



欧洲玉米螟入侵中国东部地区并广泛扩散

彭 炎*, 张竹亭*, 赵崇君, 萧玉涛**

(中国农业科学院深圳农业基因组研究所(岭南现代农业科学与技术广东省实验室深圳分中心), 农业农村部基因编辑技术重点

实验室, 广东深圳 518120)

摘要: 玉米是全球三大主粮作物之一, 虫害严重威胁其产量与粮食安全。亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 和欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* 是两种重要的玉米害虫, 亚洲玉米螟主要分布在亚洲东部及澳大利亚等太平洋西岸地区, 而欧洲玉米螟主要分布在西半球及欧洲和亚洲中西部地区。之前认为新疆伊犁地区是全球亚洲玉米螟和欧洲玉米螟的唯一混生区。中国东部的东北、华北地区和中国西部的西南地区是重要的玉米产区, 欧洲玉米螟是否入侵并在这些区域扩散值得关注。本研究在中国东部 11 个地区采集了 331 份样品, 通过对 CO I 和 CO II 基因序列进行比对分析, 鉴定出亚洲玉米螟 292 份, 占 88.2%, 欧洲玉米螟 39 份, 占 11.8%。其中华北地区欧洲玉米螟的比例较高(河南新乡比例超过 50%), 且有进一步向西南玉米产区扩散的趋势。研究首次揭示了欧洲玉米螟在中国东部玉米产区发生了大范围的扩散, 应当引起相关部门的高度重视。

关键词: 亚洲玉米螟; 欧洲玉米螟; 近缘种; 入侵害虫; 杂交渐渗

中图分类号: Q968.2

文献标识码: A

Invasion and spread of *Ostrinia nubilalis* in eastern China

PENG Yan*, ZHANG Zhu-Ting*, ZHAO Chong-Jun, XIAO Yu-Tao** (Shenzhen Branch, Guangdong Laboratory of Lingnan Modern Agriculture, Key Laboratory of Gene Editing Technologies, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen 518120, Guangdong Province, China.)

Abstract: Corn is one of the world's three major staple crops, and pest infestations severely

基金项目:

*共同第一作者: 彭炎, 男, 助理研究员, 研究方向为害虫群体基因组学, E-mail: pengyan@caas.cn; 张竹亭, 女, 博士研究生, 研究方向为害虫群体基因组学, E-mail: 821012410367@caas.cn

**通讯作者 Author for correspondence: 萧玉涛, 男, 研究员, 研究方向为害虫环境适应性进化, E-mail: xiaoyutao@caas.cn

收稿日期 Received: 2025-05-22; 修回日期 Revision received: 2025-05-29; 接受日期 Accepted: 2025-05-29

impact corn production, thereby threatening global food security. The Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*) and European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) are two major corn pests. The *O. furnacalis* is primarily distributed in eastern Asia and western Pacific regions such as Australia, while the *O. nubilalis* mainly inhabits the Western Hemisphere, Europe, and central-western Asia. Previous evidence indicated that the Yili region of Xinjiang, China, was the world's only hybrid zone where both species coexist. The northeastern and northern regions of eastern China, along with the southwestern regions of western China, represent crucial corn-producing areas, making it essential to monitor whether the *O. nubilalis* has invaded and spread in these zones. This study analyzed 331 samples collected from 11 regions across eastern China through comparative sequencing of the *CO I* and *CO II* genes. Results identified 292 *O. furnacalis* (88.2%) and 39 *O. nubilalis* (11.8%). *O. nubilalis* was detected in several regions, including Jilin, Henan, Shandong, Hubei, and Guiyang. Notably, North China exhibited a higher proportion of *O. nubilalis* (exceeding 50% in Xinxiang, Henan), with a discernible trend of further diffusion toward southwestern corn-producing regions. This research was the first to reveal the large-scale spread of *O. nubilalis* in eastern China's corn-growing areas, warranting urgent attention from relevant authorities.

