



金涛, 林玉英, 马光昌, 温海波, 马子龙, 易克贤, 彭正强. 常规杀虫剂组合对草地贪夜蛾的防治效果及其经济性评价 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 766-774.

常规杀虫剂组合对草地贪夜蛾的防治效果及其经济性评价

金涛, 林玉英, 马光昌, 温海波, 马子龙, 易克贤, 彭正强*

(中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 农业部热带农林有害生物入侵监测与控制重点开放实验室, 海口 571101)

摘要: 比较 7 种常规杀虫剂组合对玉米田草地贪夜蛾的防效、喇叭口受害率以及用药经济性关系。表明了乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC 和甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 这 3 种组合, 对草地贪夜蛾防效较好, 14 d 后, 对低龄幼虫防效达 93.7% ~ 95.69%, 高龄幼虫防效达 93.49% ~ 97.07%。乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 和氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC 等组合, 在药后 14 d 喇叭口受害率显著降低, 仅 8.33% ~ 11.67%。对防效和植株止损投入比分析认为, 考虑用药经济性, 推荐氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC 的处理组合, 能获得较好的防效; 在防治预算充足条件下, 推荐甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、苏云金杆菌 SC 和甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 能达到更好地防治目标。

关键词: 草地贪夜蛾; 杀虫剂; 田间药效; 杀虫剂成本

中图分类号: Q968.1; S433.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2019) 04-0766-09

Control efficacy of the combinations of several conventional insecticides on fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) and their economic

JIN Tao, LIN Yu-Ying, MA Guang-Chang, WEN Hai-Bo, MA Zi-Long, YI Ke-Xian, PENG Zheng-Qiang* (Environment and Plant Protection Institute of China Academy of Tropical Agricultural Science, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Tropical Crops of Ministry of Agriculture of China, Haikou 571101, China)

Abstract: Control efficacy, whorl injury rate, and insecticides costs of 7 insecticide combinations using for control fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, was compared in corn field. The results showed that spinetoram 60 g/L SC + *Bacillus thuringiensis* 8 000 IU/ μ L SC, avermectin benzoate 5% EC + *B. thuringiensis* 8 000 IU/ μ L SC, and avermectin benzoate 5% EC + lufenuron 20% EC had the better control efficacy to *S. frugiperda*. Their control efficacy was 93.7% ~ 95.69% on lower instar larvae and 93.49% ~ 97.07% on higher instar larvae at day 14 after treatment. Meanwhile, spinetoram 60 g/L SC + *B. thuringiensis* 8 000 IU/ μ L SC, avermectin benzoate 5% EC + *B. thuringiensis* 8 000 IU/ μ L SC, avermectin benzoate 5% EC + lufenuron 20% EC, and beta-cypermethrin 1.5% EC & phoxim 18.5% EC + lufenuron 20% EC had significant lower whorl injury rate at day 14 after treatment, which was 8.33% ~ 11.67%. The comparison of control efficacy and insecticide cost showed that 1.5% beta-

基金项目: 农业农村部 2019 年草地贪夜蛾监测防治应急调研指导项目; 中国热带农业科学院创新团队项目 (1630042017012)

作者简介: 金涛, 男, 1979 年生, 安徽庐江人, 博士, 研究方向为入侵害虫综合治理, E-mail: Jintao337@aliyun.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 彭正强, 研究员, 博士研究生导师, 主要从事热带入侵害虫防控、生物防治、害虫综合治理和瓢虫分类等研究, E-mail: lypzhq@163.com

收稿日期 Received: 2019-07-17; 接受日期 Accepted: 2019-07-19

cypermethrin & 18.5% phoxim EC + lufenuron 20% EC should be recommend as lack of finances for control this insect. Moreover, avermectin benzoate 5% EC + *B. thuringiensis* 8 000 IU/ μ L SC, *B. thuringiensis* 8 000 IU/ μ L SC, and avermectin benzoate 5% EC + Lufenuron 20% EC will be recommend and would attain a better control efficacy as sufficient control funds exist.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; insecticide; control efficacy; insecticide cost

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 是一种严重威胁农业生产的重大危险性迁飞害虫。自 2019 年 1 月入侵迁飞至我国云南省江城县 (姜玉英等, 2019), 截止 7 月 5 日, 已发生于我国 20 个省区的 1 128 个县区, 发生面积 831 万亩 (王磊等, 2019a)。预测结果显示该虫将可能进一步继续北迁至华北、西北和东北等粮食主产区 (王磊等, 2019a; 吴秋琳等, 2019a; 吴秋琳等, 2019b)。我国玉米、高粱和甘蔗等农作物生产将受到严重威胁, 防控形势严峻。

