

福建省草地贪夜蛾田间种群对 六种杀虫剂的敏感性*

赵金凤^{1,2**} 卢学松^{1**} 黄培枝³ 丁雪玲¹ 姚凤奎¹
王竹红² 翁启勇¹ 郑宇^{1***} 何玉仙^{1***}

(1. 闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 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, 福建省作物有害生物绿色防控工程研究中心, 福州 350013; 2. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 3. 福建省永安市农业农村局, 永安 366000)

摘要 【目的】为明确福建省草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 田间种群对农业农村部推荐使用的主要防治药剂的敏感性。【方法】采用浸叶法测定了南平建瓯、三明永安、福州福清和漳州长泰 4 个地区草地贪夜蛾田间种群对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)、乙基多杀菌素、茚虫威、氯虫苯甲酰胺、虫螨腈和虱螨脲 6 种具有较高防效的不同类型杀虫剂的敏感性, 同时对比了长泰和建瓯春秋两季草地贪夜蛾田间种群对上述 6 种杀虫剂的敏感性。【结果】不同地域的草地贪夜蛾对杀虫剂的敏感性存在显著差异, 其中甲维盐对长泰、福清种群的 LC_{50} 值是建瓯、永安种群的 2 倍, 茚虫威对长泰、福清种群的 LC_{50} 值是永安种群的 3 倍; 草地贪夜蛾对杀虫剂的敏感性具有明显的季节性差异, 其中氯虫苯甲酰胺和虫螨腈对长泰秋季种群的 LC_{50} 值分别是春季种群的 0.20 倍和 2.26 倍, 甲维盐和茚虫威对建瓯秋季种群的 LC_{50} 值分别是春季种群的 4.75 倍和 2.20 倍; 草地贪夜蛾田间种群在室内无药剂选择压力下连续饲养 10 代后, 对虱螨脲、茚虫威和氯虫苯甲酰胺 3 种杀虫剂的敏感性提高最为显著, F_1 代的 LC_{50} 值分别是 F_{10} 代的 8.15 倍、22.87 倍和 10.58 倍。【结论】福建省 4 个地区草地贪夜蛾田间种群对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)、乙基多杀菌素、茚虫威、氯虫苯甲酰胺、虫螨腈和虱螨脲较为敏感, 长泰和建瓯春秋两季种群对氯虫苯甲酰胺、虫螨腈、茚虫威和虱螨脲的敏感性存在明显差异。

关键词 草地贪夜蛾; 杀虫剂; 敏感性

Sensitivity of field populations of *Spodoptera frugiperda* to six insecticides in Fujian province

ZHAO Jin-Feng^{1,2**} LU Xue-Song^{1**} HUANG Pei-Zhi³ DING Xue-Ling¹ YAO Feng-Luan¹
WANG Zhu-Hong² WENG Qi-Yong¹ ZHENG Yu^{1***} HE Yu-Xian^{1***}

(1. State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fujian Key Laboratory of Pest Monitoring and Management in Crops, Fujian Engineering Research Center for Greet Pest Management, Fuzhou 350013, China; 2. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Agriculture and Rural Affairs Bureau of Yong'an City, Fujian Province, Yong'an 366000, China)

Abstract 【Objectives】To determine the sensitivity of *Spodoptera frugiperda* in Fujian province to six insecticides recommended by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 【Methods】The leaf dip method was used to determine the lethal concentration 50 (LC_{50}) of six insecticides (emamectin benzoate, spinetoram, indoxacarb, chlorantraniliprole, clorfenapyr and lufenuron) to *S. frugiperda*, collected in Jian'ou county of Nanping city, Yong'an county of Sangming city,

*资助项目 Supported projects: 福建省科技厅引导性项目 (2020N0026); 福建省公益类科研院所基本科研专项 (2020R1024008); 福建省农科院创新团队项目 (CXTD2021027); “5511”协同创新工程 (XTCXGC2021011, 2021017)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 435742326@qq.com; 374632124@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: 290896369@qq.com; yuxianhe_faas@sina.cn

收稿日期 Received: 2022-03-29; 接受日期 Accepted: 2022-07-21

Fuqing county of Fuzhou city and Changtai county of Zhangzhou city. The LC_{50} values of these six insecticides were also compared between specimens collected in Jian'ou and Changtai populations in spring and autumn. **[Results]** The susceptibility of *S. frugiperda* to the insecticides tested varied significantly among populations. The LC_{50} of emamectin benzoate in the Changtai and Fuqing populations was about twice than that in the Jian'ou and Yong'an populations, and the LC_{50} of indoxacarb in the Changtai and Fuqing populations was about 3 times than that in the Yong'an population. The susceptibility of *S. frugiperda* to insecticides also varied between seasons. The LC_{50} of chlorantraniliprole and clorfenapyr to the Changtai population was 0.20 times and 2.26 times, respectively, in autumn than that in spring, and the LC_{50} of emamectin benzoate and indoxacarb to the Jian'ou population was 4.75 times and 2.20 times, respectively, in autumn than that in spring. Rearing ten successive generations without insecticide exposure caused the LC_{50} values of lufenuron, indoxacarb and chlorantraniliprole to decrease 8.15, 22.87 and 10.58 fold, respectively, compared to the F_1 generation. **[Conclusion]** Field populations of *S. frugiperda* in Fujian province are generally still sensitive to the six tested insecticides in 2020. In Changtai and Jian'ou, the sensitivity of *S. frugiperda* to chlorantraniliprole, clorfenapyr, indoxacarb, lufenuron differed significantly between spring and autumn.

