

DOI: 10.5846/stxb201411142252

刘世荣,代力民,温远光,王晖.面向生态系统服务的森林生态系统经营:现状、挑战与展望.生态学报,2015,35(1):0001-0009.

Liu S R, Dai L M, Wen Y G, Wang H. A review on forest ecosystem management towards ecosystem services: status, challenges, and future perspectives. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(1): 0001-0009.

面向生态系统服务的森林生态系统经营:现状、挑战与展望

刘世荣^{1,*}, 代力民², 温远光³, 王 晖¹

1 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091

2 中国科学院沈阳应用生态研究所, 森林土壤生态国家重点实验室, 沈阳 110016

3 广西大学林学院, 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 南宁 530004

摘要:森林生态系统是地球陆地生态系统的主体,它具有很高的生物生产力和生物量以及丰富的生物多样性,对全球生态系统和人类经济社会发展起着至关重要和无可替代的作用。伴随着人口的不断增长和经济社会的迅猛发展,对森林资源和森林生态系统服务的需求不断高涨,而且人类对森林资源价值的认识也发生了很大程度的改变。推进森林资源可持续经营,增加森林总量、提高森林质量、增强生态功能,已成为中国林业可持续发展乃至推进中国生态文明建设和建设美丽中国的战略任务。本文全面综述了森林生态系统经营发展历程,分析了森林生态系统经营的现状和存在问题,在此基础上,提出整合基于生态系统管理与满足现代人类福祉对森林多重需求的新的森林生态系统经营理念,面向生态系统服务的森林生态系统经营理念是未来的发展趋势。森林经营发展战略表现为:1)从单纯的森林面积数量扩张,转变到提高单位面积的森林生产力和森林质量;2)从单一追求木材生产逐步转变为多目标经营,将森林产品单一的经营目标转变为广泛的生态、经济和社会等多目标经营;3)森林经营重点从林分水平转变为森林景观的经营,强调森林景观的时空异质性和动态变化,权衡和协同多种生态系统的服务功能,倡导森林景观的多样性和连通性,提高森林与其它土地利用模式镶嵌构成的复合景观的可持续性和稳定性,增强森林生态系统对气候变化影响的适应能力;4)森林生态系统经营将从依赖传统经验的主观决策转变为信息化、数字化和智能化的决策,发展森林生态系统经营决策支持系统和森林景观恢复与空间经营规划系统。

关键词:森林经营;气候变化;多目标经营;生态系统管理;景观管理;生态系统服务;空间规划

A review on forest ecosystem management towards ecosystem services: status, challenges, and future perspectives

LIU Shirong^{1,*}, DAI Limin², WEN Yuanguang³, WANG Hui¹

1 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Applied Institute of Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

3 State Key Laboratory of Protection and Utilization of Sub-tropical Bio-resources, Forest College, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: Forest ecosystems are the major components of terrestrial ecosystems. On the basis of their high primary productivity and abundant biodiversity, they play crucial roles in underpinning global ecosystems and human social-economic development. Population growth and rapid economic development are leading to increasing demand for forest resources and forest ecosystem services; in addition, modern human perceptions of and attitudes toward forest resource are changing. Strengthening of sustainable forest management to expand forest areas and improve forest quality and ecosystem

基金项目:国家“十二五”和“十一五”科技支撑计划项目(2012BAD22B01, 2006BAD03A04); 国家林业行业公益专项重大资助项目(201404201)

收稿日期:2014-11-14; **修订日期:**2014-12-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Liusr@caf.ac.cn

functions constitutes the core task of China's forestry development strategy, ecological civilization initiative, and "Beautiful China" campaign. Here, we review historical and current developments in forest ecosystem management; in addition, we discuss the current problems and challenges faced by forest management in China. We explore future trends in China's forest management, based on ecosystem management principles and human welfare development for the multiple demands of forest ecosystem services. We consider four different future forest management strategies. (1) A focus on changing from forest area expansion to enhancement of forest productivity and stand quality. (2) A change from a unique focus on timber production to multiple management objectives with increased attention to ecological, social, and economic dimensions beyond traditional economic values in terms of timber production and non-timber products. (3) Implementation of forest management across different scales, with a change from a stand level to an ecosystem level and even a landscape level. Spatial heterogeneity and forest dynamic changes across scales should be recognized, and forest landscape connectivity and diversity should be increasingly considered. Trade-offs and synergy among multiple services from various ecosystems across the forest landscape will be appropriately managed to meet the different interests of various stakeholders. Adoption of such a forest landscape management strategy will contribute to achieving optimal land use patterns in association with optimal resource utilization of biological, land, and water resources. This, in turn, will facilitate landscape sustainability and stability via a harmonized landscape configuration composed of mosaic land patches; in addition, it will improve the resilience of forest ecosystems to climate change. (4) A forest ecosystem management system that is dependent mainly on updated forest monitoring data, digitized geo-spatial information, and intelligent decision-making process, rather than on traditional knowledge, experience, and subjective judgment. In summary, there is a clear need to develop decision-making support systems and forest landscape restoration and spatial management planning systems, in order to shape a knowledge- and information-based forest ecosystem management system.

