



王磊, 陈科伟, 钟国华, 冼继东, 何晓芳, 陆永跃. 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, 2019, 41 (3): 479-487.

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

王磊, 陈科伟, 钟国华, 冼继东, 何晓芳, 陆永跃*

(华南农业大学农学院, 广州 510642)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) 原分布于美洲热带和亚热带地区, 是一种严重威胁农业生产的害虫。该虫具适生区域广、寄主范围宽、增殖潜能强、扩散速度快、突发危害重等显著生物学优势, 因此, 防控难度很大。目前, 该虫已分布至全球 100 个以上国家。2019 年 1 月 11 日我国云南发现其入侵, 至 5 月 21 日已在 14 省 (自治区、直辖市) 发现其危害, 发生面积 138.4 万亩。草地贪夜蛾按寄主偏好性可分为“玉米型”和“水稻型”, “玉米型”偏好玉米、高粱和棉花等, “水稻型”偏好水稻等, 目前入侵我国的为“玉米型”, 尚未发现“水稻型”。草地贪夜蛾的入侵将严重影响我国玉米、甘蔗等种植业。本文综述了草地贪夜蛾的发生为害特点、防控技术, 并对该虫防控策略进行了探讨, 以期有效防控该虫提供参考。

关键词: 草地贪夜蛾; 防控; 策略; 技术

中图分类号: Q968.1; S433.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2019) 03-0479-09

Progress for occurrence and management and the strategy of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith)

WANG Lei, CHEN Ke-Wei, ZHONG Guo-Hua, XIAN Ji-Dong, HE Xiao-Fang, LU Yong-Yue*
(College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Native to the subtropical and tropical regions of America, the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* is a serious agricultural pest. *S. frugiperda* is hard to manage because it displays widely adaptation to host plants and climate, strong reproductive capacity, fast dispersal speed, and serious sudden plant damage. Now, it was found in more than 100 countries in the world. In January, 11th, 2019, *S. frugiperda* was firstly found in China in Yunnan and expanded to more than 300 counties of 14 provinces of China in May, 21th, 2019. There is two strains of *S. frugiperda* i. e. corn strain and rice strain which have different host plant preference. Corn strain prefers to corn, cotton and sorghum, and rice strain prefers to rice and some grasses. Corn strain was confirmed, but rice strain was not found in China until now. *S. frugiperda* will be a major pest of corn, sugarcane and rice in South China since climate and rich host plants in this region are suitable for the pest. This paper reviewed the biology of *S. frugiperda* and current management technology. Base on the characteristics of cropping system in South China, we proposed suggestions on *S. frugiperda* management attempting to protect agricultural production safety.

Key words: Fall armyworm; management; strategy; technology

基金项目: 省级农业科技创新及推广项目 (2018LM2161); 省外来入侵物种风险评估和监测预警共性关键技术研发创新团队建设项目
作者简介: 王磊, 男, 1986 年生, 博士, 讲师, 从事昆虫生态学、害虫防治和入侵生物学等研究, E-mail: leiwang@scau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence: 陆永跃, 博士, 教授, 主要研究昆虫生态学、害虫防治和入侵生物学, E-mail: luyongyue@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-05-20; 接受日期 Accepted: 2019-05-22

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) 原产于美洲热带和亚热带地区, 是一种严重威胁农业生产的害虫。在巴西, 草地贪夜蛾可使玉米减产 39% 以上, 每年造成的经济损失约为 5 亿美元 (Salvadori *et al.*, 2012)。2016 年 1 月, 草地贪夜蛾入侵非洲尼日利亚, 2018 年 1 月已经扩散至非洲 44 个国家, 发生面积超过 250 万 km² (Goergen *et al.*, 2016; Feldmann *et al.*, 2019), 年潜在经济损失为 24.81 ~ 61.87 亿美元 (Day *et al.*, 2017)。据欧洲及地中海植物保护组织 (EPPO) 和亚洲各国信息, 截止 2019 年 1 月, 全球应已有超过 100 个国家有草地贪夜蛾分布。在亚洲, 首先于 2018 年 7 月在也门发现草地贪夜蛾, 同月在印度也发现了该虫 (Ganiger *et al.*, 2018), 至 2019 年 3 月, 斯里兰卡、孟加拉、尼泊尔、泰国、缅甸、中国、越南、老挝等国相继发现。我国于 2019 年 1 月 11 日在云南普洱江城发现其入侵 (姜玉英等, 2019), 截至 5 月 11 日已在 13 省 (自治区、直辖市) 61 市 (州) 260 个县 (市、区) 发现玉米、甘蔗等受害, 发生面积超过 100 万亩; 5 月 21 日已在 14 省 (自治区、直辖市) 发现其危害, 发生面积 138.4 万亩。适生性分析结果显示, 我国其适生区较宽, 包括了华南、华中、华东全部和西南、华北部分区域 (林伟等, 2019), 尤其是温暖季节在南方形成虫源基地后, 随着气流逐步迁飞至黄淮海甚至华北或东北玉米种植区, 预计我国遭受威胁的玉米、甘蔗等作物面积将在 2 亿亩以上。本文综述了草地贪夜蛾发生为害特点、防控技术, 并针对华南地区该虫防控提出了相关建议。

