

生态系统管理学的概念框架及其生态学基础^{*}

于贵瑞 (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

【摘要】 系统地概述了生态系统管理学产生的历史背景和发展进程, 讨论了生态系统管理的一些基本概念、生态学基础、管理目标及管理体制与实施方式。详细地论述了生态系统的生态学完整性与边界和时空尺度, 生态系统的结构、功能与生态系统整体性, 生态系统演替与系统动力学特性, 生态系统的干扰与系统稳定性, 生态系统的复杂性与不确定性, 生态系统多样性与可持续生态系统, 生态模型与数据收集和监测, 人类活动对环境影响的双重性等生态学基础问题。阐述了在维持生态系统产品和服务功能的可持续性总体目标下, 各类生态系统管理的具体目标。

关键词 概念框架 生态系统管理 生态学基础

文章编号 1001-9332(2001)05-0787-08 **中图分类号** Q148 **文献标识码** A

A conceptual framework and the ecological basis for ecosystem management. YU Guirui (*Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2001, 12(5): 787~794.

In this paper, the background of origin and developmental process of ecosystem management was generalized. Some basic concepts, ecological basis, management goals, and management system and implementation methods for the ecosystem management were discussed. Furthermore, the fundamental ecological problems such as ecological integrity and boundaries as well as spatial-temporal scales, structure and function of ecosystem and ecological entirety, ecosystem succession and characteristics of system dynamics, disturbance and ecosystem stability, ecosystem complexity and indeterminacy, ecosystem diversity and sustainable ecosystem, ecological model and data collection as well as monitoring, and dual effects of human activities on environment were discussed in detail. In addition, some specific goals of ecosystem management for different ecosystem were presented to attain an overall goal to maintain sustainability of ecosystem products and services.

Key words Conceptual framework, Ecological basis, Ecosystem management.

1 引言

20世纪后半期以来,在世界人口剧增和经济高速发展过程中,全球变暖、臭氧层破坏、大气污染与酸雨、土地退化与沙漠化、森林资源退化、陆地水域和海洋污染、生物多样性丧失等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的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。联合国和各种政府联盟(UNEP、OCECD、WMO、IPCC、UNCD、WPC等)以及各种民间机构(FOE、IIED、WRI、IUCN、WWF等)组织实施了诸如世界气候计划(WCP)、世界气候研究计划(WCRP)、国际生物圈计划(IBP)、人与生物圈计划(MAB)、国际地圈生物圈计划(IGBP)、地球环境检测系统(GEMS)等一系列全球或区域规模的环境对策研究计划,并且就一些全球规模的环境问题进行了多种形式的政府间对话和政治协商。这些全球(或区域)规模的环境研究计划,得到了世界范围内生态学家的广泛响应和参与,他们积极倡导用生态系统的原理和方法来管理自然环境和资源,并创立和发展了生态系统管理这一生态学研究新领域。生态系统管理学已经成为当代生态学、环境学和资源科学的交叉领域和新的科学生长点,它不仅具有丰富的科学内涵,而且具有迫切的社会需求和广阔的应用前景。

然而,生态系统管理学作为生态学的一个新分支领域,其

概念框架与科学命题还难以确立,目前我们也没有必要甚至不可能给出一个完善的准确的概念框架。这里只想在系统地概述生态系统管理学产生的历史背景和发展进程的基础上,对生态系统管理的概念框架及其生态学基础以及不同生态系统类型的管理目标和生态系统管理的实施体制等进行初步论述,希望能够对该学科的发展起到一些积极的推动作用。

2 生态系统管理研究的历史回顾

20世纪50年代以来,生态学的理论和方法都以惊人的步伐前进着。近50年来,生态学不仅在以动物和植物生理生态学为基础的个体生态学、种群生态学、群落生态学和生态系统生态学领域取得了一系列重大突破,而且还不断地向宏观与微观两个方向、两个深度发展^[25]。在现代生态学科体系中,如果把个体生态学、种群生态学、群落生态学和生态系统生态学看作中观水平的话,那么生态学在宏观方向上是向区域性、全球性乃至宇宙性发展,相继诞生了景观生态学、生物圈生态学或全球生态学等众多分支学科。

在基础性生态学得到大发展的同时,应用生态学也一直同步发展着。农业生态学、森林生态学、草地生态学、城市生态学

^{*} 中国科学院“百人计划”和“引进国外杰出人才”新设学科生态系统管理学项目及知识创新领域前沿项目(CX10G-C00-01)。

2000-09-14收稿,2000-11-17接受。

和人类生态学等分支领域都取得了长足的进步.1960年以后应用生态学由种群水平发展到了生态系统水平,开始应用生态系统理论研究农业、森林、草原和渔业等经营管理问题,这意味着生态系统管理学作为应用生态学的分支科学已经诞生.可是直到20世纪90年代前后,应用生态学才开始注意区域或全球环境,研究人类对自然界的控制管理.其焦点集中在全球的可持续发展上,研究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管理行动.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^[1,6,8,11,12,20,21,29,35].生态系统管理作为生态学、环境学和资源科学的复合领域以及自然科学、人文科学和技术科学的新型交叉学科,成为当代科学发展的新热点.回顾生态系统管理思想的发展史,它大致经历了以下3个阶段.