Key Words: forest management; climate change; multiple-objectives management; ecosystem management; landscape management; ecosystem services; spatial planning

森林生态系统是地球陆地生态系统的主体,它具有很高的生物生产力和生物量以及丰富的生物多样性,对全球生态系统和人类经济社会发展起着至关重要和无可替代的作用。虽然全球森林面积仅占地球陆地面积的 26%,但全球森林植被和土壤共储存了 1146Pg 碳^[1],分别约占全球植被和土壤碳储量的 86%^[2]和 73%^[3]。而且森林每年的碳固定量约占整个陆地生物碳固定量的 2/3^[4],因此,森林在维护全球碳平衡中具有重大的作用^[5]。此外,森林还为人类社会的生产活动以及人类的生活提供丰富的物质产品,包括木材、非木材产品和食物等;森林在维护区域性气候、保护区域生态环境(如防止水土流失)和维系地球生命系统的平衡等方面也具有不可替代的作用。由于森林与气候之间存在着密切的关系,气候的变化将不可避免地会对森林结构和功能产生不同程度的影响。反过来,因全球森林生态系统是一个巨大的碳库,受气候变化的影响,它对大气中的 CO₂ 起着源或汇的双重作用,从而进一步加剧或减缓气候变化的效应。

伴随着人口的不断增长和经济社会的迅猛发展,对森林资源和森林生态系统服务的需求不断高涨。中国用仅占全球 5% 的森林面积和 3% 的森林蓄积来支撑占全球 23% 的人口对生态产品和林产品的巨大需求^[6],我国的人均和总生态足迹均已超出了生态承载力^[7-8]。这导致中国森林资源和森林生态系统面临的压力越来越大,因此,推进森林资源可持续经营,增加森林总量、提高森林质量、增强生态功能,已成为中国林业可持续发展乃至推进中国生态文明建设和建设美丽中国的战略任务^[6]。

与此同时,步入 21 世纪后的全球人口、资源和环境的变化,人类对森林资源的价值的认识发生了很大程度的改变^[9]。首先,森林依旧要满足人类的基本生理、生活需求,而对森林提供的一系列物质和服务需求随着经济社会的发展不断扩展。人们将森林的休闲和观光、水资源数量和质量、美化价值、野生生物和生物多样性保护功能看作与森林的木材生产一样重要的功能^[10-11]。其次,人们对森林的各种产品和服务功能的认识

得到了提高,氧气生产、碳固定与储存和水文循环调节和水质改善等远远超出了当地森林和流域区域的范围,而提升到了国家政策和区域乃至国际事务领域^[9]。再次,森林对当地居民和社区而言有着重要的价值,而地区的价值要与国家和全球的价值进行整合,以更好地分配和经营这些森林^[12-13]。

在当前人类需求与森林资源供给的巨大差距下,在人类需求发生变化、全球环境发生变化的条件下,亟待改变原有的森林经营理念 and 规划,探索一条实现人与自然和谐共存、既满足当代人需求又不损害后代人需求满足的森林可持续经营体制、机制和技术体系。本文首先对森林生态系统经营的历程进行了回顾,分析了森林生态系统经营的现状和存在问题,在此基础上,提出整合基于生态系统管理与满足现代人类福祉对森林多重需求的新的森林生态系统经营理念,即面向生态系统服务的森林生态系统经营理念,并探讨其未来的发展方向与趋势。

1 森林生态系统经营概念及发展的历程

森林生态系统管理,是森林资源经营的一条生态途径。它试图维持森林生态系统复杂的过程、路径及相互依赖关系,并长期地保持森林健康和功能完好,从而为短期压力或干扰提供自调节机制和恢复能力,为长期变化提供适应性的森林可持续经营与森林生态系统管理^[14]。在保护生物学领域,生态系统管理被定义为:在复杂的社会政治与价值框架下,朝着长期保护生态系统完整性整体目标的生态关系的科学知识的整合^[15]。生物学家们多倾向于以生物保护为中心,认为维持生态完整性优先于所有其他目标(如为人类提供物质和服务),并将维持生态系统稳定性定为最终的整体目标。美国生态学会生态系统管理特别委员会的定义为:在深刻理解维持生态系统组成、结构和功能所必需的生态相互作用的基础上,基于明确的驱动目标,通过政策、协议和实践来履行,通过监测和研究来创造适应性的管理手段^[16]。美国林务局的定义为:为了维持和改善环境质量,以最好地满足现在和未来的需要,对生态、经济和社会因素的整合^[17],认为生态系统经营意味着“生产期望的资源价值、使用、产品和服务,并维持生态系统多样性和生产力的方法”^[18]。对于林业或森林资源的管理而言,在其中纳入生态系统管理的内容,是将森林视为生态系统来加以经营和管理,无疑在理论和实践意义上均具有划时代的重要意义。

