

秆野螟属(*Ostrinia*)系统进化与 分类研究进展^{*}

杨瑞生^{1, 2}, 王振营^{2 **}, 何康来²

(1. 沈阳农业大学生物科技学院, 沈阳 110161;

2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100094)

摘要 秆野螟属(*Ostrinia*)昆虫全球分布 20 种, 寄主广泛, 在农业生产中具有重要的经济意义。由于该属地理分布广泛, 形态特征复杂, 寄主和生态区重叠严重, 秆野螟属系统发育研究还存在很多问题尚未解决。本文综合中国秆野螟属分类概况, 对目前应用于秆野螟属系统发育研究的各种性状, 包括形态特征、性信息素(生殖隔离)以及分子水平的研究进展作了阐述, 并针对秆野螟属研究内容的复杂性及其研究现状, 提出了相关对策。

关键词 秆野螟属; 系统发育; 形态特征; 性信息素; 分子水平

中图分类号 Q 969.432.8

Advances in phylogenetic and taxonomic studies on genus *Ostrinia*

Yang Ruisheng^{1, 2}, Wang Zhenying², He Kanglai²

(1. Bioscience and Technology College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract The genus *Ostrinia* (Lepidoptera: Crambidae), with 20 species and a wide range of host plants in the world, is economically significant in agriculture. Many phylogenetic and taxonomic problems about *Ostrinia* remain unsolved till now, due to its worldwide distribution, complicated morphology and sympatric properties. Advances in *Ostrinia* phylogeny were summarized in this paper, including taxonomy of *Ostrinia* in China and some measures used in its phylogenetic studies, including external morphology, sex pheromone and molecular level. Moreover, some strategies were proposed in this paper in order to make new progress in phylogenetic study on *Ostrinia*.

Key words *Ostrinia*; phylogeny; morphology; sex pheromone; molecular level

秆野螟属(*Ostrinia*)隶属于鳞翅目(Lepidoptera), 草螟科(Crambidae), 野螟亚科(Pyraustinae), 而

收稿日期: 2006-10-31

* 致谢: 感谢中国农业科学院植物保护研究所李伟华先生提供部分文献资料和照片。

** 通讯作者 E-mail: zywang@ippcaas.cn

在我国,一直沿用螟蛾科(Pyralidae)。Minet 在对螟蛾科昆虫系统发育的研究中,将现在的螟蛾科又分为两个科:螟蛾科(Pyralidae)和草螟科(Crambidae),并将秆野螟属归入到 Crambidae 中^[2]。该属全世界分布 20 个种^[1],是一类重要的全球性生物资源,其中欧洲玉米螟(*O. nubilalis*)和亚洲玉米螟(*O. furnacalis*)是重要的世界性农业害虫,除主要蛀食为害玉米外,还是很多重要农作物的害虫,每年都造成严重的经济损失,其他大部分种类以蛀食为害田间杂草为主,同时也为害一些农作物。本文概述了目前秆野螟属中国已知种类,同时对形态特征、性信息素以及分子生物学等研究手段在秆野螟属系统进化研究中的应用进展以及系统发育研究中存在的一些问题及展望作了综合论述。

