

六种杀虫剂对草地贪夜蛾的 田间防控效果比较*

太红坤^{1**} 郭井菲² 张 峰³ 安智燕⁴ 白树雄² 王振营^{2***}

(1. 云南省德宏州种子管理站, 芒市 678400; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害综合治理全国重点实验室, 北京 100193; 3. 农业农村部-CABI 生物安全联合实验室, 北京 100193; 4. 云南省芒市植保植检站, 芒市 678400)

摘 要 【目的】 为了有效防控我国亚热带边境地区草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的发生为害, 降低虫源地种群基数, 减缓向国内扩散蔓延速度。【方法】 通过草地贪夜蛾幼虫存活数量减退率、玉米被害程度减退率、玉米被害株减退率和药剂持效期的变化, 评估了 25%乙基多杀菌素、25 g/L 溴氰菊酯、240 g/L 甲氧虫酰胺、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺和 10%溴氰虫酰胺 6 种德宏常用杀虫剂对草地贪夜蛾的田间防控效果。并采用相关性分析和曲线回归分析研究了降雨量与草地贪夜蛾幼虫存活数量关系。【结果】 25%乙基多杀菌素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%溴氰虫酰胺、240 g/L 甲氧虫酰胺、10%四氯虫酰胺对草地贪夜蛾均具有良好的防控效果, 其玉米田间平均持效期分别为 15.7、13.0、11.6、9.0 和 9.0 d; 结合草地贪夜蛾幼虫存活数量减退率、玉米被害程度减退率、玉米被害株减退率 3 项指标, 药后 13 d, 25%乙基多杀菌素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%溴氰虫酰胺、10%四氯虫酰胺和 240 g/L 甲氧虫酰胺的综合防效显著高于 25 g/L 溴氰菊酯, ($F=7.055, P=0.003$), 其值分别为 79.62%、58.49%、10.39%、52.11% 和 30.39%, 但前 3 种药只用药 1 次, 后 2 种杀虫剂已用药 2 次, 为此不同杀虫剂田间持效期不同, 防控效果不同。在 2019 年 5-9 月期间, 德宏州降雨量先增加后减少, 而草地贪夜蛾种群数量则逐渐减退。经相关性分析可得草地贪夜蛾幼虫存活数量与降雨量之间相关程度显著, 属于中度负相关, 概率值和相关系数分别为 0.044 和 -0.511。经曲线回归分析可得草地贪夜蛾存活幼虫数量与降雨量之间具有显著的曲线关系, 判断系数 (R^2) 为 0.471 8, 曲线模型 $P=0.028$, 方程为 $y=-105.9\ln(x)+513.94$ 。【结论】 在德宏州辖区内防控草地贪夜蛾首选推荐使用杀虫剂为 25%乙基多杀菌素和 200 g/L 氯虫苯甲酰胺, 其次为 10%溴氰虫酰胺、240 g/L 甲氧虫酰胺、10%四氯虫酰胺。结合降雨量, 在夏玉米生育时期交替轮换使用上述推荐杀虫剂 2 次, 可有效防控草地贪夜蛾的发生为害。

关键词 草地贪夜蛾; 杀虫剂; 降雨量; 防控效果

Comparison of field control efficacies of six insecticides against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*

TAI Hong-Kun^{1**} GUO Jing-Fei² ZHANG Feng³ AN Zhi-Yan⁴
BAI Shu-Xiong² WANG Zhen-Ying^{2***}

(1. Seed and Management Station, Dehong Prefecture, Yunnan Province, Mangshi 678400, China; 2. State Key Laboratory for the Biology of the Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. MARA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety, Beijing 100193, China, 4. Mangshi Plant Protection and Quarantine Station, Dehong Prefecture, Yunnan Province, Mangshi 678400, China)

Abstract [Aim] In order to effectively control the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the subtropical border area of

*资助项目 Supported projects: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (Y2019YJ06); 国家现代农业 (玉米) 产业体系建设专项 (CARS-02); 云南省技术创新人才项目 (202105AD160033); 云南省科技特派员项目 (202204BK090074); 德宏产业拔尖人才专项 (DHYC-CYJSBJRC-2023-004)

**第一作者 First author, E-mail: thk1818@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: zywang@ippcaas.cn

收稿日期 Received: 2024-03-22; 接受日期 Accepted: 2024-07-06

China, reduce the population base of the fall armyworm in the source area and slow down its spread in China. [Methods] The field control efficacies of six commonly used insecticides in Dehong Prefecture (25% spinetoram, 25 g/L deltamethrin, 240 g/L methoxyfenozide, 200 g/L chlorantraniliprole, 10% tetrachlorantraniliprole, 10% cyantraniliprole) against fall armyworm was comparatively evaluated through the change of survival rate of fall armyworm larvae, damage degree of maize, damage rates of maize plants and field efficacy period of insecticides. Correlation analysis and curve regression analysis were used to study the relationship between rainfall and larval survival. [Results] 25% Spinetoram, 200 g/L chlorantraniliprole, 10% cyantraniliprole, 240 g/L methoxyfenozide, and 10% tetrachlorantraniliprole had good control effects on fall armyworm, and their average field duration was 15.7, 13.0, 11.6, 9.0 and 9.0 d, respectively. In combination with the three indexes of survival rate of fall armyworm larvae, reduction rate of maize damage degree and infested maize plants, the integrated control effect of 25% spinetoram, 200 g/L chlorantraniliprole, 10% cyantraniliprole, 10% tetrachlorantraniliprole and 240 g/L methoxyfenozide was significantly higher than that of 25 g/L deltamethrin 13 days after treatment ($F=7.055$, $P=0.003$), and reached 79.62%, 58.49%, 10.39%, 52.11% and 30.39%, respectively. However, the first 3 insecticides were only used once, and the last 2 insecticides were used twice. Therefore, field persistence and control effectiveness of different insecticides was different. From May to September 2019, the rainfall in Dehong Prefecture first increased and then decreased, while the population of fall armyworm gradually decreased. The correlation analysis showed that there was a significant correlation between larval survival and rainfall, which belonged to a moderate negative correlation. The value of probability and correlation coefficient was 0.044 and -0.511, respectively. According to the curve regression analysis, there was a significant curve relationship between the number of surviving fall armyworm larvae and rainfall, with the discriminant coefficient (R^2) being 0.471 8, curve model $P=0.028$, and equation $y=-105.90\ln(x)+513.94$. [Conclusion] The first recommended insecticides for controlling fall armyworm in Dehong prefecture were 25% spinetoram and 200 g/L chlorantraniliprole, followed by 10% cyantraniliprole, 240 g/L methoxyfenozide and 10% tetrachlorantraniliprole. Combined with rainfall, the alternating use of the above recommended insecticides twice during summer maize growth period can effectively control the fall armyworm.

