



生态学热点研究丛书

植物分子 生态学

阮成江 何祯祥 周长芳 编著



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

生态学热点研究丛书

植物分子生态学

阮成江 何桢祥 周长芳 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

植物分子生态学/阮成江,何祯祥,周长芳编著.
北京:化学工业出版社,2005.2
(生态学热点研究丛书)
ISBN 7-5025-6502-7

I. 植… II. ①阮…②何…③周… III. 植物生态学:分子生态学 IV. Q948.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137197 号

生态学热点研究丛书

植物分子生态学

阮成江 何祯祥 周长芳 编著

责任编辑:夏叶清 曾照华

文字编辑:孔 明

责任校对:李 林

封面设计:于剑凝

*

化学工业出版社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 16½ 字数 283 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6502-7/X·574

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《生态学热点研究丛书》编委会名单

主任 钦 佩

编委 李建龙 刘茂松 钦 佩 阮成江

孙书存 唐建荣 田兴军 杨达源

杨家兴 赵福庚 周文宗

序

生态学是研究生物与环境关系的一门科学。自从生物在地球上出现就与环境有着紧密的联系。人们在长期的生产和生活实践中，早已注意到这种关系，并自觉或不自觉地运用这种规律来指导自己的行动。尽管朴素的生态学思想早在公元前 2000 年就已见诸于古希腊和中国的著作和古歌谣中，但是只是到了 20 世纪的中叶，随着生产的需要和生物学、地理学的发展，生态学 (Ecology) 才作为一门研究生物与环境相互关系的科学登上历史的舞台。生态学是一门多源和多分支的学科。生态学发展的初期在学科上分化为植物群落学、动物生态学，并结合生产部门的特点形成了一系列分支学科。这些学科有的冠以生态学的名称，有的甚至没有用生态学的名称，然而它们却实实在在地进行着生态学的工作，并成为农学、林学、畜牧和渔业的应用基础。

生态学的发展进一步加深了生物与生物间以及生物与环境间认识的深度，并将其提高到整体性和系统性的高度。在 20 世纪 30~40 年代，在生态学界和地理学界几乎是不约而同地提出了一系列的学说和术语来表达这种相互作用的整体。其中，Tansley (1935 年) 提出的生态系统 (Ecosystem) 概念得到了广泛的接受。这一概念的应用和发展不仅把生态学推向系统研究的新高度，同时也为认识和解决当代的环境问题进行了理论准备。而 Linderman (1942 年) 对于营养动力学的贡献为生态学的研究提供了定量化的途径与手段，使生态学脱离了其起源的多种学科而建立起自己的理论和方法体系。20 世纪 50 年代以来，Odum (1953 年，1993 年) 进一步发展了生态系统的概念并极大地丰富了生态学的内容，使其发展成为一门新的学科分支，即系统生态学。虽然生态学在 20 世纪中叶以前，在理论和实践中都进行了大量工作，但直到 20 世纪中叶，生态学仍是生物科学中的一门不受人们注意的学科，甚至对这一学科的存在有着一些争议。

20 世纪 60 年代以后，世界上人口、资源与环境等全球性问题日益激化，这些当今社会所面临的重大问题，无法用传统的线性思维方式来解决，而生态学的系统研究理论及其所固有的非线性思维方法正是这一危机的解毒剂。生态学在投身解决社会问题的过程中，逐渐摆脱了其产生时的狭隘的学科局限和传统的研究范围，生态学已不再像一度被人们所指责的那样，是一门“不食人间

烟火的”、只会说“No”的、“批判的学科”。它不仅在理论和方法方面，而且在研究对象的范畴、规模和尺度方面都有了新的发展，生态学已经引人注目地成熟起来。它已经从一门描述性的学科发展成为一门崭新的、结构完整的、量化的学科，并向预测性科学扩展。运用生态学的基础理论、定量的测定方法、建模技术以及系统分析等方法来解决自然界和社会面临的迫切问题，以崭新的面貌出现在现代科学的舞台，展现出蓬勃的生机。在解决当前社会问题时，生态学的作用不单纯是作为一个学科参与其过程的探索，并寻求解决方案，其作用还在于它为科学和社会之间架起了一座桥梁。在此过程中生态学也得到了长足的发展，超越了作为其起源的生物学范畴而成为研究生物、环境、资源及人类相互作用的基础和应用基础科学。尽管目前对生态学范围的界定和学科体系方面还存在着一些争议，但这是一个发展中科学的必然具有的特点，丝毫不能否定生态学过去和现在所起的其他学科难于比拟的作用和人们对这一学科未来发展的信心。

