

吡虫啉对南方小花蝽捕食西花蓟马功能反应的影响*

李宜儒^{1#}, 李琼^{2#}, 胡昌雄¹, 段盼¹, 陈国华¹, 张晓明^{1,3 **}

(1. 云南农业大学 植物保护学院, 云南生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南昆明 650201;

2. 云南省农业科学院 粮食作物研究所, 云南昆明 650205;

3. 农业部华南作物有害生物综合治理重点实验室, 广东广州 510642)

摘要:【目的】明确吡虫啉对南方小花蝽捕食功能反应和寻找效应的影响。【方法】选取 0.8、1.6 和 2.4 mg/L 的吡虫啉, 以蒸馏水为对照, 对南方小花蝽进行处理; 分别在西花蓟马密度为 30、40 和 50 头/瓶下探究不同吡虫啉质量浓度对南方小花蝽捕食西花蓟马功能的影响。【结果】在 3 个不同质量浓度吡虫啉下, 南方小花蝽对西花蓟马的功能反应均符合 Holling II 型圆盘方程。南方小花蝽捕食量的差异与吡虫啉质量浓度有一定的关系, 突出表现在猎物密度为 50 头的处理中, 吡虫啉质量浓度为 2.4 mg/L 时南方小花蝽的捕食量显著低于对照 ($P<0.05$)。南方小花蝽对西花蓟马的控制作用和寻找效应在吡虫啉处理下有所下降, 吡虫啉质量浓度为 0.8 mg/L 时影响不显著 ($P>0.05$), 吡虫啉质量浓度为 1.6 和 2.4 mg/L 时, 南方小花蝽对西花蓟马的控制作用和寻找效应均显著降低 ($P<0.05$)。【结论】吡虫啉对南方小花蝽捕食西花蓟马的数量和功能反应均有影响, 在较低质量浓度范围内, 随着吡虫啉质量浓度增加, 南方小花蝽对西花蓟马的捕食数量和控制作用降低。

关键词: 南方小花蝽; 西花蓟马; 捕食作用; 功能反应; 寻找效应; 吡虫啉

中图分类号: S 476.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X (2019) 04-0590-07

Effect of Imidacloprid Concentrations on Predatory Functional Responses of *Orius similis* to *Frankliniella occidentalis*

LI Yiru¹, LI Qiong², HU Changxiong¹, DUAN Pan¹, CHEN Guohua¹, ZHANG Xiaoming^{1,3}

(1. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, National Key Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources in Yunnan, Kunming 650201, China;

2. Institute of Food Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;

3. The Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in South China, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China)

Abstract: [Purpose] To study the effect of imidacloprid on the functional response and searching efficiency of *Orius similis*. [Method] The imidacloprid mass concentrations of 0.8, 1.6 and 2.4 mg/L and distilled water as control were selected to treat *O. similis* with the *Frankliniella occidentalis* densities at 30, 40 and 50 per treatment, respectively, to find out the effect of *O. similis* on predat-

收稿日期: 2018-12-06 修回日期: 2019-04-26 网络首发时间: 2019-07-10 17:17:42

*基金项目: 云南农业大学自然科学青年基金 (2016ZR18); 农业部华南作物有害生物综合治理重点实验室开放基金 (SCIPM2018-08); 国家大学生创新创业训练计划项目 (201710676009)。

作者简介: #对本文贡献等同, 为并列第一作者。李宜儒 (1997—), 男, 山西晋城人, 在读本科生, 主要从事昆虫生态学研究。E-mail: 455529707@qq.com; 李琼 (1983—), 女, 云南曲靖人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要从事作物病虫害综合治理研究。E-mail: yaaslq@163.com

**通信作者 Corresponding author: 张晓明 (1984—), 男, 云南保山人, 博士, 副教授, 主要从事入侵生物学与生态学研究。E-mail: zxmalex@126.com

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.S.20190709.1136.001.html>



ory to *F. occidentalis* under different imidacloprid concentrations. [Result] The functional response of *O. similis* to *F. occidentalis* was consistent with the Holling II disc equation under the influence of these three imidacloprid concentrations. The difference in predation of *O. similis* had a certain relationship with the concentration of imidacloprid, that is *O. similis* predation number was significantly lower in the imidacloprid concentration at 2.4 mg/L than that on control especially in the prey density at 50 ($P<0.05$). Compared with the control, the control and searching efficiency of *O. similis* to *F. occidentalis* was decreased under the influence of imidacloprid, and the effect of imidacloprid concentration at 0.8 mg/L was not significant ($P>0.05$), however, the control effect and the finding effect of *O. similis* to *F. occidentalis* were significantly reduced ($P<0.05$) when the concentration of imidacloprid was at 1.6 mg/L and 2.4 mg/L. [Conclusion] Imidacloprid had a negative effect on the number and functional response of *O. similis* predator to *F. occidentalis*. The predation number and control effect of *O. similis* to *F. occidentalis* decreased under the lower concentrations of imidacloprid.

