



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 生态学

常杰 葛滢 编著



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 生态学

S h e n g t a i x u e

常杰 葛滢 编著



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容简介

生态学是一个蓬勃发展的学科。本书根据生态学的发展和运用系统自组织理论,调整了已经沿用 60 余年的教科书体系,将人类因素置于系统之内。这部教材除了系统地阐述原有的生态学基础理论和知识之外,重要的是整理了生态学思维范式,并建立了多层次系统可推理的体系,如系统的自组织调节、系统的经济分析、进化生态学等。本书既注重基本原理,又注重反映前沿,最新资料引用到 2010 年。

本书是本科生、研究生的生态学课程教材,也可供生态、环境管理相关人士参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

生态学/常杰,葛滢编著. —北京:高等教育出版社, 2010.12

ISBN 978 - 7 - 04 - 030570 - 8

I. ①生… II. ①常…②葛… III. ①生态学 - 高等学校 - 教材 IV. ①Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 198250 号

策划编辑 潘超 责任编辑 张晓晶 封面设计 张楠 责任绘图 尹莉  
版式设计 王莹 责任校对 杨雪莲 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 北京鑫丰华彩印有限公司

开本 889 × 1194 1/16  
印张 24  
字数 750 000

购书热线 010 - 58581118  
咨询电话 400 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2010 年 12 月第 1 版  
印次 2010 年 12 月第 1 次印刷  
定价 39.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30570 - 00

## ■ 致教师

就生态学而言,过去的 60 余年是令人振奋的。二战以后,世界在许多基本方面发生了变化,作为这些变化的一部分,生态学中许多基本方面也有了很大改变。

从 20 世纪中期开始,世界经济迅速发展,到 20 世纪的最后 20 年,人类近一半的人口终于不必再为食物、居住问题担忧,并且拥有超出其基本生存所需的物质享受,这是自人类诞生以来第一次出现的大事件。快捷的运输可以使我们在一天之内到达世界各地,使地球另一端的物品迅速到达我们的手中;方便的通讯让我们随意同各地的人们交谈,而互联网络使全球连成一体。这些无疑都是巨大的进步。人类似乎已经真正脱离动物界,成为没有食物和天敌胁迫,同时又随意控制自然的独特物种。

然而,人类在取得上述成就的同时,也付出了巨大的代价。众所周知的是 20 世纪 60 年代开始的环境、资源、能源、人口问题和由此带来的贫穷国家的粮食危机。80 年代以后,发达国家的生态问题已经基本得到缓解,但发展中国家的问题却日趋严重。2007—2008 年爆发了全球性的粮食危机,饥饿人口超过 10 亿。因此,全球生态问题还远远没有解决,甚至也没有明显的缓解趋势。最近 30 多年来,全球环境变化、生物多样性和生态系统可持续发展成为全人类面临的共同问题,如果不及时解决,将危及全人类的命运,甚至是智人这个物种的灭绝!

由于物质世界的巨大变化,人们的期望也在变化。近 30 年来,民众的生态思想越来越强烈,绿党、生态党等生态组织相继成立,并已经在政治上获得了一定的地位。世界性大规模的生态学研究项目越来越多,人类的生态意识越来越强,但不确定因素仍然很多。无论是从各国生态和经济状况,还是从生态学理论和技术水平的发展来看,各新兴工业国家的生态治理都不可能走发达国家生态发展的老路(所有人都已经意识到这是一条引向崩溃的道路),而是要用最新的理论和方法探索未来道路。

在世界经济和技术飞速进步,全球生态问题和对生态学的要求不断增长的同时,生态学这门既古老又年轻的科学也得到长足的发展。生态学已经从 20 世纪初的描述性学科发展成实验和理论并进的成熟学科,在实践上也有了卓越的成就——生态技术、生态工程和生态设计,这些都预示着生态学更为光辉的前景。此外,生物学各分支学科中科学事实的不断发现,自然科学的发展及社会科学乃至人文学科和艺术都为生态学提供了新的理论生长点和应用空间。生态学也同样为上述学科和人类文化做出了贡献,它不再仅仅是生命科学中的一个分支学科,而是已经成为指导人类行为准则的一门科学。

这些都是令人兴奋的问题和事件,每天都见诸于互联网、报纸、杂志和电视广播等各种传媒。作为生态学教师,我们需要向学生传递这种令人兴奋的感觉。回想我 30 年前开始读生态学时,就是被生态学的宏观思路 and 积极因素所激励,从而被生态学深深吸引。然而,目前的教科书却缺乏对新事物和新原理解释和分析,无法使学生具备足够的生态学思维以理解这些时时发生的重要生态事件。当我们阅读相关学科,如经济学和环境科学的教材时,能够感觉到现实世界的变化带来的兴奋和这些学科新的生长点,但阅读生态学教材则往往感觉不到这一点。

当我们进一步思考这个问题时,造成所有这一切的原因变得清晰起来:国内外许多教科书的基本体系是

E. P. Odum 等在 60 年前构建的,它们曾经推动了生态学及相关学科的迅速发展。但该理论框架已经不能全面反映今天的生态学现状。为了解释迅速变化的世界,生态学家理解这一学科的方式已经发生了很大变化,教科书却没有跟上这一步伐。生态学及其相关学科的大量新事实和理论已经无法纳入原有框架中,或者原有的一些理论与现有事实不符。

E. P. Odum 开拓的生态学教科书的功绩在于:它第一次成功地将当时新的生态系统思想作为主导内容,将以前独立的动物生态学和植物生态学结合在一起,且成功地将当时的经济学、数学、物理学等相关学科的最新概念引入生态学中,并对人类社会面临的许多问题给予了关注,为世界发展中已经和将要面临的问题提出了生态学见解。这一生态学教科书体系在生态学的发展中做出了巨大的不可磨灭的贡献。但是,当时的生态学家对于人类应提供调控世界的原理和技术,主动地提供社会服务,还缺乏必要的认识。这个框架在后来便很少吸收新的理论,尽管有些教材增加了景观、生态系统服务等内容,但只是作为以生态系统为核心的知识补充。近几十年来经济学、数学、物理学和系统科学甚至进化科学等相关学科的迅速发展没有继续被生态学教科书敞开心扉地接受,近年来出现的新事物,如城市化、人类驱动下的生物地球化学循环、全球气候变化、人类经济与生态的互动等内容也没有及时纳入生态学框架。生态学在方法、方法论和理论体系方面显得落后,对社会新热点的参与和贡献不足,使得生态学这个与社会经济十分密切的学科未能展现出对公众的强大吸引力。

