植物学通报 1990, 7 (4): 1—6
Chinese Bulletin of Botany

现代生态学的几个热点

张新时

(中国科学院植物研究所，北京 100044)

Some Significant Disciplines in Modern Ecology

Chang Hsin-shih

(Institute of Botany, Academia Sinica, Beijing 100044)

生态学在近卅年（60—80年代）以来取得了如此迅速的进展，使它从一个传统的、经验性的和描述定性的学科发展为一个用现代理论与高技术武装起来的，多学科渗透与交叉的现代化庞大学科。在更广阔的角度上，生态学正在从一个单纯描述生物与环境关系的自然科学渗透到社会和人文科学——经济、历史、哲学、政治与伦理道德等各个方面。“生态意识”逐渐成为全民道德观与世界观的要素。

试图全面评述生态学的现代进展是十分困难的任务。因此，在这里并不是作一个面面俱到的论述，而是仅就几个方面作重点的概括与评价。

现代生态学的理论与内容

一些国内外的学者认为“现代生态学在基础理论、研究方法和应用技术方面尚未形成自己独特和完整的体系”，“缺乏科学的严格性、实验技能和应用技术薄弱”，“生态学正变得庞杂而缺乏系统，同时也在失去自己的学科特色”或“正在失去自己的学科边界”[3]。反而言之，上述这些令人沮丧的看法也许正是现代生态学的特点和优越性，表明它是一个正在急速发展变化中的回春学科，是一个在与其他学科相互渗透与交叉过程中迅速扩展自己的学科层次与边界的超级学科，是一个以高度系统性与综合性为特色的学科，也是一个正在被现代化高科技武装起来的实验性与工程性的学科。

生态学有自己的学科特色与边界。根据Krebs[5]的定义，可以把生态学概括为：研究决定生物分布及其量度的各种因素之间相互关系的科学。具体来说，生态学主要研究以下四方面问题（4 W）：

1. 生物的分布格局与规律——在哪里（Where）？
2. 生物的时空量度（生物量、生产力、多度等）——有多少（How Many）？
3. 决定生物分布与量度的内在与外在原因——为什么（Why）？
4. 发展生物生产力、稳定性与改善环境的原则与途径——怎么办（What can be

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

done)？

现代生态学的理论核心主要有以下四个方面：

——生态系统与生物圈理论，它们的结构部分与联贯这些部分的四个“流”：能流、物流、信息流与价值流乃是最关键的生态功能学过程。

——系统生态学：系统分析与数量建模使传统生态学跨进了系统科学的领域。现代信息科学的“老三论”：信息论、系统论、控制论，以及“新三论”：耗散结构理论、协同论与突变论成为现代生态学的方法论。

——进化生态学：生态适应与协同进化是生态系统进化的机理与历史观。

——景观生态学：研究环境、生物群落与人类社会的整体性，特别强调人类活动在改变生物系统环境方面的作用。

现代生态学的技术与时代背景

对现代生态学必须从现代社会技术革命的广阔背景上来理解。当今世界正处在一场新的技术革命时期。知识及其载体——信息是这一新冲击的原动力。因而可称之为“信息革命”。它所经历的时代和所代表的社会与文化分别被称为“信息时代”，“信息社会”和“信息文化”。在这一社会中起决定作用的主要不是资本和劳动力，而是智力和信息。信息将成为生产力、竞争力、经济发展和技术成就的关键因素。这一时代的技术标志是微电子技术与计算机的迅速发展和广泛应用。新的时代具有鲜明的“未来性”与“生态性”。这是信息的预测、模拟和反馈功能所决定的。在农业社会，人们惯于看过去，根据老经验春耕夏耘，秋收冬藏；工业社会的人急功近利，着重眼前；在信息社会，人们注意的是未来，强调人与自然界的新型关系，寻求新的、更完美、稳定和持续发展的平衡态，因而具有强烈的“生态性”。尤其是当前世界上随着工业化的膨胀扩展而与之俱来的全球生态、资源与环境问题：荒漠化、伐林、生物种大量灭绝、人口剧增、水资源匮缺、可更新资源枯竭、环境污染与温室效应等日益严重地腐蚀着我们的星球，威胁着人类社会与生物圈的生存与发展。这些问题的发生，是由于社会生产的规模与强度和人类对生物圈的干涉、利用与破坏已经超过了地球的自然过程，超过了生物的繁殖力与周期。人类造成的污染已经凌驾于地球的恢复与再生能力之上，达到了对生物圈开发的临界点。人类社会已经达到这样一个转折点，我们再也不能无限制地依赖和消耗自然资源，地球系统已经不能再继续忍受工业污染的侵袭和人类的破坏。大自然可怕的报复已经显示出来。这一切引起了人们对生态学的严重关注。