Keywords: *Orius similis*; *Frankliniella occidentalis*; predation; functional response; searching efficiency; imidacloprid

西花蓟马 (*Frankliniella occidentalis*) 是全球范围内对植物危害最严重的害虫之一, 隶属于缨翅目 (Thysanoptera) 蓼马科 (Thripidae) 花蓟马属 (*Frankliniella*)^[1]。西花蓟马原产于美国西部, 温室作物的全球贸易使其迅速传播至全世界 69 个国家和地区^[2-3]。2003 年, 中国首次报道在北京发现西花蓟马, 现广泛分布于云南、浙江等 10 多个省份并造成危害^[4]。西花蓟马为多食性害虫, 其寄主范围广, 涉及果树、花卉及农作物等 60 多科 500 多种植物^[5]; 主要取食植物幼嫩组织汁液, 更严重的是传播植物病毒引起的间接为害, 导致植物死亡并造成巨大的经济损失^[6]。

南方小花蝽 (*Orius similis*) 是隶属于半翅目 (Hemiptera) 花蝽科 (Anthocoridae) 小花蝽属 (*Orius*) 的重要捕食性天敌昆虫, 主要捕食蓟马、粉虱和蚜虫等小型害虫, 是蓟马类害虫的最重要天敌昆虫^[7-8]。南方小花蝽活动能力强, 体型小, 能跟随小型害虫进入一些细小缝隙等隐蔽地方, 是一种利用前景很大的天敌昆虫^[9]。因此, 研究南方小花蝽对西花蓟马等小型害虫的控害作用, 对实现西花蓟马的生物防治具有重要意义。

国外对西花蓟马和南方小花蝽的研究早于国内, 在 20 世纪 80 年代已经在佛罗里达州首次记录了西花蓟马, 而且在 20 世纪 90 年代南方小花蝽已经有规模化的生产^[10], CHAMBERS 等^[11]在 1993 年就已经研究过南方小花蝽对西花蓟马的防治作用, 得到了很好的效果。蒋兴川等^[12]在不同的空间笼罩下研究了南方小花蝽分别对西花蓟马

成虫和若虫的捕食和选择性, 发现南方小花蝽对西花蓟马若虫具有优先选择性和捕食性; 莫利锋等^[13]研究了不同温度下南方小花蝽对蚕豆蚜和西花蓟马的捕食情况, 发现温度在 23~28 ℃ 之间南方小花蝽的捕食效果越好。吡虫啉作为一种新烟碱类杀虫剂 (neonicotinoid pesticides), 近年来大量应用于防治西花蓟马等蓟马类害虫^[1], 所以有学者发现可以孤雌生殖、种群数量增长快的西花蓟马对吡虫啉产生了很高的抗性, 化学防治西花蓟马的效果越来越不理想; 吡虫啉的持续频繁使用同样严重影响了蓟马类害虫的天敌南方小花蝽^[14-15], 使其寿命和控害作用下降, 对西花蓟马的生物防治产生了巨大的影响。

近年来, 吡虫啉的大量施用减弱了南方小花蝽的生物防治作用, 使其控害效果下降。因此, 研究吡虫啉对南方小花蝽捕食功能的具体影响极为重要。为了明确吡虫啉的大量使用对南方小花蝽捕食西花蓟马的捕食行为的影响, 本试验使南方小花蝽分别接触不同质量浓度的吡虫啉, 研究不同质量浓度吡虫啉对西花蓟马捕食功能的影响, 得到吡虫啉作用下南方小花蝽捕食西花蓟马数量的变化, 为杀虫剂大量使用背景下南方小花蝽的保护和利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试昆虫: 西花蓟马和南方小花蝽均采自云南省昆明市盘龙区双哨乡大摆村田间种植的辣椒