生态学教科书的这种情况与学科发展现状密切相关:一个半世纪以来,生态学作为一门研究生物与其环境之间关系的科学,已经由早期积极寻找研究对象,转变为在后期跟随研究对象——“自然”的生态系统。然而这些对象在人类的干扰下越来越小,越来越偏远,甚至濒危;处于习惯性的跟随,使得生态学也离人类逐渐远去,生态学的教学对社会的贡献也逐渐减弱,生态领域逐渐被其他学科“入侵”了。最近几十年来,许多生态学家一直试图避开人的情感而“客观”存在,避开社会而独立研究,以保持其清纯的“自然”属性。但地球生态破坏的速度要远远高于自然生态恢复的速度,生态研究的范围远远小于生态影响的范围。在这个拥挤不堪的地球的很多地方,往往是山上保护,山下破坏,局部修复,整体破坏。人和自然脱离,经济和环境脱钩,研究和管理脱节。部分生态学家甚至给生态学圈出地盘,不涉足新领域,也不欢迎外领域的研究者“入侵”。

整个生态学界已经开始认识到这个问题的重要性。美国生态学会 1991 年提出了由全球气候变化、生物多样性和可持续发展的生物圈计划组成的生态学研究新议题,使生态学研究与人类活动的联系更加紧密。但迄今为止,大多数这类研究还只是将人作为外生变量,聚焦在对气候、生物和地球生态系统的自然变化规律影响的探讨上。究竟人是生态系统的外生变量还是系统内的主导因子?生态系统除保护、恢复外可否设计、创建?生态学研究的主要目的是发表科学文章还是推进地球生态系统的可持续发展?生态学只是一门保护性、描述性的生物科学,还是一门建设性、指导性的系统关系学?

由 M. Palmer 等 20 位著名生态学家组成的美国生态学会生态远景委员会 2004 年完成的一个战略研究报告([www.esa.org/ecovisions](http://www.esa.org/ecovisions))回答了这些问题:“我们未来的环境由人类为主体的、人类有意或无意管理的生态系统所组成;一个可持续发展的未来将包括维持性、恢复性和创建性的综合生态系统;生态学注定会成为制定可持续发展规划与决策过程中的重要组成部分;为了更好地开展生态学研究 and 有效地利用生态学知识,科学家、政府、企业界和公众必须在区域以至全球范围内结成前所未有的合作关系,形成一种新型的生态文化”;“长期以来,生态学家一直热衷于对原生生态系统的研究,新世纪的生态学研究将把重点转移到生态系统和人类关系的可持续能力建设上,未来的发展要求生态学家不仅仅是一流的研究人员,而且是决策制定过程中生态信息的提供者”。该报告的简介以“拥挤地球的生态学”为名刊登在 Science 杂志 2004 年第 304 卷上。《生态学与环境科学前沿》杂志 2005 年 2 月出版“生态可持续发展未来之展望”专辑,专门介绍了该报告总纲的详细内容和相关领域的行动方略。

这一报告是划时代的。它代表着生态学在继续深化现有研究领域的同时,正从传统生物生态学向可持续发展生态学、从经院生态学向管理决策生态学、从自然生态学向社会生态学、从恢复生态学向工程生态学拓展。报告中建议的促进生态科学与决策管理的联姻、推进以生态学为基础的科学决策,深化面向可持续发展的多尺度、预测性、创新性、信息化的生态学研究,营建跨领域、跨学科、前瞻性和国际性的生态文化交融氛

围三大战略和相应的行动计划,对经济发展中的城乡环境保护、生态建设有重要的指导意义。报告中的生态服务、生态设计、生态信息和生态文化研究已成为生态学前沿的研究热点。生态学研究和应用领域如此广泛而迅速地拓展,要求生态学的理论框架必须有所发展和升华。同时,在研究和应用中积累的问题、案例和数据,以及交叉学科带来的思想也会促进生态学的进一步飞跃。

作为生态学基础课程的教师,我们感到国内外现有的教科书体系已经不能使学生了解现代生态学的全貌——不能使学生理解生态学家如何考察世界,不能使学生掌握必需的原理以学懂当前的生态问题。当人类已经进入以生态思想为主导的新世纪的时候,我们需要有超越 Odum 框架的、能够反映新时代科技水平和不再落后于其他学科的生态学理论框架。像牛顿力学仍然保留在现代物理学中一样,生态学现有教科书中的大部分内容和基本原理仍然保留在新框架中,如生物与环境关系、种群生态学、群落生态学和生态系统,仍然是生态学必讲的基本内容。但是,如果学生想要充分地理解人类在当前世界中的主导作用,理解人类干预下的新的生态规律,理解经济活动、社会文化和国际政治与生态的相互作用原理,就必须理解以城市核为中心的多种生态系统分工耦合的更大系统——城市与乡村耦合形成的城核系统和生物圈与人类耦合升级而来的全球生命系统。理解新时代的生态学,就必须将人类置于自然之中,就必须从系统科学和进化的角度理解生态学。在学科快速进行结构调整的时候,我们所面临的挑战之一就是如何把新的原理与旧的原理结合在一起,实现生态学的升华。

### 这一版新在何处?

自从我们编写的生态学(浙江大学出版社,2001)在10年前发行之,世界上的许多事情都发生了变化。世界人口在21世纪初超过60亿之后仍然保持较快增长,在可预见的未来50年到100年里将增长到80亿到100亿。2005年《京都议定书》正式生效,标志着人类应对全球问题的共同努力和决心。世界的经济和生态格局在这10年里剧变,在发达国家继续维持高强度资源消耗和污染排放(包括温室气体)的同时,新兴经济国家迅速崛起,特别是2009年的国际金融危机让金砖四国(缩写为BRIC,包括巴西、俄罗斯、印度和中国)浮出水面。带头者中国的增长率最高,GDP增速是世界平均增长率的3倍,已经在2009年超过德国成为世界第一出口大国,2010年即将超过日本成为世界第二大经济体;中国的城市化速度最快,世界上的水泥有一半以上用在中国的土地上,交通运输网络和机动车数量呈爆发性增长。中国人民的生活水平迅速上升,肉、奶的消费量增长了4倍,而蛋类消费已居世界第一。在取得巨大经济成功的同时,中国的环境问题也愈发严峻,创造了多项世界之最:2008年超过美国成为世界第一大温室气体排放国,中国是世界上受酸雨影响最严重的国家之一,有1/4的城市每年至少有60%的雨天下酸雨;占国土面积41%的草地有90%退化,占世界10%的湿地面积在不断缩小,有19%的陆地面积遭受土壤侵蚀,过度放牧、土壤侵蚀、草地退化、土地荒漠化及部分人为造成的干旱又引起更频繁、更严重的沙尘暴;中国化肥消费量居世界第一,占世界化肥使用增长量的90%;3/4的城市人口生活在空气质量劣于国家标准的环境中,水资源短缺和浪费进一步加剧了中国水问题的严重性;过时、低效或污染严重的技术仍然在使用,单位GDP排放远远高于发达国家水平。这导致了空气、水和土地的污染及其他各种形式的环境破坏,生物多样性也受到极大影响。中国比其他主要国家面临着更大的环境挑战。在对142个国家的环境可持续性的评估中,中国排名129!尽管中国国内生产总值和各种产品产量很大,但人均国内生产总值和各种产品的人均产量仍远远低于许多其他国家,中国人均能源消耗量只是美国的1/9和世界平均水平的1/2。尽管中国总生态足迹仅次于美国,居世界第二,但由于中国人口最多,其人均生态足迹低于世界平均水平。这些都意味着,作为中国的学生需要更加关注以人类为主导的生态问题。

