

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20240052

福建省草地贪夜蛾对5种常用杀虫剂的抗药性

邱良妙, 陈秀琴, 卢学松, 刘必炮, 刘其全*

福建省农业科学院植物保护研究所, 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室, 福建 福州 350013

摘要:【目的】明确草地贪夜蛾对5种常用杀虫剂的相对敏感基线及其在福建省的抗药性水平,并评价其低龄幼虫对这些药剂的敏感性。【方法】以浸叶法测定5种杀虫剂对草地贪夜蛾相对敏感种群1、2龄幼虫的毒力,监测福建省3个不同地区草地贪夜蛾田间种群的抗药性水平;以 LC_{50} 的95%置信限不重叠作为标准,判断不同种群的同一龄期幼虫或同一种群的1、2龄幼虫对同一种药剂敏感性差异显著性。【结果】5种杀虫剂对草地贪夜蛾相对敏感种群幼虫的毒力大小顺序依次为甲维盐>乙基多杀菌素>氯虫苯甲酰胺>虱螨脲>茚虫威,同一药剂对1龄幼虫的毒力大于2龄,其中,甲维盐、乙基多杀菌素和虱螨脲对1龄幼虫毒力测试的 χ^2 值小于2龄, P 值更大,虽然氯虫苯甲酰胺和茚虫威对1龄幼虫毒力测试的 χ^2 值略大于2龄,但 P 值均大于0.9190;福建3个地区的草地贪夜蛾种群对甲维盐和茚虫威的抗性水平处于敏感性下降至低水平抗性之间,对氯虫苯甲酰胺已产生低水平抗性,对乙基多杀菌素属于敏感性水平下降阶段,而对虱螨脲仍属于敏感水平。【结论】福建省草地贪夜蛾种群对虱螨脲保持敏感水平,对其他4种常用药剂总体上处于敏感性下降至低水平抗性阶段;1、2龄幼虫均适合作为草地贪夜蛾毒力测定的靶标试虫,但相较于2龄幼虫,12 h内孵化且未喂食物的1龄幼虫适用性更好。



开放科学标识码
(OSID 码)

关键词: 草地贪夜蛾; 杀虫剂; 浸叶法; 敏感基线; 毒力; 抗药性

Resistance monitoring of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* to five commonly used insecticides in Fujian Province

QIU Liangmiao, CHEN Xiuqin, LU Xuesong, LIU Bipao, LIU Qiquan*

Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Fuzhou, Fujian 350013, China

Abstract:【Aim】To clarify the relatively sensitive baselines and resistance levels of *Spodoptera frugiperda* to five commonly used insecticides in Fujian Province, and evaluate the sensitivity of young larvae of *S. frugiperda* to these insecticides.【Method】The toxicities of the five commonly used insecticides towards the 1st and 2nd instar larvae of the relatively sensitive population of *S. frugiperda* were determined using the leaf dipping method. Monitoring resistance of *S. frugiperda* populations from three different regions to these insecticides was performed. The 95% confidence limits of LC_{50} values that did not overlap were used as the criterion for judging the significant differences in sensitivity of the same instar larvae from different geographical populations or between the 1st and 2nd instar larvae of the same population to the same insecticide.【Result】The toxicities of the five insecticides to the larvae of the relatively sensitive population of *S. frugiperda* were as follows: emamectin benzoate>spinetoram>chlorantraniliprole>lufenuron>indoxacarb. The insecticides exhibited higher toxicity to the 1st instar larvae than to the 2nd instar. The data obtained in the toxicity testing of emamectin benzoate, spinetoram, and lufenuron on the 1st instar larvae of *S. frugiperda* showed a smaller χ^2 -square value and larger P -value than that for the 2nd instar larvae, whereas in the toxicity testing of chlorantraniliprole and indoxacarb, the 1st instar larvae showed slightly larger χ^2 -square value than that for the 2nd instar larvae, but their P -values were both above 0.9190. The results indicated that the degree of resistance of *S. frugiperda* field populations from the three different regions to emamectin and indoxacarb was at the stage of decreased sensitivity to low-level resistance in Fujian, and that the pest had developed low resistance

收稿日期(Received): 2024-04-09 接受日期(Accepted): 2024-06-20

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2022J01459, 2021J05088); 福建省公益类科技计划项目(2021R1024008, 2020R1024007); 福建省“5511”协同创新工程项目(XTCXGC2021011); 福建省农业科学院科技创新团队(CXTD2021002-1); 福建省农业科学院科技自由探索项目(ZYTS202211); 中央引导地方科技发展资金项目(2023L3059)

作者简介: 邱良妙, 男, 副研究员。研究方向: 杀虫剂毒理与农业害虫综合防治。E-mail: bjndqlm@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), 刘其全, E-mail: liuqq1221@163.com

to chlorantraniliprole. The degree of resistance of the three different geographical populations to spinetoram was at the stage of decreased sensitivity, however all populations maintained sensitivity to lufenuron. 【Conclusion】 The population of *S. frugiperda* remained sensitive to lufenuron in Fujian Province. Overall, the resistance degree of the pest was at a stage of decreased sensitivity or low-level resistance to the other four common insecticides. Both the 1st and 2nd instar larvae are suitable for the toxicity testing of insecticides against *S. frugiperda*; however, the 1st instar larvae that hatched within 12 h without feeding are more suitable than the 2nd instar larvae.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; insecticide; leaf dipping method; sensitive baseline; toxicity; resistance

