

生态理论丛书

信息生态学

卢剑波 主 编

杨京平 副主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

生态理论丛书

信息生态学

卢剑波 主 编

杨京平 副主编



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

信息生态学/卢剑波主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4
(生态理论丛书)
ISBN 7-5025-6935-9

I. 信… II. 卢… III. 信息技术-应用-生态学
IV. Q14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 029224 号

生态理论丛书

信息生态学

卢剑波 主 编

杨京平 副主编

责任编辑: 夏叶清 张鹤凌

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 关 飞

*

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](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 13½ 字数 218 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6935-9

定 价: 30.00 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

本书编写人员

主 编 卢剑波

副 主 编 杨京平

编写人员	卢剑波	浙江大学生命科学学院
	杨京平	浙江大学生命科学学院
	马 琨	浙江大学生命科学学院
	秦 钟	浙江大学生命科学学院
	赵兴征	浙江大学生命科学学院
	丁立仲	浙江大学生命科学学院

丛书前言

长期以来,由于人类对自然资源无节制地开发和向自然界大量排放、倾泻废弃物,形成了一系列全球性的生态环境问题,如温室效应、臭氧层破坏、土地沙漠化、水体污染、海洋生态危机、濒危物种灭绝等,这些环境问题已严重威胁到人类生存的地球,不但破坏了人类生存的环境,而且对人类自身的生产和社会环境带来了严重的后果。正因为如此,可持续发展已经成为国际社会及各国政府的共识,并促使可持续发展从概念落实到国际社会成员的行动上。

随着对环境污染与生物濒临灭绝所产生危害的深入认识,使生态学日益受到重视,而生态学也为可持续发展提供了所需要的理论基础。生态学的发展使人类进一步深入认识到了生物与环境、生物与生物及与人类社会环境相互之间的关系。在 20 世纪 40 年代, Linderman 对于生态系统能量流及营养动力学的研究使生态学从定性走向了定量,从而建立起了自己的理论与方法。50 年代美国生态学家 Odum 兄弟对生态学进行了长期定位研究与观测,建立了系统生态学的理论与方法手段,使得生态系统的概念、能值的分析方法在目前自然系统、社会系统和经济系统中得以普遍地应用。生态学发展到今天,早已突破了原来的基于自然科学研究范围的界限,正在日益同其他学科体系融合,形成了新的生态哲学、生态美学、生态工程学、景观生态学、恢复与保育生态学、生态毒理学、污染生态学、流域生态学等不同的学科体系。生态学中的许多原理或原则,成为社会与人类可持续发展的理论基石。生态学已经发展成为一门崭新的、基于量化具有自己理论技术体系的科学。生态学是一门研究生物与环境、人类与环境相互作用的科学。随着量化研究与技术手段的不断发展,其与数学、化学、信息学科的交叉促进了 20 世纪后半叶在数学生态学、化学生态学、信息生态学的研究方面取得了一系列新的进展。生态学同产业部门的结合以及系统生态学的发展,促进了农业生态学、林业生态学、草原生态学、气象生态学、园艺生态学、海洋生态学、湖沼生态及湿地生态的研究发展,应用生态工程技术解决

了采用传统的工业、物理与化学手段不能够解决的生态环境问题，并进一步推动了生态学理论的发展。随着科学技术的进步，生态学的新理论与新技术也日益结合到各个发展的学科中。遥感（RS）、信息与计算机技术、全球定位系统技术、基因与芯片等新技术的发展，使生态学在宏观与微观的生态系统领域中的技术手段的应用上发生了根本变化，强有力地推动了生态学在各个学科的发展，使得生态工程与设计、信息生态与微观生态技术、生态经济与产业生态成为未来生态学的热点与前沿方向。生态学的发展还为科学和社会之间建立了一个理论与技术桥梁，通过关注生态系统的环境与服务功能，研究发现人类社会面临的环境与经济发展问题，并寻求解决方案。1997年 Costanza 和 Goulder 在“Nature”发表的文章第一次使我们人类认识到地球生态系统为人类提供的生态系统服务价值（每年 33 万亿美元）远远超过我们人类社会生产价值的总和（18 万亿美元），因而生态学的发展成为研究生物、环境、资源及人类社会相互作用的基础和应用学科。

