

我国区域尺度生态系统管理中的几个重要生态学命题^{*}

于贵瑞^{**} 谢高地 于振良 王秋凤 (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

【摘要】 生态系统管理学是研究生态系统管理的理论与实践技术、相关政策和管理策略的综合性应用生态学。当前,综合研究全球或区域尺度生态系统管理模式及其相关的重大科学问题不仅是人类社会可持续发展的迫切需要,也是生态系统管理学的重要发展方向和科学任务。为此,本文系统地论述了生态系统的服务功能、可持续性、复杂性和不确定性的综合评价与生态学机制,自然资源保护、生态系统健康以及退化生态系统恢复的生态学基础,生态系统管理的基础生态学过程,生态系统适应性管理的理论与实践,生态系统网络研究、监测和成果集成,区域尺度生态系统管理的综合性专题研究等一系列重要生态学命题,讨论了这些生态学命题的国内外研究进展及其发展方向。

关键词 生态系统管理 生态学命题 区域尺度生态系统 可持续发展

文章编号 1001-9332(2002)07-0885-07 **中图分类号** Q149 **文献标识码** A

Important ecological topics on regional scale ecosystem management in China. YU Guirui, XIE Gaodi, YU Zhenliang and WANG Qiufeng (Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101). -Chin. J. Appl. Ecol., 2002, 13(7): 885 ~ 891.

Ecosystem management is a synthetic applied ecology concerning ecosystem management theories, practical technologies, relevant policies and management strategies. It is not only an urgent need for the sustainable development of human society, but also an important tendency and scientific task of ecosystem management to develop integrated studies on models of global or regional scale ecosystem management and the relevant scientific problems. For this reason, we systematically expounded a series of important ecological topics, such as the synthetic evaluation and ecological mechanism of the services, sustainability, complexity, and indeterminacy of ecosystem, the ecological basis of natural resources conservation, ecosystem health, and the rehabilitation of degraded ecosystem, basic ecological processes for ecosystem management, theories and practice on adaptive management of ecosystem, ecosystem network study, monitor, and achievement integration, as well as synthetic special topic studies on regional scale ecosystem management etc. Research advances and tendencies of these topics at home and abroad were also reviewed.

Key words Ecological topics, Ecosystem management, Regional scale ecosystem, Sustainable development.

1 引言

20世纪40年代以来,在世界经济高速发展过程中,全球规模的环境问题越来越严重,这些环境问题已经对人类社会持续发展构成了极大的威胁,向全世界的科学家和政治家们提出了严峻的挑战。在大量全球规模的环境研究计划的实施过程中,生态学家们积极倡导用生态系统的原理和方法来管理自然环境和自然资源^[5]。90年代前后,生态学的研究重点是探讨人类如何以可持续发展概念来设计生物圈可持续利用,设计世界经济秩序,保护人类共同的未来。也就是说,人类由以往的对地球圈、生物圈和大气圈以及地球生态系统变化的被动适应,开始走向实施有意识的控制管理^[44]。生态系统管理学作为这一领域的应用科学也应运而生,并且很快地被广泛认同和采纳^[5,8,12,29],成为当代科学发展的新热点。近年来生态系统管理学也得到了我国生态学界的关注和重视。赵士洞和汪业勤^[48]首先介绍了国外生态系统管理的概念,论述了生态系统管理的一些基本问题;任海等^[32]系统地讨论了生态系统管理的概念及其要素;于贵瑞^[44]综合地论述了生态系统管理的概念框架和生态学基础。

然而,对于目前人类所面临的众多环境问题来说,仅仅依据过去的那些对各种试验站点或小尺度生态学过程的认识已经很难解决实际问题,要求我们必须从区域或全球的视野,研究大尺度区域性生态系统的总体行为,探讨区域尺度生态系统管理的理论与实践问题。这是因为:(1)生态系统的很多生态学过程是跨越行政边境,发生在一个广泛的时间和空间尺度上的,没有足够的时间和空间尺度的生态系统管理行为和策略,不可能达到对生态过程实施有效控制的目的。(2)任何生态系统都是开放的,通过系统内部和外部的物质能量交换,与周围的生态系统形成密切的耦联关系。某个对象生态系统的行为极大地受到它周围环境系统的影响,各种小尺度生态系统管理的效果也常常会因为它与周围系统的相互作用而难以发挥,甚至会对周围系统产生负面影响。(3)人类作为生态系统的重要组成部分,他的社会、政治和经济活动对生态系统的行为产生着重大影响。同时,随着社会经