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*, 是一种源于美洲、具有很强迁飞扩散能力的多食性农业重大害虫 (Sparks, 1979; Todd & Pooler, 1980), 可危害的植物种类多达 350 多种 (Montezano *et al.*, 2018), 联合国粮农组织于 2018 年 8 月将草地贪夜蛾列为世界十大植物害虫并发出全球预警。2019 年 1 月, 草地贪夜蛾侵入云南省江城县, 随后在全国范围内快速扩散蔓延 (Sun *et al.*, 2021), 完成了其作为外来生物的侵入、扩散和定殖过程。目前, 草地贪夜蛾已在我国逾 30 个省份发生为害, 寄主植物包括 21 种作物和 7 种杂草 (郭井菲等, 2022), 对我国粮食安全生产构成了长期重大威胁 (白一苇等, 2020; 吴孔明, 2020; 徐艳玲等, 2020)。

目前, 化学防治和种植 *Bt* 转基因抗虫玉米 *Zea mays* L. 是世界各国防治草地贪夜蛾的主要手段 (吕圣兰等, 2020; 吴超等, 2019)。化学农药防治草地贪夜蛾在其原产地美洲地区已有悠久的历史 (郭井菲等, 2022; 李永平等, 2019; 王欢欢等, 2021)。在长期的农药选择压力下, 该地区草地贪夜蛾种群已对包括拟除虫菊酯类、有机磷类、双酰胺类和多杀菌素类等几十种杀虫剂产生了不同程度的抗药性, 产生抗性的化学药剂种类越来越多, 抗性程度也不断增强 (李永平等, 2019; 秦梦真等, 2020; Sparks & Nauen, 2015), 且已对转 *Bt* 抗虫玉米产生了抗性 (王芹芹等, 2019; 吴益东等, 2019; Storer *et al.*, 2010), 给生产防治带来了巨大挑战。侵入我国的草地贪夜蛾是对一些杀虫剂已产生抗性的种群 (李妍等, 2020; Zhang *et al.*, 2021), 又经多年化学防治, 导致我国草地贪夜蛾对农药的敏感性水平下降甚至产生抗性, 如广东草地贪夜蛾对甲维盐和氯虫苯甲酰胺产生了低至中等水平抗性 (苏湘宁等, 2020), 安徽草地贪夜蛾对氟苯虫酰胺产生了中等水平抗性 (牛多邦等, 2022)。

我国地域辽阔, 经纬度跨越大, 不同地区的玉米种植和害虫发生情况差异较大, 各地化学防治使用的药剂品种、剂量和防治频次不同, 草地贪夜蛾在不同地区产生的抗性水平也不一致。吴益东等 (2019) 指出, 草地贪夜蛾在田间或室内农药选择压力下均表现极强的抗性进化能力, 若不注意化学农药的科学、合理使用, 我国草地贪夜蛾抗药性的暴发也将不可避免。在我国可以全年种植玉米的草地贪夜蛾周年繁殖区, 该虫承受的农药选择压力更大, 其产生抗药性的风险也更高, 因此亟需在全国范围内开展草地贪夜蛾抗性监测工作。研究建立侵入我国的草地贪夜蛾对常用杀虫剂的敏感基线并开展抗药性监测, 对于指导该虫的科学防治具有重要意义, 但目前这方面的研究尚较薄弱。本文通过建立福建省草地贪夜蛾对常用杀虫剂的相对敏感基线并实施田间种群抗药性监测, 旨在为草地贪夜蛾的可持续治理提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 室内敏感种群

室内相对敏感种群: 于 2019 年 9 月在福建省闽侯县大湖乡新塘村 (119.09°E, 26.35°N) 未施用杀虫剂防治的玉米田采集草地贪夜蛾幼虫, 用玉米苗 (品种: 泰鲜甜 1 号) 在人工气候室内笼罩继代饲养 10 代以上, 饲养期间不接触任何农药, 以 F_{12} 代的草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫作为敏感种群毒力测定的供试昆虫。昆虫饲养的环境条件: 温度 (25±1) °C, 相对湿度 70%±5%, 光照周期 16L:8D。

1.2 田间抗性种群

2022 年 9—10 月, 在福建南部的漳州长泰 (117.77°E, 24.70°N)、中部的福州闽侯 (119.09°E, 26.35°N) 和北部的南平建阳 (118.15°E, 27.32°N) 3 个具有代表性的鲜食玉米种植地, 从 14 d 内未施用杀虫剂的玉米田上采集草地贪夜蛾 3~4 龄幼虫带回实验室, 将从 3 地采集的田间种群标记隔离, 在人工气候室内统一用新鲜幼嫩玉米叶 (品种: 泰鲜

