

豇豆荚螟幼虫对常用杀虫剂的 相对敏感基线建立*

周哲清^{1,2**} 周利琳¹ 望 勇¹ 杨 帆¹ 杨绍丽¹
蔡 翔¹ 骆海波¹ 司升云¹ 王 攀^{1***}

(1. 武汉市农业科学院蔬菜研究所, 武汉 430345; 2. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

摘 要 【目的】通过 2 种生物测定方法评估不同类型化学杀虫剂对豇豆荚螟 *Maruca vitrata* 幼虫毒力, 建立豇豆荚螟对常用杀虫剂的相对敏感基线, 为豇豆荚螟的抗药性监测及抗药性治理提供参考。【方法】在室内采用饲料药膜法和饲料混药法, 分别测定豇豆荚螟 3 龄幼虫对 5 大类共 8 种常用药剂 (氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、茚虫威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、阿维菌素、乙基多杀菌素、虱螨脲和溴虫氟苯双酰胺) 的敏感性, 并据此建立豇豆荚螟幼虫对 8 种杀虫剂的相对敏感基线。【结果】饲料药膜法测得上述 8 种药剂对豇豆荚螟幼虫的 LC_{50} 范围为 0.007–1.413 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$; 饲料混药法测得上述 8 种药剂对豇豆荚螟幼虫的 LC_{50} 范围为 0.025–4.178 mg/L。相比饲料药膜法, 饲料混药法的 χ^2 值较小、 P 值较大、种群整体在遗传学上的纯度较高、试验结果的可重复性较好, 更适合用于豇豆荚螟对常用药剂的生物活性测定 (茚虫威除外)。

【结论】采用饲料药膜法和饲料混药法分别建立了豇豆荚螟幼虫对 8 种常用杀虫剂的相对敏感基线, 为系统开展豇豆荚螟的抗药性监测以及抗性治理提供了参考。

关键词 豇豆荚螟; 杀虫剂; 饲料药膜法; 饲料混药法; 敏感基线

Determining the baseline susceptibility of *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) larvae to commonly used insecticides

ZHOU Zhe-Qing^{1,2**} ZHOU Li-Lin¹ WANG Yong¹ YANG Fan¹ YANG Shao-Li¹
CAI Xiang¹ LUO Hai-Bo¹ SI Sheng-Yun¹ WANG Pan^{1***}

(1. Institute of Vegetables, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430345, China;

2. College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract 【Aim】Two bioassay methods were used to evaluate the toxicities of different types of insecticides against *Maruca vitrata* larvae, and to establish the relative susceptibility baselines of *M. vitrata* to commonly used insecticides, in order to provide reference for systematically resistance monitoring and management of *M. vitrata* in China. 【Methods】The susceptibility of the 3rd instar larvae of *M. vitrata* to eight commonly used insecticides (chlorantraniliprole, cyantraniliprole, indoxacarb, emamectin benzoate, abamectin, spinetoram, lufenuron, broflanilide) belonging to five insecticide categories were determined by diet surface overlay bioassay method and diet incorporation bioassay method, respectively. Based on the bioassay results, the relative susceptible baselines of *M. vitrata* to these eight insecticides were established. 【Results】The LC_{50} values of the above eight insecticides to *M. vitrata* larvae were 0.007–1.413 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ by diet surface overlay bioassay, and 0.025–4.178 mg/L by diet incorporation bioassay, respectively. Compared with the diet surface overlay bioassay method, the bioassay data obtained in diet incorporation bioassay method had smaller χ^2 -square value and larger P -value. At the same time, *M. vitrata* populations showed higher genetic purity of the population in the diet incorporation bioassay method than in

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划项目 (2023YFD1401200); 武汉市农业科学院创新体系建设项目

**第一作者 First author, E-mail: 564566427@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangpan1228@hotmail.com

收稿日期 Received: 2024-10-15; 接受日期 Accepted: 2024-12-18

the diet surface overlay bioassay method, and also showed the highest repeatability of bioassay results. So it is the recommended bioassay method of these commonly used insecticides against *M. vitrata* larvae (except indocarb). **[Conclusion]** The relative susceptibility baselines of *M. vitrata* larvae to eight commonly used insecticides have been established using two different bioassay methods respectively, providing reference for the resistance monitoring and chemical control of *M. vitrata* in China.

Key words *Maruca vitrata*; insecticides; diet surface overlay bioassay; diet incorporation bioassay; susceptible baseline

豇豆荚螟 *Maruca vitrata*, 异名 *Maruca testulalis*, 属鳞翅目 Lepidoptera 草螟科 Crambidae, 俗称豆荚螟、豆野螟和豇豆钻心虫, 是豆类蔬菜上的一种重要钻蛀性害虫 (Singh *et al.*, 1978; 柯礼道等, 1985; Sharma, 1998), 在我国分布范围极其广泛 (柯礼道等, 1985)。豇豆荚螟以幼虫钻蛀为害以豇豆为主的豆类作物的花和荚, 造成落花落荚, 以及豆荚腐烂, 严重影响其产量和商品性 (柯礼道等, 1985; 王攀等, 2011; 徐爱仙等, 2018; 胡静荣等, 2024), 如何减轻豇豆荚螟危害是豆类作物生产中长期存在的难题。随着气候变暖及农业种植模式的调整, 豇豆荚螟的发生为害日益严重, 一般年份豆荚的受害率为 20%-35%, 严重时可达 55%-88%; 若不加强防治, 则基本无收成 (徐爱仙等, 2018)。因此豇豆荚螟存在田间暴发的潜在风险, 严重威胁豆类蔬菜产业的高质量发展。

