

碳中和目标下多功能森林经营的生态补偿单位和 碳汇补偿路径分析

马浩然¹

(1. 天津农学院农学与资源环境学院)

摘要:在当前碳汇需求和森林质量提升导向下,传统的商品林和公益林森林分类经营方式对于引导发挥碳汇目标的能力和对象不明确,生态系统多功能性为森林经营管理提供新的视角,森林多功能管理的目标促使我国对森林经营模式由过去的公益林和商品林的二分经营模式向更细化的三种类型模式转变,“多功能兼用林”为探索更为多样化的森林经营方式、满足多种效益包括碳汇目标提供了可能,因此需要有效的森林生态效益补偿模式和碳汇补偿方式激励多功能经营措施。本研究探索以多功能兼用林为着力点,一方面分析了政府补偿制度下多种森林生态效益补偿单位的合理性、对多功能经营措施提升碳汇能力的激励性,得出蓄积增量是评价森林多功能性和激励碳汇能力提升的有效因子和单位。另一方面探索了碳汇价值补偿路径作为多功能森林经营市场化价值实现路径的可行性,分析了碳票、碳汇银行、碳普惠等新型碳汇价值实现路径在价值转化方式、补偿范围、补偿对象、核算方式方面的特点,为多功能兼用林实施碳汇补偿提供借鉴依据。森林多功能经营需要多元化的补偿路径,本研究可为我国森林实施多功能经营方式的补偿与激励提供依据。

关键词: 多功能兼用林; 森林生态效益补偿单位; 蓄积增量; 碳汇功能

Analysis of forest ecosystem services payments units and carbon sink payments paths for forest multifunctional management under carbon neutrality goals

Abstract: Under the current demand for carbon sinks and forest quality enhancement, the traditional forest classification management of commercial forests and ecological public forests is not clear to lead to the goal of carbon sinks, and ecosystem multifunctionality provides new perspectives on forest management, the goal of multifunctional forest goal management has prompted China to change its forest management mode from the previous dichotomous mode to three types of forest management in a more detailed way. The "multifunctional forest" provides the possibility to explore more diversified forest management methods and to meet the objectives of multiple benefits, including carbon sinks. Therefore multifunctional forest requires effective compensation for forest ecological benefits and carbon sinks to incentivise multifunctional management measures. This study focuses on multifunctional forests, on the one hand, it analyses multiple units of forest ecological benefits compensation under the government's compensation system, analyses the incentives of units for multifunctional management measures to enhance carbon sink capacity, finally concludes that the volume increment is an effective factor and unit for evaluating forests multifunctionality and encouraging carbon sink capacity. On the other hand, we explored the feasibility of forest carbon sink value compensation path as a market-based value realisation for multifunctional forest management, in which we analysed the characteristics of carbon sink value realisation paths such as carbon ticket, carbon bank, and carbon universal benefit in terms of the value transformation method, compensation scope, compensation target, and accounting method, so as to provide reference for implementing carbon sink compensation to encourage multifunctional forests. Multifunctional forest management requires diversified compensation paths, and this study can provide a basis for the incentives for the compensation of multifunctional forest management in China.

Key words: forest ecological benefit compensation unit; volume increment; multi-functional forest; carbon sequestration

引言

森林是陆地生态系统的主体,其年固碳量约占整个陆地生态系统的 2/3(张颖等, 2022),森林所发挥的

碳汇功能能够为碳中和目标贡献巨大作用,增强森林固碳增汇功能被认为是抵消和吸纳碳排放量最经济和有效的途径(李海奎, 2021)。中国森林可增长潜力巨大,尽管森林资源面积庞大,但单位面积蓄积量仍有欧洲、北美国家森林有差距,森林蓄积和质量仍有大幅提升的空间。在当前林地资源约束的条件下,森林碳汇的增加不能仅依赖新造林的碳汇能力,通过已有森林有效经营扩大碳汇供给能力也十分重要。多功能森林经营的方式属于近自然森林经营模式,更加符合基于自然的解决路径(张小全等, 2020),多位学者探讨了基于林业的解决方案认为,除了造林再造林之外,可持续森林经营管理等森林碳固持的增汇方案是未来中国生态系统碳汇的主要增长点(周国模等, 2021)。根据《全国森林经营规划(2016-2050年)》测算(国家林业局, 2018),我国森林固碳能力仍有较大潜力,目前远低于国外中高纬度地区平均水平,现实林分中每公顷蓄积未达到林地生产潜力50%的占69%,无论是通过明确森林经营目标明确碳汇方向,还是采取有效的经营措施提升森林碳汇功能,都需要有力的资金支持,为林业高质量发展提供贡献力量。森林碳汇交易和REDD+均为提升森林碳汇功能的造林和经营行为提供了资金来源,碳汇成为衡量林业效益的主要指标之一,因此应把碳汇能力提升作为积极引导森林经营和生态价值实现的切入点,通过实施森林生态补偿制度激励林业通过森林保护、经营等措施充分发挥森林应对气候变化的潜力(许恩银等, 2020)。

