

三种方法监测草地贪夜蛾在海南 春玉米上种群动态分析*

张起恺^{1,2**} 吕宝乾^{1,2***} 姜玉英³ 卢 辉^{1,2}
唐继洪^{1,2} 邱海燕¹ 万 鹏⁴

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 农业农村部热带作物有害生物综合治理重点实验室, 海口 571101;

2. 中国热带农业科学院三亚研究院, 海南省南繁生物安全与分子育种重点实验室, 三亚 572025;

3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 4. 海南大学植物保护学院,

热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室, 海口 570228)

摘 要 【目的】为评价田间调查、性诱捕器和高空测报灯对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的监测效果。【方法】于 2022 年在海南省儋州市的春季玉米上调查田间幼虫的百株虫量, 同时利用性诱捕器和高空测报灯对草地贪夜蛾成虫进行诱集, 最后对这 3 种监测方法的结果进行比较分析。【结果】草地贪夜蛾幼虫在海南春玉米的整个生长期发生数量大, 有两个高峰期, 第一个高峰期出现在拔节期和大喇叭口期, 高峰日虫量达 140 头, 第二个高峰期出现在乳熟期, 高峰日虫量达 119 头。性诱捕器的诱蛾动态也有两个明显的高峰期且基本与田间幼虫动态吻合, 高峰日比田间动态滞后 4-6 d。高空测报灯在苗期、大喇叭口期和完熟期有 3 个小的高峰但高峰期不明显。回归分析表明性诱捕器的单次诱蛾数与田间单次调查数呈显著正相关 ($R^2 = 0.49$, $P < 0.001$)。【结论】田间调查的幼虫种群动态能够最直观反映草地贪夜蛾种群的发生情况, 性诱捕器监测的草地贪夜蛾种群动态与田间调查的结果较为吻合, 是较为理想的草地贪夜蛾田间种群监测方法, 而高空测报灯可以监测到空中迁飞种群。3 种监测方法应该合理配合使用才能对草地贪夜蛾的地面发生和空中迁飞进行有效监测。本研究可为草地贪夜蛾监测方法的选择提供科学参考。

关键词 田间调查; 高空测报灯; 性诱捕器; 种群监测; 评价

Three methods for analysing *Spodoptera frugiperda* population dynamics in spring maize crops in Hainan

ZHANG Qi-Kai^{1,2**} LÜ Bao-Qian^{1,2***} JIANG Yu-Ying³
LU Hui^{1,2} TANG Ji-Hong^{1,2} QIU Hai-Yan¹ WAN Peng⁴

(1. Environment and Plant Protection Institute, CATAS, Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Integrated Pest Management of Tropical Crops, Haikou 571101, China; 2. Sanya Research Institute, CATAS, Hainan

Key Laboratory for Biosafety Monitoring and Molecular Breeding in the Nanfan Area, Sanya 572025, China;

3. National Agro-Technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 4. College of Plant Protection, Key

Laboratory of Green Prevention and Control of Tropical Plant Diseases and Pests, Ministry of

Education, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract 【Objectives】To compare the effectiveness of field surveys, pheromone traps, and high-altitude reporting lamps for monitoring the population dynamics of the armyworm *Spodoptera frugiperda* in spring cornfields. 【Methods】A field study to determine the per-plant larval density was conducted in 2022 in Danzhou, Hainan Province. Concurrently, adult

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2021YFD1400702); 海南省国际科技合作研发项目 (GHYF2022002); 海南省重大科技计划项目 (ZDKJ202002)

**第一作者 First author, E-mail: 18810521205@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lvbaoqian@hotmail.com

收稿日期 Received: 2022-09-28; 接受日期 Accepted: 2023-03-25

armyworms were lured into traps using pheromone lures and high-altitude reporting lamps, and the results obtained from these three monitoring methods were then compared. **[Results]** The armyworm population experienced two population peaks during the corn growth cycle, the first during the jointing and trumpet mouth stages, when density reached up to 140 larvae per 100 plants, and the second during the milk stage when density was 119 larvae per 100 plants. Pheromone trapping data were closely aligned with the results of the field survey, although the population peaks occurred 4-6 days later. High-altitude reporting lamps detected three minor peaks during the seedling, whorl, and mature stages, but these were less distinct. Regression analysis revealed a significant positive correlation ($R^2 = 0.49$, $P < 0.001$) between the number of adult armyworms caught in pheromone traps and the field survey counts. **[Conclusion]** Field surveys offer the most direct insights into armyworm population dynamics. Pheromone trap results were closely aligned with field survey data, and are therefore a good alternative for monitoring armyworm population dynamics. High-altitude reporting lamps are effective for tracking migrating populations. Utilizing a combination of these methods allows for comprehensive monitoring of both armyworm ground-level abundance and aerial migration patterns.

