

DOI: 10.5846/stxb202202110337

刘宇,羊凌玉,张静,张金珠,李欣蓓,朱能高,周梅芳.近 20 年我国森林碳汇政策演变和评价.生态学报,2023,43(9):3430-3441.

Liu Y, Yang L Y, Zhang J, Zhang J Z, Li X B, Zhu N G, Zhou M F. Evolution and assessment of forest carbon sink policy over the past 20 years. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(9): 3430-3441.

近 20 年我国森林碳汇政策演变和评价

刘 宇^{1,2,*}, 羊凌玉^{1,2}, 张 静³, 张金珠⁴, 李欣蓓^{1,2}, 朱能高⁵, 周梅芳⁶

1 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

2 中国科学院大学公共政策与管理学院, 北京 100049

3 武汉大学中国边界与海洋研究院, 武汉 430072

4 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083

5 中国矿业大学(北京)能源与矿业学院, 北京 100083

6 北京工商大学经济学院, 北京 100048

摘要: 巩固提升生态系统碳汇能力是碳达峰十大行动计划之一, 是助力碳中和目标实现、应对气候变化的重要举措。森林作为陆地生态系统中最大的碳库, 是我国当前碳汇政策的主体。研究梳理了 2000 年以来我国森林碳汇有关政策的发展演变历程, 并从生态政策、经济政策和保障体系建设三个维度分析和评价了政策成效与存在问题, 以期为构建适应“双碳”目标的碳汇政策体系提供决策依据。研究结果表明: (1) 从生态政策看: 天然林保护、退耕还林还草和“三北”防护林三大林业工程增加了我国森林面积和蓄积量, 显著提升了森林碳汇增量, 但森林可持续经营管理体系尚未健全, 需进一步精准提升森林质量, 健全成果长效巩固机制, 增强森林固碳能力; (2) 就经济政策而言: 我国已形成多层次林业碳汇交易市场, 有效推动林业碳汇项目建设, 同时各类金融产品的开发和补贴政策的实施为碳汇项目提供了多元化资金支持体系, 但整体融资规模和补贴范围有限, 需拓宽融资渠道, 强化资金支持; (3) 在保障体系建设方面: 我国森林碳汇保障体系处于重点建设阶段, 需完善森林碳汇有关法律法规, 加快各类森林技术研发与标准制定, 保障我国森林碳汇政策平稳运行。

关键词: 森林碳汇; 政策演变; 政策评价; 保障体系建设

Evolution and assessment of forest carbon sink policy over the past 20 years

LIU Yu^{1,2,*}, YANG Lingyu^{1,2}, ZHANG Jing³, ZHANG Jinzhu⁴, LI Xinbei^{1,2}, ZHU Nenggao⁵, ZHOU Meifang⁶

1 Institute of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Institute of Boundary and Ocean Studies, Wuhan University, Wuhan 430072, China

4 School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

5 School of Energy and Mining Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China

6 School of Economics, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China

Abstract: Consolidation and enhancement of ecosystem carbon sink capacity is one of the ten action plans for carbon peaking, and also an important initiative to help achieve the goal of carbon neutrality and cope with climate change. As the largest carbon pool in the terrestrial ecosystems, forests are the main body of China's carbon sink policy. This paper compares the development and evolution of China's forest carbon sink policies since 2000, and evaluates the policy effectiveness and problems from three dimensions: ecological policy, economic policy and guarantee system construction.

基金项目: 国家杰出青年基金项目(72125010); 国家自然科学基金面上项目(71974186); 国家民委人文社会科学重点研究基地武陵山民族地区乡村产业发展研究中心招标课题(RWJDZB-2021-03)

收稿日期: 2022-02-11; **采用日期:** 2022-08-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuyu@casipm.ac.cn

本研究不含中国港澳台统计数据。

The purpose is to provide a basis for decision making to build the carbon sink policy system that meets the “double carbon” target. The results show that: (1) from the perspective of ecological policies, three major forestry projects, including Natural Forest Protection Project, the Grain for Green Program, and Three-North Shelter Forest Program, have increased the area and accumulation of forests in China, and significantly enhanced the increment of forest carbon sinks. But the sustainable forest management system has not been improved, so it is necessary to further improve the quality of forests and the long-term consolidation mechanism. (2) In terms of economic policies, China has formed multi-level forestry carbon sink trading markets, and promoted effectively the construction of forestry carbon sink projects. The development of various financial products and the implementation of subsidy policies have provided a diversified financial support system. But the overall financing scale and subsidies scope are limited, and it is necessary to broaden the financing channels and strengthen the financial support. (3) In terms of guarantee system construction, China’s forest carbon sink guarantee system is in the key construction stage, and it is necessary to improve forest carbon sink-related laws and regulations, accelerate various forest technologies research, and guarantee the smooth operation of China’s forest carbon sink policy.

