



李传艳, 于晓锐, 唐良德, 牟明月, 臧连生. 大螟的研究进展: 系统综述 [J]. 环境昆虫学报, 2026, 48 (2): 393–409. LI Chuan-Yan, YU Xiao-Rui, TANG Liang-De, MU Ming-Yue, ZANG Liang-Sheng. Research progress on *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae): a systematic review [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2026, 48 (2): 393–409.

大螟的研究进展: 系统综述

李传艳¹, 于晓锐¹, 唐良德^{1*}, 牟明月^{2*}, 臧连生¹

(1. 贵州大学绿色农药全国重点实验室, 贵阳 550025; 2. 贵州茅台酒股份有限公司, 贵州遵义 564501)

摘要: 大螟 *Sesamia inferens* 是水稻、玉米、高粱等多种禾本科作物上的重要害虫, 近年来北扩危害小麦, 对我国粮食安全构成潜在威胁。本文关注到自 2010 年来, 大螟的研究呈显著增加的趋势, 发表文章的数量和质量均有大幅度的提升。目前缺乏对大螟研究的系统性综述, 为了更好地了解大螟目前的研究进展和对今后的研究设计提供基础信息, 本文系统综述了大螟的分布危害、生物生态学特性、综合防治策略、人工饲养技术和分子生物学等方面的研究进展, 总结分析了大螟的研究现状, 并进一步从防治和基础研究两个方面提出了建议。防治方面, 应加强对转基因作物的抗性管理、加强对主流防治药剂的抗性治理和加强诱杀植物的开发应用; 基础研究方面, 应加强抗性育种的基础研究、天敌昆虫资源的发掘利用以及生物学现象背后的机制研究。

关键词: 大螟; 生物生态学特性; 综合防治; 人工饲料; 基因组; 功能基因

中图分类号: Q969.9

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2026) 02-0393-17

Research progress on *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae): a systematic review

LI Chuan-Yan¹, YU Xiao-Rui¹, TANG Liang-De^{1*}, MU Ming-Yue^{2*}, ZANG Liang-Sheng¹ (1. State Key Laboratory of Green Pesticides, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Kweichow Moutai Group, Zunyi 564501, Guizhou Province, China)

Abstract: The pink stem borer, *Sesamia inferens*, is an important pest on a variety of gramineous crops, including rice, maize, sorghum. In recent years, it has been expanding northward to infest wheat crop and has posed a potential threat to China's food security. This study has noted a significant increase in research on *S. inferens* since 2010, with substantial improvements in both the quantity and quality of published studies. However, there is a lack of systematic reviews synthesizing existing knowledge on this pest currently. To advance our understanding of research progress and provide foundational insights for future investigations, this study systematically reviewed the research progress of *S. inferens* in terms of distribution and damage, bioecological characteristics, integrated control strategies, artificial rearing techniques and molecular biology. This study also summarized and analyzed the current research status of *S. inferens*, and further proposed recommendations from two perspectives: pest control and fundamental research. Regarding control measures, it is suggested to strengthen resistance management for transgenic crops, enhance resistance governance of mainstream insecticides, and improve the development and application of

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFE0140800); 贵州省科技计划项目 (黔科合基础-ZK [2024] 一般 047); 贵州大学引进人才科研项目 (贵大人基合字 (2021) 14 号); 黔科合平台人才 (BQW [2024] 004); 黔科合中引地 ([2023] 001)

作者简介: 李传艳, 女, 硕士研究生, 研究方向为昆虫毒理学, E-mail: lichuanyan07@163.com

*共同通讯作者 Author for correspondence: 唐良德, 男, 博士, 副教授, 研究方向为天敌昆虫资源发掘与利用、害虫生物防治与综合治理以及化学生态学, E-mail: tangldecatas@163.com; 牟明月, 男, 博士研究生, 研究方向为天然产物与仿生农药研究, 绿色农药设计、合成及构效关系研究, E-mail: mmy665918@163.com

收稿日期 Received: 2024-12-31; 修回日期 Revision received: 2025-01-15; 接受日期 Accepted: 2025-01-15

trap crops. In terms of fundamental research, priorities should include advancing basic studies on resistance breeding, exploring and utilizing natural enemy insect resources, and investigating the mechanisms underlying biological phenomena.

Key words: *Sesamia inferens* (Walker); bioecological characters; integrated control; artificial diet; genome; functional gene

大螟 *Sesamia inferens* (Walker) 属鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae, 以幼虫蛀茎为害水稻 *Oryza sativa* L.、玉米 *Zea mays* L.、高粱 *Sorghum bicolor* L.、甘蔗 *Saccharum officinarum* L.、小麦 *Triticum aestivum* L. 等禾本科作物, 也可危害油菜 *Brassica napus* L.、向日葵 *Helianthus annuus* L. 等非禾本科作物 (金翠霞和吴亚, 1986)。过去, 大螟作为水稻和甘蔗上的一种常发性次要害虫未引起足够的重视, 近年来, 随着全球气候变暖, 大螟不断北扩, 对北方小麦等主粮作物将构成威胁 (Zhang *et al.*, 2019)。由于过度使用化学农药防治二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker) 等水稻螟虫, 使得大螟抗药性显著增强 (黄诚华等, 2005; 赵钧等, 2016)。研究表明, 转基因 (Bt) 水稻对二化螟和大螟抗虫效应存在差异 (Gao *et al.*, 2010), 由于大螟对转基因水稻敏感性更低且抗性发展更快, 导致其在转基因水稻上为害加重 (高玉林等, 2006; Han *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2015)。此外, 大螟成虫将卵产于寄主植物叶鞘深处 (Sekhar *et al.*, 2009; Kaur *et al.*, 2015), 能够有效躲避天敌的捕食或寄生, 2龄后幼虫钻入茎内为害也能有效地躲避天敌, 因此, 天敌控制大螟的窗口期很短, 作用十分有限 (Nurindah *et al.*, 2020)。而且伴随种植制度的演变, 使得我国大螟的发生呈区域性特点。水稻、玉米、高粱等作物插花种植形成多作物共存的景观格局, 为大螟的转主为害提供便利条件, 以致大螟在高粱上呈加重危害趋势 (Li *et al.*, 2023); 稻麦轮作下机械收割残留的高稻桩为大螟提供了优越的越冬环境, 越冬代虫源基数显著增加 (吉海龙等, 2012)。更值得注意的是, 由于气候变化和耕作制度原因, 大螟不断北扩 (Zhang *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2024), 为害玉米和小麦。在印度, 随着气候变化与现代作物种植方式已促使大螟成为小米 *Setaria italica* (L.) Beauv. 上的主要害虫 (Muthusamy *et al.*, 2014)。综上分析, 由于化学农药的过度使用、大螟的为害特点以及气候和耕作制度的变化, 导致大螟呈现地理分布不断

扩大和对水稻、玉米、高粱、小麦等重要粮食作物加重危害的态势, 值得高度关注和警惕。

截止到2024年12月, 以主题词“*Sesamia inferens*”+“pink stem borer”在Web of Science上进行检索, 全球共发表学术论文191篇; 从中国知网 (CNKI) 以篇名词“大螟”进行检索, 中国学者发表学术论文242篇。从大螟研究的文献数量来看, 2010年以后呈现大幅度增长, 在此之前每年中、英文的发文量均低于10篇/年 (图1)。从发表的文献类型来看, 研究型论文占大多数, 综述论文仅有2篇, 中英文各1篇 (徐丽娜等, 2011; Jeevanandham *et al.*, 2020)。鉴于大螟有加重危害的趋势并呈现出新的研究热点, 以及现有综述的局限性和缺乏对最新文献的整理, 因而非常有必要针对大螟的基础生物生态学、发生危害趋势、综合防控、人工饲养技术和基于分子层面的最新研究进展进行系统梳理, 为大螟相关研究提供较为全面的参考信息。

1 发生及危害

大螟主要分布在亚洲地区, 包括马来西亚、菲律宾、中国 (含台湾和香港)、日本、孟加拉国、不丹、文莱、印度、印度尼西亚、韩国、尼泊尔、巴基斯坦、新加坡、斯里兰卡、泰国和越南 (Niranjanadevi *et al.*, 2020)。物种分布集合模型预测大螟地理分布主要集中在亚洲的中国和印度附近, 影响大螟形成这种分布格局的主要驱动因素是最湿季度平均温度, 其次是等温性和城市占比, 并认为印度、巴基斯坦等国的农田与大螟潜在分布的重合度最高, 受威胁最大; 同时大螟迁徙更倾向于农田分布与其高适宜生境重合的地区扩散 (唐千鸿和王骏, 2023)。大螟在中国分布于北纬34°线以南, 即陕西周至-河南信阳-安徽合肥-江苏淮阴线以南 (顾海南, 1985; 徐丽娜等, 2011)。受光温条件制约, 不同地理分布区发生世代有较大差异, 其中, 贵州1年可发生2~3代, 江

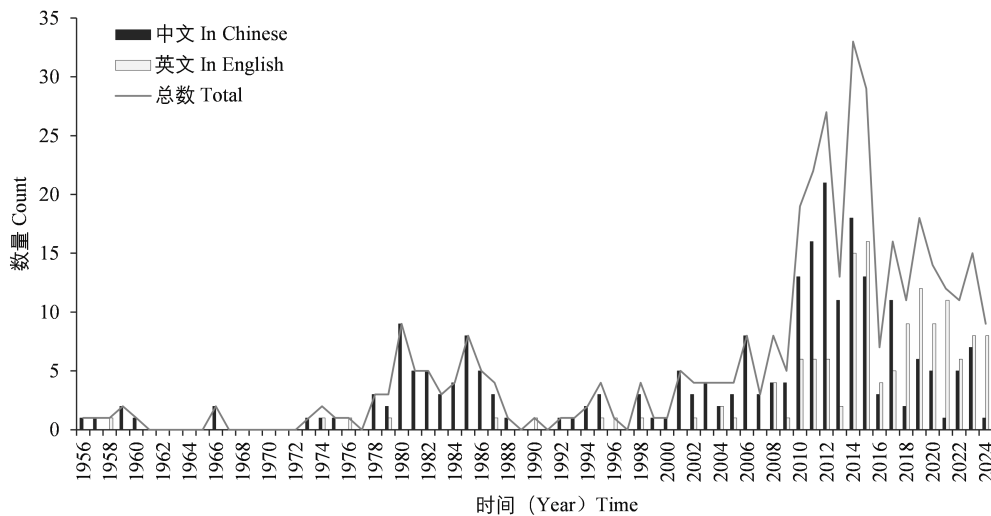


图1 与大螟相关的已发表文章统计

Fig. 1 Bibliometric analysis of published articles on *Sesamia inferens*

苏、浙江、安徽每年发生3~4代（李洪山等，2002），江西、湖南、湖北、四川每年发生4代，福建、广西及云南每年发生4~5代，广东南部、海南、台湾每年发生6~8代（丁锦华和苏建亚，2002）。近年来，随着全球气候变暖，大螟分布线不断向北推移（Zhang *et al.*, 2019），对我国北方小麦生产构成新的威胁。目前大螟已突破传统认为北纬34°线分布警戒线，扩散至我国华北大部分地区，为害玉米和小麦（陈立涛等，2017；Li *et al.*, 2024）。基于低温阈值和物种分布模型MaxEnt对大螟的分布进行预测，大螟的分布北线将推移至北纬40°，随着纬度的增加，大螟通过钻入玉米秸秆地下部分来应对冬季低温（Huang *et al.*, 2020）。