Key words *Spodoptera frugiperda*; insecticide; rainfall; control effect

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*, 也称秋黏虫, 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*, 是原产于美洲热带和亚热带地区的重要农业害虫 (Todd and Poole, 1980)。其具有适应性广 (Sparks, 1979), 繁殖力高 (Johnson, 1987)、迁飞能力强等特点 (郭井菲等, 2019), 被联合国粮农组织列为全球预警的重大跨境迁飞性害虫 (吴秋琳等, 2022)。自 2019 年 1 月入侵我国云南省后 (姜玉英等, 2019), 草地贪夜蛾自南向北迅速蔓延, 随着范围的扩大, 为害作物种类也逐渐增多, 如玉米 (太红坤等, 2019a)、甘蔗 (太红坤等, 2019b)、生姜 (太红坤等, 2022)、小麦 (胡飞等, 2020a)、冬粉薯 (周上朝等, 2020)、马铃薯 (赵猛等, 2019)、甘蓝 (刘银泉等, 2019) 等作物, 对我国粮食安全生产造成严重威胁。

为了有效控制草地贪夜蛾的发生, 减轻其对粮食作物的为害, 对作为应急防控措施的化学防治研究意义重大。在美洲原生地, 化学农药的应用时间较长较普遍 (Abrahams *et al.*, 2017), 致使草地贪夜蛾产生了不同程度的抗药性, 例如氨

基甲酸酯类 (甲萘威/Carbaryl) (Young and Mcmillian, 1979)、拟除虫菊酯类、有机磷类 (Yu, 1992) 等农药已导致草地贪夜蛾产生抗药性。草地贪夜蛾经非洲迁入亚洲 (吴秋琳等, 2019), 迅速入侵我国并建立种群, 针对该入侵性害虫的农药研发急为迫切, 相关研究是指导田间防控应用的基础。赵胜园等 (2019a)、王芹芹等 (2019)、胡飞等 (2020b) 在室内开展了农药对草地贪夜蛾的活性测定, 为草地贪夜蛾的防控提供指导作用。田间药效受光照、温度和雨水等多种因素影响, 结合德宏州的耕作制度和气候条件, 本研究选取当地常用的 6 种杀虫剂开展田间药效试验, 为草地贪夜蛾的防控提供科学合理的用药指导。

1 材料与方法

1.1 材料

供试玉米品种为当地品种德玉 5 号, 购于市场。供试 6 种商品农药 (表 1) 均购于市场。背负式电动喷雾器 (鲁佳 3WBD-20 型, 临沂鲁农

表 1 6 种化学杀虫剂商品信息及田间用药稀释倍数
Table 1 Commercial information of 6 chemical insecticides and dilution times in field

商品农药 Commercial insecticide	生产厂家 Producer	田间推荐剂量 Dosage recommended in field
25%乙基多杀菌素（水分散粒剂） 25% Spinetoram (water dispersible granule)	科迪华农业科技有限责任公司 Corteva Agriscience Co., Ltd.	180 g/hm ²
25 g/L 溴氰菊酯（乳油） 25 g/L Deltamethrin (emulsifiable concentrate)	拜耳作物科学（中国）有限公司 Bayer CropScience (China) Co., Ltd.	450 mL/hm ²
240 g/L 甲氧虫酰胺（悬浮剂） 240 g/L Methoxyfenozide (suspension concentrate)	美国陶氏益农公司 Dow AgroSciences LLC, USA	420 mL/hm ²
200 g/L 氯虫苯甲酰胺（悬浮剂） 200 g/L Chlorantraniliprole (suspension concentrate)	美国富美实公司 Future Management Consulting Corporation, USA	225 mL/hm ²
10%四氯虫酰胺（悬浮剂） 10% Tetrachlorantraniliprole (suspension concentrate)	沈阳化工研究院（南通）化工科技发展有限公司 Shenyang Research Institute of Chemical Industry (Nantong) Chemical Technology Development Co., Ltd.	75 g/hm ²
10%溴氰虫酰胺（可分散油悬浮剂） 10% Cyantraniliprole (oil dispersion)	美国富美实公司 Future Management Consulting Corporation, USA	300 mL/hm ²

喷雾器厂制造）购于市场。

1.2 方法

1.2.1 田间试验设计 于 2019 年 5-9 月在德宏州芒市风平镇芒波村（24.39°N, 98.51°E, 海拔 864.8 m）开展草地贪夜蛾田间药效防控试验。试验小区面积 20.0 m²（长 5.0 m,宽 4.0 m），小区间距 1.0 m。玉米于 2019 年 5 月 25 日统一播种，采用单行条播，种子未做任何处理直接播入土壤中，株行距为 0.22 m×0.80 m，种植密度为 144 株/20 m²。小区四周玉米为保护行，内部玉米为处理对象，在处理对象中随机选择 20 株，确定后定为固定调查株。试验区耕作管理措施（施肥、除草、灌溉等）相同。每个试验小区重复 3 次。上茬作物为水稻。

1.2.2 用药时间、剂量及方式 在玉米整个生育期中喷施 2 次杀虫剂，玉米播种后，当玉米被害率达 100.0%时，进行第一次施药，当被害株率达 50.0%时，当天进行第二次施药。在调查被害株数时，每次只调查喇叭口或雄穗附近叶片新形成损伤，老叶片的旧损伤不做调查记录，若有新形成损伤则示为被害株。在药后当天和药后 1 d 均开展 1 次调查，以后间隔 3 d 开展 1 次调查。

杀虫剂配制成田间推荐使用浓度（表 1），

利用背负式电动喷雾器喷施，施药时调小喷头喷幅，增加喷雾液滴大小，喷雾时，喷头对准玉米喇叭口喷雾 1-2 s，然后以喇叭口为中心，晃动喷头喷雾 2-3 圈，确保每株玉米喷液量在 10-20 mL 左右。

1.2.3 防控效果调查 在试验小区处理对象中，每次调查固定玉米植株上的草地贪夜蛾存活幼虫数量和为害情况，只要草地贪夜蛾幼虫对玉米造成损伤则示为被害株；对玉米造成的损伤轻重程度则示为被害程度，主要通过戴维斯（Davis scale）调查法分成 10 级（Davis *et al.*, 1992）（表 2），其中有 9 种不同程度的损伤标准，1-3 级表示为害轻，4-6 级表示为害中等，7-9 级表示为害严重。统计草地贪夜蛾对玉米喇叭口或雄穗附近的新损伤级别和草地贪夜蛾幼虫存活数量；统计被害株数，分析玉米被害率及被害程度减退率、草地贪夜蛾幼虫存活数量及活虫数减退率；计算被害株减退率=（对照区被害株率-处理区被害株率）/对照区被害率×100%；活虫数减退率=（对照区活虫数-处理区活虫数）/对照区活虫数×100%；被害程度减退率=（对照区损伤级别-处理区损伤级别）/对照区损伤级别×100%；防控效果=（被害株减退率+活虫数减退率+被害程度减退率）/3。

