

DOI: 10.5846/stxb201712072201

刘世荣, 杨予静, 王晖. 中国人工林经营发展战略与对策: 从追求木材产量的单一目标经营转向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营. 生态学报, 2018, 38(1): 1-10.

Liu S R, Yang Y J, Wang H. Development strategy and management countermeasures of planted forests in China: transforming from timber-centered single objective management towards multi-purpose management for enhancing quality and benefits of ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(1): 1-10.

中国人工林经营发展战略与对策: 从追求木材产量的单一目标经营转向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营

刘世荣*, 杨予静, 王 晖

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

摘要: 人工林是全球森林资源的重要组成部分, 在木材生产、环境改善、景观建设和减缓气候变化等方面扮演着愈来愈重要的角色。尽管我国人工林面积和蓄积不断增长, 但是, 人工林存在质量较差、结构不尽合理、生产力不高、生态功能较弱和生态稳定性下降等问题。人工林生态系统服务功能难以满足经济社会日益增长和新时期人们对美好生活向往的多方面需求。面对未来人工林面积继续增加受到适宜发展空间的严重制约和气候变化带来的现实和潜在的影响, 亟需改变和调整我国人工林经营的发展战略和对策, 将从人工林面积扩张、蓄积增加转变为人工林生态系统服务的质量和效益提升。如何提高人工林生态系统服务的质量和效益, 创建健康稳定、高生产力和高碳汇的人工林生态系统, 既能提供高产优质木材, 又能够发挥固碳减排、生物多样性保护、水源涵养和水土保持等多种生态功能, 以满足经济社会发展对森林的多种新需求和林业应对气候变化的新任务, 亟需探索适合我国新时期人工林生态系统可持续经营的理论和多目标经营范式。在深入分析国际和我国人工林发展历程、变化趋势、面临问题的基础上, 充分汲取和借鉴国际人工林经营的理念、经验和实践成果, 并结合我国现阶段人工林发展实际情况, 探索人工林生态系统服务质量与效益提升的发展思路和实践途径, 从多层次、多尺度定位面向生态系统服务的人工林经营对策, 倡导并实施人工林生态系统适应性经营, 实现人工林生态系统服务的多目标权衡与协同, 为我国人工林经营的战略转变和对策创新提供决策参考与未来展望。

关键词: 人工林; 适应性经营; 生态系统服务; 多目标; 景观管理

Development strategy and management countermeasures of planted forests in China: transforming from timber-centered single objective management towards multi-purpose management for enhancing quality and benefits of ecosystem services

LIU Shirong*, YANG Yujing, WANG Hui

Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: As an important component of global forest resources, planted forests are playing an increasingly crucial role in timber production, environmental improvement, landscape rehabilitation and climate change mitigation. Although China has been experiencing continuous growth in the area and standing volume of planted forests, ecosystem services and functions of planted forests are still far from adequacy in meeting growing needs of people's better life expectation and rapid social-

基金项目: 国家国际科技合作专项项目(2015DFA31440); 国家林业公益性行业科研专项(201404201)

收稿日期: 2017-12-07; 修订日期: 2017-12-09

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

economic development. The planted forests are facing problems including poor stand quality, irrational stand structure, low productivity, and degraded ecological function. Considering the confined space available for further expansion of replanting area and the actual and potential impacts from climate change, it is necessary to adjust China's current plantation development strategy from area expansion to quality and benefits improvement. There is a need to develop an appropriate strategy and practice approach for achieving multi-purpose management such as carbon sequestration, biodiversity protection, eco-environment improvement, in response to the new demands for building a beautiful China, and the new task of forestry's role in climate change mitigation. In this paper, we discuss the possible ways and new ideas on how to upgrade China's management strategy of planted forests by analyzing the development history, future trends and existing problems of global planted forests. Useful international experiences, concepts and good practices are well incorporated into China's actual conditions and special features of plantation management. Some recommendations and future prospective on strategic transformation and technical innovation for enhancing the quality and benefits of multiple ecosystem services of planted forests in China were also proposed. Adaptive ecosystem management of planted forests is highly advocated under a changing environment, and the trade-offs and synergy of multiple ecosystem services of planted forests should be well managed and coordinated at multiple scales and levels.

Key Words: plantation; adaptive management; ecosystem service; multi-purpose; landscape management

人工林在全球森林资源中扮演着重要角色,是缓解采伐天然林资源提供木材供给的有效补充。一方面,人工林的迅速发展提供了各种木材和非木材产品,另一方面还提供了多重生态调节服务,对生态修复、景观重建和环境改善发挥着重要作用^[1]。20 世纪 80 年代至今,世界各国通过人工造林或再造林,发展工业用材林、生态公益林等各种不同用途的人工林,使全球人工林面积和蓄积呈现不断增长的趋势。中国人工林面积居世界首位,也是增长速度最快的国家。但是,目前我国人工林总体上质量不高、经济和生态效益较低,急需提升人工林的质量及其多种生态系统服务功能。在气候变化和人类对森林资源的经营日益增加并呈现多元化的大背景下,探索兼顾经济、社会和生态效益、面向生态系统服务的人工林可持续的理论与实践途径非常必要。本文系统分析了我国和世界人工林的发展历史、现状、面临的问题,在学习借鉴世界其它国家人工林经营理论与实践成果和总结我国已有经验的基础上,提出了我国人工林经营战略转变的思路和策略。中国人工林经营将以面向生态系统服务的质量与效益提升为核心,多层次、多尺度权衡与协调好人工林生态系统的多目标服务,倡导并实施人工林生态系统适应性经营策略,提高人工林生态系统对气候变化的抵抗能力和适应多目标经营变化的韧性。