1 多功能森林经营类型划分的必要性

森林经营和森林质量精准提升是相互高度关联的统一体(陈绍志, 2022),合理的森林经营类型划分对于提升森林质量十分关键。当前我国森林高质量提升需要优化森林经营方式,在此基础上实现森林蓄积量提升和森林结构优化,尤其在当前造林空间有限的时代,通过造林大量增加森林面积的难度加大,需要有针对性地对森林实施可持续经营。科学提升森林经营管理水平是增强森林碳汇能力的关键,森林经营类型的划分会影响不同类型森林实施森林经营措施的针对性,从而影响森林碳汇服务能力提升的效果。森林经营路径若能发挥潜力,将是以碳汇形式减缓气候变化发挥最大潜力的路径之一(徐晋涛等, 2022),未来增强森林碳汇能力的主要途径也应从造林为主转向森林经营为主(王懿祥, 2021),通过有效的森林经营措施提高单位面积蓄积来实现碳汇能力提升(伍楠林, 2010)。

由于过去我国实施的是二元化的公益林和商品林的森林分类经营模式,公益林作为发挥森林生态效益为主导的森林类型,商品林作为收获木材等经济价值为主导的森林类型,二者的经营目的是相互排斥的,这种分类经营思路面临着林地空间分配制衡关系,从而有效区分不同森林属性即所发挥的森林生态系统服务(项文化等, 2022)。根据第九次全国森林资源清查结果,我国33亿亩森林中,生态公益林18.6亿亩,显然其占比更大,但无论是公益林还是商品林,由于二者经营目标的限制,它们缺乏对碳汇等其他生态功能的兼顾,重点是引导商品林和公益林发挥碳汇功能的机制欠缺。除了经营目标的单一化导致的制衡关系外,经营目标单一还会导致经营方式相对粗放,二分模式强调和追求森林的单功能或单组服务功能利用实际上在林业管理中人为割裂森林的多种功能(林德荣等, 2011),未能发挥森林的多功能性和可持续性,森林分类经营存在重分类、轻经营的问题,难以满足林业高质量发展需求。

森林发挥着多种生态功能,无论是强调生态效益还是经济效益,都不应单单局限在传统的公益林和商品林范围内,森林多功能管理的目标是可持续地满足社会对森林多种功能的需求,需在优先满足主导功能需求的条件下,通过科学规划和合理经营利用森林的所有功能,使其整体效益持续最优(王彦辉等, 2023)。因此需实施更加细化的森林经营类型划分,通过经营引导部分公益林和商品林森林在发挥原本主导功能基础上兼顾多种功能的实现,满足碳汇目标和森林质量提升需求,并根据相应的森林类型采取针对性的措施,精准提升林地碳汇能力被认为是林业高质量发展的有效路径(吕金蔚等, 2022)。多功能森林经营理念更加有利于培育健康稳定森林生态系统,实现森林可持续经营与发展(谢阳生等, 2019),北美一些国家采取多功能经营模式对森林实施生态保护与资源利用得到良好的验证效果,森林为人类所提供的生态、社会服务多样化需求也促使人类对森林的经营向多功能服务转变(张会儒等, 2019),总之,生态系统多功能性为森林经营管理提供新的视角(项文化等, 2022)。

2 多功能兼用林的概念和来源

普遍认为多功能森林经营是在追求森林的一种或几种主导功能的前提下,兼顾其他功能的一种森林经营思想(林德荣等, 2011)。也有研究认为森林的多功能经营是指同时以两个或多个功能为经营目标的森林经营方式(陆元昌, 2017), 包括森林的支持、调节、供给和文化四类服务中涵盖的多个功能, 通过科学规划和合理经营森林, 使其充分发挥森林主导功能的同时兼顾森林的多个功能, 使森林的整体效益得到优化(唐小平等, 2022)。森林的结构决定其功能, 森林的多功能经营需要对森林空间、结构进行优化, 通过采取适度经营促进林木生长, 提升森林的多功能性。森林多功能经营目标与分类经营方式并不冲突, 通过实施多功能经营区划对森林进行多功能分级经营, 对不同森林功能实施不同的经营强度, 在实施森林经营措施时需要充分把握好森林生态服务功能之间的权衡和协同关系, 实现森林多种生态功能之间的良好兼顾。

为了更好地满足森林多功能经营的目标针对性,《全国森林经营规划》(2016-2050 年)提倡将森林经营模式从原有的二分模式切换到三类模式, 在现有“公益林”和“商品林”两类间增加第三种森林类型——多功能兼用林(陆元昌, 2017), 多功能兼用林强调实施兼顾生态和生产的多功能森林经营模式。本研究认为多功能兼用林是指在同一块森林上实现两种及以上森林功能为经营导向, 在维护生态功能的同时兼顾一定的经济利益为目的的森林经营类型。多功能兼用林的划分是我国传统的森林分类经营策略的逐步完善, 其将森林在商品林和公益林基础上进行了更细致的划分, 具体包括以生态服务为主导功能的兼用林和林产品生产为主导功能的兼用林, 这相当于将部分可经营采伐的一般生态公益林和部分限制性中长期用材类型的商品林重新划分为一个新的类别。

3 多功能森林经营的措施

森林多功能经营的目的是实现林业高质量发展, 因此面向可持续发展需求的森林质量提升和功能增强。若在考虑碳汇需求的情况下, 需要在考虑包括碳汇在内的多种功能相互作用和供需关系基础上明确各功能的重要性差异, 科学合理调控森林的结构、数量和空间格局, 在保证森林本身稳定的前提下尽可能同时满足对主导功能及其他功能的需求。为满足森林碳汇目标的提升, 森林经营所采取的措施主要针对几个方面:

森林密度管理: 由于林分密度影响林木的生长和竞争, 从而影响林分生物量积累。为了保证合理的林分密度, 根据不同林龄、树种和立地条件采取适宜的抚育间伐、择伐措施, 充分发挥每株树木的生长潜力, 最大限度地利用林地生产力并保证森林最大连续生长量, 增加林分组成和结构的多样性(黄麟, 2021)。诸多研究表明采取适当的经营抚育等措施能够增强森林的碳汇能力, 例如, 亚马逊地区通过对森林密度管理使得木材产量高出 36%-50%。此外, 抚育间伐还能促进天然林持水能力。

混交: 多功能森林经营的一个基本特征就是经营混交林(谢阳生等, 2019), 树种是实现森林功能的基本要素。混交是通过疏伐、补植调整林分的树种组成比例、水平分布格局, 将纯林改造为异龄、多物种的近自然林分, 从而促进森林生长和演替进程, 林分混交能够提供更多生态系统服务并适应气候变化。混交林中特定树种和树种组成会显著影响林分蓄积量及生长量(项文化等, 2022), 多功能经营在选择树种时也要考虑选择能够提高森林生物量和蓄积量的树种。一些研究表明, 阔叶林的固碳功能优于针阔混交林, 针叶纯林的固碳功能相对最弱, 因此可通过经营森林适当调整林分结构, 构建地带性阔叶混交林, 有助于提升碳汇功能。淳安县千岛湖区经过对森林实施疏松补阔抚育处理、调整林分结构, 形成了固碳功能评价价值最高的地带性阔叶树种苦槠、木荷和柯的混交林(王秀云等, 2017)。

总体来说多功能森林经营方式提倡异龄、复层、针阔混交。多功能森林经营除了提倡增加森林覆盖和林木蓄积外, 还应通过优化物种组成、间伐或疏伐等低强度的管理措施可以维持或增加林分水平的碳密度(黄麟, 2021)。尽管影响森林生物量累积的因子包括诸多自然因子如气温、降水、土壤等, 但人为经营措施的实施对于生物量甚至碳储量也会产生较大的影响。多功能森林经营与不经营则会对森林多方面产生影响和差异, 例如针对纯林采取混交改造(采伐后补植其他树种), 混交林比纯林的单位公顷面积蓄积增长量提升了 3.94m^2 , 单株林木生长量也提高了 3 倍(谢阳生等, 2019)。森林的多功能管理需以理想林分结构为参照和目标, 实施森林多功能措施以达到目标林相的经营水平, 其中就包括提升森林蓄积量、目标树直径等要求。不同于过去对森林实施要么保护要么经营的策略, 越来越提倡对多功能森林实施适度规模经营, 精准提升林地碳汇能力。福建省南平市通过实施规模化经营对林分和林相进行改造, 兼顾林木蓄积和其他生态

功能,杉木林亩均蓄积量达到 16-19 立方米,是全国平均水平的 3 倍,森林规模化经营的出材量比分散经营高出 1/4,促进了森林资源的保护和质量提升(黄颖等, 2020)。

4 森林多功能经营的补偿路径分析

在森林分类经营体系下,公益林实行公益事业化管理,商品林经营可通过市场融资,但目前多功能森林经营在产生经济效益的供给功能以外的其他森林服务功能获得补偿的机制并不确定。森林多功能经营所采取的措施需要相应的资金予以支持,多功能经营措施复杂,经营成本高,经营的时间长,补偿机制不明确,需要通过资金激励森林所有者对森林生态功能的有效维护。鉴于多功能兼用林的划分由于来源于商品林、公益林,因此可针对这部分来源于公益林的兼用林实施引导性的森林生态效益补偿制度,只不过补偿激励的内容应该是多功能性而不是单一的主导功能。已有研究针对森林发挥的多种功能同时进行补偿的案例仍有限,但国外一些 PES 方案仍综合考虑了多种生态系统服务,例如,国外许多研究关注不同的生态付费如何在空间和时间尺度上协同作用和权衡,但也认为只要森林的经营管理能在两个不同功能之间产生较好的协同效应,就可以将碳汇功能与其他功能(例如生物多样性保护)之间结合起来。

此外,在所有森林生态系统服务功能中,碳汇服务是目前市场化程度最高且价值实现体系最为完善的功能,并能够通过可量化的森林碳汇价值进行交易从而实现生态功能的经济实现(林德荣等, 2011),因此,林业“减排”和“增汇”功能可能成为多功能森林经营关注的主要指标之一。按照FPES资金来源不同,多功能森林经营资金保障来源也可分为政府主导的补偿模式和市场化主导的补偿模式,完善森林生态效益补偿制度、推广市场化的碳汇补偿方式都是支撑多功能兼用林经营提升森林经营碳汇的着力点。

4.1 碳中和目标下政府主导的森林生态效益补偿制度

政府主导的森林生态效益补偿制度是维护森林生态价值的最主要方式,其作用是让构成多功能兼用林的公益林部分维持现有的生态功能,对可交易的多功能兼用林仍不予补偿。多功能森林分类是在分类经营基础上的改革,丰富了原有公益林的经营目标,将多功能兼用林作为实现碳汇目标的着力点提升碳汇能力,激励多功能兼用林在发挥自身功能基础上提升碳汇能力,并对碳汇能力提升经营措施进行激励性补偿。考虑到当前森林生态效益补偿对所有公益林采取均衡化的补偿方式,只是针对重点公益林采取和一般公益林不同的补偿标准,很难激励森林生态功能尤其是碳汇功能提升,实施多功能经营应在考虑多种功能的相互作用和供需关系基础上明确各功能的重要性差异,在保证森林本身稳定的前提下尽可能同时满足对主导功能及其他功能的需求。为了凸显森林在碳汇功能方面的提升效果,应基于森林经营措施探索适宜的表达碳汇提升能力的重要因子,通过森林生态效益补偿制度对多功能经营措施形成有效的激励和促进,依据森林生态效益补偿单位合理分配补偿额度促进森林质量和森林碳汇功能提升,促进多功能兼用林维护主导功能的同时兼顾碳汇功能。