2.1 生态系统管理思想的萌芽阶段(30至60年代)

根据 Grumbine^[12]的报道,20世纪30至40年代,一些空想生态学家就预见性地提出了现代生态学中的许多问题.早在1932年,美国生态学会的植物与动物委员会就提出了“综合自然圣地计划”.该计划中提出了保护生态系统和特殊生物种,正确处理生态波动性(自然扰动),建议自然保护区设计采用“核心保护区+缓冲带”的思想.该委员会还认为机构间的合作对计划成功很重要,生态学家有必要采取一切手段去说服和教育公众,让他们认识“圣地计划”的价值.在这个计划中实际上已经触及了“管理可以改进自然状况”的观点.1935年,Wright & Thompson通过观察指出,由于边界和面积大小的限制,美国的黄石国家公园(世界第一个保护区国家公园,1872年建立)不是一个完整的生态系统.Wright极力劝说政府官员,要求扩大黄石国家公园的规模,重新划定能够反映大哺乳动物生物需求的公园边界,但是因他的早逝而中断了这一努力^[12].1950年,美国生态学会的植物与动物委员会又提出了实施“自然圣地目录”的建议.这些早期将资源管理与生态学、景观尺度相联系的系统管理思想未能在实践中得到应用和实现.

2.2 生态系统管理的早期研究阶段(70至80年代)

美国的政策分析家 Caldwell在他1970年发表的一篇文章中提倡公共土地管理政策的制定应该放弃现行的政治框架而采用一种新的方式,应该把生态系统作为土地管理政策制定的依据^[7].1971年,人与生物圈计划(MAB)启动,极大地推动了保护生态学的发展.1979年,Craighead通过12年的大灰熊种群生态学研究得出结论,仅仅黄石国家公园不能满足大灰熊种群的需求,他建议作为大灰熊种群栖息地的黄石河保护区至少要有 $2.023 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 的面积^[12].Craighead的开创性工作,为生态系统管理的界定问题奠定了一个基本标准,即系统的面积必须能够满足维持最大的食肉动物栖息地的要求^[12].他的这一主张在Newmark对北美西部各种公园和保护区的生物边界确定研究中得到应用^[24].80年代,用生态系统的理论和方法管理土地的思想得到了许多科学家、经营者的支持^[16,17],大量关于生态系统管理的论文出现,生态学研究开始强调长期定位、大

尺度和网络研究,生态系统管理与保育生态学、生态系统健康、恢复生态学相互促进和发展.1980年,“世界自然资源保护大纲”问世,提出建立全球保护区网和划分保护区类型的建议.1984年自然和自然资源保护联盟(IUCN)建立以来,国际上签订了一系列国家公约,组织召开了3次世界国家公园大会,制定了保护生物资源目标和建立全球保护区网络计划.世界自然基金会(WWF)的成立为全世界的自然保护工作提供了资金来源.1988年,全世界的保护区面积超过 $4.250 \times 10^7 \text{ hm}^2$,占地球面积的3%^[25].IUCN还将保护区划分为科学保护区、国家公园、自然纪念物(自然的大地标志、国家自然历史文物)、自然资源保护区、需要保护的陆地和自然景观、资源保护区、自然生物区(人类学保护区)、多种用途经营区、生物圈保护区、世界自然遗产地和原野区等类型^[25].第一部关于生态系统管理学的专著是1988年Agee & Johnson的《公园和野生地生态系统管理》^[1],它标志着生态系统管理学的诞生.在该书中,作者给出了生态系统管理的理论框架,讨论了生态系统管理要有适当的边界划定、明确的目标、管理机构间的合作、管理效果的监测以及政府决策层的参与等问题.

2.3 生态系统管理学的发展阶段(90年代以后)

Agee & Johnson^[1]的专著出版以来,关于生态系统管理的论文涌泉般地发表出来.在1991年美国科学发展协会(AAAC)年会上,“以生态系统为基础的多目标管理”的资源管理专题中,发表了对生态系统管理学的发展具有重大贡献的两份倡议^[31]:其一是美国生态学会(ESA)提出的“可持续生物圈建议”(SBI)^[20],其二是美国农业部森林局(USDA)提出的关于自然森林系统管理的新设想^[18].这两个倡议都提出了通过生态系统的基础研究来达到合理管理自然资源,实现保持地球-生物圈持续性的设想.为此,Swank and Van Lear^[31]在1992年还组织了多用途管理的生态学观点的大讨论.SBI认为,生态学优先研究领域应该是全球变化、生物多样性和可持续生态系统,并且强调了生态学基础研究在可持续发展中的重要地位^[20].

然而,1993年Ludwig等^[21]在《Science》上发表了一篇题为“不确定性,资源开发与保护——历史的教训”的论文,就科学研究对维持生态系统可持续性的贡献提出了质疑.作者认为,人类的短视和贪婪总是导致对资源的过度开发和消耗,依据科学数据对生态系统的管理必然要受到自然过程的大尺度、高度的自然变异性、复杂的生态系统和人类行为所固有的不可预测性所制约.他们对SBI提出的“认识自然资源管理的持续性,生态学研究是一条最为有效的途径”的观念提出了挑战.他们主张生态系统对于管理措施的响应存在着很大的不确定性,政治家、资源管理者和利用者不应该也不可能期望生态研究会告诉他们应该怎样做.这是因为对生态系统的认识过程往往是很慢的,等待科学研究获得完备的答案实际上是徒劳的;对生态系统管理的决策必须依据当前的知识立即做出;在很多自然系统中唯一的可以了解它们可持续性的有效方法就是开发它们.生态学家们已经认识到,尽管对于一些小型的、生长期短的生物可以很快地取得研究上的进展,但对于大的、生命周期长的物种,其试验研究的进展是非常缓慢的,虽然生态学家可