表 2 戴维斯损伤程度及分级标准
Table 2 Damage degree and rating of Davis scale

损伤程度 Damage degree	分级标准 Rating	戴维斯级别 Davis scale
没有明显损伤 No visible damage	0	正常植株 No damage
叶片上只有针状的损伤 Only pinhole lesions present on whole leaves	1	
叶片上同时有针眼状以及较小的环形损伤 Pinholes and small circlar lesions on whole leaves	2	为害轻 Slight damage
针眼状以及较小的环形损伤，喇叭口附近，卷叶处出现拉长至 1.3 cm 左右的条状损伤 Small circular lesion and a few small elongated (rectangular shaped) lesions of up to 1.3 cm in length present on whorl and furl leaves	3	
数个中等大小 1.3-2.5 cm 的长条损伤出现在喇叭口附近的卷叶处 Several small to mid-sized 1.3-2.5 cm in length elongated lesions present on a few whorl and fur leaves	4	
数个大于 2.5 cm 的长条损伤出现在喇叭口附近的卷叶处，或者出现数个中小尺寸的不规则穿孔 Several large elongated lesions greater than 2.5 cm in length present on a few whorl and fur leaves and/or a few small-to mid-sized uniform to irregular shaped holes eaten from the whorl and/or fur leaves	5	为害中等 Moderate damage
数个大于 2.5 cm 的长条损伤出现在喇叭口附近的卷叶处，或者出现数个大尺寸的不规则穿孔 Several large elongated lesions greater than 2.5 cm in length present on a few whole and fur leaves and/or several large uniform to irregular shaped holes eaten from the whorl and/or fur leaves	6	
很多大型的长条损伤出现在喇叭口附近的卷叶处，并出现数个大尺寸的不规则穿孔 Many elongated lesions of all sizes present on several whorl and furl leaves plus several large uniform to irregular shaped holes eaten from furl and whorl leaves	7	
很多大型的长条损伤出现在喇叭口附近的卷叶处，并出现很多中至大尺寸的不规则穿孔 Many elongated lesions of all sizes present on most whorl and furl leaves plus many mid-to large-sized uniform to irregular shaped holes eaten from furl and whorl leaves	8	为害严重 Heavy damage
喇叭口以及附近的卷曲叶片基本上都被破坏 Whorl and furl leaves almost totally destroyed	9	

1.3 数据分析

利用 SPSS 16.0 软件进行统计分析，采用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验；采用双变量 Spearman 双尾检验对草地贪夜蛾存活幼虫数量、降雨量和温度进行相关分析；采用对数曲线回归分析降雨量与幼虫存活数量的关系。

2 结果与分析

2.1 药后草地贪夜蛾的活虫数量及为害程度

药后，25 g/L 溴氰菊酯处理的活虫数量呈现出持续增加后逐步减少的趋势，25%乙基多杀菌

素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺、10%溴氰虫酰胺、240 g/L 甲氧虫酰肼 5 种杀虫剂均表现为活虫数先减少后逐步增加再减少的趋势。25 g/L 溴氰菊酯的百株活虫数从施药当天的 36.67 头逐步增加到药后 9 d 的最高峰 215.00 头，再逐步减少到药后 33 d 的 0 头，最高峰 215.00 头比对照的最高峰 158.33 头多 56.67 头。240 g/L 甲氧虫酰肼是活虫数减少后反弹最快的杀虫剂，从施药当天的 45.00 头到药后 9 d 达到最高 76.67 头，再减少到药后 29 d 的 0 头（图 1）。

药后当天，6 种药剂对试验区中草地贪夜蛾存活幼虫数量减退率无差异（ $F=0.978$ ， $P=0.469$ ）。药后 1、5 和 9 d 施用 25%乙基多杀菌素、

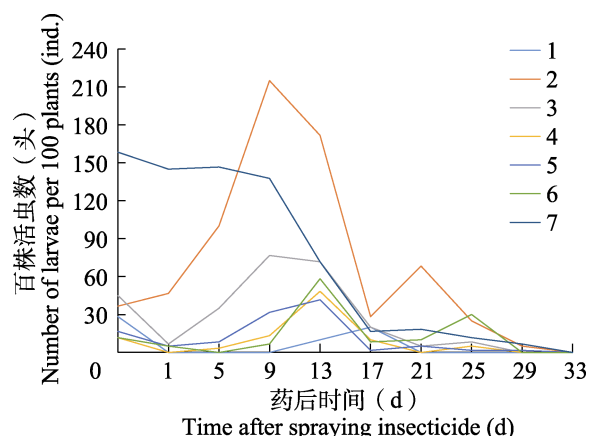


图 1 药后田间草地贪夜蛾幼虫存活数量

Fig. 1 Survival numbers of *Spodoptera frugiperda* larvae after spraying insecticides

1: 25%乙基多杀菌素; 2: 25 g/L 溴氰菊酯; 3: 240 g/L 甲氧虫酰胺; 4: 200 g/L 氯虫苯甲酰胺; 5: 10%四氯虫酰胺; 6: 10%溴氰虫酰胺; 7: 清水 (对照)。

1: 25% Spinetoram; 2: 25 g/L Deltamethrin; 3: 240 g/L Methoxyfenozide; 4: 200 g/L Chlorantraniliprole; 5: 10% Tetrachlorantraniliprole; 6: 10% Cyantraniliprole; 7: Clear water (CK).

240 g/L 甲氧虫酰胺、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺和 10%溴氰虫酰胺的草地贪夜蛾存活幼虫数量减退率显著高于 25 g/L 溴氰菊酯 ($F=13.116$, $P<0.001$; $F=12.780$, $P=0.001$; $F=12.149$, $P=0.001$)。药后 13、17 和 21 d, 幼虫存活数量减退率存在差异性 ($F=3.796$, $P=0.027$; $F=3.263$, $P=0.043$; $F=3.242$, $P=0.044$)。药后 25 和 29 d 后存活幼虫数量减退率不存在差异性 ($F=1.136$, $P=0.393$; $F=0.761$, $P=0.595$) (表 3)。

6 种杀虫剂对草地贪夜蛾幼虫的杀灭效果不同, 存活幼虫对玉米所造成的损伤程度也不同, 戴维斯损伤级别均反映玉米损伤程度由重转轻再转重, 最后逐渐减轻。药剂和对照处理当天草地贪夜蛾幼虫对玉米的损伤程度均无差异 ($F=0.632$, $P=0.703$), 25%乙基多杀菌素、25 g/L 溴氰菊酯、240 g/L 甲氧虫酰胺、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺、10%溴氰虫酰胺、对照的戴维斯级别分别为 4.00、3.97、3.88、3.83、4.40、3.38 和 4.57, 均为轻中等级别。药后 1 和 5 d, 药剂与对照处理均存在显著差异 ($F=23.172$, $P<0.001$; $F=46.150$, $P<0.001$), 但除 25 g/L 溴氰菊酯外, 其它 5 种药剂处理后草地贪