生态学作为维持地球这个生命支撑系统所必须遵循的法则和途径，是人类社会与生物圈稳定与持续发展的理论基础。因而是信息文化的核心组成部分。另一方面，信息科学在理论与技术上给生态学注入了新鲜血液和强旺的生命力，信息论和电子计算机技术成为现代生态学发展的巨大动力，使它登上了工程科学的殿堂。

生态学层次的两极分化与综合

随着科学技术的发展和研究的深入，生态学原来所涉及的四个层次，即：个体—种群—

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

群落—生态系统已被突破，而向微观与宏观方面两极发展，进行不同层次与尺度间的综合与系列化研究：

——个体生态学的研究已深入到细胞与基因的水平。关于光合与蒸腾作用的生理生态研究，以及逆境生态学（Stress ecology）：抗旱、抗寒与耐盐碱的生理生态机制都必须深入到细胞和分子水平的过程与作用才能得到阐明。

——生态系统结构与功能的研究，尤其是系统中的能流转换与物质循环过程的研究乃是现代生态学研究的基本核心，它们通过中等尺度的群落水平也要进入到微观生物学的层次，即生态系统和群落层次与细胞结构与生理过程的高度纵横交错。

——由于环境科学的发展与需要，生态学的层次在宏观上向生物圈的水平扩展，即生物群落（biomes）与其环境条件的统一，发展为生物圈与岩石圈、水圈和大气圈之间相互作用的地球系统（earth system），即全球生态学（global ecology）。宇宙生态学基本上还是一个概念，但是空间生态学已成为迅速发展的学科分支。在宇航学，尤其是在宇宙飞船建造与宇宙空间站的设计中，关于最集约的再现某些自然循环（如水的局部回收）与建立某些食物回路（人→CO_2→植物性食物与O_2→人）的可能性，不仅对人在外层空间的生存是必要的任务，而且对于地球上的生态实践具有极重要的意义，有助于合理地、最节约地利用地球的自然资源，并使其再生产，而最大限度地免除生态与资源危机的发生。由此，可以进行“颠倒”的比拟，即把地球比作一个宇宙飞船——一艘乘坐几十亿人旅行的地球宇宙飞船，这个飞船的存在依赖于它的空中与地面储备以及整个行星系统的精心维护，“它上面的乘客由于共同的安全、平安与和平的事业而紧密联系着。……只有我们共同的利益、劳动和爱才有助于维护我们脆弱的飞船免于覆灭”（A.Stevenson，1965）[6]。另一方面，宇宙生态学提出了改造与开发没有生命行星的思想。例如，可以用地球上的小藻类洒入金星充满CO_2的大气层，让它吸收C，排出自由的O_2，使这个行星地面高达500度的“温室效应”降低，变成象地球一样[5]。总之，宇航学和宇宙生态学从合理改造和保护自然因素的高度，结合作为人类与自然界相互作用的生态原则与任务，是十分有益和重要的观念。

这样，现代生态学的研究层次从细微到分子和细胞的水平扩展到了宇宙的水平，并且是相互渗透交叉的。

——与上述空间尺度的分化相适应，生态学的时间尺度也是极端分化的。从微观生物世界的小于秒计的瞬时生化过程到人类感觉范围内的中等时间尺度（秒、分、时、日、月、年），以致于地球史以百万年到亿年计的地质年代的超长时间尺度。应当注意的是，现代社会生产过程的规模、强度与速度已经赶上或远远超过了地球生态系统的自然过程，使地球自然资源，即使是可更新资源的现存量、生产潜力与生产周期愈来愈不能适应人类的消耗与需求，从而形成社会发展的严重限制与矛盾，日益严峻地引起了地球上的各样生态危机。这可以称为社会与地球自然资源的生态“时间差”。

生物多样性与重建生态学

生物多样性是现代生态学所亟力维护与追求的目标。它是指在地球上丰富多样、千差万别的植物、动物和微生物的种类，以及它们所构成的错综复杂的生态系统。生物多样性是地

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

球上最弥足珍贵的资源和最伟大的奇迹，它们是人类社会赖以生存和发展的基本食物、药物和工业原料的重要来源和保持生态环境平衡的要素。一般认为生物多样性包含三个层次，即：（1）遗传（基因）的多样性；（2）物种的多样性；（3）生态系统的多样性。但是，由于前述生态学层次的两极分化，至少要增加第四或第五个层次，即景观与生物圈的多样性。

