



董永龙, 姜子德, 习平根, 洗继东. 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫不同虫态的室内毒力测定 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (4): 1087–1094.

氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫不同虫态的室内毒力测定

董永龙, 姜子德, 习平根, 洗继东*

(华南农业大学植物保护学院, 广州 510642)

摘要: 荔枝蒂蛀虫 *Conopomorpha sinensis* Bradley 是为害荔枝和龙眼的重要害虫, 其为害的隐蔽性增加了防治难度。为了探索安全、有效的药剂防治手段和明确氯虫苯甲酰胺的适合施药时期, 本研究在室内条件下, 以防控荔枝蒂蛀虫常用药剂高效氯氟氰菊酯为对照药, 采用喷雾法和药膜法, 分别测定了 100、10、1、0.1 和 0.01 mg/L 的 5 个浓度梯度下, 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵、初孵幼虫的毒杀作用以及对成虫的触杀作用。研究结果表明, 氯虫苯甲酰胺的 5 个浓度梯度对产后 24 h、48 h 和 72 h 蒂蛀虫卵孵化抑制率均显著高于高效氯氟氰菊酯; 氯虫苯甲酰胺对蒂蛀虫初孵幼虫的毒力是高效氯氟氰菊酯的 10 倍, 对荔枝蒂蛀虫初孵幼虫的 LC_{50} 分别为 3.32 mg/L 和 38.78 mg/L。而在 100 mg/L 浓度下氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯对成虫触杀的校正死亡百分率最高分别为 34.36% 和 77.35%。综上所述, 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫具有较强的杀卵活性和杀初孵幼虫活性, 在荔枝生产上具有潜在的应用价值; 鉴于其对成虫的触杀作用不强, 故建议在荔枝蒂蛀虫的产卵高峰期和初孵幼虫期使用, 以期将荔枝蒂蛀虫于发生为害之前进行有效控制。

关键词: 荔枝蒂蛀虫; 氯虫苯甲酰胺; 高效氯氟氰菊酯; 毒力测定

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2023) 04-1087-08

Virulence determination of chlorantraniliprole against different stage of *Conopomorpha sinensis* Bradley (Lepidoptera: Gracilariidac) in the laboratory

DONG Yong-Long, JIANG Zi-De, XI Ping-Gen, XIAN Ji-Dong* (College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510542, China)

Abstract: *Conopomorpha sinensis* Bradley is major pest of litchi and longan. The concealment of its harm increases the difficulty of prevention and control. In order to explore the safe and effective means of pesticide control and to determine the suitable application period of chlorantraniliprole. In the laboratory a test to determine the toxicological effect of chlorantraniliprole and lambda-cyhalothrin (as control) on eggs, newly hatched larvae and adults of *C. sinensis* were performed using methods of spraying and contact residue under 5 concentration gradients of 100, 10, 1, 0.1 and 0.01 mg/L, respectively. The results showed that chlorantraniliprole to the corrected hatching inhibition rate of eggs of *C. sinensis* which lay for 24 h, 48 h and 72 h were significantly higher than that of lambda-cyhalothrin under 5 different concentration gradients. The relative virulence ratio of chlorantraniliprole was 10 fold as that of lambda-cyhalothrin with median lethal concentrations (LC_{50}) of 3.32 mg/L and 38.78 mg/L, respectively. In the contact residue test, the corrected mortality rates of adults of *C. sinensis* with chlorantraniliprole (100 mg/L) and lambda-cyhalothrin (100 mg/L) were 34.36% and 77.35%, respectively. These

基金项目: 荔枝病虫害监测与绿色防治技术创新和示范推广 (18200005); 广东省现代农业产业技术体系龙眼创新团队项目 (2019KJ123)

作者简介: 董永龙, 男, 硕士, 主要研究荔枝害虫的综合治理和生态控制, E-mail: yonglongdong@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 洗继东, 女, 博士, 副教授, 研究方向为农作物害虫的综合治理和生态控制, E-mail: jdxian@scar.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-04-20; 接受日期 Accepted: 2022-06-30

results suggested that chlorantraniliprole had strong insecticidal activity against the larvae of *C. sinensis*, but not against the adults. Chlorantraniliprole exhibit the potential to be exploited as a control strategy for this pest in litchi production. Therefore, the application of chlorantraniliprole in the peak oviposition period and early larval stage of litchi stem borer can effectively control the occurrence of litchi stem borer before damage.

