

# 不同温度下白背飞虱对环氧虫啉的敏感性

任志杰, 毛凯凯, 李朋岳, 刘超亚, 王越, 李建洪, 万虎, 何顺\*

(华中农业大学植物科学技术学院, 昆虫资源利用与害虫可持续治理湖北省重点实验室, 武汉 430070)

**摘要:** 为明确不同温度条件下白背飞虱对环氧虫啉的敏感性, 采用稻苗浸渍法测定了在 18~32 °C 下环氧虫啉对白背飞虱的毒力、白背飞虱蜜露量以及酯酶 (EST)、细胞色素 P450 单加氧酶 (P450) 和谷胱甘肽 S-转移酶 (GSTs) 3 种解毒酶的比活力。结果显示: 环氧虫啉对白背飞虱的毒力随温度升高而提高, 32 °C 下对白背飞虱的 LC<sub>50</sub> 值是 18 °C 下毒力的 15.6 倍, 表明环氧虫啉对白背飞虱表现为正温度系数; 温度影响白背飞虱的取食量, 随温度升高, 其蜜露排泄量显著增加; EST 和 P450 比活力随温度变化而改变, 其中 EST 比活力随温度升高呈先升高后降低的“钟形”变化趋势, P450 随温度升高呈下降趋势, 且处理间具有显著性差异, 而 GSTs 随温度变化各处理间无显著差异。以上结果表明, 取食量和解毒酶 (EST 和 P450) 可能是导致不同温度条件下白背飞虱对环氧虫啉敏感性差异的主要因素。

**关键词:** 温度; 白背飞虱; 环氧虫啉; 取食量; 敏感性; 解毒酶; 蜜露

中图分类号: S482.3; TQ450.2

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2018)04-0439-06

## Sensitivity of *Sogatella furcifera* to cycloxaprid at different temperatures

REN Zhijie, MAO Kaikai, LI Pengyue, LIU Chaoya, WANG Yue,

LI Jianhong, WAN Hu, HE Shun\*

(Hubei Insect Resources Utilization and Sustainable Pest Management Key Laboratory, College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In order to clarify the sensitivity of *Sogatella furcifera* to cycloxaprid at different temperatures, the toxicity of cycloxaprid to *S. furcifera* at different temperatures from 18 °C to 32 °C was determined by leaf dipping method. The effects of temperatures on the secretion of honeydew and detoxification enzymes (EST, P450 and GSTs) were also detected. The results showed that cycloxaprid was a positive temperature coefficient insecticide. The toxicity of cycloxaprid against *S. furcifera* increased with temperature. The toxicity of cycloxaprid against *S. furcifera* at 32 °C was 15.6 times as high as that at 18 °C. The feeding capacity and the amount of honeydew excretion increased with the increase of temperature. The activities of EST and P450 of *S. furcifera* also changed with temperature. With the elevation of temperature, the activity of EST increased first and then decreased. The P450 enzyme activity decreased at higher temperature. However, the activity of GSTs has no significant difference under different temperatures. The susceptibility variation of *S. furcifera* to cycloxaprid under different temperatures is closely related to its feeding capacity and detoxification activity (EST and

收稿日期: 2018-02-26; 录用日期: 2018-06-26.

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0200500).

作者简介: 任志杰, 女, 硕士研究生, E-mail: Rzj@webmail.hzau.edu.cn; \*何顺, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 博士, 讲师, 主要从事农药剂型加工原理与质量控制技术研究, E-mail: heshun@mail.hzau.edu.cn

P450). The above study provides a scientific reference for the rational use of cycloxyaprid in the field under different environmental temperatures.