但是，通常意义的保护生物多样性只是强调对现存生物多样性的保护，这是远远不够的。因为，在许多地区，尤其是具有悠久开发历史的我国，原始状态的生态系统已所存无几，它们大部分遭到长期人类活动的影响而发生了不同程度的变化、损伤、甚至毁灭。在这种情况下，单纯的保护已经不能使这些被损害的生态系统得以恢复，而需要采取各种恢复或重建生态系统的措施。由此，一个重要的生态学分支——重建生态学（restoration ecology）便应运而生。重建生态学有两个十分不同的发展途径（Todd，1988）[7]：

（1）第一类型的重建生态学是试图重新建造真正的过去的生态系统，尤其是那些曾遭到人类改变或滥用而毁灭或变样的生态系统。在重建中强调选择正确的种类组合，并尽力重建原来的生态关系。在这里，重建意味着原来系统结构与种类组成的重新建造，其重要价值在于维持当地重要的基因库。

（2）重建生态学的第二种类型是对于那些由于人类活动已全然毁灭了复合系统和多样的生境而代之以次生的系统。在这里，重建生态学的目的是要建立一个符合于人类经济需要的系统。重建所采用的种类可以是，也可以不是原来的种类。往往所采用的植物或动物种不一定很适合于环境，但具有高的经济价值。也可以采用各种先进的工程措施以加速生态系统的建立。也许，只有这种把重建自然的需要与人类的经济需要结合起来的途径才是恢复地球陆地植被的最有效方法。

这样，应当特别强调建立具有丰富生物多样性的人工生态系统，或通过丰富（enrich）人工生态系统的生物多样性：合理的、多种类的间作、混作、套种、轮作与多层次（乔、灌、草、水体等）结构配置，或农林牧副渔的多种经营组合来达到生物多样性与经济需要相结合的目的。农林复合系统（Agroforestry）十分符合这种重建生态学与丰富生物多样性的原则，近年来得到很大重视与提倡，成为生态农林业的一个主流而迅速发展。这对于我国退化生态系统的恢复重建与优化人工生态系统的组建具有重要意义，也是对丰富生物多样性的高层次综合。

我国生态学家侯学煜[8]与马世骏[1]教授根据生态系统与生物多样性原理以及我国农业生产的特点，分别提出了大农业生态原则与生态工程设想，是对生态农林业全面深入发展的理论阐明与优化模式，并有丰富的实践。这不仅为我国生态大农业的发展提出了正确的指导思想与实施方案，对农业生产的稳定、持续发展和改善环境具重要的战略性意义与科学的设计，并且是对现代生态学的重要贡献。

信息生态学的兴起

生态学通过与信息科学技术的交叉渗透而形成现代生态学最新与发展最快的分支——信息生态学。如前所述，它不仅得到微电子技术的武装而具有现代化的高科技，并且由于信息

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

论的渗透而在生态系统理论方面得到极大的加强与改进，从而使生态学开始跨入高科技的层次。另一方面，信息文化所赋有的“生态性”与“未来性”也使生态学成为信息社会中最活跃和受到高度重视的学科。生态系统是信息科学所遇到的最为复杂多样和特殊的有序系统，因而有助于信息科学本身理论系统的完善。

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。

——在生态学方面，信息生态学是生态系统理论与系统生态学的新发展。信息生态学的研究对象是生态系统的信息流，即对能流与物质流的信息化知识进行分析研究。生态系统被认为是一个包含大量复杂相关与相互控制的“内信息”与系统外部环境的“外信息”进行信息传递、变换与反馈作用的开放型信息系统。系统生态学则将现代数学方法、系统分析与建模手段应用于生态学的分析研究，使过去以定性为主的传统生态学跨入定量分析、系统分析与预测模拟的系统工程学领域。

——在信息科学方面，信息生态学在八十年代后期受到迅猛发展的信息科学理论：系统论、信息论、控制论与新兴的耗散结构理论、协同论与突变论等的渗透，例如，可以把生态系统看作是一个以生命为主导的自组织状态的特殊耗散结构，在不断地与外界进行交换过程中吐故纳新以避免熵（系统无序度）的增加，从而趋向于从简单到复杂的有序发展，形成与保持生态系统高度复杂有序的自组织结构状态。信息科学的所有理论几乎都可以用来进行生态系统及其功能、行为与过程的分析与处理，从而扩大和提高生态分析的方法论，深化对生态系统及有关生态学理论的理解。