设法来缩短其研究周期,但是要说明它的可持续性往往还要涉及更大的动物和更大的系统,这使得他们的试验重复和控制的随机性问题变得更加突出。

Ludwig 等^[21]还指出,上述议论并不是说不要进行生态学的基础研究,而是想强调对于大尺度生态系统可持续性的讨论必须注意生态学研究的局限性;强调由于人类对生态系统理解和预测能力的有限,在资源开发和利用时必须采取更加谨慎的态度。因此,在生态系统管理过程中要注意:(A)人类的短视和贪婪总是造成对资源管理的困难,应该把人的动机和响应作为研究和系统管理的组成部分。(B)在取得科学的一致性之前必须对生态系统采取管理行动。例如,在采取行动控制人类活动对全球变暖、臭氧消耗、污染和燃料消耗之前,我们不应该附加任何的科学研究作为条件,所谓的要进一步进行研究的观点只能说是一种拖延战术。(C)要依靠科学去认识问题,但是不可能依赖科学去医治它们。科学家的判断很大程度上依赖于他们的专业知识,但是有关资源和环境问题必然涉及众多学科的相互作用,且科学家的判断也容易受到政治压力的影响。(D)不可轻信所谓的“持续性宣言”,因为过去的资源开发几乎很少是持续性的,所以对任何宣称持续性的计划都应该提出质疑,人们所寻求的应该是对资源开发过程中所遇到的问题如何解决。(E)如果我们面对不确定性,放弃“科学和技术能够提出资源可持续利用方案”这一幻想,那么适当的行动将成为可能。在不确定性的条件下,制定有效的政策是可能的,但是必须考虑不确定因素。基于这种考虑,追求当前理论上的精确是没有必要的,必须考虑多种合理的假设、各种可能的策略,用以支持抵御不确定性的行动,通过探索、试验和监测,不断修正相应的管理政策。

Ludwig^[21]的论文引起了很大的社会反响。同年,Ludwig^[19]组织开展了“科学与可持续性”的大讨论。1994年,Grumbine^[12]发表了“何为生态系统管理”一文,他全面地论述了生态系统管理概念的历史演变、结构框架以及主要议题。作者在他的论文中认为生态系统管理学产生的背景和原因为:生物多样性危机加速,阻止环境恶化还没有得到政府的重视,保育生物学的理论发展与生态系统管理的结合,工业膨胀、人口增加和资源消耗型的社会发展越来越趋于环境承受能力的极限,传统的资源管理政策和措施越来越受到公众的反对,美国的森林立法使公众参与保护动物的愿望落空,以及人与自然关系的社会观发生了重大变化。他通过调查有关生态系统管理的文献发现最为广泛地被生态系统管理学家论及的议题有:生物多样性的等级关系、生态学的边界、生态学的完整性(包括人口承载力、生态系统格局与过程、生物种的更新)、生态系统的数据库收集、生态系统监测、生态系统的适应性管理、管理者的协作、管理组织变化、人类与自然的关系、人的价值观等。他认为,这10个主题构成了生态系统管理工作的基础。1996年美国生态学会(ESA)发表了“关于生态系统管理的科学基础的报告”^[8],报告中全面地论述了生态系统管理的定义,生态系统管理的生态学基础,人在生态系统管理中的作用,生态系统管理原则和基本科学观点以及行动步骤等科学命题。此后,在《Ecological Applications》上,

Haeuber & Franklin^[13]以“生态系统管理展望”为题,就生态系统管理中的资源管理尺度、行政管理事务、财产权、生活方式与生态系统管理矛盾的解决方法等组织了讨论。Costanza & Neill (1996)^[10]组织了生态经济学与可持续性,Naiman等^[23]组织了淡水生态系统管理的专题讨论。近年,在生态系统的环境服务价值评估方面发表了一些有影响的论著^[2,3,5,9,15,22,28]。生态系统管理的概念引入我国是在90年代后期,1997年,赵士洞和汪业勤^[35]首先论述了生态系统管理的基本问题,2000年,任海等^[29]也较全面地讨论了生态系统管理的概念及其要素。

3 生态系统管理的定义

生态系统管理(ecosystem management)的概念已经有10多年的发展过程,可是其定义和理论框架尚处在争议之中。关于什么是生态系统管理,当然因科学家们的研究对象、目的和专业角度的不同,他们各自所提出的定义相差很大,目前还没有一个统一的或被一致公认的定义,还有待于今后的发展和完善。赵士洞和汪业勤^[35]对其做过论述,任海等^[29]对生态系统管理的定义作了比较全面的总结。按年代顺序,一些比较有影响的生态系统管理定义整理如下:1) Agee & Johnson(1988)^[11]:生态系统管理指调控生态系统内部结构和功能、输入和输出,使其达到社会所期望的状态。2) Overbay(1992)^[27]:生态系统管理指精心巧妙地利用生态学、经济学、社会学以及管理学原理,来长期经营管理生态系统的生产、恢复或维持生态系统的整体性和所期望的状态、利用、产品、价值和服务。3) Society of American Foresters(1993)^[30]:生态系统管理是对一个集体中的全部森林的价值与功能配置进行景观水平维持的一种策略,包括全部所有者在内的景观水平上的协调管理。4) Forest Ecosystem Management Team, USA(1993):生态系统管理与单一生物种的规律相反,是通过关联生态系统中所有生命体来管理生态系统的一种策略或计划。5) American Forest and Paper Association(1993)^[4]:生态系统管理是在可以接受的社会、生物和经济风险条件下生产必需的生活品,在满足公众的需求和期望的同时维持生态系统健康和生产力的一种资源管理系统。6) Grumbine等(1994)^[12]:生态系统管理是以长期地保护自然生态系统的整体性为目标,将复杂的社会、政治以及价值观念与生态科学相融合的一种生态管理方式。这种管理是以顶级生态系统为主要对象,维持生态系统结构和功能的长期稳定性,保护当地(顶级)生态系统长期的整体性。7) Wood(1994)^[33]:生态系统管理是综合利用生态的、社会的和经济学原理,经营管理生物和物理系统,以保证生态系统可持续性、自然界多样性和景观生产力。8) Christensen等(1996)^[8]:生态系统管理是具有明确且可持续性的目标的,由政策、协议和实践活来保证实施的一种管理活动,它在对维持生态系统组成、结构与功能所必要的生态相互作用和生态过程的最佳理解基础上从事研究和监测,以不断改进管理的适合性。9) Boyce and Haney(1997)^[6]:生态系统管理是对生态系统进行合理经营管理以确保其可持续性。生态可持续性是指维持生态系统的长期发展趋势或过程,并避免损害或衰退。10) Dale等(1999)^[11]:生态系统管理是考虑了组

成生态系统的所有生物体及生态过程,并且基于对生态系统的最佳理解的土地利用决策和土地管理的实践过程. 11) 任海等(2000)^[29]:生态系统管理是基于对生态系统组成、结构和功能过程的最佳理解,在一定的时空尺度范围内将人类价值和社会经济条件整合到生态系统经营中,以恢复或维持生态系统整体性和可持续性.

