

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

肖汉祥¹, 袁龙宇¹, 高艳^{1,2}, 张振飞¹, 李振宇¹, 李燕芳^{1*}

(1. 广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640;

2. 华南农业大学, 广州 510640)

摘要 采用饲料浸药法测定了草地贪夜蛾对氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、虫螨腈的相对敏感基线,并测定了广东省广州、东莞、开平、平远和阳江等 5 地田间草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和虫螨腈的抗药性。结果表明:上述 4 种药剂对敏感草地贪夜蛾种群 2 龄幼虫的 LC_{50} 在 0.037~0.300 6 mg/L 之间。除平远种群对氯虫苯甲酰胺保持敏感外,其余 4 个种群对氯虫苯甲酰胺抗性在 3.51~9.99 倍之间,属低水平抗性;阳江和东莞种群对多杀霉素的抗性分别为 17.62 倍和 17.71 倍,属中等水平抗性;其他 3 个种群对多杀霉素抗性在 4.69~7.60 倍之间,属低水平抗性;除平远草地贪夜蛾种群对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐抗性倍数为 5.34 倍,属低水平抗性外,其他 4 个草地贪夜蛾种群对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐抗性倍数在 0.39~1.08 倍之间,属于敏感水平;开平草地贪夜蛾种群对虫螨腈的抗性倍数为 10.77 倍,属中等水平抗性;广州、东莞和阳江草地贪夜蛾种群对虫螨腈的抗性倍数在 4.21~8.84 倍之间,属低水平抗性;平远草地贪夜蛾种群对虫螨腈的抗性倍数为 2.37 倍,属敏感水平。

关键词 广东; 草地贪夜蛾; 杀虫剂; 抗药性

中图分类号: S 482.3 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2022069

Monitoring of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) resistance to four types of insecticides in Guangdong

XIAO Hanxiang¹, YUAN Longyu¹, GAO Yan^{1,2}, ZHANG Zhenfei¹, LI Zhenyu¹, LI Yanfang^{1*}

(1. Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Science, Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Guangzhou 510640, China; 2. South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China)

Abstract The relative sensitivity baseline of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) to chlorantraniliprole, spinosad, emamectin benzoate and chlorfenapyr was determined by artificial diet dipping bioassay method, and the resistance of *S. frugiperda* populations to four kinds of pesticides in Guangzhou, Dongguan, Kaiping, Pingyuan and Yangjiang in Guangdong province was determined. The results showed that the LC_{50} values of the above four insecticides on the 2nd instar larvae of the sensitive *S. frugiperda* population were between 0.037 mg/L and 0.300 6 mg/L. The results of resistance monitoring showed that the resistance multiple of *S. frugiperda* population to chlorantraniliprole in Pingyuan was 1.54 times, which belonged to the sensitive level, while that in the other four places to chlorantraniliprole was 3.51–9.99 times than the sensitivity baseline, which belonged to the low level of resistance. The resistance multiples of *S. frugiperda* populations to spinosad in Yangjiang and Dongguan were 17.62 and 17.71 times, respectively, belonging to medium level resistance, while that in the other three places are between 4.69–7.60, which belonged to low-level resistance. Except that the population of *S. frugiperda* in Pingyuan was 5.34 times resistant to emamectin benzoate, which was a low-level resistance, that in other four places was 0.39–1.08 times, which was a sensitive level. The resistance multiple of *S. frugiperda*

收稿日期: 2022-02-10 修订日期: 2022-05-10

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1400703)

* 通信作者 E-mail: 289730351@qq.com

population in Kaiping to chlorfenapyr is 10.77 times, which belonged to medium level resistance, while that in Guangzhou, Dongguan and Yangjiang was between 4.21–8.84 times, which belonged to low-level resistance, and that in Pingyuan was 2.37 times, which belonged to the sensitive level.