1 草地贪夜蛾发生为害特点

1.1 寄主范围宽

草地贪夜蛾是一种多食性害虫, 其寄主范围为 46 科 202 种, 包括玉米、甜玉米、高粱、小麦、大麦、荞麦、燕麦、粟、水稻、大豆、花生、棉花、甜菜、甘蔗、烟草、梯牧草、四叶草、黑麦草、苏丹草、苜蓿、马唐、狗牙根、剪股颖属、马唐属、石茅、牵牛属、莎草属、苋属、刺苞草等 (<https://www.cabi.org/ISC/datasheet/29810>), 实际种类可能超过 300 种。偶尔还为害苹果、葡萄、柑橘、木瓜、桃子、草莓以及一些花卉等。根据对寄主的取食偏好, 草地贪夜蛾分为“玉米

型”和“水稻型”。“玉米型”偏好玉米、高粱和棉花等, “水稻型”偏好水稻、狗牙根和石茅等 (http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/fall_armyworm.htm)。两种型虽然在形态特征基本一致, 但是在性信息素、寄主植物偏好等方面有较大差异 (郭井菲等, 2018)。目前确认入侵我国的草地贪夜蛾均为“玉米型”, 是否有“水稻型”入侵尚不清楚 (张磊等, 2019)。

1.2 适生区域广

草地贪夜蛾适生区极广。在其原产地, 北起加拿大南至阿根廷的广大区域都有该虫的分布。对其全球潜在地理分布区分析显示, 欧洲、非洲大部地区、大洋洲、亚洲的南亚、东亚、东南亚、中亚部分地区均是其适生区, 我国华南、华中、华东、西南地区东部、陕西局部、云南局部和台湾局部等均是其适生区 (林伟等, 2019)。自 2016 年第一次报道入侵非洲大陆以来, 目前已经入侵了非洲撒哈拉以南的 44 个国家和亚洲的也门、印度、孟加拉、斯里兰卡、缅甸、泰国、中国等 (https://www.cabi.org/ISC/datasheet/29810#949_87198-9f50-4173-8bbd-30bd93840e73)。随着不断自然扩散, 其分布区域还有继续迅速扩大的趋势。

1.3 增殖潜能强

草地贪夜蛾适宜发育温度为 11℃ ~ 30℃, 生命周期较短, 完成一个世代约 24 ~ 40 d, 1 年可发生多代, 在气候温暖区域可全年发生 (<https://agrillifeextension.tamu.edu/library/landscaping/fall-armyworms-identification-and-control/>)。卵块产, 上覆棕黄色至灰白色鳞毛, 有时无鳞毛覆盖, 每个卵块约有数十至数百粒, 一般为 100 ~ 150 粒; 1 头雌虫一生产卵量一般为 900 ~ 1 000 粒, 营养好的条件下可产 2 300 多粒 (https://www.cabi.org/ISC/datasheet/29810#_94987198-9f50-4173-8bbd-30bd93840e73)。根据生物学和气候推测, 广东、广西、福建南部、云南南部、台湾预计年发生 6 ~ 8 代, 海南 9 ~ 10 代。

1.4 扩散速度快

草地贪夜蛾飞行能力强, 迁移扩散速度快, 可通过远距离飞行进行快速、大范围扩散蔓延。其室内飞行速度为 3 km/h (Nayar & Van Handel, 1971), 从美国南部密西西比州迁飞至加拿大南部仅需 30 h (Rose *et al.*, 1975)。例如, 2016 年草地贪夜蛾入侵非洲后短短 2 年内扩散至非洲的

44 个国家, 主要是依靠迁飞 (Early *et al.*, 2018)。吴秋琳等 (2019a) 认为我国的草地贪夜蛾入侵种群是从缅甸迁飞来的。根据其迁飞特性和我国气候条件推测, 6-7 月草地贪夜蛾借助东南季风连续飞行 3 个夜晚即可从华南地区到达我国黄河以北至内蒙古与东北南部大部地区 (吴秋琳等, 2019b)。频繁的人员交流和贸易活动被认为是草地贪夜蛾跨过广阔的大洋从美洲传入到非洲的主要原因 (郭井菲等, 2018), 因此该害虫也可能随着国际贸易和人员交流跨过巨大的地理屏障进行传播。

1.5 突发危害重

草地贪夜蛾对玉米、水稻等作物危害严重, 尤其是进入高龄幼虫期, 暴食为害, 造成叶片破烂状、植株折伏 (姜玉英等, 2019; <https://ento.psu.edu/extension/factsheets/fall-armyworm>)。其幼虫最后 2~3 龄期取食占整个幼虫期的 80% (<http://overton.tamu.edu/files/2011/04/ArmywormFactSheet2008.pdf>)。草地贪夜蛾的为害对玉米产量影响较大。报道显示巴西玉米因草地贪夜蛾为害的产量损失在 19%~100% 之间 (Dal Pogetto *et al.*, 2012)。2017 年估算显示草地贪夜蛾对非洲 12 个国家玉米产量造成的潜在损失在 8.3~20.6 百万吨, 潜在经济损失 24.81~61.87 亿美元 (Day *et al.*, 2017)。在我国广大玉米种植区, 草地贪夜蛾可能随着玉米种植、生长呈现不断迁移危害的趋势, 华南、长江流域、华北、东北逐渐发生, 给当地玉米造成突发性危害 (吴秋琳等, 2019b)。

2 草地贪夜蛾防控技术

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。为控制该虫在其新入侵地非洲的为害, 国际粮农组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) 和国际玉米小麦改良中心 (International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT) 出版了技术手册, 为非洲国家防控该虫提供技术支撑 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018; Prasanna *et al.*, 2018)。