花朵上，并在云南农业大学昆虫系养虫室内利用人工气候箱（上海三腾仪器）饲养 20 代以上得到纯化种群，人工气候箱设置条件：温度为 (27 ± 1) °C，相对湿度为 65%~75%，光周期 $L:D = 16\text{ h}:8\text{ h}$ ，光强 20 000 lx。供试药剂为 70% 吡虫啉水分散粒剂（江苏克胜集团股份有限公司）。

1.2 试验设计

1.2.1 吡虫啉对南方小花蝽捕食西花蓟马数量的影响

采用触杀方式测定吡虫啉对南方小花蝽的毒力。将 30 mg/L 吡虫啉梯度稀释 6~9 个质量浓度，每个质量浓度为 1 个处理，每处理 4 个重复，每重复 10~20 头南方小花蝽。将南方小花蝽放入第 1 容器，第 1 容器顶部开口有带纱网的盖子，底部开口有纱网，将第 1 容器浸泡至装有不同吡虫啉质量浓度杀虫剂的第 2 容器中，第 2 容器仅为上部开口的器皿，浸泡 5 s 后取出，待药液晾干后放入人工气候箱培养^[16]，在 24 h 后观察记录各个质量浓度杀虫剂处理下的南方小花蝽成虫若虫存活情况，观察时用细毛笔轻轻触碰虫体，2 次不动则记录为南方小花蝽死亡^[1, 15]。数据用 SPSS 22.0 处理后得出吡虫啉对南方小花蝽的 LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{30} 分别为 0.8、1.6 和 2.4 mg/L。

选取体型大小相近的南方小花蝽成虫和西花蓟马成虫为试验对象，南方小花蝽饥饿 24 h。将 70% 吡虫啉水分散粒剂配置成 0.8、1.6 和 2.4 mg/L 共 3 个质量浓度的溶液，以蒸馏水为对照，分别喷洒于南方小花蝽体表，喷洒 3 次，每次间隔 3 s，确保南方小花蝽带有吡虫啉，将带有不同质量浓度杀虫剂的南方小花蝽分别单头放入存活有不同密度西花蓟马的塑料瓶中，塑料瓶为底面直径 3 cm、高 2.5 cm 的圆柱形，西花蓟马密度分别为 30、40 和 50 头/瓶，每处理重复 4 次。将接入南方小花蝽的塑料瓶放入人工气候箱中培养 24 h。分别在试验开始 2、4、8、12 和 24 h 后观察和记录南方小花蝽取食西花蓟马的情况。

1.2.2 南方小花蝽对西花蓟马的功能反应和寻找效应

用 Holling II 圆盘方程进行拟合^[17]。Holling II 型圆盘方程模型为： $N_a = a'NT / (1 + a'T_hN)$ ，式中， N_a 为日捕食量， a' 为瞬时攻击率， T_h 为处理时间， N 为猎物密度， T 为试验时间 (1 d)，最大理论捕食量 $N_{amax} = 1/T_h$ ， a'/T_h 之比越大，说明猎物

对害虫控制能力越强。寻找效应 $S = a' / (1 + a'T_hN)$ 。

1.3 统计分析

试验数据采用 Excel 2016 进行统计，使用 SPSS 22.0 计算所有重复数据的平均数和标准误，计算南方小花蝽毒力测定的线性回归方程，用 Excel 2016 绘图。

2 结果与分析

2.1 吡虫啉对南方小花蝽捕食西花蓟马数量的影响

南方小花蝽接触不同质量浓度吡虫啉后捕食西花蓟马数量见表 1。相同猎物密度下，南方小花蝽对西花蓟马的捕食量随吡虫啉质量浓度的升高而降低。处理内比较，当猎物密度为 30 头/瓶时，不同质量浓度吡虫啉处理的南方小花蝽无显著差异，但是平均捕食量随着吡虫啉质量浓度的升高而降低；40、50 头/瓶的猎物密度下，吡虫啉质量浓度为 1.6、2.4 mg/L 的处理与对照和 0.8 mg/L 的处理结果有显著的差异 (1.6 mg/L: $F_{3, 12} = 3.688\ 0$, $P = 0.043\ 2$; 2.4 mg/L: $F_{3, 12} = 27.238\ 0$, $P = 0.000\ 2$)，其中 1.6、2.4 mg/L 的处理之间南方小花蝽对西花蓟马的捕食数量无显著差异，0.8 mg/L 和对照的处理之间南方小花蝽对西花蓟马的捕食数量无显著差异。