甜1号)将不同地理种群单独笼罩饲养1代,挑选健康活跃的 F_1 代1、2龄幼虫作为田间抗性种群毒力测定的供试虫源。环境条件同1.1。

1.3 供试药剂及试剂

90%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(以下简称甲维盐)原药(上海沪联生物药业(夏邑)股份有限公司)、95%氯虫苯甲酰胺原药(江苏中旗科技股份有限公司)、95%茚虫威原药(江苏省南通施壮化工有限公司)、97%虱螨脲原药(江苏丰山集团股份有限公司)、60 g·L⁻¹乙基多杀菌素悬浮剂(科迪华农业科技有限责任公司);二甲基亚砷、丙酮均为分析纯(国药集团化学试剂有限公司),TritonX-100(美国Sigma公司)。

1.4 室内毒力测定

用容积200 mL的透明塑料杯作为生物测定容器,参考中华人民共和国农业行业标准《NY/T1154.14-2008 农药室内生物测定试验准则杀虫剂第14部分:浸叶法》进行草地贪夜蛾室内毒力测定。具体方法为:试验开始前预先在隔离网室内培育非转基因玉米苗,正式开始试验时,将供试药剂的原药配制成母液(氯虫苯甲酰胺用二甲基亚砷溶解,其余原药用丙酮溶解),用0.1% TritonX-100水溶液将母液稀释成5~7个系列浓度,然后摘取预先培育的小喇叭口期新鲜玉米叶并剪成长×宽=5 cm×5 cm的叶段,用镊子夹住叶段浸没于配置好的各供试药剂的系列浓度药液中,20 s后取出并置于滤纸上自然晾干,将药剂处理过的叶段移至底部预先铺有湿润滤纸的透明塑料杯内,每杯2个叶段,用毛笔挑取健康活跃的12 h内孵化未喂食物的草地贪夜蛾1龄幼虫或同日龄的2龄幼虫,每杯接入幼虫6头,2个塑料杯为一个处理,每个处理幼虫12头,重复3次,置于人工气候室内(环境条件同1.1),同时以0.1% TritonX-100水溶液处理为空白对照。除虱螨脲在处理72 h检查试虫的存活情况外,其余药剂均在处理后48 h检查测试结果。以毛笔尖轻触虫体腹部侧面,无反应或有明显的中毒濒死症状(畸形、颤搐等)视为死亡。

1.5 数据统计分析

应用DPS生物统计软件进行数据统计分析,以空白对照幼虫死亡率小于10%为有效试验,用空白对照的死亡率计算各处理的校正死亡率,计算毒力

回归方程的斜率值及其标准误、致死中浓度(LC₅₀)及其95%置信区间 χ^2 值、自由度(df)及 P 值。

草地贪夜蛾抗性水平的划分标准参考董杰等(2014)和Gutiérrez-Moreno *et al.* (2019):抗性倍数(resistance ratio, RR) < 3.0为敏感水平;3.1 ≤ RR < 5.0为敏感性水平下降;5.1 ≤ RR < 10.0为低水平抗性;10.1 ≤ RR < 40.0为中等水平抗性;40.1 ≤ RR < 160.0为高水平抗性;RR > 160.1为极高水平抗性。其中,抗性倍数为田间种群LC₅₀与敏感种群LC₅₀的比值;以LC₅₀的95%置信限重叠作为判断不同种群的同一龄期幼虫或同一种群的不同龄期幼虫对于同一种杀虫剂抗性水平差异显著性的标准(王鹏等,2013)。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾1、2龄幼虫对5种常用杀虫剂的相对敏感基线

浸叶法测得的草地贪夜蛾幼虫对5种杀虫剂的相对敏感基线(表1),草地贪夜蛾1、2龄幼虫对甲维盐最敏感,LC₅₀分别为0.0025、0.0052 mg·L⁻¹,其次是乙基多杀菌素,LC₅₀分别为0.1185、0.1839 mg·L⁻¹,对氯虫苯甲酰胺的敏感性也较高,LC₅₀小于1.000 mg·L⁻¹,而虱螨脲对草地贪夜蛾1、2龄幼虫的LC₅₀介于2.5000~3.0000 mg·L⁻¹,在5种供试药剂中,草地贪夜蛾1、2龄幼虫对茚虫威的敏感性最低。5种供试药剂对草地贪夜蛾幼虫的毒力大小由高到低的顺序依次为甲维盐、乙基多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、虱螨脲和茚虫威。

对于同一种药剂,草地贪夜蛾1龄幼虫的敏感性高于2龄幼虫。与2龄幼虫相比较,甲维盐、乙基多杀菌素和虱螨脲对1龄幼虫毒力测定的 χ^2 值更小, P 值更大,其中 χ^2 值表示毒力测定数据的离散程度, χ^2 值越小说明测定值与理论值的差异越小, P 值是对 χ^2 值的检验,表明测定值与理论值差异的显著性, P 值大于0.05表明差异不显著, P 值越大说明差异越不显著。氯虫苯甲酰胺和茚虫威对1龄幼虫毒力的 χ^2 值略大于2龄幼虫,但 P 值均大于0.9190。因此,1、2龄幼虫均可作为杀虫剂对草地贪夜蛾毒力测定适宜的靶标试虫,但相较于2龄幼虫,12 h内孵化未喂食物的1龄幼虫作为药剂毒力测定的适合性更好。

表 1 草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫对 5 种常用杀虫剂的相对敏感基线

Table 1 Relatively sensitive toxicity baselines of the 1st and 2nd larvae of *S. frugiperda* to five commonly used insecticides