生物与环境的相互作用及其内部的相互关系构成了我们现实世界中丰富多彩的生态系统，为人类的生存发展提供了各种资源与生态服务功能，并维持水、大气、土壤生态健康和持续利用。20 世纪 90 年代初在巴西里约热内卢世界环境与发展大会的召开及中国 21 世纪议程的颁布实施，推动了运用生态学原理与技术对我国的资源、环境可持续利用，产业可持续发展与环境、生物保护、资源管理等问题的深入研究，使得如生态工程学、环境生态学、工业生态学、城市生态学、农业生态学、景观生态学、生态设计与规划、生态旅游等生态学理论与方法体系研究得到了快速发展。对于生态系统的管理和可持续利用，社会-自然-经济系统的生态规划、生态设计与评价，生物多样性的保护，环境污染过程中的生态问题，生态农业、生态城市与生态省的建设与发展方法，成为目前我国关注的焦点。联合国在新千年启动的全球生态系统服务功能的调查，也使生态学、生态系统生态学的理论与技术发展成为全球瞩目的领域。化学工业出版社为了推动生态、环境学理论与技术的科学发展与进步，瞄准目前生态与环境学科的一些前沿领域，组织编写了这套关于生态学理论与技术方面的丛书。这套丛书包括了《生态经济学》、《环境生态学》、《园艺生态学》、《信息生态学》以及《生态工程导论》等分册，在一定程度上反映了目前国内外环境与生态学理论与技术的发展应用状况，可以供有关从事生态、环境、生物保护及工程技术理论的科研、教学、技术推广应用人员参考。这套关于生态学理论的系列丛书是沟通作者与读者之间的一座很好的桥梁。随着数字化、信息化时代

的发展，在生态学科与科学技术发展的进程中，这套丛书必将成为推动我国生态学发展的宽广通畅的信息大道与桥梁纽带，推动生态学科更进一步地向新的高峰迈进。

杨京平
浙江大学

前 言

生命及其所处的环境构成的系统是宇宙中最为复杂的系统，从微观的 DNA 和蛋白质分子系统到宏观的大尺度生态系统，其结构变化和功能的实现，都蕴含着大量的信息结构和信息传递过程。解释这些信息结构和信息传递过程，以服务于生命科学的研究，是生命科学中的信息科学的重大命题。

信息生态学为人类生存环境问题指出了信息科学研究方向。信息生态学位于生物科学发展的金字塔顶端，信息生态学的发展对推动整个生物学科及生命科学的发展起着十分重要的作用，人类在认识自身的基础上，必须认识自身与环境之间的关系，以达到“天人合一”的境界，实现人类社会的可持续发展。

当今世界的环境问题依然十分突出，人类面临如全球变化、水土流失、水体富营养化、外来物种入侵、食品安全及生态安全等一系列生态环境问题。信息生态学吸取了系统论、信息论等新的理论思想，并采用了一系列如非线性系统动力学方法、神经网络方法、系统仿真方法及 3S 技术等，该学科有利于人类更好地认识和解决人类所面临的生态与环境问题。

本书主要介绍信息生态学的起源及研究对象、信息论基础、生态系统中的信息流、生态系统中信息的采集方法与技术、环境与生物信息、复合生态信息系统和生态系统的模拟。书中引用了大量的国内外相关文献，列举了大量的研究案例。本书可供大专院校的师生参考，也可作为研究生、科技人员的参考书。

本书由卢剑波任主编，杨京平任副主编。全书共分七章，卢剑波编写第一章和第五章；丁立仲编写第二章；赵兴征编写第三章；马琨编写第四章；秦钟编写第六章，杨京平编写第七章。全书由卢剑波、杨京平统编定稿。

希望本书的出版能推动信息生态学在我国的发展，为我国的生态

学科发展贡献一份微薄的力量。由于信息生态学为一新兴的学科领域，再加上编者的水平所限，缺点和不足在所难免，敬请广大同仁批评指正。

编 者

2005 年 1 月于杭州华家池

内 容 提 要

本书是《生态理论丛书》中的一本。书中详细介绍了信息生态学的起源及研究对象、信息理论基础、生态系统中的信息流、生态系统中信息的采集方法与技术、环境与生物信息、复合生态信息系统和生态系统的模拟。本书的特点在于引用了大量的国内外文献，例举了大量的研究案例。

本书集理论性、实用性于一身，可作为大专院校的教材，也可作为研究生、科技人员的参考书。

目 录

第一章 信息生态学.....	1
第一节 信息生态学的起源.....	1
一、现代信息技术是生态学新的研究方法.....	1
二、现代信息技术与系统生态学的发展.....	1
三、现代信息技术与应用生态学的发展.....	2
四、现代信息技术与生态学的未来.....	2
第二节 信息生态学的研究对象与内容.....	3
一、信息生态学的定义.....	3
二、信息生态学的研究内容.....	3
三、信息生态学研究的新理论、新方法与新技术.....	4
第三节 信息生态学在生物与环境学科中的地位与作用.....	5
一、信息生态学在生物学科中的地位与作用.....	5
二、信息生态学在环境学科中的地位与作用.....	5
主要参考文献.....	6
第二章 信息论理论基础.....	7
第一节 信息的基本特征.....	7
一、信息.....	7
二、信息的基本特征	12
第二节 申农的信息理论	14
一、申农信息论的创立	15
二、申农信息理论的发展	18
三、申农信息论的局限与广义信息论的兴起	19
四、科学创建：信息论与控制论、系统论的整合	20
五、学科群研究：信息论的全面广义化	21
第三节 信息技术的发展	22
一、信息技术与信息化	22