Key words: *Conopomorpha sinensis* Bradley; chlorantraniliprole; lambda-cyhalothrin; virulence determination

荔枝蒂蛀虫 *Conopomorpha sinensis* Bradley, 也称荔枝蛀蒂虫, 属于鳞翅目 Lepidoptera 细蛾科 Gracilariidae, 是为害荔枝和龙眼的重要害虫, 在我国荔枝、龙眼主产区均有分布。20 世纪 90 年代以来, 荔枝和龙眼受其为害呈现越来越严重的趋势, 平均果园发生率达 67%, 发生严重时可达 90% 以上, 产量损失高达 50% 以上, 并且严重影响了果品的产量和品质 (姜子德等, 2011)。近几年来, 在广东省部分荔枝园中, 成熟期果实受害率高达 60% ~ 80%, 产量损失 30% ~ 40% (刘冬梅等, 2020)。荔枝蒂蛀虫主要以幼虫钻蛀为害荔枝、龙眼的果实、花穗、嫩梢和嫩叶, 嗜好为害荔枝龙眼果实 (Schulte, 2007), 其为害的隐蔽性增加了防治难度, 常造成大量减产甚至失收。在防治该虫的过程中, 由于大量地滥用化学杀虫剂, 使农药残留严重超标, 直接影响了荔枝的出口, 也造成了巨大的经济损失 (李文景等, 2018)。在生产上, 对荔枝蒂蛀虫的有效控制成为了保证荔枝产量和品质的重要因素之一。目前, 荔枝蒂蛀虫的防治方法仍以化学防治为主, 在生产上防治荔枝蒂蛀虫常用的药剂有氯氰菊酯、高效氯氰菊酯和毒死蜱等有机磷农药单剂以及高效氯氰菊酯·三唑磷和氯氰菊酯·毒死蜱等复配杀虫剂 (洗继东等, 2011; 徐淑等, 2020)。但是某些药剂长期大量使用, 抗药性问题已十分突出, 已不能有效控制荔枝蒂蛀虫的危害, 有些药剂则安全性较差, 大量使用后易对非靶标生物造成风险而影响生态平衡。使用最多的是拟除虫菊酯类农药, 如高效氯氰菊酯, 由于荔枝蒂蛀虫抗药性增强, 在一些产区的防效明显下降 (李鹏燕等, 2016)。果农为了保住产量, 往往加大用药浓度和增加施用次数, 不可避免地产生果品农药残留超标和对环境造成污染等副作用。因此, 生产上迫切需要高效、安全的防治药剂。

氯虫苯甲酰胺 (Chlorantraniliprole) 是一种含邻甲酰胺基苯甲酰胺类化学结构的新型广谱杀虫剂, 属于鱼尼丁受体激活剂, 其对鳞翅目害虫具

有极高的杀虫活性, 防效极佳 (Cordova *et al.*, 2006; Sattelle *et al.*, 2008)。研究报道氯虫苯甲酰胺对于果园中蜘蛛类和蜡类以及草蛉、瓢虫及食蚜蝇类天敌等常见天敌都是安全的 (刘芳等, 2009; Barbee *et al.*, 2010)。由于氯虫苯甲酰胺即使在很低质量浓度下仍具有相当好的杀虫活性, 且广谱、残效期长、毒性低、与环境友好, 因此, 近年来该药剂广泛应用于农业害虫的防治中 (Falin *et al.*, 2019; Gong *et al.*, 2020; 关春林等, 2020)。例如, 在田间应用 35% 氯虫苯甲酰胺水分散粒剂防治梨木虱 *Psylla chinensis* Yang *et al.*、桃小食心虫 *Carposin niponensis walsingham* 等果树害虫, 均表现出理想的防治效果 (张怀江等, 2014; 关春林等, 2020; Kong *et al.*, 2021)。吴学步等 (2012) 曾报道 5% 氯虫苯甲酰胺悬乳剂 1 000 倍液的对荔枝蒂蛀虫的田间防治效果最好, 赵亚等 (2019) 利用氯虫苯甲酰胺悬浮剂高剂量单剂及其混配药剂防治荔枝蒂蛀虫, 在田间取得较理想的防治效果。为了提高药剂的防治效果, 实现精确用药, 掌握药剂对不同虫态的杀虫活性是极为重要的依据, 而氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫不同虫态的杀虫活性方面的研究较少, 本研究通过在室内采用喷雾法和药膜法, 测定了氯虫苯甲酰胺 5 个浓度梯度对不同日龄荔枝蒂蛀虫的卵和初孵幼虫的抑制作用以及对成虫的触杀作用, 建立毒力回归方程, 并以果园常用药剂高效氯氰菊酯作为标准药剂, 对比分析了氯虫苯甲酰胺的相对毒力指数, 以明确氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫的杀虫活性, 旨在为田间精准用药防控荔枝蒂蛀虫提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