^{*} 中国科学院“百人计划”和“引进国外杰出人才”项目及知识创新领域前沿资助项目(CX10GC00-01)。

^{**} 通讯联系人。

2000-12-25收稿,2001-03-01接受。

济和科学技术的发展,人类活动的空间尺度以及对生态系统的影响能力将越来越大,人类无止境的物质和金钱欲望将会驱使他们以更大的强度、更大的规模去开发有限资源。

Grumbine 等^[12]通过大量文献调查发现,最为广泛地被生态系统管理学家所论及的生态系统管理议题有:生态系统的等级关系(hierarchical context)、生态学的边境(ecological boundaries)、生态学的整体性(ecological integrity)、数据收集(data collection)、监测(monitoring)、适应性管理(adaptive management)、跨部门间的协作(interagency cooperation)、组织的变化(organizational change)、自然界人类的介入(humans embedded in nature)、价值(values)等。近年来关于生态系统的可持续性(sustainability)、不确定性(indeterminacy)和服务价值(services values)等也正在成为新的热点话题。可是,目前关于生态系统管理的一些研究工作还主要集中在对自然保护区(或国家公园)管理的生态经济学、政策和社会学等问题的理论性探讨方面,今后的研究必将会转向区域或全球尺度生态系统可持续发展的管理模式及其相关的重大科学问题的定量化研究上来。也就是说,如何将实验生态学和理论生态学研究方法有机结合,以生态系统网络研究、定位观测和常规气象数据资料以及资源环境数据库为依托,利用遥感和地理信息系统等现代信息技术手段,研究特定区域或全球尺度生态系统可持续管理,将会成为生态系统管理学的重要发展方向。这就需要我们准确地把握国际学术研究动向,明确区域尺度生态系统管理的主要科学问题。这里我们从(1)生态系统的综合评价与适应性管理;(2)自然资源保护、生态系统健康与退化生态系统恢复的生态学基础;(3)生态系统管理的基础生态学过程;(4)生态系统网络研究、监测和成果集成;(5)区域尺度生态系统管理的综合研究等方面,来论述区域尺度生态系统管理研究中的一些重要生态学命题,阐述这些生态学命题的国际学术研究进展和发展方向,分析我国的研究现状与问题。

2 生态系统的综合评价与适应性管理理论

生态系统的功能、可持续性、复杂性和不确定性的综合评价是把握生态系统状态,设计生态系统管理模式,制定生态系统适应性管理策略和行动计划的依据。虽然很多学者致力于这方面的研究,但是还远不能满足区域尺度生态系统管理的实践要求,特别是在以下 3 个问题上还没有形成学术界的广泛共识。

2.1 生态系统服务功能的评估理论和方法

长期以来,人们对生态系统的研究主要侧重于它的物质(食物、纤维、燃料)生产功能,却忽略了自然生态系统的环境服务功能。90 年代以来,随着全球性环境问题的日趋严重,环境经济学和生态经济学的发展,生态环境工程的产业化趋势的加快,人们开始对生态系统物质生产以外的服务功能的研究给予了较多的关注。生态系统服务(ecosystem services)也被称之为自然服务,它是指人类从生态系统中直接或间接得到的产品与环境服务。据欧阳志云等^[27]报道,生态系统

services 这一术语是在《人类对全球环境的影响报告》^[37]中首次使用的,同时文中还提出了自然生态系统对人类的“环境服务功能”的概念。后来经过 Holdren^[13]、Westman^[39]、Ehrlich^[10]的发展,生态系统服务功能的概念逐渐为人们所公认和普遍使用,成为生态学和生态经济学研究的分支。生态系统服务功能主要包括自然生产(食物、纤维、燃料、医药材),维持生物多样性,调解气候和物质循环,减轻自然灾害,保持和改良土壤,净化环境,传粉和种子扩散,控制有害生物,感官、心理和精神调解,美学和旅游价值等。董全^[9]和欧阳志云等^[27]对此做过详细评述。这里,我们将生态系统服务功能中自然生产以外的与维持人类生存环境相关的功能集合定义为生态系统的环境服务(environmental services)功能。

生态系统服务功能的评价是当前生态系统和资源管理的研究热点之一。国际科学联合委员会 1991 年组织了关于生物多样性与生态系统服务功能以及生态系统服务功能经济评价的讨论会^[34,38]。1998 年,世界千年生态系统评估(Millennium Ecosystem Assessment, MA)管理委员会成立。其目的是通过对全球生态系统的综合评估,为 21 世纪有效地管理地球生态系统提供决策信息。其服务对象确定为与生态系统管理有关的国际组织、国家政府、民间团体和个人。MA 以 2000 年为基础,预测未来 10 年世界不同地区生态系统产品和服务的质和量变化,估算生态系统产品和服务的平衡,阐明提高生态系统综合效益的途径,确认生态系统管理政策、制度和技术的改进状况以及它们对可持续发展的贡献,并计划在全球十几个区域、国家和地区尺度上开展评估活动。评估委员会将从世界不同地区寻找相关的科学家参与。MA 的第一次评估在 2000 年底开始,预计于 2003 年完成,并将被作为今后一项固定的国家活动,每 10 年开展一次。千年生态系统评估由 WRI、UNDP、世界银行和 FAO、WCMC、国际食品政策研究所发起,其管理方式参照 IPCC 和全球水分评估方式实施。

生态系统服务功能评估的一个重要学术问题是生态系统环境服务功能的经济价值评估方法的确立。它引起了世界范围内生态经济学家的关注^[1,2,4,6,7,14,24-26,30]。美国生态学组织了以 Gretchen Daily 负责的研究小组,对生态系统服务功能经济价值评估方法进行了系统研究,并出版了论文集。Costanza 等^[6]把大量的、分散的研究工作加以总结,把生态系统的服务功能归纳为 17 种类型,并且分别按 10 种不同生物群区用货币形式对生态服务价值进行了测算。他首次得出了全球生态系统每年的服务价值为 16~54 万亿美元,平均为 33 万亿美元,其最低估计计算也可达 18 万亿美元,相当于 1994 年全世界 GNP 的 1.8 倍。他还估算出海岸生态系统占全球生态系统总服务价值的 62%,陆地生态系统只占 38%(主要来自森林与湿地)。其中海岸生态系统每公顷服务价值 577 美元,陆地生态系统每公顷服务价值 804 美元。从生态系统服务的方式来看,营养循环服务的价值最高,达 17075 美元,其次为文化服务,为 3015 美元,土壤形成作用服务价值最低,为 53 美元。生态系统通过内部各组间以及