Key words *Spodoptera frugiperda*; insecticide; susceptibility

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) 起源于美洲, 对农业生产危害极大, 被联合国粮农组织列为全球重大迁飞性农业害虫之一 (Nagoshi *et al.*, 2017)。2019 年 1 月, 草地贪夜蛾由缅甸侵入我国云南地区, 并扩散至全国 26 个省/市/自治区 (杨普云等, 2019)。鉴于化学农药具有高效、速效、经济方便和不受地域季节影响的特点, 化学防治成为应急防控草地贪夜蛾暴发性发生为害的主要手段 (Okuma *et al.*, 2018; Togola *et al.*, 2018; 赵胜园等, 2019)。2019 年 6 月, 农业农村部提出了草地贪夜蛾应急用药措施 (农办农[2019]13 号), 推荐了包括甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、茚虫威、四氯虫酰胺等 17 种单剂及其相关的 8 种复配制剂的应急用药清单。2020 年 2 月, 农业农村部根据专家评估调整了推荐用药名单 (农农发[2020]1 号), 主要包括 14 种单剂以及相关的 14 种复配制剂。

据报道, 在草地贪夜蛾起源地美国、巴西等国家, 由于长期依靠化学防治, 导致其对传统杀虫剂产生了高水平抗性 (Al-Sarar *et al.*, 2006; Banerjee *et al.*, 2017; 鲁艳辉等, 2019; 尹艳琼等, 2019; 赵胜园等, 2019)。截至 2017 年, 美洲地区草地贪夜蛾至少对氨基甲酸酯类、有机磷类、拟除虫菊酯类等 29 种传统杀虫剂产生了抗性 (Al-Sarar *et al.*, 2006; 崔丽等, 2019; 鲁艳辉等, 2019; 尹艳琼等, 2019), 如美国佛罗

里达州中部和南部的草地贪夜蛾种群对有机磷类、氨基甲酸酯类及拟除虫菊酯类分别产生了高达 264 倍、517 倍和 507 倍的抗性 (Yu, 1992; Yu *et al.*, 2003; 王芹芹等, 2019), 这种抗药性随着它的入侵而扩散, 导致多数传统杀虫剂对入侵中国的草地贪夜蛾的防治效果均不理想 (尹艳琼等, 2019; 赵胜园等, 2019; 韩群营等, 2021; 张强艳等, 2021)。因此, 在目前主要依赖化学农药开展应急防治的条件下, 草地贪夜蛾对应急防治药剂产生抗药性的问题不容忽视。

福建省地处东南沿海, 横跨中亚热带和南亚热带, 是草地贪夜蛾周年繁殖区和越冬区, 也可能是草地贪夜蛾向其他区域迁飞扩散的过渡区 (姜玉英等, 2019, 2021; 杨普云等, 2019; Li *et al.*, 2020; 吴孔明, 2020)。在福建省, 草地贪夜蛾的整个生长期均可为害鲜食玉米, 而且世代重叠严重, 每隔 1 周左右即有新增低龄幼虫 (田新湖, 2020), 夏秋季玉米经常由于虫情严重在一个生产季节内连续多次使用 1 种或同类型杀虫剂, 产生抗药性的风险不容忽视。本文通过测定草地贪夜蛾田间种群对 6 种不同类型杀虫剂的敏感性, 以及室内无药剂选择压力下实验种群的药剂敏感性变化, 旨在了解和掌握侵入福建的草地贪夜蛾田间种群对应急防治药剂的敏感性变化情况, 为该害虫的抗药性监测、风险评估和抗药性治理提供基础数据和科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2020 年 4-6 月, 草地贪夜蛾采自福建省福清、长泰、建瓯和永安玉米田, 采集地概况如表 1 所示, 同年 9-10 月 (秋季) 于长泰和建瓯同一地点再次采样。将田间采集的草地贪夜蛾幼虫置于人工气候箱 (MGC-300A, 上海一恒) 内, 采

用人工饲料饲养 1 代后, 挑选大小一致的 2 龄幼虫作为生测虫源。人工饲料配制参照李子园等 (2019) 的配方, 室内饲养和生测条件为温度 (26±1) °C, 相对为湿度 60%±5%, 光周期为 14L : 10D, 光照强度 20 000 lx。

1.2 供试杀虫剂

供试杀虫剂种类和厂家信息见表 2。

表 1 草地贪夜蛾采样信息 (2020 年)
Table 1 Sampling information for *Spodoptera frugiperda* in 2020