长期以来, 豇豆荚螟的防治主要依赖于化学防治。20 世纪 70-80 年代, 豇豆荚螟的防治药剂以有机磷类杀虫剂 (敌敌畏、敌百虫等) 为主 (柯礼道等, 1985); 有机磷类农药被禁用后, 其防治药剂逐渐被拟除虫菊酯类农药所取代, 但甲胺磷等剧毒农药仍在继续使用, 1999 年报道尼日利亚的豇豆荚螟对氯氰菊酯和乐果等药剂产生了抗药性 (Ekesi, 1999)。进入 21 世纪后, 生物农药得到高度重视 (Srinivasan, 2008), 但豆类蔬菜上剧毒农药的使用却屡禁不止, “毒豇豆”事件时有发生, 严重威胁老百姓“舌尖上的安全”。目前, 用于豇豆荚螟 (豆荚螟) 防治的登记药剂包括: 氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、茚虫威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、阿维菌素和虱螨脲等 10 余种 (中国农药信息网: <http://www.chinapesticide.org.cn/>)。双酰胺类杀虫剂 (氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、氟虫双酰胺等)

兼具胃毒和内吸等多种作用方式, 对豇豆荚螟表现出优异的防效, 近年来成为豆类蔬菜上使用频率较高的药剂 (黄日亮等, 2018)。但随着该类杀虫剂的大量使用, 豇豆荚螟的抗药性问题也日益突出。由于豇豆荚螟在我国不同地区的发生世代数及发生时间的差异, 区域间的用药种类、剂量和频次均存在明显区别, 导致豇豆荚螟种群对杀虫剂的抗性发展速度不一致。因此, 开展不同地区豇豆荚螟抗药性监测对于指导科学用药和有效治理豇豆荚螟具有重要意义。

建立靶标害虫对不同药剂的敏感基线是评价其抗药性水平、开展抗药性监测及抗性治理工作的前提 (陈长琨等, 2000; 吴益东等, 2001; 李秀环等, 2012; 王世玉等, 2016; 吕圣兰等, 2020; 王欢欢等, 2021; 陈黔等, 2023)。目前豇豆荚螟对常用杀虫剂的敏感基线尚无研究报告, 因此迫切需要建立可靠的敏感基线并进行抗性监测, 以便准确把握豇豆荚螟田间种群的抗药性水平及发展动态, 及时筛选和更替防治药剂, 为应急化学防控药剂科学选用提供依据。由于不同化学杀虫剂的作用方式不同, 其对豇豆荚螟的适宜生物测定方法也不同, 选用针对不同类别杀虫剂合适的生物测定方法, 对于建立豇豆荚螟的药剂敏感基线至关重要。本研究采用饲料药膜法和饲料混药法分别测定了不同类型杀虫剂对豇豆荚螟幼虫的毒力, 旨在建立可靠的敏感基线, 为豇豆荚螟的抗药性监测及抗药性治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

豇豆荚螟幼虫于 2015 年 8 月采集自武汉市农业科学院蔬菜研究所 (30°42' N, 114°27' E)

豇豆种植基地, 使用人工饲料 (Wang *et al.*, 2013; 王攀等, 2014) 进行继代饲养, 成虫饲喂 15%-20% 蜂蜜水。饲养条件为: 温度 (26 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $60\% \pm 10\%$ 和光周期 14 L : 10 D。饲养期间未接触任何杀虫剂。以 3 龄幼虫进行生物测定。

1.2 供试药剂及试剂

95.3% 氯虫苯甲酰胺 (Chlorantraniliprole) 原药, 陕西先农生物科技有限公司生产; 90.0% 茚虫威 (Indoxacarb) 原药, 海利尔药业集团股份有限公司生产; 92.0% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (Emamectin benzoate, 简称甲维盐) 原药, 海利尔药业集团股份有限公司生产; 94.5% 溴氰虫酰胺 (Cyantraniliprole) 原药, 上海杜邦农化有限公司生产; 93.8% 阿维菌素 (Abamectin) 原药, 陕西先农生物科技有限公司生产; 50 g/L 虱螨脲 (Lufenuron) 乳油, 瑞士先正达作物保护有限公司生产; 60 g/L 乙基多杀菌素 (Spinetoram) 悬浮剂, 科迪华农业科技 (上海) 有限公司生产; 5.0% 溴虫氟苯双酰胺 (Broflanilide) 悬浮剂, 中农立华生物科技股份有限公司生产; 丙酮、吐温 - 80, 均为分析纯, 上海强顺化工有限公司生产。

1.3 母液配制

使用万分之一电子天平 (PTY-224/323, 福州华志科学仪器有限公司生产) 分别称取一定量氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、茚虫威、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和阿维菌素原药至 20 mL 烧杯中, 用丙酮溶解完全后, 倒入 500 mL 容量瓶中定容, 作为母液备用。

1.4 毒力测定方法

饲料药膜法: 参考 Bolzan 等 (2019) 的方法, 并稍作改进。使用 0.1% 吐温 - 80 水溶液将制剂或配制好的母液等比稀释成 6-7 个系列梯度。在 12 孔培养板中加入冷却至 60°C 左右的人工饲料 (1 mL/孔) 并置于室温使其自然固化。然后在每孔中滴入 60 μL 不同浓度药液均匀涂布于饲料表面, 置于室温下晾干后备用。每孔接入

1 头 3 龄幼虫, 每板接 12 头幼虫, 每处理重复 4 次。以添加 0.1% 吐温 - 80 水溶液的饲料处理作为空白对照。氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺、阿维菌素和溴虫氟苯双酰胺在处理 72 h 检查结果, 其余药剂均在处理后 48 h 检查结果。以小毛笔尖轻触虫体后, 不能协调运动视为死亡。