Key words sampling for larvae; vertical-pointing searchlight-trap; sex pheromone trap; population monitoring; effect evaluation

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) 属鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae), 原产于美洲热带和亚热带地区, 是联合国粮农组织全球预警的“跨国界迁飞性重大害虫”, 近年来在非洲、亚洲等新入侵地区快速扩散传播, 给农业生产和粮食安全造成了严重威胁 (Day *et al.*, 2017; Kebede and Shimalis, 2018; 王磊等, 2019; 吴孔明, 2020; 郭井菲等, 2022)。2018 年 12 月 11 日, 我国在云南省高空测报灯下首次发现草地贪夜蛾成虫, 2019 年 1 月 15 日经实地调查和鉴定确定为草地贪夜蛾 (杨学礼等, 2019), 之后迅速扩散到全国 26 个省 (直辖市、自治区) (姜玉英等, 2019), 完成了在中国的入侵和定殖过程, 基本遍及我国各主要玉米产区, 严重威胁我国的粮食生产安全 (吴孔明, 2020)。2019 年 4 月底, 草地贪夜蛾首次在海南发现, 对海南鲜食玉米产业和南繁玉米育种构成巨大威胁。

病虫害测报是植物保护工作的基础, 在防控工作中起着信息支撑和决策支持的作用 (刘万才和黄冲, 2018)。病虫害的预测预报需要对田间种群动态进行监测, 目前较为流行的病虫害田间种群监测方法主要是田间调查、性诱捕器、高空测报灯等。田间调查的对象主要是卵、幼虫和蛹, 可以明确其空间分布、发生数量和发育阶段, 且可以估算各虫态发育进度, 做出发生期和发生程度预测 (刘杰等, 2019)。性诱捕器主要由诱芯和诱捕器两部分组成, 诱芯含有害虫成虫的特异

性信息素且能以恒定的速率释放, 具有灵敏性高、专一性强、环境友好等优点。高空测报灯利用昆虫的趋光性, 向高空投射光束, 对迁出、过境和迁入种群有较强的诱捕作用, 目前已成为重大迁飞性害虫监测的重要手段 (姜玉英等, 2016, 2018)。

寄主范围广、繁殖能力强、迁飞扩散快的特性使草地贪夜蛾的为害具有突发性和爆发性, 短时间内会出现大量虫源 (郭井菲等, 2019)。为及时获取草地贪夜蛾的种群动态数据, 国内外针对草地贪夜蛾的预测预报做了大量工作。田间调查草地贪夜蛾种群的对象主要是幼虫, 高庆刚等 (2022) 在山东通过对田间草地贪夜蛾幼虫的调查得出当地应该在 7 月中下旬以后播种的玉米上重点监测和防控幼虫, 齐国君等 (2022) 对草地贪夜蛾田间幼虫动态进行调查, 明确了广东省不同生态区草地贪夜蛾种群的周年消长动态和发生特征。早在草地贪夜蛾在非洲和美洲爆发时, 性诱剂就被广泛应用于北美洲和非洲国家对草地贪夜蛾的测报工作 (Starratt and McLeod, 1982; Guerrero *et al.*, 2014)。该虫入侵我国以后, 性诱技术也成为国内监测草地贪夜蛾成虫的重要工具, Jiang 等 (2022) 明确了入侵云南的草地贪夜蛾种群的主要性信息素成分是 Z9-14 : Ac 和 Z7-12 : Ac (100 : 3.9), 尹艳琼等 (2020)、卢辉等 (2021)、张晴晴等 (2021) 利用性诱捕器分别研究了云南、海南、山东等地草地贪夜蛾

成虫活动、种群动态、发生危害、区域分布等规律。作为重大迁飞性害虫,高空测报灯对草地贪夜蛾的监测也发挥了重要作用,姜玉英等(2020)在广西等8省(自治区、直辖市)利用高空测报灯对草地贪夜蛾进行监测,明确了多地草地贪夜蛾的发生规律,为“三区四带”的布防措施提供了数据支撑,孙旭军等(2021)、唐继洪等(2022)、钟景伟等(2022)利用高空测报灯分别监测河南、海南、广东的草地贪夜蛾种群,明确了该虫在当地的迁飞扩散动态。

田间调查、性诱捕器、高空测报灯都能有效监测草地贪夜蛾的发生规律,广泛应用于我国各地区对其种群发生的预测预报工作,但是3种监测方法各有长处和不足,目前国内外缺乏对3种监测方法监测效果的科学评价。鉴于此,本研究于2022年在海南省开展了田间调查、性诱捕器、高空测报灯3种方法对春玉米上的草地贪夜蛾种群监测效果评价,以期草地贪夜蛾监测方法的选择提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验田设置

试验地点位于海南省儋州市中国热带农业科学院儋州院区六坡实验地(经度19°30'N,纬度109°28'E,海拔154.7 m),试验田面积50 hm²,周边以橡胶林为主,玉米种植较少。供试玉米品种为“皇冠”甜玉米,2022年1月15日播种,试验期为玉米苗期到收获期,采用常规方式管理,整个玉米生长期未打农药。

1.2 试验设计

1.2.1 田间调查幼虫种群动态 在试验田每3 d进行一次草地贪夜蛾幼虫数量调查,采用“W”形五点取样,每点调查20株,总共调查100株。每株查看叶片正面、背面和叶基部、心叶、茎秆、雄穗、花丝、雌穗等部位受害情况,记录玉米的生育期和植株上幼虫数量、龄期,统计百株虫量。