在科学自身发展和社会需求的背景下，当前生态学呈现出一系列新的特点，突出的表现在：生态学研究内容的重新定位和研究对象的不断拓宽；学科之间相互融汇与新分支学科的不断产生；从研究结构发展到研究功能和过程；从局部孤立的研究向整体网络化研究发展；研究方法的现代化、定量化和信息化。

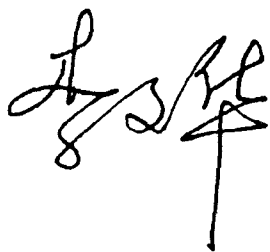
我国生态学发展的历史较短，与国际生态学的总体发展水平还有较大差距。另一方面，我国又是一个发展中国家，短期中对科学的投入还不能有大幅度增加，因此在一段时期内只能实行有限目标。根据国际生态学的发展趋势，从我国国情和生态学实际研究水平和条件出发，选择与发展我国经济，保护生态环境有最密切关系的，并且在一段时期可做出明显成绩并进入国际先进行列的领域和课题为重点，集中研究优势，逐渐形成具有我国特色的生态学，并造就一批进入国际先进行列的生态学研究的杰出人才。

为此，应该着重注意下面几个方面：进一步加强生态学人才的培养和生态实验手段的建设；组织动员各部门、各系统的通力合作；提高全民族、全社会的生态意识，增强决策和管理人员的生态认识；生态学研究必须以为社会建设服务作为指导思想，紧密结合我国生态环境实际，使之成为经济建设决策的好参谋，真正转化为生产力；加强生态学研究和教育的协调，发挥学会作用，加强国际国内学术交流；积极发挥国家自然科学基金支持生态学应用基础与基础研究课题的作用。

基于上述，有理由认为只要我们能立足中国、放眼全球；进一步发展宏观尺度的成果，加强向宏观和微观水平的开拓；注意基础理论和研究方法的创

新、研究手段的改善以及对传统经验的总结和提高；瞄准学科的国际前沿，加强对交叉学科的研究，就一定有可能逐步与国际接轨，并建立起具有中国特色的生态学，为我国经济建设和社会发展做出应有的贡献。

我很高兴地看到南京大学钦佩教授组织南京大学和南京师范大学的生态学家，特别是教学科研第一线的中青年学术骨干编写出版“生态学热点研究丛书”。这套丛书聚焦了生态学热点研究领域，不仅跟踪了学科前沿的发展动态，而且还凝聚了作者多年来教学中的积淀和长期积累的科研成果。丛书的出版适应了当代生态学发展的需要，对于综合性大学、师范院校、农林院校有关专业本科生、研究生及教师具有重要的参考价值，亦可作为有关管理部门和科技工作者的参考书。丛书的出版也为我国生态学的发展做出了重要贡献，作为中国生态学会的理事长，我向丛书的主编、作者以及化学工业出版社表示衷心的祝贺与真诚的感谢。

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes. The characters appear to be '李华' (Li Hua).