1 中国人工林的发展历程与现状

世界各国的国情和林业经营管理策略不同,所以,不同国家的人工林发展规模、经营模式和人工林的质量与效益各异。1990—2015 年世界人工林面积增加 1.2 亿 hm^2 , 年均增长量约 450 万 hm^2 ^[2], 占世界森林总面积的比例从 4.11% 增长至 7.25% (图 1)。随着我国对木材需求日益增长和生态环境保护意识的不断提高,大规模的造林和再造林促使我国人工林面积和蓄积不断增加。目前我国人工林保存面积 6933 万 hm^2 、蓄积 24.83 亿 m^3 , 占有林地的比重呈现持续增长的态势,人工林面积继续保持世界首位 (图 2)。杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)、落叶松 (*Larix gmelinii*)、马尾松 (*Pinus massoniana*)、杨树 (*Populus* spp.)、桉树 (*Eucalyptus* spp.)、栎类 (*Quercus* spp.)、桦木 (*Betula* spp.) 是我国主要的人工造林树种^[3]。

20 世纪 50—70 年代,也即我国人工林发展的初期阶段,人工林主要是天然林采伐后迹地人工更新和营建的人工针叶纯林,以生产木材为首要经营目标。1980 年后,为满足经济快速发展对木材需求的刚性增长,我国提出了人工速生丰产林培育;1990 年提出了工业用材林培育,1994 年开始提出以建设生态公益林为主、经济与社会效益兼顾、可持续发展的原则。进入 21 世纪,随着世界经济全球化进程和生态环境保护的压力增

大,人工林经营目标不断调整和改变,经历了从单一经营目标以木材生产为主逐渐向着人工林多目标经营面向生态系统服务功能提升的战略转变。这期间,中国林业已经进入由以木材生产为主向生态建设为主的历史性重大转变,确立了生态建设、生态安全和生态文明的“三生态”战略思想,人工林的建设更加强调在植被恢复、退化土地与景观重建、生物多样性保护,以及水土流失防治和涵养水源等改善生态环境方面的重要作用。

近年来,全球气候变化不断加剧并成为世界上最为关注的重大环境问题。在此背景下,造林再造林和森林可持续经营成为全球气候变化公约框架下固碳减排、应对气候变化的重要措施,如何提高人工林生态系统的碳储量、碳汇潜力和土壤碳固持功能已经纳入人工林的经营管理范畴。2016年11月和2017年2月,国家林业局和中共中央、国务院相继提出“继续实施林业重点生态工程,推动森林质量精准提升工程建设”;2017年10月党第十九次全国代表大会的报告中明确提出:实施重要生态系统保护和修复重大工程,优化生态安全屏障体系,构建生态廊道和生物多样性保护网络,提升生态系统质量和稳定性。在中国全面建设小康社会的决胜时期,人工林的发展也必然响应和顺应新时期国家总体战略的转变,人工林将呈多元化的发展格局,在某些特定区域仍然突出高效木材生产为主导功能,但在更广泛区域内,提升人工林生态系统服务的质量与效益将成为主要目标。为此,需要探索有效权衡和协同不同地区、不同人工林生态系统服务的主导功能与多目标经营,籍以全面地发挥人工林生态系统在木材供给、改善生态环境及应对气候变化等多方面的重要作用。

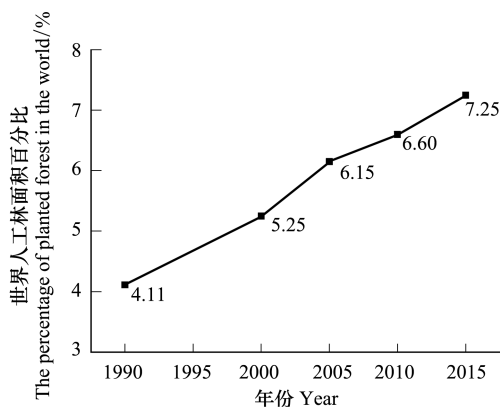


图1 世界人工林面积占森林面积的百分比

Fig.1 The percentage of planted forest area to forest area in the world

数据来源于《全球森林资源评估报告(2015)》^[4]

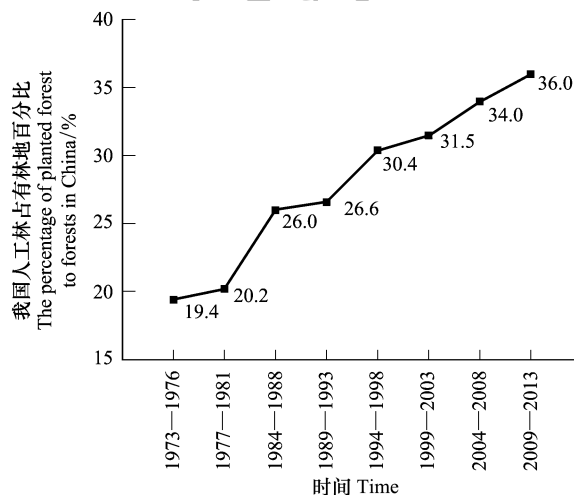


图2 我国历次森林资源清查人工林比重变化

Fig.2 The percentage of planted forest area to forest area in China during the previous National Forest Inventories