1.2.2 性诱捕器监测成虫种群动态 性诱捕器选用漳州市英格尔农业科技有限公司桶形诱捕器和诱芯。6个诱捕器在田间呈三角形放置,每

个诱捕器相距100 m,且与田边距离大于5 m,放置高度:植株高度30-100 cm时,放置高度约80 cm,成株时放置高度低于植株冠层20-30 cm。诱芯每6 d更换一次,每3 d记录每个诱捕器诱集成虫的数量,并将诱捕器清空。

1.2.3 高空测报灯监测成虫种群动态 高空测报灯(型号RFGB-CK-1,功率1 000 W,广州瑞丰生物科技有限公司),安装于调查点玉米地旁,与试验田相距20 m,安装点周边无高大建筑物遮挡、无强光源干扰。高空测报灯设置为自动定时开关,开灯时间为晚上6:00至次日6:00,下雨期间自动关闭。每3 d收集一次诱集到的昆虫并记录草地贪夜蛾的数量。

1.3 数据处理

监测期间每3 d调查一次,每次记录的数据即为田间单次虫量(田间调查)或单次诱蛾数(性诱捕器和高空灯)。监测数据按田间单次虫量/单次诱蛾数做出种群动态曲线,用于直观分析和比较3种方法的监测效果。为分析两种诱集工具的单次诱蛾数与田间单次虫量的相关性,以田间单次虫量为解释变量,以两种诱集工具的单次诱蛾数为响应变量分别构建一元线性回归模型。数据分析在R 3.6.3中进行。

2 结果与分析

2.1 海南春玉米上草地贪夜蛾幼虫发生危害情况

1-2龄幼虫在玉米苗期的开始阶段数量急剧上升,在1月30日数量达到峰值,为105头,之后数量急剧下降,整个苗期和拔节期阶段总共调查到375头(图1:A,B);玉米进入大喇叭口期,1-2龄幼虫的数量继续下降,在2月21日降到0(图1:A);玉米进入抽穗期后,又开始调查到1-2龄幼虫,其数量持续上升(图1:A);3月17日玉米刚进入乳熟期时,1-2龄幼虫的数量达到第2个峰值,为71头,之后持续下降(图1:A);到玉米进入完熟期时,1-2龄幼虫的数量下降到0,整个完熟期其数量均为0(图1:A,B)。3-4龄幼虫在玉米的苗期和拔节期阶段数量呈现持续上升的趋势,在2月9日数量达到峰值,

为 86 头, 整个苗期和拔节期的数量达到 327 头 (图 1: A, B); 玉米进入大喇叭口期, 其数量呈现持续下降的趋势, 整个大喇叭口期的数量达到 276 头 (图 1: A, B); 在玉米的抽穗期和乳熟期, 3-4 龄幼虫的数量再次持续上升, 在 3 月 26 日达到第 2 个峰值, 为 45 头 (图 1: A); 玉

米进入完熟期后, 3-4 龄幼虫的数量呈现持续下降的趋势 (图 1: A)。5-6 龄幼虫在玉米苗期的前期数量均为 0, 直到 2 月 3 日才开始调查到, 数量呈现缓慢上升的趋势, 在玉米抽穗期数量缓慢下降, 在玉米的乳熟期又缓慢上升, 到玉米完熟期其数量持续下降 (图 1: A)。

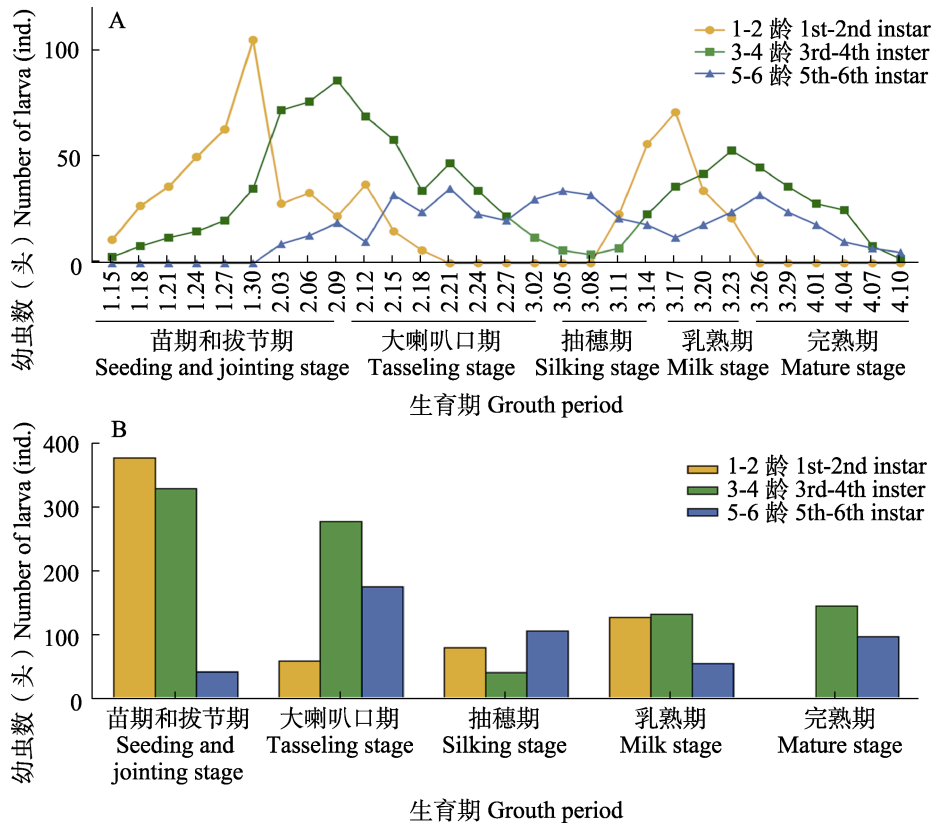


图 1 不同龄期草地贪夜蛾幼虫在田间的发生动态 (A) 和数量 (B)