Key words Guangdong; *Spodoptera frugiperda*; insecticide; 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*, 原分布于美洲^[1], 可为害玉米、水稻、花生、高粱和大豆等作物^[2]。在玉米上, 草地贪夜蛾幼虫主要取食鲜嫩幼叶, 影响玉米生长, 降低玉米产量^[3]。2018 年 12 月 26 日在云南省普洱市江城县宝藏镇进行小春作物病虫害调查期间发现草地贪夜蛾入侵中国^[4], 2019 年 1 月–3 月该虫在云南多地蔓延为害, 4 月相继侵入广西、广东、贵州、湖南、海南, 5 月快速扩散至福建、湖北、浙江、四川、江西、重庆、河南等地^[5–6]。草地贪夜蛾可以在我国北回归线以南的热带、亚热带地区以及中南半岛大部分地区周年繁殖^[7], 并且该虫可能在我国形成季节性南北迁飞, 成为一种常发性害虫^[8]。

2000 年之前, 美洲地区对草地贪夜蛾的防治以化学防治为主^[9], 由于抗药性问题, 当地于 2000 年开始种植 Bt 抗虫玉米, 但自 2007 年起陆续在多个国家发现该虫对 *Cry1F*、*Cry1Ab*、*Cry2A* 和 *Vip3A* 产生抗性并导致 Bt 抗虫玉米防效下降^[10–15], 因此南美洲大部分地区又重新使用杀虫剂进行防控。目前草地贪夜蛾已对 41 种杀虫剂产生了不同程度的抗性, 包括有机磷类、拟除虫菊酯类、双酰胺类、多杀霉素等^[16]。Gutiérrez-Moreno 等 2018 年发现美国波多黎各田间草地贪夜蛾种群已对多种新型作用机制杀虫剂产生了高水平抗性, 如氟苯虫酰胺(500 倍)和氯虫苯甲酰胺(160 倍), 对乙基多杀菌素(14 倍)也显示出了中等水平抗性, 此外对多杀霉素(8 倍)、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(7 倍)和阿维菌素(7 倍)均处于低水平抗性阶段^[9]。

广东位于我国华南地区, 属于亚热带季风气候, 十分适合草地贪夜蛾周年繁殖, 在我国草地贪夜蛾的发生和防治上具有极其重要的地理位置。因此, 很有必要定期、系统地监测广东不同地区草地贪夜蛾对常用药剂的抗性水平, 为指导田间科学用药和开展草地贪夜蛾抗药性治理提供依据。本研究采用浸渍法, 测定了广东省 5 个不同地区草地贪夜蛾对氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)和虫螨腈等 4 种常用杀虫剂的抗药性, 为草地贪夜蛾合理用药提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

草地贪夜蛾敏感种群: 由广东省农业科学院植物保护研究所章玉苹研究团队 2019 年 7 月从广西北海市合浦县未施用过任何药剂的牧草上采集, 后在室内用人工饲料饲养, 期间不接触任何杀虫剂。饲养条件: 温度(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 光照周期 L//D=16 h//8 h, 相对湿度(70 ± 5)%。

供试草地贪夜蛾种群: 2021 年 6 月至 2021 年 10 月间, 分别从广东省广州、东莞、开平、平远、阳江 5 个地区玉米田采回高龄幼虫或成虫, 在室内人工饲料饲养 1 代, 饲养条件: 温度(27 ± 1) $^{\circ}\text{C}$, 光照周期 L//D=16 h//8 h, 相对湿度(70 ± 5)%。

1.2 供试药剂

99% 氯虫苯甲酰胺原药、92.5% 多杀霉素原药、71.2% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)原药、98% 虫螨腈原药均由湖南农大海特农化有限公司提供; 二甲基亚砜(江苏强盛功能化学股份有限公司, 市售)、丙酮(国药集团化学试剂有限公司, 市售)均为分析纯, 吐温-80(天津市科密欧化学试剂有限公司, 市售), 化学纯。

1.3 试验方法

1.3.1 草地贪夜蛾对 4 种药剂敏感基线的测定

供试虫源为草地贪夜蛾敏感种群室内饲养 20 代的 2 龄幼虫, 测定方法为浸渍法。参照农业行业标准《NY/T 1154.14-2008 农药室内生物测定试验准则杀虫剂第 14 部分: 浸叶法》^[17] 进行生物测定, 略有改动。具体步骤为: 根据预备试验, 将原药配制成母液, 除氯虫苯甲酰胺用二甲基亚砜溶解外, 其余原药均用丙酮溶解, 然后用 0.1% 吐温-80 水溶液将母液等比稀释成 5~6 个系列浓度, 将配制好的人工饲料切成长 1.1 cm、宽 0.8 cm、高 0.4 cm 的小片。分别将饲料小片在不同浓度的药液中浸泡 20 s 后, 放在滤纸上阴干后置于 1.8 cm $\times$ 2.3 cm $\times$ 2.3 cm 的有盖透明塑料小盒中。每盒放入一片经药液处理的人工饲料, 并接入 1 头 2 龄幼虫, 每 10 盒为一组(处理), 每处理重复 3 次。以 0.1% 吐温-80 和 0.1% 相对有机溶剂的水