大螟为多食性昆虫，田间调查寄主有4科34种（Liu *et al.*, 2011），主要取食多种禾本科作物和杂草，包括水稻、玉米、高粱、甘蔗、小麦、小米、大麦 *Hordeum vulgare* L.、燕麦 *Avena sativa* L.、茭白 *Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf、香茅 *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle、牛筋草 *Eleusine indica* (L.) Gaertn.、高野黍 *Eriochloa procer* (Retz.) C. E. Hubb.、田间鸭嘴草 *Ischaemum rugosum* Salisb.、柠檬草 *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf、光头稗 *Echinochloa colonum* (L.) Link.、稗 *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.、金色狗尾草 *Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult.、湖南稗子 *Echinochloa frumentacea* (Roxb.) Link.、稗 *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.、鸭嘴草 *Paspalum*

scrobiculatum L.、御谷 *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.，也包括莎草科的香附子 *Cyperus rotundus* L.（Niranjanadevi *et al.*, 2020）。据调查，大螟对不同品种水稻的产量损失在7.07%~22.19%，以杂交水稻受害最严重（Rahman *et al.*, 2004）。江苏盐城地区，水稻大螟从2015年起越冬基数和发生虫量逐渐呈上升趋势（陈华等，2020）。川渝稻区螟虫主要由二化螟、三化螟 *Scirpophaga incertulas* Walker 和大螟组成，二化螟为优势种群，大螟为次优种群（于文娟等，2022）。在南亚和东南亚，大螟为害造成玉米产量损失高达25.7%~78.9%（Sekhar *et al.*, 2015）。在印度，大螟季节性造成的损失从25.7%到78.9%不等，估计损失每年约111.5亿卢比（约1.338亿美元）（Sekhar *et al.*, 2010）。大螟是甘蔗上的重要害虫，与甘蔗黄螟 *Chilo infuscatellus* (Snellen) 等螟虫共同危害甘蔗（罗志明等，2014）。据调查显示，2019~2021年云南蔗区大螟造成枯心率平均高达17.3%~56.3%，最为严重的高达84.0%（丁海云等，2022）。据测算，大螟幼虫为害顶端分生组织，1%茎害率将造成0.36吨/hm²的蔗茎减产，当幼虫为害扩展到蔗茎的节间，每1%节间虫口率会造成0.15%蔗糖损失，并影响甘蔗的品质（Eastwood *et al.*, 1998），因此，螟虫危害对甘蔗造成的损失不容忽视。近年来，大螟北扩为害小麦。2011年，滁州市南谯区大螟严重为害小麦，受害株率达到9.83%（徐丽娜等，2012）。

2 生物学与生态学特性

2.1 成虫形态及生活习性

大螟雌成虫体长14~17 mm, 翅展33 mm, 雄成虫偏小, 体长12 mm, 翅展27 mm, 头部、胸部浅黄褐色, 腹部浅黄色至灰白色, 前翅近长方形, 浅灰褐色, 近外缘色渐深, 自翅基部向外缘有1条暗棕色纵纹, 后翅银白色。触角多态性是区别雌雄成虫的简便有效方法, 雄成虫触角为栉齿状, 雌成虫触角丝状 (Nagarjuna *et al.*, 2015)。雄成虫前翅可见排列成四边形的4个翅斑 (朱贤东, 2010), 也有5个翅斑 (图2-A)、6个翅斑 (图2-B) 和没有翅斑的 (约占50%, 图2-C), 显示出翅型多态性。

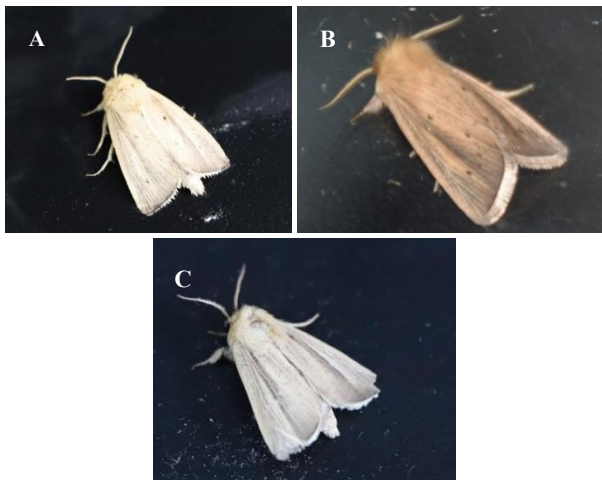


图2 大螟雄成虫的翅型多态性

Fig. 2 Wing polymorphism of male adults of *Sesamia inferens*
注: A, 前翅5个斑点; B, 前翅6个斑点; C, 没有斑点。
Note: A, 5 small black spots on the forewing; B, 6 small black spots on the forewing; C, no spots.

大螟为夜行性昆虫, 具有一定的趋光性, 较二化螟和三化螟弱 (沈厚芬等, 2006)。吊飞实验表明, 大螟的有效飞行时间为4~5 d, 能多次起飞, 累计飞行距离不超过5 km (韩兰芝等, 2012), 但孙建中等 (1993) 研究认为, 大螟最远可累计飞行32 km以上, 卵巢发育为Ⅱ级时飞翔能力最强, 随日龄的增加飞翔能力逐步下降。成虫大多于夜间羽化 (Rajendra, 1976), 以19:00~20:00羽化最盛, 分别占雌雄的70.6%和88.8% (周传波和陈安福, 1985)。大螟的交配发生在暗期4~10 h, 交配持续时间平均为83.4 min (郭前爽等, 2022)。同样, 成虫大多于夜间产卵 (Pathak

and Khan, 1994), 产卵器伸出时间发生在暗期6~8 h, 产卵器伸出持续时间平均为80.8 min (郭前爽等, 2022)。大螟偏好将卵产于叶鞘内侧近叶舌处, 以第2和第3叶鞘最多, 产卵期一般3~5 d (吕章喜和谭丽珊, 1981), 也有认为第1叶鞘 (58.57%) 产卵最多, 其次是第2叶鞘 (27.19%), 其它叶鞘最少 (14.24%) (Kaur *et al.*, 2015)。大螟总产卵期约为7 d, 平均产卵405个, 成虫羽化第2 d产卵数最多 (174个) (Kaur *et al.*, 2015)。在田间, 大螟为害具有趋边性 (钟雪明, 2015), 喜欢将卵产在田边生长茂盛、茎秆粗壮的稻株上 (陈复斌等, 2001), 田埂杂草是其必要的过渡寄主 (李洪山和李慈厚, 2002)。

2.2 幼虫发育及为害习性

在我国, 大螟幼虫一般5~6个龄期 (吕章喜和谭丽珊, 1981), 在20~30℃范围内, 幼虫历期为21~35 d (敬甫松, 1985); 在印度和斯里兰卡等地多为6个或8个龄期, 幼虫历期从22~68 d不等, 幼虫龄期数量和发育历期与季节 (温度) 和寄主植物密切相关 (Rajendra, 1976; Nagarjuna *et al.*, 2015)。

大螟幼虫多在上午孵出, 初孵幼虫取食卵壳后随即在叶鞘内群集为害, 2~3龄后转移为害, 蛀食一般不过节 (沈厚芬等, 2006)。幼虫可在不同水稻丛间及同一水稻丛内不同分蘖间转移为害, 且分蘖期转移扩散能力强于孕穗期, 平均迁移扩散距离分别为62.29 cm和51.02 cm, 一生为害3~4株水稻 (沈厚芬等, 2006; 韩兰芝等, 2012)。螟害株的蛀孔部位随着稻穗趋向成熟和大螟虫龄的增大, 逐渐由稻株的中上部节间向中下部节间转移 (冯成玉等, 2010)。大螟幼虫在田间呈聚集型分布, 随着虫口密度的升高聚集度降低 (武德功等, 2015)。不同景观格局下, 大螟有转主为害的特点。据报道, 江苏地区1代虫源主要来源于稻桩越冬老熟幼虫, 以自然寄主茭白和蒲等作为进入稻田的中间寄主, 2代大螟转移至水稻和田外寄主并重为害, 3代大螟集中为害水稻, 为全年主害代, 且水稻破口期与大螟卵孵化期吻合程度越高, 危害越重 (李洪山等, 2002)。在贵州地区, 大螟主要以老熟幼虫在稻桩、玉米和高粱茎秆中越冬, 推测大螟根据水稻、玉米和高粱的物候期进行转主为害 (李晨, 2023)。入侵害虫草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith 幼虫的同类相食特性和早期生态位占领可显著降低印度本土大螟的

发生 (Kalleshwaraswamy *et al.*, 2023)。

越冬是大多数昆虫应对冬季低温环境的策略。据调查,在湖北多地,稻茬中越冬的二化螟占绝对优势比例,但亦有一定比例的大螟(吕亮等, 2018);在贵州地区,越冬大螟蛾始见期为4月初,盛期时最大诱蛾量为65头/周,越冬代平均蛾量高达325(周操等, 2018);在华南地区,2018–2022年广东稻区越冬代大螟数量很高,部分地区虫量高于大发生量(吴阳刚等, 2023)。一年中不同时段采集的大螟在耐寒性上表现显著差异,在江苏扬州和河南新乡于1月份采集的大螟幼虫的耐寒性均最强,过冷却点分别为 -6.8°C 和 -7.6°C ,此时体内的含水量维持在低位(63.5%),而与抗寒策略密切相关的低分子量糖和多元醇上升至峰值(Sun *et al.*, 2014a; Huang *et al.*, 2020)。

2.3 地理种群分化

采取多种检测手段研究昆虫地理种群的遗传分化。利用COI基因对大螟遗传多样性分析显示,印度种群的遗传多样性非常低($\pi = 0.00981$),而印度以外地区的遗传多样性很高($\pi = 0.4989$),系统发育树将印度和巴基斯坦种群单独聚类(Dey *et al.*, 2021)。研究发现,大螟COII基因进化速度较快,中国不同地理种群之间已产生较大的差异,并且进化树显示不同地理种群大螟的遗传分化与地理距离之间具有一定的相关性(姚银花等, 2008)。扩增片段长度多态性(Amplified fragment length polymorphism, AFLP)研究表明,我国大螟不同地理种群间具有丰富的遗传多样性,多态性比例高达78.75%(张志春等, 2013)。利用高质量的单核苷酸多态性(Single nucleotide polymorphism, SNP)和结构变异数据集,在中国各地发现了3个高度分化的亚种群,分别对应于中国北部、南部地区和云黔高原,具有显著的地理和环境距离隔离模式(Li *et al.*, 2024)。微卫星数据(Simple sequence repeats, SSR)也支持大螟高水平的遗传多样性,并认为四川盆地的大螟可能是其祖先之一(Tang *et al.*, 2022)。Liu等(2014)报道了一种利用454 GS-FLX焦磷酸测序和交叉扩增快速鉴定大螟微卫星标记的方法。另外,研究表明不同亚种群的扩散是不对称的,北方种群的扩散得益于与干燥适应性相关的富含甘氨酸的表皮蛋白基因和组蛋白赖氨酸-n-甲基转移酶基因存在(Li *et al.*, 2024)。

3 综合防治技术

3.1 农业防治

适当推迟水稻的播栽期,错开大量越冬的1代虫源,以及错开水稻破口期与3代大螟的卵孵化盛期,可有效减轻危害(陶和胜等, 2005)。早播作物和田间杂草为大螟越冬虫源提供桥梁寄主,对早播作物大螟有效管控和铲除田边杂草,可降低越冬虫口基数,减轻对主栽作物的危害(陈华等, 2020)。稗草等禾本科杂草上大螟落卵量较高,可人工栽稗诱卵再集中灭杀(丁俊, 1982)。根据大螟产卵习性,在大螟产卵高峰期人工剥除销毁产在玉米等作物叶鞘内的卵块,也可降低虫口基数;另外,与豆科作物轮作,对玉米田大螟的防效可达85%以上(沈建新和张水妹, 2001)。实施稻田养鸭,可大幅度减少大螟用药,甚至无须进行防治,有效实现节本增效(陈华等, 2020)。