2 人工林发展过程中面临的问题与成功经验

2.1 人工林发展面临的主要问题

尽管我国森林资源的面积和蓄积呈现了较长时间的持续增长,但是我国森林资源总量仍旧相对不足、质量不高、分布不均。首先,人工林经营管理粗放,单位蓄积量和生产力较低,经济效益不高,人工林面临着面积不断扩张而质量却明显下降的矛盾^[5]。以往造林中劈山、炼山和大面积皆伐作业等粗放的经营方式,严重影响了人工林生态系统的物质循环和能量流动^[6]。长期以来,人工林经营过分重视和追求短期的生产力与经济效益,偏重于人工更新和同龄纯林培育模式,忽视了森林的自然演替规律、天然更新、森林健康和多目标近自然经营,对造林地的潜在植被、群落的演替及养分状况等重视不足;同时,受到林业基础设施建设落后、林区经济发展不平衡以及森林经营管理体制和机制不顺等主观客观多方面因素的制约,人工林经营缺乏行之有效的、贯穿长远的科学理论指导和适合不同地区人工林类型的可持续经营技术体系,最终成为导致人工林质量和效益低下的主要原因。

其次,我国人工林普遍存在林分结构单一、生物多样性下降,多代连作导致地力衰退,生态系统功能逐渐退化,影响人工林生态系统的持续稳定发展。在我国,集中连片、品种单一、连绵百千公顷的人工纯林十分普遍。趋于针叶化的、成片高密度人工林往往导致土壤酸化,林下灌、草难以生长形成乔-灌-草垂直空间结构的森林群落。与天然林相比,人工林常表现出物种多样性低、生态稳定性差、病虫害频发、抵御气候灾害能力弱等特点^[7]。传统的人工林经营以木材生产为主,频繁的短轮伐作业干扰方式也会降低人工林群落物种多样性。与此同时,人工林树种单一、结构简单导致养分归还缓慢、土壤微生物受地被物抑制,致使杉木、落叶松、杨树等主要人工林土壤肥力下降^[1],人工纯林土壤养分随着同种连栽而严重消耗^[8]。

再次,受可利用土地资源的限制、立地条件制约和气候变化的胁迫影响,我国人工林面积继续扩展的空间十分有限。第八次全国森林资源清查结果显示,现有可用于造林的林地面积为 4982 万 hm^2 ,其中有 2642 万 hm^2 的林地(约占 53%)位于年降水量少于 400 mm 的区域,水分条件是该区域人工造林的最大的制约因素;剩余的 2340 万 hm^2 林地(约占 47%)虽然处在降水量超过了 400 mm,但是有 36% 的林地受地形、土壤、海拔等立地条件限制,导致造林成功相当困难^[9]。鉴于我国幅员广阔、气候区多样、经济社会状况差异与需求不同,延续单一树种粗放式的传统经营模式难以为继,已不能适应现阶段我国人工林的发展变化趋势。

此外,人工林天然更新和生态系统自我调节功能差。天然更新是树木利用自身繁殖能力形成新一代幼林的过程,是一种低投入、高产出的森林培育方式。人工林的天然更新主要受树木的遗传性和外界环境综合因素影响;林分结构、林地枯落物与地被物以及经营措施是影响人工林天然更新的重要因子^[10]。目前,我国绝大部分人工林通常是采伐后进行植苗造林、直播或飞播的方式进行更新,使得现存人工林大多为同龄纯林。由于无性系造林导致生理老化或成熟效应(cyclophysis)、遗传多样性下降和年龄结构、林分成熟期一致,同时缺少类似天然林更新时的林窗条件,所以,后代更新生长受到限制。目前,我国人工林经营中天然更新及其近自然化演替完整过程的成功案例尚无先例。

2.2 世界人工林发展的经验借鉴

综合分析我国人工林的发展现状,可以看出我国人工林的发展水平仍处于起步阶段。我国人工林大多为针叶纯林、结构简单、抗逆性差、生态服务功能低,人工林经营管理尚未实现集约化、信息化、机械化和智能化,导致人工林经营的质量和效益还落后于国际上的林业发达国家,例如,美国、澳大利亚、新西兰、德国等。这些林业发达的国家,人工林经营的理论和技术相对比较成熟和完善,已经步入人工林高效集约经营和多功能利用的可持续发展道路。

美国 20 世纪后期就已提出了以生态系统经营为主导的新林业,强调充分发挥林业的多功能,进行了长时间、大范围的不同层次的林业规划。在森林经营实践中,依据综合生态系统管理的理念,将景观自然干扰体系、野生动植物多样性保护、水文与水资源调节、森林演替与景观动态变化和森林资源经营利用有机结合和统筹考虑来构建合理的林分结构和景观格局,在动态变化的环境下保持生态系统健康与完整性,维持生态过程、天然更新能力和生物多样性,最终实现森林资源的可持续开发利用和经济社会的可持续发展^[11]。森林实行多目标经营,包括木材业、森林旅游、休闲文化等,以及生物多样性保护与生态环境改善等生态功能,森林资源随国民经济发展和城市化的进程稳步增长。美国大面积人工林主要集中在在水热条件比较好的东南部地区,以私有林和林业公司为经营主体,已经建立起来集约、高效的现代化人工林经营体系,实现了人工林作业体系的专业化、信息化和机械化。与之类似,澳大利亚人工林集约经营的思想是在区分不同区域的森林主导功能和一般功能的基础上,通过可持续经营维持以生态服务为基础的经济、生态和社会三大效益的和谐统一,满足社会对林业的多样化需求^[12]。在德国,20 世纪 60 年代开始推行森林效益理论和森林多功能理论,90 年代后开始大力推行近自然林业,坚持生态优先的原则,通过林分改造将同龄林变成了异龄林,单层林变成了复层林,针叶林变成了针阔混交林,显著提高了林分质量和生产力,以及人工林的生物多样性和生态稳定性^[13]。

