美国生态学会：
“生态科学与全球可持续发展战略远景报告”

《生态学前沿与环境》杂志专辑：
生态可持续发展未来之展望

《科学》杂志：
拥挤地球的生态学

《自然》杂志：
全球化下的中国环境

生态学未来之展望

中国生态学会

中华海外生态学者协会 译 | 中国科学院系统生态重点实验室 校

生态学未来之展望

中国生态学会编印
二〇〇五年九月，北京

生态学未来之展望

支持单位：

中华海外生态学者协会

美国生态学会亚洲分会

中国生态学会

中国科学院系统生态重点实验室

中国科协海外智力为国服务行动委员会

美国生态学会《生态学与环境科学前沿》编委会

中国生态学会 编印

二〇〇五年九月·北京

目　录

ESA“生态远景委员会”成员 1
译者简介 2
校、编者简介 4
序 5
前　言 9
拥挤地球的生态学 10
《21 世纪的生态远景及行动计划》 14
　总纲 14
　生态远景委员会的历史和方法 16
　生态科学与全球可持续发展战略行动计划的必要性 18
　战略目标一：促进以生态学为基础的科学决策 20
　战略目标二：推进面向可持续发展的创新性生态学研究 27
　战略目标三：促进文化交融创建一个前瞻性的国际生态学 37
生态学未来之展望 60
　走向可持续发展的生态学 61
　二十一世纪的生态学与可持续发展 63
　物种入侵的对策、管理及未来研究需要 73
　海洋景观、捕捞和养殖的未来 88
　生态学理论对加强传染病控制和 制定公众健康政策的指导作用 98
　协调农业生产力与环境整体性：对农业的巨大挑战 111
　理解和维系内陆水生生态系统的空间显示工具 124
　生态系统服务功能整合评估：我们能否把握自然界的脉搏？ 135
全球化下的中国环境 140
中华海外生态学者协会简介 163
中国生态学学会简介 166
中国科学院系统生态重点实验室简介 167

ESA“生态远景委员会”成员

- Emily S. Bernhardt, Duke University, Durham, NC
- Elizabeth A. Chornesky, University of California, Santa Cruz, CA
- Scott L. Collins, University of New Mexico, Albuquerque, NM
- Andrew P. Dobson, Princeton University, Princeton, NJ
- Clifford S. Duke, Ecological Society of America,Washington, DC
- Barry D. Gold, David and Lucile Packard Foundation, Los Altos, CA
- Robert Jacobson, U.S. Geological Survey, Columbia, MO
- Sharon Kingsland, Johns Hopkins University, Baltimore, MD
- Rhonda Kranz, Ecological Society of America,Washington, DC
- Michael J. Mappin, University of Calgary,Alberta, Canada
- M. Luisa Martinez, Instituto de Ecologia, Xalapa, Mexico
- Fiorenza Micheli; Stanford University, Pacific Grove, CA
- Jennifer L. Morse, Univ.of Maryland, College Park, MD,
- Michael L. Pace, Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY
- Margaret A. Palmer*, Univ.of Maryland, College Park, MD,
- Stephen Palumbi, Stanford University, Pacific Grove, CA
- Mercedes Pascual, University of Michigan, Ann Arbor, MI
- O. J. Reichman, University of California, Santa Barbara, CA
- Ashley Simons, COMPASS, Washington, DC
- Alan Townsend, University of Colorado, Boulder, CO
- Monica G.Turner University of Wisconsin, Madison, WI.

译者简介

程维信：美国佐治亚大学生态学博士，美国加里佛尼亚大学 Santa Cruz 分校环境研究系教授。主要研究方向：土壤资源、根系统功能结构与呼吸、全球变化、农业生态学等。电子邮箱：wxcheng@ucsc.edu

方　炜：美国纽约州立大学石溪分校生态进化系博士，现任美国长岛大学布鲁克林分校生物系助理教授。主要研究方向：入侵生物学，恢复生态学。联系电话：1-718-488-1470；电子邮箱：wei.fang@liu.edu

高　方：美国加州大学河滨分校环境与土壤科学系博士、美国农业部土壤盐份研究所博士后、美国注册职业工程师。现为美国特拉华州自然资源与环境保护部高级环境工程师，负责该州室外空气质量及污染控制规划。电子邮箱：frank.gao@state.de.us

古滨河：美国阿拉斯加大学海洋学博士、佛罗里达大学博士后。现为美国南佛罗理达州水资源管理署高级环境科学家。研究方向：应用湖沼学，湿地生态学,生物地球化学和稳定性同位素生态学。电子邮箱：bgu@sfwmd.gov

关蔚禾：美国佐治亚大学生态学博士，Marshall 咨询公司高级项目主管。研究兴趣：地理信息系统，遥感技术在资源管理中的应用。电子邮箱：weihe_guan@yahoo.com

何　希：美国维斯康辛大学博士，从事湖沼学和海洋科学研究，现于美国国家海洋大气管理总局国家海洋渔业署任职。电子邮箱：xi.he@noaa.gov

花　东：美国南达科达州矿产理工大学博士，现为魁北克大学蒙特利分校博士后研究员。主要研究兴趣：卫星数字图像处理、线性谱分离技术、卫星数字图像融合技术、卫星数字图像分类技术和森林类别识别、树木生长参数的遥感遥测、碳氮模拟、火动态模型。电子邮箱：C2050@er.uqam.ca

黄长志：1977 年考入华南农业大学,毕业于园艺系。1983 年赴美国戴维斯加州大学学习,分别于 1986 年和 1991 年获生态学硕士博士学位。目前在美国加州政府资源署任生态毒理正研究员。主要从事生态毒理学和生态风险评估的研究。电子邮箱：chuang@ospr.dfg.ca.gov

江　洪：博士，美国保护生物学研究所高级研究员。主要研究兴趣：植物生态与森林生态、遥感与空间分析的应用、保护生物学和生态模型等。电子邮箱：hongjiang@consbio.org

林光辉：1992 年获美国迈阿密大学生态学博士学位。1992－1994 年在美国犹他大学从事博士后研究。现为中国科学院植物研究所首席研究员。研究方向：植物生理生态学、全球变化生态学和稳定性同位素技术在生态和环境科学研究中的应用。电子邮箱：ghlin@ibcas.ac.cn

刘　峰：1995 年获中国科学院植物研究所生态学硕士，现为德克萨斯 A&M 大学牧地生态与管理系博士生。研究兴趣：景观生态学，生态系统生态学，全球变化。电子邮箱：asherliu@hotmail.com

刘秦勤：1985 美国威斯康星大学硕士,1990 年美国戴维斯加州大学植物学博士，1990～1993 美国加州大学 Berkeley 分校博士后。目前在美国加州政府资源署任研究协调员。主要从事生态系统内物种和生境保育的研究和政策协调工作。电子邮箱：drqliu@yahoo.com

廖成章：复旦大学生命科学学院生态学博士生。从事生物入侵对长江河口湿地生态系统生产力和碳、氮动态影响及湿地生物地球化学循环的研究。电子邮箱：031023079@fudan.edu.cn

骆亦其：美国戴维斯加州大学博士,洛杉矶加州大学和斯坦福大学博士后。现任俄克拉荷马大学教授，复旦大学长江讲座教授。长期致力于全球变化研究，其研究方向主要为植物生理生态学,生态系统生态学,生物地球化学循环和生态模型。电子邮箱：yluo@ou.edu

缪世利：美国波士顿大学博士，哈佛大学博士后,现为美国南佛罗理达州水资源管理署高级主管科学家。中国科学院海外知名学者,中国科学院植物研究所客座研究员。研究方向：植物生态学，湿地生态学，恢复生态学和入侵生物学。电子邮箱：smiao_33406@yahoo.com

彭长辉：法国马赛第三大学生态学博士。现任加拿大首席科学家（生态模型），Quebec 大学终身教授。2002 年中国国家杰出青年科学基金（B 类）获得者，2004 获得中国科学院海外评审专家。学科领域：全球气候变化,陆地生态系统碳循环和生态模型。电子邮箱：peng.changhui@uqam.ca

邬建国：博士、美国亚利桑那州立大学教授，国际《景观生态学》主编。主要研究含景观生态学、城市生态学、以及可持续性科学。电子邮箱：Jingle.Wu@asu.edu

武昕原：美国田纳西大学生态学博士，俄亥俄州立大学博士后。现任德克萨斯 A&M 大学牧地生态与管理系副教授。主要研究兴趣：景观生态学、湿地生态与恢复、生态保护、及生态教育。电子邮箱：xbw@tamu.edu

伍业钢：美国怀俄明大学植物学系博士，现为美国 Consulting Engineers 公司主任生态学家。主要研究兴趣：景观生态学、火生态学、植被生态学、生态模型等，目前参与密西西比河流域航运与生态系统恢复模拟研究。电子邮箱：ywu_mail@yahoo.com

张志辉：美国佛罗里达大学博士，现为美国南佛罗理达州水资源管理署高级地理信息科学家。研究方向：空间与环境信息系统。电子邮箱：frank.chang@gmx.net

朱伟兴：美国新泽西州罗格斯大学生态学博士、统计学硕士，弗德姆大学、亚利桑那州立大学博士后，现为纽约州立大学宾汉姆分校副教授。研究领域：生物地球化学循环、土壤生态学、城市生态学、植物与土壤相关关系、及氮循环与氮滞留问题。电子邮箱：wxzhu@binghamton.edu

校、编者简介

陈　亮（1977 -），中国科学院生态环境研究中心系统生态实验室博士研究生。主要研究方向生态资产评估、产业生态学。电子邮箱：ecochenliang@yahoo.com.cn

陈求稳（1974 -），博士，中国科学院生态环境研究中心研究员，博士生导师，荷兰注册工程师。主要从事生态模拟和生态信息学研究。电子邮箱：qchen@mail.rcees.ac.cn

胡　聃，理学博士，中国科学院生态环境研究中心副研究员。现主要从事城市生态学、生态经济学、复杂城市生态系统分析与模拟等方面的学术研究。电子邮箱：hudan@mail.rcees.ac.cn

李　栋（1980 -），中国科学院生态环境研究中心系统生态实验室博士研究生。主要研究方向生态城市规划、可持续人居环境及能源管理。电子邮箱：uriel_li@yahoo.com.cn

李　锋（1973 -），生态学博士，中国科学院生态环境研究中心助理研究员。主要从事区域与城市系统生态学、生态服务、生态规划和产业生态学方面研究。电子邮箱：lifeng@mail.rcees.ac.cn

欧阳文锐（1979 -），湖北天门人。硕士，助教。2004 年毕业于中国农业大学生态学专业。现为中国科学院生态环境研究中心生态学博士生，研究方向为城市生态学。电子邮箱：oydragon@126.com

欧阳志云，生态学博士，中国科学院生态环境研究中心副主任，研究员，博士生导师，中国科学院系统生态重点实验室主任，主要从事人类活动胁迫下的生态系统特征与演化规律，自然保护、生态规划与生态评价的理论与应用研究。

王如松（1947 -），系统生态学博士，中国科学院生态环境研究中心研究员、国际科联环境问题科学委员会第一副主席，国际生态学会执委，中国生态学会理事长，中国生态学会城市生态专业委员会主任。主要从事复合生态系统理论、城市生态规划与管理和产业生态工程集成技术研究。

郑　华（1974 -），博士，中国科学院生态环境研究中心助理研究员。主要从事生态系统服务功能、生态评价与生态规划研究。电子邮箱：zhenghua@mail.rcees.ac.cn

序

—— 拥挤地球的生态福音

大千世界，熙熙攘攘，蜂拥蚁聚；物质进进出出，能量聚聚散散，生命生生不息。人们无时无处不在和周围环境中的物、事、人打交道。荀子曰："金石有形而无气，水火有气而无生，草木有生而无知，禽兽有知而无义，人有气、有生、有知、且有义，故最为天下贵也！"水、火、草、木、禽、兽、天、地构成绚丽多彩的地球生命支持系统，加上人气、人生、人知、人义和人文便构成了我们生机昂然的地球生态景观。

人既是现代文明的创造者，也是地球生命支持系统的最大破坏者。如果将地球上的生态史化约为 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 分 13 秒的事，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景观发生了翻天覆地的变化。

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，一直试图避开人而"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。

为此，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生物圈组成的 90 年代生态学研究议题，使生态学研究与人类活动的联系更加紧密。但迄今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、是科学与社会的桥梁？

一个由 M.Palmer 等 20 名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）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和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《科学》杂志 2004 年 5 月 28 第 304 卷 1251～1252 页上。《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。

作为世界上会员最多、实力最强的美国生态学会发表的这一报告是划时代的。它代表着世界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人类可持续发展生态学、经院生态学向管理决策生态学、自然生态学向社会生态学、恢复生态学向工程生态学的拓展和升华。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等三大战略和相应的行动计划对快速经济发展中的我国城乡环境保护、生态建设和生态科学发展有着重要的参考价值。报告中提出的生态服务、生态设计、生态信息和生态文化研究已成为生态学前沿的几朵奇葩，也是当前中国生态学研究的热点。

为让更多的中国读者了解该报告的详细内容，中华海外生态学者协会（SINO-ECO）、美国生态学会亚州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将报告全文、专刊的全部文章以及《科学》杂志上的简介翻译成中文，并编印成册，遍飨读者。为配合读者从国际角度了解中国环境的机遇与挑战，我们还翻译和转载了《自然》杂志 2005 年 6 月 30 日第 435 期刊载的中华海外生态学者协会前主席刘建国与 J. Diamond 合写的一篇有关中国环境问题的综述文章。所有译文均根据编译者的理解译出，不代表编译单位的观点，仅供参考，准确含义以原文为准。

生态一词当前在国内外颇为流行。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，只在生态学工作者圈子里使用。F. Darling（1967）指出，生态学作为一门研究生物与其环境之间关系的科学，是一个超出初创者想象的意义更为重大的思想。英文中只有 ecology（生态学）和 ecological（生态的或生态学的）两单词，没有作为名词的“生态”一词。著名生态学家 H.T.Odum 教授 1988 年访问中科院生态环境研究中心时，我们曾讨论过此事。他认为 ecology 也可以表示生态关系，但最好象经济（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，比如 ecologics 以代替 ecology。这在汉语中就没有这种歧义。生态的词义本身是中性的，但作为一个形容词的生态（ecological）与名词连用时，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涵义。21 世纪的生态学，既是包括人在内的生物与环境之间关系的一门系统科学，也是人类认识环境、改造环境的一门世界观和方法论或自然哲学，还是人类塑造环境、模拟自然的一门工程美学，是科学与社会的桥梁，是天地生灵和人类福祉的纽带。

拥挤地球的生态关系应是谐和的，遵循整体协同、循环自生、物质不灭、能量守恒; 是进取的，追求高效竞争、开放共生、优胜劣汰、协同进化; 是整合的，倡导富裕、健康、文明的调和，生理、心理、伦理的健康，城市、乡村、郊野的宁逸；更是辨证的，和谐而不均衡、开拓而不耗竭、适应而不保守，循环而不回归。

早在 3000 多年前，中华民族就形成了一套“观乎天文以察时变，观乎人文以化成天下”的人类生态思想体系，包括道理、事理、义理和情理等。中国封建社会正是靠着这些天时、地利及人际关系的正确认识，靠着物质循环再生，社会协调共生和修身养性自我调节的生态观，维持着其 3000 多年稳定的农业社会结构，形成了独特的华夏文明。

生态一词自上世纪初引进中国以来，其天生的整体论学科性质很快就与中国传统的天人合一思想相共鸣，在生态农业、生态工程、自然保护等领域得到广泛的应用。中国人多地薄历史悠久的国情也决定了中国生态学研究的亲民特色和人文关联。早在八十年代初，马世骏等就提出了人类社会是一类以人的行为为主导、自然环境为依托、资源流动为命脉、社会体制为经络的社会－经济－自然复合生态系统。可持续发展问题的实质是以人为主体的生命与其栖息劳作环境、物质生产环境及社会文化环境间关系的协调发展。作为可持续发展理论基础的生态学，其核心就是要调节好以水、土、能、生物、地球化学循环为主体的自然生态过程，与以生产、流通、消费、还原、调控为主流的经济生态过程和以人的科技、体制、文化为主线的社会生态过程在时、空、量、构、序范畴的生态耦合关系和推进以整体、协同、循环、自生为基础的生态规划、生态工程与生态管理。二十多年来，中国生态学理论与应用研究以及城乡环境保护和生态建设工作取得了长足进展，但在技术手段、人才培养、管理体制、社会基础和研究的文化氛围等方面我们和欧美发达国家还有较大的差距。相信本文集的编印将对中国生态学工作者了解国际生态学前沿动向，制定中国生态学发展战略有重要的参考价值。对即将于 2007 年 5 月在北京召开的由 Elsevier 出版社和中国生态学会发起，国际生态学会、国际科联环境问题科学委员会等国际组织和美国生态学会等联合支持的第三届世界生态高峰会（Eco-Summit III）也是一种理论准备。

这本文集是当今世界上东西方两个最大的生态学会通力合作以及海内外中华生态学子联手奉献的结晶。文集的编译和刊印得到美国生态学会前任、现任和下任主席 Jerry Melillo, Nancy Grimm，Alan Covich 以及美国生态学会《生态学与环境科学前沿》杂志主编 Sue Silver 的全力支持，特向他们以及文集的所有作者表示衷心的感谢。我们特别要感谢中华海外生态学者协会、美国生态学会亚州分会、中国生态学会、中国科学院系统生态重点实验室和中国科协海外智力为国服务行动委员会为本文集的刊印和传播提供的人力物力支持。

本文集的译者大多是 SINO-ECO 的前主席、创始人或热情奉献的活跃分子，他们在繁忙的学习、工作中奉献出自己的时间、精力和资源，特别是伍业钢、缪世利、彭长辉、古滨河等为本文集的编译和组织工作付出了艰辛的劳动，中国生态学会和中国科学院系统生态重点实验室的研究人员和研究生为本文集的编印和校核也投入了很多的精力，在此表示诚挚的谢意。

中华海外生态学者协会自 80 年代末成立以来，一直在联络、组织海外生态学工作者，为促进中国生态学事业的繁荣兴旺和推进祖国的环境保护和生态建设事业而辛勤奔波、牵线搭桥，在学术交流、合作研究、决策咨询、论著出版、期刊编辑、人才培养等方面为振兴中华生态学事业作出了重要贡献。一批会员已陆续回国从事生态学研究或与国内一些科研单位开展合作研究。是科学的事业心、民族的认同感、环境的忧患意识和报效家国的责任心激励他们年复一年、持之以恒地协同奉献。SINO-ECO 在 20 世纪末－21 世纪初中国生态学发展史上的作用是不可磨灭的。

交叉、融合、适应、进化是现代生态学的显著特征。15 世纪欧洲大陆的文艺复兴运动使自然科学获得新生，一场科学革命冲破了中世纪封建势力和经院哲学的层层罗网，物理学的突飞猛进为工业革命的辉煌成就奠定了理论基础。就像作为研究数与形抽象关系的数学从物理学中脱颖而出，又推动了物理学的突飞猛进一样，20 世纪后半叶的环境运动催生了自然科学和社会科学交叉的可持续发展科学，而从生物学、地学和环境科学的实体抽象出来的研究人口、资源、环境间的时、空、量、构、序耦合关系的生态学将在新千年大放异彩，形成一门独立于传统科学之外的科学工具而又推动人和自然永续发展的基础科学。

本书若能为这一襁褓中的婴儿带来福音，为新世纪的中国生态学吹来新风，为东西方生态思想的融合以及国家、民族和全球的永续发展推波助澜，编者将不胜荣幸。

王如松

2005 年 9 月，北京

前 言

生态学是研究生物与环境之间相互关系和作用的科学。近一个世纪以来，随着世界人口剧增，人类对自然资源和环境的不合理开发和利用，以及对生态系统的不断干扰和破坏，全球的生态环境发生了急剧的变化，如全球变暖、海平面上升、大气和水体污染、生物入侵、生物多样性丧失、荒漠化加剧、生态系统退化、水资源短缺等一系列全球性生态与环境问题和生态灾难。人类社会正面临环境、资源危机与可持续发展的严峻挑战。

经济越发展，环境越重要。21 世纪全人类面临的可持续发展挑战可谓“世之大事，死生之地，存亡之道，不可不察”。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。

科学没有国界。为了中国生态科学超越国界，走向世界，为了及时报道国际上的最新动态，进一步增进与国内同行在生态学与可持续发展领域的交流与合作，由中华海外生态学者协会（SINO-ECO）的几位会员，伍业刚、缪世利、古滨河博士倡议，翻译由美国生态学会主持编写的《生态科学与可持续发展战略远景报告》以及发表在《生态学与环境科学前沿》上的相应文章。该报告包括三个战略目标：

（1） 强化以生态学为基础的科学决策；
（2） 推进面向拥挤地球可持续发展能力的创新性生态学研究；
（3） 促进生态学中文化氛围的交融以开创一个前瞻性和国际化的生态学事业。

本书由部分中华海外生态学者协会会员翻译。他们都是在繁忙的工作之余，放弃周末与家人共享天伦之乐，抽出时间赶译出来的。古滨河博士花了大量时间审阅译稿。全书最后由伍业钢博士归纳综合。此外，本译书得到中华海外生态学者协会、美国生态学会－亚洲分会，中国生态学会及《生态学与环境科学前沿》刊物总编Sue Silver 博士的大力支持。

为此，我们十分欣慰为这部十分重要的译著写上几句前言，并借此机会推荐本书给我国的生态研究人员、教育工作者，以及相关政府部门的决策人员、管理者和关心环境问题的企业家、大专院校的研究生和学生。希望该书能为中国 21 世纪生态学的发展和制定适合中国国情的可持续发展战略起到“抛砖引玉”的作用。

最后，值此译著出版之际，我们特向支持和参与本书翻译的所有译者、有关单位和学术团体，再一次表示衷心的感谢。

彭长辉 博士
中华海外生态学者协会 现任主席
加拿大首席科学家，魁北克大学教授

缪世利 博士
美国生态学会－亚洲分会 现任主席
美国南佛罗里达洲水资源管理局高级主管研究员

拥挤地球的生态学

Margaret Palmer*, Jennifer Morse, Emily Bernhardt, Elizabeth Chornesky, Scott Collins, Andrew Dobson, Clifford Duke, Rhonda Kranz, Barry Gold, Robert Jacobson, Sharon Kingsland, Michael Mappin, M. Luisa Martinez, Fiorenza Micheli; Stephen Palumbi, Michael Pace, Mercedes Pascual, O. J. Reichman, Ashley Simons, Alan Townsend, Monica Turner

本文英文原文刊于 2004 年 5 月 28 日《Science》304 卷 1251-1252 页, www.sciencemag.org

今后 50 到 100 年，世界人口将达到 80 到 100 亿，维持如此巨额人口的生存将会变得十分困难。人类消耗对健康至关重要的资源的速率远远超过了其供给能力，有限的地球空间难以承载人类如此巨大的生态足迹[1, 2]。化石燃料燃烧和化肥生产所排放的氮已超过地球固氮速率的两倍，这在肥沃地球荒芜土地的同时也加剧了日益严重的富营养化过程[3]。全球化的商业贸易导致病虫害的扩散和为害，因为它们脱离了其自然天敌的控制[4]。

虽然对所剩无几并迅速退化的原生生态系统的研究十分重要，可现在该是研究面向未来的生态学的时候了。由于在可以预料的将来，地球人口会过度膨胀，而自然资源的消耗速率在进一步加快，人类对地球的改造只会加剧。因此，将人类活动融入地球生态系统的一个整合组分来研究十分必要，未来研究的焦点将是在满足人类需求的同时维持地球生命系统的活力。

生态学在改善人民生活中起过重要的作用[5]。而对社会生态系统可持续能力和恢复能力的研究已经开始[6, 7]。人们到处都在讨论伙伴关系并制定所需要的研究计划[8]。本文将推荐一个有关生态系统服务和生态恢复与设计科学的研究议程。

生态系统服务科学

自然生态系统为人类社会提供了大量生态服务，如纯净的饮水，植物的水土保持，菌源性传播疾病的缓冲，花粉传授等。这些服务在大多数场合下是不可替代的，或即使有技术可替代也是十分昂贵的。比如，人们经常建议的为自然保育和发展生产使用的在淡水资源缺乏地区推广的盐碱地治理技术，其成本是大多数淡水用户支付意愿的两倍以上[9]。

维护生态系统的服务功能要求对提供服务的自然格局和过程有一更透彻的了解[10]。要回答以下一些关键问题需要创新型的研究方法：哪些生态服务是不可替代或十分昂贵的，或其替代技术将会产生意想不到的负面效果？哪些生境必须保护以保障生态系统能为人类提供关键的服务功能？哪些因素会削弱生态服务？怎样才能减缓或逆转它们的影响？个人、企业和政府的行为是怎样维持或削弱生态服务功能的？当自然保育对策不能生效时，生态学家能采取些什么样的对策？

对某些服务功能来说，其作用机理已经清楚，但这些知识并没有得到广泛的传播和应用。比如，由于硬化地表和屋顶没有植被覆盖，原本渗透到土壤中去的雨水通过下水管道或地表径流白白流进江河湖海，导致洪涝灾害和水体富营养化。开发过程中，人们往往忽

视绿色廊道、河岸保护区、泄洪设施等可以减缓生态退化的基础设施建设。强化对生态系统服务功能的公众评估将有利于促进科学和管理的结合。在德国的很多城市，屋顶花园和其它有关降低硬化地表的环境影响的技术正在得到广泛的支持。

没有全社会对生态系统和人类福祉关系的广泛了解，科学是没有用的。比如，美国东部切沙匹克海湾集水区的居民们都懂得保护湾区水质和渴望恢复美国牡蛎的退化生境。他们懂得干净的海水和适宜的牡蛎生境为他们提供了多大的物质、文化和精神价值。他们希望改进水处理设施，引进外地牡蛎种以替代本地的贝类。但是，他们应该明白，在引进外来种的同时，也引进了风险，科学证据表明，不改变现行的土地利用方式，要恢复原来的贝类是不可能的。

要确定自然系统是怎样提供生态服务的，必须有一测度方法并研究其相应生态系统尺度的动力学机制。要弄清生态响应是如何依赖于时间和空间的，需要探讨空间的、解析的和其它定量分析的新方法[11]。开展集多变量的因果关系分析，非线性的反馈机理和基于个体行为的决策为一体的交叉学科研究，是将人类组分纳入生态系统研究的关键。

人工生态设计

生态系统恢复已成为美国社会的一个热门事务，每年有数十亿美元用于污染水体的修复，以及退化、破碎或表层铺装土地的植被重建（见附图 1）。然而，人工设计的生态系统已经超越了将生态系统修复到过去状态的传统理念，有些是可能或有些是不可能的。它要求创造一个功能完善的生物群落，并与人类耦合成自然－社会复合生态系统，使其为人类提供最优的生态服务。

人工设计的生态系统可以包括从对原生生态系统的轻微改造到重新设计的不可替代的生态系统。后者是一类为满足人类的生态、社会和经济目标而刻意创造的综合型系统。比如在荷兰，一些人口密集的城市多年来一直在抽取海滩沙丘底下的淡水作为饮用水，为减缓对地下水的过度抽取，建了一些人工湖泊，并向沙丘底层回灌内河淡水。尽管还不能完全杜绝环境问题，这些生态举措确实展现了很大的潜力[12]。

这类系统并不一定要象恢复自然生态系统那样恪守特定地点的生态系统结构与功能的传统理念。相反，一个人工生态系统可以设计成通过各种组合的技术手段并配以当地物种的新型组合来减缓不利的生态影响，并有利于特定生态服务功能的培育。这种公然倡导人工设计生态系统的作法可能会引起一些自然保护主义者和一些自然生态学家的反感。我们当然不提倡用这种人工设计系统去替代自然生态系统，但毫无疑问，他们将成为未来可持续世界的一部分。

为满足日益增长的人类需求，我们需要建立人工生态设计科学。为此，研究工作者必须与实施恢复工作的机构、公司和相关团体紧密结合，帮助他们在在下列问题上掌握分寸，建立指导原则：要将某一地点维持或恢复到某一可接受的基线，需要多大的人工干预？何时恢复努力不起作用或没有好处？

生态设计方法需要将生态学原则与其他学科的方法和技术相结合。比如，污水处理工程师与生态学家享有共同的科学兴趣，但很少彼此对话。工艺过程设计可以从生态学基于新的分子技术的营养传输方法中受益，而生态学家可以引进生物系统工程作为研究工具

[13]。

当前，在城市化、淡水生态退化和不同生态系统间的物质迁移等领域迫切需要研究生态方案的人工设计。洁净地表水的短缺、地下水的过度抽取以及跨流域的调水等问题正以不寻常的速度发展[9]。研究的优先领域应包括对怎样恢复水体的自然服务功能，怎样恢复和设计人工调控河流的自然水流，以及怎样降低淡水生态系统中物种的快速灭绝速率的研究。河流上游的水源保护对下游河口及海岸带水质和鱼类生境的保护至关重要。迄今在有关怎样最好地恢复上游集水区生态和设计最小化下游和海岸带生态影响的生态方案的基础研究中，自然资源管理者、执法部门以及基础研究工作者间的交流太少。

到 2030 年，世界一半以上人口将生活在城市里，这些城市多数位于沿海地区。城市化，包括那些建成区面积不构成土地利用主导成分的城市，将对区域和全球环境产生重大影响[14]。为减缓伴随城市化过程而急遽增长的进出城市和沿海地区的人流、物流和能流的环境影响，需要设计生态解决方案。需要增加对城市生物多样性和进化过程的设计，以恢复和增强城市生态服务功能。人工设计的生态解决方案对减缓城市化、气候变化和人体健康间的相互作用风险至关重要。比如，水火灾害对于恢复和维持人类赖以支持的自然服务功能有着重要作用，但在人口密集地区这些自然干扰可能造成生命财产的损失，因此社会－生态研究必须处理好人类需求和生态系统需求间的矛盾。

生命有机体和非生命物质的流动会影响生态系统和生态过程，这种生态流的变化并不只在城市地区。由于人类活动排放的氮氧化合物合二氧化硫 以及旅游活动的增加，使得全球流行病和入侵物种的加剧扩散，这是一类非人们所期望的生态流。人们期望的生态流包括候鸟的迁徙以及洪水，如果没有这类生物和水的流动，渔业、农业和生物多样性将受到负面影响[15]。我们需要研究生态流的路径和由于路径和物质交换速率的变化造成的影响；需要研究利用调节生态流来解决环境问题的方案；以及找出用于消除负面影响的生态学原理和方法。

面向应用的生态科学

人类未来的环境很大一部分将由人工不同程度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。一个更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，这种方案不光是通过自然保护和恢复，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[16]。

（王如松　译）

参考文献与备注

1. J. Lubchenco *et al*., Ecology 72, 371 (1991).
2. A. J. McMichael, C. D. Butler, C. Folke, Science 302, 1919 (2003).
3. P. M.Vitousek *et al*., Ecol. Appl. 7, 737 (1997).
4. W. F. Font, Bioscience 53, 1061 (2003).
5. 生态科学在解决关键问题中的作用的例子可在科学杂志的在线参考材料中得到。

6. Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being(Island,Washington, DC, 2003).
7. L.H.Gunderson, L.Pritchard, Resilience and the Behavior of Large-Scale Systems (Island, Washington, DC, 2002).
8. M. A. Palmer *et al*., Ecological Science and Sustainability for a Crowded Planet: 21st Century Vision and Action Plan for the Ecological Society of America (2004); available at http://esa.org/ecovisions/
9. P. H. Gleick, The World's Water, the Biennial Report on Freshwater Resources(Island,Washington, DC, 2000).
10. G. C. Daily, Ed., Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems (Island, Washington, DC, 1997).
11. 可以利用移动的传感器去跟踪、辨识和研究微生物的实时实地习性，从而了解自然发生和引进的微生物是怎样影响海洋生态系统的，见 http://deerhound.ats.ucla.edu:7777/
12. M. L. Martinez, N. Psuty, Eds., Coastal Dunes: Ecology and Conservation (Ecological Studies Series, 171. Springer-Verlag 2004).
13. D.W. Graham,V. H. Smith, Front. Ecol. Environ. 2, 199 (2004).
14. M. Alberti *et al*., Bioscience53, 1169 (2003).
15. S. R. Palumbi, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 100, 1197 (2003).
16. 本文是美国生态学会生态远景委员会委员们的工作集成。感谢 P. Matson 以及美国生态学会理事会和办公室得到的来自 Mellon 基金会、Packard 基金会、美国国家环保局、科学基金会、地调局及发展署的支持。

在线参考材料可见：www.sciencemag.org/cgi/content/full/304/5675/1251

* 联系地址：mpalmer@umd.edu.

图注：

人工设计的生态系统　上图：美国西南荒漠中的自然溪流在夏季强降水后有了变化，径流显著增加。中图：常用的工程解决办法：将自然溪流截弯取直为水泥涵道，这虽然减少了洪水发生时的经济损失，却牺牲了其它生态的、社会的甚至经济的利益。下图：作为水泥涵道替代方案的人工生态系统，如亚利桑那州 Scottsdale 地方的印度第安弯溪，这里植物通道和湿地既能减少洪水的损失，又能改善水质，提高周边土地的价值，还能创造一种类似公园的游息环境。

美国生态学会“生态远景委员会”提交 ESA 董事会的报告

《21 世纪的生态远景及行动计划》

2004 年 4 月

*Margaret A. Palmer[1], Emily S.Bernhardt[2], Elizabeth A. Chornesky[3],
Scott L. Collins[4], Andrew P. Dobson[5], Clifford S. Duke[6], Barry D. Gold[7],
Robert. Jacobson[8], Sharon Kingsland[9], Rhonda Kranz[6], Michael J Mappin[10],
M. Luisa Martinez[11], Fiorenza Micheli[12], Jennifer L. Morse[1], Michael L Pace[13], Mercedes Pascual[14],
Stephen Palumbi[12], O.J. Reichman[15], Alan Townsend[16], and Monica G. Turner[17]

www.esa.org/ecovisions

总纲

随着世界人口的急剧增长和人类对生态系统的不断干扰和破坏，环境问题将是二十一世纪人类所面临的最大挑战，也是未来这个已经拥挤不堪的地球可持续发展的要害。生态学能够也应该成为未来人类与自然生态系统共存的理论依据和行动指南。生态科学可利用其所掌握地有关自然系统的广泛知识去帮助人类更好地管理、恢复和创建生态系统，为这一拥挤不堪的地球村提供更多的生态服务。为了达到这一目的，生态学家必须在不同尺度上、以各种不同形式在各领域间开展全方位的前所未有的合作，并为实现如下三个战略目标而付诸行动：

（1） 强化以生态学为基础的科学决策；
（2） 推进面向拥挤地球可持续发展能力的创新性生态学研究；
（3） 促进生态学中文化氛围的交融以开创一个前瞻性和国际化的生态学事业。

为迎接生态学大尺度、多学科研究的新纪元，把生态学作为可持续发展的理论基础，我们必须建立全球性的新型战略伙伴关系，加强不同层面上生态学研究的相互合作。为此，在现有的生态学研究基础上我们呼吁：

（1） 加强和不断开拓生态学研究的项目；
（2） 提倡大尺度的研究和合作；
（3） 注重资料采集和数据存档；
（4） 强调科研与实际结合，解决实际问题。

我们一再呼吁不断改善和提高科学家、管理者和决策层之间的合作和交流。同时，应不断提高公众对生态系统作用的科学认识，理解生态系统与人类的生存发展的息息相关。我们建议，展开一个大规模的公众自我教育运动，交流信息，讨论公众关心的焦点问题，

促使公众对可持续发展必须建立在生态科学基础上的重要意义有一个共识。

我们特别强调针对每一个战略目标所提出具体的行动计划要尽快得到落实。我们应该从资料搜集、数据存档、信息共享着手，建立起完善的生态信息系统，并尽快对专业人士和研究生进行有关生态信息系统技术和应用的培训。我们呼吁各级政府成立一个“生态科学与可持续发展快速反应专家委员会”，保证政府决策、立法和行政管理符合可持续发展战略原则，并保证生态科学对可持续发展战略的理论指导作用。我们还要充分利用各种可能的资源，促进生态学与各相关学科研究人员的广泛的和卓有成效的合作。我们建议召开一个生态学家、管理者和企业家的高峰会议，制定出一种对生态研究人员、生态教育工作者、以及生态事业合作者的奖励机制。我们还建议建立一个全球共享的生态信息系统，这一全球生态信息系统需要不同语言的相互翻译来保证。另外，我们应鼓励不同国家、不同研究机构之间的学生、学者、管理人员、工作人员的交流交换和互相学习。

我们所提出的生态学与全球可持续发展的三大战略目标和及其具体实施方案，为促进生态学的研究和保证生态科学对可持续发展的指导提供了一个社会合作与行动的框架。而实现这些战略目标的核心是公众的能力建设和生态意识。实现本报告所提出的生态学与全球可持续地球的三大战略目标和及其具体实施方案，将促进一类新型生态学的诞生，其特征在于，将实现其区域性和全球紧密的合作，为生态系统及其支持的人类福祉带来一个更可持续的未来。

（伍业钢　译）

生态远景委员会的历史和方法

建立一个可持续的未来，并发展一门科学来达到这一目的，是美国生态学会(ESA)普遍的愿望和十多年来的一贯目标。可持续性生物圈计划(注 1)就是 ESA 提出的，旨在强调基础生态学研究的的关键作用，阐明生态学研究在全球变迁，生物多样性，及可持续性生态系统战略中的重要性。前两项研究已经并将继续得到相当的重视，但对于可持续性生态系统研究到底要做些什么，我们还不怎么清楚，只知道一系列至关重要的生态系统服务都要靠这样的系统来提供(Kates *et al*. 2001, Cash *et al*. 2003)。应当说，我们对与可持续性的认识还处在最初级的阶段。

2002 年，ESA 理事会授权一个远景委员会来起草一份行动计划，加速对当代主要环境问题的研究，增加生态科学在未来几十年对解决这些问题的贡献。可持续性生物圈计划(SBI)推进了这一委员会的工作。我们的任务是为 ESA 和整个生态科学的未来起草一份行动计划，我们没有被要求去确认最关键的科学问题，也没有去确定研究的优先邻域。这项工作已经由许多享有盛誉的组织卓有成效地完成了。我们的委员会同意他们的整体评估(注 2)。该委员会工作的起点，是全面领会在 Pamela Matson 主席领导下的 ESA 理事会的指示精神：

> …为了进一步解决主要环境问题，确保生态科学对于一个更加可持续性的世界的贡献，我们需要一个大胆的，明确的行动计划…

在广泛征求了我们的会员和许多 ESA 以外的组织和个人的大量意见后，我们行动计划的焦点集中在以下三方面：*培养公众的生态知情；推进创新性和预测性研究；营造前瞻性和国际性生态文化氛围。*我们建议的行动计划要依靠决心和努力去实现，要依靠 ESA 和相关学会、组织、机构及商界的协作。而且这些协作的重点要放在国际范围上。

框注 1：可持续性生物圈计划

ESA 提出可持续性生物圈计划(SBI)，作为“对所有生态学者的征战令”，也是“与其他相关专业人员的交流方式”。生态学者必须与这些相关专业的人员携手合作以应对我们共同面临的困境。这一计划呼吁人们学习生态知识，把知识传播给民众，并将其结合到政策和管理决策中(Lubchenco *et al*. 1991)。自 1991 年以来，这一计划对许多 ESA 的项目有着重大的影响和促进。

本行动计划包括的范围很广：从大尺度、时间跨度、高投资的项目，到不用增加投入马上就能执行的小项目。面对宏观、多变的大尺度生态研究，我们没有退缩，我们相信为了建立一个可持续性科学，这是作为一个生态学术团体所必需思考和行动的尺度。我们期望 ESA 将在所有本报告建议的行动中扮演关键的角色。这一角色可能是活动的主持人或倡议者。活动类型包括需要各种参与者的共同完成、需要大量投资的、或 ESA 自己就能单独完成的。

本报告建议的行动是委员会辛勤工作的结晶。我们收到了很多单位(政府机构，民间组织[NGO]，商业部门)和个人以及学会会员和理事会的大量建议。提建议的形式包括一对一的讨论、委员会成员的会议(附件 2)，在首都华盛顿与政府机关，民间组织，及工业界代表的工作早餐，联邦政府和民间组织代表的报告会(附件 3)，以及电脑邮件往来和 ESA 会员

在电脑网络上的民意调查(附件 4)。

框注 2：按生态学研究重要性排序的关键性环境问题*

研究生态系统服务的科学
生物多样性，物种组合，及生态系统功能
生物地球化学循环的生态学研究
传染病的生态和进化研究
生物入侵
土地利用和生境的变迁
淡水资源和海岸带环境

*这一清单是 ESA 生态远景委员会在研究了许多报告的基础上(见 http://www.esa.org/ecovisions/ev_projects/ref_ducoments.php)列出的。清单的项目没有按重要性排序。它代表委员会的看法，资料主要来源于两个报告：NRC(2003)，NSF-ERE(2003) 。

（关尉禾　译）

生态科学与全球可持续发展战略行动计划的必要性

随着 21 世纪的到来，人们广泛认识到人类已经改变了地球上几乎所有的生态系统。极少有地方还可被称为是原始地区。人类及其组织需要木材，于是就连最偏僻的热带雨林都被砍伐到了耗竭殆尽的地步(Kremen *et al*. 2000)。对能源和运输的需要导致了大气层二氧化碳，甲烷和氧化氮的增加(NRC 2000，IPCC 2001) 。地球的供水能力是有限的，但可用部分已减少；几乎所有淡水水体都亦或水质下降，亦或取水过度以至有些地区已干枯(Gleick 2003) ，极易引发相邻地区的暴力冲突。人类正在严重地损害地球生态系统的健康。

人类对环境的损害与人类对只有健康的生态系统才能提供的丰富多样的自然服务功能的依赖是相互矛盾的(Daily 1997)。在世界人口急剧上升和各国居民自然地寻求生活水平的提高时，怎样保护这些至关重要的自然服务功能是我们面临的挑战。问题不光在于人口过度膨胀，还在于人们对自然资源的过度开发，尤其是在象美国这样的发达国家的人们。

据联合国统计，世界人口在 2004 年春达到了 60 亿。增长预测显示即使增长率如预期的那样减慢，过去人口增长的惯性也会导致到本世纪末世界生态系统不得不负担 80～110 亿人口(Lutz *et al*. 2001)。但是，从生态可持续性的角度，很难看到任何可行的未来方案可以按现今的资源消耗率支持如此众多的人口(Dobkowski and Wallimann 2002)。即使是今天的人口数量，地球生态系统维持人类的能力也在很多地区很快地减弱和超支。同时，地球生产物资和提供生态服务的能力也在进一步减少。因此，不管最终人口的数量是多少，现在我们就需要新的思维方式和新的解决方案，以保证这一星球能维持膨胀的人口。

框注 3：可持续性

“可持续性”从拉丁词根讲，是保持存在的意思。“可持续性发展”这个词自 1980 年国际自然保护联盟(International Union for the Conservation of Nature) 发表世界保护策略(World Conservation Strategy) 起被使用。八年以后世界环境发展委员会(the World Commissionon Environment and Development)，也称布伦特兰委员会，发表了著名的报告：《我们共同的未来》(Our Common Future)，可持续发展一词得到广泛流传。该词的定义已有许多变异。

本报告采用的是美国国家研究理事会(National Research Council)的定义：“在满足人类需要的同时保护地球的生命支持系统并减少饥饿和贫困”(NRC 1999)。

生态学家们传统上最关注的是地球上最少受干扰的地区——雨林，岛屿，原始地区等。他们的研究已经提供了对于复杂的生态互动过程的意义的重大理解。这一宝贵的工作引导研究者们去建立一个有关未来的生态学。未来生态学将重新勾勒对关键性生态问题的认识，人类对环境的主导性影响，包括其中的生态学。生态学和生态学家们正在进入一个新的、关键性历史时期。这一新时期要求观念和行动都的重大转变。

我们相信，生态学家们(以及环境科学家和决策者们)一定会接受地球的人口快速增长和资源过度开发是不可避免的现实。所有人都在思考、计划和研究中考虑到人类不可避免地改变着他们周围世界的趋势。人类的这一倾向只有在地球的居民更加清楚地了解了地球的危险处境后才可能会有所减缓。但在这一天到来之前，我们的思维必须反映今天的现实。

未来生态学必须对人类的巨大足迹更有响应，更懂得尊重。生态学知识能够，也必须为建设未来世界发挥核心中心作用，在这个世界里人们都生存在一个可持续的生态系统中。它不是一种乌托邦的幻想，而是现实可行的。它也不是杞人忧天，而是实在的。问题导向的环境科学和预测作为决策的关键因素。而且，它需要人们为一个更可持续的未来采取保护性、恢复性和创造性相结合的生态对策。

因此我们倡导一个更有前瞻性的国际性的生态科学，着眼于如何能让自然系统及其所支持的大量人口更可持续性地共存于地球这个星球上。我们称之为*拥挤地球上的生态科学和可持续能力*。它是建立在这样的共识上的：1) 基础生态学研究的丰富历史为我们进一步建立可持续性科学奠定了坚实的基础；另外，2) 生态科学在决定我们星球的未来中必须起到中心作用，这给予了生态学家们一个特殊的使命，那就是制定和执行行动计划。中心目标必须是对以下几点明确认识：生态系统是如何支持人类，提供人们所需的生态效益，以及怎么权衡保护性、恢复性和创造性的生态解决办法以确保持续的生态服务。

对于行动计划的需要是从以下事实衍生出来的：地区性和全球性的高级协作研究还没有把生态科学定义为能够影响可持续性问题的学科。生态学也还没有实际有效地为影响我们环境的决策提供咨询。我们需要加强研究，但也许更重要的是，我们需要比以前更有效地宣传生态科学。生态科学的重大变迁已经为这些变化奠定了基础，因为许多过去专注于研究人类影响最小的系统的生态学家现在已经把研究焦点转向人与自然的相互作用(Povilitis 2001, Turner *et al*. 2003)并考虑到他们的工作与政策的相关性。但这还不够，生态学研究还必须再向前迈一步。

现在需要的是与自然和人文各科学，以及与公众，政策和企业界的前所未有的互动。还需要跨越以下的三个前沿领域的关键性新动议。的确，我们建议的许多行动都需要地区性和全球性的协作来完成。ESA 不可能，也不应该试图单独完成这些需要全世界各界提供建议，看法和资助的行动。但是，由于其国际政治影响，对非再生资源超比例的消费，以及对全球扩散性污染物的超比例释放(UNEP 1999)，美国和美国的生态学家们对于促成这些国际协作负有特殊的责任。

目前已有不少国际层次的项目正在进行，但这些项目还需要加强，并在这些协作中起更重要的作用。例如，千年生态系统评价(the Millennium Ecosystem Assessment, MA)是由联合国秘书长安南于 2001 年六月发起的国际研究项目。它的目的是给决策者和公众提供关于生态系统变化后果的科学信息(MA 2002)。与其类似，恢复联盟(the Resilience Alliance 2004)也有一个协助建立理论和实施方案以管理社会生态系统的国际项目。

研究人员与政府机构的协作也是重要的。政府机构有条件帮助实施新的研究项目，并从他们的角度理解我们需要应对或预期的关键问题。例如，濒危物种保护法(Endangered Species Act)的实施，美国政府机构为之设立了专门的生态信息标准，并在实施过程中非常有效地控制了现有知识的空缺(Levy 2003)。多国联合的项目，如泛欧生物和景观多样性(Pan-European Biological and Landscape Diversity)项目代表了政府和民间组织之间创造性的合作。这种合作也沟通了科学，政策和经济，使之共同保护多样性。这些及其他许多项目的成熟为生态学科社群的更科学、更多地参与提供了条件。

现在让我们来看看三个战略目标及其相关的行动－以生态知识推进科学决策，促进创新性和前瞻性研究，以及促进生态学研究的文化变迁。没有这三方面的共同进步，我们就

不能达到加强生态科学和我们这拥挤地球的可持续能力的目的。

（关尉禾　译）

战略目标一：促进以生态学为基础的科学决策

战略目标陈述：

生态学应为人类可持续管理我们这个星球及其资源提供重要的决策依据。面对这一挑战，生态学必须成为可持续管理和决策的理论基础，必须在全球范围各社会阶层强调这种生态科学与决策的联姻。

背景与依据：

当前，生态学家和现有的生态学知识对于影响生态可持续发展的日常决策的作用是非常有限的（NRC 2001,Walters 1998）。这些决策包括每一位公民对于如何利用资源的选择，从是否回收一个饮料罐，要买一部什么样的车，到如何处理养鸡场的排泄物，这些选择或决策也包括人们对环保部门行动的认同程度。这些决策更应包括地方政府、州（省）政府、联邦政府以及国际范围内各国政府对于土地和自然资源的管理、生态恢复、技术开发和环境污染的处理等重大问题的决定和选择。

目前，我们往往不能及时地将生态科学的知识转化为政策、管理和教育的实际，为其提供准确的和可运用的信息服务。这种生态科学的进步与将其运用于决策过程间的时滞有种种原因（Bradshawad Borchers 2000）。生态学研究有时不能回答管理者的实际问题，这是由于科研人员并不能理解使用者的需要，也不能认识到解决实际问题的重要意义。结果是，决策者并没有认识到生态学与决策之间的关系（Cash *et al*. 2003）。因此，生态学家并不是常常有发言权。这种情况是可以改变的，那就是要求在美国和全球建立起一个生态学交流的新框架。我们不能只仅满足于为科学而做科学，生态必须提供决策者以新的科学知识，转变理论为行动（Cash *et al*. 2003），并能让决策者认识到这种以生态科学为基础的决策过程的重要性。这种生态科学知识应该是全球共享的，从而让全世界都能享受到获取生态学信息的便利。

可是，目前只有为数不多的一些科学工作者和科研机构在不断地将生态科学信息和概念转化为能被现实世界运用的科学知识，或者根据使用者的需要提出科学问题。公众和决策者对他们的努力的理解和重要性的认识是远远不够的（Cash *et al*. 2003）。这种科学与管理实际的脱节留下了一个真空，这一真空让许多非盈利性的环保组织和企业集团的游说者得以大肆销售问题导向的环保信息和资料。另外，许多管理者和公众取得信息的途径也是五花八门，这些途径包括专业杂志、各种集团利益的资料和数据，新闻报道，以及各种网页。这样，决策者、管理者、教育者以及公众也无法辨别这些信息的服务对象、科学可靠性以及信息的来源。

诸如美国生态学会一类的机构必须承担起一个重要的责任，来保证在各个层次上的决策人员都能有效地，便利地获取关于生态可持续性的科学信息。而且应保证这些信息建立在一个全球数据信息管理的框架下。如不考虑其对全球或其他国家的环境影响，美国所设

立的任何环境决策都将是不适宜的。我们就此提出两大战略方针和行动纲领，从而最大限度地加速生态学知识和生态学家与决策，管理和教育过程的融合，每一个针对不同问题的行动纲领都具有同等重要性。

以生态知识和信息为基础的科学决策的行动领域：

一、融生态知识和信息于决策和管理之中，全方位促进生态学最新成果对生态可持续性的科学指导。

二、增强公众的生态科学意识，教育后代，使公众能更自觉地运用生态科学知识指导人生的每一个选择都能以生态可持续性为目标，自觉维护生态可持续性。

行动领域一：融生态知识和信息于决策和管理之中，全方位促进生态学最新成果对生态可持续性的科学指导。

一个好的环境政策的形成往往是科学家、决策者和公众相互沟通和共同努力的结果，这一点目前在全球范围内已经逐渐成为人们的共识和希望（OST and Wellcome Trust 2001, Parsons 2001, Worcester 2002, 2000）。但是，现有的生态可持续性的决策途径和经验，并没有包含了最新的生态学成果。而且，这些决策过程并没有生态学专家参与。由于各种各样的原因，生态学家并没有参与许多与生态学关系密切的可持续性的决策。而且，有些科学家即使参加了，但他们对决策和管理问题的了解和理解程度也限制了他们提供科学咨询和参与所发挥的作用。

当然，问题并不仅限于科学家。决策管理者在运用生态科学知识时，不能充分理解这些知识的含义、概念和它们内在的联系，也是问题的另一方面（Alpert and Keller *et al* 2003）。生态学无法参与决策过程的原因是多种多样的，其他学科的作用也有可能掩盖了生态学的作用。相对而言，生态学是一门新的学科，在某些范围内，它仍然没有被认为是一门真正的科学，按生态学的定义，它是（也应该是）一门多学科交叉的科学。这对于习惯于追求简单的“一对一”答案的决策者是很头痛的事情。但是，有时生态学家不能将自己融入决策过程，也是问题的主要原因之一。

这些年来，生态学家已经创造了许多科学成果，提供有利于决策的科学依据。但是，生态学家并不懂得如何推广他们的科研成果，使之成为决策者和公众可理解的及可运用的知识。为了让生态科学知识更好地为公众决策和管理服务，我们必须加强生态学家与决策管理者之间的交流、沟通和合作。为此，我们提出如下具体行动：

具体行动一：建立一个解决实际问题的国际生态学网络中心。这个中心将建立在现有美国生态学会和其他专业组织以及政府、民办企业和项目的专家和机构的合作基础上，致力于促进建立科学家、管理者和决策者之间的合作伙伴关系，积极地促进和传播生态学的新信息。这个中心将努力开发各种宣传途径（如研讨会，合作小组等）和各种公众教育的具体措施（如网络教育材料，白皮书等）。

同时，我们应该重视传媒的作用。我们并不期望所有的传媒都能负责任，并花时间去处理和理解复杂的生态学信息。即使有些传媒愿意这么做，但他们的编辑对这一类主题往往缺乏兴趣，他们认为这类主题缺乏奇发性，也不能用日常简单词句来表述。因此，生态

学家必须培养与那些独立思考的记者和编辑的友谊，争取得到他们的支持。

另外，这一中心将致力于加强科学家和管理者的合作，以确保对生态学的更深入的理解，推进可持续发展进程。这个中心必须和不同学科的科学家以及管理者一起解决局部性到全球性的决策和管理问题。

这样，我们将采用不同的形式，促进生态学在决策和管理问题上的应用，以实现生态可持续性目标。该中心所主持的项目应着重于解决从局部地区到全球范围的不同尺度内决策所产生的问题。该中心鼓励科学家、决策者、自然资源管理者以及企业管理者向中心申请项目。这些项目都本着一个目的，那就是，每一个项目都应追求真正意义上的合作，追求生态学工作者与决策管理者之间同等的代表性和合作关系。

另外，这一中心还应提供一个“平台”，以鼓励决策者和科学家之间高质量的、双向的信息交流。双向的交流是非常重要，因为我们的目标是要加强生态学知识与政策和管理的完美融洽；并要及时地按社会的需要指导生态学的研究。同时，由于生态可持续性本身就包含许多交叉学科的性质，这一中心也将提供生态学家与生态经济学家、工程师、水文学家以及各个学科之间的合作交流，应对和研究我们共同面临的问题。

该中心所主持的这些研究项目融合生态学与可持续发展政策和管理进行大量的实验，从而丰富了“经验”，并为这一融合提供了大量的机会。中心还将对这些项目不断地进行评估，分析各种互动合作和交流的经验，评价每一个项目对生态可持续性的重要意义。科学工作者将从这些评估中吸取经验教训。这些评估也应作为机构管理的学术文件存档，因为这些学术文件总结了生态学运用最佳的组织形式和过程（如 Bennett *et al* 2003, Cash *et al* 2003, Castillo 2000）。

该中心还应配备一个短小精干的长期职员队伍和支持项目的各种设施。管理项目的评估活动，保证各项目之间、各专业领域之间的联系。例如，在一段时间内，中心的主要项目可能是一些包括森林管理、可持续农业以及湿地恢复的专业研究问题。一个致力于中心项目的职员团队，将保证不同项目之间的协调和对各个项目详细进展的了解和把握。

该中心的功能和作用可归纳为：

（1）通过各种形式的会议、讲座和研讨会分析各种研究项目，使之真正为促进生态科学知识为现实世界的决策和管理服务。这一服务应该在全球、国家、区域以及地方等不同尺度上不断推广。

（2）对于那些致力于促进生态学新发现或新概念并将其应用于决策和管理的特殊项目应给予大力的支持。这些项目将扩大对可能的用户和公众的宣传作用，增加相互之间的合作和交流。

（3）凝炼科学问题以有效地促进生态科学知识对地方土地利用规划决策中的指导作用。这些决策对于环境和可持续性的影响深远。遗憾的是，在这一个层面上我们的工作是非常之薄弱。

<u>具体行动二</u>：制定一个诸如“诚实的经纪人”的服务计划，并建立一支快速反应团队

为决策者及时提供生态科学信息。美国生态学会将在华盛顿首府设立一个合作行动计划机构，邀请生态专家来评审立法和执法部门的各种政策文件和项目报告对生态可持续性的影响，并选择各领域内权威的生态学家对这些政策和条例提供专家意见和建议。如果这一计划能成功地付诸现实，它将产生深远的影响。这样，生态学将对决策过程产生具体的指导和影响，生态学家也能直接参与立法和政策的制定过程。

这一计划需要配备懂科学，有水平的工作人员，并且他们需要科学决策的分析能力和能在华盛顿首府与决策者建立长久联系的关系网。这些工作人员还应熟悉和掌握美国生态学会的会员以及其他学科的人才库，以便对不同的决策领域推举不同的专家。另外，他们还要保证这些专家与决策者之间在任何场合或任何形式的沟通和交流的通畅和相互理解，其中包括听证发言、书面报告以及面对公众的交流。

这些工作人员的职责范围还包括：

（1）建立一个生态学知识传播的评分系统。这个评分系统将独立客观地对各种待立法案进行评分，并提交报告。这样，将极大地提高生态学知识对立法的指导，并保证立法的质量。这样的客观分析也将避免激进的做法和影响。

（2）建立起一个联系美国生态学会会员和其他学术团体专家的枢纽，该枢纽应是以及一个科学、可信的、可靠的服务中心。这样，华盛顿首府的决策者在他们立法、决策需要时，能及时地找到快速反应的团队，为他们提供高质量的、独立、无政府偏向的、客观的生态学知识背景和证明，给立法、制定政策和管理提供生态学依据（在这种意义上，这个团队将类似于“美国国会研究服务中心”，或已解散的“技术评估办公室”，它将及时应对紧急的决策和管理问题提供生态咨询）。

我们认为，这一计划的模式可以在全世界各大城市推广。

具体行动三：增加政府部门中生态学家的数量，以此直接影响政府有关生态可持续性政策的制定。具有较扎实生态学知识的政府工作人员对促进政府应用生态学指导决策和管理过程起着非常重要的作用。而且，这些政府工作人员能努力促进政府的决策和管理人员从具体的生态学知识中寻求答案。同时，他们也会呼吁和支持为解决政策和管理中的实际问题开展针对性的生态学研究。如果这些生态学家受聘于政府的公关部门，直接接触和面对公众服务，那他们对公众进行生态可持续性教育的作用则不可低估。这种增加政府部门中生态学家数量的模式也应在全球范围内推广。我们建议，为了更好地促进生态学家进入政府部门工作，美国生态学会应采取如下措施：

（1）建立一个博士后就业计划，促进和帮助年轻的生态学家成为国会工作职员，或进入联邦政府部门工作。这方面美国科学促进会、科技政策研究员、国家海洋政策奖学金（AAAS Science, Technology and Policy Fellows, National Sea Grant, John .A. Knauss Marine Policy Fellowships）等组织都作出了榜样。

（2）加强与联邦政府和州政府人事部门的合作和联系，建立一个生态学人才库和知识库，特别是对于直接为公众服务的政府部门更应重视（如美国国家研究理事会的服务台站代表，土地管理局的各部门，县农业部门等等）。另外，我们还应增加政府部门各项生态学内容的研究，这方面过去并没有给与足够的重视。我们应尽可能地说服管理者在其部门工作职责

中增加对生态学的知识的要求，增加他们部门对雇员必须的生态学背景的要求，并促进政府积极在美国生态学会的会员中招聘雇员。

行动领域二：促进公众的生态学意识，教育后代，使公众能更自觉地运用生态科学知识指导个人，人生的每一个选择都能以生态可持续性为目标，自觉维护生态可持续性。

目前，为了达到此目的，我们必须最大限度地努力推动全方位的生态学知识的普及。我们必须让公众理解生态可持续性的重要意义，理解可持续性的挑战对每一个人的生活，对子孙后代的影响。显然，公众一般能理解可持续性的挑战，也理解到“可持续性”与我们的子孙后代的关系。但是，公众对于如何达到可持续性，如何看待“环境保护主义”和“发展主义”的争论往往拿不定主意。通过这一生态学知识的普及活动，我们希望公众能理解到他们的每一个决定都与生态可持续性息息相关，也希望他们能理解到，丰富的生态科学知识将为他们的选择确立一个坚实的科学基础。他们也许还能理解到关心生态可持续性不仅是关心诸如气候变迁和物种灭绝这些大家关注的“大问题”，也包括我们日常生活中的许许多多细微选择。

从长远来说，我们必须建立一个全方位的公众教育计划，以确保对公众教育的长期性，使公众不断认识到生态学与可持续性的重要联系。在今后五十年里，全球生态系统的变化将是巨大的，我们的子子孙孙必须明白到他们所面临的挑战。他们必须具有作出可行的、科学的选择的能力，并能从局部、区域以及全球等不同尺度上去保护人类赖以生存的环境。因此，教育是关键。只有教育才能提供他们的选择所必需的知识、态度、技术与方法（Castillo *et al* 2002, Jenkins 2003）。很多证据表明，公众尤其是年轻一代非常欢迎这种教育。