处理间比较，相同吡虫啉质量浓度下，南方小花蝽对西花蓟马的捕食数量随着猎物密度的增加而增加，以 2.4 mg/L 吡虫啉处理为例，在西花蓟马密度为 50 头/瓶的处理中，南方小花蝽对西花蓟马的捕食量显著高于西花蓟马密度为 40 和 30 头/瓶的捕食量，当西花蓟马的密度为 30 和 40 头/瓶时，小花蝽对西花蓟马的捕食量间无显著差异 ($F_{2, 9} = 27.079\ 0$, $P = 0.000\ 2$) (表 1)。

综合以上结果，西花蓟马密度与吡虫啉质量浓度均能影响南方小花蝽对西花蓟马的捕食量。在相同的西花蓟马密度下，吡虫啉的质量浓度越高，吡虫啉对南方小花蝽的捕食量的影响越明显；在相同的吡虫啉质量浓度下，西花蓟马密度越高，南方小花蝽对西花蓟马的捕食量越大。

南方小花蝽对西花蓟马的捕食量与吡虫啉质量浓度的回归方程中，相关系数均达到了显著或极显著水平，表明回归方程可以较好地拟合吡虫啉质量浓度对南方小花蝽捕食作用的影响 (表 2)。

表1 南方小花蝽在不同吡虫啉质量浓度影响下对西花蓟马不同时间的捕食量 (mean±SE)

Tab. 1 The predation of *O. similis* to *F. occidentalis* under the influence of different imidacloprid mass concentrations at different time

猎物密度/(头·瓶 ⁻¹) prey number per bottle	吡虫啉质量浓度/(mg·L ⁻¹) imidacloprid concentration	南方小花蝽在不同时间的捕食量/头 <i>O. similis</i> predation at different time				
		2 h	4 h	8 h	12 h	24 h
30	0.0	2.25±0.25 aB	4.75±0.63 aC	15.50±0.65 aC	20.50±1.19 aC	27.25±1.25 aC
	0.8	2.75±0.48 aB	5.25±0.63 aB	16.25±0.48 aB	19.50±0.87 aC	26.50±1.19 aC
	1.6	1.25±0.48 aB	4.50±0.57 aB	13.75±0.48 aB	18.00±0.91 aB	24.75±1.32 aB
	2.4	1.25±0.63 aA	3.50±0.57 aB	13.50±1.19 aA	16.50±1.32 aB	22.50±0.87 aB
40	0.0	3.75±0.48 aA	7.00±0.40 aB	21.00±0.91 aB	27.00±0.91 aB	35.25±0.75 aB
	0.8	4.25±0.63 aAB	7.25±0.85 aA	21.50±0.65 aA	26.75±0.48 aB	34.00±0.40 aB
	1.6	3.00±0.70 aAB	7.25±0.75 aB	19.75±1.10 abB	24.25±0.85 aB	31.25±1.03 aB
	2.4	1.75±0.63 aA	6.25±0.63 aB	16.25±0.75 bA	21.25±0.48 bB	28.75±0.63 bB
50	0.0	6.00±0.40 aA	13.75±0.63 aA	25.00±0.91 aA	32.50±1.91 aA	40.25±0.85 aA
	0.8	5.25±0.25 abA	10.00±0.40 bA	22.75±0.48 abA	31.00±0.91 abA	38.75±1.03 bA
	1.6	4.50±0.65 abA	8.75±0.48 bA	21.00±0.40 bA	28.00±0.91 bcA	35.50±0.65 bA
	2.4	3.50±0.65 bA	8.00±0.40 bA	18.00±0.70 cA	25.50±1.04 cA	33.25±0.75 bA

注: 同列数据后不同大、小写字母分别表示差异极显著 ($P<0.01$) 或显著 ($P<0.05$)。

Note: Tested by Tukey method, the data in the same columns followed by different capital and lowercase letters means the significant difference at level of 5% and 1%, respectively.

表2 同一猎物密度下南方小花蝽对西花蓟马的捕食量 (p) 与吡虫啉质量浓度 (ρ) 的回归模型Tab. 2 The regression equation between imidacloprid mass concentration and predation capacity of *O. similis* to *F. occidentalis* at same densities

猎物密度/头 prey density	回归方程 regression equation	相关系数 (r) correlation coefficient
30	$p=-0.5859\rho^2-0.5937\rho+27.275$	0.99**
40	$p=-1.2695\rho^2+1.0156\rho+35.187$	0.99**
50	$p=-1.0742\rho^2-0.7031\rho+40.688$	0.90*

注: “*”表示回归方程达到显著相关水平 ($P<0.05$), “**”表示回归方程达到了极显著相关水平 ($P<0.01$); 下同。

Note: “*” and “**” represent significant correlative at 0.05 and 0.01 level respectively; the same as below.