夜蛾存活幼虫对玉米的损伤无差异。药后 9 d 时, 药剂与对照处理仍存在显著差异 ($F=31.562$, $P<0.001$), 但药剂处理后存活幼虫对玉米的损伤呈现出不同梯度, 25%乙基多杀菌素和 200 g/L 氯虫苯甲酰胺处理显著低于 240 g/L 甲氧虫酰胺和 10%四氯虫酰胺, 240 g/L 甲氧虫酰胺、10%四氯虫酰胺和 10%溴氰虫酰胺显著的低于 25 g/L 溴氰菊酯。药后 13 d, 25 g/L 溴氰菊酯和 10%溴氰虫酰胺处理与对照玉米的损伤无显著差异, 但其它 4 种药剂与对照仍存在显著差异 ($F=27.320$, $P<0.001$)。药后 17 d, 6 种药剂处理间均无差异, 但与对照仍有差异性 ($F=3.982$, $P=0.016$)。药后 29 d 的药剂处理与对照均无差异 ($F=1.439$, $P=0.268$) (图 2)。

药后草地贪夜蛾对玉米损伤程度逐渐减轻, 但减退率各不相同。施药当天减退率差异性不显著 ($F=0.368$, $P=0.861$), 药后 1 和 5 d, 25%乙基多杀菌素、240 g/L 甲氧虫酰胺、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺和 10%溴氰虫酰胺处理区玉米损伤减退率显著高于 25 g/L 溴氰菊酯 ($F=10.668$, $P<0.001$; $F=13.982$, $P<0.001$)。药后 9 和 13 d 减退率差异性较大 ($F=12.915$, $P<0.001$; $F=14.339$, $P<0.001$), 如药后 9 d, 25%乙基多杀菌素的玉米被害程度减退率显著高于 10%四氯虫酰胺, 200 g/L 氯虫苯甲酰胺显著高于 240 g/L 甲氧虫酰胺, 240 g/L 甲氧虫酰胺、10%四氯虫酰胺、10%溴氰虫酰胺显著高于 25 g/L 溴氰菊酯 (表 4)。

2.2 杀虫剂对草地贪夜蛾的防效及持效期

在玉米上施用不同杀虫剂防控草地贪夜蛾, 玉米被害株减退率均为先升高后逐步降低 (图 3)。25%乙基多杀菌素、240 g/L 甲氧虫酰胺、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺和 10%溴氰虫酰胺第一次施药后 1 和 5 d, 玉米被害株数减退效果显著高于 25 g/L 溴氰菊酯 ($F=15.33$, $P<0.001$; $F=8.168$, $P=0.001$), 如药后第 1 天被害株减退率分别为 100.00%、83.33%、98.33%、94.91%和 81.23%。药后第 9 天, 25%乙基多杀菌素处理的被害株减退率显著高于 25 g/L 溴氰菊酯、240 g/L 甲氧虫酰胺和 10%四氯虫酰胺 ($F=6.993$,

表 3 药后不同时间草地贪夜蛾幼虫存活数量减退率
Table 3 Decrease rates of survival number of *Spodoptera frugiperda* larvae at different time after spraying pesticide

序号 No.	药后时间 (d) Time after spraying pesticide (d)									
	0 (CK)	1	5	9	13	17	21	25	29	33
1	76.69±9.78 a	100.00±0.00 A	100.00±0.00 A	100.00±0.00 A	84.76±10.64 a	- 42.22±42.22 ab	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	66.67±33.33 a	—
2	68.60±13.17 a	64.81±7.67 B	25.61±20.03 B	- 70.18±49.61 B	- 171.45±87.89 b	- 98.89±59.64 b	- 911.11±483.17 b	- 291.67±262.33 a	- 11.11±48.43 a	—
3	57.97±22.16 a	93.40±5.11 A	81.38±14.13 A	40.39±17.37 A	- 12.68±56.47 a	- 31.11±52.39 ab	0.00±57.74 a	- 16.67±92.79 a	66.67±33.33 a	—
4	91.06±2.68 a	100.00±0.00 A	96.83±3.17 A	88.81±8.69 A	45.99±37.59 a	45.56±13.65 a	100.00±0.00 a	0.00±100.00 a	66.67±33.33 a	—
5	80.00±15.28 a	96.21±0.89 A	94.99±2.50 A	77.72±2.78 A	35.96±18.13 a	83.33±16.67 a	29.63±64.89 a	83.33±16.67 a	55.56±29.39 a	—
6	90.59±3.01 a	96.35±3.01 A	100.00±0.00 A	93.71±6.29 A	19.39±6.65 a	56.67±23.33 a	- 100.00±200.00 a	- 58.33±134.11 a	66.67±33.33 a	—

1: 25%乙基多杀菌素; 2: 25 g/L 溴氰菊酯; 3: 240 g/L 甲氧虫酰胺; 4: 200 g/L 氯虫苯甲酰胺; 5: 10%四氯虫酰胺; 6: 10%溴氰虫酰胺。表中数据为平均值 ± 标准误, 同列不同大小写字母分别表示极显著差异 ($P < 0.01$) 和显著差异 ($P < 0.05$)。— 表示公式分母为 0 此项无意义。下表同。

1: 25% Spinetoram; 2: 25 g/L Deltamethrin; 3: 240 g/L Methoxyfenozide; 4: 200 g/L Chlorantraniliprole; 5: 10% Tetrachlorantraniliprole; 6: 10% Cyantraniliprole. Data are mean ± SE, and different uppercase (A, B) or lowercase (a, b) letters in the same column indicate highly significant different at the 0.01 level or significant different at the 0.05 level, respectively. — indicates meaningless because denominator of formula is zero. The same below.

表 4 药后不同时间玉米被害程度减退率
Table 4 Decrease rates of damaged maize degree at different time after spraying pesticide

序号 No.	药后时间 (d) Time after spraying pesticide (d)									
	0 (CK)	1	5	9	13	17	21	25	29	33
1	11.72±9.98 a	100.00±0.00 A	99.01±0.99 A	99.54±0.46 A	85.76±7.17 A	37.20±30.31 a	95.48±2.29 a	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	—
2	13.06±1.99 a	66.60±2.69 B	40.11±9.63 B	28.50±5.89 D	12.61±9.48 C	71.21±6.27 a	59.06±5.69 a	34.01±38.16 a	5.28±48.64 a	—
3	15.25±10.04 a	91.59±5.52 A	88.94±9.97 A	68.90±13.96 C	50.51±1.88 B	59.77±17.41 a	86.42±3.93 a	54.42±24.69 a	- 119.47±185.69 a	—
4	15.77±9.91 a	99.75±0.25 A	99.51±0.49 A	94.01±3.41 AB	77.81±4.79 AB	71.00±6.22 a	97.29±2.71 a	94.23±5.77 a	86.02±13.98 a	—
5	4.69±18.01 a	96.12±1.33 A	94.28±1.24 A	72.75±2.15 BC	67.05±5.63 AB	69.07±11.45 a	78.60±11.77 a	98.48±0.79 a	93.33±6.67 a	—
6	25.32±10.28 a	89.95±6.94 A	91.05±4.97 A	82.65±7.31 ABC	11.78±15.34 C	77.78±7.61 a	67.92±16.76 a	86.87±6.65 a	76.83±13.20 a	—