**Keywords:** temperature; *Sogatella furcifera*; cycloxyaprid; feeding capacity; sensitivity; detoxification enzymes; honeydew

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth), 属半翅目飞虱科, 广泛分布于南亚、东南亚、太平洋岛屿及日本、朝鲜和澳大利亚, 几乎遍及中国所有稻区, 是影响水稻稳产、高产的主要害虫之一<sup>[1-2]</sup>。针对其爆发性和迁飞性等特点, 目前仍以化学防治为主, 但杀虫剂的大量和不合理使用, 导致白背飞虱对多种杀虫剂的敏感性逐年降低<sup>[3]</sup>。

杀虫剂的田间防治效果受多种因素影响, 其中温度对杀虫剂的毒力影响较大。温度不仅对杀虫剂本身有较大影响, 还可调控靶标昆虫生命周期、繁殖和衰老等生理活动<sup>[4]</sup>。研究表明, 温度与杀虫剂的关系可以通过温度系数衡量<sup>[5-6]</sup>, 如: 有机磷类、氨基甲酸酯类和新烟碱类杀虫剂大多数表现为正温度效应, 即随温度升高毒力增强, 当温度从 19 °C 上升至 32 °C 时, 烯啶虫胺对烟粉虱的毒力增加 12.67 倍<sup>[7]</sup>; 相反, 拟除虫菊酯类杀虫剂多表现为负温度效应。目前, 关于温度对杀虫剂药效的影响与昆虫体内解毒酶相关的研究已有报道<sup>[8]</sup>, 昆虫体内主要的解毒酶有谷胱甘肽 S-转移酶 (GSTs)、酯酶 (EST) 以及细胞色素 P450 单加氧酶 (P450)。马云华等<sup>[8]</sup>发现, 麦长管蚜在高温下 GSTs 活性增强, 而羧酸酯酶活性降低, 表明 GSTs 活性可能与负温度系数相关, 而羧酸酯酶活性与正温度系数有关。

环氧虫啉是由华东理工大学研发的新烟碱类杀虫剂, 属于乙酰胆碱受体拮抗剂, 可有效防治稻飞虱等刺吸式口器害虫, 对田间吡虫啉抗性害虫具有很好的防治效果<sup>[9]</sup>。但目前未见其对白背飞虱的温度效应相关报道。本研究通过分析不同温度条件下白背飞虱对环氧虫啉的敏感性差异及其取食量和解毒酶活性变化, 以期对环氧虫啉科学使用提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试虫

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 种群, 2015 年采自湖北省孝感市田间, 不接触药剂的情况下用室内种植稻苗 (TN1) 连续饲养多代。饲养

条件: 温度 (28 ± 1) °C, 相对湿度 60%~80%, 光暗周期 16 h/8 h。

### 1.2 药剂、试剂及主要仪器

97.59% 环氧虫啉 (cycloxyaprid) 原药, 由华东理工大学李忠教授提供; 乙酸- $\alpha$ -萘酯 ( $\alpha$ -NA)、2,4-二硝基氯苯 (CDNB)、还原型谷胱甘肽 (GSH)、苯基硫脲 (PTU)、苯甲基磺酰氟 (PMSF)、二硫苏糖醇 (DTT)、还原辅酶 II 四钠盐 ( $\beta$ -NADPH) 和固蓝 B 盐均购自 Aladdin 公司; 十二烷基硫酸钠 (SDS) 和 Triton X-100 购自美国 Sigma 公司; 牛血清白蛋白 (BSA)、Quick Start™ Bradford 1 × Dye Reagent 和 Tris-HCl 购自 Takara 公司; 三氯乙酸 (TCA) 和 7-乙氧香豆素购自东京化成工业株式会社。所有试剂均为分析纯。

UV-1800 型紫外分光光度计 (日本岛津公司); iMark™ 酶标仪 (美国 BIO-RAD 公司); NP80 超微量分光光度计 (德国 IMPLLEN 公司); 5804R 型台式冷冻离心机 (德国 Eppendorf 公司)。

### 1.3 环氧虫啉对白背飞虱的毒力测定

采用稻苗浸渍法<sup>[10]</sup>。根据不同温度下预试验的结果, 按等比设定 5~7 个浓度梯度的环氧虫啉药液 (不同温度下死亡率检测选用 16 mg/L 诊断浓度), 取稻苗 15 株于药液中浸泡 30 s 后取出, 自然晾干后用脱脂棉吸水包裹根部于试验杯中, 每杯接入 15 头生长一致的白背飞虱 3 龄中期若虫。每处理重复 3 次, 以 0.1% 的 Triton X-100 水溶液为对照。各处理若虫分别置于 18、23、28 和 32 °C 恒温培养箱中。4 d 后检查死亡情况, 用 0 号毛笔轻触虫体, 完全不动者视为死亡。

