

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20170512001

毛连纲, 贾伟, 张兰, 等. 4种甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的急性毒性及安全性评价[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(4): 279-284

Mao L G, Jia W, Zhang L, et al. Acute toxicity and safety assessment of four strobilurin fungicides on *Trichogramma confusum* [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2017, 12(4): 279-284 (in Chinese)

4种甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的急性毒性及安全性评价

毛连纲^{1,2}, 贾伟¹, 张兰^{1,2}, 张燕宁^{1,2}, 蒋红云^{1,2,*}

1. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193

2. 农业部农药应用评价监督检验测试中心(北京), 北京 100193

收稿日期: 2017-05-12 录用日期: 2017-07-10

摘要: 为甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂合理使用提供科学依据, 本研究采用试管药膜法测定了啉氧菌酯、吡唑醚菌酯、嘧菌酯和醚菌酯等4种药剂的原药及其制剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的急性毒性, 并进行了安全性评价。对比原药结果发现, 啉氧菌酯原药和醚菌酯原药毒性很高, LR_{50} 依次是 2.66×10^{-4} 及 7.32×10^{-4} mg a.i. $\cdot$ cm⁻², 均属于高风险; 而吡唑醚菌酯原药及嘧菌酯原药毒性较低, LR_{50} 分别为 3.01×10^{-3} 和 3.47×10^{-3} mg a.i. $\cdot$ cm⁻², 均为中等风险药剂。对比制剂结果发现, 啉氧菌酯悬浮剂毒性最高, LR_{50} 为 5.02×10^{-5} mg a.i. $\cdot$ cm⁻², 为极高风险药剂; 其次是吡唑醚菌酯悬浮剂及乳油, LR_{50} 分别为 3.78×10^{-3} 和 5.80×10^{-3} mg a.i. $\cdot$ cm⁻², 均为中等风险药剂; 最低的是嘧菌酯水分散粒剂、悬浮剂和醚菌酯水分散粒剂, LR_{50} 均大于 4.0×10^{-2} mg a.i. $\cdot$ cm⁻², 均为低风险药剂。部分甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对天敌赤眼蜂存在较高风险, 特别是啉氧菌酯, 应避免田间使用, 或通过避开赤眼蜂释放期来减少对赤眼蜂的伤害。

关键词: 甲氧基丙烯酸酯类; 杀菌剂; 赤眼蜂; 急性毒性; 安全性评价

文章编号: 1673-5897(2017)4-279-06 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Acute Toxicity and Safety Assessment of Four Strobilurin Fungicides on *Trichogramma confusum*

Mao Liangang^{1,2}, Jia Wei¹, Zhang Lan^{1,2}, Zhang Yanning^{1,2}, Jiang Hongyun^{1,2,*}

1. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

2. Evaluation, Supervision, Inspection and Testing Center of Pesticide Application, Ministry of Agriculture (Beijing), Beijing 100193, China

Received 12 May 2017 accepted 10 July 2017

Abstract: The acute toxicity and safety of four strobilurin fungicides on *Trichogramma confusum* were evaluated in this study. Dry film residue method was followed to determine the acute toxicity of four strobilurin fungicides and their safety were also assessed. The LR_{50} of picoxystrobin technical and kresoxim-methyl technical to *T. confusum* were 2.66×10^{-4} and 7.32×10^{-4} mg a.i. $\cdot$ cm⁻² respectively, which is higher acute intrinsic toxicity, with high risks; whereas both pyraclostrobin technical and azoxystrobin technical had a lower intrinsic toxicity with LR_{50} of 3.01×10^{-3} and 3.47×10^{-3} mg a.i. $\cdot$ cm⁻², both moderate risks. However, among four strobilurin fungicide formulations, picoxys-

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项项目(No. 201503107)

作者简介: 毛连纲(1987-), 男, 助理研究员, 研究方向为农药生态毒理及应用技术, E-mail: maoliangang@126.com;

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: ptnpc@vip.163.com

trobin SC gave the highest intrinsic toxicity with LR_{50} of 5.02×10^{-5} mg a.i. $\cdot$ cm $^{-2}$, extremely high risk; followed by pyraclostrobin SC and EC with LR_{50} of 3.78×10^{-3} and 5.80×10^{-3} mg a.i. $\cdot$ cm $^{-2}$, both moderate risks. The lowest intrinsic toxicity was observed in azoxystrobin WG and SC, kresoxim-methyl WG with LR_{50} of $>4.0 \times 10^{-2}$ mg a.i. $\cdot$ cm $^{-2}$, all low risks. Some strobilurin fungicides, especially picoxystrobin formulations had a high risk on *Trichogramma*. Thus, it is suggested that we should avoid applying these fungicides during releasing *Trichogramma* in the field.