二、信息技术的由来和发展	25
三、现代信息技术的历程和发展趋势	28
主要参考文献	33
第三章 生态系统的信息流	35
第一节 生态系统中物质流、能量流和信息流	35
一、生态学原理与生态系统	35
二、生态系统的物质流动	35
三、生态系统中的能量流	36
四、生态系统的信息流	37
五、生态系统中物质流、能量流和信息流的相关性	38
第二节 生态系统中信息流特性	38
一、生态系统中信息的特点	38
二、生态系统中信息的处理过程	39
三、信息传递系统模型	41
四、信息的度量	42
第三节 不同层次生态系统的信息流规律	43
一、植物亚生态系统的信息流动	44
二、动物亚生态系统的信息流动	49
主要参考文献	55
第四章 生态系统信息采集方法与技术	56
第一节 数学模型及物理方法	57
一、信息生态学模型的研究	57
二、原地观测方法	61
三、受控实验(模拟实验)	62
四、数量分析方法的研究	62
第二节 同位素示踪技术与方法	62
一、稳定性同位素	63
二、放射性同位素	64
三、稳定性稀土元素——中子活化分析在土壤侵蚀示踪研究 中的应用	68
四、示踪技术的应用展望	70
第三节 计算机技术与方法在信息学领域的应用	71
一、遥感技术、地理信息系统在信息生态学研究中的应用	71

二、定位观测实验的网络化	75
主要参考文献	75
第五章 环境与生物信息	78
第一节 土地信息	78
一、土地现状调查	78
二、土壤信息	83
第二节 气候信息	91
一、光能信息	91
二、热量信息	92
三、水分信息	93
第三节 水信息	93
一、水资源总量估算	93
二、水质信息	94
第四节 生态系统综合信息	99
一、建立生态系统综合信息指标体系的基本原则	99
二、生态系统综合信息指标体系框架建立	100
主要参考文献	110
第六章 生态系统中的信息系统建立	112
第一节 专项信息系统的建立	112
一、病虫害综合防治信息系统	112
二、土地利用信息系统	116
三、水土保持信息系统	119
四、生物多样性信息系统	122
五、植被净第一性生产力信息系统	126
六、森林防火信息系统	130
第二节 综合信息系统的建立	134
一、水资源信息系统	134
二、农业信息系统	138
三、林业信息系统的构建	143
四、城市信息系统	154
五、景观生态规划信息系统	158
主要参考文献	162

第七章 生态系统的模拟	165
第一节 生态系统模拟的基本原理	165
一、系统分析与模型	165
二、系统的分类	166
三、模型	166
第二节 系统模拟的概念	167
一、系统模拟的定义	167
二、系统模拟与解析方法的比较	167
三、系统模拟的有关步骤	167
四、离散系统的模拟	169
五、连续系统的模拟	171
第三节 种群生态系统的模拟模型	179
一、植物(作物)种群的模拟模型	179
二、作物种群干物质生长的模拟	180
三、酵母菌的生长模拟	182
第四节 生态系计算机模拟技术应用	186
一、模拟技术在生态系统中的应用	186
二、土壤-作物系统生长发育过程的模拟	188
三、水稻氮肥施用的优化模拟	191
四、森林生态系统生产力的模拟	194
五、城市土地规划系统动力学模拟	197
主要参考文献	199

第一章

信息生态学

第一节 信息生态学的起源

20 世纪 50 年代以来, 一场信息革命的浪潮席卷全世界, 以电子计算机的发明为标志的第一次信息革命, 开始形成信息科学和信息产业。随着信息高速公路的建立, 一个数字化、网络化的时代已经到来, 同时, 由于人造卫星的升空, 人类正在以崭新的角度开始重新认识自己赖以生存的地球。计算机技术、遥感技术 (RS)、地理信息系统 (GIS) 及全球定位系统 (GPS) 等高新技术已对生态学的发展起到重大的推动作用。现代信息技术的应用, 有助于改变传统生态学的研究方法, 拓宽生态学的研究领域和深度, 帮助生态学研究工作者解决一些复杂的生态学理论与技术问题。

一、现代信息技术是生态学新的研究方法

传统的生态学研究方法, 主要依靠定点、定位实验, 人工的考察调查、手工的计算及制图等, 因此对一些大尺度 (如全球生态系统)、多因子、复杂的生态学问题的研究, 感到力不从心, 研究难度大, 有些问题几乎无法开展定量的研究。而计算机技术、遥感技术的应用, 使得研究者比较容易得到宏观的、大量的、动态的信息, 并对这些信息得以加工、处理和分析。