Key words: *Ostrinia furnacalis*; *Ostrinia nubilalis*; sibling species; invasive pest; introgression

玉米、小麦、水稻是全球的三大主粮作物。根据国家统计局公布的数据显示，2024 年我国玉米的种植面积达到 $44\,740.7 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ，位居三大主粮作物之首。玉米年产量 29 491.7 万 t，也是三大主粮作物第一。玉米虫害严重影响其安全生产，玉米害虫的防控是重要的产业需求。近年来，随着全球贸易往来的增加及气候变暖的加剧，入侵害虫也成为玉米生产的重大威胁。如草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 2018 年 12 月入侵我国云南地区，对玉米生产产生了重要威胁（吴秋琳等，2019；张磊等，2019；吴孔明，2020）。一点缀螟近年来也在西南玉米产区频繁发生（太红坤等，2018；陈爽等，2022；陈爽，2023），因此，新发的入侵害虫的监测预警成为非常重要的研究课题。玉米螟是全球主要的玉米害虫之一，隶属于鳞翅目 Lepidoptera 草螟科 Crambidae 秆野螟属 *Ostrinia*，每年对全球玉米产量造成严重威胁，也是我国玉米减产的主要害虫之一（李菁，2010；Guo *et al.*, 2019）。全球的玉米螟主要由亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*（Guenée）和欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis*（Hübner）组成。

亚洲玉米螟（Asian Corn Borer, ACB）是我国最重要的本土玉米害虫，也是目前我国玉米螟优势种类，主要分布在亚洲东部及澳大利亚等太平洋西岸地区（Frolov *et al.*, 2007；

Li *et al.*, 2014), 可以蛀食茎秆、穗轴、籽粒等多个部位, 严重影响玉米产量 (王振营等, 2000; Li *et al.*, 2023)。近期有研究综合运用种群基因组学, 分子遗传学, 基因定位等技术方法揭示了亚洲玉米螟在全国范围的群体结构、遗传多样性、种群历史, 发现亚洲玉米螟在中国主要分为南北两个种群, 其中北方群体的遗传多样性要高于南方群体, 以及北方种群比南方种群更能响应环境的变化 (Peng *et al.*, 2023)。随后在此结果的基础上, 研究进一步以高质量的合肥品系 North (HF) 作为参考基因组, 成功构建了亚洲玉米螟的第一个图形泛基因组, 并分析了基因组结构变异 (SVs) 对于适应性进化的重要性 (Peng *et al.*, 2024)。

欧洲玉米螟 (European corn borer, ECB) 作为亚洲玉米螟的近缘种, 主要分布在西半球及欧洲和亚洲中西部地区 (Wang *et al.*, 2017; Coates *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2011)。之前有证据表明新疆伊犁地区是全球亚洲玉米螟和欧洲玉米螟的唯一混生区 (Bourguet *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2017; 丁新华等, 2023a)。研究发现, 在新疆伊犁地区, 欧洲玉米螟是固有的种群 (全国玉米螟协作组, 1981; 周大荣等, 1988), 而亚洲玉米螟是后来的入侵物种 (Wang *et al.*, 2017)。在该地区亚洲玉米螟和欧洲玉米螟同域共生, 且发生了基因的杂交渐渗 (Li *et al.*, 2022; 丁新华等, 2023a; 郭文超等, 2024)。另有研究在黑龙江省、吉林省、内蒙古、河北、天津等东北地区也发现欧洲玉米螟的种群 (李文德等, 2003; 周楠, 2021)。

中国东北、华北和西南等东部地区是重要的玉米产区。由于欧洲玉米螟和亚洲玉米螟从外形上无法区分, 欧洲玉米螟是否已经扩散到这些区域需要进一步明晰。本研究在中国东部主要的玉米产区采集了 331 份玉米螟样品, 通过对 *CO I* 和 *CO II* 基因片段序列的比对分析, 首次发现欧洲玉米螟已经入侵到东部的主要玉米产区, 并有可能进一步扩散。欧洲玉米螟与亚洲玉米螟的同域共生及可能发生的杂交渐渗将严重威胁玉米的安全生产。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

本次研究的样品一共有 331 份, 全部为田间采集的幼虫。采集地点包括吉林、辽宁、河南、山东、山西、安徽、湖北、浙江、贵阳、海南等 11 个采样点, 样品采集时间为 2022 年 5 月, 寄主植物主要为玉米。幼虫样品在田间采集后立即放入无水乙醇中保存, 在放置于实验室-20℃冰箱中冷冻储存, 用于后续分子实验。具体样品信息见表 2。