近年来国际生态环境合作形式也发生巨大变化。在1997年《京都议定书》制订和谈判期间,除美国以外的大多数发达国家承诺对大气的减排,表现出全球共同遏制气候变化的决心。然而在2010年到期续订的时候,由于美国不参加议定书和全球金融危机、新兴国家快速发展等原因,发达国家态度陡变,哥本哈根会议上演了一出闹剧。生态伦理、生态道德被滥用,甚至沦为生态帝国主义,如碳税问题已经成为一些发达国家遏制发展中国家发展的“新式武器”。虽然中国进口的许多产品、技术、知识和资金是有利于环境且有利于中国发展的,一些进口却对中国环境造成了明显的危害,特别是将污染密集型工业转入中国,其中包括在输

出国属于非法的技术,对中国环境造成了严重损害。与此同时,一些出口损己利人:因为产品出口国外,污染却留在国内,出口贸易是引起中国污染加剧的一个主要原因。中国出口的大部分产品是初级品,其制造过程产生严重污染并耗竭大量的资源。当然,中国也有损害区域和全球的输出,如中国已成为世界上最大的破坏臭氧的气体生产者和消费者,中国的二氧化硫排放居世界前列,来自中国的空气悬浮颗粒同样给区域和全球大气造成影响——来自中国沙漠、退化牧场和闲置农田的污染尘埃和沙土,被吹向韩国、日本、太平洋诸岛并可以在一周内横跨太平洋进入美国和加拿大;中国从热带的木材进口量迅速增长,近几年跃居世界第一;中国人的肉食需求迅速增长所需的进口饲料同样也引发了热带森林的大面积砍伐。这些问题都不是在原来的以生态系统为核心的生态学框架下能够理解的。这说明,生态学必须走出传统模式,为社会做更大的贡献。但与此同时,如何在发展其应用能力的同时,使生态学保持其纯科学性,如何对这些充满现实利益色彩的行为给出以科学理论为依据的、具有长远眼光的综合性分析和判断,是生态学面临的巨大挑战。

生态学常常被认为是研究关系的科学。编写生态学教科书更要涉及极为错综复杂的关系。篇幅有限,而要处理的主题是庞大的。在写作时我们不断地思考:哪些是每一个学习生态学的学生都应该知道的基本原理?哪些是与现实关系最大、最能够说明这些原理的应用范例?

为了写一本简明并使学生倍感亲切的书,我们尝试建立一套推理体系,使学生能够在等级层次系统之间找到共同规律,减少死记硬背。主要表现在:

(1) 自组织系统的思想贯穿整个体系,以加深在多尺度系统中,对生态概念和原理的理解。

(2) 总结出生物与生物之间、生物与环境之间在多个等级层次系统共有的规律,增强生态学的可推理性。

(3) 生态学原理与相关学科的知识和原理在本书中相互映射。

(4) 生态学不仅要给经济发展过程中的环境问题开“诊断书”,而且要开“药方”,甚至“配药”和“临床治疗”。主动为社会服务,被社会认可,并由此获得新的科学问题,而不是处于经济发展的对立面。

必须说明的是,本书是一本入门教科书,而不是一本专著。尽管有新的理论体系,但是生态学的经典原理都保留其中。创新不是专著的独有特征,60年前 Odum 的教科书体系在当时就是对传统理论框架的一次大突破,经济学中萨缪尔森、斯蒂格利茨等的著名教科书也都始于对研究前沿的体现和理论框架的创新。

本书共分三部分、十二章,以横向和纵向两种体系来阐释和分析生态学(图 0-1)。第一部分是生态学轮廓、基本原理、思维范式和学习方法:第一章“绪论”介绍了生态学的概念、生态学研究对象的结构及生态学家如何思考和研究,在最后介绍了学习和研究方法;第二章“生态学的基本原理”预先介绍了在整个生态学中反复出现的一些重要关系和思维范式,如生态作用与反作用、响应与适应等,书中这十大范式是经常提及的,以提醒学生总结共同原理和推理的重要性。第二部分是各等级层次系统结构、过程和功能的展开,包括第三章“有机体系统的结构和过程”、第四章和第五章“生态系统的结构和过程”、第六章“城核系统的结构和过程”、第七章和第八章“全球生命系统的结构和过程”、第九章“种群生态学”。需要说明的是,生物地球化学循环并不是在生态系统尺度发生,而是在多个生态系统之间,在生物群区和全球尺度上,因此这部分放到了全球生命系统中;此外,种群生态被放到本部分的最后一章,是由于从个体到全球的系统都是占有时空、包含理化因子在内的物理系统,连续讲述可以保持推理的连贯,而种群完全是另类系统,不包括理化因子,主要过程是数量动态,相对独立。需要强调的是,第六章城核系统是近年来迅速发展的前沿领域,尽管已经有相当的研究基础,但如果有教师不赞同这一章的提法,可以略过,或让学生选读,而不影响全书的完整性。第三部分是对各等级层次生命系统的共同原理的纵向论述:第十章“多层次系统的自组织调节”将有机体、生态系统、城核系统及全球内稳态(Gaia)作为一个系列进行讨论,同时对干扰、响应、弹性和稳定性也以多尺度对应地进行阐述,目的是使学生建立推理思维;第十一章“生态学中的经济分析”讲述了几个层次的生物生产、人类主导下的经济生产,生态过程中能量物质的流通、分配、效率、污染和平衡等,最后讨论了循环经济和低碳经济、全球责任和发展中国家的发展权;第十二章“多层次系统的进化生态学”将适应的内容作为微进化的基础,包括生态类型、生活型和生态型,行为进化的生态意义,以及生命系统最晚出现的飞跃事件,有助于学生培养寻找普适的、普遍联系的思想方法。