——在信息技术方面，微电子技术——计算机在生态信息的处理、贮存、分析、模拟、预测等方面的应用具有快速、精确与高效率等极大优越性。生态系统及其外部环境因子信息的多样性、大量性、复杂性与超前性等特点也必须在现代微电子高技术手段条件下才能得到充分的揭示与表现。信息技术处理的数值化、网络化、图象化、序列化、同步化、模式化与优化等极大地增强了生态学研究对象的分辨性、可解释性、规律性、预见性与可控制性。

生态信息系统通常包括五个相互联系的基本部分：数据采集与处理，信息分析、解释、建模与预测，专家系统与优化管理系统等。

1.生态信息数据库：目前多采用关系式数据库，将各类有关的生物与非生物变量（因子）经数值化处理后分档贮存。

2.生态信息的多元分析与解释：生态信息分析指对生物群落、物种及其相关环境因子的数量排序、分类（模式识别）与环境解释。数理统计方法在生态信息分析与解释中的应用十分普遍。专用的生态信息多元分析方法在六十年代以后得到迅速发展，已从原来的直接梯度分析发展为间接梯度分析与定量环境解释。我国生态学界在应用模糊集合与灰色系统方面具有特色，引起了国际上的重视。

3.图形分析是生态信息分析中的特殊方法。生态信息分析与显示从数值化到图象化的发展使其达到一个更高水平与更有效率的层次。图形分析不仅能显示规律与格局，且能揭示一些新的规律与格局。除了数理统计的各种散点图与曲线图已广为应用外，地理信息系统（GIS：Geographical Information System）近年来得到迅速发展，形成大量用于生态资源与

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

环境分析的计算机智能化图形软件。植物研究所植被数量生态学开放实验室研制开发的“生态信息图形系统”（EIGS：Ecological Information Graphic System）具有在微机上较好的图形分析与建模功能。

4.生态模型构建与预测：有关生态系统或生态过程与功能的数值模型的建立是信息生态学的主要目的。模型主要用于预测及对系统结构与过程的理解。目前较多与实用的是各类统计（经验）模型。功能性的数学生态模型具重大理论意义，距实用尚有一定距离，这是由于生态系统的结构与过程过于复杂，还有许多因子与部分未被充分研究或认识。

5.生态决策与优化管理系统：信息科学中的软科学理论与方法对系统生态学或数学生态学的“软化”，比纯数学能更好地反映人类思维与决策经验，从而产生较满意的生态系统结构与过程的预测与模拟结果。这对合理的管理生态系统、科学地控制生态功能与过程，建立优化的人工生态系统等具重要意义。这一阶段包括专家系统、决策与制定优化管理方案三个相互联系的部分。系统动力学从动态过程解决系统分析问题，对优化管理方案的形成有重大贡献。近年在我国发展起来的灰色系统理论在这方面也有良好的应用前景。总之，信息生态学的目的在于使生态学的原则通过信息科学的理论与技术而全面贯彻于人类社会对自然与经济系统的有远见与合理的管理之中，从而实现生物圈与地球系统的稳定与持续发展。

参 考 文 献

[1] 马世骏，1983，生态工程——生态系统原理的应用，生态学杂志，（4）：20—22。

[2] 沈善敏，1990，应用生态学的现状与发展，应用生态学报，1（1）：2—9。

[3] 侯学煜，1984，生态学与大农业发展，安徽科学技术出版社。

[4] Schkolenko, U.A.,（范习新译），1983，哲学、生态学、宇航学，辽宁人民出版社。

[5] Krebs, C.J., 1978, Ecology. The Experimental Analysis of Distribution and Abundance, znd ed., Harper & Row, Publishers, NY.

[6] Stevenson, A., 1965, 美国国务院新闻通报，120期。

[7] Todd, J., 1988, Restering diversity, Thesearch for a social and economic context, in: Biodiversity, ed. Wilson, E. O., National Academy press, Washington D.C.

（上接9页）

参 考 文 献

[1] Kimura, M., 1983, The neutral theory of molecular evolution, Cambridge University Press, Cambridge.

[2] Lovelock, J. E., 1979, Gaia: A new look at life on Earth, Oxford University Press, Oxford, New York.

[3] Maynard Smith, J., 1983, Evolution and the theory of games, Cambridge University Press, Cambridge.

[4] Myers, N., 1979, The sinking ark: A new look at the problem of disappearing species. Pergamon Press, Oxford, New York.

[5] Wolfe, K. H., Li, W-H. and Sharp, P. M., 1987, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 84: 9054—9058.

[6] Wu, G-I and Li, W-H., 1985, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 82: 1741—1745.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net