### 1.4 酶活性测定

1.4.1 试虫预处理 将接有 3 龄白背飞虱若虫的稻苗分别置于 18、23、28 和 32 °C 下饲养 24 h。每处理试虫 1 500 头, 挑取健康试虫于离心管中, 液氮速冻, 于 -80 °C 保存备用, 供不同温度处理白背飞虱种群 3 种解毒酶活力测定。

1.4.2 酶源蛋白含量测定 标准曲线绘制: 分别量取 100 mg/L 的牛血清蛋白 0、10、20、30、40、50、60、70、80、90 和 100  $\mu$ L, 加入到 2 mL

离心管中, 再加入 Quick Start™ Bradford 1 × Dye Reagen, 定容至 1 000 μL, 混匀, 静置 5 min, 在 595 nm 处测定吸光度值。每处理重复 3 次。以吸光度值为横坐标, 蛋白质量为纵坐标, 绘制标准曲线。

样品测定体系: 量取待测样品 100 μL, 加入 Quick Start™ Bradford 1 × Dye Reagent 900 μL, 混匀, 静置 5 min, 在 595 nm 处测定吸光度值。

酶源蛋白含量通过蛋白标准曲线, 将测定的吸光度值换算成蛋白含量表示。

1.4.3 谷胱甘肽 *S*-转移酶活性测定 酶源制备: 取白背飞虱 3 龄若虫 150 头, 加入 1 mL 冷冻的 0.1 mol/L、pH 6.5 的磷酸盐缓冲液, 于冰上用匀浆器充分匀浆后, 于 14 000 × *g*、4 °C 下离心 20 min, 取上清液作为粗酶液。

参照 Han 等<sup>[11]</sup>的方法加以改进测定谷胱甘肽 *S*-转移酶活性: 量取 740 μL 缓冲液、30 μL 底物 (CDNB)、100 μL 酶液和 30 μL 还原型谷胱甘肽 (GSH), 按顺序加入到 1.5 mL 离心管中, 混匀, 在 340 nm 处测定 2 min 内吸光度的变化值。按公式 (1) 计算酶活力。

$$R_{GSTs} = [(\Delta OD \times V) / (\epsilon \times L)] / m_{pro} \quad (1)$$

式中,  $R_{GSTs}$  为 GSTs 比活力 ( $\mu\text{mol}/(\text{mg}\cdot\text{min})$ ),  $\Delta OD$  为每分钟光吸收的变化值 ( $OD_{340}/\text{min}$ ),  $V$  为酶促反应体积 (0.9 mL),  $\epsilon$  为产物的消光系数 [ $0.0096 \text{ L}/(\mu\text{mol}\cdot\text{cm})$ ],  $L$  为比色杯的光程 (1 cm),  $m_{pro}$  为蛋白含量 (mg)。

1.4.4 酯酶活性测定 酶源制备: 取白背飞虱 3 龄若虫 60 头, 加入 1 mL 冷冻的 0.04 mol/L、pH 7.0 磷酸盐缓冲液, 于冰上用匀浆器充分匀浆后, 于 14 000 × *g*、4 °C 下离心 20 min, 取上清液作为粗酶液。

参照 Asperen 等<sup>[12]</sup>的方法加以改进测定酯酶活性: 量取 1 mL  $3 \times 10^{-4}$  mol/L 乙酸- $\alpha$ -萘酯底物溶液, 加入 2 mL 离心管中, 于 37 °C 水浴 3 min, 加入粗酶液 0.2 mL, 摇匀后于 37 °C 水浴中反应 15 min, 加入 0.2 mL 显色剂终止反应并显色, 稳定 30 min 后在 600 nm 处测定吸光度值。以热灭活酶源为对照。根据标准曲线计算每毫升酶液生成的  $\alpha$ -萘酚量和酶液中的蛋白含量, 按公式 (2) 计算酯酶的比活力。

$$R_{EST} = n_{\alpha\text{-萘酚}} / (m_{pro} \times t) \quad (2)$$

式中,  $R_{EST}$  为酯酶比活力 ( $\mu\text{mol}/(\text{mg}\cdot\text{min})$ );  $n_{\alpha\text{-萘酚}}$  为  $\alpha$ -萘酚量 ( $\mu\text{mol}$ );  $m_{pro}$  为酶液中的蛋白含