药剂名称 Insecticides	幼虫龄期 Larval instar	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限) LC ₅₀ (95% CL)/(mg·L ⁻¹)	χ ²	自由度 df	P
甲维盐	1	1.6090±0.2662	0.0025 (0.0016~0.0035)	0.5467	13	0.9085
Emamectin benzoate	2	1.7959±0.2641	0.0052 (0.0039~0.0068)	0.8949	13	0.8267
氯虫苯甲酰胺	1	1.7413±0.2606	0.7063 (0.5391~0.9467)	0.3887	13	0.9426
Chlorantraniliprole	2	1.6734±0.2574	0.8670 (0.6377~1.1454)	0.1543	13	0.9846
茚虫威	1	1.5010±0.2493	4.1729 (3.0637~5.8293)	0.4997	13	0.9190
Indoxacarb	2	1.6432±0.2561	6.3383 (4.6180~8.4033)	0.3750	13	0.9454
乙基多杀菌素	1	1.6899±0.2638	0.1185 (0.0813~0.1571)	0.5086	13	0.9170
Spinetoram	2	1.5632±0.2517	0.1839 (0.1349~0.2494)	0.8229	13	0.8440
虱螨脲	1	1.3479±0.2438	2.5088 (1.6852~3.5065)	0.3957	13	0.9411
Lufenuron	2	1.5272±0.2502	2.9785 (2.1631~4.0564)	0.5744	13	0.9023

2.2 福建草地贪夜蛾田间种群对甲维盐的抗药性

福建不同地区的草地贪夜蛾田间种群对甲维盐的敏感性水平下降,部分地区已产生了低水平抗性(表 2)。不同地理种群对甲维盐的抗性程度有所差别,其中,福州闽侯种群的抗性水平最低,其次为南平建阳种群,漳州长泰种群的抗性水平最高。

从 LC₅₀的 95%置信限分析,对于同一龄期的幼虫,福建 3 个不同地理种群草地贪夜蛾对甲维盐抗性水平的差异不显著;而对于同一地理种群,除福州闽侯种群 1、2 龄幼虫对甲维盐的抗性水平有显著差异外,漳州长泰或南平建阳种群的 1、2 龄幼虫对甲维盐的抗性水平差异不显著。

表 2 福建 3 个不同地区草地贪夜蛾种群 1、2 龄幼虫对甲维盐的抗药性监测(2022 年)

Table 2 Resistance monitoring of the 1st and 2nd larvae of *S. frugiperda* populations to emamectin benzoate in three regions of Fujian (2022)

田间种群 Populations	幼虫龄期 Larval instar	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限) LC ₅₀ (95% CL)/(mg·L ⁻¹)	χ ²	自由度 df	P	抗性倍数 Resistance ratio
漳州长泰	1	1.5410±0.2538	0.0179 (0.0133~0.0262)	0.0677	13	0.9954	7.16
Changtai, Zhangzhou	2	1.6662±0.2608	0.0296 (0.0223~0.0425)	0.5203	13	0.9144	5.69
福州闽侯	1	1.7956±0.2640	0.0104 (0.0078~0.0135)	0.8375	13	0.8405	4.16
Minhou, Fuzhou	2	1.6336±0.2549	0.0205 (0.0153~0.0277)	0.2844	13	0.9629	3.94
南平建阳	1	1.6392±0.2554	0.0138 (0.0104~0.0188)	0.7240	13	0.8675	5.52
Jianyang, Nanping	2	1.5054±0.2497	0.0234 (0.0173~0.0330)	0.1853	13	0.9799	4.50

2.3 福建草地贪夜蛾田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗药性

福建不同地区的草地贪夜蛾田间种群已对氯虫苯甲酰胺产生了低水平抗性(表 3)。分析不同地理种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平,福州闽侯种群的抗性水平最低,其次为南平建阳种群,漳州长

泰种群的抗性水平最高。

从 LC₅₀的 95%置信限来看,对于同一龄期的幼虫,福建 3 个不同地理种群的草地贪夜蛾对氯虫苯甲酰胺的抗性水平差异不显著;而对于同一地理种群,3 个种群的 1、2 龄幼虫对氯虫苯甲酰胺的抗性水平均无显著差异。

表 3 福建 3 个不同地区草地贪夜蛾种群 1、2 龄幼虫对氯虫苯甲酰胺的抗药性监测(2022 年)

Table 3 Resistance monitoring of the 1st and 2nd larvae of *S. frugiperda* populations to chlorantraniliprole in three regions of Fujian (2022)

田间种群 Populations	幼虫龄期 Larval instar	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限) LC ₅₀ (95% CL)/(mg·L ⁻¹)	χ ²	自由度 df	P	抗性倍数 Resistance ratio
漳州长泰	1	1.6912±0.2592	5.3009 (4.0303~7.3138)	0.1037	13	0.9914	7.51
Changtai, Zhangzhou	2	1.7763±0.2947	5.8822 (4.5416~7.8625)	0.1856	13	0.9799	6.78
福州闽侯	1	1.6141±0.2550	3.0594 (2.29965~4.2485)	0.3778	13	0.9448	4.33
Minhou, Fuzhou	2	1.5279±0.2522	4.4368 (3.2915~6.3931)	0.3535	13	0.9497	5.12
南平建阳	1	1.8162±0.2640	4.3685 (3.3527~5.7402)	0.4012	13	0.9400	6.19
Jianyang, Nanping	2	2.0043±0.3044	5.1619 (4.0566~6.5718)	0.2172	13	0.9748	5.95