溶液处理为对照。根据不同药剂的作用特点,氯虫苯甲酰胺在处理 96 h 检查结果,其余 3 种药剂均在处理后 48 h 检查结果。用毛笔轻触幼虫无反应则视为死亡。

1.3.2 广东不同地区草地贪夜蛾田间种群虫源对 4 种药剂的抗药性

供试虫源为广东 5 个不同地区田间种群室内饲养 1 代的 2 龄幼虫,测定方法同 1.3.1 方法。

1.4 数据处理

采用 DPS 数据处理软件进行统计分析,计算药剂毒力回归方程、 LC_{50} 及 95 % 置信限和相关系数。以 LC_{50} 的 95% 置信区间是否重叠判断不同来源地草地贪夜蛾种群对同一种杀虫剂的抗性是否差异显著^[18-19]。

抗性倍数(RR)=测试种群 LC_{50} /敏感种群 LC_{50} 。

表 1 4 种常用药剂对草地贪夜蛾的敏感性测定

Table 1 Relative susceptible baselines of *Spodoptera frugiperda* to four insecticides

药剂 Insecticide	斜率±标准误 Slope±SE	χ^2	<i>df</i>	<i>P</i>	LC_{50} (95 % 置信限)/mg · L ⁻¹ LC_{50} (95 % FL)
氯虫苯甲酰胺 chlorantraniliprole	0.551 2±0.137 0	3.265 1	4	0.514 5	0.037 0(0.013 6~0.089 7)
多杀霉素 spinosad	3.491 1±0.836 7	3.006 8	4	0.556 7	0.083 1(0.058 1~0.114 6)
甲维盐 emamectin benzoate	3.051 7±0.483 6	0.592 3	4	0.963 9	0.153 0(0.119 7~0.189 5)
虫螨腈 chlorfenapyr	1.850 3±0.337 9	7.636 1	3	0.054 2	0.300 6(0.187 7~0.414 4)

2.2 广东不同地区草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺的抗药性

由表 2 可知,除平远草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺抗性倍数为 1.54 倍,属敏感水平外,其余 4

参考 Gutierrez-Moreno 等的研究设定抗性水平划分标准:抗性倍数<3.0 为敏感水平;3.1~10.0 为低水平抗性;10.1~40.0 为中等水平抗性;40.1~200.0 为高水平抗性^[9]。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾 2 龄幼虫对 4 种杀虫剂的相对敏感基线

相对敏感基线测定结果(表 1)表明,草地贪夜蛾 2 龄幼虫对氯虫苯甲酰胺最敏感, LC_{50} 为 0.037 mg/L;对甲维盐、多杀霉素和虫螨腈 3 种杀虫剂 LC_{50} 均小于 1 mg/L。草地贪夜蛾 2 龄幼虫对不同药剂的敏感性由高到低依次为氯虫苯甲酰胺、多杀霉素、甲维盐和虫螨腈。

个地区草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺抗性倍数在 3.51~9.99 倍之间,属低水平抗性。从 LC_{50} 置信限来看,广东省不同地区草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺的抗性差异不显著。

表 2 广东不同地区草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺的抗药性

Table 2 Resistance levels of Guangdong *Spodoptera frugiperda* populations to chlorantraniliprole