除了纵向分配补偿资金方式外,基于省际、省内各市、县域之间横向补偿也是一种补偿森林生态服务价值的新思路,基于不同地域森林资源数量或碳汇数量差异,一些地区为了弥补本地区森林资源或生态功能的不足,采取政府主导模式通过横向补偿实现生态价值交换的目的,实践有采用森林覆盖率、碳汇指标作为森林资源价值量化单位进行横向补偿,从而免于本地区新造林或者经营。横向补偿思路是基于存量价值的交换,采用合理的森林指标衡量森林资源补偿价值的十分重要,理顺这种补偿机制的分配方式,对于扩充政府横向补偿资金、促进补偿和市场资金的对接,具有现实意义。

4.2 对多功能森林经营实施森林生态效益补偿的单位分析

森林生态补偿单位体现的是森林生态效益补偿资金的分配问题,不仅是对公益林,同时也针对多功能兼用林实现合理分配补偿资金、促进针对性的森林生态服务功能有效提升的重要步骤。选择适宜的补偿单位是精准补偿的关键点,也是体现森林生态效益补偿的激励性和公平性的重要因素,应发挥对多功能经营尤其是碳汇功能经营的激励性,促进有效的森林多功能经营措施与保护效应。目前存在两种补偿资金分配

的思路,一种是基于森林生态系统存量补偿的思路,另一种是基于森林生态系统流量补偿的思路,下面将分别论述森林生态效益补偿的几种典型单位及其各自特点。

4.2.1 基于存量的森林生态效益补偿单位分析

4.2.1.1 森林面积

森林面积是衡量森林资源存量的一种典型单位,我国现行森林生态效益补偿就是按照面积进行补偿,主要是从森林建设投入和维护成本角度补偿,无论经营森林与否,都会补偿同样的额度,因此更具有补助特点。此外,当前我国实施的带有补偿性质的天然林停伐补助和森林抚育间伐补助都是按照面积进行补偿,如天然林停伐每亩补助 22.89 元,用于激励对天然林停止采伐而维持生态功能的行为。中央财政森林抚育资金补助标准每亩 200 元,主要补助承担森林间伐、森林抚育任务的合法组织或公民。森林面积是森林资源基本的调查规划和单位,便于森林资源数据获取和补偿的计算,但就多功能兼用林来说,它比公益林更强调“多功能性”,对于森林多功能维护的效果是无法通过面积单位均衡化补偿实现的,因此基本可以说不足以有效引导补偿资金对碳汇功能的激励作用。因此应针对多功能兼用林实施更加科学化的森林生态效益补偿单位。

4.2.1.2 森林蓄积

按照蓄积为单位补偿的提出主要是基于面积单位在公益林差异化补偿方面的欠缺,也是一种典型的存量补偿思路。蓄积是森林生长过程中一项重要生长因子,是衡量森林质量的重要指标,也是森林多功能经营提升的目标要素之一。蓄积能够较好地体现固碳能力等多种生态功能,可作为衡量多功能经营效果的重要因子(谢阳生等, 2019),更适宜于作为森林资源存量价值的补偿单位,能够体现森林生态效益分配的公平性,实现“因质补偿”(黄颖利等, 2022)。不论是公益林、商品林、多功能兼用林,蓄积量都是森林生态效益发挥的根本依存物质(白冬艳, 2013),能良好体现出由树高、胸径、年龄等因子组合产生的森林生长量的累积效应。森林多功能经营需要优化多种森林功能、合理提升森林质量,而单位面积蓄积量不仅是衡量森林质量提升的重要指标,也是计算碳储量的重要指标(张会儒等, 2019),对于衡量森林多功能经营的总体效果有重要意义,但更重要的是保障森林生长量的有效累积,从而维持森林多种生态功能。就目前补偿机制来说,针对公益林的补偿采用蓄积作为补偿单位确实比面积更合理、公平性,基于蓄积单位的森林生态效益补偿就是对已有森林存量最好的保护。但多功能兼用林由于要实施抚育间伐甚至补植等措施,应更注重对多功能效益维护的评价,注重经营措施对森林生长量的考量,而不是对过去森林存量尤其是自然生长的存量的考量与补偿。

4.2.2 基于流量/增量性质的补偿单位

森林生态系统服务价值随面积增加存在边际效应递减的现象(邬紫荆等, 2021),但蓄积增加不会产生此效应。“护存量、优结构、提增量”在实践中是地方提升森林资源增长目标的重要举措。森林蓄积量增量和碳储增量被认为是提升森林碳汇能力的关键,这两种指标作为体现流量性质的生态服务变化量,也符合评价生态系统功能多功能性需要体现生态系统转化过程速率的要求。