为了保证生态学教育为公众提供一个以生态学为依据来面对人生的各种选择的平台，我们首先必须对教师队伍加强生态可持续性的教育和培训，各级政府应该把生态可持续性作为学校的主选和必修课程（Berkowitz 1997, MCSE 2003, Slingsby and Barker 1998）。对于那些繁忙的教育工作者，我们应该为他们提供一个便利的生态学知识库，方便他们了解最新的生态学知识以及生态学理论和实践教育的进展和前沿。为此，我们推荐如下的具体行动：

具体行动四：开展一个大规模的宣传活动，提高公众生态可持续性的意识和认知。这一宣传活动必须有足够大的规模和声势，要使社会各阶层的生态可持续性意识有一个飞跃。我们还应着重加强对有影响力的社会阶层的宣传力度。

当然，美国生态学会应该与不同的基金会和合作伙伴合作共同组织这一宣传活动，保证生态可持续性的科学基础，避免使之成为某些决策集团激进的政治标签。宣传活动还可以集中讨论一些非常敏感的以及大众关心的问题，帮助公众从科学的高度上去理解这些问题，理解生态可持续性的科学基础。由于有许多组织已经展开了这些宣传活动，美国生态学会没有必要另起炉灶，应该与这些组织合作，提供资源和支持，并鼓励其会员投入到这一宣传活动之中。

为了广泛地将生态可持续性的科学信息传播于广大民众之中，我们的宣传工作应该很好地利用现有的出版业、广播和网络传媒的框架。我们要象全美禁烟宣传那样，更好地利用互联网、电视、广播和出版业的宣传，让公众理解到每一个人的选择都与他所赖以生存的生态系统息息相关，在全国范围内提高每一个公众的生态可持续性意识。

为此，美国生态学会可以在各媒体聘用一些专业人士负责设计和组织实施这一宣传活动。其具体策略可包括在电视、广播和网络上做广告，做大标语广告牌，或在交通系统上做宣传广告，并充分利用各种公众教育服务的节目。比如“这是一个生态系统”的教育宣传，展示了一系列的图像，显示不同的生态系统，这些生态系统从小到一滴雨水，大到巴西的亚马逊河流域。还有“你最近关照过你的生态系统吗？”的宣传活动，也很成功。我们还应提供更多的专题评论的资料，让人们更多地了解生态可持续性丰富的科学内涵。我们必须对国会议员、全国工业、企业团体、环境游说组织以及州政府内那些对决策富有影响力的重要机构和工作人员作专门的重点宣传。

具体行动五：加强与公众、非盈利组织、宗教团体的合作，将生态学知识和生态可持续性的概念融合于他们各自的宣传和教育活动之中。许多宗教团体在面对环境问题时，往往会将其对这些问题的态度和反应寄托于某一环境机构，让这些环境机构充当他们的代言人。美国生态学会可以为这些机构提供各种生态学报告和讲座，着重讲解当地的和全国范围内重大的生态问题，提高他们的生态学知识水平。比如，美国生态学会可以给不同的宗教团体准备一套宣传材料，讲述生态可持续性和宗教的关联，这方面“全国宗教与环境合作伙伴组织”（http://www.nrpe.org/mission.html）以及“哈佛大学全球宗教研究中心”（http://www.hds.harvard.edu/cswr）都很有经验。

除此之外，许许多多的政府部门和民众组织都会直接地或间接地向公众宣传生态可持续性。他们还会积极宣传各种通过严格评审的科学成果（比如，美国联邦和州政府的许多部门就是这么做的）。生态学家的参与对于这些政府部门包括环保组织和可持续性非政府组织以及其他社会团体，都将同我们一起共同努力，为生态可持续性建立一个坚实的科学基础。但目前来说，这些团体组织并没有意识到具有 8000 多名会员的美国生态学会的重要作用。美国生态学会理事会首先要建立一个与这些团体组织的互动机制，以促进其会员的参与。然后，要具体地为这些团体组织“当红娘”，为他们推荐对口的优秀的生态学家。美国生态学会还可以通过一对一的形式，或是通过生态学信息（EIN 2004）网的专家库的开放形式实现这种专业支持。

具体行动六：建立一个国际生态学教育计划。这个计划的目标是保证生态学教育不断地与时俱进，更好、更有效地运用生态可持续性科学的新概念和成果。全美工程院促进工程学教育奖学金中心（CASEE）（NAE2002）则是这个教育计划的模式。美国生态学会必须与其他生态学教育专业团体、教育研究机构和各种基金会合作，在各个地区、以及全国和全球范围推广这一教育计划。

为促进生态教育体系的变革，我们还必须注重生态学教育的研究。同时，我们必须通过教育研究、教师培养、科学教育政策的开拓以及个人专业发展，更好地加强生态学家与教育工作者的互动。遗憾的是，目前，对于这种生态学教育的支持是远远不够的。我们必须创立一个全新的计划，通过各种教育研究的提高，更好地将生态学知识传授给中小学生、大学生以及其他受教育者（D'Avan 2003, Keys and Bryan 2001, Walczyk and Ramsey 2003）。这一教育计划还将进一步鼓励生态学家积极参与教学活动、教学研究以及与教育学专家的互动，建立起更切合实际的教学大纲和课程（Mckeown 2003）。

美国生态学会对这一教育计划所付诸的行动包括：

（1）建立一个生态可持续性的中小学教育的培训计划。这个计划包括每年的生态学教育国

际会议，促进生态学家与优秀的教育工作者和专家的交流。每一次年会，都注重讨论全国与各州关注的生态可持续教育计划和课程的改进。年会还促进生态学家与教育工作者在各个层次上的合作和相互理解关系。在这方面，中小学教育的“小学教师的生态学园地”是一个典范。

（2）大力推广“生态学 2004 年的教育问题和经验”和“2004 年教师队伍科学教育改革”的经验，促进以生态可持续性为主体的生态学教育。美国生态学会应该与其他教育专业团体和教育研究机构加强合作，共同开拓生态学教育的潜力。

（3）积极参与大、中、小学生态学教育教学大纲的标准化设立和教科书的编写。政府应该以立法形式设定全州或全国范围内统一的教学计划。并且，每 5 至 10 年对这一计划进行评审和改进，充实新的内容和主题（比如，进化与创世的辨认就是一个很好的借鉴）。这种评审，将是生态学家提出生态可持续性的新问题和解答这些问题的良好机会（Blank and Brewer 2003）。另外，美国生态学会主管教育的官员还应关注教育政策的改革，为生态学家参与这一改革提供机会。

（4）在全美和全球范围内鼓励增加生态学教育工作者队伍的多样性。教育工作者直接面对中小学的学生，他们的科学知识水平对学生有直接的影响（Slingsby 2001）。我们要对不同的大、中、小学校的学生起到示范作用，美国生态学会应该在大学教育里培养更多的、不同民族的生态学特别是生态可持续性学科的学生，他们才有可能增加中小学教师队伍的多样性。这方面 SEEDS 项目是个成功的先例。

（5）建立一个互联网图书馆，以提供生态可持续性教育的研究进展和最新成果。这个互联网图书馆应在全美和全球范围内，为教育工作者、教学大纲制定者和公众提供信息便利。ERIC Digests 在这方面提供了很好的典范作用，它们为各层次的教育工作者提供优秀的教育研究和实践的经验和总结。

具体行动七：与联合国共同发起“国际生态学教育年代宣言”，并将其作为“可持续发展教育 10 年计划（2005～2015）”的一部分。国际生态学教育的改革需要国际间的合作和努力。这个宣言将提高全美和全球对生态学知识的重视和生态学知识对了解可持续生态系统的重要性。它还可能会促进政府新政策的出笼，并可能要求政府部门必须用生态学知识和原则指导决策、教育和文化的发展。与此同时，我们还应采取如下措施：

（1）组织召开一系列的生态学教育大会，让科学和教育的各种专业团体一起讨论生态可持续性教育的成果、差距和急需解决的问题和挑战。具体的会议系列包括：2005 年召开的美国生态学年会及国际生态学会议上“美国生态学会生态教育研讨会”，2010 年科学和教育专业学会组织的全美生态学教育大会，以及 2015 年的国际生态学教育大会。

（2）出版和广泛散发生态学教育大会的会议文献。其紧迫性表现在，各生态学专业学会、研究机构和生态学工作者自 1966 年以来，在大学教育中直接阐述生态学教育（Lumbert 1966）、环境教育（Bakshi and Naveh 1980, Hale 1993）和都市生态系统（Berkowitz *et al* 2003）的主要书籍仅有四部。这些新发表的会议文献提倡增加生态学教育的奖学金，并为各个阶层的教育工作者提供定期的教育实践经验和进步成果的综合信息。

总结：生态科学信息为明智决策服务

如果我们认为生态学必然是现在和未来应对环境问题和挑战的重要科学指南，那么，我们所能做的和必须做的是将生态学的科学知识和信息及时地，并以适当的形式和内容传送到急需的决策者和管理者以及公众手里。我们将面临前所未有的困难。但是，我们必须克服困难，以实现生态学更好地指导可持续性的远景目标。为达此目标，我们必须保证我们所从事的生态学研究能与实际相结合，能为各个阶层的决策服务。我们所提出的战略目标是，为了使生态学超越现有的水平和作用，为更好地为生态可持续性的决策作出科学指导，我们必须促进生态学的进一步发展，并将其建立在坚实的科学基础上。

我们所憧憬的目标是，生态学知识将成为社会每一个层次决策的标准的和必需的科学依据。如果我们能达到这一目标，生态学工作者将在各地以至全国和全球范围内承担更重要的责任，对决策者和管理者负责。这样，工业界和企业界将视生态科学为朋友而不是反对者。生态学将成为成功的商业决策中具有经济和社会综合效益的不可缺少的信息。而自然资源管理者也必然加强与生态学工作者的合作，共同开发更多的、更信息化的、更具有指导意义的生态学研究项目。同时，我们将不断地看到全人类生态学教育的丰硕果实。人们将进一步认识到生态服务的重要性和不可替补性，也会更加重视和理解生物多样性。我们认为，我们的目标一定能实现。但它的实现必须依赖于我们今日的即时行动。在我们的远景报告中，我们还同时呼吁整合现有的生态学信息，加强和加快生态学研究，促进技术创新，鼓励新的合作。这些都是我们所憧憬的目标的组成成分。但重要的是，我们必须建立一个框架，促使我们的生态学工作者从研究数据中走出来，走向公众，走向决策者和管理者，走向生态学的实际应用。

（伍业钢　译）

战略目标二：推进面向可持续发展的创新性生态学研究

战略目标陈述：

为了在二十一世纪开展创新性的并且有效的生态学研究，生态学工作者必须主动提出具有前瞻性的科学问题与要求，发展有创造性的(有时伴随高风险性的)新思想,使用新方法，敢于向前所未有的尺度与范围挑战。在这十年里，我们必须在概念上，分析方法上，以及技术手段上有新的发展与突破。

背景与依据：

生态学研究的课题涉及广泛的层面，从越来越丰富与复杂的分子水平的生态系统分析到环球整体观全部包括之中(e.g.,Thompson *et el*. 2001)。生态学研究不仅仅是对地球的研究也是对整个太阳系的研究。其地域涉及我们熟悉的乡村城市到天涯海角。尽管如此，生态学的进展经常落后于快速的全球变化(Vitousek 1994, Lubchenco 1998, NRC 2001)。人类活动带来的全球变化使得生态科学对未来地球上的生命的前途起着至关重要的作用(Lubchenco 1998, NRC 1999, 2001, NEON 2000, NSF 2000, NSF-ERE 2003)。我们一定要预先估计由此所导致的科学需求，而非仅是简单、被动地报道问题并做出反应。

为了使生态学更好地面对未来的挑战，我们一定要发展并创新前瞻性的理论框架，分析模式以及交叉科学。要增进对生态系统的理解，要彻底地知道生态系统怎样运作，怎样互动，怎样恢复，怎样创造生态系统以保证所提供的生态服务，我们必定要有新的而且理想的工具和有效的技术。对生态学的综合理解要求整合各方面的信息。尽管有些新设备目前与生态持续性的关系并不明显，为了更好地获取生态及相关学科的信息，我们亦需要开放集合型设备。生态学研究的交叉学科性要求我们构建新的国内与国际的合作模式。

生态学研究的最终目的是更好地理解生态系统的可持续能力与生态服务功能。基础研究故然重要，研究如何解决问题更是不可少的。但是，要同时完成两者，我们不仅要有创新思维及预知未来的需要和问题的能力，也要明显改变生态信息的获取、综合、以及交流的方式，更需要新的工具、方式及基础设施。

开拓以全球可持续发展为纲的前瞻性生态学研究的行动纲领：

一、加强生态学研究的科学和技术基础
二、采用新的激励手段，以便鼓励和认同创新性与前瞻性的生态学研究
三、促进资料的获取、存档、分享和标准化

行动领域一：加强生态学研究科学和技术基础

生态学知识来自于多种渠道，其中包括试验、理论与模型、对比观察、长期试验、综合分析(Carpenter 1998)。环境研究界大体上已经对现有环境问题(例如：生物多样性的减少，外种侵入，初显的环球变迁)做出了反应。但是，我们应该面对未来，虽然对未来知之甚少。我们需要新的知识体系，截然不同的着眼点，和新的方式以保证生态学在未来社会决策中起重要作用。我们也需要更多的研究经费，同时，我们更需要培养在学术人员之间的相互支持与合作，以便尝试新的理论框架与新的分析方法。

构建新的科学知识框架就是为了实现未来社会生态系统的持续发展。前瞻性的生态学研究要超越现有技术可行性的限度，为实现进一步的飞跃而寻找新信息、新工具、或者是一些新的数学分析解(见框注四)。很好地完成前瞻性的研究不仅需要科学想法的驱动，而且需要大量的、有效的工具和手段用以实现数据、理论、概念和模型的完美地整合。虽然有些框架(例如：软件，算法等)在某种成度上已有较好的发展，但是，由于技术与资金上的限制，这些框架还不能帮助获取及分析新数据。例如在时间与空间双重变异这个问题上，我们既没有办法实行数量化分析也没有办法进行试验设计，然而，这种变异可能是决定生态反应的主要因素(Rusack *et al*. 2002, Burrows *et al*. 2002, Fraterrigo *et al*.in rewiew)。

在很多情况下，要验证新理论必须进行大规模的重复控制试验。这类试验所产生的大量数据的储存、分析、及显示将需要有效的计算体系。未来研究的前沿将属于综合人文与社会科学于一体的交叉科学，并且着重于研究多因子的、非线性的、复杂的因果关系。所以，为了进行这类大规模的试验并且优化数据的搜集及综合分析，我们需要基础组织与设施(例如：NEON，LTER，海洋观测网等)，同时也需要增加人员培训、协作、以及全面地发展理论分析体系(Clark *et al*. 2001, Hastings and Palmer 2003, Palmer *et al*. 2003)。

将来生态科学的关键在于研究技术的进步，这显然包括可以用于测定生态现象的野外自动遥感系统的进一步发展。在有些方面，科学工作者已经很好地采用先进技术解决很复杂的现代生态学难题。同时，生态学工作者也推动了新技术的发展与研究。自从第一颗气象卫星在 1960 年发射以来(Hastings and Emery 1992)，包括生态学工作者在内的科学工作者便开始积极地应用卫星技术搜集与生态学有关的地表信息，例如主要元素的通量或者景观结构等(e.g., Botkin *et al*.1984, NRC 1986, NASA-EOS 2003)。难以相信的是，我们已经能够从全新的角度观察和测度我们的地球。

尽管如此，我们仍然不能够清楚细致地理解地球体系，也不能够在必要的时空尺度上得到我们需要的物种遗传资料以便解决与陆地或者海洋生态系统有关的关键生态学问题(Soule and Orians 2001)。在生态学研究中应用新的分子生物学技术的潜力仍然没有得到充分地发挥。应用新的、更复杂的分子生物学技术的需求将会随着新技术的不断出现而增加。

新技术(例如：卫星平台、更大功率的电脑、更准确可靠的全球定位仪等)将会帮助我们排除障碍从而取得更大的进展。如果没有高功率望远镜，天文学家就不可能解开太阳系之迷。同样道理，如果没有超速离子加速器，物理学家也不能看到原子的结构。要面对大挑战，生态学家同样需要高技术。理解超复杂的地球生命体系不仅需要类似望远镜或者离子加速器一样的单项设备，而且需要多元工具与手段。若使生态学为人类事业的持久未来做出成功的贡献就要设计和应用多元高技术。

框注 4：前瞻性研究

至今大部分的生态学研究都是被动的。我们要知道为什么气候在变，为什么物种会灭绝，外来物种入侵之后生态系统会如何变化。随着环境威胁的暴炸性发生，我们更需要进行“前瞻性研究”。该类研究要采用新思想，新技术和超级强化资料收集与管理手段，为应对即将来临的生态环境问题做好准备与防御。

例证：理解大江河与其所产生的冲积平原之间的交换关系

江河冲积平原生态系统是地球上最复杂，变化最大，物种最丰富的生态系统，也是社会与环境的主要交叉点。江河及其冲积平原组成的生态系统位于水陆交界处，物理过程与生物过程之间的交互作用使得其生产力与生物多样性都高于其它生态系统。随着河流水位的升降，水生与陆生面积也随之变化，进而导致水陆生态系统的大小、位置、周期也随之剧烈地变化(Ward *et al.* 1999,Malard *et al*. 1999, Tockner *et al*. 2000)。这种不断变化的水陆镶嵌体系是江河冲积平原生态系统的独特性。这种独特的变化导致很多关键的生物流(比如有机物的运输与沉积)在方向与幅度上发生本质的变化(Bayley 1989,Junk *et al*. 1989, Bayley 1995)。这种有机物的流动对生态系统的服务功能有着极其重要的作用。有机物的流动关系到生态系统对水的净化以及保持河岸植被与生境。然而，由于其复杂的交互作用与独特生物种群结构的存在，我们仍然对有机物在水陆之间的流动知之甚少。

为了一方面确保人类的用水，另一方面保护自然，我们要能够回答以下两个问题：(1)在什么样的尺度与条件下，冲积平原会向河流输出有机物，而又在什么样的尺度与条件下，冲积平原会停止输出而存积有机物？(2)如果该系统的一些物理过程，生境联结度以及生物种群结构的变化存在临界值，那么超临界值的变化是否会导致冲积平原释放有机物而不是存积有机物？回答以上两个问题对我们更好地保护与恢复河岸生态系统的生态服务功能有着很重要的意义。

最近，水文研究人员要求发展新的，整合型的概念框架以及搜集关键的实测数据(Gurnell *et al*. 2000, Wiens 2002, Ward *et al*. 2002, CUAHSI 2004)。要达到这两项目的，就要广泛地使用多种远距离无线传输型野外探测器，从而对一些关键的功能变量进行适度地测定以保证其准确的时空尺度，也要对每一次水淹的深度与持续期进行遥感监测，还要利用空间透明型模型将地表水与地下水的流动在复杂的地貌与植被群落的基础上联接起来，也需要处理复杂反馈与非线性动态的数学分析方法，最后还需要多幅度的人工控制淹水试验。

具体行动一：全面推动“可持续生物圈创新计划”中的生态学研究的四个组成部份。该计划要求紧密协调两个新体系：一个已经建立的中心体系(国家生态分析与整合中心--NCEAS)和一个新的中心体系。该计划有四项目标：(1)发展研究项目；(2)推动大尺度试验及数据搜集；(3)整合；(4)结合科学于解决问题之中。

为了成功地管理、恢复与创建可持续的生态系统，我们要有新的思维方式，要敢于并且能够验证大胆的设想，也要冲破行政和行业组织的限制。一个旨在研究拥挤的地球体系

的生态科学是极为复杂的，包括广泛的学科，没有任何单一组织或个人能够具备所需最佳专业技能。为了解决（复杂的生态）问题，研究人员必须能够从容地获取来自多学科的研究手段，而不需要首先成为很多学科的专家。当一些个人或者研究组有了成熟的研究设想，就需要给予研究经费。虽然已经有几个联邦基金组织在支持科学设想的发展(比如国家科学基金会的培养基金)，但是我们需要更多的科学设想发展基金。

因此，我们提倡在现有资源的基础上建立新的科学资金组织和一个新的中心(框注 5)。创新计划(指可持续生物圈创新计划)的每一个部份本身应该提供以电子网络或者研究地点为基础的资源与设施。几个部份的整合体应该大力地推动协作性的、高难度的、创新性的研究。这类研究通常需要进行多方面数据分析以及向公众解读复杂的生态信息。在这里，我们并非建议要由某个委员会去指令研究项目，而是要由该创新计划在加强研究设计、执行、以及整合方面为需要的个人或者用户提供服务。该创新计划所属的资源应该对全部用户开放。

该创新计划应该在整体上做到以下几个方面：1)针对可持续发展这个大题或者与可持续发展直接相关的基础科学问题，帮助发展复合研究项目；2)增加实施大尺度试验和获取独特资料的能力；3)整合研究；4)执行与政策、管理密切相关的研究。我们期望这一系列的计划与中心的一个主要益处会来自于生态学家与很多其它学科专业人员的多产互作方式的改变。

这一系列的学术与技术基础设施应该建立在现存的中心(NCEAS)和计划成立中的研究组织(NEON)(NRC 2003)基础之上，为了适应主动积极的未来生态学的需要而提供资源与发展基础。而且，该创新计划应该与其它现有科学实体进行整合以达到其最佳效果(例如：高校水文学促进会 CUAHSI；大型环境工程研究与分析协作网络 CLEANER)。

开展以全球可持续发展为目标的生态学研究需要认真协调现存研究中心与新建中心之间的关系，实现以下目标：

一、进一步使用最佳与最先进的专业技能与技术方法－PIER(整合型生态研究计划)。

生态学者对于自己设计工具与方法的历史习惯是很自豪的。这些工具与方法包括计算机程序、统计软件以及数据收集设备，比如，记录飞行动物夜间活动的摄像机，扑土壤线虫的塑料管道体系等等。但是，随着研究复杂性的增加生态科学需要最新的、最适用的专业技能、设施与技术。目前，这些新的专业条件仍是各别的得到满意的水平。因此，整合型生态研究计划应该能够提供小规模研究经费以求发展前瞻性研究设想。

该项计划的关键作用在于强化协作(专业技能的调配)以及全面应用最新技术方法于生态学研究之中。如果不全面应用最新技术方法就会严重阻碍生态学的发展与进步。尽管少数科学家能够克服困难，应用一些新技术方法于生态学研究，但是，永续型生态研究的复杂性的不断增加，全面应用最新技术方法的难度也会随着增加。为了更有效地克服这些困难，新技术方法信息中心应由内行专家实施管理，并且这些专家应该紧紧跟踪日新月异的技术信息。该计划应该特别支持创新思维，为最佳新技术方法的广泛应用开拓渠道。这些任务可由专业职员完成。这些专业职员应该具有信息管理经验以及相关的分析、模拟、统计等专业职能。同时，有关的专业职能还应该包括为多学科合作创造机会以及提供网上服务和供给与生态科学有关的最新技术信息。

该项计划的一个明显目标应该是积极鼓励生态学者主动地开展有雄心的、综合性的、对生态学进展有具大意义的研究活动。

二、继续支持针对生态挑战而建立的现存计划－ERIN 与 NCEAS。

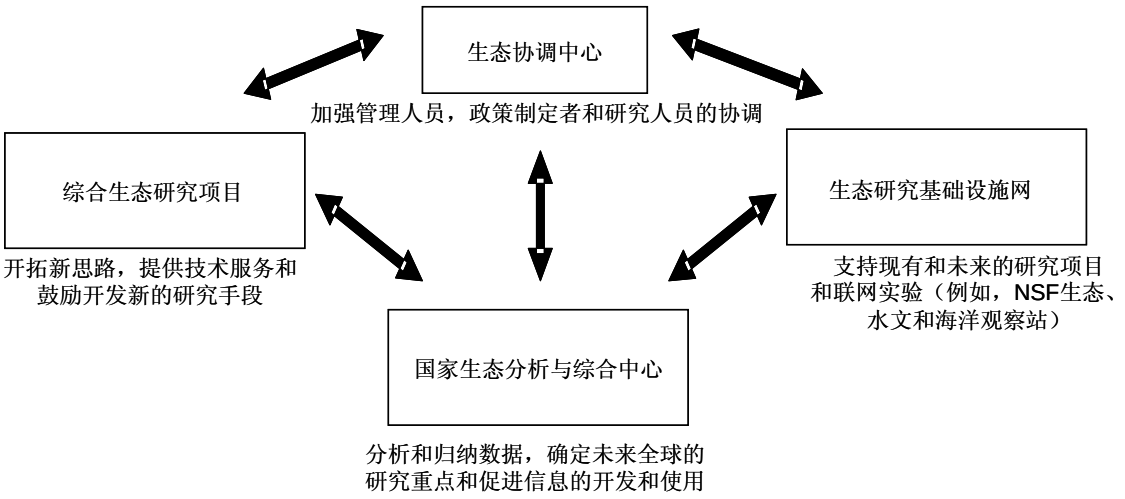
ERIN (已提出的“生态研究基础网络”)将要建立一个由区域性观测台站组成的国际网。各台站将由野外试验区，密集探测网，分析实验室，以及处理试验等组成，旨在研究主要的、具有挑战性的生态课题。在这些区域性网络的基础上，将建立一个国际试验网和国际监测组织，其设计目的在于解决对永续性主题有重要意义的生态难题。将现有的网站与计划建立的网站(NEON，LTER，OBFS，CUAHSI，CLEANER)结合起来，加强合作，增加基础设施，提高研究能力，该国际网几乎可以立即形成。

已经建立了几年的美国国家生态分析与整合中心(NCEAS，设在加利福尼亚大学圣芭芭拉分校)运用协作与整合的方式，支持合成(synthetic)研究，发展新的模型、模拟、以及其它分析方法，提供技术培训，成功地推进了生态学研究。我们预计该中心的国际作用将会越来越大，其电子网络平台将为合成生态研究提供全面的信息。我们坚决赞同 NCEAS 的继续存在，同时也拥护联邦各机构给予现存网络的支持。

我们以为在前面“提供决策信息行动计划之一”已经提到的“生态协调中心”(CEIS)是决对必要的。这类中心可以保证管理人员、政策制定者更紧密地与研究人员共同工作。

框注 5

发展可持续性生态学研究的4个组成部分。一个研究项目可以从所有的组成部分得益，或根据需要，可以从任何组分进入和离开。这个结构为满足各种研究和实施的需要创建了一个高度灵活的资源库。



总体上，可持续性生态研究计划应该有广阔的视野，甚为重要的是我们能否将生态研究推向未来并且有效地为区域级的、国家级的以及国际级的决策提供信息。当然，可持续性生态研究计划的四个部份都会发展其各自的计划以达到各自的远景目标。各部分的一些功能将由电子设施完成，另一些功能将由当地承担。然而，四个部份的集合体应该是一个大的逻辑信息研究所，应该成为一个提供过去和未来生态信息及其应用的中心港。

可持续性生态研究计划的各部份详细操作规程应该由美国生态学会及其全体会员负责拟定提案。自然基金会(NSF)和其他机构可能提供经费，支持有关的研讨会和部份研究所。同时，我们也应该积极争取其他公共或者私人团体的支持。

行动领域二：建立新的激励机制鼓励和认同具前瞻性及创新性的生态学研究。

生态学家必须检讨目前的学科文化去最大程度地拓展创新性研究思维。比如，生态学家需要协调一致去建立和获得大尺度，高清晰度的数据库以解决当前面临的众多生态学挑战。生态学家需要和资助单位合作，给予清晰一致的声音去引导基金资助方向，从而解决大范围的，高复杂性的生态学问题。这些研究思维的转变需要广泛地建立新的奖励机制和新的培养机制。

生态学不仅需要，而且务必鼓励在技术，综合，信息，和数量化方面的 创造性发明。物理，化学，和工程领域，学位授予经常基于新方法，新设备的发明。这些发明为学科的发展提供了源源不断的新手段。与此相比，生态学学位的取得很少基于发明创造，尽管后者对于学科的发展有着巨大的贡献。

我们需要鼓励学生去从事基于现存信息综合的学位研究，因为这些综合研究对于生态学的持续发展意义重大(NSF-ERE 2003)。目前的培养方法不足以训练年轻的生态学工作者使用新的生态信息手段。由于现代生态学愈来愈注重量化与计算机化方面的基础，故而严格的数量化训练必须成为研究生培养的重要组成部分。不断的技术层面上的训练也是所有生态学家必须面对与解决的一个问题。

恰当的认同与激励是推动包括生态学在内的科学学科进步的重要手段。以下我们列举几种重要的激励机制以推动 21 世纪生态学科学的全方位发展与进步。

具体行动二：设立诺贝尔生态学奖或相应奖项。现有的授予生态学家的国际性奖项(如蓝色地球奖, the Blue Planet Prize)尚远远无法与诺贝尔奖相比。国际性的环境保护奖无法取代高知名度的，针对生态科学的奖项。这和生态科学在全球环境问题中的地位是极其不相称的。设立诺贝尔生态学奖将有助于对学科和有杰出贡献的生态学家的承认。

设立一个新的诺贝尔奖毫无疑问将是一项巨大的工作。最近新加的诺贝尔奖是 1967 年设立的，由瑞士银行赞助的经济学奖。一项新的诺贝尔奖必然需要广泛的基金资助和国际间的合作，但此类奖金的设立将造成生态学知名度质的转变。美国生态学会(ESA)应成立一个由知名生态学家和其他领域学科领袖组成的委员会去启动这一过程，探讨设立诺贝尔生态学奖或相应奖项的可能性。

具体行动三：设立年度最佳设备或最佳技术奖。生态学家在借鉴其他学科的技术方面取得了很大的成就。但就整个学科而言，与生态问题相关的技术发明仍然是零星的。主动地整合技术发明，如设立年度最佳设备奖，是一项必须的工作。环境问题对于生态知识的日渐依赖意味着生态技术的发明有着很大的盈利市场。我们预期一个 ESA 年度最佳设备或最佳技术奖将推动技术与学科双向的发展。

具体行动四：设立年度国际竞赛以解决一个生态学挑战。我们预期一个类似于工程与数学竞赛的年度生态学竞赛。在每年的生态学年会上，一个竞赛课题将被公布。这个课题

的解决将有赖于小组间的合作和强调研究生的参与，有助于新技术，新方法，新思想的产生与应用，

以及模型与实验方法上的突破。在第二年的生态学年会上，所有解决方案将被公布以显示方案的创造性与多样性。最佳方案将被授予年度生态学竞赛奖。美国国家环境保护署(EPA)最近宣布了“最佳可持续设计学生竞赛”，我们完全赞成这项行动。

具体行动五：建立一个高质量的方法技术杂志，或在现有的 ESA 杂志上开辟技术专栏，将有助于鼓励与承认这方面的研究。一个专门介绍有关生态技术创新的刊物，这将充分显示技术突破对于生态学科发展的重要意义。

行动领域三：促进数据收集，数据管理，和数据分析的标准化：

生态分析与管理建立在广泛的数据基础上。不幸的是，大量信息仍积存于落后的，不易获取的形式。在数字化时代的今天，这已成为学科发展的致命障碍。环境数据内在的高异质性也使其获取，归类，和分享困难重重。这些数据分享的障碍限制了环境科学的发展，极大地制约了资源管理者，经济学家，政治分析家，和决策者对数据的使用。

大量现存数据处于无效储存状态。环境科学的进步很大程度上已不受限于信息的缺乏，而是由于数据的不可分享性。

信息技术革命极大地方便了数据的储存、调用、转换、分析和展示，使得生态知识的飞跃成为可能。信息技术的发展使得生态学家可以运用标准化的手段去进行数据收集，并以优化管理的方式进行数据储存。这些数据然后通过中心数据库进行连通和分析。生态科学可以很大程度上得益于技术的进步，观念的转变，和有效展示生态知识的训练。这些可以通过持续不断的数据整合，以及理论，观点，和模型的反复融合来取得。

我们呼吁加强生态技术的发展，生态信息的训练，及建立生态网络结构(ECI)(框注 6)。ECI 有助于加强研究者与数据，硬件，软件及其他工具的连接，从而促进生态知识的产生与展示。ECI 的发展需要对数据的输入，获取与分析进行标准化。生态数据需要在数据获得的早期数字化，并同时产生数据摘要。这样的标准化数据获取程序可使数据在全球范围内共享。不同大小的数据系统，包括常用的数据库，将被连接起来。在这起关键作用的是一套灵活的，标准化的生态信息定位方法和强有力的索引工具。信息的标准化将大大地节约生态学家用于数据收集的时间，从而可以专注于更具探索性的研究。

数字化技术使得数据的储存和取用得以大大改进。不久以前，生态学家还在使用防水的野外工作手册记录手写的数据，堆积数据于办公室的书架上与纸箱中。数据的收集者拥有对信息的独一控制，随着研究者的退休或去世，数据也随之消亡。

数据收集与管理的标准化要求研究者在获得数据后，尽快进行数据分析，并进行适当的图像化处理以使数据得以广泛使用。在不久的将来，远距离数据的交换，下载，与分析将成为日常研究工作的一部分，如同我们今天使用文献索引去迅速获得新知识一样。先进的图像技术，包括数字化地图和地理信息系统(GIS)，将极大地方便生态学家之间，生态学家与公众之间的交流，以及生态模型的发展。通过标准化的数据输入，存取，分析，以及环境数据共享政策，全面的生态数据分析与综合将成为可能。其结果将是，数据的原始收

集者和整个学科，乃至于我们的地球，将共同受益。

我们建议的一些行动方案已被某些机构采用。比如，美国国家科学基金(NSF)资助的长期生态研究网络(LTER)在数据共享方面已取得了非凡的成就。

具体行动六：建立数据登录系统。数据登录可包括简单的对于数据核心内容的描述，数据分类，以及数据拥有者的姓名。ESA 可以鼓励所有在学会刊物上发表文章和在年会上发表工作的作者使用数据登录系统。

具体行动七：促进原始数据与数据摘要的共享。ESA 可以要求在 2006 年以前，20%在学会刊物上发表的文章应包含数据摘要。至 2008 年，所有文章应包含原始数据与数据。ESA 可以鼓励联邦与地方机构，非政府组织(NGO)，科研中心，野外实验站，以及其他学科组织共同促进数据分享。

具体行动八：促使资助单位与联邦机构制订数据共享政策。

具体行动九：鼓励在研究生院中进行生态信息方面的训练。ESA 可以通过在年会中进行学术训练研讨会的方式促进生态信息的训练。

框注6：生态信息学与生态信息网络(ECI)

国际生态信息学会定义生态信息学为：生态信息学是一门使用计算机高级技术来阐释信息学原理在从基因到生态网络的复杂生态系统中的应用的学科。生态信息学帮助重要生态课题如可持续性，生物多样性，和全球热化等的决策透明化。众多其他学科，如医学，农学，和工程学，都在发展与完善其信息学应用。

生态信息网络与生态信息学密切相关。美国国家科学基金认为 ECI 可以造成高层次的硬件，软件，和服务的融合。ECI 可以使科学家从事以前不可解决的高级科学与教学问题。

总结：创新性与前瞻性研究

生态学是一门跨学科的科学，任何一个生态学家不可能精通所有领域并熟悉其方法与设备。因而，生态学家携手起来去共同领会，解决，及揭示世界面临的环境问题已逐渐成为共识。生态学家需要将自己视为市场环境中的企业家，不断地寻求战略性合作和作出快速反应。我们成功的关键是要从事包容性的，而非排他性的研究。我们必须不断地吸取学科外的经验，同时改造我们自己的文化氛围去达到不断创新的目的。我们就像一个面临巨大挑战的公司，但战胜挑战就是巨大的盈利。如同一个成功的公司，我们必须不断地调整自己以满足现在与未来世界的需要。

如果这些行动计划得以成功，我们预期未来的生态学将是一门充满新思想，新理论，新方法，新技术的科学。至 2010 年，全方位的生态学研究项目将为学科提供源源不断的新知识，以满足教育者，决策者，公众，以及最富活力的年轻人的需要。所有增进生态理解的步骤，从数据的取得与分析，解释，综合和应用，以及面向未来和针对现在与过去的研

究，都将在今后十年内得到加强。这些生态学知识的新深度与广度，以及与其他学科的深入交流，将使生态学家在影响地球可持续性的多层次决策中起到关键的作用。

（程维信、朱伟兴　译）

战略目标三：促进文化交融创建一个前瞻性的国际生态学

战略目标陈述：

为了达到全球持续发展，生态学必须国际化。生态学家需要具备很强的科学合作能力，建立新的合作伙伴关系和在学科中建立多样性。生态研究的文化氛围必须改革，改变我们作为一个科学家和作为一个研究机构的思维方式，以便达到这些目标和创立促进而不是妨碍开展合作，建立伙伴关系和多样性的奖励制度。

背景与依据：

在人口膨胀，不断恶化的情况下，为世界创建一门可持续发展的科学必须把人类活动和全球观作为生态学研究的极为重要的内容。这意味着我们不能只局限于研究人类活动对一两个特定地区环境的影响，而要把区域以至全球范围内人类经济，社会，政治和环境管理的复杂性作为生态系统的重要组成部分。生态学研究的目的不仅仅限于描述现象，更重要的是要解决问题。我们正在把人类活动纳入生态学研究之中（McDonnell and Pickett 1993; McMichael *et al*. 2003），但是这项工作必须加快进行。例如，美国有些地方的农民和其它公众正在与科学家配合研究人类活动对河溪生态的影响。

我们的报告强调通过互联网，新的研究方案，教育普及，完善技术和数据共享来加快生态学研究。然而，生态学对传播知识，帮助社会了解和解决环境问题的能力必须进一步提高。生态学领域要求新的工作方法，更好的激励机制，以及与其它学科、合作伙伴和公众在全国以至全球范围内的交流。

在过去 10 年里，我们已经认识到科研合作，应用研究和生态学职业多样化的重要性。但是我们仍然要继续努力。我们必须与自然科学家，社会科学家和政策制定人员一起共同建立、发展和支持成功的和多样的合作。必须给与有突出贡献的学术带头人以奖励，提高生态相关领域研究的多样性。为了更好地解决大尺度的环境问题及寻找国际合作的解决方案，生态学家和研究机构还须意识到从全球性角度来思考和行动的必要性。

促进社会文化的变革创建具一个积极创新的国际生态学的行动纲领：

一、收集、解释和传播关于成功合作的信息。
二、拓展人类生态学和其它交叉学科的生态学范畴。
三、在生态学家之间加强国际联系和促进生态学信息全球化。

行动领域一：**收集、解释和传播关于成功合作的信息**

毫无疑问，不断涌现的和已经预料到的环境问题越来越复杂。因此，寻求和整合有关的专业知识越来越重要。跨学科的研究已不再是泛泛之谈，而已成为现实和必需。我们需要迅速组建新的科研队伍，而这些新队伍往往要吸收没有合作经验的新成员。新的合作队伍必须迅速提供解决问题的方法，或至少要提出科学建议。鉴于这种需要，生态学家在面

对合作的挑战时，必须做到深思熟虑，以减少合作失败的风险。我们对以下这一点已经有了初步的理性认可：有效合作对生态学科的发展起关键作用。但是,却很少有工作去探讨跨学科的合作是如何产生，在何地产生，何时、为何合作会推动科学的发展，以及为何合作有时会失败。我们必须要搞明白，是哪些因素促成了成功的合作团体。然后，在我们的科研同行之间交流成功的合作经验。只有这样，生态科学的整合文化层面才能发生显著的变化。

解决复杂的生态环境问题需要许多新的合作形式，同时也需要有力的基础设施支持这些新的合作形式。各种基金项目必须用以支持层次越来越高的交流和管理需求，以确保有效的团队研究（美国国家科学基金会的生物复杂性项目资金是反映了这一点的少数几个例子之一）。我们需要各种机制来推动跨国界、跨学科和跨研究单位的合作。实现的方式之一是为那些特殊的挑战性课题提供必要的资金和指导意见。这些课题之所以特殊，是因为它们的研究组是由不同专业背景和不同专业水平的专家和非专家组成。所有这些都要求生态学者在履行合作义务时，必须首先充分明了整个合作过程。

有关如何进行合作的专业培训应实施于生态科学各个层面，不但包括各个专科领域之间，还要包括生态学与其它学科之间。这将有利于推动在学术界、政府机构和私立部门的生态学者之间的对话交流。合作还会促进生态学家与其它学科专家、以及生态学者与管理机关之间的交流对话。生态学者与行政管理者之间的合作，对自适应性管理尤其重要。有关专家指出，缺乏相互信赖和对话，常常是一些很被看好的管理方法为何失败的原因。（Walters, 1998）

近期对社会学领域多学科合作成效的研究表明，成功的合作都有共同之处。环境科学领域的学者应该从这一新的研究成果中得到启发，加强自身领域的有效合作，以解决各种复杂的环境问题。我们建议，高层次多学科的环境科研团体与社会学研究人员以及职业促进人员建立合作夥伴关系。这样，环境生态学家既能了解社会科学领域的研究成果，又能同时学会如何更加有效地进行合作。促进有效的合作需要管理技巧，而不仅仅依靠个人在学术研究上的成功。美国生态学会可以与其它专业学会共同努力，并可在共同努力中起领导作用，促进多方合作的专业培训，并向生态学家推广社会学工作者关于合作行为的最新研究成果。

具体行动一：为生态学工作者与其合作者更有效地进行合作创条件。

在最新的社会科学研究成果中，以及各学科成功合作人员的经验中，我们可以收集到各种有关合作的知识，并把这些知识提供给科学界。

由环境学家和社会学家组成一个工作小组，并制定一份指导合作的“指南”。该指南将用于教育合作团体，并且为以后的合作提供一份重要的素材。

制定一项帅才培养计划，主要集中在应用生态学者、社会学者和政策制定者之间合作的议题上。目标是有助于在合作中培养出学科的学术带头人。这可能和 Aldo Leopold 领导计划(http://www.leopoldleadership.org)相似，但是主要是促进合作的成功。

具体行动二：积极促进生态学核心刊物、学术会议的变革。这种变革将会反映出对跨学科的、有方法驱动的交融科学日益受到重视。尤其是集中在这种交融科学的生态学研究

人员和从业者，有共同利益的领域和全球尺度的问题上。

具体行动三：召开一次研究、管理和商业的首脑（国家科学院或皇家学会水准）会议，制定增强激励机制的计划，对在环境科学上起领导作用和促进新的科学合作的人员进行奖励。对于应用性的和采用新的方法的生态学研究，也应该设立奖励制度，以上这种奉献精神在科研院所、政府和私立研究机构得到发扬。

行动领域二：拓展人类生态学和其它交叉学科的生态学范畴。

生态学研究不仅是一个理论上的学科，它的范畴已经超过了国界和学科边界。例如，ESA 的成员中只有一半是学术意义上的生态学者。虽然它是美国的一个组织，却有 16%的人不是美国居民，并有 78 个国家参加这个组织。为了使生态学更实用有效，生态学者、管理人员、从业者和商人不仅必须协调工作，还须跨越行业边界一起工作。采取这种策略的一个例子是欧洲海岸保护联盟（European Union of Coastal Conservation，EUCC）(http://www.eucc.npl)。EUCC 是一个创建于 1989 年的社团，拥有大量成员，在 40 多个国家中设有分支机构，其目标是把科学家、环境保护主义者、地方管理者、规划者和政策制定者整合在一起，以推动海岸带的保护工作。当前，EUCC 是欧洲最大的沿海从业者和专家网络。EUCC 最初的行动是通过把生物多样性保护与海岸带发展结合起来，推动海岸带的保护。它是通过动员专家和权益双方来实现的，并且提供建议、信息和执行示范项目。

Ehrmann(2003) 提到“如果我们能够更深入地理解人类的福祉和生态系统提供物质和服务之间的关系”，我们就会对工商部门的决策产生影响。要实现全球可持续性发展，企业决策过程中对环境影响的考虑，就好像投资对回报的计算一样是最基本的。许多案例中，有远见的企业已经实施了这一点；他们已经开始懂得地球资源是有限的，可持续性有利于经济发展。在过去的几十年间，工商业显著地受到环境问题的影响，生态学家因此对生态学加深了认识，而企业能够作出积极的响应(Hoffman 1997)。这就需要生态学者与工商界之间的关系有一个根本的改变。生态学工作者都倾向于教育企业考虑环境的影响，但这种教训的方式最好让位于一种合作关系。在这种关系中，生态学家、支持企业的生态学家和企业界代表为实现经济和环境可持续性相结合的目标，要相互学习、取长补短。

企业的行为对环境的影响是十分显著的。国有和私营企业通过学习生态学，相互沟通，形成良好的伙伴关系，就更能使得生态系统的服务功能发挥作用，例如采用有利于健康的消费方式或者停止使用在环境中难分解的化学物质 (Loucks *et al.* 1999)。环境经济委员会（Council for Environmentally Responsible Economies，CERES)，就是一个由环境保护主义者、投资商和民间团体联合组成的机构，它已经提出了一个报告即关于世界上前 20 个温室气体排放大国，将如何面临气候变化的风险、及其商业行为的机会(Cogan 2003)。这个报告以列出具体措施清单为特色，使得企业能为解决气候变化问题而努力。此外，可持续发展系统研究中心（Center for Sustainable Systems Studies）(O. Loucks，个人通讯)正在制定一个投资指南，指南分别对比了成本低、价格便宜和对资源和环境都有保护作用的投资和成本高、价格贵和对资源和环境没有保护作用的投资。生态学家通过直接参与或者承担企业提供的项目，在这些计划中起着越来越积极的作用。

生态学工作者通过以下几种方式拓宽他们的学科领域：1)积极在研究机构中从事科研，如在 ESA 和企业界中，使得众多企业如制造业、农业、资源开采和土地开发，在做决策时更加重视生态环境因素；2)认识到生态研究人员、管理者和从业人员是平等的伙伴关系；

3)主动地招募不同职业和技能的人来从事生态学研究；4)在学术界内外用更加宽阔的标准来评价科学家的业绩。必须鼓励参与合作研究，同时制定新的奖励制度。

并且，生态学家必须要学会与不同学科的人和用不同方式进行合作，在不同的环境下处理问题。教育民众，说服民众接受生态学观点，是成功处理问题的关键。生态学家必须理解不同人的观点和不同社区中的特殊问题。生态学界应该反映出广泛存在于社会中的多样性，以确保生态学的观点能够被应用，并与社会各个领域沟通。这里包括的不仅仅是种族、性别，还包括企业、非政府组织、管理和学术部门。

具体行动四：在以下四方面鼓励和加强与私营部门间开展合作：

a). 提高属于 ESA 和参与 ESA 活动的私立部门的生态学家的地位。我们可以通过举行生态学知识应用的年度和地方性活动，邀请私立部门生态学家演讲，通过研讨会讨论私立部门的问题等等，来达到此目的。私立部门生态学家将参与制定这项行动方案。

b). 招募私立部门的生态学者到 ESA 任要职，特别是在董事会中任职。

c). 与私立部门建立合作关系，解决他们的一些实际需要。这和从前乃至今天 ESA 与联邦机构的合作关系相似，为了促进与联邦机构的合作，ESA 设立了公共关系、教育和科学项目办公室(可持续发展生物圈)等机构。

d). 为 ESA 的活动积极寻找企业支持。

具体行动五：主办学术大会，研讨会和开展合作项目，重点放在生态科学家与生态从业者交流的工作界面。这些活动的形式会促进生态科学家与生态从业者之间的思想交流，对双方都有益。参与者分享最新知识，并能找出在管理方面所需要知识的差距。

具体行动六：在生态科学研究中倡导种族和性别的多样性和等同性。由于环境问题和可持续发展本身就具有国际化和多元化的特点，因此生态学的研究范围应超越国界和种族。应积极鼓励与其它国家和其它研究项目中还为充分展现的相关学科结成伙伴关系。ESA 不仅要收集材料，还要报告学会成员的组成，以促进在生态学中性别、种族和研究机构的多样化。会员动态需要不断地跟踪，以便 ESA 职员和领导能够对其成员提供服务。ESA 应该持续不断的努力，通过 SEEDS（Strategies for Ecology Education, Development and Sustainability）及其它项目的开展，招收少数民族的学生到生态学领域来。

具体行动七：开拓非学术职业，如 SEEDS 和其它教育机构。我们将通过宣传咨询公司、企业、非政府组织和政府机构的人士对生态可持续发展的贡献，通过宣传那些从事其他职业人士，来吸收各种背景的学生。

行动领域三：加强国际领域里生态学家之间的联系，促进生态学信息交流的全球化。

生态学的范畴必须与生态可持续性挑战最紧迫的范畴相匹配，如气候变化、生物入侵、渔业资源的枯竭，水资源和土地利用的变化等(e.g., NRC 1999)。生态学必需与其面临的环境挑战一样受到重视。许多专业学会和研究机构的优先意识是有偏向的，这种偏向阻碍了区域性和国际问题的解决。为了拓宽我们的学科领域，其中就需要更积极主动地促进生态

学和环境科学家合作，简而言之就是一种生态学人文环境的改变。尽管这种变化会令一些研究者感到不安，但从长远来看，生态学将从这种改变中收益：其将转变为一门被公众广泛接受的科学、并提供全球问题的解决方案。我们 必须营造一个跨国的学科发展议程，用于在对生态可持续性至关重要的领域间交流知识并构筑多国合作项目。

具体行动八：生态学知识的全球化。

a). 定期把国外（特别是非英语国家）优秀的生态学期刊和其它刊物上一些重要文章翻译成英文，反之亦然。语言的障碍经常使得生态学知识无法得到传播。在许多国家可能只用唯一的语言把信息传授给科学家、学生、管理人员和决策者。即使科学可能起源于另一个国家，但是可用于公开发表的语言常常是英语。如果是用地方语言发表，科学知识就很难传播到国外。在 2003 年 ESA 年会期间，美洲联合会（Federation of the Americas）成立，大会上来自 6 个国家的与会者表示参与翻译重要科学文献的优先行动。他们推荐 ESA《生态学与环境科学前沿》的翻译作为最初的举措。

生态学信息的全球化孕育着新的合作研究，对正在进行的研究项目的质量将有进一步的提高。生态信息的全球化也有利于决策人获得必要的信息，这些决策人往往处在世界上生物多样性最高、生物多样性受到的威胁最大、但对这种威胁的响应却很低的那些角落。

b). 放宽对不同国家研究机构间的学生、管理者和从业人员交换的限制。交换的项目有几个方面的显著成果：1) 对生态学知识和技术的更新；2) 发达国家的人更好地理解发展中国家的生态知识；3) 在学生、管理者和从业人员之间的国际合作。

c). 在生态学界间积极倡导国际合作。帮助不同国家的生态学者建立网络，这些合作将会对研究议程和教育项目产生深远的影响。

d). 学术界同应用领域的多边合作，通过寻找资金支持，促进跨国链接的研究项目国际化。这种方式可能与欧盟和南美洲正在进行的合作项目相似。

具体行动九：为全球的生态科学研究提出一个国际议程。ESA 应该召开以可持续发展科学为主题的会议。在这些会议上强调生态科学跨国界、跨学科的需要。这种需要同时也已经由诸如生物多样性公约（CBD）和政府间气候变化组织（IPCC）等很多论坛所讨论得出。可持续发展科学会议的内容可以公开发表，或者可在网站上广泛下载利用。在 2005 年 8 月召开的 ESA 和 INTECOL 联合大会即是一个良好的开端，同时 2006 年在墨西哥举行 ESA 大会也已被写入计划。

具体行动十：支持一个国际间的青年生态学者研究团体。

a). 制定一个国际生态学者计划。这些可能在本质上与 Rhodes 和 Gates Scholars 计划相似。

b). 制定学生和博士后到实验室和参加学术会议的交流项目。

总结：生态学研究的人文环境变革：

生态学的人文环境随着这个学科的发展而发展，适应和改变。我们现在正处在一个关

键时刻，如果生态学要为我们的星球，在发展可持续性的将来扮演着重要的角色，那么我们必须加速这种变化，使之与我们所面临的挑战相适应。一个科学家在野外或者实验室里单打独斗，已经再很难大有作为。现在，合作和兼容已经成为主流，只有这样我们才能解决全球的环境问题并达到可持续性。为了适应这种挑战，我们必须考虑人类经济、社会、政治和管理，促进包括自然科学家、社会科学家和决策者在内的合作，以及从地方尺度到国际水平的合作。我们必须致力在全球传播生态学知识，推动国际合作，提出一个关注地方和国际问题的国际议程。有效的合作和健全的激励机制，齐心协力地培养生态学工作者，这些将会产生创造性的、杰出的、富有成果的研究项目，这些研究项目将成功地解决全球可持续性的问题。

我们预见未来将出现一个杰出的生态学大家庭，来自不同文化背景、来自世界各地的研究机构、工业界、非政府组织、教育界、管理层和政策层的成员之间互相尊重。生态学国际团体内的合作，以及生态学与其它学科间的合作，将成为很平常的事情，成为科研资助项目和职业成功的一个关键组分。这个生态大家庭的成员将包括全世界各地的性别和种族的多样性，以及这种多样性带来的新观念和新技术。这些变化将带来难以预见的益处并将跨越研究机构、学科和国界而形成新的分支。可持续发展是当今世界最为关注的问题，生态学大家庭的成员们正在为生态学科发展铺平道路，使生态学成为跨团体、跨学科的、解决全球可持续性问题的有力武器。

骆亦其、高 方、廖成章　译

参考文献

Allen, W. 1999. Improving the use of collaborative approaches within natural resource management: knowledge and information management. [Online] URL: http://nrm.massey.ac.nz/changelinks/kno_inf.html

Alpert, P. and A. Keller. 2003. Forum: The ecology–policy interface. Frontiers in Ecology and the Environment 1(1): 45-50.

Bakshi, T.S. and Z. Naveh. (Ed.). 1980. Environmental education principles, methods and applications. Proceedings of the Symposium on ‘Environmental Education’, 2nd INTECOL Congress, September 1978, Jerusalem, Israel. Plenum Press. New York.

Bayley, P.B. 1989. Aquatic environments in the Amazon Basin with an analysis of carbon sources, fish production, and yield. Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences 106: 399-408.

Bayley, P. B. 1995. Understanding large river floodplain ecosystems. Bioscience 45:153-158.

Bennett, E.M., S.R. Carpenter, G.D. Peterson, G.S. Cumming, M. Zurek, and P. Pingali. 2003. Why global scenarios need ecology. Frontiers in Ecology and the Environment 1(6): 322-329.

Berkowitz, A.R. 1997. Defining environmental literacy: a call for action. Bulletin of the Ecological Society of America 78(2): 170-172.

Berkowitz AR, Nilon CH, and Hollweg KS. (Eds.)2003. Understanding urban ecosystems: a new frontier for science and education. 8th Cary Conference (1999): Institute of Ecosystem Studies. New York, NY: Springer-Verlag.

Blank, L. and C.A. Brewer. 2003. Forum: ecology education when no child is left behind. Frontiers in Ecology and the Environment 1(7): 383-390.

Botkin, D.B., J.E. Estes, R.M. MacDonald, and M. Wilson. 1984. Studying the earth’s vegetation from space. BioScience 34:508-514.

Bradshaw, G.A. and J.G. Borchers. 2000. Perspective - uncertainty as information: narrowing the science-policy gap. Conservation Ecology 4(1): 7. [Online] URL: http://www.consecol.org/vol14/iss1/art7.

Burrows, S.N., S.T. Gower, M.K. Clayton, D.S. Mackay, D.E. Ahl, J.M. Norman, and G.Diak.

2002. Application of geostatistics to characterize leaf area index (LAI) from flux tower to landscape scales using a cyclic sampling design. Ecosystems 5:667-679.
Carpenter, S.R. 1998. Keystone species and academic-agency collaboration. Conservation Ecology [online], 2 (1): R2. [Online] URL: http://www.consecol.org/vol2/iss1/resp2 .
Cash, D.W., William C. Clark, F. Alcock, N.M. Dickson, N. Eckley, D.H. Guston, J. Jäger, and R.B. Mitchell. 2003. Knowledge systems for sustainable development. Science and Technology for Sustainable Development Special Feature. Proceedings of the National Academy of Sciences 100: 8086-8091.
Castillo, A. 2000. Research: ecological information system: analyzing the communication and utilization of scientific information in Mexico. Environmental Management 25(4): 383-392.
Castillo, A., S. Garcia-Ruvalcaba, and L.M. Martinez. 2002. Environmental education as a facilitator of the use of ecological information: a case study in Mexico. Environmental Education Research 8 (4): 395-411.
Clark, J.S., S.R. Carpenter, M. Barber, S. Collins, A. Dobson, J.A. Foley, D.M. Lodge, M. Pascual, R. Pielke, Jr., W. Pizer, C. Pringle, W.V. Reid, K.A. Rose, O. Sala, W.H. Schlesinger, D.H. Wall, and D. Wear. 2001. Ecological forecasts: an emerging imperative. Science 293: 657-600.
Clark, W.C. and N.M. Dickson. 2003. Sustainability science: the emerging research program. Proceedings of theNational Academy of Sciences 100: 8059- 8061.
Cogan, DG. 2003. Corporate governance and climate change: making the connection. A CERES Sustainable Governance Project Report, prepared by the Investor Responsibility Research Center (IRRC). IRRC, Washington, DC ([Online] URL: 37 222/irrc.org) and CERES, Boston, MA ([Online] URL: www.ceres.org). CUAHSI: Consortium of Universities for the Advancem,ent of Hydorlogic Sciences,
Inc. 2004. [Online] URL: http://www.cuahsi.org/docs/NCHS_Workshop_report.pdf.
Daily, G.C. (Ed.) 1997. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems, Island Press, Washington, DC.
D'Avanzo, C. 2003. Research on learning: potential for improving ecology teaching. Frontiers in Ecology and the Environment 1(10): 533-540.
Dobkowski, M and I, Walliman. 2002. On the Edge of Scarcity: Environment, Resources, Population, Sustainability and Conflict. Syracuse Univ Press, NY. EIN: Ecological Information Network. 2004.[Online] URL: http://www.ein.rbii.gov.
Ehrmann, J. 2003. Common interests: private sector engagement with the MA. MA News: The Newsletter of the Millennium Ecosystem Assessment. September 2003: 1-2.
Estrin, D., W. Michener, and G. Bonito. (Eds) 2003. Environmental cyberinfrastructure needs for distributed sensor networks. Scripps Institute of Oceanography, La Jolla, CA. Faculty Institutes Reforming Science Teaching: FIRST II. 2004. [Online] URL: http://www.first2.org.
Fraterrigo, J., M.G. Turner, S.M. Pearson, and P. Dixon. Effects of past land use on spatial heterogeneity of soil nutrients in Southern Appalachian forests. Submitted to Ecology. (In review).
Gleick, P. 2003. Global freshwater resources: softpath solutions for the 21st Century. Science 302: 1524-1528. A.M.
Gurnell, C.R. Hupp, S.V. Gregory. 2000. Linking Hydrology and Ecology.Special Issue of Hydrological Processes, Volume 14, Nos. 16-17, 2813-3204.
Hale, M. (Ed.) 1993. Ecology in education. Proceedings of a symposium, "General understanding and role of ecology in education," 5th INTECOL Congress, August 1990. Yokohama, Japan. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
Hastings, D.A. and W.J. Emery. 1992. The advanced very high resolution radiometer (AVHRR): a brief reference guide. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 58(8): 1183-1188.
Hastings, A. and M.A. Palmer. 2003. A bright future for biologists and mathematicians. Science 299: 2003-2004.
Hoffman, A.J. 1997. From heresy to dogma: an institutional history of corporate environmentalism. New Lexington Press, San Francisco. IPCC. 2001. Summary for policy makers. The Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change Working Group I. Cambridge University Press, Cambridge and New York. ICSU: International Council for Science. 2002. ICSU Series on Science for Sustainable Development No. 5: Science Education and Capacity Building for Sustainable Development. ICSU, Paris.