Keywords: strobilurin; fungicide; *Trichogramma*; acute toxicity; safety assessment

甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂是继三唑类杀菌剂之后的一类高效广谱杀菌剂,可以有效防治卵菌纲、子囊菌纲、半知菌纲和担子菌纲等多种病原真菌引起的植物病害,兼具保护、治疗、铲除和内吸作用^[1-2]。从第一个杀菌剂品种醚菌酯商品化以来,经过十几年的发展,目前其主要上市品种有啉氧菌酯(picoxystrobin)、吡唑醚菌酯(pyraclostrobin)、嘧菌酯(azoxystrobin)、醚菌酯(kresoxim-methyl)、肟菌酯(trifloxystrobin)、烯肟菌酯(enestroburin)、氟嘧菌酯(fluxastrobin)等^[3]。甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对生态环境的不利影响受到广泛关注,如已有研究结果表明该类杀菌剂对水生生物具有较高的毒性风险^[4-6]。

在害虫综合治理(IPM)中,化学药剂在田间应用中会对天敌产生毒副作用,从而影响天敌生物防治效果的正常发挥^[7]。而科学合理地协同生物防治与化学防治2种植保技术的关键在于明确化学药剂对天敌生物的毒性,从而有利于下一步的科学合理用药和保护天敌生物^[8-10]。赤眼蜂(*Trichogramma* spp.)属于膜翅目(Hymenoptera),赤眼蜂科(Trichogrammatidae),是自然界中一类以昆虫卵为寄主的寄生性天敌。我国目前共有赤眼蜂46个属200余种^[11-12]。目前,在我国田间防治玉米螟、苹果小卷叶蛾、甘蔗螟等上已有大面积的广泛应用^[13]。尽管杀虫剂对赤眼蜂安全性已有大量报道^[14],但有关杀菌剂对赤眼蜂的安全性评价研究仍然不够深入。随着近年来甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂在全球的广泛应用^[15],其对天敌赤眼蜂的潜在毒性风险引起了国内外的广泛关注。金啸等^[16]通过试验发现99.5%的肟菌酯原药对玉米螟赤眼蜂存在中等风险;金华超等^[17]研究发现肟菌酯对玉米螟赤眼蜂毒性较高,风险等级归为高风险;同时,徐华强等^[18]发现嘧菌酯对玉米螟赤眼蜂存在潜在高风险。现有关于甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对赤眼蜂的报道多为零星报道,缺乏对该类杀菌剂包括原药和制剂产品毒性比较的系统研究。

本研究以我国目前田间自然优势蜂种和农田主要释放蜂种——拟澳洲赤眼蜂(*Trichogramma confu-*

sum)为研究蜂种,在室内系统测定了啉氧菌酯、吡唑醚菌酯、嘧菌酯和醚菌酯等4种甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂原药及其制剂对赤眼蜂成蜂的急性毒性,并进行安全性评价。研究结果可为甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂田间科学合理用药提供科学依据,并为协同化学药剂防治和天敌生物防治提供技术支撑。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 供试药剂

啉氧菌酯、吡唑醚菌酯、嘧菌酯和醚菌酯等4种甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂原药及其制剂信息详见表1。

1.2 供试昆虫

供试生物为拟澳洲赤眼蜂(*Trichogramma confusum*),供试寄主生物为米蛾(*Corcyra cephalonica*)卵。供试卵卡由广东省昆虫研究所提供,本实验室条件下羽化。将被寄生的寄主卵置于温度23~27℃、相对湿度50%~80%条件下避光培养,新羽化出的赤眼蜂成蜂用于室内急性毒性测试。试验所用成蜂的寄生卵均来自同一时间且同一批次。试验使用开始羽化后48 h内羽化的成蜂。