4.2.2.1 蓄积增量

森林蓄积增量是森林资源“提增量”的最好诠释,蓄积增量指的是森林蓄积量的年度变化量,它也是衡量森林质量的重要指标,单位面积的森林蓄积生长量是生态系统活力最直接的表达指标(谢阳生等, 2019),也是衡量森林多功能经营效果的重要指标。有研究表明蓄积作为影响落叶松林多功能的主要林分结构因子,蓄积增长量提升和合理的径阶蓄积比例有助于实现落叶松森林多功能效益最大化(左政, 2020)。蓄积增量作为依据蓄积产生的流量,能够反映森林碳汇的数量和能力。蓄积增量作为量化碳汇价值的重要指标,提升单位面积林分蓄积生长量被认为是未来中国碳储量增加的着力点(张颖等, 2022)。在补偿实践中,山东省实施的森林生态效益补偿制度中将蓄积增量作为激励性补偿依据,对于森林蓄积量有显著增长的部分森林,会相应提高森林生态效益补偿资金额度。基于蓄积增量为单位进行补偿是一种典型的流量补偿思维,可作为存量补偿基础上的一种增益性补偿。蓄积增量相对于碳储增量的优势在于便于基于多期森林资源蓄积量数据获取增量数据,在此基础上采用蓄积量拓展法容易估算森林碳汇量。如前文所述,构成多功能兼用林的公益林主要是一般公益林,那么基于多功能兼用林实施的生态补偿就应该在存量补偿基础上强调蓄积增

量的提升,以激励对森林采取的人工抚育干预措施导致的碳汇能力提升。采取适宜的经营抚育措施可能会在短期内影响森林蓄积量大小,但是从长期来看蓄积增量是有显著提升的,因此采用蓄积增量激励多功能经营措施的有效实施也是对碳汇目标有利的。

4.2.2.2 碳储增量(碳汇)

森林碳汇量是指一定时间内森林碳储存量的增加量(杜之利等, 2021),也可表述为碳储增量。碳储增量(碳汇)也是一种流量指标,被广泛用于碳汇价值衡量以及横向补偿的量化指标,针对碳汇量的量化目前有多种不同思路的计算方法,但主要依据仍是基于蓄积量的变化去计算碳汇量,因此更适合用流量的单位去衡量和量化碳汇价值。由于生态服务被认为是一种“流量”而非存量,森林生态服务价值的量化也趋向于从变化量角度量化其价值,增量单位的扩大符合边际效益思路(戴小廷等, 2013)并能够更好地促进自然资源价值的提升,因此可作为补偿有效依据,对于有效衡量森林生态服务价值及其转化适用性更广(陈幸良等, 2014),碳储增量作为碳中和目标下衡量森林碳汇服务能力的指标(陈美高等, 2021),其价值的测算越来越受到关注,例如进行碳交易的碳汇林需要进行准确的森林碳汇数量和价值计量才能进入市场交易。但由于碳汇交易、价值实现方式并未基于统一的平台,碳汇计量方法多样且存在一定差异,目前全国范围并没有统一的森林碳汇计量方法和标准,对于实施大范围统一化的森林碳汇补偿仍有一定的难度。例如 UNFCCC 联合国气候变化框架公约要求缔约方提供两年一次的森林碳储量变化,但许多国家由于森林调查数据更新周期较长而无法达到所需数据的频率。

尽管如此,一些学者仍进行了碳汇补偿思路的创新,赵忠宝认为应在森林幼龄林时期按照森林碳汇量划分不同补偿等级,确定不同生态补偿标准,在补偿年份内单位面积碳汇量高于基准年的,应参考市场碳汇价值实现动态激励性补偿。针对成熟林和过熟林进行补偿等级划分时,则兼顾森林碳储存量和碳汇量二者进行补偿标准的确定。但这种设想目前并没有稳定的资金来源支持,单单靠政府补偿是不够的。由于在全国或者大范围区域统一采用碳汇价值补偿仍存在一定的计量方法和精度误差方面的难度,但是由于能够直接对标碳中和目标衡量森林碳汇能力的大小,对于非林业专业人士森林碳汇量比蓄积增量更直接体现森林固碳能力大小,从而评价森林碳汇减排的力度。但碳汇量化途径更适合开发区域性的森林碳汇产品价值补偿路径,针对森林产生碳汇的不同角度进行量化补偿,这种碳汇价值实现路径不一定非是大范围的,但需要因地制宜的开发方式和价值实现路径。

4.2.3 补偿单位评价

政府主导下的森林生态效益补偿机制目前需要解决基于补偿资金的分配问题,多功能兼用林若要基于森林生态效益补偿制度发挥补偿激励作用,需要通过补偿单位有效衡量多功能森林的生态效益,森林多功能性注重对森林生长量的考量,对于多功能森林实施基于碳汇能力的补偿更强调的是对经营措施的激励性。同样作为流量指标,森林蓄积增长量比碳储增量更适于衡量森林的多功能经营效果和多种生态服务功能的动态性。就目前来说,蓄积增量目前比碳储增量更具备数据获取和测算优势。林分的高碳储量仍主要归因于树木的大直径、高度和密度,也即森林的总体蓄积量(BIRUNGI, V *et al.*, 2023),如果对多功能兼用林实施基于蓄积增量的森林生态效益补偿,能够促进其主导生态功能的同时增强碳汇能力。从衡量森林多功能性出发,蓄积增量更侧重于体现森林生态系统功能性,而碳汇更侧重于体现森林生态系统服务性。前者更能体现自然的生态系统过程,而后者更强调服务性,涉及社会要素和价值判断。因此本人认为,前者更适合政府主导的固定化资金补偿模式,而后者更适合市场化的补偿模式。