2.2 南方小花蝽对西花蓟马的捕食功能反应

将南方小花蝽在不同吡虫啉质量浓度下对西花蓟马的捕食功能反应进行拟合, 符合 Holling II 模型曲线。由表3可知: 对照中南方小花蝽对西花蓟马的瞬时攻击率 (a') 最高, 2.4 mg/L 吡虫啉质量浓度条件下小花蝽的瞬时攻击率最低, 随着吡虫啉质量浓度的增大, 南方小花蝽对西花蓟马的瞬时攻击率呈下降趋势, 瞬时攻击率与处理时间 (T_h) 的比值不断减小, 而 a'/T_h 值可以衡量

天敌对猎物的控制作用, 比值越大, 控制作用越大, 反之控制作用越小, 则南方小花蝽对西花蓟马的控制作用随着吡虫啉质量浓度之间存在负相关效应, 即在一定的吡虫啉质量浓度范围内, 随着吡虫啉质量浓度的增加, 南方小花蝽对西花蓟马的取食能力降低。

2.3 南方小花蝽对西花蓟马的寻找效应

不同吡虫啉质量浓度处理过的南方小花蝽对西花蓟马的寻找效应均随着西花蓟马密度的增加

表3 南方小花蝽在吡虫啉不同质量浓度下对西花蓟马的功能反应

Tab. 3 Functional response of *Orius similis* to *Frankliniella occidentalis* at different imidacloprid concentration

质量浓度/mg/L concentration	功能反应模型 functional response equation	相关系数 (r) correlation coefficient	瞬时攻击率 (a') instantaneous attack rate	(a'/T_h) instantaneous attack rate	捕食上限 (N_{\max}) upper limit of predation
0.0	$N_a=1.1110N/(1+0.0072N)$	0.9925**	1.1110	170.94	153.85
0.8	$N_a=1.1046N/(1+0.0081N)$	0.9934**	1.1046	151.31	136.99
1.6	$N_a=1.0789N/(1+0.0100N)$	0.9952**	1.0789	116.01	107.53
2.4	$N_a=0.9208N/(1+0.0074N)$	0.9972**	0.9208	114.21	123.46

而降低, 未经吡虫啉处理的南方小花蝽对西花蓟马的寻找效应最高, 2.4 mg/L 吡虫啉处理的南方小花蝽寻找效应最低(图 1)。

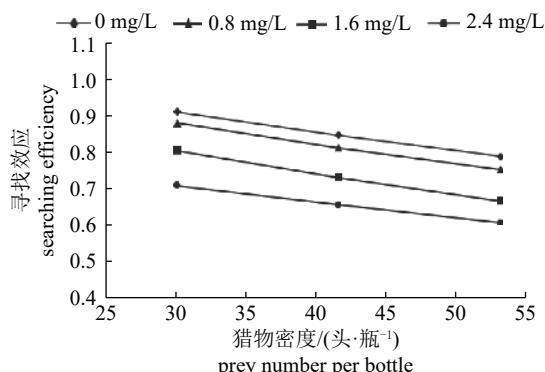


图 1 南方小花蝽对西花蓟马的寻找效应

Fig. 1 The searching sufficiency of *O. simillis* to *F. occidentalis*

当猎物密度固定时, 随着吡虫啉质量浓度的增加, 南方小花蝽对西花蓟马的寻找效应不断下降, 下降程度排序为 0.0 mg/L>0.8 mg/L>1.6 mg/L>2.4 mg/L。由图 1 可知: 0.8 mg/L 吡虫啉处理的南方小花蝽相对于对照而言寻找效应下降程度小, 而 1.6 mg/L 吡虫啉处理过的南方小花蝽相对于 0.8、2.4 mg/L 处理寻找效应下降幅度大($F_{2, 9}=2.0300$, $P=0.1872$), 表明较低质量浓度(0.8 mg/L)的吡虫啉对于南方小花蝽捕食西花蓟马的影响较小。