Fig. 1 Occurrence dynamics of *Spodoptera frugiperda* larvae at different instar in the field (A) and number (B)

图中横坐标中的数字表示日期 (月.日)。The numbers on the horizontal axis represent dates in the format (month. day).

2.2 3 种方法监测草地贪夜蛾的数据对比

田间调查的草地贪夜蛾幼虫数量动态呈双峰状, 第一个高峰期出现在拔节期和大喇叭口期 (1 月 27 日-2 月 15 日), 高峰日为 1 月 30 日, 虫量达 140 头; 第 2 个高峰期主要出现在乳熟期 (3 月 14 日-3 月 29 日), 高峰日为 3 月 17 日, 虫量达 119 头; 两个高峰期期间的田间幼虫数量的最低点出现在抽穗期 (3 月 8 日) (图 2: A)。性诱捕器诱集的草地贪夜蛾成虫数量动态也呈双峰状, 第一个高峰期出现在 1 月 27 日-2 月 9 日, 高峰日为 2 月 3 日, 高峰期比田间动态的高

峰期短 6 d, 高峰日滞后 4 d; 第 2 个高峰期出现在 3 月 20 日-4 月 1 日, 高峰日为 3 月 23 日, 高峰期开始的时间与田间动态的高峰期相比滞后 6 d, 高峰期结束的时间比田间动态滞后 3 d, 高峰日滞后 6 d; 两个高峰期期间的成虫数量的最低点出现在大喇叭口期 (3 月 2 日), 比田间动态提前 6 d (图 2: B)。高空测报灯诱集的草地贪夜蛾成虫的数量无明显高峰期, 在玉米的苗期初期、大喇叭口期和完熟期末期出现 3 个高峰日, 分别为 1 月 19 日、2 月 24 日和 4 月 1 日, 此外, 高空测报灯监测草地贪夜蛾的终见日晚, 4 月 10 日仍然可以监测到成虫 (图 2: C)。

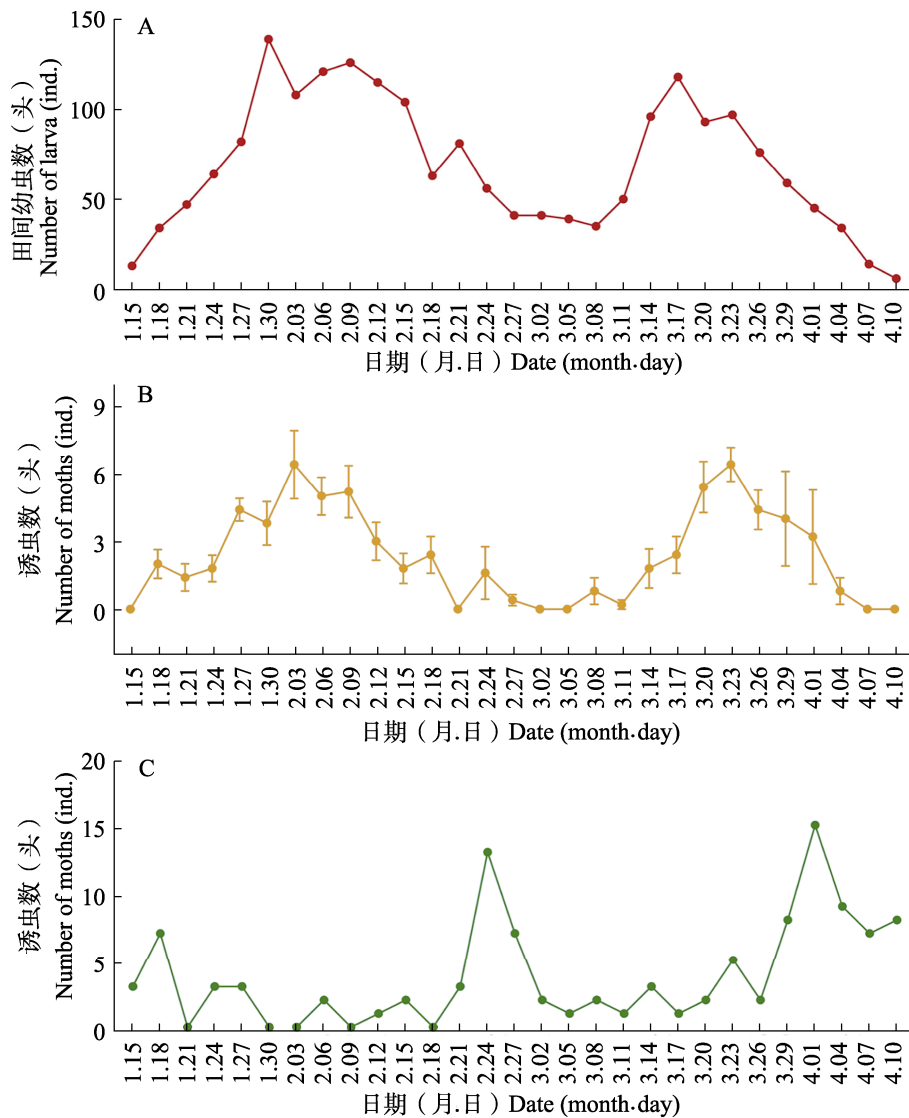


图 2 3 种方法监测草地贪夜蛾的数量动态

Fig. 2 Three methods for monitoring the quantitative dynamics of *Spodoptera frugiperda*