种植作物抗性品种是最有效最便捷的害虫管理农业措施。在大螟抗性育种方面,印度开展了大量抗性种质资源筛选、评价工作。Santosh等(2012)评价了48份玉米种质资源对大螟的抗性,8份对大螟有抗性,16份为中等抗性,24份为高度敏感。Sekhar等(2015)对24份玉米种质资源进行了大螟抗性评价,不同种质抗性存在显著差异。通过对大螟抗性的循环杂交选育可明显提高玉米基因型的抗性水平(Sekhar *et al.*, 2010)。另外,利用大螟在寄主上的产卵偏好,Kaur等(2019)评价了20份玉米种质资源,显著分离出拒绝产卵的基因型。因此,可将作物害虫的产卵偏好纳入抗虫育种计划。除了玉米,一项研究对110份甘蔗种质资源进行大螟抗性评价,获得抗性资源17份(15.45%),中度抗性50份(45.45%),敏感36份(32.72%),高度敏感7份(6.36%),抗性/中度抗性的近60%基因型可作为抗性育种规划的潜在供体(Mahesh *et al.*, 2013)。随后,研究团队又对131份甘蔗属种质资源进行了大螟抗性评价,获得高抗26份、抗性33份、中等抗性32份、敏感22份、高度敏感18份,分别占种质的19.8%、25.2%、24.4%、16.8%和13.7%,86%的高抗和抗性来源于印度种*S. barberi*和大茎野生种*S. robustum*,这些种质资源可进一步用于抗性育种计划(Mahesh *et al.*, 2015)。

在寄主植物抗性鉴定中,受害程度通常是最

主要的抗性评价指标, 这些指标包括叶片伤害率 (Leaf injury rating, LIR)、死心率 (Percentage dead heart, DH%)、茎隧穿率 (Percentage stem tunneling, ST%)、进出孔数 (Entry/exit holes, E/EH) 等。除了寄主植物受害的形态学描述, 生化性状也是抗性评价的重要指标。研究发现, 抗性基因型玉米的对香豆酸 (p-Coumaric acid, p-CA)、阿魏酸 (Ferulic acid, FA)、酸性洗涤纤维 (Acid detergent fibre, ADF) 和酸性洗涤木质素 (Acid detergent lignin, ADL) 等生化成分含量显著高于敏感基因型; 抗性玉米基因型中较高的p-CA含量延长了大螟的蛹期, p-CA和FA含量越高, 成虫羽化率越低, 两者呈显著负相关; 玉米的ADF和ADL含量与幼虫期呈极显著的正相关关系 (Soujanya *et al.*, 2021, 2023)。由于大螟在不同基因型玉米上的生活史特性存在显著差异, 抗性基因型 (CPM2、CPM4、CPM8、CPM15和CML345) 能够显著延长发育期, 降低幼虫体重和存活率以及成虫羽化率和繁殖力 (Sau and Dhillon, 2022), 这些基因型具有较高的组成型和/或大螟诱导的化学防御物质, 如酶活性和非酶抗氧化防御生化物质 (Sau *et al.*, 2022)。此外, 酚类物质 (0.9750)、单宁 (0.9354) 和类黄酮 (0.9582) 总含量与玉米对大螟的抗性呈显著正相关性 (Soujanya *et al.*, 2020)。

硅 (Si) 在植物体内的吸收和积累可以通过增强植物对害虫的抗性来缓解各种生物胁迫。与未施硅处理的植物相比, 硅处理能显著提高玉米茎和根中硅转运体基因 (EcLsi1、EcLsi2和EcLsi6) 和防御激素调节基因 (EcSAM、EcPAL和EcLOX) 在大螟侵染 72 h 后的转录水平, 从而诱导协同防御机制 (Jadhao *et al.*, 2020), 因此, 偏施硅肥有望减轻大螟的危害。

3.2 化学防治

过去, 通常使用一些高毒的化学农药用于水稻螟虫的防治, 随着这些农药被禁用或淘汰出市场, 目前防治水稻大螟的有效药剂品种主要为双酰胺类杀虫剂, 如氯虫苯甲酰胺、四唑虫酰胺和氟虫双酰胺等 (陶国才和陆强, 2020)。阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、呋虫胺、毒死蜱、甲虫肼、苏云金杆菌、甘蓝夜蛾核型多角体病毒等药剂及其复配剂对大螟也有较好的防治效果和保穗效果 (冯晓慧等, 2011)。氟虫腈对大螟也有

不错的防治效果 (Shimizu *et al.*, 2018), 但由于其环境和非靶标生物安全性问题, 我国已禁用。有文献报道, 低浓度 (2 mg/L) 的氯虫腈和三唑磷可刺激大螟的繁殖, 产卵数分别较对照提高了 26.2% 和 47.0% (Yang *et al.*, 2014)。不同时期防治试验表明, 水稻破口期至破口后 4 d 是大螟的防治适期 (顾志龙和陈跃, 2012)。在甘蔗大螟防治上, 结合宿根蔗管理将 70% 噻虫嗪 ZF (450 g/hm²) 与肥料混合后均匀撒施于蔗沟、蔗蔸及时覆土, 并于第 1 代大螟卵孵化盛期人工叶面喷施 46% 杀单·苏云菌 WP (250 g/hm²), 对甘蔗大螟有较好的防治效果 (>89.8%) 和增产效果 (>35.6%) (丁海云等, 2023)。Yang 等 (2021) 报道了一种氯虫腈壳聚糖-海藻酸盐漂浮水凝胶微球 (Chlorantraniliprole loaded chitosan-alginate floating hydrogel microspheres, CCAM) 防治水稻螟虫, CCAM 聚集在水稻茎周围缓慢释放氯虫腈, 使得氯虫腈在水稻茎叶中维持较高的浓度从而有效控制二化螟和大螟, 且 CCAM 在土壤中的氯虫腈残留量极低, 是一种值得开发的新型杀虫产品。

害虫抗药性是化学防治不可回避的问题。已有监测数据表明, 大螟对防治药剂总体上仍处于敏感状态 (张海艳等, 2012; 赵钧等, 2016; Wu *et al.*, 2018)。个别种群产生了一定程度的抗药性, 如浙江温岭和江苏南京的大螟种群对稻丰散已经产生了 8.72~12.79 倍的抗性 (赵钧等, 2016), 对杀虫单和三唑磷的敏感性降低 (张海艳等, 2012)。连续 20 代对灭蝇胺的抗性汰选结果表明, 抗性从筛选前的 29.44 倍迅速增长到 115.64 倍, 当脱离杀虫剂环境又迅速降至 58.20 倍, 大螟对灭蝇胺的抗性遗传力 h^2 为 0.28 (Mansoor, 2023)。因此, 大螟在杀虫剂的持续选择压力下具有获得抗性的能力, 但也存在抗性发展不稳定, 研究结果将有助于大螟田间杀虫剂抗性管理。但遗憾的是, 目前防治大螟的主流杀虫剂还未见到抗性预测相关的报道。

近年来, 对于大螟抗药性基因的研究也有一些进展。利用转录组测序技术鉴定了 2 个大螟微粒体谷胱甘肽 S-转移酶 (Microsomal glutathione S-transferase, mGST) 基因 (SimGST1-1 和 SimGST1-2), 并经氯虫苯甲酰胺诱导后呈现出明显的剂量效应和时间效应, 表明这 2 个 mGST 基因可能参与了大螟对氯虫苯甲酰胺的解毒代谢过程

(鲁艳辉等, 2023)。黄磊等(2019)研究鉴定了两个大螟的乙酰胆碱酯酶基因 *Sinace1* 和 *Sinace2*, 并对 *Sinace1* 基因的多态性位点进行了分析, 尚未发现抗药性突变位点。从大螟中克隆了二胺类杀虫剂分子靶点莱诺二氏受体基因 *SiRyR* 并对其分子特征进行了鉴定 (Wu *et al.*, 2018)。研究发现, 大螟肠道微生物菌群对毒死蜱和氯虫苯甲酰胺具有高效降低作用 (Goswami *et al.*, 2024), 为大螟对杀虫剂的解毒代谢提供了新见解。

3.3 生物防治与生态调控

大螟性信息素最早于1976年被初步鉴定为顺11-十六碳烯乙酸酯 Z11-16:AC (Nesbitt *et al.*, 1976), 田间诱蛾效果不理想。利用多种化学生态学方法发现大螟性信息素的主要成分由 Z11-16:AC 和顺11-十六碳烯醇 Z11-16:OH 构成, 还有微量的 Z-顺11-十六进醛 Z11-16:Ald (Zhu *et al.*, 1986), 比例虽受检测方法和暗期/光期调节的影响, 但均以 Z11-16:AC 占比较大 (郭前爽等, 2022), 并以 4:1:0.1 为田间诱捕最佳配比 (Zhu *et al.*, 1986)。研究表明, 大螟逐日性诱蛾量 (y) 与逐日灯诱蛾量 (x) 存在显著相关性 ($y=0.0518+1.1356x$, $R^2=0.6890$, $P=0.000$), 峰期呈现一致, 表明性诱的有效性和可靠性 (朱慧等, 2019), 但不同性诱产品诱蛾量存在较大差异 (姜海平等, 2012)。采用较大剂量 Z11-16:AC 浸泡于橡胶片制作的复合诱芯对甘蔗田越冬代大螟防治效果达 53.1%~66.8%, 1代大螟防治效果达 68.1%~71.9% (崔君荣等, 1994)。有研究表明, 高剂量的 Z11-16:AC 能够显著干扰大螟雄虫的求偶行为, 降低雌成虫性信息素的滴度和交配率 (桂嘉唯等, 2024)。在甘蔗地, 联合应用大螟性信息素 (6 a/ha) 和苏云金杆菌 (1 800 g/ha) 对枯心率和蛀茎率的防治效果分别可达 69.98% 和 49.09% 以上 (Li *et al.*, 2021)。大螟性信息素的田间应用需要对性信息素进行人工合成, 以交叉 Kolbe 电合成为关键步骤, 能够大量制备出大螟的信息素 (Singh and Misra, 1990)。

天敌是害虫自然控制的有效因子。据报道统计, 越南甘蔗螟虫有 8 种 (含大螟), 天敌 37 种, 其中寄生性天敌 21 种, 捕食性天敌 16 种, 卵寄生蜂螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii、幼虫寄生蜂螟黄足盘绒茧蜂 *Cotesia flavipes* (Cameron)、蛹期寄生蜂霍氏啮小蜂 *Tetrastichus howardi* (Olliff) 和

捕食性天敌环纹小圆蜂 *Euborelia annutipes* (Lucas) 是其最主要的天敌 (Duong *et al.*, 2011)。但由于大螟独特的生活史特性 (卵产于叶鞘内, 大部分时段幼虫生活在茎秆内), 天敌昆虫资源非常有限。田间调查发现大螟越冬幼虫体内仅有两种寄生蜂, 分别是中华茧蜂 *Amyosoma chinensis* (Szépligeti) 和螟黄足盘绒茧蜂, 其中螟黄足盘绒茧蜂是优势种群, 田间最高寄生率达 33.33% (陆明星等, 2022)。在泰国, 螟黄足盘绒茧蜂 (1 250 头/hm²) 作为增强型生物防治产品用于释放防治甘蔗螟虫, 两个年度试验均显著增加甘蔗的产量 (27.0% 和 27.9%) 和收益 (2.08 倍和 3.15 倍) (Maneerat *et al.*, 2017)。通过植物挥发性有机化合物 (十八烷) 控释制剂, 可吸引螟黄赤眼蜂控制为害小麦和鹰嘴豆 *Cicer arietinum* L. 上的大螟, 从而减少虫害和增加产量 (Pawar *et al.*, 2023)。但一项在印度尼西亚的研究揭示人工复合释放稻螟赤眼蜂 *Trichogramma japonicum* Ashmead 和螟黄赤眼蜂没有达到控制甘蔗螟虫的危害, 与对照区无差异 (Nurindah *et al.*, 2020)。在稻田附近种植芝麻可显著提高田间寄生蜂的数量, 从而增强对水稻螟虫的生物防治作用 (Zhu *et al.*, 2015)。