3 讨论

本研究采用喷洒吡虫啉影响南方小花蝽捕食西花蓟马的方法, 对南方小花蝽在 3 个吡虫啉质量浓度($LC_{10}=0.8 \text{ mg/L}$ 、 $LC_{20}=1.6 \text{ mg/L}$ 、 $LC_{30}=2.4 \text{ mg/L}$)下对西花蓟马的捕食量、功能反应以及寻找效应进行了研究, 与对照相比较, 在吡虫啉的影响下, 不同猎物密度下南方小花蝽对西花蓟马的捕食量均有下降, 而且对西花蓟马的控制作用和寻找效应随着吡虫啉质量浓度的增加而降低; 南方小花蝽对西花蓟马的捕食功能反应符合 Holling II 模型曲线^[17]。

吡虫啉对南方小花蝽捕食西花蓟马有影响, 影响从处理后 2 h 表现, 猎物密度为 30 头/瓶和 40 头/瓶时, 各质量浓度处理之间捕食量没有显著差异; 但是猎物密度为 50 头时, 对照和 2.4 mg/L 处理之间捕食量有显著差异, 0.8 和 1.6 mg/L 处理与

2.4 mg/L 处理之间没有显著差异; 在试验开始后 4 h, 猎物密度为 50 头/瓶的 3 个处理均与对照有显著差异; 而在处理 8 h 后, 猎物密度为 40 头/瓶的 3 个处理中捕食量也出现了差异显著的情况, 所得结果都是高质量浓度吡虫啉处理的南方小花蝽的捕食量显著低于对照或低于质量浓度较低的处理, 这与莫利锋等^[18]研究的吡虫啉对南方小花蝽捕食西花蓟马 2 龄若虫的影响相似, 吡虫啉显著影响了南方小花蝽对西花蓟马 2 龄若虫的捕食数量, 其试验中捕食数量的结果与本试验有差别的原因可能是其使用的吡虫啉质量浓度远大于本试验, 从而更加抑制了南方小花蝽对西花蓟马 2 龄若虫的捕食数量; 除此之外, 史明山等^[19]和邱光^[20]均发现吡虫啉减少了天敌昆虫的寿命并且抑制了捕食, 说明了吡虫啉对天敌昆虫有着负面影响。

不同猎物密度对南方小花蝽捕食西花蓟马的数量有显著影响, 猎物密度越高, 南方小花蝽对西花蓟马的捕食数量越多; 吡虫啉质量浓度越高, 南方小花蝽对西花蓟马的捕食数量越低。在本研究中, 猎物密度低时, 吡虫啉对南方小花蝽的捕食数量影响较小, 随着猎物密度的增大, 吡虫啉对南方小花蝽的影响增大。造成此现象的原因可能是猎物密度和吡虫啉质量浓度 2 个因素的综合影响: 当猎物密度低时(30 头/瓶), 其对南方小花蝽的捕食数量的影响大于吡虫啉质量浓度对南方小花蝽捕食数量的影响, 所以低猎物密度下吡虫啉对南方小花蝽捕食西花蓟马数量间的差异不显著; 当猎物密度增加时, 吡虫啉质量浓度对南方小花蝽捕食数量的影响大于猎物密度的影响, 所以捕食数量间的差异显著。在吡虫啉影响的初始阶段(2、4、8 h), 被吡虫啉处理过的南方小花蝽捕食西花蓟马的数量与对照差异不显著; 在吡虫啉影响的后期(12、24 h), 被吡虫啉处理过的南方小花蝽对西花蓟马的捕食数量显著低于对照, 造成此现象的原因可能是南方小花蝽体内的解毒系统不断得到激发, 解毒酶等开始发生适应性变化^[21], 酯酶(Es)、谷胱甘肽 S-转移酶(GSTs)和多功能氧化酶(MFOs)是昆虫体内 3 种重要的解毒酶^[22], 在南方小花蝽接触吡虫啉时, 可能是这几种酶的作用在一定的时间内减小了吡虫啉对南方小花蝽的影响, 从而在试验初期造成捕食数量差异不显著, 随着时间的推移, 吡虫啉