从世界林业发展史来看,森林资源管理大体经历 4 个阶段:单纯采伐利用阶段,永续利用阶段,森林多效益永续利用阶段和森林生态系统管理阶段^[19]。上述 4 个发展阶段,体现了森林资源管理理念的进步和发展。总体上看,森林生态系统管理作为一种新的自然资源管理理念和思路,其研究和应用领域越来越广。生态系统管理的概念在 20 世纪 30—50 年代最先产生于自然生态系统的保护研究中,在保护生物学领域得到了很大程度的重视^[15, 20-21]。到了 1992 年,美国农业部林务局(USDA Forest Service)宣布将生态系统管理的概念应用于国有林管理中^[22]。此后在美国至少有 18 个联邦政府机构和众多州立机构采用了生态系统经营^[23],加拿大、澳大利亚、俄罗斯和土耳其等国家也开始采用生态系统管理^[24-25]。20 世纪 90 年代后期,森林生态系统管理的概念被引入我国^[26],受到越来越广泛的重视,促使传统的森林资源管理转向森林的可持续经营,以保障林业的可持续发展。从森林经营理论的发展历程可以看到,每一次新的林业经营理论的产生都是人类对自然生态系统理解和认识的升华。从森林与人类的原始和谐相处、森林的过度利用、森林的保护恢复到森林的可持续发展的历史演变过程表明,人类对森林的认识是一个实践、认识、再实践、再认识的逐步深化过程。森林经营理念也走过了从单纯追求木材生产经济效益、永续利用森林、培育接近自然状态的森林到森林可持续经营的历程。

2 森林生态系统经营的现状与面临的问题

尽管通过长期不懈的努力,我国的森林资源状况有了很大改善,森林覆盖率已由建国初期的 12.5% 上升至 2013 年的 21.63%。目前,全国森林面积 2.08 亿 hm^2 ,森林蓄积 151.37 亿 m^3 。天然林面积 12184 万 hm^2 ,天然林蓄积 122.96 亿 m^3 。人工林保存面积 6933 万 hm^2 ,蓄积 24.83 亿 m^3 ,人工林面积继续保持世界首位。然

而,我国森林覆盖率远低于全球 31% 的平均水平,人均森林面积仅为世界人均水平的 1/4,人均森林蓄积只有世界人均水平的 1/7,森林资源总量相对不足、质量不高、分布不均的状况仍未得到根本改变,林业发展还面临着巨大的压力和挑战。一是实现 2020 年森林增长目标任务艰巨。二是严守林业生态红线面临的压力巨大。三是加强森林经营的要求非常迫切。四是森林有效供给与日益增长的社会需求的矛盾依然突出^[6]。

从总体上看,森林资源数量、质量的增长依然不能满足社会对林业多样化需求的不断增加,生态问题依然是制约我国可持续发展最突出的问题之一,生态服务产品依然是当今社会最短缺的产品之一,森林资源质量与生态服务供给能力差距依然是我国与发达国家之间的最主要差距之一。中国森林的经营管理粗放、技术水平相对比较落后,存在的主要问题分析概括为以下几个方面:1) 森林经营的对策僵化不适应时代的变化,即简短的分类为商品林和公益林体系,由此规划森林的经营目标、投资方向和经营措施,没有体现森林生态系统的自然属性,包括森林结构组成、生物多样性变化、更新演替、健康状态、自然干扰特征;2) 森林经营与森林利用的最终目标或产品脱节。例如,目前营造的许多人工林缺乏明确的经营目标或利用的最终产品,伴随人们对森林功能认识的提高,传统的森林经营理念受到了冲击。人类对森林生态系统的产品的需求不仅仅限于木材,而是多样化的产品需求,在保证木材供给的同时,更多的关注森林生态系统的生态服务功能(生物多样性、水土流失、水源涵养、干旱洪涝灾害、环境污染、野生动物栖息地、流域健康和固碳等)。3) 缺乏有效的森林健康管理。由于过去长期和大规模的干扰导致许多现存的森林处于破碎化或次生退化演替状态,加之营造大面积人工纯林,在缺乏有效的森林健康管理的情况下,出现了严重的森林病虫害、森林火灾或地力衰退等问题。4) 缺乏综合的森林景观管理。森林经营管理不但要着眼森林生态系统本身,还要考虑森林经营管理对溪流和河流水系、生物多样性和人居环境的影响,从森林景观的综合要素考虑,包括各种相关利益群体需求、农林牧复合景观结构特征、景观生物与水土资源的有效性、土地利用政策等方面,制定综合的森林景观管理规划,籍以实现景观资源的优化配置和景观环境的可持续性。5) 在自然资源综合规划管理中的国土、水利、农业、林业和环保等各部门行业管理中不能真正做到有效协调和兼顾社会、经济和环境的多方面的效益。生态工程建设各自有不同的目标和侧重点,而且又分属不同的部门或机构实施和管理,导致不同部门缺乏有效的项目之间的协同性和整合性,难以实现可持续土地利用模式下的综合生态系统(森林、草地、农田、流域等)管理的目标。