二、现代信息技术与系统生态学的发展

生态学经历了近百年的发展, 研究的对象已逐渐从个体、群体水平上升到群落、生态系统的水平上。现代生态学的大量研究集中在生态系统的水平上, 因此使系统生态学得到长足的发展。在系统生态学的研究

中,时间和空间跨度较大,许多生态因子无法进行人为控制,系统与环境之间、系统内亚系统之间及同一亚系统内各因子之间的关系错综复杂,相互影响,研究的难度较大。由于计算机技术的引进,通过构建生态数学模型,用计算机模拟生态系统的变迁,从而揭示生态系统变化发展的规律,这使得系统生态学得以快速发展。计算机模拟技术已成为系统生态学研究的重要手段。

三、现代信息技术与应用生态学的发展

生态学的发展,最终必须提出解决环境生态问题的理论与技术方法。应用生态学的发展,如农业生态学、林业生态学、环境保护生态学等,离不开现代信息技术。遥感技术的应用,使人类可以有效地对自然资源进行调查和监测,遥感卫星的分辨率已从早期的 30m 提高到目前的 10m,目前最高的分辨率已达到 1m (IKONOS 卫星),再加上子象元 (Sub Pixel) 分析技术、专家分类 (Expert Classifier) 技术的成熟,资源的调查与监测已达到极高的精度。

随着 3S 技术在农业中的应用,在农业机械上配备全球定位系统,将遥感信息及资源信息数字化,输入到地理信息系统中,农业机械可以对不同肥力状况的土地采取不同的农业管理措施,这标志着精细农业的诞生。在林业种群恢复中可以通过 GPS 的精确度定位,观察林业种群及生物物种的变化,研究生态恢复技术。农业生态规划、农业灾害的监测则更是离不开现代信息技术的应用。

四、现代信息技术与生态学的未来

人类已经告别了 20 世纪,进入崭新的 21 世纪。在新的纪元,人类仍然面对人口增长对地球的压力,发展经济与保护环境的矛盾,生态学将肩负起更为重大的责任。现代信息技术推动了生态学的发展,生态学的发展已离不开现代信息技术。同时生态学的发展,又将刺激现代信息技术的进一步的提高。面对生态学的未来,只有更好地利用现代信息技术的手段,才能使生态学在将来得到更快的发展。

生命及其所处的环境构成的系统是宇宙中最为复杂的系统,从微观的 DNA 和蛋白质分子系统到宏观的大尺度生态系统,其结构变化和功能过程的实现,都蕴含着大量的信息结构和信息传递过程。解译这些信息结构和信息传递过程,服务于生命科学的研究,是生命科学中信息科学的重大课题。

生态学通过与信息科学技术的交叉渗透与融合而形成现代生态学最

新与发展最快的分支——信息生态学。

第二节 信息生态学的研究对象与内容

一、信息生态学的定义

我国最先提出信息生态学，并对信息生态学给出定义的学者是我国的生态学家张新时院士。张新时教授对信息生态学作了如下定义：“信息生态学不仅具有信息科学的高科技与信息理论的优势，而且继承和发展了生态学的传统理论，强调对人类、生态系统及生物圈生存攸关的问题的综合分析研究、模拟与预测，并着眼于未来的发展与反馈作用”。信息生态学是生态系统理论与系统生态学的新发展。

信息生态学一般的定义为：信息生态学是以现代系统理论、方法和现代计算机技术来分析、处理日趋膨胀的试验和观测的生态学信息，寻求生态学系统整体水平的规律。

国外学者也对信息生态学下了各种的定义，如 T. H. Davenport 和 L. Prusak 在 1997 年出版的《信息生态学》一书中，对信息生态学给出了如下的表述：信息生态学是指对组织内部信息利用方式产生影响的各个复杂问题采取整体的观点，显示在许多不同现象的相互作用时必须利用系统观（System Approach）来分析问题。国外许多学者将信息生态学与生态系统中知识的获取、管理及决策支持系统联系在一起。

当今世界科学研究的发展趋势是强调整合和系统的整体论，而强调解析的还原论的结果通常导致科学家对越来越小局部的片断的越来越深的了解。对于像生态系统这样的复杂系统而言，仅仅了解系统的内部的局部环节远远不足以解释系统的行为，因为系统各部分（子系统）之间的相互作用在解释系统行为方面同等重要。

二、信息生态学的研究内容

信息生态学的主要研究内容为：生态系统信息的采集与处理、信息分析、解释、建模与预测、专家系统与优化管理系统等。

信息生态学的重点研究内容有如下几个方面。

（一）生态学数据采集技术的规范化及数据库的系统化

在生态学数据的采集方法、技术、手段及数据精度等方面，应尽量实现规范化和标准化，尽可能利用新的数据传感技术（如近红外技术），