Key Words: forest carbon sink; policy evolution; policy assessment; security system construction

随着气候变化的加剧,生态系统独特的碳汇功能日益受到国际社会的重视,已成为各国政府应对气候变化和实现经济社会可持续发展的重要手段^[1-2]。森林是陆地上最大的固碳系统,其生物量占陆地生物量的 85%—90%,在区域和全球的碳循环中起着主导作用^[3-4]。森林碳汇不仅是一种经济有效的应对气候变化方式,还兼具保护生物多样性、涵养水源、防风固沙、促进可持续发展等多重效益^[5-6]。因此,中国也将巩固和提升森林生态系统碳汇能力作为应对气候变化的重要举措。

碳汇政策是以巩固和提升生态系统碳汇能力为目标的政策合集。发展森林碳汇长期以来是我国碳汇政策的主要内容,在新时期被赋予更迫切的要求。2003 年中国碳汇管理办公室成立,开启我国林业碳汇管理工作。2007 年《应对气候变化国家方案》提出明确碳汇目标,把增加森林碳汇作为应对气候变化重要措施。之后,我国在 2009 年联合国气候变化峰会和 2015 年国家自主贡献目标中再次对森林蓄积量和森林面积做出“双增”承诺,进一步推动我国森林碳汇发展。2020 年碳达峰、碳中和目标(以下简称“双碳”目标)的提出,将森林碳汇应对气候变化的地位和作用提升到新的高度。此后出台的指导文件《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030 年前碳达峰行动方案》明确提出持续巩固提升碳汇能力,部署碳汇能力巩固提升行动等“碳达峰十大行动”。2000 年以来,我国出台了一系列森林碳汇政策,形成了比较完备的政策体系,为提升我国森林碳汇能力和应对气候变化起到重要作用。但新时期对发展森林碳汇能力提出更高要求,梳理近 20 年来我国森林碳汇有关政策的发展和演变以及潜在优化空间,对厘清我国碳汇总体发展进程、构建适应“双碳”目标的碳汇政策体系具有重要意义。

已有关于森林碳汇政策演变趋势的研究主要围绕三个方面展开。多数研究就林业碳汇项目交易市场、生态修复工程等具体政策举措的发展进行归纳总结和评价^[7-8];同时,也有部分研究对欧美等碳汇发展较完善国家或区域的管理政策进行归纳比较^[9-11],提出我国碳汇政策发展建议;还有少量研究对我国森林碳汇政策现状和发展历程进行简要总结与评价^[12-15]。总体而言,较少研究对我国森林碳汇政策管理体系的发展进程、取得成效及存在问题进行系统性分析,难以全面揭示中国森林碳汇政策演变进程,导致对新时期新需求的科学支撑不足。本文将系统梳理 2000 年以来中国森林碳汇有关政策发展演变历程,探讨政策实施的增汇效果和存在问题,并提出改进建议,为我国森林碳汇政策创新、生态系统碳汇能力巩固提升与助力碳中和目标实现提供决策参考。

1 我国森林碳汇有关政策发展演变历程与评价

我国高度重视森林碳汇在应对气候变化中的重要作用。近 20 年来不仅将碳汇目标纳入现有生态政策规

划,通过提升森林面积和森林蓄积量增强森林固碳能力,也通过建设碳汇交易市场、提供金融资金支持等市场手段激励林业碳汇项目开发,同时还通过加强法律体系建设和有关技术标准制定等行政措施为我国森林碳汇快速发展提供保障。因此,本文围绕有助于促进我国森林碳汇能力提升的主要政策措施,从生态政策、经济政策和保障体系建设三方面进行政策梳理与评价,为进一步增强我国森林碳汇功能、实现可持续发展提供政策参考。