1.3 试验方法

参照中华人民共和国国家标准《化学农药环境安全评价试验准则第17部分:天敌赤眼蜂急性毒性试验》推荐的试管药膜法,先将农药的原药或不同剂型的农药制剂使用丙酮溶解后配制母液,再按照倍比稀释得到4~6个浓度梯度,采用移液枪分别准确移取1 mL上述药液于指形管内壁($S_{\text{内壁}} = 101.477 \text{ cm}^2$),滚膜机上均匀滚膜,溶剂挥发完全后即可,每管接入新羽化(约48 h)的赤眼蜂成蜂(90 ± 10)头,让其于管内自然爬行1 h再转移至干净无药膜的指形管内,采用黑色布条密封管口并放置于培养箱中(温度 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度 $80\% \pm 10\%$),丙酮作为溶剂对照,每个处理3次重复,接入成蜂24 h后检查各指形管内的成蜂总头数和死亡成蜂头数,并计算出成蜂的死亡率(%)。

1.4 划分风险安全等级

首先计算安全系数,安全系数 = $LR_{50}(\text{mg a.i.} \cdot \text{cm}^2)/\text{田间推荐使用剂量}(\text{mg a.i.} \cdot \text{cm}^2)$ 。再参照相

应国家标准中关于化学农药对赤眼蜂风险分级的规定,依次分为 4 级:安全系数大于 5,低风险;安全系数大于 0.5 且小于或等于 5,中等风险;安全系数大于 0.05 且小于或等于 0.5,高风险;安全系数小于或等于 0.05,极高风险。

1.5 数据处理

本试验所有数据处理均采用 DPS 统计软件,通过计算得到各种药剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂 24 h 的毒力回归方程、可决系数及半致死剂量(即 LR_{50} 及 95% 置信限)。

表 1 供试药剂
Table 1 Products used in the study

药剂全称 Full name of the products	药剂简称 Short name of the products	有效成分 Active ingredient	生产单位 Product manufacturer
98% 啶氧菌酯原药 98% Picoxystrobin technical	啶氧菌酯 TC Picoxystrobin TC	啶氧菌酯 Picoxystrobin	北京华戎生物激素厂 Beijing Huarong Bio-hormone Factory
22.5% 啶氧菌酯悬浮剂 22.5% Picoxystrobin suspension concentrate	啶氧菌酯 SC Picoxystrobin SC		美国杜邦公司 DuPont Company
95% 吡唑醚菌酯原药 95% Pyraclostrobin technical	吡唑醚菌酯 TC Pyraclostrobin TC	吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	北京华戎生物激素厂 Beijing Huarong Bio-hormone Factory
15% 吡唑醚菌酯悬浮剂 15% Pyraclostrobin suspension concentrate	吡唑醚菌酯 SC Pyraclostrobin SC		中国农业科学院植物保护研究所 Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences
250 g · L ⁻¹ 吡唑醚菌酯乳油 250 g · L ⁻¹ Pyraclostrobin emulsifiable concentrate	吡唑醚菌酯 EC Pyraclostrobin EC		巴斯夫欧洲公司 BASF Europe Company
95% 嘧菌酯原药 95% Azoxystrobin technical	嘧菌酯 TC Azoxystrobin TC		北京华戎生物激素厂 Beijing Huarong Bio-hormone Factory
50% 嘧菌酯水分散粒剂 50% Azoxystrobin water dispersible granule	嘧菌酯 WG Azoxystrobin WG	嘧菌酯 Azoxystrobin	南京红太阳股份有限公司 Nanjing Hongtaiyang Co., Ltd.
250 g · L ⁻¹ 嘧菌酯悬浮剂 250 g · L ⁻¹ Azoxystrobin suspension concentrate	嘧菌酯 SC Azoxystrobin SC		江阴苏利化学股份有限公司 Jiangyin Suli Chemical Co., Ltd.
95% 醚菌酯原药 95% Kresoxim-methyl technical	醚菌酯 TC Kresoxim-methyl TC	醚菌酯 Kresoxim-methyl	北京华戎生物激素厂 Beijing Huarong Bio-hormone Factory
50% 醚菌酯水分散粒剂 50% Kresoxim-methyl water dispersible granule	醚菌酯 WG Kresoxim-methyl WG		巴斯夫欧洲公司 BASF Europe Company

表 2 各药剂对赤眼蜂成蜂的急性毒性
Table 2 Acute toxicity of four srobulurin fungicides to *Trichogramma confusum*