1.2 PCR 扩增及测序

将幼虫单头虫体样本用液氮研磨成分后, 采用 Multisource Genomic DNA Miniprep Kit

试剂盒进行 DNA 提取，得到较高浓度的 DNA 提取液后对 *CO I* 基因片段和 *CO II* 基因片段进行 PCR 扩增，引物序列见表 1，使用 1%琼脂糖电泳检测扩增结果，PCR 产物送生工生物工程（上海）股份有限公司测序。

表 1 扩增引物相关信息
Table 1 Primers and their information

引物名称 Primer	引物序列 Sequence	扩增区域 Target
<i>CO I</i> -F	5'-CAAGAAGAATCGTTGAAAATGGAGC-3'	<i>CO I</i>
<i>CO I</i> -R	5'-TGGAAGTTCGTTATATGAATGTTCTGC-3'	<i>CO I</i>
<i>CO II</i> -F	5'-CCACCGGCAGAACATTCATAT-3'	<i>CO II</i>
<i>CO II</i> -R	5'-GACCATTACTTGCTTTCAGTCATC-3'	<i>CO II</i>

1.3 数据分析

利用 SnapGene 软件查看测序序列峰图，去除两端低质量序列，获得准确的基因片段序列，并在 NCBI 网站 BLAST 中进行序列同源性比较。从 GeneBank 数据库下载覆盖度和相似度最高的亚洲玉米螟和欧洲玉米螟相关基因序列，并以草地螟 *Loxostege sticticalis* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 的 *CO I* 序列作为外群，将所有核酸序列利用 MEGA11 软件进行比对，删除两端不对齐的序列，选取 Kimura-2 参数模型，依据邻接法（Neighbor joining, NJ）构建系统进化树，系统树各分支的自举检验值（Bootstrap）1 000 次重复检验。

2 结果与分析

2.1 基于 *CO I* 和 *CO II* 基因片段鉴定玉米螟

通过 PCR 扩增，*CO I* 引物及 *CO II* 引物在所有的 331 份样品中均得到了很好的扩增效果，条带整齐单一，其中 *CO I* 基因片段长度约为 1 150 bp，*CO II* 基因片段长度约为 800 bp，均与预期片段大小一致。该结果表明两种基因片段均适合作为玉米螟分子鉴定的 DNA 条码，引物显示出很强的种属扩增特异性。通过序列测定和峰图校正分析，得到了所有 331 份样品准确的 *CO I* 基因片段和 *CO II* 基因片段序列。

通过对 *CO I* 和 *CO II* 基因序列进行比对分析，从全国各地采集到的 331 份样品中鉴定出亚洲玉米螟和欧洲玉米螟两种基因型，其中亚洲玉米螟 292 份，占 88.2%，欧洲玉米螟 39 份，占 11.8%（表 2）。结果表明利用 *CO I* 和 *CO II* 基因作为分子标记鉴定亚洲玉米螟和欧洲玉米螟得到的结果具有一致性，亚洲玉米螟目前仍是我国玉米螟群体的主要组成部分，与此同时欧洲玉米螟已经在我国多个省份出现（图 1），其中涉及吉林、河南、山东、湖北、贵阳等从东北到西南的大范围区域，并在华北、华中地区特别是山东、河南等省份中群体数

量占比较高。

且对比发现 *CO I* 和 *CO II* 基因序列鉴定得到的结果完全一致，我国所有样品中属于同一基因型的样品序列高度一致，样品序列与已公布的亚洲玉米螟和欧洲玉米螟物种的 *CO I* 和 *CO II* 序列相似度均达到 99.5% 以上。该结果说明了以 *CO I* 或 *CO II* 基因作为分子标记，在中国范围内，亚洲玉米螟的群体数量上占主导，欧洲玉米螟仅占到小部分。

表 2 基于 *CO I* 和 *CO II* 基因片段鉴定中国各地亚洲玉米螟和欧洲玉米螟样品的分类结果
Table 2 Species identification of ACB and ECB in China based on *CO I* and *CO II* gene fragments