农业农村部自草地贪夜蛾疫情在亚洲国家和地区迁入爆发开始, 就严密关注该虫发生态势, 高度重视监测与防控工作。在 2018 年 12 月安排部署了草地贪夜蛾监测预警工作, 全国农技中心 2019 年 1 月印发了《关于做好草地贪夜蛾侵入危害防范工作的通知》(中国植保导刊讯, 2019), 2019 年 6 月农业农村部正式印发《全国草地贪夜蛾防控方案》, 对我国草地贪夜蛾防控目标任务和监测与防控措施等方面作出了细致指导和部署, 制定了在玉米主产区确保草地贪夜蛾不大规模迁飞危害、确保玉米不大面积连片成灾、最大限度减轻灾害损失的总体目标任务 (农业农村部, 2019)。海南地处我国热带地区, 温润的气候环境和作物种植特点十分适应草地贪夜蛾周年发生繁殖, 2019 年 4 月首次在海口市发现草地贪夜蛾幼虫以来, 当前全省 18 个县市新发生疫情不断, 对岛内鲜食玉米及其它农作物的生产安全不容忽视。

在草地贪夜蛾原产地美洲地区, 喷施化学农药一直是应对和防治该虫的主要手段 (Sparks, 1979; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019; 王磊, 2019b)。关于该虫的化学农药使用历史已超过 50 年, 加上 2016 年以后迁入非洲和亚洲以后, 各地区长期且不同类型的化学农药大量使用, 导致的该虫抗药性问题屡见报道 (Yu, 1992; Yu *et al.*, 2003; Ríos-Díez *et al.*, 2011)。且草地贪夜蛾的迁飞扩散习性, 会将这种抗药性发生的遗传特征在较大区域进行扩散, 从而产生区域性杀虫剂敏感性降低 (吴孔明等, 2007), 造成杀虫剂

的防治效果降低。本文作者前期经过对杀虫剂原药的室内筛选, 明确了甲维盐、多杀菌素、氯虫苯甲酰胺、辛硫磷、吡丙醚、氟虫腈、啉虫脒、阿维菌素、高效氯氰菊酯和虱螨脲等化学农药对海南地区草地贪夜蛾幼虫具有较显著的杀虫效果 (待发表内容)。为进一步了解这些药剂的田间实际防效, 解答种植户和农技人员关于该虫防治成本投入和防治经济效益等问题, 结合农业农村部 and 海南省农业厅推荐草地贪夜蛾防治杀虫剂指导建议, 本文选取了 5 种不同类型的杀虫剂, 设置了 7 种不同杀虫剂处理组合, 旨在了解当前常规杀虫剂对草地贪夜蛾的田间防治效果, 为科学地制定化学防治措施提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于海南省儋州市中国热带农业科学院试验场玉米田中进行, 生育期为 7~9 叶拔节期, 株距 20~30 cm, 行距 50~60 cm, 水肥管理一致, 种植玉米后未施用杀虫剂、杀菌剂和除草剂等农药, 试验期间气温较高, 试验地稍旱。试验前该区域已爆发草地贪夜蛾疫情, 平均幼虫虫口密度约为 405 头/百株, 供试杀虫剂和稀释倍数如表 1 所示。

1.2 试验方法

依据前期杀虫剂原药对草地贪夜蛾幼虫的筛选结果, 结合农业农村部 and 海南省农业厅推荐草地贪夜蛾防治杀虫剂指导建议, 以及杀虫剂市场价格区间, 形成以下 7 种药剂处理及组合, 分别为 60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 (简称: 乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC)、5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 (简称: 甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC)、8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 (简称: 苏云金杆菌 SC)、5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 20% 虱螨脲乳油 (简称: 甲维盐 EC + 虱螨脲 EC)、5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸

表 1 供试药剂信息
Table 1 Information of insecticides used in this study

杀虫剂 Insecticide	生产厂家 Manufacture factory	容量 (mL) Capacity	市售价格 (元/瓶)* Price (RMB/unit)	稀释倍数 Dilution times
60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 Spinetoram 60 g/L SC	美国陶氏益农公司	100	80	800
8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC	山东鲁抗生物农药 有限责任公司	1 000	125	320
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 Avermectin benzoate 5% EC	山东东泰农化有限 公司	500	95	960
20% 虱螨脲乳油 Lufenuron 20% EC	青岛中达农业科技 有限公司	20	8	2 000
1.5% 氯氰武 · 18.5% 辛硫磷乳油 1.5% Cypermethrin & 18.5% phoxim EC	江苏宝灵化工股份 有限公司	1 000	50	480

注: * 儋州市, 2019 年 6 月, 元/瓶。Note: Danzhou city, June, 2019, RMB/unit.