生态系统与其周围环境之间的物质和能量交换发挥着多种多样的功能,从而维持着地球上的生命系统和生物圈的动态平衡。尽管生态系统环境服务功能的重要性愈来愈被人们所认同,但是其价值评估的理论和方法目前还没有得到共识。我国虽然曾在某些方面做过一些理论的、实践的研究工作^[9,16,17,21,27,28,47],但客观地说,系统的研究尚处于起步阶段,不仅落后于国际先进水平,而且也与当前生态建设的迫切要求不相适应。综合运用生态学、经济学、地理学的理论与方法,建立我国生态系统环境服务价值评估的指标体系与方法,在区域尺度上估算我国典型生态系统类型的环境服务价值及其时空变化格局是我国区域尺度生态环境建设和生态系统管理的当务之急。

2.2 生态系统可持续性的生态学机制及其评价和预警

20 世纪后半期以来,为了解决全球环境变化与资源短缺对人类社会发展威胁问题,区域或全球规模的生态与环境研究成为最为活跃的科学领域。生态系统管理概念的提出是对当今深刻的生态环境和生物多样性危机的一种响应,是人类保护环境、实现社会可持续发展的需要。自 1992 年在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展首脑大会以来,可持续发展已经成为世界各国的共同目标,成为指导世界各国或区域社会经济发展的总体战略^[20]。可是如何测度和评价社会经济可持续发展的可持续性却成为各国政府和科学家所面临的重大难题。为此,各种国际组织和各国的政府部门都纷纷开展了评价社会、经济和生态环境可持续发展状态和进程指标体系的研究工作^[18,35]。

生态系统是自然界和人类社会的基本单元,生态系统的持续性是人类赖以生存、社会经济得以可持续发展的基本条件。因此,制止或逆转生物圈资源的退化,建立可持续生态系统(sustainable ecosystem)是现代生态学和生态经济学所追求的目标,也是生态系统管理的最终目的。生态系统管理要求我们必须阐明生态系统可持续性的生态学机理,不断地探讨生态系统对环境胁迫,特别是对人类活动的响应机理和特征,用以指导生态系统可持续性评价理论和预警系统的建立。一般认为,“可持续性”是指某个客观事物可以持久或无限地维持或支持自我存在的能力。生态系统可持续性可以理解为生态系统持久地维持自身健康生存和发展的能力,它决定于系统的生态整体性(ecological integrity)、自维持活力(vigor of self-maintenance)、自调解力(self-regulation)和自组织力(self-organization)^[15]。这些内在的能力与系统结构的复杂性和多样性有关,保护和维持生态系统多样性(特别是生物多样性)和相应的复杂性是提高生态系统抵抗干扰和环境胁迫的有效途径^[5,12]。生物多样性是决定生态系统可持续性的核心,它在复杂的时空梯度上维持着生态系统过程的运行,是生态系统抗干扰能力和恢复能力以及适应环境变化能力的物质基础^[48]。可是,目前我们对生态系统可持续性内在的生态学机理的理解还十分有限,很多生态学过程和格局与生态系统持续性之间的关系还不清楚。这正是目前在生态系统可持续性评价和预警指标体系研究方面难以获得共识的

原因,也是生态系统管理所面临的一个重大理论问题。

2.3 生态系统复杂性和不确定性评价及其适应性管理理论

近年来,生态复杂性(ecological complexity)是国际生态学研究的热点,其基本观点是利用复杂学(science of complexity)的理论和方法来认识生态系统的动态行为。生态系统是一个典型的复杂系统,因为它的组成单元数量庞大,单元之间存在着复杂的互作关系,系统及其单元具有自适应和进化能力等系统动力学特征。同时,生态系统是一个自适应的复杂系统,处于混沌的边缘和临界状态,内部作用是生态系统复杂化、有序化及自组织化的推动力。生态系统复杂性和人类对生态系统认识的有限性决定了人类对生态系统理解的不确定性,这必然导致我们对生态系统管理的盲目性,甚至是无效和经常性的失败。因此,生态学家们强调生态系统的适应性管理,承认它只能依赖于我们对生态系统临时的和不完整的理解来进行,允许管理者对不确定性过程的管理保持灵活性和适应性^[5]。

生态系统管理的不确定性主要来自 3 个方面^[48]:其一,由于生态系统复杂性和动态特征而引起的不可预知的突变事件以及生态系统对干扰响应的不同而引起的多种环境累计效应预测的不确定性;其二,我们已有的生态学知识和对生态系统理解的限制,尤其是将他们在时间和空间尺度外推时产生的不确定性;其三,已有的数据质量差、取样偏差和分析错误而引起的不确定性。生态学的发展虽然使我们对某些简单生态系统的理解和把握取得了很大的进步,但是对于区域尺度的复杂大系统而言还是十分困难。所以生态系统的适应性管理策略和行动计划不仅要经过广泛的民主讨论和科学分析,以使政策制定者、经营管理者 and 公众更多地了解因不确定性可能引起的诸多问题,还要通过对公众的宣传教育,使他们理解和参与适应性管理行动^[5]。可是,如何定量地评价生态系统复杂性和不确定性,如何依据对它们的量化评价结果来制定适应性管理策略和风险评估等方法论问题还没有得到解决。这也正是制约生态系统管理思想发挥应有的社会效益的重要因素之一。