采集时间 (月-日) Collection time (month-date)	采集地点 Collection site	经纬度 Latitude and longitude	玉米生长期 Corn growth period	虫龄 Insect instar
04-15	漳州市, 长泰县, 陈巷镇 Chenxiang, Changtai, Zhangzhou	117.75°E, 24.62°N	12 叶期-抽雄期 Twelfth leaf-Tasseling	4-5 龄 4th-5th instars
05-28	南平市, 建瓯市, 东峰镇 Dongfeng, Jian'ou, Nanping	118.32°E, 27.05°N	12 叶期-抽雄期 Twelfth leaf-Tasseling	5-6 龄 5th-6th instars
06-13	三明市, 永安市, 小陶镇 Xiaotao, Yong'an, Sanming	117.37°E, 25.97°N	12 叶期-抽雄期 Twelfth leaf-Tasseling	5-6 龄 5th-6th instars
06-15	福州市, 福清市, 融城镇 Rongcheng, Fuqing, Fuzhou	119.39°E, 25.73°N	12 叶期-抽雄期 Twelfth leaf-Tasseling	4-5 龄 4th-5th instars
09-24	漳州市, 长泰县, 陈巷镇 Chenxiang, Changtai, Zhangzhou	117.75°E, 24.62°N	12 叶期-抽雄期 Twelfth leaf-Tasseling	4-5 龄 4th-5th instars
10-14	南平市, 建瓯市, 东峰镇 Dongfeng, Jian'ou, Nanping	118.32°E, 27.05°N	12 叶期-抽雄期 Twelfth leaf-Tasseling	4-5 龄 4th-5th instars

表 2 供试杀虫剂信息
Table 2 Information for insecticides

供试杀虫剂 Insecticide	类别 Type	生产厂家 Producer	作用方式 Mode of action
1%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 ME Emamectin benzoate 1% ME	大环内酯类 Macrolides	安徽天成基农业科学研究院有 限责任公司 Anhui Tianchengji Agricultural Research Institute Co. LTD	触杀和胃毒 Contact and stomach
15%茚虫威 SC Indoxacarb 15% SC	新型噁二嗪类 Oxadiazine	江苏省苏科农化有限公司 Jiangsu Suke Agrochemical Co. LTD	胃毒和触杀 Stomach and contact
200 g/L 氯虫苯甲酰胺 SC Chlorantraniliprole 200 g/L SC	邻甲酰胺基苯甲酰胺类 O-carboxamidobenzamide	美国富美实公司 FMC Corporation	胃毒和触杀 Stomach and contact
20%虱螨脲 EC Lufenuron 20% EC	苯甲酰脲类 Benzoylurea	江苏中旗科技股份有限公司 Jiangsu Zhongqi Science and Technology Co., LTD	胃毒和触杀 Stomach and contact
10%虫螨腈 ME Clorfenapyr 10% ME	新型吡咯类 Pyrrole	江西中迅农化有限公司 Jiangxi Zhongxun Agrochemical Co., LTD	胃毒、触杀和内吸 Stomach, contact, and systemic
60 g/L 乙基多杀菌素 SC Spinetoram 60 g/L SC	大环内酯类 Macrolides	科迪华农业科技有限责任公司 Kedihua Agricultural Science and Technology Co. LTD	触杀和胃毒 Contact and stomach

1.3 生物测定方法

参照《农药室内生物测定试验准则》(中华人民共和国农业部, 2008), 采用浸叶生测法, 即用含 1% Tween 20 的蒸馏水将供试杀虫剂稀释成系列浓度药液, 每浓度药液量 100 mL。用打孔器将未被药剂污染的新鲜无虫玉米叶片打成直径 3 cm 的小圆片, 分别浸于系列浓度药液中 15 s, 取出后在室内晾干。用含 1% Tween 20 的蒸馏水浸渍小圆片为对照, 每个浓度处理重复 3 次。将晾干的小圆片正面朝上放入底部直径 3.0 cm、顶部直径 3.8 cm 的小塑料盒内(塑料盒内预先放置含水脱脂棉, 防止叶片脱水), 每盒接入 2 龄幼虫 10 头, 移置人工气候箱中, 48 h 后观察死亡情况, 以镊子轻触虫体不能协调运动的个体视为死亡, 统计死亡情况并计算其校正死亡率。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2016 对试验所得数据进行计算, 运用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和机率值分析, 求出每种杀虫剂的毒力回归方程斜率、 LC_{50} 及其 LC_{50} 的 95% 置信限。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾田间种群对药剂敏感性的地域性差异

对比 6 种杀虫剂对福建省 4 个地区草地贪夜蛾 2 龄幼虫的毒力(表 3), 草地贪夜蛾田间种群对甲维盐、茚虫威、氯虫苯甲酰胺、虱螨脲的敏感性存在明显地域性差异, 其中甲维盐对长泰和福清种群的 LC_{50} 值(分别为 0.045 mg/L 和 0.042 mg/L)约是对建瓯种群和永安种群 LC_{50} 值(分别为 0.020 mg·L⁻¹ 和 0.022 mg·L⁻¹)的 2 倍; 茚虫威对长泰和福清种群的 LC_{50} 值(分别为 9.997 mg·L⁻¹ 和 9.848 mg·L⁻¹)约是对永安种群 LC_{50} 值(为 2.991 mg·L⁻¹)的 3 倍; 氯虫苯甲酰胺、虱螨脲对长泰种群和建瓯种群的 LC_{50} 值(分别为 7.572-7.921 mg·L⁻¹ 和 3.407-4.716 mg·L⁻¹)约是对永安种群 LC_{50} 值(分别为

3.480 mg·L⁻¹ 和 1.904 mg·L⁻¹)的 2 倍。草地贪夜蛾田间种群对不同种类杀虫剂的敏感性也存在显著差异, 对甲维盐最为敏感(LC_{50} 值为 0.020-0.045 mg·L⁻¹), 其次是乙基多杀菌素(LC_{50} 值为 0.056-0.085 mg·L⁻¹), 对虱螨脲、虫螨腈、氯虫苯甲酰胺和茚虫威也均较为敏感(LC_{50} 值为 1.904-9.997 mg·L⁻¹)。