Jenkins, E.W. 2003. Environmental education and the public understanding of science. Frontiers in Ecology and the Environment 1(8): 437-443.
Junk, W. J., P. B. Bayley, and R. E. Sparks. 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences 106: 110-127.
Kates, Robert W., W.C. Clark, R. Corell, J.M. Hall, C.C. Jaeger, I. Lowe, J.J. McCarthy, H.J. Schellnhuber, B. Bolin, N.M. Dickson, S. Faucheux, G.C. Gallopin, A. Gruebler, B. Huntley, J. Jäger, N.S. Jodha, R.E. Kasperson, A. Mabogunje, P. Matson, H. Mooney, B. Moore III, T. O'Riordan, and U. Svedin. 2001. Sustainability science. Science 292: 641- 642.
Keys, C.W. and L.A. Bryan 2001. Constructing inquiry-based science with teachers: essential research for lasting reform. Journal of Research in Science Teaching 38(6): 631-645.
Kremen, C.J., O. Niles, M.G. Dalton, G.C. Daily, P.R. Ehrlich, J.P. Fay, D. Grewal, and R.P. Guillery. 2000. Economic incentives for rainforest conservation across scales. Science 288:1828-1832.38
Lambert, J.M. (Ed.) 1966. The teaching of ecology. Proceedings of a Symposium of the British Ecological Society, April 1966, Goldsmith's College, University of London, UK. Blackwell Scientific Publications. Oxford, UK.
Levy, S. 2003. Turbulence in the Klamath River Basin. BioScience 53:315-320.
Loucks O.L., Erekson O.H., Bol JW, Gorman RF, Johnson PC, and Krehbiel TC. 1999. Sustainability perspectives for resources and business. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. Lubchenco, J., A.M. Olson, L.B. Brubaker, S.R. Carpenter, M. Holland, S.P. Hubbell, S.A. Levin, J.A. MacMahon, P.A. Matson, J.M. Melillo, H.A. Mooney, C.H. Peterson, H.R. Pulliam, L.A. Real, P.J. Regal, and P.G. Risser. 1991. The Sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. Report from the Ecological Society of America. Ecology: 72: 371–412.
Lubchenco J. 1998. Entering the century of the environment: A new social contract for science. Science 279: 491-497.
Lutz, W., W. Sanderson, and S. Scherbov. 2001. The end of population growth. Nature 412:543-545.
Malard, F., K. Tockner and J. V. Ward. 1999. Shifting dominance of subcatchment water sources and flow paths in a glacial floodplain, val Roseg, Switzerland. Arctic, Antarctic and Alpine Research 31: 135- 150.
McDonnell, M.J. and S.T.A. Pickett. (Eds.) 1993. Humans as components of ecosystems: the ecology of subtle human effects and populated areas. Springer-Verlag, New York.
McKeown, R. 2003. Working with K-12 schools: insights for scientists. BioScience 53: 870-875.
McMichael, A.J., C.D. Butler, and C. Folke. 2003. New visions for addressing sustainability. Science 302: 1919-1920.
MA: Millennium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and human well-being. Island Press, Washington, DC. NAE: National Academy of Engineering. 2002. A center for scholarly research in engineering education at the National Academy of Engineering. Education Center White Paper, Washington, DC. NASA-EOS: National Aeronautics and Space Administration Earth Observing System Program. 2003. [Online]URL:http://www.eospso.gsfc.nasa.gov. NCSE: National Council on Science and the Environment . 2003. Recommendations for education for a sustainable and secure future. A Report of the 3rd National Conference on Science, Policy, and the Environment, January 2003, Washington, DC.
NRC: National Research Council. 1986. Remote sensing of the biosphere. National Academy Press, Washington DC.
NRC: National Research Council. 1999. Our common journey: a transition toward sustainability. National Academy Press, Washington, DC.
NRC: National Research Council.. 2000. Global change ecosystems research. National Academy Press, Washington, DC.
NRC: National Research Council.. 2001. Grand challenges in environmental sciences. National Academy Press, Washington DC.
NRC: National Research Council.. 2003. NEON: addressing the Nation's environmental challenges. National Academy Press, Washington DC. National Sea Grant Office: Dean John A. Knauss Marine Policy Fellowships. [O n l i n e] U R L : http://www.nsgo.seagrant.org/funding.html.
NSF: National Science Foundation.2000. Environmental science and engineering for the 21st

century: the role of the National Science Foundation. NSB 00-22. [Online] URL: http://www.nsf.gov/pubs/2000/nsb0022/start.htm.
NSF-ERE: National Science Foundation Advisory Committee for Environmental Research and Education. 2003. Complex environmental systems: synthesis for earth, life, and society in the 21st century. [Online] URL: http://www.nsf.gov/geo/ere/ereweb/acere_synthesis_rpt.cfm.
NEON. 2000. Report on first workshop of the National Ecological Observatory Network. [Online] URL: http://ibrcs.aibs.org/reports/pdf/NEON1_Jan2000.pdf .39
OST (Office of Science and Technology) and Wellcome Trust. 2001. Science and the public: a review of science communication and public attitudes toward science in Britain. Public Understanding of Science 10: 315-330.
Palmer, M.A., P. Arzberger, J.E. Cohen, A.M. Hastings, R.D. Holt, J.L. Morse, D. Sumners, and Z. Luthey-Schulten. 2003. Accelerating mathematical-biological linkages: report from a joint NIH-NSF conference. February 2003. [Online] URL: http://www.bisti.nih.gov/mathregistration/report.pdf .
Parsons, W. 2001. Practical perspective: scientists and politicians: the need to communicate. Public Understanding of Science 10: 303-314.
Povilitis, T. 2001. Toward a robust natural imperative for conservation. Conservation Biology 15(2): 533- 535.
Resilience Allience. 2004. [Online] URL: http://www.resilience.org/ev_en.php.
Rusak, J.A., N.D. Yan, K.M. Somers, K.L. Cottingham, F. Micheli, S.R. Carpenter, T.M. Frost, M.J. Paterson, and D.J. McQueen. 2002. A regional catalogue of crustacean zooplankton variability: temporal, spatial, and taxonomic patterns in unmanipulated north-temperate lakes. Limnology and Oceanography 47: 613-625.
SEEDS: Strategies for Ecology Education, Development and Sustainability. [Online] URL: http://www.esa.org/seeds/.
Slingsby, D. and S. Barker. 1998. From nature table to niche: curriculum progression in ecological concepts. International Journal of Science Education 20(4): 479-486. Slingsby, D. 2001. Perceptions of ecology: bridging the gap between academia and public through education and communication. Bulletin of the Ecological Society of America 82(2): 142-148.
Soulé, M.E. and G.H. Orians. 2001. Conservation biology: research priorities for the next decade. Island Press, Washington, DC.
Thompson, J.N, O.J. Reichman, P.J. Morin, G.A. Polis, M.E. Power, R.W. Sterner, C.A. Couch, L. Gouch, R. Holt, D.U. Hooper, F. Keesing, C.R. Lovell, B.T. Milne, M.C. Mollesi, D.W. Roberts, and S.Y. Strauss. 2001. Frontiers of ecology. BioScience 51:15-24.
Teaching Issues and Experiments in Ecology: TIEE. 2004 . [Online] URL: http://www.ecoed.net/tiee.
Tockner K., F.Malard, J. V. Ward. 2000. An extension of the flood pulse concept. Hydrological Processes 14:02861-2883.
Turner, B.L., P.A. Matson, J.J. McCarthy, R.W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, G. Hovelsrud-Broda, J.X. Kasperson, R.E. Kasperson, A. Luers, M.L. Martello, S. Mathiesen, R. Naylor, C. Polsky, A. Pulsipher, A. Schiller, H. Selin, and N. Tyler. 2003. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies. Proceedings of the National Academy of Sciences 100: 8080-8085.
UNEP. 1999. United Nations Environmental Program Global Environmental Outlook. GEO-2000. [Online] URL: http://www.unep.org/geo2000/ov-e/ov-e.pdf.
Vitousek, P.M. 1994. Ecology and global change. Ecology 75:1861-1876.
Walczyk, J.J. and L.L. Ramsey. 2003. Use of learner-centered instruction in college science and mathematics classrooms. Journal of Research in Science Teaching 40(6): 566-584.
Walters, C.J. 1998. Improving links between ecosystem scientists and managers. pp.272-286. In M. L. Pace and P.M. Groffman (Ed.). Successes, Limitations, and Frontiers in Ecosystem Science. Springer, New York.
Ward J. V., K. Tockner, F. Schiemer. 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: Ecotones and connectivity. Regulated Rivers15:125-139.
Ward, JV, K. Tockner. D. B. Arscott and C. Claret: 2002. Riverine landscape diversity. Freshwater Biol. 47: 517-539.
Wiens, J. A. 2002. Riverine Landscapes: taking landscape ecology into the water. Freshwater Biology 47: 501-515.

Worcester, R. 2000. Science and society: what scientists and the public can learn from each other. Lecture to the Royal Institution of Great Britain, September 29, 2000.
Worcester, R. 2002. Public understanding of science. Biologist 49(4): 143

鸣 谢

生态远景报告得到美国 Packard 基金会、Mellon 基金会，美国国家科学基金会，美国国家海洋和大气局，美国环保机构，美国地质勘探局以及美国农业部的资助。

在过去 12 个月的工作当中，很多人给予了我们很多建议、观点、关键的评论甚至对我们的观点进行了尖锐的批评，这样促使我们更加努力的工作，使我们的工作更加具有创造性。我们接受了美国生态学会、其他科学学科、政府以及非政府组织团体和工业部门人员广泛的资助。

在早期的远景委员会回议中，下面这些人给我们提供了宝贵的观点：Becky Allee，国家海洋和大气局；Ann Bartuska，上届美国生态学会主席；美国林业局；Jerry Elwood，美国能源部；Jeff Frithsen，美国环保署；David Goldston，美国住宅科学委员会；Lara Hansen，世界野生动植物基金组织；Susan Haseltine，美国地质勘探局；Gretchen Hofmann，加利弗里亚 Santa Barbara 大学；Anthony Janetos，Heinz Center，John Melack，加利弗里亚 Santa Barbara 大学；Mark Poth，美国农业部；Peter Preuss，美国环保署；Don Scavia，密歇根 Sea Grant；Gerald Selzer，国家科学基金会；Mark Schildhaue，国家生态分析中心；Jeff Ruch，环境责任公众雇员；Vikki Spruill，SeaWeb；以及国家生态分析中心博士后的同事。

下面这些人在 2003 年 7 月我们的早餐会或其他场合奉献了时间和专业知识，委员会从中接受了对我们最初想法的大量反馈和批评：Al Abee，美国林业局；Becky Allee，国家海洋和大气局；David Blockstein，国家科学和环境委员会；Peter Boice，美国国防部；Tom Brooks，国际资源保护会；Jim Clark，Exxon 移动；Jerry Elwood，美国能源部；Penny Firth，国家基金委员会；Mike Frame，美国地质勘探局；Thomas Franklin，野生动植物学会；Peter Frumhoff，Concerned 联合会的科学家；Stephen Gasteyer，乡村社区辅助计划；Lara Hansen，世界野生动植物基金会；Susan Haseltine，美国地质勘探局；Ted Heintz，环境质量委员会；Anthony Janetos，Heinz 中心；Diana Jerkins，美国农业部；Gretchen Hofmann，加利弗里亚大学 Santa Barbara 分校；Janice Larkin，美国国防部；Orie Loucks，迈阿密大学；Nadine Lymn，美国生态学会；Shirley Malcolm，美国科学促进会；John Melack，加利弗里亚 Santa Barbara 分校；Silvio Olivieri，国际资源保护会；Samuel Rankin，美国数学学会；Douglas Ripley，国家空中警卫队；Keith Robinson，联合国环境署；Catriona Rogers，美国环保署；Sam Scheiner，国家科学基金会；Craig Schiffries，国家科学和环境委员会；Mark Schildhauer，国家生态分析中心；Fran Sharples，国家科学基金会；Robin White，世界资源研究所；Cal Wieder，国家科学基金会；John Wiens，自然保护委员会。

我们还要感谢 SeaWeb/ COMPASS 的 Nancy Baron 做出的实质性贡献，特别感谢 SeaWeb 的 Ashley Simons，社会科学研究委员会的 Diana Rhoten，蒙大拿大学的 Carol Brewer，杜克大学的 William Schlesinger，他们对委员会的工作作出了突出的贡献。还要感谢 Jim Ehlringer 和 Rodolfo Dirzo，因为时间冲突的原因，在退出委员会之前，他们给予了早期的资助。同时感谢几个机构组织，包括国家生态分析和综合中心；Sevilleta 野外研究站；Harbor Hills Yacht 俱乐部；Maryland 大学的协作。

感谢美国生态学会董事会在该项目进行和报告完成的过程中的支持和资助，特别是

Ann Bartuska 和 William Schlesinger，在他们作为美国生态学会主席的任期内同我们一起工作。我们还要感谢华盛顿地区、银泉和马里兰的生态学会工作人员，在整个项目进行过程中所给予的智慧和精力的支持。特别要感谢 ESA 的执行主任 Katherine McCarter，还有网站管理员 Moe Zaw-Aung，是他帮助开设了本项目的网站和成员的问卷调查。

我们还要感谢 ESA 教育和人类资源委员会的委员们，他们对生态教育提出了很好的建议，还要感谢 Fred Powledge，他为我们的报告进行了校改，使之通俗易懂。

特别感谢上届 ESA 主席，斯坦福大学的 Pamela Matson，在我们项目的早期阶段，是他对我们的项目提供了最初的想法，提供了相关的专业知识和支持。

我们还要感谢 ESA 会员的帮助，感谢他们通过问卷调查、2003 年 Savannah 的 ESA 年会，通过个人的 EMAIL 以及同委员会成员的讨论等多种方式所提供的宝贵支持和想法。

（欧阳文锐　译）

附录一：首字母略语与缩写

AAAS — American Association for the Advancement of Science 美国科学促进协会
AR — anticipatory research 前瞻性研究
ASLO — American Society of Limnology and Oceanography 全美湖泊及海洋学会
AVHRR — advanced very high resolution radiometer 高级高解析度的辐射计
BEN — Biological Education Network 生物学教育网络
CASEE — Center for the Advancement of Scholarship on Engineering Education 促进工程学教育奖学金中心
CC — cultural changes 文化的变革
CEIS — Centers for the Ecological Implementation of Solutions 生态解决途经实施中心
CERC — Center for Environmental Research and Conservation 环境研究保护中心
CERES — Council for Environmentally Responsible Economics 环境经济委员会
CLEANER — Collaborative Large-scale Engineering Analysis Network for Environmental Research 大规模环境工程研究与分析协作网络
CUAHSI — Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science Incorporated 高校水文学促进会
ECI — Ecological Cyber Infrastructure 生态网络结构
EIN — Ecological Information Network 生态学信息网络
EPA — Environmental Protection Agency (US) 美国环境保护署
ERIC — Educational Resources Information Center 教育资源信息中心
ERIN – Ecological Research Infrastructure Network 生态研究基础设施网络
ESA — Ecological Society of America 美国生态学会
EUCC — European Union of Coastal Conservation 欧洲海岸保护联盟
FIRST — Faculty Institutes Reforming Science Training 提供科学培训的大学及研究所
GIS — Geographical Information System 地理信息系统
ICSU — International Council of Scientific Unions 国际科学联合委员会
ID — informing decisions 以资讯为基础的明智决策

IEK — informed by ecological knowledge 以生态学为基础的…..
INTECOL — International Ecology Education Conference 国际生态教育大会
IPCC — International Panel on Climate Change 国际气候变化委员会
K-12 — kindergarten through 12th grade 从幼儿园到 12 年级(高中)
LTER — Long Term Ecological Research Network 长期生态研究网络
NAE — National Academy of Engineering (US) 美国工程院
NASA-EOS — National Aeronautics and Space Administration—Earth Observing System (US) 美国国家宇航局—地球观测系统
NCEAS — National Center for Ecological Analysis and Synthesis 美国国家生态分析与整合中心
NCSE — National Council on Science and the Environment 美国国家科学和环境委员会
NEON — National Ecological Observatory Network (US) 美国国家生态学观测网络
NGO — non-governmental organization 非政府组织
NIH — National Institutes of Health (US) 美国国家健康研究院
NOAA — National Oceanic and Atmospheric Administration (US) 美国国家海洋大气局
NRC — National Research Council (US) 美国国家科研委员会
NSF — National Science Foundation (US) 美国国家科学基金会
NSF-ERE — National Science Foundation— Environmental Research and Education (US) 美国国家科学基金会--环境科研教育基金
OBFS — Organization of Biological Field Stations 生物实验站组织
PIER — Programs for Integrative Ecological Research 生态综合研究计划
SBI — Sustainable Biosphere Initiative 可持续生物圈行动计划
SeaWeb/COMPASS SeaWeb's Communication Partnership for Science and the Sea 海洋网站的科学与海洋通讯伙伴关系
SEEDS — Strategies for Ecology Education, Development, and Sustainability 有关生态教育、发展、可持续性方面的策略
SYEFEST — Schoolyard Ecology for Elementary School Teachers 为小学教师写的学校操场生态学
TIEE — Teaching Issues and Experiments in Ecology 生态学的教学和实验
TNC — The Nature Conservancy "自然保护"组织
UC-Santa Barbara — University of California at Santa Barbara Santa Barbara 加州大学
URL — Uniform Resource Locator 统一资源定位
USDA — United States Department of Agriculture 美国农业部
WWF — World Wildlife Federation 世界野生生物基金会

（黄长志　译）

附录二：美国生态学会“生态远景委员会”会议记要

第 1 次会议：2003 年 1 月 6 日—8 日，华盛顿：

与会者：Margaret Palmer, Emily Bernhardt, Liz Chornesky, Cliff Duke , Jim Ehlringer, Robb Jacobson , Rhonda Kranz, Mike Mappin, Fiorenza Micheli, Jen Morse, Mike Pace, Mercedes Pascual, Steve Palumbi, Jim Reichman, Bill Schlesinger, Alan Townsend, Monica Turner.

嘉宾：Becky Allee, NOAA; Ann Bartuska, ESA Past-President, TNC; Scott Collins, NSF(now University of New Mexico); Jerry Elwood, USDE; Jeff Frithsen, EPA; Lara Hansen, WWF; Sue Haseltine, US Geological Survey; Tony Janetos , Heinz Center; Katherine McCarter, ESA Executive Director; Pamela Matson, ESA Past-President, Stanford;Mark Poth, USDA; Silvio Olivieri, Conservation International; Peter Preuss, EPA; Catriona Rogers, EPA; David Rogers, NOAA; Don Scavia, NOAA; Gerald Selzer, National Science Foundation.

Pam Maton 和 Ann Bartuska 受委员会的委托，为发展美国生态学会的战略行动计划而召开此次会议。该计划作为可持续生物圈报告的后续工作，具有战略执行意义，结果应当超过之前的报告。这次会议的主要议题是：1）更新生态学议程；2）明确生态学发展中的主要障碍以促进其发展；3）为克服这些问题提供可行机制。此次会议的目的之一是支持美国生态学会近期关注点的转变——更关注应用生态学并提高作为“实用科学”的价值。

在会议的第一天和第二天上午安排了一些发言。Katherine McCarter 和 Rhonda Kranz 对美国生态学会的组织结构作总结报告，此前是对于最近国家科学基金会地球科学基金组关于 ASLO 结果和他们未来方向的讨论。委员会将会听取发言，并与来自 6 个政府组织和 3 个 NGO 的代表进行讨论，这些代表提供了各自机构对生态学界关注问题的总结。讨论的议题主要包括：作为一种手段，为机构和组织规划提供信息以供行动；在管理问题上的更多涉入；帮助在公众中建立这样一种思想－政策制定者必须追随公众；让优秀的科学家在基金会中居于高位；更加广泛的和更加快速的提供研究结果；为完成紧急任务共享数据；更加大胆地思索和询问批评性问题和发现财富；提高生态学研究生的数学技能；为非生态学者提供更多的训练；增加会中少数民族成员；更多的建模、预报和预测能力；更多的合作；提供更多的培训；增加科学行动和保护管理需要间的交汇；支持在网络监测上的增长。

所有的委员会成员会提供他们的观点，作为生态学前瞻计划的结果什么能够被完成，目的在于发展一个引人注目的、易于理解的、令人鼓舞的和我们未达到的领域的短期预见。以下是提供的草案：

我们正处于环境空前变化的时代，这对生态学家提出了更多的要求。未来的生态学必须解释和预测我们共享的环境。生态学也必须植根于教育以加强公共决策。生态学界必须随时准备去创造一个可响应的和一体化的科学以控制生态学知识的爆炸，解决社会问题，增加人类和自然界的基础知识。这些都要求一个革命，即生态学知识应当被收集并用于研究、教育和公共决策。

委员会讨论了之前的研究，认为使用之前的报告例如 NSF 和 NRC 的报告所提出的建

议是非常重要的，但是委员会必须超越他们以确定要执行的特殊行动。作为加速生态学发展优先考虑的事，确定了四项行动，工作组为每项行动起草了文件：

- 即得信息的获取及全方位的介入
- 必要的文化转移
- 超越和教育（对社会的所有方面）
- 技术革新和发展

第 2 次会议：2003 年 4 月 1 日－3 日，NCEAS, Santa Barbara, CA：

与会者：Margaret Palmer, Emily Bernhardt, Scot Collins, Rodolfo Dirzo, Andy DOBSON, Cliff Duke, Barry Gold, Robb Jacobson, Sharon Kingsland, Rhonda Kranz, Mike Mappin, Fiorenza Micheli, Jen Morse, Mike Pace, Mercedes Pascual, Jim Reichman, Alan Townsend.

嘉宾：Gretchen Hofmann, UC-Santa, Barbara; John Melack, UC-Santa Barbara; Dar Roberts, UC-Santa Barbara; Mark Schildhauer, National Center for Ecological Analysis and Synthesis; NCEAS Post-doctoral Associates.

委员会欢迎三位新成员：Scott Collins(University of New Mexico)，Sharon Kingsland(Johns Hopkins University) and Barry Gold(Packard foundation).

这次会议集中于在“信息技术”和“研究创新”上的未来展望（这一想法来自既有的信息获得和对技术手段革新的介入及展开）。这次内容的陈述由来自 NCEAS 和 UC-Santa Barbara 的科学家进行。

与会者将国际化作为第五个生态学发展的战略目标。

这次会议作出了一个决定，制定此决定是以期求得一个可以快速出版，能够及时反映关于委员会的各项建议（这些建议都是于 2003 年 12 月之前以全文或者提要的形式给出）的机制。除了各 ESA Governing Board 的报告之外，委员会还将继续出版两份材料以使公众更加了解这个行动计划。

委员会还制定了一份计划以获得来自 ESA community 的普遍支持，以及联邦代办的代表、NGOs 和行业代表们的帮助。这个计划包括：1）一系列的华盛顿特区早餐简报；2）给 ESA 成员的调查问卷；3）5 月份给 ESA 管理理事会的一份报告；4）同 ESA Section chairs 的交流；5）与 ESA 教育和公共事务办公室的协作；6）在 Savannah 举行的 ESA 会议期间和拉丁美洲生态协会主席的午餐会；以及 7）主动举行一个关于在 Savannah 举行的 ESA 会议的公开的论坛和讨论。

在工作组的成员进行重组之后，将使各方面的工作更加顺利，继续完善这 5 个生态学发展的战略目标。

第 3 次会议：2003 年 8 月 24－28 日，马里兰州安纳波利斯：

与会者：Margaret Palmer, Emily Berhardt, Liz Chornesky, Scott Collins, Andy Dobson, Cliff Duke, Barry Gold, Robb Jacobson, Sharon Kingsland, Rhonda Kranz, Mike Mappin,

Marisa Martinez, Fiorenza Micheli, Jen Morse, Mike Pace, Mercedes Padcual, Steve Palumbi, Jim Reichman, Alan Townsend.

嘉宾：Carol Brewer, University of Montana; David Goldston, the House Science Committee; Katherine McCarter, ESA; Diana Rhoten, Hybrid Vigor, Stanford University; Jeff Ruch, Public Employees for Environmental Responsibility; Ashley Simons, SeaWeb; Vikki Spruill, SeaWeb; Jason Taylor, ESA.

委员会接受了委员 Rodolfo Dirzo 和 Jim Ehlringer 的辞职，并欢迎新委员成员 Marisa Martinez（来自 Universidad Nacional Autonoma de Mexico 的生态学院）。

这次会议主要围绕三个目标进行：1）重新聚焦于 the goals of the projection 和确定这些行动的主次关系上来；2）委员会的作出更多的成绩发展更多的思想和框架；和 3）加强“公众教育并得到更大的延伸”，“促进文化交流”，和“国际化”展望。

委员会接受了来自 ESA 成员问卷调查、早餐会和 ESA Governing board 的值得考虑的反馈意见，这些工作组的多数意见是将重点放在发展有所见识的公众（包括学生，市民，消费者，管理人员和公务人员）的优先权上来。

委员会讨论了 the until－now 的暗示的保证发展并执行一个行动的持续性时目标。持续性将要被作为一项开始行动计划的具有组织性的主题。

委员会有关展望的修改陈述如下：

环境问题决定了我们未来的工作内容；生态科学将帮助决定人类的命运。我们的世界拥有数以十亿计的人口，我们像所有其它生命有机体一样改变我们的环境并将继续改变。未来的世界应当是能够容纳数以十亿计的人类的可持续的生态系统。仅靠生态学我们是不能够达到这一目标的，但我们的投入是必要的。生态科学使社会达到可持续性成为可能。

本次委员会的关于生态的展望范围已被讨论，与会者一致同意，对环境科学家、基金会、管理者及广大听众，以及对于 ESA 来说是更为专业的辅助性的和更直接性的目标来说，我们关于每一个方面的展望都具有超前性和并具有一定的挑战性。

由生态展望委员会提出的 5 项成果已被确认：1）给 ESA Governing Board 的报告，该报告清楚的表达了一项计划，并提供了明确的行动方案；2）在高知名度杂志（诸如：科学）上发表论文，以引出 “call to action”；3）在 ESA 的年度会议的公共论坛上集中讨论并获取反馈意见。4）在其他协会的会议上发言相互了解；和 5）刊行 Frontiers，以提供计划细节和在广泛的生态团体操作中的应用。

第 4 次例会：2003 年 10 月 31 日－11 月 3 日，Sevilleta Field Research Station，Albuquerque，NM：

与会者：Margaret Palmer, Emily Bernhardt, Liz Chornesky, Scott Collins, Cliff Duke, Barry Gold, Robb Jacobson, Sharon Kingsland, Rhonda Kranz, Mike Mappin, Marisa Martinez, Fiorenza Micheli, Jen Morse, Mike Pace, Steve Palumbi, Jim Reichman, Bill Schlesinger, Alan

Townsend, Monica Turner.

嘉宾：Ashley Simons, SeaWeb.

这次会议的目标是完成致 ESA 的报告的草案和一份提交给*科学*杂志的论文的草稿。委员会这次还将原先 5 个方面的远景精简成 3 个：

- 创新（研究思想创新和技术手段创新）
- 动员更多具有一定水平的公众参与
- 多元文化交流的促成（具体表现为国际化）

（江 洪　译）

附录三：有关生态远景构想的早餐会议纪要

Margaret Palmer, Clifford Duke 和 Rhonda Kranz 于 2003 年 7 月与三个 8-10 人组成的小组召开了早餐会议，讨论有关生态远景构想的计划、征求反馈意见和建立联系。与会者包括来自各政府机关、非政府组织、商界和各协会的代表（本文结尾处附有出席人名单）。讨论非常活跃，每次都远远超出原计划的一个半小时时间。到会者对此项目非常看好，纷纷要求继续参与今后的工作。下面列举的是最感兴趣的一些评语和建议。

合作和有关生态学知识的使用：

- 我们必须更加重视教育，不仅仅是那些在课堂和非正式场合的教育，我们应该将科学全民化（democratization），让科研结果充分显示其重要性和实用性。
- 美国生态学会（ESA）应该充当不同组织和社区沟通的桥梁。
- 我们应该鼓励所有相关的人员参与合作，而不只是科研人员。
- 将生态学知识介绍到基层政府决策人的手中，使生态学方法和工具更易于使用。
- 决策人的观点必须考虑在内，因为生态学家未必了解当地的决策过程。
- 我们必须破除专职发展社区的人员与科学家之间的隔膜。
- 地方社区的管理人员和工程技术人员应该和生态学家们一起合作。
- 必须建立便于管理的数据库。
- 发挥私营企业和非牟利组织的作用，鼓励他们参与生态学研究。
- 从事基础研究的人员需要与从事应用实践的人员进行更有效的对话。目前，他们认为自己在实际决策过程中并没有什么影响力。
- 生态学家应该到政府部门担任决策工作。
- 向大众进行科学普及。许多社会调查表明，大众尊重科学。因此，大家往往把科学家所说的话当作终极真理，而科学家自己知道那并不是终极真理。这正是问题所在。
- 我们需要多与那些曾经研究过水资源利用和同类型问题的社会科学工作者合作，向他们学习如何使用这类数据资料。
- 我们应该设法让大众把思考的重点放在过程，而不仅仅是思考孤立的问题。科学家们往往以为“正常人”并不这么思考问题，只有象他们那样经过特殊训练的人才会这样思考。其实，如果这个过程能够分繁化简，让人一目了然，就能够得到社区的参与，有助于环境决策的制定。

- BEN（生物学教育网络）就是一个生物学团体合作的例子。他们已经决定如何共享有关信息了。

科研团体：

- 应该在私营企业、政府机构、以及学术界设置奖励制度。
- 应该鼓励科学家进行科普宣传。一个成功的例子是 Canon 公园奖学金。持有奖学金的学生必须撰写一篇如何将其研究工作应用于公园管理的文章，并向公众宣讲他们的工作。
- 生态学家应该常常自省自己在其它学科眼里的形象，学习如何开展与其它学科相关的研究。

从经济学数据网所得到的启示：

- 政府项目定期更新数据库，对经济非常有利。一个生态学数据收集网的建立，将会有益于管理和科研双方。
- 要想推行这个想法，我们就要象经济学家曾经做过的那样，保证这个网络远不只是令科研受益。我们需要让公众了解这些数据，每年进行更新，就象他们所习惯得到的经济数据一样。
- 尽管经济数据有漏洞，但经济学家已达成共识：在现有的基础上不断改进。
- 经济学家能够把经济学用平实、易懂的语言表达出来，生态学家也应这样做。

数据和信息：

- 长期数据库是关键。做到这一点主要靠政府和研究机构的长期资源与稳定性。
- 要明白我们需要多尺度的数据，而不仅仅是大尺度数据。
- 预测性模型非常重要。在与公众进行宣传、交流时，要能说出我们可以指望什么、不可以指望什么。
- 要有概念性模型来指导这些数据的使用，不仅要知道哪些数据有用，而且要知道哪些是想要的结果。
- 在全球范围内制定并协调生态标准、发展高科技，培训使用这些技术的专业人员。我们需要更多的培训。

国际问题：

- 在发展中国家，决策人往往不易得到有关的生态数据信息
- 我们需要在发展中国家建立生态学家的联络网，为数据和复合数据的流通积极创造条件。
- 应用科学与基础科学的区分是美国特有的产物，对其它许多国家的科学家来说是个挺奇怪的概念。
- 要想让美国生态学会全球化，尤其是在地球上那些生物多样性及其所受威胁最高、而对付那些威胁的能力又最低的地区，我们应同时采取一系列低科技的解决办法和高科技的尝试。
- 要让私营企业在做规划时就更加重视环境问题，这是件非常不容易的事。企业在全球范围内对当地的基础设施进行投资，但对于环境保护却重视不够。

- 在许多国家，对环境问题的认识不能对外，而且是个政治问题。我们需要更加理解当地人对环境问题有什么不同的理解。
- 在发展中国家，人们往往只在提高生活品质的时候才想起生态学。城市生态学在许多发展中国家越来越重要。
- 对于许多想法，我们需要和来自或工作在国际社会的同事共同审查、思考。

讨论框架：

- 我们需要提出能让公众特别感兴趣的，既重要又简单的问题。大规模基建项目的成功都是因为能够提出清晰、简单的问题，并宣称该项目可以回答这一问题而得到支持的。
- 安全保卫是大家都理解的一个概念。例如，我们需要理解集水区的生态特性，以便能防止恐怖分子的破坏。但我们也必须小心，提及安全保卫可能会让人联想到“发国难财”（ambulance chasing）。
- 生态构想应该不只是来自生态研究人员的看法。如果大家都能围绕“生态学给我们的提示”来看待这个问题，效果一定更好。
- 持续发展是囊括大概念的一个途径。它能把社会科学、经济学、生态学统一在一个框架下。
- 我们应该强调分类学、系统生物学和当代物种灭绝危机的根本重要性。
- 公众应该是生态构想的组成部分。生态构想不仅应该在学术上有趣味、鼓舞人心，也应该体现人类的价值观。
- 在总报告里，我们要提及“私有”和“公众”这些词汇。
- 私营企业也收集了很多与生态有关的信息。不过，这些研究往往不是为了更好地了解一个系统，而是为了申请有关的许可证或其它急用。这些信息常常是由顾问、咨询机构介绍到圈外。

研究和资金分配方向：

- 许多政府机关未来的资金分配将会改变。过去以分支学科为基础，以后将重点考虑大型、复合项目。机构内部通过竞争得到资金的方式也许会被取消，而与多学科合作、解决区域性问题的综合项目会占主导。
- 对跨学科项目给予物质奖励。
- 许多政府资助的研究基金没有活力，且走下坡路。
- 我们应该向国家健康基金（NIH）申请有关人类健康的生态学研究。

七月二日、十一日、十八日早餐会议的参与者名单：（略）

（方 炜　译）

附录四：互联网调查汇总

美国生态学会“二十一世纪生态远景委员会”就关于《生态科学与全球可持续发展战略远景项目》于 2003 年 6 月 3 日至 8 月 20 日在 Ecological Visions 网站上发起了“互联网调查”，借此了解生态学工作者和公众对本项目进展的了解和意见。这一调查在 2003 年 Savanna 美国生态学年会上已公布。

我们一共收到 280 份调查表，其中 85%来自美国生态学会会员。他们分别对生态学会的这个计划项目提出具体建议，这些人中有 67%为博士，21%为硕士。大部分参加调查的人来自于研究和学术机构（占 68%），16%来自政府部门，8%为非盈利组织，3%来自工业界。

我们的调查包括五个部分，每一个部分着重于一个战略目标，再加上第六部分的综合，分别汇总如下：

第一部分：二十一世纪的生态学研究：可望一个多学科的、高技术含量的和不同尺度（规模）的科学研究途径。

（1)关于目前美国生态学会对加强生态学研究和生态知识传播有哪些重大项目和支持哪些项目：人们了解较多的项目是，美国生态分析和综合中心，长期生态研究网站，以及目前的生态学远景计划。

（2)关于美国生态学会如何为今后几十年提高生态学工作者对生态学问题的研究能力和解决问题的能力：人们提供许多颇有创见性的建议，其中包括：加强对新技术、新方法的培训，帮助生态学研究人员与政府部门建立良好的合作关系，确立研究目标，以及促进各种途径的研究合作，促进以解决环境问题为目标的应用研究。

（3）关于创新和新技术运用的障碍：人们普遍认为，资金不足是影响生态学研究对新技术应用的主要因素，文化的差异也影响了大规模研究合作的开展。另外，还包括对生态学工作者进行数量分析新技术的培训不足等问题。当然，新技术代价高和实用性能低也是一个不利因素。人们还提出，许多研究缺乏坚实的理论基础，许多研究受到片面追求发表文章的沉重压力，以及许多研究基金会并不重视研究的创新，这些都是阻碍生态学研究创新的障碍。

调查资料表明，39%的人认为缺乏研究资金，30%的人认为缺乏培训是新技术应用的主要障碍。有 18%的人对新技术、新方法没有兴趣，7%的人认为不需要新技术，而 6%的人提出缺乏新技术的信息，不到 2%的人认为他们所需要的技术尚未发明。有的人提出对目前项目报告和论文审稿方式提出质疑，还有的认为大尺度及多学科的合作研究以及新技术的应用并不是生态学研究的唯一途径。

（4）关于新工具的应用：当我们问及哪一种研究工具目前对生态学研究帮助最大，许多人对这个问题都有保留。普遍认为遥感和地理信息系统、土地类型图、数据的图象显示、土壤湿度感应系统，还有纳米感应系统、鸟类颈环感应卫星数据采集系统以及浮游生物自动测量仪等等，对目前的生态学研究帮助最大。

第二部分：生态信息和资料：

（1）信息共享和资料综合分析：57%的生态学研究人员提倡信息共享及愿意共享资料综合分析的结果，36%的人已付诸于行动。28%的研究人员参与综合分析，并作为论文第一作者。57%的人认为，资料的所有权之争是资料共享的主要障碍，而资料的相融性带来资料共享的问题也不容忽视（51%），还有对资料共享所有权的认可（49%），资料建档（37%）和资料数字化存贮（18%）等问题都应该得到关注。另有 27%的人说从来没有人问及与他

们共享资料，而 2%的人则不愿资料共享。其他问题还包括共享资料的整理和培训时间、数据库的容量、资料建档的统一标准等等。

（2）资料存贮和建档：仅 35%的人对其资料进行数据库存贮和编辑，6%的人倾向有一个规格化的数据库，54%的人认为缺少时间，44%的人认为缺少资金。一般认为有两个技术障碍，一是缺乏合适的软件（41%），二是缺乏存贮空间（14%）。许多人明显不理解“metadata”（组合数据库）的含意，是指数据属性的系统归档，这也阻碍了资料的共享。63%的人习惯于将数据保留在实验室的笔记本，40%存在软盘上，79%放在硬盘上，49%建立了个人数据库，26%存储在公众不能共享的系统管理数据库内，仅有 18%可以共享。

（3）关于便于公众利用的数据库：仅有 11 个人回答是否愿意利用共享数据库的资料作生态学分析。结果是 6 人倾向于利用，但 5 个人无意利用这种数据库。有 162 人表达了他们对共享数据库的担忧，其中担心质量是否有问题（78%），担心文件是否健全（65%），担心调查和采样方法的兼融性是否有问题（52%），担心数据出处的“可靠性”（38%）等等。另外，资料采集的初衷、目的、手段不一样都会产生一定的隐患。

（4）关于美国生态学会对促进资料共享的作用：许多建议包括建立一个标准化、规格化的数据库，确定引用数据的标准、引用方法和注明作者的规则，并建议成立一个全国生态学数据共享库，及扩充生态学档案库等等。

第三部分：加速社会、文化、习俗的变革

（1）加强生态学科研究的合作：当问到如何加强生态学交叉学科的研究合作时，逾一半的人认为这种合作会影响个人的专业发展（45%），个人作用没有得到公正的承认也会影响这种合作（58%），还有语言不通（34%），不利于发表论文（32%），以及合作者之间的互动困难，都是影响合作的因素。仅有 1%的人认为，他们没有必要与别人合作。还有人归结为没有时间、没有研究经费，特别是缺乏支持合作研究的经费。有些研究所并不需要合作研究，难于寻找合适的合作伙伴，都是阻碍合作的因素。但是，许多人并不认为合作研究有困难。

（2）研究生培养：在 154 个被调查者中，54%的人指导研究生。在博士毕业生中：5 名研究机构的研究人员，8 名政府部门的科研人员，咨询、非营利组织、其他行业各 2 名，1 名工业界科研人员。在硕士毕业生中：3 名研究机构研究人员，4 名政府部门的科研人员，3 名咨询人员，1 名科普作家，3 名非营利组织工作人员，2 名在工业界，3 名其他行业。

（3）学术界对研究生培养及支持研究生寻求非学术专业工作的看法：有 60%的支持和鼓励研究生寻求非学术专业工作，26%极为支持，13%不支持。

（4）阻碍生态信息交流的原因：71%的人认为生态学工作人员与公众缺乏交流，以及公众混淆生态环境保护者与生态学家的区别，是阻碍生态信息交流的主要原因。还有，学术界与非学术界的生态学家之间也缺乏交流和互信（38%），生态学与其他学科之间的交流也是如此。另外，公众缺乏对科学以及对生态学的理解，科学家纯学术的形而上以及缺乏对公众的联系与教育，还有生态信息缺乏与社会现实问题的联系都是阻碍生态信息交流的原的重要因素。

（5）生态科学知识在决策过程中的指导作用：64%的人认为缺乏政治上的支持，并提出生态科学知识在决策过程中缺乏一贯的、有效的和与实际结合的指导，是得不到有力的政治支持的原因。55%的人认为是决策者对生态学缺乏理解，40%的人认为缺乏资金，36%的人认为缺乏时间，6%的人认为，主要原因是科学家不能结合实际并得出具体可行性指导方案，23%的人认为缺乏运用科学的研究。还有的认为，许多决策来得快，而且是短期行为，对生态学的指导意义认识不够。另外，生态学的研究与管理目标的不一致也是个问题。

（6）美国生态学会的新使命：许多要求生态学会扩充对公众的教育项目，对公众进行生态学教育，加强与政府机关和管理人员的交流，扩大《生态学议题》(Issues in Ecology）的发行，加强与非学术界的交流，对生态学家进行培训，创造机会让更多的生态学家面向公众和社会。

第四部分：国际交流与合作

（1）国外工作经历：美国生态学会及其成员应该加强国际间生态学研究合作，发挥那些有国际合作经验的生态学家的示范作用，鼓励参加国际会议以及参与国际学生的培养。为此，58%的人认为增加国际合作交流的资助非常重要，并且要提高生态学家的外语水平（47%），对国际生态学者放宽签证限制（39%），促进信息交流（38%），以及改善加强国际研究的组织机构（33%）。我们已经有许多国际合作的经验，比如蜻蜓协会（Dragonfly Association），鸟学家协会（Ornithologists Unions），全美生态综合分析中心（NCEAS）工作小组，Fulbright 项目等等。35%的人从来没有在美国以外的国家的工作经历，43%仅有为数不多的机会，而 40%的人经常在国外工作。关于国际合作，6%的人一直从事国际合作项目，20%常有国际合作项目，53%仅有一些合作项目，14%从没有国际合作项目。

（2）美国生态学会国际会员：当问国际会员为什么参加美国生态学会，他们认为是由于生态学会的声望和定购生态学杂志。

（3）关于美国生态学会的新使命和国际化：许多人认为国际上的一些非学术项目，特别是在热带，蕴藏着研究和国际交流巨大的潜力，人们对全球生态学以及海洋生态系统与许多全球化问题都颇有兴趣，积极寻求国际合作的机会。许多人还致力于美国生态学会与其他国际学会的合作，如国际生态学会、英国生态学会，还有加拿大和拉丁美洲等学会。但希望不要忘记重点还应该是美国。

（4）吸收美国生态学会国际会员：71%的人（其中 88%的人为美国公民）认为这并不重要，50%的人认为有一定的重要意义。比如能为国际会员提供会议经费（54%），增加生态学会的知名度（55%），协助组织生态学国际会议（32%），降低会员费（39%）和定购杂志的费用（39%）。还有的认为美国生态学会是美国的学会，不宜过多偏离学会性质。也有人认为应该为国外生态学家和教育机构提供免费或低价的生态学杂志，以及鼓励支持国际生态学会议。

第五部分：向公众传播生态学信息和以生态科学为依据来制定公共政策。

（1）面向公众的生态学普及：87%的人表示愿意义务参与公众教育活动。44%通过他们的研究为公众服务，43%通过媒体，18%作为专家见证，36%作为科普作家。另外，许多人还参与中小学的生态学教育，参与生态导游，参与生态社会活动与普及生态学知识。许

多人认为，对中小学教师的生态学教育是生态学会员最重要的普及教育活动，还有参与议员选举也非常重要。另外，教育中小学生、媒体、政府、社会、大学生、企业家及与政府组织的交流都非常重要。

（2）美国生态学会的新项目和新使命：普遍认为，生态学会的许多项目对公众理解生态学和应用生态学都将具有不可忽视的重要意义。有些项目是作为中小学教育基地，或作为社区教育的一部分，它可作为教育题材提高教师的教育水平。有些项目还与私有企业合作，并通过互联网提供更多的生态学信息，为生态学会会员提供与公众交流信息的机会和途径。

（3）其他新的项目：美国生态学会在不断创新项目的同时，也协助它的会员和其他专业学术组织，或民间组织开创新的生态学普及教育项目。如对中小学师生开放的生态信息库，与媒体交流介绍生态科学与环境保护主义的区别，以及与其他专业协会交流信息，并帮助决策者在充分了解自然资源的科学基础上进行决策。

第六部分：综合

（1）对五个远景目标的比较：在今后 20 年内生态学最重要的目标将是什么，对于这个问题，55%的人认为，提高公众对生态学的理解为首选，然后是生态学研究机构及生态文化的改变（23%），开发研究工具和加强研究能力（9%），开发生态学数据资料（2%），还有加强国际间的生态学研究的合作（6%）。

（2）建议：对环境科学的研究需要更多的研究资金，应给予研究机构更多的支持，提高生态学的威望和影响力。另外，为管理者和决策者提供生态学“决策依据”手册，增加对新研究项目的资助，并且开拓生态文化，使生态学家更开放，更具创新精神去解决生态学问题。

（3）对“生态学远景目标”及这次“调查”的反馈意见：大家非常支持“生态学远景目标”，为生态学会通过不同方式促进生态学研究感到鼓舞。但有些人认为，这一项目目前也许太过分集中于学术界，没有包括生态学应用工作者、大多自然科学学科工作者和学生。，还有，理论生态学和应用生态学的矛盾将不断激化，大尺度的生态学研究和相对局部的、群落的、或种群水平上的生态学研究之间的矛盾也会更加显而易见。

（伍业钢　译）

生态学未来之展望

美国生态学会

《生态学与环境科学前沿》

第三卷第一期

“生态可持续未来之展望”专辑

2005 年 2 月

走向可持续发展的生态学

特邀编者：Melillo, J.M., N.B. Grimm, and W.H. Schlesinger.
《Frontiers in Ecology and the Environment》.2005, Vol. 3(1):3

Jerry M. Melillo
(ESA 2004～2005 届主席)

Nancy B. Grimm
(ESA 2005～2006 届主席)

William H. Schlesinger
(ESA 2003～2004 届主席)

生态学是可持续发展的理论基础。从生态学到可持续发展的进步是人类社会减少饥饿和贫困的成功之路，也是保护人类赖以生存的地球生命支持系统和生物圈的必由之路。近十几年来，美国生态学会(ESA)一直为促进可持续发展的实现而努力不懈。ESA 于 1991 年启动了“可持续生物圈创新计划”(Sustainable Biosphere Initiative, SBI)，迄今硕果累累。SBI 激发了新的生态学研究，并丰富了直接为社会服务的生态学知识。此外，该计划还促进了将这些知识传播到国家领导阶层，以帮助他们在维持经济繁荣的同时，针对保护和改善环境的复杂挑战而做出明智的决断。

尽管已有十几年的努力，我们推动可持续生物圈的工作方兴未艾，任重道远。变化中的世界对生物圈的压力与日俱增，这势必使探究其可持续发展的任务难上加难。自“可持续生物圈创新计划”启动以来，世界人口已超越 60 亿。全球各地，人们纷纷弃耕从商，涌入城市；而这些人类设计的环境，若考虑欠周，往往严重地降低了生态系统的基本服务功能（如净化空气和水体以及防止水土流失等）。无论是通过人们有意还是无意的引入，外来物种对生态系统的基本服务功能已经造成损害。区域性空气和水体污染已成为多数发展中国家经济发展的沉重负担。这些污染非但降低增长中的世界人口所亟需的粮食和纤维的产量，还危及人类健康。矿物燃料用量日增，森林砍伐规模无减，温室气体不断积累，乃致全球气候变化。海洋捕捞过度，造成世界海洋资源枯竭。诸如此类的例子，比比皆是，不胜枚举。

世界向可持续发展过渡所面临的威胁愈来愈多，因此，ESA 将可持续发展这一关键论题以及生态科学未来发展再次提到议事日程。2002 年，美国生态学会理事会成立了一个远景委员会（Visions Committee），负责起草为推进新世纪主要环境问题研究进展的行动计划。两年来，远景委员会广泛征求会员意见，并与美国生态学会以外的许多组织和个人集思广益，最终形成了以核心观点：“生态学知识可以且必须在创建一个人类种群与可持续生态系统和谐相处的世界中起到核心作用”。其行动计划有三个重点：（1）提高公众环境意识；（2）

促进创新性和预测性的生态学研究；（3）诱导一种文化氛围，以发展具有前瞻性和国际性的生态学。远景委员会针对这三个重点提出了 26 项具体行动方案。其中一些方案只需少量的时间和资金，而另外的方案则需要投入大量的资源方能实施。作为后者的一个例子，提高公众对生态可持续性的认识需要大规模的信息传播和环境教育。美国生态学会理事会正在将这些行动方案按照轻重缓急，迅速付诸实施。

在此，我们代表美国生态学会向圆满完成任务的远景委员会表示感谢。这期“*前沿*”(*Frontiers*)专集以远景委员会有关行动方案的综述开页，并通过各领域的专题文章探讨通向可持续发展的一系列重要生态学问题。

（邬建国　译）

二十一世纪的生态学与可持续发展

Magaret A Palmer[1], Emily S Bernhardt[2], Elizabeth A Chornesky3, Scott L Collins[4], Andrew P Dobson[5], Clifford S Duke[6], Barry D Gold[7], Robert B Jacobson[8], Sharon E Kingsland[9], Rhonda H Kranz[6], Michael J Mappin[10], M Luisa Martinez[11], Fiorenza Micheli[12], Jennifer L Morse[1], Michael L Pace[13], Mercedes Pascual[14], Stephen SPalumbi[12], OJ Reichman[15], Alan R Townsend[16], and Monica G Turner1[7]

《Frontiers in Ecology and the Environment》.2005, Vol. 3(1):4-11.

生态学研究已为了解自然和人类对自然的影响作出了巨大的贡献。今后的研究重点应该放在可持续发展上。生态系统管理和高强度的资源开发是未来的发展趋势。生态学家肩负着在生态学研究、环境政策和决策之间进行沟通的重大使命。为了完成这个使命，生态学家必须在不同范围以不同形式与其它学科合作。这些合作必须在三个创新领域进行：强化环境决策的生态内涵；把创新的生态学研究方向定位在可持续发展上；鼓励生态学研究的文化交流，建立一个具有前瞻性的国际生态学。我们建议：（1）制定一个加快研究项目开发，便于开展大规模试验、数据收集以及把研究与解决方案结合起来的开拓性方案。（2）建立一个可以加强科学家，管理者和决策人员之间交流的渠道。（3）增加公众对生态系统服务和人类关系的了解。

2002 年，美国生态学会（ESA）成立了一个生态学远景委员会，旨在制定一个加强生态学研究力度和提高生态学影响力的行动方案。经过多方努力，这个委员会于 2004 年 4 月向 ESA 理事会提交了一份报告（www.esa.org/ecovisions），报告归纳了为保证在制定可持续发展的全球环境决策时生态学能够得到充分考虑，生态学家和其他相关人员在知识开发、科学发现和信息交流上必须采取的行动。本文是该报告所推荐的行动计划的简要总结。

在上世纪的大部分时间里，生态学家对自然的认识大都来自于对地球上很少受到人类干扰的那些生态系统的研究。这些研究为充分了解复杂的生态关系积累了丰富的知识，并且为研究人类对生态系统的影响做好了准备。最近的生态学研究倾向于把人类视为生态系统许多组成部分之一，人类不仅是生态系统服务的利用者，而且还是生态系统变化的动因。同时，人类反过来也受生态系统这种变化的影响(Povilitis 2001; Turner *et al*. 2003)。这个看法是有道理的，因为所有的生物都能够改变它们的环境。但人类改造他们周围环境的尺度肯定与其它生物不同。而且，当人类预感到明天会发生变化时，他们有能力去调整他们的行为。

核心内容

- 生态学能够，而且必须在确保一个人与环境共存的地球可持续发展的过程中起更大的作用。
- 实施一个开拓性、前瞻性的生态学行动计划，获取必要的知识来保护、恢复和设计世界生态系统。
- 生态学家必须行动起来，让生态学在环境决策中发挥应有的作用。开展具有创新性和预测性的可持续发展生态学研究，鼓励文化交流，建立一个具前瞻性的国际生态学。

为此，在生态学范畴里，我们的思维将从强调人类是自然界的入侵者转变为强调人类是自然界的一部分(Botkin 1990; Blondel 和 Vigne 1993; McDonnell 和 Pickett 1993; Redman 1999)。然而，我们的目光必须看得更远，必须把研究的重点放在人类如何在一个

可持续发展的自然界生存这个重大的问题上。我们不否认人类已经给地球造成了破坏性的影响。事实上，这些影响已经反应在我们呼吸的空气里，我们饮用的水资源中和我们赖以获取食物和居住的陆地上(Vitousek *et al*. 1997; Smith 2003)。面对自然资源过度开发和人口急剧膨胀这个严峻的事实，生态学家必须尽最大努力为我们这个拥挤的地球做好科学工作(Palmer *et al*. 2004a)。根据目前的预测，本世纪末地球人口将达到 80－110 亿(Lutz *et al*. 2001; Cohen 2003)。推进可持续发展生态学研究已刻不容缓。

什么是拥挤地球生态学？我们认为，拥挤地球生态学是一门所有的研究人员都积极地与公众和政策制定者打交道的科学，是一门发现学和预测学。这门科学能够有效地把生态学信息传递给政策制定部门，力图创建一个可持续发展的世界，一个人类需求得到满足、并且仍然能够维持地球生命的体系（NRC 1999）。建立这样一门学科需要一个大胆而积极主动的战略计划。这个战略计划必须建立在如下 4 个信条上：第一，我们未来的环境是由人类为主体，由人类有意或无意管理的生态系统所组成。第二，一个可持续发展的未来将由原始性，恢复性和创建性的生态系统所组成（图 1；Palmer *et al*. 2004a）。第三，生态学必须是将来制定可持续发展决策过程中的一个重要组成部分。第四，为了更好地开展生态学研究和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乃至全球范围内结成前所未有的合作关系。

保障一个可持续发展的未来和开展相应的科学研究是生态学界的共识 (Turner *et al*. 1990; Lubchenco 1998; Levin 1999; Clark *et al*. 2001; Clark 和 Dickson 2003)，也是 ESA 十多年来一个为之奋斗的明确的目标(Lubchenco *et al*. 1991)。尽管如此，对于如何才能够实现可持续发展，我们目前还没有一个明确的指导计划 (Kates *et al*. 2001; Cash *et al*. 2003)。因此，全球生态学同仁必须更加积极地负起与公众和政策制定者合作这一独特的责任，同时把研究重点转移到在人口增长的同时如何维持自然服务上来。

图 1：生态设计的一个范例：为大城市提供饮用水的荷兰沿海沙丘里的人工湖。

因此，我们强调**生态**可持续发展的必要性，倡导运用生态学知识来推进可持续发展，以达到在维持全球生态系统正常运转的同时，满足人类日益增长的需求（图 2）。尽管仅仅依靠科学还不可能解决下一世纪人类面临的问题，但是，生态学家所获得的知识和开辟的合作途径可以为创造一个更加可持续发展的未来作出重要的贡献。

■ 加强区域性和全球性合作

生态学从来就是一门综合性学科。然而，生态学家与其它学科的科学工作人员，非科学工作人员的合作以至国际合作仍然大有可为。这些合作不但能够促进科学发展，还能够影响政策的制定和公众的态度。由于美国政治和财富的国际影响，及其向全球排放和扩散的大量的污染物，美国政府和美国生态学家对结成这种合作伙伴关系负有特别的责任（UNEP 1999）。

国际地圈－生物圈计划（International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP）是较早开展的国际合作项目之一。该计划组织不同学科和不同国家的科学家，通过全球性协作，共同研究全球环境问题。几个目前的国际合作项目也在仿效类似模式。另一个国际合作项目是千年生态系统评估项目（Millennium Ecosystem Assessment，MA），这个项目 2001 年由联合国秘书长安南提出，目的是为政策制定部门和公众提供生态系统变化的科学信息（MA 2003）。另一个例子是恢复联盟（Resilience Alliance，2004），这是一个为管理社会－生态系统寻找理论依据和解决方法的研究项目。

图 2：学生和社区负责人在马里兰州的肯斯顿一个雨园（Rain Garden）种植树苗。这些雨园对进入土壤的雨水进行过滤，从而降低排入集雨区和河溪径流所含的养分和污染物。

生态学家，企业界，政府机构和民间团体迫切需要在区域和国际层面上进一步合作。产业活动对环境影响很大。但是，如果企业管理阶层拥有足够的生态学知识，产业活动也可以帮助维持生态系统，例如对废物进行处理或使用对环境影响较小的化学物质（Loucks *et al*. 1999）。环境经济理事会（Council for Environmentally Responsible Economies, CERS）最近发表了一份报告，报告分析了世界上 20 个最大的温室气体排放企业对气候和经济的影响（Cogan 2003）。此外，报告还列出一份如何降低企业对大气污染的行动清单。清单上列出的除污项目都是各个企业力所能及的。生态学家可以直接参与企业的环境治理或接受企业感兴趣的研究项目，在环境保护和生态恢复过程中扮演一个积极的角色。

与政府机构的合作同等重要。负责自然资源和环境管理的政府机构需要科学资料和科研资源（研究人员、实验设备和测量仪器等）来开展新的项目。例如，为实施濒危物种法案，有关机构需要生态学家提供专门的生态学资料和了解目前存在的差距（Levy 2003）。

象全欧生物和陆地景观多样化计划这样的跨国项目代表了一种政府和非政府机构之间创新的合作关系。这种合作关系依靠科学、政策和经济来保护生物多样性。在不久的将来必定会有更多的科学家和科研机构参与这些政府项目。

生态学家应该设身处地的为企业家着想，将自己置身于一个变化迅速和压力重重的市场里，考虑如何促进战略性的合作和迅速反应，这是科学参与环境决策成功的关键。我们的策略是多样、灵活和广泛包容。我们必须积极寻找新的合作伙伴，改变我们本身的文化习俗，从而有利于实行创新。实际上，生态学家就象一个面临着巨大挑战的企业，如果成功了，回报将无可估量。与其它成功的企业一样，我们必须勇于改革、迅速组合、与时俱进。

■ 行动计划

为了解决人口膨胀所带来的一系列环境问题，我们必须紧密合作，加速发展一门创新的生态学。为此，我们确定了三个优先领域的行动计划。执行这些计划必须依靠新的思维方式、新的合作关系和新的技术方法。这些计划的完成，可使我们对保护性，恢复性和创新性的生态系统有更进一步的认识。对生态学认识的深化和与其它学科交流的加强可使我们在可持续发展的决策过程中起到关键的作用。

1. 为科学决策提供生态学信息

目前，生态学家和生态学在许多决策过程中起到的作用十分有限。生态学知识对公众日常生活的影响也十分微弱。同时，对政府机构在自然资源、生态恢复、技术开发和环境风险管理等方面所采取的行动，公众也极少运用生态学知识进行监督。越来越多的事实表明，当科学家，政策制定者和公众进行对话时，往往能够作出比较好的决策。没有生态学家参与制定的决策是令人担忧的。

优先行动 1。扩大生态学对全球可持续发展决策的影响

创建一个国际生态学执行中心网，用以加强研究、管理和政策制定人员间的合作关系，积极开发新的生态信息，并且把信息传递给相关学科和使用人员。这些中心将与来自不同领域的科学家和管理人员一起通过研讨会、特别项目、互联网和出版物等方式探讨解决区域性和全球性的政策和管理问题的方法。

在世界主要政治中心（华盛顿，伦敦，莫斯科和北京等）设立正式的迅速反应队伍，对可能会对生态可持续发展有重大影响的法律、行政和其它政府提案进行评估，为未决的立法项目和法规提供咨询服务和作证。

增加各国政府机构中生态学工作人员的数量。这些人员的职责是负责或参与可持续发展环境政策的制定。

为了让更多的人了解全球生态可持续发展对他们及其下一代人生活的影响，我们必须通过互联网、电视、广播和报章杂志进行大规模的宣传，使生态学深入人心。

在幼稚园，小学，中学和大学里设立由国际协调的生态学课程、讲授生态可持续发展的现代概念和进展、改善教学质量和提高学习效果。重点必须放在生态学教育工作者的职业培训上，做到师资队伍多样化，加强教育研究。同时，与公众、非赢利组织、宗教团体合作，更好地把生态学融入他们的科学普及和公共教育工作之中。

五年多前，Bazzaz 和其他几位著名的生态学家（1998）号召所有的科学家积极参与解

决人类的困境。传统的观点认为，一个优秀科学家只做两件事：（1）从事一流的科学研究；（2）发表研究成果。然而，Bazzaz 等认为，所有的科学家都必须从事第三种活动：向公众，尤其是纳税人宣传生态学的重要性。生态学家在普及生态学知识时一方面要积极主动，另一方面还要听取公众意见和回答公众所提出的问题。生态学不总是回答的了用户提出的所有问题，因为对用户的需求我们并不完全了解，或者是由于有些问题还没有引起科学界足够的重视。结果，生态学并不是时时处处有用武之地（Cash *et al*. 2003）。因而即使有时生态学家能够为解决某一问题做些基本工作，也会被拒之门外。

这种状况可以改善，但是需要在国内和国际上寻找新的研究方向和生态信息交流途径。单纯的科学研究已经远远不能满足时代的要求。我们必须把生态学知识传递给政策制定者和公众，必须把科学研究转化为行动（Cash *et al*. 2003）。要做到这一点，仅仅依靠有效的信息交流是不够的。我们需要一个包括广泛宣传在内的行动计划，以增加公众对可持续发展的了解，使公众懂得可持续发展怎样影响他们现在和未来的生活质量。此外，我们必须设立一项长期的大规模公共教育计划，以使生态学能够产生深远的影响。为了使我们的后代在制定决策时拥有足够的生态学知识、正确的态度和技能，生态学教育显得尤其重要。生态学教育工作者对生态可持续性必须有深刻的认识。我们建议把生态可持续发展作为各国、各个州或省规定的教学规范、课程或教学计划（Berkowitz 1997；Slingsby 和 Barker 1998）。

2. 推进创新性和预测性的生态学研究

开发和传播新的生态学知识对制定生物圈可持续发展方案具有重大意义。现代生态学研究范围很广，从生态系统中生命和无生命组份的分子生物学分析到全球的宏观研究等（Thompson *et al*. 2001）。尽管如此，生态学对自然的认识仍然落后于地球变化的幅度和速度(Vitousek 1994; Lubchenco 1998; NRC 2001)。只有迅速把预测、创新、分析和跨学科的研究框架建立起来，我们才能够把影响生态功能的复杂关系（包括人类对生态过程的影响和反馈）了解清楚。

建立这种框架需要相关的基础设备、产品和服务等配套设施。这样才能够大大提高设计和开展新的研究项目、多层性数据分析和向公众解释复杂生态信息的能力。各种人力、物力和财力资源应该用在开发新的研究方法、改善环境传感技术、试验设计、定量分析和监测，跨学科研究和信息管理及其推广上来（图 3）。

优先行动 2。生态可持续发展的创新性和预测性研究重点

为了实现可持续发展生态学研究的四大目标，我们必须全力以赴，把握每一个机会。我们必须在 2 个创新项目，1 个现有研究中心（国家生态分析和综合中心，NCEAS）和 1 个新的研究中心之间紧密协调（图 4）。目的是促进研究项目的开发（综合研究项目），大型试验和数据收集（基础设施网），数据综合（NCEAS）和科学研究与解决方案的结合（生态执行中心）。

对突破性的研究成果，新仪器和新技术的发明给予奖励。奖励制度能够催化性地推动生态学研究的发展。

举行一年一度的生态学挑战竞赛。挑战内容包括可持续发展，生态恢复，或生态学研究方法等。这些挑战可能导致新技术，新分析方法，新模型和新试验设计的诞生。

为了达到这个目标，我们建议制定一个推进生态可持续发展性研究的计划（框注 2）。这个计划涉及新的研究项目、新的研究中心和一个现有的研究中心间的周密协调：（1)引进最新和最好的综合性生态学研究技术和仪器设备；（2）成立一个全国性的生态观察网（例如，国家生态观测网，NEON，高校水利发展基金会 CUAHSI）和国际性的区域生态观测网。国家生态观测