3 自然资源保护、生态系统健康与退化生态系统恢复的生态学基础

随着世界人口和技术开发能力的增长,人类对自然生态系统特别是一些脆弱生态系统的破坏越来越严重。为了保护生物多样性和自然景观多样性,当前我们非常需要从自然保护和保育生物学角度列出受威胁生态系统的清单、受害等级、地理分布格局,制定合理的保护对策。可是我们生活着的地球,人类没有干预和破坏的生态系统已经所剩无几,开展生态系统健康诊断和退化生态系统恢复与重建的生态学基础和技术研究则是生态系统管理更为重要的任务。

生态系统健康(ecosystem health)的概念虽然仅有 10 余年的历史,最近才开始应用于生态系统和景观水平,但是在很多领域它已经成为一个指导性的框架^[46],已经在海洋生态系统^[36]、森林生态系统^[19]、农田生态系统^[11]、沙漠生态

系统^[40]等领域都得到了成功的应用。国际生态系统健康学会将生态系统健康学定义为:研究生态系统管理的预防性的、诊断性的和预兆的特征,以及生态系统健康与人类健康之间关系的一门科学^[22]。其主要任务是研究生态系统健康的评价方法、生态系统健康与人类健康的关系、环境变化与人类健康的关系、各种尺度生态系统健康的管理方法^[46]。生态系统健康将生物多样性和管理多样性与人们所熟知的一些健康知识联系起来,它不但使人们认识到地球生命支持系统存在的问题,同时也激励人们去寻找解决问题的途径和方法。生态系统健康是生态环境和资源管理的一种新思维和新方法,也是管理的新目标。一个健康的生态系统应该能及时调整系统的功能紊乱(疾病、危困综合症),保持正常的功能状态,维持系统的稳定性、可持续性和良好的组织结构以及对环境胁迫的恢复力。

恢复生态学(restoration ecology)是研究生态系统退化的原因、生态学过程和机理、退化生态系统恢复与重建的技术和方法的科学,是一门 80 年代以来迅速发展起来的现代生态学分支^[45]。在外界作用下,生态系统的结构和功能发生位移(displacement),其结果造成生态系统平衡的破坏,使生态系统的结构和功能发生变化,导致功能障碍或紊乱,进入破坏性的波动或恶性循环,这样的生态系统通常称为受害生态系统(damaged ecosystem)或退化生态系统(degraded ecosystem),也可称为病态生态系统(morbid ecosystem)。生态系统的恢复(restoration)包含了生态系统改造(reclamation)、修复(rehabilitation)、挽救(redemption)、更新(renewal)以及再植(revegetation)等涵义,泛指改良和重建被毁坏或被破坏了的自然生态系统,恢复其生物学潜力^[45]。

自然干扰或人为干扰所导致的退化生态系统类型很多,研究比较多的是裸地、森林采伐迹地、弃耕地、沙漠、采矿废弃地和垃圾堆放场等。然而,开展正在退化或可能退化的自然生态系统的健康诊断和演替态势预测及其恢复的生态学基础和技术研究,更是区域生态系统管理的迫切需要。生态系统恢复不仅需要大量的生态学等自然科学知识,其恢复和重建过程在很大程度上也是人为策划的事业工程,还需要社会、政治和经济力量的支持和驱动。因此,恢复和重建可以理解为一个复杂的生态系统工程(ecosystem engineering)。系统工程(system engineering)是生态系统管理的有效工具,它是利用生态系统中的物种、种群间的共生相克关系,物质的循环再生原理,结构与功能的协调原则,利用系统工程的最优化思想和方法来设计生态系统的管理计划,是制定自然保护区和退化生态系统恢复重建的指导思想和决策方法。

另外,生态环境工程产业化是以经济学原理和手段推进生态环境恢复和重建的有效途径,必将成为恢复生态学的一个新的研究方向,从生态经济学角度研究生态环境工程的价值评估、投资效益和风险是生态环境建设的迫切需要。当前我国西部开发中生态环境建设的核心任务就是恢复和重建退化了的农业、林业和草地生态系统。然而,盲目地退耕还林还草,不仅可能得不到预期的效果,甚至还会导致更大的环

境破坏,急需大量而细致的研究工作。

4 生态系统管理的基础生态学过程

生态系统的功能(functions)决定于生态系统结构(structure)和生态学过程(processes)。生态系统总体功能的强弱取决于生态系统结构的合理性以及不同等级的生态学过程的状态,所以生态系统的调控和管理只能通过影响系统组成、结构和生态学过程而发挥其作用。就区域生态系统管理而言,对一些基础生态学过程深入开展研究是非常重要的。

4.1 生态系统生产力与碳循环生理生态学过程与区域模型

生态系统管理的最终目的是要获取可持续的最大化的生态功能(价值)输出。以植被光合-呼吸作用为基础的生态系统生产力的形成和碳循环构成了生态系统的基础生态学过程。生态系统生产力不仅可以直接表征生态系统为人类提供产品服务的能力,同时它也是反映生态系统结构与功能状况的综合性生态学指标。因此,探讨生态系统生产力形成机制和估算模型不仅是人类的食物安全、区域经济发展和生态环境建设的需要,也是生态系统定向调控与优化管理等相关研究的重大基础性命题。尽管不同时期它的学术热点问题有所不同,但是毫无疑问,关于生态系统生产力的研究是一个永久性的生态学前沿领域。生态系统的碳循环是 20 世纪 90 年代很多国际大科学计划(IGBP, GCTE, LUCC, WCRP 等)的核心内容之一。可是因为人们对陆地碳循环过程和格局认识的诸多不明和不确定性,全球碳的汇/源格局与碳丢失(missing),碳循环与气候变化、土地覆被变化的相互作用关系及其模型表述,人类活动对陆地碳循环的影响和反馈作用等科学问题还没有得到解决。这些科学问题是我们理解工业革命以来一系列全球变化问题发生机理的关键,也是精确预测未来全球变化态势,探讨全球环境对策的需要。特别应该注意的是,在温室气体排放国际公约的谈判中“碳排放贸易”概念的提出,使其与各国的经济利益直接联系起来,已经使自然科学问题政治化。