种群 Population	斜率±标准误 Slope±SE	χ^2	<i>df</i>	<i>P</i>	LC_{50} (95 % 置信限)/mg · L ⁻¹ LC_{50} (95 % FL)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
广州 Guangzhou	1.804 5±0.442 5	2.583 6	3	0.460 4	0.267 2(0.070 2~0.460 3)	7.22
阳江 Yangjiang	1.597 3±0.380 7	3.892 1	3	0.273 3	0.332 7(0.222 3~0.567 9)	8.99
平远 Pingyuan	1.750 9±0.423 2	1.411 7	4	0.842 2	0.057 0(0.010 0~0.112 7)	1.54
开平 Kaiping	1.372 6±0.285 7	4.873 0	3	0.181 3	0.129 9(0.054 6~0.213 0)	3.51
东莞 Dongguan	0.993 7±0.211 0	3.395 7	4	0.493 9	0.369 5(0.119 3~0.652 2)	9.99

2.3 广东不同地区草地贪夜蛾种群对多杀霉素的抗药性

表 3 结果表明,阳江草地贪夜蛾种群对多杀霉素抗性倍数最高,为 17.62 倍,东莞草地贪夜蛾种群对多杀霉素抗性倍数 17.71 倍,上述 2 个地区草地贪夜蛾种群对多杀霉素属中等水平抗性;其他 3 个地区草地贪夜蛾种群对多杀霉素抗性倍数在 4.69~7.60 倍之间,属低水平抗性。从 LC_{50} 置信限来看,广州、平远、开平的草地贪夜蛾种群对多杀霉素的抗性差异不显著;阳江草地贪夜蛾种群和东莞草

地贪夜蛾种群对多杀霉素的抗性差异不显著,与其余 3 个地方的抗性差异显著。

2.4 广东不同地区草地贪夜蛾种群对甲维盐的抗药性

表 4 结果表明,除平远草地贪夜蛾种群对甲维盐抗性倍数为 5.34 倍,属低水平抗性外,其他 4 个地区草地贪夜蛾种群对甲维盐抗性倍数在 0.39~1.08 倍之间,属于敏感水平。从 LC_{50} 置信限来看,广州、阳江、开平、东莞的草地贪夜蛾种群对甲维盐的抗性差异不显著,与平远的抗性差异显著。

表 3 广东不同地区草地贪夜蛾种群对多杀霉素的抗药性

Table 3 Resistance levels of Guangdong *Spodoptera frugiperda* populations to spinosad

种群 Population	斜率±标准误差 Slope±SE	χ^2	<i>df</i>	<i>P</i>	LC ₅₀ (95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95%FL)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
广州 Guangzhou	2.453 5±0.386 7	3.839 6	4	0.428 2	0.390 1(0.257 7~0.521 1)	4.69
阳江 Yangjiang	1.689 8±0.279 5	8.612 2	5	0.125 6	1.463 9(0.966 2~2.854 4)	17.62
平远 Pingyuan	3.797 4±0.746 4	1.561 4	4	0.815 7	0.631 6(0.479 1~0.800 7)	7.60
开平 Kaiping	1.768 2±0.351 2	4.673 3	3	0.197 3	0.455 4(0.304 6~0.658 6)	5.48
东莞 Dongguan	7.068 0±1.746 8	6.715 9	3	0.081 5	1.471 8(1.083 4~1.897 5)	17.71

表 4 广东不同地区草地贪夜蛾种群对甲维盐的抗药性

Table 4 Resistance levels of Guangdong *Spodoptera frugiperda* populations to emamectin benzoate

种群 Population	斜率±标准误差 Slope±SE	χ^2	<i>df</i>	<i>P</i>	LC ₅₀ (95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95%FL)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
广州 Guangzhou	2.878 2±0.639 4	3.262 1	4	0.515 0	0.165 4(0.050 9~0.272 6)	1.08
阳江 Yangjiang	1.167 9±0.467 5	0.348 8	2	0.840 0	0.060 2(0.001 0~0.117 7)	0.39
平远 Pingyuan	1.803 3±0.355 2	0.791 9	3	0.851 4	0.817 6(0.535 3~1.163 8)	5.34
开平 Kaiping	0.185 2±0.185 7	3.414 2	3	0.332 1	0.092 3(0.022 7~0.204 1)	0.60
东莞 Dongguan	2.494 6±0.316 1	7.267 2	5	0.201 5	0.097 0(0.065 0~0.128 0)	0.63