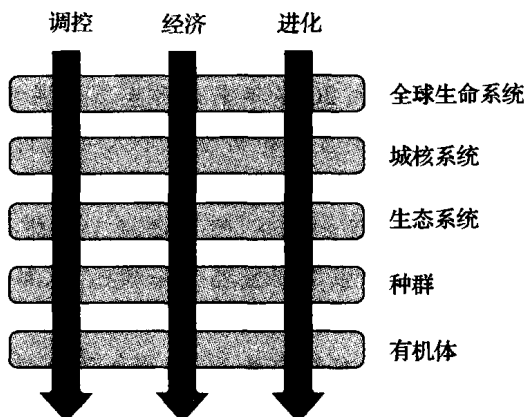


图 0-1 本书中生态学结构的横向和纵向体系

书中一些背景知识及涉及其他学科的知识,用知识框(Box)介绍;案例用小号字排印,以保证文本的连贯,同时也方便学生自己阅读。

## 致学生

欢迎学习生态学。尽管生态学会提出和揭露许多“危机”事件,但生态学所提供的和谐社会蓝图仍然会使你振奋。联合国教科文组织要求把生态学知识普及到每一个人。生态学是使全人类幸福的学问!

“生态学是研究生物与其周围环境相互关系的科学”。19世纪伟大的生物学家 Haeckel(1869)为生态学做出了第一个定义。虽然自从 Haeckel 时代以来,我们对生态了解大大加深,但这个生态学定义依然正确。

为什么 21 世纪的大学生一定要学习生态学?有三个原因。

学习生态学的第一个原因是生态学有助于你了解你生活的这个世界和学会生活得更美好。尽管目前生态学这个名词已经在各种媒体上经常出现,但真正的生态学知识(而不是激进的环保主义者的宣传)还远远没有在大众中普及。有许多问题会激起你的好奇心。一方面,作为一个潜在的新生态学工作者,你学会通过严谨的科学手段观测和分析世界;另一方面,生态学的宏观思维方法也对你从事其他科学研究大有裨益。即使你将来不做科学,仅仅作为自然和社会的一员,你也能够通过本课程的学习学会欣赏大自然的美。当然这还有助于你学会批判身边不利于自然与社会和谐的小节。此外,生态学对某些人特别有帮助,就是可以获得野外生存训练,在极端环境下显示出你的训练有素,在你喜欢的探索和欣赏自然的活动中更好地用生态学知识保护自己。学习生态学不能直接使你在钱财上富有,但它将给你一些努力致富、获得社会地位及受人尊敬的工具。

学习生态学的第二个原因是生态学可以使你更加有力地参与社会生活。生态学中关于长期-短期权衡的思维方式有助于正确的决策。在你的日常生活中,你可以借助这种思维方式做出兼顾的选择。如果你成为教师、机关部门或企业的管理者,生态学中关于多样性的知识也会让你理解社会的多样性,学会宽容和发现并发挥每个人的优点,通过合理的分工合作提高你所管理系统的整体效率。

学习生态学的第三个原因是它将使你更好地理解生态政策的潜力和局限性。一项有利于大多数人健康的生态决策,它的社会经济可行性如何?一项良好的生态技术得以推广,它的社会基础如何?政府和公众在经济发展、生活富裕及环境优美之间不得不进行的权衡的平衡点是什么?如何促进这个平衡点逐步推进到有利于生态-经济-社会的和谐发展?经济全球化带来的生态影响是什么?这些及类似的问题总在市政机关、省长办公室和国家决策者的心中牵挂着。

总而言之,生态学原理可以运用到生活中的许多方面。无论你以后阅读报纸、外出旅行、管理一个部门甚至坐在中南海的办公桌前,你都将会为学习过生态学而感到欣慰!



## ■ 编写和出版说明

目前这本书是我们 30 多年来学习生态学和 20 多年来讲授生态学课程中不断思考的结果。全书的写作是集体智慧的结晶：整个理论框架和思路安排是常杰和葛滢两个人共同讨论、修改、定稿的，但是我们的研究生们贡献巨大。前言、第一、第二章由常杰和葛滢撰写，第三章由朱軼梅负责整理文字和图表，第四章和第五章由王海整理文字和图表，第六章由谷保静撰写大部分、闵勇撰写了一部分文字和组织图表，第七章和第八章由刘冬撰写、整理文字及组织图表，第九章由张培丽整理文字和图表，第十章由谷保静组织、徐昊整理文字和图表、史琰做最后整理，第十一章由吴旭和薛慧撰写大部分文字并组织了图表，第十二章由史琰负责组织并撰写部分文字、嵇浩翔协助整理文字和图表；在纵向线条上，谷保静负责几个尺度系统的氮循环，吴旭负责几个尺度系统的碳循环；在文字校对和图表格式上，韩佳佳、徐希真进行了全部书稿的阅读和清理。朱四喜、王艳、任远、陈正新和任笑一也参与了讨论和校对。在本实验室作研究实践的本科生韩震、陈碧清、管新华也进行了文字校对等工作。

本书的问世得到众多人士的帮助。首先，十分感谢同事陈欣教授和王根轩教授长期使用浙大版《生态学》并对新版提出建设性意见；感谢浙江大学生物科学、生物技术和生物信息 08 级学生，以及 2010 年现代生态学课程的博士、硕士生对新书稿提出的有益意见和进行的文字修改。

本书基本思想的建立得益于作者与许多人的交流，在出版之际深表谢意。他们是：生态学家方精云院士、彭长辉教授、贺金生教授、杨允菲教授，经济学家罗卫东教授、许彬教授，杂家（数学、计算机科学、语言学及其他种种）周昌乐教授，数学教授陈刚、金小刚，系统科学家钟扬教授，以及其他众多的各学科的朋友们。当然，他们只使本书增色，而不对书中的任何错误负责。

本书参考了国内外主要的生态学教材，主要有祝廷成等、孙儒泳等、李博等、李振基等和尚玉昌等编著的国内教材，中华海外生态学者协会（SINO-ECO）、美国生态学会亚洲分会与中国生态学会和中国科学院系统生态重点实验室合作编译的《生态学未来之展望》，以及国外生态学、环境科学和经济学的教材，在此一并致谢！

经济越发展，人与环境关系的和谐越重要。21 世纪的生态学不仅将指导人类生存和发展，而且是人类社会可持续发展的基础和核心。研究和探讨中国生态科学与可持续发展战略，是中华民族生态工作者所肩负的重要历史使命。本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，由高等教育出版社出版。这些资助在保证本书出版费用的同时，也是一种推动，使我们在当今极其繁杂的事务中坚持按时完成了任务。最后，特别要感谢高等教育出版社生命科学与医学出版中心的林金安主任、吴雪梅社长、王莉和潘超等编辑，林主任在本书的基本框架思想一书——《统合生物学纲要》的出版中对新思想的鼓励，策划编辑潘超、责任编辑张晓晶和特约编辑薛秀花十分专业的意见和十分细致的修改和校订，使本书在技术上增色良多。