2.1 农业防治

包括栽培管理、种植抗性品种等。在栽培管理方面主要包括: (1) 加强肥水管理, 进行健株

栽培, 提高作物对虫害的抵御、补偿能力; (2) 合理种植, 避免不同茬口混栽, 使得大区域内作物生长期一致, 减少桥梁田; (3) 人工摘除卵块、捕杀幼虫; (4) 建设农田景观缓冲带, 降低草地贪夜蛾。例如, 林地作为草地贪夜蛾天敌提供了庇护所, 在玉米田周围对该虫起到了明显抑制作用 (Sousa *et al.*, 2011)。(5) “推拉策略”在草地贪夜蛾的防治中也有非常好的应用前景, 即将玉米与对该虫有驱赶作用的植物间作 (“推”), 在作物田块周围种植对草地贪夜蛾具有更强吸引作用的植物 (“拉”)。相对于单一种植玉米的田块, 这种策略的使用可使玉米上幼虫数量降低 82.7%, 为害程度降低 86.7%, 还能增产 2.7 倍 (Midega *et al.*, 2018)。

对该虫具抗性的作物品种有两类, 一类是转 Bt 基因作物, 另一种为常规抗虫作物。种植转 Bt 基因抗虫作物包括棉花、玉米控制草地贪夜蛾的为害在美洲一些国家很普遍 (郭井菲等, 2018)。被批准种植的转 Bt 基因抗虫玉米表达的基因有 *Cry1F*、*Vip3Aa20*、*Cry1A.105*、*CryIIa*、*Cry2Ab* 等, 但是, 研究显示草地贪夜蛾对这些转基因玉米产生了一定抗性 (de Polania *et al.*, 2009; Storer *et al.*, 2012)。减缓该虫对转基因作物抗性发展的策略包括抗性监测、提供庇护所、种植含 2 价以上抗虫基因作物等 (Storer *et al.*, 2012; Horikoshi *et al.*, 2016), 同时常规抗虫品种筛选、培育也是考虑的手段。花生直立型 IAC 22 和蔓生型 IAC Runner 886 品种、棉花品种 NuOpal (R)、玉米品种 Mp496、Mp701、Mp 702、Mp 703、Mp704、Mp705、Mp706、Mp707、Mp708、Mp713、Mp714、Mp716 等对草地贪夜蛾均有一定抗性 (de Campos *et al.*, 2011; de Jesus *et al.*, 2014; Prasanna *et al.*, 2018)。

2.2 生物防治

寄生性天敌、捕食性天敌、病原微生物、生物源农药以及性信息素等均可应用于草地贪夜蛾的防控中。原分布区域该虫寄生性天敌非常丰富。黑卵蜂 Scelionidae、茧蜂 Braconidae、黄潜蝇 Chloropidae、寄蝇 Tachinidae、姬蜂 Ichneumonidae、姬小蜂 Eulophidae 和赤眼蜂 *Trichogramma* 等都是草地贪夜蛾常见的寄生性天敌 (Molina-Ochoa *et al.*, 2003; Rios-Velasco *et al.*, 2011a; Gutierrez-Ramirez *et al.*, 2015; Shylesha *et al.*, 2018)。在阿根廷, 寄生天敌对草地贪夜蛾的自然寄生率在

6.63% ~ 21.96% 之间 (Murua *et al.*, 2009)。螻蛄、蚂蚁、瓢虫、益蝽等也可捕食草地贪夜蛾 (da Silva *et al.*, 2009; Prasanna *et al.*, 2018)。

该虫的病原微生物包括白僵菌、绿僵菌、莱氏野村菌、病原线虫和核型多角体病毒等。在温室条件下绿僵菌 *Metarhizium rileyi* 使草地贪夜蛾的危害降低 57% (Grijalba *et al.*, 2018)。球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* Bb42 在 1×10^9 孢子/mL 浓度下对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的致死率可达 96.6% (Garcia *et al.*, 2011)。但是, 田间应用效果有时不太理想, 例如在转基因玉米中喷施球孢白僵菌 *B. bassiana* CG 716 菌株对草地贪夜蛾防控效果不是特别满意 (Oliveira de Moraes *et al.*, 2015)。Rivero-Borja *et al.* (2018) 将白僵菌、绿僵菌与毒死蜱、多杀霉素组合显著提高了草地贪夜蛾的死亡率。

病原线虫应用方面也开展了很多研究 (Rodríguez *et al.*, 2012)。斯氏线虫较异小杆线虫 *Heterorhabditis indica* 对草地贪夜蛾防控效果更好, 与吡虫啉混用没有增效作用 (de Souza *et al.*, 2012)。实验室试验测试表明异小杆线虫、斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae* 和 *S. glaseri* 与毒死蜱、溴氰菊酯、除虫脲、氟氯氰菊酯、高效氯氟氰菊酯、多杀菌素、氯氰菊酯、杀虫脲和氯菊酯等具有相容性 (Negrisoli *et al.*, 2010a)。田间试验结果显示异小杆线虫与虱螨脲联合使用具有最好杀虫效果, 草地贪夜蛾死亡率为 57% ~ 62% (Negrisoli *et al.*, 2010b)。核型多角体病毒对草地贪夜蛾具有较好的杀灭效果。从墨西哥土壤中筛选出的 SfMNPV-AN2 株系在 10^7 OBs/mm² 浓度下对草地贪夜蛾的致死率可达 100%, 致死中时最快为 6 d (Rios-Velasco *et al.*, 2011b)。Barrera *et al.* (2011) 发现核型多角体病毒 SfCOL 株系对草地贪夜蛾的杀灭效果可达 92%。印楝素与核型多角体病毒混用会显著提高病毒的杀虫效果 (Pineda *et al.*, 2014)。