网和国际生态观测网可以为解决关键的生态学问题提供必要的研究基础设施；（3）扩大与美国科学基金会所属的国家生态分析和综合中心（NCEAS）的合作，推进生态信息学；（4）创建一个国际生态对策执行中心网络，以将生态学的整合知识融入政策和管理种去。以上计划的 4 个组成部分应该有国际性的研究范围和共同参与。这种研究项目导向和中心的结合将为研究人员提出的问题和理论的应用研究提供机会和服务（图 4）。

图 3：生态学家开始使用遥控技术收集环境信息。图为一种由 NASA/JPL 研制的遥感平台正在 Sevilleta 长期生态研究站监测一种灌木群落的微气候。一个遥感平台装有 6 个环境传感器（光照，气温，空气湿度，土壤温度，两种深度的土壤湿度）,并且可以通过无线通讯把遥感数据传送给附近的遥感平台。母平台收到子平台的信息后再转送到一个手提电脑，然后直接把信息贴到网上(http://sev.lternet.edu/research/SWEETS/index.html)。

此外，我们还必须采取其它措施来推动生态学研究（框注 2）。鼓励和奖励研究创新是科学发展的巨大动力，生态学也不例外。为了鼓励生态学家在研究中发挥他们的创造力，我们必须建立奖励制度和采取新的刺激手段，特别是应该奖励那些对可持续发展研究作出重要贡献的生态学家。

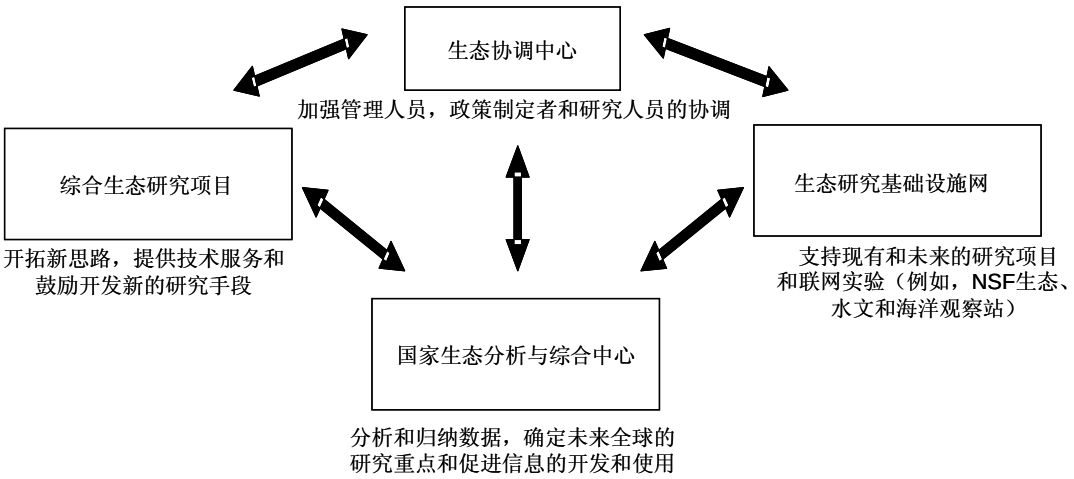


图 4：发展生态可持续性的 4 个组成部分。一个研究项目可以从所有的组分得益，或根据需要，可以从任何组分进入和离开。这个结构为满足各种研究和实施的需要创造了一个高度灵活的资源库（基础设施、产品和服务）（见 Palmer *et al*. 2004b）。

最后，为了推进具有预测性和创新性的可持续发展研究，我们必须提高数据标准化、综合、归档和共享的能力。生态学分析和管理决策常常需要各种数据。遗憾的是，大部分环境信息储存分散，很难整合。而且，将数据集中整理、模型化、便于综合分析和全球检索的工具很少。但是，一场促进知识表达的信息技术革命已经开始（Atkins 2003）。这场信息技术革命对生态学来说也是必不可少的。通过改善数据输入和提取、改进分析手段、大型数据标准化和环境数据自由使用，我们有可能进行更复杂的生态学数据的分析和综合。空间科学、电子通讯和财经市场等领域已经从信息管理的迅猛发展中获益匪浅。生态学必须迈出同样的步伐。

优先行动 3。促进文化交流，建立一个具有前瞻性的国际生态学

为了促进全球生态信息的共享，建议成立一个生态学会的全球联合会，加强合作和建立从国际一流的非英语生态学刊物翻译重要文献或从英语类的译成其它文字的正规机制。

制定一个全球生态学的国际议程。举行跨学科和专题国际会议，讨论诸如生物多样性公约和气候变化的政府间组织（IPCC）所需要的生态学知识。这些会议的内容应该侧重于可持续发展科学。

建立一个国际青年生态学家研究的学术团体。设立类似于罗兹（Rhodes）和盖茨（Gates）学者的国际生态学者计划，派遣研究生和博士后到其它实验室从事科学研究和参加学术会议。我们特别建议举行一年一度的研究生国际会议，与会者应包括来自发达和发展中国家的研究生，其中至少一半不是美国公民。

设立一个提高合作水平的培训计划。让拥有丰富合作经验的生态学家和社会学家共同制定培训计划和进行培训。培训内容主要是关于成功合作的艺术（诸如成功合作入门等）。

鼓励享有国际声誉的生态学刊物和国际会议积极进行改革，把重点转移到区域性和全球性的跨学科研究和应用科学上来。

由科学家、管理者和企业界主要负责人一起重新评价对杰出研究成果的奖励办法。而且，建议由国家或皇家科学院研制一个加速现有奖励制度改革的计划。

通过与其它国家的姐妹学会建立合作伙伴关系和聘用少数民族出身的研究人员，促进种族和性别的多样化和公平性。

3. 推进文化转型，创建前瞻性、国际性的生态学

生态学研究已经把重点转移到多学科合作和综合分析上来（NSF 2003）。但是，生态学家必须提高自己传递信息的能力，以帮助社会了解和解决环境问题。我们只有通过变革才能够做到这一点。生态学家将来必须另辟新路，强化奖励制度，与其它学科和新的合作伙伴进行广泛交流。我们必须认识到，生态学研究人员，管理人员和民众都是同等的合作伙伴。对科研人员我们必须建立一个统一的评价标准。只有明了合作成功的原因，建立一个多样化的研究团队和使生态学研究国际化，生态学才能够脱胎换骨，更上一层楼（框注 3）。

我们必须把拥有不同特长的人组织起来，共同解决各种环境问题。组建团队要迅速，

并且要包括从来没有与我们合作过的人。这些团队必须能够在短时间内解决问题，至少能够提出几个解决方案。许多人都意识到合作对生态学来说是非常重要的。但是，很少人知道跨学科的合作从何而来，如何开始，何时和为何能够（或不能够）成功（Rhoten 2003）。事实上，社会学家已经指出，生态学不管在技术基础上，还是在社会环境上都没有为合作做好准备（Olson 和 Olson 2000）。就科学发展而言，合作和训练手段与技术基础同等重要。我们必须弄清楚成功的合作依靠的是什么，不断地对现有的生态学研究人员进行培训，同时为青年生态学家创造条件，让更多训练有素的新人走进生态学研究大门。

生态学研究的合作必须超越国界。毕竟，环境与可持续发展问题是国际性和跨学科的问题。实际上，生态学国际化已经开始了。16%的 ESA 会员居住在境外，代表 80 多个国家（ESA 2003）。但是，我们必须在研究，管理和企业界之间进行国际合作。例如，成立于 1989 年的欧洲海岸保护联合会（Europe Union for Coastal Conservation, EUCC），会员来自 40 个国家，是欧洲最大的海岸管理者和专家网。EUCC 的宗旨是把科学家、环境和海岸管理、计划和政策制定人员调动起来，共同保护欧洲海岸。近年来，EUCC 还把生物多样性保护列入海岸发展计划之中。

生态学必须经得起可持续发展的挑战。这些挑战表现在气候变化、物种入侵、渔业资源枯竭和水土流失等（NRC 1999）。但是，大部分生态学研究在时间和空间尺度上仍然受到很大限制，许多专业学会和学术机构的研究方向仍然非常狭窄，从而妨碍了区域性和全球性科学问题的解决。我们必须积极主动地和环境学家合作交流。为了加强信息交流和开展生态可持续发展领域的国际研究，我们必须制定一个跨国议程。这个议程必须保证生态学信息的使用不受语言、基础设施和专业水平的限制。

结论：开创生态学研究的新纪元

生态学家长期从事对原始系统的研究工作。研究重点的转移意味着我们把基础和应用研究的优先领域放在可持续发展的生态系统和人类的关系上，也意味着生态学家必须承担更大的责任。在预测未来研究需求和运用生态学知识解决环境问题时，与公众、企业家、政策制定者和资源管理人员有效的交流是非常重要的。由于全球人口的迅速增长、自然资源减少和环境污染，作为生态学家的我们必须立即行动起来。未来的发展要求生态学家不仅仅是一流的研究人员，而且必须在决策制定过程中发挥重要作用。我们再也不能够指望由那些对生态学一窍不通的人来开发生态学解决问题的集体智慧。

■ 致谢

本文根据 ESA 生态学远景委员会（www.esa.org/ecovisions）成员的研究结果写成。我们感谢 P. Matson 对本项目的鼓励；感谢 ESA 理事会和总部的支持。资助来源于 Andrew W. Mellon 基金会、David 和 Lucile Packard 基金会、美国环境保护署、美国自然科学基金会、国家海洋与大气局、美国地质调查和美国农业部。很多 ESA 会员通过我们的在线调查和在乔治亚州萨万那市举行的 2003 年年会时提出了大量很有参考价值的意见。一些民间学术团体，联邦政府机构和企业界人士也提出了许多重要建议。最后，F. Powledge 在写作上提供许多帮助。在此一并表示衷心谢意。

（古滨河　译）

■ 参考文献

Atkins DE, Droege KK, Feldman SI, *et al*. 2003. Revolutionizing science and engineering through cyberinfrastructure. Report of the National Science Foundation blue ribbon advisory panel on cyberinfrastructure. www.cise.nsf.gov/sci/reports/.

Bazzaz F, Ceballos G, Davis M, *et al*. 1998. Ecological science and the human predicament. *Science* **282**: 879.

Berkowitz AR, Nilon CH, and Hollweg KS (Eds.) 2003. Understanding urban ecosystems: a new frontier for science and education. 8th Cary Conference (1999): Institute of Ecosystem Studies. New York, NY.. Springer-Verlag.

Blondel J and Vigne JD. 1993. Space time and man as determinants of diversity of birds and mammals in the Mediterranean region. In: Ricklefs RE and Schulter D (Eds). Species diversity in ecological communities. Chicago, IL: Chicago University Press.

Botkin DB. 1990. Discordant harmonies: a new ecology for the twenty-first century. New York, NY: Oxford University Press.

Cash DW, Clark WC, Alcock F, *et al*. 2003. Knowledge systems for sustainable development. Science and Technology for Sustainable Development Special Feature. *P Natl Acad Sci USA* **100**: 8086–91.

Clark WC and Dickson NM. 2003. Sustainability science: the emerging research program. *P Natl Acad Sci USA* **100**: 8059–61.

Clark JS, Carpenter SR, Barber M, *et al*. 2001. Ecological forecasts: an emerging imperative. *Science* **293**: 657–60.

Cogan DG. 2003. Corporate governance and climate change: making the connection. A CERES Sustainable Governance Project Report, prepared by the Investor Responsibility Research Center (IRRC).

Washington, DC: IRRC, and Boston, MA: CERES.

Cohen J. 2003. Human population: the next half-century. *Science* **302**: 1172–75.

Ecological Society of America. 2003. Annual Report. Ecological Society of America.

Kates RW, Clark WC, Corell R, *et al*. 2001. Sustainability science. *Science* **292**: 641–42.

Levin S. 1999. Fragile dominion: complexity and the commons. Reading, MA: Perseus Books.

Levy S. 2003. Turbulence in the Klamath River basin. *Bioscience* **53**: 315–20.

Loucks OL and Gorman RF. 2004. Regional ecosystem services and the rating of investment opportunities. *Front Ecol Environ* **2**: 207–16.

Loucks OL, Erekson OH, Bol JW, *et al*. 1999. Sustainability perspectives for resources and business. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Lubchenco J. 1998. Entering the century of the environment: a new social contract for science. *Science* **279**: 491–97.

Lubchenco J, Olson AM, Brubaker LB, *et al*. 1991. The Sustainable Biosphere Initiative: an ecological research agenda: a report from the Ecological Society of America. *Ecology* **72**: 371–412.

Lutz W, Sanderson W, and Scherbov S. 2001. The end of population growth. *Nature* **412**: 543–45.

McDonnell MA and Pickett STA (Eds.) 1993. Humans as components of ecosystems: the ecology of subtle human effects and populated areas. New York, NY: Springer-Verlag.

Millennium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and human well-being. Washington, DC: Island Press. www.millenniumassessment.org/en/index.aspx.

National Research Council Board on Sustainable Development. 1999. Our common journey, a transition toward sustainability.Washington, DC: National Academy Press. MA Palmer *et al.* Ecology for the 21st century.

National Research Council. 2001. Grand challenges in environmental sciences. Washington, DC: National Academy Press.

National Science Foundation. 2003. Complex environmental systems: synthesis for earth, life and society in the 21st century. National Science Foundation AC-ERE.

Olson GM and Olson JS. 2000. Distance matters. Special issue: new agendas for human-computer interaction. *Human-Computer Interaction* **15**: 139–78.

Palmer MA, Bernhardt E, Chornesky E, *et al*. 2004a. Ecology for a crowded planet. *Science* **304**: 1251–52.

Palmer MA, Bernhardt E, Chornesky E, *et al*. 2004b. Ecological science and sustainability for a crowded planet: 21st century vision and action plan for the Ecological Society of America. www.esa.org/ecovisions.

Parson W. 2001. Practical perspective: scientists and politicians: the need to communicate. *Public Underst Sci* **10**: 303–14.

Povilitis T. 2001. Toward a robust natural imperative for conservation.*Conserv Biol* **15**: 533–35.

Redman CL. 1999. Human impact on ancient environments. Tucson, AZ: University of Arizona Press.

Resilience Alliance. 2004. www.resalliance.org/ev_en.php.

Rhoten D. 2003. A multi-method analysis of the social and technical conditions for interdisciplinary collaboration. Final Report, National Science Foundation BCS-0129573.

Slingsby D and Barker S. 1998. From nature table to niche: curriculum progression in ecological concepts. *Int Sci Educ* **20**: 479–86.

Smith HJ. 2003. The shape we're in. *Science* **302**: 1681.

Thompson JN, Reichman OJ, Morin PJ, *et al*. 2001. Frontiers of ecology. *BioScience* **51**: 15–24.

Turner BL II, Clark W, Kates R, *et al*. (Eds.) 1990. The Earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the past 300 years. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Turner BL, Matson PA, McCarthy JJ, *et al*. 2003. Illustrating the coupled human-environmental system for vulnerability analysis: three case studies. *P Natl Acad Sci USA* **100**: 8080–85.

UNEP. 1999. United Nations Environmental Program Global Environmental Outlook. GEO-2000. www.unep.org/geo2000/.

Vitousek PM. 1994. Ecology and global change. *Ecology* **75**: 1861–76.

Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, *et al*. 1997. Human domination of earth's ecosystems. *Science* **277**: 494–99.

Worcester R. 2002. Public understanding of science. *Biologist* **49**: 143.

物种入侵的对策、管理及未来研究需要

Daniel Simberloff[1], Ingrid M Parker[2], and Phyllis N Windle[3]
《Frontiers in Ecology and the Environment》.2005, Vol. 3:12-20

摘要：物种入侵反映了一种加速的全球变化。当前对入侵物种的管理所做的努力虽然在一些特殊情况下有效，但却未能控制住普遍存在的问题。在美国，这一失败原因由不配套的政策、不完善的研究、不足的管理经费和缺乏科学知识所造成的。为此目前迫切需要比较政策分析。美国存在的主要问题是缺乏一整套针对入侵物种问题的总体政策，而不仅是针对某一个入侵物种。应该严密控制有意识地引进物种，风险评估必须要更具有预测性。监测和确认新的生物入侵（有意识或无意引进的）在技术上是可行的，但却没有得到充分的财政资助和各方面的协调。虽然管理入侵物种的技术经常获得成功，但其进一步的发展却往往因不连续的资助所阻碍。所有这些问题能够通过更为基础性的研究得到改善。这些基础性的研究既包括基本入侵物种的自然生活历史和开发控制技术，也包括运用更为复杂的生态模拟和遥感技术。

人类引进越来越多的物种到新的地区，人类的这种活动在全球范围内造成了巨大的影响，广泛的生态和经济影响（Mack *et al.*，2000）。这些影响可归纳为：入侵物种吃掉本地物种，改变本地物种的栖息地，与它们竞争、杂交, 并且传染它们。一些入侵物种可以完全地改变整个生态系统，导致橡树突然的死亡的病原体（*Phytophthora ramorum*），在加利福尼亚杀死了成千上万株树(图 1)，还传染许多不同的宿主，包括橡树，*tanoaks*，花旗松，红杉树（Rizzo and Garbelotto 2003）。

核心内容

- 入侵物种产生巨大的经济和环境费用
- 防止、迅速发现并根除入侵物种，管理业已引进的物种建立在不足的生态知识、不完善的政策和短缺的预算上,并侧重于一些农业虫害
- 美国联邦政策对于物种引进不一致, 建立在任意、不良定量风险评估的基础上，很少提供限制物种引进的经济意义
- 每个潜在的引进物种和引进途径需要专家的评估
- 需要更为基础性的研究来应对物种引进所带来的环境和经济上的影响。

这种疾病不仅威胁加利福尼亚几个优势树种及依赖这些树种的动物，而且也严重影响了美国苗圃产业。生物入侵已被广泛地认为是仅次于栖息地破坏对生态多样性的第二大威胁；在美国，生物入侵是近半受危害物种衰落的重要原因 (Wilcove *et al.*, 1998)。

物种入侵对经济的冲击是多方面的：昆虫或掠食性动物入侵导致的农作物、林业和渔业损失；病原生物入侵导致的人类、牲畜和家禽疾病；软体动物入侵导致的污染损失；白蚁入侵导致的建筑结构损害。仅在美国，Pimentel 等(2000a)估计每年造成的损失达到$1,370 亿；而英国、澳大利亚、印度、南非及巴西等国每年的损失总计超出$3,360 亿(Pimentel 等，2000b)。

某些入侵物种，譬如作物害虫,被认为是祸害已经几个世纪了(Mack 2003)。然而，正如Charles Elton(1958)首次指出的：全球性生物地理的重新整合已经成为了在一个极大范围内存在的普遍问题。然而此问题所引起的在学术和环境领域的研究高峰却出现在大约 20 年后。不断增长的物种入侵问题及其严重性，及 70 年代出现的环境运动推动了研究高峰，目前这一兴趣仍在继续增长，特别是在学术界和新闻界。乌鳢（*Channa argus*) (图 2)，对马里兰(现在对其它州)的入侵，引起了国际新闻界的关注(Dolin 2003)。然而，制定政策部门和环境组织对生物入侵的关注一直是不一致的。

目前有一些成功地根除单个入侵物种的例子，例如根除来自澳大利亚西部的杂草（*Kochia scoparia*）(Randall 2001)，来自达尔文港（Darwin Harbour）的加勒比黑斑贝(Mytilopsis sallei)(Bax *et al*. 2002)，以及佛罗里达南部 melaleuca (Melaleuca quinquenervia)覆盖区显著地下降（图 3)(Silvers 2004)。

然而，许多非本地物种仍继续在区域甚至全国范围内增加(Union of Concerned Scientists 2003)，它们在生态和经济方面的影响也同样增加。这种恶化情况是不是贸易和旅行增长所带来的不可避免的后果？能否通过政策执行、管理或资助方面的变化扭转这一趋势？在遏制生物入侵这一浪潮中生态研究可以扮演什么样的角色？

图 1：美国加里福利亚麦瑞因县（Marin County，California）橡树（Phytophthora ramorum）的突然死亡。

从不同国家、地区和区域所积累的经验中，我们已经学会利用很多不同的方法来应对生物入侵(例如 Klein 2004；Miller 2004)。我们需要对这些经验进行总结。例如，比较政策分析可以被用来阐明哪些政策措施卓有成效，既能对新入侵物种实施控制，也能对正在入侵的物种加以控制。同样，比较野外研究及跨大陆和跨机构信息分享是提高由地面入侵物种管理的一个重要部份(Simberloff 1999)。这里我们主要针对入侵物种政策和管理方面的一些紧迫问题进行阐述，并且指出生态学研究如何才能改进我们当前在生物入侵方面的实践。

图 2：乌鳢（Channa argus）

向入侵物种开战

阻止物种入侵的尝试可以分成三阶段(Mack *et al*. 2000; Simberloff 2002b)：(1)不准它们进入；(2)如果它们已经侵入，迅速发现并设法根除它们；(3)如果无法根除它们，保持它们在低的发展水平。

不准进入

由于有意和无意引进过程中的疏忽造成的生物入侵是两类不同的问题，它们要求不同的研究方法和政策措施。

有意引进

与疏忽引进相比较，人们可能以为有意识的引进导致的生物入侵问题较少。然而数据表明，有意识的引进占大约所有物种入侵问题的一半(例如 OTA 1993; Mack and Erneberg 2002)。通过对那些有意识引进的，可能具有入侵性的物种加以更加严格的限制，我们应该能够在防止生物入侵方面做得更好。但是，有两个问题妨碍我们做到这一点，即利益的冲突和不可预料性。

首先，不同的利益决策者会对一个有意引进的物种可能产生的利弊各执其词。例如，零售商也许依靠某种园艺植物的大量销售为生，而依靠纳税人钱的政府机构则设法从附近的公园消灭这种植物。进口商和零售商无限制地引进各种动植物，从中获利，然而并不承担生物入侵所造成的经济代价。因此，对进口商和零售商贩没有经济制约以限制引进物种。基于政治上或道德上的原因，目前一些团体已经行动起来，鼓励对引进物种的负责任的行为；例如，国际海洋探测委员会（the International Council for the Exploration of the Sea）从 70 年代起建立了一套关于海洋生物移动的义务应用编码(ICES 1995)。2001 年，有关部门起草了针对苗圃业者、花匠、植物园和其他人的行为义务代码以防止植物入侵(Fay 2002)。有时工业界也采纳一些公众或专家提出的措施以逃避法规约束。对物种入侵问题的意识在美国达到了前所未有的高度。然而，联邦政策远未做到对有意引进物种提供一种连贯的措施(即规定引入地可接受的风险水平)，也没有提出生态地区的概念(即本地物种优先地域)

——Miller(2004)称之为的“视野沟”（vision gap）。

其次,物种引进影响的极不可预测性(Williamson 1996)影响着风险评估的两个核心方面：预测特定的负效应和估计负效应的可能性。目前由于缺少对生物入侵的总体认识妨碍了风险评估的可信度，全球性贸易剧烈的扩展和伴随而来的多边商业导致假定物种引进是正确的。必须通过正式的风险评估规程来确定物种引进的风险，而且必须在这种引进被证实带来灾难，引进物种被列入“脏”名单接受制约之前(National Research Council 2000)。美国使用一个意义不明确的程序(Orr 2003)来估计入侵物种带来的各种风险，并通过一种武断的算法来综合这些估计，也不计算可信度。由于这一过程极为烦杂费时，以至评估物种在评估过程中扩散到引进地自然环境。尽管如此，这一处理过程至少对很多因素作了明确地考虑，并可以产生一个高度规范的定性预测(Simberloff and Alexander 1998)。澳大利亚进口风险分析(The Australia Import Risk Analysis) (Pheloung 2003)即属此类。

图 3：美国佛罗里达棕榈滩县（Palm Beach County，Florida）**的澳大利亚白千层属植物**(Melaleuca quinquenervia)

在实施这些评估时，评估的有效性至关重要：有多少情况有害入侵是由于评估决定引起的？风险评估是否降低了入侵频度？在经济利益面前，这些评估是否形同虚设？生态学家、社会科学家、和管理者必须在评估领域一致努力，详细检查当前政策的后果及可替补的办法。这样的评估在制定大气和水污染政策时是常规工作，但还迟迟没有用于管理物种入侵中(例如 Harrington *et al.*，2004)。

由于普遍采纳定量风险评估作为引进的依据, 加上制定具有说服力评估的困难，任何国家都难以做到拒绝进口某个可能带来风险的物种或产品而不受到经济保护主义的谴责。最近世界贸易组织否定了澳大利亚拒绝从加拿大进口冰冻三文鱼的提案，部分是由于澳大利亚无法定量地估计三文鱼可能携带病原体的风险(Victor 2000)，尽管这一方面已有先例(例如鳟鱼旋毛虫病向北美洲的入侵)。

对保护生态学家来说, 物种入侵变化莫测的特点意味着唯一有效的方法是评估每个潜在的引进种。某个物种入侵带来一场浩劫的原因是基于这一物种与其栖息地之间的相互作用(Tucker and Richardson 1995 年；Kolar and Lodge 2002)，因此地毯式的清除没有令人信服的生态学基础 (Simberloff 2001)。主张生物多样性的人提出入侵通通有罪，除非证实其无

辜或采用"清白名单"的方法(Ruesink *et al.*，1995)。新西兰 1993 年生态安全法案就是建立在这种原则上的。它已经成为遏制破坏性入侵的一个关键因素(国会环境委员会 2000)。但是，美国尚未采取这项原则。一些州政府正在尝试更为严格的措施。自 1996 年以来，明尼苏达州合并了两个入侵物种的“脏”名单：被禁止的和被节制的非本地物种，一个不受节制物种的“清白”名单及第四类“未入册”的生物类别(Klein 2004)。最后这一类生物可以被拥有、出售或运输，但任何人想要释放它们到自然环境必须申请批准。因此所有物种经过评估后被分类为禁止、节制或不受限制引进。

什么研究将帮助实施这些新的，综合的方法呢？我们需要做什么才能使整个入侵生物学领域更加有预测性，使风险评估更加准确？更多的关于将被引进物种的基本自然生活史和它的种群信息是必要的。Mack(1996)主张在封闭设施中进行控制实验，类似于对遗传变化生物的"野外试验"。即使不用这样的实验方法，了解尽可能多的关于这个物种的栖息地，食性和捕食者等信息也会大大改善目前监测的水平。首选的方法是将引进决策建立于控制它们在本地区种群数量的主要原因上；然而，这个目标也许是毫无希望的，除非当收集这一信息时完全中止大数量的物种引入。最终，我们会发现入侵物种的特征是可以更为广泛地预测的。例如，Grotkopp *et al.*(2002)把松树的入侵性和松树在原产地的具体的细胞学和生理特征联系了起来。许多人并不认同的生物入侵的普遍法则，仍可能是重要的研究领域。

图 4：隐藏在法国地中海沿岸入侵的紫杉叶蕨类海藻（Caulerpa taxifolia）丛中的章鱼

生物入侵的某些方面是变化莫测的。如经常有一时滞，在时滞期间引进的物种或多或少被制约并且无害，但此后它的数量和分布范围急剧增加和扩张，并造成巨大的破坏(Kowarik 1995)。另一个研究重点是确定引起时滞的频率和起因。增加宿主范围或适应气候条件后，某些入侵者可能演变成更有危害的害虫。虽然进化的某些方面，譬如物种变异，基本上是随机的，其它方面则是可能预测的。例如自然选择对繁殖数目、遗传变异和与选择相关的进化率之间的关系(Parker *et al.* 2003)。最终，某一个引进物种对入侵地的影响经常受与其它入侵者的相互作用而恶化—即“入侵熔合”现象(Simberloff and Von Holle 1999)。当没有考虑时滞、演变及入侵熔合时，风险评估会低估入侵风险。

由疏忽而造成的入侵

许多生物入侵是因为疏忽的原因，由于疏忽而造成的生物入侵甚至更难以限制。这些

入侵物种依靠人(如杂草种子)，或产品（诸如木材），或水果(如昆虫)而传播。它们通过各种途径侵入(如压舱水或未经处理的木制包装)。要阻止这些物种的入侵，必须列出、排序，并且切断各种传播途径(Ruiz and Carlton 2003)。

美国多数关于疏忽引进的政策是为保护农作物和家畜而制定的。然而，二十世纪 80 年代和 90 年代间几种水生生物在五大湖地区（the Great Lakes）造成的破坏说明了与农业无关的入侵途径的重要性，刺激了新的和更全面关于入侵物种的立法。现在我们已经对很多物种无意识的传播途径有一个比较全面的了解。

几种新的研究方法可以运用在研究入侵物种的传播途径上；一种是使用分子技术确定入侵物种的源地和入侵途径。例如，Jousson *et al*.(1998)和 Wiedenmann *et al*.(2001)证明了引入地中海的“杀手海藻”(Caulerpa taxifolia；图 4) 来源于澳大利亚附近的水族馆；另外一种方法是检查附着在容器或包装材料上的入侵生物；三是将引进政策和控制努力针对入侵途径而不是入侵物种(Tamburri *et al*. 2002)。对整个入侵途径的风险评估还处于早期阶段，目前仅简单地列出可能使用某条特定传播途径的物种，然后对每个物种进行风险评估(参见 Andow 2003 年；Orr 2003)。这种方法虽然粗糙，却强化了政策。例如在 1995 年一系列针对国家森林害虫的研究，帮助确立了新的木材进口联邦法规—一条科学家至少从 70 年代起就一直警告的物种入侵途径(Campbell and Schlarbaum 2002)。

图 5：黑黑鼠(Rattus rattus)，一种贪婪的鸟类和其它动物的捕食者，已经从世界许多岛屿上被根除

迅速发现入侵物种并根除它们

根除入侵物种已被认为是易于失败，并且会导致更坏后果，具有潜在的毁灭性作用(例如 Dahlsten 1986)。但 Veitch 和 Clout(2002)表明，根除入侵物种经常是可行的(图 5)。如果符合以下标准，成功地根除入侵物种是非常可能的：(1)虽然已有对分布广的入侵物种根除的例子，成功地根除有限分布的入侵物种的可能性更大(例如 Randall 2001)。这需要以早期发现和迅速采取行动为前提。遥感技术可以帮助早期监测和对入侵物种进行管理。遥感技术在测绘横跨大区域的入侵物种分布方面比实地考察具有更高的准确性和精确度。空中摄

影在这一方面一直非常有效(Everitt *et al*. 1995 年, 1996)。最近，研究人员使用多谱和超谱图像测绘入侵物种分布(如 Carson *et al*. 1995 年; Underwood *et al*. 2003)。这些努力在技术虽然难度很大，但应用前景广阔。例如，部分谱分解技术检测到了在 1m x 1m 像素上覆盖率低于 10%的黄色星蓟（*Centaurea solstitialis*）的种群数量(S. Swope 未发表数据)。另外，信息技术将同样重要。自 2004 年，美国农业部利用一个名为"网上爬行者"（webcrawler）的自动搜索引擎专门搜寻在互联网上销售联邦政府禁止的植物, 并以 USDA 名义对违规网站发出警告信函。另外一个在 2004 年由美国地质调查（US Geological Survey）建立系统，提醒用户最近在美国发现的非本土水生物种。观测网络包括全国生态观测网络（the National Ecological Observatory Network）(NEON; Froelich 2003) 和全球海洋观察系统（the Global Ocean Observing System）(GOOS; UNESCO 2004)，将协助辨别新的入侵者并帮助确定它们的入侵散布速率。这些新的工具给监测以至根除入侵物种带来根本的变革。(2)必须要有充分的资源完成根除入侵物种。一旦入侵物种被大量地消灭或到可能不再成为问题时，撤出资金就可能使本来可以成功的根除半途而废。例如，因为当飞蛾数目直线下降时，马萨诸塞州的立法者即刻撤出了项目资金，从而导致一个根除吉普赛飞蛾的机会丧失(Dreistadt and Weber 1989)。既使不把根除作为最终目标，缺乏连续性资助普遍地阻碍控制入侵物种的研究。(3)必须制定确切的法律依据以及毫不含糊的职责范围, 以便个体或机构有责任采取必要的行动。根除计划经常涉及司法管辖权，不同的利益决策者也许对管理费用和益处有不同看法。然而根除行动要求各方全面合作，否则可能被单方行动所破坏(Simberloff 2002c)。(4)必须充分地了解被根除入侵物种的生物学以便制订有效的策略。例如，在佛罗里达的部分地区，根除巨型非洲蜗牛(*Achatina fulica*)(Mead 1979)之所以可能，是因为这种蜗牛不自体受精。(5) 根除控制方法不应该带来害处。例如，一个物种的根除是否会被另一个入侵者轻而易举地代替？是否有计划恢复入侵者被根除了的区域(图 6)？在加利福尼亚圣克鲁斯岛（Santa Cruz Island），根除了被引进的吃草动物却导致了外来杂草迅速增长(Dash and Gliessman 1994)。

将入侵生物控制在较低的水平上

如果不能彻底地将入侵生物根除，有几种方法可使入侵物种的扩展保持在低的水平上。然而没有哪种方法是一枚解决一切问题的"银弹"。四种主要方法是：物理和机械控制、化学控制、生物控制和生态系统管理(Simberloff 2002b)。

物理和机械手段包括射杀和诱捕动物、砍伐和火烧植被。物理或机械消除经常是高度有效的，但耗费大量劳力。如果社会能负担费用，可支付使用的劳力(McQueen *et al*. 2000)；在美国，对罪犯劳力的使用在逐渐增加(Campbell and Carter 1999)。但是，许多成功项目是依靠志愿者(Randall *et al*. 1997)。来自志愿者和公众共同努力的一个极大的好处是有机会吸引媒体的注意，以及给公众传授关于物种入侵的知识。

化学制品(除草药、杀鼠剂、杀虫药、微生物杀虫剂)有时有效但经常有争议。早期的杀虫剂有很多副作用。对杀虫剂的宣传已在一些环保主义者中造成了对化学制剂的恐怖症(Williams 1997)，但其他人(包括许多自然区域的管理人员)却将杀虫剂作为管理入侵生物的必备工具，虽然要因此承担一些风险。许多现代杀虫剂具有较少的副作用，但也有其它不利的地方(Simberloff 2002b)。杀虫剂经常极为昂贵，这一问题随着物种进化产生抗药性而恶化, 因为全世界有 172 种杂草(WeedScience.org 2003)。即使如此, 杀虫剂常常是有用的, 并可以和机械控制一起发挥很好的作用(Ver Steeg 2002)，如对 melaleuca 的控制就是一个极好的例子(Silvers 2004)。

传统的生物控制目标，即引进一个入侵生物的天敌(掠食性动物、草食动物、寄生生物或病原生物)，不是根除，而是一种动态平衡机制，以便在入侵生物种群数量增加时触发其天敌种群数量的增加。这方面有很多成功例子。譬如在非洲，通过引入南美黄蜂（*Epidinocarsis lopezi*），一种破坏木薯(*Manihot esculenta*)的南美粉蚧(*Phenacoccus manihoti*)得到了控制(Bellotti *et al*. 1999)。这样的例子已经导致了生物控制是替代化学制品的“绿色”手段。McFadyen(1998)认为, 生物控制是对付杂草入侵的唯一安全、经济并且环境能够持续发展的方法。当其行之有效时，生物控制较之化学控制有两个明显的好处：控制范围能自己扩展，并且一劳永逸。

但传统的生物控制并不是万能药。这有三个主要原因：(1)生物控制经常不发挥作用。许多引进的天敌从未建立起来，而那些建立起来的天敌，为在其新的生境内达到对目标的实际控制，所需数量可能三倍于要控制的入侵生物的数量(Williamson 1996)。(2)天敌经常对非控制生物产生不良影响(Simberloff and Stiling 1996)。例如, 许多太平洋海岛上的当地蜗牛被引进的食肉性玫瑰色狼蜗牛(*Euglandina rosea*)消灭，而原来引进它们是为了控制巨型非洲蜗牛（*Achatina fulica*）(Cowie 2002)。(3)生物控制的媒介经常传播到不需要它们的遥远地区。例如，南美仙人掌飞蛾（*Cactoblastis cactorum*）引进到 Nevis 岛以控制仙人球(*Opuntia spp*)，却传播到了西印度群岛和美国，严重影响了分布极其有限的当地物种，并可能向美国西南部和墨西哥传播，在那些地区它可能成为严重的环保和农业问题(Stiling and Simberloff 2000)。目前联邦机构主张极为严格的生物控制实践，以防止这类问题的发生。但是，公众能够获得的有关生物控制的文件为数不多，并且由于没有对生物释放后对其它生物影响的长期监测，因而生物控制的安全性是值得怀疑的。

生态系统管理也许能创造对当地物种而不是对入侵物种更为有利条件。例如，美国东南部的长叶松树(Pinus palustris)维护天然林火机制也许阻止了外来植物和动物的入侵(Simberloff 2001)。但是，任何自然条件可能易受某些入侵物种的影响；例如，长叶松树林受到亚洲白茅草的威胁(Imperata cylindrica)，后者是一种迅速传播的，适应火的物种。因而，生态系统管理将不会解决面临的生物入侵问题，入侵物种经常需要直接的种群管理。

图 6：美国加里福利亚洪堡海湾国家野生生物避难所兰菲尔沙丘单元（Lanphere Dunes Unit of the Humboldt Bay National Wildlife Refuge，California）在根除欧洲海滩草（Ammophila arenaria）后重建的沙丘植被。

讨论

对于根除和控制生物入侵的研究计划，至今许多最行之有效的措施仍然是使用传统的蛮力“土办法”，而不是采用尖端的现代科学技术（Simberloff 2003）。当然，科学研究在上述领域中肯定会发挥十分有益的作用；为什么人们未能发明更好的捕鼠器，这听起来似乎没有道理。尤其在美国，各州都有特别的有关控制水生入侵物种方法的研究项目。尽管我们仍然需要目标物种（target species）的有关知识（包括根的深度、萌芽或发育的时间以及最佳生境等），然而在通常情况下，这些研究相对简单，不需要很复杂的科学技术。进行深入细致和前沿性的生态学研究会对根除、控制生物入侵、风险评估起很大的作用。必须结合使用现代的研究方法以及先进的仪器和精密的分析手段研究新的和潜在的入侵物种的自然生活史和它们的分类（e.g. Peterson *et al* 2003）。例如，犹大替罪羊（Judas goat）技术利用羊爱群居的生活习性（Campbell and Donlar, in press），在一些羊的颈圈上安装遥控器，以便能够发现其它羊或羊群的行踪，虽然有时羊群数目很少。然后我们可以利用其足迹或利用直升飞机跟踪带有遥控器的羊群，然后把它们杀死。另外，开发新的激素疗法（hormone therapy）和绝育法（sterilization）都将改进这些曾在许多岛屿使用并行之有效的生物技术（Campbell and Donlar, in press）。当然，在预测手段和技术方面，我们需要使用更复杂和更全面的研究方法，以使得我们能够预测本地和入侵物种之间的影响和相互作用，以及入侵物种所带来的潜在风险。此外，不断增强和发挥生态科学在生物化学控制研究领域的积极作用也是十分必要的。

生物入侵学（Invasion Biology）刚刚兴起，直至五年前才发展为一门学科。在美国，只有为数不多的几所大学在这方面开设了新课程。然而近几年来，生物入侵学研究出现了突飞猛进，空前高涨的局面。生态学家们已经拟定一个全面的、庞大的研究计划（Ewel *et al* 1999; D’Antonio *et al* 2001）；同时，也制定了更详细的有关生物入侵研究项目和提议。例如，（e.g. Carlton 2001）提出有关国家海洋生物入侵的研究计划，国家科学研究委员会（NCR）（2002）也针对生物入侵的风险评估方法提出改进意见；此外，生物入侵研究也列入了美国国家生物入侵委员会的主要研究内容（NISC, 2001）。

由于美国研究机构的分散性，很难说上述研究计划和建议在多大程度上得到了有效的

实施和执行。不过，科学研究经费的增加也是一个指标。比如说，23 个联邦政府部门大胆改革，简化有关妨碍生物入侵研究繁琐的过程和手续，增大对生物入侵研究的支持力度。在 1999 年和 2000 年间，估计大约 10 个联邦政府部门分别在入侵物种研究方面投入了 94.6 和 104.9 百万美元。但大多数集中在农业病虫害领域（Gao 2000）。同时，国家科学研究基金会（NSF）在同期分别投入 4.7 和 5.2 百万美元，增加了约百分之十。2005 年将会有相同比例的增加（NISC 2004, 表一）。尽管其它联邦政府部门，比如说美国地质调查（USGS），美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的海洋基金，和美国农业部（USDA）的经济研究局等，都已经将入侵物种问题提到国际范围。但是这些部门似乎每年只投入了为数不多的几百万美元，且只给它们各自的下属部门的研究项目，这些项目分散而缺乏统筹协调。

表 1：2005 财政年度关于入侵物种的预算

Department	2004 ($1000)	2005 ($1000)	Difference 2004–2005 ($1000)
DOD	$10 355	$15 355	$5000
USDA	$376 009	$466 750	$90 741
DOI	$9369	$11928	$2559
DOC	$0	$0	$0
EPA	$75	$75	$0
Smithsonian	$325	$325	$0
Total	$396 133	$494 433	$98 300

Compiled by the US National Invasive Species Council.

然而，人们对物种入侵的反响总比问题的出现要缓慢。尽管水生入侵物种研究法案（HR 1081）在国会科学技术委员会得到批准之后，被拖延了一段时间，但已经获得了超过 2 亿 1 千 4 百万美元研究经费的授权。这些研究经费将主要用于研究、开发和示范等项目。其中包括在未来 5 年内投入 75 百万美元作为大学之外的研究基金。这是唯一一次在国会会议中通过和产生十多个有关入侵物种的法案。尽管大部分法案是针对控制某一物种，包括柽柳和褐树状蛇，但这是前所未有的。其它许多执行部门也出现了类似对生物入侵研究的重视状况(表二)。

最近，无论是在首都华盛顿还是在美国生态学会（ESA）和保护生态学会（SCS）的各种会议上，对入侵物种的研究不仅成为最受关注和热门的论题，而且出现了空前高涨的热情和极大的兴趣。这些现象也许让众多的生态学家感到，对研究入侵物种问题的紧迫性已经初步得到了广泛的共识。然而，除上述各种学术研究机构之外，尤其是在政策制定部门和管理决策层，却很少有人意识到入侵物种问题的严重性。

总之，科学家们一直十分关注入侵物种问题，并且发出了最强烈的呼吁和提出许多行之有效的研究方法和技术。当然，科学家们将在不同领域面临不同程度的挑战和任务，如给杂志编辑写信和报道当地入侵物种问题，促进政府部门制定新的法规以限制有危害的外国入侵物种，进行引种之前的风险评估，和与国会议员一起讨论入侵物种问题，并建议和促成国会最终通过有关入侵物种的法规。

表 2：2005 财政年度联邦政府内部机构关于特殊入侵物种预算

Initiative	2004 ($1000)	2005 ($1000)	Change from 2004–2005 ($1000)	Percent change from 2004–2005
Brown Treesnake	$3368	$4247	$879	26.1%
Tamarisk	$5929	$4822	-$1107	-18.7%
Emerald Ash Borer	$2018	$16 978	$14 960	741.3%
Leafy Spurge / Yellow Star Thistle	$3690	$3916	$226	6.1%
Ballast Water	$945	$945	$0	0.0%
Screening	$0	$0	$0	?
Prevention thru Education	$649	$649	$0	0.0%
Aquatic Area Monitoring	$2647	$2647	$0	0.0%
Early Detection / Rapid Response	$259 457	$353 669	$94 212	36.3%
Innovative Control Technologies	$117 430	$106 560	-$10 870	-9.3%
Total	$396 133	$494 433	$98 300	24.8%

Compiled by the US National Invasive Species Council.

假如有一天，最有效的有关入侵物种的法律得以通过，而且联邦和各州政府部门也能够感受到一些压力并在研究方面投入更多的人力和物力，那一定是与众多科学家们长期不懈的努力和贡献分不开的。我们期待这一天尽快到来。

（花 东、缪世利、彭长辉　译）

参考文献

Andow DA. 2003. Pathways-based risk assessment of exotic species invasions. In: Ruiz GM and Carlton

JT (Eds). Invasive species. Vectors and management practices. Washington: Island Press. p 439–54.

Bartlett E, Novak SJ, and Mack RN. 2002. Genetic variation in Bromus tectorum (Poaceae):Differentiation in the eastern United States. *Am J Bot* **89**: 602–12.

Bax N, Hayes K, Marshall A, *et al.* 2002. Man-made marinas as sheltered islands for marine organisms: establishment and eradication of an alien invasive marine species. In: Veitch CR and Clout MN (Eds). Turning the tide: The eradication of invasive species. Gland, Switzerland: I.U.C.N.

Bellotti AC, Smith L, and Lapointe SL. 1999. Recent advances in cassava pest management. *Ann Rev Entomol* **44**: 343–70.

Campbell C and Carter FD. 1999. The Florida Department of Corrections involvement in exotic pest plant control. In: Jones DT and Gamble BW (Eds). Florida's garden of good and evil. West Palm Beach, Florida: Florida Exotic Pest Plant Council.

Campbell FC and Schlarbaum SE. 2002. Fading forests II: Trading away North America's natural heritage. Smithville, TN: Healing Stones Foundation.

Campbell K, and Donlan CJ. 2005. Feral goat eradication on islands. *Conserv Biol*. In press.

Carlton JT. 2001. Introduced species in U.S. coastal waters: environmental impacts and management priorities. Arlington, VA: Pew Oceans Commission.

Carson HW, Lass L, and Callihan RH. 1995. Detection of yellow hawkweed with high resolution multispectral digital imagery. *Weed Technology* **9**: 477–83.

Cowie R. 2002. Invertebrate invasions on Pacific islands and the replacement of unique native

faunas: a synthesis of the land and freshwater snails. Biol Invasions **3**:119–36.

D'Antonio C, Meyerson LA, and Denslow J. 2001. Exotic species and conservation: research needs. In: Soulé ME and Orians GH (Eds). Conservation biology: Research priorities for the next decade. Washington, DC: Island Press.

Dahlsten DL. 1986. Control of invaders. In: Mooney HA and Drake JA (Eds). Ecology of biological invasions of North America and Hawaii. New York: Springer-Verlag. Dash BA and Gliessman SR. 1994. Nonnative species eradication and native species enhancement: Fennel on Santa Cruz Island. In: Halvorson WL and Maender GJ (Eds). The Fourth California Islands symposium: Update on the status of resources. Santa Barbara, California: Santa Barbara Museum of Natural History. Dolin EJ. 2003. Snakehead. A fish out of water. Washington, DC: Smithsonian.

Dreistadt SH and Weber DC. 1989. Gypsy moth in the Northeast and Great Lakes states. In: Dahlsten DL and Garcia R (Eds). Eradication of exotic pests. New Haven: Yale University Press. Elton CS. 1958. The ecology of invasions by animals and plants. London: Methuen. Reprint 2000, Chicago: University of Chicago Press.

Everitt, JH, Anderson GL, Escobar DE, *et al.* 1995. Use of remote sensing for detecting and mapping leafy spurge (*Euphorbia esula*). *Weed Technology* **9**: 599–609.

Everitt JH, Escobar DE, Alaniz MA, *et al.* 1996. Using spatial information technologies to map Chinese tamarisk (*Tamarix chinesnsis*) infestations. *Weed Sci* **44**: 194–201.

Ewel JJ, O'Dowd DJ, Bergelson J, *et al*. 1999. Deliberate introductions of species: research needs. *BioScience* **49**: 619–30.

Fay KC (Ed). 2002. Linking ecology and horticulture to prevent plant invasions. Proceedings of the workshop at the Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO, Dec. 1–4, 2001.

Froelich, A. 2003. Third time a charm for NSF's National Ecological Observatory Network? *BioScience* **53**: 1158.

General Accounting Office, U.S. Congress. 2000. Invasive species: Federal and selected state funding to address harmful nonnative species, GAO/RCED-00-219.

Grotkopp E, Rejmanek M, and Rost TL. 2002. Toward a causal explanation of plant invasiveness: Seedling growth and life-history strategies of 29 pine (*Pinus*) species. *Am Nat* **159**: 396–419.

Harrington W, Morgenstern R and Sterner, T(Eds). 2004. Choosing environmental policy: comparing instruments and outcomes in the United States and Europe. Washington, DC: Resources for the Future Press.

International Council for the Exploration of the Sea (ICES). 1995. Code of practice on the introductions and transfers of marine organisms 1994. Copenhagen, Denmark.

Jousson O, Pawlowski J, Zaninetti L, *et al*. 1998. Molecular evidence for the aquarium origin of the green alga *Caulerpa taxifolia* introduced to the Mediterranean Sea. *Mar Ecol Progr Ser* **172**: 275–80.

Klein B. 2004. Making a list: prevention strategies for invasive plants in the Great Lakes states. Washington, DC: Environmental Law Institute.

Kolar CS and Lodge DM. 2002. Ecological predictions and risk assessment for alien fishes in North America. *Science* **298**: 1233-–36.

Kowarik I. 1995. Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. In: Pysek P, Prach K, Rejmanek M, and Wade M (Eds). Plant invasions:

General aspects and special problems. Amsterdam: SPB Academic. Mack RN. 1996. Predicting the identity and fate of plant invaders: Emergent and emerging approaches. *Biol Conserv* **78**: 107–21.

Mack RN. 2003. Plant naturalizations and invasions in the eastern United States: 1634–1860. *Ann Missouri Bot Garden* **90** : 77–90.

Mack RN and Erneberg M. 2002. The United States naturalized flora: Largely the product of deliberate introductions *Ann Missouri Bot Garden* **89**: 176–89.

Mack RN, Simberloff D, Lonsdale WM, *et al*. 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol Applic* **10**: 689–710.

McFadyen REC.1998. Biological control of weeds. *Ann Rev Entomol* **43**: 369–93.

McQueen C, Noemdoe S, and Jezile N. 2000. The Working for Water Programme. In: Preston G, Brown G, and van Wyk E (Eds). Best management practices for preventing and controlling invasive alien species. Symposium proceedings. Cape Town, South Africa: The Working for Water Programme.

Mead AR. 1979. Ecological malacology: with particular reference to *Achatina fulica*. Vol. 2b of Fretter V, Fretter J, and Peake J (Eds), Pulmonates. London: Academic Press.

Miller ML. 2004. The paradox of U.S. alien species law. In: Miller ML and Fabian RN (Eds). Harmful invasive species: Legal responses, Washington, DC: Environmental Law Institute.

National Invasive Species Council. 2001. Meeting the invasive species challenge. Management plan, Washington, DC.

National Invasive Species Council. 2004. Fiscal year 2005 interagency invasive species performance- based budget. On the web at http://invasivespecies.gov/council/FY05budget.pdf, accessed 8/12/04.

National Research Council (United States). 2000. Incorporating science, economics, and sociology in developing sanitary and phytosanitary standards in international trade. Washington. DC: National Academy Press.

National Research Council (United States). 2002. Predicting invasions of nonindigenous plants and plant pests. Washington, DC: National Academy Press.

Office of Technology Assessment (OTA), U.S. Congress. 1993. Harmful non-indigenous species in the United States. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.

Orr R. 2003. Generic nonindigenous aquatic organisms risk analysis. In: Ruiz GM and Carlton JT (Eds). Invasive species. Vectors and management practices. Washington, DC: Island Press.

Parliamentary Commissioner for the Environment (New Zealand). 2000. New Zealand under siege: A review of the management of biosecurity risks to the environment. Wellington: Parliamentary Commissioner for the Environment.

Parker IM, Rodriguez J, and Loik ME. 2003. An evolutionary approach to understanding the biology of invasions: local adaptation and general purpose genotype in the weed *Verbascum thapsus*. *Conserv Biol* **17**: 59–72.

Peterson AT, Papes M, and Kluza DA. 2003. Predicting the potential invasive distributions of four alien plant species in North America. *Weed Sci* **51**:863–68.

Pheloung P. 2003. An Australian perspective on the management of pathways for invasive species. In Ruiz GM and Carlton JT (Eds). Invasive species. Vectors and management practices. Washington, DC: Island Press. Pimentel D, Lach L, Zuniga R, and Morrison D.

2000a. Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States. *BioScience* **50**: 53–65.

Pimentel D, McNair S, Janecka J, *et al.* 2000b. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agric, Ecosyst, and Environm* **84**: 1–20.

Randall JM, Lewis RR III, and Jensen DB. 1997. Ecological restoration. In: Simberloff D, Schmitz DC, and Brown TC (Eds). Strangers in paradise. Impact and management of nonindigenous species in Florida. Washington, D.C.: Island Press. Randall R. 2001. Eradication of a deliberately introduced plant found to be invasive. In: Wittenberg R and Cock MJW (Eds). Invasive alien species: A toolkit of best prevention and management practices. Wallingford, Oxon, U.K.: CAB International.

Rizzo DM and Garbelotto M. 2003. Sudden oak death: endangering California and Oregon forest ecosystems. *Front. Ecol. Environ.* **1**: 197–204.

Ruesink JL, Parker IM, Groom MJ, and Kareiva PM. 1995. Reducing the risks of nonindigenous species introductions. *BioScience* **45**: 465–77.

Ruiz GM and Carlton JT (Eds). 2003. Invasive species. Vectors and management practices. Washington DC: Island Press.

Silvers CS. 2004. Status and impacts of the melaleuca biological control program. *Wildland Weeds* **7**(2): 8–10.

Simberloff D. 1999. Needs and opportunities. In: Ridgway RL, Gregg WP, Stinner RE, and Brown AG (Eds.), Invasive Species Databases, Proceedings of a Workshop. Silver Spring, Md.: U.S. Departments of Interior, Agriculture, and Commerce, and C.V. Riley Memorial Foundation.

Simberloff D. 2001. Biological Invasions – How are they affecting us, and what can we do about them？ *West N Amer Natur* **61**: 308–15.

Simberloff D. 2002a. Ecological and economic impacts of alien species: A phenomenal global change. In: Claudi R, Nantel P, and Muckle-Jeffs E (Eds). Alien invaders in Canada's waters, wetlands, and forests. Ottawa: Natural Resources Canada.

Simberloff D. 2002b. Managing established populations of alien species. In: Claudi R, Nantel P, and Muckle-Jeffs E (Eds). Alien invaders in Canada's waters, wetlands, and forests. Ottawa: Natural Resources Canada. Simberloff D. 2002c. Why not eradication？ In: Rapport DJ, Lasley WL, Ralston DE, Nielsen NO, Qualset CO, and Damania AB (Eds). Managing for healthy ecosystems. Boca Raton, Florida: CRC/Lewis Press.

Simberloff D. 2003. How much population biology is needed to manage introduced species？ *Conserv Biol* **17**: 83–92.

Simberloff D and M.Alexander M. 1998. Assessing risks to ecological systems from biological introductions (excluding genetically modified organisms). In: Calow P (Ed). Handbook of environmental risk assessment and management. Oxford: Blackwell.

Simberloff D and Stiling PD. 1996. How risky is biological control？ *Ecol* **77**: 1965–74.

Simberloff D and Von Holle B. 1999. Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown？ *Biol Invas* **1**: 21–32.

Stiling PD and Simberloff D. 2000. The frequency and strength of non-target effects of invertebrate biological control agents of plant pests and weeds. In: P.A. Follett PA and Duan JJ (Eds). Non-target effects of biological control. Boston: Kluwer.

Tamburri MN, Wasson K, and Matsuda MB. 2002. Ballast water deoxygenation can prevent

aquatic introductions while reducing ship corrosion. *Biol Conserv* **103**: 331–41.

Tucker KC and Richardson DM. 1995. An expert system for screening potentially invasive alien plants in South African fynbos. *J Environm Mgt* **44**: 309–38.

Underwood E, Ustin S, and DiPietro D. 2003. Mapping nonnative plants using hyperspectral imagery. *Remote Sensing of the Environment* **86**: 150–61.

UNESCO. 2004. The Global Ocean Observing System. On the web at http://ioc.unesco.org/goos/. Viewed 12/5/04

Union of Concerned Scientists. 2003. Invasive species. Alaska. Cambridge, Massachusetts: Union of Concerned Scientists.

Veitch CR and Clout MN. 2002. Turning the tide: The eradication of invasive species. Auckland, New Zealand: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.

Ver Steeg B (Ed). 2002. Invasive and exotic species compendium. Bend, Oregon: Natural Areas Association.

Victor DG. 2000. Risk management and the world trading system: Regulating international trade distortions caused by national sanitary and phytosanitary policies. In: National Research Council (United States), Incorporating science, economics, and sociology in developing sanitary and phytosanitary standards in international trade. Washington DC: National Academy Press.

WeedScience.org. 2003. International survey of herbicide resistant weeds. On the web at http://www.weedscience.org/in.asp, accessed 7/10/04.

Wiedenmann J., Baumstark A, Pillen TL, *et al.* 2001. DNA fingerprints of Caulerpa taxifolia provide evidence for the introduction of an aquarium strain into the Mediterranean Sea and its close relationship to an Australian population. *Mar Biol* **138**: 229–34.

Wilcove DS, Rothstein D, Dubow J, *et al* 1998. Quantifying threats to imperiled species in the United States. *BioScience* **48**: 607–15.

Williams T. 1997. Killer weeds. *Audubon* **99**: 24–31.

Williamson M. 1996. Biological invasions. London: Chapman & Hall.