球孢白僵菌 Bb10716 菌株对甘蔗上大螟幼虫具有较强的致病性, 在 30℃ 条件下的致死中浓度 LC₅₀ 为 1.39×10^3 孢子/mL、致死中时 LT₅₀ 为 4.2 d (刘芳等, 2014)。以有无感染内生真菌 *Neotyphodium lolii* 的黑麦草 *Lolium perenne* L. 对大螟取食选择和存活表现间接评价了 *N. lolii* 对大螟的生物防治作用, 结果表明, 感染了 *N. lolii* 的二年生黑麦草对大螟具有较强的阻吓或毒性作用, 显著影响了它的取食和存活 (Shiba and Sugawara, 2010)。从大螟幼虫僵虫上分离到 2 株昆虫病原细菌, *Skermanella* sp. 和 *Serratia* sp. 对大螟 3 龄幼虫的 LC₅₀ 分别为 3.80×10^4 CFU/mL 和 2.29×10^5 CFU/mL (Panneerselvam *et al.*, 2018)。

转 Bt (Cry1Ab/Cry1Ac 融合蛋白) 水稻对大螟有很高的毒性, 取食转基因水稻后, 大螟 3 龄和 5 龄的取食量和摄食率显著降低, 随取食时间延长致死率分别高达 100% 和 85% (郭文娟等, 2013), 转 Cry1Ab/Vip3H、Cry1Ac/CpTI 基因水稻对大螟也表现出显著的致死和亚致死效应, 并随水稻生育期的增加效应逐渐减弱 (高玉林等, 2006; 韩兰芝等, 2009; Chen *et al.*, 2010; Han *et al.*,

2011)。也有文献报道, 转 Cry1Ab/Cry1Ac 基因水稻对大螟无显著抗虫效果 (李志毅等, 2012)。Cry1Ab 和 Cry1Ac 蛋白对大螟的毒性显著低于二化螟 (Li *et al.*, 2015), Cry1A 在两者中肠刷状边缘膜泡 (BBMV) 结合位点浓度差异可能导致了这种毒性差异 (Han *et al.*, 2014)。目前我国商业化栽培的转基因水稻品种主要是转 Cry1Ab/Cry1Ac 蛋白的水稻。不同于我国的转 Bt 水稻, 印度主要种植转 Cry1A.105 和 Cry2Ab2 蛋白 Bt 玉米, 大螟对 Cry1A.105 和 Cry2Ab2 敏感 (Jalali *et al.*, 2015), 在水稻中可考虑 Cry1A.105/Cry2Ab2 融合蛋白用于 Cry1Ab/Cry1Ac 抗性螟虫治理。

香根草 *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty 是大螟、二化螟等螟虫的诱杀植物, 田埂栽种适当比例的香根草可大幅度的减轻对水稻的危害, 达到降低农药施用, 甚至不用喷施农药 (Lu *et al.*, 2019; Tang *et al.*, 2024)。大螟幼虫在水莎草 *Cyperus serotinus* Rottb. 上很少存活, 也可开发作为大螟的诱杀植物 (Liu *et al.*, 2011)。在稻田适当喷施农药还可促进香根草对大螟的诱杀作用 (梁齐等, 2017)。

4 人工饲养技术

20世纪60年代以来, 国内外相继开展了大螟的人工饲养技术研究。Chatterji 等 (1969) 发明了麦胚半合成人工饲料并饲养大螟3代, 每代约有60%的幼虫存活, 完成一个世代发育约需115 d。随后, Qureshi 等 (1971) 发明了稻茎粉半合成人工饲料, 用该饲料饲养的大螟世代历期为42~67 d, 蛹重0.1369 g, 大约有50%的个体从初孵幼虫发育到成虫, 成虫单雌产卵量194~700粒, 幼虫期25~40 d, 蛹期8~11 d, 卵孵化率为60.3%。Siddiqui 等 (1983) 研制了玉米粉+绿豆粉+玉米叶干粉等半合成人工饲料, 并于1993年又对该饲料配方及饲养方法进行了优化, 用优化后的配方饲养大螟的世代历期为40.8 d, 蛹重0.1369 g, 约有60%幼虫存活, 单雌产卵量约322.3粒, 卵孵化率为60.3% (Senthilkumar and Siddiqui, 1993)。韩超等 (2012) 利用大豆粉、玉米粉、麦胚和鲜茭白等成分配制了大螟的半合成人工饲料, 利用该饲料配方发展了大螟的长期、继代饲养技术, 即初孵至2日龄幼虫在茭白上饲养, 3日龄至化蛹在人

工饲料上饲养; 利用该方法连续饲养大螟3代, 幼虫的发育历期、蛹重、幼虫存活率、化蛹率、羽化率、卵孵化率和单雌产卵量等生活史参数与在天然饲料茭白上饲养的大螟相比, 二者没有显著差异; 且该饲养方法成本低、省工省力, 能显著减少病原菌的感染 (韩兰芝等, 2011)。戴长庚等 (2013) 通过均匀设计对大螟人工饲料配方进行了优化, 大螟第1代初孵化幼虫发育至蛹的比例 (化蛹率87.5%) 较原配方 (40.8%) 提高46.7个百分点; 从第1代到第10代的连续饲养过程中, 大螟的化蛹率、羽化率、卵孵化率和单雌产卵量等指标没有明显退化趋势, 平均分别为42.5%~87.5%、79.7%~95.8%、90.0%~94.9% 和95~252粒/雌; 第10代除雄幼虫历期显著延长外, 其余各指标均与第1代无显著差异, 因此认为该配方可用于大螟的长期饲养 (傅强等, 2014)。吴转娣等 (2016) 采用甘蔗、玉米和茭白作为人工饲料, 大大提高大螟饲养的效率, 大螟生长健壮, 生长周期短。除了半合成人工饲料外, 使用籽粒未形成的嫩玉米穗、鲜茭白和市场上出售的成熟甜玉米3种天然饲料分别饲养大螟, 研究发现大螟幼虫喜食抽丝籽粒形成期的嫩玉米幼穗, 其饲养效果显著优于天然寄主鲜茭白和甜玉米, 且与水稻的饲养效果没有显著差异 (唐辉等, 2017)。基于此, 张洪涛等 (2020) 开展了添加天然寄主玉米穗和稻茎粉的半合成人工饲料研究, 大螟能在该饲料上成功完成世代发育, 与取食天然寄主茭白相比, 取食该人工饲料的大螟呈现较快的发育速率、更高的幼虫存活率和成虫产卵量。

5 分子生物学研究进展

5.1 基因组学

对大螟线粒体全基因组 (15 413 bp) 进行了测序, 并就主要特征与夜蛾科4种蛾子的线粒体全基因组进行了对比分析 (Chai and Du, 2012)。利用含有重复序列的扩增片段长度多态性 (FIASCO) 对大螟30个多态微卫星位点进行了快速分离鉴定, 并对两个地理种群 (扬州和贵阳) 的多态性信息进行了比较分析 (Tang *et al.*, 2014)。

最近, 利用 Illumina、PacBio 和 Hi-C 技术组装合成了高质量的大螟染色体水平基因组, 基本信息为总组装大小973.18 Mb, N50序列33.39 Mb,

锚定在31条染色体上，核型为 $30+z$ ；BUSCO分析显示，其完整性为98.90% ($n=5286$)，其中单拷贝BUSCOs为5172 (97.8%)，重复BUSCOs为58 (1.1%)；该基因组包含58.59% (564.58 Mb) 重复元件和26 628个预测蛋白编码基因 (Yu *et al.*, 2024)。较之前的一个大螟全基因组整体质量要小一点 (Li *et al.*, 2024)，可能与测定的虫源品系有关系。

5.2 性信息素功能基因

大螟性信息素作为I型性信息素为研究信息素生物合成和降解途径的基因多样性提供了一个很好的模型，通过分析性腺和触角的转录组学数据，鉴定获得了73个可能与信息素生物合成 (46个基因) 或降解 (27个基因) 有关的新基因，其中脱氢酶 (SinfDes4)、脂肪酸还原酶 (SinfFAR2) 和脂肪酸转运蛋白 (SinfFATP1) 基因主要在性腺中表达，并且与其它蛾类合成信息素的基因聚集在一起，推测这些基因可能参与大螟性信息素的合成；5个羧酸酯酶 (SinfCXE10、13、14、18和20)、3个醛氧化酶 (SinfAOX1、2和3) 和2个醇脱氢酶 (SinfAD1和3) 在触角中特异性或显性表达，可能是参与了大螟信息素降解的候选基因 (Zhang *et al.*, 2014a)，这些基因信息丰富了我们对于大螟性信息素合成和降解的理解。从大螟触角中鉴定出3个信息素结合蛋白 (Pheromone binding proteins, PBP) (SinfPBP1、SinfPBP2 和 SinfPBP3)，SinfPBP1 和 SinfPBP2 高度和中度偏雄表达 (PBP1 > PBP2 >> PBP3)，而 SinfPBP3 略偏雌表达；SinfPBP1 在雌性性信息素接受过程中起主要作用，SinfPBP2 主要识别醇类和醛类物质，SinfPBP3 的作用不明确 (Jin *et al.*, 2014)。大螟化学感受蛋白 SinfCSP19 主要在雄虫触角中表达，被确定在接收雌性性信息素和寄主植物挥发物中起重要作用 (Zhang *et al.*, 2014b)。信息素受体 (Pheromone receptor, PR) 在昆虫化学通信系统承担着重要的角色，从大螟触角中克隆鉴定了3个信息素受体 (SinfOR21、SinfOR21 和 SinfOR29)，SinfOR29 比其它两个 PR 高出 17~23 倍。利用爪蟾卵母细胞异源表达系统研究了 PR 的功能，SinfOR29 对大螟主要信息素成分 Z11-16:OAc 有特异性和敏感性反应，SinfOR21 对次要信息素成分 Z11-16: OH 有较强的反应，SinfOR27 对 3 种信息素成分均无反应，但对非性信息素成分 Z9、E12-14:

OAc 敏感 (Zhang *et al.*, 2014c)。另外，通过分析大螟触角和雌性性腺的转录组，鉴定出 92 个可能的化学感受基因，包括 24 个编码气味结合蛋白 (Odorant binding protein, OBPs) 的转录本，24 个编码化学感觉蛋白 (Chemosensory protein, CSPs) 的转录本，2 个编码感觉神经元膜蛋白 (Sensory neuron membrane protein, SNMP) 的转录本，39 个编码气味受体 (Olfactory receptor, ORs) 的转录本和 3 个编码嗜离子受体 (Ionotropic receptor, IRs) 的转录本；逆转录 PCR 和实时定量 RT-PCR 分析表明，CSP 转录本在不同组织和阶段的表达最为广泛，部分 CSP 转录本在触角中高表达，OBP 转录本主要在触角中表达，OR 转录本大部分仅在触角中检测到，还有一些 OR 转录本，如 SNMP2 和 2ir 转录本在非化学感觉组织中表达 (Zhang *et al.*, 2013)，同时研究克隆了 2 个大螟普通气味结合蛋白基因 *SinfGOBP1* 和 *SinfGOBP2*，2 个基因的表达量随雌成虫日龄增加而增加，雄成虫则以 4 日龄最高，且雌雄间无差异 (金俊彦等, 2014)。