2004 年 2 月 6 日于北京

丛书前言

由于人类活动加剧与全球气候变化的交织作用，导致地球表面各类生态系统大幅度退化，如森林锐减、沙漠扩展、湿地干涸、海平面上升等等。由此引起全球范围内生物多样性的急剧下降，生态系统高价值功能的丧失，灾害不断，疾病肆虐，人类深深感受到生命支持系统的紊乱与恶变对自身健康与安全的威胁。

面对种种挑战，人类愈发瞩目于链接生命支持系统与人类本身的生态学的进步与发展，期望从这门科学中寻求遏制退化、根治痼疾的理论、路线、策略与方法。生态学不负众望，在环境的胁迫和呼唤中得到旷世的发展。尤其是近半个世纪来，生态学的分支与交叉领域不断应运而生，热点研究此消彼长。

科技的进步与社会的发展使全球一体化与多样性并存，越来越多的点、面问题发生连锁反应，最终在全球范围爆发；而许多全球变化又引发了形形色色的区域性反应。因此，许多学科的视角都聚焦在全球变化与区域响应，生态学科也十分重视这一宏观研究方向。从空间序列与时间序列上探讨全球变化所引起的地域反应特征是本书《全球变化与区域响应》专著的主要内容。

面对生态系统的严重退化，其恢复、修复与重建为众人所关注。生态系统恢复的重点主要是恢复其功能，有关生态恢复原理与模式的研究炙手可热。本书的《恢复生态学》涉及的主要内容有：基于群落演替理论的亚热带常绿阔叶林的生态恢复；植物种群更新与温带针阔混交林生态恢复；基于流域管理的湿地生态恢复；土壤改良与采矿废弃地的生态修复；物种分子改造与盐土农业建设；温带落叶林生态恢复的景观生态学原理；山地生态系统的生态恢复过程等。

保护生物学与保育生态学研究的重点是生物多样性的保护。生物多样性下降宏观的内容包含着物种多样性的下降，生境数量的下降和生境变迁；微观的内容则指遗传多样性的下降。其后果直接危害地球生命支持系统，最终危害人类自己。本书的《生物多样性及其保护生物学》将应对这一变化现状，从生物多样性的概念入手，介绍生物多样性的价值、动态变化、多样性的现状以及生物多样性的保护。

信息技术的发展使生态学的触角从定点到区域的尺度转换中游刃有余，推

动了信息生态学和景观生态学的快速发展。本丛书的《信息农业生态学》在阐明信息生态学的基本理论和技术之后,重点介绍了信息生态学在精确农业和高光谱农业方面的应用与延伸,对农业现代化有很好的指导与示范作用。

《景观生态学》主要从景观的组成、结构、功能、动态、评价、规划、管理、保护等方面系统地介绍了景观生态学的基本原理、研究方法、相关技术及其应用,以及目前该领域的最新成果,尤其在生态规划与设计、景观保护与生态伦理方面有独到的阐述与新意。

世界大约 1/3 以上的城市人口居住在距离海滨 60km 以内的范围。海滨生态系统是海陆两相的过渡带,具有活跃的物流、能流和高生产力;但是,自然因子急剧的梯度变化和脉冲式的强劲输入使该系统处于脆弱状态;人为干扰给该系统带来的危害更大。本丛书的《海滨系统生态学》介绍了海滨生态系统的特征、类型、进化及其对全球变化的响应,强调了海滨生态系统的保护与管理,展示了海滨生态系统的利用前景,明确了其可持续发展的方向。

可持续发展战略的重要操作手段是向自然投资。其中涉及有关生态经济学的理论和方法在本丛书的《生态经济学》中给予充分的阐述和介绍。书中的大量案例分析将使读者从深入浅出中获益不菲。

生态产业是利用生态经济学原理和产业生态学理论组织起来的基于生态系统承载能力、具有高效的经济过程及和谐的生态功能的网络型、进化型产业。本丛书的《生态产业与产业生态学》将食物链理论与方法应用于生态产业研究,从新的角度透视了产业生态学和生态产业的设计原则和基本类型,为可持续发展提供了具体手段,颇有新意。

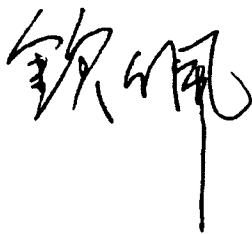
环境胁迫给生物带来压力,也造就了物种的逆境生理过程。本丛书的《植物逆境生理生态学》是从个体水平研究植物在极端环境条件包括生物逆境和非生物逆境下体内生理生化变化、适应性及其反馈机制的专著。首先从不同层次上概述植物与环境的相互关系,环境生态学分析与生态适应性,然后分别就影响植物的环境因素,包括生物因素,指植物之间、动物及病原微生物的影响;非生物因素,重点介绍光损害作用、盐逆境、重金属铝毒害,以及热胁迫下高等植物体内发生的一系列应激反应机理,此外还介绍了在植物抗逆性中起到重要作用的生理活性物质多胺的生理生态功能。