荔枝蒂蛀虫: 从珠海唐家湾镇心田荔枝园中捡拾受害的荔枝落果, 带回实验室后, 平铺于地上, 并覆盖上一层荔枝叶或者放一张褶皱的报纸,

每天定时收集虫蛹。待羽化后收集同一天羽化的成虫作为供试虫源。

荔枝蒂蛀虫卵的收集: 将羽化后的荔枝蒂蛀虫成虫按雌雄虫 1:1 的比例置于养虫笼内 (30 cm × 30 cm × 30 cm), 30 对以上; 将有卫生卷纸包裹的新鲜荔枝果放入养虫笼中, 24 h 后把产有卵的卫生卷纸取出, 换上新的卷纸, 重新置于养虫笼中。每天收集的卵用于试验。

供试药剂: 95.3% 氯虫苯甲酰胺原药, 由杜邦贸易 (上海) 有限公司生产; 95.0% 高效氯氟氰菊酯原药, 江苏扬农化工集团有限公司生产。

1.2 试验方法

1.2.1 供试浓度的配制

分别将氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯原药溶解至 200 mg/L 和 1 000 mg/L 的丙酮溶液, 定容于 50 mL 容量瓶中作为母液, 再用含有 0.1% Triton-X 100 水溶液将上述两种药剂分别稀释为纯药质量浓度分别为 100、10、1、0.1 和 0.01 mg/L 的 5 个浓度梯度, 用于毒力测定。

1.2.2 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵及对初孵幼虫的毒力测定

将配制好的 5 种不同质量浓度的氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯分别处理产下 24 h、48 h 和 72 h 后蒂蛀虫的卵, 处理方法为将药剂均匀喷施于有一定数量荔枝蒂蛀虫卵的卷纸上, 以卷纸湿透为准。晾干后放置于直径为 15 cm 的培养皿中, 放置于温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 65% ~ 70%、光周期 14 L:10 D 的人工气候箱中培养, 以喷施清水为对照, 每个处理 3 次重复。于 24 h 后每天观察记录卵和初孵幼虫的存活情况, 卵已孵化的则记为存活, 卵未孵化的记为死亡, 同时记录已孵化后初孵幼虫数的死亡数, 直至卵全部孵化或者死亡为止, 根据所记录的数据计算卵校正孵化抑制率和初孵幼虫校正死亡率。

1.2.3 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫成虫的毒力测定

将配制好的 5 种浓度的药液, 由低浓度到高浓度开始, 取 3 mL 药液加入直径为 35 mm, 长为 200 mm 的玻璃试管中, 倾斜试管并慢慢转动待药液在管内分布均匀时, 倒出药液, 放置于室内通风处自然晾干约 1 h, 形成药膜, 药膜浓度即为药液浓度, 然后在每试管中分别接入羽化后 2 d 的健康、活跃的荔枝蒂蛀虫成虫 10 头, 用橡皮筋将纱布扎紧封口, 以清水为对照, 每处理重复 4 次。

将试虫置于温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期 14 L:10 D 的人工气候箱中, 24 h 后检查死亡虫数。检查时将玻璃试管横放并轻敲管壁、慢慢转动试管, 如虫体无明显移动则视为死亡。

1.3 数据统计与分析

试验所得数据采用以下公式计算:

卵孵化抑制率(%) = 未孵化的卵数 / 处理总卵数 × 100; 卵校正孵化抑制率(%) = (处理组卵孵化抑制 - 对照组卵孵化抑制率) / (100 - 对照组卵孵化抑制率) × 100;

初孵幼虫死亡率(%) = 已孵化但死亡的初孵幼虫数 / 总初孵幼虫数 × 100; 初孵幼虫校正死亡率(%) = (处理组初孵幼虫死亡率 - 对照组初孵幼虫死亡率) / (100 - 对照组初孵幼虫死亡率) × 100。

成虫死亡率(%) = (死虫数 / 处理试虫数) × 100; 校正死亡率(%) = (处理组死亡率 - 对照组死亡率) / (100 - 对照组死亡率) × 100。

本试验采用 SPSS 20.0 软件进行数据的统计分析, 用 SPSS 系统软件提供的 Curve Estimation (曲线估计) 过程对剂量浓度和死亡率两个变量的回归分析, 求出毒力回归方程 $y = b_0 + b_1x$ 、相关指数 R^2 值, 拟合出毒力回归方程曲线, 用 SPSS 系统软件提供 Probit (概率单位) 过程求出致死中浓度 (LC_{50}) 及其 95% 置信限。