5.3 其它重要功能基因

内参基因筛选是功能基因表达研究的基础。Lu 等 (2015) 利用 5 种算法 (Delta Ct method, Bestkeeper, geNorm, Normfinder 和 RefFinder) 对大螟 7 个候选内参基因暴露在不同生物和非生物环境下进行了稳定性测试，其中，不同组织中表达较为稳定的内参基因有 *GAPDH*、*RPL10* 和 *RPS3*，不同发育阶段的有 *GAPDH* 和 *RPS3*，幼虫接触杀虫剂的有 *RPS3* 和 *EF1*，取食不同水稻品种幼虫的有 *RPS3* 和 *RPL10*，取食不同饲料幼虫的有 *RPS3* 和 *ACTB*；另一项研究结果揭示了 *RPS13*、*RPS20* 和 *EF1* 在大螟不同组织，18S rRNA、EF1 和 *GAPDH* 在大螟不同发育阶段和性别，以及 18S rRNA、*RPS20* 和 *TUB* 在不同温度条件下 5 龄幼虫中表达最稳定 (Sun *et al.*, 2015)，上述结果为研究不同条件下大螟基因表达提供了可靠的内参基因集。在随后的一项关于大螟热应激基因表达模式的研究中进一步证实了内参基因 (*RPS13* 和 *TUB*) 的可靠性，并揭示热应激显著上调了 *Sihsp19.6*、*Sihsp20.6* 和 *Sihsp83* mRNA 表达水平，表明这些基因在防止大螟细胞损伤中起关键作用以及通过这些基因的阈值温度 (39°C) 在一定程度上解释了的地理分布 (Tang *et al.*, 2015)。*Sihsp19.6*、*Sihsp20.6* 和 *Sihsp21.4* 是编码 α -crystallin/sHSP 家族

成员的大螟小热休克蛋白 (sHSPs) 基因, *Sihsp21.4* 在大螟头部高表达, *Sihsp19.6* 和 *Sihsp20.6* 在大螟卵中高表达, 低温胁迫可以显著上调大螟的 3 个 sHSPs 基因 (Sun *et al.*, 2014b)。研究还克隆了大螟 *HSP70* 和 *HSP90* 基因家族中各一个重要基因 *Sihsc70* 和 *Sihsp83*, 其中 *Sihsc70* 在中肠、后肠和体壁组织中高表达, 在不同发育阶段以卵期表达量最高, 低温不能诱导该基因的大量表达 (孙猛等, 2014a, 2014b)。

水通道蛋白是控制水进出细胞的跨膜蛋白。肖天晶等 (2019) 研究明确了大螟水通道蛋白基因 (*SiAQP*) 的序列特征以及该基因的表达模式和功能, *SiAQP* 的开放阅读框 (Open reading frame, ORF) 为 831 bp, 编码 276 个氨基酸, 分子量为 29.27 ku, 等电点 8.16, 保守结构域含有两个高度保守的水通道蛋白特征序列 NPA (Asn-Pro-Ala) 基序和 6 个跨膜结构域; 后肠的 *SiAQP* 表达量显著高于其它组织, 成虫期的 *SiAQP* 表达量最高, 卵和蛹期表达量相对较低; 温度对 *SiAQP* 的表达影响较小, 但湿度的影响较大。昆虫中肠氨肽酶 N 是 Bt 毒素的重要受体之一, 利用 RACE 技术克隆获得大螟受体蛋白氨肽酶 N (Aminopeptidase N, APN) 基因 *SiAPN3*, 该基因在幼虫中肠和后肠中的表达量显著高于前肠, 且在 3 龄和 4 龄幼虫中表达量显著高于 1 龄、2 龄和 5 龄幼虫 (王兴云等, 2012)。

6 结论与展望

6.1 结论

大螟是分布于亚洲的禾本科作物上的重要害虫, 在印度是玉米和小米上的主要害虫, 在东南亚是甘蔗上的重要害虫, 在我国则呈现出多元发展的格局: 在水稻上由原来的常发性次要害虫逐渐向常发性主要害虫演变, 在甘蔗上一直作为重要害虫与其它蔗螟共同为害, 在西南地区高粱上呈危害加重趋势, 并随着全球气候变暖向北危害小麦和玉米, 对我国粮食安全构成潜在巨大威胁。转 Bt 作物 (如 *Cry1Ab/Cry1Ac* 水稻) 的“避难所效应”及抗药性增强进一步加剧了防控难度。目前关于大螟的防治, 水稻上防治二化螟时进行兼治, 主要防治药剂为双酰胺类杀虫剂, 性诱法是监测和压低虫口基数的有效方法; 调整播种期或铲除中间寄主等农艺措施也能取得一定的防治效果;

大螟的自然天敌较少, 生物防治以转 Bt 作物为主。但天敌资源匮乏、抗性育种空白仍是主要短板。国外主要围绕玉米、甘蔗开展了大量抗虫资源评价以及释放寄生蜂防治大螟, 螟黄足盘绒茧蜂具有较高的防效。大螟的人工饲养技术也取得了一定的进展, 但仍难以实现大螟的规模化和长期继代饲养。

目前已获得了大螟全基因组数据信息, 一些与生态适应相关的基因 (如化学感受蛋白、抗药性相关基因以及热休克蛋白) 得到了克隆和表征, 遗传多样性也得到了较好的注解。大螟危害呈“北扩加剧、抗性升级、天敌短缺”三重态势, 需以基因组学为突破口, 加强基础研究创新从而推动应用研究发展。

6.2 展望

总体而言, 大螟的危害呈逐渐加重的态势, 同时也得到了越来越多的关注 (发文量)。从文章发表的情况来看, 不仅数量在增加, 而且质量也有显著提高; 从研究的视角来看, 不仅有开展防治学相关方面的工作, 也有基于现象到机制的阐释, 尤其最近高质量组装了大螟的全基因组 (Li *et al.*, 2024; Yu *et al.*, 2024), 对后续解析生物生态学现象内在的分子机制提供了有力的工具。通过对现有文献资料的梳理, 围绕大螟发生的新情况、新特点, 建议加大防治和基础两方面的研究。

6.2.1 防治研究的重点

(1) 加强对转基因作物的抗性管理。国内外在转 Bt 作物上的效应蛋白存在差异, 我国主要是转 *Cry1Ab/Cry1Ac* 融合蛋白, 用于水稻二化螟等螟虫的防治, 应加强大螟对该蛋白的毒性和抗性评价, 阐明抗性发展的内在分子机制, 为抗性管理提供科学依据。

(2) 加强对主流防治药剂的抗性治理。目前防治大螟最有效且广泛使用的杀虫剂品种为双酰胺类杀虫剂, 有必要开展大螟对这类杀虫剂的抗性监测、预测和交互抗性测定, 以及潜在抗性发展的分子机制, 从而制定这类杀虫剂的抗性治理策略, 以延缓主流防治药剂的使用寿命。

(3) 加强诱杀植物的开发应用。香根草被证实是水稻二化螟等多种螟虫的诱杀植物, 并在防治水稻螟虫上取得了显著成效。可将香根草防治水稻螟虫的成功经验复制推广到玉米、高粱、甘蔗以及小麦等重要粮经作物大螟的防治, 同时开

发新的诱杀植物及其应用场景, 例如稗草和水莎草等。

6.2.2 加强基础研究

(1) 加大抗性育种基础研究。抗性品种是最简便高效的害虫控制技术, 但需要开展大量的基于表型性状的育种材料筛选。分子育种可显著加快育种进程, 但也需要对调控关键抗性性状的基因进行深入挖掘和功能解析。印度在玉米和甘蔗抗虫性育种方面做了大量而卓有成效的工作, 然而我国在抗性育种方面仍是空白。

(2) 深入开展大螟天敌昆虫资源发掘利用研究。天敌是害虫持续控制的有效因子, 目前报道大螟的天敌昆虫种类较少, 主要限于少数幼虫和蛹寄生蜂。由于大螟独特的将卵块产于叶鞘内的特性, 田间尚未发现优势卵寄生性天敌昆虫资源, 今后有必要深入开展卵寄生蜂天敌资源挖掘利用研究, 深入解析天敌与寄主间的互作机制, 促进天敌作用的发挥。

(3) 深入开展大螟生物生态学特性研究。生物生态学是开展害虫防治科学的基础, 持续挖掘大螟生物生态学特性, 揭示其生物生态学现象, 并凭借大螟全基因组学结合其它组学技术阐释现象内在的分子机制。如大螟将卵产于叶鞘内部, 完全不同于其它夜蛾科昆虫的产卵行为, 并有效躲避了天敌的攻击。驱动这种防御性产卵行为的内在机制是什么, 目前尚不得而知。又如, 大螟不断向高纬度扩散, 其耐寒性等生态适应性的分子机制是什么, 都是值得我们深入思考的问题。

参考文献 (References)

- Chai HN, Du YZ. The complete mitochondrial genome of the pink stem borer, *Sesamia inferens*, in comparison with four other noctuid moths [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2012, 13 (8): 10236–10256.
- Chatterji SM, Sharma GC, Siddiqui KH, et al. Laboratory rearing of the pink stem borer, *Sesamia inferens* Walker, on artificial diets [J]. *Indian Journal of Entomology* 1969, 31 (1): 75–77.
- Chen FB, Liu FH, Wei YP. Research on the infestation of *Sesamia inferens* [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 2001, 21 (9): 18–20. [陈复斌, 刘福海, 魏义平. 水稻大螟为害规律的调查与研究 [J]. 植保技术与推广, 2001, 21 (9): 18–20]
- Chen H, Shen TH, Zhu ZF, et al. Current situation of rice stem borer in Dafeng district and green precision prevention and control technology [J]. *Anhui Agriculture Science Bulletin*, 2020, 26 (13): 106–108. [陈华, 沈田辉, 朱展飞, 等. 大丰区水稻大螟发生现状及绿色精准防控技术 [J]. 安徽农学通报, 2020, 26 (13): 106–108]
- Chen LT, Wang YF, Liu L, et al. First report of *Sesamia inferens* on summer maize in Guantao county of Hebei Province [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2017, 21 (6): 53–55, 72. [陈立涛, 王永芳, 刘莉, 等. 河北馆陶首次发现大螟为害夏玉米 [J]. 河北农业科学, 2017, 21 (6): 53–55, 72]
- Chen Y, Tian JC, Shen ZC, et al. Transgenic rice plants expressing a fused protein of Cry1Ab/Vip3H has resistance to rice stem borers under laboratory and field conditions [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2010, 103 (4): 1444–1453.
- Cui JR, Wu DM, Huang ST, et al. Control of *Chilo infuscatella* and *Sesamia inferens* using the compound of sex attractant pheromone [J]. *Cane Sugar Industry*, 1994, 3: 30–32. [崔君荣, 伍德明, 黄森泰, 等. 用性外激素复合体同时防治二点螟和大螟 [J]. 甘蔗糖业, 1994, 3: 30–32]
- Dai CG, Li KL, Wang LF, et al. An oligidic diet for *Sesamia inferens* optimized by uniform design and successive rearing [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2013, 27 (4): 434–439. [戴长庚, 李凯龙, 王立峰, 等. 基于均匀设计优化的大螟实用饲料配方及继代饲养 [J]. 中国水稻科学, 2013, 27 (4): 434–439]
- Dey A, Shashank PR, Meshram NM, et al. Molecular diversity of *Sesamia inferens* (Walker, 1856) (Lepidoptera: Noctuidae) from India [J]. *3 Biotech*, 2021, 11 (3): 134.
- Ding HY, Li YH, Wang XY, et al. Control effect of high-efficiency compound formula agents combination against *Sesamia inferens* and *Ceratovacuna lanigera* [J]. *Sugar Crops of China*, 2023, 45 (1): 52–56. [丁海云, 李银焮, 王晓燕, 等. 复合高效配方药剂组合对甘蔗大螟和绵蚜防控效果评价 [J]. 中国糖料, 2023, 45 (1): 52–56]
- Ding HY, Wang XY, Li YH, et al. Investigation on the outbreak of large stem borer and black tassel disease in sugarcane in spring and summer in Yunnan cane area [J]. *China Plant Protection*, 2022, 42 (12): 46–49. [丁海云, 王晓燕, 李银焮, 等. 云南蔗区春夏甘蔗大螟和黑穗病暴发为害调查 [J]. 中国植保导刊, 2022, 42 (12): 46–49]
- Ding J. Application of barnyard grass to the detection and control of the great stem borer (Lepidoptera) [J]. *Plant Protection*, 1982, 8 (2): 13. [丁俊. 稗草在大螟测报和防治上的应用 [J]. 植物保护, 1982, 8 (2): 13]
- Ding JH, Su JY. *Agricultural Entomology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 155. [丁锦华, 苏建亚. 农业昆虫学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 155]
- Duong CA, Diep DN, Hung HQ. Survey of sugarcane moth borers in southeast Vietnam [J]. *International Sugar Journal*, 2011, 113 (1354): 732–737.
- Feng CY, Li CH, Cheng JH. Preliminary observation on damage habit of rice stem borer (*Sesamia inferens*) [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (5): 1011–1016. [冯成玉, 李昌华, 程建华. 水稻穗期大螟危害习性初步观察 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (5):