盐乳油 (简称: 甲维盐 EC)、1.5% 氯氰武 · 18.5% 辛硫磷乳油 + 20% 虱螨脲乳油 (简称: 氯氰 · 辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC) 和 1.5% 氯氰武 · 18.5% 辛硫磷乳油 (简称: 氯氰 · 辛硫磷 EC) 等 (见表 1), 以清水为对照, 每处理 3 个重复, 共计 24 小区, 每小区面积 30 m², 各小区之间设置 1 m 宽的隔离带。

药械使用背负式锂电池电动喷雾器 (农帮手 3WBD-16 型, 台州路桥宇农塑胶制品厂), 以茎秆和叶面喷雾淋洗植株的方式施药, 用水量为 900 kg/hm²。于 2019 年 6 月 29 日清晨将各处理分别混合稀释后施药, 当天天气多云, 气温 27℃ ~ 37℃, RH 60% ~ 70%, 无持续风向, 风力 1 ~ 2 级。施药前 1 d 傍晚, 以及施药后 1、3、7 和 14 d 的上午, 采用 “W” 型随机取样 5 点, 每点调查至少 8 株, 调查喇叭口心叶、茎秆和中上叶片的正反面等部位上各龄幼虫, 统计低龄幼虫 (1 ~ 3 龄) 和高龄幼虫 (4 ~ 6 龄) 数量。同时在每个小区中心直列和两侧 3 个方向, 各调查 40 株, 统计施药前 1 d 和施药后 14 d 喇叭口受害株数。

1.3 数据统计分析

应用 SPSS 数据处理系统和 EXCEL 表格分析软件, 计算出虫口减退率、防效、幼虫平均防效、喇叭口受害率、防效投入比和植株止损投入比等数值, 并使用 Tukey 法进行差异显著性分析。相关计算公式如下:

$$\text{虫口减退率}(\%) = (\text{药前虫口基数} - \text{药后活虫数}) / \text{药前虫口基数} \times 100$$

$$\text{防效}(\%) = (\text{处理区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率}) / (100 - \text{对照区虫口减退率}) \times 100$$

$$\text{幼虫平均防效}(\%) = (\text{低龄龄幼虫防效} + \text{高龄龄幼虫防效}) / 2$$

$$\text{喇叭口受害率}(\%) = (\text{喇叭口受害的植株数量} / \text{调查的植株数量}) \times 100$$

$$\text{防效投入比} = \text{用药成本} / \text{药后 14 d 平均防效} : 1$$

$$\text{植株止损投入比} = \text{用药成本} / (\text{用药前 1 d 喇叭口受害率} - \text{药后 14 d 喇叭口受害率})$$

2 结果与分析

2.1 不同杀虫剂组合对草地贪夜蛾幼虫的防治效果

杀虫剂组合甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 和乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC 这 3 种施药组合 1、3、7、14 d 的处理时间后, 对草地贪夜蛾 1 ~ 3 龄的低龄幼虫具有较好的防治效果 (表 2), 这 3 种施药组合在 14 d 的虫口减退率分别为 95.47%、95.18% 和 93.39%, 防效分别为 95.69%、95.41% 和 93.7%。氯氰 · 辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC 处理组合和甲维盐 EC 对草地贪夜蛾低龄幼虫防治效果次之, 在药后 14 d 的虫口减退率分别为 91.7% 和 88.52%, 防效分别为

92.1% 和 89.07%。此外, 苏云金杆菌 SC 和 氯氰·辛硫磷 EC 总体防治效果相对较低, 在药后 14 d 的减退率分别为 78.39% 和 78.32%, 防效分别为 79.41% 和 79.36%。表明不同类型药剂混合施用组合如甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 虱螨脲 EC、乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC 和 氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC 对草地贪夜蛾低龄幼虫达到较好的防治效果。