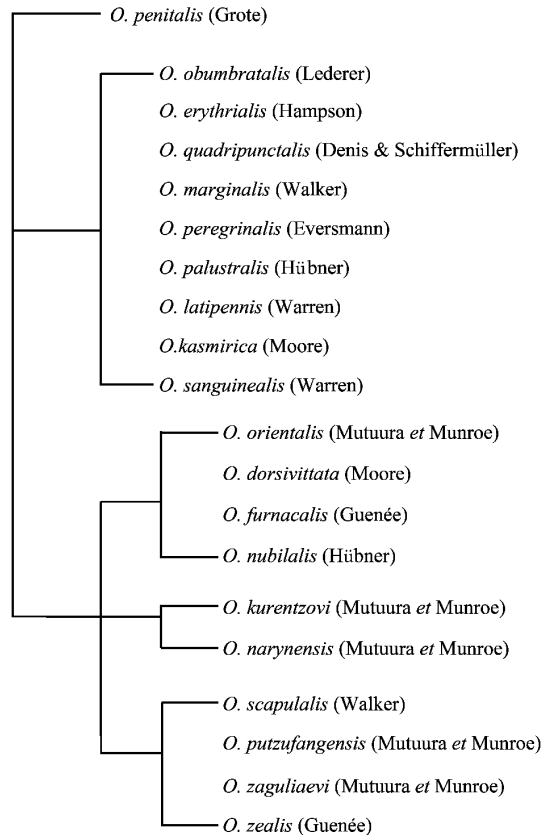
1 秆野螟属中国已知种及新记录种概述

对秆野螟属昆虫的分类研究应追溯到 1825 年, Hübner 将现在的酸模螟(*O. palustralis* Hübner)从之前的 *Pyralis* 属归入到 *Ostrinia* 属^[1]。随着秆野螟属研究的不断发展及其在农业生产中的位置日益显现,秆野螟属的系统分类研究不断深入。Mutuura 和 Munroe 针对当时秆野螟属同名异种和同种异名现象,对该属的分布做了世界范围的调查和整理,从形态上对其进行了系统修订,在秆野螟属中鉴定出 20 个种,24 个亚种,其中中国分布 11 种^[1,3],分别是亚洲玉米螟、苍耳螟(*O. orientalis* Mutuura et Munroe)、豆秆野螟(*O. scapularis* Walker)、刺菜螟(*O. zealis* Guenée)、款冬螟(*O. zaguliaevi* Mutuura et Munroe)、二叉秆野螟(*O. sanguinealis* Warren)、酸模螟(*O. palustralis* Hübner)、虎杖螟(*O. latipennis* Warren)、麻螟(*O. narynensis* Mutuura et Munroe)、酒花螟(*O. kurentzovi* Mutuura et Munroe)、埔滋坊螟(*O. putzufangensis* Mutuura et Munroe)。全国玉米螟研究协作组^[50]和李文德等分别确定了新疆伊宁、宁夏永宁和河北张家口有欧洲玉米螟的分布^[29]。李文德等 1983 年确认内蒙古自治区呼和浩特、河北省张家口和天津静海有克什米尔螟(*O. kasmirica* Moore)分布,并于 1985 年作为我国新记录发表^[5]。姜仲雪等报道在河南省郑州和许昌两市调查分布有 7 个种,其中 2 个种为我国新纪录种,分别是杂草蛀螟(*O. obumbratalis* Lederer)和背点秆螟(*O.*

dorsivittata Moore)^[11]。另外在辽宁地区发现 1 新纪录种四斑秆螟(*O. quadripunctalis* Denis et Schiffermüller)^[9]。综上,秆野螟属昆虫在全球已知的 20 种中,我国目前共记录 16 种。

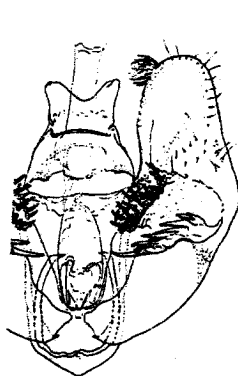
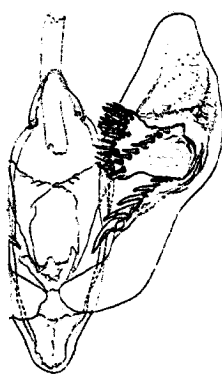
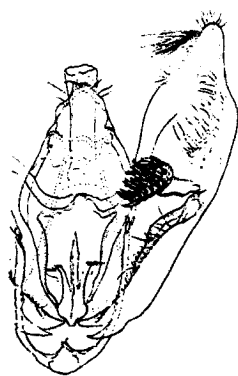
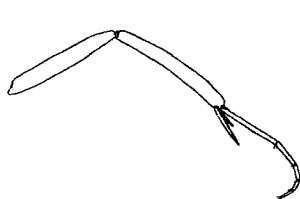
2 建立在形态学基础上的系统发育研究

形态学是昆虫分类的基础。Mutuura 和 Munroe 根据秆野螟属昆虫雄成虫外生殖器和足胫节的差异,对世界范围内的秆野螟属分类做了系统研究和报道^[1],将该属分为 3 个组(图 1)。第一组仅包括一个独立的分支,即 *O. penitalis* Grote,主要依据是其雄性外生殖器基环背部 3 分裂,抱器腹背部无刺分布(图 2)。该种是 *Ostrinia* 属中最原始的一个种。第二组由 9 个种组成,其主要分类依据是该组雄性成虫外生殖器爪形突简单或 2 分裂,抱器腹背部有刺分布(图 3)。第三组包括 10 个种,主要依据是雄性成虫外生殖器爪形突 3 分裂(图 4)。根据雄虫中足胫节的大小又将第三组分 3 个亚组,分别为小型胫节、中型胫节和大型胫节(图 5)。

