

研究生创新教育系列丛书

化学生态学

(第二版)

闫凤鸣 主编



科学出版社

化 学 生 态 学

(第二版)

闫凤鸣 主编

科 学 出 版 社

北 京

本书编辑委员会

主 编 闫凤鸣

副主编 汤清波 周 琳

主要编写人员及分工

姓 名	章节编写分工	专业特长	联系方式
闫凤鸣	1, 12, 13, 15, 20, 22, 全书统稿	昆虫与植物的关系, 刺吸电位, 生物安全	fmyan@henau. edu. cn
汤清波	3, 5, 7, 11, 原理篇及统稿	昆虫化学感受, 电生理学	tangqingbo@gmail. com
周 琳	16, 18, 方法篇及统稿	昆虫毒理学, 昆虫行为学	zhoulin0704@yahoo. com. cn
白素芬	2, 9, 19	昆虫生理, 寄生蜂行为	sfbai68@yahoo. com. cn
曹凤勤	22	昆虫学	caofengqin@163. com
程绎南	17	化学分析、化学合成	chyn212@126. com
李为争	14, 21	昆虫行为, 电生理学	wei-zhengli@163. com
王高平	4, 8	昆虫生态学	wangjyhncn@yahoo. com. cn
王红卫	10	植物分子生态学	whwcas@yahoo. com. cn
谢桂英	6	农药学	xieguiying2002@163. com

作者简介

闫凤鸣

1962年生。河南农业大学植物保护学院教授，博士研究生导师。1993年获北京大学博士学位，1993年至2007年在北京大学任教，曾先后在荷兰、希腊、瑞典和美国做博士后和合作研究。2007年11月调入河南农业大学，任植物保护学院院长，现为河南省特聘教授，河南省省级重点学科“植物保护一级学科”第一学术带头人。主要从事昆虫学、化学生态学、生物安全和植物化学方面的教学和科研工作，专长于昆虫与植物相互关系的研究。主要研究内容包括：利用化学分析、电生理学、行为学、生物化学和分子生物学的技术手段，分析挥发性或非挥发性植物次生物质对昆虫行为的影响，昆虫取食对植物抗性化学物质的诱导作用，昆虫唾液成分中诱导因子的分离和鉴定，刺吸式昆虫（烟粉虱和棉蚜）的取食行为，烟粉虱生物型的形成机理等。

曾主持2项国家自然科学基金课题和1项国际合作项目，主持和参加“973”项目各1项，参加“863”项目1项，目前主持国家转基因重大专项课题1项。在国内外重要学术刊物上发表论文40余篇，其中SCI论文25篇，出版我国第一部《化学生态学》专著，参编专著2部。现为《昆虫学报》编委。

联系方式：fmyan@henau.edu.cn, 0371-63558172

汤清波

1975年生。博士，副教授，河南农业大学硕士研究生导师。2006年获中国科学院动物研究所博士学位，期间到荷兰 Wageningen 大学昆虫实验室参加中国科学院-荷兰皇家科学院项目合作研究。2006年至今在河南农业大学植物保护学院从事教学科研工作；教学课程主要为普通昆虫学和农业昆虫学，科研主要从事昆虫与植物关系方向的工作，主要包括：昆虫味觉感受机制的生理、分子及神经生物学基础，昆虫寄主选择的化学生态学基础及生物安全。目前主持1项国家自然科学基金及1项河南省自然科学基金项目。先后参加国家自然科学基金重点项目、国家转基因新品种培养重大专项等十余项科研项目。在国内外重要学术刊物上发表论文10余篇，出版专著4部，申请国家专利4项。

联系方式：tangqingbo@gmail.com, 0371-63558170

周琳

1971年生。2007年获西北农林科技大学农药学博士学位。现为河南农业大学植物保护学院副教授，硕士研究生导师。河南省省级重点学科——农药学第一学术带头人，河南省学术技术带头人，河南省高等学校青年骨干教师，河南省植物保护学会理事，中华全国青年联合会第十一届委员会委员。主要从事生物农药与植物保护学方面的教学与科研工作，专长于植物源农药的研究与开发，主要研究内容包括：农药用植物资源的发掘、植物化学研究、植物活性物质毒理学研究以及植物源农药制剂研发等。