2.5 广东不同地区草地贪夜蛾种群对虫螨腈的抗药性

表 5 结果表明,开平草地贪夜蛾种群对虫螨腈的抗性倍数最高,为 10.77 倍,属中等水平抗性;广州、东莞和阳江草地贪夜蛾种群对虫螨腈的抗性倍数在 4.21~8.84 倍之间,属低水平抗性;平远草地

贪夜蛾种群对虫螨腈的抗性倍数为 2.37 倍,属敏感水平。从 LC₅₀ 置信限来看,广州和开平草地贪夜蛾种群对虫螨腈抗性差异不显著,阳江和东莞草地贪夜蛾种群对虫螨腈抗性差异不显著,平远和阳江草地贪夜蛾种群对虫螨腈抗性差异不显著。

表 5 广东不同地区草地贪夜蛾种群对虫螨腈的抗药性

Table 5 Resistance Levels of Guangdong *Spodoptera frugiperda* populations to chlorfenapyr

种群 Population	斜率±标准误差 Slope±SE	χ^2	<i>df</i>	<i>P</i>	LC ₅₀ (95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95%FL)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
广州 Guangzhou	5.555 6±1.077 4	0.368 8	3	0.946 6	2.658 3(2.217 4~3.244 7)	8.84
阳江 Yangjiang	2.446 9±0.309 9	7.423 6	4	0.115 1	1.264 6(0.838 7~1.665 9)	4.21
平远 Pingyuan	2.612 2±0.476 4	7.872 7	4	0.096 4	0.711 1(0.549 7~1.008 4)	2.37
开平 Kaiping	6.711 5±1.234 1	5.770 4	3	0.123 3	3.238 5(2.825 9~4.009 6)	10.77
东莞 Dongguan	3.054 7±0.418 8	2.992 5	3	0.392 8	1.683 8(1.187 9~2.135 7)	5.60

3 结论与讨论

目前我国防控草地贪夜蛾以施用化学杀虫剂为主,但由于我国地域广阔,草地贪夜蛾迁入虫源不同且不同地区草地贪夜蛾的发生情况、用药品种和用药频次存在差异,导致不同地区草地贪夜蛾种群对杀虫剂的抗药性水平也存在差异。因此加强不同地区草地贪夜蛾对常用杀虫剂抗药性水平监测,对于指导不同地区因地制宜地合理用药具有重要意义。建立靶标害虫对不同药剂的敏感基线是进行抗药性监测的前提,目前关于国内草地贪夜蛾对常用杀虫剂敏感基线的报道较少,只王欢欢等报道了草地贪夜蛾 3 龄幼虫对 7 种杀虫剂的相对敏感基线^[19]。本研究结果与上述报道的差异较大,一方面可能是最初虫源的来源地不同,本文敏感虫源采自广西,其

迁入虫源主要来源于泰国、老挝和越南^[20],而王欢欢报道的虫源采自云南,其迁入虫源主要来源于缅甸^[19]。另一方面,王欢欢等测试的草地贪夜蛾幼 3 龄幼虫在室内饲养了 5~7 代,而本研究测试的草地贪夜蛾 2 龄幼虫在室内饲养了 20 代,对各种常用药剂更为敏感。

草地贪夜蛾的化学防治历史悠久,从过去使用有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类,到近些年的阿维菌素类、酰胺类、多杀霉素类等多种药剂均被用于草地贪夜蛾的防治^[21]。目前许多国家的草地贪夜蛾田间种群对多数药剂产生了不同程度抗性。从本次监测结果看,广东不同地区草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺、多杀菌素、甲维盐和虫螨腈均已产生不同程度的抗药性。广州、阳江、开平和东莞草地贪夜蛾种群对氯虫苯甲酰胺已产生低水平抗性;阳江和东莞草

地贪夜蛾种群对多杀霉素已产生中等水平抗性,广州、开平和平远草地贪夜蛾对多杀霉素已产生低水平抗性;平远草地贪夜蛾种群对甲维盐已产生低水平抗性;开平草地贪夜蛾种群对虫螨腈已产生中等水平抗性,广州、东莞和阳江草地贪夜蛾对虫螨腈已产生低水平抗药性。本结果与国内一些相关报道^[21-25]相似。