2.4 福建草地贪夜蛾田间种群对茚虫威的抗药性

福建福州闽侯和南平建阳的草地贪夜蛾田间种群对茚虫威敏感性下降,漳州长泰种群已产生了低水平抗性(表 4)。不同地理种群对茚虫威的抗性水平,南平建阳种群的抗性水平最低,其次为福州闽侯种群,漳州长泰种群的抗性水平最高。

从 LC_{50} 的 95% 置信限来看,对于同一个龄期的幼虫,福建 3 个不同地理种群草地贪夜蛾对茚虫威的抗性水平差异不显著;而对于同一地理种群,3 个种群的 1、2 龄幼虫对茚虫威的抗性水平均无显著差异。

表 4 福建 3 个不同地区草地贪夜蛾种群 1、2 龄幼虫对茚虫威的抗药性监测(2022 年)
Table 4 Resistance monitoring of the 1st and 2nd larvae of *S. frugiperda* populations to indoxacarb in three regions of Fujian (2022)

田间种群 Populations	幼虫龄期 Larval instar	斜率±标准误 Slope±SE	LC_{50} (95%置信限) $LC_{50}(95\% CL)/(mg \cdot L^{-1})$	χ^2	自由度 df	<i>P</i>	抗性倍数 Resistance ratio
漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	1	2.0841±0.3642	24.3837 (19.5175~33.2853)	0.4844	13	0.9223	5.84
福州闽侯 Minhou, Fuzhou	2	3.2515±0.5216	33.4061 (28.9953~39.2318)	0.5834	13	0.9002	5.27
南平建阳 Jianyang, Nanping	1	2.2268±0.3680	20.4934 (16.6844~26.1309)	0.5286	13	0.9126	4.91
	2	2.5294±0.4258	30.1480 (25.1781~37.1970)	0.1796	13	0.9808	4.76
	1	2.1993±0.3655	18.4356 (14.8977~23.1065)	0.5671	13	0.9039	4.42
	2	2.6867±0.4318	29.1219 (24.5212~35.2635)	0.1562	13	0.9843	4.59

2.5 福建草地贪夜蛾田间种群对乙基多杀菌素的抗药性

福建不同地区的草地贪夜蛾田间种群对乙基多杀菌素总体上仍相对较敏感,但敏感性水平已下降(表 5);福州闽侯种群的 1、2 龄幼虫的抗性倍数分别为 2.80 和 2.86,仍属于敏感水平;南平建阳种群 1、2 龄幼虫的抗性倍数分别为 3.10 和 3.17,表明敏感性水平已明显下降。在 3 个不同地区中,以漳州长泰种群对乙基多杀菌素的敏感性水平最低。

从 LC_{50} 的 95% 置信限来看,对于同一个龄期的幼虫,福建 3 个不同地理种群草地贪夜蛾对乙基多杀菌素的敏感性水平的差异不显著;而对于同一地理,3 个种群的 1、2 龄幼虫对乙基多杀菌素的敏感性水平均无显著差异。

综上,福建草地贪夜蛾总体上对乙基多杀菌素尚未产生明显的抗性,但与室内的相对敏感种群相比,不同地区田间种群对乙基多杀菌素的敏感性水平均已下降,表现为产生低水平抗性的发展趋势。

表 5 福建 3 个不同地区草地贪夜蛾种群 1、2 龄幼虫对乙基多杀菌素的抗药性监测(2022 年)
Table 5 Resistance monitoring of the 1st and 2nd larvae of *S. frugiperda* populations to spinetoram in three regions of Fujian (2022)

田间种群 Populations	幼虫龄期 Larval instar	斜率±标准误 Slope±SE	LC_{50} (95%置信限) $LC_{50}(95\% CL)/(mg \cdot L^{-1})$	χ^2	自由度 df	<i>P</i>	抗性倍数 Resistance ratio
漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	1	1.6311±0.2571	0.5043 (0.3801~0.7122)	0.0253	13	0.9989	4.26
福州闽侯 Minhou, Fuzhou	2	1.6175±0.2555	0.6263 (0.4712~0.8732)	0.2355	13	0.9717	3.41
南平建阳 Jianyang, Nanping	1	1.5357±0.2508	0.3315 (0.2384~0.4481)	0.5901	13	0.8987	2.80
	2	1.7754±0.2620	0.5261 (0.4017~0.6953)	0.3534	13	0.9497	2.86
	1	1.8157±0.2640	0.3679 (0.2808~0.4804)	0.6136	13	0.8933	3.10
	2	1.6401±0.2558	0.5826 (0.4390~0.7980)	0.7632	13	0.8582	3.17

2.6 福建草地贪夜蛾田间种群对虱螨脲的抗药性

福建不同地区草地贪夜蛾田间种群 1、2 龄幼虫对虱螨脲的抗性倍数介于 1.71~2.36(表 6),均处于敏感水平阶段,即福建草地贪夜蛾对虱螨脲尚未产生明显的抗药性。