3 森林生态系统经营面临的挑战

自 20 世纪中期以来,在人类活动的影响下,大气中二氧化碳浓度逐渐升高,地球已经进入一个史无前例的气候变化的纪元^[27]。虽然人们认为大尺度上未来的气候变化(如全球平均温度上升)是比较可信的,但是在地方和区域尺度上,我们甚至对气候变化的方向(如降水是增加还是减少)都难以预测^[28]。也就是说,气候变化在未来的时间里、在不同的地区具有很大的不确定性^[29]。气候变化可能改变森林生态系统结构和树种组成,如温度升高能提高嗜温性物种的竞争力,有利于嗜温性物种的更新和演替,而嗜冷物种的生长将受到抑制。土壤水分条件的变化也会使一些植物生长受到抑制,甚至出现落叶及顶梢枯死等现象而导致衰亡,从而有利于耐旱物质的繁殖和入侵。气候变化还会改变植物的物候,进而影响到物种间相互依存或者竞争的关系,关系到物种的繁殖和生存。此外,气候变化还将通过改变树木的生理生态特性(如气孔的大小和密度、叶面积指数等)和生物地球化学循环等途径对不同物种产生影响。而不同物种的耐性、繁殖能力和迁移能力在新系统的形成中也起着重要的作用。总而言之,气候变化将使一些物种退出原有的森林生态系统中,而一些新的物种则入侵到原有的系统中,从而改变了原有森林生态系统的结构和物种组成^[30]。在生态系统经营中,还必须考虑气候变化可能导致树种适宜空间分布格局的改变,如随着时间的推移,马尾松分布区可能会逐渐向北迁移,未来潜在分布区的面积将逐渐增加^[31]。而选育良种,营造喜光温暖型耐旱树种等经营措施,在以后的森林经营过程中将会发挥积极作用^[32]。如何应对由于气候变化(包括增温、降水格局变化和极端气候事件等)的不确定性带来的影响,将成为森林生态系统经营面临的重大挑战。

大气氮沉降作为全球氮循环的重要部分,自从工业革命开始以来已经大幅度增加,而我国自改革开放以来,由于生产活动和大气污染导致的氮沉降也在不断增加,进入 21 世纪的前 10 年间年均干湿氮沉降量为 21.1 kg/hm^2 ,比 20 世纪 80 年代(年均氮沉降量为 13.2 kg/hm^2)增加了约 8 kg/hm^2 ,增幅达 60%^[33-34]。氮沉降增加可能影响森林生态系统的生产力和固碳能力,而森林生态系统的响应方向取决于系统的初始氮状态(氮限制或氮饱和)和植被、土壤的特征。氮沉降还可能影响森林植物的多样性和群落结构,并且与二氧化碳浓度升高有协同作用,对森林生态系统造成更深刻的影响^[35-36]。森林生态系统经营面临着如何评估和预测大气氮沉降增加的时空格局及森林生态系统对其的响应,来制订合适的森林经营应对措施的挑战。

森林生态系统经营旨在为越来越多样化的社会提供即时的物质和服务的同时,为后代维持生态系统的完整性(即生态系统的功能、组成和结构的完整性)^[18]。而由于自然和人为干扰而导致森林退化和遭受破坏,土地利用改变(包括天然林转化成人工林、林地转化为非林地等)、土地覆盖变化、毁林开荒、滥砍滥伐等各种现象导致森林景观破碎化;另外,大规模建设短周期速生丰产林、人工林纯林连栽和超短轮伐期作业等,导致土壤肥力下降、土地生产力衰退和土壤生物环境退化,同时伴随人工林病虫害严重、生物多样性和生态稳定性下降等问题频繁呈现,影响了森林生态系统的健康,破坏了系统原有的组成和结构,进而影响到生态过程和生态系统功能。如何恢复和维持森林生态系统的完整性和适应性,是森林生态系统经营面临的又一个重大挑战。

4 面向生态系统服务的森林生态系统经营

生态系统服务功能的研究是近几年迅速兴起的生态学研究领域之一。生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的环境条件与效用。它不仅为人类提供食物、医药及其它工农业生产的原料,而且维持了人类赖以生存和发展的生命支持系统^[37]。作为森林生态系统的产品是可以为市场所度量的,这类的产品一般是有形产品,可以通过在市场上交易而实现其经济价值;而作为森林生态系统功能的间接价值,这类无形产品难以为货币直接来度量。森林生态系统的间接价值是对人类、社会和环境有益的全部效益与服务功能,是森林生态系统中生命系统的效益、环境系统的效益、生命系统与环境系统相统一的整体综合效益。关于森林生态系统服务研究它主要表现为涵养水源、防止水土流失、保护野生动植物、固定 CO_2 、释放氧气、净化大气、防风固沙等方面。

近年来,由于自然灾害的加剧和人类需求的增长,导致了生态和环境的破坏或退化,对人类不甚了解的生态系统服务功能造成了损害和削弱。随着可持续发展战略的实施,人类逐步认识到生态系统功能的维持与保育既是人类生存与现代文明的基础,也是实现可持续发展的前提,发达的科学技术也无法全部替代自然生态系统的服务功能。因此,探索生态系统服务的内涵与服务形成机制、评估生态系统的服务价值、促进经济社会的可持续发展等研究逐渐成为生态学、生态经济学和环境经济学研究的前沿。