量 (mg);  $t$  为反应时间 (min)。

1.4.5 细胞色素 P450 单加氧酶活性测定 酶源制备: 取白背飞虱 3 龄若虫 600 头, 加入 600 μL 的 0.1 mol/L、pH 7.5 的磷酸缓冲液 (含 10% 甘油、1 mmol/L DTT、1 mmol/L PMSF 和 1 mmol/L EDTA), 于冰上用匀浆器充分匀浆后, 于 14 000 × *g*、4 °C 下离心 10 min, 取上清液在相同条件下再次离心 5 min, 上清作为粗酶液。

参照 Li 等<sup>[13]</sup>的方法加以改进以 7-乙氧香豆素-*O*-脱乙基酶 (7-ECOD) 为底物测定 P450 酶活性: 反应体系中依次加入 365 μL 的 0.1 mol/L、pH 7.8 Tris-HCl 缓冲液, 5 μL 的 40 mmol/L 7-乙氧香豆素, 10 μL 的 10 mmol/L NADPH, 125 μL 的粗酶液。于 30 °C 下在摇床内振荡反应 30 min 后, 立即将反应管放入冰中, 加入 150 μL 的 15% TCA 终止反应。将终止反应后的混合物于 10 000 × *g* 下离心 2 min, 取 100 μL 上清液, 加入 45 μL 的 1.6 mol/L、pH 10.5 甘氨酸-氢氧化钠, 使上清液最终 pH 值为 10。采用荧光酶标仪测定产物 7-羟基香豆素的含量。激发波长 358 nm, 发射波长 456 nm。用 7-羟基香豆素标准品制作标准曲线, 将荧光强度值转换为 nmol 7-羟基香豆素/(mg·min)。按公式 (3) 计算 7-ECOD 比活力。

$$R_{7\text{-ECOD}} = (c_{\text{产}} \times V_{\text{总}}) / (t \times m_{pro}) \quad (3)$$

式中,  $R_{7\text{-ECOD}}$  为 7-ECOD 比活力 ( $\text{nmol}/(\text{mg}\cdot\text{min})$ ),  $c_{\text{产}}$  为产物浓度 ( $\text{nmol}/\mu\text{L}$ ),  $V_{\text{总}}$  为反应总体积 ( $\mu\text{L}$ ),  $t$  为反应时间 (min),  $m_{pro}$  为蛋白含量 (mg)。

## 1.5 白背飞虱蜜露排泄量测定

取拔节期 TN1 稻苗, 去掉次生分蘖后, 在主茎上套 1 只大小为 5.0 cm × 5.0 cm 的石蜡膜小袋<sup>[4]</sup>, 每袋接 5 头经保湿且饥饿 2 h 的白背飞虱羽化后 1 d 的雌性成虫, 分别置于 18、23、28 和 32 °C 下, 每处理 30 次重复。24 h 后取下小袋, 用万分之一电子天平称每袋质量, 按公式 (4) 计算平均每头试虫排泄的蜜露量。

单头试虫蜜露排泄量 =

$$(\text{处理后小袋质量} - \text{处理前小袋质量}) / \text{总虫数} \quad (4)$$

## 1.6 数据分析

生物活性测定结果采用 Probit 软件分析  $LC_{50}$  值, 95% 置信区间和斜率。相对毒力为最低温度下测得的  $LC_{50}$  值与各温度下测得的  $LC_{50}$  值的比值。采用 Duncan's 多重比较分析酶活性和蜜露含量差异显著性 ( $P < 0.05$ , 表示差异显著)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同温度下环氧虫啉对白背飞虱的毒力