先后主持和参加国家林业重大病虫害工程治理项目、国家转基因生物新品种培育重大专项、国家水体污染控制与治理科技重大专项、国家重大科技攻关、国家林业局“948”引进项目、河南省重大公益招标科研项目、河南省重点科技攻关等 19 项科研课题。获河南省科技进步二等奖 6 项。发表学术论文 40 余篇；出版专著 4 部；申请国家专利 1 项。

联系方式：zhoulin0704@yahoo.com.cn，0371-63558170

序

化学生态学诞生于 20 世纪 50 年代。当时，全世界都在普遍使用有机农药防治农林和医学病虫害，造成了严重的环境污染。人们开始认识到，对环境的破坏缘于人们忽视了自然规律。其实，生物在长期进化中，发展出了各种类型的适应环境、抵御敌害和协同进化的能力，其中的化学适应就是生物多种能力的重要方面。如果人们了解了生物之间的化学规律，“以夷制夷”，就不难从中找出治理病虫害的有效措施。化学生态学就是适应这种需要而诞生的。半个世纪以来，我国和世界其他国家的化学和生态学家联合起来，对昆虫信息素、植物次生物质等进行了详尽的研究，最近更对三级营养关系、转基因生物的化学规律进行探讨，并把发现的规律应用于实践，为病虫害的综合治理和环境保护提供了新的方向和方法。在理论上，化学生态学深化了人们对于生态规律的认识，丰富了生态学的内容，对其他学科（如神经生物学、进化论）也有深远影响。

学科发展的理论成果和技术方法需要及时总结，一方面可以使科学家之间相互交流和提高，另一方面可以用作大学生和研究生的教材，培养未来的科学家。化学生态学的专著和教材，西方国家在 20 世纪 70 年代就开始出版；我国至今还没有一本这样的著作。我很高兴能看到闫凤鸣博士的《化学生态学》这本书即将由科学出版社出版，这可以算我国生态学的一件大事。

《化学生态学》一书的编排比较合理，总的分为“原理篇”和“方法篇”两大部分。在“原理篇”部分，作者查阅了大量的参考文献，对化学生态学的许多方面做了详尽的阐述，我们从中可以了解到化学生态学的基本原理、历史背景、现状趋势和实际应用；特别令人注意的是，作者介绍了目前化学生态学的几个热点，如“三级营养关系”、“转基因生物的评价”、“海洋化学生态学”，由此我们可以把握化学生态学未来的发展方向。更为难能可贵的是，该书介绍了与化学生态学研究有关的技术方法。作者多年来一直进行化学生态学研究工作，在欧洲和美国的化学生态学和昆虫行为学实验室工作过，掌握和了解化学生态学常用的许多技术方法。所以，“方法篇”部分中的很多例子是作者自己的工作内容。

由于化学生态学涉及的方面很多，任何一个部分都可以扩展成一本或几本书。《化学生态学》择要介绍，难免在一些方面不能深入探讨，有些内容没有包括进去；但该书的内容基本可以体现化学生态学的整体概貌，显得比较精练和实用，也方便读者阅读。

总的来说，《化学生态学》是一本理论性和实用性都较强的专著，期望该书的出版，能够在一定程度上推动我国化学生态学的研究和人才培养。特在此不吝笔墨，予以推介。

邵予元

中国工程院院士

中国农业科学院植物保护研究所研究员

2002 年夏于北京

第二版前言

《化学生态学》第一版出版已经8年了,本书出版后,受到了许多高等院校和科研单位的科研人员、教师、研究生和本科生的喜爱和肯定。期间学科快速发展,使第一版的有些内容需要补充和完善。因此,在教学和科研的空隙时间,我决定修订第一版的内容。