饲料混药法: 参考 NY/T1154.10-2008《农药室内生物测定试验准则 杀虫剂 第 10 部分: 人工饲料混药法》和 Hardke 等 (2011) 的方法并加以改进。将制剂或配制好的母液用 0.1% 吐温 - 80 水溶液等比稀释成 6-7 个系列梯度。称取 45 g 尚未凝固的人工饲料, 分别加入 5 g 不同浓度梯度的药液, 并不断搅拌均匀, 使药剂均匀分散于饲料中, 待饲料在室温下晾干固化后, 将饲料分装于 12 孔培养板内备用。每孔接入 1 头 3 龄幼虫, 每个板接 12 头幼虫, 每处理重复 3 次。以添加 0.1% 吐温 - 80 水溶液的饲料处理作为空白对照。结果检查方法同饲料药膜法。

1.5 不同生测方法重复性试验

根据毒力测定结果, 选择 LC_{50} 近似浓度, 采用饲料药膜法和饲料混药法分别测定 5 种不同类型药剂 (氯虫苯甲酰胺、茚虫威、阿维菌素、虱螨脲和溴虫氟苯双酰胺) 对豇豆荚螟 3 龄幼虫的毒力, 比较 2 种不同生测方法试验结果的可重复性, 每处理重复 3 次。测试方法同 1.4 节, 记录每个处理的总虫数和死虫数, 计算死亡率及变异系数。不同生测方法的组间重复性以变异系数表示, 计算方法为: 变异系数 = (死亡率标准差 / 平均死亡率) $\times 100\%$ 。

1.6 数据分析

对照死亡率小于 10% 为有效测定。所有数据经 Microsoft Excel 2021 (Microsoft, Redmond, WA, USA) 处理, 对死亡率进行校正后, 使用 PASW Statistics 22.0 的 Log-probit 模型拟合毒力回归线, 计算 Slope 值及其标准误 (SE), 致死中浓度 (LC_{50}) 及其 95% 置信限和自由度 (df)、卡方值 (χ^2) 以及 P 值。采用 GraphPad Prism 10.4.0 软件 (Graph Pad Software Inc., La Jolla, CA, USA) 完成绘图。

2 结果与分析

2.1 饲料药膜法测定的 8 种杀虫剂对豇豆荚螟 3 龄幼虫的毒力

饲料药膜法测定结果表明,豇豆荚螟 3 龄幼虫对甲维盐最敏感,LC₅₀ 值为 0.007 μg/cm²,对溴虫氟苯双酰胺、阿维菌素、茚虫威的敏感性次之,LC₅₀ 值均小于 0.100 μg/cm²;对虱螨脲、氯虫苯甲酰胺、乙基多杀菌素和溴氰虫酰胺的敏感性较低,LC₅₀ 值在 0.606-1.413 μg/cm² 之间。豇豆荚螟对不同药剂的敏感性由高到低依次为甲维盐、溴虫氟苯双酰胺、阿维菌素、茚虫威、虱螨脲、氯虫苯甲酰胺、乙基多杀菌素和溴氰虫酰

胺(表 1)。

2.2 饲料混药法测定的 8 种杀虫剂对豇豆荚螟 3 龄幼虫的毒力

饲料混药法测定结果表明,豇豆荚螟 3 龄幼虫对甲维盐最敏感,LC₅₀ 值为 0.025 mg/L;对溴虫氟苯双酰胺、虱螨脲、茚虫威和阿维菌素的敏感性次之,LC₅₀ 值均小于 1.000 mg/L;对乙基多杀菌素的敏感性中等;对溴氰虫酰胺和氯虫苯甲酰胺的敏感性较低,LC₅₀ 值分别为 4.135 和 4.178 mg/L。豇豆荚螟对不同药剂的敏感性由高到低依次为甲维盐、溴虫氟苯双酰胺、虱螨脲、茚虫威、阿维菌素、乙基多杀菌素、溴氰虫酰胺和氯虫苯甲酰胺(表 2)。

表 1 豇豆荚螟 3 龄幼虫对 8 种杀虫剂的敏感基线(饲料药膜法)
Table 1 Relative susceptibility baselines of the 3rd instar larvae of *Maruca vitrata* against eight insecticides (diet surface overlay bioassay)

药剂 Insecticides	供试虫数(头) Number of test insects (ind.)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ (95% CL) (μg/cm ²)	自由度 <i>df</i>	卡方值 χ ² -value	P 值 P-value
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	384	Y=0.188+0.941X	0.631 (0.431-0.999)	5	2.366	0.797
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	384	Y= - 0.129+0.861X	1.413 (0.965-2.267)	5	0.456	0.994
茚虫威 Indoxacarb	384	Y=1.651+1.606X	0.094 (0.075-0.119)	5	3.983	0.552
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	384	Y=3.139+1.464X	0.007 (0.006-0.009)	5	8.097	0.151
阿维菌素 Abamectin	336	Y=1.838+1.697X	0.083 (0.016-0.132)	4	7.258	0.123
乙基多杀菌素 Spinetoram	336	Y=0.149+1.519X	0.798 (0.609-1.120)	5	4.770	0.312
虱螨脲 Lufenuron	384	Y=0.311+1.427X	0.606 (0.473-0.791)	5	2.228	0.817
溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide	384	Y=2.399+1.929X	0.057 (0.046-0.070)	5	2.803	0.730

CL: 置信限 Confidential limit. 表 2 同。The same for Table 2.