药剂缩写 Short name of the products	半致死剂量及 95% 置信限/(mg a.i. · cm ⁻²) LR ₅₀ and 95% confidence interval/(mg a.i. · cm ⁻²)	回归方程式 Regression equation	可决系数 R ² Correlation coefficient R ²
啶氧菌酯 TC Picoxystrobin TC	2.66×10 ⁻⁴ (2.59×10 ⁻⁴ ~ 2.73×10 ⁻⁴)	y=27.20+6.21x	0.9952
啶氧菌酯 SC Picoxystrobin SC	5.02×10 ⁻⁵ (4.78×10 ⁻⁵ ~ 5.25×10 ⁻⁵)	y=20.45+3.59x	0.9864
吡唑醚菌酯 TC Pyraclostrobin TC	3.01×10 ⁻³ (2.32×10 ⁻³ ~ 3.84×10 ⁻³)	y=10.32+2.11x	0.9606
吡唑醚菌酯 SC Pyraclostrobin SC	3.78×10 ⁻³ (3.71×10 ⁻³ ~ 3.86×10 ⁻³)	y=24.58+8.09x	0.9947
吡唑醚菌酯 EC Pyraclostrobin EC	5.80×10 ⁻³ (5.22×10 ⁻³ ~ 6.50×10 ⁻³)	y=11.54+2.93x	0.9823
嘧菌酯 TC Azoxystrobin TC	3.47×10 ⁻³ (3.39×10 ⁻³ ~ 3.56×10 ⁻³)	y=22.21+6.99x	0.9941
嘧菌酯 WG Azoxystrobin WG	>4.0×10 ⁻²	—	—
嘧菌酯 SC Azoxystrobin SC	>4.0×10 ⁻²	—	—
醚菌酯 TC Kresoxim-methyl TC	7.32×10 ⁻⁴ (6.80×10 ⁻⁴ ~ 7.83×10 ⁻⁴)	y=13.07+2.57x	0.9987
醚菌酯 WG Kresoxim-methyl WG	>4.0×10 ⁻²	—	—

2 结果与分析 (Results and analysis)

2.1 各药剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的急性毒性

由表 2 可以看出,不同甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的毒性存在较大差异。其中,对拟澳洲赤眼蜂成蜂毒性最高的是啶氧菌酯原药和啶氧菌酯悬浮剂,两者的 LR_{50} 分别是 2.66×10^{-4} 及 5.02×10^{-5} $\text{mg a.i.}\cdot\text{cm}^{-2}$;而吡唑醚菌酯原药及吡唑醚菌酯悬浮剂和吡唑醚菌酯乳油 2 种剂型均对拟澳洲赤眼蜂成蜂毒性较低,其 LR_{50} 分别是 3.01×10^{-3} 、 3.78×10^{-3} 及 5.80×10^{-3} $\text{mg a.i.}\cdot\text{cm}^{-2}$;类似的是,嘧菌酯原药对拟澳洲赤眼蜂成蜂毒性也较低,其 LR_{50} 是 3.47×10^{-3} $\text{mg a.i.}\cdot\text{cm}^{-2}$,而嘧菌酯水分散粒剂和嘧菌酯悬浮剂 2 种剂型均对拟澳洲赤眼蜂成蜂毒性很低,其 LR_{50} 均高于 4.0×10^{-2} $\text{mg a.i.}\cdot\text{cm}^{-2}$;对于醚菌酯原药,其对拟澳洲赤眼蜂成蜂毒性较高,其 LR_{50} 是 7.32×10^{-4} $\text{mg a.i.}\cdot\text{cm}^{-2}$,而醚菌酯水分散粒剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂毒性很低,其 LR_{50} 大于 4.0×10^{-2} $\text{mg a.i.}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。

表 3 各药剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的安全性评价
Table 3 Safety assessment of four srobilurin fungicides on *Trichogramma confusum*

药剂缩写	安全系数	风险分级
Short name of the products	Safety factor	Risk classification
啶氧菌酯 TC	0.11	高风险
Picoxystrobin TC		High risk
啶氧菌酯 SC		极高风险
Picoxystrobin SC	2.0×10^{-3}	Extremely high risk
吡唑醚菌酯 TC	1.21	中等风险
Pyraclostrobin TC		Moderate risk
吡唑醚菌酯 SC		中等风险
Pyraclostrobin SC	1.51	Moderate risk
吡唑醚菌酯 EC		中等风险
Pyraclostrobin EC		Moderate risk
嘧菌酯 TC	0.87	中等风险
Azoxystrobin TC		Moderate risk
嘧菌酯 WG		低风险
Azoxystrobin WG	>5.0	Low risk
嘧菌酯 SC		低风险
Azoxystrobin SC		Low risk
醚菌酯 TC	0.18	高风险
Kresoxim-methyl TC		High risk
醚菌酯 WG		低风险
Kresoxim-methyl WG	>5.0	Low risk