2 结果与分析

2.1 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵和初孵幼虫的生物活性

分别利用不同浓度的氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯处理荔枝蒂蛀虫不同日龄的卵和初孵幼虫, 氯虫苯甲酰胺的抑制效果显著差异显著 (表 1)。氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫产后 24 h、48 h 和 72 h 蒂蛀虫卵孵化抑制率随着施用浓度的增加而增大, 其中在 100 mg/L 浓度下, 校正孵化抑制率最高, 分别为 62.17%、64.76% 和 69.87%。而高浓度的高效氯氟氰菊酯 (100 mg/L) 处理下, 蒂蛀虫卵校正孵化抑制率分别为 43.01%、44.68% 和 46.23%。在 5 个不同浓度处理下, 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵的孵化抑制率均显著高于高效氯氟氰菊酯。高效氯氟氰菊酯对不同日龄蒂蛀虫卵的触杀效果较差, 卵校正孵化抑制在 1.98% ~ 46.23% 之间。不同日龄的卵对药剂的敏感性不同, 相对应的卵孵化抑制率 72 h > 48 h > 24 h。

表 1 不同浓度氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵和初孵幼虫的毒力

Table 1 Toxicity of chlorantraniliprole on eggs and hatching of *Conopomorpha sinensis* Bradley

药剂 Insecticides	卵产后日龄 (h) Eggs of different day age	浓度 (mg/L) Concentration	卵校正孵化抑制率 (%) Corrected hatching inhibition rate	初孵幼虫校正死亡率 (%) Corrected death rate of neonate larvae
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	24	100	62.17 ± 2.78	76.14 ± 2.63
		10	52.23 ± 2.45	66.56 ± 3.76
		1	38.43 ± 1.34	40.66 ± 1.35
		0.10	19.68 ± 2.27	24.15 ± 3.23
		0.01	7.72 ± 0.56	11.02 ± 3.08
		100	64.76 ± 0.88	84.91 ± 2.25
	48	10	54.41 ± 3.34	69.13 ± 3.86
		1	39.39 ± 1.63	45.46 ± 0.62
		0.1	25.04 ± 2.57	30.02 ± 1.21
		0.01	8.36 ± 0.78	13.23 ± 2.27
		100	69.87 ± 3.55	89.36 ± 3.01
		10	56.55 ± 1.12	68.37 ± 2.25
72	1	41.46 ± 2.38	52.79 ± 3.37	
	0.1	22.24 ± 1.41	37.64 ± 1.10	
	0.01	14.16 ± 2.07	20.84 ± 2.23	
	100	43.01 ± 1.33	42.16 ± 2.56	
	10	37.63 ± 3.14	36.09 ± 1.34	
	1	16.82 ± 3.07	22.37 ± 2.39	
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	24	0.1	5.72 ± 0.53	10.76 ± 1.20
		0.01	1.98 ± 1.01	2.13 ± 0.78
		100	44.68 ± 3.24	44.63 ± 3.46
		10	36.17 ± 2.08	35.1 ± 1.47
		1	24.47 ± 1.12	23.66 ± 2.36
		0.1	8.51 ± 2.38	15.09 ± 1.03
	48	0.01	3.19 ± 2.23	5.06 ± 0.89
		100	46.23 ± 3.06	42.66 ± 2.27
		10	35.67 ± 1.42	30.57 ± 3.35
		1	27.94 ± 1.33	21.14 ± 2.08
		0.1	11.98 ± 2.12	11.39 ± 0.98
		0.01	3.84 ± 1.31	4.85 ± 1.26

注: 表中数据为平均数 ± 标准误。Note: Data in the table were average ± standard error.

氯虫苯甲酰胺处理 24 h、48 h 和 72 h 蒂蛀虫卵后, 其初孵幼虫校正死亡率较高, 在 100 mg/L

浓度处理下, 荔枝蒂蛀虫初孵幼虫校正死亡率分别为 76.14%、82.91% 和 89.36%。高效氯氟氰菊

酯在此浓度处理下, 幼虫初孵幼虫校正死率分别为 42.16%、44.63% 和 42.66%, 表明该药剂对处理不同日龄卵, 其初孵幼虫的死亡率无差异。在相同浓度下, 氯虫苯甲酰胺对初孵幼虫的毒力高于对卵的活性, 而相同浓度的高效氯氟氰菊酯对荔枝蒂蛀虫卵和初孵幼虫的毒力无差异。