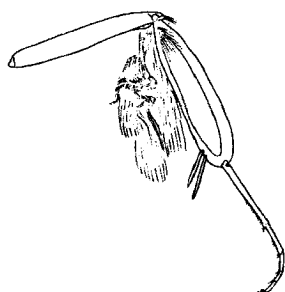


[据 Mutuura & Munroe (1970)整理]

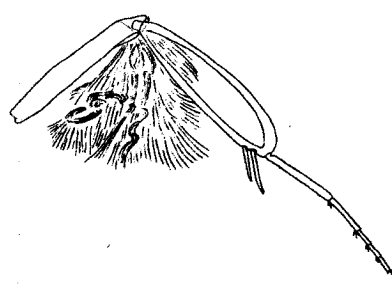
图 1 *Ostrinia* 属分类系统

图2 *Ostrinia* 属第一组雄性外生殖器^[7,9]图3 *Ostrinia* 属第二组雄性外生殖器^[7,9]图4 *Ostrinia* 属第三组雄性外生殖器^[7,9]

小型胫节



中型胫节



大型胫节

图5 *Ostrinia* 属雄成虫中足胫节^[7,9]

李伟华和高芬结合秆野螟属成虫翅斑,对分布于我国的秆野螟属雄虫外生殖器和中足胫节做了系统研究,并列出相应检索表^[7,9],得出的结果完全符合 Mutuura 等的结论^[1]。

3 性信息素在秆野螟属系统分类研究中的应用

3.1 秆野螟属性信息素成分

目前,已经分离和鉴定的秆野螟属性信息素成分有 7 种。顺-12-十四碳烯醇醋酸酯(Z12-14:OAc)和反-12-十四碳烯醇醋酸酯(E12-14:OAc)是亚洲玉米螟特有的性信息素组分^[19,22]。Klun 分离鉴定出的顺-11-十四碳烯醇醋酸酯(Z11-14:OAc)和反-11-十四碳烯醇醋酸酯(E11-14:OAc)是多数秆野螟属昆虫通用的性信息素组分^[15]。14-碳烯醇醋酸酯(14:OAc)是亚、欧玉米螟和苍耳螟等性信息素组分之一,但单一的 14:OAc 并没有诱雄活性^[18,22]。顺-9-十四碳烯醇醋酸酯(Z9-14:OAc)是少数秆野螟属昆虫如刺菜螟和款冬螟性信息素的有效成分之一^[24]。Takanashi 等从虎杖螟(*O. latipennis*)雌虫腹部末端提取出能够使其雄虫产生触角电位生理反应(EAG)的有效成分,并通过

GC-EAD 和 GC-MS 检测出该成分为反-11-十四碳醇(E11-14:OH)^[28]。

3.2 性信息素在 *Ostrinia* 属系统分类研究中的应用

从生物种的概念来看,生殖隔离是目前公认的有性物种准则,是目前分类性状中最可靠的依据,而性信息素与生殖隔离有关,在确定种征不够分明的近缘种中有着其他分类性状不可替代的作用,研究性信息素的组成、结构对于昆虫种乃至种下阶元的鉴定具有重要意义。

秆野螟属昆虫性信息素具有较强的种的特异性,主要表现在性信息素化学成分及其配比两个方面。不同的种类所含性信息素成分及其配比不同,同一种不同地理种群间的性信息素组分也有差异(表 1)。李文德等、全国玉米螟研究协作组分别利用性信息素结合其他手段明确了我国玉米螟优势种为亚洲玉米螟^[29,50]。利用 GC-MS 检测分析,台湾省亚洲玉米螟有效成分为 E/Z 12-14:OAc 和 14:OAc,不同地区的配比分别为 1:3:0 和 45:39:16^[27,31];广东阳山县亚洲玉米螟性信息素成分为 E/Z 12-14:OAc 和 14:OAc,不同地理种群的有效配比分别为 53:47:0 和 32:42:26^[21,30]。