新西兰在人工林经营方面也取得了巨大成就,用仅占国内森林总面积约 21% 的人工林完全满足国内木材需求;同时,还能提供大量的林产品出口。新西兰人工林发展初期经历了两个阶段:第一阶段,由于缺少科

学理论的指导,树种选择失误导致造林面积增加而质量下降;第二阶段,依靠先进的科学技术实施了人工林集约高效的可持续经营,通过引进了适宜树种、林木良种选育和科技成果推广应用,人工林的生产力、材质与林地质量得到了显著提高^[14]。自 1925 年以来,经过了多次规模化造林,逐渐确立并巩固了人工林在新西兰林业发展中的重要地位。通过引入多种外来树种和经营实践,由一开始的多树种混交栽植转变为以辐射松(*Pinus radiata*)占绝对优势的单一栽植模式(占人工林种植面积的 90%),依据经营目标和定向培育的最终产品采取不同的抚育间伐措施,创建了规模化、集约化的人工林现代经营体系^[15]。在追求速生、优质、高产和短轮伐期目标的同时,为工业特殊用途培育高质量、优质木材,提高木材利用率,追求人工林经营经济价值的最大化^[16]。另外,新西兰以辐射松人工纯林为经营主体,十分重视辐射松种质资源的收集、保存和选育,构建不同种源和品种培育体系,提高人工林的遗传多样性籍以提高人工林的健康、生态稳定性,抵御环境变化胁迫和病虫害危害的能力。

综上所述,世界各国的经济社会发展阶段和自然环境条件不同,人工林经营的发展思路、技术模式和实践途径有所差异。但是,纵观世界各国人工林发展的成功经验,不难看出其优惠的政策扶持、合理的经营管理体制、集约化高效经营机制和产学研紧密结合科技支撑体系,为人工林持续稳定健康发展奠定了扎实的基础,营造了良好的内外部环境。显然,随着中国林业现代化建设步入新时期,林业发展的内外部环境和面临的问题正在发生深刻变化,探索具有中国特色的、人与自然和谐的林业发展道路和实践途径,需要吸收借鉴国际上林业发达国家的人工林经营的先进理念、宝贵经验和成功模式。

3 我国人工林多目标经营的理论遵循与对策

3.1 应用生态系统经营理论,改善人工林生态系统的结构与功能

针对我国人工林退化或潜在退化危险和不可持续的营林方式,应该倡导遵循森林生态系统经营理论来指导开展人工林可持续经营实践。森林生态系统经营是一种综合的、相互联系的、全面动态的理念与技术体系,通过修复和长期保持生态系统的整体功能,提升生态系统服务的质量和效益。近年来,森林生态系统经营已发展成为一个包括生态系统功能、生物多样性、景观格局与过程和人类社会等重要概念在内的综合集成科学理念。

森林生态系统经营通常包括两个层级:(1)森林群落内不同层次,即地上植被和地下生态系统功能的综合考虑;(2)森林群落间不同经营斑块水平在生态系统尺度的调整和配置,形成合理的森林景观格局。首先,生态系统中植物-土壤相互作用反馈系统^[17]会影响植物群落多样性^[18]、植被生长^[19]、生产力与长期演替^[20]。因此,直接作用于地下生态系统的经营措施,同样能够达到提高林分整体生态功能的效果。例如,林分抚育措施通过调整树种组成可改变林地的凋落物组成,进而影响到凋落物分解和养分循环^[19]。其次,将生态功能互补并具有相互间增益效果的人工林群落在空间上合理配置,是综合发挥不同生态功能并加速生态系统向自然群落演替的科学手段。在景观尺度上,根据生物地理气候、土地覆盖结构、生物多样性分布和水文水资源格局的空间异质性,构建综合的山水林田湖草复合生态系统系统网络体系^[21],将各景观要素(如不经营但受保护的森林、高度集约化经营的人工林、自然湿地、河岸缓冲带和斑块间的生态廊道等)有机相连构筑景观的多样性、连通性和稳定性,这是改善人工林生态系统结构与功能、发挥不同生态系统的多种服务功能,以及提高景观可持续性的最有效的手段。

3.2 调整人工林林分结构,提高生物多样性和生态系统稳定性

林分结构调控是森林生态系统经营的核心内容,直接关系到人工林生态系统生产力、固碳能力与人工林的稳定性。单一树种的人工纯林模式会出现凋落物不易分解或分解速度较慢,养分归还速率低^[22],容易造成某些土壤养分元素的亏缺^[23],因此,人工林长期地力和生产力维持已引起普遍关注。将大面积的低质低效针叶人工纯林改造成生产力高、固碳能力强、物种多样性高的高质、高效多功能的针阔混交林是目前林学、生态研究的热点问题^[24]。

近年来,一种以林地的连续覆盖和多功能培育为主要目标的森林经营体系——近自然化改造,被应用于人工林可持续经营实践^[7],调整林分的水平分布格局、树种混交比例等空间关系促进森林演替进程^[25]。通过近自然化改造,针叶纯林的林分结构和树种组成发生改变^[26],必然改变林分生产力、物种多样性和地下生态过程;近自然化改造能够优化林分结构,显著改善土壤理化性质,提高林分生产力和物种多样性^[27-28]。研究发现,亚热带马尾松人工林土壤微生物群落结构对人工林树种组成变化的响应极为敏感^[29];固氮树种马占相思(*Acacia mangium*)引入改造桉树人工纯林后,土壤碳储量、氮含量以及微生物多样性显著增加^[30]。多树种混交形成的地上植物的多样性也同样反映在混交林地下微生物群落组成的多样性及其生态位分化,由此产生了生态功能耦合关系的复杂性、协同性和互补性。但是,近自然的经营模式对基于树种多样性的生态系统服务功能的提升机制尚需进一步的深入研究,进而更有针对性的提出不同地区、不同树种的人工林生态系统经营对策。