2.2 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵的毒力

测定了不同浓度的氯虫苯甲酰胺和高效氯氟

氰菊酯对荔枝蒂蛀虫卵的毒力。氯虫苯甲酰胺对 24 h、48 h 和 72 h 的蒂蛀虫卵的 LC_{50} 分别为 10.179、7.118 和 4.617 mg/L, 相对毒力指数分别为 10.417、13.300 和 18.021, 表明氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫的毒力显著高于高效氯氟氰菊酯, 尤其是对处理 72 h 的卵, 是其毒力的高效氯氟氰菊酯的 18.021 倍 (表 2)。

表 2 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫不同日龄卵的毒力

Table 2 Toxicity of chlorantherbenzoamide on eggs of different day age of *Conopomorpha sinensis* Bradley

药剂 Insecticides	卵产后日龄 (h) Eggs of different day age	毒力回归方程 Toxicity regression equation	致死中浓度 (mg/L) LC_{50}	95% 置信区间 95% Confidence interval (mg/L)	相关系数 (r) Correlation coefficient	相对毒力指数 Indices of relative toxicity
氯虫苯甲酰胺 Chlorantherbenzoamide	24	$y = 4.559 + 0.438x$	10.179	4.607 ~ 22.488	0.986	10.417
	48	$y = 4.633 + 0.430x$	7.118	3.341 ~ 15.164	0.983	13.300
	72	$y = 4.727 + 0.412x$	4.617	2.215 ~ 9.622	0.997	18.021
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	24	$y = 3.983 + 0.502x$	106.036	34.640 ~ 324.590	0.985	1.000
	48	$y = 4.119 + 0.447x$	94.667	28.648 ~ 312.828	0.982	1.000
	72	$y = 4.202 + 0.416x$	83.200	24.317 ~ 284.660	0.977	1.000

注: x , 药剂剂量的常用对数值; y , 死亡率转换的概率值。Note: x , Common logarithm value of dosage; y , Probability value of mortality conversion.

根据毒力测定结果分别建立了氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯的毒力回归方程及其相关系数、适合性测验 (表 3)。结果表明, 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫初孵幼虫的对荔枝蒂蛀虫 LC_{50} 为 3.32 mL/L (95% 置信限为 2.67 ~ 4.75 mL/L), 高效氯氟氰菊酯的 LC_{50} 为 38.78 mL/L (95% 置信限为 30.32 ~ 47.79 mL/L), 这说明氯虫苯甲酰胺对

荔枝蒂蛀虫的毒力显著高于高效氯氟氰菊酯, 是其毒力的 10 倍。氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫初孵幼虫的毒力回归方程为: $y = 4.534 + 0.894x$ 。从毒力回归方程的斜率 (b_1 值) 看, 氯虫苯甲酰胺为 4.534, 明显大于高效氯氟氰菊酯的 b_1 值 1.512, 说明氯虫苯甲酰胺在防治荔枝蒂蛀虫上表现极强的毒力, 只需少量的药剂便可以达到较好的防治效果。

表 3 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫初孵幼虫的毒力

Table 3 Toxicity of chlorantherbenzoamide on 1st instar larvae of *Conopomorpha sinensis* Bradley

药剂 Insecticides	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 (r) Correlation coefficient	LC_{50} (mg/L) (95% 置信限) 95% Confidence interval	LC_{90} (mg/L) (95% 置信限) 95% Confidence interval
氯虫苯甲酰胺 Chlorantherbenzoamide	$y = 4.534 + 0.894x$	0.974	3.32 (2.67 ~ 4.75)	90.31 (61.59 ~ 178.54)
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	$y = 1.512 + 2.196x$	0.989	38.78 (30.32 ~ 47.79)	217.39 (179.32 ~ 281.58)

注: x , 药剂剂量的常用对数值; y , 死亡率转换的概率值。Note: x , Common logarithm value of dosage; y , Probability value of mortality conversion.

2.3 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫成虫的触杀作用

采用药膜法测定了氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫成虫的触杀作用。随着浓度的增加, 药剂对荔枝蒂蛀虫成虫的触杀校正死亡百分率也逐渐增加(表4), 在100 mg/L 浓度下氯虫苯甲酰胺和高效氯氟氰菊酯对成虫的校正死亡百分率最高分别为34.36%和77.35%。随着药后处理时间的增加,

药剂对成虫的触杀校正死亡百分率无显著变化, 在100 mg/L 浓度下氯虫苯甲酰胺药后12 h、24 h和48 h对成虫的触杀校正死亡率分别为33.79%、32.64%和34.36%, 高效氯氟氰菊酯相对应的校正死亡率较高, 分别为77.35%、74.23%和72.91%。说明氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫成虫的触杀效果不强。