海洋景观、捕捞和养殖的未来

Rebecca Goldburg and Rosamond Naylor
《Frontiers in Ecology and the Environnent》2005, 3(1): 21-28

摘要：渔业捕捞的枯竭为海洋养殖业的发展注入了新的动力。海洋养殖，尤其是鲑鱼和虾的养殖在过去二十年大幅度增长。鲑鱼和虾养殖的统计数据显示养殖只能辅助，而不能替代捕捞。大多数养殖的海鱼为肉食性，需要捕捞大量野杂鱼作为饲料。养殖业对生态的其它影响包括养殖鱼逃逸和养殖废水的排放。海洋生态系统的持续开发需要统筹兼顾捕捞，养殖和资源保护。

人类长期以来认为海洋渔业是取之不尽，用之不竭的资源(Kurlansky 1997)。这种观点导致过去很长一段时间的滥捕。即使是到了几乎无鱼可捕的地步，人们还继续认为海洋资源仍然很丰饶。但在最近一，二十年，这种观点已经改变。渔业统计数据表明全球每年捕捞量已达到九千万吨的峰值(FAO 2002)，且有下降的趋势(Watson and Pauly 2001)。许多渔业已过度捕捞或走向枯竭(Hilbourn *et al*. 2003)。世界平均捕捞鱼类的食物链级(trophic level)已明显下降。其部分原因是人们喜食大型的肉食性鱼(Pauly *et al*. 2002, Hilbourn *et al*. 2003)。根据有关估计，大型鱼类，包括剑鱼，鳕鱼，枪鱼和鲨鱼，基本已被(90%)捕光(Myers and Worm 2003)。

核心内容：

- 水产养殖只辅助，而不替代海洋捕捞。
- 养殖业的发展也许导致养殖鱼与自然鱼群竞争饵料。
- 新种类的养殖可能导致对环境的影响，包括逃逸的养殖鱼对自然鱼群的影响和养殖排污。
- 海洋生态系统的管理必须统筹兼顾捕捞，养殖和资源保护。

渔业的枯竭给海洋养殖的发展注入了新的动力。海洋养殖已成为日益重要的食品来源。在 1992 年至 2002 年之间，全球养殖产量几乎增加两倍(FAO 2003)，产值几乎增加一倍。目前人类食用的水产品大约 40%源于养殖。

大多数养殖产品为淡水鱼，如亚洲的鲤科和罗非鱼科种类(Naylor *et al*. 2000; FAO 2003)。但海洋种类，尤其是鲑鱼和虾的养殖发展迅速。鲑鱼养殖于上世纪 70 年代源于挪威，随后在全球扩展。从 1992 年到 2002 年，世界鲑鱼养殖产量几乎增长三倍，现已占全球新鲜和冷冻鲑鱼销售量的 60%(FAO 2003)。这种增长带来价格下降(Naylor *et al*. 2003)，促进其它海洋鱼类养殖的发展。这些新的种类包括鳕鱼，鲽鱼，鲷鱼和金枪鱼。

与鲑鱼养殖相似，这些新种类也一般养于沿海网箱和围网内。在美国，沿海网箱养殖的发展受到抵制和限制。故美国国家海洋大气局(NOAA)大力发展外海大型养殖，避开沿海居民的反对和州法律的限制(DOC 2004)。在有些区域，如墨西哥湾，计划利用外海废弃的石油和天然气采集平台作为养殖基地。这些新发展代表了渔业从捕捞向养殖发展的趋势。增殖放流(将养殖生产的幼仔鱼投至自然海区)亦是这趋势的一部分。

图 1：英国哥伦比亚地区的一个鲑鱼养渔场

这些趋势是否说明养殖可在将来取代捕捞？养殖有时被认为是减少捕捞压力的一个手段。有人认为捕捞与狩猎相似，而狩猎已几乎完全被畜牧业取代(Avery 1996)。这种比喻不完全准确。比如鱼类的生殖率比陆生恒温动物高的多，故其种群可承受较高的捕捞压力。当然，养殖生产的发展可降低价格，逐步创造经济条件来降低养殖成本。

鱼类养殖可能取代捕捞吗？

近期的鲑鱼和虾类渔业资料说明了养殖业和捕捞业的动态。世界鲑鱼的市场在八十年代后期变化巨大。鲑鱼总产量(包括养殖和捕捞)由 1988 年的七十七万六千吨猛增到 2001 年的两百万吨(图 2)。2002 年养殖鲑鱼产量达一百二十一点七万吨，比捕捞量(七十二点二万公吨)高出 68%。

百分九十以上的养殖鲑鱼为大西洋鲑鱼(Salmo salar)。该种鱼在野生环境中近乎绝种。由于鲑鱼产量增加，导致价格下降。从 1998 年至 2002 年，养殖的价格大幅度下降，大西洋鲑鱼下降 61%，北美太平洋鲑鱼各个种下降 54%(大鳞鲑鱼(Oncorhynchus tshawytscha) 至 92%(粉红鲑鱼 Oncorhynchus gorbuscha) (Naylor *et al*. 2003)。

鲑鱼养殖自 1980～1990 年代开始，发展迅速。在此间捕捞鲑鱼产量介于七十二万吨和一百万吨之间。故现在就作出养殖鲑鱼替代捕捞的结论为时过早。此外，“野生”鲑鱼并非全野生。在 2001 年，日本，美国和加拿大释放了大约四十四亿人工孵化的仔鱼到自然海区(NPAFC 2004)。尽管这些仔鱼成活率极低，在美国阿拉斯加州来源于养殖的鲑鱼现占总捕捞量的三分之一(ADFG 2004)。而在日本几乎所有捕捞的二十一万吨鲑鱼均来自养殖放流(FAO 2003)。

在鲑鱼养殖的同时，海洋虾类养殖在沿海也迅速发展起来。但与鲑鱼不同，虾类养殖没有采用放流的形式。美国，欧洲和日本对虾类的需求量很大。虾类养殖起于七十年代后

期，八十年代迅速增长，至 2001 养殖产量达到虾类总产量的 42%(图 3)。同时捕捞虾类的产量也由 1980 年的一百三十万公吨增加到 2001 年的一百八十万公吨。同时期虾类价格则下降。虾类价格起伏较大(FAO 2003)，主要原因是疾病的暴发导致养殖虾的大量死亡，影响供求关系。虾类捕捞量的上升趋势说明养殖尚未取代捕捞。

已有迹象表明至少一些海洋种类的养殖正在取代捕捞。阿拉斯加的许多以捕捞鲑鱼为生的渔民收入减少，有的已改行(Naylor *et al*. 2003, 在印刷中)。美国南部捕虾渔民也收入下降，导致他们要求针对一些主要养虾国加反倾销关税(Hedlund 2004)。总的来说，养殖可能逐步减少野生捕捞。但是捕捞业的经济惯性(由于渔船的投资，渔民转行的阻力，和政府的津贴)也许使捕捞量的下降滞后于价格的下降(Naylor *et al*., 2000, Eagle *et al*. 2004)。

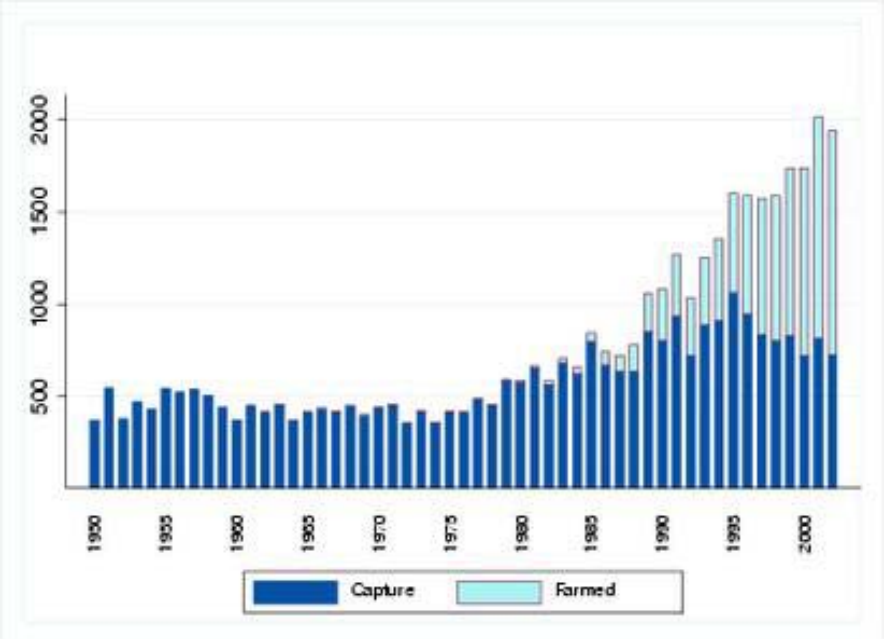


图 2：全球 1950～2002 年养殖与捕捞鲑鱼产量。单位为千公吨。数据来自 FAO(2003)。

养殖的生态影响

类似农业对陆地生态的改变，海洋养殖的发展不仅会影响海产品的来源和捕捞经济，同时也会改变海洋生态特色。但养殖业与农业有不同之处。首先大多数海洋养殖种类为肉食性动物。第二，虽然养殖占地面积不大，但其生态影响远大于其占地范围，因为养殖依赖着捕捞，两者关系密切。

肉食性鱼类的养殖

水产养殖的发展需要海洋资源作为投入。在过去二十年中，每年大约有三千万吨鱼(占全球捕捞量的近三分之一)被用于生产饲料(饵料)和鱼油。随着养殖业的发展和畜牧业用便宜的饲料取代鱼食，越来越高比例的捕捞鱼被用作养殖饲料。2001 年生产的一千七百万吨海水和淡水养殖鱼消耗了用一千七百万吨到二千万吨捕捞鱼(如毛鳞鱼，缇鱼和沙丁鱼)做成的饲料(Tacon 2003)。其它养殖种类，如滤食性的鲤科鱼类和贝类，则不需要投饵。

大多数海水养殖鱼类为肉食性，依赖于捕捞业提供饵料。而养殖的淡水鱼则一般为草食性或杂食性。作为饵料的小鱼渔业资源也许跟不上海洋养殖业的持续增长(Naylor *et al*.

2000; Delgado *et al*. 2003)。至 2004 年初，鱼饵价格升至每吨 650 美元，达 1997～1998 厄尔尼诺现象出现以来的最高值，且接近历史最高值(CRB 1998; FAO 2004)。这个价格并非暂时气候变化所致，而是长期趋势。尽管肉食性鱼类养殖业趋向于用植物产品取代小鱼作为饵料(Powell 2003)，但其速度不足以改变鱼饵使用趋势(Aldhours 2004)。

因为每生产一斤的肉食鱼需两至五斤的捕捞鱼，故肉食鱼的养殖代表着鱼蛋白的净支出(Naylor *et al*. 2000; Weber 2003)。有些养殖业人士认为捕捞小型，低食物链级的鱼来喂养大型，高食物链级的鱼比起放任这些野杂鱼在自然海域被大鱼捕食，然后捕捞大鱼的效率来得高(Hardy 2001)。养殖和捕捞的相对效率孰高孰低尚无定论，部分原因是我们对海洋食物链级间的能量转换效率所知甚微，而且一些养殖种类(如虾)在养殖条件下所处的食物链级比在野外的高。当然，养殖也许比捕捞的效率高，至少养殖鱼免于捕食等造成的死亡，成活率较高。

无论如何，若养殖业要取代，而不仅是辅助捕捞，则应减少对野杂鱼饵料的依赖。这些野杂鱼的资源有限，而且是自然海区许多动物(包括经济动物)的重要食物(Naylor *et al*. 2000)。

养殖的增长也许会使捕捞压力从肉食性鱼类转向作为饵料的野杂鱼(Delgado *et al*. 2003)。渔业管理措施使得近年用于饵料和鱼油的野杂鱼捕捞量相对稳定。但随着对这些鱼需求量和相应价格的增长，要求增加其捕捞量的压力日益增长。

另一方面，如果海洋养殖逐步取代捕捞，则注意力将从海洋渔业管理转移到养殖生产管理。在这种情况下，捕捞低食物链级的野杂鱼作为养殖饵料从经济管理上则是合理的。但从生态角度则是有害的。

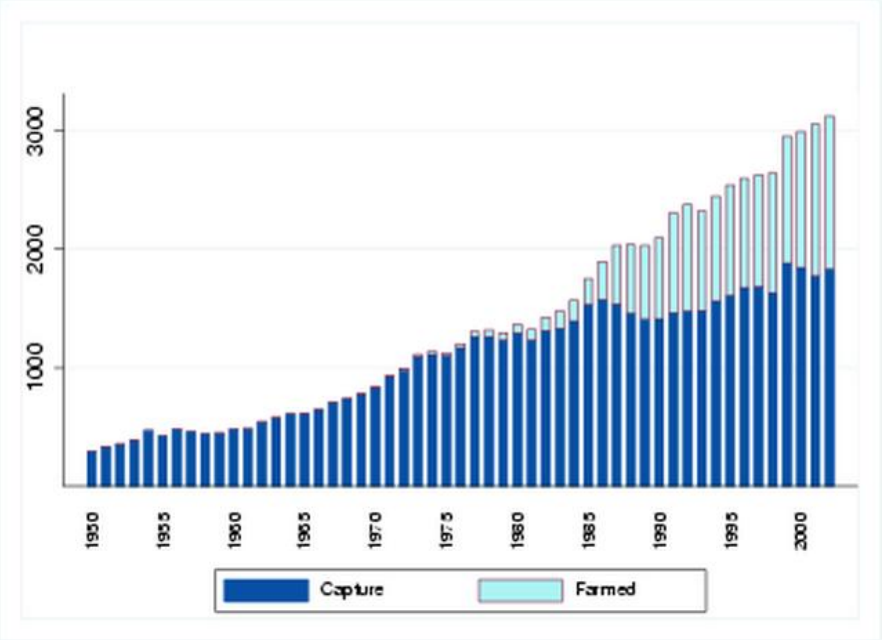


图 3：全球 1950～2002 年养殖与捕捞虾产量。单位为千公吨。数据来自 FAO(2003)。

增殖放流

海洋养殖的另一影响体现在养殖鱼与野生鱼的相互关系。养殖鲑鱼从养殖场逃逸的现象众所周知(Naylor *et al.*，审阅中)。许多科研表明逃逸养殖鱼(尤其鲑鱼)对生态有负面影响，但也有例外(Waknitz *et al*. 2003)。逃逸养殖鱼可引入外来种，增殖放流种群与自然种群的交配也许会减少自然种群的适合度(fitness)(McGinnity *et al*. 2003; Naylor *et al*. 2004)。即使是同种，增殖放流种群的遗传结构常与自然种群的不一样而造成自然种群的适合度降低(NRC 1996; Levin *et al*. 2001; Kolmes 2004)。逃逸养殖鱼的影响也许在认识到时已无可挽回(Naylor *et al*. 2004)。

关于引进种群和自然种群杂交危害的研究集中在鲑鱼。这些溯河洄游种类在淡水产卵，故不在海水网箱繁殖。其它完全海洋种类(如鳕鱼)则在海水网箱产卵(Bekkevold *et al*. 2002)。故这些种类的逃逸规模要比鲑鱼大得多。

鲑鱼同种内不同种群由于长期适应各自产卵流域的环境条件，遗传结构差异。所幸完全海洋鱼种群间的遗传结构要比鲑鱼种群间相似，杂交危害也许较轻。但有些海鱼，如大西洋鳕鱼种群间基因流动很少，遗传结构不同(Ruzzante *et al*. 2001)。

图 4：在阿拉斯加的 Bristol 海域撒网捕捞鲑鱼。

增殖放流和养殖鱼逃逸都可减少野生鱼类的适合度和相对产量。具有讽刺意义的是鲑鱼养殖促使鲑鱼捕捞业提高了其效率(Eagle *et al*. 2004)，但结果是释放更多的养殖仔鱼，以数量来补偿价值。如果养殖真开始取代捕捞，则增殖放流应减少。同时，除非发展新技术来阻止养殖鱼(成体，卵和胚胎)的逃逸，养殖鱼与自然种群的杂交会愈演愈烈。

营养盐

大多数养殖以畜牧业为模式，将大量的动物限在小区域内，用别处运来的饲料喂养。

畜牧业动物的排泄往往无法完全被当地植物吸收，而造成水污染(Aneja *et al*. 2001; Gollehon *et al*. 2001; Mallin and Cahoon 2003)。畜牧业排污是美国北卡罗莱纳州和其它畜牧业发达地区的主要环境问题之一。

网箱和围网养殖的废水直接排入自然海域。鲑鱼养殖排放的营养盐和悬浮颗粒可对局部海区产生严重影响(Goldburg *et al*. 2001)。在水流较急的区域，营养盐被冲稀，而对生态影响较小(Brooks and Mahnken 2003)。这也是鼓励海水养殖由沿海向外海搬迁的原因之一(Marine Research Specialists 2003)。

我们应该对海水养殖发展的潜在影响进行评估。美国海洋大气局的目标是在 2025 年使美国每年养殖生产值达到 50 亿美元。用加拿大大不列颠哥伦比亚省鲑鱼养殖数据为参考，我们可估算 50 亿美元海水养殖产值所排放的氮量。生产一公斤鲑鱼大概释放 0.02 到 0.03 公斤氮(不包括未摄饵料的分解部分)(Brooks and Mahnken 2003)。2003 年大不列颠哥伦比亚省大约生产七万吨鲑鱼，价值约六千六百万美元(Marshall 2003)。氮排放量约为 1435 到 2100 吨。以此推算，50 亿美元养殖产值可排泄大约十万零八百到十五万八千吨的氮。

美国人每人平均一天排氮量为 0.016 公斤(Stipanuk 2000)。用保守估计的每年十万公吨氮为依据，50 亿美元养殖产值的排氮量相当于一千七百一十万人的排泄。每头猪一年大约生产 1.9 吨的排泄物。每吨排泄物包括 12.3 磅(约 5.5 公斤)的氮(Shaffer 2004)。以此推算，美国北卡罗莱纳州养猪业的一千万头猪(USDA 2004)每年排泄大约十万六千公吨的氮，与每年 50 亿美元养殖业排氮量相似。

图 5：大西洋的野生鲑鱼。

另一方面，全球海洋每年生物固氮总量约为一亿两千一百万吨(Galloway 2003)，为每年 50 亿美元养殖业排氮量的 1000 倍左右。所以从整体看，海洋养殖废水对环境的影响有限，但不应忽视，尤其是在养殖业集中而且水流有限的海区。

展望未来

对海洋生态系统来说，一个具有生机的未来必须集捕捞，养殖管理和资源保护为一体。即使养殖已开始取代捕捞，该过程可能是缓慢的。捕捞在相当一段时间内仍是水产品的重要来源。

大幅度改善捕捞管理至关重要(Pauly *et al*. 2002)。现行的管理主要建立在单种鱼类管理，而忽视海洋生态系统内的相互作用。很多科学家呼吁采纳以生态系统为基础的管理方法(NRC 1999; Dayton *et al*. 2002)。随着养殖业的发展，以生态系统为基础的管理愈发重要。这种管理可平衡养殖业和捕捞业对低食物链级鱼类的需求。以生态系统为基础的捕捞管理才起步，尚需大量研究(Pikitch *et al*. 2004)。

改进渔业管理不仅是管理问题。经济(因此政治)因素也担当重要角色。渔业一般为共同资源，渔民没有经济上的理由不过度捕捞(NRC 1999)。要解决这个问题得采取经济手段，如取消政府对渔民的津贴(Milazzo 1998)，实行个人捕捞定额，使渔民有长期捕捞权而愿意保护渔业资源(Fujita *et al.* 1996)，建立个人和企业购买渔业资源管理较好的水产品(Duchene 2004)。虽然渔业的经济，法规，和商业研究不是本文的重点，新管理方法的成功需要生物学者和其它领域的专家共同努力。

图 6：夏威夷深海水族馆内的太平洋鳍鱼(*moi*)。

法规政策对海水养殖的发展很重要。Pew 海洋委员会(The Pew Oceans Commission，2003)呼吁在养殖场地选择，设计和运作符合生态可持续性发展的国家统一标准和需可证件建立之前，海水养殖不应进一步扩展。外海养殖的环境保护标准和逃逸鱼对自然种群遗传的影响等都需要进一步研究。海洋养殖业的创新，大规模海洋养殖对环境的影响的进一步了解有助于养殖业的持续发展。

由于经济等原因，养殖业已开始重视这些问题。饵料是养殖业一重要开销，而野杂鱼价格还在继续上涨。养殖饵料中野杂鱼所占的比例已大幅度下降，而且饵料利用率在增长(尤其鲑鱼)。

养殖可持续性发展的另一途径是挑选食物链低的种类作为养殖对象。贝类，藻类，鱼类和其它种类混养的综合养殖前景光明(Neori *et al*. 2004)。混养系统和种类之间的相互关系(如化废为食)需进一步研究使综合养殖实现商业化(Troell *et al*. 2003)。综合养殖产品的市场研究也很重要，尤其当养殖过程使用化学药品。

最近的一项综合调查显示在 2020 年前商品鱼，鱼饵料，和鱼油的价格几乎肯定会增长，而诸如牛肉，蛋类和疏菜的食品价格则很可能下降(Delgado *et al.* 2003)。鱼类价格的提高可能导致捕捞和养殖业的进一步发展，强化海洋资源的竞争。保护海洋资源也许需要慎重地区划管理。例如，指定某些海域为可使用或不可使用区。设立海洋保护区(在区内禁止捕捞等活动)也许是环保和捕捞管理的一个工具(Lubchenco *et al*. 2003)。但设立海域为养殖或其它活动区的研究还不系统。

海洋捕捞前景暗淡。海洋养殖亦充满挑战。解决海洋捕捞和海水养殖带来的问题，建立长期可持续性的海洋资源发展规划，需要统筹兼顾捕捞和养殖的生态效应。

（林俊达 何 希 译）

致谢

感谢M Burke, S Lamster, L Jantzen, and B Goodman的评论和支持，感谢David和Lucile Packard基金会的赞助。.

参考文献

ADFG (Alaska Department of Fish and Game). 2004. Alaska Salmon Enhancement Program – 2003 Annual Report. Juneau: Alaska Department of Fish and Game.

Aldhous P. 2004. Fish farms still ravage the sea: sustainable aquaculture takes one step forward, two steps back. www.nature.com/nsu/040216/040216-10.html. Viewed 25 June 2004.

Aneja VP, Roelle PA, Murray GC, *et al*. 2001. Atmospheric nitrogen compounds II: emissions, transport, transformation, deposition and assessment. *Atmos Environ* **35**: 1903–11.

Avery D. 1996. Farming: a fish story. *Journal of Commerce* September 27, 1996.

Bekkevold D, Hansen MM, and Loeschcke V. 2002. Male reproductive competition in spawning aggregations of cod (*Gadus morhua*, L.). *Mol Ecol* **11:** 91–102**.**

Brooks KM and Mahnken CVW. 2003. Interactions of Atlantic salmon in the Pacific Northwest environment II.organic wastes. *Fish Res* **62**: 255–93.

CRB (Knight-Ridder Commodity Financial Research Bureau). 1998. Commodity Yearbook. New York: John Wiley & Sons.

Dayton PK, Thrush R, and Coleman FC. 2002. Ecological effects of fishing in marine ecosystems in the United States. Arlington, VA: Pew Oceans Commission.

Delgado CL, Wada N, Rosegrant MW, *et al*. 2003. Fish to 2020: supply and demand in changing global markets. Washington, DC: International Food Policy Research Institute and Penang, Malaysia: WorldFish Center.

DOC (Department of Commerce). 2004. US Department of Commerce Aquaculture Policy. www.lib.noaa.gov/docaqua/docaquapolicy.htm. Viewed 25 June 2004.

Duchene, L. 2004. Eco-buying ups the ante. *Seafood Business* **20:** 1, 22–40.

Eagle J, Naylor R, Smith WL, *et al*. 2004. Why farm salmon outcompete fishery salmon. *Mar Policy* **28**: 259–70.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. The state of world fisheries and aquaculture 2002. Rome, Italy.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. FishStat – Fishery Information, Data and Statistics Unit, Rome, Italy.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. International Commodity Prices website. www.fao.org/es/esc/prices/PricesServlet.jsp?lang=en&ccode. Viewed 25 June 2004.

Fujita R, Hopkins DD, and Willey WR. 1996. Creating incentives to curb overfishing. *Forum for Applied Research and Public Policy* **11**: 29–34.

Galloway JN, Dentener FJ, Capone DG, *et al.* 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry* **70:** 153–226.

Goldburg RJ, Elliott MS, and Naylor RL. 2001. Marine aquaculture in the United States. Arlington, VA: Pew Oceans Commission.

Gollehon N, Caswell M, Ribaudo M, *et al*. 2001. Confined animal production and manure nutrients. USDA ERS Agriculture Information Bulletin No. 771. 40 pp, June 2001

Hardy RW. 2001. Urban legends and fish nutrition, part 2. *Aquaculture* **27**: 57–60.

Hedlund S. 2004. Antidumping cases cloud shrimp market. *Seafood Business* **23**: 1, 12.

Hilborn R, Branch TA, Ernst B, *et al.* 2003. State of the world's fisheries. *Ann Rev Env Resour* **28:** 359–99.

Kolmes SA. 2004. Salmon farms and hatcheries. *Environment* **46**: 40–43.

Kurlansky M. 1997. Cod: a biography a fish that changed the world. New York: Penguin Books.

Levin PS, Zabel RW, Williams JG, *et al*. 2001. The road to extinction is paved with good intentions: negative association of fish hatcheries with threatened salmon. *P Roy Soc Lond B* **268**: 1153–58.

Lubchenco J, Palumbi SR, Gaines SD, *et al.* 2003. Plugging a hole in the ocean: The emerging science of marine reserves. *Ecol Appl* **13** Supplement 2003, S3–S7.

Mallin, MA and Cahoon LB. 2003. Industrialized animal production – a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems. *Popul Environ* **24**: 369–85.

Marine Research Specialists. 2003. Hubbs-Sea World Research Institute Platform Grace Mariculture Project final report.

Marshall D. 2003. Fishy business – the economics of salmon farming in BC. BC Office: Canadian Center for Policy Alternatives.

McGinnity P, Prodohl P, Ferguson A, *et al*. 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. *P Roy Soc Lond B* **270**: 2443–50.

Milazzo M. 1998. Subsidies in world fisheries: a reexamination. World Bank Technical Paper No. 406.

Myers RA and Worm B. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* **423**: 280–83.

Naylor RL, Goldburg RJ, Primavera JH, *et al*. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* **45**: 1017–29.

Naylor R, Eagle J, and Smith W. 2003. Salmon aquaculture in the Pacific Northwest: a global

industry with local impacts. *Environment* **45**: 18–39.

Naylor R, Hindar K, Fleming I, *et al*. Fugitive salmon: assessing risks of escaped fish from aquaculture. In review.

Naylor R, Eagle J, and Smith W. Response of Alaska fishermen to aquaculture and the salmon crisis. *Proceedings of the American Fisheries Society*. In press.

Neori A, Chopin T, Troell M, *et al*. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture* **231**: 361–91.

NPAFC (North Pacific Anadromous Fish Commission). 2004. 2001 Statistics Tables. www.npafc.org. Viewed 25 June 2004.

NRC (National Research Council). 1996. Upstream: salmon and society in the Pacific Northwest. Washington, DC: National Academy Press.

NRC (National Research Council). 1999. Sustaining marine fisheries. Washington, DC: National Academy Press.

Pauly D, Christensen V, Guenette S, *et al*. 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* **418**: 689–95.

Pew Oceans Commission. 2003. America's living oceans: charting a course for sea change. Arlington, VA: Pew Oceans Commission.

Pikitch EK, Santora C, Babcock EA, *et al.* 2001. Ecosystem-based fishery management. *Science* **305**: 346–47.

Powell K. 2003. Fish farming: eat your veg. *Nature* **426**: 378–79.

Ruzzante DE, Taggart CT, Doyle RW, *et al*. 2001. Stability in the historical pattern of genetic structure of Newfoundland cod (*Gadus morhua*) despite the catastrophic decline in population size from 1964 to 1994. *Conserv Genet* **2**: 257–69.

Shaffer KA. 2004. Livestock manure production rates and nutrient content. North Carolina Agricultural Chemicals Manual. College of Agriculture and Life Sciences, North Carolina State University.

Stipanuk, MH. 2000. Biochemical and Physiological Aspects of Human Nutrition. Philadelphia, PA: WB Saunders.

Tacon AGJ. 2003. Sustainable aquaculture feeds: an overview and global perspective. Abstract, SEAfeeds Workshop, April 2003, Stirling, Scotland.

Troell M, Hallig C, Neori A, et al. 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. *Aquaculture* **226**: 69–90.

USDA (United State Department of Agriculture). 2004. National Agricultural Statistics Service. 2002 Census of Agriculture – State Data, Table 12.

www.nass.usda.gov/census/census02/volume1/us/index1.htm. Viewed 23 June, 2004.

Waknitz, FW, Iwamoto RN, Strom MS. 2003. Interactions of Atlantic salmon in the Pacific Northwest IV. Impacts on the local ecosystems. *Fish Res* **62**: 307–28.

Watson R and Pauly D. 2001. Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature* **414**: 534–36.

sWeber ML. 2003. What price farmed fish: a review of the environmental and social costs of farming carnivorous fish. Providence, RI: SeaWeb Aquaculture Clearinghouse.

生态学理论对加强传染病控制和制定公众健康政策的指导作用

KF Smith, AP Dobson, FE McKenzie, LA Real, DL Smith, and ML Wilson
《Frontiers in Ecology and the Environment》.2005, Vol. 3:29-37

摘要：通过国际公众健康组织的努力，以及生物科学技术的进步和发展，我们对传染病的预防、控制或者局部地区的根除，并有可能从根本上消灭传染病（现有一例），已经获得相当大的成功和进展。但是，我们的每一个成功和进步都伴随着新的病原体的出现，新菌种的进化，以及新的传染病环境的改变，这对于传染病的控制带来新的挑战。为了应对不断增长的新的传染病的出现和生物恐怖主义，我们必须竭尽全力创立和推行预防和控制传染病的各种可行计划，扼制传染病病原体的传播。而生态学理论和传染病科学技术应成为全球未来建立预防和控制传染病可行项目的理论基础。

绪论

在二十世纪下半页，由于卫生条件的改善、诊断技术的提高、以及新的药物和疫苗的开发，使发达国家大大降低和抑制了致命传染病的传播。但是，今天传染病仍然是世界上造成人类死亡的主要祸首。随着新世纪生物恐怖的威胁、人口的急剧增长和极端贫困所造成传染病的扩散等等，都证明对传染病的预防和控制还任重道远。现在，也许比任何时候都需要用生态学的科学理论指导和制定一系列的预防和控制传染病的可行计划。目前，理论生态学大量的研究成果已经对制定和实施这些计划产生深远的影响（表 1）。本文将讨论和阐述理论生态学的进展对全球范围内传染病防治的指导和影响，并列举一些典型的范例。虽然我们仅详细论述了四个典型范例，但类似的范例却很多（表 2，并请参考网站资料）。我们认为，公众健康机构和非政府组织在制定和实施各种健康计划时，应更加注重生态学理论的指导；同时，理论工作者也应加强和扩大他们的研究领域，开创传染病生态学的研究。

核心内容：

- 理论生态学的发展对于人类、畜牧和野生动物传染病的控制具有重要的指导作用。
- 随着新的传染病的出现和老传染病的扩散，人类对医疗设施、服务、保健、防疫等需求将不断增加。
- 虽然分子生物学和遗传学对传染病的起源和病理的诠释极为重要，但对传染病生态学、以及病原体和寄主的相互关系的研究，包括对病原体的传播和疾病的传染的分析，才是传染病控制成败的关键。

研究传染病发生和流行方面的三个理论学派

目前，在研究传染病的发生和流行方面有三个相互关联和相互重叠的理论学派。第一种理论学派以著名的医学科学家帕斯特（Pasteur），柯克（Koch）和俄利兹(Ehrlich)为代表。他们着重于个体病人对病原体的抵抗能力。他们认为，传染病是由某一病原体感染侵袭某一病人的过程和结果。这一理论学派重视的是个体或者说是一个个的病人而不是群体。因此，这一学派的目的是要找出某一种理想的药物医治某一种传染病的每一个病人或研制疫

苗来防止某一种病原体的感染。这一学派致力于在寄主或病人群体中阻止病原体的传染和减缓有机体对传染的病理反应。这一学派在上一个世纪有许多成功的经验，历史上很多传染病的防治和消灭都是以这一理论基础为指导的。

第二种理论学派以传染病学科学家为代表。他们着重于寄主和病原体在一个系统中的相互作用，强调传染病在种群水平上的动态格局，以及在这一系统和动态格局中每一个生物个体的作用。传染病学往往更多地努力发掘环境、习性和基因之间相互影响和发病的统计学分布格局。这一学派采用危险系数的方法进行统计分析。许多研究都努力得出一个单一概率，在特定条件下预测疫情发生的概率。危险系数的分析对于管理者和决策者来说是很有用的。如果我们知道某一种行为和习性会比别的行为和习性感染上传染病的可能性要高许多的话，我们就可以教育人民如何注意自己的行为和习性，减少染病的可能性。这对于制定决策是非常重要的。但对于每一个个人，我们仅能估计其染病危险性的可能性大小。

在 19 世纪 80 年代初期，生态学家创立了另一种理论学说，这一学派研究病原菌和寄主之间的关系并不仅仅是一种统计学分布，而是遵循病原体和寄主间自然生态学和进化动态的第一定律。按照这一定律，传染病的出现是一个基本的生物学过程（如，基因突变、基因漂移、接触和传染率等等）。这一过程可以用模型来模拟和预测病原体种群的扩散和传染病的分布格局。这一模型是生态学和进化论最直接的成果。模型一般采用微分方程来表达生态学过程第一定律，模拟传染病的时间和空间格局。由于这一模型是以生物学过程为基础，它不仅能预测传染病的分布也能帮助我们了解和解释传染病发生的机制和传播途径。

这三个理论学派并不是一种学科进化过程，而是同时发展的、共存的、相互补充的理论框架。从生态学的角度来看，危险系数强调种群异质性。所以我们可以将统计分析科学的概率系数和病情发生的可能因素与第一定律模型结合起来，为生态动态模型提供参数。另外，比如，我们可以用种群基因和动态模型来理解和预测抗菌类药物的进化及其抗性，及时对病人提供药物使用的科学依据。因此，至关重要的是我们必须将这三个理论学派的实际工作者和研究人员结合在一起，共同努力加强对传染病预防和控制。

表 1：生态学理论对传染病控制和预防的重要贡献：

过去：

- 确定病原体传播敏感的循环周期。
- 确定病原体种群生长率限制的敏感阶段。
- 建立疫苗有效期和用量的方案。
- 确定病原体对抗生素的抗性。
- 确定病原体扩散的空间分布格局。
- 理解寄主免疫系统的动态。
- 确定寄主的种群特性对病原体扩散的影响。
- 理解群落大小的临界值和免疫力。

现在和将来：

- 利用寄主种群群体大小和分布预测传染病的出现与分布。
- 利用生态学和进化动态理论预测寄主和病原体的互动关系。
- 利用时间系列分析方法预测传染病扩散在时间分布上的波动性。
- 做好生物学防治的规划。
- 确定对传染病防治资源的有效性和充足性的安排和分布。
- 采用“游戏结束”方式，确定终止某一传染病控制项目的合适时间。

病原体的理论分类学

理论生态学派的模型是建立在所模拟的种群其生物学过程的数量化基础上的。当生态学家用模型来理解和解释新病原体的动态过程时，他们往往非常重视病原菌个体的数量、平均年龄、潜伏期、病原体与寄主的接触和感染率，以及免疫周期，而忽略感染的具体机制。这种研究方法往往导致一系列的不同等级层次的模型的发展，以模拟各种不同的病原体、不同寄主的群体习性和相对应的传染扩散动态的复杂性。病原体的生态相似性也是数量模型相似性的反映。

病原体的生态学分类可以区分为两大组合：微寄生类和大寄生类。微寄生类包括病毒、细菌、原生动物、传染性海绵状脑病朊蛋白(prions)等。对它们的研究成果主要包括一系列的框架模型模拟寄主种群动态和特征。最先的研究有理论传染病学家 Kermack 和 Mckendrick（1927，1932，1933）的工作。在他们的研究中，寄主种群是由种群感染、传染、致死（或恢复和免疫）的数量来表达。Kermack—Mckendrick 模型或者是 SIR 模型能帮助我们理解病原体扩散和被抑制的动态。对于大寄生类，它包括各种寄生虫、虱子、跳蚤等，这一类模型就较为复杂。它模拟每一个寄主个体内寄生虫的个体数量以及寄生虫在寄主种群中的统计分布。其基本原因是由于大多数大寄生种群（特别是寄生虫）都集中在寄主种群的一小部分群体内（参见相关网络，以及蠕虫病），这一类复合模型的框架是由寄生虫生态学家 Croflon（1971a,b）和 Tallis（Tallis and Leyton 1966；Tallis and Donals 1970），首先提出，并由 Anderson 和 May（1978；May and Anderson 1978）以及他们的研究小组充实和完善。

当微寄生和大寄生模型建立后（具体实例在下面逐一列举），则是一个逐步补充、细节化和完善这些模型的过程。值得强调的是，当许多节肢动物传染媒介传播人类传染病，并出现动物病原体库时，这就大大提高了这些模型的复杂性（Wilson 2001）。应该提出，所有这些模型与许多生态模型都有很多的共同之处，比如，这些模拟的种群都有其特殊的分布格局（Hanski 1997；Dobson 2003）。下面，我们具体描述一些主要的传染病实例：

麻疹

我们对传染病的传播动态的认识和控制，许多方面来自对麻疹的研究和控制。并主要来自 Kermack 和 Mckendrick（1927）开创性的工作。随之，他们的研究引起许多数学家的兴趣。到 19 世纪 50 年代，Bartlett 用三个模型来描述麻疹在城市和乡村环境的不同传染格局。其重要结论性成果是人口的大小（CCS）对麻疹传染病的流行有一个临界值，超过这个临界值麻疹的爆发将不可阻挡。Bartlett 并用经验公式具体计算出麻疹传染的人口大小的临界值在 50 万左右。他认为，由于麻疹传染的突发性和随机性，不可能用确定性模型来估算人口大小的临界值（Bartlett 1960，1957）。人口大小临界值对于制定防疫政策是非常重要的概念。它为麻疹、流行性腮腺炎、水痘、牛瘟（类似于人类麻疹的“牛麻疹”）等免疫计划都有重要的指导意义（Plowright 1967，1982）。因而提出防疫的重点放在降低人口大小于临界值以下。防疫的另一个重要概念是“群体免疫”，即一个群体的个体都得于免疫（自然的或人工疫苗），这就形成“群体免疫”的社区。“群体免疫”因传染病和感病群体不同而异，但其基本原理是将新染病的个体的可能性减少到 1 以下（详见如下，Fine 1993）。

麻疹和其他儿童传染病的研究在确定性模型的框架下也有很大的进展。但这一进展并没有包括重要的寄主种群大小的假设，而且限定种群大小为不变的常量（Anderson and May

1982；Anderson and Grenfell 1986）。起先，这些研究着重于对传染病的周期、病原体潜伏期和感染周期的描述，这一研究，进一步发展了以年龄、性别结构为基础的模型。这些成果，对于在防疫工作中对不同年龄组和不同寄主的免疫起了非常重要的指导作用。这些原则也对 HIV 艾滋病的防疫模型的建立有很大的影响。这些还原则强调传染病的扩散过程中，病原体的传播存在着异质性。无疑，麻疹的传染和传播的时间和空间模型不断发展，为我们理解麻疹的传染分布动态和其他传染病的传播确定了重要的理论基础（Anderson *et al*. 1984；Bolker and Grenfell 1995；Keeling and Grenfell 1997；Grenfell and Bolker 1998；Grenfell *et al*. 2001；Bjornstad *et al*. 2002）。

表 2：理论生态学应用于传染病控制和预防的补充（详见互联网介绍）

传染病	生态学理论应用	对公众健康的影响
小儿麻痹症	群体免疫和终止计划。	目前消除了小儿麻痹症，并宣布 2004 年为全面控制其传播和控制计划终止。
疟疾	Ross 和 Macdonald 的病原体传播与蚊子繁衍模型，Garki 疟疾传播与人口模型。	1955～1969 年 WHO 倡导的 DDT 灭蚊运动，用 Garki 模型指导灭虫剂和药物的利用。
血吸虫病	Hairton 和 Cohen 的寄主和寄生种群动态格局模型确定了防疫过程中阻止传染最有效的传播周期。Anderson 和 May 关于感染蜗牛的空间聚集分布和季节的相关模型成为控制传播的科学基础。	19 世纪 80 年代 WHO 灭螺运动最大限度地减少了血吸虫病在非洲的传播。目前模型研究的进展，帮助 WHO 对不同病虫害控制和防疫，尤其是生物控制和教育方面都发挥了积极作用。
SARS	用模型预测接触传染的百分比（SARS 为 5～10%），这对于在症状出现前的防治和确定防疫战略有重要意义。	当病情爆发时，重要的是将病患者隔离并追踪查找与病患者接触的人，及时将他们隔离观察。
蠕虫病	Croflon 和 Anderson，以及 May 的模型都指出，大部分的蠕虫病患者都集中在密集的一小部分群体之中。	具体的防治计划集中分析为什么某些个体容易染病以及如何将主要精力放在这些个体或年龄组上，以达到防治的最佳效果。
河盲症（盘尾丝虫病）	ONCHOSIM 模型模拟人与寄生虫种群密度相互作用。染病群体的动态，杀虫剂和化学药剂的防治作用。	OCP 成功地在非洲国家控制了河盲症。今天，这一传染病已经不再对公众健康造成危害，其病原体已基本消灭。

口蹄疫

过去的几年里出现了许多种严重影响人类健康和经济利益的病原体。英国爆发的口蹄疫（foot and mouth disease, FMD）不仅严重影响了与农业有关的社区，并且影响到了到农村旅游的人群（(Ferguson *et al*. 2001; Keeling *et al*.2003)。SIR 模型（将人群划分为易感人群 S，染病人群 I 和免疫人群 R 的传染病模型）能够描述口蹄疫在一个农场内的家畜间的动态，但在这种情况下农场间的传递更为重要。因为任何一个农场发现口蹄疫都会导致该农场所有家畜的清除，所以农场间的传递实际上是一个 SI 模型。

理解英国口蹄疫的流行要优先考虑两件事情。首先，要找出估计 R_o 的方法。R_o 是指一个传染源引入全部由易感个体组成的群体后所能直接传染的平均个体数。R_o 是研究传染性疾病生态学所必需的一个基本变量。它不仅决定了疾病的传播，还和疾病的长期行为及

部分或全部消除传染病所必需的疫苗免疫有关。简单的讲，R_o 可以看作是一个群体相对于某种传染病的风险指数。其次，迅速了解传染病在空间上的传播也非常重要。从流行病学公共政策的角度上看，它的流行很不寻常。明显的一个事实是，已有的政策在疾病爆发的短短两个星期内就已经不能有效的解决问题了。这促使英国食品标准署主席 John Krebs 爵士组织了一个传染病生态学家小组来研究这个问题。这些生态学家主要着重于找到估计农场间的 R_o 的方法。他们初步估计每个染病农场会传染 3 到 5 个农场（Woolhouse 2001）。这些生态学家在教育媒体（也就是大众）和政策制订者把 R_o 降低到小于 1 的重要性方面做的也非常出色有效。很快他们就发现，将 R_o 降低到 1 以下的最好的方式就是启动更严格的措施在发现病原体后尽快确定被感染的（及相邻的）农场。被感染的农场里的家畜很快被挑出并被处死，一段时间里，媒体上充斥着象图 1 一样可怕的照片。

图 1：正在焚烧被感染上口蹄疫的牛。

由于关于英国农场大小及分布的数据库的信息不足，对口蹄疫空间动态的详细量化研究严重受阻。所有的数据都需要进行更新和确认，而这都需要宝贵的时间（具有讽刺意味的是，美国现有的关于农场大小和分布的数据比英国还少）。尽管如此，他们还是很快确定了两类可能的空间传染方式：一类是相邻农场间的通过空气中的污染物的近距离传播；另一类通常是由农场主，兽医或他们的被污染的车辆移动所造成的远距离的传播。这导致采取更严厉的控制移动的措施和杀死围绕被感染农场的家畜的政策（图 2；Ferguson *et al*. 2001a,b; Keeling *et al*. 2001, 2003）。所有的这些措施在口蹄疫爆发的一个月后就已经开始实施。这是生态流行病学能够对危机做出反应的一个很好的例证。等控制措施一开始生效及 R_o 刚开始下降，他们就开始尝试预测什么时候这次爆发能够结束。

英国口蹄疫的爆发为公共政策及对付以后的传染病爆发提供了一些有益的教训。对这次疾病流行进程的回顾性的计算表明最初两个星期的拖延有可能最终导致感染数和被杀死的牛和羊的群数翻番。所有这些都说明应该让生态学家更早的介入。

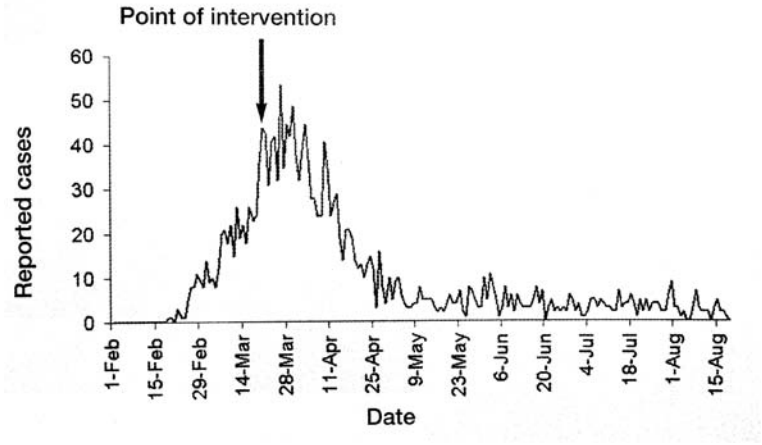


图 2：英国 2001 年口蹄疫爆发时被感染的农场个数及开始对染病家畜扑杀和限制移动的时间。改编自 Keeling *et al.* 2001

狂犬病

能从家畜或野生动物寄主传播到人类的病原体是当今世界上很多新出现的传染病的罪魁祸首，它们包括 SARS（非典）、埃博拉病毒、美国西尼罗河病毒、及最近在东南亚鸟类中爆发的 A 型流感(H5N1)等。因为这些能从动物传播到人类的传染病在保护生物学，动物管理及商业等方面都有重要的影响，他们的预防与控制受到很大的重视。

数学模型极大地影响了许多全球控制狂犬病的行动，其中包括正在欧洲流行的狐狸狂犬病和美国东部流行的浣熊狂犬病。尽管宠物防疫使宠物和人类中的狂犬病病例极少，我们对野生动物狂犬病的控制仍然非常有限。多年以来，把野生动物密度降低到能维持疾病的传播以下是唯一实施过的控制措施（Anderson *et al*. 1981）。最近，新开发出的口服狂犬病疫苗（ORV）被应用到野生动物上来控制该疾病。这被广泛应用于狂犬病传播浪潮的前沿来创造一个易感个体密度足够小的区域来阻止疾病的继续传播。评估口服狂犬病疫苗与扑杀的效比的数学模型表明最经济的策略是单独实施疫苗免疫或扑杀。只有当免疫单个个体的成本小于或等于扑杀单个个体成本的五分之一的时候同时使用疫苗和扑杀才会比单独使用扑杀在经济上更合算（Coyne *et al*. 1989）。在欧洲、加拿大和美国，尽管分发口服狂犬病疫苗已经成为控制野生动物狂犬病的一个选项，正在进行的研究还是表明其长期效果上并不一定成功（Smith and Coyne pers comm）。

在与大量狂犬病病例的 GIS 制图相结合后，数学模型对于预测狂犬病在野生动物中的传播及帮助减小未来的疾病流行范围等方面都非常有效（Murray *et al*. 1986; Russell *et al*. 2004; Smith *et al*. 2002）。特别是空间模型还被应用到防疫地带的设计上。这些防疫地带要能够做到最小花费的同时尽量对野生动物影响最小，并且还能有效阻止狂犬病的传播。同时，空间模型也表明狂犬病的传播速度和野生动物的种群密度有关。在英国，这些模型被用来和狐狸的密度数据结合起来研究狐狸狂犬病的流行（Murray *et al*. 1986）。但进一步的分析表明，这些研究都是基于对狐狸扩散的不完整或不正确的假设。例如，虽然狐狸极少进行长距离的移动，但一旦有长距离的移动就有可能导致狂犬病在不同防疫地带间的传播（Mollison 1986）。美国农业部将英国的空间网络模型修改后用来指导对浣熊狂犬病的监视以及预测它由美国东部向西部扩展时可能爆发的新地区（图 2，Smith *et al*. 2002; Russell *et al*. 2004）。

艾滋病毒及艾滋病

艾滋病缓慢但无情的传播造成了全球性的保健危机（Anderson 1988; Anderson *et al*. 1988; Garnett and Anderson 1993; May and Anderson 1988）。生态学家的工作促进了我们对艾滋病毒怎样传播，病毒感染动态及感染者免疫系统作用 的理解（Nowak *et al*. 1991）。在艾滋病流行的初期，理论生态学提供了在公共卫生上的两点关键认识。第一个强调了确定潜伏期和有传染力的时期长短的重要性（Anderson 1988; Medley *et al*. 1987; Blythe and Anderson 1988）。因为一个有传染力的个体所能传染的人数和这个时期的长短有关，所以能够预测有感染力的时期的长短对于象艾滋病毒这样通过性传播的疾病非常关键。但是，在艾滋病流行的初期来估计其潜伏期的长短在统计学上是一个很大的挑战，因为只有那些知道自己何时被感染和何时发病的病人的数据才有用（Medley *et al*. 1987）。第二个决定艾滋病传播与流行速度的因素是与染病者有性接触的人数（May and Anderson 1988; Anderson *et al*. 1986）。一个关键的认识就是有很多性伴侣的染病者在很大程度上影响了艾滋病的传播。这就意味着降低艾滋病的传播在很大程度上依赖于减少与在性方面最活跃的艾滋病携带者进行有效性接触的人数。了解这些接触者人数的不同对在非洲和印度创建艾滋病传播的预测模型非常关键，事实证明这些模型都特别准确（Anderson 1988; Garnett and Anderson 1993; May 2003 ）。

直到 20 世纪 80 年代后期，美国主要有三类策略来治疗艾滋病：机会性感染治疗，恢复和加强免疫能力，及抗病毒的化疗（Grmek 1990）。但到了 90 年代，理论流行病学的发展提供了两种控制艾滋病毒的新策略：联合疗法和针头交换项目。对艾滋病人体内病毒复制的研究发现免疫系统调节病毒复制的能力随病毒株多样性的增多而降低，而感染时间越长病毒株就会越多样。这就是说，艾滋病毒和免疫系统实际上组成了一个捕食者——猎物系统（(Nowak *et al*. 1991)。在这个概念的基础上，Wodarz and Nowak (2002) 建立了关于艾滋病发病机理和治疗的数学模型来理解艾滋病毒感染和治疗的动态过程。基于这些模型的实验结果表明早期的化疗能对艾滋病毒和免疫系统间的动态产生实质性的影响，并且能实现对病毒的持续控制（Wodarz and Nowak 2002）。这项研究表明我们有可能通过改变治疗时间来实现将艾滋病毒长期控制在无症状的时期。在 90 年代中期，当发现联合化疗能通过抑制病毒来降低死亡率后，基于这些模型的结果，人们开始在艾滋病人感染初期来使用联合疗法（Pomerantz and Horn 2003）。

针头交换项目是指给注射毒品使用者（IUDs）分发干净的针头并安全处置用过的针头。尽管争议很多，针头交换项目还是被大力提倡以减少艾滋病毒在注射毒品使用者中间的传播。但是，美国绝大多数州的法律都禁止拥有或分发使用毒品的用具。此外，有 10 个州以及哥伦比亚特区还规定必须有医生的处方才能购买针头或注射器（Gostin *et al*. 1997）。这些法律的后果就是因为害怕被警察骚扰或者逮捕，越来越多的毒品使用者共享针头（Gostin *et al*. 1997）。在 90 年代中期，建立了两个重要的关于针头交换项目的可能性模型，他们的数据来源于美国康涅狄格州新海文市（New Haven）卫生局艾滋病处的一个合法的针头交换项目。通过记录毒品使用者每次访问的时间及监测针头的感染情况，第一个模型估计了参加项目的毒品使用者感染艾滋病的频率（Kaplan and Heimer 1994; Kaplan 1995）。在早期关于相对影响的模型的基础上，第二个模型估计了由于针头交换而导致的艾滋病感染数绝对下降的次数（Kaplan 1994; Kaplan 1995）。这些模型揭示出针头交换项目从始至终都降低了艾滋病毒在项目参加人员中的传播（Kaplan 1995）。不仅如此，基于新海文市数据的另外的模型还预测说针头交换项目能防止艾滋病在毒品使用者、他们的性伙伴及他们的子女中的传播。每避免一个艾滋病感染大概要花费 9400 美元，而这远远低于终生治疗一个艾滋

病患者的 195188 美元的花费(Lurie and Reingold 1993; Holtgrave and Pinkerton 1997; Lurie and De Carlo 1998)。这些模型及新海文市研究的结果在许多场合被展示给美国及国外的公共卫生政策制定者（Kaplan 1995）。和其他针头交换项目的结果一样，新海文市的模型对大城市（象巴尔地摩，纽约，旧金山等）的政策制定起到了很大的作用（Kaplan 1995）。

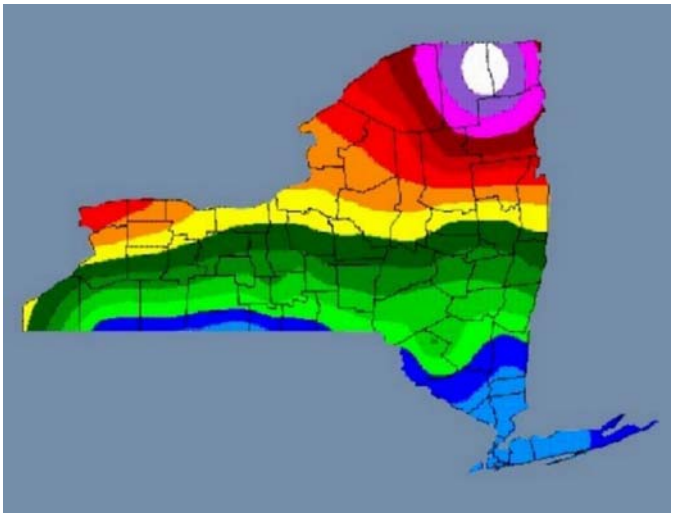


图 3：纽约州各地浣熊狂犬病出现的时间。不同颜色代表了狂犬病的传播，蓝色代表狂犬病最初出现的地区，白色代表没有狂犬病的地区。色带的宽度代表狂犬病传播的速度。窄的色带表明传播慢，宽的色带表明传播速度快。

结论

生态学家最初对人类传染病感兴趣是因为它们能提供丰富的数据来检验寄主——病原体相互关系中关于种群动态的数学模型。很快他们就发现控制传染病的尝试可以被看作是实验性的干涉，这些干涉的效果可以用来作为模型的参数或检验模型所基于的假设。也许最重要的是，这些模型可以作为一种新颖的方法来检验公共卫生措施对疾病控制的效果，并且最终有益于对各种免疫项目或其他措施的可能实行方式的评估。以上的例子证明，疾病的预防和控制依赖于公共卫生官员对种群生态学知识的应用。这使得人们越来越认识到理解传染病的动态不仅是一个医学问题，也是一个生态学问题。此外，以后的公共卫生行动也应该考虑疾病生态学研究的结果。

由于所有生态系统所固有的内在异质性，确认并集中控制疾病传播中远超自身比例的个体（或地点）可能会有相当可观的好处。在许多系统中，20％的个体可能占疾病传播的80％（20:80 法则）（Woolhouse *et al*. 1997）。确定这些个体是以后疾病生态学研究的关键部分及许多干涉项目的重要组分。在这个领域中，新的分子遗传学手段非常关键，同样关键的还有把数学和生态学的模型与从病原体系统动态学（综合了免疫动态学、流行病学、进化生物学来研究寄主个体和种群中多样的病原体系统发生的新学科 Grenfell *et al*. 2004）发展而来的新的遗传学手段相结合。这些手段的结合，再加上新知识的有效应用，应该会有助于改善现在及将来的疾病控制措施。

随着新传染病的出现及旧传染病的流行，对监控信息学、疫苗的研制及发放、还有医药工业的要求会越来越多。同样，生物恐怖主义的威胁也要求我们理解恐怖袭击爆发所能影响的范围及确定和实施最佳控制策略来尽量降低爆发的影响（Ferguson *et al*. 2003）。这

些威胁的紧迫性又会明显增加对国内及国际社会的压力。负责制定疾病控制措施的公共卫生机构不能不重视传染病学及流行病学上已有的或正进行的理论研究结果。除了文中描述及表 2 中列出的例子以外，理论生态学还促进了世界上许多其他阻击传染病行动方案的形成及实施。这其中包括疯牛病（Anderson *et al*. 1996; Ghani *et al*. 2003）、炭疽病（Webb and Blaser 2002）、天花（Kaplan *et al*. 2002）等等。我们希望这些成功的例子能促进政策制定者、公共卫生从业者、及理论生态学家在共同努力控制传染性疾病在人类、家畜及野生动物中传播的过程中进行更加紧密的合作。

框注1：站在血吸虫病控制前沿的生态学家Nelson Hairston, Sr.教授

Nelson Hairston Jr

Nelson Hairston, Sr是应用生态学手段来理解和控制人类寄生虫病的先驱。他通过自己一系列的偶然发现来尝试将这些传统上被认为是截然不同的学科结合在一起。Nelson Hairston, Sr在他导师RE Coker的督促下，在北卡罗来纳大学拿到了生物学学士和硕士学位，然后他又到西北大学师从Orlando Park 攻读博士学位。在Park的建议下，他开始了对阿巴拉契亚南部山脉的蝾螈群体进行了开创性的研究。

仅过了一年，Hairston在二次世界大战开始的时候就参了军。经过Walter Reed军事医学中心的寄生虫学培训后，他作为一个军官被分配到太平洋西南地区从事疟疾预防工作，先是在澳大利亚，后来又到新几内亚。就是在那儿他获得了大量的关于疟原虫生活史及各种治疗方法的经验。他及他的同事们还研究了当地村庄疟疾的发病情况及传播速度。在美国入侵菲律宾以后，他的部队还在菲律宾研究了血吸虫病、血吸虫的生活史及可能治疗方法。

战争结束以后，Hairston回到美国完成了他关于蝾螈生态学的博士论文，并且在密歇根大学得到一个教职。尽管他是一个生态学家，但他主要的职责之一是教授一门寄生虫学。他在密歇根大学呆了4年后接受世界卫生组织的邀请到菲律宾进行为期2年的控制血吸虫病的研究工作。他的任务是研究血吸虫中间寄主钉螺的生态学。正是在这个时期，Hairston完全的把他在生态学和寄生虫学上的兴趣结合在了一起。他认为如果能把钉螺种群大小降低到使血吸虫种群不能自我维持的程度的话，就应该有可能消除血吸虫病。为了确定钉螺种群的最小关键值，就需要把血吸虫的生活史和由种群大小决定的寄主相遇概率结合在一个简单的数学模型中。通过这种方法，他将生态学手段引入了这个一直被认为医学问题的领域。

Hairston的研究为以后Joel Cohen，Roy Anderson，和 Robert May等人的创造性的工作奠定了基础。他们一起推进了对血吸虫生态学的研究并对以后血吸虫病控制行动的形成及付诸实施都产生了很大影响（见网上资料）。

*Nelson Hairston Jr*是康乃尔大学环境科学的*Frank HT Rhodes*荣誉教授。

致谢

这个项目由全球变化及传染性疾病工作组负责实施（项目负责人：ML Wilson and LA Real）。项目的建立得到了国家生态学分析与综合中心（National Center for Ecological Analysis and Synthesis）（国家科学基金（NSF）支持，资助号#DEB-0072909）、加州大学（University of California）、及加州大学圣塔芭芭拉分校（UC Santa Barbara）的资助。另外 Katherine F Smith 得到了国家科学基金研究生科研奖学金及 Switzer 环境奖学金的资助。备注 1 得到了 Nelson Hairston Jr 和 Nelson Hairston Sr 的帮助。

（刘 峰、武昕原、伍业钢 译）

参考文献

Anderson RM. 1988. The role of mathematical models in the study of HIV transmission and the epidemiology of AIDS. *J Acq Immun Def Synd* **1:** 241–56.

Anderson RM and Grenfell BT. 1986. Quantitative investigations of different vaccination policies for the control of congenital rubella syndrome (CRS) in the United Kingdom. *J Hyg-Camb* **96:** 305–33.

Anderson RM, Grenfell BT, May RM, *et al.* 1984. Oscillatory fluctuations in the incidence of infectious disease and the impact of vaccination: time series analysis. *J Hyg-Camb* **93:** 587–608.

Anderson RM and May RM. 1978. Regulation and stability of host–parasite population interactions-I. Regulatory processes. *J Anim Ecol* **47:** 219–47.

Anderson RM and May RM. 1982. Directly transmitted infectious diseases: control by vaccination. *Science* **215:** 1053–60.

Anderson RM, May RM, McLean AR, *et al.* 1988. Possible demographic consequences of AIDS in developing countries. *Nature* **332:** 228–34.

Anderson RM, Medley, GF, May RM, *et al.* 1986. A preliminary study of the transmission dynamics of the human immunodeficiency virus (HIV), the causative agent of AIDS. *IMA J Math Appl Med* **3:** 229–63.

Bartlett MS. 1957. Measles periodicity and community size. *J Roy Stat Soc A* **120:** 48–70.

Bartlett MS. 1960. The critical community size for measles in the US. *J Roy Stat Soc A* **123:** 37–44.

Bergquist NR, Gryseels B, and Guyatt H. 1996. Epidemiological modeling in schistosomiasis control. *Am J Trop Med Hyg* **55:** 101–75.

Bjørnstad O, Finkenstadt B, and Grenfell BT. 2002. Dynamics of measles epidemics: estimating scaling of transmission rates using a time series TSIR model. *Ecol Monogr* **72:** 169–84.

Blythe SP and Anderson RM. 1988. Distributed incubation and infectious periods in models of the transmission dynamics of the human immunodeficiency virus (HIV). *IMA J Math Appl Med* **5:** 1–19.

Bolker B and Grenfell B. 1995. Space, persistence and dynamics of measles epidemics. *Philos T Roy Soc B* **348:** 309–20.

Brochier B, Kieny MP, Costy F, *et al.* 1991. Large-scale eradication of rabies using recombinant rabies vaccine. *Nature* **354:** 520–22.

Cohen JE. 1973. Selective host mortality in a catalytic model applied to schistosomiasis. *Am Nat* **107:** 199–212.

Cohen JE. 1977. Mathematical models of schistosomiasis. *Annu Rev Ecol Syst* **8:** 209–33.

Coyne MJ, Smith G, and McAllister FE. 1989. Mathematic model for the population biology of rabies in raccoons in the mid–Atlantic states. *Am J Vet Res* **50:** 2148–54.

Crofton HD. 1971a. A model of host–parasite relationships. *Parasitology* **63:** 343–64.

Crofton HD. 1971b. A quantitative approach to parasitism. *Parasitology* **62:** 179–93.

Dobson AP. 2003. Metalife! *Science* **301:** 1488–90.

Ferguson NM, Donnelly CA, and Anderson RM. 2001a. Transmission intensity and impact of control policies on the foot and mouth epidemic in Great Britain. *Nature* **413:** 542–48.

Ferguson NM, Donnelly CS, and Anderson RM. 2001b. The foot–and–mouth disease epidemic in Great Britain. *Science* **292:** 1155–60.

Ferguson NM, Keeling MJ, Edmunds WJ, *et al.* 2003. Planning for smallpox outbreaks. *Nature* **425:** 681–85.

Fine PEM. 1993. Herd immunity: history, theory practice. *Epidemiol Rev* **15:** 265–02.

GAO (Government Accountability Office). 1993. Needle exchange programs: research suggests promise as an AIDS prevention strategy. Washington DC: United States General Accounting Office. Report Number GAO/HRD–93–60.

Garnett GP and Anderson RM. 1993. No reason for complacency about the potential demographic impacts of AIDS in Africa. *T Roy Soc Trop Med H* **87:** S19–S22.

Garrett L. 1993. The next epidemic. In: Mann J, Tarantola DJM, and Netter TW (Eds). AIDS in the world: a global report. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Gostin LO, Lazzarini Z, Jones TS. 1997. Prevention of HIV/AIDS and other blood–borne diseases among injection drug users: a national survey on the regulation of syringes and needles. *J Amer Med Assoc* **277:** 53–62.

Grenfell BT, Bjornstad ON, Kappey. J 2001. Traveling waves and spatial hierarchies in measles epidemics. *Nature* **414:** 716–23.

Grenfell BT and Bolker BM. 1998. Cities and villages: infection hierarchies in a measles metapopulation. *Ecol Lett* **1:** 63–70.

Grenfell BT, Pybus OG, Gog JR, *et al.* 2004. Unifying the epidemiological and evolutionary dynamics of pathogens. *Science* **303:** 327–32.

Grmek MD. 1990. History of AIDS: emergence and origin of a modern pandemic. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Hanksi I and Gilpin ME. 1997. Metapopulation biology: ecology, genetics and evolution. San Diego: Academic Press.

Holtgrave DR and Pinkerton, SD. 1997. Updates of cost of illness and quality of life estimates for use in economic evaluations of HIV prevention programs. *J Acq Immun Def Synd* **16:** 54–62.

Kaplan EH. 1994. A method for evaluation needle exchange programs. *Stat Med* **13:** 2179–87.