- 1011–1016]
- Feng XH, Liu BS, Guo HF, *et al.* Study on efficacy of several kinds of insecticides on the pink rice borer, *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2011, 34 (5): 67–72. [冯晓慧, 刘宝生, 郭慧芳, 等. 几类药剂对大螟的室内毒力测定及田间防效评价 [J]. 南京农业大学学报, 2011, 34 (5): 67–72]
- Fu Q, Yuan ZM, Dai CG. A semi-artificial diet of the pink stem borer, *Sesamia inferens*, its preparation method and feeding method: 201310045121.3 [P]. 2014–07–02. [傅强, 袁哲明, 戴长庚. 一种大螟的半人工饲料及其制备方法: 201310045121.3 [P]. 2014–07–02]
- Gao YL, Fu Q, Wang F, *et al.* Effects of transgenic rice harboring *cry1Ac* and *CpTI* genes on survival of *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens* and field composition of rice stem borers [J]. *Chinese Rice Science*, 2006, 5: 543–548. [高玉林, 傅强, 王锋, 等. 转 *cry1Ac* 和 *CpTI* 双基因抗虫水稻对二化螟和大螟的致死效应及田间螟虫构成的影响 [J]. 中国水稻科学, 2006, 5: 543–548]
- Gao YL, Hu Y, Fu QA, *et al.* Screen of *Bacillus thuringiensis* toxins for transgenic rice to control *Sesamia inferens* and *Chilo suppressalis* [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2010, 105 (1): 11–15.
- Goswami S, Das SB, Rath PC, *et al.* Comparative assessment of the gut bacterial diversity associated with field population of three rice stem borers and their *in vitro* insecticide degradation ability [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2024, 27 (2): 102229.
- Gu HN. A preliminary study on the overwintering characteristics of *Sesamia inferens* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1985, 5 (1): 64–70. [顾海南. 大螟越冬特性的初步研究 [J]. 生态学报, 1985, 5 (1): 64–70]
- Gu ZL, Chen Y. Influence of the right period of control of the large stem borer and the effect of the agent on the dynamics of the number of white spikes [J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2012, 3: 360–362. [顾志龙, 陈跃. 大螟防治适期及药剂对白穗数量动态变化的影响 [J]. 浙江农业科学, 2012, 3: 360–362]
- Gui JW, Wang WY, Yao XM, *et al.* Calling and mating behaviors of *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) adults in the environment of high-dose sex pheromone for mating disruption [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2024, 67 (4): 507–516. [桂嘉唯, 王未英, 姚晓明, 等. 大螟成虫在高剂量性信息素交配干扰环境中的求偶和交配行为 [J]. 昆虫学报, 2024, 67 (4): 507–516]
- Guo QS, Zhuo FY, Zhu JQ, *et al.* Circadian rhythms of the sex pheromone biosynthesis and release and the calling and mating behaviors of adult *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2022, 65 (7): 877–885. [郭前爽, 卓富彦, 朱景全, 等. 大螟成虫性信息素生物合成和释放及求偶和交配行为的昼夜节律 [J]. 昆虫学报, 2022, 65 (7): 877–885]
- Guo WJ, Lu CY, Xiong YQ, *et al.* Food consumption, growth and survival of *Sesamia inferens* larvae on *cry1Ab/cry1Ac*-transformed gene Bt rice [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (1): 139–144. [郭文娟, 陆驰宇, 熊应强, 等. 转 *cry1Ab/cry1Ac* 基因水稻对大螟幼虫的取食、生长及存活的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (1): 139–144]
- Han C, Peng YF, Hou ML, *et al.* A preliminary study on artificial rearing of the pink stem borer, *Sesamia inferens* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (1): 281–285. [韩超, 彭于发, 侯茂林, 等. 大螟人工饲养技术的初步研究 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (1): 281–285]
- Han LZ, Han C, Liu ZW, *et al.* Binding site concentration explains the differential susceptibility of *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens* to Cry1A-Producing Rice [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2014, 80 (16): 5134–5140.
- Han LZ, Han C, Peng YF. An artificial diet of the pink stem borer, *Sesamia inferens*, its preparation method and feeding method: 201010536643.X [P]. 2011–02–16. [韩兰芝, 韩超, 彭于发. 一种大螟的人工饲料, 其制备方法及其饲养方法: 201010536643.X [P]. 2011–02–16]
- Han LZ, Hou ML, Wu KM, *et al.* Lethal and sub-lethal effects of transgenic rice containing *cry1Ac* and *CpTI* genes on the pink stem borer, *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10 (3): 384–393.
- Han LZ, Hou ML, Wu KM, *et al.* Lethal and sub-lethal effects of transgenic rice containing *cry1Ac* and *CpTI* genes on the pink stem borer [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42 (2): 523–531. [韩兰芝, 侯茂林, 吴孔明, 等. 转 *cry1Ac+CpTI* 基因水稻对大螟的致死和亚致死效应 [J]. 中国农业科学, 2009, 42 (2): 523–531]
- Han LZ, Liu PL, Wu KM, *et al.* Population dynamics of *Sesamia inferens* on transgenic rice expressing Cry1Ac and CpTI in southern China [J]. *Environmental Entomology*, 2008, 37 (5): 1361–1370.
- Han LZ, Peng YF, Wu KM. Studies on larval dispersal ability in the field and adult flight capacity of the pink stem borer, *Sesamia inferens* [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (4): 9–13, 37. [韩兰芝, 彭于发, 吴孔明. 大螟幼虫田间扩散及成虫飞行能力研究 [J]. 植物保护, 2012, 38 (4): 9–13, 37]
- Huang JR, Li GP, Lei HX, *et al.* Low-temperature derived temporal change in the vertical distribution of *Sesamia inferens* larvae in winter, with links to its latitudinal distribution [J]. *PLoS ONE*, 2020, 15 (7): e0236174.
- Huang L, Peng YC, Han ZJ. Cloning and polymorphism analysis of acetylcholinesterase genes from *Sesamia inferens* [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2019, 42 (6): 1050–1058. [黄磊, 彭英传, 韩召军. 大螟乙酰胆碱酯酶基因的克隆及其多态性分析 [J]. 南京农业大学学报, 2019, 42 (6): 1050–1058]
- Jadhao KR, Bansal A, Rout GR. Silicon amendment induces synergistic plant defense mechanism against pink stem borer (*Sesamia inferens* Walker) in finger millet (*Eleusine coracana* Gaertn) [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10 (1): 4229.
- Jalali SK, Yadavalli L, Ojha R, *et al.* Baseline sensitivity of maize borers in India to the *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins Cry1A.105 and Cry2Ab2 [J]. *Pest Management Science*, 2015, 71 (8): 1082–1090.
- Jeevanandham N, Ramiah N, Chockalingam V, *et al.* An overview of the bionomics, host plant resistance and molecular perspectives of *Sesamia inferens* Walker in cereals and millets [J]. *Agronomy-*

- Basel, 2020, 10 (11): 1705.
- Ji HL, Tang LD, Xu CP, *et al.* Study on population dynamic and integrated control techniques of *Sesamia inferens* in Kunshan [J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2012, 2 (1): 9–11, 15. [吉海龙, 汤留弟, 徐彩萍, 等. 昆山地区水稻大螟种群数量动态及综防技术研究 [J]. 农业灾害研究, 2012, 2 (1): 9–11, 15]
- Jiang HP, Kan LB, Chen YC, *et al.* Technical study on the application of rice stem borer sexual attractants for detection and reporting purposes [J]. *Chinese Plant Protection*, 2012, 32 (6): 46–49. [姜海平, 阚李斌, 陈迎春, 等. 水稻大螟性诱剂应用于测报的技术研究 [J]. 中国植保导刊, 2012, 32 (6): 46–49]
- Jin CX, Wu Y. Study on the relationship between *Sesamia inferens* and its host plants [J]. *Journal of Plant Protection*, 1986, 13 (4): 259–265. [金翠霞, 吴亚. 大螟与寄主植物关系的研究 [J]. 植物保护学报, 1986, 13 (4): 259–265]
- Jin JY, Li ZQ, Zhang YN, *et al.* Different roles suggested by sex-biased expression and pheromone binding affinity among three pheromone binding proteins in the pink rice borer, *Sesamia inferens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2014, 66: 71–79.
- Jin JY, Zhang YN, Yang K, *et al.* Molecular identification and temporal expression of two general odorant-binding protein genes in the pink rice borer, *Sesamia inferens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2014, 37 (1): 87–93. [金俊彦, 张亚楠, 杨科, 等. 大螟2个普通气味结合蛋白基因的分子克隆及表达动态分析 [J]. 南京农业大学学报, 2014, 37 (1): 87–93]
- Jing FS. Temperature effects on the developmental calendar of the great stem borer (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1985, 6: 247–252. [敬甫松. 大螟发育历期的温度效应研究 [J]. 昆虫知识, 1985, 6: 247–252]
- Kalleshwaraswamy CM, Divya J, Mallikarjuna HB, *et al.* Cannibalistic nature and time of habitat occupancy of invasive maize fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* are the key factors for competitive displacement of native stem borer, *Sesamia inferens* in India [J]. *Current Science*, 2023, 124 (3): 348–354.
- Kaur J, Kumar P, Singh J, *et al.* Egg laying pattern of *Sesamia inferens* on maize (*Zea mays*) [J]. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 85 (1): 109–113.
- Kaur J, Singh J, Suby SB, *et al.* Differential preference for oviposition—a potential indicator of antixenosis in maize genotypes against *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Indian Journal of Experimental Biology*, 2019, 57 (4): 231–238.
- Li B, Xu YY, Han C, *et al.* *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens* display different susceptibility responses to Cry1A insecticidal proteins [J]. *Pest Management Science*, 2015, 71 (10): 1433–1440.
- Li C, Shen Z, Tang LD, *et al.* Demography and fitness of *Sesamia inferens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) on three important gramineous crops [J]. *CABI Agriculture and Bioscience*, 2023, 4: 49.
- Li HR, Peng Y, Wu C, *et al.* A chromosome-level genome assembly of *Sesamia inferens* [J]. *Scientific Data*, 2024, 11 (1): 134.
- Li HR, Peng Y, Wu C, *et al.* Assessing genome-wide adaptations associated with range expansion in the pink rice borer, *Sesamia inferens* [J]. *Insect Science*, 2024, 31 (5): 1617–1630.
- Li HS, Li CH, Li HY, *et al.* Characteristics of rice stem borer population extinction and switching pattern among hosts in the rice area of north Jiangsu Province, China [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 2002, 22 (10): 13–16. [李洪山, 李慈厚, 李红阳, 等. 苏北稻区水稻大螟种群消长特点及在寄主间的转换规律 [J]. 植保技术与推广, 2002, 22 (10): 13–16]
- Li HS, Li CH. Relationship between rice stem borer pregnant eggs and host weeds and their damage [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2002, 6: 48–49. [李洪山, 李慈厚. 水稻大螟孕卵与寄主杂草的关系及其危害 [J]. 江苏农业科学, 2002, 6: 48–49]
- Li WF, Zhang RY, Yin J, *et al.* Effects of a new sex pheromone trap and biological agents on the control of *Sesamia inferens* Walker and *Argyroplote schistaceana* (Snellen) [J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2021, 53 (5): 1985–1988.
- Li ZY, Sui H, Xu YB, *et al.* Effects of insect-resistant transgenic Bt rice with a fused *Cry1Ab+Cry1Ac* gene on population dynamics of the stem borers, *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens*, occurring in paddy field [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (6): 1783–1789. [李志毅, 隋贺, 徐艳博, 等. 转 *Cry1Ab* 和 *Cry1Ac* 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32 (6): 1783–1789]
- Liang Q, Lu YH, Wang GR, *et al.* The effect of spraying on host plants on the oviposition preference of Asiatic pink stem borer *Sesamia inferens* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2017, 44 (1): 39–44. [梁齐, 鲁艳辉, 王国荣, 等. 寄主植物上喷药对大螟产卵选择性的影响 [J]. 植物保护学报, 2017, 44 (1): 39–44]
- Liu YD, An XK, Hou ML. Rapid microsatellite marker isolation for the pink stem borer, *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) through 454 GS-FLX Titanium pyrosequencing of enriched DNA libraries and cross amplification in related taxa [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2014, 49 (4): 613–617.
- Liu ZR, Gao YL, Luo, *et al.* Evaluating the non-rice host plant species of *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) as natural refuges: resistance management of Bt rice [J]. *Environmental Entomology*, 2011, 40 (3): 749–754.
- Lu MX, Zhu CX, Zhu F, *et al.* Investigation on the species of parasitic wasps in the overwintering larvae of *Sesamia inferens* (Walker) and analysis of the overwintering dynamics of the key parasitic wasps [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (4): 808–814. [陆明星, 朱晨旭, 朱凤, 等. 水稻大螟越冬幼虫寄生蜂种类调查与主要寄生蜂越冬动态分析 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (4): 808–814]
- Lu YH, Tian JC, Guo JW, *et al.* Temporal and spatial expression profiles of two *mGST1* genes in Asiatic pink stem borer *Sesamia inferens* and their expression induced by chlorantraniliprole [J]. *Journal of Plant Protection*, 2023, 50 (3): 620–630. [鲁艳辉, 田俊策, 郭嘉雯, 等. 大螟两个 *mGST1* 基因的时空分布及经氯虫苯甲酰胺诱导后的表达情况 [J]. 植物保护学报, 2023, 50 (3): 620–630]