由于本书对以往体系的改革力度较大，在理论框架和具体内容方面一定存在许多问题，作者诚恳地希望能够得到诸位专家、同行、相关学科学者、使用教材的同学及各位读者的批评指正。

常杰 葛滢

2010 年 3 月于杭州

作者联系地址：杭州市余杭塘路 388 号

浙江大学生命科学学院（紫金港校区）

杭州 310058

电话及传真：0571-88206465, 88206466

E-mail: jchang@zju.edu.cn, geying@zju.edu.cn

■ 前言 .....	I	范式五、生态作用有质、量和持续时间 三种基本形式 .....	19
■ 第一章 绪论 .....	1	范式六、生命系统对生态因子量的响 应有低、适、高三基点 .....	20
第一节 了解生态学 .....	1	范式七、生态关系中的限制因子、主导 因子和驱动因子 .....	21
一、生态学的内容与学科特点 .....	1	范式八、生态因子分为非生物因子与 生物因子两大类 .....	21
二、生态学的分支学科及与其他学科的 关系 .....	2	范式九、多样性与同一性是表象与 本质的对立统一 .....	22
三、生态学与环保组织对世界理解和 行动上的差别 .....	4	范式十、生命世界中普遍存在着 S 形 曲线 .....	22
第二节 理解生态学 .....	5	第二节 生命系统自组织的生态学 原理 .....	23
一、从分子到全球——螺旋形的等级 层次结构 .....	5	一、等级层次系统理论和生物系统谱 .....	23
二、可推理的生态学——生物系统 周期表在研究方法论上的意义 .....	6	二、生物系统谱一级结构的意义 .....	24
第三节 像生态学家一样思考 .....	7	三、生物系统谱二级结构的属性 .....	24
一、作为科学家的生态学家 .....	7	四、基于生物系统周期表对等级层次 系统的定位和预测 .....	27
二、作为政策顾问的生态学家 .....	9	第三节 生命系统与环境的基本方面 .....	31
三、直接提供社会服务的生态学家 .....	9	一、环境的基本概念 .....	31
第四节 学好生态学 .....	10	二、环境的类型 .....	32
一、生态学的思维训练 .....	11	三、生态因子的类型 .....	33
二、如何面对互联网上的信息 .....	14	四、系统边界 .....	33
三、学会制作图表 .....	14	五、生态学中的复杂性 .....	33
四、运用基本原理解答生态问题 .....	15	六、模型的意义 .....	33
五、善用模型分析生态问题 .....	16	■ 第三章 有机体系统的结构和过程 .....	35
六、有效使用本教科书 .....	16	第一节 生物有机体的外貌和结构 .....	35
■ 第二章 生态学的基本原理 .....	17	一、有机体的外貌 .....	35
第一节 生态学中的十大基本范式 .....	17	二、有机体的基本结构 .....	36
范式一、生态学的五大认识论原则 .....	17	三、骨骼的生态意义 .....	37
范式二、生态因子对生命系统作用的 五个基本特点 .....	18	四、生物体外貌和结构的生态学意义 .....	38
范式三、生命系统的结构、过程和 功能三个基本属性 .....	18	第二节 有机体的生长和发育 .....	40
范式四、生物系统与环境有作用、适应 和反作用三种基本关系 .....	19	一、营养生长的一般过程 .....	40

二、植物与动物生长方式的异同	42	一、生态系统中的光照格局及其与生物的关系	85
三、植物与动物发育方式的多样性	43	二、生态系统中的温度及其与生物的关系	88
四、生物体的衰老和死亡	44	三、生态系统中的水因子及其与生物的关系	92
五、生物体的繁殖	45	四、生态系统中的空气因子及其与生物的关系	94
第三节 有机体系统中物质和能量的生物化学循环	45	五、生态系统中的土壤因子及其与生物的关系	96
一、生物体摄取营养的方式和类型	46	六、盐与生物的关系	98
二、植物体的能量和物质收支	47	七、生态系统中的小气候及其与生物的关系	99
三、动物体的营养和能量代谢	52	八、环境污染	100
四、物质和能量在有机体内的运输、分配和存储	55	第二节 生态系统中的营养关系	101
第四节 生物体中的信息流	58	一、生态系统中的功能群	102
一、生物体对环境的感应	59	二、食物链	103
二、激素在信息传递中的作用	59	三、营养级和生态金字塔	106
三、神经在信息传递中的作用	60	第三节 生态系统中的生态循环	108
第五节 生物体的行为	61	一、生态系统中的能流途径及特点	108
一、本能行为	61	二、生态系统能流模型	109
二、学习行为	62	三、生态系统中能流强度的时空分异	110
三、行为事件	64	四、生态系统中物质的生态循环	111
四、学习行为的生态意义	68	五、生态系统中的信息流	116
第四章 生态系统 I:群落生态学	69	第六章 城核系统的结构和过程(选读)	118
第一节 生态系统的空间结构和时间动态	69	第一节 城核系统的空间结构和时间动态	118
一、生物群落的外貌	69	一、城核系统的外貌	118
二、生物群落的边界和水平结构	70	二、城核系统的水平结构	118
三、生物群落的垂直结构	70	三、城核系统的垂直结构	120
四、生物群落的时间动态	72	四、城核系统的网络结构	121
第二节 生态系统的生物结构组分	73	五、城核系统的时间动态	122
一、群落中结构性物种的地位类型	73	第二节 城核系统的功能组分	122
二、群落中非结构性物种的地位类型	73	一、初级生产生态器	122
三、群落中物种的数量特征	74	二、高级生产生态器	126
四、群落中物种的多样性	75	三、分解生态器	127
第三节 生态系统的生长和发育	78	四、调控生态器——生态核	129
一、生态系统的生长	78	五、生态质——生命支持系统	129
二、生态系统的发育	79	第三节 城核系统的生长和发育	129
三、生态系统的变态——生物群落的演替	79	一、城核系统的生长	130
四、影响生态系统发育的主要因素	84	二、城核系统的发育	133
第五章 生态系统 II:生态关系	85		
第一节 生态系统中非生物组分与生物的关系	85		