国际上在使用生物源农药防控草地贪夜蛾方面也开展了系列工作。万寿菊 *Tagetes erecta*、蒲包花属 *Calceolaria talcana*、波尔多树 *Peumus boldus*、嘉宝果 *Myrciaria cauliflora*、番荔枝属的 *Annona dioica* 和 *A. coriacea*、桉树 *Eucalyptus staigeriana*、十字架树 *Crescentia alata*、楝树 *Melia azedarach* 等提取物对草地贪夜蛾均有较好毒杀效果 (Salinas-Sanchez *et al.*, 2012; Munoz *et al.*, 2013; Silva

et al., 2013; Alves *et al.*, 2014; Freitas *et al.*, 2014; Scapinello *et al.*, 2014; Valladares-Cisneros *et al.*, 2014; Cruz *et al.*, 2016)。松黄烷酮对草地贪夜蛾不仅具有较好的驱避效果还具有较好的抑制取食作用 (Napal & Palacios, 2015)。柠檬苦素、南美楝 *Cabralea canjerana canjerana* 果实和种子提取物对草地贪夜蛾也具有较好的抑制取食作用 (Rodríguez *et al.*, 2014; Magrini *et al.*, 2015)。

性信息素是目前常用的监测和防治草地贪夜蛾的主要手段之一。Malo *et al.* (2018) 设计了简易的黄色塑料罐作为草地贪夜蛾的监测装置, 在其中放入性诱剂, 效果很好。草地贪夜蛾玉米型和水稻型之间性信息素的主要成分相同, 但是比例差异很大 (Lima & McNeil, 2009)。

2.3 化学防治

使用化学杀虫剂目前仍是草地贪夜蛾防治的主要方法。可供使用的药剂包括多杀菌素、溴虫腈、杀虫隆、灭多威、氟虫酰胺、乙酰甲胺磷、乙基多杀菌素、灭多虫、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、毒死蜱、除虫脲、氯氟氰菊酯、虱螨脲等 (Belay *et al.*, 2012; Burtet *et al.*, 2017)。但是农药不合理使用也导致了该虫对一些常用的药剂产生了抗药性。墨西哥和波多黎各种群对毒死蜱、氯菊酯、氟虫双酰胺、氯虫苯甲酰胺抗性在 124 ~ 500 倍, 对灭多虫、灭多威、氯氟氰菊酯、溴氰菊酯、杀虫隆抗性为 20 ~ 48 倍, 对乙基多杀菌素、多杀菌素、甲维盐和阿维菌素抗性为 7 ~ 14 倍, 但是部分种群对上述药剂仍有不同程度的敏感性, 说明并不是所有的草地贪夜蛾种群均产生了抗药性 (Gutierrez-Moreno *et al.*, 2019)。赵胜园等 (2019) 测试了 21 种化学药剂对入侵我国的草地贪夜蛾防治效果, 发现有有机磷类、拟除虫菊酯类、氨基甲酸酯类杀虫剂防效均较差, 而甲维盐、氯虫苯甲酰胺、乙基多杀菌素、啉虫脲等对该虫具有较好杀灭活性, 可作为应急防控药剂。

3 草地贪夜蛾防控策略探讨

草地贪夜蛾入侵我国后, 农业农村部 and 各个省区及发生地有关部门高度重视, 制定了《草地贪夜蛾防控技术方案 (试行)》等, 广泛宣传相关防控知识, 组织监测调查与防控。科技人员也积极行动起来, 对该害虫生物学、适生区、迁飞行为、防治药剂等开展了一些研究 (姜玉英等,

2019; 林伟等, 2019; 吴秋琳等, 2019a; 吴秋琳等, 2019b; 张磊等, 2019; 赵胜园等, 2019)。

3.1 未来中国草地贪夜蛾发生分区

根据该虫越冬能力等生物学信息 (Garcia *et al.*, 2018), 结合我国气候和寄主作物种植情况, 推测未来我国草地贪夜蛾发生区可分为: (1) 常年发生危害区, 可能包括云南南部、广西中南部、广东中南部、海南、福建南部沿海、台湾部分等1月份10℃等温线以南, 再加上东南半岛各发生国家, 将成为我国长江流域、华北、西北、东北等地主要初期入侵虫源; (2) 周年居留区, 可能包括1月份10℃等温线以北至28°N~29°N, 北界可能与1月份4℃等温线接近。本地区该虫春季到秋季发生危害, 冬季呈局部、较低密度存在。在这个区域进入温暖季节, 草地贪夜蛾虫源主要由南方常年发生危害区迁入, 与本地种群混合、繁殖、完成积累后形成次级迁飞源; (3) 周期侵入区, 包括28°N~29°N以北地区。在这个区域草地贪夜蛾无法越冬, 每年虫源来自于常年发生危害和越冬居留区。也可参照黏虫 *Mythimna separata* (Walker) 发生区划分方式, 按照年发生代数将草地贪夜蛾发生区分为9~10代区、6~8代区、4~6代区、3~4代区、2~3代区等。