敏感性水平差异不显著;而对于同一地理种群,3 个种群的 1、2 龄幼虫对虱螨脲的敏感性水平无显著差异。

总之,福建草地贪夜蛾对虱螨脲仍属于敏感水平,但与室内的相对敏感种群相比,不同地区田间种群对虱螨脲的敏感性水平已明显下降,潜在产生抗性风险。

从 LC_{50} 的 95% 置信限来看,对于同一个龄期的幼虫,福建 3 个不同地理种群草地贪夜蛾对虱螨脲

表 6 福建 3 个不同地区草地贪夜蛾种群 1、2 龄幼虫对虱螨脲的抗药性监测(2022 年)

Table 6 Resistance monitoring of the 1st and 2nd larvae of *S. frugiperda* populations to lufenuron in three regions of Fujian (2022)

田间种群 Populations	幼虫龄期 Larval instar	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限) LC ₅₀ (95% CL)/(mg·L ⁻¹)	χ ²	自由度 df	P	抗性倍数 Resistance ratio
漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	1	1.5416±0.2512	4.7613 (3.5275~6.6238)	1.1387	13	0.7677	1.90
福州闽侯 Minhou, Fuzhou	1	1.5334±0.2505	4.2919 (3.1495~5.8880)	0.6841	13	0.8769	1.71
南平建阳 Jianyang, Nanping	2	1.6991±0.2580	6.4136 (4.8367~8.5474)	0.0730	13	0.9949	2.15

3 讨论

草地贪夜蛾已在我国定殖并常态化发生,且仍有境外虫源不断迁入,侵入我国的草地贪夜蛾拥有不同的抗药性背景,因此,在全国尤其是南方省份的周年繁殖区开展草地贪夜蛾抗药性监测,对于我国草地贪夜蛾综合防控具有重要意义。

害虫抗性监测的前提是建立靶标害虫对药剂的敏感基线(吴益东等,2001),不同试验方法得到的靶标害虫对药剂的敏感性往往差异较大,因此选用的生物测定方法对于所建立的敏感基线及抗性监测结果的可靠性至关重要。已报道的杀虫剂对草地贪夜蛾幼虫毒力测定方法主要有点滴法、浸虫法、饲料混毒法、饲料表面涂药法和浸叶法(郭志敏等,2020;吕圣兰等,2020;牛多邦等,2022;苏湘宁等,2020;王欢欢等,2021)。研究表明,用不同测定方法所建立的草地贪夜蛾对药剂的敏感基线明显不同,缺乏可比性,而基于同一生物测定方法所建立的敏感基线也有很大差异,一方面是因为虫源的来源及饲养代数的不同,另一方面也与药剂样品和试验条件的不同有很大关系。实际上,不同生物测定方法各有特点和适用范围,且很多化学药剂的作用机制也较复杂,因而不同测定方法都有其局限性。因此,应进一步通过深入协作研究与探讨,建立操作简便、重复性好的毒力测定方法,以期为草地贪夜蛾抗性监测标准化提供更坚实的科学支撑。

浸叶法能全面反映杀虫剂的作用方式,可等效或接近于生产上的茎叶喷雾施药且操作简便。本文以室内继代饲养的 F₁₂ 代草地贪夜蛾作为相对敏感种群,用浸叶法研究建立草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫对 5 种常用药剂的敏感基线,应用于福建不同地区田间种群的抗性监测,结果表明,5 种杀虫剂对草地贪夜蛾相对敏感幼虫的毒力大小由高到低的顺序依次为甲维盐、乙基多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、虱螨

脲和茚虫威,与王欢欢等(2021)、苏湘宁等(2020)及牛多邦等(2022)等研究结果一致,但与肖汉祥等(2023)饲料浸药法的氯虫苯甲酰胺毒力大于甲维盐的不同,这可能与虫源、测试方法及试验条件等的不同有关。本研究中,甲维盐对于草地贪夜蛾相对敏感种群 2 龄幼虫 LC₅₀ 为 0.0052 mg·L⁻¹,与苏湘宁等(2020)报道的 0.0651 mg·L⁻¹ 有较大差异,这除了与最初虫源的不同有关外,具体测试方法的不同也是导致该差异产生的重要原因,本文是以玉米叶浸入药液 20 s,区别于其以花生叶浸入药液 10 s 的处理方法。此外,相较于其测试的 2 龄幼虫在室内饲养 6 代,本研究的 2 龄幼虫在室内已连续饲养了 11 代,对各种药剂的敏感性也更高。

玉米是侵入我国的草地贪夜蛾最适宜的寄主植物(董松等,2022;姜玉英等,2019),因此,玉米叶是进行草地贪夜蛾浸叶法毒力测定最适宜的药剂载体,但以玉米叶进行浸叶法建立草地贪夜蛾敏感基线的研究报道极少(王欢欢等,2021)。

