

化学生态学

阎凤鸣 编著



科学出版社

www.sciencep.com

927

Q149.42
Y17

化 学 生 态 学

阎凤鸣 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍化学生态学的理论和方法,共20章,分为“原理篇”和“方法篇”两大部分。“原理篇”介绍化学生态学的原理、简史、现状和展望,着重论述化学生态学在植物和昆虫类群上的研究进展。“方法篇”主要介绍化学生态学研究中常用的生物测定、化学分析和电生理学方法技术,特别介绍了化学生态学的文献和网络资源。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,以及名词索引等。

本书适用于高等院校生物学、化学、农业科学和环境科学等专业师生及相关领域的专业人员。

图书在版编目(CIP)数据

化学生态学/阎凤鸣编著. —北京:科学出版社,2003.1

ISBN 7-03-010419-6

I. 化… II. 阎… III. 化学-生态学 IV. Q149

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第033109号

策划编辑:李锋 盖宇/文案编辑:吴寅泰 吴伶伶/责任校对:曹锐军

责任印制:刘士平/封面设计:槐寿明

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2003年1月第一次印刷 印张:16

印数:1—3 000 字数:356 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

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，另一方面可以用做大学生和研究生的教材，培养未来的科学家。西方国家在 20 世纪 70 年代就开始出版，化学生态学的专著和教材；我国至今还没有一本这样的著作。我很高兴能看到阎凤鸣博士的《化学生态学》即将在科学出版社出版，这可以算是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，本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，但本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，期望本书的出版，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

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, 以它对农药污染、病虫害抗药性和其他生态环境问题的反思, 以它对生物间相互关系的根本原因的探讨, 以它对病虫治理、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, 而引起世人特别是科学界的关注。化学生态学所进行的化学信号感受机制的研究, 为神经生物学和进化论等提供了研究模式和理论依据, 这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、分子生物学等学科的原理和技术手段, 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、大显身手的共同舞台。

现在, 化学生态学吸引了越来越多科学家的参与, 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, 已经逐步突现出来。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拓宽, 化学生态学的组织、刊物、专著和因特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 (如昆虫性信息素) 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, 例如, 对吸引剂、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, 但已经显示出良好的发展势头。目前, 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研究, 培养这方面的人才; 我国与国外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, 我国在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。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》, 他们从不同的角度, 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指导学科的发展是必不可少的。本人在工作中就切身感觉到理论和技术的重要性。有鉴于此, 本人有意收集和整理了有关资料, 并根据工作体会, 编写成本书, 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绵薄之力。

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,推荐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、植物他感作用、植物诱导抗性、化学生态学和生物技术、海洋环境中的化学通讯等;“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及网络资源利用。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及英汉和汉英名词索引等。书中所有的文献和图表都给出了出处。对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,本书使用新词时附有说明;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,也便于指正不妥之处。

在酝酿和写作本书的过程中,得到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。在此对这些前辈和同事的关心和鼓励,表示由衷的感谢。

本人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,使得本人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,充实了本书的文献内容,他们的一些独特观点在一定程度上启发了我的思路。98级环境生物学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,薛堃和王晓颖为本人写此书收集了不少文献。98级环境生物学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、文字等提出很多意见和建议。

本人主持和承担的“863”、“973”、“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;本书编辑盖宇博士就书稿中的许多方面提出了很好的建议。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。本书第20章基本引用作者在《昆虫知识》38卷第2期(2001年)发表的综述,感谢该刊编辑部授权科学出版社和作者使用该文。