表 2 豇豆荚螟 3 龄幼虫对 8 种杀虫剂的敏感基线(饲料混药法)
Table 2 Relative susceptibility baselines of the 3rd instar larvae of *Maruca vitrata* against eight insecticides (diet incorporation bioassay)

药剂 Insecticides	供试虫数(头) Number of test insects (ind.)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ (95% CL) (mg/L)	自由度 <i>df</i>	卡方值 χ ² -value	P 值 P-value
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	288	Y= - 0.580+0.934X	4.178 (2.549-7.687)	5	1.931	0.859
溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole	252	Y= - 0.867+1.406X	4.135 (2.892-5.559)	4	1.914	0.751
茚虫威 Indoxacarb	288	Y=0.454+1.732X	0.547 (0.427-0.708)	5	3.229	0.665
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate	288	Y=2.469+1.545X	0.025 (0.020-0.032)	5	1.059	0.958

续表 2 (Table 2 continued)

药剂 Insecticides	供试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ (95% CL) (mg/L)	自由度 df	卡方值 χ ² -value	P 值 P-value
阿维菌素 Abamectin	288	Y=0.373+2.262X	0.684 (0.549-0.821)	5	3.067	0.690
乙基多杀菌素 Spinetoram	288	Y= - 0.359+2.313X	1.430 (1.143-1.780)	5	5.625	0.344
虱螨脲 Lufenuron	252	Y=0.576+1.527X	0.420 (0.325-0.552)	4	1.755	0.781
溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide	288	Y=0.854+1.938X	0.331 (0.278-0.396)	5	2. 641	0.755

2.3 不同生物测定方法中豇豆荚螟幼虫死亡率重复性的比较

两种生物测定方法的重复性存在一定差异。饲料药膜法测定的 5 类药剂氯虫苯甲酰胺、茚虫威、阿维菌素、虱螨脲和溴虫氟苯双酰胺的变异

系数分别为 34.317%、14.286%、31.225%、26.956%和 17.321%，饲料混药法测定的 5 类药剂的变异系数分别为 14.796%、24.744%、9.116%、10.189%和 14.286%，可以看出，除茚虫威外，其他药剂使用饲料混药法测定的变异系数均小于饲料药膜法，重复性相对较好（表 3）。

表 3 2 种生测方法测定下不同类型药剂对豇豆荚螟 3 龄幼虫死亡率重复性的比较
Table 3 Comparison of the repeatability of mortality of the 3rd instar larvae of *Maruca vitrata* determined by two different bioassay methods

药剂 Insecticides	生测方法 Bioassay methods	药剂浓度 Insecticide concentration	总虫数 (头) Total insects number (ind.)	死虫数 (头) Death insects number (ind.)	死亡率 (%) Mortality rate (%)	变异系数 (%) Coefficient of variation (%)
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	饲料药膜法 Diet surface overlay bioassay	0.631	12	10	61.111±20.972	34.317
			12	7		
			12	5		
	饲料混药法 Diet incorporation bioassay	4.178	11	6	50.253±7.436	14.796
			11	6		
			12	5		
茚虫威 Indoxacarb	饲料药膜法 Diet surface overlay bioassay	0.094	12	8	58.333±8.333	14.286
			12	7		
			12	6		
	饲料混药法 Diet incorporation bioassay	0.547	12	8	58.333±14.434	24.744
			12	8		
			12	5		
阿维菌素 Abamectin	饲料药膜法 Diet surface overlay bioassay	0.091	12	5	55.556±17.347	31.225
			12	9		
			12	6		
	饲料混药法 Diet incorporation bioassay	0.741	12	7	52.778±4.811	9.116
			10	5		
			12	6		

续表 3 (Table 3 continued)

药剂 Insecticides	生测方法 Bioassay methods	药剂浓度 Insecticide concentration	总虫数(头) Total insects number (ind.)	死虫数(头) Death insects number (ind.)	死亡率(%) Mortality rate (%)	变异系数 (%) Coefficient of variation (%)
虱螨脲 Lufenuron	饲料药膜法 Diet surface overlay bioassay	0.606	12	7	47.222±12.729	26.956
			12	4		
			12	6		
	饲料混药法 Diet incorporation bioassay	0.417	12	6	47.222±4.811	10.189
			12	5		
			12	6		
溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide	饲料药膜法 Diet surface overlay bioassay	0.057	12	6	55.556±9.623	17.321
			12	6		
			12	8		
	饲料混药法 Diet incorporation bioassay	0.331	12	7	58.333±8.333	14.286
			12	6		
			12	8		

饲料药膜法中药剂浓度单位为 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ，表示单位面积的药剂浓度；饲料混药法中药剂浓度单位为 mg/L ，表示饲料中添加的药剂浓度。
The unit of insecticide in diet surface overlay bioassay is $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, meaning the insecticide content per cm^2 , the unit of insecticide in diet incorporation bioassay is mg/L , meaning the insecticide concentration added to artificial diet.

2.4 不同生测方法中豇豆荚螟种群的遗传学纯度比较

毒力回归曲线的斜率 (b 值) 表示所测试种群中不同昆虫个体对药剂的敏感度差异。斜率 (b 值) 越大, 说明种群整体在遗传学上的纯度越高。以上 2 种生测方法中, b 值的范围集中在 0.861-2.313 之间, 其中饲料药膜法的斜率值集中在 0.861-1.929 之间, 饲料混药法的斜率值在 0.934-2.313 之间。饲料混药法可更准确的反映豇豆荚螟种群在遗传学上的纯度 (图 1)。

2.5 不同生测方法中豇豆荚螟生测数据的离散程度比较

χ^2 值表示生测数据的离散程度, 数值越小, 说明实际生测数据与理论值的差异越小, 方程的拟合程度越高。 P 值是对 χ^2 的测验, 说明实际生测数据与理论数值之间的差异显著性。以上 2 种生测方法中, 饲料药膜法的 χ^2 值在 0.456-8.097 之间, 平均值为 4.00; 饲料混药法的 χ^2 值在 1.059-