微生物功能群在不同的生态系统中发挥着重要功能,对系统的稳定与发展起着不可替代的作用。本丛书的《微生物生态学》在阐述了研究理论与方法后,着重介绍了微生物在不同生态系统中的功效,对许多应用领域具有很高的参考价值。如微生物在能源开发、清洁生产中的作用;在石油开采、石油和煤炭脱硫、生物制浆、可降解塑料生产中的作用;在环境保护、环境修复与环境

治理中的作用；在矿产形成及生物冶金中的作用；以及微生物生态学在农业、医学、水生生物学中的应用。

生态学的发展从宏观尺度上面向景观、区域和全球化方向；微观尺度则深入到分子生物学领域的基因层面，发展成交叉学科分子生态学。本丛书的《植物分子生态学》以崭新的面貌论述了植物分子生态学的基本理论、研究方法，反映了国内外的研究进展。从个体识别、个体间遗传关系到个体行为；从物种遗传多样性、物种保护到生态遗传学，从重组生物的生态安全性到植物分子生态学今后的发展前景，在分子水平、个体水平、群体水平和生态系统水平的不同层次上对植物分子生态学有较为完整的认识。

本系列丛书是作者在百忙之中完成的。夜空之中，远处有几点荧荧之光，或许是星星，或许就是我们的作者仍在伏案写作，为了核实一个数据，廓清一个观点，熬通宵是常事。为此，我感谢我的同事们——丛书的作者呕心沥血为读者呈上尽量完好的科学文字的敬业精神！同时，也要对读者说一句：本系列丛书是生态学热点研究丛书，而并非生态学的全套分支学科系列丛书，如果由于丛书总体框架设计之缺憾给读者选择参考带来不便，本人表示致歉；而每本书由于编撰匆忙所造成内容的疏漏与不足，我则代表作者表示歉意，并请读者不吝赐教。



2004年4月18日

前 言

生命科学研究的主要目的是揭示生命活动的基本规律。生命的存在与其特定的环境密切相关。环境对生命活动的影响作用于生命的不同层次。长期以来,生态学研究在个体、种群、群落以及生态系统等不同层次上对生物与环境之间的相互关系的方面进行了研究并取得了长足的进展。分子生物学作为一门微观基础学科和技术,已经渗透到生命科学的各个领域。尤其是近20年来,分子生物学无论在基础理论还是在技术开发应用方面均取得了突飞猛进的发展,特别是聚合酶链式反应(polymerase chain reaction, PCR)技术的产生和完善,使分子生物学不断向生物科学的各个领域渗透。这些技术的出现使生态学家能够用分子生物学的方法来解决用其他方法难以解决的问题,而分子生物学家也尝试用自己的理论和技术来解决一些生态问题,这种结合就促成了分子生态学的诞生。

英国生态学学会主办的国际性杂志《分子生态学》于1992年创刊,它是分子生态学正式诞生并得到科学界认可的一个重要标志。在发刊词中,Burke博士等(1992)指出分子生态学是应用分子生物学为生态学和种群生态学各领域提供革新见解。分子生态学的理论与方法应用于生态学研究,为生态学带来了从宏观到微观全方位的蓬勃发展。