区域尺度生态系统生产力和碳循环的生理生态学过程模型是研究全球气候变化的基础模型之一,它与土壤-植物-大气系统的水分和能量传输模型相耦合,构成了大气循环模型(GCMs)的陆面过程模型的基础。同时以生态系统光合作用模型为基础,可以进一步发展相应的区域尺度作物生产模型和营养物质的生物化学循环模型,直接用于指导农田生态系统管理。国际上大规模的生态系统生产力和碳循环研究是在 60 年代开始的 IBP、MAB 和 IGBP 的推动下展开的。IBP 阶段(1964~1974)主要强调对斑块尺度生产力的大规模测定。1972 年开始的 MAB 是 IBP 的深入和延续,这一阶段的研究主要强调人与生态系统及环境之间的关系。1986 年以来的 IGBP 主要强调陆地生态系统与全球变化的关系。为此,生态学家们建立了大量模拟全球或区域尺度生产力或碳循环的模型^[23,31,33,42]。然而,随着植物生理学的发展,目前国际上更多地注重植物光合作用生理化学模型的开发,并且致力于开发光合作用模型与 GCMs、卫星遥感以及 GIS 的耦

合嵌套技术^[41]。我国在这方面的研究几乎还是空白。因此,从光合作用的生理生态学机制角度,研究我国典型生态系统生产力和碳循环的生理生态学机理模型,探讨斑块尺度的生产力和碳循环模型向景观和区域尺度转换的理论与技术问题,在区域尺度上估算生态系统生产力和碳通量,阐述它们的地理分异规律及其对气候变化和人为活动的应答特征,预测环境变化条件下生态系统植被生产力、生态系统结构和功能的演替态势,建立生态系统的人口和社会经济承载能力和环境质量预警的理论和体系,都是我国区域尺度生态系统管理的迫切要求。

4.2 土壤-植物-大气系统相互作用关系及其能量交换与物质循环

生态系统与环境系统间的耦联是通过生态系统物质和能量的输入和输出实现的。物质和能量的输入和输出规律是研究生态系统对环境变化的响应及其反馈作用的有效途径。同时,土壤-植物-大气系统的能量交换与物质循环过程是生态系统环境服务价值形成的生态学基础,它与生态系统生产力和生态系统环境服务功能形成过程相耦联,决定着生态系统生产力水平和环境服务功能状态,决定着生态系统与环境系统的互作关系。区域环境变化与发生在土壤圈、生物圈和大气圈界面的化学物质循环、能量流动和水循环相关联。研究这种界面过程是了解各圈层相互作用的关键,有助于了解区域环境的变化规律,有效地预测生态系统对全球变化的响应和反馈能力,为生态系统可持续管理提供科学依据。

目前国际上广泛应用的土壤-植物-大气系统的能量与水分循环模型,主要是以 Penman-Monteith 模型或 Shuttleworth-Wallace 模型为基础发展起来的。这些模型在农田尺度、区域尺度甚至全球规模的微气象或者气候变化预测中被广泛应用^[43]。同时,以这些模型为基础,还相应地开发了大量更为严密的数值模拟模型(例如, CERES、ENWATBAL、SPACM、SWATR、SWEAT、SWIM 和 WATBAL、BATS、MAESTRO、SiB、SiB2、SVAT 和 NEO SPAM 等)^[43]。但是,这些模型大多是以特定的生态系统(主要是热带湿润地区)为对象提出的,难以直接应用于我国陆地生态系统。由于我国在这一领域的研究起步比较晚以及试验设备等方面的条件所限,进展也比较缓慢。虽然一些学者对国外的模型进行了一些引进和改良工作,可是目前还没有一个有效的模型可以用来解析我国区域尺度陆地生态系统的能量与物质循环特征,特别是可以用于与 GCMs、GIS 耦合嵌套的地表过程模型的开发工作远远落后于世界先进水平。

生态系统温室气体排放与吸收、碳氮等生物化学循环也是发生在土壤圈、生物圈和大气圈界面的生态学过程,研究这些过程特征参数的时空分异性是探讨陆地生态系统的物质循环、基于生物化学循环和植被地理分布的植被动态模拟的基础,也是探讨地球环境变化对策的关键。为此,世界上已经建立了国际 CO₂ 和水热通量观测网络 (FLUXNET),其中包括了 AmeriFlux 和 EUROFLUX,2000 年以日本为核心的