人工林结构调整也是提升林分质量的重要措施,因此是人工林经营研究和实践的重点和核心问题。近些年,许多学者开展了不同地区、不同森林类型的林分质量的监测和评价研究,旨在为我国森林结构调整、景观优化配置、森林生态系统功能提升提供理论依据。除造林模式外,人工林发育阶段/林龄^[31]、整地方式^[6]、施肥^[32]等也显著影响林地质量。在气候变化的背景下,适当选用养分归还速率快的树种或营建合理搭配的树种混交组合将有助于提升人工林生态系统对气候变化胁迫的抵抗能力和韧性,维持养分循环过程和土壤保肥供肥能力。

3.3 提升人工林的固碳增汇功能,发挥减缓气候变化的特殊作用

全球气候变化已成不争的事实,森林作为陆地生态系统最大的碳库,对减缓大气温室气体浓度上升具有不可替代的作用^[33]。人工林作为森林资源重要的组成部分,与天然林一样具有相同的吸收固持大气二氧化碳的功能,在维护全球碳平衡和缓解全球气候变化等方面的作用日益突显。人工林既可通过扩大造林面积增加人工林生态系统的碳储量,又可通过人工林的可持续经营提升植被的碳储量,并增加和保持其地下部分土壤的碳储量^[34]。

作为一种受人为调控的生态系统类型,人工林的树种选择、营造方式、抚育措施等都可能直接或间接地影响人工林生态系统的碳固持功能。首先,造林方式直接影响人工林地上和地下生态系统碳储量。人工林乔木层生物量碳是树种生物量积累速度和碳密度共同作用的结果,具有不同生长特性的树种具有不同的碳密度和生长速率^[35]。树种的种类、组成和林龄对土壤有机碳储量均有显著影响^[36]。与国内报道的杉木、桉树等人工林多代连栽而导致林分生产力下降不同^[37],其他国家的研究表明人工林连栽并没有明显导致林地生产力下降^[38-39]。确定合理轮伐期有助于维持人工林生态系统碳固存的持久性^[40-41]。其次,人工抚育经营措施可增加单株林木的胸径、树高、冠幅和林分蓄积生长,增加林下植被的种类数量和盖度^[42],从而影响人工林生态系统的植被碳储量;抚育间伐是影响林分凋落物分解和土壤碳积累的重要因素^[43]。此外,森林采伐方式、采伐强度将影响林分生物量和生产力^[44-45],可能改变人工林的结构和土壤水热条件从而影响林木的生长及其碳储量,也将改变土壤有机质分解速率和土壤碳排放速率^[44,46]。

4 中国人工林经营发展战略与对策

面对我国人工林发展过程中存在的问题和新时期社会对森林期望与需求的变化,通过科学合理的规划与经营,发展优质、高效、稳定、可持续的多功能人工林已成为一种主流趋势。现阶段我国人工林经营体系仍呈现多元化的发展模式,在遵循我国现有的森林分类经营体系的基本构架下,向发展兼顾经济、生态和社会效益的多目标森林经营的战略转变。我国人工林经营将更加关注在不同时间和空间尺度上有效权衡和协同好人工林生态系统的多种服务功能,并以提升人工林的质量与效益为重点。

4.1 人工林面积扩增转变为人工林质量提升

鉴于人工林经营中存在的诸多问题以及可利用土地空间的限制,我国人工林未来发展不可能再延续一味追求以扩大人工林面积来实现人工林资源的生长,必将从以扩大造林面积为主转变为以提高现有人工林生产

力和质量为重点。未来造林、营林更加注重林地单产的提高和森林质量的提升^[47]。制定人工林长期可持续多目标经营方案,通过量化和分析林分结构、立地条件,不断调整人工林结构、景观配置,实施健康经营、生物多样性保护、病虫害与森林火险防控,在不断提高人工林木材产量的同时,更加重视提高人工林林分质量和生态系统的服务功能。

4.2 盲目粗放经营转变为定向集约高效经营

传统的森林经营以木材生产为主要目标,且只注重木材产量而非木材质量,以短轮伐期皆伐、炼山和多代连栽为主要经营方式,森林经营方案往往缺乏明晰的定向培育目标或最终收获产品导向的目标。在人工林经营由单一追求木材产量向多目标经营和质量提升的跨越过程中,人工林经营将从过去盲目粗放经营向集约化、精细化、规模化经营转变。森林经营目标不仅要增加木材产量,还要提高木材质量。因此,人工林经营中应该倡导培育大径级优质材,提升基于材质的木材经济价值和效益,力求森林经营得到良好的经济收益回报(economically viable),这也是世界上发达国家在森林经营方案设计和经营实施效果评价所考虑的最重要指标。在我国现行林业管理体制下,忽视了森林经营活动的成本效益评价,或缺乏基于市场机制的森林经营投入产出效益的客观评价体系。为此,人工林集约高效经营需要从树种选择、种源筛选、造林模式、抚育管理和采伐方式等诸多森林经营环节改进和调整,针对终极产品目标进行全周期作业设计,以最低的投入获取最高的收益,最终实现人工林集约高效经营。