2.2 草地贪夜蛾田间种群对药剂敏感性的季节性差异

选择代表福建南北两地的漳州长泰和南平建瓯玉米种植地开展草地贪夜蛾田间种群药剂敏感性季节性变化监测。结果显示, 长泰种群对氯虫苯甲酰胺和虫螨腈的敏感性存在明显季节性差异, 2020 年秋季测定的氯虫苯甲酰胺和虫螨腈的 LC_{50} 值分别是春季测定 LC_{50} 值的 0.20 倍和 2.26 倍; 建瓯种群对甲维盐、茚虫威和虱螨脲的敏感性也存在明显季节性差异, 2020 年秋季测定的甲维盐、茚虫威和虱螨脲的 LC_{50} 值分别是春季测定 LC_{50} 值的 4.75 倍、2.20 倍和 0.55 倍(表 4)。

2.3 无药剂选择下草地贪夜蛾室内饲养种群的药剂敏感性变化

表 5 结果显示, 在无药剂选择压力条件下, 草地贪夜蛾田间种群 F_1 代经室内连续饲养 F_{10} 代, 对 6 种供试杀虫剂的敏感性与 F_1 代相比均有不同程度提高, 其中以虱螨脲、茚虫威和氯虫苯甲酰胺 3 种杀虫剂的敏感性提高最为显著, 对 F_1 代的 LC_{50} 值分别是 F_{10} 代的 8.15 倍、22.87 倍和 10.58 倍, 预示着入侵福建省的草地贪夜蛾对 6 种杀虫剂存在抗药性风险。

3 结论与讨论

草地贪夜蛾入侵我国首发区云南省 4 个区域的种群对虱螨脲、氯虫苯甲酰胺、虫螨腈的敏感性差异显著, 分别达 8.42 倍、3.05 倍和 2.38 倍(尹艳琼等, 2019)。本研究发现, 草地贪夜蛾对杀虫剂的敏感性在福建省不同地域之间也存在显著差异, 其中甲维盐对长泰、福清种群的

表 3 2020 年 6 种杀虫剂对福建省 4 个地区草地贪夜蛾 2 龄幼虫的毒力
Table 3 Toxicity of six insecticides to the 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* from four areas of Fujian province

药剂 Insecticide	地区 District (county, city)	采集时间 (月-日) Sampling time (month-day)	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%FL) ¹⁾ (mg·L ⁻¹)	卡方值 χ^2 value	自由度 df
甲氨基阿维菌素 苯甲酸盐 Emamectin benzoate	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	05-28	1.548±0.228	0.020 (0.014-0.027) b	3.177	3
	三明永安 Yong'an, Sanming	06-13	1.787±0.215	0.022 (0.017-0.029) b	1.686	4
	福州福清 Fuqing, Fuzhou	06-15	2.625±0.316	0.042 (0.033-0.062) a	3.292	4
	漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	04-15	2.002±0.240	0.045 (0.035-0.060) a	1.300	4
茚虫威 Indoxacarb	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	05-28	1.753±0.261	5.654 (3.660-7.707) ab	2.204	4
	三明永安 Yong'an, Sanming	06-13	1.095±0.162	2.991 (1.997-4.384) b	1.503	4
	福州福清 Fuqing, Fuzhou	06-15	1.340±0.257	9.848 (6.526-14.147))a	2.282	3
	漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	04-15	1.454±0.187	9.997 (7.345-13.814) a	3.864	4
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	05-28	1.418±0.183	7.921 (5.744-10.955) a	3.493	4
	三明永安 Yong'an, Sanming	06-13	1.327±0.250	3.480 (1.440-5.630) b	2.718	4
	福州福清 Fuqing, Fuzhou	06-15	1.575±0.214	5.002 (3.716-7.232) ab	3.878	4
	漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	04-15	0.957±0.150	7.572 (4.818-14.976) ab	1.257	4
虱螨脲 Lufenuron	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	05-28	1.461±0.187	4.716 (3.442-6.448) a	2.924	4
	三明永安 Yong'an, Sanming	06-13	1.369±0.360	1.904 (1.016-2.755) b	1.074	3
	福州福清 Fuqing, Fuzhou	06-15	2.447±0.329	2.209 (1.801-5.922) ab	1.234	3
	漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	04-15	1.379±0.183	3.407 (2.455-4.650) ab	0.676	4
虫螨腈 Clorfenapyr	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	05-28	4.165±0.618	5.137 (4.495-5.768) ab	3.337	4
	三明永安 Yong'an, Sanming	06-13	7.445±1.052	5.529 (5.114-6.013) a	0.536	4
	福州福清 Fuqing, Fuzhou	06-15	5.073±0.884	5.237 (4.655-5.922) ab	0.439	3
	漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	04-15	5.534±0.931	4.284 (3.744-4.718) b	2.298	4

续表 3 (Table 3 continued)

药剂 Insecticide	地区 District (county, city)	采集时间 (月-日) Sampling time (month-day)	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%FL) ¹⁾ (mg·L ⁻¹)	卡方值 χ^2 value	自由度 df
乙基多杀菌素 Spinetoram	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	05-28	1.337±0.225	0.070 (0.045-0.100) ab	3.844	3
	三明永安 Yong'an, Sanming	06-13	1.888±0.302	0.059 (0.042-0.077) ab	3.730	4
	福州福清 Fuqing, Fuzhou	06-15	2.679±0.477	0.056 (0.042-0.070) b	1.793	3
	漳州长泰 Changtai, Zhangzhou	04-15	2.792±0.330	0.085 (0.071-0.102) a	1.755	4

¹⁾: 置信区间不重叠表示同种杀虫剂对不同地区草地贪夜蛾的 LC₅₀ 值差异显著, 表中用不同字母表示。

¹⁾: Non-overlapping of the confidence intervals indicates that LC₅₀ values of the same insecticide in different regions are significantly different, which are represented by different letters in the table.