亚洲研究网络 (AsiaFlux) 也已正式启动,可是我国在世界的 CO₂ 通量观测网络中还是空白区域,缺乏系统的、长期的定位试验观测资料。气候变化(温室气体、臭氧和紫外线)对生态系统影响的实验研究在近 10 多年来得到较快的发展。国际上的实验研究从生长箱模拟实验,经过封闭和开顶式温室模拟实验,已经发展到大规模的 FACE (Free-Air Carbon Dioxide Enrichment) 试验,欧美多国先后建立了作物(棉花、小麦)、森林和草地 FACE 实验场,日本也建立了水稻 FACE 实验场。迄今我国的研究还仅仅限于在封闭或开顶式温室内对一些农作物进行一些零散的实验研究。

4.3 生态系统过程模型与尺度转换理论

生态模型是对现实生态系统的抽象化、简单化和公式化的表述,可用它来揭示和预测生态系统中的各种现象。最简单的模型可以用语言和图形表达,可是要进行量的预测必须构建以统计学和数学为基础的生态系统过程模型。所以,基于生态学过程的动力学模型的开发一直是生态学研究的主要内容,在个体、群体和斑块尺度的许多模型都已经比较成熟。可是,如何把这些生态学过程模型进行尺度转换 (scaling up),从斑块尺度向区域甚至全球生态系统扩展的研究工作还刚刚起步。开展生态过程的跨尺度动态研究,探讨生态学特征参数的空间分异规律,开展区域生态模型的误差检验和不确定性评估,借助遥感和地理信息系统技术,提取生态模型参数和参数改进等都是在生态系统过程模型研究中具有挑战性的课题,也是一些国际科学计划 (GTOS、GCTE、LUCC) 所关注的热点问题。

4.4 生态系统内部亚系统间的耦合生态学过程

区域尺度生态系统内部亚系统间是通过若干主要生态学过程相耦合的,使亚系统之间发生着物质的、能量的和经济的联系。这种联系既可以产生区域间的资源和经济优势互补,也可能引起区域间的经济利益纷争。因此,开展区域尺度生态系统内部亚系统间耦合的生态学过程研究,是自然和社会资源的区域优化配置、区域发展和区域内经济合作等重大战略问题的需要。

5 生态系统网络研究、监测和成果集成的理论与方法

为了在更大尺度上揭示生态系统的演变规律,减少生态系统管理的不确定性,长期的生态系统联网研究和监测是一种有效的方法。80 年代以来世界上建立了多个生态系统研究网络。在国家尺度上的有:美国的长期生态研究网络 (LTER)、英国的环境变化研究监测网络 (ECN)、加拿大的生态监测与分析网络 (EMAN);在区域尺度上有:泛美全球变化研究所 (IAI)、亚太全球变化研究网络 (APN) 和欧洲全球变化研究网络 (EN-RICH);在全球尺度上有:全球生态监测系统 (GEMS)、全球陆地观测系统 (GTOS)、全球气候观测系统 (GCOS) 和全球海洋观测系统 (GOOS)。中国科学院于 1988 年开始组建中国生态系统研究网络 (CERN)。经过十几年的努力,包括农田、森林、草地、湖泊和海湾生态系统的 29 个试验站、5 个分中心和 1 个综合中心的建设工作已经取得

了重大进展,成为我国乃至全世界的重要生态学研究基地,也成为全球性环境和生态系统监测网络的重要组成部分。随着生态系统研究网络的建立,如何有效地利用生态系统网络监测数据和历史资料、开发区域和长时间尺度的生态系统模型以及生态环境问题的综合分析,已经成为生态学发展亟待解决的问题^[3]。在“九五”期间,CERN 的各定位站开展了以生态系统碳氮循环和生产力为主题的生态系统结构、功能及演变规律的研究。1998 年以来,CERN 依据统一的观测标准开始了生态系统的网络监测,积累了大量数据和研究成果。然而,如何利用这些数据和信息对我国典型生态系统进行综合对比分析,探讨生态系统网络研究数据的规范化、栅格化和可视化以及网络成果综合集成和共享方式是当前 CERN 面临的一项重要任务。但是,这里不得不直言地指出:我国疆土如此广阔,地形地貌和生态类型多种多样,仅仅用 CERN 的 29 个试验站的试验监测数据来回答区域尺度上的生态系统管理问题是很困难甚至是不可能的。另外,从 CERN 的 29 个试验站的类型分布来看,主要是以农业为主体,缺乏开展生态环境综合研究和监测的能力。加上我国目前的科研体制和数据政策的影响,数据商品化和私有化倾向严重,难以进行部门间的数据交换和共享,严重地制约了生态系统网络研究的发展,急需以某种机制来推动 CERN 与气象、农业、林业和水利部门所属试验台站的联网合作。

6 区域尺度生态系统管理的综合研究

区域尺度生态系统管理的生态学基础研究还需要与环境科学、资源科学、经济学和社会学有机结合,开展一些专题性的综合研究。因为这是使生态系统管理研究成果直接为国家决策、区域社会经济发展服务的重要环节。中国作为世界上最大的发展中国家,近 20 多年来社会经济有了突飞猛进的发展,在其高速的经济增长为世界关注的同时,发展中所带来的一系列生态环境问题也同样为世人所瞩目。中国的生态环境既有全世界所面临的共同问题,又有它的特殊性。主要表现为:(1) 人口密度过大,人均资源占有量少,整个社会经济尚处于发展的初级阶段,今后随着社会经济高速增长长期的到来,必将使已经承受着很严重环境胁迫的生态系统承受着更大甚至是难以承受的环境压力。世界资源的分配格局在工业革命过程中已经形成,发展中国家要想从现在的世界资源分配格局中争取它们经济发展所需的份额,没有长期的努力是难以实现的。这就是说,在今后相当长的时期内,我国社会经济资源供给必须立足于国内。(2) 由于我国地域辽阔,气候类型多样,社会经济区域发展不均衡,所以全国各大生态区域所存在的环境问题有所不同,区域分异性强。(3) 同一区域内多种环境问题交错并存,特别是我国西北部地区,处于干旱、半干旱气候区,社会经济落后,水土流失、耕地草场退化和沙漠化等多种环境问题同时并存,互相联动。对于众多的环境问题,我国的资源科学家、环境科学家、生态科学家以及农业科学家们在可持续发展战略的引导下,“九五”期间,从不同方面进行了大量科学研究,取得了很