欧阳志云等^[38]对中国陆地生态系统服务功能进行了评估和生态经济价值的分析;随后国内研究者对各地、各类生态系统服务功能进行了评估和价值量化。李文华等^[37]认为中国生态系统服务的研究应该尽快由当前的概算式研究转向更深层次的研究,尤其要重点关注生态系统功能的基础理论研究、评估指标与方法的标准化的生态服务价值动态评估模型研究、评估结果在决策过程中的应用研究以及生态系统服务的市场化机制研究。欧阳志云和郑华^[39]针对生态系统服务功能的物质基础(生境、生态系统结构和生态系统过程),提出了当前生态系统服务的生态学机制研究主要集中在 3 个方面:生物多样性与生态系统服务之间的关系;生态系统服务的时空尺度特征及其动态变化规律;气候变化和土地利用变化对生态系统服务的影响机制。中国林业科学研究院依据中国第七次(2004—2008 年)、第八次(2009—2013 年)森林资源清查结果和森林生态定位监测结果,系统测算了我国森林生态系统碳储量和生态服务及其价值。两期的评估结果为:森林植被总碳储量分别为 78.11 亿 t 和 84.27 亿 t;森林生态系统年涵养水源量分别为 4947.66 亿 m^3 和 5807.09 亿 m^3 ,年固土量分别为 70.35 亿 t 和 81.91 亿 t,年保肥量分别为 3.64 亿 t 和 4.30 亿 t,年吸收大气污染物质分别为

0.32 亿 t 和 0.38 亿 t, 年滞尘量分别为 50.01 亿 t 和 58.45 亿 t。与第七次森林资源清查期间相比, 第八次森林资源清查期间全国森林生态服务物质质量增长明显, 其中, 年涵养水源量增加了 17.37%, 年保育土壤量增加了 16.43%, 年提供负离子量增加了 20.83%, 年滞尘量增加了 16.87%。全国森林生态服务年价值量从 10.01 万亿元增长到了 12.68 万亿元, 增长了 27.0%, 森林生态系统服务呈现持续增长的态势。

森林生态系统服务功能的价值越来越受到人们的关注, 许多学者进行了积极的探索与研究, 并取得了很大的成就。森林生态系统经营与生态系统服务正逐渐成为当今人类社会认知的主流方向。同时, 如何科学地经营和管理森林生态系统, 维持全球变化环境下的森林生态系统结构、功能和健康, 仍然面临着严峻的挑战。因此, 需要不断地创新森林生态系统经营的理念、思路和技术措施, 籍以适应全球变化和人类经济社会的发展对森林生态系统服务日益增长的需求。建立面向生态系统服务的森林生态系统经营理念, 将二者有机地结合起来, 将成为适应全球变化和满足人口迅猛增长对森林的多种功能需求的崭新的森林经营途径。

5 森林生态系统经营发展趋势与展望

面向生态系统服务的森林生态系统经营是未来森林经营的发展趋势, 是各国森林可持续经营和林业科学研究的最重要内容, 也是 21 世纪林业可持续发展的核心。从政策层面上来看, 中国森林经营体系要有一个系统转变, 从以木材为主的经营逐步转向以生态系统服务为导向的多目标经营。森林生态系统经营要从林业分类经营为基本构架, 逐步发展为兼顾分类经营和多目标经营并最终将以近自然林经营为主体的森林经营体系。建立面向生态系统服务的森林经营体系, 尽管在一定程度上仍然需要遵循以防护、生产和多目标经营的林业分类经营为基本构架, 但是, 确立主导功能并兼顾实现多目标经营将成为未来森林经营的主流趋势。权衡和协调好森林生态系统服务在不同时间和空间的关系, 取得最佳的森林生态系统服务效益和效率, 实现最大的人类福祉的惠益, 不但能够更好地维持变化环境下的森林生态系统的结构、功能和健康, 提高森林适应气候变化的能力, 还有利于更好地协调各种利益相关群体参与和促进森林生态系统经营的顺利实施。

5.1 天然林生态系统经营

按不同起源天然林进行科学经营与管理。天然林区残存的老龄林斑块, 是重要的种质资源基因库, 是恢复重建的自然参照体系, 对于生物多样性保护具有重要意义^[40]。对其应采取严格的“封禁”措施, 保存其物种和基因多样性, 维持其群落结构和功能。对于轻度退化、结构完好的天然次生林, 也需要实施严格的封山保育措施, 凭借其保存良好的自我修复机制和天然更新能力, 在排除外界干扰的条件下迅速恢复其结构和功能; 针对演替初期阶段的天然更新能力差、树种组成与密度不合理、健康状况不好的天然次生林, 应该采取“封调”措施, 在封山保护的同时, 通过采用补植、补播目的树种、抚育、间伐、杂灌木清除等适度人工辅助措施, 在不改变其自然恢复演替路径的前提下, 促进跨越演替阶段或缩短演替进程, 加快生态系统结构和功能的恢复; 对于严重退化生境、生境环境恶劣、天然更新困难的生境, 采用“封造”措施, 筛选适宜物种或生态恢复的驱动种, 利用工程措施和生物措施相结合的方法, 对严重退化的生境进行土壤功能的修复与人工植被的重建; 针对天然林区大面积的人工纯林, 采用“封改”措施, 定向抚育间伐、移针引阔、补植演替后期的乡土树种, 诱导其向原生森林演替, 恢复其结构、生态功能和生物多样性^[41]。