1.1 生态政策

国家以大工程带动大发展,深入实施了天然林保护、退耕还林还草、“三北”和长江中下游地区等重点防护林建设、京津风沙源治理、野生动植物保护和自然保护区建设、重点地区速丰林基地建设等重点生态工程。六大重点工程的实施虽然以改善生态环境、恢复和发展森林资源为初衷,但在建设过程中呈现出较强的增汇效果。其中,天然林保护、退耕还林还草和“三北”防护林三大工程区新增植被固碳量占六大重点工程新增植被固碳总量的 82.78%^[16],对我国森林碳汇能力提升影响显著。目前,生态文明建设迈入降碳为重点战略方向的新阶段,加强森林生态建设与碳减排目标的一致性、巩固提升森林生态系统碳汇能力也成为新时期各项生态工程的重要任务之一。

1.1.1 天然林保护工程

天然林保护工程自 2000 年正式启动,二十年间天然林实现了由区域性、恢复性增长到全面保护修复的跨越式转变,截至 2018 年工程区天然林面积增加近 $1000 \times 10^4 \text{ hm}^2$,天然林蓄积量增加 $12 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然林碳汇能力显著提升^[17-18]。工程一期为恢复植被数量、缓解森林资源过度消耗问题,采取了限伐减产、商业性禁伐等措施,有效增加森林面积。新一轮工程建设中明确提出“新增碳汇 $4.16 \times 10^8 \text{ t}$ ”目标,同时天然林保护范围从工程区向全国范围的扩展以及封山育林、改造培育等森林经营管护措施的强化,进一步提升天然林质量,有效促进了工程区森林植被碳储量的增长。工程建设期间,工程区森林植被年均新增碳储量达到 36.9—77.5 TgC ($1 \text{ TgC} = 0.01 \times 10^8 \text{ tC} = 0.0367 \times 10^8 \text{ tCO}_2$),碳汇功能显著增强,为持续提升森林碳汇能力提供坚实保障(表 1)。

表 1 天然林保护工程年均新增碳储量

Table 1 Annual increased carbon storage of the Natural Forest Protection Project

研究时期 Research Period	碳汇类型 Type of Carbon Sink	年均新增碳储量 Annual Increased Carbon Storage/(TgC/a)	参考文献 Reference
1999—2013	森林植被(天然林和人工造林)	77.5	[19]
1999—2018	森林植被(天然林和人工造林)	54.9	[20]
1998—2010	森林植被和死木枯枝落叶层(天然林和人工造林)	36.9	[16]
	土壤有机碳	31.5	
2000—2010	森林植被(人工造林)	13.9	[21]
1998—2018	森林植被(人工造林和调减木材产量)	13.0	[22]
1998—2002	森林植被(人工造林和调减木材产量)	8.8	[23]
1998—2010	森林植被(人工造林)	2.6	[24]

随着二期工程的完成,天然林保护工作将成为林业的一项常态化工作,为提升可持续性和巩固增汇功能,在下一阶段的规划设计中主要有两方面问题需完善。一是森林经营管护方案科学性有待提升。我国目前天然林保护政策较为严苛,导致成熟林和过熟林没有得到及时砍伐利用,一定程度上不利于天然林的可持续发展,还可能形成碳源。同时工程二期虽然加大了管护力度,但管护措施科学性有待完善,导致中幼林抚育面积较低,次生林、退化林分修复不够规范,限制了天然林可持续发展和碳储量的长期增长^[25]。二是需重视碳排放和碳泄漏对固碳效益的抵消作用。碳汇项目的有效性体现为净固碳或净减排能力,需扣除项目隐藏的碳排放和碳泄漏等因素。有关研究测算发现工程一期产生的碳泄漏和碳排放共同抵消了工程固碳效益的 9.82%^[21],主要是由于调减工程区木材产量带动工程保护边界外的木材采伐量增加,引起碳排放增加,从而抵