对南方小花蝽的影响越来越大, 从而导致了试验后期捕食数量差异显著^[23]。

在0~2.4 mg/L 吡虫啉质量浓度下, 南方小花蝽对西花蓟马的功能反应均符合 Holling II型。这与莫利锋等^[14]研究的南方小花蝽在不同空间笼罩情况下对西花蓟马的捕食作用结果一致; 蒋兴川等^[12]研究的南方小花蝽在不同试验空间下对西花蓟马的捕食规律一致。随着吡虫啉质量浓度增大, 南方小花蝽的瞬时攻击率 a' 及其和处理时间 T_h 的比值不断下降, 说明在吡虫啉的作用下, 南方小花蝽对西花蓟马的控制作用在降低。当吡虫啉质量浓度低时(0.8 mg/L), 南方小花蝽对西花蓟马的控制作用的下降程度低于高质量浓度吡虫啉(1.6、2.4 mg/L), 说明南方小花蝽对低质量浓度的吡虫啉有一定的适应能力, 但随着吡虫啉质量浓度的增加, 适应性不断减弱。姜勇等^[23]研究了在阿维菌素使用环境中南方小花蝽对烟蚜的控制效果显著降低, 与本研究中的吡虫啉作用下显著抑制了南方小花蝽对西花蓟马的控制作用结果一致, 说明杀虫剂的使用在天敌昆虫控制害虫的过程中对天敌昆虫的捕食功能存在较大的负面影响。

吡虫啉对南方小花蝽的捕食和功能反应有负相关的影响, 即吡虫啉抑制了南方小花蝽对西花蓟马的捕食和控制作用。因此了解不同吡虫啉质量浓度下南方小花蝽对西花蓟马的功能反应, 有助于掌握南方小花蝽在吡虫啉环境下的控制作用, 更好地利用南方小花蝽的生物防治作用。但是在农田生态系统中, 吡虫啉以及其他杀虫剂的施用是不可避免的, 因此南方小花蝽长时间在吡虫啉环境下对西花蓟马的控制作用变化规律以及南方小花蝽体内的生理反应机制还需要进一步研究。

4 结论

在3个吡虫啉质量浓度下($LC_{10}=0.8\text{ mg/L}$ 、 $LC_{20}=1.6\text{ mg/L}$ 、 $LC_{30}=2.4\text{ mg/L}$), 南方小花蝽对西花蓟马的捕食功能反应符合 Holling II模型曲线。吡虫啉对南方小花蝽的捕食和功能反应呈负相关关系, 即吡虫啉抑制对南方小花蝽对西花蓟马的捕食作用具有抑制作用。在吡虫啉的影响下, 不同猎物密度下南方小花蝽对西花蓟马的捕食量均有所下降, 而且对西花蓟马的寻找效应随

着吡虫啉质量浓度的增高而降低。

[参考文献]