由于化学生态学这些年的长足发展,使得学科的知识不仅涉及生态学和化学,而且涉及分子生物学、神经生物学、昆虫生理学和植物生理学等,一个人的精力和知识显然不足以编写一部反映日新月异的学科发展的教科书或者专著。值得欣慰的是,我2008年正式调到河南农业大学以后,一些年轻的博士们,他们的专业都与化学生态学有着不同的联系,这些博士对化学生态学有着共同的热爱,他们相继参加到我所组织的课题研究中,逐渐形成一个团队。于是,本版我采取由这些博士分工编写,我最后统稿的形式。相信这样的合作和编写方式不会影响本书的质量。

近些年化学生态学的发展主要表现在,由于分子生物学技术的渗入,使得化学生态学研究进入了分子生物学时代,也使得学科之间的界限变得模糊。特别是化学感受机理中气味结合蛋白的研究,昆虫取食(或病菌侵染、非生物因素胁迫)后植物诱导抗性机理的研究,成为神经生物学、植物分子生物学、生物化学、植物生理学和化学生态学的热点。

本次再版,内容上全面反映了化学生态学的学科进展,但基本上保持了原来的章节结构,改正了一些原版中的印刷错误,对有些章节的内容进行了一些调整和充实。这次再版的内容变化主要有:①“原理篇”增加了“高等动物和人的化学生态学”一章;②重点扩充了方法篇部分,对每个实验技术的原理、方法要点和操作步骤进行了详尽的介绍,期望使之成为实验指导书一类的工具书,以满足广大研究生和青年工作者对于化学生态学研究技术的需要;③删去了“化学生态学文献及网络资源评介”一章,将该章的有关内容整合进新增加的“化学生态学家的综合素质培养”一章(第22章)。

在第一版中介绍的研究进展多是国外的,本次再版,增加了许多我国化学生态学的研究成果,特别是关于植物与昆虫的关系、气味结合蛋白、植物诱导反应机理及化感作用等。除了对我国化学生态学的迅猛发展感到欣喜之外,我在此要对为我国化学生态学发展作出贡献的老一代科学家、中青年工作者和研究生表示感谢,他们的踏实而卓有成效的工作,不仅提高了我国化学生态学在国际上的影响,也丰富了本书各章的内容。可以说,本书是我国化学生态学工作者共同的贡献。2010年孔垂华、娄永根主编的《化学生态学前沿》,全面总结和综述了国内外化学生态学的进展,对本书的编写提供了许多资料,给予了很多启发。

本书的“方法篇”各章节是应广大青年科技工作者和研究生对化学生态学技术的需要而编写的,这也是本书的一个特色。中国生态学会化学生态学专业委员会2009年12月在郑州举办的我国“首届化学生态学技术培训班暨研讨会”,吸引了来自全国各地的高等院校和科研单位的70多名学员,郭予元院士、杜家纬研究员、吴才宏教授、黄勇平研究员、张真研究员、孔垂华教授、原国辉教授、娄永根教授、张茂新教授、曾任森

教授等国内知名的专家为学员授课，河南农业大学植物保护学院的年轻教师和吴才宏教授为学员指导实验，本书的多数编者都是实验的指导教师和培训班实验指导书的编写者。在吸取了授课教授的研究成果、听取学员意见的基础上，我们对“方法篇”各章节内容进行了补充和完善，使之更有针对性和实用性。

在我的科研工作和本书编写的过程中，始终得到北京大学生命科学学院吴才宏教授、李绍文教授、许崇任教授和王戎疆博士的支持和帮助，得到了中国农业科学院植物保护研究所郭予元院士、吴孔明研究员、万方浩研究员，中国农业大学彩万志教授、张青文教授、张龙教授的鼓励。中国科学院动物研究所王琛柱研究员、戈峰研究员，中国科学院上海生理生态研究所的杜家纬研究员、黄勇平研究员，中国计量学院的韩宝瑜教授，华南农业大学的张茂新教授和曾任森教授，给予很多帮助。河南农业大学植物保护学院的原国辉教授、罗梅浩教授、郭线茹教授、安世恒教授为本书的编写提供了很多的意见和建议。美国 Rescue 公司的张庆贺博士，美国农业部的张爱军教授、朱俊伟教授给予了很多支持和鼓励。

