

我们在昆虫信息素方面的研究进展

杜家伟

(上海昆虫研究所)

在自然界,雌蛾利用位于腹部的性信息素腺体释放极其微量的化学气味物质引诱雄蛾,雄蛾则借助于头部两根触角感受这种化学信息,循迹定向至雌蛾处进行交配。这种昆虫交配通信的方式是昆虫生命周期中最薄弱的环节。一个多世纪以来,科学家们始终在揭示昆虫的这种通信方式上作了不懈的努力,但多数都以失败告终。1959 年德国化学家 Butenadt 博士历经 20 年的艰难曲折首次报道了第一个蚕蛾性信息素的化学结构。人们开始越来越意识到昆虫信息素是一门蕴藏巨大应用潜力的学科,许多国家相继投入人力和财力进行开发和研究。

我们的昆虫性信息素研究工作始于 70 年代初,20 年来在昆虫信息素的生物学、生理学、行为学、化学和应用技术等方面都取得了迅速发展。特别是近 10 年中,突飞猛进,成果累累。回顾这段研究历程,深深体会到我们的研究工作从国际同行的合作与交流中受益匪浅。

我们在早期研究中碰到的第一个难题是如何从雌蛾腺体提取物中鉴定出活性微量组分的化学结构。通常我们均需从数万头甚至十多万头雌蛾腹端提取供试物质,并经数次层析分离和纯化才能获得少量的活性组分进行化学结构鉴定。例如杨树透翅蛾性信息素的化学结构鉴定就使用了数万头雌蛾腹端。由于许多农林害虫无法进行实验室人工饲养和繁殖,田间大量采集困难重重。同时,利用经典的化学结构研究方法,只能鉴定出性信息素的主要成分,无法进一步了解雌蛾所释放的完整信息素系统。因此,合成物通常在田间引诱效果较差,无法投入实际应用,整个昆虫信息素的研究工作步伐缓慢,国内许多研究组也就此下马。能否建立昆虫性信息素的超微量化学分析技术,是昆虫信息素研究的关键问题。当时国际上虽也发展了诸如性信息素腺体漂洗等技术,但由于漂洗液中干涉物质很多,很难从一个雌蛾中取得完整的性信息素天然全组分的结构信息。

1981 年我带着这类问题赴美国康乃尔大学纽约州农业实验站昆虫系工作,当时跟随国际著名学者,美国国家科学院院士罗依洛夫斯(W.L.Roelofs)教授开始进行红带卷叶蛾雌蛾释放的性信息素天然全组分的研究。利用罗依洛夫斯教授研究组的设备和基础资料,我通过 3 个月的实验研究,发展了一种摘取性信息素腺体进行微量抽提和分析的技术。这种技术仅用一只雌蛾就能得到该虫的性信息素天然全组分的基本信息,从而很快剖析出完整的化学语言,证明红带卷叶蛾的天然全组分由 7 个化合物所组成。同时,为了了解一只雌蛾在单位时间内到底释放多少量的性信息素,又发展和设计了一种独特的能收集一只雌蛾所释放的全部性信息素的实验装置,取得了令人鼓舞的研究结果,从而解决了多年我梦寐以求的技术问题。

随着研究工作的迅速进展,1982 年初罗依洛夫斯教授提出要我进行昆虫性信息素生态遗传学研究,目的是要回答国内外学者甚为关心的长期利用性信息素大量诱捕法防治害虫后,昆

虫的性信息素通信系统是否会通过“漂移”而产生“抗性”的理论问题。这是当时国际上非常引人注目的基础研究课题,罗依洛夫斯教授的研究组对该课题已研究了两年之久,却毫无进展。要进行这项研究,必须知道种群内每个雌蛾的性信息素通信系统,并从中挑选出通信系统异常的雌蛾进行人工筛选,再在人工选择压力下迫使子代的性信息素通信系统开始“漂移”。为此,必须设计出独特的研究方法,即在保持雌蛾成活的前提下分析出该雌蛾性信息素 7 元组分的精确比例,其方法和技术的难度在当时可以说是不可思议的。经过两个月的构思和实验,我终于很快设计成一种研究技术,使该项研究进展迅速。1982 年 11 月我代表康乃尔大学赴加拿大多伦多参加美国、加拿大国际昆虫学会年会作该课题的学术报告,提出了有关昆虫性信息素抗性问题的新见解,博得了与会科学家们经久不息的掌声。

这种仅用一头雌蛾来进行昆虫信息素全组分的超微量分析技术,使昆虫信息素生态遗传学和天然全组分翻译与复制的研究获得了重要突破。美国报纸为此发表了标题为“中国科学家在美国寻找什么——新见解”(New ideas—What Chinese Scientists are seeking in U.S)的赞扬文章。

1983 年我因研究所工作需要提前回国,应用自己在美国创建的超微量技术和研究方法,积极筹备实验室装备,开始对我国主要农林害虫的性信息素化学、生物学、生态遗传学和田间应用技术等进行详尽研究。近几年来,我们在这些方面获得了一系列重要突破。例如三化螟性信息素的研究虽然始于 1979 年,但由于粗提物无引诱活性,研究工作几乎处于停顿。采用超微量分析技术后,仅花一个多月的时间就基本弄清了它的天然全组分及其精确比例。在“七五”期间,我们研究组顺利利用这些超微量分析技术对三化螟和稻纵卷叶螟性信息素的化学、生态学和田间应用等方面进行了详尽研究,达到了国际先进水平。1988 年该项研究成果荣获了中国科学院科学技术进步奖三等奖。