表 1 *Ostrinia* 属部分种类雌成虫性信息素成分及其配比¹⁾

种类	E11-14:OAc	Z11-14:OAc	E12-14:OAc	Z12-14:OAc	Z9-14:OAc	E11-14:OH
<i>latipennis</i>	—	—	—	—	—	100
<i>palustralis</i>	99	1	—	—	—	—
<i>furnacalis</i> (Matsudo)	—	—	38	62	—	—
<i>furnacalis</i> (Nishigoshi)	—	—	46	54	—	—
<i>orientalis</i>	2	98	—	—	—	—
<i>scapulalis</i> (Z type)	3	97	—	—	—	—
<i>scapulalis</i> (E type)	99	1	—	—	—	—
<i>scapulalis</i> (I type)	63	37	—	—	—	—
<i>nubilalis</i> (Z type)	3	97	—	—	—	—
<i>nubilalis</i> (E type)	99	1	—	—	—	—
<i>nubilalis</i> (hybrid)	63	37	—	—	—	—
<i>zealis</i>	22	8	—	—	70	—
<i>zaguliaevi</i>	5	50	—	—	45	—

1) 引自 FU X Y 等(2004)^[22]。

4 现代分子生物学在秆野螟属系统分类研究中的应用

4.1 以基因组 DNA 为基础的分子遗传标记的应用

目前,以基因组 DNA 为基础的分子标记技术很多,其中随机扩增多态性 DNA(RAPD)和限制性片段长度多态性(RFLP)遗传标记技术,能快速提供生物群体乃至个体间遗传变异信息,具有信息含量高、不同层次和类群广泛可比等优点,在秆野螟属系统发育研究中应用较多。

鲁新和周大荣对吉林省东、中、西部 3 个生态区的一、二化性玉米螟进行了 RAPD 分析,结果表明 3 个生态区的玉米螟首先按照化性聚为 2 个类群,然后在同一化性类群内分别按照地理分布聚集在一起^[33]。孙珊等应用 RAPD 方法对我国黑龙江北安等 5 个区域的玉米螟种群进行了遗传多态性分析,结果表明无论是以遗传距离(1—S)为量度还是以(1—M)为量度,系统聚类都得到了相似的结果^[35]。Lilian 通过 RAPD-PCR 技术研究了美国内布拉斯加州欧洲玉米螟的化性分布情况,结果表明 35.5%种群为一化性生态型,44.5%为二化性生态型、20%为多化性种群^[36]。

RFLP 标记不受环境因素的影响,结果稳定,重复性好,呈孟德尔遗传规律,对于分析物种群体内和群体间的亲缘关系、基因漂移的评价具有较高的应用价值。Marcon 等对分布于北美和欧洲的 7 个不同地理种群的欧洲玉米螟作了 PCR-RFLP 分析,表明虽然 7 个地理种群的欧洲玉米螟地理分布范围广、生理差异较大,表现的遗传多样性却较小,主要是由于其起源较晚、种间基因漂移以及遗传瓶颈的

扩大(打破)所致^[37]。

4.2 线粒体 DNA(mtDNA)在秆野螟属系统分类研究中的应用

mtDNA 是一种核外遗传物质,是昆虫分子系统学研究中应用最为广泛的遗传物质之一。很多学者利用 mtDNA 上的不同基因对昆虫纲不同的分类阶元系统发育关系进行了研究。Marcon 等通过测定 4 段 mtDNA 区域,对分布于欧美地区 4 个不同地理种群的欧洲玉米螟亲缘关系作了研究,确定了 106 个限制性位点,结果表明种群间的遗传差异性不显著^[37]。Kim 等利用线粒体 COII 对分布于日本及北美洲的 8 个亚洲玉米螟近缘种作了系统发育研究,结果基因序列差异水平较低(0.15%~7.23%),据此建立的系统关系也符合前人的研究结果(表 2)^[38]。Ohno 等通过检测线粒体 COII 基因序列研究了分布于日本的 2 个近缘种 *O. latipennis* 和 *O. ovalipennis* 间的系统发育关系和地理差异性,结果显示两者亲缘关系较近,基因序列差异率仅为 0.6%~0.7%,根据节肢动物门 mtDNA 标准分子钟假说推测,这 2 个近缘种在 3 000 年之前就已经开始产生分化^[39]。