我的北京大学几个博士生的出色工作，为本书的有关章节增色不少：薛堃博士（中央民族大学）和王晓颖的刺吸电位技术在转基因作物安全评价中的应用，黄翠虹博士（广东顺德技术师范学院）的亚洲玉米螟与玉米相互关系的化学生态学研究，殷海娣博士（复旦大学附属中学）的烟粉虱取食诱导拟南芥反应的分子机理研究。

我的河南农业大学的同事白润娥老师，研究生李静静、李晓敏为本书的编辑校对等做了大量工作。还要感谢参加本书编写的各位年轻教师，他们的辛勤工作和专业修养保证了本书内容的科学质量。

我的科研工作和本书的出版，得益于北京大学生命科学学院、河南农业大学所提供的条件，得到了国家“973”项目、国家自然科学基金（30571219 和 30800109）和国家转基因新品种培育重大专项（2009ZX08012—007B）的支持。

第一版出版后，得到了许多专家和研究生的肯定，他们也同时提出了不少的建议。第一版出版时，科学出版社李锋主任和盖宇博士就为我策划第二版的内容，鼓励我把本书作为精品编写。科学出版社编辑李悦女士为本书的第二版倾注了大量心血和劳动，使本书得以顺利出版。

由于我们学识和能力所限，加之第一次采用集体编写的方式，本版所反映的学科进展难免会有所遗漏，有些观点可能有所偏颇，所以，请各位读者在使用过程中批评指正，发现问题请随时和我们联系。

闫凤鸣

2011年5月10日

于河南郑州

第一版前言

化学生态学 (chemical ecology) 属于生态学和化学的交叉学科, 是当前生态学领域最活跃的分支学科之一。化学生态学自 20 世纪 50 年代末诞生以来, 以其对农药污染、病虫害抗药性和其他生态环境问题的反思, 以其对生物间相互关系的根本原因的探讨, 以其对病虫害治理、生物多样性保护和生物资源合理利用 (如生物农药开发) 的指导作用和实际贡献, 而引起世人和科学界的关注, 越来越显示出强大的生命力。化学生态学所进行的化学信号感受机理的研究, 为神经生物学和进化论等提供了研究模式和理论依据, 其对基础科学的意义是无法估量的。化学生态学的研究, 涉及进化论、生态学、行为学、毒理学、分析化学、电生理学、细胞生物学、生物物理学、神经生物学、生物化学、分子生物学等学科原理和技术手段, 是学科交叉优势互补的典型范例, 是不同领域科学家通力合作、一展身手的共同舞台。

现在, 化学生态学吸引了越来越多的科学家的参与, 有关会议和论文的不断增多就是最明显的例证。经过 40 多年的发展, 化学生态学已经成为生态学中非常重要的领域, 其学科框架、理论体系和实际意义, 已经逐步凸现出来。在国际上, 昆虫性信息素的研究日趋成熟, 昆虫和植物的关系研究渐趋深入和宽广, 化学生态学的组织、刊物、专著和互联网讨论组如雨后春笋般涌现出来。另外, 化学生态学的一些研究成果 (如性信息素) 已经进入开发应用阶段; 而实际上化学生态学的研究从一开始就是从应用的角度出发的, 如对于吸引剂、拒斥剂、拒食剂的研究, 有着明确的应用目的和开发前景。