5.625 之间, 平均值为 2.65。即在生测数据的离散程度上, 饲料混药法的 χ^2 比饲料药膜法的小, 而饲料混药法的 P 值比饲料药膜法的大 (图 2: A, B)。

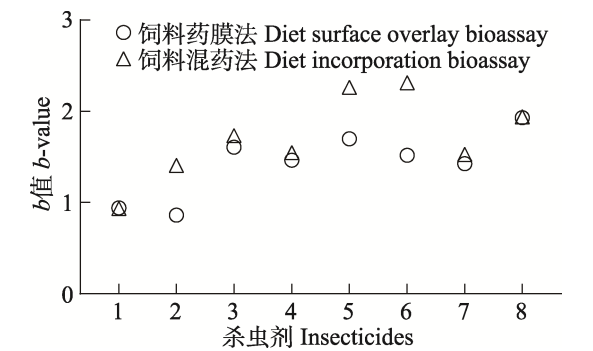


图 1 2 种生物测定方法测定豇豆荚螟种群的遗传学纯度比较

Fig. 1 Comparison of genetic purity of *Maruca vitrata* populations in two different bioassays
1: 氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole; 2: 溴氰虫酰胺 Cyantraniliprole; 3: 茚虫威 Indoxacarb; 4: 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Emamectin benzoate; 5: 阿维菌素 Abamectin; 6: 乙基多杀菌素 Spinetoram; 7: 虱螨脲 Lufenuron; 8: 溴虫氟苯双酰胺 Broflanilide.

图 2 同。The same for Fig. 2.

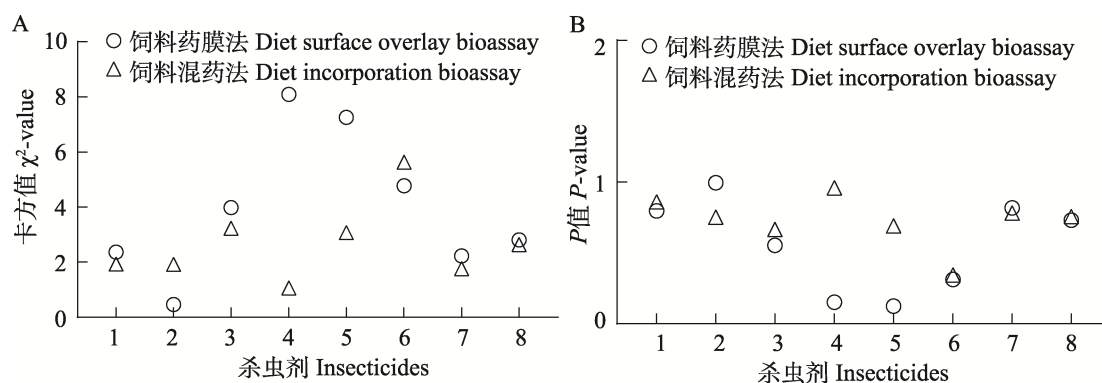


图 2 2 种生测方法中豇豆荚螟生物测定数据的离散程度比较

Fig. 2 Comparison of discreteness of biometric data of *Maruca vitrata* in two different bioassaysA. 2 种不同生物测定方法中的卡方值; B. 2 种不同生物测定方法中的 P 值。

A. Chi-square values in two different bioassays; B. P-values in two different bioassays.

3 结论与讨论

害虫对杀虫剂的敏感基线是评价其抗药性水平的重要依据,在抗药性监测及治理中具有重要意义(陈长琨等, 2000; 吴益东等, 2001; 李秀环等, 2012; 吕圣兰等, 2020; 王欢欢等, 2021; 陈黔等, 2023)。点滴法、饲料药膜法和饲料混药法,被广泛应用于杀虫剂的活性评价与抗药性监测(王欢欢等, 2021)。点滴法定量准确,主要测定杀虫剂的触杀作用,是目前最精确的测定方法(吕圣兰等, 2020; 王欢欢等, 2021)。饲料药膜法主要测定杀虫剂触杀和胃毒的联合作用(Bolzan *et al.*, 2019),广泛应用于二化螟 *Chilo suppressalis*、大螟 *Sesamia inferens*、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 等鳞翅目昆虫的抗性监测(Hardke *et al.*, 2011; 赵钧等, 2016; 吕圣兰等, 2020); 饲料混药法主要测定杀虫剂的胃毒作用,在二化螟、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 等钻蛀性害虫的敏感性测定中具有一定优势(曹溪等, 2015; 王世玉等, 2016; 刘艳等, 2023; 王守明等, 2023)。豇豆荚螟是一种严重威胁豇豆等豆类蔬菜生产的钻蛀性害虫,对豇豆等作物花荚的为害主要集中在 2-3 龄期幼虫(王攀等, 2023)。基于豇豆荚螟幼虫的为害习性和已开发的人工饲料(Wang *et al.*, 2013; 王攀等, 2014),饲料药膜法和饲料混药

法可有效反映药剂对豇豆荚螟的毒力效果。

本研究以室内建立的豇豆荚螟相对敏感种群为供试虫源,采用饲料药膜法和饲料混药法建立了豇豆荚螟 3 龄幼虫对 8 种杀虫剂的敏感基线,为完善豇豆荚螟抗药性监测体系提供了参考。研究结果显示,2 种生测方法下不同类型杀虫剂的活性趋势基本一致:甲维盐最高,溴虫氟苯双酰胺、阿维菌素和茚虫威次之,虱螨脲、乙基多杀菌素中等,氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺相对较低。该敏感基线为豇豆荚螟种群对杀虫剂的抗性变化监测提供了参考标准,建议在田间药剂防治时轮换使用甲维盐、溴虫氟苯双酰胺等药剂,减少氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺等双酰胺药剂的使用,尽量延缓其抗药性发展速度,降低其抗性发展风险,同时根据作物的生长时期和特性以及豇豆荚螟幼虫的为害习性选择合适的药剂。