2.2 各药剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂的安全性评价

本研究中啶氧菌酯、吡唑醚菌酯、嘧菌酯和醚菌酯等 4 种杀菌药剂的原药及制剂对天敌赤眼蜂的安全性评价结果见表 3。通过表 3 可以看出:(1)原药之间安全性比较发现,啶氧菌酯原药和醚菌酯原药对拟澳洲赤眼蜂成蜂危害很大,安全系数分别为 0.11 和 0.18,均为高风险药剂;吡唑醚菌酯原药及嘧菌酯原药对拟澳洲赤眼蜂成蜂危害较小,安全系数分别为 1.21 和 0.87,均为中等风险药剂。(2)制剂之间安全性比较发现,啶氧菌酯悬浮剂对拟澳洲赤眼蜂成蜂危害最大,安全系数仅为 2.0×10^{-3} ,为极高风险药剂;其次是吡唑醚菌酯悬浮剂及乳油,安全系数分别为 1.51 和 2.32,均为中等风险药剂;最低的是嘧菌酯水分散粒剂、悬浮剂和醚菌酯水分散粒剂,安全系数均大于 5.0,均为低风险药剂。(3)原药与制剂安全性对比发现,几乎所有原药的安全系数均要低于相应的农药制剂产品的安全系数(啶氧菌酯 SC 除外),其中,嘧菌酯水分散粒剂和醚菌酯水分散粒剂的安全性(安全系数均大于 5.0,低风险)要明显高于对应的原药(安全系数分别为 0.87 和 0.18,分别是中等风险和高风险)。

3 讨论 (Discussion)

杀菌剂通常由于其低毒、低残留,而被认为是一类相对安全的农药,现有研究也集中在其在农产品中的残留问题,而对环境中非靶标生物的影响研究非常少。近年来,随着杀菌类农药的大量广泛应用,其对环境中非靶标生物的潜在安全问题逐步受到人们的关注^[19-20]。现有研究结果表明,多种杀菌剂会对非靶标生物如鱼类^[6,21]、大型溞^[22]、藻类^[23]、两栖类^[24]、家蚕^[25]、蜜蜂^[26]等产生较高毒性。

甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂是继三唑类杀菌剂之后出现的又一类新高效杀菌药剂,在国内外市场中占有的份额不断增加。然而,其大量广泛的应用被认为对自然生态环境,特别是常见的非靶标生物物种产生一定风险。在本试验研究中,发现啶氧菌酯原药及其制剂对天敌赤眼蜂毒性都很高,均为高风险;而含有吡唑醚菌酯的 3 种药剂均对天敌赤眼蜂低毒,均为低风险;同样,含有嘧菌酯的 3 种药剂均对天敌赤眼蜂低毒,其中原药为中等风险,而 2 种制剂均为低风险;另外,醚菌酯的原药对赤眼蜂高风险,然而其水分散粒剂却对赤眼蜂低风险。本研究中嘧菌酯原药对天敌赤眼蜂的毒性结果(拟澳洲赤眼蜂 LR_{50} , 3.47×10^{-3} $\text{mg a.i.}\cdot\text{cm}^{-2}$, 中等风险)与徐华

强等^[18]研究结果(玉米螟赤眼蜂 LR_{50} , 1.31×10^{-4} mg a.i.·cm⁻², 高风险)有一定差异,这可能主要与天敌赤眼蜂的蜂种不同有关。此外,在本研究中,初步发现与悬浮剂和乳油相比,水分散粒剂可以明显降低原药的毒性,这与贾伟等^[6]发现水分散粒剂对斑马鱼急性毒性要低于原药的结果一致。关于水分散粒剂会降低对非靶标生物毒性的具体机理尚不明确,但这将为降低高风险产品的田间风险提供一条有效可行的技术途径,具体应用仍需要进一步试验证实。

综上,基于目前的研究结果,部分甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂对天敌赤眼蜂存在较高风险,特别是啉氧菌酯,可通过避开赤眼蜂释放期来减少对赤眼蜂的伤害。