由于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,

错误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。

阎凤鸣

2001年12月

于北京大学生命科学学院

目 录

序	i
前 言	iii

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	6
1.4 化学生态学所涉及的生物类群和主要学科	9
1.5 化学生态学的主要研究方法和技术	9
1.6 化学生态学的意义	10
本章摘要	11
主要参考文献	11
2 信息化学物质	12
2.1 化学通讯的特点	13
2.2 信息化学物质的分类和概念	13
2.3 信息化学物质的来源	15
2.4 气味扩散规律	17
本章摘要	19
主要参考文献	19
3 化学感受机制	21
3.1 神经系统	21
3.2 化学感器	23
3.3 化学感受机制	27
3.4 神经编码	30
本章摘要	31
主要参考文献	31
4 昆虫信息素	33
4.1 昆虫信息素的概念	33
4.2 昆虫信息素的化学	34
4.3 昆虫对信息素的行为反应及影响因素	35
4.4 昆虫信息素的应用	39
本章摘要	42
主要参考文献	43

5	昆虫与植物的关系(一):概述	44
5.1	昆虫与植物关系的重要性	44
5.2	昆虫对植物的为害程度	45
5.3	植食性昆虫的概况	45
5.4	寄主植物的分化	46
5.5	植食性昆虫:是植物分类学家吗?	47
	本章摘要	48
	主要参考文献	48
6	昆虫与植物的关系(二):植物次生化学物质	50
6.1	植物次生物质的意义	50
6.2	植物次生物质的主要类别	51
6.3	植物产生次生物质的代价	58
6.4	自毒问题	58
	本章摘要	58
	主要参考文献	58
7	昆虫与植物的关系(三):昆虫对寄主植物的选择和利用	60
7.1	昆虫对植物的选择	60
7.2	昆虫对植物的利用	65
	本章摘要	66
	主要参考文献	66
8	昆虫与花	68
8.1	共生关系	68
8.2	花恒定性	69
8.3	花的识别	69
8.4	传粉的能量消耗	70
8.5	植物的“奖励”策略	71
8.6	信息物质	72
8.7	昆虫在花簇内的运动	72
8.8	竞争问题	73
8.9	协同进化	73
8.10	传粉昆虫的保护	75
	本章摘要	75
	主要参考文献	76
9	次生物质在三级营养关系中的作用	78
9.1	次生物质在植物-植食者-天敌三级营养关系中的作用	78
9.2	次生物质在植物-微生物-昆虫关系中的作用	82
	本章摘要	84
	主要参考文献	85
10	植物他感作用	88

10.1	定义	88
10.2	历史	88
10.3	植物他感作用在自然和人工生态系统中的意义	88
10.4	我国的研究概况	89
10.5	他感作用机制	90
10.6	他感作用研究的基本程序	90
	本章摘要	92
	主要参考文献	92
11	植物诱导抗性	94
11.1	概念和意义	94
11.2	植物诱导抗性的研究历史	96
11.3	诱导的特异性	97
11.4	植物的通讯信号	99
11.5	植物诱导抗性的机制	102
11.6	诱导化学物质的机制	104
11.7	植物诱导抗性的代价	106
11.8	植物诱导抗性在农业上的应用	107
	本章摘要	108
	主要参考文献	108
12	化学生态学和生物技术	110
12.1	分子生物学和生物技术的发展简况	110
12.2	转基因生物的安全性和生态学方面的潜在风险	110
12.3	化学生态学和生物技术的关系	111
	本章摘要	115
	主要参考文献	115
13	海洋环境中的化学通讯	117
13.1	概述	117
13.2	信息化学物质	118
13.3	生物对化学刺激的识别	121
13.4	化学信号与流水动力作用的相互影响	124
13.5	目前的技术水平	124
13.6	展望	125
	本章摘要	126
	主要参考文献	126