三、影响城核系统生长和发育的因素 ·····	135	一、全球生命系统的能量收支 ·····	181
<b>第四节 城核系统中能量物质的经济生态循环</b> ·····	136	二、能量在全球生命系统各组分之间的 流动与转化 ·····	182
一、经济驱动下城核系统中的能量流 ·····	136	三、全球生命系统中的有害能量 ·····	185
二、经济驱动下城核系统中的物质流 ·····	138	<b>第二节 全球生命系统中的生物地球     化学循环</b> ·····	186
三、人类主导的信息流 ·····	145	一、生物地球化学循环的一般特征 ·····	186
<b>第五节 城核系统中的生态系统服务</b> ·····	146	二、全球水循环 ·····	187
一、生态质的服务 ·····	147	三、全球营养物质的气体型循环 ·····	189
二、生态器的服务 ·····	148	四、全球营养物质的沉积型循环 ·····	199
三、生态核的服务 ·····	148	五、全球有毒有害物质的循环 ·····	202
四、和谐社会 ·····	149	六、全球物质循环与能量流的关系 ·····	205
<b>第七章 全球生命系统 I :生物圈生态学</b> ·····	150	<b>第三节 全球生命系统中的生态     系统服务</b> ·····	205
<b>第一节 全球生命系统的空间结构和     时间动态</b> ·····	150	一、生物群区的生态系统服务 ·····	205
一、全球生命系统的外貌 ·····	150	二、区域、国家与城核系统间的 互补服务 ·····	208
二、生物圈的结构——生物群区和生态 系统分布的地带性 ·····	151	三、全球生命系统的可持续发展 ·····	208
三、全球主要生物群区 ·····	152	<b>第九章 种群生态学</b> ·····	210
四、全球主要生态系统的地带性分布 ·····	152	<b>第一节 种群系统的空间结构</b> ·····	210
五、全球主要非地带性植被 ·····	156	一、种群的空间特征 ·····	210
六、中国陆地生态系统的分布与特点 ·····	156	二、种群的遗传结构 ·····	212
七、人工生态系统 ·····	156	三、种群的年龄结构 ·····	213
八、全球生命系统中各组分间的关联 ·····	157	四、种群的性别结构 ·····	214
九、全球生命系统的时间动态 ·····	157	五、种群的社会结构 ·····	217
<b>第二节 全球生命系统的非生物组分     ——生命支持圈层</b> ·····	158	<b>第二节 理想状态下种群内个体的数量     动态</b> ·····	218
一、全球系统中的光照 ·····	158	一、理想状态下的种群增长的模式 ·····	219
二、全球生命系统中温度的大尺度格局 ···	159	二、种群的衰落和灭亡 ·····	226
三、水圈 ·····	160	<b>第三节 真实世界中种群内个体的数量     变动</b> ·····	226
四、内层大气圈 ·····	162	一、自然界中的种群增长 ·····	226
五、土壤圈 ·····	162	二、真实世界中种群内个体的数量变化 ···	227
六、全球的气候带与气候区 ·····	163	三、种群稳定的机制 ·····	232
七、有毒有害物质的大尺度影响 ·····	166	<b>第四节 多种群相互动态</b> ·····	243
<b>第三节 生物多样性</b> ·····	168	一、种间竞争 ·····	243
一、全球物种区系及多样性格局 ·····	168	二、捕食 ·····	249
二、全球生命系统中的生态系统多样性 ···	171	三、食草 ·····	252
三、景观多样性 ·····	177	四、寄生和拟寄生 ·····	253
四、多样性保护 ·····	178	五、共生与合作 ·····	255
<b>第八章 全球生命系统 II :生态过程</b> ·····	181	六、附生 ·····	256
<b>第一节 全球生命系统中的能量流动</b> ·····	181		

<b>第十章 多层次系统的自组织调节</b> .....	257	<b>第四节 全球生命系统中的生态-地学-经济过程</b> .....	319
<b>第一节 生物有机体的自我调控</b> .....	258	一、全球生物生产力 .....	319
一、有机体系统的内稳态 .....	259	二、全球经济生产力及其时空分布特点 .....	321
二、环境胁迫的生态作用与生物响应 .....	263	三、生态足迹 .....	322
三、生物体对环境胁迫的适应 .....	265	四、经济驱动下的全球温室气体释放 .....	323
四、生物体行为的调控意义 .....	266	<b>第五节 生态-经济调控政策和制度</b> .....	326
<b>第二节 生态系统的自我调控</b> .....	267	一、公共事物悲剧及解决策略 .....	326
一、生态系统的内稳态调节 .....	267	二、生态系统服务及其货币化评估 .....	326
二、生态系统的恢复和再生 .....	268	三、公共产品和资源的成本-收益分析 .....	327
三、生态系统结构过程的调节机制 .....	271	四、公共产品和资源调控的手段 .....	327
<b>第三节 城核系统和全球系统的自我调节</b> .....	274	五、生态-经济-社会协调发展的未来 .....	331
一、城核系统的内稳态 .....	274	<b>第十二章 多层次系统的进化生态学</b> .....	333
二、Gaia 假说的推进——全球生命系统的内稳态调节 .....	277	<b>第一节 进化生态的基本概念及原理</b> .....	333
三、城核系统和全球生命系统结构的演变、修复和再生 .....	278	一、微进化、宏进化与生态学 .....	333
四、人类在城核系统和全球生命系统中的地位与作用 .....	282	二、进化与发育 .....	333
<b>第四节 生态过程及调控模型</b> .....	285	三、广义进化 .....	333
一、生态系统过程的主要模型 .....	285	四、生命系统的进化是一个自组织过程 .....	334
二、人类主导生态过程的模型 .....	286	五、临界问题 .....	335
三、产业模型 .....	287	<b>第二节 作为生态适应积累的微进化</b> .....	335
四、全球生物地球化学模型 .....	288	一、自然选择与人类选择 .....	336
<b>第十一章 生态学中的经济分析</b> .....	290	二、生态型 .....	338
<b>第一节 有机体和种群系统中的经济分析</b> .....	291	三、物种的形成与绝灭 .....	339
一、植物趋同适应中的收益-成本分析 .....	291	<b>第三节 生物体对环境的生态进化适应</b> .....	341
二、动物行为的经济学分析 .....	294	一、生物体对光环境的进化适应 .....	341
三、繁殖相关过程的经济学分析 .....	298	二、生物体对温度的进化适应 .....	342
四、种间关系的经济学分析 .....	301	三、生物体对水分条件的进化适应 .....	343
<b>第二节 生态系统中的经济效率分析</b> .....	303	四、生物体对土壤的进化适应 .....	345
一、生态系统的生态效率 .....	303	五、植物对含盐生境的长期适应 .....	345
二、生态系统的分解效率 .....	305	六、生物体对风的长期适应 .....	346
三、生态系统中的消费、交换和流通 .....	306	七、生物体对综合环境的进化适应——生活型 .....	346
<b>第三节 城核系统的经济生态分析</b> .....	309	八、适应组合 .....	348
一、城核系统中的经济-生物生产 .....	309	<b>第四节 行为的生态进化</b> .....	349
二、城核系统中的经济-生物分解 .....	310	一、通讯行为在进化过程中的强化趋势 .....	349
三、城核系统中的交换和流通 .....	311	二、攻击和防御敌对关系在进化过程中的弱化趋势 .....	349
四、城核系统中的分配 .....	312	三、求偶行为在进化过程中的强化趋势 .....	349
五、能源效率、循环经济与低碳经济 .....	312	四、育幼行为在进化过程中的强化趋势 .....	350
		五、进化链上行为适应能力的加强 .....	350
		六、行为的协同进化 .....	350