表 2 *Ostrinia furnacalis* 等 8 个近缘种系统关系^[38]

组(群)	亚组(群)	种
爪形突二分裂	大型胫节	<i>O. palustralis</i>
		<i>O. latipennis</i>
爪形突三分裂		<i>O. zealis</i>
		<i>O. zaguliaevi</i>
		<i>O. scapulalis</i>
		小型胫节
<i>O. orientalis</i>		
<i>O. nubilalis</i>		

4.3 同工酶在 *Ostrinia* 属系统分类研究中的应用

20 世纪 70 年代,生物化学逐渐渗入到生物学研究的各个领域,特别是同工酶已成为物种鉴定以及种间亲缘关系研究的重要手段。利用聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)技术,对不同分类阶元间的昆虫进行酯酶同工酶分析,可以利用其生化特性的差异来推测不同物种或不同生物种群在基因水平上的不同,以此推断它们的亲缘关系和进化地位。

姜仲雪和孟祥锋采用 SDS-PAGE 技术,对亚洲玉米螟、欧洲玉米螟、苍耳螟和豆螟的 4 种同工酶进行了分析,根据酶谱差异绘出了亲缘关系图,其中欧洲玉米螟和豆螟间的遗传距离最近,为 0.216,欧洲玉米螟和亚洲玉米螟间的遗传距离最远,为 1.219^[40]。Bourguet 等通过比较 6 个多态性位点处的同工酶序列检测出法国 29 个样点的欧洲玉米螟之间存在基因漂移,意味着转抗虫基因玉米具有其可持续抗虫性^[42]。

5 存在的问题及展望

5.1 中国欧、亚玉米螟混生区的争议

分布在我国新疆伊宁地区为害玉米的是欧洲玉米螟,这一点已经被多数学者接受。而宁夏永宁,河北张家口、芦台和内蒙古呼和浩特是否为欧亚玉米螟混生区则一直存在争议。

杜家纬等认为内蒙古呼和浩特,河北张家口以及宁夏永宁等地并非亚欧玉米螟混生区,通过欧洲玉米螟雌蛾性信息素引诱到的雄蛾并非欧洲玉米螟,而是与欧洲玉米螟共享相似性信息素系统且形态特征极其相似的另一近缘种——苍耳螟^[47]。李文德等则提出了完全不同的观点,认为张家口苍耳中的玉米螟与新疆伊宁的欧洲玉米螟属同种,张家口属于亚洲玉米螟和欧洲玉米螟混生区^[29]。刘寿民和侯正明利用欧洲玉米螟性诱剂在甘肃陇东地区引诱到了少量雄蛾,通过形态特征初步确定为欧洲玉米螟,认为甘肃陇东地区除了优势种亚洲玉米螟外,也有少量欧洲玉米螟分布^[46]。

昆虫共享相似性信息素系统的现象非常普遍,尤其是鳞翅目昆虫,所以仅仅依靠性信息素来鉴定玉米螟种类是不够的,需要在形态特征和生殖隔离等多种手段的基础上,从分子水平对秆野螟属进行

种的分析鉴定。我国是否存在欧、亚玉米螟混生区,如果存在,具体分布在什么地区,这些问题都需要进一步深入研究和探讨。

5.2 寄主

秆野螟属分布范围广泛,寄主种类繁多。Lewis 和 Ponsard 等报道仅欧洲玉米螟的寄主就有 223~224 种^[43-44]。李文德据我国 20 个省、市调查,明确了我国亚洲玉米螟寄主植物有 69 种^[48]。由于秆野螟属寄主重叠严重,其寄主数量至今未见报道。秆野螟属昆虫大部分为多食性,除了部分寄主植物为农作物外,大部分为农田杂草,生活习性复杂。近年来转基因抗虫作物得到了较快发展,靶害虫对转基因作物的抗性发展和抗性治理策略已经成为人们关注的热点,寄主杂草有可能作为靶标害虫的庇护所以减缓抗性的发展^[49],因此,明确不同秆野螟属的寄主种类,有助于防止和减缓螟虫对转抗虫基因作物产生抗性以及重要外来入侵杂草如豚草生物防治策略的制定,同时对于秆野螟属昆虫系统进化与发育研究也具有一定的意义。