方 法 篇

14	化学生态学方法总论	133
14.1	技术和方法在化学生态学中的意义	133
14.2	化学生态学研究的基本程序	134

14.3	化学生态学研究常用技术概述	135
	主要参考文献	136
15	生物测定方法	137
15.1	生物材料的选择	137
15.2	嗅觉定向	138
15.3	取食测定	139
	主要参考文献	142
16	风洞	143
16.1	风洞的特点	143
16.2	风洞基本组成和原理	143
16.3	实验准备和实际操作	146
16.4	风洞实验实例	146
	主要参考文献	148
17	刺吸电位技术	149
17.1	概述	149
17.2	原理	150
17.3	设备的基本组成	151
17.4	基本操作	152
17.5	记录结果的分析	152
17.6	如何从头开始——与 EPG 研究相关的技术	156
	主要参考文献	159
18	触角电位及其相关技术	161
18.1	触角电位技术	161
18.2	触角电位-气谱联用仪	163
18.3	单细胞记录	166
	主要参考文献	168
19	化学分析方法	170
19.1	样品制备	170
19.2	气相色谱	174
19.3	气相色谱-质谱联用分析	175
19.4	高压液相色谱	177
	主要参考文献	180
20	国际化学生态学文献和网络资源评介	181
20.1	专著	181
20.2	杂志	184
20.3	重要的化学生态学实验室	185
20.4	化学生态学有关的讨论组	187
20.5	主要的化学生态学组织机构和会议	188
附录 1	代表性昆虫信息素的化学结构	189

附录 2	植物次生物质代表性类别的化学结构	203
附录 3	烃类及作为复合词前缀的名称	207
附录 4	化合物常见英文前缀和后缀	208
附录 5	化学生态学常用计量单位	209
附录 6	国际化学生态学会章程(摘要)	210
附录 7	汉英(拉)名词索引	213
附录 8	英(拉)汉名词索引	226
作者简介		240

原 理 篇

1 化学生态学概述

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1.1 生物间的化学联系——自然界中的普遍现象 | 1.4 化学生态学所涉及的生物类群和主要学科 |
| 1.2 化学生态学的历史和发展 | 1.5 化学生态学的主要研究方法和技术 |
| 1.2.1 化学生态学产生的社会和技术背景 | 1.6 化学生态学的意义 |
| 1.2.2 学科的发展 | 1.6.1 理论方面的意义 |
| 1.3 化学生态学的研究内容和趋势 | 1.6.2 应用方面的意义 |
| 1.3.1 主要研究方向和进展 | 本章摘要 |
| 1.3.2 目前研究热点和发展趋势 | 主要参考文献 |

化学生态学 (chemical ecology), 属于化学和生态学的交叉学科, 是研究生物间的化学联系及其机制, 并在实际中加以应用的一门学科。化学生态学成为生态学的分支学科才不过四五十年的历史, 但它在理论和应用方面的研究成果, 已经显示出这门学科具有强大的生命力。

1.1 生物间的化学联系——自然界中的普遍现象

生物间的化学联系是一种普遍规律。蝴蝶在花丛间飞舞采蜜; 蚂蚁和蜜蜂形成社会性群体, 其识别路径的本领令人惊异; 法布尔注意到, 雄蚕蛾甚至能从几公里外准确无误地找到同种雌虫并与之交配; 植食性昆虫有不同的食性, 有的取食上百种植物, 有的只取食一种植物; 连作有时影响到下茬作物的生长; 同宿舍的女生的月经周期几乎一致……隐藏在这些现象背后的原因是什么? 生物间的化学联系! 下面让我们看一些具体的例子。

人类对生物间化学关系的认识的时间和人类本身的历史一样悠久, 这主要出于人类自身生存和发展的需要。我国古代劳动人民早就知道利用蒿草的气味驱避蚊虫, 贾思勰的《齐民要术》中就已经提到抗虫品种的选择, 三千多年前人们就开始使用植物性的杀虫剂, 等等 (周尧 1980; 邹树文 1981)。菌毒 (mycotoxin) 对人和家畜的毒性已经人所共知。人类早就认识了蜂毒、蝎毒和蜘蛛毒的性质, 并在医药开发、疾病防治中加以应用。从沙蚕、除虫菊中分离和提取有杀虫活性的化学物质, 并改造成杀虫剂, 是农药研究历史上的典型事例。1931 年, Thomas Mann 在他的书《魔山》(Magic Mountain) 中告诉我们, 旅游者可能会在 *Anitaris toxicaria* 的树荫下休息时不经意地沉沉睡去, 因为这种大树的叶子能分泌可形成毒雾的细小液滴, 液滴中含有强心苷 (cardiac glycoside), 能使人昏迷。在印度, 美洲地锦被认为是危险的, 不仅因为其果实有毒, 而且因为从其枝条上溢出的腐蚀性的汁液能引起灼伤, 且不容易愈合。西印度人总是避免碰到这种植物, 那里的人认为, 这种树是许多事故的罪魁祸首。