3.2 华南地区气候条件适宜草地贪夜蛾全年发生

草地贪夜蛾发育起点温度为10.8℃, 最适发育温度是25℃, 发育上限温度为37℃; 越冬北界在28°N~29°N (Garcia *et al.*, 2018)。冬季低温在10℃以上地区可常年发生。实验室条件下玉米型年可繁殖11.0~11.3代, 水稻型为12.1~12.2代; 田间玉米型年可繁殖6.1~8.3代, 水稻型为7.0~8.4代 (Busato *et al.*, 2005)。我国华南地区气候温暖、湿润, 年平均气温20℃以上, 最冷月平均气温≥10℃, 冬季温度较高、低温持续时间短 (吴晓绚等, 2015), 这为草地贪夜蛾持续生存提供了良好气候条件。因此推测, 我国华南地区草地贪夜蛾可终年繁殖、发生危害, 并且可能成为长江流域、华北、西北甚至东北等地草地贪夜蛾重要初期虫源。

3.3 丰富的食料为草地贪夜蛾生存和发展奠定了物质基础

目前, 入侵我国的为“玉米型”草地贪夜蛾, 但还不能排除“水稻型”已经入侵我国的可能性。华南地区广泛种植该虫主要寄主玉米、甘蔗、水稻等作物。其中, 玉米年种植面积超过80万hm²

(刘蔚楠等, 2016; 林尤珍等, 2017; 时成俏, 2019)。一般各个月份均有种植, 但以一年春、秋两季为主。春玉米播种期集中在2~4月, 秋玉米集中在7~9月; 部分地区种植三季, 冬玉米播种期一般在10~11月; 如采用地膜覆盖的方法, 12~1月也可种植。该地区还是我国甘蔗主产区, 2016年种植面积约126万hm², 约占全国80% (吴多广等, 2017)。水稻面积也很大, 年种植面积约为2207.7万hm² (杨震宇等, 2016; 饶珠阳, 2018; 唐清杰等, 2018)。总之, 华南地区寄主作物丰富、茬口共存、营养优良, 草地贪夜蛾终年均有合适的食料, 十分有利于其种群生存、发展和壮大。

3.4 鲜食玉米等种植对草地贪夜蛾防控要求高

玉米是目前入侵我国的草地贪夜蛾类型的主要食料。使用化学农药和种植转基因玉米是目前控制草地贪夜蛾的主要手段。鉴于目前民众对转基因食品接受程度不高 (彭勃文和黄季焜, 2015), 以及国家对转基因作物商业化种植的审慎态度 (刘旭霞和张楠, 2017), 加之华南地区种植的大多为鲜食玉米 (刘蔚楠等, 2016; 林尤珍等, 2017; 时成俏, 2019), 这就对该虫防控策略与技术提出了更高的要求。

3.5 草地贪夜蛾防控策略

草地贪夜蛾具有显著的生物学优势, 入侵我国后潜在威胁巨大, 因此应予以高度重视, 并做好与之作长期斗争的准备。由于该虫已经入侵中国的区域和未来可能入侵的区域较为广泛, 不同区域之间地理环境、气候条件和作物种植制度等差异较大, 因此, 因地制宜, 制订合理的防控策略, 研发高效、低风险的防控技术, 更好地开展预防与控制等需要开展大量、深入研究。

我国南方尤其是华南主要包括广东、广西、海南、台湾、云南南部、福建南部等地气候、作物种植等均具显著特点, 在制定草地贪夜蛾防控策略时应充分考虑这些特点。结合该虫的生物学和华南地区特点, 研讨、提出科学合理的防控策略对指导本区域该虫防控具有一定的参考价值。基于该虫入侵及防控管理的时期和阶段, 可能把应对该虫的策略分为应急防控策略和长期防控策略较为合适。

3.5.1 应急防控策略

针对入侵突发和虫情重发情况, 抓住关键时期, 迅速采取诱杀防治、化学防治等应急措施,

有效控制草地贪夜蛾，降低危害。具体来说就是“两控两减”，即控制成虫，减少入侵虫源；控制幼虫，减少作物损失。其做法是加强虫情监测调查，抓住异地成虫迁入早期、田间幼虫发生早期（高峰期），持续覆盖式设置黑光灯、性信息素诱杀成虫，使用高效、低风险化学杀虫剂灭除低龄幼虫，将虫口数量压低在经济损失允许水平以下。在实施过程中特别要注意防早、防小。“防早”即是抓住异地虫源入侵本地区的早期、本地虫源侵入作物田的早期，“防小”即是抓住入侵发生还处于较小范围、虫情还处于低龄幼虫期。

3.5.2 长期防控策略

在虫情长期持续侵入和大范围发生情况下采用长期防控策略较为合适，即基于本地虫情与异地迁飞的准确测报，以“预防为主，综合防治”为指导，以绿色防控技术为支撑，抓住关键时期、重点地区，实施科学防控，提升草地贪夜蛾可持续治理范围和水平，有效控制草地贪夜蛾发生危害。首先，一些基础的措施如种植抗（耐）虫品种、健身栽培、调整播种期、与远缘作物间套种等可以起到有效降低发生程度的作用；其次是要充分发挥自然因素控制作用，比如本地应有多种作用于与其近缘的夜蛾类害虫的寄生性和捕食性天敌对草地贪夜蛾卵、幼虫、蛹起到控制作用，还有虫生真菌、病原线虫、病毒等多类生物防治因子，采取合理措施，增强这些因子的控害效能；三是持续淹没式使用诱杀防治方法（黑光灯、性信息素等），有效减少入侵成虫；四是开展种子药剂处理，例如使用种衣剂、药剂拌种等，保护苗期避免受危害；五是合理使用高效、低风险杀虫剂，抓住低龄幼虫盛期，使用液剂、颗粒剂灌心，或者喷洒雄穗和雌穗等部位。