4.3 针叶或外来速生树种人工林转变为乡土阔叶树种或针阔混交人工林

培育乡土阔叶人工林可以兼顾珍贵用材生产、生物多样性保护、生态功能和生态系统稳定性改善。建立乡土阔叶树种人工林和针阔混交林正逐渐成为替代世界上大面积分布的针叶人工林最有前景的森林经营模式^[5,24]。我国人工针叶纯林占有较大的比例,例如,马尾松、杉木和落叶松人工林约占人工林面积的 32.2%,存在着潜在的地力衰退、病虫害和森林火灾风险。通过近自然的经营方式,将现存的大面积单层同龄人工针叶纯林转化成以乡土阔叶树种为主的复层异龄多树种混交林,改善人工林树种组成和群落结构,充分利用自然力和天然更新机制,加速人工林的近自然演替进程,增强森林生态系统的稳定性和抵御气候变化胁迫的韧性,同时有助于提升地力、生产力和碳储量。

4.4 单一木材生产经营转向面向生态系统服务的多目标经营:权衡和协同调控

传统上,人工林经营专注木材产量或质量等经济属性,而当今社会对森林需求的变化更加关注如何发挥森林的碳汇功能、水文水资源调节、生物多样性保护、景观恢复、森林游憩等生态和社会效益。通过科学的规划和经营调控等手段,处理好生态系统服务与经济社会发展和生态系统之间联系,实现经济的、社会的和环境的多元惠益,实现人与自然的和谐共处,满足人类所期望的多目标、多价值、多用途、多产品和多服务的需要^[48]。由于经营目标和影响因素的复杂性,不同社会利益群体的需求变化的时空差异,要妥善处理好人工林经营的主导目标与多目标之间的相互关系。有时以一种主导效益作为主要目的并兼顾其他效益,有时需要为了提高一种功能而牺牲另一种功能。例如,在对我国西北干旱半干旱地区的生态脆弱区进行植被恢复时,大面积、高密度的人工林会导致地下水位下降和流域产流量减少。自 2000 年实行退耕还林(草)和天然林保护等工程后,该区植被变化对径流减少的贡献超过 90%^[49],加剧了干旱区水资源短缺,严重威胁到区域尤其是下游的供水安全和可持续发展。深入理解林水相互影响对实现植被建设与水资源的综合利用和优化管理十分必要。因此,在森林适应性管理中更重要的是结合生态和社会的需求,权衡和协同人工林多重生态系统服务(如碳固持、水源涵养、生物多样性维持、养分循环等)和多种效益。

4.5 人工林经营从林分尺度上结构与功能调节转向景观尺度上植被格局与生态过程的调控

长期以来,森林经营活动一直停留在林分尺度上操作和管理,森林经营的目标一般只局限在木材生产。考虑到生物多样性保护、水文水资源调控和自然资源管理的规划设计和实施可操作性,以及气候变化、病虫害与火灾等干扰对森林影响波及范围较大,景观实际上是开展森林多目标经营管理的最佳尺度。为此,人工林多目标经营方案设计和操作管理需要从以往林分小尺度上升至森林景观尺度上。通过对区域景观异质性、森

林植被多样性、景观格局和破碎化程度等空间特征分析,了解不同土地利用、土地覆盖的景观格局及其动态变化规律,这有助于制定更加科学的森林多目标经营规划方案^[50]。刘世荣等^[51]提出全球气候变化下的森林多尺度适应性管理策略和森林景观经营在生态恢复、生物多样性保护、水文水资源管理中具有重要的应用价值^[52]。利用景观生态学原理和方法,科学辨析区域尺度上的景观动态变化过程和驱动力因素,合理规划景观结构与空间配置,优化土地利用格局/土地覆盖模式,倡导构建人工林景观的多样性和连通性,形成不同造林树种斑块空间镶嵌与合理配置,有助于维持区域景观的生物多样性、空间异质性和生态稳定性,提高森林与其它土地利用模式镶嵌构成的复合景观的生态系统服务功能与景观的可持续性,籍以有效权衡和协同景观尺度上不同生态系统的多种服务功能。

5 未来展望

在全球气候变化的背景下,针对我国人工林经营中存在的问题和新时期社会对森林期望与需求的新变化,我国人工林经营发展战略和对策正在发生改变和调整,从注重人工林面积扩张转变为人工林生态系统服务的质量和效益提升,发展优质、高效、稳定、可持续的多功能人工林已逐渐成为一种主流趋势。

人工林生态系统经营在从单一目标向多目标转化过程中,仍将呈现多元化的发展格局。按照自然地理分区、气候分异、林业战略定位和区域经济社会发展需求,发展用材林、经济林、防护林、薪炭林等不同主导功能的人工林,通过人工林结构调整和景观优化配置最大限度的发挥不同类型的人工林生态系统的主导功能。在江河源头、水源地、重要生态功能区和地形复杂的区域,人工林生态系统经营的主要目标是提升生态功能与改善生态环境,最大限度的发挥人工林的生态效益;而在水、热充沛、土壤肥沃且地形相对平坦的地区,通过不同类型人工林基地建设,例如,用材林基地、油料林基地、名特优商品林基地、能源林基地、碳汇林基地,以及林茶、林果、林药、林农等复合经营基地,实施高度集约化、规模化的优质高产人工林经营,发挥以木材为主的林产品供给功能、获取显著的经济效益;在经济欠发达地区,仍需要采用短周期的人工林经营模式,并以增加木材产量和林农经济收入为首要目标;而在经济较为发达的地区,可以从传统上只专注木材产量等经济属性转变为更好地提升人工林生态系统服务功能的多目标经营,例如,森林旅游、森林康养、森林文化等,以更好地满足人们所期望的多目标、多价值、多用途、多产品和服务的需要。