表4 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫成虫的触杀作用

Table 4 Contact toxicity of chlorantraniliprole on the adult of *Conopomorpha sinensis* Bradley

药剂名称 Insecticides	浓度 (mg/L) Concentration	药后不同时间成虫的校正死亡率 (%) Corrected mortality of adults at different time after treatment		
		6 h	12 h	24 h
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	100	33.79 ± 0.33	32.64 ± 1.17	34.36 ± 2.14
	10	24.49 ± 1.73	27.49 ± 2.06	27.49 ± 0.54
	1	16.20 ± 1.51	13.34 ± 0.78	15.61 ± 1.48
	0.1	11.38 ± 1.06	10.31 ± 1.90	13.75 ± 0.79
	0.01	8.96 ± 1.12	7.87 ± 0.83	8.59 ± 0.51
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	100	77.35 ± 2.28	74.23 ± 2.21	72.91 ± 2.43
	10	51.02 ± 1.23	57.73 ± 2.66	60.42 ± 3.01
	1	34.49 ± 0.98	41.24 ± 0.54	43.75 ± 1.77
	0.1	16.33 ± 1.27	28.87 ± 0.77	31.25 ± 0.55
	0.01	10.20 ± 2.08	8.25 ± 0.93	10.41 ± 1.02

注: 表中数据为平均数 ± 标准误。Note: Data in the table were average ± standard error.

3 结论与讨论

本研究结果表明, 与高效氯氟氰菊酯相比, 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫具有较强的杀卵活性和杀初孵幼虫活性, 而对成虫的触杀活性较低。氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵和初孵幼虫的毒力是高效氯氟氰菊酯的10倍, 因此, 在荔枝生产上具有潜在的应用价值, 可用于防治荔枝蒂蛀虫卵和幼虫。

氯虫苯甲酰胺作为一种新型广谱性药剂, 其在害虫早期发育阶段表现出异乎寻常的杀幼虫活性和杰出的卵/幼共杀活性 (Lahm *et al.*, 2007; George *et al.*, 2009)。本研究也获得相似的结果, 即氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵的孵化具有抑制作用。廖世纯等 (2015) 的田间试验结果表明, 20% 氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫卵的杀伤效果为40%, 与本研究结果有所不同, 原因是前者的试

验是在田间进行的, 与室内试验结果有一定的差异, 因此, 氯虫苯甲酰胺在田间试验效果还有待进一步研究。但赵亚等 (2019) 的田间实验中发现, 在单施药物中, 2种化学药剂的防治效果都有极显著差异, 其中200 g/L 氯虫苯甲酰胺 SC 的防效最好, 为92.68%; 防效最差的是100 g/L 顺式氯氟氰菊酯 EW, 为69.99%, 与本研究结果的卵和幼虫抑制杀害作用一致。

本研究还发现, 氯虫苯甲酰胺对不同日龄的蒂蛀虫卵和初孵幼虫的敏感性不同, 对72 h 卵的活性较强, 这可能与虫卵胚胎发育程度相关, 这一结果与廖世纯等 (2015) 以及赵士文等 (2019) 在黏虫的研究结果相近。邹华娇 (2008) 的研究结果表明高效氯氟氰菊酯对于荔枝蒂蛀虫的成虫的致死中浓度为6.76 mg/L, 具有较好的成虫防治效果, 与本试验结果相似; 而氯虫苯甲酰胺对荔枝蒂蛀虫成虫的触杀效果较差, 这一结果与廖世纯等 (2014) 和徐淑等 (2020) 的试验结果一致。

韦德卫等 (2011) 报道 4.5% 高效氯氟菊酯 1 000 倍对荔枝蒂蛀虫卵具有很强的触杀效果, 卵死亡率达 100%, 廖世纯等 (2015) 在 2015 年研究发现, 4.5% 高效氯氟菊酯 1 000 倍处理下, 蒂蛀虫卵的死亡率仅为 53.85%, 而本研究结果显示, 高效氯氟菊酯对荔枝蒂蛀虫卵的作用效果更低。这些研究结果所产生的差异, 有可能是蒂蛀虫对菊酯类药剂产生了抗药性所致。李鹏燕等 (2016) 研究报道了不同地理种群的荔枝蒂蛀虫对药剂的敏感性存在较大的差异, 因此, 在进行药剂筛选试验中, 供试虫源的地理种群值得重视。