靶标试虫发育程度的一致性为药剂毒力测定结果准确、可靠的重要保证,已有研究表明,在 25~26 °C 下,草地贪夜蛾 1 龄幼虫的平均历期大于 3.0 d,2 龄的大于 2.0 d,第 3、4 龄的则小于 2.0 d(董松等,2022;邱良妙等,2020),而化学杀虫剂对昆虫的毒力测定一般在处理后 48~72 h 检查试验结果,因此,草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫作为靶标试虫更有利于保证供试药剂对相应龄期幼虫毒力测定结果的准确性。本研究表明,同一地理种群的草地贪夜蛾 1、2 龄幼虫对同一药剂抗性水平的差异不显著,相较于 2 龄幼虫,本文草地贪夜蛾 1 龄幼虫为 12 h 内孵化且未喂以食物,其发育程度整齐一致,是进行杀虫剂对草地贪夜蛾幼虫毒力测定的最适宜龄期。

基于本研究建立的相对敏感基线开展了抗药性监测,结果表明,福建草地贪夜蛾对甲维盐的抗性为 3.94~7.16 倍,对氯虫苯甲酰胺和茚虫威的分

别为4.33~7.51和4.42~5.84倍,对甲维盐、氯虫苯甲酰胺和茚虫威等3种药剂已产生低水平抗性,这与2021年广东地区草地贪夜蛾对甲维盐和氯虫苯甲酰胺的抗性水平相似(肖汉祥等,2023),而苏湘宁等(2020)报道2020年广东草地贪夜蛾对甲维盐和氯虫苯甲酰胺已产生低至中等水平抗性,这可能是因监测的种群及测试方法的不同所导致。本研究中,漳州长泰种群已对乙基多杀菌素产生了低水平抗性,而福州闽侯和南平建阳种群对乙基多杀菌素尚未产生明显抗性,但对药剂敏感性已明显下降,福建不同地区草地贪夜蛾种群对虱螨脲抗性小于2.36倍,仍属敏感水平,而目前草地贪夜蛾对乙基多杀菌素和虱螨脲的抗性监测未见其他报道。总体上,我国草地贪夜蛾抗药性监测研究的文献较少,结合本研究及已有文献分析,福建和广东地区草地贪夜蛾已对甲维盐和氯虫苯甲酰胺等产生了抗性,而牛多邦等(2022)研究表明2020年安徽草地贪夜蛾对甲维盐、氯虫苯甲酰胺和茚虫威等3种药剂仍属于敏感水平,这种差异可能与各地草地贪夜蛾受到农药选择压力的不同有关。

草地贪夜蛾已是我国农业生产上的常发性重大害虫,防控形势严峻。福建省地处我国东南沿海,属亚热带海洋性季风气候,作物种类丰富多样,尤其是福建中南部地区周年种植玉米,为草地贪夜蛾的繁殖和扩散蔓延提供了有利场所及食物条件,是我国北方草地贪夜蛾南迁越冬和翌年北迁扩散的重要虫源地之一,因此,本区域的草地贪夜蛾防控水平对全国联防联控具有重要意义。应在不断夯实其生物学、生态学及灾变机制关键因子等研究的基础上,研发应用农业防治、物理防治、生物防治和精准化学防治等新技术,发展创新草地贪夜蛾的绿色防控技术体系及示范,从根本上有效降低对化学农药的依赖,延缓抗性的产生或快速发展,从而实现草地贪夜蛾低成本、绿色可持续的防控目标。

参考文献

白一苇,李玄霜,拉巴普尺,孙连军,2020.草地贪夜蛾侵害我国大豆的风险预警.植物保护学报,47(4):729-734.
董杰,刘小侠,岳瑾,侨岩,褚艳娜,王品舒,张青文,2014.北京地区粘虫对5种杀虫剂的抗药性.农药学报,16(6):687-692.
董松,卢增斌,李丽莉,朱军生,关秀敏,门兴元,2022.入

侵害草地贪夜蛾取食七种食物的种群生命表.植物保护学报,49(2):612-619.
郭井菲,张永军,王振营,2022.中国应对草地贪夜蛾入侵研究的主要进展.植物保护,48(4):79-87.
郭志敏,邓晓倩,李静,袁茂钧,万虎,李建洪,马康生,2020.湖北四个地区草地贪夜蛾田间种群的杀虫剂敏感性及其靶标突变检测.昆虫学报,63(5):582-589.
姜玉英,刘杰,谢茂昌,李亚红,杨俊杰,张曼丽,邱坤,2019.2019年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测.植物保护,45(6):10-19.
李妍,龚丽凤,王欢欢,李曦,孙歌,谷少华,梁沛,高希武,2020.我国草地贪夜蛾田间种群有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂靶标基因*ace-1*的基因型和突变频率.昆虫学报,63(5):574-581.
李永平,张帅,王晓军,解晓平,梁沛,张雷,谷少华,高希武,2019.草地贪夜蛾抗药性现状及化学防治策略.植物保护,45(4):14-19.
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.
牛多邦,檀称龙,吴玉杰,李秀霞,李桂亭,盛成旺,操海群,2022.安徽省草地贪夜蛾对杀虫剂的敏感性及其靶标突变检测.植物保护,48(2):201-207.
秦梦真,高正辉,徐义流,石旺鹏,2020.草地贪夜蛾对农药主要抗性机制的概述.植物保护学报,47(4):692-697.
邱良妙,刘其全,杨秀娟,黄晓燕,关瑞峰,刘必炮,何玉仙,占志雄,2020.草地贪夜蛾对水稻和玉米的取食和产卵选择性与适合度.昆虫学报,63(5):604-612.
苏湘宁,廖章轩,李传瑛,黄少华,李峰博,刘伟玲,章玉莘,2020.广东草地贪夜蛾对2种常用农药的抗药性及助剂和增效剂对农药毒力的影响.南方农业学报,51(6):1274-1281.
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.
王鹏,甯佐莘,张帅,蒋田田,谭利蓉,董嵩,高聪芬,2013.我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测.中国水稻科学,27(2):191-197.
王芹芹,崔丽,王立,梁沛,袁会珠,芮昌辉,2019.草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展.农药学报,21(4):401-408.
吴超,张磊,廖重宇,吴孔明,萧玉涛,2019.草地贪夜蛾对化学农药和Bt作物的抗性机制及其治理技术研究进展.植物保护学报,46(3):503-513.
吴孔明,2020.中国草地贪夜蛾的防控策略.植物保护,46(2):1-5.