样品编号 Sample no.	采集地点 Collection sites	采集时间 Collection time	虫态 Stages	亚洲玉米螟数量 (头) Number of ACB	欧洲玉米螟数量 (头) Number of ECB
1	吉林长春市 Changchun, Jilin	2022-05	幼虫 Larvae	24	1
2	辽宁沈阳市 Shenyang, Liaoning	2022-05	幼虫 Larvae	48	0
3	河南新乡市 Xinxiang, Henan	2022-05	幼虫 Larvae	16	17
4	山东烟台市 Yantai, Shandong	2022-05	幼虫 Larvae	51	3
5	山东德州市 Dezhou, Shandong	2022-05	幼虫 Larvae	22	11
6	山西太原市 Taiyuan, Shanxi	2022-05	幼虫 Larvae	24	0
7	安徽铜陵市 Tongling, Anhui	2022-05	幼虫 Larvae	14	0
8	湖北武汉市 Wuhan, Hubei	2022-05	幼虫 Larvae	27	4
9	浙江余姚市 Yuyao, Zhejiang	2022-05	幼虫 Larvae	11	0
10	贵州贵阳市 Guiyang, Guizhou	2022-05	幼虫 Larvae	49	3
11	海南儋州市 Danzhou, Hainan	2022-05	幼虫 Larvae	6	0
合计 Total				292	39