- Lu YH, Zheng XS, Liang Q, *et al.* Evaluation and validation of reference genes for SYBR Green qRT-PCR normalization in *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2015, 18 (4): 669-675.
- Lu YH, Zheng XS, Lü ZX. Application of vetiver grass *Vetiveria zizanioides*: Poaceae (L.) as a trap plant for rice stem borer *Chilo suppressalis*: Crambidae (Walker) in the paddy fields [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18 (4): 797-804.
- Luo ZM, Shen K, Huang YK, *et al.* The ecological niches of *Sesamia inferens* Walker and *Argyroplote schistaceana* Snellen and their interspecific competition on sugarcane [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (4): 1046-1051. [罗志明, 申科, 黄应昆, 等. 大螟和黄螟在蔗苗上的生态位及其种间竞争 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (4): 1046-1051]
- Lv L, Chang XQ, Yang XL, *et al.* Biological survey on the overwintering larvae of rice stem borer in Hubei Province [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (5): 1051-1057. [吕亮, 常向前, 杨小林, 等. 湖北水稻蛀秆螟虫越冬情况调查 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (5): 1051-1057]
- Lv ZX, Tan LN. Preliminary observations on the biology of the great borer [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1981, 4: 151-154. [吕章喜, 谭丽珊. 大螟生物学的初步观察 [J]. 昆虫知识, 1981, 4: 151-154]
- Mahesh P, Chandran K, Srikanth J, *et al.* Natural incidence of *Sesamia inferens* Walker, in sugarcane germplasm [J]. *Sugar Tech.*, 2013, 15 (4): 384-389.
- Mahesh P, Srikanth J, Chandran K, *et al.* Preliminary screening of *Saccharum* spp. germplasm against the pink borer *Sesamia inferens* Walker [J]. *International Sugar Journal*, 2015, 117 (1395): 212-216.
- Maneerat T, Uraichuen S, Suasa-ard W. Economic impact of *Cotesia flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae) for controlling sugarcane moth borers in Thailand [J]. *Sugar Tech.*, 2017, 19 (6): 616-622.
- Mansoor MM. Risk assessment of cyromazine resistance in a field population of *Sesamia inferens* (Walker): Cross-resistance, inheritance, and realized heritability [J]. *Phytoparasitica*, 2023, 51 (3): 547-558.
- Muthusamy S, Shanker C, Mohan M, *et al.* Emergence pattern, reproductive biology and courtship behaviour of rice pink stem borer, *Sesamia inferens* (Walker) (Noctuidae: Lepidoptera) [J]. *Agrotechnology*, 2014, 2: 60.
- Nagarjuna B, Manjunatha M, Latha M. Biology of maize stem borer, *Sesamia inferens* (Walker) Noctuidae: Lepidoptera [J]. *Journal of Eco-Friendly Agriculture*, 2015, 10: 90-91.
- Nesbitt BF, Beevor PS, Hall DR, *et al.* Identification of the female sex pheromone of the purple stem borer moth, *Sesamia inferens* [J]. *Insect Biochem*, 1976, 6 (1): 105-107.
- Niranjanadevi J, Nalini R, Vanniarajan C, *et al.* An overview of the bionomics, host plant resistance and molecular perspectives of *Sesamia inferens* Walker in cereals and millets [J]. *Agronomy*, 2020, 10: 1705.
- Nurindah, Sunarto DA, Sujak. Overview of the use of biocontrol agents in the control of Indonesian sugarcane borers [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 418.
- Panneerselvam, Kumar U, Sahu S, *et al.* Larvicidal potential of *Skermanella* sp against rice leaf folder (*Cnaphalocrosis medinalis* Guenée) and pink stem borer (*Sesamia inferens* Walker) [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2018, 157: 74-79.
- Pathak MD, Khan ZR. Insect Pests of Rice [M]. Manila: International Rice Research Institute, 1994: 5-17.
- Pawar P, Baskaran RKM, Sharma KC, *et al.* Enhancing biocontrol potential of *Trichogramma chilonis* against borer pests of wheat and chickpea [J]. *Isience*, 2023, 26 (4): 106512.
- Qureshi ZA, Anwar M, Ashraf M, *et al.* Rearing, biology and sterilization of the pink rice borer, *Sesamia inferens* Walker. In: Fuyaka M, ed. Symposium on Rice Insects [M]. Tokyo: Tropical Agriculture Research Center, 1971: 75-79.
- Rahman MT, Khalequzzaman M, Khan MAR. Assessment of infestation and yield loss by stem borers on variety of rice [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2004, 7 (1): 89-95.
- Rajendra A. Studies on *Sesamia Inferens* Walk: the shoot-borer pest of sugarcane in Sri Lanka [J]. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 1976, 4: 99-108.
- Santosh HB, Sekhar JC, Rakshit S, *et al.* Detection of epistatic interaction for susceptibility towards pink borer (*Sesamia inferens* Walker) in maize (*Zea mays* L.) [J]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2012, 72 (3): 284-289.
- Sau AK, Dhillon MK, Trivedi N. Activation of antioxidant defense in maize in response to attack by *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Phytoparasitica*, 2022, 50 (5): 1043-1058.
- Sau AK, Dhillon MK. Photosynthetic pigments in maize (*Zea mays*) vis-a-vis biological performance and host selection by *Sesamia inferens* [J]. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 92 (3): 348-352.
- Sekhar JC, Karjagi CG, Kumar B, *et al.* Genetics of resistance to *Sesamia inferens* infestation and its correlation with yield in maize [J]. *Plant Breeding*, 2015, 134 (4): 394-399.
- Sekhar JC, Kumar P, Rakshit S, *et al.* Differential preference for oviposition by *Sesamia inferens* Walker on maize genotypes [J]. *Annals of Plant Protection Sciences*, 2009, 17: 46-49.
- Sekhar JC, Rakshit S, Kumar P, *et al.* Improvement of resistance level in selected maize genotypes through cycles of selection against pink borer, *Sesamia inferens* Walker [J]. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2010, 70 (2): 204-206.
- Senthilkumar P, Siddiqui KH. Compounding artificial diets for rearing of the pink stem borer, *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Journal of Entomological Research*, 1993, 17 (2): 81-90.
- Shen HF, Wang YC, Liu JB, *et al.* Epidemiological pattern of rice stem borer and its integrated control technology [J]. *Modern Agriculture Science and Technology*, 2006, 2: 18-20. [沈厚芬, 王云川, 刘金波, 等. 水稻大螟的流行规律及其综合防治技术 [J]. 现代农业