杀虫剂组合甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC 和 甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 这两种施药组合在药后 1、3、7、14 d 的处理时间后, 均对草地贪夜蛾 4~6 龄的高龄幼虫具有较好的防治效果 (表 3), 其 14 d 的虫口减退率分别为 96.13% 和 93.84%、防效分别为 96.01% 和 93.49%。而乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC 处理组, 虽然在药后 1 d 的虫口减退率和防效较低, 均为 72.11%, 但随后虫口减退率和防效逐步增长, 药后 14 d 的虫口减退率和防效分别为 97.19% 和 97.07%, 达到与甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC 和 甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 相近的防治效果。值得注意的是, 氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC 在药后 1 d 的减退率和防效较低, 均为 63.83%, 但在药后 3 d、7 d 和 14 d, 减退率分别为 83.63%、85.81% 和 86.74%, 防效分别为 83.64%、83.91% 和 86.12%, 均显著高于苏云金杆菌 SC 和 氯氰·辛硫磷 EC 的减退率和防效。此外, 单独施药的甲维盐 SC, 在药后 1 d 和 3 d 的防效较低, 分别为 61.36% 和 74.1%, 但在药后 7 d 和 14 d 的防效较高, 分别为 80.41% 和 83.78%, 显著高于苏云金杆菌 SC 和 氯氰·辛硫磷 EC 的防效。表明了不同类型药剂混合施用组合如甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 虱螨脲 EC、乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC 和 氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC, 以及单用药剂甲维盐 EC 对草地贪夜蛾高龄幼虫达到较好的防治效果。

2.2 不同杀虫剂组合防治草地贪夜蛾的经济性

为提升杀虫剂防治草地贪夜蛾的经济效益, 降低防治费用的投入比, 比较了不同杀虫剂组合防治草地贪夜蛾的防效投入比和植株止损投入情况 (表 4)。其中乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 和 氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC 处理组, 在药后 14 d 玉米植株的喇叭口受害率显著降低, 分别为 8.33%、10.83%、11.67% 和 11.67%; 而甲维盐 EC 的玉米植株的喇叭口受害率次之, 为

17.5%; 而单药剂处理的苏云金杆菌 SC 和 氯氰·辛硫磷 EC 的 14 d 后喇叭口受害率显著最高, 分别为 30% 和 30.83%。

依据杀虫剂市场价格和使用情况, 对幼虫防效和玉米植株喇叭口受害率情况, 分别获得防效投入比和玉米植株止损投入比。发现乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC 处理组的防效投入比和植株止损投入比最大, 分别为 116.63 和 123.61; 甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、苏云金杆菌 SC 和 甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 次之, 防效投入比分别为 49.12、46.05 和 33.7, 植株止损投入比 54.85、45.18 和 36.38; 氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC、甲维盐 EC 和 氯氰·辛硫磷 EC 防效投入比和植株止损投入比较低, 其防效投入比分别为 27.31、18.32 和 11.57, 植株止损投入比 28.08、19.59 和 12.35。这些结果表明了在考虑防治草地贪夜蛾用药成本情况下, 推荐投入比低的药剂如 氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC、甲维盐 EC 和 氯氰·辛硫磷 EC, 尤其是 氯氰·辛硫磷 EC + 虱螨脲 EC 的药剂处理组合, 既能获得较好的防治效果且降低植株损害率, 也只需投入较少的经济成本。在田间防治预算比较充足情况下, 可优先推荐甲维盐 EC + 苏云金杆菌 SC、苏云金杆菌 SC 和 甲维盐 EC + 虱螨脲 EC 达到更好地防治目标; 至于乙基多杀菌素 SC + 苏云金杆菌 SC 组合, 虽然防效较好、植株损害率也能显著降低, 但经济投入较高, 在考虑到防治收益时应当慎重使用。

3 结论与讨论

对突发性害虫开展化学防治是有害生物防治中不可缺少的手段, 也是制约有害生物可持续治理的重要因子 (高希武, 2010)。草地贪夜蛾是新近迁飞入侵到我国, 广泛大面积爆发成灾的危险性害虫, 使用化学杀虫剂快速压制田间种群虫口基数, 降低植株为害率是当前控制该虫为害的主要方法 (赵胜园等, 2019a)。但害虫的生物学习性、杀虫剂的性能和应用技术、施药时间和环境等因素对农药的防治效果等具有较大的影响, 必须充分了解并综合应用这些特点, 才能极大地发挥化学防治的控制作用, 达到防控目的 (Guedes *et al.*, 2016; 徐汉虹, 2018)。由于草地贪夜蛾幼虫多在夜间凌晨活动, 因而傍晚或清晨施药效果较好。此外, 初孵的草地贪夜蛾幼虫主要在玉米

表 2 不同杀虫剂组合对玉米草地贪夜蛾低龄幼虫的田间防治效果*
Table 2 Control efficacy of different insecticides and their composition against 1st ~ 3rd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* in corn field