Kaplan EH. 1995. Probability models of needle exchange. *Oper Res* **43:** 558–69.

Kaplan EH, Craft DL, and Wein LM. 2002. Emergency response to a smallpox attack: the case for mass vaccination. *P Natl Acad Sci USA* **99:** 10935–40.

Kaplan EH and Heimer R. 1994. HIV incidence among needle exchange participants: estimates from syringe tracking and testing data. *J Acq Immun Def Syn*d **7:** 182–89.

Keeling MJ and Grenfell BT. 1997. Disease extinction and community size: modeling the persistence of measles. *Science* **275:** 65–67.

Keeling MJ, Woolhouse ME, May RM, *et al.* 2003. Modeling vaccination strategies against foot–and–mouth disease. *Nature* **421:** 136–42.

Keeling MJ, Woolhouse ME, Shaw DJ, *et al.* 2001. Dynamics of the 2001 UK foot–and–mouth epidemic in Great Britain: stochastic dispersal in a heterogenous landscape. *Science* **294:** 813–17.

Kermack WO and McKendrick AG. 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *P Roy Soc Lond Ser-A* **115:** 700–21.

Kermack WO and McKendrick AG. 1932. A contribution to the mathematical theory of epidemics. Part II. The problem of endemicity. *P Roy Soc Lond Ser-A* **138:** 55–83.

Kermack WO and McKendrick AG.1933. A contribution to the mathematical theory of epidemics.

Part III. Further studies of the problem of endemicity. *P Roy Soc Lond Ser-A* **141:** 92–122.

Lurie P and DeCarlo P. 1998. Center for AIDS Prevention Studies at the University of California San Franciso. www.caps.ucsf.edu/NEPrev.html. Viewed 20 June 2004.

Lurie P and Reingold AL. 1993. The public health impact of needle exchange programs in the United States and abroad. Institute for Health Policy Studies, University of California San Francisco.

Mackenzie CD. 2000. Human onchocerciasis: the essential partnership between research and disease control efforts. *Tropical and Travel Associated Diseases* **13:** 457–64.

May RM 2004. Uses and abuses of mathematics in biology. *Science* **303:** 790–92.

May RM and Anderson RM. 1978. Regulation and stability of host–parasite population interactions. II. Destabilising processes. *J Anim Ecol* **47:** 249–67.

May RM and Anderson RM. 1988. The transmission dynamics of human immunodeficiency virus (HIV). *Philos T Roy Soc B* **321:** 565–607.

Medley GF, Anderson RM, Cox DR, *et al.* 1987. Incubation period of AIDS in patients infected via blood transfusion. *Nature* **328:** 719–21.

Mollison D. 1986. Modeling biological invasions: chance, explanation, prediction. *Philos T Roy Soc B* **314:** 675–93.

Murray JD, Stanley EA, and Brown DL. 1986. On the spatial spread of rabies among foxes. *P Roy Soc Lond B* **229:** 111–50.

Nowak MA, Anderson RM, McLean AR, *et al.* 1991. Antigenic diversity thresholds and the development of AIDS. *Science* **254:** 963–69.

Plowright W. 1982. The effects of rinderpest and rinderpest control on wildlife in Africa. *Sym Zool Soc Lond 50:* 1–28.

Plowright W and Taylor WP. 1967. Long-term studies of immunity in East African cattle following inoculation with rinderpest culture vaccine. *Res Vet Sci* **8:** 118–28.

Pomerantz RJ and Horn DL. 2003. Twenty years of therapy for HIV–1 infection. *Nat Med* **9:** 867–73.

Russell CA, Smith DL, Waller LA, *et al.* 2004. A priori prediction of disease invasion dynamics in a novel environment. *P Roy Soc Lond Ser-B* **1534:** 21–25.

Smith DL, Lucey B, Waller LA, *et al.* 2002. Predicting the spatial dynamics of rabies epidemics on heterogeneous landscapes. *P Natl Acad Sci USA* **99:** 3668–72.

Stimson G. 1989. Syringe–exchange programmes for injecting drug users. *AIDS* **3:** 253–60.

Tallis GM and Donald RL. 1970. Further models for the distribution on pasture of infective larvae of the strongyloid parasites of sheep. Math Biosci 7: 179–90.

Tallis GM and Leyton M. 1966. A stochastic approach to the study of parasite populations. J Theor Biol 13: 251–60.

Webb G and Blaser M. 2002. Mailborne transmission of anthrax: modeling and implications. *P Natl Acad Sci USA* **99:** 7027–32.

Wilson ML. 2001. Ecology and infectious disease. In: Aron JL and Patz J (Eds). Ecosystem change and public health: a global perspective. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.

Wodarz D and Nowak MA. 2002. Mathematical models of HIV pathogenesis and treatment. *BioEssays* **24:** 1178–87

Woolhouse ME, Chase–Topping M, Haydon D, *et al.* 2001. Epidemiology: Foot–and–mouth

disease under control in the UK. *Nature* **411:** 258–59.

Woolhouse ME, Dye C, Etard JF, *et al.* 1997. Heterogeneities in the transmission of infectious agents: implications for the design of control programs. *P Natl Acad Sci USA* **94:** 338–34.

协调农业生产力与环境整体性：对农业的巨大挑战

G Philip Robertson and Scoft M Swinton

《Frontiers in Ecology and the Environnent》2005, 3 (1):38-46

摘要：农业提供了人类的主要需求，并影响和依赖于所有其它的生命支持体系。随着世界经济的扩展，人口的持续增长和更高水平的消耗已成为当前的趋势。因此，农业生产力应在不以局部景观和全球环境的完整性为代价的基础上来满足食物的需要。未来几十年农业面临的主要挑战是在可承受的环境损失下而为全球人口的增长生产足够的食物和纤维。这种挑战需要将生态的途径用于农业，这在当前的管理和研究组合中还是一项很大的空白。作物及牲畜生产系统必须作为生态系统来管理，而其管理决策是基于对环境效益代价的认识之上。目前，我们对主要的农业系统和景观之间的重要生态关系几乎是一无所知，我们对与农业相关的生态系统服务功能的经济价值也知之不多。要创建包括食物和纤维生产在内的多方位农业景观，我们需要整体性的研究，包括生态和社会经济以及政策创新和公众的教育。

生态学在农业上的正确应用比其它任何一个领域更为重要，超过 50%的美国草原已用于耕作和放牧。全球 5 亿公顷的农业经营范围已超过了林木业的占地面积，并且每年有一千三百万公顷的林业土地转化为农业用途（FAO 2002）。农业是目前世界最大的产业，随着人口增长而导致的基本蛋白质需求量的增加，以及经济增长带来的高消费都极需基于保护和促进而非破坏环境整体性的基础上的高产农业（NRC 2003）。

核心内容：

- 农业主导了人类对土地的利用，农业经营的区域远远超过了森林的占地面积，每年有一千三百万公顷森林继续转为农用
- 现代农业系统强调单一的生态系统服务功能，即具市场价值的产品的生产，然而具有其他服务功能也是可能的。
- 这些服务包括净化水及空气，抑制污染及病害，提供生物如鸟类及益虫的生息地和碳源的贮存
- 多项服务的积极管理能够显著地减小农业用地面积，但还需要鼓励保护环境的生产性奖励
- 这些以交换或政策为基础的奖励必须赶在环境的退化和今后的农业可持续性丧失之前对已发展的或正在发展的经济发生效用
- 对多方位农业景观生态服务的重视和管理将需要对生态和社会经济的研究，政策创新及公众教育的过程进行整合。

以下的核心问题是一种对生态学的挑战：农产量极明显区别于生态学的生产力，生物相互的影响以及与环境的相互作用决定了农业生态系统的生产潜能和可能转化为动植物产品的生产力部分。这些互作效应进一步决定了多余的养分，农药和其它污染物离开生态系统顺流及随风扩散的速率，并且也决定了农业系统影响附近的群落生态学的程度。但是，农业基本上是以市场需求力、社会和经济政策和人为价值而定型的社会途径。所以，今后令人满意的农业及对环境的影响将取决于我们如何充分的理解和有效的管理农业生态体系中的社会及生态因素（Tilman *et al*. 2002）。

杂交玉米的产生以及随之而来的绿色革命所产生的高产作物品种对养分及防病虫的管理要求极高，这使农场主们高度地依赖技术以有效地满足这些管理的需要。氮及农药已成为环境方面最显要的问题：投入作物体系的氮及农药如莠去津（NRC 2000a,b），基因组合

农药的替代物如 Bt 或 glyplsosate 抗性基因的流失可能成为新的环境问题（NRC 2002）。简言之，绿色革命带来的环境损失是众所周知的现实（Conway 1997; Cassman *et al.* 2003）。虽然绿色革命提高了土地的生产力而减少了边缘土地向农田的转换（Evenson and Gollin 2003），但同时也极有效地将生态过程的内控调节（如养分供给及病虫害控制）为外部调节（如肥料和农药）而取代，由此使农业及生态脱节（Odum 1984；图 1）。

试问这种取代是必要的吗？从生物地球化学的角度来看，答案是肯定的。即使没有促使大规模的单一耕种的经济政策和市场力，仅以现有的技术而没有外来补贴是难以满足农作物资源的需要的。例如，现在玉米作物平均每年从每公顷土壤里获得约 200 公斤的氮。这相当于每年玉米迅速生长期（6～8 周）每天每公顷需要 2～4 公斤的氮（Robertson 1997）。与此相比很明显，没有施肥而缺乏对土壤氮的补充，外加氮肥是不可少的基本需要。进而言之，过半的年氮摄取量转换为体外收获的蛋白质，仅靠内在资源能满足这种需求吗？理论上讲是可以的，——但是实际上我们需要做的是发展和运用现仍没有应用的生态学知识，并创造条件和机制鼓励农民采用这些知识和机制。

高效作物体系的杂草及病虫害控制也需要这样的努力。机械化农业以同样的方式取消了对土壤有机质基本营养如氮的依靠，对于病虫害的控制也不再基于种群水平（如捕食性）的控制，生物防治的重建是可能的，但这也需要新的知识，管理及运用的实际措施。

图 1:与自然生态体系和传统耕作方式相比，密西根麦田机械化农业较少的依靠内部生态操作而较多的依赖外来补充。

生态系统服务功能的管理

虽然生态学家已慢慢地意识到简化密集性管理作物体系只是一种幻想，其中多数专家已认识到农业生态系统和地球上其它生态系统一样具有生态的复杂性。外部补充地输入，管理的加速及生态学的过程——这些都不可相互取而代之，即使集约管理下的大田作物，化肥仅提供 50%的作物吸收的氮，其余仍就来自于矿质土壤的有机物（Broadbent and Carlton 1978）。多数的病虫害调控是依靠自然天敌，内部抗性及其它植物生理和生态的抵

抗策略而不是农药（Hajek 2004）。以美国中西部大豆田为例，灭除节肢动物虫类的捕食者将导致外来入侵蚜虫群体增长十倍（Fox *et al*. 2004）。

间作农业基本上是一种早期的生态演替方式，这种耕作方式有意识地打乱和改变每年的交换规律，管理促使作物种类的定殖、持久和多产，同时限制其竞争者如杂草和消费者如害虫的定殖和持久性。目前的管理通常仅重视市场化产品的生产，这有效的体现于：密集耕作的生态体系常远远高产于由此取代的天然体系（Mitchell 1984）以及现代化耕作体系大多远远高产于传统的耕作体系。但是，这种单一思维的重心在于单项的生态系统服务功能，代之以来的是其它生态系统服务功能及长期性生产力的损失。净化水及空气、鸟类、益虫及其它物种的栖息地和食物资源、碳贮存、花粉传递及病害抑制这些都对人类及相关生态系统的健康至关重要，而且对农业本身的长久可持续性也极为重要，传统的灌丛休闲地、耕作体系是最具可持续性低产农业中的一种体系，其部分原因在于其提供多项生态服务（Robertson & Haswood 2001）。对于绝大多数大型农业，多项生态服务的积极管理只是一种陌生而棘手没有任何科学依据的理念。

图 2:位于一棵中西部大豆植株上的瓢虫正吞食外来入侵的大豆蚜虫。有益昆虫的植保功能对所有作物体系提供了重要的服务。

我们用什么来组建一种具前瞻性和适应性的大型农业体系以提供多方面的生态系统服务功能呢？首先，创造性科学应为生产者、消费者及有关决策者提供多种选择及良好的决策基础。由此可更充分地支持最有利的策略和选择——这种选择充分考虑到整体代价和综合价值以及鼓励促使可持续农业实施政策的效果。重要的是让人们了解不同的选择可带来不同的后果，并且人们可挑选最佳的方案。这种最佳的方案来自于对多种可能性有依据的判断，但常常公布于众的环境政策仅基于增长和无增长的选择上。这样使关键议题极端化并加剧了民众对环境科学的怀疑态度而延缓了对可持续性技术的采用。良好的公众政策的决定需要对环境和经济的长期效应的理解。公众的环境意识是我们的当务之急。

图 3:秘鲁的传统丛生休耕稻米作物受益于周围雨林的多种生态系统服务功能，在与栽培地区暂时荒弃与次生演替的同时也开垦了下年稻米作物的种植土地。

我们需要什么样的科学呢？农业研究必须首先对耕作及放牧的生态系统提供充分的生态学认识从而确定和体现重要的生态系统服务功能的价值。了解生态对于特定体系生产力及相关农业环境后果（如硝酸盐的流失及农药造成捕食性昆虫类的无意的损失）的机制是必要的还远远不够。我们应对如下生态问题有所了解，主要包括确定生态系统服务功能，生物及生态过程的加强及实施，以及在没有以其它服务为代价的前提下促进该过程的方式。许多生态系统服务功能是有协和性的：比如土壤碳的贮存保持了大气的二氧化碳同时也促进了土壤肥力、土壤无脊椎动物多样性、植物水利用的有效性以及土壤保护（Lal 2004,图4）。同理，促进昆虫天敌的措施很可能也有益于传粉昆虫以及其它有益的非作物生物体系（Landis *et al*. 2000）。

图 4:免耕作物的管理促进了土壤碳的贮存，进而提供了初生大豆苗所需的多项服务。其中包括较好的土壤孔吸度、持水性、养分贮蓄性、防侵蚀以及营养水平的复合性。

对于许多生态学家来说，确定和检验农业体系提供的服务功能是一项熟悉的领域。比如四十多年的综合性病虫害管理及生物防治使我们认知了景观复杂性对大田病虫害防治所起的作用（Naylor and Ehrlich 1997）。一百多年对土壤有机质的生态学研究提供了较好的土壤肥效管理从而降低了对化肥利用的依赖（Duxbury *et al*. 1989）。植物群落生态学研究有

助于解释种子库抵制入侵杂草扩延的重要性（Menalled *et al*. 2001）。但是，除了众多与此相关或其它农业生态学领域的新工作，我们目前缺乏的是一种以整体生态系统为目标的研究项目（Robertson *et al*. 2004）。

有效的系统科学使我们认识到生物的分布与生态过程在生态系统，景观和区域范围内的相互联系。这对设计景观及管理至关重要，特别当折衷方案不可避免时最优化折衷方案。比如，免耕土壤的管理增加了土壤有机质和大田作物营养的复杂性，但还需要除草剂控制杂草（Philips *et al*. 1980）。Bt 玉米是以基因修饰表达 *Bacillus Thuringiensis* (Bt)杀虫性蛋白来抵抗欧洲玉米蛀虫，从而减少杀虫剂的喷洒，但它可能同时影响到其它鳞翅目的虫类（Pimentel and Raven 2000）。当管理只是应对要解决的问题而不是生态系统的管理时，局部景观具体问题的解决如多余的肥料可带来其它方面的问题。然而，有效的生态系统管理取决于对生态体系的认识，特别是在可能将这种系统扩展到包括人类的情况下，而我们仅对极少数农业系统的重要特性和过程有一个体系水平上的认识。

缺乏这方面的研究途径的范例是由多种因素造成的，其主要的原因是经费和学科限制的制约(NRC 2003)。然而，可能的研究项目仍大量存在，比如：Bt 玉米的有效使用必须有如下先决条件：大田研究用以测定最佳的 Bt 玉米推广面积，这样才可延长 Bt 的杀虫力(Gould 1998)；研究试验其它非 Bt 作用的生物对 Bt 花粉和降解物的接触及敏感性（Obrycki *et al*. 2001）；充分地对 Bt 和其它控制欧洲玉米蛀虫方式（包括简单轮作方式复杂性）的比较性成本分析（Hyde *et al*. 1999）；对基因转入本土生物群体可能性的生态分析（Snow and Palma 1997）；社会经济学研究用以权衡某种 Bt 抗性病虫对种植者的影响，对他们来说，Bt 杀虫剂是一种重要及特定的管理工具（Ardow and Hutchison 1998）；人类潜在的过敏或其它反应的公共健康的研究（Perr 2002）；以及消费者的风险承受力和与 Bt 相关食物的市场承受力的研究（Ekstrom and Askegaard 2000）。

概括 1：联接和脱节的作用因素

许多作用因素使农业和其环境支持系统脱节。其中有：

- 农业的补助有利于单一产品的超量生产
- 经济刺激鼓励种植者使环境消耗表面化
- 政治压力减少了对环境问题的限制
- 农业革新的实施没有考虑非直接的环境代价
- 缺乏对消费者环境损失的教育
- 大部分公众寻求廉价的食品

重新联接农业环境系统的作用因素是：

- 提供有关农业生态体系服务的知识及不同管理状况对这些服务的影响
- 支持或鼓励生产者提供生态系统服务功能的政策因素
- 制定贸易政策用以帮助减轻发展中经济的贫困从而减少由人口增长带来的对边际土地的生产压力
- 实施公众教育以提供对消费者及决策者关于环境消耗及农业利益方面的依据。

相反，大多数环境，健康，经济和社会研究问题已经成为了多余的活动，因为人们假定环境的代价是微小的，即使是有，也是外部的，因此预先研究没有必要。即使一项包括某些上述问题的，生态系统水平的研究也许会预测到实际或潜在的风险，和减轻某些恐惧，同时增加对另一些生态系统的信心。

重视生态系统的服务功能

对于农业生态系统而言，社会经济学研究的重要性不亚于生态学的研究。这是因为生

态学在认识生态系统服务功能以及其生物物理内涵方面起了重要作用，而经济学和其它社会学学科不但可以在评估生态系统服务功能方面起重要作用，而且还能找出切合实际的方法去促进这些功能。目前，在农业上对生态系统服务功能的评估才刚刚起步(Gutman 2003)。还没有对哪些是重要的功能取得一致意见，服务项目与其相关的生态功能也才刚成型(Daily 1997)。但是，由于无市场交换商品的评估在过去的三十年里取得了显著的进展，我们将在这个基础上建立起对农业系统服务功能的评估工作。

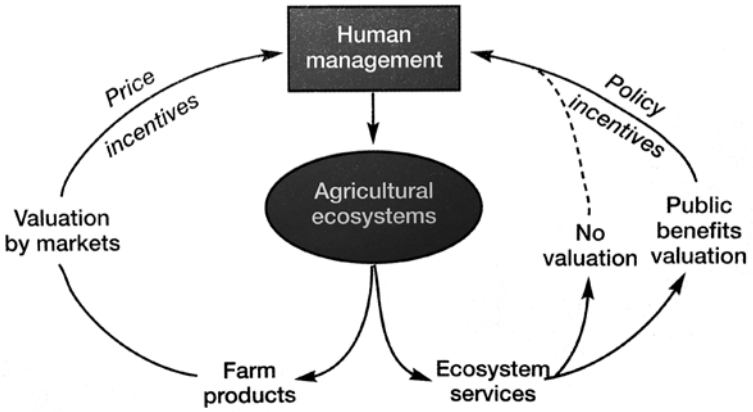


图 5：对农业生态系统提供的服务功能的不同估价策略。图左是可以进入市场买卖的农产品和其它服务功能，可通过价格杠杆调整人类管理决策。图右是可以满足公共需求的服务功能，可通过政策杠杆调整人类管理决策。其它服务功能(如娱乐休闲)仅仅是私人价值，并不受市场或政策的影响。

通过消费者选择来推测需求的经济价值法已得到适度的发展(图 5)。评估环境服务功能价值的一个方法是，调查消费者为取得这些服务所花费的代价（旅行费用法）。另一个评估方法是，调查不动产的价值，通过与不动产购买者定价其它因素的比较，来估出环境服务功能在总价值中应有的价值(享乐价格法)。第 3 种基于需求的方式是统计消费者为了避免有害生态系统产品所支付的费用（避免费用）。

由于缺乏市场，用于生态系统服务功能的评估方法，不但进展缓慢，而且争议很大。对于无法进入市场的产品的评估方法是，提出假设性问题对消费者需求进行调查，看看对某种特定的服务项目，被调查者愿付的价格。这类用于“倾向陈述”的方法在过去三十多年里取得显著进展(Braden and Kolstad 1991; Freeman 1993)，当消费者了解和赞许这种服务项目时，这类评估法特有效。对消费者无直接感受到某些生态系统服务功能，如土壤微生物的生活力与碳的利用，在以消费者为基础作评估时，我们要精心设计调查。比如在评估保持气候稳定性时，要将消费者的教育与自然服务功能联系起来，消费者才会体会到其价值。

从供需关系来看，消费者更愿意从供给角度来支付生态系统服务功能，即生产者更愿意从提供服务的角度来接受生态系统服务功能，这就是改变生产方式，以提供更多的服务。通过直接模型，计算出改变生产方式成本后的利润。这个方式可推测出生产者改变生产方式所愿意提供的最低生态服务。进而通过促进生态系统服务功能的生产方式来确保最佳生态系统服务功能。

特别是在缺乏市场的情形下，很难发展一套以货币值为尺度的估价方式。货币值提供

了标准尺度来比较不同的环境功能，因此在公共政策决策方面的应用前景诱人。但是，以货币值和非货币值方法为交换条件的环境决策也有很好得先例。比方说以货币值方法和非货币值方法互换为例："可预计收入"与"特定的健康风险"的互换(Crissman *et al.* 1998)。无论是基于单独货币价值，或货币与生物物理的混合价值，良好环境决策都需要纯利益的信息，这些信息会告诉我们何时纯利益会发生，谁来承担代价和享受利益。

农业生态管理的相关政策

至少在富裕国家里，以推行生态为基础的农业管理而能获得政治支持，我们对此持谨慎乐观的态度。当然阻力还是很大的。例如，国际贸易的增加导致巴西目前把热带雨林迅速地变成大豆栽培用地(Fearnside 2000)，同样国际贸易促使作物轮作转向玉米或玉米－大豆单作。由此造成土壤退化和丧失生物多样性，而生物多样性可使人们减少使用化肥和农药(Lal 2004)。在人口众多的发展中国家，自由贸易导致为提高收入而不惜代价地降低农业生产成本的做法，将会造成更大的损失。

但是，自由贸易也产生了反作用来对抗掠夺环境资源。首先，在欧洲和美国，自由贸易降低了农产品价格，经济杠杆使农民减少投入和生产，由此减少环境污染并降低对土地使用的压力。在美国，这种机制已初见成效。美国国会通过了 2002 年农场保障及乡村投资法案。这个法案包括了 1999 年乌拉圭贸易谈判中的"琥珀盒子"(Amber Box)条款。此条款限定了农业生产的总许可值和限制了对农产品价格的补贴(Ervin 1999；也见 Swinton 2002)。

在 2004 年夏，巴西在世贸组织中申诉美国的棉花补贴违规(Becker and Benson 2004)。除非美国上诉成功，否则，美国和欧洲将要把农场收入补助与生产补贴分离。此趋势与目前"多哈回合"的贸易谈判相吻合。这就把保护环境和减少农业补贴直接挂钩(Rao 2000; Runge 1993)。其结果是根据非贸易的产品和服务来决定边远地区的收入补助，这种非贸易的产品和服务（也叫多重功能）包括了各种形式的环境监督关系。

非贸易的农场服务功能在广义是属于"多重功能"。在欧盟，多重功能这个术语包括了生态系统服务功能、乡村文化、就业、当地特产、传统农耕方式等等(Maier and Shobayashi 2001)。欧盟成员正在拓展各种方式来支持农业的多重功能。荷兰的奶制品配额和农业营养规定提供了一种模式，即通过综合考虑农场的大小和其环境表现，来决定是否够格申请收入补贴(Breembroek *et al.* 1996)。

美国的农业政策把公众利益定的过于狭窄，仅有环境标准而无社会标准(Ogg 1999; Ribaudo and Caswell 1999)。比起过去的保育储备金和环境质量补助金计划，2002 年通过的农场法案中的试行保育保障计划更注重环境监督关系。(USDA 2004a)。因此，大西洋两岸的案例都显示了政府对农业环境和其它非贸易服务的支持不断增加。

如果自由贸易对出口农产品的富裕国家的环境效益是减少对密集生产的激励，而自由贸易则是增加对贫穷农产品出口国的激励。因为富裕国家接受补贴的出口商会减少生产，所以这些贫穷出口国可期望贸易产品升价。同样的自由贸易导致富裕国家农业场感受到农产品减值的危机，而却使贫穷国感受到农产品升值价的趋势，以致于鼓励这些贫穷国强化对技术的运用。

由于科技可消除贫穷，减缓对土地资源过度掠夺，因此科技给可持续发展带来了巨大的动力(Swinton *et al.* 2003)。但是，农产品市场价格的攀升导致人们把边缘土地转为生产用地并增加生产投入, 忽略环境的副作用。因此自由贸易对出口农产品的发展中国家来说，短期效应是双重的：一方面如覆盖作物、基因组合、化肥、农药等新科技提高了农田生产力，另一方面，人们把未开垦的边缘土地转成农田并增加投入由此对环境产生了损害。从长远来看，脱贫必须同降低人口增长(Mink 1993)以及改善环境质量联系起来(Dasgupta *et al.* 2002)。最终这种力量可以抵消边缘土地变成农田和过度投入的趋势。但是，只有尽早制定政策，对环境保护进行奖励，我们才可从根本上避免长期的环境损失(Arrow *et al.* 1995)。

促进采纳生态运作另一种手段是有意识的政策干预，即直接支付环境效益。现成的例子是控制全球变暖。随著俄罗斯批准了联合国气候变化框架公约的京都议定书，此公约于2005 年生效。通过限制温室气体排放量，公约提供资金建立全球市场减排量指标和排放消减量可核证。由此津贴碳减排服务，允许温室气体排放公司购买减排配额来冲减自己的超标排放量。此市场提供潜在资金给全球土地管理者(McCarl and Schneider 1999)。除了气候调节外，还包括生态系统服务功能，例如增加土壤有机质含量并减少氮肥的使用量(CAST 2004)。

消费者购买倾向对于把农业转向生态系统服务功能具有另一种强有力的影响。但这种影响在不同的国家却有不同结果。在发展中国家，由于中等收入的提高，那里的消费者追求增加饮食中蛋白质的含量，结果导致大量生产低成本的谷物，造成栽培作物种类单一，大量使用化肥农药。在发达国家，随著消费者健康意识的提高，建立了一个迅速成长的食品市场。与传统食品生产的特征不同，此市场注重许多消费者无法察觉的食品品质(Reardon *et al.* 2001)。这种食品生产的过程需要有益于环境的管理运作，例如减少使用化肥农药(图6)，保护森林(即树荫下种植咖啡)。在美国，有机种植食品的销售量近年来有了显著的增加(Dimitri and Greene 2002)。同样，在美国农贸市场和欧洲城市里，当地栽培产品的销售量也有了很大的增加(USDA 2004b)。

图 6：肯尼亚妇女正采摘红辣椒。经害虫综合防治及低风险农药的栽培，这些红辣椒可满足欧洲超级市场的严格要求。

世界范围个人所得增加，消费倾向的改变，自由贸易，多边环境协议都提供了强大的动力去促进或阻碍生态与农业的监督关系，这种力量促使对自然及对农业生态系统服务功能重新研究。人类真有迫切和清晰的必要研究与农业相关的生态系统服务功能吗？没有。但是，30 年前人们并不清楚有必要研究人类活动对全球气候的影响。但由于科学界对这个领域的科研形成共识,结果有了国际行动计划。而这个行动计划在二十多年前是不可想象的。

在富有的农产品生产国，自由贸易、农场收入补助、消费倾向的改变为研究提供了肥沃的土壤。这些研究为农业把生态系统服务功能的价值进行了定义、测定和估算。合理的政策将会提供更多的手段以支持这些服务功能，而这些服务功能与市场农产品的价值毫无关连(OECD 1997)。

从全球的角度着眼

农业是一个全球性产业。面临环境和生产的挑战，世界各地迫切需要有可持续发展的解决方案。尽管所有解决方案的原则是通用的，但是许多解决方案是作物或区域特有的。因此，全球研究网络是跨生物界或生态领域的有力工具。

国际农业研究咨询组织(CGIAG)近十多年来一直资助自然资源管理方面的研究。此组织的研究中心是上世纪承担绿色革命的主力(Evenson and Gollin 2003)。该组织目前把重点转向食品生产以及乡村居住环境，以便供应国际公共商品。包括与农业和小规模林业相关的生态系统服务功能。目前研究重点领域集中在土壤碳和植物营养、水流域的水质量、水作为水生物资源的栖息地、木材或非木材森林产品的森林、为改善有益外部效应的奖励系统(包括由农业和林业提供非农业人士的环境服务的补贴)(TAC 2001)。值得一提的是 CGIAG 做了一件非常有利于环境的事。那就是保留了约 23～51 亿公顷的非农业用地。据 CGIAG 的研究，在农业谷物缺乏的情况下，就能将其投入全球食物生产中去 (Nelson and Maredia 1999; Evenson and Gollin 2003)。

全球各地生物物理环境差异很大，社会经济环境同样差异很大。在非洲撒哈拉地区，从目前到不久的将来，农场的规模和投入与美国和巴西有显著的不同。但在美国中西部和巴西探索出的大部分生态原则以及一部分技术解决方案也适用于马拉维部分地区。反之亦然。失败的经验教训也可相互学习。

CGIAG 与其它农业科学家的协作研究正在进行，其中部分工作是创新技术遏制负面影响如土壤侵蚀及水污染，促进正面影响如分隔碳和提高生产力，以达到改善自然资源管理的目的(Shiferaw *et al.* 2005)。另一部分工作则开展各种前瞻性的研究和向外拓展的方式，有助于当地居民参与资源管理的决策。

当今世界上只有少数地区的农业可称之为可持续发展的(Tilman *et al.* 2002)。全球迫切需要生态原则及寻求解决方案。全球研究伙伴关系有助于加速农业向可持续方向发展。过去，大部分农业和自然资源的研究是农业科学家做的。今后，生态学家的参与将会增加融合并可能产生新的突破。

今后的议程

建立一个了解透彻的农业景观来评估和管理多重生态系统服务功能需要有大量的生态学和经济学的研究。同时还应包括政策分析和公众教育。这些艰巨的挑战包括:

1) 充分认识各种生态系统提供的生态系统服务功能；
2) 充分理解生态系统服务功能及各种管理方式的互换和协同作用；
3) 把生态系统服务功能价值化，通过政策与市场挂钩，确定那些功能应优先选择；
4) 用环境知识教育公众，有助于公众参与讨论和制定重要环境决策。

为保障尽可能通过生态管理而取得环境效益，农业必须采取具前瞻性的，有针对性的及以环境和社会体系为中心的战略方针。农学家必须学习生态学，而生态学家应在农业系统中发挥更积极的作用。农学家和生态学家必须积极地和经济及社会科学家们合作，确定那些服务功能可以价值化。最后，公众必需评估各种服务功能的得失，并制定相关的法规保护和完善来这些服务功能，这将是摆在我们面前一项艰巨的任务。

（刘秦勤 黄长志 译）

参考文献

Andow DA and Hutchison WD. 1998. Bt-corn resistance management. In: Mellon M and Rissler J (Eds). Now or never: serious new plans to save natural pest control. Cambridge, MA: Union of Concerned Scientists.

Arrow KJ, Bolin B, Costanza R, *et al.* 1995. Economic growth, carrying capacity and the environment. *Science* **268:** 520–21.

Becker E and Benson T. 2004. Brazil's road to victory over U.S. cotton. New York Times. May 4, 2004.

Braden JB and Kolstad CD (Eds). 1991. Measuring the Demand for Environmental Quality. North-Holland, NY: Elsevier Science Publishing Co.

Breembroek JA, Koole B, Poppe KJ, and Wossink GAA. 1996. Environmental farm accounting: the case of the Dutch nutrient accounting system. *Agri Syst* **51:** 29–40.

Broadbent FE and Carlton AB. 1978. Field trials with isotopically labelled nitrogen fertilizer. In: Nielsen DR and MacDonald JG (Eds). Nitrogen in the Environment. New York, NY: Academic Press.

Cassman KG, Dobermann A, Walters DT, and Yang H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Annu Rev Env Resour* **28:** 315–58.

Claasen R, Hansen L, PetersM, *et al.* 2001. Agri-environmental policy at the crossroads: Guideposts on a changing landscape. Agricultural Economic Report No. 794. Washington, DC: US Government Printing Office.

Conway GR. 1997. The Doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century. London, UK: Penguin.

CAST (Council for Agricultural Science and Technology). 2004. Climate change and greenhouse gas mitigation: challenges and opportunities for agriculture. Task Force Report No. 141. Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology.

Crissman CC, Antle JM, and Capalbo SM. 1998. Economic, environmental and health tradeoffs in agriculture: pesticides and the sustainability of Andean potato production. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Daily GC and Ellison K. 2002. The new economy of nature: the quest to make conservation profitable. Washington DC: Island Press/Shearwater Books.

Dasgupta S, Laplante B, Wang H, and Wheeler D. 2002. Confronting the environmental Kuznets curve. *J Econ Persp* **16:** 147–68.

Dimitri C and Greene C. 2002. Recent growth patterns in the US organic foods market. Agriculture Information Bulletin 777. Washington DC: US Department of Agriculture, Economic Research Service.

Duxbury JM, Smith MS, and Doran JW. 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: Coleman DC, Oades JM, and Vehara G(Eds). Dynamics of soil organic matter in tropical soils. Honolulu, HI: NIFTAL, University of Hawaii.

Ekstrom KM and Askegaard S. 2000. Daily consumption in risk society: the case of genetically modified food. *Adv Consum Res* **27:** 237–43.

Ervin DE. 1999. Toward GATT-proofing environmental programmes for agriculture. *J World Trade* **33:** 63–82.

Esty DC. 1994. Greening the GATT: trade, environment, and the future. Washington DC: Institute for International Economics.

Evenson RE and Gollin D. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* **300:** 758–62.

Fearnside PM. 2000. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environ Conserv* **28:** 23–38.

FAO (Food and Agriculture Organization of the UN). 2002. FAOSTAT Statistics Database. Rome, Italy: UN Food and Agriculture Organization.

Freeman III AM. 1993. The measurement of environmental and resource values: theory and methods. Washington DC: Resources for the Future.

Gould F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annu Rev Entomol* **43:** 701–26.

Gutman P (Ed). 2003. From good-will to payments for environmental services. Washington DC: World Wildlife Fund, Macroeconomics for Sustainable Development Program Office.

Hajek AE. 2004. Natural enemies: an introduction to biological control. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Hyde J, Martin MA, Preckel PV, and Edwards CR. 1999. The economics of Bt corn: valuing protection from the European corn borer. *Rev Agric Econ* **21:** 442–54.

Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* **304:** 1623–27.

Landis DA, Wratten SD, and Gurr G. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu Rev Entomol* **45:** 175–201.

Maier L and Shobayashi M. 2001. Multifunctionality: towards an analytical framework. Paris, France: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD).

McCarl BA and Schneider UA. 1999. Curbing greenhouse gasses: agriculture's role. *Choices* **1st quarter:** 9–12.

Menalled F, Gross KL, and Hammond M. 2001. Weed aboveground and seedbank community responses to agricultural management systems. *Ecol Appl* **11:** 1586–601.

Mink SD. 1993. Poverty, Population, and the Environment. Discussion Paper 189. Washington DC: World Bank.

Mitchell R. 1984. The ecological basis for comparative primary production. In: R Lowrance, Stinner BR, and House GJ (Eds). Agricultural Ecosystems. Unifying Concepts. New York, NY: John Wiley.

NRC (National Research Council). 2000a. Clean coastal waters: understanding and reducing the effects of nutrient pollution. Washington DC: National Research Council, National Academy Press.

NRC (National Research Council). 2000b. The future role of pesticides in US agriculture. Washington DC: National Research Council, National Academy Press.

NRC (National Research Council). 2002. Environmental effects of transgenic plants: the scope and adequacy of regulation. Washingtion DC: National Academy Press.

NRC (National Research Council). 2003. Frontiers in agricultural research. Food, health, environment, and communities. Washington DC: National Academy Press.

Naylor RL and Ehrlich PR. 1997. Natural pest control services and agriculture. In GC Daily (Ed). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Washington DC: Island Press.

Nelson M and Maredia M. 1999. Environmental impacts of the CGIAR: an initial assessment. Washington DC: Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), Technical Advisory Committee Secretariat, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Obrycki JJ, Losey JE, Taylor OR, and Jesse LCH. 2001. Transgenic insecticidal corn: beyond insecticidal toxicity to ecological complexity. *BioScience* **51:** 353–61.

Odum EP. 1984. Properties of agroecosystems. In: R Lowrance, Stinner BR, and House GJ (Eds). Agricultural ecosystems. Unifying concepts. New York, NY: John Wiley.

Ogg ACW. 1999. Evolution of EPA programs and policies that impact agriculture. In: Casey F, Schmitz A, Swinton S, and Zilberman D (Eds). Flexible incentives for the adoption of environmental technologies in agriculture. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development. 1997. Environmental benefits from agriculture: issues and policies. Paris, France: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD).

Perr HA. 2002. Children and genetically engineered food: potentials and problems. *J Pediatr Gastr Nutr* **35:** 475–86.

Phillips RE, Blevins RL, Thomas GW, *et al.* 1980. No-tillage agriculture. *Science* **208:** 1108–14.

Pimentel D and Raven PH. 2000. BT corn pollen impacts on nontarget *Lepidoptera*: assessment of effects in nature. *P Natl Acad Sciences USA* **97:** 8198–99.

Rao PK. 2000. The World Trade Organization and the environment. New York, NY: St. Martin's Press.

Reardon T, Codron JM, Busch L, *et al.* 2001. Global change in agrifood grades and standards: agribusiness strategic responses in developing coutries. *Int Food Agri bis Manage Rev* **2:** 421–35.

Ribaudo MO and Caswell MF. 1999. Environmental regulation in agriculture and the adoption of environmental technology. In: Casey F (Ed). Flexible incentives for the adoption of environmental technologies in agriculture. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.

Robertson GP. 1997. Nitrogen use efficiency in row-crop agriculture: crop nitrogen use and soil nitrogen loss. In: Jackson L (Ed). Ecology in agriculture. New York, NY: Academic Press.

Robertson GP and Harwood RR. 2001. Sustainable agriculture. In: Levin SA (Ed). Encyclopedia of biodiversity. New York, NY: Academic Press.

Robertson GP, Broome JC, Chornesky EA, *et al.* 2004. Rethinking the vision for environmental research in U.S. agriculture. *BioScience* **54:** 61–65.

Runge CF. 1993. Freer trade, protected environment. New York, NY: Council on Foreign Relations Press.

Shiferaw B, Freeman HA, and Swinton SM. 2005. Natural resource management in agriculture: methods for assessing economic and environmental impacts. Wallingford, UK: CABI Publishing. In press.

Snow AA and Palma PM. 1997. Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. *BioScience* **47:** 86–96.

Swinton SM, Escobar G, and Reardon T. 2003. Poverty and environment in Latin America: concepts, evidence, and policy implications. *World Dev* **31:** 1865–72.

TAC (Technical Advisory Committee). 2001. NRM research in the CGIAR: a framework for programme design and evaluation. Washington DC: Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR).

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, and Naylor RL. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* **418:** 671–77.

USDA (United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service). 2000. Agricultural statistics. Washington DC: US Government Printing Office.

USDA (United States Department of Agriculture. 2004a. Farm Bill 2002. United States Department of Agriculture, Washington, DC, USA. (http://www.usda.gov/farmbill/).

United States Department of Agriculture (USDA). 2004b. Farmers market facts. Washington DC: United States Department of Agriculture. www.ams.usda.gov/farmersmarkets/facts.html.

理解和维系内陆水生生态系统的空间显示工具

ME Power, N Brozović, C Bode, and D Zilberman
《Frontiers in Ecology and the Environment》.2005, Vol. 3:47-55

为应对由于淡水可获性的减少和质量的下降而引起的世界性环境危机，生态学家和水资源经济学家正在研究合作的途径，以期为难于选择的公众，土地管理人员和政策制定者提供指南。探测和量化生态系统变化和生态系统反应的驱动因子，包括那些决定内陆水生系统未来状态的正负反馈（机制）是科学家们所面临的挑战。现已证明预测长期和大尺度的生态系统变迁是很困难的甚至不可能的，即使是那些已被透彻研究、变化驱动因子已知的系统也是如此。另一方面，新的遥感，监测和跟踪技术为观测流域演替过程提供了前所未有的时空尺度。包括科学家，资讯专家和工程师的多个交叉学科组织正在探索如何利用这些新技术来设计最好的采样方法，从而解释由此获得的广泛的、空间的显式动态数据，并将这些数据公式化，在有用的模型中用来进行预测。然后，经济学家可用此信息来设计管理和政策工具，用以维持关键的生态系统组分和过程。

地球上没有其他任何环境系统比内陆水系对人类社会更为重要。然而，内陆水系却是目前最受威胁的环境系统。分流，采集地下水，内陆和近岸水体的盐渍化，污染，富营养化，和微生物化损害或摧毁了生态系统和本土种群，危害公共健康，威胁世界各国的水体安全。全球气候变迁预期会改变降水的时空分布，海面抬升，并导致更强烈的风暴和热浪，进一步恶化水资源短缺和分布不均的问题。在未来几十年，内陆水生社会经济系统必将随气候变迁，人口密度增加和土地利用的强化而改变。

通过增加环境韧性和人类财富很难解决由于内陆水系的使用而引发的冲突。不过，权益各方，科学家，资讯专家，工程师和经济学家的协作有可能为社会所面临的困难管理决策提供指南。他们能协助达成如下几点：1) 确定有共识的目标，例如持续的清洁水源供应，本土生物多样性，或能供商业化采集的种群；2) 辨识支持和维系这些目标的过程，以及加深对控制或指示它们方向和变率等重要变量的科学理解；3) 开发能影响政策和权益各方行为的经济工具以保护那些维护理想生态系统状态和体系的过程。其中的每一个步骤，包括取得权益各方的共识，都充满挑战。科学家们面临的是理解诸如内陆水体一类的复杂社会生态系统会如何应对变化，尤其是由于人类影响加剧而变得更为频繁的多重变化。经济学家和政策制定者面临的是设计灵活的策略，在系统和我们对系统的理解都面临很大的不确定性和快速变化的条件下，保持系统的韧性并维持产品和服务。

Scheffer *et al*. (2001)描述了生态系统应对环境变化的三种可能方法：持续性的(图 la)，单阶有阀值的(图 1b)，或当超过阀值时当前状态转变成稳定的“吸引域”(图 lc)。由于生态系统的异源性，非线性和复杂的反馈机制，持续性的和逐步的状态变化(图 la) 只在有限度的条件下才有可能。如果生态系统显示出图 lc 中表现的那种动态，要把系统恢复原样，条件必须逆转到大大超过引起系统初始崩溃的阀值(Scheffer *et al*. 2001)。理想状态下，有经验的管理层会将各个吸引域的状态用合适的 Scheffer 图示表现出来，以评估生态系统的当前状态以及在各种自然变化或管理变化情形下的预期进程。现实中，即使在试图将复杂的统计分析运用于具有长时间系列的，已被透彻研究的湖泊生态系统的大规模数据集的情况下，这样做其实也是很困难甚至不可能的(Carpenter *et al.* 1999; Peterson *et al*. 2003;

Carpenter 2003)。

对生态过程和模式的科学态度的历史和现状的回顾也许能提示前进的方向。作为一门科学，在一百多年的发展过程中，生态学由早期的对自然模式的描述(例如“生物圈”[Holridge 1967]或“植被群丛”)演进到对野外和实验室模型系统的根本过程的试验研究(Paine 1994)。从 1950 年代后期开始，关于物种相互作用和生物地化循环的过程研究和动态理论带动了观测，建模，实验和预测之间的建设性交流(图 2a,b)。群落生态学家着重于物种之间的相互作用。他们的实验经常产生令人吃惊的结果，这些结果如果不经过专门处理难以探测得到的。由此人们怀疑他们从自然、未受处理的模式中人为的归纳出系统过程(Paine 1994)。这些实验的范围必然有局限性，着重于小范围的时空尺度和交互网络的有限子集(Menge *et al*. 1994; Polis *et al*. 2004)。当计算机时代来临，生态系统学家开发了大型的能量流和物流模型以掌握如流域和区域之类的大尺度生态系统的动态，但是支持这些模型的数据的精度有限，诸如特异交互的机制的重要动态被模糊化了。生态系统和景观生态学家对环境模式实际施于过程的限制作用程度一直保持浓厚兴趣(Turner 1989)。由于难以对复杂和动态的自然生态系统收集到足够的信息，这两类生态学家都在解释方面比预测方面更有作为。

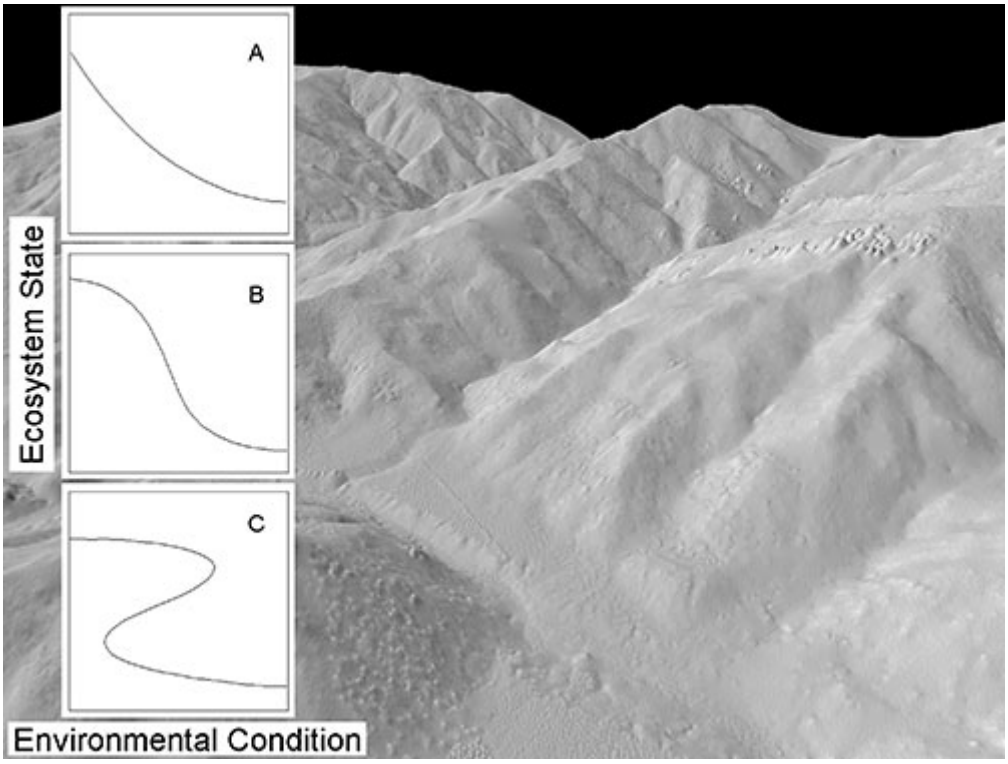


图 1：South Fork Eel 河的 Fox Creek 流域海拔数据图像（WE Dietrich 的 LIDA 数据）及 Scheffer 等（2001）的分析曲线图：(a)生态系统状态变化是连续过程，(b)达到环境临界值时的突变，(c)当环境持续变化时系统越过临界值进入“迷谷”。我们如何将这些概念应用于预测现实流域的变化？例如，林木采伐（X）对 Fox Creek 流域水质和鱼产量（Y）的影响。这种影响对于“致命的砍伐”是逐步的还是突发的？

推理生态模式因果过程的失败部分是出于以前我们对这些模式及其随时间变化的观测的局限性。我们现在已经达到先进制图，感测和跟踪技术能在野外研究中实际运用的境界。这三类技术对生态流，种群和生境状态提供了前所未有的长期监测手段。对于研究淡水生

态，其中一个值得探索的途径是开发调查手段，这些调查手段能利用制图，感测和追踪技术以验证有关动态控制假设。

在承认社会生态系统的长期行为仍难以甚至不可能预测的前提下，我们可以运用新生技术来监测那些看来是主导或指示移向或远离理想状态的变量。下面，我们简短地描述几种这类新技术，然后探讨几个已经十分明了的淡水生态系统变化的驱动因子，以及将来新技术如何加速其他驱动因子的发现，或评价它们的长期影响。最后，我们将探讨经济学家如何使用新型的空间显式生态数据来设计工具和鼓励手段来指导那些影响和依靠于内陆水系的权益各方的政策和行为。

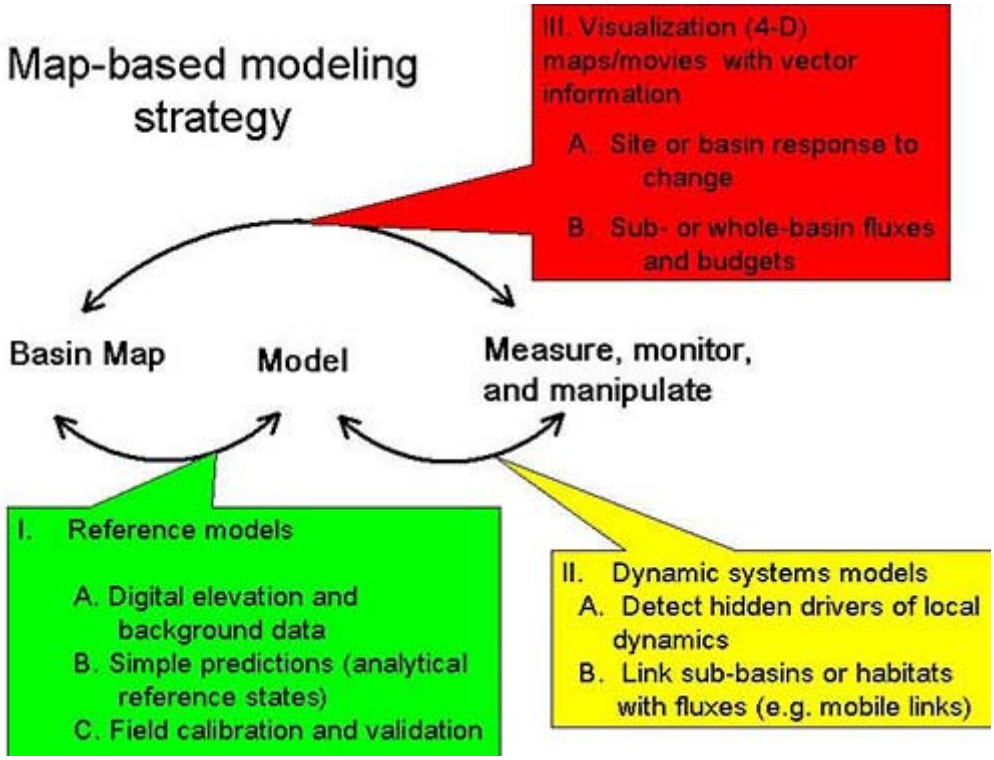


图 2：地表动态研究中心（NCED）的地学科学家、工程师和生态学家利用图像模型研究流域图解：(a)利用高分辨率的海拔数据模型分析不同环境空间状态，如滑坡的概率(Dietrich *et al.* 2000)，或河水温度(Hondzo and Stefan 1994, Dozier and Frew 1990)；利用简单模型（如生态位概念模型，Hutchinson 1957）来预测生物种群在不同环境状态下的数量分布和表现。(b)当上述模型不适用时（Schmiz *et al.* 2003），局部（如食物链）或区域（如迁移或资源流通）动态分析可以解释格局动态和变化趋势。(c)新四维（三维加时间）显示工具（Leigh *et al.* 2003）可帮助科学家、经济学家、股东了解模糊的、抽象的空间动态（模拟的或实际观测的动态变化）。

新型制图，感测和追踪技术

最近的技术革新将首次使生态系统过程的空间显式量化成为可能。这种空间显示量化的尺度小至生物个体，大至生态系统。遥感制图技术（如航空激光制图）为详细的地貌模型提供了基础。这些地貌模型可被用来初始化和假设一些环境生态条件和空间过程的变率。生态追踪剂（同位素，追踪元素，异种化学物，基因指纹）越来越多地用来追踪生物群及其组成元素的动态和历史。静态和动态的感应器组成的无线网络能监测有机体量级的小尺

度环境变量。分子生物学家，加州伯克利大学分管研究的副校长 Beth Burnside 认为这些新技术在 21 世纪对生态学的作用可以和基因排序在 20 世纪对基因科学的作用相媲美。这些技术在发掘关键生态系统过程的空间动态潜力方面，无论在范围还是精度上都将是史无前例的。

研究人员从未体验过这些技术所能提供的细节程度。传统的模式“快照”和低维的时间图示明显不足以用来表征如此细节化和复杂的数据。另外一些由生态学家，资讯学家和工程师组成的研究群体正在探索的第二类研究领域是如何利用这些新技术更好地设计信息采集计划，解释由此产生的巨大空间显式的动态数据组并运用这些数据来建立和测试预测生态系统变化的模型。幸运的是四维(三维加时间)视觉化技术的同期突破提供了能被广大观众直观使用的空间显式过程的动态表征方法。这将允许观众远缩看宏观，近推察细部，并实时的以所需要的速度前后移动来比较景观生态系统的实测变化和不同的模型预测结果。

用详细的流域地图及盆地中和盆地间的生物，材料和能源的优势流图来调查内陆水生生态系统的变化原动力并不是什么新思路。但是，新鲜的是科学家利用制图，感测，跟踪和视觉化技术以前所未有的范围和精度来记录这些模式和过程。如果能和揭示关键但是隐藏的机制的实验方法不断结合起来，这些技术将帮助科学家获得所需尺度的数据以评估生态系统的状态，控制和短期轨迹。

图 3：海拔数据图像（DEM）显示加利福尼亚 Mendocino 县 Anglo Coast Range Reserve 保护区的一部分。这个三维图像由航测雷射图像数据，经过林冠 DEM 处理、地表 DEM 处理，加上河流系统图综合成图。林冠图的颜色表达不同林冠实际高度（林冠 DEM 减地表 DEM）。河流系统图与地表 DEM 成图时考虑了河道大小。这类图像数据提供了详细的资料，可以用于不同时期系统综合分析的制图、监测（图 2a）、跟踪、实验（图 2b）、模拟、显示等等（图 2c）。数据来源和处理由地表动态分析中心（NCED）的航测雷射图像中心（NCALM）提供。

探测内陆水生生态系统的变化动因

某些造成内陆水系变化的动因，例如由于人类对流域的影响导致的养分含量和沉积物的增加，是具本土性和明显的。马塞诸塞州 Waquoit 湾从鳗草到浮游植物占优势的河口，

或威斯康辛州 Mendota 湖从清水到富营养化状态的演变是由氮，磷含量分别决定的。西部河流的退化是由于土地利用使得河道中沉积物含量增加的结果。即使在变化动因很明显的情况下，将营养负荷的变化和生态系统反应之间的关系进行量化也是困难的。如前所述，长期的生态系统发展趋势和预测不尽一致，其他生态系统的变化的原因也许更不明确。这些包括隐藏的关键种群的变化以及动态的，连接生境有时甚至是横跨大陆的连接链。三十年前，雪鹅从美国南部迁徙到夏天位于 Hudson 湾边上的沼泽地，其引入的氮平衡了由于被鹅吃草而移出的那部分。要理解为何曾经是丰产的，长满禾草的大片沼泽地如今会变成荒芜的泥潭，我们需要把骤增到非持续的鹅群密度和南方 5000 公里它们的过冬地变成了农田联系起来。

表 1：列举目前跨学科各主要机构采取不同的新途径和新技术从事大区域环境的制图、监测、模拟、和预测

机构名称	英文缩写	网址
水科学发展院校联合协会	CUAHSI	http://www.iihr.uiowa.edu/~cuahsi/his
全国生态观测网	NEON	http://www.nsf.gov/bio/neon/start.htm
互联网遥感中心	CENS	http://www.cens.ucla.edu
全国地表动态分析中心	NCED	http://www.nced.umn.edu
社区地表动态模型系统	CSDMS	http://instaar.colorado.edu/deltaforce/workshop/csdms.html

美国东南布的沼泽消亡可能和人类过度捕捞近海的蓝蟹有关。这个推论是通过找到隐藏的关键种群：一种螺及其相关的真菌而获得的。盐沼中的下覆盖层占优势的大米草，以前一度认为是可食用的。现在只作为腐屑进入食物链。近来发现由于蓝蟹，龟，和鱼类等天敌的减少，一种常见的螺及附生的真菌在它们摄食所产生的秃斑上繁殖，对大米草有致命损害。而失去作为繁殖场所的大米草进一步降低螃蟹的数量。使这种社会所不乐见的新的维持状态得以稳定下来。

在这两种研究中遥感和制图技术都有效地记录了变化扩散的范围和速率。但寻找动因需要进行野外实验，历史分析和自然历史观测。在其他重要的生态群落中，比如位于酸性矿物流域的生态系统，新基因技术可能成为探测关键种群影响的必要手段。美国 1400 公里的河流受到野生和风景河流法的保护，但是 17000 公里的河流已被酸性矿物泄流所污染。酸性矿物泄流是当含氧水渗透过地球上最富有的矿物－黄铁矿沉积物时产生的。喜酸和好热的细菌，古菌和几种真菌和原生动物在这些环境中大量繁殖，从而成百万倍的加速黄铁矿氧化和生成硫酸的化学反应过程。

对酸性矿物流域食物网中新陈代谢的能力，作用和微生物相互作用的了解，将有助于最终揭示降低河流毒物排泄量的方法。这类生态系统的相对简单性(有限数量的食物网成员专一地从黄铁矿吸收能量)，使得对一个自然群落近于完全的基因描述首次得以实现。从标识的基因序列中就有可能归纳出嗜极种群的生态特征和潜在作用。短时间系列和小型生态系统空间尺度的生物总数动态对动态控制的实验性研究很有帮助。微生物基因级的研究对阐明环境地球化学中微生物的作用，及其与制图工具和感测网络结合以探测水力流程时，对为管理或治理有毒性的土地提供指南，都具有重大意义。

图 4：一个都市的河口湾：这里整个洪泛平原已经消失，也意味者洪泛平原服务的失去，包括流域养分的储存、吸收、分解和去污去毒等功能的丧失。而且，由于系统动态的复合性和相互依赖性，洪泛平原的消失，对于海湾、近海的环境，以及整个区域的鱼类等资源的破坏和影响是不定的和不可预测的。

可维系的内陆水生生态系统的经济分析

经济工具可以用来制定与跨景观运作的自然过程相匹配的特殊政策，并可以用来劝阻权益各方从事有损生态系统的行为。科学家认识到教育权益各方是必要的、但愿是充分的手段来实现环境管理的变革。例如俄勒冈州 30000 平方公里的 Wilamette 河流域的一个未来替代性分析中，使用了一个基于地图的分析来预测三种土地利用模式对未来水资源具备性和河流生态条件的影响。作者发现描述历史景观变化和预测未来可能的流域图能够吸引权益各方，并给他们提供了一个评估预期变化重要性的平台。

在有些情况下，教育和其他非集中式(非管理式)的环境政策也许就足以有效。但道德劝喻和宣传运动也有一定局限性。特别是在负面的反应和引起负面反应的行动和媒介在时空上相距很远的情况下，教育本身就不足以导致大规模的环境改良。例如关于密西西比河养分输入和墨西哥湾的虾类生态之间关系的深入理解，并不太可能使上中西部的农场主减少他们在土地上的施肥量。

经济学假设人们会为自我谋福利，于是经济学研究着眼于基于激励的淡水生态系统管理政策。理论上基于激励的系统比如税收，补贴，和可交易的许可证市场是公共和私营的激励和环境效益接轨。所以，这也许就是他优于命令和控制的系统之处。另外，更多的权益方偏好补贴的方式以改变他们的土地管理实践，而不喜欢命令或诉讼的方式。基于激励的系统受到采用还在于他们在政治上更受欢迎。例如，近年来基于激励的农业环境项目有高速增长。这些项目在未来几年中预期会有更持续的增长。部分原因是由于它们容易同时被土地所有这和环境社区所接受;部分原因是它们不受限于目前世界贸易组织规范的开支。

尽管经济学家倾向于激励政策，科学家着重于权益方的沟通和教育，在管理实践中行政命令仍相当常见。淡水系统中的重要例子可在许多最佳管理实践、排污限制及一些如近岸带缓冲区的区划要求中找到。在一个没有不确定性的理想系统中，每种政策措施(基于激励的非集中式和命令与控制式)在相同的资金投入水平下都能达到同样的环境效果。但是存在大量不确定性时，或政治局限性排除了用不同的优惠和治理污染收费来有区别的对待土

地利用者的时候，这种情况不再成为可能。以空间定位的环境政策设计和替代方案的分布式环境效益分析是经济学家的主要研究领域。最近结合空间环境和经济的内陆水生生态管理模型的研究包括分析沉积物负荷以提高伊利诺伊州的水质，和俄勒冈州近岸带的恢复来保持以溯河性鱼类为目标的水流温度。这些研究认为恢复工作的空间分配会随环境目标的变化而变化（甚至可能会从附近的支流转换到更远的支流）；近岸带的条件以及水系网的结构需要在整个研究流域内被全面考虑。在环境过程和各种权益方特征具有极大不定性时替代性政策也许会为权益各方提高相当不同的激励因素，及对环境产生相当不同的影响。特别应当指出，即使基于激励的政策和权益各方的教育比才有行政命令的系统能为权益各方提供更多的环境过程信息，行政命令和规章制度可能会更有效和有更好的成本效益值。大多数情况下行政命令和规章制度达到了清洁水源法的目标，只有在控制动物的废弃物时是例外。当然，监测和执法是所有规章管理办法中所不可缺少的行政命令，规章制度的有效性取决于执法的严格程度。

图 5：发展商的广告“一个永久的纪念”描述了一个永不可逆转的改变。广告排背后的发展永远改变了流域状况，将影响居民未来的健康和社会繁荣，也将影响下游社会生存环境。

生态学和经济学在未来研究中应如何交叉来为环境政策的实质性改善作出贡献？新型的高级制图，感测和跟踪技术应能为评估实验性和潜在性的管理决策对大规模生态系统的影响提供前所未有的手段。从而使必要的改变，在错误变得不可弥补之前得以贯彻实施。基于自然界的复杂性，科学家的主要挑战是要为决策过程提供适当的意见，使其不仅用来确定何种政策对特定的环境问题有效，而且也可以用来逼真地模拟政治环境政策约束下的潜在效果。与其着眼于全球性优化的目标，经济学可以用来确定经济合理的政策以达到基于科学的目标，以及分析这些政策分布性和同等性效果。这样的决策框架绕开了有争议的，如何将种群和生态系统服务赋予明确的货币值的问题，并将自然的复杂性和非线性特征纳入考虑范围。新的空间显式措施和分析将为这些多学科交叉性研究合作提供基础和实验基地。

（张志辉　译）

致谢

We thank the University of California Natural Reserve System for maintaining a protected site for field research at the Angelo Coast Range Reserve, Bill Dietrich for inspiration and LIDAR and airborne laser swath mapping data, and the National Science Foundation and the

National Center for Earth Surface Dynamics for funding.