结果(表1)表明:在18~32℃范围内,环氧

虫啉对白背飞虱的毒力随温度升高而提高,32℃时毒力是18℃时的15.6倍,表明温度越高,白背飞虱对环氧虫啉越敏感。

表1 不同温度下环氧虫啉对白背飞虱的毒力

Table 1 Toxicity of cycloxyprid to *S. furcifera* at different temperatures

温度 Temperature/℃	试虫数 Number of insect	致死中浓度(95%置信区间) LC <sub>50</sub> (95% confidence limits)/(mg/L)	斜率±标准差 Slope±SE	χ <sup>2</sup> (df)	相对毒力 <sup>a</sup> Relative toxicity
18	420	146.6(107.6~200.7)	1.298±0.217	1.184(4)	1.0
23	420	30.30(24.27~37.90)	2.046±0.299	1.684(4)	4.8
28	420	12.12(9.160~16.10)	1.107±0.240	2.198(3)	12.1
32	420	9.370(8.040~10.93)	2.557±0.279	0.995(3)	15.6

注: <sup>a</sup>相对毒力=18℃下LC<sub>50</sub>值/不同温度下LC<sub>50</sub>值。

Note: <sup>a</sup>Relative toxicity was calculated as the ratio of LC<sub>50</sub> value (18℃) to LC<sub>50</sub> value (different temperatures).

根据毒力测定结果,测定不同温度下经16 mg/L环氧虫啉处理后白背飞虱的死亡率,结果表明:随温度升高,白背飞虱的死亡率显著升高(图1)。

### 2.2 温度对白背飞虱解毒酶活性的影响

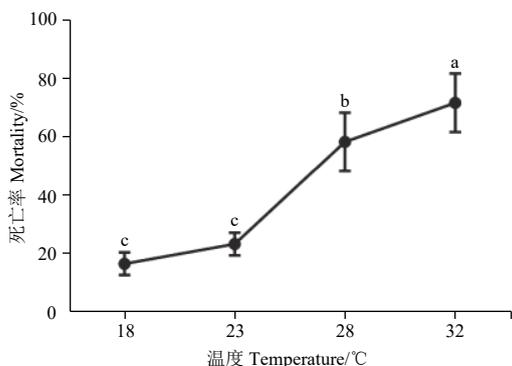
分别在18~32℃下处理3龄若虫24 h后,测定了白背飞虱中酯酶(EST)、细胞色素P450单加氧酶(P450)和谷胱甘肽S-转移酶(GSTs)3种解毒酶活性。结果(图2)显示:各温度处理间白背飞虱GSTs的比活力无显著差异;而EST比活力随温度的升高呈先上升后下降趋势,且23℃和28℃时活性最高;7-ECOD比活力随温度升高呈下降趋势,在18℃和23℃之间及28℃和32℃之间无显著性差异,而在23℃和28℃之间差异显著。

### 2.3 温度对白背飞虱分泌蜜露排泄量的影响

通过测定蜜露排泄量可间接反映白背飞虱的取食量。结果表明:在18~28℃之间,白背飞虱分泌蜜露量显著增大;在28~32℃之间,蜜露量无显著差异(图3)。

## 3 结论与讨论

温度主要通过影响杀虫剂的理化性质和昆虫

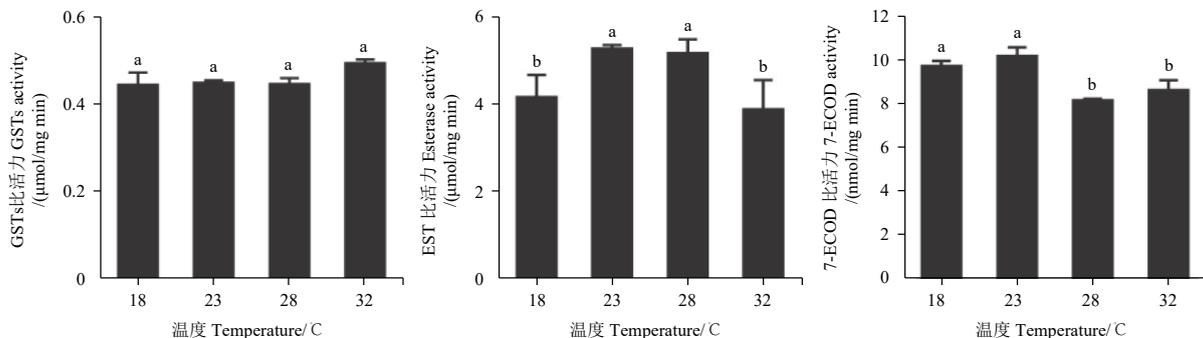


图中数据标有不同字母表示差异显著(Duncan's,  $P < 0.05$ )。

Data marked with different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

图1 不同温度下16 mg/L环氧虫啉处理后白背飞虱的死亡率

Fig. 1 The mortality of *S. furcifera* treated by the 16 mg/L dose of cycloxyprid at different temperatures