杀虫剂种类 Insecticides and their composition	虫数基数 (头/株) Population Density	药后 1 d 1 days after treatment		药后 3 d 3 days after treatment		药后 7 d 7 days after treatment		药后 14 d 14 days after treatment	
		防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate
60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂	2.16 \pm 0.08	86.16 \pm 1.03 a	85.35 \pm 1.54 a	88.48 \pm 1.07 a	89.3 \pm 1.28 a	90.82 \pm 1.01 a	93.48 \pm 0.46 a	93.39 \pm 1.13 ab	93.7 \pm 1.08 ab
Spinetoram 60 g/L SC + <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC									
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂	1.96 \pm 0.02	84.75 \pm 1.29 ab	84.03 \pm 0.73 a	89.84 \pm 1.35 a	90.69 \pm 1.05 a	91.53 \pm 0.74 a	93.91 \pm 0.62 a	95.47 \pm 0.56 a	95.69 \pm 0.54 a
Avermectin benzoate 5% EC + <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC									
8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC	1.85 \pm 0.03	67.53 \pm 1.84 cd	65.58 \pm 3.52 bc	67.6 \pm 2.93 b	69.82 \pm 4.07 b	71.18 \pm 3.18 b	78.84 \pm 4.23 b	78.39 \pm 0.92 c	79.41 \pm 0.91 c
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 20% 虱螨脲乳油	2.06 \pm 0.04	87.92 \pm 1.2 a	87.14 \pm 1.87 a	91.89 \pm 0.93 a	92.53 \pm 0.81 a	91.95 \pm 0.63 a	94.12 \pm 0.97 a	95.18 \pm 0.85 a	95.41 \pm 0.81 a
Avermectin benzoate 5% EC + Lufenuron 20% EC									
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 Avermectin benzoate 5% EC	2.03 \pm 0.07	80.24 \pm 1.49 ab	79.21 \pm 1.38 a	86.96 \pm 1.68 a	87.81 \pm 2.1 a	90.2 \pm 1.09 a	92.81 \pm 1.38 a	88.52 \pm 0.58 b	89.07 \pm 0.56 b
1.5% 氯氧 · 18.5% 辛硫磷乳油 + 20% 虱螨脲乳油	1.88 \pm 0.01	75.97 \pm 3.27 bc	74.32 \pm 4.77 ab	85.75 \pm 2.47 a	86.63 \pm 2.91 a	89.33 \pm 1.60 a	92.16 \pm 1.79 a	91.7 \pm 0.64 ab	92.1 \pm 0.62 ab
1.5% Cypermethrin & 18.5% phoxim EC + Lufenuron 20% EC									
1.5% 氯氧 · 18.5% 辛硫磷乳油 1.5% Cypermethrin & 18.5% phoxim EC	1.95 \pm 0.05	61.5 \pm 2.26 d	59.47 \pm 2.32 c	69.97 \pm 3.81 b	70.65 \pm 3.68 b	69.97 \pm 3.81 b	78.42 \pm 2.84 b	78.32 \pm 1.84 c	79.36 \pm 1.76 c

注: * 表中数据为平均值 \pm 标准误, 数据后不同小写字母表示不同杀虫剂组合下在相同时间的差异显著 ($P < 0.05$)。Note: * Data shown as Mean \pm SE, different letters show significant difference in the various insecticides treatment at the same time at the $P < 0.05$ level.

表3 不同杀虫剂组合对玉米田草地贪夜蛾高龄幼虫的田间防治效果
Table 3 Control efficacy of different insecticides and their composition against 4st ~ 6th instar larvae of *Spodoptera frugiperda* in corn field