为减缓不断加剧的全球气候变化, 林业正在经历经营发展方向的转变与调整, 固碳林业应运而生, 目标是通过一系列的保护、适应和森林可持续管理措施增加吸收固定大气中的 CO₂ 并减少碳排放, 实现森林生态系统固碳的最大效益, 同时发挥森林生态系统的其他多种服务效用。通过造林、再造林、恢复退化的天然林、建立农林复合系统等措施增加森林植被和土壤碳贮量, 可以增强森林碳吸收汇的功能; 同时, 天然林包括原始老龄林仍然具有碳汇功能^[42-43], 所以保护和维持天然林森林, 即保护现有天然林生态系统中贮存的碳库, 减少其向大气中的排放, 又能够保护生物多样性和物种遗传资源; 通过实施天然林可持续经营, 采用一系列碳管理的措施, 实现减排增汇的目标。

进一步加强森林管护和公益林建设, 加快天然林资源的培育。实施好天然林保护工程、经营好天然次生

林、发展近自然林业、建立公园或自然保护区、实行禁伐或限伐措施等途径,逐步建立天然林保护的长效机制,使天然林资源总量显著增加,天然林结构、质量和生态功能明显提高,生物多样性进一步丰富,全面提升天然林经营管理的能力;探索并推广天然林保护工程区森工企业“替代产业”可持续发展的新模式,加大政府投入的力度,把各项社会保障政策真正落到实处,让林农切实感受到实施“天保工程”带来的实惠,有利于巩固天然林保护工程的阶段性成果。

5.2 人工林生态系统经营

同天然林和其他植被类型一样,人工林提供生态系统产品和服务也可以明显促进人类福祉的改善;现如今,中国人工林年采伐量达到 1.55 亿 m^3 ,占木材总产量的 46%^[6]。作为世界上木材的主要消费国,中国对木材产品的需求随着国民经济和人口的增加而迅速增加。持续增大的中国木材产品供求缺口绝大多数已被人工林所弥补。

除木材产品外,人工林也通过提供非木质林产品促进经济发展和民生。2011 年,占经济林总量 95.5% 的人工林提供了 1.338 亿 t 的非木质林产品(1.147 亿 t 果实,0.093 亿 t 干果/坚果,0.014 亿 t 茶,0.016 亿 t 木本油料和其他),占林业产业总产值的 23%^[44]。

与此同时,人工林通过加强生物多样性保护,碳固持和水文调节等环境服务功能,在改善生态环境中发挥着重要的作用,积极贡献于中国林业战略目标中的生态恢复、生态安全和生态文明^[45]。同世界其他国家一样,在生态可持续性和环境变化方面,中国人工林发展已经面临着巨大的挑战,涉及不断加剧的全球气候变化的影响、经济社会发展对人工林需要的多样化和不同利益群体对人工林价值取向的变化,等等。

中国设立了在 2020 年(相比 2005 年)增加 4000 万 hm^2 人工林的国家林业战略目标。然而,由几种树种组成的大面积人工纯林具有景观结构单一,空间分布不均匀,龄级分布不均匀和低蓄积生长量的特点,再加上日益变化的环境下经营人工林用于多种用途的复杂性都向人工林经营提出了重大的挑战。在我国南方有些省区,已经对短周期速生林(例如桉树)不断扩大种植面积和提升集约经营程度(施肥、除草和灌溉等)产生了忧虑和恐惧,甚至出台限制或抵制短周期速生人工林发展的政策。所以,如何通过改变人工林经营管理策略,更加注重林木生态抚育和自然再生,而不能倡导大面积皆发作业、大规模地人工更新和再造林以及化学施肥与除草高集约经营作业方式,将人工林经营策略逐步从单一追求短周期木材产量、造林面积增加转变到追求长周期木材产量和质量并重和面向人工林生态系统服务的近自然化多目标经营。依据中国的实际国情和林情发展状况,现阶段或未来一个时期,中国人工林经营体系还将呈现多态化培育模式,即短周期速生丰产林模式、长周期高价值木材人工林模式和长短周期结合的人工林混交模式并存;呈现单一经营目标、双重经营目标和多目标经营镶嵌或共融的发展态势,即单一木材生产主导目标,兼顾木材和非木材资源(所谓的林下经济)双重目标,到以人工林产品和生态系统服务供给的多目标经营。但是,最终趋向发展成为以面向生态系统服务的人工林生态系统多目标经营。发展面向生态系统服务的人工林生态系统经营,将会促使森林经营者通过实施经营计划全面整合受益于人工林的社会(调节水和土地利用冲突),经济(生产力和经济增长)和环境(气候变化和生物多样性的影响)效益,进而使人工林经营在保障可持续木材和非木材供给的前提下,更有助于减缓和适应气候变化,调节涵养水资源和保护生物多样性。