2003年,美国北卡州立大学著名教授Michael Purugganan和Greg Gibson在总结分子生态学发展的一篇文章中说:“……今天,我们正站在一个十字路口。大量事实证明分子生物学家能够揭开许多生理、发育、甚至有时是表现生物体生命特征的行为过程背后的分子机制。现在正是生态学家有效地利用这些信息去进一步洞察有关生物体生态学的本质的时候。我们该怎样着手做这件事呢?这个问题没有一个惟一的答案。目前还没有单一的分子生态学整体方案,但正是这些方法的多样性使得它成为一项有趣的事业。”这正是我们几位作者想通过本书将我们自己在学习和从事研究中的一些体会和初步结果与读者进行交流的动机。由于分子生态学正在发展过程中,许多试验结果和理论知识需要逐步总结。虽然国际上已经出版了几本有关分子生态学的书籍,如《Molecular Approaches to Ecology and Evolution》、《Molecular Methods in Ecology》、《Molecular Ecology and Evolution: Approaches and Application》、《Advances

in Molecular Ecology》和《Introduction to Molecular Ecology》等，但尚未见到专门讨论植物分子生态学的书籍。

俗话说“万事开头难”，我们几个也只是刚刚涉足分子生态学的年轻人，刚开始真不知从何下手，也想过放弃。但是在南京大学钦佩教授的多次鼓励和全力支持下，我们克服重重困难，经过近一年的努力，终于把拙作完成。在此向钦佩教授表示深深的谢意。作者们还要感谢化学工业出版社，特别是编辑们的辛勤劳动以及一丝不苟的工作作风，由于他们的帮助才使本书以最好的风貌呈现给读者。另外，对所引用的大量文献的作者表示最诚挚的谢意。

本书基本上采纳了《分子生态学》杂志的框架，将该杂志主要关注的领域进行分类整理成八章内容。其中第一、三、五、六章由阮成江博士撰写；第四、七、八章由何祯祥博士撰写；第二章由周长芳博士撰写。由于种种原因，还有一些重要内容如转基因植物的风险评估等没有纳入，只有等待以后再版时补充。

本书在内容选择和撰写上偏向于介绍植物分子生态学的研究结果，所阐述的崭新内容对从事植物分子生态学的科研人员以及生态学专业的本科生和研究生具有一定的参考价值。虽然我们已经全身心地投入并尽了最大的努力，但是我们深深感到由于才疏学浅以及时间的紧迫，书中一定存在不少错误，还请读者匡正，以便在下一版中修正。

作者

2004年10月 于南京大学

内 容 提 要

本书是生态学热点研究丛书之一，论述了植物分子生态学的基本理论、研究方法，反映了国内外的研究进展。全书共八章，从个体识别、个体间遗传关系到个体行为，从物种遗传多样性、物种保护到生态遗传学以及植物分子生态学今后的发展前景，使读者在分子水平、个体水平、群体水平和生态系统水平的不同层次上对植物分子生态学有较为完整的认识。

本书可作为综合性大学、师范院校、农林院校有关专业本科生、研究生及教师使用的参考书，亦可作为有关科技工作者的参考书。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 分子生态学的概念	1
一、分子生态学的产生	1
二、分子生态学的概念	2
第二节 分子生态学的研究内容和研究方法	4
一、分子生态学的研究内容	4
二、分子生态学的研究方法	5
三、分子生态学的意义与应用	6
第三节 当前分子生态学的研究热点和展望	9
一、当前分子生态学的研究热点	9
二、分子生态学的展望	11
参考文献	14
第二章 植物分子生态学研究方法	15
第一节 分子标记及其发展概况	15
第二节 分子生态学研究中的常用工具	17
一、蛋白质标记	17
二、Southern 杂交	19
三、DNA 分子标记	19
四、线粒体 DNA	25
五、DNA 序列分析	26
参考文献	27
第三章 植物分子行为生态	29
第一节 花粉散布和种子传播	29
一、花粉散布	30
二、种子传播	35
第二节 克隆结构	36
一、美国橡树 <i>Quercus geminatar</i> 的克隆结构	37
二、日本矮竹 <i>Sasa senanensis</i> 的克隆结果	38