植物可以通过化学物质影响周围的其他植物, 这种现象称为植物他感作用

(allelopathy)。他感作用与农林生产密切相关。现在我们知道，胡桃树之所以可以毒害其树冠下的植物，是由于胡桃醌的缘故。这种化学物质附着在叶子上，降雨将其冲刷到地上，对禾本科植物、西红柿、苹果树等有毒性，也发现对小动物有毒性，它可显著抑制真菌和细菌的生长，但这种物质在胡桃树体内却是以糖苷（羟基胡桃苷，5-glucosyl-1, 4, 5-trihydroxy naphthalene）的形式存在的，这种形式并不稳定，可水解出三羟基萘（trihydroxy naphthalene），并很容易氧化为胡桃醌（5-羟-1, 4-萘醌）[juglone (5-hydroxy-1, 4-naphthoquinone)]（见图 1.1）。大多数情况下，普通的植物成分（如萜类、芳香酸类、酚类等）就可以抑制其他植物的生长，一般情况下这些化合物对产生它们的植物没有毒性，它们可以以糖苷前体存在或在细胞的液泡中储存。

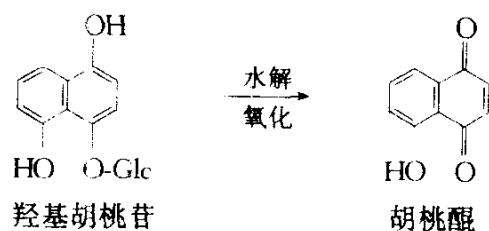


图 1.1 胡桃醌及其前体

在植物和动物的关系中，化学联系的事例就更多了，这也是化学生态学研究较多的方面。植物的防御系统原始的形式一般是运用毛、刺等物理方式，继而合成生物碱等化学物质。化学防御的初级水平是使植物不可口、有苦涩味或难于消化（如富含单宁-蛋白质的结合体）；植物可以合成昆虫的激素物质（如保幼激素），昆虫取食后生长发育会受到影响；植物在花期吸引昆虫来产卵，而在其他时期则拒斥昆虫，这是由于植物在不同时期合成的吸引剂己烯醇（hexenol）和拒斥剂己烯醛（hexenal）的比例不同的缘故。植物与植食性动物（尤其是昆虫）的关系，许多是化学上的协同进化关系，昆虫的取食促进了植物的防御化学物质的发展和分化，而植物的有毒成分也促使昆虫发展解毒和适应机制。

在遭到昆虫为害或病原菌侵染后，植物可以增加原有防御物质的浓度或合成新的化学物质，这种现象叫做诱导抗性。诱导抗性是比较常规抗性更有效和节省的防御方式。植物遭受为害后，可以释放出特有的挥发性气体，用以吸引害虫的天敌。

昆虫之间的化学联系是目前研究最为详尽的。昆虫可以通过释放微量的化学物质，招引异性、告警、标记路径和巢穴，并能影响其他同种个体的发育和行为。

有相当一部分水生生物利用化学物质进行防御或相互联系。有些海洋动物利用毒物麻醉或毒杀猎物，而更多的水生生物则利用化学信息寻找猎物、躲避敌害等。

高等动物（包括人）也不例外，利用唾液、尿液、汗液或其他分泌物的气味相互影响。

从以上的例子我们可以看出，化学生态学所涉及的生物范围十分广泛，包括生物界的各个类群，从低等微生物到高等植物，从无脊椎动物到高等动物（包括人），从水生环境的生物到陆生生态系统的生物。可以这样认为，生物间的化学关系是自然界的普遍规律。