5 多功能兼用林进行碳汇项目开发价值补偿的可行性分析

森林碳汇功能的市场化能够实现森林生态效益补偿资金链的延续,将碳汇价值产生的收益投入到对森林的经营中。相关研究表明,森林碳汇生态补偿能力缺失是导致我国森林资源总量不足、质量不高的重要原因之一(曹先磊等, 2017)。碳汇项目开发与交易作为实现森林碳汇生态补偿的重要途径,能够为森林碳汇生态补偿提供了重要的融资渠道,对于补偿资金吸引和价值转化具有良好的支持作用。构建激励碳汇导向的森林碳汇补偿机制,是对当前政府补偿模式的有效补充。

对多功能兼用林实施碳汇功能激励性补偿,需要考虑森林自身功能与碳汇功能之间的影响关系,是否

会影响多功能兼用林的主体功能和效益,是多功能兼用林在实施补偿过程中需重点分析和考虑的问题。在这方面也有学者进行了多方面的与碳汇功能协同权衡探索研究。例如以涵养水源功能为主导的公益林也可开发一定的碳汇潜力,有学者(周来, 2020)通过研究得出人工林在多功能经营目标下,碳汇功能和水源涵养、土壤保持三种生态功能可以实现较为均衡协调的关系,也有其他研究表明碳汇功能和生物多样性功能具有较好的协同关系(KANGAS, J *et al.*, 2022),例如落叶松采用森林多功能经营模式可以实现森林生物多样性保护功能为主、兼顾水源涵养功能和碳汇功能的目标(左政, 2020),这些研究对于实现碳汇和森林生态功能多目标经营的森林具有探索意义。此外,在与木材产出有关的功能兼容方面,多项研究表明森林多功能经营方案可以同时满足对木材生产和碳汇功能的需求,既能满足生态效益又能满足经济效益(薛蓓蓓等, 2021)。采用多目标经营方案与单纯木材生产经营方案相比,尽管木材净现值减少约百分之几,但森林碳储量则可增加百分之三十左右(戎建涛等, 2012)。另外对人工林调整采伐蓄积量目标和延长轮伐期对于多功能经营目标实现和碳储量增长具有促进作用(钱腾, 2020)。南方人工商品林区通过构建以珍贵阔叶树种为核心的多树种混交兼用林模式,显著提升了森林对当地的水源涵养功能(陆元昌, 2022)

在碳汇目标下,多功能兼用林作为能够满足生态效益和经济效益的群体具备巨大的碳汇潜力,需要通过完善森林经营模式和有效的碳汇补偿激励机制带动产生生态或经济效益实现价值转化与激励。实施多功能兼用森林经营方式也是一种生态效益和经济效益折衷的选择,多功能兼用林的森林碳汇潜力体现在森林经营碳汇上,因此将多功能兼用林作为碳汇服务能力提升的切入点,探索适宜多功能兼用林的碳汇补偿机制,促进碳汇补偿激励森林多功能经营的有效措施,助力实现碳中和目标。以下将分析市场机制下碳汇价值补偿的价值转化方式、补偿范围、补偿对象、核算方式等。

5.1 补偿资金来源和方式

目前的国内林业碳汇交易体系主要指的是以 CCER(中国核证自愿减排交易体系)为主的碳信用机制,此外,基于第三方评估机构测算的林业碳汇预期收益权质押贷款项目也逐渐推广开来。此外,各地政府依托绿色金融创新及生态产品价值实现试点,积极探索林业生态产品除碳汇交易外的价值实现路径,例如碳票、碳汇银行、碳普惠等新型碳汇价值实现路径。

福建省三明市的林业碳票制度相对于碳汇交易项目的限制较少,对于限制采伐的森林均适用。福建省南平市顺昌县开展重点区位集体商品林赎买和“森林生态银行”模式(张文明, 2020),通过租赁、购买、赎买森林的使用权对商品林进行整合收储,重点区位商品林赎买通过公开招标的办法利用市场机制确定林分赎买价格,在保持森林生态功能的同时允许对森林进行适度经营或采伐,并通过“森林生态银行”将杉木林参与到林业碳汇项目,这是一种典型的森林多功能经营模式的补偿。浙江省淳安县的林业碳汇(碳普惠)项目第一监测期为 2019 年 11 月 1 日至 2022 年 10 月 31 日,核证备案碳普惠减排量 2890 吨二氧化碳当量,并将通过生态资源开发公司进行交易实现碳汇收益

此外,国际上目前可以争取的 REDD+ (森林保护、可持续森林管理和增加森林碳储量)机制的林业碳汇项目,主要针对的是发展中国家,通过对参与方的排放水平进行评估,然后在两年期审核合格就可以获得资金的补助。针对中国的森林资源特色和多功能森林经营目标与效果,争取从国际上难以筹措到较多的 REDD+ 碳汇基金。相对于 CCER 较为严格的碳汇交易方式,以上其他森林碳汇价值开发对于多功能森林经营都有一定的适用性和结合点,因此要积极探索包括上述价值实现方式在内的森林多功能经营生态服务的市场和社会融资途径。

5.2 补偿范围与补偿对象

只有针对森林多功能经营明确补偿与激励的目标森林对象,森林碳汇服务能力的提升才能具有针对性(张涛, 2003)。市场机制下碳汇补偿的森林对象应更加多样化,不应受制于商品林和公益林的分类方式,主要取决于森林主导功能基础上对碳汇功能的兼顾情况,因此也不应限制于人工林。由于 CCER 碳汇交易主要针对人工林,包括人工林造林和人工中幼龄林经营,因此好多研究者提倡最好把天然次生林、灌木林经营产生的碳汇纳入森林经营碳汇项目,但对于 CCER 能否适用于森林多功能经营的核算和验收标准还有