综上, 氯虫苯甲酰胺表现出较强的生物活性, 对卵孵化具有抑制作用, 且对初孵幼虫具有一定的毒杀作用。因此, 氯虫苯甲酰胺在荔枝蒂蛀虫的产卵高峰期和初孵幼虫期使用, 将可有效控制荔枝蒂蛀虫在其发生为害之前, 是一种在荔枝生产上有重要的潜在应用价值的药剂。而陈献萍等 (2006) 发现不同农药之间的复配药效果显著高于单剂, 可通过进一步研究氯虫苯甲酰胺和高效氯氟菊酯的相互作用机理, 达到更高效的防止效果。氯虫苯甲酰胺在田间的应用试验及其安全性评价将有待进一步研究。

参考文献 (References)

- Barbee GC, McClain WR, Lanka SK, et al. Acute toxicity of chlorantraniliprole to non-target crayfish (*Procambarus clarkii*) associated with rice-crayfish cropping systems [J]. *Pest Management Science*, 2010, 66 (9): 996-1001.
- Barry JD, Lahm GP, Cordova D. New and selective ryanodine receptor activators for insect control [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2009, 17 (12): 4127-4133.
- Chen XP, Xian ZH, Qin RL, et al. Screening and synergy test of control agents for *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *Guangxi Plant Protection*, 2006, 1: 1-3. [陈献萍, 贤振华, 覃荣乐, 等. 荔枝蒂蛀虫的防治药剂筛选及增效试验 [J]. 广西植保, 2006, 1: 1-3]
- Cordova D, Benner EA, Sacher MD, et al. Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2006, 84 (3): 196-214.
- Falin H, Shiang S, Haili T, et al. Chlorantraniliprole against the black cutworm *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae): From biochemical/physiological to demographic responses [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9 (1): <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46915-0>.
- Guan CL, Zhang M, Zhu WY. Study on the control effect of chlorantraniliprole water dispersible granule on *Carposina sasakii* Matsumura [J]. *China Fruit & Vegetable*, 2020, 40 (1): 56-58. [关春林, 张苗, 朱文雅. 氯虫苯甲酰胺水分散粒剂对桃小食心虫的防治效果研究 [J]. 中国果菜, 2020, 40 (1): 56-58]
- Gong YJ, Chen JC, Guo SK, et al. Effects of chlorantraniliprole and chromafenozide on mortality and feeding cessation of the fall webworm, *Hyphantria cunea* (Lepidoptera: Arctiidae) [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2020, 23 (4): 1067-1072.
- Jiang ZD, Xi PG, Xian JD, et al. Thoughts on the research of litchi plant protection in China in the next five years [J]. *China Tropical Agriculture*, 2011, 5: 61-63. [姜子德, 习平根, 冼继东, 等. 对未来五年我国荔枝植保研究的思考 [J]. 中国热带农业, 2011, 5: 61-63]
- Kong F, Song Y, Zhang Q, et al. Sublethal effects of chlorantraniliprole on *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) moth: Implication for attract-and-kill strategy [J]. *Toxics*, 2021, 9 (2): 1-9.
- Lahm GP, Stevenson TM, Selby TP, et al. Rynaxypyrtrade mark: A new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potent and selective ryanodine receptor activator [J]. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 2007, 17 (22): 6274-6279.
- Liao SC, Li LF, Wang FY, et al. Control effect of 13 insecticides against the adult of *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2014, 45 (12): 2172-2176. [廖世纯, 黎柳锋, 王凤英, 等. 13 种杀虫剂对荔枝蒂蛀虫成虫触杀效果测定 [J]. 南方农业学报, 2014, 45 (12): 2172-2176]
- Liao SC, Li LF, Wang FY, et al. Control effect of 13 insecticides against the eggs of *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42 (18): 73-76. [廖世纯, 黎柳锋, 王凤英, 等. 13 种杀虫剂对荔枝蒂蛀虫卵的杀伤效果 [J]. 广东农业科学, 2015, 42 (18): 73-76]
- Li JW, Dong YZ, Yao Q, et al. Research progress in the litchi fruit borer, *Conopomorpha sinensis* (Lepidoptera: Gracillariidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (6): 721-732. [李文景, 董易之, 姚琼, 等. 荔枝蒂蛀虫研究进展 [J]. 昆虫学报, 2018, 61 (6): 721-732]
- Li PY, Bo JS, Liu YP, et al. Effects of three insecticides on drug sensitivity and detoxified enzyme activity of *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *China Plant Protection*, 2016, 36 (11): 15-19. [李鹏燕, 柏建山, 刘艳萍, 等. 3 种杀虫剂对荔枝蒂蛀虫的药剂敏感性和解毒酶活性影响 [J]. 中国植保导刊, 2016, 36 (11): 15-19]
- Liu DM, Gu YL, Li YY, et al. Study on damage law of *Conopomorpha sinensis* Bradley in litchi orchard with mixed varieties [J]. *South China Fruits*, 2020, 49 (5): 50-54. [刘冬梅, 古雅良, 李彦彦, 等. 荔枝蒂蛀虫在品种混栽荔枝园的为害规律研究 [J]. 中国南方果树, 2020, 49 (5): 50-54]
- Liu F, Xi BG, Bao SW, et al. Control effectiveness of chlorantraniliprole on *Cnaphalocrocis medinalis* and evaluation of its safety to beneficial arthropods in the rice fields [J]. *Plant Protection*, 2009, 35 (5): 139-144. [刘芳, 奚本贵, 包善微, 等. 氯虫苯甲酰胺对稻纵卷叶螟的防效及对稻田有益节肢动物的安全性评价 [J]. 植物保护, 2009, 35 (5): 139-144]
- Sattelle DB, Cordova D, Cheek TR. Insect ryanodine receptors:

- Molecular targets for novel pest control chemicals [J]. *Invertebrate Neuroscience*, 2008, 8 (3): 107 – 119.
- Schulte MJMK. Biology and control of the fruit borer, *Conopomorpha sinensis* Bradley on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) in northern Thailand [J]. *Insect Sci.*, 2007, 14: 525 – 529.
- Wei DW, Li LF, Yu YH, et al. Contact toxicity and field trial efficiency of several pesticides on the eggs and adults of *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2011, 42 (12): 1489 – 1492. [韦德卫, 黎柳锋, 于永浩, 等. 几种农药对荔枝蒂蛀虫卵和成虫的触杀作用及田间药效 [J]. 南方农业学报, 2011, 42 (12): 1489 – 1492]
- Wu XB, Du JY. Comparison of field efficacy of six insecticides on *Conopomorpha sinensis* Bradly [J]. *South China Fruits*, 2012, 41 (1): 61 – 62. [吴学步, 杜家义. 6 种杀虫剂对荔枝蒂蛀虫田间药效比较 [J]. 中国南方果树, 2012, 41 (1): 61 – 62]
- Xian JD, Peng AT, Jiang ZD. Prediction and control of *Conopomorpha sinensis* Bradley occurrence period [J]. *China Tropical Agriculture*, 2011, 5: 68 – 70. [洗继东, 彭埃天, 姜子德. 荔枝蛀虫发生期的预测预报及防治研究 [J]. 中国热带农业, 2011, 5: 68 – 70]
- Xu S, Luo ZY, Yao Q, et al. Indoor toxicity and field control effect of several pesticides on *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *South China Fruits*, 2020, 49 (6): 58 – 60. [徐淑, 罗振亚, 姚琼, 等. 几种农药对荔枝蒂蛀虫的室内毒力和田间防效 [J]. 中国南方果树, 2020, 49 (6): 58 – 60]
- Zhao SW, Li MM, Li BL, et al. Contact toxicity of five insecticides against oriental armyworm eggs and their effects on embryonic development of the armyworm [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (5): 1045 – 1056. [赵士文, 李梅梅, 李伯辽, 等. 五种药剂对黏虫卵的室内触杀效果及胚胎发育的影响 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (5): 1045 – 1056]
- Zhao Y, Guo LJ, Hu FC, et al. Preliminary report on the results of field trials of synergistic reduction and reduction of fungicides to *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *Agrochemicals*, 2019, 58 (4): 300 – 302. [赵亚, 郭利军, 胡福初, 等. 荔枝蒂蛀虫的田间药效试验 [J]. 农药, 2019, 58 (4): 300 – 302]
- Zhuang HJ, Yan WT, Sun LN, et al. Study on the control effect of 35% chlorfenoxamide water dispersible granule on *Psylla chinensis* Yang et Li [J]. *China Fruits*, 2014, 3: 58 – 60. [张怀江, 闫文涛, 孙丽娜, 等. 35% 氟虫苯甲酰胺水分散粒剂对梨木虱的防效研究 [J]. 中国果树, 2014, 3: 58 – 60]
- Zou HJ. The joint-toxicity and field efficacy of a mixture of lambda-cyhalothrin and triazophos in *Conopomorpha sinensis* Bradley [J]. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 2008, 24 (12): 410 – 412. [邹华娇. 高效氯氟氰菊酯与三唑磷对荔枝蒂蛀虫的联合毒力及田间药效 [J]. 中国农学通报, 2008, 24 (12): 410 – 412]