2019年草地贪夜蛾入侵我国并完成定殖,2020年进入暴发为害阶段^[26],草地贪夜蛾的防控工作形势严峻。草地贪夜蛾常用的防控方法包括农业防治、生物防治、化学防治等,目前化学防治仍是草地贪夜蛾的主要手段,但长期或大量使用化学农药易促使草地贪夜蛾抗药性逐渐形成。因此系统监测我国不同地区草地贪夜蛾对常用杀虫剂的抗药性,为其科学有效防治提供理论支持具有重要的意义。

参考文献

- [1] MURUA M G, MOLINA-OCCHOA J, FIDALGO P. Natural distribution of parasitoids of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Argentina [J/OL]. Journal of Insect Science, 2009, 9(1): 20. DOI: 10.1673/031.009.2001.
- [2] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286–301.
- [3] 秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 等. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 43–47.
- [4] 姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 33–35.
- [5] 刘杰, 姜玉英, 吴秋琳, 等. 我国草地贪夜冬春季发生为害特点和下半年发生趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(7): 36–38.
- [6] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 1–6.
- [7] REGAN EARLY, GONZÁLEZ-MORENO P, SEAN T M, et al. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm [J]. NeoBiota, 2018, 40: 25–50.
- [8] LI Xijie, WU Mingfei, MA Jian, et al. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach [J]. Pest Management Science, 2020, 6(2): 454–463.
- [9] GUTIÉRREZ-MORENO R, MOTA-SANCHEZ D, BLANCO C A, et al. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico [J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(2): 792–802.
- [10] NICHOLAS P S, JONATHAN M B, MICHELE S, et al. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize; *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico [J]. Journal of Economic Entomology, 2010, 103(4): 1031–1038.
- [11] OMOTO C, BERNARDI O, SALMERON E, et al. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil [J]. Pest Management Science, 2016, 72(9): 1727–1736.
- [12] FARIASA J R, ANDOW D A, HORIKOSHI R J, et al. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil [J]. Crop Protection, 2014, 64: 150–158.
- [13] HUANG Fangneng, QURESHI J A, HEAD G P, et al. Frequency of *Bacillus thuringiensis* Cry1A.105 resistance alleles in field populations of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Louisiana and Florida [J]. Crop Protection, 2016, 83: 83–89.
- [14] YANG Fei, KERNS D L, HEAD G P, et al. Cross-resistance to purified Bt proteins, Bt corn and Bt cotton in a Cry2Ab2-corn resistant strain of *Spodoptera frugiperda* [J]. Pest Management Science, 2017, 73(12): 2495–2503.
- [15] APRD. Arthropod pesticide resistance database [DB/OL]. Michigan State University, 2019. <http://www.pesticideresistance.org>.
- [16] SPARKS T C, CROSTHWAITE A J, NAUEN R, et al. Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification—a tool for resistance management [J/OL]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2020, 167: 104587. DOI: 10.1016/j.pestbp.2020.104587.
- [17] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则杀虫剂第14部分: 浸叶法: NY/T 1154.14[S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [18] 王鹏, 甯佐苹, 张帅, 等. 我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 191–197.
- [19] 王欢欢, 吕圣兰, 赵瑞, 等. 草地贪夜蛾幼虫对常用杀虫剂相对敏感基线的建立[J]. 昆虫学报, 2021, 64(12): 1427–1432.
- [20] 陈辉, 武明飞, 刘杰, 等. 我国草地贪夜蛾迁飞路径及其发生区划[J]. 植物保护学报, 2020, 47(4): 747–757.
- [21] 李永平, 张帅, 王晓军, 等. 草地贪夜蛾抗药性现状及化学防治策略[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 14–19.
- [22] 苏湘宁, 廖章轩, 李传瑛, 等. 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[J]. 南方农业学报, 2020, 51(6): 1274–1281.
- [23] 蒋兴川, 沈泽丹, 孙劲超, 等. 氯虫苯甲酰胺和甲维盐对草地贪夜蛾幼虫的毒力及解毒酶活性的影响[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 782–788.
- [24] 赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 10–14.
- [25] 宋洁蕾, 李艳丽, 李亚红, 等. 不同杀虫剂对草地贪夜蛾的室内毒杀效果及毒力测定[J]. 南方农业学报, 2019, 50(7): 1489–1495.
- [26] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 1–5.