参考文献

Baker BJ, Lutz MA, Dawson SC, *et al.* 2004. Metabolically active eukaryotic communities in extremely acidic mine drainage. *Appl Environ Microb* **70:** 6264–71.

Baker CS and Palumbi SR. 1994. Which whales are hunted? A molecular genetic approach to monitoring whaling. *Science* **265:** 1538–39.

Baker JP, Hulse DW, Gregory SV, *et al.* 2004. Alternative futures for the Willamette River Basin, Oregon. *Ecol Appl* **14:** 313–24.

Baker JP and Landers DH. 2004. Alternative-futures analysis for the Willamette River Basin, Oregon. *Ecol Appl* **14:** 311–12.

Bazely DR and Jefferies RL. 1985. Goose faeces: a source of nitrogen for plant growth in a grazed salt marsh. *J Appl Ecol* **22:** 693–703.

Ben-David M, Hanley TA, and Schell DM. 1998. Fertilization of terrestrial vegetation by spawning Pacific salmon: the role of flooding and predator activity. *Oikos* **83:** 47–55.

Bennett EM, Carpenter SR, Peterson GD, *et al.* 2003. Why global scenarios need ecology. *Front Ecol Environ* **1:** 322–29.

Bertness M, Silliman BR, and Jefferies R. 2004. Salt marshes under siege. *Am Sci* **92:** 54–61.

Bertness MD, Ewanchuk P, and Silliman BR. 2002. Anthropogenic modification of New England salt marsh landscapes. *P Natl Acad Sci USA* **99:**1395–98.

Biggs BJF. 1995. The contribution of disturbance, catchment geology, and land use on the habitat template of periphyton in stream ecosystems. Freshwater Biol **33:** 419–38.

Brouhle K, Griffiths C, and Wolverton A. 2004. The use of voluntary approaches for environmental policymaking in the US. Working Paper Number #04-05. Washington DC: National Center for Environmental Economics, US Environmental Protection Agency.

Brown L. 2003. Plan B. Rescuing a planet under stress and a civilization in trouble. New York, NY: Norton and Co. Carpenter S, Walker B, Anderies JM, and Abel N. 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* 4: 765–81.

Carpenter SR, Ludwig D, and. Brock WA. 1999. Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change. *Ecol Appl* **9:** 751–71.

Carpenter SR, Caraco NF, Correll DL, *et al.* 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol Appl* **8:** 559–68.

Carpenter SR. 2003. Regime shifts in lake ecosystems: pattern and variation. Oldendorf/Luhe, Germany: International Ecology Institute.

Claassen R, Hansen L, Peters M, *et al.* 2001. Agri-environmental policy at the crossroads: guideposts on a changing landscape. Agricultural economic report No. 794. Washington DC: USDA Economic Research Service.Costanza R, Daly H, Folke C, *et al.* 2000. Managing our environmental portfolio. *Bioscience* **50:** 149–55.

Dietrich WE, Bellugi D, and de Asua RR. 2000. Validation of the shallow landslide model, SHALSTAB, for forest management. American Geophysical Union Water Resources Monograph.

Dole D and Niemi Ef. 2004. Future water allocation and in-stream values in the Willamette River Basin: a basin-wide analysis. *Ecol Appl* **14:** 355–67.

Dozier J and Frew J. 1990. Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from

digital elevation data. *IEEE T Geosci Remote* **28:** 963–69.

Elmquvist T, Folke C, Nystrom M, *et al.* 2003. Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Front Ecol Environ* **1:** 488–94.

Estrin DC, Pister K, and Sukhatme G. 2002. Cconnecting the physical world with pervasive networks. *IEEE Pervasive Computing* **1:** 59–69.

Field CB, Daily GC, Davis FW, *et al.* 1999. Confronting climate change in California: ecological impacts on the Golden State. Cambridge, MA, and Washington DC: Union of Concerned Scientists and Ecological Society of America.

Finlay JC, Khandwala S, and Power ME. 2002. Spatial scales of carbon flow in a river food web. *Ecology* **83:**1845–59.

Gleick PH, Loh P, Gomez SV, and Morrison J. 1995. California water 2020. A sustainable vision. Oakland, CA: Pacific Institute.

Goodwin P and Hardy TB. 1999. Integrated simulation of physical, chemical, and ecological processes for river management. *J Hydroinformatics* **1:** 33–58.

Graf WL. 1993. Landscapes, commodities, and ecosystems: the relationship between policy and science for American rivers. In: National Research Council. Sustaining Our Water Resources. Washington DC: National Academy Press.

Hanley N, Shogren JF, and White B. 1997. Environmental economics in theory and practice. Oxford, UK: Oxford University Press.

Hengeveld HG. 2000. Projections for Canada's climate future. Climate Change Digest, Meteorological Service of Canada. Environment Canada [www.tor.ec.gc.ca/apac]

Holling CS. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* **4:** 390–05.

Holridge LR. 1967. Life zone ecology. San Jose, Costa Rica: Tropical Science Center. Hondzo M and Stefan HG. 1994. Riverbed heat conduction prediction. *Water Resour Res* **30:** 1503–13.Hutchinson GE. 1957. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposium Quantitative

Biology **22:** 415–27.

Ingram BL and Weber PK. 1999. Salmon origin in California's Sacramento-San Joaquin river system as determined by otolith strontium isotopic composition. *Geology* **27:** 851–54.

Innes R. 2000. The economics of livestock waste and its regulation. *Am J Agr Econ* **82:** 97–117.

Jackson JBC, Kirby MX, Berger WH, *et al.* 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* **293:** 629–38.

Jefferies RL, Henry AL, and Abraham KF. 2004. Agricultural nutrient subsidies to migratory geese and the ecological integrity of Arctic coastal habitats. In: Polis GA, Power ME, and Huxel G (Eds). Food webs at the landscape level. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Kareiva P, Marvier M, and McClure M. 2000. Recovery and management options for spring/summer chinook

salmon in the Columbia River Basin. *Science* **290:** 977–79.

Khanna M, Yang, Farnsworth R, and Önal H. 2003. Cost-effective targeting of land retirement to improve water quality with endogenous sediment deposition coefficients. *Am J Agr Econ* **85:** 538–53.

Leigh J, Morin P, DeFante TA, *et al.* 2003. GeoWall-2: a scalable display system for the geosciences. American Geophysical Union Fall Meeting Supplemental, Abstract ED31E-08,

2003.

Likens GE, Bormann FH, Pierce RS, *et al.* 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. New York , NY: Springer Verlag.

Lundberg J and Moberg F. 2003. Mobile link organisms and ecosystem functioning: Implications for

ecosystem resilience and management. *Ecosystems* **6:** 87–98.

Lovvorn, JR and Hart EA. 2004. Irrigation, salinity, and landscape patterns of wetland foodweb function. In: McKinstry MC, Hubert WA, and Anderson SH (Eds). Wetland and riparian areas of the intermountain West: Ecology and management. Austin, TX: University of Texas Press. In press.

Ludwig D, Hilborn R, and Walters C. 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: lessons from history. *Science* **60:** 17–36.

Macalady J and JF Banfield. 2003. Molecular geomicrobiology: genes and geochemical cycling. *Earth Planet SC Lett* **209:** 1–17.

Menge BA, Berlow EL, Blanchette C, *et al.* 1994. The keystone species concept: variation in interaction strength in a rocky intertidal habitat. *Ecol Monogr* **64:** 249–86.

Michener WK and Brunt JW. 2000. Ecological data: design, management, and processing. London, UK: Blackwell Scientific, Ltd.

Naiman RJ and Rogers KH. 1997. Large animals and system-level characteristics in river corridors. *Bioscience* **47:** 521–29.

NAS 2000. Climate change impacts on the United States: the potential consequences of climate variability and change. Washington DC: US Global Change Research Program.

Odum WE. 1970. Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the striped mullet *Mugil cephalus*. In: Steele JH (Ed). Marine Food Chains. Edinburgh, UK: Oliver and Boyd.

Paine RT. 1966. Food web complexity and species diversity. *Am Nat* **100:** 65–75.

Paine RT. 1994. Marine rocky shores and community ecology: an experimentalist's perspective. Oldendorf/Luhe, Germany: Ecology Institute.

Paine RT, Tegner MJ, and Johnson EA. 1998. Compounded perturbations yield ecological surprises.

Ecosystems **1:** 535–45.

Peterson GD, Carpenter SR, and Brock WA. 2003. Uncertainty and the management of multistate ecosystems: an apparently rational route to collapse. *Ecology* **84:** 1403–11.

Post DM, Taylor JP, Kitchell JF, *et al.* 1998. The role of migratory waterfowl as nutrient vectors in a managed wetland. *Conserv Biol* **12:** 910–20..

Power ME and Rainey WE. 2000. Food webs and resource sheds: towards spatially delimiting trophic interactions. In: Hutchings MJ, John EA, and Stewart AJA (Eds). Ecological consequences of habitat heterogeneity. Oxford, UK: Blackwell Scientific.

Power ME, Tilman D, Estes J, *et al.* 1996. Challenges in the quest for keystones. *Bioscience* **46:** 609–28.

Reiners WA and Driese KL. 2001. The propagation of ecological influences through heterogeneous

environmental space. *Bioscience* **51:** 939–50.

Scheffer M, Carpenter S, Foley JA, *et al.* 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* **413:**

591–96.

Schell DM, Saupe SM, and Haubenstock N. 1988. Natural isotope abundances in Bowhead whale (*Balaena mysticetus*) Baleen: markers of aging and habitat usage. In: Rundel PW, Ehleringer JR, and Nagy KA(Eds). Stable isotopes in ecological research. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Schindler DE and Lubetkin SC. 2004. Using stable isotopes to quantify material transport in food webs. In: Polis GA, Power ME, and Huxel G (Eds). Food webs at the landscape level. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Schmitz OJ, Post E, Burns CE, and Johnston KM. 2003. Ecosystem responses to global climate change: moving beyond color mapping. *Bioscience* **53:** 1199–205.

Service R. 2004. As the West goes dry. *Science* **303:** 1124–27.

Silliman BR and Bertness MD. 2002. A trophic cascade regulates salt marsh primary production. *P Natl Acad Sci USA* **99:** 10500–05.

Singer PC and Stumm W. 1970. Acid mine drainage: the rate determining step. *Science* **167:** 1121–23.

Strauss A. 1999. South Fork Eel River total maximum daily loads for sediment and temperature. San Francisco, CA: US Environmental Protection Agency, Region IX.

Suttle KB, Power ME, Levine JA, and McNeely FC. 2004. How fine sediment in river beds impairs growth and survival of juvenile salmonids. *Ecol Appl* **14:** 969–74.

Turner MF. 1989. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annu Rev Ecol Syst* **20:** 171–97.

Tyson GW, Chapman J, Hugenholtz P, *et al.* 2004. Community structure and metabolism through reconstruction of microbial genomes from the environment. *Nature* **428:** 37–43.

Valiela I, Tomasky G, Hauxwell J, *et al.* 2000. Operationalizing sustainability: management and assessment of land-derived nitrogen loads to estuaries. *Ecol Appl* **10:** 1006–23.

Van Sickle J, Baker JP, Herlihy A, *et al.* 2004. Projecting the biological condition of streams under alternative scenarios of human land use. *Ecol Appl* **14:** 368–80.

Watanabe M, Adams RM, and J Wu. 2003. Efficient patterns of conservation activities in a watershed: the case of the Grande Ronde River, Oregon. Working paper presented at American Agricultural Economics 2003

Annual Meeting, Montreal, Canada.Weitzman ML. 1974. Prices vs. quantities. *Rev Econ Stud* **41:** 477–91.

Wu J and Babcock BA. 1999. The relative efficiency of voluntary vs. mandatory environmental regulations. *J Environ Econ Manag* **38:** 158–75.

Wu J and Babcock BA. 2001. Spatial heterogeneity and the choice of instruments to control nonpoint pollution. *Environ Resour Econ* **18:** 173–92.

Yang W, Khanna M, Farnsworth R, and Önal H. 2003. Integrating economic, environmental and GIS modeling to target cost effective land retirement in multiple watersheds. *Ecol Econ* **46:** 249–67.

生态系统服务功能整合评估：我们能否把握自然界脉搏？

LA Meyerson, J Baron, JM Melillo, RJ Naiman, RI O'Malley, G Orians, MA Palmer, ASP Pfaff, SW Running, and OE Sala

《Frontiers in Ecology and the Environment》.2005, Vol. 3:56-59

摘要：建立国家级生态系统服务功能的整合指标有利于促进和支持公众对生态系统服务功能供应趋势的讨论，然而建立这样一个整合指标需要考虑几个关键问题：(1)建立生态系统服务功能整合指标的科学和技术能力是否已经具备？(2)如何处理对生态系统不同服务功能社会重要性的理解差异？以及(3)如何向决策者和公众传递这些服务功能的相关信息？开展这项工作势必困难重重，但并非不可征服。将生态系统服务功能量化并把相关信息提供给决策者和公众，是负责任地和可持续性地管理自然资源的关键所在。

核心内容

- 能否对生态系统服务功能进行量化是了解自然资源是否能可持续利用的关键；
- 国家级生态系统服务功能整合指标的建立能促使决策者、科学家和公众了解美国生态系统
- 重要服务功能是在增加还是减少，并对此变化应做出的响应进行广泛地论证；
- 建立国家级生态系统服务功能的综合指标，任重而道远，需要生态学家、经济学家、统计学
- 家、政策的决策者等的广泛协作，但这种努力最终指导负责任地、可持续地经营自然资源。

早在 19 世纪中期，许多优秀的自然学者和生态学家诸如 George Perkins Marsh、Aldo Leopold、Fairfield Osborn 和 Paul Sears 都已认识到生态系统“支持生命”的功能。“环境服务”(environmental services)这一术语 1970 年首次使用，用以描述生态系统的全能功能以及人们可从生态系统所能获取的有益服务，如食物、害虫防治、洪水控制、气候调节和休闲娱乐等(SCEP，1970)。这些功能对于人类的生存十分重要，但是我们还不太清楚在当前或未来的使用强度下这些功能是否还能长久？正如本专辑所阐述的，我们人类面临着巨大的环境挑战，而这一挑战在 21 世纪只会愈加艰巨。

量化和监测生态系统服务功能的流通至关重要，但是对于生态系统功能服务在哪个尺度能够被测量和在哪个尺度上需要监测，还是众说纷纭。生态系统服务功能通常是地方性的或区域性的(图 1)。目前我们所能量化的国家级生态系统服务功能需要在多尺度上进行整合。一种方案就是建立国家级生态系统服务功能的整合指标，就像当今能引起国民注意力的经济指标 (如国民生产总值，通货膨胀)。当然，国民经济相对连续，或者说相当融合，所以可借助一个单一的综合指标如国民生产总值来表示。相比之下，一个国家的生态系统就不一定紧密相连。例如，佛罗里达州的生态条件与蒙他那州的不可能一致。因此，一个国家生态系统服务功能指标的形象地理表征(geographically explicit mapping)必须能够反映出生态系统服务功能的区域性和它们存在的尺度。

另一方面，生态系统服务功能的指标又不可能包罗万象。因此，我们需要确定应该包括哪些服务功能，如何测量这些服务功能以及如何平衡这些选择的优缺点？就像经济指标那样，生态系统服务功能指标所体现的是大尺度上的整体趋势，不可能为制定某种特定政策提供所需要的一切信息。尽管存在这些局限性，这样的指标还是非常有价值。它能为我

们提供一个急需的探索和对策平台：我国的生态系统服务功能是否正在增加还是正在减少？对这些变化的发生应做出什么样的响应？正如财经机构对失业率的变化进行分析并提出建议一样。

因此，本文的目的就是要促进对国家生态系统服务功能整合指标的建立之可行性和具体内涵的研究和对话。在此，我们简要地回顾一下到目前的进展，然后重点讨论我们面临的挑战。

图 1：森林覆盖的集水区(watersheds)可以提供多种生态系统服务功能，其中一些可以量化，另外一些则很难估测。气候调节、碳和营养的存贮、水净化和供应、休闲、栖息地，林产品以及基因库都只是国家级生态系统服务功能整合指标所能反映的一部分内涵。

在过去十多年间，生态系统服务功能已经成为几个重大评估项目的对象和众多活跃研究的热点课题。正在进行的“千年生态系统评估项目”(Millennium Ecosystem Assessment；MA；网址：www.milleniumassessment.org) 采用分类学方法，将生态系统服务功能划分为四大类：供应、调节、文化和支撑作用。如果人们想从生态系统最大限度地获得某一项益处，势必要牺牲生态系统的其它益处。“千年生态系统评估项目”不仅考虑到生态系统不同服务功能间的平衡，也考虑了生态系统四个服务功能的平衡（MA 2003）。“千年生态系统评估项目”和其他一些开拓性工作(如 Daily，1997; Costanza *et al.*，1997; Harwell *et al.*，1999; NRC，2000)已经为生态系统服务功能整合指标的建立奠定了重要的科学基础，并为向公众介绍生态系统服务功能提供了至关重要的平台。

《国家生态系统现状报告》(The Heinz Center，2002) 充分认识到生态系统服务功能的量化对评估美国主要生物群系(biomes) 现状的重要性。然而，除了食物、纤维、水和休闲外，测定和整合生态系统的服务功能是一项非常困难的工程。《国家生态系统现状报告》也承认，要在生态系统的服务指标，如氮去除和植物传粉整合上达成一致意见十分困难，并

且需要我们填补很多知识上的空白。因此，他们采纳了“三步走”的策略：

一是表示出生态系统的规模(一般情况下，在较大林区中获得的益处也多)
二是指出了生态系统的状况(土壤侵蚀严重会降低生产力)
三是量化了一些生态系统产品(如食物、纤维、水)的流通

这种方法让读者自己去从整体角度上衡量美国生态系统所提供的服务功能是增加了还是减少了。

在目前情况下，我们可以量化生态系统所提供的一些服务功能(如土壤有机物含量，净初级生产力)，我们还可以测定其它一些具有市场价值的服务功能(如水供应，休闲)。值得一提的是，在一些地区已成功地将生态系统服务功能货币化(如纽约市 Catskills 水资源管理项目和南非的“为水而工”项目)。这表明我们已经取得了重要进展，但并不足以解决建立一个简单生态系统服务功能整合指标是否可行的问题。创建这一综合指标的困难和挑战在于：(1)建立生态系统服务功能整合指标的科学和技术能力是否已经具备？(2)如何处理对生态系统不同服务功能社会重要性的理解差异？以及(3)如何向决策者和公众交流这些服务功能的相关信息？

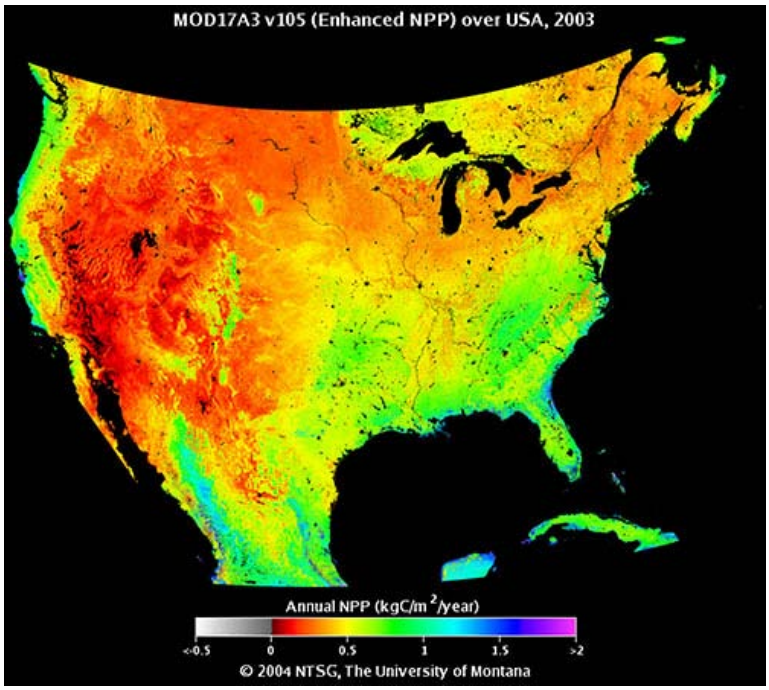


图 2：2003 年美国的净初级产量(NPP)。生态系统服务功能整合指标的一些参数如 NPP 相对容易在全国范围内估测，但大多数服务功能却是比较区域化或属某一地方特有的。

生态系统服务功能整合指标的参数化可能需要一系列的度量标准，因而建立这一指标的每一步都将面临一些痛苦的选择。用于描述这一指标公式的参数本身实际上没有特定价值，它们实质上反映出的是决策者的主观价值。参数的选择标准必须是规定性的，但又不能是指令性的（也就是说没有所谓“刚好的”生产力水平），并且应该是广义上的服务功能，能够被公众所接受的服务功能。有一些参数相对比较容易量化，如可以从地理上形像地测定出来的全国陆地净初级生产力（NPP）(图 2)。但也有一些参数测定起来比较困难（例如美学或休闲服务方面的参数），我们也还不知道如何去评估那些某区域特有的、复杂的服务

（例如生物多样性，图 3）。任一国家级指标参数在全国范围的测量必须是一致的，并且应该采用尺度上可演绎的、具有可比性的，并在统计学上站得住脚的测量方案。这些要求使生态系统服务功能整合指标的参数化工作面临着方法上的巨大挑战。

生态系统服务功能可以在不同尺度发生，用不同的度量标准测量，因此要将这些整合在一个方程式里，需要创造性的的深思熟虑（以及不可避免的价值判断）。并且，方程式中所包含的服务功能内容需要彼此权衡，需要确定一种服务增加以另一种服务减少的代价为多少。例如，水在干旱西部的价值要远高于在湿润的东北部。因此，“指标方程”对一个国家不同地区必需要有不同的地理权重。指标必需清晰、简练、易于解释，并包含足够的信息来强调生态系统服务功能的最重要方面。要创建一个整合指标，还需要生态学家、经济学家、统计学家、政策专家等做大量的基础研究工作。我们需要通过整合来评估我们到底得到了什么，又失去了什么，来确保用整合指标能表示出用一系列分解性度量所不能表示的信息。

图 3：长鼻蝙蝠(Leptonycteris curasoae)和龙舌兰属植物。龙舌兰属植物的花只在夜间进行繁殖活动，使该植物只能依赖蝙蝠传粉。如果没有蝙蝠，该植物的种子产量将下降到其正常产量的 1/3000。蝙蝠在花朵上吸食花蜜的同时，身上粘满着花粉，使花粉能在不同花朵间传递。

当然，开展这项工作势必困难重重，但并非不可征服。今天被广泛接受的经济指标也是经过几十年的努力才建立起来的，而不是在几天内形成的。生态系统服务功能仍是当前科学研究的主要难题。我们深信创建一个生态系统服务功能整合指标是这项工作的基本核心。将生态系统服务功能量化并把相关信息提供给决策者和公众，是负责任地和可持续性地经营自然资源的关键所在。为了达到这一目标，建立一个简练、可靠的、和可以信赖的通报系统势在必行。

（林光辉　译）

致谢

Many of the ideas in this manuscript emerged from a meeting hosted by the Marine

Biological Laboratory in Woods Hole in June 2004. The participants were Jill Baron, Kent Cavender-Bares, William Clark, Chris Field, Geoffrey Heal, Carolyn Kousky, Jerry Melillo, Laura Meyerson, Robert J. Naiman, Robin O'Malley, Gordon Orians, Margaret Palmer, Alex Pfaff, Steve Running, Osvaldo Sala, Jose Sarukhan, and George Woodwell.

参考文献

Daily GC. (Ed). 1997. Nature´s Services. Societal dependence on natural ecosystems. Washington DC: Island Press.

Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al*. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **387**: 253–60.

Harwell MA, Myers V, Young T, *et al*. 1999. A framework for an ecosystem integrity report card. *BioScience* **49**: 543–56.

Millennium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, DC: Island Press.

NRC (National Research Council). 2000. Ecological indicators for the nation. Washington, DC: National Research Council.

SCEP (Study of Critical Problems). 1970. Man's impact on the global environment. Cambridge, MA: MIT Press.

The Heinz Center. 2002. The State of the Nation's Ecosystems. New York, NY: Cambridge University Press (www.heinzctr.org/ecosystems).

全球化下的中国环境

——中国与世界各地如何相互影响

作者：刘建国、贾德.戴蒙

本文英文原文刊于 2005 年 6 月 30 日《Nature》1179-1186 页

中国是世界上人口最多的国家，其国土面积居世界第四。在世界主要国家中，中国经济庞大而且增长速度最快，但是它的环境问题最为严重，而且很可能进一步恶化。

世界性问题：中国三峡大坝的污染物及漂浮的垃圾正是全球环境保护挑战的一个例证

包括政府领导人在内的许多中国人已经意识到环境问题的严重性并且也采取了一些解决措施。某些环境问题（如北京和其它一些大城市的空气质量）已有所改善。然而，这些局部的改善同环境整体恶化相比微不足道，保护环境的努力远远跟不上环境的不断破坏，无法抑制其它环境指标的进一步恶化。中国环境问题重重，从空气污染、生物多样性降低、耕地减少、渔业资源耗竭、荒漠化、湿地消失、草地退化、人为诱发的自然灾害频率和强度不断增大，到外来物种入侵、过度放牧、江河断流、土地盐碱化、土壤侵蚀、垃圾堆积、水资源短缺及水体污染，数不胜数。这些问题给中国带来严重的经济损失、激化社会矛盾、以及危害公众健康。

中国的环境问题正在波及世界其它国家。与此同时，世界其它国家也在通过全球化、环境污染和资源开发影响着中国的环境。中国是向大气层中释放硫化物（SO）和氯氟碳化合物(CFCs)最多的国家[1]；飘尘和空气污染物已向东影响到邻国、甚至北美；作为世界上两个主要热带雨林木材进口国之一[2]，中国已成为砍伐热带雨林的推动力。中国捕鱼量占世界百分之十五，鱼和海产品消费量达到世界百分之三十三[3, 4]。作为“世界工厂”，中国消耗自然资源，出口产品到国外，但却把污染物留在国内。

虽然目前中国人均环境影响量远远低于发达国家（表 1），但是如果赶上发达国家的水平，那么中国对世界环境的影响将巨大无比。

下面我们将先介绍中国的一些背景情况，然后讨论中国环境影响的类型、对中国公众的影响、中国与其它国家的相互影响、中国环境的未来，最后提供一些改善环境的建议（大部分参考文献和数据来源列在《自然》杂志网站的补充信息内）。

地理、人口、经济和政策

地理

中国环境复杂多样（图 1），拥有世界最高最大的高原，一批世界上最高的山脉，长江和黄河名列世界最长的河流之中，许许多多的湖泊，一条漫长的海岸线和一个很大的大陆架。各种各样的生态系统，从冰川、沙漠，到草原、湿地、热带雨林、湖泊和海洋，应有尽有（附图 1）。然而，由于各种不同的原因，许多地区极其脆弱。例如，中国西北部地区多变的降雨、大风和干旱，使得高海拔地区的草地容易遭受沙尘暴和土壤侵蚀。相反，中国南方地区气候湿润，但暴雨常引起坡地水土流失。

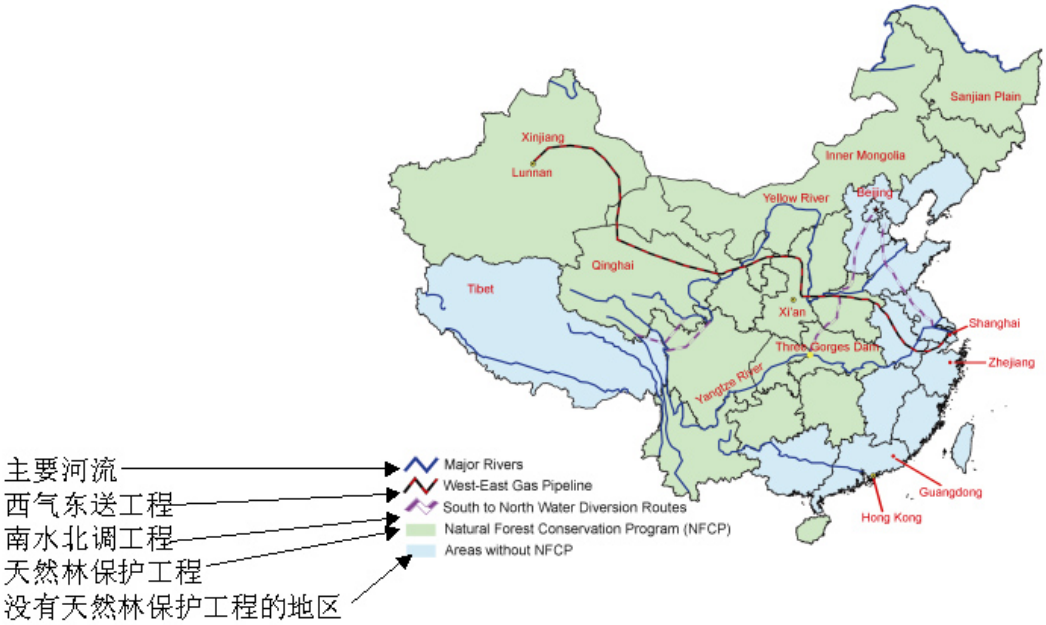


图 1：中国地图(文中提及的部分工程项目位置和地点)

人口

中国拥有 13 亿人口（约占世界总人口的 20%）。人口数量在过去半个世纪中增加了两倍多（附图 2）。令人鼓舞的是近几年来中国人口年增长率已经小于 1%，与二十世纪 50 年代到 70 年代中期的 2～3%相比明显下降。这主要归功于计划生育等造成的人口出生率降低。在过去的 25 年中，中国人口死亡率相当稳定（附图 3）。在所比较的 15 个主要国家中，2003 年中国妇女生育率（1.9 婴儿/妇女）（附表 1）和人口增长率（0.7%）都是第四低。

但是，另一个因素却在背道而驰：1985－2000 年期间，中国平均家庭规模(每户人口数)从 4.5 降低到了 3.5[5, 6]，家庭数量增长率几乎是人口增长率的三倍。仅此一项，中国 2000 年就额外增加了 8 千万个家庭，比俄罗斯和加拿大两国家庭总数之和还多。在我们进行比

较的 15 个国家中，除了巴基斯坦或许还有俄罗斯以外，其它 13 个国家的家庭规模都在减小。中国家庭数目增加量与人口增长量的比率高居第二（表 1）。由于家庭规模越小，人均资源消费量越大[5]。中国家庭户数量的迅速增加以及家庭规模的减小已造成了明显的环境后果。例如，从上世纪 70 年代后期到现在，虽然中国家庭规模减小了很多，中国人均房屋面积却增长了三倍多（附图 4）。

中国的城市化速度也在加快。从 1952 到 2003 年，中国总人口“仅仅”翻了一倍，但城市人口比例从 13%猛增到 39%（增长了 2 倍）。城市人口增长了 7 倍，已有 5 亿多（附图 2）。城市数量增长了 4 倍，已达 660 多个（包括 34 个人口超过 100 万的城市），与此同时，现有的城市面积急剧扩大。

表 1. 中国和 14 个其它主要国家有关人口、经济和环境状况*

国家	总人口 (百万, 2003)	人口年增长率 (%, 2003)	家庭户数增长与人口增长的比率 (1985-2000)	年均 GDP 增长率 (%, 1999-2003)	环境可持续能力指数(1-142)** 2002	人均 CO_2 排放量 (吨 , 2000)	CO_2 排放总量 (百万吨, 2000)	人均生态足迹 (全球当量公顷/人, 2001)	人口密集区 SO_2 含量(千吨 /km², 2000)
中国	**1,288**	**0.7**	**2.7**	**8.0**	**129**	**2.2**	**2,780**	**1.5**	**2.7**
孟加拉国	138	1.7	1.5	5.2	86	0.2	30	0.6	0.7
巴西	177	1.2	1.9	1.6	20	1.8	310	2.2	0.4
印度	1,064	1.5	1.2	5.8	116	1.1	1,120	0.8	1.2
印度尼西亚	214	1.3	1.8	2.0	100	1.3	270	1.2	0.4
日本	127	0	6.1	1.3	78	9.3	1,180	4.3	1.0
马来西亚	25	1.9	1.3	4.9	68	6.2	140	3.0	1.6
墨西哥	102	1.4	1.9	2.4	92	4.3	420	2.5	1.0
尼日利亚	136	2.1	2.7	4.1	133	0.3	40	1.2	0.2
巴基斯坦	148	2.4	0.4	3.4	112	0.8	110	0.7	0.3
菲律宾	82	1.9	1.4	4.3	117	1.0	80	1.2	0.9
俄罗斯	143	-0.4	无数据	6.7	72	9.9	1,440	4.4	0.9
泰国	62	0.6	2.6	4.7	54	3.3	200	1.6	1.1
美国	291	0.9	1.6	3.2	45	19.8	5,590	9.5	1.7
越南	81	1.1	1.5	6.5	94	0.7	55	0.8	0.3
世界	**6,271**	**1.2**	**1.6**	**2.5**	**–**	**4.0**	**24,210**	**2.2**	**1.7**

*** 拥有一亿人以上的世界大国，以及人口较稠密的四个东南亚国家（马来西亚、菲律宾、泰国、越南）。**
**** 环境可持续能力指数是将 142 个国家的可持续能力从大到小排列，1 为最强，142 为最弱。**

经济

中国经济不仅规模巨大，而且发展迅速。在所比的 15 个国家中，中国国内生产总值（GDP）排名第三，并且增长率最高，是世界平均增长率的 3 倍（表 1）。中国的钢铁、水泥、水产养殖品和电视机产量世界第一，电力和化纤纺织品产量世界第二。从 1978 到 2003 年，其钢铁、水泥、化纤、彩电的生产量分别增长 7 倍、13 倍、42 倍和 17,214 倍（附图 5）。从 1981 年开始，中国化肥消费量世界第一，占世界化肥使用增长量的 90%。作为第二大农药生产和消费国，中国占有世界农药总量的 14%，已成为农药净出口国。这些工农业产品的生产和使用导致了空气、水和土地的污染以及其它各种形式的环境破坏。然而，尽管中国国内生产总值和各种产品产量很大，其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它国家。因此，中国仍然具有相当大的增长潜力。

随着社会的不断富足，从 1978 到 2002 年，中国人均肉、奶和蛋的消费量各增长了 4 倍、4 倍和 8 倍；蛋类消费已经达到一些富裕国家的水平。生产这些产品造成更多的农业废弃物、禽畜粪便（已经是工业固体废弃物的四倍）、鱼类排泄物，同时需要更多的鱼饲料和水产养殖原料，这些都加重了陆地和水体污染。

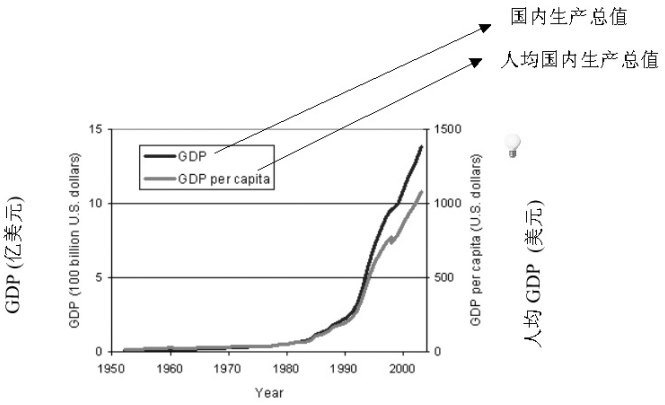


图 2：中国国内生产总值(GDP)的增长

中国的交通运输网络和机动车数量呈爆发性增长（图 3）。1994 年，在机动车数量已是 1980 年 6 倍的情况下，中国决定将小汽车生产作为四个“支柱产业”之一来刺激经济增长，其目标是到 2010 年机动车（特别是小汽车）产量再翻四倍。这将使中国成为世界上仅次于美国和日本的第三大机动车生产国，使更多的农田变成高速公路、使中国更加依赖石油进口、使近年来稍有改善但仍然恶劣的城市（如北京）空气质量面临新的挑战。

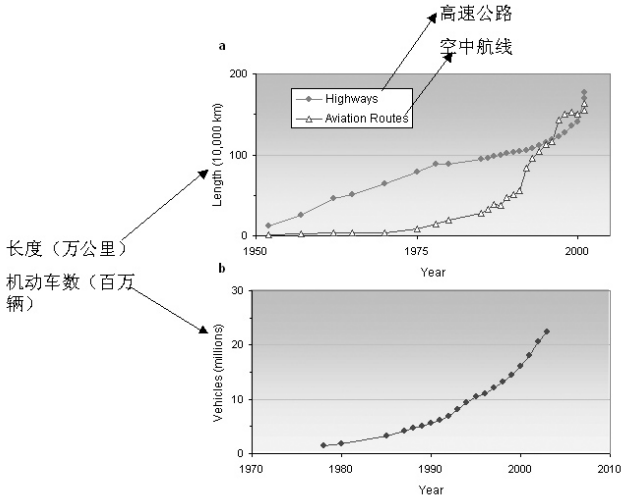


图 3：中国交通。a, 高速公路长度（红线）和国内空中航线（蓝线）b，机动车数量

这些令人印象深刻的统计数字背后潜伏着一幅复杂的画面。在面临激烈的外国竞争和吸收外资的经济部门，比如汽车生产和燃料，中国工业生产效率几乎与发达国家相同。1980 年以来，由于节能，淘汰低效的陈旧设备，采用现代化新技术，从高能耗的重工业转向低能源需求的轻工业或服务业，中国的能耗强度（一美元 GDP 产值的能源消耗）的下降速度对于发展中国家来说是空前的。

相反，许多中国的传统产业（如采煤、水泥制造、造纸和化工生产）仍然采用过时、低效、或污染严重的技术。总体上，中国工业能源利用率仅仅是发达国家的一半。例如，中国造纸业耗水量是发达国家的两倍多。农田灌溉仍然依赖于低效的表层漫灌，既费水又易引起富营养化，造成土壤养分流失并沉积于江河。氨水是生产化肥和纺织品加工的必备原料。因为天然气远离氨水生产中心，中国以煤为基础合成氨水，尽管目前如下所述情况有所变化，其耗水量仍是以天然气为基础合成的 40～80 倍[7]。

中国经济的迅速发展能源起着至关重要的作用。中国是能源消耗第二大国，仅次于美国。然而，2001 年中国人均能源消耗量只是美国的九分之一，是世界的二分之一，在 15 个主要国家中则排在第 8（附表）。在煤的生产和消费方面，中国处于世界领先地位[8]，是世界总量的 25%。上个世纪 50 年代以来，中国煤的使用百分比有所减少；近年来，随着石油和天然气使用以及水力发电的增加（附图 6）煤的使用比例上下波动。然而，煤仍是中国的基本能源，是空气污染和形成酸雨的主要原因。2003 年中国超过日本，成为仅次于美国的第二大石油消费国[9]。虽然太阳能和风能是潜在的重要可再生能源，但未来 10 年内，特别是 2009 年三峡工程（182 亿瓦特）完工后，水电将成为中国比较重要的能源（图 1）。

天然气目前只占中国能源消耗的 3%。但是由于国内生产的增加（2004 年初为 533,000 亿立方英尺），加上通过液化天然气管道的进口，到 2010 年中国天然气使用将增长 4 倍。2002 年 7 月开工并预计于 2005 年结束的世界最长的天然气管道（西气东送工程）将把天然气从中国西部和中北部输送到中国东海岸的上海。正在广东省建设的试验性液化天然气项目每年将可提供 40 亿立方米天然气（图 1）。

中国经济的另一个独特之处在于其分布广泛的小规模乡村工业，即平均只有六名员工的乡镇企业（附图 7）。三分之一的中国产品和二分之一的出口产品是由这些乡镇企业生产的。然而，乡镇企业却造成与产量不相称的污染[1, 10]。一些乡镇企业技术有所改进，但其它的却技术水平落后，如制砖业、采煤业、水泥制造、造纸业、农药和化肥制造业、焦炭生产、和冶金铸造业。乡镇企业比大型国有企业消费更多的资源并造成更多的污染。

政策

中国领导人曾相信人定胜天，认为只有资本主义社会才有环境破坏[11]。当中国派代表团于 1972 年参加第一次联合国人类环境会议时，这种思想才开始转变[11]。1973 年中国政府成立了环境保护领导小组，并于 1988 年发展成国家环境保护局，1998 年又成为国家环境保护总局（SEPA）[12]。中国 1983 年将环境保护列为一项基本国策，并于 1994 年制订了广泛的战略方针，以推进中国的可持续发展。中国政府于 1996 年制定了有关环境保护的第一个五年计划[12]，2003 年又提出了一个新的科学发展观，强调以人为本和可持续发展、人与自然的协调、还强调各地区之间以及与外国的社会经济协调发展[13]。中国也参与了许多国际条约，如生物多样性公约、联合国千年发展计划，其中包括消除贫困、环境保护和可持续发展。到目前为止中国制定并通过了 100 多项与环境有关的政策、法律和规章。这些政策、法律和规章在纸面上看起来不错，但将其付诸实施仍然相当困难。实际上，尽管中国在控制环境破坏方面已付出很大努力，然而在地方上经济发展常常处于优先地位，经济发展的好坏仍然是评价政府官员工作业绩的主要标准。

环境影响

几千年前，中国就曾进行过大规模的森林砍伐。在世界二次大战和中国内战之后，1949 年的和平带来了更多的森林砍伐、过度放牧和水土流失。1958～1960 年的大跃进，工厂数量呈急剧增长（仅 1957～1959 年就增长四倍），污染更加严重，大规模森林砍伐为低效率的庭院式土法炼钢提供燃料。从 60 年代开始到 70 年代中期，考虑到军事上难以防守，很多工厂从沿海地区转移到内地，污染进一步扩大。自 1978 年经济改革以来，由于包括乡镇企业在内的工业化快速发展等主要原因，环境退化继续加速[10, 14]。

中国比其它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进行的评估中，中国排名 129。在我们进行比较的 15 个主要国家中（表 1）仅高于尼日利亚。中国人均生态足迹（一项测量人类自然资源消费与废弃物输出的指标）低于世界平均水平（附表），但由于中国人口最多，其总生态足迹仅次于美国，居世界第二。

中国的环境问题可以归纳为为以下五类：空气、土地、淡水、海洋和生物多样性。

空气

中国空气质量一般来说较低。四分之三的城市人口生活在空气质量劣于国家标准的环境中[15]。在上个世纪 90 年代，有四分之一的城市每年至少有 60%的雨天下酸雨；目前，有四分之一的中国地区受到酸雨影响，使中国进入世界上受酸雨影响最严重的国家之列[8]。

产生这些问题的一个主要原因是工业废气排放量的不断增大（附图 8）。从 1988 年开始，工业废气排放量减小或保持相对稳定；然而，二氧化硫和一些工业烟尘的排放量于 2003 年又重新攀升。2000 年在世界主要国家中的人口稠密地区，中国二氧化硫排放量居首位（表 1），氮化物排放量居第三（附表）。

另一方面，有迹象表明好几个空气指标已得到改善。越来越多的企业达到国家排放标准。在 47 个重点实施环境保护的城市中，已有 11 个城市达到和好于有关二氧化硫排放的国家标准、29 个城市达到或好于有关空气悬浮颗粒浓度的国家标准（这些城市包括北京在内）[15]。

土地

中国有 19%的陆地面积遭受土壤侵蚀，是世界上最严重的国家之一[10]。在黄河中游的黄土高原地区土壤侵蚀破坏尤其严重，其受侵蚀土地面积高达 70%；与此同时，土壤侵蚀对长江流域的影响也在增大，长江由于土壤侵蚀产生的泥沙量已超过世界上两条最大河流（尼罗河和亚马逊河）的总和。因为江河（包括水库和湖泊）中泥沙淤积，从 1949 到 1990 年间，中国航行河道缩短了 56%，同时也限制了可航行船只的大小。由于长期使用化肥以及杀虫剂导致更新土壤的蚯蚓数目减少等原因，使得土壤肥力和质量降低、土壤厚度减薄。由于灌溉系统的不合理设计和管理，中国 9%的土地已受到盐碱化影响（尽管中国政府在抗盐碱化方面取得了可喜的进展）。由于过度放牧和农业土地开垦，中国土地的四分之一正受到土地沙漠化的威胁，这在青海和内蒙古自治区尤为突出。

上述土壤问题加上城市化以及矿业、林业和水产养殖业用地，导致中国农田大量减少。但是人口和人均食物消费量却在增加，可耕地面积又有限，这将对食品安全构成威胁[16]。从 1991 到 2000 年，农田人均拥有量减少到 0.1 公顷，仅为世界人均耕地的一半。未回收、未用过的工业废料和生活垃圾倾倒在大多数城市周围的空地上，污染并吞并或破坏农田高达 10 万平方千米[14]。工业固体废料增加，但回收再利用的增加已使其废弃物排放量降低（附图 9）。

中国是世界上森林最贫乏的国家之一。世界人均拥有森林 0.6 公顷，而中国人均仅为 0.1 公顷。就森林覆盖率而言，日本为 64%,世界平均值达 30%，中国仅为 18%（附表）。虽然单一树种的种植面积的扩大，进而导致森林总面积增加（附图 10），但是天然林，尤其

是成熟林的面积却在减少。森林砍伐是引起中国土壤侵蚀和洪水泛滥的一个主要原因。1998 年的洪水波及中国 2.4 亿人口，中国政府为之警醒，采取了许多措施，包括在主要河流流域（如长江、黄河）的中上游禁止砍伐天然林。

其它最为严重的土地退化形式包括对草原与湿地的破坏。中国天然草原面积世界第二(仅次于澳大利亚[1])，其覆盖率为 40%，主要分布于干旱的西北地区[10]。然而，中国人均草地拥有量不到世界平均值的一半。从二十世纪 80 年代初开始，中国草地以每年大约 15,000 平方千米的速度减少。由于过度放牧、气候变化、以及采矿和其它各种形式的开发和生产，中国 90%的草原已经退化。自二十世纪 50 年代以来，每公顷草产量减少了 40%，杂草和毒草蔓延危害高质量草种。中国草原的退化影响广泛深远，不仅涉及中国农民，也影响草原地区以外的人们和其它国家。例如，西藏高原的草原既是中国也是印度、巴基斯坦、孟加拉、泰国、老挝、柬埔寨、越南的主要河流的源头（附图 1）。

中国大约有 660,000 平方千米的湿地，约占世界总和的 10%。然而，由于转化为农田和其它生产用途，湿地面积不断减少。中国最大的淡水沼泽地(即位于东北的三江平原)的五分之三已被抽干成为农田。如果按照目前的损失速度，其余部分将在 20 年内全部消失殆尽[10]。由于许多天然湿地的丧失，中国现存天然湿地仅占国土面积的 3.8%，小于世界的 6.0%。随着水位波动的增大、减缓洪水能力的降低以及蓄水能力的减少，湿地的服务功能也明显下降。除此而外，湿地还面临着其它威胁，比如污染加剧、资金不足以及低效的法律和法规等。

淡水

由于工业和城市生活污水排放，加上农业和水产养殖业排放的的肥料、农药和粪便而造成大面积的富营养化，中国大部分河流和地下水的水质较差而且还在变得更差[7]。过去十多年来，中国的污水排放量一直在不断上升（附图 11）。中国约有 75%的湖泊受到污染，以致 1997 年政府宣布一直为北京提供重要水源的北京官厅水库的水不再适于饮用。虽然工业污水处理的百分比不断增加，但是生活污水处理率只有 20%，远低于发达国家的 80%水平。

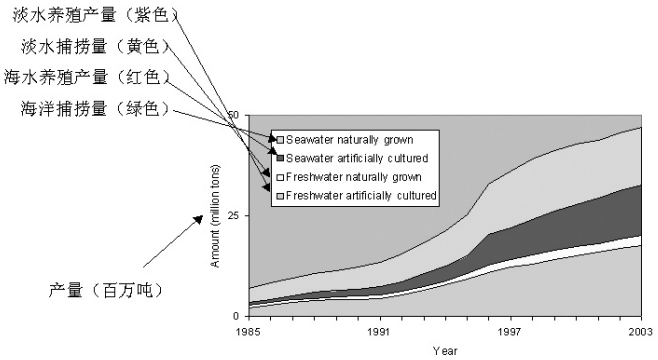


图 4：中国水产品产量

水资源短缺和浪费进一步加剧了中国水问题的严重性。中国人均淡水拥量只有世界的四分之一；而且分布不均，北方地区人均水拥有量只有南方地区的三分之一。淡水的根本性不足加上使用浪费，造成中国 100 多个城市淡水严重短缺，甚至导致工业生产中断。在

城市用水和灌溉用水中，三分之二的水源依赖于地下水。一些地方地下水已快耗尽，引起城市地面下陷，使得海水已开始渗入大部分沿海城市的地下含水土层。此外，中国已成为世界河水断流最严重的国家，河水资源的进一步使用将使河水断流情况更为加重。黄河下游从 1972 到 1997 年的 25 年中，有 20 年发生断流。黄河断流天数也令人惊讶的从 80 年代的 90 天增加到 1997 年的 230 天[10]。

由于鱼类消费量的急剧增加，污染和过度捕捞使得淡水渔业资源遭到严重破坏。在过去的 25 年中，人均鱼类消费量几乎增长了 5 倍[17]，同时，鱼类、软体动物类和其它水生种类出口量增大。结果导致白鲟接近灭绝，以前中国产量丰富的黄鱼和带鱼等鱼类现在却需要进口，长江野生鱼类的捕捞量已减少了 75%。为了防止渔业资源的崩溃，2003 年长江第一次禁止捕捞。为了满足对鱼类产品的需求，淡水鱼养殖业急剧增长（图 4）。

海洋

中国海洋面积达 300 万平方千米，并拥有广阔的大陆架以及海岸线外长达 200 海里的专署经济区。由于陆地污染物排放、石油溢出和其它海洋活动等，几乎所有的沿海地区都遭到污染[1]。国家海洋局 2004 年记录了 867 个将污染物排入大海的主要排泄口，其中 20 个排泄口仅在 2003 年就排放了约 8.8 亿吨的污水，其中包括铅、镉和砷等有毒物质在内的 130 万吨污染物。二十世纪 60 年代中国海洋平均每五年发生一次赤潮，而目前已上升平均每年 90 次（图 5）。污染和过度捕捞冲击渔业资源。天然捕捞量急剧下降（例如曾经丰富的渤海对虾产量降低了 90%），从而造成养殖海产品增加（图 4）。从二十世纪 50 年代初到 2002 年，中国红树林面积减少了 73%。

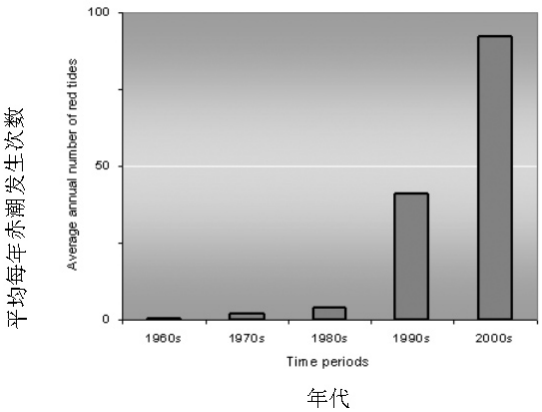


图 5：中国海域年平均赤潮发生量

生物多样性

中国拥有超过世界 10%的维管类植物和陆生脊椎动物[18]。然而，人类活动的影响已造成 15～20%的中国物种（包括大熊猫）处于濒危之中。许多稀有动植物，比如扬子鳄，濒临灭绝。为了保护生物多样性，到 2003 年底为止，中国政府已建立了近 2000 个自然保护区（图 6），以及许多动物园、博物馆、植物园、野生动物饲养中心和基因、细胞库。大多数保护区于过去的 20 年中建立。自然保护区面积已占国土面积的 14.4%，高于世界平均水平和大多数发达国家的水平。但是，这些保护区必须得到更好的管理，中国仍需要建立更多、战略意义更加重要的保护区[18]。

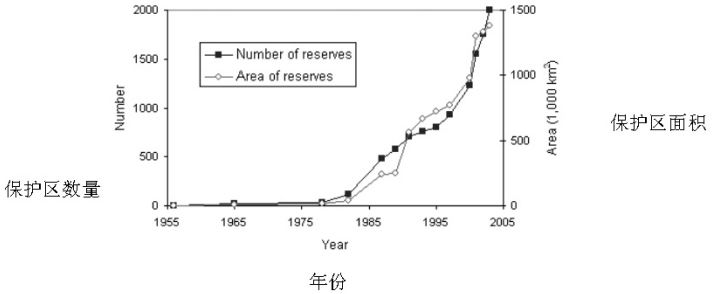


图 6：自然保护区数量（蓝色）和面积（红色）

在中国本地物种减少的同时，来自水陆两种途径的外来入侵物种却在大大增加。到 2004 年，已有入侵物种 400 多种，例如豚草（一种北美土生植物）、水生风信子和福寿螺[19]。有些入侵物种已变成害虫和杂草，严重损害了中国的农业、水产业、林业以及畜牧业生产，仅 2000 年一年就造成经济损失 145 亿美元，占当年中国国内生产总值的 1.4%。大部分入侵物种是有意或无意地通过国际贸易和其它活动引入中国的。从 1986 到 1990 年间，仅在上海港，从来自 30 个国家的 349 艘船只携带的进口物品中就发现了近 200 种外来杂草。

环境对中国公众的影响

中国环境退化不仅有害于中国的蚯蚓和黄鱼，而且也有害于自己的公众。环境退化对公众的影响可分为以下几类：社会经济损失，健康费用增加，更频繁和更严重的自然灾害。

社会经济损失

下面我们从小到大依次例举社会经济损失的情况。中国每年需花费 7.2 千万美元来控制鳄杂草的蔓延[20]。这种杂草原来是从巴西引进来做猪饲料的。其蔓延严重破坏花园、甘薯地以及橘园。由于水资源短缺迫使工业停产，仅西安市每年就造成 2.5 亿美元的经济损失[10]。沙尘暴每年损失 5.4 亿美元[21]。酸雨破坏庄稼和森林，每年减产损失 7.3 亿美元[22]。为了防止沙尘暴对北京的袭击，建设绿色防护林花费就高达 60 亿美元，土地荒漠化每年造成直接经济损失 70 亿美元，除鳄杂草以外其它一些主要外来入侵物种上每年所造成的损失也达 70 亿美元。同这些损失相比，1996 年的洪水所导致的一次性经济损失（270 亿美元，小于 1998 年洪水的损失）以及每年水和空气污染造成的经济损失（540 亿美元）更加巨大[7,10]。

在过去的 20 年中，由于环境污染和生态破坏每年造成的经济损失相当于中国国内生产总值的 7～20%[23]。除了严重的经济损失之外，污染和资源竞争已经在中国引发了许多社会冲突。据联合国粮农组织统计，2001 年在中国西南部地区发生森林资源管理的主要冲突就有 18 起。类似地，水资源的短缺诱发了黄河上、下游之间，黄河两岸之间，以及工业、农业和生态不同需求者之间的水战。

健康费用增加

环境污染危害公众健康，从而使社会用于医疗卫生的费用增加。从 1996 到 2001 年，中国在公共卫生上的花费增长了 80%，相当于每年增加 13%（从 1996 年的 350 亿美元到 2001 年的 630 亿美元)[24]，其中一部分用于应付环境所造成的健康问题。由于空气污染每

年大约死亡 30 万人[7]。中国城市居民的血液平均含铅量几乎是国际上被认为高危险的和危及儿童智力发育含铅量标准的二倍。室外空气中总悬浮颗粒浓度的增加使发生呼吸道疾病的危险增大。即使短时间呼吸污染空气，也可导致新生婴儿体重过轻，增加婴儿患病率和死亡率[25]。

自然灾害

中国自然灾害发生频率、数量、规模和影响之大众所周知。人类活动造成自然灾害，尤其是沙尘暴、滑坡、干旱和洪水等发生频率增大[10]。过度放牧、土壤侵蚀、草地退化、土地荒漠化以及部分人为造成的干旱又引起更频繁、更严重的沙尘暴。从公元 300 年到 1949 年，中国西部地区遭受沙尘暴袭击平均每 31 年一次。自 1990 年以来，沙尘暴几乎年年发生。1993 年 5 月的巨大沙尘暴使百余人丧生。近年干旱程度的不断增大被认为是由于森林砍伐而使水循环破坏造成的，还可能是由于过度地抽取地下水和开发湖泊和湿地而使地表水减少造成的。每年约有 16 万平方千米的农田因灾害而歉收，这是二十世纪 50 年代的两倍。森林砍伐使洪水发生频率大大增加。1996 和 1998 年的洪水是近年来最严重的两次。因为干旱使植物枯萎，继之而来的洪水又给裸地造成更严重的土壤侵蚀，干旱和洪水频繁交替发生比单独发生造成更大损失。

<u>中国与世界的相互影响</u>

中国与世界各地的相互联系已日趋紧密。中国领土广阔，人口众多，因而中国的环境变化必然影响到世界其余地区。世界其它国家通过投资和贸易的方式促进中国经济的迅速发展，从而增加了中国对世界环境的影响。在 1980 年以前，中国的国际贸易是微不足道的（图 7a），即使到了 1991 年，在中国的外资也是可以忽略不计的。但近几年来，这二者却几乎呈指数增长（图 7b）。从 1978 到 2003 年，中国国际贸易增长了 40 倍。

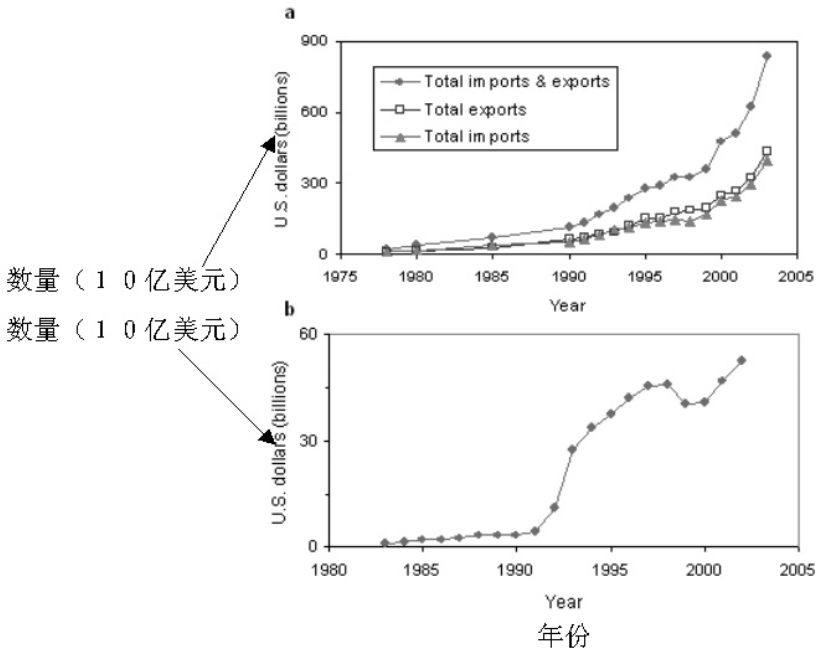


图 7：中国贸易和国外投资 a, 进口量（红色）出口量（蓝色）总进出口量（绿色）
b, 国外直接投资

从 2002 年起，中国超过美国成为世界上吸引外资最多的国家（附表）。中国政府通过建立经济开发特区，向外国投资者提供优惠的税收政策和关税待遇来鼓励外国投资。如下所述，外国投资和国际贸易对环境的影响既有有利的一面，又有不利的一面[26, 27]。

利弊兼有的进口

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。1992 到 2004 年间，世界银行向中国提供资金 220 亿美元，其中大约 10%用于环境项目。许多进口原材料和产品有利于降低国内自然资源的消耗并减少污染排放量。例如农产品进口，使中国减少化肥、农药、水的使用以及低产农田面积；石油和天然气进口使中国减少燃煤污染。自 1993 年以来，中国石油消费量已超过其石油生产量，且缺口不断增大[9]。从 1980 到 2002 年，中国进口初级产品的价值从 70 亿美元增长到 490 亿美元。