与生态系统管理密切相关或交叉的一个学科是生态系统保育(ecosystem health),作为与生态系统管理相似的概念,还有生物多样性管理和适应性管理等术语也被广泛地使用. 任何一个新生的学科在发展过程中,其完善的定义都是难以确立的. 但是不容置疑,生态系统管理学是生态学、环境学和资源科学的交叉科学,主要研究为了保障人类社会的可持续发展,如何通过有效管理政策和技术来建立可持续生态系统,以维持良好的生态系统结构和功能状态,保护自然景观、生态系统和生物多样性,实现自然资源的最低消耗和有效更新等科学问题. 或者说生态系统管理就是以保护生态系统持续性为总体目标,把复杂的社会学、政治学、生态学、环境学和资源科学的有关知识融合为一体,认识生态系统的时空动态特征,生态系统功能、结构与多样性的相互关系,综合管理自然资源和生态环境.

4 生态系统管理的生态学基础

4.1 生态学的完整性与边界和时空尺度

生态系统的生态学完整性决定于系统内部生态学过程的完整性. 只有主要生态学过程完整的系统才是完整的生态系统,才有可能发挥出它所具有的正常生态功能. 生态系统管理所关心的生态学过程主要包括:水文学过程、生物生产力、生物地球化学循环、有机物的分解、生物多样性维持等^[8]. 通常情况

表1 不同类型生态系统管理的生态学模型及其所必要的数据或知识和时间尺度

Table 1 Ecological models, data/ understandings and time scales for ecosystem management of different types

生态系统类型 Ecological types	主要生态学模型 Ecosystem models	数据/ 知识 Data/ Understandings	时间尺度 Time scales
个体及种群 Individual and population	动植物的生理生态模型 个体或种群生长模型 种群竞争模型 土壤-植物-大气系统的物质 能量交换模型	气候与群落微气象、生物气象 地形与微地形、土壤的理化特性 动植物的遗传、生理、生态特性 植物营养和水分吸收 种群与环境的物质和能量交换 种群动态	秒、分、小时、天、 月、年
群落与生态系统 Community and ecosystem	生态系统生产力模型 生物化学循环模型 食物链(网)模型 物种迁移与演替模型 物种分布格局模型	气候和微气候与气候变化 地形地貌及其空间分异 土壤的理化特性与空间异质性 动植物的生理生态特性与环境适应性 物种组成与多样性 消费者的层次结构 物种互作关系	年或几年
景观生态系统 Landscape ecosystem	区域经济模型 社会发展模型 土地利用模型 资源变化模型 生态系统景观格局模型	气候、地形条件 土壤理化特性的空间分布 群落与生态系统类型 生态系统的空间格局 人文和社会条件	几年或几十年
生物圈与地球生态系统 Biosphere and global ecosystem	地球化学循环模型 生物圈水循环模型 中层大气循环模型 生物圈植被演替模型 生物圈生产力演化模型 全球变化模型	气候变化与植被类型演替 地形、地貌与地质变化 人类活动与资源利用 人口和社会经济 科技进步 文化教育	几十年、几百年以上

下,这些生态学过程往往是跨越很大的空间和时间尺度,跨越行政/政治上的边界(国界、省界),并且不同生态学过程的空间和时间尺度差异很大. 所以在生态系统管理和研究中,对应于某个特定生态学过程所定义的生态学边界和时空尺度,对于其他的生态学过程而言往往并不一定适合. 正因为这种生态学过程间的空间变异所在,要想确定一个对所有生态学过程都适合的、完美的空间尺度是非常困难的. 因此,生态系统管理的研究必须具有一个广泛的视野,科学地定义适当的生态系统空间界域,以保证生态学的完整性,达到便于研究、使管理决策能够有效地调控生态学过程的目的. 通常,生态学完整性的边界定义应该以与保护总的自然多样性和维持生物多样性有关的生态学格局和生态学过程为依据^[12].

生态系统管理要求把长时间的可持续性作为基本价值观,它不是把注意力集中在当前问题的“解救”,而是以注意解决际间的可持续性为前提. 生态系统管理的时间尺度可以分为5~10年的短期、10~100年的中期和大于100年的长期尺度,相应的管理政策也包括短期、中期和长期政策^[12]. 生态系统管理的时间尺度和空间尺度是相关联的. 通常,管理对象的空间尺度越大,其所要求的时间尺度也就越长(表1).

4.2 生态系统的结构、功能与生态学整体性

生态系统作为一个特定的地理空间单元,具有特定的结构和功能,也就是说,生态系统是结构和功能的统一体. 生态系统结构是指系统内各组成因素(如生物组分与非生物环境)在时空连续空间上的排列组合方式(如种群结构、植被地理)、相互作用形式以及相互联系规则(如食物链、食物网、种间互作和协同进化等),是生态系统构成要素的组织形式和秩序^[34]. 生态系统功能是系统在相互作用中所呈现出来的属性,它表现了

系统的功效和作用.生态系统所具有的功能是支持系统存在的原因,它体现了生态系统的目的性,一旦其功能丧失,该生态系统也就失去了它存在的意义^[34].生态系统的功能可从系统的内部和外部两个方面来考察.从系统的内部来看,是各个子系统以及各个要素结合起来以后达到的共同目的;从外部来看,是母系统(更高层次的系统)对于子系统的要求.作为生态系统总体功能,尤其与人类生存发展密切相关的功能主要表现为它的经济功能(价值)和环境服务功能(价值).以植被光合作用为基础的生态系统生产力不仅是表征生态系统为人类生存提供直接或间接产品能力的经济指标,同时它也是反映生态系统水热平衡和物质循环状况的关键变量,可作为表征生态系统结构与功能状况、系统对自然环境胁迫和人为干扰应答的综合性生态学指标.近年来,随着全球性环境问题的日趋严重,生态环境工程的产业化趋势加快,人们已经开始关注生态系统服务价值.生态系统服务也被称之为自然服务或环境服务,是度量生态系统对人类生存环境贡献的生态经济学指标.