6 结论

(1) 森林经营战略需要从单纯的森林面积数量扩张,转变到提高单位面积的森林生产力和森林质量,全面提升我国森林生态系统经营水平,增加森林资源数量和质量的同时,促进林业产业发展。这样既能合理利用森林资源、土地资源和水资源,充分发挥森林的生态功能,又能满足国内的木材需求,还能为社会提供大量的就业机会。

(2) 森林经营从单一追求木材生产逐步转变为多目标经营。将森林林产品单一的经营目标转变为广泛的生态、经济和社会等多目标经营,这些目标按照千年生态系统评估体系可以分为生态系统支持服务(养分

循环、土壤结构、初级生产)、供给服务(食物、淡水、木材、纤维和燃料)、调节调节(气候、洪涝、植物病害调节和水源净化)以及文化美学(美观、精神、教育和休闲)。面向生态系统服务的多目标森林经营将在维持长期生态系统功能和稳定性的同时,更好地满足人类经济社会发展的需求。

(3)人类生存与发展所需要的资源归根结底都来源于自然生态系统。森林生态系统及其服务无可替代,维护和管理良性循环的森林生态系统就是在维护人类生存与发展的基础。通过基于生态系统结构与功能完整性的森林可持续经营才能实现森林更高的社会经济和环境保护价值,保护生物多样性、维持生态系统功能,重建和恢复脆弱受损的生态系统,增强森林生态系统对气候变化影响的适应能力。

(4)森林经营将从林分水平转变为森林景观的经营,强调森林景观的时空异质性和动态变化,倡导森林景观的多样性和连通性,提高森林与其它土地利用模式镶嵌构成的复合景观的可持续性和稳定性;森林景观经营不仅能够优化利用景观资源、权衡和协同多种生态系统的服务功能,还能减少森林生态系统及其与之紧密相连的社区环境和经济的风险,提升自然资源供给、食物安全和社会发展的长期稳定性。

(5)森林生态系统经营将从依赖传统经验的主观决策转变为信息化、数字化和智能化的决策。采用景观生态学方法、空间分析技术与森林资源调查方法相结合,构建森林生态系统经营决策支持系统和森林景观恢复与空间经营规划系统,划分森林经营分类体系并进行数据实时更新和信息管理,实现森林资源全过程的精细化和数字化管理。另外,利用森林演替模型和森林景观动态模型,模拟和预测林分采伐强度和更新方案的经营效果,评价并确定景观尺度上伐区的空间配置、生物多样性保护和可持续经营方案,为筛选针对不同目标的森林经营模式提供科学依据,为森林景观恢复、维持森林景观的可持续性和多目标空间经营提供了新方法。

参考文献(References):

- [1] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, Houghton R A, Trexler M C, Wisniewski J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263(5144): 185-190.
- [2] Woodwell G M, Whittaker R H, Reiners W A, Likens G E, Delwiche C C, Botkin D B. The biota and the world carbon budget. *Science*, 1978, 199(4325): 141-146.
- [3] Post W M, Emanuel W R, Zinke P J, Stangenberger A G. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 1982, 298(5870): 156-159.
- [4] Kramer P J. Carbon dioxide concentration, photosynthesis, and dry matter production. *BioScience*, 1981, 31(1): 29-33.
- [5] 刘世荣. 生态学科发展报告(2011-2012). 北京: 中国科学技术出版社, 2012.
- [6] 国家林业局. 国家森林资源清查. 2014.
- [7] 刘宇辉, 彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估. *生态学报*, 2004, 24(10): 2257-2262.
- [8] Chen B, Chen G Q, Yang Z F, Jiang M M. Ecological footprint accounting for energy and resource in China. *Energy Policy*, 2007, 35(3): 1599-1609.
- [9] Cubbage F, Harou P, Sills E. Policy instruments to enhance multi-functional forest management. *Forest Policy and Economics*, 2007, 9(7): 833-851.
- [10] Bliss J C, Martin A J. Identifying NIPF management motivations with qualitative methods. *Forest Science*, 1989, 35(2): 601-622.
- [11] Bengtson D N, Fan D P, Celarier D N. A new approach to monitoring the social environment for natural resource management and policy: The case of US national forest benefits and values. *Journal of Environmental Management*, 1999, 56(3): 181-193.
- [12] Leach M, Mearns R, Scoones I. Environmental entitlements: dynamics and institutions in community-based natural resource management. *World Development*, 1999, 27(2): 225-247.
- [13] Mauro F, Hardison P D. Traditional knowledge of indigenous and local communities: international debate and policy initiatives. *Ecological Applications*, 2000, 10(5): 1263-1269.
- [14] 刘世荣, 代力民. 森林生态系统管理 // 李文华, 等著. 中国当代生态学研究. 北京: 科学出版社, 2013.
- [15] Grumbine R E. What is ecosystem management? *Conservation Biology*, 1994, 8(1): 27-38.
- [16] Christensen N L, Bartuska A M, Brown J H, Carpenter S, D'Antonio C, Francis R, Franklin J F, MacMahon J A, Noss R F, Parsons D J, Peterson C H, Turner M G, Woodmansee R G. The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications*, 1996, 6(3): 665-691.
- [17] Crumpacker D W. Prospects for sustainability of biodiversity based on conservation biology and US Forest Service approaches to ecosystem