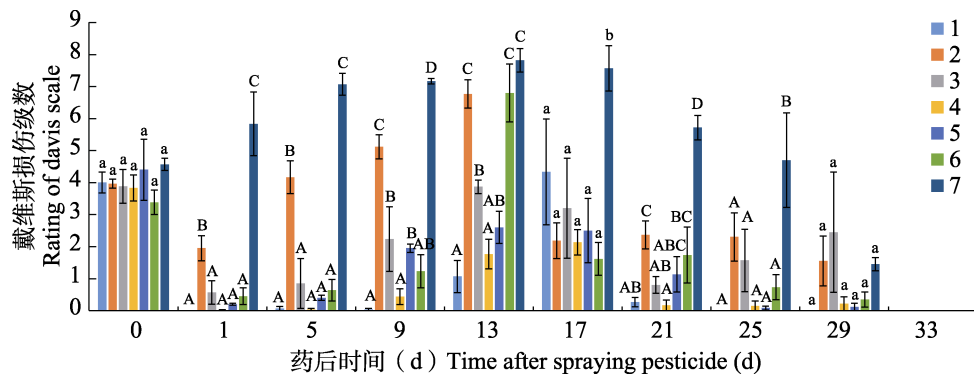


图 2 药后不同时间草地贪夜蛾幼虫对玉米的损伤程度

Fig. 2 Damage degrees of *Spodoptera frugiperda* larvae to maize plant at different time after spaying pesticide

1: 25%乙基多杀菌素; 2: 25 g/L 溴氰菊酯; 3: 240 g/L 甲氧虫酰肼; 4: 200 g/L 氯虫苯甲酰胺;
5: 10%四氯虫酰胺; 6: 10%溴氰虫酰胺; 7: 清水 (对照)。图 4 同。

图中数据为平均值 $\pm$ 标准误, 柱上不同大小写字母分别表示极显著差异 ($P < 0.01$) 和显著差异 ($P < 0.05$)。图 4 同。

1: 25% Spinetoram; 2: 25 g/L Deltamethrin; 3: 240 g/L Methoxyfenozide; 4: 200 g/L Chlrantraniliprole; 5: 10% Tetrachlorantraniliprole; 6: 10% Cyantraniliprole; 7: Water (CK). The same below. Data are mean $\pm$ SE, and different uppercas or lowercase letters above bars indicate highly significant difference at the 0.01 level or significant difference at the 0.05 level, respectively. The same for Fig. 4.

$P=0.003$), 减退率仍然保持在 98.25% (表 5)。药后第 17 天, 所有杀虫剂处理的被害株减退率均无显著差异 ($F=0.822$, $P=0.557$), 此时, 25%乙基多杀菌素和 200 g/L 氯虫苯甲酰胺第 1 次施药后被害株率反弹超 50.00%, 分别为 66.67%和 53.33% (图 3), 需进行第 2 次施药。

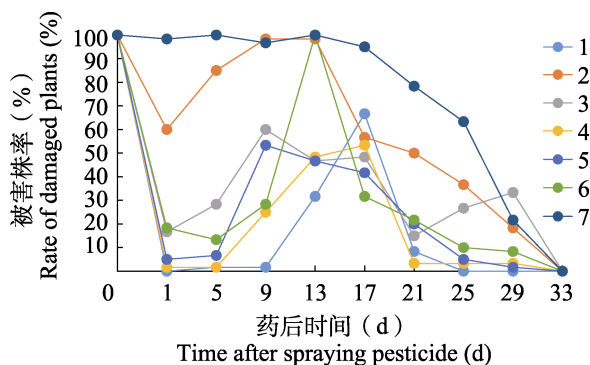


图 3 不同杀虫剂对玉米草地贪夜蛾的田间防控效果
Fig.3 Field efficacy of different insecticides against *Spodoptera frugiperda* in maize

药后第 1 天, 25 g/L 溴氰菊酯处理的被害株数仍为 60.00%, 已超过 50.00%, 需进行第 2 次施药, 其持效期仅 1 d。药后 9 d, 240 g/L 甲氧虫酰肼和 10%四氯虫酰胺的被害株率分别为 60.00%和 53.33%, 需进行第 2 次施药。药后 13 d, 10%溴氰虫酰胺的被害株率达 100.00%, 需进行

第 2 次施药 (图 3)。由此可见, 25%乙基多杀菌素与 200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%溴氰虫酰胺的持效期无差异性, 但 25%乙基多杀菌素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%溴氰虫酰胺、240 g/L 甲氧虫酰肼和 10%四氯虫酰胺的持效期显著高于 25 g/L 溴氰菊酯 ($F=10.700$, $P<0.001$)。25%乙基多杀菌素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%溴氰虫酰胺、240 g/L 甲氧虫酰肼和 25 g/L 溴氰菊酯在玉米田间持效期分别为 15.7、13.0、11.6、9.0、9.0 和 1.0 d (图 4)。

施药当天, 6 种杀虫剂对草地贪夜蛾的防控效果不存在差异 ($F=0.762$, $P=0.594$)。药后 1 和 5 d, 25%乙基多杀菌素、240 g/L 甲氧虫酰肼、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺、10%溴氰虫酰胺的防控效果显著高于 25 g/L 溴氰菊酯 ($F=19.468$, $P<0.001$; $F=12.357$, $P<0.001$)。药后 9 d, 25%乙基多杀菌素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%四氯虫酰胺、10%溴氰虫酰胺显著高于 25 g/L 溴氰菊酯 ($F=12.924$, $P=0.0001$)。药后 17 d, 10%四氯虫酰胺、10%溴氰虫酰胺的综合防效高于 25%乙基多杀菌素和 25 g/L 溴氰菊酯 ($F=4.309$, $P=0.018$)。药后 25 和 29 d, 均无差异性 ($F=1.398$, $P=0.293$; $F=1.054$, $P=0.431$)。 (表 6)。

表 5 药后不同时间玉米被害株减退率
Table 5 Decrease rates of infested maize plants at different time after spraying pesticide