1.2 化学生态学的历史和发展

1.2.1 化学生态学产生的社会和技术背景

昆虫学家法布尔早就注意到雄蛾能够远距离找到雌蛾，可能是化学物质在起作用。

然而,长期以来,人们对生物间化学联系的认识只是感性的,而且是笼统和模糊的。化学生态学作为一门独立的学科,是20世纪五六十年代人们对人类行为所造成的生态和环境后果进行反思的结果,是社会的需要和技术的成熟催生了这门学科。

人们始终在与病虫害做斗争。原来人们利用简单的化学防治方法如草木灰、油、砷、汞、硫磺、沥青等控制病虫害(张宗炳,曹骥 1990)。20世纪40年代,DDT的出现引发了害虫防治的第一次革命,加上其他有机农药的发展和应用,消灭了许多农林害虫,人们由此认为害虫的问题已经解决,但是,有机农药的广泛应用导致了人畜中毒、害虫抗性、环境污染和残留,以及害虫再度猖獗等问题的出现。1962年,Carson出版了著名的《寂静的春天》(*Silent Spring*)一书,描述了春天没有鸟鸣、一切归于肃杀的景象。于是,人们开始进行反思,开始重新审视自然界。人类认识到,必须摆正自己在自然界中的位置。人是自然界的一员,只有尊重自然规律、按自然规律办事,才能与大自然协调和睦相处,才能有人类自己的发展和进步。其实,人在地球上出现的历史才不过几百万年,其他生物的进化历史都比人类要长得多,它们在与自然环境的斗争和协调中,发展出了许多适应机制,其中有许多方面值得人类借鉴。人类应当向自然学习,“以自然为师”。生态学家日益认识到化学物质,尤其是次生物质在生物间相互关系中的作用。既然生物间的化学联系是一种普遍规律,人们就应当对这些现象、规律和机制进行研究,从而缓解人类与自然界的矛盾,解决已经存在的环境问题,进而为经济和社会发展服务。这是化学生态学产生的社会需要。

化学生态学的产生还需要技术条件。因为自然界的化学联系所利用的化学信号物质都是极其微量的,一般都是毫克(10^{-3}g)或微克级(10^{-6}g)水平,昆虫的性信息素甚至可以达到纳克(10^{-9}g)和皮克级(10^{-12}g)水平。只有到20世纪50年代末气相色谱和液相色谱的出现,才有可能对如此微量的化学物质进行精确分析。另外,要研究自然的化学物质对生物的作用及生物感受器官、神经系统和行为对信息化学物质的反应,电生理仪器、电子显微镜和生物测定设备是必不可少的技术保证,尤其是触角电位技术(EAG)、气相色谱触角电位联用仪(GC-EAD)、风洞,研究刺吸式昆虫取食行为的刺吸电位技术(EPG)等,更是开展化学生态学研究不可或缺的工具。

1.2.2 学科的发展

从上述可以看出,化学生态学是在社会需要和技术保证的大环境下,由化学家和生态学家协同发展起来的(管致和 1991)。1966年,法国化学家Florkin就在《分子在适应性与系统发生中的作用》中指出,“在生物化学的连续网络中,有一种明显的分子或大分子流,它们携带着一定量的信息。”1970年,美国的Sondheimer和Simeone主编出版了第一本《化学生态学》,而化学生态学的规范化定义,则是由法国化学家Barbier(1976)在《化学生态学导论》(*Introduction to Chemical Ecology*)一书中形成的。他认为化学生态学是“研究活着的生物间,或生物世界与矿物世界之间化学联系的科学”。Barbier认为,化学生态学是最完整的生态学,有点类似于生物群落学,因为它涉及了种内和种间的关系。

根据几十年的研究内容和学科发展,作者认为,化学生态学应当定义为:化学生态学属于生态学的分支,是化学和生态学的交叉学科,研究生物间的化学联系规律及其机