毒性和慢性生长发育毒性试验，研究了广泛使用的 2 种杀菌剂制剂——10% 苯醚甲环唑 WG 和 250 g/L 噁菌酯 SC 对家蚕的影响。结果表明：虽然 2 种杀菌剂对家蚕的急性毒性皆表现为低毒和低风险性，但其中 10% 苯醚甲环唑 WG 对家蚕的经济学性状指标具有一定影响，且会显著影响家蚕的发育历期和眠蚕体重 ($P <$



注: 数据经 LSD (D) 检验, 柱上不同字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Data were tested by LSD (D), and different letters on column indicated significant difference at the level of 0.05.

图 1 供试 2 种杀菌剂对家蚕产卵量的影响

Fig. 1 Influence of two fungicides on the fecundity of *B. mori*

0.05); 250 g/L 啞菌酯 SC 也会严重影响家蚕的经济学性状指标 ($P < 0.05$), 且在最高田间推荐剂量下会严重影响家蚕的繁殖。此外, 经 2 种杀菌剂处理后, 从第 7 天开始出现死亡幼虫, 同时有未结茧蛹、未结茧死亡家蚕及死笼家蚕等现象; 在熟蚕上簇时, 仍有少数家蚕吐出少许浮丝, 且出现不结茧就死亡的现象 [详情见附加材料 2 (SFig. 2)]。

本研究中, 10% 苯醚甲环唑 WG 的 96 h-LC₅₀ 值为 353.58 mg/L, 与池艳艳等^[9]报道的苯醚甲环唑原药的 96 h-LC₅₀ 值 (713.40 mg/L) 相比差异较大, 推测可能制剂中的其他成分产生了增毒作用, 但按照家蚕急性毒性评价标准^[4], 仍为低风险性。此外, 本研究结果还远远低于俞瑞鲜等^[10]采用食下毒叶法测定的苯醚甲环唑微乳剂 (ME) 对家蚕的 96 h-LC₅₀ 值 (46.5 mg/L); 与吕铭潇等^[11]采用浸叶法测得的 400 g/L 苯醚甲环唑 SC 的 96 h-LC₅₀ 值 (6.68 mg/L) 差异更大。表明不同剂型及来自不同厂家的苯醚甲环唑药剂对家蚕的急性毒性存在较大差异。本研究中, 250 g/L 啞菌酯 SC 的 96 h-LC₅₀ 值 (498.66 mg/L) 与池艳艳等^[13]报道的 96% 啞菌酯原药的 96 h-LC₅₀ 值 (795.57 mg/L) 相比差异也较大, 同样有可能是由于制剂中的其他成分产生了增毒作用; 而与吕铭潇等^[11]采用浸叶法测得的 50% 啞菌酯 WG 的 96 h-LC₅₀ 值 (883.79 mg/L) 相比差异也较大, 表明啞菌酯对家蚕的急性毒性同样与剂型、有效成分含量及生产厂家等因素相关。

Vassarmidaki 等^[14]报道, 25% 噻嗪酮可湿性粉剂 (buprofezin 25% WP) 对家蚕全茧量和茧层量的影响与给药浓度呈负相关。谢道燕等^[15]报道, 8 种

农药在喷施桑树 3~30 d 后采摘, 仍会对家蚕的发育历期、眠蚕体重及其他主要经济学性状等指标产生不同程度的影响; 同时他们还发现东茛菪内酯原药不仅会延长家蚕发育历期, 而且会造成全茧量、茧层量、化蛹率和蛹重等指标显著下降^[16]。此外, 有研究发现, 2 种典型微生物农药苏云金芽孢杆菌以及球孢白僵菌原药对家蚕的结茧率和死笼率均具有显著影响^[17]。上述报道均是关于杀虫剂对家蚕慢性毒性的研究, 而有关杀菌剂对家蚕生长发育毒性, 尤其是田间推荐剂量下杀菌剂对家蚕生长发育影响的相关报道还很少。谢道燕等^[2]发现, 7 种常用杀菌剂按不同剂量喷施桑树后, 家蚕取食桑叶, 对眠蚕质量、发育历期以及全茧量和茧层量均有不同程度的影响。本研究中参考田间推荐剂量处理 2 龄起家蚕, 发现 10% 苯醚甲环唑 WG 处理组出现幼虫发育历期延长、眠蚕体重增加及熟蚕吐浮丝不结茧等中毒症状, 且其眠蚕体重在 2、3 眠时呈现先升高后降低的趋势; 经 250 g/L 啞菌酯 SC 处理后, 家蚕幼虫发育历期与对照组相比显著延长, 同时出现发育严重不齐、眠蚕体重降低、熟蚕吐浮丝或不吐丝死亡, 以及未结茧即化蛹等中毒现象。

生产中在使用对家蚕急性毒性为剧毒和高毒的农药时, 通常会注意避开桑园和正常养蚕时期, 但对低毒农药却往往容易忽视。根据本研究结果, 10% 苯醚甲环唑 WG 和 250 g/L 啞菌酯 SC 对家蚕的急性毒性虽为低毒, 但其对家蚕的发育历期、眠蚕体重、繁殖力及其他主要经济学性状等指标均会产生不同程度的影响, 因此, 在田间

使用这 2 种药剂时也应注意有效规避桑园和养蚕时期，以免给蚕业经济造成损失。

致谢：感谢浙江省杭州市蚕桑所馈赠供试家蚕，同时感谢许光治老师给予的帮助。

参考文献 (Reference):

[1] 马惠, 王开运, 王红艳, 等. 农药对家蚕的毒性及安全性评价研究进展[J]. 农药科学与管理, 2005, 26(5): 15-17.
MA H, WANG K Y, WANG H Y, et al. Progress in evaluation of toxicity and safety of pesticides on silkworms (*Bombyx mori*)[J]. Pestic Sci Admin, 2005, 26(5): 15-17.