为了有效权衡和协同多种生态系统服务功能,必须重视和倡导森林景观经营,采用自然或人工林斑块景观镶嵌、不同地理种源/遗传无性系的合理配置、同龄/异龄混交模式、长短轮伐期多树种经营组合模式,提高森林景观多样性、异质性和生态稳定性。然而,实施人工林生态系统经营是一个连续的计划、监测、评价和适应调节的过程,适应性生态系统经营策略制定仍需以森林植物、动物和微生物等生物要素对水、热、养分等生态环境因子的响应规律和变化机制等基础研究为前提。因此,需要开展全球变化背景下人工林生态系统的响应和适应变化的长期观测研究,不断地实践探索适合我国新时期人工林可持续经营的科学理论与和多目标经营的优化模式。

参考文献(References):

- [1] 朱教君, 张金鑫. 关于人工林可持续经营的思考. 科学, 2016, 68(4): 37-40.
- [2] Payn T, Carnus J M, Freer-Smith P, Kimberley M, Kollert W, Liu S R, Orazio C, Rodriguez L, Silva L N, Wingfield M J. Changes in planted forests and future global implications. Forest Ecology and Management, 2015, 352: 57-67.
- [3] Liu S R, Wu S R, Wang H. Managing planted forests for multiple uses under a changing environment in China. New Zealand Journal of Forestry Science, 2014, 44(S1): S3.
- [4] FAO. Global Forest Resources Assessment 2015[R]. Rome: FAO, 2015.
- [5] 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): 1-9.
- [6] 张梦雅, 王新杰, 刘乐, 张鹏, 付尧. 迹地炼山对杉木林植物多样性与土壤特性的影响. 东北林业大学学报, 2017, 45(3): 63-67, 76-76.
- [7] 陆元昌, 张守攻, 雷相东, 宁金魁, 王懿祥. 人工林近自然化改造的理论基础和实施技术. 世界林业研究, 2009, 22(1): 20-27.
- [8] 田大伦, 沈燕, 康文星, 项文化, 闫文德, 邓湘雯. 连栽第1和第2代杉木人工林养分循环的比较. 生态学报, 2011, 31(17): 5025-5032.

- [9] 胡觉, 彭长清, 甘世书, 黄湘南. 我国人工林变化动态及增长潜力分析. 林业资源管理, 2014, (S1): 6-8.
- [10] 张树梓, 李梅, 张树彬, 张志东, 黄选瑞. 塞罕坝北落叶松人工林天然更新影响因子. 生态学报, 2015, 35(16): 5403-5411.
- [11] 李剑泉, 陈绍志, 李智勇. 国外多功能林业发展经验及启示. 浙江林业科技, 2011, 31(5): 69-75.
- [12] 黄东, 谢晨, 赵金成, 王亚明, 袁梅. 澳大利亚多功能林业经营及其对我国的启示. 林业经济, 2010, (2): 68-71.
- [13] 王世进, 刘姗姗. 国外林业可持续发展的经验及其对我国的启示. 江西农业学报, 2011, 23(11): 193-195, 199-199.
- [14] Rhodes D, Stephens M. Planted forest development in Australia and New Zealand: comparative trends and future opportunities. New Zealand Journal of Forestry Science, 2014, 44(S1): S10.
- [15] 陈蓬, 张会儒. 新西兰辐射松人工林产业发展经验值得借鉴. 浙江林学院学报, 2005, 22(5): 582-586.
- [16] 叶世森, 郑郁善. 新西兰林业发展现状及启示. 福建林业, 2014, (6): 21-25.
- [17] Klironomos J N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities. Nature, 2002, 417(6884): 67-70.
- [18] Bever J D. Feedback between plants and their soil communities in an old field community. Ecology, 1994, 75(7): 1965-1977.
- [19] van der Putten W H, Bardgett R D, Bever J D, Bezemer T M, Casper B B, Fukami T, Kardol P, Klironomos J N, Kulmatiski A, Schweitzer J A, Suding K N, Van de Voorde T F J, Wardle D A. Plant-soil feedbacks: the past, the present and future challenges. Journal of Ecology, 2013, 101(2): 265-276.
- [20] Bever J D, Westover K M, Antonovics J. Incorporating the soil community into plant population dynamics: the utility of the feedback approach. Journal of Ecology, 1997, 85(5): 561-573.
- [21] Patry C, Kneeshaw D, Wyatt S, Grenon F, Messier C. Forest ecosystem management in North America: from theory to practice. Forestry Chronicle, 2013, 89(4): 525-537.
- [22] 郭婧, 喻林华, 方晰, 项文化, 邓湘雯, 路翔. 中亚热带4种森林凋落物量、组成、动态及其周转期. 生态学报, 2015, 35(14): 4668-4677.
- [23] Koutika L S, Epron D, Bouillet J P, Mareschal L. Changes in N and C concentrations, soil acidity and P availability in tropical mixed acacia and eucalypt plantations on a nutrient-poor sandy soil. Plant and Soil, 2014, 379(1/2): 205-216.
- [24] Felton A, Nilsson U, Sonesson J, Felton A M, Roberge J M, Ranius T, Ahlström M, Bergh J, Björkman C, Boberg J, Drössler L, Fahlvik N, Gong P C, Holmström E, Keskitalo E C H, Klapwijk M J, Laudon H, Lundmark T, Niklasson M, Nordin A, Pettersson M, Stenlid J, Sténs A, Wallertz K. Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. Ambio, 2016, 45(S2): 124-139.
- [25] 胡艳波, 惠刚盈. 优化林分空间结构的森林经营方法探讨. 林业科学研究, 2006, 19(1): 1-8.
- [26] 陈科屹, 张会儒, 雷相东, 娄明华, 王全军, 毛建国. 基于目标树经营的抚育采伐对云冷杉针阔混交林空间结构的影响. 林业科学研究, 2017, 30(5): 718-726.
- [27] Ratcliffe S, Holzwarth F, Nadrowski K, Levick S, Wirth C. Tree neighbourhood matters-tree species composition drives diversity-productivity patterns in a near-natural beech forest. Forest Ecology and Management, 2015, 335: 225-234.
- [28] 孙冬婧, 温远光, 罗应华, 李晓琼, 张万幸, 明安刚. 近自然化改造对杉木人工林物种多样性的影响. 林业科学研究, 2015, 28(2): 202-208.
- [29] Wen L, Lei P F, Xiang W H, Yan W D, Liu S G. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in pure and mixed stands of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* differing in stand age. Forest Ecology and Management, 2014, 328: 150-158.
- [30] Huang X M, Liu S R, Wang H, Hu Z D, Li Z, You Y M. Changes of soil microbial biomass carbon and community composition through mixing nitrogen-fixing species with *Eucalyptus urophylla* in subtropical China. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 73: 42-48.
- [31] 罗达, 刘顺, 史作民, 冯秋红, 刘千里, 张利, 黄泉, 何建社. 川西亚高山不同林龄云杉人工林土壤微生物群落结构. 应用生态学报, 2017, 28(2): 519-527.
- [32] 席本野, 王烨, 贾黎明. 滴灌施肥下施氮量和施氮频率对毛白杨生物量及氮吸收的影响. 林业科学, 2017, 53(5): 63-73.
- [33] Todd-Brown K E O, Randerson J T, Hopkins F, Arora V, Hajima T, Jones C, Shevliakova E, Tjiputra J, Volodin E, Wu T, Zhang Q, Allison S D. Changes in soil organic carbon storage predicted by Earth system models during the 21st century. Biogeosciences Discussions, 2013, 10(12): 18969-19004.
- [34] Duveneck M J, Scheller R M. Climate-suitable planting as a strategy for maintaining forest productivity and functional diversity. Ecological Applications, 2015, 25(6): 1653-1668.
- [35] Wang H, Liu S R, Mo J M. Correlation between leaf litter and fine root decomposition among subtropical tree species. Plant and Soil, 2010, 335(1-2): 289-298.
- [36] Liu Y, Lei P F, Xiang W H, Yan W D, Chen X Y. Accumulation of soil organic C and N in planted forests fostered by tree species mixture. Biogeosciences, 2017, 14(17): 3937-3945.
- [37] Tian D L, Xiang W H, Chen X Y, Yan W D, Fang X, Kang W X, Dan X W, Peng C H, Peng Y Y. A long-term evaluation of biomass production