任何生态系统都是作为一个相对独立的整体存在于特定的环境之中,系统内的诸要素构成了一个生态学的有机整体,即生态系统具有生态学的整体性.生态系统整体的结构和功能不同于其单元的结构与功能,也不是各单元结构的堆积与功能的相加.生态系统的各个组成单元仅仅是作为整体的一个特定部分而存在,当把它从整体中割离出来时,它不可能完全保持其原来的特性、性质和意义^[34].因此,生态系统内部的单元之间是相互关联的,其中的任何一个单元的变化必然会以不同的方式和程度影响其它单元甚至整个系统.各单元特定状态的最佳组合秩序构成了生态系统整体的最优化,在这种整体最优化状态下,生态系统才会表现出最佳的功能状态.但是,通常情况下的生态系统功能状态,往往会受到一个或几个关键因子的制约,它们质和量的特征会对生态系统起到限制作用^[26].生态系统的功能决定于它的结构、多样性和整体性,取决于不同层次的结构和生态学过程.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,以获得相应的生态系统功能的输出.

强调生态系统的整体性,并不是否认系统的层次和等级.生态系统的单元与结构,过程与功能的相对独立性导致了它们的层次或等级特性.因此,生态系统的部分和整体分属于不同的层次,构成了生态系统的等级关系.例如,在研究生物多样性管理时,其等级关系可以表述为:基因、生物种、种群、生态系统、景观和生物圈等不同层次.生态系统管理必须以整体的观念考虑系统与不同等级的子系统之间、子系统与子系统之间的相互关系和反馈机制.可是在生态系统复杂的相互关系和反馈回路体系中,往往存在一个或几个主导回路,它是系统的主导部分,在一定的时空条件下决定了系统结构与动态行为的性质,而且决定着系统的变化和发展趋势.所以,可以说生态系统管理的效果取决于我们对生态系统有机整体以及所有层次的科学理解程度,特别是对系统主导部分的把握和理解.

4.3 生态系统演替与系统动力学特性

存在于特定环境之中的任何具体的、现实的生态系统都必

然与外界环境发生着物质、能量和信息的交换,外界环境的变化自然会影响整个系统及其部分的行为,但是生态系统对环境变化具有一定的适应能力,在一定临界条件之内,系统不会发生质的变化,当环境作用超过系统适应能力界限时,系统就会发生质变或解体^[34].地球的公转使气候因子具有严格的节律性,植被、土壤条件也随着气候变化表现出不同的季相.长时间尺度的地质过程和人类活动对地表状态和地表过程的影响,会引起全球环境的变化.这些决定生态系统特征的要素和驱动力虽然在一定时间范围内具有相对稳定性,但是随着时间的变化是不间断的.因此在特定环境条件下的生态系统实质上是一个动态系统,表现出它的系统动力学特征^[8].从系统动力学的观点出发,生态系统管理研究应注意它的两个特点:其一是表征生态系统特征的状态变量是动态的,是时间的函数;其二是生态系统内部存在多种机制的反馈回路,它决定了生态系统各单元以及各子系统之间的因果关系,导致了前面所述的生态系统的整体性.

生态系统的动态特性主要表现为系统的动态演替(succession)或进化(evolution).生态系统的结构、功能和生态学过程以及景观都是经常演替的,在一个十年或者百年的时间尺度上,很多景观可能被自然分配所改变,它导致了不同阶段系列板块的镶嵌^[12].驱动生态系统动态演替的要素即可能来自生态系统的内部,也可能来自系统的外部环境,或是两者的综合作用.生态系统管理必须承认系统的动态演替或进化是生态系统所固有的属性,管理就是企图动态地调控生态系统的演替进程和演替方向,避免它冻结在某个特定的状态或结构上.生态系统调控管理要求我们必须对生态系统内的生态学过程机制有深入理解,寻找控制生态系统动态演替的关键因素,阐明系统对外界环境胁迫的反应方式.

4.4 生态系统的干扰与系统稳定性

生态系统外部环境的变化是生态系统演替的主要驱动力.在外部环境胁迫或干扰的驱动下生态系统将会不断地演替或进化.可是生态系统演替通常表现出阶段特征,即系统动态变化具有相对稳定性.这是因为系统的各要素在其存在的期间内具有相对稳定的质和量的规定性,它构成了系统可辨识的信息特征.在没有受到大于临界量的环境胁迫或扰动时,系统具有保持原来平衡状态的倾向,具有一定的弹性(或保守性);当系统因受到大于临界量的环境胁迫或扰动而发生质变时,也不可能对过去的彻底否定,总是会继承其相应的成分,保留一定程度的历史痕迹^[34].从控制论的角度,稳定与振荡是一对矛盾,稳定是要趋向目标值,而振荡是要背离或偏离目标值.当系统的外部环境相对稳定时,系统处于平衡的、稳定的状态.一旦给予系统一定的外部环境胁迫(扰动或干扰),系统将会失去其平衡,处于不稳定状态,要经过一个动态过程才能克服振荡,恢复平衡,趋向稳定.振荡后的生态系统稳定状态既可能是原来生态平衡的恢复,也可能是新的平衡的建立,还可能是系统的退化或崩溃.它不仅决定于环境胁迫或干扰的类型和强度,还决定于与生态系统结构进化、复杂性相关联的生态系统稳定性.