- 科技, 2006, 2: 18–20]
- Shiba T, Sugawara K. Inhibitory effect of an endophytic fungus, *Neotyphodium lolii*, on the feeding and survival of *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) and *Sesamia inferens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) on infected *Lolium perenne* [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2010, 45 (1): 225–231.
- Shimizu Y, Matayoshi Y, Tomori K, et al. Damage to sugarcane by borers *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Tetramoera schistaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) and control with insecticides on Miyako Island, Japan [J]. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 2018, 62 (1): 55–65.
- Siddiqui KH, Sarup P, Matwaha KK. Formulation of artificial diets for mass rearing of the pink borer, *Sesamia inferens* (Walker), in the laboratory [J]. *Journal of Entomological Research*, 1983, 7 (2): 154–160.
- Singh KN, Misra RA. Electrochemical synthesis of (z)-1, 1-hexadecen-1-yl acetate—the pheromone of purple stem-borer (*Sesamia-inferens*)[J]. *Journal of the Indian Chemical Society*, 1990, 67(7): 565–567.
- Soujanya PL, Sekhar JC, Karjagi CG, et al. Role of morphological traits and cell wall components in imparting resistance to pink stem borer, *Sesamia inferens* Walker in maize[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1167248.
- Soujanya PL, Sekhar JC, Ratnavathi CV, et al. Induction of cell wall phenolic monomers as part of direct defense response in maize to pink stem borer (*Sesamia inferens* Walker) and non-insect interactions [J]. *Scientific Reports*, 2021, 11 (1): 14770.
- Soujanya PL, Sekhar JC, Ratnavathi CV, et al. Role of soluble, cell wall bound phenolics, tannin and flavonoid contents in maize resistance to pink stem borer *Sesamia inferens* Walker [J]. *Maydica*, 2020, 65 (1): M8.
- Sun JZ, Zhang JX, Shen XS. Flight capacity of adults of *Scirpophaga incertulas* (Walker), *Chilo suppressalis* (Walker), and *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1993, 3: 315–322. [孙建新, 张建新, 沈雪生. 三化螟、二化螟及大螟成虫的飞翔能力 [J]. 昆虫学报, 1993, 3: 315–322]
- Sun M, Lu MX, Tang XT, et al. Characterization and expression of genes encoding three small heat shock proteins in *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2014b, 15 (12): 23196–23211.
- Sun M, Lu MX, Tang XT, et al. Exploring valid reference genes for quantitative real-time PCR analysis in *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10 (1): e0115979.
- Sun M, Lu MX, Tang XT, et al. Molecular cloning and expression profiling of *HSC70* gene in *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (7): 787–797. [孙猛, 陆明星, 汤小天, 等. 大螟 *HSC70* 基因克隆及表达模式分析 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (7): 787–797]
- Sun M, Lu MX, Tang XT, et al. Molecular cloning and sequence analysis of the HSP83 gene in *Sesamia inferens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2014, 51 (5): 1246–1254. [孙猛, 陆明星, 汤小天, 等. 大螟热激蛋白 83 基因克隆及序列分析 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51 (5): 1246–1254]
- Sun M, Tang XT, Lu MX, et al. Cold tolerance characteristics and overwintering strategy of *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Florida Entomologist*, 2014a, 97 (4): 1544–1553.
- Tang H, Chen FJ, Han LZ, et al. An improved food for rearing the pink stem borer, *Sesamia inferens*: unripe corn [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (1): 175–180. [唐辉, 陈法军, 韩兰芝, 等. 利用嫩玉米穗饲养大螟的技术 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (1): 175–180]
- Tang LD, Smagge G, Wang S, et al. Dead-end trap plants as an environment-friendly IPM tool: a case study of the successful use of vetiver grass in China [J]. *Entomologia Generalis*, 2024, 44 (1): 81–93.
- Tang QH, Wang T. Analysis of potential risk areas and their dispersal pathways of the agricultural pest, stem borer [J]. *Heilongjiang Grain*, 2023, 4: 62–64. [唐千鸿, 王弢. 农业害虫大螟的潜在风险区域及其扩散路径分析 [J]. 黑龙江粮食, 2023, 4: 62–64]
- Tang XT, Lu MX, Du YZ. Molecular phylogeography and evolutionary history of the pink rice borer (Lepidoptera: Noctuidae): implications for refugia identification and pest management [J]. *Systematic Entomology*, 2022, 47 (2): 371–383.
- Tang XT, Sun M, Lu MX, et al. Expression patterns of five heat shock proteins in *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) during heat stress [J]. *Journal of ASIA-Pacific Entomology*, 2015, 18 (3): 529–533.
- Tang XT, Xu J, Sun M, et al. First microsatellites from *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2014, 107 (4): 866–871.
- Tao GC, Lu Q. A preliminary study on the control of three generations of large stem borers in single-season late-season rice [J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2020, 61 (3): 410–411. [陶国才, 陆强. 单季晚稻三代大螟防治试验初探 [J]. 浙江农业科学, 2020, 61 (3): 410–411]
- Tao HS, Wei YB, Shi SH, et al. Characteristics of single-season rice stem borer and its control measures [J]. *Anhui Agriculture Science Bulletin*, 2005, 11 (4): 97–98. [陶和胜, 韦永保, 施守华, 等. 单季晚稻大螟为害特点及其防治对策 [J]. 安徽农学通报, 2005, 11 (4): 97–98]
- Wang XY, Ma WJ, Han LZ, et al. Cloning and expression profiling of aminopeptidase N encoding gene in the larval midgut of *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (9): 1022–1030. [王兴云, 马文静, 韩兰芝, 等. 大螟中肠氨肽酶 N 基因的克隆及表达谱分析 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (9): 1022–1030]
- Wu GD, Du JL, Duan HM, et al. Research on the spatial distribution pattern of overwintering larvae of *Sesamia inferens* in the rice field [J]. *Ecological Science*, 2015, 34 (4): 114–117. [武德功, 杜军利, 段海明, 等. 大螟越冬幼虫空间分布型调查 [J]. 生态科学, 2015, 34 (4): 114–117]

- Wu SF, Zhao DD, Huang JM, *et al.* Molecular characterization and expression profiling of ryanodine receptor gene in the pink stem borer, *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2018, 146: 1–6.
- Wu YG, Yuan LY, Huang DC, *et al.* Dynamics monitoring and analysis of genetic polymorphism of overwintering generation of Asiatic pink stem borer *Sesamia inferens* populations in Guangdong rice area [J]. *Journal of Plant Protection*, 2023, 50 (5): 1120–1129. [吴阳刚, 袁龙宇, 黄德超, 等. 广东省稻区越冬代大螟种群动态监测及遗传多态性差异分析 [J]. 植物保护学报, 2023, 50 (5): 1120–1129]
- Wu ZD, Wu CW, Liu JY. A method of indoor captive breeding of the large stem borer: 201410649208.6 [P]. 2016–01–27. [吴转娣, 吴才文, 刘家勇. 一种大螟室内人工饲养的方法: 201410649208.6 [P]. 2016–01–27]
- Xiao TJ, Tang XT, Lu MX, *et al.* Molecular cloning and expression analysis of the *Sesamia inferens* aquaporin (*SiAQP*) gene [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (4): 793–803. [肖天晶, 汤小天, 陆明星, 等. 大螟水通道蛋白 *SiAQP* 基因的克隆与表达分析 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 793–803]
- Xu LN, Li CC, Hu BJ, *et al.* Preliminary investigation on damage of pink stem borer on wheat [J]. *Plant Protection*, 2012b, 38 (2): 182–184. [徐丽娜, 李昌春, 胡本进, 等. 大螟为害小麦的初步调查 [J]. 植物保护, 2012, 38 (2): 182–184]
- Xu LN, Li CC, Hu BJ, *et al.* Review of history, present situation and prospect of pink stem borer in China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (24): 244–248. [徐丽娜, 李昌春, 胡本进, 等. 中国大螟研究历史、现状与展望 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (24): 244–248]
- Yang GQ, Du SG, Li L, *et al.* Potential positive effects of pesticides application on *Sesamia inferens* (Walker) (Lepidoptera: Insecta) [J]. *International Journal of Insect Science*, 2014, 6: 61–67.
- Yang LP, Wang SY, Wang RF, *et al.* Floating chitosan–alginate microspheres loaded with chlorantraniliprole effectively control *Chilo suppressalis* (Walker) and *Sesamia inferens* (Walker) in rice fields [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 783: 147088.
- Yao YH, Du YZ, Zheng FS, *et al.* The variation of mtDNA CO II sequencin in 9 geo–populations rice stem borer, *Sesamia inferens* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 1: 37–41. [姚银花, 杜予州, 郑福山, 等. 大螟不同地理种群 CO II 基因序列分析 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 1: 37–41]
- Yu WJ, Tian X, Xu Z, *et al.* Genetic diversity of different geographical populations of rice stem borers, *Sesamia inferens*, in the Sichuan–Chongqing rice region [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 59 (5): 1085–1095. [于文娟, 田幸, 徐志, 等. 川渝稻区水稻螟虫种类组成及大螟不同地理种群遗传多态性的差异分析 [J]. 应用昆虫学报, 2022, 59 (5): 1085–1095]
- Yu XR, Chen X, Bai QR, *et al.* Chromosome–level genome assembly and sex chromosome identification of the pink stem borer, *Sesamia inferens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Scientific Data*, 2024, 11 (1): 810.
- Zhang HT, Han LZ, Peng YF. An optimized artificial diet of the pink stem borer, *Sesamia inferens* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2020, 36 (5): 821–825. [张洪涛, 韩兰芝, 彭于发. 一种优化的大螟人工饲料 [J]. 中国生物防治学报, 2020, 36 (5): 821–825]
- Zhang HY, Li HD, Han ZJ. Differences in the susceptibility of field populations of the large stem borer, *Helicoverpa armigera*, to different insecticides [J]. *China Rice*, 2012, 18 (1): 29–33. [张海艳, 李海东, 韩召军. 大螟田间种群对不同杀虫剂敏感性的差异 [J]. 中国稻米, 2012, 18 (1): 29–33]
- Zhang YC, Feng HQ, Huang JR. A new northern distribution record of the purple stem borer, *Sesamia inferens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) in China [J]. *Entomological News*, 2019, 128 (5): 460–462.
- Zhang YN, Jin JY, Jin R, *et al.* Differential expression patterns in chemosensory and non–chemosensory tissues of putative chemosensory genes identified by transcriptome analysis of insect pest the purple stem borer *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *PLoS ONE*, 2013, 8 (7): e69715.
- Zhang YN, Xia YH, Zhu JY, *et al.* Putative pathway of sex pheromone biosynthesis and degradation by expression patterns of genes identified from female pheromone gland and adult antenna of *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2014a, 40 (5): 439–451.
- Zhang YN, Ye ZF, Yang K, *et al.* Antenna–predominant and male–biased CSP19 of *Sesamia inferens* is able to bind the female sex pheromones and host plant volatiles [J]. *Gene*, 2014b, 536 (2): 279–286.
- Zhang YN, Zhang J, Yan SW, *et al.* Functional characterization of sex pheromone receptors in the purple stem borer, *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Insect Molecular Biology*, 2014c, 23 (5): 611–620.
- Zhang ZC, Luo GH, Zhang GF, *et al.* Genetic diversity of different geographical populations of *Sesamia inferens* as determined by AFLP [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (3): 693–699. [张志春, 罗光华, 张谷丰, 等. 大螟不同地理种群 AFLP 遗传分析 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (3): 693–699]
- Zhao J, Fu WX, Han ZJ. Resistance monitoring of *Sesamia inferens* (Walker) to seven insecticides and verification of related baseline data [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39 (1): 84–88. [赵钧, 付文曦, 韩召军. 大螟对 7 种杀虫剂的抗药性监测及相对敏感基线验证 [J]. 南京农业大学学报, 2016, 39 (1): 84–88]
- Zhong XM. Study on the spatial distribution pattern of damaged rice hills by the *Seamia inferens* (Walker) and a sampling technique [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31 (17): 80–85. [钟雪明. 水稻大螟为害株空间分布格局与抽样技术 [J]. 中国农学通报, 2015, 31 (17): 80–85]
- Zhou C, Wang Z, Yang H, *et al.* Occurrence of stem borers in rice field of central Guizhou [J]. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2018, 37 (4): 18–24, 94. [周操, 王召, 杨洪, 等. 贵州中部稻区大螟和二化螟发生规律初探 [J]. 山地农业生物学报,

- 2018, 37 (4): 18–24, 94]
- Zhou CB, Chen AF. Observations on the biology and overwintering of the great stem borer in the northern part of Hainan Island [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1985, 5: 199–201. [周传波, 陈安福. 海南岛北部大螟的生物学和越冬情况观察 [J]. 昆虫知识, 1985, 5: 199–201]
- Zhu H, Lu Y, Dai WF, *et al.* Comparison of rice stem borer sexual lure and lamp lure monitoring techniques and linear regression modeling [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (7): 42–44, 49. [朱慧, 陆彦, 戴伟峰, 等. 水稻大螟性诱与灯诱监测技术比较及线性回归模型的建立 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (7): 42–44, 49]
- Zhu PC, Kong FL, Wang ZH. Sex pheromone components of purple stem borer *Sesamia inferens* (Walker) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1986, 13 (5): 983–989.
- Zhu PY, Wang GW, Zheng XS, *et al.* Selective enhancement of parasitoids of rice Lepidoptera pests by sesame (*Sesamum indicum*) flowers [J]. *Biocontrol*, 2015, 60 (2): 157–167.
- Zhu XD. Comparison of morphology and damage symptoms of 3 kinds of rice borers [J]. *Agricultural Technology Service*, 2010, 27 (5): 582–583. [朱贤东. 水稻3种螟虫形态与为害症状的比较 [J]. 农技服务, 2010, 27 (5): 582–583]