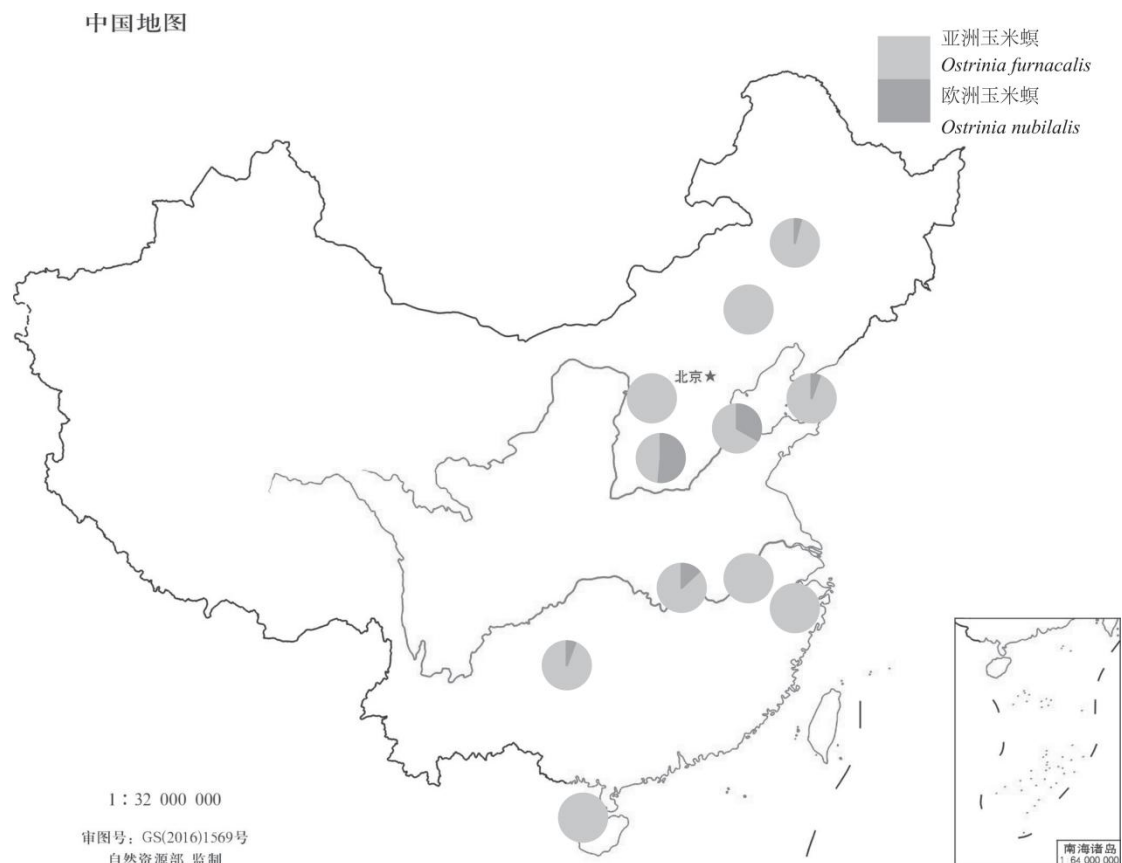


图 1 基于 *CO I* 和 *CO II* 基因片段鉴定的中国各地亚洲玉米螟和欧洲玉米螟分布

Fig. 1 Distribution of *Ostrinia furnacalis* and *Ostrinia nubilalis* in China based on *CO I* and *CO II* gene fragments

注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号：GS(2016)1569 号的标准地图制作，底图边界无修改。Note: This map was based on the standard map with the review number GS (2016)1569 downloaded from the Standard Map Service website of the Ministry of Natural Resources. The base map has not been modified.

2.2 基于 *CO I* 序列的玉米螟系统进化树

将本研究测定的 *CO I* 基因序列与 NCBI 上同源相似度最高的亚洲玉米螟、欧洲玉米螟的 *CO I* 序列进行比对并构建了系统发育树，得到的结果如下图所示（图 2）。由于我国所有样品中同属亚洲玉米螟这一基因型的样品序列经过比对发现序列高度一致，以及欧洲玉米螟这一基因型的全部样品序列也存在高度一致性，我们仅从两个基因型的全部序列中各选取 1 条代表性（*O. furnacalis*-01 和 *O. nubilalis*-01）的序列进行比对分析。结果表明，中国样品 *O. furnacalis*-01 的 *CO I* 序列与之前研究发表的亚洲玉米螟聚为一支，表明全国 292 份样品均为亚洲玉米螟，而中国样品 *O. nubilalis*-01 的 *CO I* 序列与之前研究发表的欧洲玉米螟聚为一支，说明全国 39 份样品均为欧洲玉米螟。

我国东部的玉米主产区种植呈现东北到西南的带状分布（邓家琴等，2020），欧洲玉米螟的分布跟玉米的种植分布基本一致。东南的浙江、安徽，以及华南的海南尚未监测到欧洲玉米螟的个体，可能跟这些区域并非玉米主产区有关，也有可能欧洲玉米螟尚未扩散到这些区域。为进一步探明欧洲玉米螟在全国的分布及动态变化情况，我们还需要进一步扩大样品采集范围，以及持续不间断地增加后续年份样品的监测。

入侵害虫严重威胁国家生物安全，尤其影响粮食的生产。研究表明入侵害虫通过与本地近源物种的杂交可以获利，包括通过基因渐渗、物种间的核质重组、共生微生物的交换增强适应性等 (Hedrick, 2013; Duan *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2024)。研究表明入侵南美洲的棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 与本地的美洲棉铃虫 *Helicoverpa zea* (Boddie) 杂交并且将抗药性的基因导入到美洲棉铃虫中从而增强了其抗菊酯类杀虫剂的能力 (North *et al.*, 2024)。草地贪夜蛾玉米型通过与水稻型杂交演化出了迁飞能力更强的个体 (Li *et al.*, 2024)。研究也表明新疆的亚洲玉米螟可以和欧洲玉米螟发生杂交渐渗 (Wang *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2022)。因此，中国东部地区的入侵欧洲玉米螟是否与当地的亚洲玉米螟杂交，并导致两种玉米螟从彼此获得环境适应性的基因，需要在后续的研究中加以重视。

今后要进一步加强欧洲玉米螟在东部地区扩散及为害情况的监测，加强分子生物学和基因组学技术的应用，指导两种玉米螟的防控，为玉米产业的发展保驾护航。

参考文献 (References)