杀虫剂种类 Insecticides and their composition	虫基数 (头/株) Population Density	药后 1 d 1 days after treatment		药后 3 d 3 days after treatment		药后 7 d 7 days after treatment		药后 14 d 14 days after treatment	
		防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate	防效 (%) Control efficacy	减退率 (%) Decline rate
60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂	1.97 \pm 0.03	72.11 \pm 1.10 bc	72.11 \pm 1.10 bc	83.96 \pm 1.51 ab	83.94 \pm 1.32 ab	89.03 \pm 2.18 a	87.61 \pm 1.42 a	97.19 \pm 0.54a	97.07 \pm 0.59 a
Spinetoram 60 g/L SC + <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC									
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂	2.0 \pm 0.08	83.14 \pm 2.86 a	83.14 \pm 2.86 a	92.49 \pm 0.32 a	92.42 \pm 0.59 a	93.18 \pm 2.03 a	92.04 \pm 2.41 a	96.13 \pm 0.45ab	96.01 \pm 0.29 a
Avermectin benzoate 5% EC + <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC									
8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC	1.73 \pm 0.05	53.68 \pm 0.20 ef	53.68 \pm 0.20 ef	57.55 \pm 1.04 c	57.34 \pm 1.39 cd	67.12 \pm 1.36 b	61.39 \pm 4.64 b	58.63 \pm 3.04d	56.32 \pm 6.17 b
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 20% 虱螨脲乳油	2.18 \pm 0.05	76.99 \pm 1.54 ab	76.99 \pm 1.54 ab	93.16 \pm 1.19 a	93.21 \pm 0.93 a	93.86 \pm 0.80 a	92.96 \pm 0.68 a	93.84 \pm 0.99 abc	93.49 \pm 1.40 a
Avermectin benzoate 5% EC + Lufenuron 20% EC									
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 Avermectin benzoate 5% EC	1.08 \pm 0.02	61.36 \pm 2.69 de	61.36 \pm 2.69 de	73.77 \pm 6.68 bc	74.1 \pm 5.69 bc	83 \pm 1.37 a	80.41 \pm 0.72 a	84.57 \pm 1.54 c	83.78 \pm 2.41a
1.5% 氯氟·18.5% 辛硫磷乳油 + 20% 虱螨脲乳油	1.42 \pm 0.06	63.83 \pm 1.56 cd	63.83 \pm 1.56 cd	83.63 \pm 2.91 ab	83.64 \pm 2.78 ab	85.81 \pm 2.48 a	83.91 \pm 1.46 a	86.74 \pm 0.43 bc	86.12 \pm 1.16 a
1.5% Cypermethrin & 18.5% phoxim EC + Lufenuron 20% EC									
1.5% 氯氟·18.5% 辛硫磷乳油 1.5% Cypermethrin & 18.5% phoxim EC	1.21 \pm 0.07	50.15 \pm 1.86 f	50.15 \pm 1.86 f	65.1 \pm 4.88 c	52.38 \pm 6.66 d	65.1 \pm 4.88 b	59.24 \pm 6.48 b	66.6 \pm 2.72 d	64.71 \pm 5.26 b

注: * 表中数据为平均值 \pm 标准误, 数据后不同小写字母表示不同杀虫剂组合下在相同时间的差异显著 ($P < 0.05$)。Note: * Data shown as Mean \pm SE, different letters show significant difference in the various insecticides treatment at the same time at the $P < 0.05$ level.

表 4 不同杀虫剂组合防治玉米田草地贪夜蛾的防效投入比和植株止损投入比
 Table 4 Investment of control efficacy and stop plant loss of different insecticides and their composition against *Spodoptera frugiperda* in corn field

杀虫剂种类 Insecticides and their composition	用药成本 (元/亩) Cost of insecticides	药后 14 d 幼虫 平均防效 Control efficacy on larvae at 14 days after treatment	喇叭口受害率 (%) Damage rate of plant whorl		防效投入比 Investment of control efficacy	植株止损 投入比 Investment of stop plant loss
			用药前 Before treatment	药后 14 d 14 days after treatment		
60 g/L 乙基多杀菌素悬浮剂 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 Spinetoram 60 g/L SC + <i>Bacillus</i> <i>thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC	111.25	95.39	98.33 \pm 0.83	8.33 \pm 0.83 c	116.63	123.61
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 Avermectin benzoate 5% EC + <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC	47.08	95.85	96.67 \pm 0.83	10.83 \pm 0.83 c	49.12	54.85
8 000 IU/ μ L 苏云金杆菌悬浮剂 <i>Bacillus thuringiensis</i> 8 000 IU/ μ L SC	31.25	67.87	99.17 \pm 0.83	30 \pm 1.44 a	46.05	45.18
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 + 20% 虱螨脲乳油 Avermectin benzoate 5% EC + Lufenuron 20% EC	31.83	94.45	99.17 \pm 0.83	11.67 \pm 0.83 c	33.70	36.38
5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 Avermectin benzoate 5% EC	15.83	86.43	98.33 \pm 0.83	17.5 \pm 1.44 b	18.32	19.59
1.5% 氰氟 · 18.5% 辛硫磷乳油 + 20% 虱螨脲乳油 Cyanochloride 1.5% EC · phoxim 18.5% EC + Lufenuron 20% EC	24.33	89.11	98.33 \pm 1.67	11.67 \pm 0.83 c	27.31	28.08
1.5% 氰氟 · 18.5% 辛硫磷乳油 Cyanochloride 1.5% EC · phoxim 18.5% EC	8.33	72.04	98.33 \pm 0.83	30.83 \pm 0.83 a	11.57	12.35

注: *表中数据为平均值 \pm 标准误, 数据后不同小写字母表示不同杀虫剂组合下在相同时间的差异显著 ($P < 0.05$)。Note: * Data shown as Mean \pm SE, different letters show significant difference in the various insecticides treatment at the same time at the $P < 0.05$ level.