在国家基金项目“中国玉米螟性信息素生物型的研究”中,对我国是否存在欧洲玉米螟和亚洲玉米螟混生区的可能性论证进行研究,也是利用了这种分析技术,并配合触角电位和形态分类等手段,测定了从我国 17 个省采集的数千只玉米螟雌蛾的性信息素通信系统及其顺反异体比例。根据上述研究结果,提出我国广大玉米种植区仅存在亚洲玉米螟,而所谓的“欧亚玉米螟混生区”实质上是一种形态酷似欧洲玉米螟,其性信息素通信系统和欧洲玉米螟相似的苍耳螟与亚洲玉米螟的混生现象,欧洲玉米螟由于地理条件的隔离之故,仅分布于新疆伊宁谷地。同时,还证明我国广大玉米种植区中的亚洲玉米螟性信息素通信系统没有明显的地理差异。研究结果对今后我国大面积使用昆虫信息素测报和防治具有相当重要的意义,从宏观上解决和澄清了我国玉米螟研究中极易混淆的种类问题。在研究工作中,我们还发现了难以解释的个别雌性信息素通信系统的异常现象。恰在此时,瑞典皇家科学院邀请我赴瑞典隆德大学动物生态系进行合作研究和讲授昆虫信息素研究中的超微量技术和方法学。我在瑞典又对雌蛾一生中是否释放完全相同的性信息素通信系统,设计了一种能对单个雌蛾所释放出来的信息素系统进行逐日测定的研究技术,首次阐述了一个雌蛾在整个成蛾期释放稳定而相同的信息素谱,证实了雌蛾具有精确的生物合成和调控能力。研究结果回答了《昆虫化学生态》一书中所提出的“同一头雌蛾在整个成蛾期所释放的性信息素组分间的比例是否相同”这个问题。在和瑞典科学家的合作研究中,还首次发现鳞翅目巢蛾科的柳黑斑巢蛾雌蛾的信息素组分是饱和的长碳链醋酸酯,并阐述了在种类进化中的作用。研究论文在国际著名的《自然》杂

志 (Nature) 和《化学生态》杂志(J. Chem. Ecol.)发表后,在国际上反响很大。通过这类国际合作研究,使我发现个别亚洲玉米螟性信息素通信系统的异常现象,可能来源于杂交子代的信息素通信系统的重合性。回国后,立即对亚洲玉米螟和其近缘种苍耳螟的杂交子代进行研究,证实了我对雌蛾信息素通信系统重合性的发现,为进一步阐述昆虫信息素通信系统的遗传控制和进化开辟了一条研究新途径,引起了瑞典和美国科学家的极大关注。

1987 年我根据和美国康乃尔大学,加州大学的合作研究结果,提出了“昆虫信息素和病毒联合使用新技术研究”的课题,后被院列入重点研究项目。设想利用昆虫信息素所具有的强大引诱威力,诱导雄蛾产生特定的尾部香刷撒开,碰触信息素源等性行为,研制特异的信息素—病毒沾污诱捕器,自行在诱捕器内沾污昆虫病毒后返回田间,通过交配繁殖使种群处于不可抗拒的流行病之中,从而达到防治目的。历经为期三年的实验室风洞和田间笼罩研究,从理论上证实了这种新型害虫防治技术的可行性。该项目已于 1990 年 12 月通过了中国科学院的鉴定,专家组一致认为该成果处于国际领先地位,并认为这种新技术一旦付诸实施,将会对害虫生物防治策略产生巨大的影响。

1983 年以来,我们在农林害虫的昆虫信息素天然全组分的研究、信息素生态遗传学、生物学等方面获得了全面的进展和突破。例如二化螟、桑螟、稻纵卷叶螟、葡萄透翅蛾、棉铃虫等信息素天然全组分的翻译和复制,中国玉米螟信息素生态遗传学等方面的研究均获得迅速进展和突破,很快引起了国内外同行的注意。可以这样认为,国际同行的合作刺激着具有我国特色的研究工作向前进展,而这些研究工作又吸引了许多国外学者前来参观和学术交流。同时,通过邀请美国、瑞典等国家同行来实验室进行短期国际合作,取长补短,增强了对昆虫信息素研究的能力。例如 1988 年我室特邀瑞典隆德大学动物生态系信息素实验室罗夫斯坦博士(Dr. C.Lofstedt)来我室在信息素生物合成途径方面开展合作研究,罗夫斯坦博士毫无保留地向研究技术人员介绍他发展的新技术,弥补了我们在这方面的不足。

目前,我们已在昆虫化学语言的翻译和人工复制、生态遗传学等领域提出了一些创新观点,发展了一些具有我国特色的生物防治的新技术和新方法,开始显示出我国昆虫信息素研究的特点和优势。昆虫信息素的研究正像含苞欲放的花,尚有许多未开垦的处女地,可以预料在 90 年代里昆虫信息素的研究将会取得更大的突破。