5.3 部分中文名称混乱

秆野螟属昆虫的中文名称在不同文献中比较混乱。如卢美榕等在报道中将 *O. zealis lijangensis* 称为丽江麻螟^[12],而在其他文献中则被称为“刺菜螟”。该种在我国分布两个亚种:*O. zealis variabilis* Bremer 和 *O. zealis holoxuthalis* Hampson^[1],卢美榕等报道的丽江麻螟到底是属于上述之一的同种异名,还是新亚种,有待于进一步研究。许浩然等在报道中将 *O. scapularis* Walker 称为“紫玉米螟”,而李伟华等先后将其称为“大胫麻螟”和“豆螟”^[6-7],杨兆富和张雅林则称其为“豆秆野螟”^[8]。李伟华和高芬、杨兆富和张雅林分别在报道中将苍耳螟(*O. orientalis*)称为“远东苍耳螟”和“远东秆野螟”^[7-8]。另外,张峰和樊英报道的“苍耳蠹虫”实际上也是苍耳螟的同种异名^[10]。秆野螟属昆虫中文名称的同种异名现象,不利于我国秆野螟属系统进化与发育研究,同时也成为国际间学术交流的屏障,应及早组织相关人员及机构进行全面校订和统一。

5.4 某些形态特征作为分类依据的可靠性

Mutuura 和 Munroe 指出,欧洲玉米螟外生殖器抱器腹的具刺区短于无刺区,而亚洲玉米螟具

刺区则长于无刺区^[1]。李文德则提出了不同的观点^[14],认为这一特征并不具备稳定的遗传性,且存在着两侧抱器腹的两区长度关系不一致的中间型。

雌雄二型和多型现象在昆虫系统发育中是普遍存在的生物现象。仅仅依靠种群间个别形态特征作为主要分类依据是不可靠的,应综合多种典型的分类特征,并结合生殖隔离及分子等多种手段来相互验证,才能够得到比较客观的分类系统。

6 结语

随着生物界的不断进化和发展,秆野螟属的系统发育研究还会有各种各样的新问题陆续出现,加之目前关于秆野螟属系统进化研究仍有很多不明确的地方,*Ostrinia* 属系统进化与发育研究任重而道远。然而,由于秆野螟属种类多,地理分布广,形态进化复杂,寄主和生态区重叠严重,秆野螟属系统进化研究是一项系统工程。从研究手段上,单纯依靠某一种方法很难对其系统发育问题做出客观的评价,必须通过多种手段相结合,才有可能得到比较可靠的结论。李伟华和高芬也提出:“秆野螟属各分类性状的可靠性都不是绝对的,但可靠的程度不同,同类性状其重要性也会因种类而异”^[13]。从研究的组织形式上,由于秆野螟属为全球分布,单纯依靠某一地区,乃至某一国家的科研力量和资源远远不能克服秆野螟属昆虫系统发育研究中所面临的问题,必须进行广泛的国际合作,最大限度的利用全球资源,才有可能解决目前存在和即将出现的问题。