七、种内关系的进化——种群对环境适应能力 能力的提高 .....	352	五、文因的突生和成熟——生命进化史上 的第三次飞跃 .....	357
第五节 生命系统进化过程中不断产生 的新质 .....	353	六、全球生命系统稳定及可持续发展的 可能性 .....	358
一、生物体的骨骼化及其生态意义 .....	353	■ 主要参考文献 .....	360
二、性及其生态意义 .....	353	■ 索引 .....	363
三、生命系统等级层次中城市的突生 .....	354		
四、在自组织升级后自然生态系统的 的归属 .....	356		

## 第一节 了解生态学

最近几十年,人们对生态学的兴趣和知识与日俱增。公众对人类与生态环境相互影响的重要性的认识逐步加深。农药对食物链的影响以及环境破坏导致地球生物多样性的降低、全球环境变化等话题,尤其受到人们的关注。同时许多其他学科的发展刺激了人们对生态学的进一步理解。

经过近几十年实验和理论的发展,特别是由于学科的交叉渗透,生态学获得了迅速发展。当今世界面临的人口、食物、能源、资源和环境等问题也促进了相关方面的研究,使生态学成为目前生命科学中与分子生物学并列的热点前沿。

因为生态学研究要涉及极为错综复杂的关系,因而形成了一套特有的宏观思维方式和处理复杂事物的方法论。生态学理论、事件、方法论和方法也在为生物学乃至整个自然科学,甚至哲学、社会科学、人文科学和文学艺术提供知识、理论和方法论的支持。

最近几十年人类对自然主导地位的显著加强,给生态学带来了新的问题和机会。人既是现代文明的创造者,又是环境的最大破坏者。如果将地球上的生命史长度化为1年,即假设最早的原核生物出现在1月1日,则人类种群出现在12月31日傍晚7:00,而城市文明的诞生则是12月31日深夜11:59:13的事,即只有短短的47秒。但就是在这短短的47秒内,人类赖以生存的地球生态发生了翻天覆地的变化。

### 一、生态学的内容与学科特点

生态是生物与环境、生命个体与整体间的一种相互作用关系,在生物世界和人类社会中无处不在,无时不有。而生态学则是一门学问,由生态学工作者使用。英文中只有 ecology(生态学)和 ecological(生态的或生态学的)两词,没有作为名词的“生态”。著名生态学家 Odum 等曾提出,最好像经济(economy)和经济学(economics)的区别一样,将 ecology 解释为生态,而另为生态学创造一个新词,如以 ecologics 代替 ecology。其实,中文的“生态”与“生态学”就没有这种歧义。中文“生态”的词义本身是中性的,但作为形容词时常常变成一个褒义词,如生态旅游、生态城市、生态产业等,其实是“生态合理或和谐的”的简称。本书中的生态具有生态学和生态关系的双重含义。

自然科学中比较成熟的学科——物理学和化学都将学科分为“纯粹”和“应用”两类。“纯粹”意味着基础理论研究,探索自然的规律;而“应用”则是将科学规律转化为技术和生产力。生态学也分为这两类。

**纯粹生态学** 研究生态学的基本原理,探索基本规律和构建基础理论,并为生物学相关学科和社会发展提供科学基础。从这个意义上说,生态学是一门帮助我们理解生物及其与外界广阔环境之间关系的纯科学。事实上,生态学是生物学的四个基本问题(遗传、发育、生态、进化)之一。作为科学,生态学有自己的理论体系和方法论体系。跟其他科学一样,生态学研究的结果不表明道德的或政治的行动。明白这一点很重要,因为世界上日益高涨的生态和环境运动赋予“生态学”一词以政治的含义。应特别注意,当前的许多生态学问题往往成为发达国家歪曲事实、逃避责任、转嫁危机、试图阻碍发展中国家经济社会进步的工具(如里约热

内卢保护生物多样性公约大会和哥本哈根的温室气体减排会议中的生态帝国主义)！虽然生态学的宏观方面应当与社会经济和政治有密切的联系,但作为一个学习生态学的学生,学会辨别政治和社会活动同科学观点的差异是很重要的。

**应用生态学** 就是将生态学原理运用于社会实践的分支学科群。生态学理论来源于实践,在人类面临的重大问题的推动下及在解决实际问题中得到发展。反过来,生态学理论也对人类的经济活动和环境保护提供了有力的指导。人类未来的环境很大一部分将由不同程度人工影响的生态系统所组成,其中人类赖以生存的自然服务功能将越来越难维持。一个可持续的未来要求科学在设计生态解决方案中取得更大的进展,这种方案不仅需要通过自然保护和恢复,而且更需要通过人类对生态系统有目的的干涉去提供生机勃勃的服务。从原生的、现存的、未被扰动的生态系统研究向以人类为重要组分、聚焦生态系统服务和人工生态设计的生态系统新研究的转型,将为维持地球生命的质量和多样性奠定科学基础。

应用生态学不仅要在规划、管理等方面采用生态学原理,而且还应该发展生态工程,为特定对象提供生态治理和规划方案。纯粹生态学是生态学学科的内核,是学科深入、完善的基础;应用生态学则为社会服务,从而被社会认可,并由此获得新的科学问题,从而进一步发展、完善生态学理论。

**生态学在生命科学中的位置** 长期进化导致生命现象特有的复杂性,也导致生命科学研究特殊性。这就使生命科学成为一门与物理学、化学很不相同的、研究对象和内容十分复杂的学科。目前,生命科学已成为现代自然科学中分支学科门类最多的学科体系(900多门)。如此众多的学科的产生,缘于生命现象的两个基本特点:其一,生命是由一系列在尺度上从小到大的组织层次(levels of organization,或称等级层次, hierarchical levels)构成的一个生物学谱(biological spectrum),根据最新知识,由小到大排列着生物大分子、大分子种群(相同大分子构成的系统)、细胞器、细胞、组织、器官、有机体、种群、生态系统、城核系统和全球生命系统,这是生命系统的纵向结构;其二,每一个层次的结构和功能都极其复杂,并且数量众多、类型各异。例如,蛋白质大分子有多种,而同一类蛋白质常常存在着大量结构相同的复制品;地球上有一千万个物种,每一物种通常也有数量繁多的个体。生态学处于生物学中相对宏观的位置,在时间尺度上仅仅小于进化生物学。同时,由于生态学总是注重生物系统与外部环境相互作用的“边缘效应”,注重与其他学科的交叉,因而也是生物学中活力最强的交叉性学科之一。