参考文献 (References)

- Alves APC, Correa AD, Alves DS, *et al.* Toxicity of the phenolic extract from jaboticabeira (*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg) fruit skins on *Spodoptera frugiperda* [J]. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2014, 74 (2): 200–204.
- Barrera G, Simon O, Villamizar L, *et al.* *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus as a potential biological insecticide: Genetic and phenotypic comparison of field isolates from Colombia [J]. *Biological Control*, 2011, 58 (2): 113–120.
- Belay DK, Huckaba RM, Foster JE. Susceptibility of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), at Santa Isabel, Puerto Rico, to different insecticides [J]. *Florida Entomologist*, 2012, 95 (2): 476–478.
- Burtet LM, Bernardi O, Melo AA, *et al.* Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with Bt maize and insecticides in southern Brazil [J]. *Pest Management Science*, 2017, 73 (12): 2569–2577.
- Busato GR, Grützmacher AD, Garcia MS, *et al.* Exigências térmicas e estimativa do número de gerações dos biótipos “milho” e “arroz” de *Spodoptera frugiperda* [J]. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2005, 40 (4): 329–335.
- Cruz GZ, Wanderley – Teixeira V, Oliveira JV, *et al.* Sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus staigeriana* (Myrtales; Myrtaceae), *Ocimum gratissimum* (Lamiales; Lamiaceae), and *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) on the biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2016, 109 (660): 2248–2248.
- da Silva AB, Batista JD, de Brito CH. Predatory capacity of *Euborellia annulipes* (Lucas, 1847) on *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) [J]. *Acta Scientiarum – Agronomy*, 2009, 31 (1): 7–11.
- Dal Pogetto MHFA, Prado EP, Gimenes MJ, *et al.* Corn yield with reduction of insecticidal sprayings against fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Agronomy*, 2012, 11 (1): 17–21.
- Day R, Abrahams P, Bateman M, *et al.* Fall armyworm: Impacts and implications for Africa [J]. *Outlooks on Pest Management*, 2017, 28 (5): 196–201.
- de Campos AP, Boica AL, de Jesus FG, *et al.* Evaluation of peanut cultivars for resistance to *Spodoptera frugiperda* [J]. *Bragantia*, 2011, 70 (2): 349–355.
- de Jesus FG, Boica AL, Alves GCS, *et al.* Resistance of cotton varieties to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Revista Colombiana de Entomologia*, 2014, 40 (2): 158–163.
- de Polania IZ, Maldonado HAA, Cruz R, *et al.* *Spodoptera frugiperda*: Response of different populations to the Cry1Ab toxin [J]. *Revista Colombiana de Entomologia*, 2009, 35 (1): 34–41.
- de Souza LM, Moino Junior A, Mertz NR, *et al.* Entomopathogenic nematodes and their compatibility with imidacloprid in the control of *Spodoptera frugiperda* in a forest nursery [J]. *Nematologia Brasileira*, 2012, 36 (1/2): 32–41.
- Early R, González – Moreno P, Murphy ST, *et al.* Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm [J]. *NeoBiota*, 2018, 40: 25–50.
- Feldmann F, Rieckmann U, Winter S. The spread of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Africa; What should be done next? [J]. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2019, 126 (5): 97–101.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Integrated Management of the Fall Armyworm on Maize: A Guide for Farmer Field Schools in Africa [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
- Freitas AF, Pereira FF, Formagio ASN, *et al.* Effects of methanolic extracts of annona species on the development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (JE. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Neotropical Entomology*, 2014, 43 (5): 446–452.