我国的化学生态学研究, 虽然起步较晚、研究水平偏低, 但已经显示出了良好的发展势头。首先政府部门已经认识到化学生态学的重要性, 国家自然科学基金委员会明确支持化学生态学的研究, 中国生态学会成立了化学生态学委员会; 大专院校和科研部门纷纷开展化学生态学课题, 培养这方面的人才; 我国与国外的化学生态学的合作研究也已起步。我国生物资源丰富, 农林和环境课题很多, 化学生态学有着广阔的发展前景。实际上, 我国的化学生态学研究的一些方面 (如昆虫性信息素、植物与昆虫的关系、植物他感作用的研究), 与国外相比毫不逊色。在理论方面, 钦俊德于 1987 年出版的《昆虫与植物的关系——论昆虫和植物的相互作用及其演化》、杜家纬于 1988 年出版的《昆虫信息素及其应用》, 以及李绍文于 2001 年出版的《生态生物化学》, 从不同的角度, 总结某个方面的研究成果和基础理论。然而, 我国目前缺乏一本兼顾理论和方法的化学生态学专著, 而理论和技术的及时介绍和总结对于指导学科的发展是必不可少的。作者本人在工作中就切身感觉到理论和技术的的重要性。有鉴于此, 我有意收集和整理了有关资料, 并根据工作体会, 编写这部书, 期望为我国化学生态学的发展做一点工作。

化学生态学, 上承进化论、生态学、神经生物学等基础理论, 中连电生理学、分析化学、行为学等技术和手段, 下接农林医牧、环境等实际问题, 是在生态学领域赶超世界先进水平的一个突破口。期望本书的出版, 能为培养我国化学生态学的人才、推动我国的化学生态学研究走向世界、为我国生物资源的合理利用、生物多样性保护和生物农药的开发利用等尽微薄之力。

本书竭力及时总结化学生态学的原理、概念和方法, 介绍国际上化学生态学的现状和发展趋势, 推介国内外化学生态学有代表性的专著和论文。全书分为“原理篇”和

“方法篇”两大部分。“原理篇”介绍化学生态学的基本原理、历史背景、学科现状和发展趋势，概述化学生态学所涉及各个方面的概念和应用，包括神经感受生理、信息素、植物和昆虫的相互作用、植物-昆虫-天敌三级营养关系、植物化感作用、植物诱导抗性、化学生态学和生物技术、海洋环境化学生态学等；“方法篇”主要介绍化学生态学所利用的生物测定、化学分析、电生理学、田间应用的方法和技术的原理、过程和应用，还特别介绍了化学生态学的文献和网络资源利用。书末附有代表性昆虫的信息素、植物次生物质主要类别的化学结构以及英汉和汉英名词索引。书中所有的文献和图表都给出了出处。对于所引用文献的中外作者，表示衷心的感谢。

为避免混乱，有关专业词语的翻译尽量依照“全国科学技术名词审定委员会”公布的词汇，或者遵从惯例；对一些实在不妥或已过时的汉译名词，本书使用新词时会加以说明；汉语中还没有的名词，也尽量翻译得妥帖。所有中文名词都尽量附有英文对照，以便读者和专家能准确理解原词的意义，也便于能指正不妥之处。

在酝酿和写作本书的过程中，得到了北京大学生命科学学院吴才宏教授、李绍文教授、尚玉昌教授、蔡晓明教授、许崇任教授和饶广远副教授等的支持和鼓励，得到了中国农业大学昆虫系彩万志博士、高希武教授和瑞典农业大学张庆贺博士的不断鼓励。瑞典农业大学 Peter Witzgall 博士，美国密苏里大学（哥伦比亚分校）的 Elaine A. Backus 教授，佐治亚大学的陈江先生提供许多有价值的参考文献。本书初稿完成后，承蒙吴才宏教授审阅了第3章，蔡晓明教授、北京林业大学武三安教授提出了许多改进意见。河南农业大学马继盛教授、原国辉教授给予了不少帮助。我对这些前辈和同事的关心和鼓励，表示由衷的感谢。

我为本科生和研究生开设的“化学生态学”课程，得到了北京大学研究生院“研究生选修课课程建设基金”的资助，使得我可以收集更多的资料。选修“化学生态学”课程的本科生和研究生，在做专题课程论文的过程中所收集的资料，充实了我的文献内容，他们一些的独特观点在一定程度上启发了我的思路。98 环生专业的陈艾同学为本书收集了海洋化学生态学方面的文献。研究生王晓颖同学帮助整理索引，黄翠虹协助校正参考文献的格式，薛堃和王晓颖为我收集了不少文献。98 环生专业的同学在选修我的课程时使用了本书初稿，对内容、编排、文字等提出了很多意见和建议。