从另一方面来看，一些进口却对中国环境造成了明显的危害。除了前面提到的入侵物种外，另一个例子是垃圾进口。一些发达国家将未经处理的垃圾出口到中国，其中包括有毒的化学物质。另外，正在迅猛发展的中国制造业接受垃圾和废料作为可回收原材料的廉价来源。例如在浙江省海关的记录中，于 2002 年 9 月从美国装载的 360 吨电子垃圾货物运到中国，其中包括废料、电子设备和零件（如破损的或淘汰的电视机，计算机屏幕，复印机和键盘）。根据对这类垃圾进口资料的不完全统计，从 1990 到 1997 年，垃圾直接进口量从 100 万吨增长到 1100 万吨[28]；从 1998 到 2002 年，经由香港运入中国的垃圾从 210 万吨增长到 270 万吨以上。尽管有些人认为，进口有害垃圾是中国进行正常国际贸易的一部分，但中国政府禁止并一直在努力阻止垃圾进口。

比垃圾进口更为严重的是，当许多外国公司通过转让先进技术以帮助中国改善环境状况的同时，其它一些公司则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。1995 年估计有 16,998 个污染密集型工业公司，工业产值总和大约为 500 亿美元[28]。由于财政和各种其它原因，中国常常不可能采用发达国家的先进技术标准，相应的一些发达国家通过出口过时的甚至非法技术来牟利和获得竞争优势。中国许多官员和经济学家认为，从长远来看，污染密集型工业将提高经济效益并减少污染，进而有利于中国的发展。然而，污染密集型工业将对环境、人类健康以及社会经济的正常发展造成严重损害，有些损害如生物多样性的减少则是无法恢复的。

损己利人的出口

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。例如，从 1989 到 2002 年由污染严重的乡镇企业加工的产品，其出口价值增长了 31 倍，其中纺织业增长了 22 倍，食品业增长了 18 倍[29]。

入侵物种的输出

中国生物多样性丰富，可能导致中国输出许多入侵物种。如三种著名的北美林木病虫害（栗树枝枯病、误命名的荷兰榆树病和亚洲长角甲虫）就起源于中国及其附近的东亚地区[19]。中国草鱼已定居于美国 45 个州的河流和湖泊，并与当地鱼种竞争，从而改变其水中植物、浮游生物以及无脊椎动物群落。

大气污染物的输出

在发达国家 1995 年停止使用破坏臭氧的气体（如氟氯碳化物）之后，中国成为世界上最大的破坏臭氧的气体生产者和消费者[1]。中国的氧化硫排放居世界领先地位，其产出量是美国的两倍。中国人均二氧化碳和氮氧化合物的排放量远远低于世界富裕国家，其中二氧化碳的人均排放量甚至低于墨西哥、俄罗斯和泰国（表 1，附表）。然而由于中国的人口数量巨大，其二氧化碳排放量仍居世界第二，约占世界总排放量的 12%。

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。当主风向为东风时，来自中国沙漠、退化牧场和闲置农田的污染尘埃和沙土，就被吹向韩国、日本、太平洋岛并可以在一周内横跨太平洋进入美国和加拿大[30]。这些空气悬浮颗粒产生的原因包括中国的燃煤经济、过度放牧以及土壤侵蚀等。中国一直在同国际社会和受影响的国家一道，努力减少空气悬浮颗粒、温室气体和破坏臭氧层物质的排放。

森林砍伐转向国外

中国木材消费量占世界第三位[1]。由于木材可为造纸和纸浆、建材、建筑提供几乎所有的原材料，因而中国木产品的需求量与供应量的差距越来越大，尤其自 1998 年洪水之后国家宣布禁伐，需求与供给的差距更大。自禁伐以来，中国从热带和温带进口木材增加了 6 倍[31]。作为热带林木的进口者，中国进口量迅速增长跃居世界第二，仅次于日本，并将很快超过日本。随着中国加入世界贸易组织，木制品关税从 15～20%降到 2～3%，因而中国木材进口将会进一步增加。其结果是，中国将象日本一样，通过将森林砍伐转向国外来保护本国的森林资源[31]，从而使包括马来西亚，巴布亚新几内亚和澳大利亚在内的一些木材出口国的森林资源遭到严重破坏。

未来

中国的未来将是什么样子？环境问题在加速，试图找到解决环境问题的努力也在强化。然而，哪一个更快呢？

人口与政策风险

悲观主义者认为许多风险在中国正在变成现实。经济增长仍是中国建设实践中优先考虑的因素，而环境保护或可持续发展只是屈居其后。尽管中国人口增长率已降低，但是估计 2030 年人口将达到 15 亿。即使中国现有人口总数不变，到 2030 年中国平均每户人数估计将降到 2.2 人，仅此一项中国也将新增 2.5 亿多家庭（比 2000 年全部西半球国家家庭总户数还多）。

中国公众环境意识较低，其部分原因是中国教育投资占国内生产总值的比例少于发达国家的二分之一。虽然中国人口占世界的 20%，但其教育资金仅占世界教育投资的 1%。一个大学生一年的学费相当于一个城市工人的全年工资，或三个农民全年的收入，因此大部分家庭承受不起子女上大学的费用。

中国先行环境法规大都是单个分散制定的，而且缺乏有效的执行机制以及对长期效果的评估，因此采用和强化系统方法迫在眉睫。国家对重要环境资源制定的价格极低，结果

是在鼓励浪费。比如从黄河中抽取 10～100 吨水用于灌溉，其费用仅相当于一小瓶矿泉水的价格[10]。中国土地属国家所有，但在相对较短的时期内，同一块土地往往被很多不同的农民所使用，因而农民缺乏在土地上进行长期投资并对其进行妥善管理的动力。

产业与建设风险

中国环境还面临着许多局部的风险。汽车拥有量不断增长，而农田和湿地却在不断消失，其有害后果将会不断累积。随着社会的不断富足，肉类和鱼类消费量增加。由畜禽和水产养殖造成的污染（如畜禽和鱼类排泄物造成的污染，未被食用的鱼食造成的富营养化）也将增大。中国是世界上最大的水产养殖者，也是世界上唯一的水产养殖比野外捕捞提供更多水产品的国家。

中国正在进行世界上三项最大的开发项目（图 1），预期都将产生相当严重的环境问题。长江三峡大坝（世界上最大的水坝，于 1993 年开工并计划于 2009 年竣工）企图提供电力、控制洪水并改善水上交通，但要付出 300 亿美元的经济代价、百余万移民搬迁的社会代价、伴随的滑坡、水污染、水土流失、生物多样性损失以及对世界上第三大河流生态系统的破坏等环境代价[32]。成本更高的是于 2002 年开工的“南水北调”项目，估计到 2050 年才可完工。此项目计划耗资 590 亿美元，但其结果将造成污染扩散和长江流域水资源分布不均衡。另一个更大的项目是正在进行的中国西部大开发，其开发范围涉及全国土地面积的一半。中国领导人视其为国家发展的关键。

对世界影响的增加

与所有其它影响相比，更重要的潜在影响是，由于中国是世界上人口最多的国家，而且经济增长速度最快，因而会造成更严重的后果。总的国家生产和消费量是人口规模与人均生产和消费量之积。尽管中国人均生产和消费量仍然很低，但由于其人口数量巨大，其生产和消费总量却很高。例如，中国四种主要金属（钢铁，铝，铜和铅）的人均消费率仅是世界上发达工业国家的 9%。由于中国正在迅速接近发达国家的经济发展水平，即使其它国家的人口、生产和消费率保持不变，如果中国人均消费率达到发达国家水平，仅这一项增长将使全世界工业金属生产或消费量增长 94%，石油生产和消费量增长 106%。换句话说，中国达到世界发达国家的消费标准将使世界上人类资源使用和环境影响大约增加一倍。然而，目前人类对资源的利用以及对世界影响的水平是否可持续都值得怀疑。一些传统模式必须抛弃或改革。这就是为什么中国环境问题就是世界环境问题的原因。

希望的迹象

也有迹象表明中国环境问题的前景是乐观的。中国通过加入环境协定，在世界上担当着越来越多的责任和义务。中国正在制定许多关于环境的法律、政策和法规并逐步加以完善。中国公众的环境意识正在不断提高。中国也正在尽力推动清洁生产和可持续发展。有些环境和产品标准甚至已达到发达国家的标准。能耗强度正在降低。生产技术和废弃物处理技术也在得到改善。

在生产和污染控制方面，中国正在努力推广诸如生态农业以及一些传统上有益于环境的生态技术。例如，中国南方地区在水稻田中养鱼，可循环利用鱼排泄物为肥料，以增加水稻产量，并通过鱼类，对害虫和杂草进行控制以减少除草剂、杀虫药和人工化肥的使用，

在不增加环境破坏的情况下使水稻产生更多的食物蛋白和碳水化合物。

加入 WTO 以及将在北京召开的 2008 年奥运会，促使中国政府更加重视环境问题。为了减轻北京的空气污染，政府要求机动车加以改造以便使用天然气和液化石油气作为燃料。只通过一年多的时间，中国就淘汰含铅汽油的使用，这在欧洲和美国是经过多年努力才实现的。新出厂的汽车也必须符合欧洲国家流行的汽车废气排放标准。

另一个令人鼓舞的事情是，1998 年禁伐并开始的天然林保护工程（图 1）将降低洪涝灾害发生的风险[33]。自 1990 年以来，中国已通过植树造林和固定沙丘的方式恢复荒漠化土地 2.4 万平方千米[10]。于 2000 年开始的退耕还林计划，通过给把农田转化为林地或草地的农民提供粮食和现金补助，将环境敏感的陡峭山坡退耕还林。到 2003 年底，已有 7.9 万平方千米的农田种上了树或草[34]。预计到 2010 年此计划结束时，大约将有 13 万平方千米的农田被退耕[35]，成为世界上最大的保护项目之一。中国正在设计和采纳绿色国民经济核算体系，即把环境损失纳入 GDP 核算（也称绿色 GDP）。

建议和展望

中国怎样才能将其环境变化趋势从恶化转为改善？从这篇综述我们可以直接给出许多具体的建议。比如，中国可以通过技术进口减少化肥和农药的使用量、减少机动车污染排放、改善纸和氨水的生产以及提高灌溉系统效率、处理废水、节约用水和其它资源、推广清洁能源的使用，以及停止破坏湿地。下面我们给出六点更一般性的建议：

1. 应该严格执行和强化实施现有的大量环境法律和规章制度。由于一些政府官員的地方保护主义和利益导向，对污染企业不能进行有效的环境管理。为了避免利益冲突，相关环境资源政策、法规的制定应当从各级资源开发机构转移到国家环境保护总局，以实行统一监督管理，使环境资源得以合理开发和利用。许多地方官员为了提高当地的 GDP 而对其污染企业实行地方保护主义，国家环保总局应有权关闭或停止污染严重的生产单位。选拔政府官员应当环境保护和经济发展两项指标并重。此外，环境保护部门执法人员的数量和质量都有待进一步加强。

环境保护政策执行不力还在于资金缺乏。中国 GDP 比日本和美国低（附表），而环境问题却比他们严重，所以中国环境投资在 GDP 中更应有较高的比例。中国的环保预算应从当前 GDP 的 1.2%提高到世界富裕国家的水平（欧洲和日本 1.5%，美国 2%）或者更高。这种作法仅从经济角度来看也是划算的，因为提高环境保护投资将消除大部分由于环境破坏而造成的经济损失。

2. 由于中国经济正在向市场经济转变，应将更多的市场经济工具用于环境问题。可能的办法包括：取消对破坏环境的工业（如煤炭业）的补助；对价格过低的生态系统服务（如水资源）制定合理的价格；强化污染物排放交易以减少污染；增收更高的环境税，如提高汽车消费税；为居住在自然保护区内和附近的居民，如那些居住在濒危大熊猫保护区的居民提供一定的补偿；将直接与间接的环境成本（如污染）以及生态系统服务价值（如湿地）纳入从地方到国家的各级政府核算中。

3. 不但要将注意力集中在当前增长速度已较低的人口规模上，还应密切关注家庭户数的增加、家庭规模的减少和家庭消费的增长[5]。政府应当创造各种机制来鼓励家庭间资源

共享。

造成中国家庭户数急剧增加和家庭规模减小的两个主要因素是离婚率的增加和四代同堂的家庭数目的减少。很多老年人单独居住，而没有与其子孙住在一起。离婚手续的大大简化以及离婚现象逐步得到社会的广泛认可使离婚率骤然提高。光 2004 年有 160 多万对夫妇提出离婚申请，比 2003 年增加了 21%。离婚造成家庭户数加倍且家庭规模降低，从而使人均资源消耗和浪费增加，因此，离婚对环境产生危害。政府提供婚姻调解、离婚咨询以及强制性的一个月或更长时间的等待期，将有助于人们更严肃地考虑离婚问题。政府应采取一些鼓励措施促进资源共享，如构想始于丹麦的公共住宅和创始于美国和俄罗斯的生态村。这些措施不仅为共同居住者提供社会经济效益，而且有利于提高资源利用率，并降低人均生态足迹。

4．大幅度提高教育投资。教育可以提高人们的环境意识，降低人口出生率从而改善中国环境。除此之外，教育投资还可以提升中国劳动力的素质，从而创造经济效益。较好的中小学教育将有助于生物多样性丰富但环境脆弱地区（如中国西部地区）的孩子更多地进入大学，这是因为大学毕业生更有机会在其他地区找到工作并定居，从而减少人类对敏感生态系统的压力。

5．应当制定更加有效的措施来保护生物多样性。污染的空气和水可以日后净化，但丧失的物种和遗传物质却永远无法恢复。生物多样性为人类生存提供必要的物资和服务，其中包括生产卫生和营养的食品、净化水和空气、制造氧气、缓和气候变化、帮助农作物和其它植物授粉、控制农作物害虫、以及碳储存等。例如，1970 年在中国发现的野生雄性水稻不孕品种，使高产的杂交水稻得以培育成功，从而带来了第二次绿色革命。

6．其它国家能够、也应该帮助中国进行环境保护。从中国进口产品的国家给中国留下了环境污染。由于中国人均资源消费和污染物排放比发达国家仍低得多，从道义上讲中国有权利也有能力进行发展。然而，环境影响已超越中国国界，因而其它国家从自身的利益出发也应帮助中国。中国的环境问题像其它国家一样，已超越了政府的解决能力，因此外国帮助中国的一种方式可以是支持中国的非政府环境组织的发展。中国现有 2000 多个刚刚起步的环境非政府组织，但大部分规模较小，资金缺乏、相对孤立，急需帮助。同中国政府一道，国际社会可以帮助环境非政府组织提高公共环境意识、提供政策建议并监督政策执行情况。另外一些帮助中国的方式包括培训环境规划和管理人员、交流和分享解决环境冲突的办法、转让有利于环境的技术（如清洁生产、水资源保护和废弃物处理）、转让高新技术以产生额外好处，减少中国与其它国家间对能源以及其它全球资源不断增长的竞争。

最终结果将会如何？中国环境正徘徊于加速破坏与强化保护之间。巨大的中国人口数量和急速发展的中国经济意味着中国的发展要比其它国家具有更大的动量。在过去的 20 年中，中国已创造了一个经济发展的奇迹。展望未来的 20 年，我们期望中国也能创造一个环境保护的奇迹，为其它国家在社会经济和环境的协同发展树立一个典范。其结果不仅造益中国，还将影响整个世界。

（李舒心、贺光明、王如松　译）

作者简介

1．刘建国，美国密歇根州立大学鱼类和野生动物系雷切尔.卡森讲席教授（Rachel Carson Chair）和大学杰出教授，系统综合与可持续发展研究中心主任，北京中国科学院生态环境研究中心客座研究员，上海复旦大学特聘教授。**通讯地址：**Center for Systems Integration and Sustainability, Department of Fisheries and Wildlife, Michigan State University, East Lansing, MI 48824,USA，电子邮箱：jliu@panda.msu.edu

2．Jared Diamond，美国加州大学洛杉矶分校地理系教授，**通讯地址：**Department of Geography, Bunche Hall, University of California, Los Angeles, CA 90095-1524, USA；电子邮箱：jdiamond@geog.ucla.edu

参考文献：

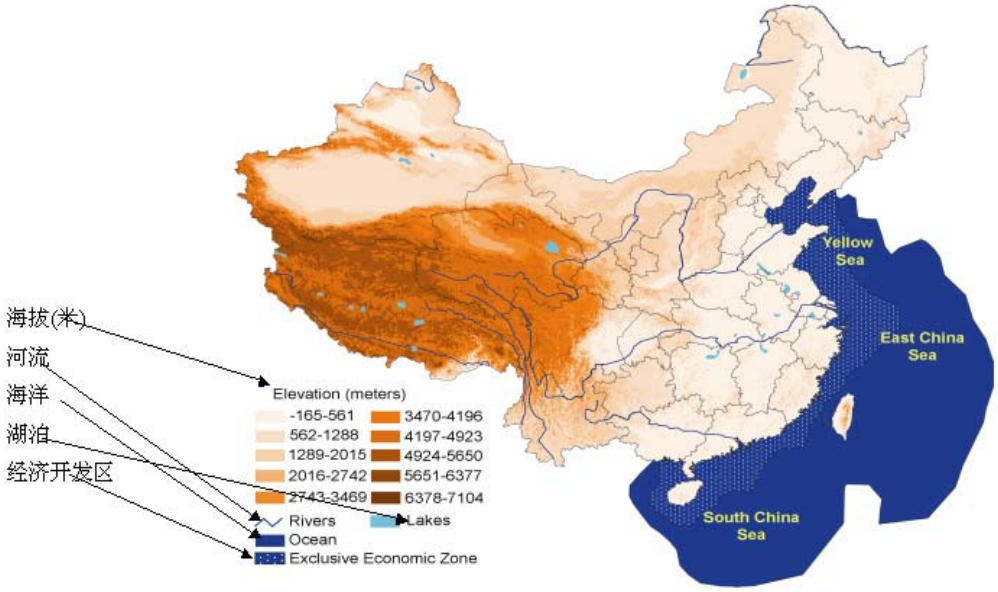
请见英文《自然》杂志 2005 年 6 月 30 日一期第 1186 页。或访问下面的《自然》杂志网站。

http://www.nature.com/nature/journal/v435/n7046/full/4351179a.html

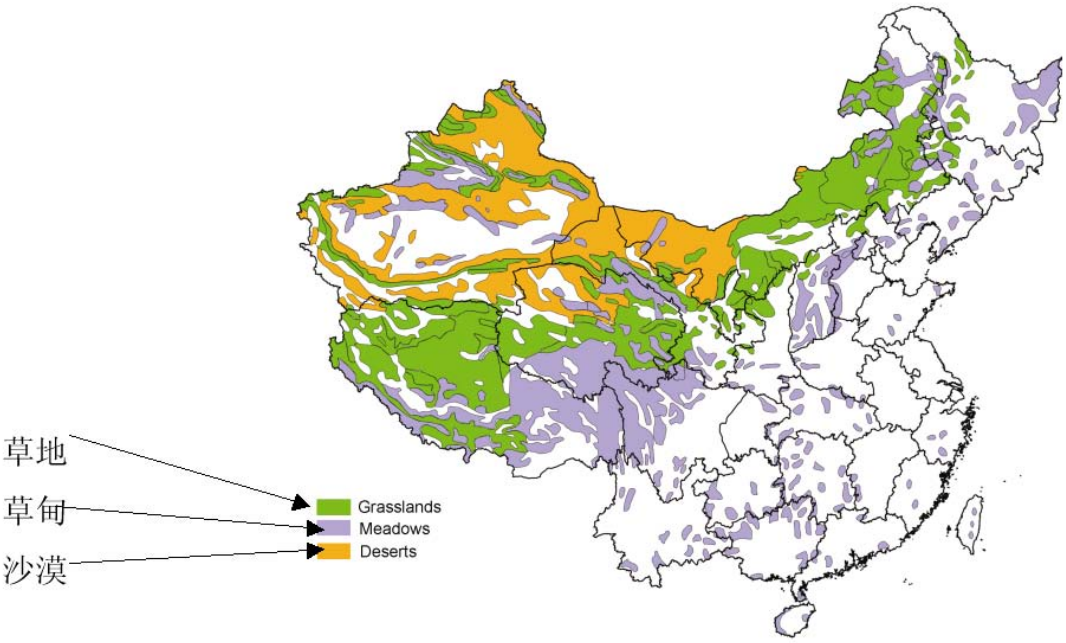
致谢：

感谢 Kim Borland、Mason Bradbury、陈晓东、Jayson Eageler、Linda Fortin、贺光明、Edward Laurent、李舒心、刘伟、欧阳志云、Nathan Pfost、William Taylor、Brent Wheat 和 Daniel Wieferich 为我们提供了大量有益的帮助。Rory Howlett 和三位匿名的评审者对本文完稿提出了许多建设性的修改意见，我们在此一并表示衷心的感谢！此外，我们对美国国家科学基金会生物复杂性项目，美国全国儿童健康与人类发展研究所(R01 HD39789)，美国密西根农业试验站，和中国国家自然科学基金委员会(30428028)所提供的资助深表谢意。

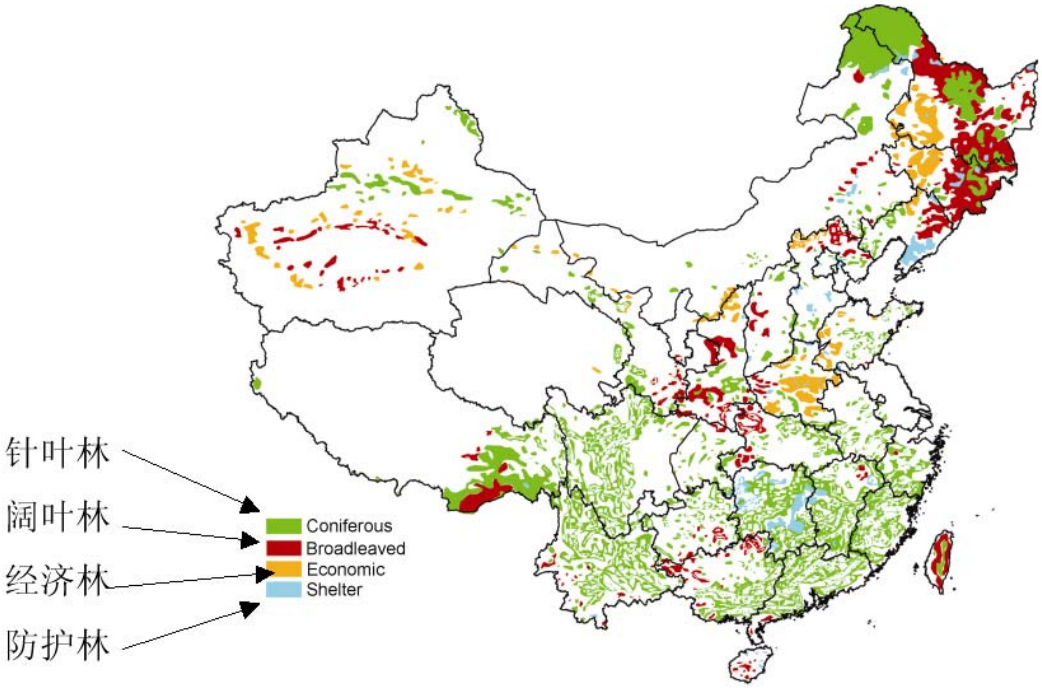
附图：



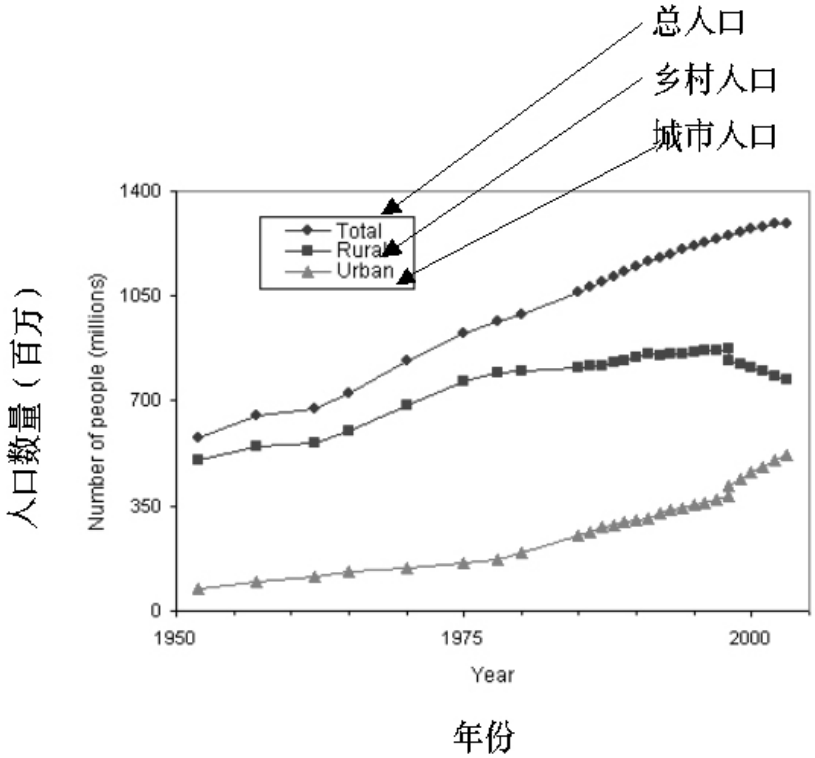
附图 1a：中国主要地理背景



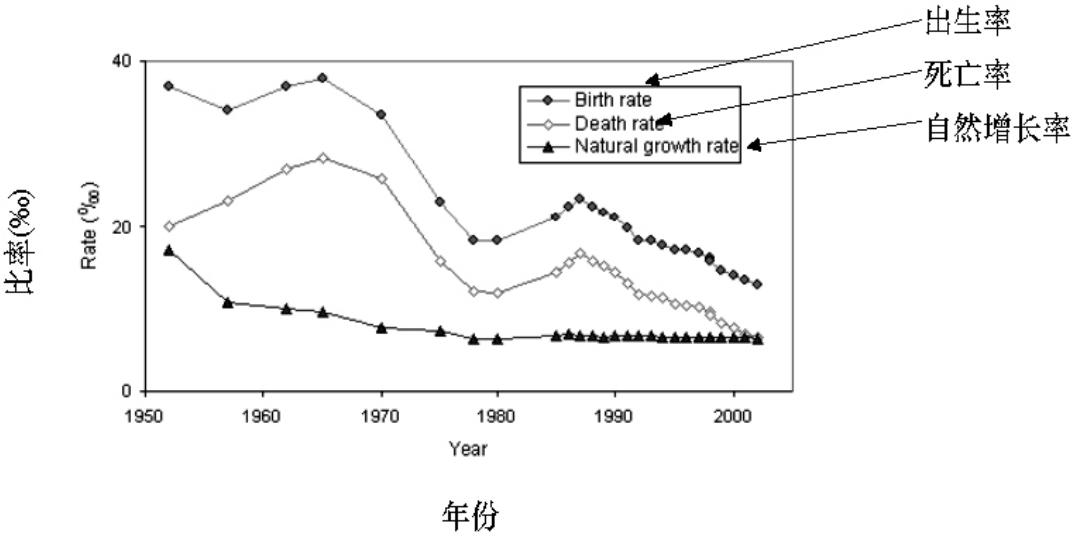
附图 1b：中国草地和沙漠



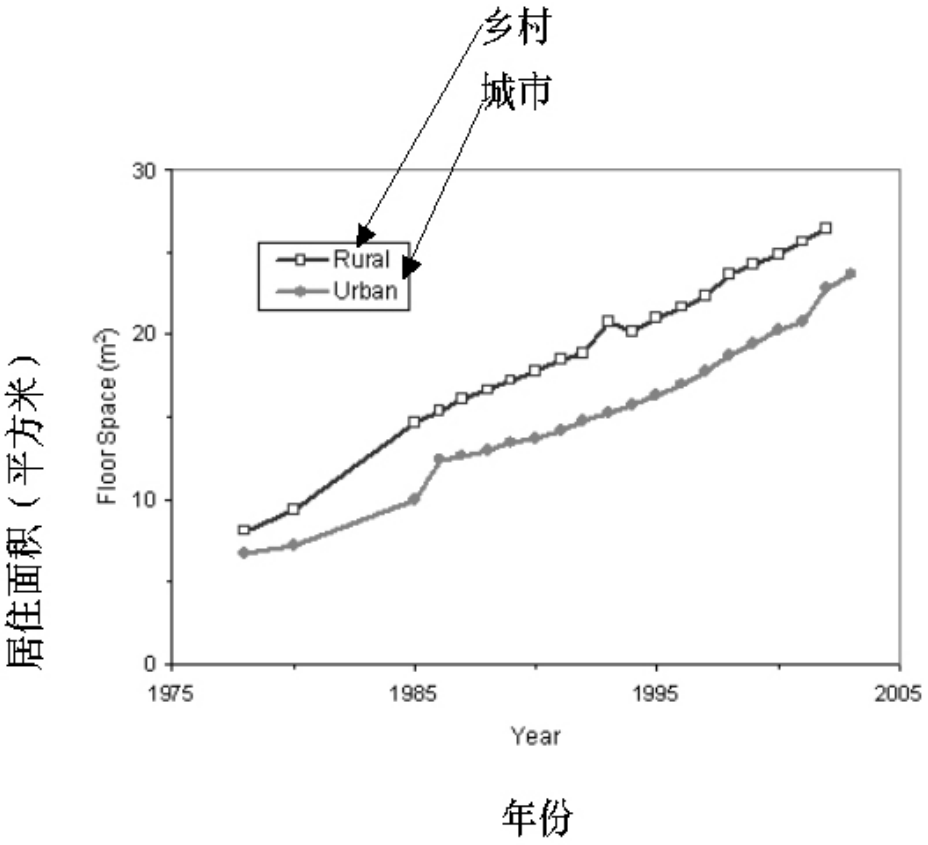
附图 1c：中国主要森林类型



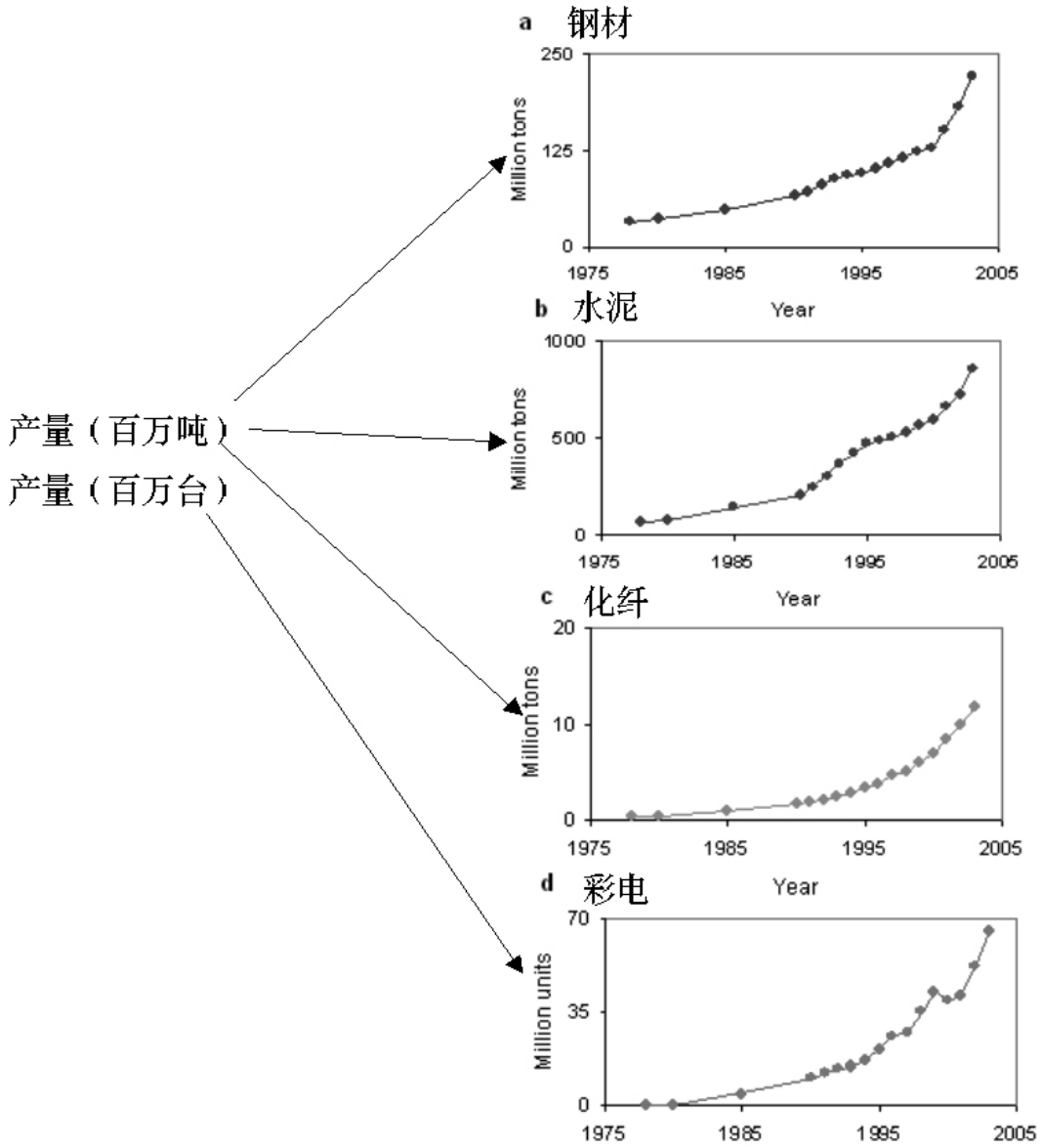
附图 2：中国人口动态



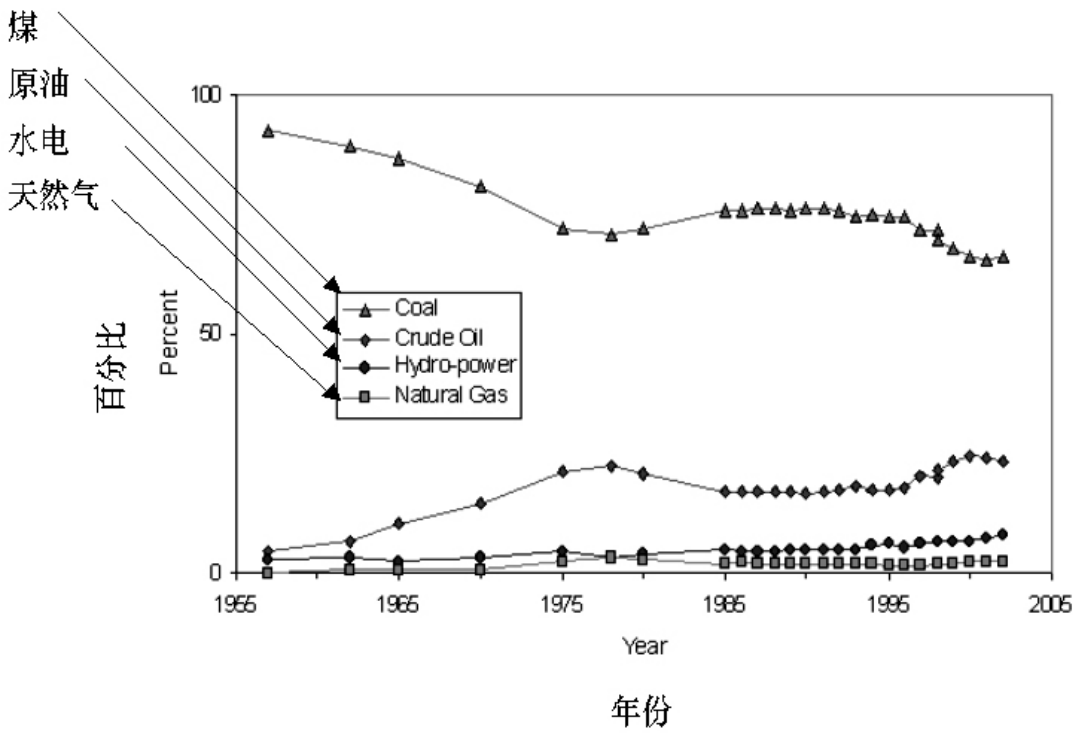
附图 3：中国人口增长动态



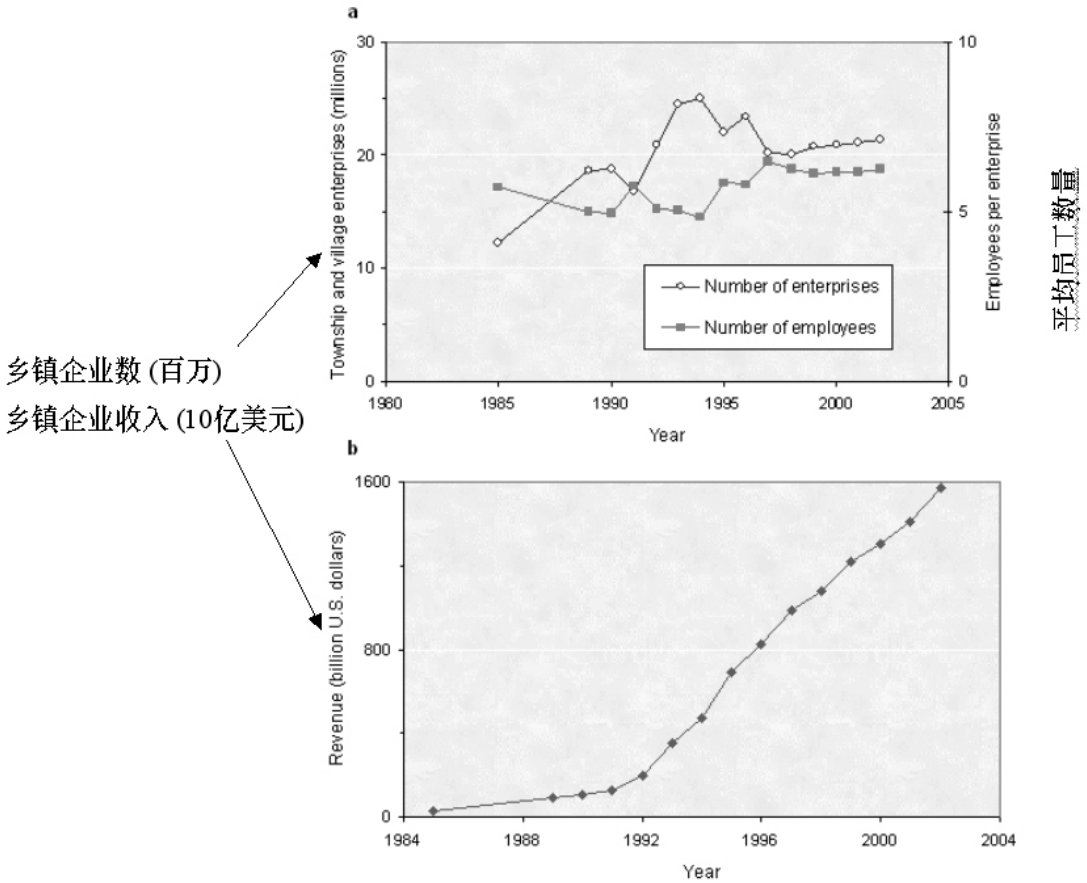
附图 4：中国人均居住面积



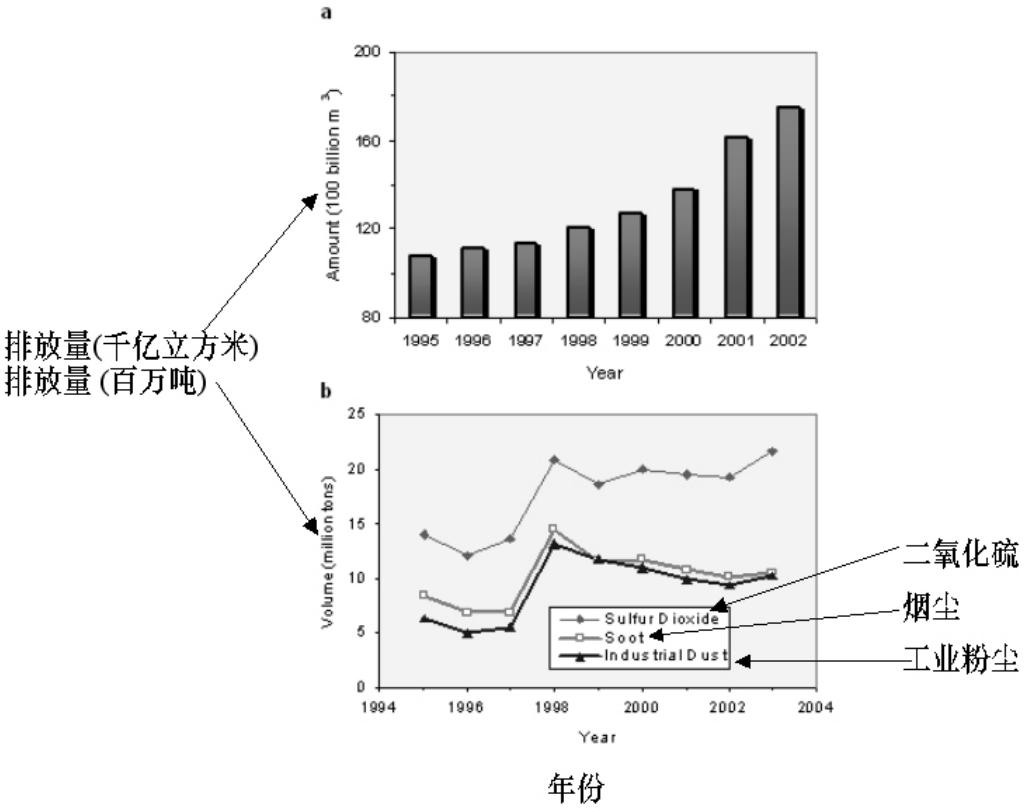
附图 5：中国部分工业产品产量



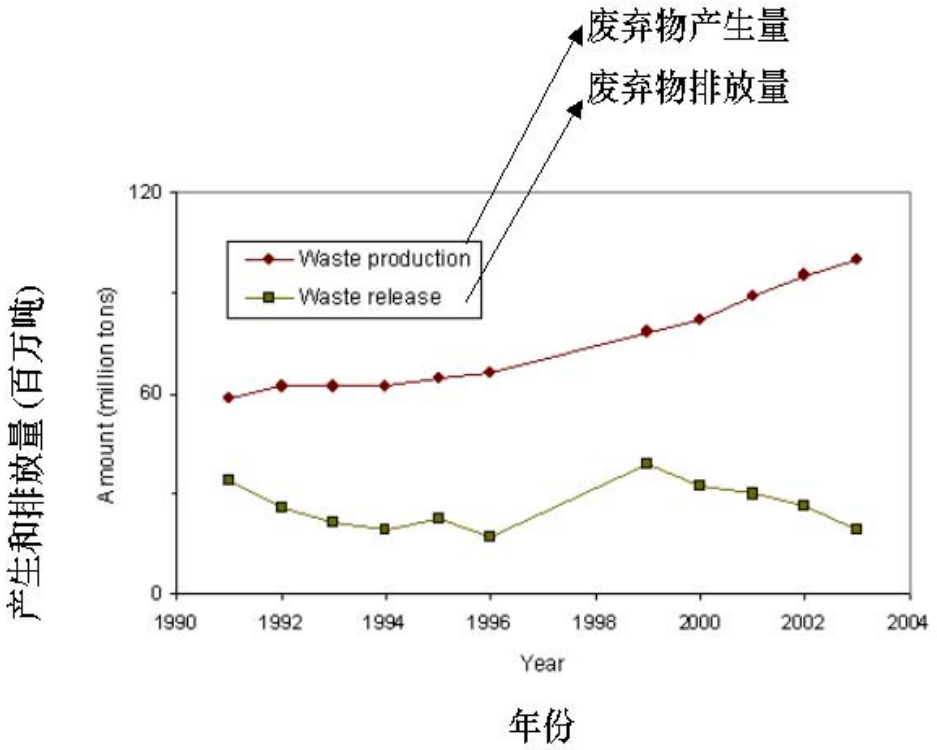
附图 6：中国能源消耗组成变化趋势



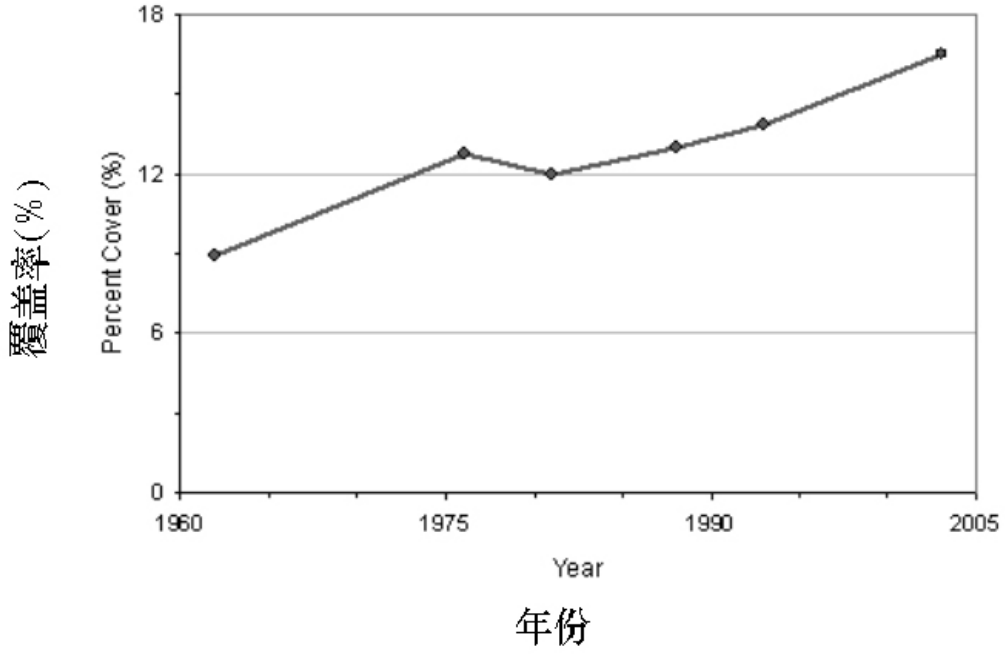
附图 7：(a) 中国乡镇企业总数和每个企业平均职工人数 (b) 乡镇企业经营总收入



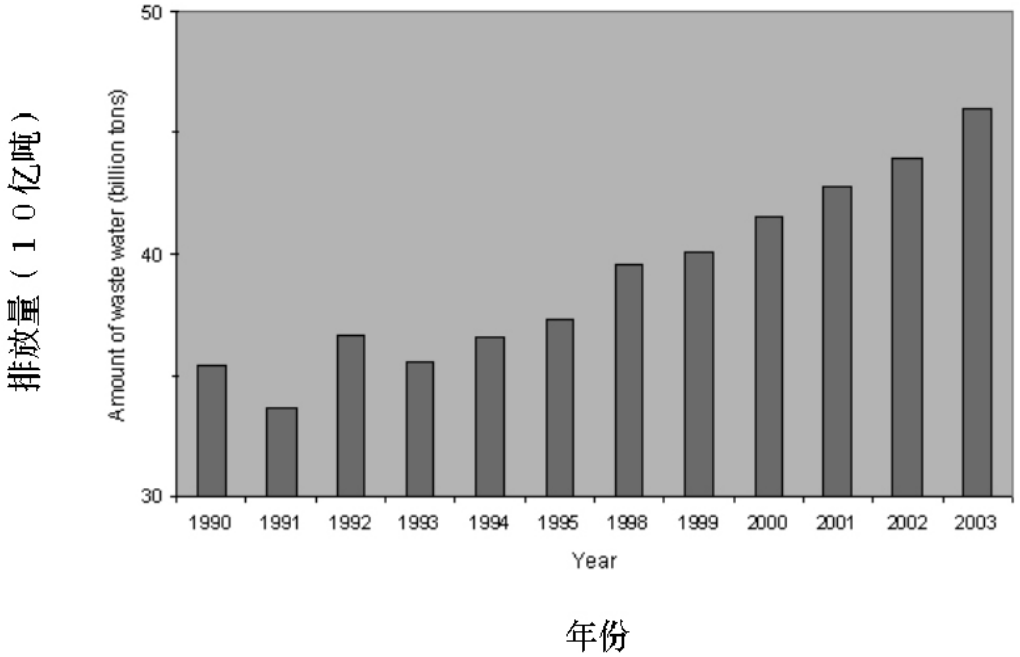
附图 8：(a)中国工业废气排放总量 (b)二氧化硫、烟尘和工业粉尘排放量



附图 9：工业固体废弃物产生和排放量的变化



附图 10：中国森林覆盖率变化情况



附图 11：中国污水年际排放量

中华海外生态学者协会简介

目标和使命

(1) 在海外中国生态学者中，以及在海外生态学者与国内生态学者之间，促进生态学科及各有关学科的学术交流。

(2) 在中国生态学者和其它国家生态学者之间开辟并保持一条有效的渠道，以促进相互了解和合作。

中华海外生态学者协会把促进中国生态学及有关学科的发展做为自己的崇高使命。

成立背景和概况

1986 年，美国生态学会和国际生态学会联合会议在纽约的 Syracuse 举行。与会的中国学生曾提议成立一个中国海外生态学者自己的组织。1988 年 8 月，美国生态学会年会在加州大学戴维斯分校召开。会议期间，约 20 名中国留学生讨论并决定成立一个自己的学术组织，即中华海外生态学者协会。年会后，邬建国，武昕原和伍业钢承担起海外生态协会的筹建和组织工作。同时，三“Wu”还于 1988 年编辑出版了第一期中华海外生态学者协会会刊。这期会刊刊登了第一批 35 名会员的名单。三年后，协会的注册会员已超过 100 名。

中华海外生态学者协会（即 SINO-ECO）于 1989 年在美国正式成立，1990 年通过了第一部会章。中华海外生态学者协会是一个非盈利纯学术组织，在美国特拉华州注册。

中华海外生态学者协会第一届主席为刘建国。其后各届主席分别为：韩兴国、牟溥、陈吉泉、何希、董全、齐晔、林光辉、林俊达、潘愉德、缪世利，现任主席为彭长辉。

目前，协会大多数会员拥有博士学位，就职于北美各大学，研究机构和各级政府部门。协会在其它国家也拥有一些会员。许多会员在包括（但不限于）全球变化生态学、景观生态学、生态系统恢复、保护生物学、遥感、生物地球化学、水生生态学和生物入侵等研究领域发挥了重要作用。协会会员还在生态学研究的进展和运用生态学原理解决实际问题上作出了杰出的贡献。

主要工作和业绩

中华海外生态学者协会成立以来，协会会员为促进海外与国内生态学者之间的学术交流和中国生态学及有关学科的发展，做了大量的工作。一些主要的工作和成绩如下：

1. 组织学术会议，讲座和专题研讨会

近年来，中华海外生态学者协会的会员在国内组织参加了多次相当成功的讲学和讲座。例如，1990 年由武昕原参加组织的生态学，保护生态学和环境保护大会；1994 年由邬建国主持的生态学现状和现代生态学研讨会；1995 由林俊达和何希主持的水生生态学进展讲

座；2001 年潘愉德组织的西部开发考察研讨会；由缪世利主持的 2002 年演替理论与生态恢复的研讨会及 2004 年在北京举办的生物入侵国际研讨会，以及最近由彭长辉和江洪主持的 2005 年广州国际生态系统碳平衡研讨会。

2. 合作研究

多年来，中华海外生态学者协会的许多会员一直在积极促进和参加与国内学者的各种合作。合作的内容包括（但不限于）：合作研究、合著论文或专著、讲学和组织讲座。

3. 发表论文和编辑出版论文集

过去十多年，中华海外生态学者协会的会员参加编写了四部中文学术专著：(1)*现代生态学博论*，中国科学技术出版社 1992 年出版发行，主编刘建国(协会会员)。中华海外生态学者协会的会员参加了该书全部章节的撰写。(2)*大坝对生态和环境的影响* (当代中国研究专集)，当代中国研究中心 1997 年出版发行，编委伍业钢等。中华海外生态学者协会的会员参加了该专集全部章节的撰写。(3)*全球生态学:气候变化与生物响应*，高等教育出版社 2001 年出版发行，副主编林俊达(协会会员)。该专著约 50%的内容由中华海外生态学者协会的会员撰写。(4)*现代生态学讲座* (第二卷)，科学出版社 2001 年出版，主编邬建国，韩兴国。该专著约 70%的内容由中华海外生态学者协会的会员撰写。此外，中华海外生态学者协会的会员还在各种专业刊物包括美国的《科学》和英国的《自然》杂志上发表了数以千计的科研论文。

4. 学术和咨询服务

现在，中华海外生态学者协会的许多会员已成为各自专门领域的专家，权威和知名学者。他（她）们当中的许多人，被中国科学院及其各研究所，国务院各部委的研究所，教育部及各省市的高等院校，以及各级政府部门聘为科研顾问，技术顾问，兼职和客座教授和环境与生态咨询专家，为中央政府和各级地方政府提供咨询介绍，引进新方法和新技术等。在美国的一些会员还经常负责或参与为国内学者安排学术访问。

5. 与中国生态学会和美国生态学会的合作

中华海外生态者协会发起和赞助成立了美国生态学会亚洲分会。美国生态学会亚洲分会在加强亚洲和北美生态学者之间的交流中起到促进作用。1995 年起，中华海外生态者协会成为中国生态学会的团体会员，协会的每届主席任期内自动当选中国生态学会理事。1995 年以来，中国的几大生态学刊物（生态学报、应用生态学报，植物生态学报和生态学杂志）都分别有本协会数名会员担任编委。

本届领导机构

中华海外生态学者协会的日常工作，由协会主席及其领导下的执行委员会承担。协会 2004-2006 届的主席及执行委员会的成员如下：

主　　席：　　彭长辉博士，魁北克大学蒙特利尔分校，peng.changhui@uqam.ca
副 主 席：　　江洪博士，美国科瓦利斯生物保护所，hongjiang@consbio.org

财务负责人：　　程裕富博士，加里福尼亚州立大学，ycheng@exchange.calstatela.edu
公关负责人：　　魏晓华博士，不列颠哥伦比亚大学澳肯那根分校，awei@ouc.bc.ca
会刊主编：　　古滨河博士，南佛罗里达州水资源管理局，bgu@sino-eco.org
网页管理：　　花东博士，魁北克大学蒙特利尔分校，dhua@sino-eco.org

联系人和地址：

Dr. Changhui Peng, Professor and Canada Research Chair
Institiute of environment sciences, University of Quebec at Montreal (UQAM)
Case Postale 8888, Succ Centre-Ville, Montreal, QC, Canada H3C 3P8
电话：514-987-3000 ext. 1056；传真：514-987-4718
电邮：peng.changhui@uqam.ca，网址：http://www.sino-eco.org

中华海外生态学者协会 (SINO-ECO) 欢迎国际和国内各界同行和朋友与我们联系。

中国生态学学会简介

中国生态学学会（英文名称：Ecological Society of China，英文缩写：ESC）是中国生态科学技术工作者自愿组成、依法登记的全国性、学术性、公益性、非营利性学术团体，是中国科学技术协会的组成部分，是发展中国生态科学事业的重要社会力量。中国生态学会于 1979 年 12 月在昆明成立，马世骏院士任第一、二届理事长。现任理事长是王如松研究员。学会现挂靠在中国科学院生态环境研究中心。

学会宗旨：弘扬生态科学、普及生态知识、推进生态决策、服务城乡建设、促进国际交流

学会主要任务：开展国内外学术交流，促进生态学的发展；普及生态科学知识，传播生态学思想，推广生态技术；编辑、出版、发行生态学科技书刊及相关的音像制品；组织全国生态学工作者参与国家生态环境建设政策、法律法规制定和科学决策工作；对国家经济建设中的重大决策进行科学论证和科技咨询，提出政策建议；促进民间国际科技合作；认定会员资格，开展对会员和科技人员的继续教育和培训工作；举办为会员服务的事业和活动；加强学会组织建设，发展壮大会员队伍。

组织管理：学会拥有全国会员 7000 多人，学会下设 17 个**专业委员会**（学组）：动物生态专业委员会，海洋生态专业委员会，种群生态专业委员会，微生物生态专业委员会，数学生态专业委员会，化学生态专业委员会, 城市生态专业委员会，农业生态专业委员会，景观生态专业委员会，湿地生态专业委员会，生态工程专业委员会，污染生态专业委员会，旅游生态专业委员会，生态卫生与生态健康专业委员会，网络生态专业委员会，中医药生态专业委员会，红树林生态学研究学组。以及 5 个**工作委员会**：教育工作委员会，科普工作委员会，青年工作委员会，咨询工作委员会和出版工作委员会。

全国 31 个省、市、自治区成立了地方生态学会组织（未含港、澳、台）。学会主办与联合主办有《生态学报》、《应用生态学报》、《生态学杂志》和英文版《林业研究》等刊物。

1984 年作为团体会员加入国际生态学会（INTCOL）。2003 年 2 月 6 日，中国、日本、韩国三国生态学会组成的东亚地区生态学会联盟在北京正式成立。

中国生态学会第七届理事会主要领导名单

名誉理事长：　李文华
理　事　长：　王如松
副理事　长：　于贵瑞　方精云　刘世荣　苏智先　张知彬　钦　佩　骆世明
秘　书　长：　欧阳志云

联系方式

地址：北京市海淀区双清路 18 号　　邮政编码：100085
电话：010-62849101，62849113　　电子信箱：esc@mail.rcees.ac.cn
传真：010-62849101　　主页网址：www.esc.org.cn

中国科学院系统生态重点实验室简介

1 成立背景

中国科学院系统生态重点实验室是在我国著名生态学家马世骏院士和王如松研究员的领导下于 1986 年成立的。是中国第一个从事社会－经济－自然复合生态系统生态学、可持续发展理论与生态建设的综合研究单位。

系统生态重点实验室的目标是发展社会－经济－自然复合生态系统生态学，成为中国复合生态系统可持续发展的研究基地、人才培养基地以及生态系统分析、评价、规划与可持续发展政策咨询中心。

2 研究方向

实验室的主要研究方向是以生态学、生态经济学、系统科学为基础，以社会－经济－自然复合生态系统为对象，围绕国家和区域重大生态环境问题开展跨学科的综合研究。在理论上研究不同尺度复合生态系统中人与自然的系统耦合关系与生态控制论机理；在方法上研究复合生态系统的评价、规划及管理理论与方法；在应用上综合研究国家和区域生态环境特征与生态安全的演变机制，探索区域生态建设与可持续发展模式，为国家及区域解决重大生态环境问题提供科学依据。目前研究的方向有：

（1） 不同尺度复合生态系统结构、功能及控制论机理；
（2） 复合生态系统格局、过程及耦合关系的辨识与模拟；
（3） 人类活动胁迫下复合生态系统的动力学特征与响应机制；
（4） 复合生态系统的生态评价、规划及管理方法；
（5） 区域生态产业发展、生态环境保育与生态建设模式研究；
（6） 国家与区域生态安全及其演变机制与可持续发展政策研究；

3 实验室发展概况

3.1 研究组与研究人员

经过近 20 年的发展，实验室已形成一支以中青年科学家为主体，知识结构和年龄组成合理、有广泛国内和国际合作基础的研究梯队。共有研究组 6 个：城市与产业生态；系统分析与模拟；景观生态；生态系统评价与生态规划；污染生态；国情研究与环境政策。实验室现有固定人员 35 名，其中研究员 13 名，副研究员 8 名，秘书 1 名，技术人员 5 名。研究人员中有中国工程院院士 1 名，博士生导师 13 名，包括从国外应聘回国工作的中国科学院“百人计划”入选者 2 名，国家基金委杰出青年基金获得者（含 1 名海外杰出青年基金获得者）4 名。另外，研究人员中有国家基金委创新研究群体 1 个。目前，实验室以博士研究生为主的流动人员总数已经达到 100 余人。

3.2 主要工作和业绩

自 2000 年以来，实验室固定研究人员主持与参加了 142 项国家、省部委、地方、横向及国际合作项目。包括国家自然科学基金 49 项，973 项目课题 4 项，国家科技部攻关项目课题 8 个、专题 7 个，国家重大工程任务 4 项，欧盟科学基金、美国科学基金等国际合作项目 12 项。高层次和多渠道的科研经费来源为实验室的稳定发展提供了重要保障。

建室以来，实验室在社会－经济－自然复合生态系统理论、我国城乡可持续发展模式、京津地区城市生态系统与污染综合防治、酸雨生态环境效应与防治对策、我国地区发展差异、我国人口－资源－环境的国情研究、中国水生态安全系统模拟、土地可持续管理、生态系统服务功能、自然保护区规划与管理等方面取得了一系列创新性的研究成果。先后获国家科技进步一等奖、二等奖和三等奖共 4 项，省级科技进步一等奖、二等奖和三等奖共 24 项。发表论文 1200 多篇，出版专著 100 余部。已初步成为我国城市与区域复合生态学与可持续发展的理论、方法和模式的研究中心和人才培训基地。

3.3 国际合作与交流：

实验室有广泛的国际合作与交流，主要合作与交流的形式包括：主动参与国际研究计划；联合申请研究项目；合作培养研究生；与国际上一流研究机构建立长期合作和交流计划；举办学术研讨会和国际培训班；邀请外面专家来实验室讲座；派实验室科研人员出国开会和学习。

4 联系人和通讯地址

地址： 100085 北京市海淀区双清路 18 号中国科学院生态环境研究中心
电话： +86-10-62849191
传真： +86-10-62943822
Email： zyouyang@mail.rcees.ac.cn
联系人：欧阳志云 研究员