表 4 2020 年春秋季节草地贪夜蛾田间种群对 6 种杀虫剂的敏感性
Table 4 The susceptibility of the spring and autumn field populations of
Spodoptera frugiperda to six insecticides in 2020

药剂 Insecticide	地区 District	2020 年春季 Spring 2020		2020 年秋季 Autumn 2020		相对比值 ²⁾ Relative ratio
		斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95% FL) ¹⁾ (mg·L ⁻¹)	斜率±标准误 Slope ± SE	LC ₅₀ (95% FL) 1) (mg·L ⁻¹)	
甲氨基阿维菌素 Emamectin benzoate	漳州 Changtai, Zhangzhou	2.002±0.240	0.045 (0.035-0.060)	1.833±0.212	0.064 (0.049-0.084)	1.42
茚虫威 Indoxacarb	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	1.548±0.228	0.020 (0.014-0.027)	2.748±0.337	0.095 (0.077-0.118)	4.75
	漳州 Changtai, Zhangzhou	1.454±0.187	9.997 (7.345-13.814)	0.728±0.110	5.569 (2.424-11.457)	0.56
	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	1.753±0.261	5.654 (3.660-7.707)	1.044±0.156	12.461 (8.952-20.791)	2.20
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	漳州 Changtai, Zhangzhou	0.957±0.150	7.572 (4.818-14.976)	1.902±0.311	1.493 (1.125-2.165)	0.20
	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	1.418±0.183	7.921 (5.744-10.955)	1.052±0.202	3.852 (2.516-6.774)	0.49
	漳州 Changtai, Zhangzhou	1.379±0.183	3.407 (2.455-4.650)	0.809±0.212	5.131 (2.684-10.728)	1.51
虱螨脲 Lufenuron	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	1.461±0.187	4.716 (3.442-6.448)	2.147±0.263	2.595 (2.077-3.240)	0.55
	漳州 Changtai, Zhangzhou	5.534±0.931	4.284 (3.744-4.718)	3.225±0.931	9.677 (7.618-20.457)	2.26
	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	4.165±0.618	5.137 (4.495-6.768)	3.276±0.675	7.403 (6.367-8.945)	1.44
乙基多杀菌素 Spinetoram	漳州 Changtai, Zhangzhou	2.792±0.330	0.085 (0.071-0.102)	0.732±0.191	0.140 (0.075-0.313)	1.65
	南平建瓯 Jian'ou, Nanping	1.337±0.225	0.070 (0.045-0.100)	2.142±0.278	0.116 (0.881-0.148)	1.66

¹⁾: 置信区间不重叠, 表示同种杀虫剂对春秋季节草地贪夜蛾田间种群的 LC₅₀ 值差异显著。

²⁾: 相对比值=秋季 LC₅₀ 值/春季 LC₅₀ 值。

¹⁾: Non-overlapping of the confidence intervals indicates that the LC₅₀ values of the same insecticide are significantly different for the field populations of *S. frugiperda* in spring and autumn.

²⁾: Relative ratio=LC₅₀ value of autumn/LC₅₀ value of spring.

表 5 草地贪夜蛾 F₁ 代和 F₁₀ 代的对 6 种杀虫剂敏感性
Table 5 The susceptibility of the F₁ and F₁₀ generations of laboratory populations of *Spodoptera frugiperda* to six insecticides

药剂 Insecticide	F ₁		F ₁₀		相对比值 ²⁾ Relative ratio
	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95% FL) ¹⁾ (mg·L ⁻¹)	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95% FL) ¹⁾ (mg·L ⁻¹)	
甲氨基阿维菌素 苯甲酸盐 Emamectin benzoate	2.002±0.240	0.045 (0.035-0.060)	2.366±0.287	0.010 (0.008-0.013)	4.50
茚虫威 Indoxacarb	1.454±0.187	9.997 (7.345-13.814)	1.394±0.281	0.437 (0.259-0.630)	22.87
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	0.957±0.150	7.572 (4.818-14.976)	1.519±0.262	0.716 (0.448-0.993)	10.58
虱螨脲 Lufenuron	1.379±0.183	3.407 (2.455-4.650)	1.707±0.265	0.418 (0.289-0.583)	8.15
虫螨腈 Clorfenapyr	5.534±0.931	4.284 (3.744-4.718)	3.097±0.481	1.464 (1.158-1.793)	2.93
乙基多杀菌素 Spinetoram	2.792±0.330	0.085 (0.071-0.102)	1.684±0.260	0.048 (0.033-0.068)	1.77

¹⁾: 置信区间不重叠表示杀虫剂对草地贪夜蛾 F₁ 代和 F₁₀ 代的 LC₅₀ 值差异显著。
²⁾: 相对比值=F₁ 代 LC₅₀ 值/F₁₀ 代 LC₅₀ 值。
¹⁾: Non-overlapping of the confidence intervals indicates that the LC₅₀ values of insecticide are significantly different between F₁ generation and F₁₀ generation of *S. frugiperda*.
²⁾: Relative ratio = LC₅₀ value of F₁ generation/LC₅₀ value of F₁₀ generation.