叶片的背面取食叶面为害, 尔后转入到玉米的喇叭口中为害心叶, 并咬破茎秆或钻入未抽出雄穗, 潜入内部组织为害。因此, 采用茎秆和叶面喷雾淋洗植株的施药方式, 容易达到较好防治效果。本文 7 种杀虫剂组合处理条件下, 对低龄幼虫 14 d 防治效果均达到 79.36% 以上, 对高龄幼虫除了苏云金杆菌 SC 和氰氟 · 辛硫磷 EC 的 14 d 防治效果分别为 56.32% 和 64.71%, 其它药剂处理均在

83.78% 以上, 达到了较明显的防治效果, 这些结果与赵胜园等、程东美等、郑群等、马千里等相关报道的结果一致 (程东美等, 2019; 马千里等, 2019; 赵胜园等, 2019b; 郑群等, 2019)。

海南地处热带地区, 高温高湿多雨的气候环境, 适合周年种植玉米, 草地贪夜蛾在未来极可能出现周年发生为害情况。试验调查中发现, 虽然施药后田间幼虫的虫口密度急剧下降, 但仍然

可见少数成虫蛰伏在喇叭口位置, 并在一些植株的叶背面发现新鲜的卵块, 加上可能潜藏在土壤中的蛹。这些潜在的虫口基数, 很可能在药效过后再次爆发成灾。因此开展田间虫情测报和制定玉米不同生育期的防治指标是制定化学措施的重要依据。孙小旭等并基于幼虫聚集分布的特点和国际上普遍使用的 20% 危害株率防治指标, 提出了基于 1~2 龄幼虫密度的序贯抽样方法 (孙小旭等, 2019)。我国农业农村部于 2019 年 6 月 21 日颁布的周年繁殖区和迁飞过渡区玉米田实施化学防治草地贪夜蛾指标, 即玉米苗期 (7 叶以下) 至小喇叭口期 (7~11 叶) 被害株率 5%; 大喇叭口期 (12 叶) 以后 10%; 未达标区点杀点治 (全国草地贪夜蛾防控方案, 2019)。在化学防治施用时参照这些指标, 达到保幼苗、保心叶、保产量的防治目标。

玉米苗期和拔节期的喇叭口, 是草地贪夜蛾幼虫主要为害位置, 同时也是玉米植株生长点。杀虫剂处理后玉米植株喇叭口, 在数天后的生长补偿作用下, 除了被为害的缺刻叶片向外展出喇叭口外, 喇叭口心叶重新恢复至完整, 因此调查期和拔节期喇叭口受害率情况, 更能直观地反应出田间杀虫剂的防除效果。本文通过药剂处理后的玉米植株, 喇叭口受害率显著降低, 为 8.33%~30.83%, 也表明出玉米植株也可以通过自身生长补偿作用, 降低草地贪夜蛾的为害。本文以 7 种杀虫剂处理组合的市场价格, 核算出每亩玉米的防治用药成本, 再根据药后 14 d 的幼虫防效和喇叭口受害率下降情况, 分别获得出防效投入比和植株止损投入比, 表明了不同药剂处理的产出比存在较大差异。在制定化学防治策略时, 不用一味追求价格高、防效好的新型药剂品种。一些用药在市场上常规使用的药剂, 同样对草地贪夜蛾有显著的控制作用, 如氯氰菊酯、辛硫磷和虱螨脲等为主要成分杀虫剂, 能获得较好的防治效果, 也降低了防治成本。当然市场杀虫剂种类繁多, 可能存在着效果更好, 更加经济的杀虫剂单剂或组合, 用于防治草地贪夜蛾, 仍然需要进一步去实践和摸索。本研究结果为基层农技工作人员、种植大户和新型经营主体等工作人员, 在有限的防治预算条件下, 选用化学防治药剂时提供了一种科学选择方法。当然在实际应用中, 还要结合该虫的防治总目标和田间人工使用情况等因素综合考虑, 提升防治的经济价值。

参考文献 (References)