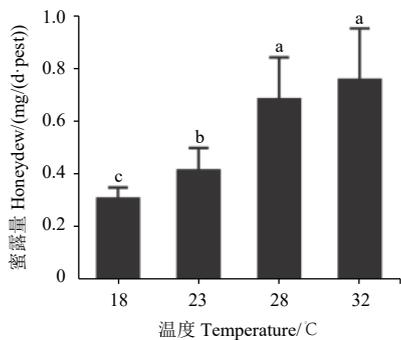


图中数据标有不同字母表示差异显著(Duncan's,  $P < 0.05$ )。

Data marked with different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

图2 不同温度对白背飞虱解毒酶活性的影响

Fig. 2 Effects of different temperatures on detoxification enzyme activity of *S. furcifera*



图中数据标有不同字母表示差异显著 (Duncan's,  $P < 0.05$ )。

Data marked with different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test.

图3 不同温度下白背飞虱的蜜露排泄量

Fig. 3 Honeydew of *S. furcifera* at different temperatures

自身的新陈代谢来影响其毒力<sup>[15-17]</sup>。不同杀虫剂之间对温度的敏感性差异显著, 本研究中, 在18~32 °C 范围内, 随着温度升高, 白背飞虱对环氧虫啉的敏感性增强。最高温度与最低温度下环氧虫啉对白背飞虱的毒力相差 15.6 倍, 这与马云华等的研究结果相似<sup>[7]</sup>。

温度对白背飞虱的生长发育影响较大, 白背飞虱的整个发育历期随温度升高而变短<sup>[18]</sup>, 这可能与不同温度条件下其取食量有关, 且白背飞虱的取食量决定了其取食药剂量的多少。稻飞虱以口针刺入维管束组织吸取汁液, 在持续吸食期间不断排泄蜜露。蜜露的多少即表示稻飞虱的相对取食量<sup>[19]</sup>。本研究测定了 18~32 °C 下白背飞虱蜜露排泄量, 发现在 18~28 °C 条件下, 其蜜露量随温度升高显著增加, 间接反映其取食量随温度升高而增加。而取食量越大, 则摄入的杀虫剂越多。这可能是随温度升高白背飞虱对环氧虫啉敏感性增强的主要原因。

马云华等<sup>[8]</sup>研究了温度对麦长管蚜体内主要解毒酶的影响, 发现负温度系数药剂与 GSTs 活性有很大关系, 正温度系数药剂与 CarE 和 AChE 活性关系密切。本研究结果显示, 在 18~23 °C 时, 3 种解毒酶比活力只有酯酶具有显著差异且呈上升趋势, 在该温度范围内, 根据毒力及蜜露量测定结果显示, 白背飞虱敏感性增强, 其分泌蜜露量显著增加, 说明可能是取食量起主导作用。而在 23~32 °C 范围内, 酯酶和 P450 比活力都随温度的升高而降低, 且随温度升高白背飞虱取食量显著增加, 敏感性逐渐增强, 表明在此温度范围内, 可能是白背飞虱取食量与体内酯酶、P450 两种解

毒酶共同作用导致其对环氧虫啉的敏感性增强。当然其中可能还有一些其他因素起着作用, 比如昆虫体内解毒酶还可能受杀虫剂的诱导而变化<sup>[20-22]</sup>。全林发等<sup>[23]</sup>报道, 高效氯氰菊酯亚致死浓度能诱导 CarE 和 GSTs 活性增强; 吴勇超等<sup>[24]</sup>发现用环氧虫啉处理苜蓿蚜后, 其体内 GSTs 和 P450 活力均显著升高, 但在本研究中温度的增加却导致了昆虫体内 P450 酶活性的降低, 更加表明 P450 在影响不同温度下白背飞虱对环氧虫啉敏感性中扮演重要角色, 其他因素如个体与群体间对杀虫剂的耐受性差异等还有待进一步的研究。