生态系统稳定性通常可以用系统维持稳定状态的程度或吸收干扰的能力(抵抗力)、受到干扰后系统返回干扰前状态的速度(恢复力)和系统在某种状态下所延续的时间长度(持续力)来表示。生态系统恢复力又可以用受干扰生态系统恢复到干扰前状态所需要的时间(弹性)、受干扰前后的状态差异程度(振幅)、干扰移走后的恢复时间(滞后性)以及系统恢复后的状态与干扰前状态的差异程度(可塑性)来表征^[29]。生态系统管理必须深刻地理解生态系统稳定性机理,评价生态系统抵抗力和恢复力等稳定性特征,才能科学地预测外部干扰可能引起的系统行为的变化规律,制定正确的动态管理策略。

4.5 生态系统的复杂性与不确定性

任何特定场所的生态系统的行为都会强烈地受其周围环境系统的影响和制约,同时生态系统的行为也会对其周围环境产生深刻的影响。自然生态系统的环境条件受大气环流、地质运动所控制,具有极大的地理分异性。生态系统内部的物质循环、能量转换和信息流的关系错综复杂,也经常会受到一些外部的随机扰动,并且生态系统对环境的应答和反馈多表现为非线性关系。此外,生态系统的社会经济环境在区域间发展极不均衡,人类对生态系统功能的要求,也因价值观和生活水准而多种多样。这些因素决定了生态系统的复杂性和人类对生态系统认识的有限性和不确定性。

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,但是对于复杂的大系统而言,还是难以真实地把握它们的系统动力学特征,这必然导致生态系统管理的盲目性,甚至是无效和经常性的失败。必须承认,生态系统管理只能依赖于我们对于生态系统的现有理解和生态系统机能的一些典型论证来进行,而这些了解和典型论证是临时的、不完整的,是被变化所左右的^[8]。因此,生态系统管理策略必须被看作为一种假设,是一种有待于通过研究和监测来检验和修正的假设。试验和检测特定生态系统对不同类型干扰(污染、生物种的引入或迁移)的反应方式,比较不同生态系统对某些特定胁迫因子的反应差异,利用多因子试验研究生物和非生物因子的相互作用关系以及在形成物种集合和群落组织中的作用等,对于理解生态系统的动力学特征,探讨生态系统调控管理模式是非常重要的^[25]。

4.6 生态系统多样性与可持续生态系统

自然生态系统或景观的结构形式和复杂程度差异很大,结构复杂的生态系统或景观,一般可以实现分级控制,提高控制的效率^[25]。生态系统结构越复杂,系统的自我修复和维持能力也越强,越有利于抵抗外来干扰。生物多样性和自然景观多样性构成了生态系统多样性。生物多样性在控制各种生态学过程中起着关键性作用,相反,生态学过程影响着生物多样性格局。生态系统多样性是生态系统结构复杂性的基础,是决定生态系统稳定性和可持续性的重要因素。生物多样性和结构复杂性能够强化生态系统抗御扰乱的能力。生物多样性能够为生态系统适应环境变化、未来的人类生存发展提供必需的基因资源储备。

为了人类的生存和发展,我们必须制止或逆转生物圈资源

的退化,建立可持续性生态系统,这是生态系统管理学的最终目标。生态系统的可持续性决定于系统结构的复杂性、多样性和整体性,保护和维持生态系统多样性(特别是生物多样性)是提高生态系统抵抗干扰和环境胁迫的有效途径^[8,12]。生态系统可持续性的评价目前还没有共识的方法和指标体系,但是我们可以从退化生态系统的特征中得到启示。生态系统退化时通常表现为:植物体内合成防御性次生物质减少,容易引发病虫害;物种多样性降低或种类组成向耐逆境种或r对策转变;净初级生产力和净生产力降低,植物或种群呼吸量增加;生态系统营养物质损失并限制植物生长^[12]。

4.7 生态模型与数据收集和监测

我们要正确地理解生态系统结构和功能特征,从不同层次上认识生态系统动力学特征,就需要对生态系统进行深入的调查研究和数据收集。另外,为了追踪和评价我们对生态系统实施管理行动的效果,定量地评价管理行动成功或失败程度,其有效的信息反馈手段就是生态系统监测。生态模型是对现实生态系统抽象化、简单化和公式化的表述,以此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动力学模型,用来分析和预测生态系统行为,制定适应性管理策略。数据收集和监测是构建生态模型的基础工作,生态系统管理的效果取决于生态学模型对生态系统有机整体所有层次的科学概括程度。表1例举了不同尺度生态系统管理的生态学模型及其所必要的数据或知识和时间尺度。80年代以来,世界上许多国家都建立了生态系统研究网络,如中国的CERN、美国的LTER、英国的ECN、加拿大的EMAN,以及全球陆地观测系统GTOS、全球气候观测系统GCOS和全球海洋观测系统GOOS等。生态系统研究网络的建立,为我们提供了大量生态系统监测数据和历史资料,为大区域和长时间尺度的生态系统模型开发奠定了良好的基础。

4.8 人类活动对环境影响的双重性

人类作为生态环境的破坏者,同时又是生态系统的管理者。就是说,人类活动对环境的影响具有双重性。作为生态系统组成的人类不可能从自然中分离开来,人类介入自然界会从根本上影响生态系统的格局和生态学过程。人类的价值观在生态系统管理目标制定中发挥着主导作用,为了达到可持续管理目标,应该有效地发挥人的作用,重视发挥人对环境的有利影响,最大限度地减小或克制人对环境的破坏作用。