A. 田间调查; B. 性诱捕器; C. 高空测报灯。

A. Field investigation; B. Sex pheromone trap; C. Vertical-pointing searchlight-trap.

2.3 两种工具单次诱蛾数与田间单次虫量的回归分析

随着田间单次虫量的增多,性诱捕器的单次诱蛾数量也随之增多,二者存在显著正相关关系 ($R^2 = 0.49$, $P < 0.05$);高空测报灯的单次诱蛾数随田间单次虫量的增多而减少,二者相关性不显著 ($R^2 = 0.15$, $P = 0.06$) (图 3)。

3 讨论

本研究主要是利用田间调查、性诱捕器、高

空测报灯 3 种方法对海南春玉米上的草地贪夜蛾种群进行监测效果比较。结果表明,草地贪夜蛾在海南春玉米上种群发生量大,主要发生于拔节期和大喇叭口期,在乳熟期的数量也会有小高峰。性诱捕器监测的草地贪夜蛾种群消长动态与田间调查结果相似,都有两个明显的高峰期,但性诱捕器监测的高峰期较田间真实发生情况有所滞后。高空测报灯监测的结果则无法反映草地贪夜蛾的田间种群动态。

根据草地贪夜蛾的发生和为害特点,我国可划分成三大区域:周年繁殖区、迁飞过渡区和重

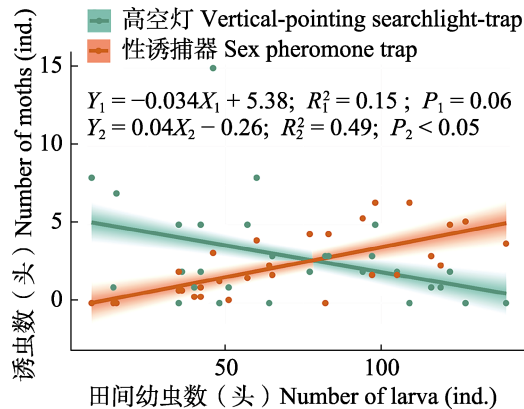


图 3 两种工具单次诱蛾数与田间单次虫量的回归分析

Fig. 3 Regression analysis of the number of moths trapped by two tools and the number of insects in the field

点防控区(农业农村部, 2020)。海南作为草地贪夜蛾的周年繁殖区是迁飞过渡区和重点防范区的虫源地, 其种群数量对其他地区有重要的影响。本次田间调查发现, 2022 年海南春季玉米上草地贪夜蛾幼虫数量较多, 每次调查的百株虫量几乎都在 50 头以上, 最高能达到 140 头。草地贪夜蛾幼虫数量在玉米的苗期和喇叭口期迅速增长, 考虑到草地贪夜蛾对玉米苗期和喇叭口期的嗜好性最强(林丹敏等, 2020), 因此这两个时期的玉米吸引草地贪夜蛾成虫产卵是其数量多的重要原因。随着玉米叶片的老化, 成虫会离开试验田, 就导致了玉米大喇叭口期幼虫数量的减少。当玉米进入抽穗期后, 玉米新鲜的组织又会吸引成虫来产卵, 就形成了第 2 个高峰期。由此可见, 新鲜的玉米组织对草地贪夜蛾的吸引能力特别强, 田间幼虫数量的调查能够很好地反映草地贪夜蛾在玉米田的发生情况。但是, 田间调查需要大量的劳动力, 因此还需要选择能较为真实反映田间种群动态且简便易行的监测方法。

通过比较分析, 性诱捕器监测的成虫数据与田间幼虫种群有显著的相关性, 值得注意的是, 试验中发现性诱捕器的监测结果较田间发生情况有所滞后, 高峰日比田间动态滞后 4-6 d。这可能是因为性诱捕器主要捕捉的是新羽化、活动性强的成虫(冯波等, 2017), 这些成虫通常在幼虫高峰后出现。由于这些成虫活动性强, 一定程度上反映羽化后准备迁出的蛾群状态。国内外

利用性诱捕器对棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、小地老虎 *Agrotis ypsilon*、黏虫 *Mythimna seperata* 等常见农业害虫的监测也均能取得良好的效果(Bartels *et al.*, 1999; Evenden and Gries, 2010; 刘莉等, 2018; 刘昭伟等, 2019), 因此性诱捕器是监测田间害虫种群动态的理想方法。除此之外, 性诱捕器还具有节省人工、安装方便、便于统计、专一性强的优势。然而, 这一监测手段在地理覆盖和精确度上有一定局限性, 如受到信息素质量和环境因素(如风速、温度等)的影响。