参考文献

- [1] MUTUURA A, MUNROE E. Taxonomy and distribution of the European corn borer and allied species: genus *Ostrinia* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Mem Entomol Soc Cana, 1970(71): 1-112.
- [2] MINET J. Étude morphologique et phylogénétique des organes tympaniques des Pyraloidea. II. Pyralidae; Crambidae, première partie (Lepidoptera Glossata)[J]. Annls Socent Fr (N S), 1985, 21: 69-86.
- [3] OHNO S. A new knotweed-boring species of the genus *Ostrinia* Hübner (Lepidoptera: Crambidae) from Japan[J]. Entomol Sci, 2003(6): 77-83.
- [4] 李文德,李腾武,陈素馨,等. 亚洲玉米螟研究——优势种生物学生命表防治新技术[M]. 北京:中国农业出版社, 2001.
- [5] 李文德,唐德智. 克什米尔玉米螟——中国新记录[J]. 昆虫分类学报, 1985, 7(11): 24.
- [6] 李伟华,刘宝兰,高芬. 新疆玉米螟及其近缘种调查[J]. 植物保护, 1982, 8(6): 10-11.
- [7] 李伟华,高芬. 我国玉米螟及其近缘种的识别[J]. 植物保护, 1983, 9(6): 14-15.
- [8] 杨兆富,张雅林. 中国秆野螟属昆虫的区系研究[J]. 西北农业学报, 2005, 14(5): 121-124.
- [9] 李伟华,高芬. 秆野螟属(*Ostrinia*)中国已知种的识别[J]. 植物保护, 1996, 22(4): 40-42.
- [10] 张峰,樊英. 河北省张家口地区苍耳蠹虫的识别[J]. 昆虫知识, 1999, 36(1): 14-16.
- [11] 姜仲雪,罗梅浩,田娟,等. 河南郑州、许昌两地区秆野螟属(Genus *Ostrinia*)的近缘种研究[J]. 河南农业大学学报, 1990, 24(3): 293-300.
- [12] 卢美榕,杨本立,罗佑珍,等. 亚洲玉米螟一近缘种云南新记录[J]. 云南农业大学学报, 1992, 7(1): 43-45.
- [13] 李伟华,高芬. 不同分类性状在确定我国玉米螟种类中的作用[J]. 植物保护, 1985, 11(1): 28-29.
- [14] 李文德. 对玉米螟雄成虫分类特征的讨论[J]. 昆虫知识, 1985(4): 192-193.
- [15] KLUN J A, BRINDLEY T A. Cis-11-Tetradecenyl acetate a sex stimulant of the European corn borer[J]. J Econ Entomol, 1970, 63: 779.
- [16] KLUN J A, ROBINSON J F. European corn borer moth: Sex attractant and sex attraction inhibitors[J]. Ann Ent Soc Amer, 1971, 64: 1083-1086.
- [17] KOCHANSKY J, CARDE R T, LIEBHERR J. Sex pheromones of the European corn borer in New York[J]. J Chem Eco, 1975, 1: 225-231.
- [18] BOO K S, PARK J W. Sex pheromone composition of the Asian corn borer moth, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) in South Korea[J]. J Asia-Pacific Entomol, 1998, 1(1): 77-84.
- [19] KLUN J A, BIERL-LEONHARDT B A, SCHWARTZ M, et al. Sex pheromone of the Asian corn borer moth[J]. Life Sci, 1980(27): 1603-1606.
- [20] ARÁNZAZU PEÑÀ, HEINRICH A, HANS-RANDOLF B, et al. Sex pheromone of European corn borer, *Ostrinia nubilalis*: Polymorphism in various laboratory and field strains[J]. J Chem Ecol, 1988, 14(5): 1359-1365.
- [21] CHENG Z Q, XIAN J C, HUANG X T, et al. Sex pheromone components isolated from China corn borer, *Ostrinia furnacalis* GUENÉE (Lepidoptera: Pyralidae), (E)-And (Z)-12-Tetradecenyl acetates[J]. J Chem Ecol, 1981, 7(5):