- 胡昌雄, 李宜儒, 李正跃, 等. 吡虫啉对西花蓟马和花蓟马种间竞争及后代发育的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(2): 453. DOI: [10.13292/j.1000-4890.201802.005](https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.201802.005).
- KIRK W D J, TERRY L I. The spread of the Western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande)[J]. Agricultural and Forest Entomology, 2003, 5(4): 301. DOI: [10.1046/j.1461-9563.2003.00192.x](https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2003.00192.x).
- 郑雪, 陈永对, 吴阔, 等. 2014年云南番茄、辣椒上番茄斑萎病毒属病毒与传毒蓟马的发生特点[J]. 南方农业学报, 2015, 46(3): 428. DOI: [10.3969/j.issn.2095-1191.2015.3.428](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1191.2015.3.428).
- 侯文杰, 李飞, 吴青君, 等. 西花蓟马对多杀菌素的抗性生化机制研究[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(4): 1042. DOI: [10.7679/j.issn.2095-1353.2013.144](https://doi.org/10.7679/j.issn.2095-1353.2013.144).
- 廖倩, 张治军, 张玉秀, 等. 西花蓟马数量与番茄斑萎病毒发生流行的关系[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(9): 1601. DOI: [10.3969/j.issn.1004-1524.2015.09.18](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-1524.2015.09.18).
- 左太强, 李帅, 张彬, 等. 低剂量杀虫剂与高温结合对西花蓟马种群的防控[J]. 植物保护学报, 2017, 44(4): 687. DOI: [10.13802/j.cnki.zwbhxb.2017.2016037](https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2017.2016037).
- 曹宇, 郭军锐, 从春蕾, 等. 西花蓟马寄主选择性与寄主物理性状及次生物质的关系[J]. 植物保护, 2012, 38(4): 27. DOI: [10.3969/j.issn.0529-1542.2012.04.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.0529-1542.2012.04.005).
- 曾广, 郭军锐, 张昌容, 等. 七种杀虫剂对烟蚜和南方小花蝽的毒力测定[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(3): 59. DOI: [10.13496/j.issn.1007-5119.2018.03.008](https://doi.org/10.13496/j.issn.1007-5119.2018.03.008).
- 曾广, 郭军锐, 张昌容. 南方小花蝽控制害虫的研究现状[J]. 山地农业生物学报, 2017, 36(1): 71. DOI: [10.15958/j.cnki.sdnyswxb.2017.01.013](https://doi.org/10.15958/j.cnki.sdnyswxb.2017.01.013).
- RRITZ S R, FUNDERBURK J E, WARING S M. Differential predation by the generalist predator *Orius insidiosus*, on congeneric species of thrips that vary in size and behavior[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2006, 119(3): 179. DOI: [10.1111/j.1570-7458.2006.00408.x](https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00408.x).
- CHAMBERS R J, LONG S, HELYER N L. Effectiveness of *Orius laevigatus* (Hem.: Anthocoridae) for the control of *Frankliniella occidentalis* on cucumber and pepper in the UK[J]. Biocontrol Science and Technology, 1993, 3: 295. DOI: [10.1080/09583159309355284](https://doi.org/10.1080/09583159309355284).
- 蒋兴川, 桂富荣, 陈斌, 等. 南方小花蝽在不同试验空间对西花蓟马的捕食及搜寻效应[J]. 生物安全学报, 2012, 21(1): 20.
- 莫利锋, 郭军锐, 陈祥叶. 温度对南方小花蝽捕食西花蓟马功能反应的影响[J]. 中国生物防治学报, 2013, 29(2): 187. DOI: [10.16409/j.cnki.2095-039x.2013.02.004](https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2013.02.004).
- 莫利锋, 郭军锐, 田甜. 南方小花蝽在不同空间及笼罩条件下对西花蓟马的控制作用[J]. 生态学报, 2013, 33(22): 7132. DOI: [10.5846/stxb201208071120](https://doi.org/10.5846/stxb201208071120).
- 张晓明, 柳青, 李宜儒, 等. 六种常见杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力测定[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(1): 215. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2018.01.28](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2018.01.28).

- [16] 张晓明, 胡昌雄, 赵浩旭, 等. 毒虫啉胁迫对西花蓟马生长发育及种群性比的影响[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(4): 870. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2017.04.18](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2017.04.18).
- [17] 舒敏, 克尤木·维勒木, 罗庆怀, 等. 蓝蝽对马铃薯甲虫低龄幼虫的捕食潜能初探[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(1): 38. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2012.01.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2012.01.007).
- [18] 莫利锋, 郭军锐, 张骏. 苦参碱及毒虫啉对南方小花蝽的影响[J]. 植物保护学报, 2013, 40(2): 160. DOI: [10.13802/j.cnki.zwbhxb.2013.02.003](https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2013.02.003).
- [19] 史明山, 肖磊, 史丽丽, 等. 毒虫啉对小麦及其蚜虫天敌影响的研究进展[J]. 天津农业科学, 2016, 22(6): 103. DOI: [10.3969/j.issn.1006-6500.2016.06.025](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-6500.2016.06.025).
- [20] 邱光. 毒虫啉的应用及其负面效应的研究进展[J]. 华东昆虫学报, 2005, 14(1): 76.
- [21] 凌炎, 黄萍, 蒋显斌, 等. 抗毒虫啉褐飞虱种群对天敌黑肩绿盲蝽抗性发展的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(6): 1369. DOI: [10.16213/j.cnki.scjas.2017.6.023](https://doi.org/10.16213/j.cnki.scjas.2017.6.023).
- [22] STEPANYCHEVA E A, PETROVA M O, CHERMENSKAYA T D, et al. The behavioral response of the predatory bug *Orius laevigatus*, Fieber (Heteroptera, Anthocoridae) to synthetic volatiles[J]. Entomological Review, 2014, 94(8): 1053. DOI: [10.1134/S0013873814080116](https://doi.org/10.1134/S0013873814080116).
- [23] 姜勇, 张钟宁, 牛长缨, 等. 阿维菌素对南方小花蝽抑制烟蚜的影响[J]. 昆虫学报, 2002, 45(2): 215. DOI: [10.16380/j.kcxb.2002.02.012](https://doi.org/10.16380/j.kcxb.2002.02.012).

责任编辑: 何承刚