序号 No.	药后时间 (d) Time after spraying pesticide (d)										
	0 (CK)	1	5	9	13	17	21	25	29	33	
1	0.00±0.00	100.00±0.00 A	98.33±1.67 A	98.25±1.75 A	68.33±16.91 A	29.03±17.67 a	89.44±4.09 A	100.00±0.0 a	100.00±0.0 a	—	
2	0.00±0.00	38.95±3.07 B	15.00±5.00 B	- 1.75±1.75 C	1.67±1.67 B	39.79±10.17 a	36.25±2.60 B	25.56±34.34 a	18.33±40.86 a	—	
3	0.00±0.00	83.33±10.14 A	71.67±25.87 A	37.37±20.35 BC	53.33±1.67 A	49.94±15.01 a	81.11±6.11 A	42.86±29.74 a	- 65.00±130.29 a	—	
4	0.00±0.00	98.33±1.67 A	98.33±1.67 A	73.68±21.27 AB	51.67±14.81 A	43.01±14.12 a	95.83±4.17 A	90.48±9.52 a	86.67±13.33 a	—	
5	0.00±0.00	94.91±0.09 A	93.33±1.67 A	44.74±2.63 B	53.33±4.41 A	56.82±16.89 a	73.89±14.08 A	91.90±4.23 a	91.67±8.33 a	—	
6	0.00±0.00	81.23±9.45 A	86.67±7.26 A	71.05±12.98 AB	0.00±0.0 B	66.22±11.63 a	71.94±14.28 A	87.27±6.39 a	58.33±30.05 a	—	

表 6 不同杀虫剂对草地贪夜蛾的防控效果
Table 6 Control efficacies of different insecticides against *Spodoptera frugiperda*

序号 No.	药后时间 (d) Time after spraying pesticide (d)										
	0 (CK)	1	5	9	13	17	21	25	29	33	
1	29.47±2.22 a	100.00±0.00 A	99.16±0.88 A	99.26±0.74 A	79.62±11.56 A	8.00±6.25 bc	94.98±2.13 a	100.00±0.0 a	88.89±11.11 a	—	
2	27.22±4.21 a	56.79±1.39 B	26.90±8.81 B	- 14.46±17.73 C	- 52.39±30.05 C	4.04±19.24 c	- 271.93±162.44 b	- 77.36±110.79 a	4.17±36.704 a	—	
3	24.40±8.83 a	89.44±6.88 A	80.66±16.63 A	48.89±16.88 B	30.39±19.95 AB	26.20±18.23 abc	55.84±22.34 a	26.87±40.82 a	- 39.27±116.42 a	—	
4	35.61±3.09 a	99.36±0.64 A	98.22±1.78 A	85.50±11.04 AB	58.49±17.26 AB	53.19±10.07 ab	97.71±2.29 a	61.57±38.43 a	79.78±10.26 a	—	
5	28.23±10.44 a	95.75±0.42 A	94.20±1.59 A	65.07±1.15 AB	52.11±8.77 AB	69.74±12.22 a	60.71±21.30 a	91.24±6.26 a	80.19±10.12 a	—	
6	38.64±3.37 a	89.18±5.55 A	92.57±3.72 A	82.47±7.43 AB	10.39±7.11 B	66.89±14.00 a	13.29±70.21 a	38.60±47.51 a	67.28±16.37 a	—	

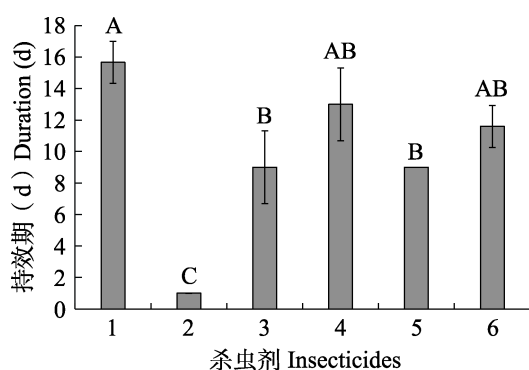


图4 不同杀虫剂的田间持效期

Fig. 4 Field durations of different insecticides

2.3 气象因素对田间草地贪夜蛾存活幼虫数量的影响

通过相关性分析可得, 在 5-7 月期间田间对照草地贪夜蛾存活幼虫数量与降雨量之间的相关系数为 -0.511, 相关程度显著 ($P=0.040$), 属于中度负相关。草地贪夜蛾存活幼虫数量与温度之间的相关系数为 0.424, 相关程度不显著 ($P=0.099$), 属于弱正相关。降雨量与温度之间的相关系数为 -0.519, 相关程度显著 ($P=0.044$), 属于中度负相关。曲线回归分析可得, 回归系数 (R) 为 0.687, 判断系数 (R^2) 为 0.4718, 调整判断系数为 0.406, 说明因变量与自变量之间有曲线关系, 并具有显著性意义 ($P=0.028$), 可建立曲线回归方程为 $y = -105.9\ln(x) + 513.94$, 说明该模型相关自变量 x 是因变量 y 很好的预测变量, 在 $0 < x < 128.13$ 区间具有实际指导意义, 自变量 99% 的置信区间为 [43.11, 100.04] (图 5)。德宏州 2019 年 1-12 月份降水量分别为 3.90、

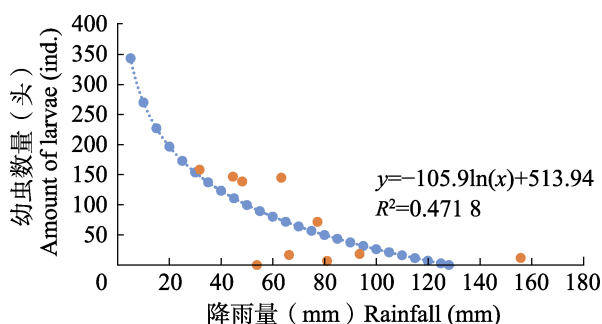


图5 降雨量与草地贪夜蛾幼虫存活数量的拟合曲线图

Fig. 5 Fitting curve between rainfall and survival number of *Spodoptera frugiperda* larvae

2.48、9.05、10.00、3.75、67.40、100.78、39.50、22.60、14.00、7.85 和 1.33 mm, 降雨量主要集中在 6-9 月, 此时正是德宏夏玉米的栽培及生长期, 也是田间玉米草地贪夜蛾种群数量减少的时期 (图 3)。

3 讨论

针对外来突发性重大病虫害的发生为害, 作为应急措施的化学防控是有害生物综合防控中不可缺少的关键措施, 也是最高效、最快速、最直接的防控方法。但同时也是制约有害生物综合防控可持续发展的重要因子 (高希武, 2010), 是影响社会、经济和生态可持续发展的主要因素。自草地贪夜蛾入侵云南后, 我国积极采取化学药剂进行防控。为避免因抗药性作用而影响防效, 错过最佳防控时期, 造成大面积扩散和不必要的损失, 我国推荐了一系列新型杀虫剂作为应急农药, 从而避开美洲等原产地国家使用的有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类等杀虫剂 (Pitre, 1986)。