毒力回归方程中的斜率(b 值)代表测试种群中个体对药剂敏感度的差异程度,数值越大,则种群整体在遗传学上的纯度越高(吕圣兰等, 2020)。本研究结果表明饲料混药法更能反映种群整体在遗传学上的纯度,即种群中的个体在遗传上非常相似,对药剂的反应较为一致。生物测定数据的离散程度(χ^2)以及变异系数的比较结果显示,饲料混药法在 5 类药剂(茚虫威除外)生物测定结果中的离散程度(χ^2 值)和对离散程度的测试(P 值)最优、试验结果的重复性(变异系数更低)最好。虽然饲料药膜法可更精确控

制剂的施用量和覆盖程度,可更好避免药剂在饲料中分布不均的问题,但它可能与实际的施药方式有所偏差,不如饲料混药法能准确反映药剂对害虫的毒性。因此,饲料混药法更适合于豇豆荚螟对不同药剂的敏感性测定。

噁二嗪类杀虫剂茚虫威,是一种新型的钠离子通道阻断型杀虫剂,其结构新颖、作用机理独特、几乎对所有鳞翅目害虫有效且环境友好(班华卓和张大永,2018)。茚虫威通过触杀和胃毒作用发挥杀虫活性,昆虫取食中毒后进食器官麻痹、无法进食致全身僵硬而死亡(华乃震,2019)。本研究中,茚虫威在2种生测方法中均表现出较高活性,但饲料药膜法的重复性优于饲料混药法,这可能与茚虫威具有较好亲脂性有关(华乃震,2019),较好亲脂性可能导致药剂倾向于附着在饲料表面,影响其在饲料中的均匀分布,进而影响试验结果的重复性。

双酰胺类药剂的作用机制是通过过度释放细胞内的 Ca^{2+} ,引起昆虫肌肉持续收缩,昆虫取食中毒后出现抽搐瘫痪症状,立即停止进食(Cordova *et al.*, 2006; Lahm *et al.*, 2009),且具有拒食作用,在双委夜蛾 *Athetis dissimilis*、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*、亚洲玉米螟、小地老虎 *Agrotis ypsilon* 等害虫中均有报道(王猛等,2014; 丁金凤等,2017)。豇豆荚螟幼虫取食此类药剂中毒后表现为快速停止进食,并出现节间缩短、抽搐等中毒反应,虫体并未迅速死亡但已丧失为害能力。因此,虽然本研究测定得到氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺对豇豆荚螟毒力相对较低,但不能仅以72 h的死亡率高作为其防治效果好坏的判断依据。双酰胺类药剂具有高效、广谱、毒性低、环境友好等优良特性,氯虫苯甲酰胺和溴氰虫酰胺等双酰胺类药剂因具有优异的防效和较长的持效期,被广泛应用于二化螟和稻纵卷叶螟等钻蛀性害虫的防控(Cordova *et al.*, 2006; Gao *et al.*, 2013; 赵丹丹等,2017; Wei *et al.*, 2019; 刘艳等,2023)。此类药剂也被作为豇豆荚螟的主要防控药剂(黄日亮等,2018),其较长持效期可覆盖豇豆荚螟的整个幼虫阶段;同时,此类药剂具有较强内吸性

(Cordova *et al.*, 2006)。因此,在准确把握好用药时期(即现蕾至始花期初孵幼虫刚发生)的前提下(王攀等,2023),此类药剂仍可作为豇豆荚螟“治花保荚”的防控推荐药剂,具有应用和推广意义。

综上所述,饲料混药法和饲料药膜法在豇豆荚螟幼虫对药剂敏感性测定中的应用各有优势。饲料混药法在遗传学纯度、离散程度和可重复性方面表现出更高的稳定性,特别适用于氯虫苯甲酰胺、虱螨脲等药剂的敏感性测定。而饲料药膜法更适合于评估茚虫威的室内生物活性。豇豆荚螟可对任何用于防控的杀虫剂产生抗性,但由于敏感基线的缺乏,豇豆荚螟对目前常用药剂的敏感性抗性水平如何?有待更系统、更广泛的试验评价。本研究结果为豇豆荚螟对不同类型杀虫剂的生物测定方法的选择提供了依据,也为今后系统开展豇豆荚螟的抗药性监测以及抗性治理提供了参考。

参考文献 (References)

- Ban HZ, Zhang DY, 2018. Progress on new and high active chiral insecticide indoxacarb. *Agrochemicals*, 57(12): 864–869. [班华卓, 张大永, 2018. 新颖高效手性杀虫剂茚虫威的研究进展. *农药*, 57(12): 864–869.]
- Bolzan A, Padovez FE, Nascimento AR, Kaiser IS, Lira EC, Amaral FS, Kanno RH, Malaquias JB, Omoto C, 2019. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. *Pest Management Science*, 75(10): 2682–2689.
- Cao X, Zhu CY, Zhang MX, Ling B, 2015. Bioactivity of momordin I against *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and its effects on the metabolizing enzyme activities in larval bodies of the moth. *Acta Entomologica Sinica*, 58(6): 625–633. [曹溪, 朱春亚, 张茂新, 凌冰, 2015. 苦瓜素 I 对亚洲玉米螟的生物活性及对其幼虫体内代谢酶活性的影响. *昆虫学报*, 58(6): 625–633.]
- Chen CK, Li GQ, Lu D, Guo HF, Han ZJ, 2000. The insecticide toxicity baseline data by foliar residue bioassay method on a Xinjiang susceptible population of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Phytomorphologica Sinica*, 27(2): 168–172. [陈长琨, 李国清, 卢丹, 郭慧芳, 韩召军, 2000. 新疆棉铃虫自然敏感种群对常用杀虫剂浸叶法的毒力基线. *植物保护学报*, 27(2):