[2] 谢道燕, 杨振国, 田梅金, 等. 7 种杀菌剂对桑树及家蚕的安全性评价[J]. 中国农学通报, 2014, 30(22): 310-315.
XIE D Y, YANG Z G, TIAN M J, et al. Safety evaluation of seven fungicides to morus alba and *Bombyx mori*[J]. Chin Agric Sci Bull, 2014, 30(22): 310-315.

[3] PENG G D, WANG J M, MA L, et al. Transcriptional characteristics of acetylcholinesterase genes in domestic silkworms (*Bombyx mori*) exposed to phoxim[J]. Pestic Biochem Physiol, 2011, 101(3): 154-158.

[4] 化学农药环境安全评价试验准则(最终稿): GB-2004[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2004.
Test guidelines on environmental safety assessment for chemical pesticides: GB-2004[S]. Beijing: Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2004.

[5] 谢道燕, 杜伟, 田梅金, 等. 5 种杀菌剂对家蚕的安全性评价[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 202-205.
XIE D Y, DU W, TIAN M J, et al. Safety evaluation of five fungicides on *Bombyx mori*[J]. Jiangsu Agric Sci, 2014, 42(4): 202-205.

[6] 李军民, 唐浩, 祖智波, 等. 苯醚甲环唑的合成研究[J]. 农药研究与应用, 2009, 13(1): 18-21.
LI J M, TANG H, ZU Z B, et al. Synthesis of difenoconazole[J]. Agrochem Res Appl, 2009, 13(1): 18-21.

[7] 董捷, 廖道华, 楼江松, 等. 噻菌酯的合成[J]. 精细化工中间体, 2007, 37(2): 25-27.
DONG J, LIAO D H, LOU J S, et al. Synthesis of azoxystrobin[J]. Fine Chem Intermed, 2007, 37(2): 25-27.

[8] 徐汉虹. 植物化学保护[M]. 4 版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
XU H H. Chemical protection of plant[M]. 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2010.

[9] 池艳艳, 乔康, 姜辉, 等. 三唑类杀菌剂对家蚕的急性毒性与安全性

评价[J]. 蚕业科学, 2014, 40(2): 272-276.
CHI Y Y, QIAO K, JIANG H, et al. Acute toxicity and safety evaluation of triazole fungicides to *Bombyx mori*[J]. Sci Sericult, 2014, 40(2): 272-276.

[10] 俞瑞鲜, 王彦华, 吴声敢, 等. 21 种杀菌剂对家蚕的急性毒性与风险评价[J]. 生态毒理学报, 2011, 6(6): 643-648.
YU R X, WANG Y H, WU S G, et al. Acute toxicity and risk assessment of 21 fungicides to the larvae of *Bombyx mori*[J]. Asian J Ecotoxicol, 2011, 6(6): 643-648.

[11] 吕铭潇, 张蓁. 7 种杀菌剂对家蚕的急性毒性评价[J]. 生物灾害科学, 2014, 37(2): 140-143.
LYU M X, ZHANG Q. Toxicity and toxicity evaluation of seven fungicides to *Bombyx mori* and observation of toxicity symptoms[J]. Biol Dis Sci, 2014, 37(2): 140-143.

[12] 豆敏详, 史晓玲, 马志卿, 等. 4 种苦参碱制品对非靶标生物的毒性评价[J]. 农药学报, 2018, 20(1): 49-57.
DOU M X, SHI X L, MA Z Q, et al. Toxicity evaluation of 4 matrine-based products on non-target organisms[J]. Chin J Pest Sci, 2018, 20(1): 49-57.

[13] 池艳艳, 崔新倩, 姜辉, 等. 三种不同类型杀虫剂对家蚕的慢性毒性试验及评价方法初探[J]. 农药学报, 2014, 16(5): 548-558.
CHI Y Y, CUI X Q, JIANG H, et al. Test and evaluation method of chronic toxicity of three different insecticides to silkworm[J]. Chin J Pest Sci, 2014, 16(5): 548-558.

[14] VASSARMIDAKI M E, HARIZANIS P C, KATSIKIS S. Effects of applaud on the growth of silkworm (Lepidoptera: Bombycidae)[J]. J Econ Entomol, 2000, 93(2): 290-292.

[15] 谢道燕, 杨振国, 柴建萍, 等. 8 种常用农药对家蚕的慢性毒性测定[J]. 农药, 2018, 57(6): 438-442.
XIE D Y, YANG Z G, CHAI J P, et al. Determination of chronic toxicity of eight pesticides to silkworm[J]. Agrochemicals, 2018, 57(6): 438-442.

[16] 谢道燕, 杨振国, 田梅金, 等. 东莨菪内酯对家蚕生长发育及经济性状的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(19): 317-320.
XIE D Y, YANG Z G, TIAN M J, et al. Effect of scopoletin on growth, development and economic characters of silkworm, *Bombyx mori* L[J]. Chin Agric Sci Bull, 2014, 30(19): 317-320.

[17] 赵旭, 叶幸, 张燕, 等. 3 种典型微生物农药对家蚕的毒性研究[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(4): 219-226.
ZHAO X, YE X, ZHANG Y, et al. Study on the toxicity of three typical microbial pesticides on silkworm[J]. Asian J Ecotoxicol, 2017, 12(4): 219-226.

(责任编辑: 唐 静)