第三节 斑块的形成及其遗传多样性	40
一、斑块的建立和发展	40
二、斑块间和斑块内的遗传多样性	43
第四节 植物繁殖方式的分子鉴定	45
第五节 杂交的分子鉴定	46
一、杂交的分子鉴定	48
二、外来种与本地种间杂交的分子鉴定	54
三、杂交种鉴定	57
参考文献	58
第四章 种群分子生态	63
第一节 种群的基本概念	63
第二节 种群分子生态发展和几个基本概念	64
一、有关种群分子生态发展的主要事件	64
二、种群分子生态的几个基本概念	66
第三节 天然种群的遗传变异	67
一、天然种群	67
二、突变的特性	68
三、突变率	68
四、突变的类型	69
五、种群中突变的检测	70
六、自然选择	70
第四节 种群遗传变异、分化和遗传距离的统计学	70
一、种群分子生态研究中分子标记的选择	70
二、采样策略	71
三、种群内遗传多样性的统计学	71
四、遗传距离	75
五、基因流的估算	76
六、指定检验	77
七、显性分子标记的种群遗传多样性和遗传分化的参数估算	77
第五节 地理隔离和环境胁迫下植物种群的遗传分化	79
一、 <i>Iris hexagona</i> 天然隔离种群	79
二、 <i>Iris hexagona</i> 盐沼岛天然种群的盐胁迫试验	79
三、隔离种群遗传分化的遗传解析	82
四、种群指定检验	96

第六节 原生演替中种群发生的分子解析	97
第七节 种群扩张中遗传多样性生态决定子的分子分析	102
参考文献	105
第五章 分子标记在保护遗传学上的应用	109
第一节 进化显著单元	109
一、进化显著单元的定义	109
二、特征明显种群的诊断	111
三、种群的管理和恢复	113
四、进化显著单元的应用	114
五、进化显著单元研究展望	115
第二节 可操作单元	116
一、空间自相关分析的理论和方法	117
二、空间相关图和可操作单元的定义	118
三、应用实例	120
四、结论	122
第三节 物种保护类别及其分子鉴定	123
一、物种保护类别	123
二、物种保护类别的分子鉴定	126
第四节 三种遗传变异及其在濒危种保护中的应用	128
一、中性变异 (neutral variation)	128
二、有害变异 (detrimental variation)	129
三、适应性变异	129
四、中性变异可作为有害和适应性变异的指示器	130
第五节 有效种群大小和种群大小衰退的分子鉴定	131
一、有效种群大小	131
二、种群大小衰退的分子鉴定	133
第六节 基于遗传资料的遗传多样性和种群保护	135
一、遗传多样性保护	135
二、种群保护	138
第七节 基于遗传多样性的保护策略	139
一、遗传多样性	139
二、遗传差异	141
参考文献	142
第六章 分子进化和系统地理学	146

第一节 分子进化·····	146
一、什么叫分子进化·····	146
二、分子进化的特点·····	147
三、分子进化的动力·····	149
第二节 中性学说及其在分子生态学中的应用·····	152
一、中性学说的主要论点·····	154
二、中性学说的意义及其应用·····	156
第三节 分子钟·····	158
一、分子钟的定义·····	158
二、分子钟建立的程序·····	158
三、分子钟在分子生态学中的应用·····	158
四、分子钟的发展现状和展望·····	159
第四节 平衡遗传多态进化·····	160
一、平衡选择·····	161
二、等位基因数目的进化·····	162
三、等位基因年龄的进化·····	163
四、平衡谱系偏离理论期望·····	166
第五节 物种迁移和侵殖·····	169
一、冰期诱导的 <i>Armeria</i> 高海拔迁移·····	170
二、岛屿分布种 <i>Olea europaea</i> 的侵殖·····	171
三、冰河期后欧洲物种的侵殖·····	172
四、冰河期后榛子 <i>Corylus avellana</i> 的再侵殖·····	174
第六节 基于遗传变异的系统地理学研究·····	176
一、基于遗传变异的东亚红树林植物 <i>Kandelia candel</i> 系统地理学·····	177
二、苏铁 <i>Cycas taitunensis</i> 的系统地理学·····	178
参考文献·····	181
第七章 植物适应性的分子机制·····	185
第一节 植物对光环境适应性·····	185
第二节 植物对盐胁迫反应·····	199
一、植物耐盐的生理学机制·····	201
二、植物耐盐蛋白·····	203
三、植物耐盐基因·····	206
四、耐盐转基因研究·····	208