不同杀虫剂种类之间温度敏感性存在差异。在较低温度下使用环氧虫啉时, 应适当提高施药浓度以达到较好的防治效果, 在较高温度下使用时则恰好相反。明确温度对杀虫剂的影响, 从而更好开发药剂以及利用其本身特性达到害虫防治的目的, 对药剂的科学合理使用具有重要意义。

## 参考文献 (Reference):

- [1] 洪晓月, 丁锦华. 农业昆虫学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2007: 93-95.  
HONG X Y, DING J H. Agricultural entomology[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2007: 93-95.
- [2] ALI E, LIAO X, YANG P, et al. Sublethal effects of buprofezin on development and reproduction in the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae)[J]. Sci Rep, 2017, 7: 16913.
- [3] 张小磊, 廖逊, 毛凯凯, 等. 湖北稻区白背飞虱田间种群抗药性监测[J]. 昆虫学报, 2016, 59(11): 1212-1221.  
ZHANG X L, LIAO X, MAO K K, et al. Insecticide resistance monitoring in field populations of the white-back planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in rice production areas of Hubei Province, Central China[J]. Acta Entomologica Sinica, 2016, 59(11): 1212-1221.
- [4] RIVERON J, BOTO T, ALCORTA E. The effect of environmental temperature on olfactory perception in *Drosophila melanogaster*[J]. J Insect Physiol, 2009, 55(10): 943-951.
- [5] SALEEM M A, AHMAD M, AHMAD M, et al. Resistance to selected organochlorin, organophosphate, carbamate and pyrethroid, in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) from Pakistan[J]. J Econ Entomol, 2008, 101(5): 1667-1675.
- [6] MA Y H, GAO Z L, DANG Z H, et al. Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae)[J]. J Pestic Sci, 2012, 37(2): 135-139.
- [7] 马云华, 高占林, 李耀发, 等. 杀虫剂毒力与温度关系的研究进展[J]. 河北农业科学, 2010, 14(8): 12-18.