- 168–172.]
- Chen Q, Yang L, Huang LF, Cao XM, Zhang JM, Jiang JJ, 2023. The relative sensitivity baseline of *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) adults to different insecticides. *China Cucurbits and Vegetables*, 36(4): 106–112. [陈黔, 杨朗, 黄立飞, 曹雪梅, 张建民, 姜建军, 2023. 瓜实蝇成虫对不同杀虫剂相对敏感基线的建立. *中国瓜菜*, 36(4): 106–112.]
- Cordova D, Benner EA, Sacher MD, Rauh JJ, Sopa JS, Lahm GP, Selby TP, Stevenson TM, Flexner L, Gutteridge S, Rhoades DF, Wu L, Smith RM, Tao Y, 2006. Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. *Pest Biochemistry and Physiology*, 84(3): 196–214.
- Ding JF, Zhao YH, Li BX, Liu F, Mu W, 2017. Sensitivities and toxic symptoms of *Athetis dissimilis* (Hampson) to different insecticides. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 19(4): 441–448. [丁金凤, 赵云贺, 李北兴, 刘峰, 慕卫, 2017. 双夜蛾幼虫对不同类别杀虫剂的敏感性及其中毒症状. *农药学报*, 19(4): 441–448.]
- Ekesi S, 1999. Insecticide resistance in field populations of the legume pod-borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae), on cowpea, *Vigna unguiculata* (L.), Walp in Nigeria. *International Journal of Pest Management*, 45(1): 57–59.
- Gao CF, Yao R, Zhang ZZ, Wu M, Zhang S, Su JY, 2013. Susceptibility baseline and chlorantraniliprole resistance monitoring in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 106(5): 2190–2194.
- Hardke JT, Temple JH, Leonard BR, Jackson RE, 2011. Laboratory toxicity and field efficacy of selected insecticides against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *The Florida Entomologist*, 94(2): 272–278.
- Hu JR, Shi CH, Wu MY, Li J, Wu SY, Zhang YJ, Xie W, 2024. Research progress on bioecology characteristics and green control of *Maruca testulalis*. *Journal of Environmental Entomology*, 46(5): 1127–1137. [胡静荣, 史彩华, 吴明月, 李瑾, 吴圣勇, 张友军, 谢文, 2024. 豇豆荚螟生物生态学特性与绿色防控研究进展. *环境昆虫学报*, 46(5): 1127–1137.]
- Hua NZ, 2019. A low-risk, environmental friendly insecticide: Indoxacarb. *World Pesticides*, 41(1): 39–44. [华乃震, 2019. 低风险、环境友好杀虫剂茚虫威. *世界农药*, 41(1): 39–44.]
- Huang RL, Jiang XY, Lu XX, Wu SX, Huang XL, 2018. Comparative study on the field efficacy of several insecticides in the control of *Maruca vitrata*. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 24(14): 83–84. [黄日亮, 姜先芽, 卢希旭, 伍尚信, 黄显良, 2018. 几种杀虫剂防治豆角豆野螟的田间药效试验比较. *安徽农学通报*, 24(14): 83–84.]
- Ke LD, Fang JL, Li ZQ, 1985. Bionomics and control of the legume pod-borer *Maruca testulalis* Geyer. *Acta Entomologica Sinica*, 28(1): 51–59. [柯礼道, 方菊莲, 李志强, 1985. 豆野螟的生物学特性及其防治. *昆虫学报*, 28(1): 51–59.]
- Lahm GP, Cordova D, Barry JD, 2009. New and selective ryanodine receptor activators for insect control. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(12): 4127–4133.
- Li XH, Gao M, Zhou C, Mu W, 2012. The susceptible strain selection of *Spodoptera exigua* and the susceptibility baseline to 12 insecticides. *Acta Phytophylacica Sinica*, 39(4): 376–380. [李秀环, 高明, 周超, 慕卫, 2012. 甜菜夜蛾敏感品系的获得及其对 12 种杀虫剂的敏感基线. *植物保护学报*, 39(4): 376–380.]
- Liu Y, He LF, Wang SC, Yang FX, Gao CF, Wu SF, 2023. Resistance risk, cross resistance and sublethal effects of methoxyfenozide on rice stemborers (*Chilo suppressalis*). *Chinese Journal of Pesticide Science*, 37(4): 427–435. [刘艳, 何林凤, 汪书超, 杨凤霞, 高聪芬, 吴顺凡, 2023. 二化螟对甲氧虫酰肼的抗性风险、交互抗性及其亚致死效应研究. *中国水稻科学*, 37(4): 427–435.]
- Lü SL, Wang YB, Gu SH, Liang P, Zhang L, Gao XW, 2020. Comparison of bioassay methods for the toxicities of chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 63(5): 590–596. [吕圣兰, 王有兵, 谷少华, 梁沛, 张雷, 高希武, 2020. 化学杀虫剂对草地贪夜蛾毒力的生物测定方法比较. *昆虫学报*, 63(5): 590–596.]
- Sharma HC, 1998. Bionomics, host plant resistance, and management of the legume pod borer, *Maruca vitrata*: A review. *Crop Protection*, 17(5): 373–386.
- Singh SR, Emden HF, Taylor TA, 1978. Pests of Grain Legumes: Ecology and Control. 1st ed. London: Academic Press. 193–202.
- Srinivasan R, 2008. Susceptibility of legume pod borer (LPB), *Maruca vitrata* to δ -endotoxins of *Bacillus thuringiensis* (Bt) in Taiwan. *Journal of Invertebrate Pathology*, 97(1): 79–81.
- Wang HH, Lü SL, Zhao R, Liang P, Zhang S, Gao XW, Zhang L, Gu SH, 2021. Establishment of the relative susceptible baselines of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to commonly used insecticides. *Acta Entomologica Sinica*, 64(12): 1427–1432. [王欢欢, 吕圣兰, 赵瑞, 梁沛, 张帅, 高希武, 张雷, 谷少华, 2021. 草地贪夜蛾幼虫对常用杀虫剂相对敏感基线的建立. *昆虫学报*, 64(12): 1427–1432.]
- Wang M, Wang K, Liu F, Mu W, 2014. Comparison of the bioactivity of cyantraniliprole and chlorantraniliprole against three important lepidopterous pests. *Acta Phytophylacica Sinica*,