- Arminudin AT, Trisyono YA, Wijonarko A, *et al.* Ultrastructure characters and partial mtDNA-CO I haplotypes of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera:Crambidae) from Indonesia [J]. *Biodiversitas*, 2020, 21 (7): 2914-2922.
- Bourguet D, Ponsard S, Streiff R, *et al.* ‘Becoming a species by becoming a pest’ or how two maize pests of the genus *Ostrinia* possibly evolved through parallel ecological speciation events [J]. *Molecular Ecology*, 2014, 23 (2): 325-342.
- Chen S, Zhao SY, Liu DZ, *et al.* The damage characteristics and spatial distribution pattern of the new maize pest *Paralipsa gularis* (Zeller) in southwestern China [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2022, 59 (6): 1385-1393. [陈爽, 赵胜园, 刘大众, 等. 西南地区新发玉米害虫一点缀螟危害特点及空间分布型 [J]. 应用昆虫学报, 2022, 59 (6): 1385-1393]
- Chen S. The Occurrence Characteristics and Key Control Methods of *Paralipsa gularis* (Zeller) in Maize Fields in Southern Yunnan [D]. Fujian: Fujian Agriculture and Forestry University Master Thesis, 2023. [陈爽. 滇南玉米田一点缀螟的发生特点与关键防治方法 [D]. 福州: 福建农林大学硕士论文, 2023]
- Deng JQ, Pan ZS, Li SL. Development status and countermeasures of corn planting industry in China [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020, 2: 40-42. [邓家琴, 潘中山, 李树林. 我国玉米种植产业发展现状及对策 [J]. 现代农业科技, 2020, 2: 40-42]
- Ding XH, Jia ZZ, Wang XW, *et al.* Difference in the temperature adaptability between the sympatric *Ostrinia furnacalis* and *O.nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Xinjiang [J]. *Acta Entomologica sinica*, 2023b, 66 (5): 694-703. [丁新华, 贾尊尊, 王小武, 等. 新疆同域亚洲玉米螟和欧洲玉米螟对温度的适应性差异 [J]. 昆虫学报, 2023b, 66 (5): 694-703]
- Ding XH, Wang YZ, Jia ZZ, *et al.* Sympatric occurrence and distribution of Asian corn borer and European corn borer in Xinjiang [J]. *Plant Protection*, 2023a, 49 (4): 13-20. [丁新华, 汪洋洲, 贾尊尊, 等. 新疆同域亚洲玉米螟和欧洲玉米螟发生与分布研究 [J].

植物保护, 2023a, 49 (4): 13-20]

Duan L, Fu L, Chen HF. Phylogenomic cytonuclear discordance and evolutionary histories of plants and animals [J]. *Science China-Life Sciences*, 2023, 66 (12): 2946-2948.

Frolov AN, Bourguet D, Ponsard S. Reconsidering the taxonomy of several *Ostrinia* species in the light of reproductive isolation: A tale for Ernst Mayr [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2007, 91 (1): 49-72.

Guo JF, Qi JF, He KL, *et al.* The Asian corn borer *Ostrinia furnacalis* feeding increases the direct and indirect defence of mid-whorl stage commercial maize in the field [J]. *Plant Biotechnol*, 2019, 17 (1): 88-102.

Guo WC, Jia ZZ, Ding XH, *et al.* The review on the competitive substitution of *Ostrinia.furnacalis* and *O. nubilalis* in Xinjiang desert oasis ecological region [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2024, 61 (S1):1-11. [郭文超, 贾尊尊, 丁新华, 等. 新疆荒漠绿洲生态区亚洲玉米螟和欧洲玉米螟的种间竞争取代研究综述 [J]. 新疆农业科学, 2024, 61 (S1): 1-11]

Hedrick PW. Adaptive introgression in animals: Examples and comparison to new mutation and standing variation as sources of adaptive variation [J]. *Molecular Ecology*, 2013, 22 (18): 4606-4618.

Li B, Yang ZF. Multilocus evidence provides insight into the demographic history and asymmetrical gene flow between *Ostrinia furnacalis* and *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera:Crambidae) in the Yili area, Xinjiang, China [J]. *Ecology and Evolution*, 2022.

Li HR, Liang XY, Peng Y, *et al.* Novel Mito-Nuclear Combinations Facilitate the Global Invasion of a Major Agricultural Crop Pest [J]. *Advanced Science (Weinh)*, 2024, 11 (34): e2305353.