多有价值的研究成果,获得了很多技术和数据储备,为开展区域尺度生态系统管理的综合研究奠定了良好的基础。

当前,动态解析我国(或特定区域)的自然资源和环境质量的时空演化、生态系统对全球气候变化和经济开发的响应特征及其环境质量预警,综合评价生态系统生产力和碳循环的演变和对社会经济发展的承载能力,探讨环保型农业经营和不同类型生态系统的可持续管理模式、退化和受污染生态系统的恢复与重建,研究以水土资源为中心的资源的持续利用政策和技术等问题都是与国民经济和国家安全密切相关的重大战略课题。从学术研究来看,我国的长江流域和黄河流域生态系统、青藏高原生态系统、北方农牧交错带生态系统、西部干旱和半干旱农业和草地生态系统在世界上具有独特的生态系统多样性和生态环境问题的复杂性,对其开展综合研究不仅可以对世界生态学发展做出重大学术性贡献,更重要的是这些问题都是我国可持续发展和生态环境建设中迫切需要解决的重大科学问题。

7 结 语

生态系统管理的概念是为解决区域或全球环境问题而提出的,把实验生态学和理论生态学的研究方法有机结合起来,综合利用各种资源环境数据和现代信息技术,综合研究大尺度区域性生态系统的基础生态学过程,解决一些与生态系统管理有关的重大科学问题,是生态系统管理学科所面临的重要任务。本文对区域尺度生态系统管理的主要生态学命题进行了讨论,但没有论及相关的社会学和经济学问题,这并不意味着它们就不重要。这里想特别强调指出,目前我国国民的环境意识、社会行动规范以及环境政策法规建设等方面问题很多,也正是制约生态系统管理计划实施的重要因素。

参考文献

- 1 Alexander AM, John AL and Michael M. 1998. A method for valuing global ecosystem services. *Ecol Econ*, **27**(2):161~170
- 2 Alison, Gilbert J and Janssen R. 1998. Use of environmental functions to communicate the values of a mangrove ecosystem under different management regimes. *Ecol Econ*, **25**(3):323~346
- 3 Berrien Moore III. 1999. International Geosphere-Biosphere Programme: A study of global change, some reflections. Stockholm, Sweden: The Royal Swedish Academy of Sciences.
- 4 Bolund P and Hunhammar S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecol Econ*, **29**:291~301
- 5 Christensen NL, Bartuska AM and Brown JH. 1996. The Report of the Ecological Society of America Committee on the Scientific Basis for Ecosystem Management. *Ecol Appl*, **6**(3):665~691
- 6 Costanza R, d'Arge R and de Groot R. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**:253~260
- 7 Costanza R and O'Neill RV. 1996. Ecological Economics and Sustainability. *Ecol Appl*, **6**(4):976~977
- 8 Dale GCS, Alexander PR and Ehrlich PR. 1999. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, **3**:1~6
- 9 Dong Q (董全). 1999. Ecosystem services: the biological conditions and ecological supports necessary for the development of hu-