待验证。

多功能森林经营的碳汇补偿范围主要是针对碳汇能力提升的森林，一方面是以生态服务为主导功能的兼用林（划分自国家二级、三级公益林和地方公益林），这类森林主要在发挥自身生态服务功能基础上兼顾碳汇功能，适当可通过抚育采伐等经营活动帮助提升碳汇功能，由于并不大量采伐，其碳汇能力相对于商品林也较为稳定，适于基于碳汇计量开发林业碳票或碳普惠项目。林业碳票不仅人工林可开发，受政策禁伐的公益林和天然商品林都可以开发，碳票都林业碳汇项目的有益补充，适宜于作为森林多功能经营的碳汇补偿方式。南平市精准赎买重点生态区位内具备生态价值的阔叶林，并允许林农采伐生态价值更低的杉木林，相当于对发挥生态功能的那部分林木进行补偿。另一方面是以木材或经济效益为主导功能的兼用林，可以是林大径级用材林、珍贵树种和特色经济林，但同时能兼顾森林碳汇服务功能的森林。举例来说，国家储备商品林通过实施间伐、修枝、补植等抚育措施，建成优质高效多功能森林，实现平均每公顷林木生长量3立方米，杉木大径级用材林每公顷蓄积量可达525立方米，桉树大径级用材林每公顷可达400立方米，保证森林碳汇潜力的有效提升。总之，无论是哪种类型的多功能兼用林，也需要基于碳汇开发项目特点确定其补偿方式。补偿对象主要是林农或者实施森林抚育等措施的经营主体。

5.3 碳汇量化方法与核算要点

原则上碳汇补偿主要是核算森林在一定周期的碳汇量，但基于项目开发的侧重点不同，也有一些新的碳汇价值开发项目将碳储量也即存量部分纳入碳汇补偿范畴。CCER目前的所有核算方法均需考虑“基线”要求，要求核算每年新增的额外碳储量，这种要求额外性的碳汇要求较高，难以大范围推广。对于森林多功能性的考量，不必把碳汇的额外性作为考量指标，能够维持碳汇能力也是一种多功能性的体现。福建省的森林碳汇项目开发交易办法（FFCER）、北京市林业碳汇（BCER）主要针对造林项目和部分森林经营产生的碳汇，广东省的森林碳普惠方法学（PHCER）主要针对森林经营与森林保护产生的碳汇，福建南平生态银行依据《福建省碳汇扶贫项目管理方法学》采用蓄积量因子进行碳汇功能价值核算。由于森林多功能经营也需要因地制宜，上述核算方法均可作为多功能森林碳汇核算的参考。三明市采取的林业碳票制度针对森林自然生长下的每年净固碳量就可进行核算，其较强的适用性可以作为多功能兼用林碳汇价值核算与转化的重要参考。

6 结论与展望

当前我国林业高质量发展需求对森林经营方式提出了新要求，生态系统多功能性为森林经营管理提供新的视角，森林多功能管理的目标促使我国森林经营分类需要在公益林和商品林基础上增加第三种类型“多功能兼用林”，多功能兼用林的提出不仅丰富了森林质量新的视角，为探索更为多样化的森林经营方式、满足多种生态和经济效益包括碳汇目标提供了可能。但多功能森林经营的补偿机制路径仍不清晰，因此需要通过经营引导部分公益林和商品林森林在发挥原本主导功能基础上兼顾多种功能的实现，满足碳汇目标和森林质量提升需求，

以多功能兼用林作为补偿的着力点，论证了政府主导的森林生态效益补偿制度下构成多功能兼用林的公益林部分对于碳汇功能的提升要点在于优化补偿单位，分析了多种森林生态效益补偿单位的合理性、对多功能经营措施促进森林质量和森林碳汇功能提升的激励性作用，得出蓄积增量是评价森林多功能性和激励碳汇能力提升的有效因子和单位。同时，积极探索森林碳汇价值实现路径作为多功能经营碳汇服务的补偿来源扩充，分析了碳票、碳汇银行、碳普惠等新型碳汇价值实现路径在价值转化方式、补偿范围、补偿对象、核算方式方面的特点，为多功能兼用林实施碳汇补偿提供借鉴依据。

多功能兼用林目前在实践中尚未形成一个精确的划分标准，因此需要根据实际经营过程中采取的经营措施进行界定，由于多功能兼用林并不是真正意义的碳汇林，不一定适于完全用碳汇量化的标准去衡量其碳汇功能，因此应结合多功能兼用林的主导功能对碳汇功能进行合理化评价和激励并形成有效的价值转化路径。重点关注有效的森林多功能经营措施和技术，利用价值补偿对其形成长期化的激励引导，继续探索森林多功能经营实现多元化的补偿可能。