- Cheng DM, Huang JH, Xu HH, *et al.* Activity and field effect trials of lufenuron 50% EC against *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20190628.1701.004.html>. [程东美, 黄江华, 徐汉虹, 等. 50 g/L 虱螨脲乳油对草地贪夜蛾的室内活性和田间药效研究 [J/OL]. 环境昆虫学报, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.Q.20190628.1701.004.html>]
- Gao XW. Current status and development strategy for chemical control in China [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (3): 10-14, 20. [高希武. 我国害虫化学防治现状与发展策略 [J]. 植物保护, 2010, 36 (4): 19-22]
- Guedes RNC, Smagghe G, Stark JD, *et al.* Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs [J]. *Annual Review of Entomology*, 2016, 61 (1): 43-62.
- Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sanchez D, Blanco C, *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.
- Jiang YY, Liu J, Zhu XM. Occurrence and trend of *Spodoptera frugiperda* invasion in China [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (2): 33-35. [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]
- Ma QL, Wang YQ, Tan YT, *et al.* Toxicity determination of three pyrethroid pesticides against *Spodoptera frugiperda* and evaluation of field application [J/OL]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.q.20190628.1653.002.html>. [马千里, 王勇庆, 谭煜婷, 等. 3 种拟除虫菊酯类农药对草地贪夜蛾的毒力测定及田间应用效果评价 [J/OL]. 环境昆虫学报, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.q.20190628.1653.002.html>]
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China. Prevention and Control Programme of Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* In China [M]. 2019. [中国农业农业农村部. 全国草地贪夜蛾防控方案 [M]. 2019]
- Notification of invasion and damage prevention work from National Agro-Technical Extension and Service Center [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (2): 95. [全国农技中心发出关于做好草地贪夜蛾侵入危害防范工作的通知 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (2): 95]
- Ríos-Diez JD, Saldamando-Benjumea CI. Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from central Colombia to two insecticides, methomyl and lambda-cyhalothrin: A study of the genetic basis of resistance [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2011, 104 (5): 1698-1705.
- Sparks AN. A Review of the Biology of the fall armyworm [J]. *The Florida Entomologist*, 1979, 62 (2): 82-87.
- Sun XX, Zhao SY, Jin MH, *et al.* Larval spatial distribution pattern and sampling technique of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize field [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (2): 13-18. [孙小

- 旭, 赵胜园, 靳明辉, 等. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术 [J]. 植物保护, 2019, 45 (2): 13-18]
- Wang L, Chen KW, Lu YY, *et al.* Long-distance spreading speed and trend predication of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China [J/OL]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019a, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.q.20190715.1622.008.html>. [王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测 [J/OL]. 环境昆虫学报, 2019a, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.q.20190715.1622.008.html>]
- Wang L, Chen KW, Zhong GH, *et al.* Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019b, 41 (3): 479-487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨 [J]. 环境昆虫学报, 2019b, 41 (3): 479-487]
- Wu KM, Guo YY. Geotype differentiation and regional migratory regularity of *Helicoverpa armigera* in China [J]. *Plant Protection*, 2007, 33 (5): 6-11. [吴孔明, 郭予元. 棉铃虫种群的地理型分化和区域性迁飞规律 [J]. 植物保护, 2007, 33 (5): 6-11]
- Wu QL, Jiang YY, Hu G, *et al.* Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from tropical and southern subtropical zones of China [J]. *Plant Protection*, 2019 a, 45 (3): 1-9. [吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 等. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析 [J]. 植物保护, 2019 a, 45 (3): 1-9]
- Wu QL, Jiang YY, Wu KM. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) from Myanmar to China [J]. *Plant Protection*, 2019b, 45 (2): 1-6, 18. [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, 2019b, 45 (2): 1-6, 18]
- Xu HH. *Plant Chemical Protection* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2018: 399-401. [徐汉虹. 植物化学保护学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 399-401]
- Yu SJ. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1992, 85 (3): 675-682.
- Yu SJ, Nguyen SN, Abo-Elghar GE. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2003, 77 (1): 1-11.
- Zhao SY, Sun XX, Zhang HW, *et al.* Laboratory test on the control efficacy of common chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019 a, 45 (3): 10-14, 20. [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 a, 45 (3): 10-14, 20]
- Zhao SY, Yang XM, Yang XL, *et al.* Field efficacy of eight insecticides on fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. *Plant Protection*, 2019b, <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019289>. [赵胜园, 杨现明, 杨学礼, 等. 8种农药对草地贪夜蛾的田间防治效果 [J/OL]. 植物保护, 2019b, <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019289>]
- Zheng Q, Wang YQ, Tan YT, *et al.* Bioactivity of spinetoram and its field efficiency against *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.q.20190712.1523.004.html>. [郑群, 王勇庆, 谭煜婷, 等. 乙基多杀菌素悬浮剂对草地贪夜蛾的生物活性及田间防效 [J/OL]. 环境昆虫学报, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1640.q.20190712.1523.004.html>]