- in first and second rotations of Chinese fir plantations at the same site. *Forestry*, 2011, 84(4): 411-418.
- [38] Cook R L, Binkley D, Stape J L. *Eucalyptus* plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 2016, 359: 92-98.
- [39] Long Y S. Assessment of plantation productivity in first and second rotations of *Pinus radiata* in New South Wales. *Australian Forestry*, 1997, 60(3): 169-177.
- [40] 王伟峰, 段玉玺, 张立欣, 王博, 李晓晶. 不同轮伐期对杉木人工林碳固存的影响. *植物生态学报*, 2016, 40(7): 669-678.
- [41] Ekholm T. Optimal forest rotation age under efficient climate change mitigation. *Forest Policy and Economics*, 2016, 62: 62-68.
- [42] 段劼, 马履一, 贾黎明, 贾忠奎, 公宁宁, 车文瑞. 抚育间伐对侧柏人工林及林下植被生长的影响. *生态学报*, 2010, 30(6): 1431-1441.
- [43] 梁晶, 王庆成, 许丽娟, 吴文娟. 抚育对长白山两种林分凋落物分解及土壤的影响. *植物研究*, 2015, 35(2): 297-303.
- [44] 雷蕾, 肖文发. 采伐对森林土壤碳库影响的不确定性. *林业科学研究*, 2015, 28(6): 892-899.
- [45] 明安刚, 张治军, 湛红辉, 张显强, 陶怡, 苏勇. 抚育间伐对马尾松人工林生物量与碳贮量的影响. *林业科学*, 2013, 49(10): 1-6.
- [46] 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 任卫岭, 刘小飞, 杨玉盛. 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响. *生态学报*, 2014, 34(7): 1645-1653.
- [47] 陈幸良, 巨茜, 林昆仑. 中国人工林发展现状、问题与对策. *世界林业研究*, 2014, 27(6): 54-59.
- [48] 叶功富, 尤龙辉, 卢昌义, 林武星, 罗美娟, 谭芳林. 全球气候变化及森林生态系统的适应性管理. *世界林业研究*, 2015, 28(1): 1-6.
- [49] 张淑兰, 王彦辉, 于澎涛, 张海军, 屠新武. 定量区分人类活动和降水量变化对泾河上游径流变化的影响. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 53-58.
- [50] 车腾腾, 冯益明, 蔡道雄, 张万幸, 张显强, 吴春争. 热带林业实验中心人工林区景观格局变化分析. *浙江农林大学学报*, 2011, 28(5): 706-712.
- [51] 刘世荣, 温远光, 蔡道雄, 朱宏光, 黄雪蔓, 李晓琼. 气候变化对森林的影响与多尺度适应性管理研究进展. *广西科学*, 2014, 21(5): 419-435.
- [52] Liu S R, Lin Y, Zhang Y D, Guo Z H, Zhang L, Li C, Wang J X. Landscape ecology contributions to forestry and forest management in China: progresses and research needs//Li C, Laforteza R, Chan J Q, eds. *Landscape Ecology in Forest Management and Conservation: Challenges and Solutions for Global Change*. Beijing: Higher Education Press, 2010. 23-46.