LC₅₀ 值约是建瓯、永安种群的 2 倍, 茚虫威对长泰、福清种群的 LC₅₀ 值约是永安种群的 3 倍, 这种差异可能由于区域性草地贪夜蛾为害程度及杀虫剂使用强度不同所致。福建省地处东南沿海, 横跨中亚热带和南亚热带, 地形特征以丘陵山地为主, 环境气候尤其是温度的区域差异和垂直变化十分明显, 冬玉米种植情况也复杂多样。以漳州为代表的福建东南部冬玉米种植区, 草地贪夜蛾周年发生繁殖, 春季和秋季玉米上均发生为害严重, 周年用药防治较为频繁; 以南平为代表的福建西北部无冬玉米种植区, 草地贪夜蛾在春玉米上发生较轻甚至不发生, 在秋玉米上发生较为严重。从药剂敏感性测定的总体结果来看, 截至 2020 年 10 月, 福建省各地区草地贪夜蛾田间种群对 6 种供试杀虫剂均仍较为敏感, 这与国内报道的乙基多杀菌素、甲维盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威和虫螨腈对草地贪夜蛾均有较强杀虫活性(鲁艳辉等, 2019; 邱良妙等, 2019; 尹艳琼

等, 2019; 赵胜园等, 2019) 的研究结果基本一致。但是, 由于杀虫剂使用强度不同引起的草地贪夜蛾药剂敏感性地域性差异的这一研究结果, 预示着其存在的抗药性发展风险不容忽视。

草地贪夜蛾对杀虫剂的敏感性还存在明显的季节性差异, 其中氯虫苯甲酰胺和虫螨腈对长泰秋季种群的 LC₅₀ 值分别是春季的 0.20 倍和 2.26 倍; 甲维盐、茚虫威和虱螨脲对建瓯秋季种群的 LC₅₀ 值分别是春季的 4.75 倍、2.20 倍和 0.55 倍。草地贪夜蛾药剂敏感性的地域性和季节性差异可能与田间种群来源不同及各地区防治药剂选择差异有关。据报道, 迁飞性害虫对杀虫剂敏感性变化与迁飞行为关系密切(Fukuda and Nagata, 1969; Heinrichs, 1994; 姚洪渭等, 2002)。在我国南方数省, 草地贪夜蛾具有定殖的生态条件和不断迁飞的入侵虫源(罗举等, 2020), 福建省是草地贪夜蛾最重要的周年繁殖区和广东虫源的降落区(吴秋琳等, 2019; 姜玉英等,

2021)。本文作者调查发现,以三明大田和南平建瓯为代表的闽西北无冬玉米种植区,草地贪夜蛾越冬蛹中一部分能在越冬过程中陆续羽化,但冬季羽化的成虫由于低温或缺乏适宜寄主植物不能繁殖,另一部分则逐渐死亡(邱良妙等, 2020),因此,闽西北无冬玉米种植区春秋两季田间种群来源均为新迁入种群;而以莆田仙游和漳州长泰为代表的闽东南冬玉米种植区,草地贪夜蛾低龄幼虫、蛹和成虫均可在全年发生(邱良妙等, 2020),因此其田间种群来源较为复杂,很可能既有本地越冬种群,又存在新迁入种群和回迁虫源的混合种群。

迁飞性害虫的扩散对于抗药性的发展有显著的影响,因为敏感性个体的迁入能够使种群的抗性基因得到稀释(高希武, 1988),针对迁飞性害虫的治理,抗药性监测是指导农民科学用药的重要依据,特别是大范围、跨区域监测不同时期的发生种群更有利于掌握抗药性发生动态的时空变化(曾娟等, 2018),本研究只有2020年春季数据,还需要长期的药剂敏感性监测来完善对福建省草地贪夜蛾的抗药性发展预测。

尽管草地贪夜蛾田间种群对6种供试杀虫剂均较为敏感,但在室内无药剂选择压力条件下连续饲养10代后,其对虫螨腈、甲维盐、虱螨脲、氯虫苯甲酰胺、茚虫威的敏感性与 F_1 代相比均显著提高,这5种杀虫剂对 F_1 代的 LC_{50} 值是 F_{10} 代的2.93-22.87倍,这也间接表明入侵福建省的草地贪夜蛾已对上述5种杀虫剂存在一定程度抗药性。已有研究证实,在草地贪夜蛾起源地北美地区,甲维盐、乙基多杀菌素和氯虫苯甲酰胺仅仅使用6年时间就分别形成了7倍、14倍和160倍的不同程度抗药性(Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019)。

综上,福建省草地贪夜蛾的抗性发展不容忽视,抗性监测工作刻不容缓,应及时监测不同地区草地贪夜蛾的抗药性动态,结合各省的草地贪夜蛾的抗性发展和迁飞路径能深度分析我省草地贪夜蛾种群抗性发展规律;同时建议生产上轮换使用作用机理不同的高效防治药剂,避免同区