5 生态系统类型与管理目标

生态系统包括地理空间边界内所有生命体和非生命的环境以及密切相关的输入环境和输出环境^[26]。自然(或半自然)生态系统有别于人造工程系统,生态系统也是远离平衡态的开放系统,它很少有外来的控制或目标,而是依靠来自系统的反馈而达到自校正的稳定性^[25]。自然界的生态系统因其生态功能类型、环境条件及其时空尺度大小,可以对其做出多种不同的分类。因为人类对不同生态系统干预能力和利用目的的差异,各种生态系统的管理目标以及管理强度也就大不相同(表2)。

表 2 不同类型生态系统的管理目标及其输入和输出的概念框架

Table 2 A conceptual frame work for ecosystem management goals, inputs, and outputs

类别 Categories	生态系统类型 Ecosystem types	管理目标 Management goals	输入 Inputs	输出 Outputs
集约管理型 Intensive management type	城市生态系统 城郊生态系统 公园生态系统 农田生态系统 渔场生态系统 林地生态系统 草地生态系统	供给食物、生活用品、 生活空间	大量投入能源、 物质和人类劳动	食物和水、生产的 产品、污染物质和 有毒物质
适度管理型 Moderate management type	森林生态系统 草原生态系统 湖泊生态系统 湿地生态系统 河湾生态系统	维持自然资源生产力 与生态学过程的整体 性和半自然性	适量投入能源、物 质和人类劳动	自然资源、木材、 水、矿物、燃料、 生态系统服务
低度管理型 Low management Type	各类天然景观 各类自然保护区 野生动物栖息地	维持生物及其生存空间的 多样性、维持自然生态过 程的整体性和美学价值	维持近乎自然状态的 生态环境所必需的少 量的能源、物质和劳动力投入	自然资源、娱乐利 用、生态系统服务
干预调节型 Interfere-modulate type	区域生态系统 流域生态系统 海洋生态系统 陆地生态系统 全球生态系统	维持地球圈、生物圈和大 气圈生态学过程的完整性、 维持区域、国家和人类社 会的可持续发展	区域、国家和国际合 作的生态环境监测,制定 环境对策和人口、社会 发展的宏观调控政策	人类生存环境、生 态系统服务

我们要对生态系统进行管理,其首要的问题就是应该确立一些明确的管理目标。这些目标必须是比较容易测度和可以操作的,它们可以说明达到生态系统持续性所要求的过程和结果。表 2 列举了不同类型生态系统的管理目标、输入和输出的概念框架。表 2 中所示的各类生态系统,自上而下其系统的空间尺度、生态学过程的时间尺度、系统的复杂性越来越大;同时人类对它们控制管理的难度也越来越大,对系统的管理强度也相应地减小。可以说,现代的生态学知识已经对集约管理型(甚至包括一些适度管理型)的生态系统有了比较充分的理解,人们可以按照一定的目标来制定管理计划。可是,现代的生态系统管理对象主要是指适度管理型和低度管理型的景观尺度生态系统,甚至是干预调节型的区域生态系统以及全球生态系统。我们对这类生态系统的了解还很少,对它们的管理能力也是十分有限的。然而,对这类生态系统的管理却是人类社会可持续发展的迫切需要。

尽管自然界的生态系统类型和具体的管理目标多种多样,但是我们认为一个超越各种生态系统类型的生态系统管理目标就是:维持生态系统产品和服务功能的可持续性。为此必须:(A)维持现有天然生物种的活性群体,(B)保护自然范围内的所有天然生态系统、自然景观和自然资源,(C)维持正常的系统演替和生态学过程(扰动、水文过程和养分循环),(D)维持生物种和生态系统的良性演替,(E)维持良好的生态系统产品和生存空间及环境服务的持续供给。

6 生态系统管理的实施体制和管理方式

生态系统管理是一个庞大的系统工程,它要求自然科学家、社会科学家和政治家的通力合作,更需要生态系统内的政府、公众和科学工作者的有效协作。生态系统管理的研究将涉及到自然地理学、气候与气象学、水文与水利学、植物与动物学、农学、草原学、沙漠学等众多自然科学,同时也涉及到政治学、经济学、社会学、人口学、教育学和法律学等社会科学。生态

系统管理的实施体制由科学家、政策制定者、经营管理者 and 公众所组成。作为生态系统管理的科学家其主要任务是通过数据收集、系统监测和综合性的科学研究来回答生态系统管理中的众多科学问题;同时还要担当起生态系统管理实施的组织任务,组织有政策制定者、经营管理者 and 公众广泛参加的科学讨论,研讨生态系统管理模式的可行性;制定相应的管理目标和管理策略,组织实施生态系统的适应性管理。政策制定者主要是制定相关政策和法律,保障生态系统管理的有效实施,组织区域经济和人口政策研究和规划。经营者是生态系统的直接管理者,应保证对生态系统管理计划的充分理解,培养有关的专业人才。生态系统管理还必须得到公众的支持和参与,应对公众进行生态文化、环境意识的教育,使他们能够支持和参与生态系统管理计划,发挥他们的监督作用。

适应性管理是被广泛倡导的生态系统管理方式。生态系统事件的发生不可能是确定的,具有不确定性和突发性。适应性管理承认它只能依赖于我们对于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^[8,14,32]。适应性管理计划的提出必须经过广泛的民主讨论和科学分析,以增加政策制定者、经营管理者 and 公众对于因不确定性而可能引起的诸多问题的了解,还要通过对公众的宣传教育,使他们理解和参与我们的适应性管理行动。