**生态学的后现代性质与 21 世纪的生态学** 20 世纪末,随着社会领域后现代思潮的兴起,人们认识到生态学是一种后现代科学。值得说明的是,“后现代”是相对于“现代”而言的,这里的现代(modern)指的并不仅仅是时间上的“当代”,而主要指的是一种社会形态,即由西方自文艺复兴发端,从工业革命开始,经历的社会意识、经济、科学、艺术等的文明阶段。现代化的特征是工具的机械化、经济的资本主义化、价值观的单一化等,追求最大经济效益,破坏生态环境。20 世纪后半叶,现代化步入极盛时期,同时西方文明也开始迅速衰败,地球的环境已经到了毁灭的边缘。现代化的发源地——欧洲最早意识到这个问题,对现代化开始反思甚至反感,后现代思潮应运而生。这是人类主导系统的物质、能量和信息(包括文化等)的积累再一次超过临界点的相变。后现代最明显的标志就是对“现代”文明种种弊端的反思,反大型化、反机械化、反人类中心主义等,开始重视人与自然的和谐,改善全球环境问题。

21 世纪的生物学将是在对生命活动本质的统一认识下的真正的“统一生物学”(general biology),21 世纪将是生物学的世纪,并将形成崭新的生命观。作为生物学两极之一的生态学,将在人类的新生命观和新价值观中起到十分重要的作用。未来的生态学,既是一门包括人在内的生物与环境之间关系的系统科学,也是人类认识环境、改造环境的世界观和方法论(或自然哲学),还是一门人类塑造环境、模拟自然的工程美学,是科学与社会的桥梁,是天地生灵和人类福祉的纽带。

## 二、生态学的分支学科及与其他学科的关系

### (一) 生态学的分支学科

生态学是一门博大的科学,覆盖了生物、物理化学环境、地学环境、社会经济环境及它们之间潜在联系的所有方面。目前,生态学已发展为庞大的学科体系(据统计已经有 200 多个带有“生态”前缀的称谓)。按不



同方式可划分为不同的学科：

**按生物组织水平划分** 分子生态学、个体生态学、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学和全球生态学等。

**按研究对象划分** 动物生态学、植物生态学、微生物生态学、菌类生态学等，人类生态学由于其研究对象的特殊性而独立成为一门分支学科。

**按生活环境划分** 森林生态学、草地生态学、荒漠生态学、冻原生态学、淡水生态学、海洋生态学、河口生态学和城市生态学等。

**按交叉学科划分** 数学生态学、化学生态学、物理生态学、生理生态学、进化生态学、行为生态学、遗传生态学和经济生态学等。

**按研究方法划分** 野外生态学、实验生态学、理论生态学等。

## (二) 生态学与其他学科的关系

生态学具有典型的交叉学科的特点。生物学中的生理学、形态学、解剖学、行为学等为之提供研究方法，数学、化学和物理学为之提供理论工具，进化学为之提供大尺度的历史线索，经济学、社会学提供抽象模型和资源选择原理，人类生活、环境事件、社会活动为之提供研究生长点，哲学，乃至文学艺术也与生态学有密切联系。

**生态学与经济学相互映射** 与生态学一样，经济学也是研究关系的学问。现已发现，自然界中的物质和能量运动是遵从经济学规律的。生态系统的理论的一部分是建立在经济学原理上的。生态学的一个定义就是“自然的经济学”。最新研究发现，经济危机的发生及复苏与生命灭绝及爆发的过程极为相似。从小到大各个等级层次生命系统中的运行都遵循经济规律，高度自组织的系统具有十分高的经济效率，如细胞和个体的能量传递和转换效率相当高，达40%~60%，而生态系统的效率目前尚较低，只有10%左右，仍需在进化过程中进一步完善。对于刚刚整合为一体的全球生命系统(可比喻为全球细胞)来说，效率更低。难怪有人说，生物学家需要向经济学家学到的东西远比经济学家向生物学家学到的东西要多，生态学家确实需要有意识地学习经济学。全球变化研究更应该着重研究经济危机的爆发规律，学习避免或缓解经济危机的做法，试图从中找出克服人类自毁的途径。生态学中许多原理的发现就是逐步学习自然的结果，也是通过人类行为规律的合理映射来解释自然系统的结果。

反过来，经济学也在向生态学学习，因为生态学研究自然经济运行规律是大自然千百万年选择的结果，远比人类迄今为止研究得到的原理深奥和“精明”。从时间尺度上看，经济学的对象是短期的生态行为，而生态学的对象则是长期的经济行为。目前的经济学教科书里已经有了生态学的内容，但远未深入到本质。

**生态学与进化科学在两个尺度上自相似** 不同学科所涉及的时间长短和对时间概念的认识是很不同的，据此我们可以区分出两类科学。大多数自然科学学科和社会科学学科所涉及的时间尺度较短，从秒以下单位到年单位，甚至在某些情况下可以用“现代”、“瞬时”等术语来表达短暂时间，例如物理学、化学、生理学等。在这些领域中，时间是标量。因而所研究的过程可认为是无向的、可逆的、可重复的。但是，另外一些自然科学学科和社会科学学科是研究较长的或很长的时间内的过程。例如，研究生命起源和进化、地史、天体演化、社会发展史等。在这些领域中，时间被看做是矢量，在时间这个矢量上顺序发生的事件或过程是有向的、不可逆的、不可重复的。上述两类科学中所涉及的时间尺度和性质都不同。我们称后一类科学为**历史科学**(historical science)，前一类则为**实验科学**(experimental science)。

当然，历史科学和实验科学也不是界限分明的。生态学和经济学就介于这两类科学之间。许多历史自然科学也同时研究现代的正在进行的过程，如进化生物学也研究活生物的进化，包括生物对定向环境压力的响应和适应等。实验科学在时间上的延伸就是历史自然科学。例如，古生态学是生态学在时间上的延伸，而进化科学则是生态学在更长时间尺度上的延伸。

实验科学也需要有历史观，特别是对于生命这样的宏观自组织系统，其最基本的特征就是演化：一切皆流，无物永驻；除去永恒的流动、创生和消亡之外，再也找不到任何永恒的东西了。生物学家面临的对象并非