高空测报灯是监测草地贪夜蛾成虫迁飞、发生等的一种主要方法(洗继东等, 2019)。相较于田间调查不需要耗费太多人力; 相较于性诱捕器, 高空测报灯覆盖了更大的地理范围, 因此更适用于迁飞种群的监测。但是本研究发现, 高空测报灯的数据没有明显的规律性, 诱集与未诱集到成虫交错出现, 这可能是由于海南多雨的天气使得高空测报灯频繁关闭, 而且设备还容易出现故障, 导致部分时间不能诱集到成虫, 影响了种群动态分析的准确性。尽管如此, 高空测报灯诱集的蛾量仍然出现 3 个高峰。第 1 个高峰出现在苗期前期, 由于试验田周边没有草地贪夜蛾的寄主, 因此这时诱集的成虫大概率为迁入到海南的种群; 第 2 个高峰出现在大喇叭口期, 推测这时田间草地贪夜蛾已完成一个世代, 且玉米叶片已经老化而不适合取食, 田间种群便开始迁飞而被高空灯诱集; 第 3 个高峰出现在成熟期末期, 这时玉米已经开始收获, 推测是草地贪夜蛾失去寄主开始迁出海南而被高空灯诱集。张曼丽等(2022)也做出相似的推测, 草地贪夜蛾 2 月份从泰国、老挝和越南迁入海南, 4 月中旬后迁出海南。高空测报灯监测的结果除了与本地田间虫量有关, 还与迁飞经过虫量有关, 受到气象因子如温度、风速、降雨等影响, 因此需要结合雌蛾卵巢发育状态和高空气流进一步分析(张智等, 2018; 曹凯丽等, 2020)。

综上所述, 田间调查的幼虫数量能直接反映草地贪夜蛾种群的动态和数量, 但是需要的劳动力成本高, 性诱捕器监测的草地贪夜蛾成虫与田间种群有显著相关性, 时间有一定的滞后性, 而

高空测报灯不适合用来监测田间种群发生动态,但是能够监测到空中迁飞种群。因此,对于草地贪夜蛾的监测,需要采取空中监测与地面监测相结合的方式,选用多种测报工具以准确掌握其成虫地面发生和空中迁飞动态。建议在田间设置性诱捕器监测田间种群动态,并合理布局高空测报灯监测迁飞种群动态,综合分析两种监测工具的监测数据,以准确对当地的草地贪夜蛾种群的发生进行预测预报。虽然本研究基于海南的独特环境条件,但观察到的草地贪夜蛾与玉米生育阶段的关联性可能具有更广泛的适用性。然而,由于地区限制和高空测报灯在多雨环境下的局限性,进一步的多地点、多季节研究是必要的。

参考文献 (References)

- Bartels DW, Hutchison WD, Bach DJ, Rabae TL, 1999. Evaluation of commercial pheromone lures and comparative blacklight trapcatches for monitoring Z-strain European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 1(16): 85–94.
- Cao KL, Wang SY, Yu BJ, Liu CC, Roman J, Ji R, 2019. Entomological radar observation of migratory insects in China-Kazakhstan border areas. *Plant Protection*, 46(2): 30–37. [曹凯丽, 汪姝玥, 于冰洁, 刘程才, Roman J, 季荣, 2019. 中哈边境塔城区域迁飞性昆虫雷达观测研究初探. 植物保护, 46(2): 30–37.]
- Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clotey V, Cock M, Colmenarez Y, Corniani N, Early R, Godwin J, Gomez J, Moreno PG, Murphy ST, Oppong-Mensah B, Phiri N, Pratt C, Silvestri S, Witt A, 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5): 196–201.
- Evenden ML, Gries R, 2010. Assessment of commercially available pheromone lures for monitoring diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in canola. *Journal of Economic Entomology*, 103(3): 654–661.
- Feng B, Guo QS, Zhu F, Wang X, Liu WC, Jiang YY, Zhong L, Du YJ, 2017. Ovarian development and synthetic sex pheromone lure trapping of adults of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 60(2): 211–221. [冯波, 郭前爽, 朱凤, 王笑, 刘万才, 姜玉英, 钟玲, 杜永均, 2017. 迁飞性害虫稻纵卷叶螟成虫的卵巢发育与性诱剂诱捕. 昆虫学报, 60(2): 211–221.]
- Gao QG, Gao JP, Lu M, Zhang DJ, 2022. The occurrence and damage of *Spodoptera frugiperda* in Heze in Shandong province. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 50(2): 142–146. [高庆刚, 高俊平, 路迈, 张冬菊, 2022. 山东菏泽地区草地贪夜蛾发生为害情况. 安徽农业科学, 50(2): 142–146.]
- Guerrero A, Malo EA, Coll J, Quero C, 2014. Semiochemical and natural product-based approaches to control *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Pest Science*, 87(2): 231–247.
- 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. [郭井菲, 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.]
- Guo JF, Zhang YJ, Wang ZY, 2022. Research progress in managing the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China. *Journal of Plant Protection*, 48(4): 79–87. [郭井菲, 张永军, 王振营, 2022. 中国应对草地贪夜蛾入侵研究的主要进展. 植物保护, 48(4): 79–87.]
- Jiang NJ, Mo BT, Guo H, Yang J, Tang R, Wang CZ, 2022. Revisiting the sex pheromone of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, a new invasive pest in South China. *Insect Science*, 29(3): 865–878.
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, 2016. Using vertical-pointing searchlight-traps to monitor population dynamics of the armyworm *Mythimna separate* (Walker) in China. *Journal of Applied Entomology*, 53(1): 191–199. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 2016. 高空测报灯监测粘虫区域性发生动态规律探索. 应用昆虫学报, 53(1): 191–199.]
- Jiang YY, Liu J, Zeng J, 2018. Using a national searchlight trap network to monitoring the annual dynamics of the oriental armyworm in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 778–793. [姜玉英, 刘杰, 曾娟, 2018. 我国粘虫周年区域动态规律的监测. 应用昆虫学报, 55(5): 778–793.]
- 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, Yang JJ, Zhao WX, Yin L, Liu Y, Ye SF, Qin BQ, Song LD, 2020. Trapping effect of searchlight-trap and light trap for the moth of *Spodoptera frugiperda* in 2019. *Plant Protection*, 46(3): 118–122, 156. [姜玉英, 刘杰, 杨俊杰, 赵文新, 尹丽,