域一个生产季节连续多次使用同一种杀虫剂,以避免或延缓抗药性的产生和发展。

参考文献 (References)

- Al-Sarar A, Hall FR, Downer RA, 2006. Impact of spray application methodology on the development of resistance to cypermethrin and spinosad by fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). *Pest Management Science*, 62(11): 1023–1031.
- Banerjee R, Hasler J, Meagher R, Nagoshi R, Hietala L, Huang FN, Narva K, Jurat-Fuentes JL, 2017. Mechanism and DNA-based detection of field-evolved resistance to transgenic Bt corn in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Scientific Reports*, 7: 1–10.
- Cui L, Rui CH, Li YP, Wang QQ, Yang DB, Yan XJ, Guo YW, Yuan HZ, 2019. Research and application of chemical control technology against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in foreign countries. *Plant Protection*, 45(4): 7–13. [崔丽, 芮昌辉, 李永平, 王芹芹, 杨代斌, 闫晓静, 郭永旺, 袁会珠, 2019. 国外草地贪夜蛾化学防治技术的研究与应用. 植物保护, 45(4): 7–13.]
- Fukuda H, Nagata T, 1969. Selective toxicity of several insecticides on three planthoppers. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 13(3): 142–149.
- Gao XW, 1988. A new strategy for the management of migratory pest resistance—zonal application. *World Agriculture*, 1988(9): 37–38. [高希武, 1988. 迁飞性害虫抗性治理的新策略——分区施药. 世界农业, 1988(9): 37–38.]
- Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sanchez D, Blanco CA, Whalon ME, Terán-Santofimio H, Terán-Santofimio JC, 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.
- Han QY, Zeng XJ, Huang MS, Tang CZ, Hu G, Gong SW, Zeng QL, Zhou HM, 2021. Field control effect of 6 kinds of pesticides on controlling the larva of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* on sweet corn. *Hubei Plant Protection*, 2021(4): 11–13. [韩群营, 曾学军, 黄明生, 汤长征, 胡刚, 龚世伟, 曾庆利, 周厚敏, 2021. 6种杀虫剂对甜玉米上草地贪夜蛾幼虫的田间防治效果. 湖北植保, 2021(4): 11–13.]
- Heinrichs EA, 1994. Impact of Insecticides on the Resistance and Resurgence of Rice Planthoppers. Boston, MA: Springer. 571–598.
- Jiang YY, Liu J, Xie MC, Li YH, Yang JJ, Zhang ML, Qiu K, 2019.

- Observation on law of diffusion damage of *Spodoptera frugiperda* in China in 2019. *Plant Protection*, 45(6): 10–19. [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.]
- Jiang YY, Liu J, Wu QL, Ciren ZG, Zeng J, 2021. Investigation on winter breeding and overwintering areas of *Spodoptera frugiperda* in China. *Plant Protection*, 47(1): 212–217. [姜玉英, 刘杰, 吴秋琳, 次仁卓嘎, 曾娟, 2021. 我国草地贪夜蛾冬繁区和越冬区调查. 植物保护, 47(1): 212–217.]
- Li XJ, Wu MF, Ma J, Gao BY, Wu QL, Chen AD, Liu J, Jiang YY, Zhai BP, Early R, Chapman JW, Hu G, 2020. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. *Pest Management Science*, 76(2): 454–463.
- Li ZY, Dai QX, Kuang ZL, Liang MR, Wang L, Lu YY, Chen KW, 2019. Effects of three artificial diets on development and reproduction of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Journal of Environmental Entomology*, 41(6): 1147–1154. [李子园, 戴钊萱, 邝昭琅, 梁铭荣, 王磊, 陆永跃, 陈科伟, 2019. 3 种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育及繁殖力的影响. 环境昆虫学报, 41(6): 1147–1154.]
- Lu YH, Tian JC, Zheng XS, XU HX, Yang YJ, Yang TY, Shi ZY, Lv ZX, 2019. Laboratory toxicity of 26 insecticides against different instar larvae of *Spodoptera frugiperda*. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 31(12): 2049–2056. [鲁艳辉, 田俊策, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 杨太源, 石兆云, 吕仲贤, 2019. 二十六种杀虫剂对不同龄期草地贪夜蛾幼虫的室内毒力. 浙江农业学报, 31(12): 2049–2056.]
- Luo J, Ma J, Wu MF, Qi GJ, Liu J, Tang J, Hu G, 2020. Original area of fall armyworm individuals newly invaded in Zhejiang province. *Chinese Journal of Rice Science*, 34(1): 80–87. [罗举, 马健, 武明飞, 齐国君, 刘杰, 唐健, 胡高, 2020. 浙江入侵草地贪夜蛾的迁入虫源. 中国水稻科学, 34(1): 80–87.]
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2008. Pesticide indoor bioassay test guidelines for pesticides Part 14: Leaf dip method: NY/T1154.14-2008.[中华人民共和国农业部, 2008. 农药室内生物测定试验准则 杀虫剂 第 14 部分: 浸叶法: NY/T1154.14-2008.]
- Nagoshi RN, Fleischer S, Meagher RL, Hay-Roe M, Khan A, Murúa MG, Silvie P, Vergara C, Westbrook J, 2017. Fall armyworm migration across the Lesser Antilles and the potential for genetic exchanges between North and South American populations. *PLoS ONE*, 12(2): e0175076.
- Okuma DM, Bernardi D, Horikoshi RJ, Bernardi O, Silva AP, Omoto C, 2018. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. *Pest Management Science*, 74(6): 1441–1448.
- Qiu LM, Huang XY, Yang XJ, Guan RF, Liu QQ, Lu XS, Liu BP, He YX, 2019. Field monitoring on invasion of and insecticide efficacy on *Spodoptera frugiperda* in Fujian. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 34(12): 1426–1432. [邱良妙, 黄晓燕, 杨秀娟, 关瑞峰, 刘其全, 卢学松, 刘必炮, 何玉仙, 2019. 福建省草地贪夜蛾入侵动态监测与药剂防治技术研究. 福建农业学报, 34(12): 1426–1432.]
- Qiu LM, Liu QQ, Tian XH, Chen YS, Huang XY, Lin RK, Yang XJ, Liu BP, Wang ZH, He YX, Zhan ZX, 2020. Cold hardiness and overwintering ability of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* populations in Fujian province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(6): 1299–1310. [邱良妙, 刘其全, 田新湖, 陈益生, 黄晓燕, 林仁魁, 杨秀娟, 刘必炮, 王竹红, 何玉仙, 占志雄, 2020. 福建省草地贪夜蛾种群的耐寒性与越冬能力研究. 应用昆虫学报, 57(6): 1299–1310.]
- Tian XH, 2020. Occurrence and damage dynamics of *Spodoptera frugiperda* in grassland of central Fujian in 2019. *China Plant Protection*, 40(10): 75–78. [田新湖, 2020. 2019 年闽中地区草地贪夜蛾发生为害动态. 中国植保导刊, 40(10): 75–78.]
- Togola A, Meseka S, Menkir A, Badu-Apraku B, Boukar O, Tamò M, Djouaka R, 2018. Measurement of pesticide residues from chemical control of the invasive *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in a maize experimental field in Mokwa, Nigeria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5): 849.
- Wang QQ, Cui L, Wang L, Liang P, Yuan HZ, Rui CH, 2019. Research progress on insecticides resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 21(4): 401–408. [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.]
- Wu KM, 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Protection*, 46(2): 1–5. [吴孔明, 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5.]
- Wu QL, Jiang YY, Hu G, Wu KM, 2019. Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from tropical and southern subtropical zones of China. *Plant Protection*, 45(3): 1–9. [吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 吴孔明, 2019. 中国热带和亚热带地区草地贪夜蛾春夏两