我所主持和承担的“863”项目、“973”项目、“国家自然科学基金”、“教育部归国留学人员基金”等课题对我的研究工作、资料收集等的资助，实际上对本书的出版具有极大的促进作用。

科学出版社的李锋同志为本书的出版做了大量工作；本书承蒙中国科学院科学出版基金的资助，使之能顺利出版刊行。

由于我本人所研究学科范围的限制，尤其是化学方面知识的浅薄，以及见识的粗浅，不足和疏漏之处在所难免；加之化学生态学进展较快，有的内容没有来得及收集进去；有的方面（如脊椎动物和人的化学通讯）则是由于资料不全或不系统而没有整理出来。所以，请读者和同行在使用过程中指正，以便再版时修改、补充和完善。

闫凤鸣

2001 年 12 月

于北京大学生命科学学院

目 录

作者简介
序
第二版前言
第一版前言

原 理 篇

1 化学生态学概述	3
1.1 生物间的化学联系——自然界中的普遍现象	3
1.2 化学生态学的历史和发展	4
1.3 化学生态学的研究内容和趋势	7
1.4 化学生态学所涉及的生物类群和主要学科	10
1.5 化学生态学的主要研究方法和技术	11
1.6 化学生态学的意义和应用	12
本章小结	12
参考文献	13
2 信息化学物质	14
2.1 化学通讯的特点	15
2.2 信息化学物质的分类和概念	17
2.3 信息化学物质的来源	19
2.4 气味扩散规律	24
本章小结	26
参考文献	26
3 化学感受机理	28
3.1 神经系统	28
3.2 化学感器	30
3.3 化学感受机理	34
3.4 神经编码	37
3.5 气味结合蛋白和嗅觉、味觉受体	39
本章小结	43
参考文献	43
4 昆虫信息素	48
4.1 昆虫信息素的概念	48
4.2 昆虫信息素的化学	51
4.3 昆虫性信息素的调控	53
4.4 昆虫对性信息素的行为反应及影响因素	54
4.5 昆虫信息素的应用	58
本章小结	64

参考文献	64
5 植物与昆虫的关系(一):概述	67
5.1 昆虫与植物关系的重要性	67
5.2 昆虫对植物的为害程度	68
5.3 植食性昆虫的概况	68
5.4 寄主植物的分化	69
5.5 植食性昆虫:是植物分类学家吗?	71
5.6 昆虫与植物:协同进化的关系?	72
本章小结	73
参考文献	73
6 植物与昆虫的关系(二):植物次生化学物质	74
6.1 植物次生物质的意义	74
6.2 植物次生物质的主要类别	75
6.3 植物次生物质对昆虫的作用机理及生物活性	83
6.4 影响植物次生代谢的环境因素	86
6.5 植物产生次生物质的代价	88
6.6 自毒问题	88
6.7 植物次生物质在植物-昆虫生态学中的应用与展望	90
本章小结	91
参考文献	91
7 昆虫与植物的关系(三):昆虫对寄主植物的选择和利用	93
7.1 昆虫对植物的选择	93
7.2 昆虫对植物的利用	98
7.3 鳞翅目幼虫选择寄主的模式	99
本章小结	101
参考文献	101
8 昆虫与花	103
8.1 共生关系	104
8.2 花恒定性	104
8.3 花的识别	105
8.4 传粉的能量消耗	107
8.5 植物的“奖励”和“抵抗”策略	108
8.6 信息物质	110
8.7 昆虫在花簇内的运动	110
8.8 竞争问题	111
8.9 协同进化	111
8.10 传粉昆虫的保护	113
8.11 鳞翅目昆虫与花	114
本章小结	115
参考文献	115