通讯作者简介: 蒋红云(1963-),女,博士,研究员,博士生导师,主要从事农药环境毒理及天然产物化学研究等,获得授权专利10余项,发表学术论文60余篇。

参考文献 (References):

- [1] 王丽, 石延霞, 李宝聚, 等. 甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂研究进展[J]. 农药科学与管理, 2008, 30(9): 24-27
Wang L, Shi Y X, Li B J, et al. The progress of research on strobilurin fungicides [J]. Pesticide Science and Administration, 2008, 30(9): 24-27 (in Chinese)
- [2] 程根武, 刘赢, 祁之秋, 等. 啉菌酯对几种植物病原真菌的室内活性测定[J]. 农药, 2005, 44(4): 190-191
Cheng G W, Liu Y, Qi Z Q, et al. Activity of azoxystrobin on several plant pathogenic fungi [J]. Agrochemicals, 2005, 44(4): 190-191 (in Chinese)
- [3] 华乃震. Strobilurins 类杀菌剂品种, 市场, 剂型和应用[J]. 现代农药, 2013, 12(3): 6-11
Hua N Z. Varieties, markets, formulations and applications of strobilurins fungicides (I) [J]. Modern Agrochemicals, 2013, 12(3): 6-11 (in Chinese)
- [4] Garanzini D S, Menone M L. Azoxystrobin causes oxidative stress and DNA damage in the aquatic macrophyte *Myriophyllum quitense* [J]. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, 2014, 94(2): 146-151
- [5] Shen Y F, Liu L, Gong Y X, et al. Potential toxic effect of trifloxystrobin on cellular microstructure, mRNA expression and antioxidant enzymes in *Chlorella vulgaris* [J]. Environmental Toxicology & Pharmacology, 2014, 37(3): 1040-1047
- [6] 贾伟, 蒋红云, 张兰, 等. 4种甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂不同剂型对斑马鱼急性毒性效应[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(6): 242-251
- Jia W, Jiang H Y, Zhang L, et al. Acute toxicity of different formulation of four strobilurin fungicides to the zebrafish (*Brachydonio rerio*) [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2016, 11(6): 242-251 (in Chinese)
- [7] 陈建明, 程家安. 除草剂和杀菌剂对褐飞虱及其天敌的影响[J]. 植物保护学报, 1999, 26(2): 162-166
Chen J M, Cheng J A. Effects of herbicides and fungicides on brown planthopper and its natural enemies [J]. Acta Phytopylacica Sinica, 1999, 26(2): 162-166 (in Chinese)
- [8] 王彦华, 俞瑞鲜, 赵学平, 等. 新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对四种赤眼蜂成蜂急性毒性和安全性评价[J]. 昆虫学报, 2012, 55(1): 36-45
Wang Y H, Yu R X, Zhao X P, et al. Acute toxicity and safety evaluation of neonicotinoids and macrocyclic lactones to adult wasps of four *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2012, 55(1): 36-45 (in Chinese)
- [9] 祝小祥, 苍涛, 王彦华, 等. 三唑类杀菌剂对三种赤眼蜂成蜂的急性毒性及风险评估[J]. 昆虫学报, 2014, 57(6): 688-695
Zhu X X, Cang T, Wang Y H, et al. Acute toxicity and risk assessment of triazole fungicides to adult wasps of three *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2014, 57(6): 688-695 (in Chinese)
- [10] Cloyd R A, Bethke J A. Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in greenhouse and interioscape environments [J]. Pest Management Science, 2011, 67(1): 3-9
- [11] 田洪霞. 海南赤眼蜂科及缨小蜂科分类研究(膜翅目: 小蜂总科)[D]. 福州: 福建农林大学, 2009: 14
Tian H X. Classification of Hainan *Trichogrammatidae* and *Mymaridae* (Hymenoptera: Chalcidoidea) [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009: 14 (in Chinese)
- [12] 田洪霞, 林乃铨. 中国新记录属——毛纹赤眼蜂属及两新种描述(膜翅目: 赤眼蜂科)[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2016, 45(5): 510-514
Tian H X, Lin N Q. Description of two new species of *Chaetogramma* Doult (Hymenoptera: Trichogrammatidae) from China [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2016, 45(5): 510-514 (in Chinese)
- [13] 向玉勇, 张帆. 赤眼蜂在我国生物防治中的应用研究进展[J]. 河南农业科学, 2011, 40(12): 20-24
Xiang Y Y, Zhang F. Review of application research on *Trichogramma* Westwood in biological control in China