- 841-851.
- [22] FU X Y, TABATA, HUANG Y P, et al. Female sex pheromone of *Ostrinia orientalis*-throwing a light on the relationship between *O. orientalis* and the European corn borer, *O. nubilalis*[J]. Chemoeology, 2004, 14: 175-180.
- [23] ROELOFS W L, DU J W, TANG X H, et al. Three European corn borer populations in New York based on sex pheromones and voltinism[J]. J Chem Ecol, 1985, 11(7): 829-836.
- [24] HUANG Y, TAKANASHI T, HOHIZAKI S, et al. Geographic variation in the sex pheromone of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*, in Japan[J]. J Chem Ecol, 1998b, 24: 2079-2088.
- [25] HUANG Y, HONGDA H, YOSHIYASU Y, et al. Sex pheromone of the butterbur borer, *Ostrinia zaguliaevi*[J]. Entomol Exp Appl, 1998b, 89: 281-287.
- [26] HUANG Y, TATSUKI S, KIM C, et al. Identification of the sex pheromone of *Ostrinia palustralis*[J]. Entomol Exp Appl, 1998c, 86: 313-318.
- [27] YEH S F, LEE K C, CHENG K T. Sex pheromone components from Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in Taiwan[J]. J Chem Ecol, 1989, 15: 497-505.
- [28] TAKANASHI T, OHON S, HUANG Y P, et al. A sex pheromone component novel to *Ostrinia* identified from *Ostrinia latipennis* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. Chemoeology, 2000, 10: 143-147.
- [29] 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.
- [30] DU J W, ZHU Y X, ZHANG T P, et al. Studies on the precise blending of the pheromone components of the Asian corn borer, *Ostrinia funacalis* Guenée (Lep. :Pyralidad)[J]. J Entomol, 1986, 6: 17-22.
- [31] KOU R, HO H Y, YANG H T, et al. Investigation of sex pheromone components of female Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in Taiwan[J]. J Chem, 1992, 18(6): 833-840.
- [32] ANDO T, SAITO O, ARAI K, et al. (Z)-and (E)-12-tetradecenyl acetate: Sex pheromone components of oriental corn borer (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Agric Biol Chem, 1980, 44: 2643-2649.
- [33] 鲁新, 周大荣. 亚洲玉米螟不同化性类型的 RAPD 分析[J]. 植物保护, 1998, 24(2): 3-5.
- [34] XU M, SUN S, WANG R, et al. Genetic variation and phylogenetic relationships among six populations of corn borers in China[J]. Biochem Genet, 1998, 36(7-8): 289-297.
- [35] 孙珊, 徐茂磊, 李绍文, 等. RAPD 方法用于亚洲玉米螟地理种群分化的研究[J]. 昆虫学报, 2000, 43(1): 103-106.
- [36] LILIAN A, SALDANBA. Genetic variation of the european corn borer (*Ostrinia nubilalis*) (Hübner) (Lepidoptera: Crambidae)[D]. University of Nebraska, 2000.
- [37] MARCON P C, TAYLOR D B, MASON C E, et al. Genetic similarity among pheromone and voltinism races of *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Crambidae) [J]. Insect Mol Biol, 1999, 8(2): 213-221.
- [38] KIM CHOONG-GON, HOSHIZAKI S, HUANG Y, et al. Usefulness of mitochondrial COII gene sequences in examining phylogenetic relationships in the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*, and allied species (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Appl Entomol Zool, 1999, 34(4): 405-412.
- [39] OHNO S, ISHIKAWA Y, TATSUKI S, et al. Variation in mitochondrial COII gene sequences among two species of Japanese knotweed-boring moths, *Ostrinia latipennis* and *O. ovalipennis* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. Bul Entomol Res, 2006, 96(3): 243-249.
- [40] 姜仲雪, 孟祥锋. 秆野螟属五种近缘种的同工酶及其在分类上的应用研究[J]. 河南农业大学学报, 1994, 28(1): 1-7.
- [41] WANG R, YAN F, LI S, et al. Allozyme differentiation among nine populations of the corn borer (*Ostrinia*) in China [J]. Biochem Genet, 1995, 33(11-12): 413-420.
- [42] DENIS B, MARIE T B, NICLOLE P, et al. Gene flow in the European corn borer *Ostrinia nubilalis*: implications for the sustainability of transgenic insecticidal maize [J]. Bio Sci, 2000, 267(1439): 117-122.
- [43] LEWIS L C. Natural regulation of crop pests in their indigenous ecosystems and in Iowa agrosystems; bioregulation of economic insect pests[J]. Iowa State J Res, 1975, 49: 435-445.
- [44] PONSARD S, BETHENOD M T, BONTEMPS A, et al. Carbon stable isotopes: a tool for studying the mating, oviposition, and spatial distribution of races of European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, among host plants in the field[J]. J Zool, 2004, 82: 1-9.
- [45] 吴德水, 陈继明. 款冬螟生物学特性观察[J]. 昆虫知识, 1997, 34(2): 78-79.
- [46] 刘寿民, 侯正明. 甘肃陇东玉米螟生物学特性的初步观察[J]. 昆虫知识, 2004, 41(5): 451-462.
- [47] 杜家伟, 唐贤汉, 许少甫, 等. 关于欧洲玉米螟作为我国亚洲玉米螟混生种的可能性研究[C]// 昆虫学研究集刊(第10集). 1991, 10: 5-12.
- [48] 李文德, 王秀珍. 玉米螟与寄主植物的关系[J]. 植物保护, 1981, 7(1): 10-11.
- [49] 马骏, 万方浩, 郭建英, 等. 豚草卷蛾的生态适应性及其风险评估[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1391-1394.
- [50] 全国玉米螟综合防治协作组. 我国玉米螟优势种的研究[J]. 植物保护学报, 1988, 15(3): 145-152.