9	次生物质在三级营养关系中的作用	117
9.1	次生物质在植物-植食者-天敌三级营养关系中的作用	118
9.2	次生物质在植物-微生物-昆虫关系中的作用	125
	本章小结	128
	参考文献	128
10	植物化感作用	134
10.1	定义	134
10.2	研究历史和现状	134
10.3	植物化感作用的生物学意义	135
10.4	化感作用机理	142
10.5	化感作用的研究方法	147
	本章小结	152
	参考文献	152
11	植物诱导抗性	157
11.1	植物诱导抗性的研究历史	157
11.2	概念和意义	159
11.3	诱导的特异性	160
11.4	植物诱导抗性的机理	164
11.5	昆虫口腔分泌物中的诱导因子	170
11.6	植物的通讯信号	172
11.7	植物诱导防御的分子生物学机理	178
11.8	植物诱导抗性的代价	180
11.9	植物诱导抗性在农业上的应用	182
	本章小结	183
	参考文献	183
12	化学生态学和生物技术	190
12.1	分子生物学和生物技术的发展简况	190
12.2	生物技术在化学生态学研究中的应用	191
12.3	化学生态学在转基因作物安全评价中的应用	193
	本章小结	195
	参考文献	195
13	海洋环境中的化学通讯	197
13.1	概述	197
13.2	信息化学物质	198
13.3	生物对化学刺激的识别	201
13.4	化学信号与流水动力作用的相互影响	203
13.5	目前的技术水平	204
13.6	展望	205
	本章小结	206
	参考文献	206

14	高等动物和人的化学生态学	210
14.1	哺乳动物的化学生态学	210
14.2	人的化学感受和化学通讯	225
14.3	应用展望	229
	本章小结	230
	参考文献	230

方 法 篇

15	化学生态学方法总论	237
15.1	技术和方法在化学生态学中的意义	237
15.2	化学生态学研究的基本程序	238
15.3	化学生态学研究常用技术概述	239
	本章小结	240
	参考文献	241
16	信息化学物质提取及分离	242
16.1	信息化学物质提取方法	242
16.2	信息化学物质分离技术	258
16.3	分离工作的一般程序	294
16.4	活性成分分离过程中值得注意的问题	295
	本章小结	299
	参考文献	299
17	化学分析方法	301
17.1	概述	301
17.2	紫外和可见吸收光谱	302
17.3	红外光谱	306
17.4	质谱法	313
17.5	核磁共振波谱	321
17.6	分析样品质与量的要求	333
	本章小结	334
	参考文献	334
18	生物测定技术	335
18.1	生物材料的选择	335
18.2	嗅觉定向	336
18.3	取食测定	338
18.4	忌避测定	346
18.5	引诱测定	346
	本章小结	347
	参考文献	347
19	风洞	349
19.1	风洞的特点	349

19.2	风洞的基本组成和原理	349
19.3	实验准备和实验操作	352
19.4	风洞实验实例	354
	本章小结	357
	参考文献	357
20	刺吸电位技术	358
20.1	概述	358
20.2	原理	359
20.3	设备的基本组成	362
20.4	基本操作	363
20.5	EPG 应用技巧及常见问题的处理	364
20.6	EPG 波形的生物学意义的阐释	370
20.7	利用人工饲料进行 EPG 记录	373
	本章小结	375
	参考文献	375
21	触角电位及其相关技术	377
21.1	触角电位技术	377
21.2	气谱-触角电位联用仪	380
21.3	单细胞记录	383
21.4	电生理操作需要注意的问题	385
	本章小结	386
	参考文献	386
22	化学生态学家的综合素质培养	388
22.1	通过广泛阅读文献发现问题、提出问题	388
22.2	选择研究课题既要追踪学科发展也要结合我国国情	391
22.3	良好的科研道德和行为准则	392
22.4	论文写作技巧	393
22.5	学术交流	397
	本章小结	399
	参考文献	399

附 录

附录 1	代表性昆虫信息素的化学结构	403
附录 2	植物次生物质代表性类别的化学结构	417
附录 3	烃类及作为复合词前缀的名称	421
附录 4	化合物常见英文前缀和后缀	422
附录 5	化学生态学常用计量单位	423
附录 6	汉英(拉)名词索引	424
索引		435

原 理 篇