- 刘媛, 叶少锋, 覃宝勤, 宋梁栋, 2020. 2019 年草地贪夜蛾灯诱监测应用效果. 植物保护, 46(3): 118–122, 156.]
- Kebede M, Shimalis T, 2018. Out-break, distribution and management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in Africa: The status and prospects. *Academy of Agriculture Journal*, 3(10): 551–568.
- Lin DM, Huang DC, Shao T, Li ZY, Wang L, Chen KW, Lu YY, 2020. Occurrence and damage of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) at different growth stages of corn. *Journal of Environmental Entomology*, 42(6): 1291–1297. [林丹敏, 黄德超, 邵屯, 李子园, 王磊, 陈科伟, 陆永跃, 2020. 不同生育期玉米上草地贪夜蛾的发生为害规律. 环境昆虫学报, 42(6): 1291–1297.]
- Liu J, Jiang YY, Liu WC, Li YH, Zeng J, Yang QP, 2019. Investigation and forecast techniques of *Spodoptera frugiperda*. *China Plant Protection*, 39(4): 44–47. [刘杰, 姜玉英, 刘万才, 李亚红, 曾娟, 杨清坡, 2019. 草地贪夜蛾测报调查技术初探. 中国植保导刊, 39(4): 44–47.]
- Liu L, Wei YB, Zhang XL, Li YQ, Zhang QL, Liu J, Zhang X, 2018. Application of sex pheromone on main corn pests in Hebei province. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 22(1): 54–58. [刘莉, 卫雅斌, 张小龙, 李彦青, 张巧丽, 刘杰, 张晓, 2018. 性诱剂在河北省玉米主要害虫测报上的应用研究. 河北农业科学, 22(1): 54–58.]
- Liu WC, Huang C, 2018. Advances in modern crop disease and pest forecast in China. *Plant Protection*, 44(5): 159–167. [刘万才, 黄冲, 2018. 我国农作物现代病虫测报建设进展. 植物保护, 44(5): 159–167.]
- Liu ZW, Long Z, Huang HT, Liu AW, Zou K, Yu QT, 2019. Study on occurrence dynamics of *Spodoptera frugiperda* in Shaoyang tobacco area by sex pheromone. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(8): 90–91, 94. [刘昭伟, 隆准, 黄海涛, 刘爱文, 邹凯, 于庆涛, 2019. 性诱剂监测邵阳烟区斜纹夜蛾的发生动态研究. 现代农业科技, 2019(8): 90–91, 94.]
- Lu H, Tang JH, Lv BQ, He X, Su H, 2021. Investigation on the population dynamics of *Spodoptera frugiperda* in winter corn planting areas of Hainan. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 42(6): 1764–1769. [卢辉, 唐继洪, 吕宝乾, 何杏, 苏豪, 2021. 海南冬季玉米种植区草地贪夜蛾种群动态调查. 热带作物学报, 42(6): 1764–1769.]
- Qi GJ, Zhong WD, Chen T, Shi QX, Chen J, Huang DC, Zhang ZF, 2022. Seasonal population dynamics and occurrence characteristics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Guangdong province. *Journal of Environmental Entomology*, 44(4): 792–799. [齐国君, 钟文东, 陈婷, 石庆型, 陈洁, 黄德超, 张振飞, 2022. 广东省草地贪夜蛾种群周年动态及发生特征. 环境昆虫学报, 44(4): 792–799.]
- Starratt A, McLeod D, 1982. Monitoring fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), moth populations in southwestern Ontario with sex pheromone traps. *The Canadian Entomologist*, 114(7): 545–549.
- Sun XJ, Zhang GY, Liu Y, Wang XY, Xu FS, Du GZ, Feng HK, Geng FH, Zhang QH, Hu G, Zhai BP, 2021. Tracking the migration path and source areas of the fall armyworm in Henan. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(3): 579–591. [孙旭军, 张国彦, 刘一, 王新媛, 胥付生, 杜桂枝, 冯贺奎, 耿丰华, 张秋红, 胡高, 翟保平, 2021. 河南省草地贪夜蛾迁入路径及虫源地分析. 应用昆虫学报, 58(3): 579–591.]
- Tang JH, Lu H, Lv BQ, 2022. Dynamic monitoring and analysis of *Spodoptera frugiperda* trapped by searchlight in Hainan. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 42(1): 51–55. [唐继洪, 卢辉, 吕宝乾, 2022. 海南草地贪夜蛾高空诱虫灯诱虫动态监测与分析. 热带农业科学, 42(1): 51–55.]
- Wang L, Chen KW, Zhong GH, Xian JD, He XF, Lu YY, 2019. Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith). *Journal of Environmental Entomology*, 41(3): 479–487. [王磊, 陈科伟, 钟国华, 洗继东, 何晓芳, 陆永跃, 2019. 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. 环境昆虫学报, 41(3): 479–487.]
- 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.]
- Xian JD, Chen KW, Wang L, Zhong GH, He XF, Lu YY, 2019. Surveying and monitoring methods for fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Environmental Entomology*, 41(3): 503–507. [洗继东, 陈科伟, 王磊, 钟国华, 何晓芳, 陆永跃, 2019. 外来入侵新害虫草地贪夜蛾调查监测方法探讨. 环境昆虫学报, 41(3): 503–507.]
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2020. Notification of the ministry of Agriculture and Rural Affairs on issuing the "National plan for the prevention and control of fall armyworm in 2020". https://www.moa.gov.cn/nybg/2020/202003/202004/t20200416_6341680.htm. [农业农村部, 2020. 农业农村部关于印发《2020 年全国草地贪夜蛾防控预案》的通知. https://www.moa.gov.cn/nybg/2020/202003/202004/t20200416_6341680.htm]