参 考 文 献

- BIRUNGI V, DEJENE S W, MBOGGA M S, et al. 2023. Carbon Stock of Agoro Agu Central Forest Reserve, in Lamwo District, Northern Uganda. *Heliyon*, 9(3): e14252.
- KANGAS J, OLLIKAINEN M. 2022. A Pes Scheme Promoting Forest Biodiversity and Carbon Sequestration. *Forest Policy and Economics*, 136: 102692.
- 白冬艳. 2013. 多功能森林经营效益优化及财政政策调控研究. 沈阳农业大学.
- 陈美高, 武辉, 王晓艳. 2021. 三明林业碳汇改革探索. *福建林业*, (4): 10-12.
- 陈绍志. 2022. 森林高质量发展与应对气候变化. 中国林业经济学会世界林业经济专业委员会/大自然保护协会.
- 陈幸良等. 2014. 中国森林供给问题研究. 科学出版社.
- (Chen X L. 2014. Research on forest supply in China. China Science Publishing & Media Ltd. [in Chinese])
- 戴小廷, 杨建州. 2013. 基于边际机会成本的森林环境资源定价研究. *中南林业科技大学学报*, 33(5): 65-72.
- 黄颖, 温铁军, 范水生, 等. 2020. 规模经济、多重激励与生态产品价值实现——福建省南平市“森林生态银行”经验总结. *林业经济问题*, 40(05): 499-509.
- 陆元昌. 2022. 改进南方人工林水源涵养功能以提高水灾防控能力: 林业知识服务专题.
- 钱腾. 2020. 河北拉海岭林场油松人工林碳动态及多功能经营模式研究. 北京林业大学.
- 王懿祥. 在线课程: 气候变化与林业碳汇. <https://coursehome.zhihuishu.com/courseHome/1000000894/62768/15>.
- 谢阳生, 陆元昌. 2019. 多功能森林经营方案编制技术及案例. 北京: 中国林业出版社.
- 薛蓓蓓, 田国双. 2021. 基于碳汇木材复合经营目标的综合效益及影响因素分析. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 45(2): 205-212.
- 张会儒, 雷相东, 张春雨, 等. 2019. 森林质量评价及精准提升理论与技术研究. *北京林业大学学报*, 41(05): 1-18.
- 张涛. 2003. 森林生态效益补偿机制研究_张涛.
- 张文明. 2020. 完善生态产品价值实现机制——基于福建森林生态银行的调研. *宏观经济管理*(03): 73-79.
- 张小全, 谢茜, 曾楠. 2020. 基于自然的气候变化解决方案. *气候变化研究进展*, 16(03): 336-344.
- 周来. 2020. 面向水土保育的亚热带人工林多功能及其权衡研究. 北京林业大学, 131.
- 左政. 2020. 长白山落叶松林多功能评价与经营. 北京林业大学, 121.
- 曹先磊, 张颖, 石小亮, 等. 2017. 碳交易视角下森林碳汇生态补偿优化管理研究进展. *资源开发与市场*, 33(04): 430-435.
- 杜之利, 苏彤, 葛佳敏, 等. 2021. 碳中和背景下的森林碳汇及其空间溢出效应. *经济研究*, 56(12): 187-202.
- 国家林业局. 2018. 全国森林经营规划. 中国林业出版社.
- 黄麟. 2021. 森林管理的生态效应研究进展. *生态学报*, 41(10): 4226-4239.
- 黄颖利, 关赢, 秦会艳. 2022. 重点公益林生态补偿依据从面积到蓄积的转变. *浙江农林大学学报*, 39(01): 199-206.
- 李海奎. 2021. 碳中和愿景下森林碳汇评估方法和固碳潜力预估研究进展. *中国地质调查*, 8(04): 79-86.
- 林德荣, 李智勇, 吴水荣, 等. 2011. 林业减排增汇机制对中国多功能森林经营的影响与启示. *世界林业研究*, 24(03): 22-25.

- 陆元昌. 2017. 以多功能经营技术 支撑森林质量精准提升工程. 国土绿化(04): 22-25.
- 吕金蔚, 刘冰. 2022. “双碳”目标下林业碳汇高质量发展的路径研究. 林业经济问题, 42(06): 666-672.
- 戎建涛, 雷相东, 张会儒, 等. 2012. 兼顾碳贮量和木材生产目标的森林经营规划研究. 西北林学院学报, 27(02): 155-162.
- 唐小平, 欧阳君祥. 2022. 森林经营方案发展综述. 林业资源管理(S1): 8-18.
- 王秀云, 宋绪忠, 徐晓云, 等. 2017. 林分结构与固碳功能的耦合关系模型研究. 浙江林业科技, 37(03): 43-47.
- 王彦辉, 于澎涛, 田奥, 等. 2023. 黄土高原和六盘山区的林水协调多功能管理. 林业科学, 59(04): 1-17.
- 邬紫荆, 曾辉. 2021. 基于Meta分析的中国森林生态系统服务价值评估. 生态学报, 41(14): 5533-5545.
- 伍楠林. 2010. 中国开展森林碳汇贸易的实证研究. 国际商务(对外经济贸易大学学报)(05): 5-11.
- 项文化, 雷相东. 2022. 森林生态系统多功能性及经营优化途径. 中南林业科技大学学报, 42(10): 1-8.
- 谢阳生, 陆元昌, 雷相东, 等. 2019. 多功能森林经营方案编制关键技术及辅助系统研究. 中南林业科技大学学报, 39(08): 1-9.
- 徐晋涛, 易媛媛. 2022. “双碳”目标与基于自然的解决方案: 森林碳汇的潜力和政策需求. 农业经济问题(09): 11-23.
- 许恩银, 王维枫, 聂影, 等. 2020. 中国林业碳贡献区域分布及潜力预测. 中国人口·资源与环境, 30(05): 36-45.
- 张颖, 李晓格, 温亚利. 2022. 碳达峰碳中和背景下中国森林碳汇潜力分析研究. 北京林业大学学报, 44(01): 38-47.
- 周国模, 邱亦维, 徐林. 2021. 碳中和: 基于林业的解决路径研究. 特区实践与理论(05): 37-44.