- Ganiger PC, Yeshwanth HM, Muralimohan K, *et al.* Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India [J]. *Current Science*, 2018, 115 (4): 621 – 623.
- Garcia AG, Godoy WAC, Thomas JMG, *et al.* Delimiting strategic zones for the development of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on corn in the state of Florida [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111 (1): 120 – 126.
- Garcia C, Gonzalez MB, Bautista N. Pathogenicity of isolates of entomopathogenic fungi against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Revista Colombiana de Entomologia*, 2011, 37 (2): 217 – 222.
- Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, *et al.* First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa [J]. *PLoS ONE*, 2016, 11 (10): e0165632.
- Grijalba EP, Espinel C, Cuartas PE, *et al.* *Metarhizium rileyi* biopesticide to control *Spodoptera frugiperda*: Stability and insecticidal activity under glasshouse conditions [J]. *Fungal Biology*, 2018, 122 (11): 1069 – 1076.
- Guo JF, Zhao JZ, He KL, *et al.* Potential invasion of the crop – devastating insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China [J]. *Plant Protection*, 2018, 44 (6): 1 – 10. [郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国 [J]. 植物保护, 2018, 44 (6): 1 – 10]
- Gutierrez – Moreno R, Mota – Sanchez D, Blanco CA, *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.
- Gutierrez – Ramirez A, Robles – Bermudez A, Cambero – Campos J, *et al.* Parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) found in Nayarit, Mexico [J]. *Southwestern Entomologist*, 2015, 40 (3): 555 – 563.
- Horikoshi RJ, Bernardi D, Bernardi O, *et al.* Effective dominance of resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt maize and cotton varieties: Implications for resistance management [J]. *Scientific Report*, 2016, 6: 34864.
- 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]
- Lima ER, McNeil JN. Female sex pheromones in the host races and hybrids of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Chemoecology*, 2009, 19 (1): 29 – 36.
- Lin W, Xu MF, Quan YB, *et al.* Potential geographic distribution of *Spodoptera frugiperda* in China based on MaxEnt model [J/OL]. *Plant Quarantine*, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1990.s.20190422.1026.002.html>. [林伟, 徐淼锋, 权永兵, 等. 基于 MaxEnt 模型的草地贪夜蛾适生性分析 [J/OL]. 植物检疫, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1990.s.20190422.1026.002.html>]
- Lin YZ, Fu SX, Xiong HY, *et al.* Performance and evaluation of sweet and waxy maize varieties in winter in Hainan [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2017, 5: 73 – 75. [林尤珍, 符书贤, 熊怀阳, 等. 甜、糯鲜食玉米品种在海南的冬种表现及评价 [J]. 上海农业科技, 2017, 5: 73 – 75]
- Liu WN, Wan Z, Gan YY, *et al.* Development situation and countermeasures of Guangdong sweet corn industry in 2015 [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43 (3): 12 – 16. [刘蔚楠, 万忠, 甘阳英, 等. 2015 年广东甜玉米产业发展形势与对策建议 [J]. 广东农业科学, 2016, 43 (3): 12 – 16]
- Liu XX, Zhang N. Comparison of regulation on GM crops cultivation management in USA and China [J]. *China Biotechnology*, 2017, 37 (8): 119 – 127. [刘旭霞, 张楠. 中美转基因作物种植管理制度比较 [J]. 中国生物工程杂志, 2017, 37 (8): 119 – 127]
- Peng BW, Huang JK. Chinese consumers' knowledge and acceptances of genetically modified food [J]. *Agricultural Economics and Management*, 2015, 1: 33 – 39, 63. [彭勃文, 黄季焜. 中国消费者对转基因食品的认知和接受程度 [J]. 农业经济与管理, 2015, 1: 33 – 39, 63]
- Magrini FE, Specht A, Gaio J, *et al.* Antifeedant activity and effects of fruits and seeds extracts of *Cabralea canjerana canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae) on the immature stages of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 65: 150 – 158.
- Malo EA, Cruz – Esteban S, Gonzalez FJ, *et al.* A home – made trap baited with sex pheromone for monitoring *Spodoptera frugiperda* males (Lepidoptera: Noctuidae) in corn crops in Mexico [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2018, 111 (4): 1674 – 1681.
- Midega CAO, Pittchar JO, Pickett JA, *et al.* A climate – adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), in maize in East Africa [J]. *Crop Protection*, 2018, 105: 10 – 15.
- Molina – Ochoa J, Carpenter JE, Heinrichs EA, *et al.* Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin: An inventory [J]. *Florida Entomologist*, 2003, 86 (3): 254 – 289.
- Munoz E, Lamilla C, Marin JC, *et al.* Antifeedant, insect growth regulatory and insecticidal effects of *Calceolaria talcana* (Calceolariaceae) on *Drosophila melanogaster* and *Spodoptera frugiperda* [J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 42: 137 – 144.
- Murua MC, Molina – Ochoa J, Fidalgo P. Natural distribution of parasitoids of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Argentina [J]. *Journal of Insect Science*, 2009, 9: 20.
- Napal GND, Palacios SM. Bioinsecticidal effect of the flavonoids pinocembrin and quercetin against *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Pest Science*, 2015, 88 (3): 629 – 635.
- Nayar JK, Van Handel E. Flight performance and metabolism of the moth *Spodoptera frugiperda* [J]. *Journal of Insect Physiology*, 1971, 17 (12): 2475 – 2479.