- Yang XL, Liu YC, Luo MZ, Li Y, Wang WH, Wan F, Jiang H, 2019. *Spodoptera frugiperda* was first found in Jiangcheng county, Yunnan province. *Yunnan Agriculture*, 2019(1): 72. [杨学礼, 刘永昌, 罗茗钟, 李依, 王文辉, 万飞, 姜虹, 2019. 云南省江城首次发现迁入我国西南地区的草地贪夜蛾. 云南农业, 2019 (1): 72.]
- Yin YQ, Li XY, Zhao XQ, Wang M, Liu Y, Zhang HM, Liu HA, Qiu Y, Chen AD, 2020. Activities characteristics of adult of *Spodoptera frugiperda* in autumn and winter season using sexual trap ping in Yunnan. *Journal of Environmental Entomology*, 42(6): 1338–1343. [尹艳琼, 李向永, 赵雪晴, 王敏, 刘莹, 张红梅, 刘洪安, 邱钰, 谌爱东, 2020. 利用性诱剂监测云南秋冬季草地贪夜蛾成虫种群活动特征. 环境昆虫学报, 42(6): 1338–1343.]
- Zhang ML, Zeng QC, Zhou Y, Jiang YY, Li YX, 2022. Occurrence pattern and management strategies of *Spodoptera frugiperda* in Hainan province. *Plant Protection*, 48(1): 234–239, 245. [张曼丽, 曾庆朝, 周洋, 姜玉英, 李元喜, 2022. 海南省草地贪夜蛾发生规律和防控策略初探. 植物保护, 48(1): 234–239, 245.]
- Zhang QQ, Li LL, Qu MJ, Zhao M, Wang LL, Ding L, Wang FB, Li FJ, Li S, Qu CH, Cao HJ, Xue C, Qu ZL, Li C, Lu ZB, Yu Y, Men XY, 2021. Monitoring the distribution and population dynamics of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) by pheromone trapping in Shandong province in 2019. *Plant Protection*, 47(1): 222–226. [张晴晴, 李丽莉, 曲明静, 赵鸣, 王丽丽, 丁荔, 王付彬, 李付军, 李顺, 曲诚怀, 曹洪建, 薛超, 曲在亮, 李超, 卢增斌, 于毅, 门兴元, 2021. 2019 年性诱监测草地贪夜蛾在山东省的分布与发生动态. 植物保护, 47(1): 222–226.]
- Zhang Z, Zhang YH, Liu J, Jiang SS, Tang QB, Li XR, Li WZ, Cheng DF, Qi JF, 2018. Population dynamics and temporal patterns of abundance of *Mythimna separata* during migration. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(5): 834–842. [张智, 张云慧, 刘杰, 江珊珊, 汤清波, 李祥瑞, 李为争, 程登发, 祁俊锋, 2018. 粘虫迁飞的种群动态监测与夜间扑灯节律研究. 应用昆虫学报, 55(5): 834–842.]
- Zhong JW, Wu J, Zhang YZ, Ding CZ, He RC, Lu YY, 2022. Dynamics of *Spodoptera frugiperda* (Smith) adults under vertical-pointing searchlight-trap in Gaozhou. *Journal of Environmental Entomology*, 44(2): 281–289. [钟景伟, 吴娇, 张有志, 丁成泽, 何瑞池, 陆永跃, 2022. 高州市高空测报灯下草地贪夜蛾成虫数量动态. 环境昆虫学报, 44(2): 281–289.]