- 季迁飞轨迹的分析. 植物保护, 45(3): 1–9.]
- Yang PY, Zhu XM, Guo JF, Wang ZY, 2019. Strategy and advice for managing the fall armyworm in China. *Plant Protection*, 45(4): 1–6. [杨普云, 朱晓明, 郭井菲, 王振营, 2019. 我国草地贪夜蛾的防控对策与建议. 植物保护, 45(4): 1–6.]
- Yao HW, Jiang CY, Ye GY, Cheng JA, 2002. Insecticide resistance of different populations of white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(1): 101–105. [姚洪渭, 蒋彩英, 叶恭银, 程家安, 2002. 白背飞虱不同地区种群的抗药性研究. 应用生态学报, 13(1): 101–105.]
- Yin YQ, Zhang HM, Li YC, Tian WK, Yang YJ, Luo R, Li XY, Zhao XQ, Liu Y, Wang Y, Chen FS, Chen AD, 2019. Laboratory toxicity of eight insecticides against *Spodoptera frugiperda* from different areas in Yunnan. *Plant Protection*, 45(6): 70–74. [尹艳琼, 张红梅, 李永川, 田维遼, 杨毅娟, 罗嵘, 李向永, 赵雪晴, 刘莹, 王燕, 陈福寿, 湛爱东, 2019. 8 种杀虫剂对云南不同区域草地贪夜蛾种群的室内毒力测定. 植物保护, 45(6): 70–74.]
- Yu SJ, 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 85(3): 675–682.
- Yu SJ, Nguyen SN, Abo-Elghar GE, 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 77(1): 1–11.
- Zeng J, Yin L, Zhang S, Xu WG, Yu HB, Du YJ, 2018. Enlightenment and thinking of monitoring and control of rice migratory pests and virus diseases in South Korea to my country's plant protection work. *China Agricultural Technology Extension*, 34(12): 18–21. [曾娟, 尹丽, 张帅, 许渭根, 喻宏斌, 杜永均, 2018. 韩国水稻迁飞性害虫与病毒病监测防治对我国植保工作的启示与思考. 中国农技推广, 34(12): 18–21.]
- Zhang QY, Zhang YL, Ma Y, Lv N, Liu WH, Jiang HX, Liu CZ, 2021. Laboratory activities of sixteen insecticides against *Spodoptera frugiperda*. *Modern Agrochemicals*, 20(4): 48–51. [张强艳, 张艳蕾, 马岳, 吕宁, 刘卫红, 姜红霞, 刘长仲, 2021. 16 种杀虫剂对草地贪夜蛾的室内活性. 现代农药, 20(4): 48–51.]
- Zhao SY, Sun XX, Zhang HW, Yang XM, Wu KM, 2019. Laboratory test on the control efficacy of common chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(3): 10–14, 20. [赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 杨现明, 吴孔明, 2019. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定. 植物保护, 45(3): 10–14, 20.]