- MA Y H, GAO Z L, LI Y F, et al. Review on the effects of temperature on toxicity of insecticides[J]. J Hebei Agric Sci, 2010, 14(8): 12-18.
- [8] 马云华, 高占林, 李耀发, 等. 四种类型杀虫剂对麦长管蚜的温度效应及其与主要解毒酶的关系[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(6): 1661-1668.
- MA Y H, GAO Z L, LI Y F, et al. Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to the English grain aphid, *Sitobion avenae*[J]. Chin J Appl Entomol, 2011, 48(6): 1661-1668.
- [9] CHANG X L, YUAN Y D, ZHANG T S, et al. The toxicity and detoxifying mechanism of cycloxyprid and buprofezin in controlling *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae)[J]. J Insect Sci, 2015, 15(1): 98.
- [10] ZHANG X L, LIAO X, MAO K K, et al. The role of detoxifying enzymes in field-evolved resistance to nitenpyram in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* in China[J]. Crop Prot, 2017, 94: 106-114.
- [11] HAN Y C, YU W T, ZHANG W Q, et al. Variation in P450-mediated fenvalerate resistance levels is not correlated with *CYP337B3* genotype in Chinese populations of *Helicoverpa armigera*[J]. Pestic Biochem Physiol, 2015, 121: 129-135.
- [12] VAN ASPEREN K. A study of housefly esterases by means of a sensitive colorimetric method[J]. J Insect Physiol, 1962, 8(4): 401-416.
- [13] LI X X, LI R, ZHU B, et al. Overexpression of cytochrome P450 *CYP6BG1* may contribute to chlorantraniliprole resistance in *Plutella xylostella* (L.)[J]. Pest Manag Sci, 2018, 74(6): 1386-1393.
- [14] PATHAK P K, SAXENA R C, HEINRICHS E A. Parafilm sachet for measuring honeydew excretion by *Nilaparvata lugens* on rice[J]. J Econ Entomol, 1982, 75(2): 194-195.
- [15] KHAN H A A, AKRAM W. The effect of temperature on the toxicity of insecticides against *Musca domestica* L.: implications for the effective management of diarrhea[J]. PLoS One, 2014, 9(4): e95636.
- [16] KOZAK W. Temperature and toxicology: an integrative, comparative, and environmental approach By Christopher J. Gordon. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005. ISBN: 0-8493-3024-6. 338 pages. Price: \$ 19.95.[J]. Int J Toxicol, 2005, 24(6): 471-472.
- [17] 庾琴, 秦曙, 王霞, 等. 温度、光照及生物因子对啮虫脘和吡虫啉在油菜叶面消解的影响[J]. 农药学报, 2006, 8(2): 147-151.
- YU Q, QIN S, WANG X, et al. Dissipation of acetamiprid and imidacloprid under different temperature, light and biological factors on phyllosphere of *Brassica chinensis*[J]. Chin J Pestic Sci, 2006, 8(2): 147-151.
- [18] 叶正襄, 秦厚国, 李华. 温度、食料条件对白背飞虱种群增长的影响[J]. 植物保护学报, 1994, 21(3): 209-213.
- YE Z X, QIN H G, LI H. Effects of temperature and nutrition condition on the population increase of white-backed planthopper[J]. Acta Phytopylacica Sinica, 1994, 21(3): 209-213.
- [19] 顾秀慧, 贝亚维, 高春先. 褐稻虱取食试验及防治探讨[J]. 昆虫学报, 1987, 30(2): 169-174.
- GU X H, BEI Y W, GAO C X. Assessment of feeding of the brown planthopper in relation to pest control[J]. Acta Entomologica Sinica, 1987, 30(2): 169-174.
- [20] 尹显慧, 吴青君, 李学锋, 等. 多杀菌素亚致死浓度对小菜蛾解毒酶系活力的影响[J]. 农药学报, 2008, 10(1): 28-34.
- YIN X H, WU Q J, LI X F, et al. Effect of sublethal concentrations of spinosad on the activities of detoxifying enzymes in the larvae of diamondback moth *Plutella xylostella*[J]. Chin J Pestic Sci, 2008, 10(1): 28-34.
- [21] 张丛, 张海珠, 常静, 等. 四种拟除虫菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫的毒力及对三磷酸腺苷酶和谷胱甘肽S-转移酶活性的影响[J]. 农药学报, 2015, 17(2): 235-240.
- ZHANG C, ZHANG H Z, CHANG J, et al. Toxicity and the effects of four pyrethroid insecticides on the activity of ATPase and GSTs in *Aphis* sp.[J]. Chin J Pestic Sci, 2015, 17(2): 235-240.
- [22] 吴刚, 林勇文, 江树人. 温度对几种害虫和寄生蜂乙酰胆碱酯酶对杀虫剂敏感性的影响[J]. 农药学报, 2003, 5(4): 85-87.
- WU G, LIN Y W, JIANG S R. Effects of incubating temperature on inhibitions of acetylcholinesterase activity by dichlorvos in three parasitoids and their host insects[J]. Chin J Pestic Sci, 2003, 5(4): 85-87.
- [23] 全林发, 仇贵生, 孙丽娜, 等. 高效氯氟菊酯亚致死浓度对桃小食心虫成虫体内解毒酶活性的影响[J]. 农药学报, 2017, 19(3): 316-323.
- QUAN L F, QIU G S, SUN L N, et al. Effect of sublethal concentration of *beta*-cypermethrin on activities of detoxifying enzymes in *Carposina sasakii* matsumura (Lepidoptera Carposinidae) adults[J]. Chin J Pestic Sci, 2017, 19(3): 316-323.
- [24] 吴勇超, 须志平, 邵旭升. 环氧虫啉对苜蓿蚜的毒力及对其体内解毒酶活性的影响[J]. 农药学报, 2016, 18(6): 710-716.
- WU Y C, XU Z P, SHAO X S. Toxicity of cycloxyprid to *Aphis craccivora* (Koch) and its effects on detoxification enzymes[J]. Chin J Pestic Sci, 2016, 18(6): 710-716.

(责任编辑: 曲来娥)