生态系统管理是要把生态学的理论和方法应用于自然资源管理之中,要完成这种从概念走向实践的转化需要采取相应的步骤和行动:(A)定义可持续的、明确的和可操作的管理目标;(B)收集适当的数据,在对生态系统复杂性和系统内各种要素相互作用关系充分理解的基础上,提出合理的生态模型,分析并检测生态系统的动态行为;(C)明确被管理生态系统的空间尺度和空间边界,尤其是要合理确定生态系统管理的等级关系,以核心等级为主,考虑其相邻等级的内容;(D)分析和综合生态系统的生态、经济和社会信息,制定合理的生态系统管理政策、法规和法律;(E)确定管理的时间尺度,并制定年度财政

预算和长期的财政计划;(F)履行生态系统的适应性管理和责任分工,注意协调管理部门与生态系统管理者、公众的合作关系;(G)发挥科学家的科学研究和组织实施作用,及时地对生态系统管理的效果进行确切的评价,提出生态系统管理的修正意见,真正落实生态系统的适应性管理计划。

7 结 语

生态系统管理作为生态学、环境学和资源科学的交叉领域和新的科学增长点,不仅具有丰富的科学内涵,而且具有迫切的社会需求和广阔的应用前景,目前越来越受到管理者和科学家的重视,也得到了各国政府和国际组织的重视。但是有关生态系统管理的具体内容和理论方法尚有很多争论。我们相信,随着与生态系统管理相关学科的发展和学科间的相互渗透与交叉,生态系统管理的理论与实践必将会有长足的发展,也必将会在指导不同区域的生态环境建设和维持生物圈生态系统的可持续性中发挥其应有的贡献。

参考文献

- Agee J K and Johnson DR. 1988. Ecosystem management for parks and wilderness. Seattle, Washington: University of Washington Press.
- Alexander AM, John AL and Michael M. 1998. A method for valuing global ecosystem services. *Ecol Econ*, **27**(2): 161 ~ 170
- Alison J G 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
- American Forest and Paper Association. 1993. Sustainable forestry principles and implementation guidelines. American Forest and Paper Association, Washington, D. C., USA.
- Bolund P and Hunhammar S. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecol Econ*, **29**: 291 ~ 301
- Boyce MS and Haney A. 1997. Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wild Life Resources. New Haven: Yale University Press. 3 ~ 37
- Caldwell L. 1970. The ecosystem as a criterion for public land policy. *Nat Res J*, **10**(2): 203 ~ 221
- Christensen NL, Bartuska AM, Brown JH *et al.* 1996. The report of the ecological society of america committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecol Appl*, **6**(3): 665 ~ 691
- 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 ~ 260
- Costanza R and O'Neill RV. 1996. Ecological economics and sustainability. *Ecol Appl*, **6**(4): 976 ~ 977
- Daily GCS, Alexander PR, Ehrlich PR *et al.* 1999. Ecosystem services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, (3): 1 ~ 6
- Grumbine R E. 1994. What is ecosystem management? *Conser Biol*, **8**(1): 27 ~ 38
- Haeuber R and Franklin J. 1996. Perspectives on ecosystem management. *Ecol Appl*, **6**(3): 692 ~ 693
- Holling CS. 1978. Adaptive Environmental Assessment and Management. New York: John Wiley and Sons.
- Holmlund CM and Hammer M. 1999. Ecosystem services generated by fish population. *Ecol Econ*, **29**: 253 ~ 268
- Keiter RB. 1989. Taking account of the ecosystem in the public domain: Law and ecology in the Greater Yellowstone Region. *University of Colorado Law Review*, **60**(3): 933 ~ 1007
- Keiter RB. 1990. NEAP and the emerging concept of ecosystem management on the public lands. *Land and Water Law Review*, **25**: 43 ~ 60
- Kessler, WB, Salwasser H, Cartwright CW and Caplan J A. 1992. New perspectives for sustainable natural resources management. *Ecol Appl*, **2**(3): 221 ~ 225
- Lrvin SA. 1993. Science and Sustainability. *Ecol Appl*, **3**(4): 545 ~ 546
- Lubchenco J, Olson AM, Brubaker LB *et al.* 1991. The sustainable biosphere initiative: An ecological research agenda. *Ecology*, **72**(2): 371 ~ 412
- Ludwig D, Hilborn R and Walters C. 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from history. *Science*, **260**: 17 ~ 36
- Moberg F and Folke C. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecol Econ*, **29**: 215 ~ 133
- Naiman RJ, Magnuson JJ and Firth PL. 1998. Integrating cultural, economic, and environmental requirements for fresh water. *Ecol Appl*, **8**(3): 569 ~ 570
- Newmark WD. 1985. Legal and biotic boundaries of Western North American national parks: A problem of congruence. *Biol Conser*, **33**: 197 ~ 208
- NSFC(国家自然科学基金委员会). 1997. Report on Investigation of Natural Science Development Strategy: Ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Odum EP. 1983. Basic Ecology. CBC College Publishing.
- Overbay JC. 1992. Ecosystem Management. In: Taking an Ecological Approach to Management. United States Department of Agriculture Forest Service Publication. 3 ~ 15
- Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, **267**: 1117 ~ 1123
- Ren H(任海), Wu J-G(邬建国), Peng S-L(彭少麟), Zhao L-Z(赵利志). 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)
- Society of American Foresters. 1993. Sustaining Long-term Forest Health and Productivity. Society of American Foresters, Bethesda, Maryland, USA.
- Swank WT and Van Lear DH. 1992. Ecosystem perspectives of multiple-use management. *Ecol Appl*, **2**(3): 219 ~ 220
- Walters CJ. 1986: Adaptive management of renewable resources. New York: Mac Gra-Hill.
- Wood CA. 1994. Ecosystem Management: achieving the new land ethic. *Renew Nat Resour J*, **12**: 6 ~ 12
- Yu GR(于贵瑞). 1991. System Analysis and Optimized Controlling Methods on Planting. Beijing: Agricultural Press. (in Chinese)
- Zhao S-D(赵士洞), Wang Y-X(汪业勳). 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。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: yuguirui@cern.ac.cn 或 yuguirui@cisnar.ac.cn