- man societies. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **10**(2): 233 ~ 240 (in Chinese)
- 10 Ehrlich PR and Ehrlich AH. 1981. Extinction. New York: Ballantine.
- 11 Gallopin GC. 1995. The potential of agroecosystem health as a guiding concept for agricultural research. *Ecosystem Health*, **1**: 129 ~ 141
- 12 Grumbine RE. 1994. What is ecosystem management. *Conserv Biol*, **8**(1): 27 ~ 38
- 13 Holdren JP and Ehrlich PR. 1974. Human population and the global environment. *American Scientist*, **62**: 282 ~ 292
- 14 Holmlund CM and Hammer M. 1999. Ecosystem services generated by fish population. *Ecol Econ*, **29**: 253 ~ 268
- 15 Hu D (胡 聃). 1997. An indicating framework for ecosystem sustainability. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **8**(2): 213 ~ 317 (in Chinese)
- 16 Huang X-W (黄兴文) and Chen B-M (陈百明). 1999a. The theory and application about the regionalization of Chinese ecological assets. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, **19**(5): 602 ~ 606 (in Chinese)
- 17 Jiang Y-L (蒋延玲) and Zhou G-S (周广胜). 1999. Estimation of ecosystem services of forest in China. *Acta Phytocool Sin (植物生态学报)*, **23**(5): 426 ~ 432 (in Chinese)
- 18 Jorge S, Pilar R and Ella VD. 2000. Implications of the heretical structure of biodiversity for the development of ecological indicators of sustainable use. *Ambio*, **29**(3): 136 ~ 141
- 19 Kolb TE, et al. 1994. Concepts of forest health: utilitarian and ecosystem perspectives. *J For*, **92**: 10 ~ 15
- 20 Levin SA. 1993. Science and sustainability. *Ecol Appl*, **3**(4): 548 ~ 549
- 21 Li W-H (李文华). 1999. Flood of Yangtze River and ecological restoration. *J Natural Resour (自然资源学报)*, **15**(1): 1 ~ 9 (in Chinese)
- 22 McMichael AJ, Bolin B and Costanza R. 1999. Globalization and the sustainability of human health: an ecological perspective. *Bioscience*, **49**: 205 ~ 210
- 23 Melillo JM and McGuire AD. 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*, **36**(3): 234 ~ 240
- 24 Moberg F and Folke C. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecol Econ*, **29**: 215 ~ 133
- 25 Niskanen A. 1998. Value of external environmental impacts of reforestation in Thailand. *Ecol Econ*, **26**(3): 287 ~ 298
- 26 Norber J. 1999. Linking nature's services to ecosystems: some general ecological concepts. *Ecol Econ*, **29**: 183 ~ 202
- 27 Ouyang Z-Y (欧阳志云), Wang R-S (王如松), Zhao J-Z (赵景柱). 1999. Ecosystem services and their economic valuation. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **10**(5): 635 ~ 640 (in Chinese)
- 28 Ouyang Z-Y (欧阳志云), Wang X-K (王效科), Miao H (苗 鸿). 1999. A primary study on chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, **19**(5): 607 ~ 613 (in Chinese)
- 29 Overbay JC. 1992. Ecosystem Management. In: Gordon D ed. Taking An Ecological Approach to Management. United States Department of Agriculture Forest Service Publication WO-WSA-3. 3 ~ 15
- 30 Pimentel D, Harvey C and Resosudarmo P. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, **267**: 1117 ~ 1123
- 31 Raich JW, Rastetter EB and Melillo JM. 1991. Potential net primary productivity in South America: application of a global model. *Ecol Appl*, **1**(4): 399 ~ 429
- 32 Ren H (任 海), Wu J-G (邬建国), Peng S-L (彭少麟). 2000. Concept of ecosystem management and its essential elements. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **11**(3): 455 ~ 458 (in Chinese)
- 33 Schimel DJ, Melillo and Tian H. 2000. Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States. *Science*, **287**: 19 ~ 21
- 34 Schulze ED and Mooney H. 1993. Biodiversity and Ecosystem Function. Berlin: Springer-Verlag.
- 35 Shen L (沈 镭) and Cheng S-Q (成升魁). 2000. A preliminary study on the indicator system for the regional sustainable development of the Qinghai-Tibet Plateau. *Resour Sci (资源科学)*, **22**(4): 30 ~ 37 (in Chinese)
- 36 Sherman K. 1995. Large marine ecosystems and fisheries. In: Murnasinghe M and Shearer W eds. Defining and Measuring Sustainability. Washington DC: World Bank. 207 ~ 234
- 37 Study of Critical Environmental Problems. 1970. Man's Impact on the Global Environment. Berlin: Springer-Verlag.
- 38 Tilman D. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning. In: Daily G ed. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington D C: Island Press. 93 ~ 112
- 39 Westman WE. 1977. How much are nature's service worth? *Science*, **197**: 960 ~ 964
- 40 Whitford WA. 1995. Desertification: implications and limitations of the ecosystem health metaphor. In: Rapprot DJ, Gaudet C and Calow P eds. Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystem. Heidelberg: Springer-Verlag. 272 ~ 294
- 41 Woodward FI and Smith TM. 1994. Global photosynthesis and stomatal conductance: modeling the controls by soil and climate. *Adv Plant Pathol*, **23**: 1 ~ 41
- 42 Woodward FI, Smith TM and Emanuel WR. 1995. A global land primary productivity and phytogeography model. *Global Biogeochem Cyc*, **9**(4): 471 ~ 490
- 43 Yu G-R (于贵瑞). 1999. A Study on Modelling Stomatal Conductance of Maize (*Zea mays* L.) Leaves. *Chiba University: The Technical Bulletin of Faculty of Horticulture*, **53**: 145 ~ 239 (in Japanese)
- 44 Yu G-R (于贵瑞). 2001. A conceptual framework and the ecosystem basis for ecosystem management. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **12**(5): 787 ~ 794 (in Chinese)
- 45 Yu Z-Y (余作岳) and Peng S-L (彭少麟). 1996. Ecological Studies on Vegetation Rehabilitation or Tropical and Subtropical Degraded Ecosystem. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. (in Chinese)
- 46 Zeng D-H (曾德慧). 1999. Ecosystem health and sustainable development for human. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **10**(6): 751 ~ 756 (in Chinese)
- 47 Zhao J-Z (赵景柱), Xiao H (肖 寒), Wu G (吴 刚). 2000. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services. *Chin J Appl Eco (应用生态学报)*, **11**(2): 290 ~ 292 (in Chinese)
- 49 Zhao S-D (赵士洞) and Wang Y-X (汪业勤). 1997. Summary on Ecosystem Management. *Chin J Ecol (生态学杂志)*, **16**(4): 35 ~ 38 (in Chinese)

作者简介 于贵瑞,男,1959年7月生,农学博士和学术博士,研究员,博士生导师,中国科学院“百人计划”和“引进国外杰出人才”入选者,现任中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络综合研究中心主任,主要从事生态系统管理学、植物生理生态学和土壤-植物-大气系统的物质转移和能量交换等研究,曾在国内外发表学术论文100多篇,独立或合作出版学术专著7部, E-mail: yugr@yuguiruicern.ac.cn,或 yugr@igsrr.ac.cn