Li J, Coates BS, Kim KS, *et al.* The genetic structure of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*, populations in China: haplotype variance in northern populations and potential impact on management of resistance to transgenic maize [J]. *Journal of Heredity*, 2014, 105 (5): 642-655.

Li J. Studies on Genetic Differentiation and Gene Flow of *Ostrinia furnacalis* Populations Based on Multiple Molecular Markers and Wolbachia Infection Detection [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences PhD Dissertation, 2010. [李菁. 基于分子标记和 Wolbachia 感染检测的亚洲玉米螟种群遗传分化与基因流研究 [D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2010]

Li QC, Shi J, Huang CL, *et al.* Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*) infestation increases fusarium verticillioides infection and fumonisin contamination in maize and reduces the yield [J]. *Plant Disease*, 2023, 107 (5): 1557-1564.

Li WD, Chen SX, Qin JG. Identification of sympatric Asian and European corn borers [J]. *Entomological Knowledge*, 2003, 40 (1): 31-35. [李文德, 陈素馨, 秦建国. 亚洲玉米螟与欧洲玉米螟混生区的研究 [J]. 昆虫知识, 2003, 40 (1): 31-35]

National Corn Borer Collaborative Group. Identification of the dominant corn borer species in China using pheromone [J] *Plant Protection*, 1981, 7 (5): 34-35. [全国玉米螟协作组. 应用性信息素鉴定我国玉米螟优势种 [J]. 植物保护, 1981, 7 (5): 34-35]

North HL, Fu Z, Metz R, *et al.* Rapid Adaptation and Interspecific Introgression in the North American Crop Pest *Helicoverpa zea* [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2024, 41 (7): msae129.

- Peng Y, Jin MH, Li ZM, *et al.* Population Genomics Provide Insights into the Evolution and Adaptation of the Asia Corn Borer [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2023, 40 (5): msad112.
- Peng Y, Mao KK, Zhang ZT, *et al.* Landscape of structural variants reveals insights for local adaptations in the Asian corn borer [J]. *Cell Reports*, 2024, 43 (11): 114928.
- Tai HK, Bai SX, Han YL, *et al.* Biological characteristics of the stored nut moth *Paralipsa gularis* (Zeller) and its damage on corn in Dehong Prefecture of Yunnan Province [J]. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45 (2): 251-256. [太红坤, 白树雄, 韩永连, 等. 一点缀螟生物学特性及其在云南德宏玉米田的为害调查 [J]. 植物保护学报, 2018, 45 (2): 251-256.]
- Wang YZ, Kim KS, Guo WC, *et al.* Introgression between divergent corn borer species in a region of sympatry: Implications on the evolution and adaptation of pest arthropods [J]. *Molecular Ecology*, 2017, 26 (24): 6892-6907.
- Wang ZY, Lu X, He KL, *et al.* Review of History Present Situation and Prospect of the Asian Maize Borer Research in China [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2000, 5: 402-412. [王振营, 鲁新, 何康来, 等. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望 [J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 5: 402-412]
- Wu KM. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China [J]. *Plant Protection*, 2020, 46 (2): 1-5. [吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略植物保护, 2020, 46 (2): 1-5]
- Wu QL, Jiang YY, Wu KM. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) from Myanmar to China, *Plant Protection*, 2019, 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, 2019, 45 (2): 1-6, 18]
- 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. [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]
- Zhou DR, Wang YS, Li WD. Research on the dominant species of corn borer in China [J]. *Journal of Plant Protection*, 1988, 3: 145-152. [周大荣, 王蕴生, 李文德. 我国玉米螟优势种的研究 [J]. 植物保护学报, 1988, 3: 145-152]
- Zhou N. The Mitogenomic Study on the Genus *Ostrinia* and Species Delimitation of Asian Corn Borer and European Corn Borer in Sympatric Area (Lepidoptera: Crambidae: Pyraustinae) [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University Master Thesis, 2021. [周楠. 秆野螟属线粒体基因组学及中国亚洲玉米螟和欧洲玉米螟混生区物种界定研究 (鳞翅目: 草螟科: 野螟亚科) [D]. 西北农林科技大学, 2021]