- management. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 40(1/3): 47-71.
- [18] Jensen M E, Everett R. An overview of ecosystem management principles. *Ecosystem Management: Principles and Applications*, 1994, 2: 6-15.
- [19] 陆元昌, 栾慎强, 张守攻, von der Heyde B, 雷相东, 包源. 从法正林转向近自然林: 德国多功能森林经营在国家、区域和经营单位层面的实践. *世界林业研究*, 2010, (1): 1-11.
- [20] Shelford V E. The preservation of natural biotic communities. *Ecology*, 1933, 14(2): 240-245.
- [21] Agee J K, Johnson D R. *Ecosystem Management for Parks and Wilderness*. Washington, D C: University of Washington Press, 1988.
- [22] Robertson F D. *Ecosystem Management of the National Forests and Grasslands*. Washington, D C: USDA Forest Service, 1992: 1330-1331.
- [23] Malone C R. Ecosystem management policies in state government of the USA. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 48(1/2): 57-64.
- [24] Slocombe D S. Lessons from experience with ecosystem-based management. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 40(1/3): 31-39.
- [25] Özemi U, Özemi S. A participatory approach to ecosystem conservation: fuzzy cognitive maps and stakeholder group analysis in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Management*, 2003, 31(4): 518-531.
- [26] 徐国祯. 森林生态系统经营—21 世纪森林经营的新趋势. *世界林业研究*, 1997, 10(2): 15-20.
- [27] Stocker T F, Dahe Q, Plattner G K. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers (IPCC, 2013)*, 2013.
- [28] Millar C I, Stephenson N L, Stephens S L. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 2007, 17(8): 2145-2151.
- [29] Walther G R, Post E, Convey P, Menzel A, Parmesan C, Beebee T J C, Fromentin J M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 2002, 416(6879): 389-395.
- [30] 刘国华, 傅伯杰. 全球气候变化对森林生态系统的影响. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 71-78.
- [31] 张雷, 刘世荣, 孙鹏森, 王同立. 气候变化对马尾松潜在分布影响预估的多模型比较. *植物生态学报*, 2011, 35(11): 1091-1105.
- [32] 李克让, 陈育峰, 刘世荣, 郭泉水, 袁嘉祖. 减缓及适应全球气候变化的中国林业对策. *地理学报*, 1996, 51(增刊): 109-119.
- [33] Liu X J, Zhang Y, Han W X, Tang A, Shen J L, Cui Z L, Vitousek P, Erisman J W, Goulding K, Christie P, Fangmeier A, Zhang F S. Enhanced nitrogen deposition over China. *Nature*, 2013, 494(7438): 459-462.
- [34] Richter A, Burrows J P, Nusz H, Granier C, Niemeie U. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space. *Nature*, 2005, 437(7055): 129-132.
- [35] 吕超群, 田汉勤, 黄耀. 陆地生态系统氮沉降增加的生态效应. *植物生态学报*, 2007, 31(2): 205-218.
- [36] 李德军, 莫江明, 方运霆, 彭少麟, Gundersen P. 氮沉降对森林植物的影响. *生态学报*, 2003, 23(9): 1891-1900.
- [37] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 1-10.
- [38] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [39] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展. *生态学报*, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [40] 缪宁, 刘世荣, 史作民, 马姜明, 王晖. 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述. *生态学报*, 2013, 33(13): 3889-3897.
- [41] 刘世荣, 代力民. 生态保护与建设工程 // 李文华, 等著. *中国当代生态学研究*. 北京: 科学出版社, 2013.
- [42] Zhou G Y, Liu S G, Li Z A, Zhang D Q, Tang X L, Zhou C Y, Yan J H, Mo J M. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science*, 2006, 314(5804): 1417-1417.
- [43] Lewis S L, Lopez-Gonzalez G, Sonké B, Affum-Baffoe K, Baker T R, Ojo L O, Phillips O L, Reitsma J M, White L, Comiskey J A, Djuikouo K M N, Ewango C E, Feldpausch T R, Hamilton A C, Gloor M, Hart T, Hladik A, Lloyd J, Lovett J C, Makana J R, Malhi Y, Mbago F M, Ndangalasi H J, Peacock J, Peh K S, Sheil D, Sunderland T, Swaine M D, Taplin J, Taylor D, Thomas S C, Votere R, Wöll H. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, 2009, 457(7232): 1003-1006.
- [44] 国家林业局. *中国林业统计年鉴(2011)*. 北京: 中国林业出版社, 2012.
- [45] 国家林业局. *中国森林资源报告——第七次全国森林资源清查*. 北京: 中国林业出版社, 2009.