德宏州位于云南省西部, 属亚热带季风气候类型, 年均气温 18.6-21.0 °C, 年降雨量 1 366.1-1 606.6 mm。西、北、南三面与缅甸接壤。是草地贪夜蛾入侵定殖的理想区域之一, 在此其迁飞力强、繁殖量大、适生性广、为害损失重的特点显得尤为突出。国外入侵虫源 (吴秋琳等, 2019), 本地定殖虫源 (叶辉等, 2023), 州外回迁虫源 (赵雪晴等, 2019), 均在此周年发生, 并无越冬滞育现象, 世代重叠严重 (Huang *et al.*, 2020), 为害损失较大。为了有效防控草地贪夜蛾的发生为害, 本试验研究表明, 25%乙基多杀菌素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10%溴氰虫酰胺防控效果较好。25%乙基多杀菌素与赵胜园等 (2019b)、郑群等 (2019) 和高祖鹏等 (2020) 的室内测定乙基多杀菌素对草地贪夜蛾幼虫具有较强毒杀活性结果一致。与杨帆等 (2022) 研究的田间乙基多杀菌素对草地贪夜蛾幼虫具有较好的速效性和持效性一致。200 g/L 氯虫苯甲酰胺与李燕芳等 (2021) 研究的田间氯虫苯甲酰胺对草地贪夜蛾幼虫具有较好的毒杀和防效一

致。10%溴氰虫酰胺与周泽雄等(2020)发现田间溴氰虫酰胺对草地贪夜蛾具有较高的杀虫活性一致。25 g/L 溴氰菊酯对草地贪夜蛾的杀虫活性较低,可能与该种群对拟除虫菊酯类农药产生的抗药性有关。早在1991年,Yu(1991)报道草地贪夜蛾对氯氰菊酯、氯氟氰菊酯、氰戊酸酯、联苯菊酯、氰菊酯和氟氰菊酯等拟除虫菊酯类农药产生了不同的抗性。为此,25%乙基多杀菌素、200 g/L 氯虫苯甲酰胺可作为德宏州防控草地贪夜蛾的首选推荐使用农药,其次为10%溴氰虫酰胺、240 g/L 甲氧虫酰肼、10%四氯虫酰胺,并交替轮换使用,以延缓草地贪夜蛾抗药性的产生。

目前草地贪夜蛾是德宏州玉米的主要害虫,防控已呈为常态化,虽然上述农药对草地贪夜蛾具有较好的防效,但毕竟是应急措施,长期使用可能产生抗性,破坏生态环境,影响粮食安全,距可持续协调发展还有一定的差距,对草地贪夜蛾的绿色综合防控策略还需要进一步深入研究。

参考文献 (References)

- Abrahams P, Beale T, Cock M, Cock N, Day R, Godwin J, Murphy S, Richards G, Vos J, 2017. Fall armyworm status: Impacts and control options in Africa: Preliminary evidence note. Wallingford: CABI. 1–18.
- Davis FM, Ng SS, Williams WP, 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station: Mississippi State University, MS, USA, accessed on 7 March 2025, <http://www.nal.usda.gov/>.
- Gao XW, 2010. Current status and development strategy for chemical control in China. *Plant Protection*, 36(4): 19–22. [高希武, 2010. 我国害虫化学防治现状与发展策略. 植物保护, 36(4): 19–22.]
- Gao ZP, Guo JF, He KL, Wang ZY, 2020. Toxicity of spinetoram and its effects on the detoxifying enzyme and acetyl cholinesterase activities in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Acta Entomologica Sinica*, 63(5): 558–564. [高祖鹏, 郭井非, 何康来, 王振营, 2020. 乙基多杀菌素对草地贪夜蛾幼虫的毒力及其解毒酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响. 昆虫学报, 63(5): 558–564.]
- Guo JF, He KL, Wang ZY, 2019. Biological characteristics, trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, and the strategy for management of the pest. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(3): 361–369. [郭井非, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策. 应用昆虫学报, 56(3): 361–369.]
- Huang YR, Dong YY, Huang WJ, Ren BY, Deng QY, Shi Y, Bai J, Ren Y, Geng Y, Ma HQ, 2020. Overwintering distribution of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Yunnan, China, and influencing environmental factors. *Insects*, Doi: 10.3390/insects11110805.
- Hu F, Liu YJ, Su XY, Hu BJ, Zhou ZY, Xu LN, Qiu K, Zheng ZY, Zhang QY, Chen AH, Liao C, Wang ZY, 2020a. Occurrence of *Spodoptera frugiperda* and control experiments in wheat field of northern Anhui Province. *Plant Protection*, 46(4): 199–204. [胡飞, 苏贤岩, 胡本进, 周子燕, 徐丽娜, 邱坤, 郑兆阳, 张启勇, 陈爱红, 廖辰, 王振营, 2020a. 安徽北部小麦田草地贪夜蛾发生情况及田间防治试验. 植物保护, 46(4): 199–204.]
- Hu F, Su XY, Hu BJ, Zhou ZY, Xu LN, Qiu K, Zheng ZY, Zhang QY, Liao C, Wang ZY, 2020b. Toxicities and field control efficacy of the mixtures of emamectin benzoate and chlorantraniliprole to *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 46(3): 303–307. [胡飞, 苏贤岩, 胡本进, 周子燕, 徐丽娜, 邱坤, 郑兆阳, 张启勇, 廖辰, 王振营, 2020b. 甲维盐·氯虫苯甲酰胺组合对草地贪夜蛾室内毒力测定及田间防治效果. 植物保护, 46(3): 303–307.]
- Jiang YY, Liu J, Zhu XM, 2019. Analysis on the occurrence dynamics and future trend of *Spodoptera frugiperda* invading China. *China Plant Protection*, 39(2): 33–35. [姜玉英, 刘杰, 朱晓明, 2019. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析. 中国植保导刊, 39(2): 33–35.]
- Johnson SJ, 1987. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the western hemisphere. *International Journal of Tropical Insect Science*, 8(4): 543–549.
- Li YF, Xu S, Zhang ZF, Chen BX, Xiao HX, 2021. Study on laboratory toxicity and field efficacy of three insecticides against *Spodoptera frugiperda* larva in Guangdong Province. *Journal of Environmental Entomology*, 43(1): 239–244. [李燕芳, 徐淑, 张振飞, 陈炳旭, 肖汉祥, 2021. 3种药剂对广东地区草地贪夜蛾3龄幼虫室内毒力测定及其田间药效评价. 环境昆虫学报, 43(1): 239–244.]
- Liu YQ, Wang XQ, Zhong YW, 2019. Fall armyworm *Spodoptera frugiperda* feeding on cabbage in Zhejiang. *Plant Protection*, 45(6): 90–91. [刘银泉, 王雪倩, 钟宇巍, 2019. 草地贪夜蛾在浙江为害甘蓝. 植物保护, 45(6): 90–91.]
- Pitre HN, 1986. Chemical control of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): An update. *Florida Entomologist*, 69(3): 570.
- Sparks AN, 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *Florida Entomologist*, 62(2): 82.
- Tai HK, Guo JF, Zhang F, Wang GQ, An ZY, Zhang T, Su HL, Xu JL, Yang LQ, Wang ZY, 2019a. Biological characteristics and damage symptom of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* on winter sown sweet corn in Yunnan Province. *Plant Protection*, 45(5): 91–95. [太红坤, 郭井非, 张峰, 王根权, 安智燕, 张婷, 苏华亮, 许君林, 杨立秋, 王振营, 2019a. 草地贪夜蛾在云南冬季甜玉米上的生物学特性及为害状观察. 植物保护, 45(5): 91–95.]
- Tai HK, Guo JF, Yang SC, Zhang F, Liu J, Yang YQ, Song M, Xia