- Negrisoni AS, Garcia MS, Negrisoni C. Compatibility of entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida) with registered insecticides for *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions [J]. *Crop Protection*, 2010a, 29 (6): 545–549.
- Negrisoni AS, Garcia MS, Negrisoni C, et al. Efficacy of entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida) and insecticide mixtures to control *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) in corn crops [J]. *Crop Protection*, 2010b, 29 (7): 677–683.
- Oliveira de Moraes RF, Toscano LC, Arantes Pereira MF, et al. *Beauveria bassiana* in association with genetically modified maize on *Spodoptera frugiperda* and *Rhopalosiphum maidis* management [J]. *Arquivos do Instituto Biologico Sao Paulo*, 2015, 82: 1–7.
- Pineda S, Perez – Robledo CA, Hernandez RE, et al. Combined and individual effects of a nucleopolyhedrovirus and azadirachtin on the mortality and maize – leaf consumption of *Spodoptera frugiperda* [J]. *Phytoparasitica*, 2014, 42 (4): 571–578.
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, et al. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management (First edition) [M]. México: International Maize and Wheat Improvement Center, 2018.
- Rao ZY. Monitoring and analysis of rice production in Guangxi in 2017 [J]. *Shanxi Agricultural Economics*, 2018, 10: 12–13. [饶珠阳. 2017年广西水稻生产监测分析 [J]. *山西农经*, 2018, 10: 12–13]
- Rios – Velasco C, Gallegos – Morales G, Cambero – Campos J, et al. Natural enemies of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Coahuila, Mexico [J]. *Florida Entomologist*, 2011a, 94 (3): 723–726.
- Rios – Velasco C, Gallegos – Morales G, Del Rincon – Castro MC, et al. Insecticidal activity of native isolates of *Spodoptera frugiperda* multiple nucleopolyhedrovirus from soil samples in Mexico [J]. *Florida Entomologist*, 2011b, 94 (3): 716–718.
- Rivero – Borja M, Guzman – Franco AW, Rodriguez – Leyva E, et al. Interaction of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* with chlorpyrifos ethyl and spinosad in *Spodoptera frugiperda* larvae [J]. *Pest Management Science*, 2018, 74 (9): 2047–2052.
- Rodríguez MC, Hernández – Ochandía D, Gómez L. Nematodos entomopatógenos: Elementos del desarrollo histórico y retos para su consolidación como biorreguladores en la agricultura en Cuba [J]. *Revista de Protección Vegetal*, 2012, 27 (3): 137–146.
- Rodríguez RLD, Jimenez RAA, Rueda LEA, et al. Relationship between content of limonin in citrus waste and antifeedant activity against *Spodoptera frugiperda* [J]. *Revista Colombiana De Entomologia*, 2014, 40 (2): 164–169.
- Rose AH, Silversides RH, Lindquist OH. Migration flight by a aphid, *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) and a noctuid, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *The Canadian Entomologist*, 1975, 107: 567–576.
- Salinas – Sanchez DO, Aldana – Llanos L, Valdes – Estrada ME, et al. Insecticidal activity of *Tagetes erecta* extracts on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2012, 95 (2): 428–432.
- Salvadori JD, Defferrari MS, Ligabue – Braun R, et al. Characterization of entomopathogenic nematodes and symbiotic bacteria active against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and contribution of bacterial urease to the insecticidal effect [J]. *Biological Control*, 2012, 63 (3): 253–263.
- Scapinello J, de Oliveira JV, Chiaradia LA, et al. Insecticidal and growth inhibiting action of the supercritical extracts of *Melia azedarach* on *Spodoptera frugiperda* [J]. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2014, 18 (8): 866–872.
- Shi CQ. Development process, problem and countermeasure of maize production in China [J]. *China Seed Industry*, 2019, 4: 24–29. [时成俏. 广西玉米生产发展历程、存在问题及对策 [J]. *中国种业*, 2019, 4: 24–29]
- Shylesha AN, Jalali SK, Gupta A, et al. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies [J]. *Journal of Biological Control*, 2018, 32 (3): 145–151.
- Silva G, Rodriguez JC, Blanco CA, et al. Bioactivity of a water extract of boldus (*Peumus boldus* Molina) against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) and *Helicoverpa zea* Boddie (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2013, 73: 135–141.
- Sousa EHS, Matos MCB, Almeida RS, et al. Forest fragments' contribution to the natural biological control of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in maize [J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2011, 54 (4): 755–760.
- Storer NP, Kubiszak ME, King JE, et al. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Lessons from Puerto Rico [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2012, 110 (3): 294–300.
- Tang QJ, Yan XW, Meng WD, et al. Investigation and analysis of rice production in Hainan from 2010 to 2016 [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2018, 5: 38–39. [唐清杰, 严小微, 孟卫东, 韩义胜, 林尤珍. 2010–2016年海南水稻生产情况调研及分析 [J]. *上海农业科技*, 2018, 5: 38–39]
- Valladares – Cisneros MC, Rios – Gomez MY, Aldana – Llanos L, et al. Biological activity of *Crescentia alata* (Lamiales: Bignoniaceae) fractions on larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2014, 97 (2): 770–777.
- 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/OL]. *Plant Protection*, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1982.S.20190428.0923.001.html>. [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/OL]. *植物保护*, 2019b, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1982.S.20190428.0923.001.html>]
- Wu DG, Wu JT, Xie J, et al. Development trend of sugarcane production in China [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2017, 44 (7): 154–160. [吴多广, 吴建涛, 谢静, 等. 中国甘蔗生产发展趋势分析 [J]. *广东农业科学*, 2017, 44 (7): 154–160]

- 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*, 2019a, 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, 2019a, 45 (2): 1-6, 18]
- Wu XX, Du YD, Yang YS. Characteristics of temperature variation during 1961 - 2014 over southern China [J]. *Meteorology and Disaster Reduction Research*, 2015, 38 (2): 27-30. [吴晓绚, 杜尧东, 杨永生. 1961 - 2012 年华南地区气温的变化特征 [J]. 气象与减灾研究, 2015, 38 (2): 27-30]
- Yang ZY, Wan Z, Fang W. Development situation and countermeasures of Guangdong rice industry in the first half of 2016 [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43 (10): 1-4. [杨震宇, 万忠, 方伟. 2016 年上半年广东水稻产业发展形势与对策建议 [J]. 广东农业科学, 2016, 43 (10): 1-4]
- Zhao SY, Sun XX, Zhang HW, et al. Laboratory test on the control efficacy of common chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. *Plant Protection*, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1982.S.20190410.1741.002.html>. [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/OL]. 植物保护, 2019, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1982.S.20190410.1741.002.html>]
- Zhang L, Jin MH, Zhang DD, et al. Molecular identification of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Yunnan Province [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (2): 19-24, 56. [张磊, 靳明辉, 张丹丹, 等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定 [J]. 植物保护, 2019, 45 (2): 19-24, 56]