- valuation. *Ecography*, 31(2): 161–175.
- RADOSAVLJEVIC A, ANDERSON R P, 2014. Making better MaxEnt models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography*, 41(4): 629–643.
- STIGE L C, CHAN S, ZHANG Z, FRANK D, STENSETH N C, 2007. Thousand-year-long Chinese time series reveals climatic forcing of decadal locust dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 16188–16193.
- WANG Y J, XIE L Y, ZHOU X Y, CHEN R F, ZHAO G H, ZHANG F G, 2023. Prediction of the potentially suitable areas of *Leonurus japonicus* in China based on future climate change using the optimized MaxEnt model. *Ecology and Evolution*, 13(10): 10597–10597.
- WU R, GUAN J Y, WU J G, JU X F, AN Q H, ZHENG J H, 2022. Predictions based on different climate change scenarios: the habitat of typical locust species is shrinking in Kazakhstan and Xinjiang, China. *Insects*, 13(10): 942.
- XIAN X Q, ZHAO H X, GUO J Y, ZHANG G F, LIU H, LIU W X, WAN F H, 2023. Estimation of the potential geographical distribution of a new potato pest (*Schrankia costae-strigalis*) in China under climate change. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(8): 2441–2455.
- YAN C C, HAO H T, WANG Z, SHA S S, ZHANG Y W, WANG Q P, KANG Z S, HUANG L L, WANG L, FENG H Z, 2023. Prediction of suitable habitat distribution of *Cryptosphaeria pullmanensis* in the World and China under climate change. *Journal of Fungi (Basel, Switzerland)*, 9(7): 739.
- ZHANG L, LECOQ M, LATCHININSKY A, 2019. Locust and grasshopper management. *Annual review of entomology*, 64: 15–34.
- ZHENG S, ZHANG B, PENG D, YU L, LIN B, PA Y, XIE Q, 2021. The trend towards a warmer and wetter climate observed in arid and semi-arid areas of northwest China from 1959 to 2019. *Environmental Research Communications*, 3(11): 115011.
- (责任编辑:郭莹)
- ~~~~~
- (上接第 161 页)
- 吴益东, 陈松, 净新娟, 林祥文, 沈晋良, 2001. 棉铃虫抗药性监测方法——浸叶法敏感毒力基线的建立及其应用. *昆虫学报*, 44(1): 56–61.
- 吴益东, 沈慧雯, 张正, 王兴亮, 施雨, 武淑文, 杨亦桦, 2019. 草地贪夜蛾抗药性概况及其治理对策. *应用昆虫学报*, 56(4): 599–604.
- 肖汉祥, 袁龙宇, 高艳, 张振飞, 李振宇, 李燕芳, 2023. 广东草地贪夜蛾不同田间种群对 4 种杀虫剂的抗药性监测. *植物保护*, 49(3): 328–332.
- 徐艳玲, 李昭原, 陈杰, 李志红, 秦誉嘉, 2020. 草地贪夜蛾对我国小麦产业造成的潜在经济损失评估. *植物保护学报*, 47(4): 740–746.
- GUTIÉRREZ-MORENO R, MOTA-SANCHEZ D, BLANCO C A, WHALON M E, TERÁN-SANTOFIMIO H, RODRIGUEZ-MACIEL J C, DIFONZO C, 2019. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 112(2): 792–802.
- MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, ROQUE-SPECHT V F, SOUSA-SILVA J C, PAULA-MORAES S V, PETERSON J A, HUNT T E, 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300.
- SPARKS A N, 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *The Florida Entomologist*, 62(2): 82–87.
- SPARKS T C, NAUEN R, 2015. Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121: 122–128.
- STORER N P, BABCOCK J M, SCHLENZ M, MEADE T, THOMPSON G D, BING J W, HUCKABA R M, 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology*, 103(4): 1031–1038.
- SUN X X, HU C X, JIA H R, WU Q L, SHEN X J, ZHAO S Y, JIANG Y Y, WU K M, 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 664–672.
- TODD E L, POOLE R W, 1980. Keys and illustrations for the armyworm moths of the noctuid genus *Spodoptera* Guenée from the Western Hemisphere. *Annals of the Entomological Society of America*, 73(6): 722–738.
- ZHANG D D, XIAO Y T, XU P J, YANG X M, WU Q L, WU K M, 2021. Insecticide resistance monitoring for the invasive populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 783–791.
- (责任编辑:郭莹)