- YG, He K, Lin QX, Wang ZY, 2019b. Biological characteristics and damage symptoms of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on sugarcane in Dehong prefecture of Yunnan Province. *Plant Protection*, 45(6): 75–79, 89. [太红坤, 郭井菲, 杨世常, 张峰, 刘杰, 杨煜卿, 宋梅, 夏银果, 何珂, 蔺乔仙, 王振营, 2019b. 草地贪夜蛾在云南德宏州甘蔗上的生物学习性及为害状观察. 植物保护, 45(6): 75–79, 89.]
- Tai HK, Yin X, Liu HJ, Bai SX, Gong Q, Yue YB, Gao R, Qu SL, Dong XM, Wang ZY, 2022. Preliminary report on the damage of the fall armyworm on ginger in Dehong of Yunnan Province. *Plant Protection*, 48(4): 374–376. [太红坤, 银馨, 刘宏珺, 白树雄, 龚琪, 岳元保, 高锐, 瞿生龙, 董雪梅, 王振营, 2022. 草地贪夜蛾在云南德宏为害生姜初报. 植物保护, 48(4): 374–376.]
- Todd EL, Poole RW, 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.
- Wang QQ, Cui L, Wang L, Huang WL, Dai LM, Yuan HZ, Rui CH, 2019. Ovicidal activity of fourteen insecticides against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(6): 80–83, 113. [王芹芹, 崔丽, 王立, 黄伟玲, 代黎明, 袁会珠, 芮昌辉, 2019. 14 种杀虫剂对草地贪夜蛾的杀卵活性. 植物保护, 45(6): 80–83, 113.]
- Wu QL, Jiang YY, Liu Y, Liu J, Ma J, Hu G, Yang MJ, Wu KM, 2022. Migration pathway of *Spodoptera frugiperda* in northwestern China. *Scientia Agricultura Sinica*, 55(10): 1949–1960. [吴秋琳, 姜玉英, 刘媛, 刘杰, 马景, 胡高, 杨明进, 吴孔明, 2022. 草地贪夜蛾在中国西北地区的迁飞路径. 中国农业科学, 55(10): 1949–1960.]
- Wu QL, Jiang YY, Wu KM, 2019. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) from Myanmar to China. *Plant Protection*, 45(2): 1–6, 18. [吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析. 植物保护, 45(2): 1–6, 18.]
- Yang F, Wang Y, Luo HB, Zhou LL, Wang P, Si SY, 2022. Indoor ovicidal activity and field control effectiveness of 13 chemical insecticides against fall armyworm. *Jiangsu Agricultural Science*, 50(8): 37–42. [杨帆, 望勇, 骆海波, 周利琳, 王攀, 司升云, 2022. 13 种化学杀虫剂对草地贪夜蛾的室内杀卵活性和田间防效. 江苏农业科学, 50(8): 37–42.]
- Ye H, Feng D, Xu QY, Li YP, Xia JF, Wang GQ, 2023. Thoughts and strategies of regional ecological prevention and control of *Spodoptera frugiperda* in Yunnan Province. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 45(2): 523–530. [叶辉, 冯丹, 徐全元, 李永萍, 夏金福, 王根权, 2023. 云南草地贪夜蛾区域生态防控思想与对策. 云南大学学报(自然科学版), 45(2): 523–530.]
- Young JR, McMillian WW, 1979. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces. *Journal of Economic Entomology*, 72(2): 202–203.
- Yu SJ, 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 39(1): 84–91.
- Yu SJ, 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 85(3): 675–682.
- Zhao XQ, Qu TY, Li YH, Yin YQ, Zhang HM, Wang Y, Li XY, Chen FS, Li YC, Chen AD, 2019. Seasonal occurrence characteristics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Yunnan in 2019 spring and summer. *Plant Protection*, 45(5): 84–90. [赵雪晴, 屈天尧, 李亚红, 赵雪晴, 屈天尧, 李亚红, 尹艳琼, 张红梅, 王燕, 李向永, 陈福寿, 李永川, 湛爱东, 2019. 2019 年云南省草地贪夜蛾春夏季发生特征. 植物保护, 45(5): 84–90.]
- Zhao M, Yang JG, Wang ZY, Zhu JS, Jiang YY, Xu ZC, Zhu P, Wang ZH, Yu Y, Men XY, Li LL, 2019. *Spodoptera frugiperda* were found damaging potato in Shandong Province. *Plant Protection*, 45(6): 84–86, 97. [赵猛, 杨建国, 王振营, 朱军生, 姜玉英, 徐兆春, 朱萍, 王振华, 于毅, 门兴元, 李丽莉, 2019. 山东发现草地贪夜蛾为害马铃薯. 植物保护, 45(6): 84–86, 97.]
- Zhao SY, Sun XX, Zhang HW, Yang XM, Wu KM, 2019a. 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, 2019a. 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.]
- Zhao SY, Yang XM, Sun XX, Zhang HW, Zhang S, Wu KM, 2019b. Laboratory control efficacy of commonly-used bioinsecticides against *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(3): 21–26. [赵胜园, 杨现明, 孙小旭, 张浩文, 张生, 吴孔明, 2019b. 常用生物农药对草地贪夜蛾的室内防效. 植物保护, 45(3): 21–26.]
- Zheng Q, Wang YQ, Tan YT, Ma QL, Yan WJ, Yang S, Xu HH, Zhang ZX, 2019. Bioactivity of spinetoram and its field efficiency against *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Environmental Entomology*, 41(6): 1169–1174. [郑群, 王勇庆, 谭煜婷, 马千里, 闫文娟, 杨帅, 徐汉虹, 张志祥, 2019. 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. 环境昆虫学报, 41(6): 1169–1174.]
- Zhou SC, Li SB, Su RR, Wang XY, Zheng XL, Lu W, 2020. Preliminary report on the damage of *Spodoptera frugiperda* on *Maranta arundinacea* in Guangxi. *Plant Protection*, 46(2): 209–211, 221. [周上朝, 栗圣博, 苏冉冉, 王小云, 郑霞林, 陆温, 2020. 广西草地贪夜蛾为害冬粉薯初报. 植物保护, 46(2): 209–211, 221.]
- Zhou ZX, Tang JH, Lü BQ, Lu H, 2020. Indoor toxicity and field efficacy of 4 kinds of insecticides against *Spodoptera frugiperda* in Hainan. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 40(S1): 6–12. [周泽雄, 唐继洪, 吕宝乾, 卢辉, 2020. 四种药剂对海南草地贪夜蛾的室内毒力和田间防效. 热带农业科学, 40(S1): 6–12.]