- [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2011, 40(12): 20-24 (in Chinese)
- [14] 王坤, 王甦, 宋丽芳, 等. 高效氯氟菊酯和啉虫脒对螟黄赤眼蜂繁殖的亚致死效应[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(6): 933-938
- Wang K, Wang S, Song L F, et al. Sublethal effects of acetamiprid and beta-cypermethrin on reproduction of *Trichogramma chilonis* [J]. Journal of Environmental Entomology, 2014, 36(6): 933-938 (in Chinese)
- [15] Bastos C S, Almeida R P, Suinaga F A. Selective of pesticides used on cotton (*Gossypium hirsutum*) to *Trichogramma pretiosum* reared on two laboratory-reared hosts [J]. Pest Management Science, 2006, 62(1): 91-98
- [16] 金啸, 尹晓辉, 朱国念, 等. 四种杀菌剂对两种赤眼蜂的毒性分析及敏感性比较[J]. 农药学学报, 2011, 13(6): 649-652
- Jin X, Yin X H, Zhu G N, et al. Analysis and evaluation of four fungicides toxicity and sensitivity against two *Trichogramma* spp. [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2011, 13(6): 649-652 (in Chinese)
- [17] 金华超, 尹晓辉, 朱国念. 四种杀菌剂对玉米螟赤眼蜂酚氧化酶活性的影响[J]. 昆虫学报, 2013, 56(2): 136-144
- Jin H C, Yin X H, Zhu G N. Effects of four fungicides on phenoloxidase activity in *Trichogramma ostrinae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2013, 56(2): 136-144 (in Chinese)
- [18] 徐华强, 薛明, 赵海朋, 等. 噻菌酯等杀菌剂及其混配制剂对赤眼蜂的安全性评价[J]. 环境昆虫学报, 2014 (3): 381-387
- [19] 李肇丽, 蔡磊明, 赵玉艳, 等. 3种新型农药对赤眼蜂的急性毒性和安全性评价[J]. 农药, 2009, 48(6): 435-436
- Li Z L, Cai L M, Zhao Y Y, et al. Evaluation of three new pesticides acute toxicity and safety on *Trichogramma* [J]. Agrochemicals, 2009, 48(6): 435-436 (in Chinese)
- [20] 康立娟, 韩秀英, 马志强. 噻菌酯对三种蔬菜病害的毒力、防效及安全性研究[J]. 农药学学报, 2004, 6(1): 85-88
- Kang L J, Han X Y, Ma Z Q. Toxicity and field control efficacy of azoxystrobin to three kinds of vegetable diseases as well as its safety to vegetables [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2004, 6(1): 85-88 (in Chinese)
- [21] 张陆伟, 蔡磊明, 赵学平, 等. 3种杀菌剂对日本青鳉早期生命阶段毒性效应初步研究[J]. 环境科学学报, 2013, 33(10): 2897-2903
- Zhang L W, Cai L M, Zhao X P, et al. Preliminary study on toxic effects of three fungicides on early life-stage of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2013, 33(10): 2897-2903 (in Chinese)
- [22] 郭晶, 宋文华, 丁峰, 等. 三唑类杀菌剂对大型溞急性毒性研究[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2009, 42(3): 76-80
- Guo J, Song W H, Ding F, et al. Acute toxicity study of triazole fungicides exposure to *Daphnia magna* [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2009, 42(3): 76-80 (in Chinese)
- [23] 张金洋, 郭晶, 孙增田. 三唑杀菌剂对小球藻急性毒性研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(23): 6-9
- Zhang J Y, Guo J, Sun Z T. The study of acute toxicity of triazole fungicides on *Chlorella phrenoidosa* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(23): 6-9 (in Chinese)
- [24] 付旭锋, 李圆圆, 苏红巧, 等. 异噻唑啉酮类杀菌剂对黑斑蛙胚胎和蝌蚪的急性毒性[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(6): 1097-1103
- Fu X F, Li Y Y, Su H Q, et al. Acute toxicity of isothiazolinone biocides to *Pelophylax nigromaculatus* embryos and tadpoles [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2014, 9 (6): 1097-1103 (in Chinese)
- [25] 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]. Science of Sericulture, 2014, 40(2): 272-276 (in Chinese) ◆