- 41(3): 360–366. [王猛, 王凯, 刘峰, 慕卫, 2014. 溴氰虫酰胺和氯虫苯甲酰胺对三种鳞翅目害虫的毒力作用比较. 植物保护学报, 41(3): 360–366.]
- Wang P, Hou XY, Wang Y, Zhou LL, Yang F, Si SY, 2023. Infestation and instar distribution of *Maruca vitrata* during the flowering and pods formation stage of cowpea. *Journal of Environmental Entomology*, 45(3): 822–827. [王攀, 侯晓钰, 望勇, 周利琳, 杨帆, 司升云. 2023. 豇豆荚螟在豇豆开花结荚期的为害及虫龄结构. 环境昆虫学报, 45(3): 822–827.]
- Wang P, Lu PF, Zheng XL, Chen LZ, Lei CL, Wang XP, 2013. New artificial diet for continuous rearing of the bean pod borer, *Maruca vitrata*. *Journal of Insect Science*, 13: 121.
- Wang P, Wang XP, Lei CL, 2014. An artificial diet for *Maruca vitrata* and its preparation method. Chinese Invention Patent, ZL 102919589 B. 2014-01-01. [王攀, 王小平, 雷朝亮, 2014. 豇豆野螟人工饲料及其制备方法. 中华人民共和国. 中国发明专利, ZL 102919589 B. 2014-01-01.]
- Wang P, Zheng XL, Lei CL, Wang XP, 2011. Influential factors of population dynamics and progress in control techniques of *Maruca vitrata*. *Plant Protection*, 37(3): 33–38. [王攀, 郑霞林, 雷朝亮, 王小平, 2011. 豇豆荚螟种群变动影响因子及防治技术研究进展. 植物保护, 37(3): 33–38.]
- Wang SM, Zhang ZW, Lu GC, Zhang WZ, Gao CF, 2023. Bioactivity and field efficacy of tetraniliprole against *Helicoverpa armigera* on tomato. *Agrochemicals*, 62(11): 856–858. [王守明, 张志伟, 卢国彩, 张文哲, 高聪芬, 2023. 四唑虫酰胺对番茄棉铃虫的室内生物活性和田间药效. 农药, 62(11): 856–858.]
- Wang SY, Tang YJ, Ren MM, Hu B, Su JY, 2016. The establishment of insecticide susceptibility baselines and resistance monitoring for rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée). *Journal of Nanjing Agricultural University*, 39(3): 402–407. [王世玉, 汤雨洁, 任森森, 胡波, 苏建亚, 2016. 稻纵卷叶螟杀虫剂敏感基线的建立与抗性监测. 南京农业大学学报, 39(3): 402–407.]
- Wei YB, Yan R, Zhou QL, Qiao LY, Zhu GN, Chen ML, 2019. Monitoring and mechanisms of chlorantraniliprole resistance in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 112(3): 1348–1353.
- Wu YD, Chen S, Jing XJ, Lin XW, Shen JL, 2001. Susceptible toxicity baseline and its application in resistance monitoring of *Helicoverpa armigera* with leaf dipping method. *Acta Entomologica Sinica*, 44(1): 56–61. [吴益东, 陈松, 净新娟, 林祥文, 沈晋良, 2001. 棉铃虫抗性监测方法——浸叶法敏感毒力基线的建立及其应用. 昆虫学报, 44(1): 56–61.]
- Xu AX, Xu JW, Zhu HQ, Tang SY, Gong W, 2018. Monitoring and green control technology application of *Maruca vitrata* in cowpea. *Acta Agricultural Jiangxi*, 30(1): 74–77. [徐爱仙, 徐建武, 朱汉桥, 汤少云, 龚伟, 2018. 豇豆野螟的监测及绿色防控技术的应用研究. 江西农业学报, 30(1): 74–77.]
- Zhao DD, Zhou LQ, Zhang S, Yao R, Qiu YX, Gao CF, 2017. Resistance monitoring and cross-resistance to the diamides in the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Chinese Journal of Rice Science*, 31(3): 307–314. [赵丹丹, 周丽琪, 张帅, 姚蓉, 邱运霞, 高聪芬, 2017. 二化螟对双酰胺类杀虫剂的抗性监测和交互抗性研究. 中国水稻科学, 31(3): 307–314.]
- Zhao J, Fu WX, Han ZJ, 2016. Resistance monitoring of *Sesamia inferens* (Walker) to seven insecticides and verification of related baseline data. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 39(1): 84–88. [赵钧, 付文曦, 韩召军, 2016. 大螟对 7 种杀虫剂的抗性监测及相对敏感基线验证. 南京农业大学学报, 39(1): 84–88.]