减工程区内部的固碳效益。

1.1.2 退耕还林还草工程

1999 至 2020 年间,我国共实施两轮退耕还林还草工程,二十年间完成退耕还林还草 $1400 \times 10^4 \text{ hm}^2$,宜地荒山造林 $1800 \times 10^4 \text{ hm}^2$,封山育林 $310 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[26],是我国森林面积增长的主要来源^[27]。前一轮工程以加快林草植被恢复为主要目标,开展大规模退耕还林和荒山造林任务,并结合限定生态林比例、进行补植补造等措施,显著提高了造林面积。新一轮工程将“固碳释氧”列入生态效益监测评估体系,继续扩大退耕还林还草规模,并通过加强林木管护等措施促进植被生长,丰富单位面积生物量,以增强工程固碳能力。同时鼓励发展林下经济和多种经营方式缓解复耕问题,巩固还林成果。随着工程建设,土地利用方式由耕地转为林地,土壤有机物质含量得以提高,土壤有机碳明显增强。建设期间,森林植被和土壤有机碳年均新增碳储量分别达到 16.0—26.7 TgC 和 11.4—14.5 TgC(表 2),成为提升森林碳汇的重要组成部分。

表 2 退耕还林工程年均新增碳储量

Table 2 Annual increased carbon storage of the Grain for Green Program

研究时期 Research Period	碳汇类型 Type of Carbon Sink	年均新增碳储量 Annual increased carbon storage/(TgC/a)	参考文献 Reference
1999—2010	森林植被	26.7	[28]
1999—2008	森林植被	24.4	[29]
2000—2010	森林植被和土壤有机碳	23.1	[30]
2000—2010	森林植被和死木枯枝落叶层	16.5	[16]
	土壤有机碳	8.2	
1999—2012	森林植被(只包含乔木林)	16.0	[31]
1999—2012	土壤有机碳	14.5	[32]
1999—2012	土壤有机碳	12.0	[33]
2000—2008	土壤有机碳	11.4	[34]

目前,退耕还林还草工程在巩固和提升碳汇功能方面还存在以下不足:一是任务落实困难,森林面积难以增加。退耕还林面临着耕地保有量和基本农田的刚性约束^[35],许多应退宜退的土地因规划不够明确,或者受基本农田限制而不能退。同时新一轮补助标准降低,农民参与积极性降低,导致退耕地块落实困难,工程进度缓慢,难以有效提高森林面积^[36]。二是巩固成果长效机制尚未健全,固碳增汇效益有待增强^[36]。由于退耕林地的后续管护、改造和采伐利用等配套政策措施尚不完善,导致林木质量有待提升,同时林地后续产业发展不成熟,经济收益不明显,进而影响农户复耕意愿^[37],还林成果无法得到长效巩固。三是相对于天保工程而言,退耕还林还草工程碳排放与碳泄漏的抵消作用较高^[30]。受生计和增收因素约束,农户不仅在工程边界外开垦耕地造成植被面积流失,并且退耕后农户更倾向于种植碳强度更高的经济林替代生态林,导致碳排放增加,固碳效益抵消作用加大。

1.1.3 “三北”防护林建设工程

三北工程建设期限从 1978 年到 2050 年,分三个阶段、八期工程进行,目前已完成五期工程。截至 2017 年工程区森林面积净增加 $2200 \times 10^4 \text{ hm}^2$,森林覆盖率达到 13.57%,总固碳增量累计达 2310 TgC,相当于 1980—2015 年中国工业 CO_2 排放量的 5.23%^[38],取得了显著的固碳效益。工程初期由于对防护林结构布局缺乏科学规划,未充分考虑地区环境差异,造林成林率较低。在 2000 年后,尤其是十八大以来,通过加大工程投资力度、因地制宜配置防护林结构以及明确退化林分改造重点与模式等措施强化科学造林与经营,使造林成林率得到提高,碳汇能力得到提升。建设期间,工程森林植被年均新增碳储量达到 10.0—32.5 TgC(表 3),是提升我国森林碳汇功能的重要载体。

表 3 三北防护林工程年均新增碳储量

Table 3 Annual increased carbon storage of Three—North Shelter Forest Program

研究时期 Research Period	碳汇类型 Type of carbon sink	年均新增碳储量 Annual increased carbon storage/(TgC/a)	参考文献 Reference
1978—2017	森林植被	32.5	[38]
	土壤有机碳	17.7	
1978—2010	森林植被	17.2	[39]
2001—2010	森林植被和死木枯枝落叶层	10.0	[16]
	土壤有机碳	2.4	
1978—2008	森林植被(只包含灌木林)	1.5	[40]

对于进一步提升防护林固碳效益,工程后续建设仍面临严峻挑战。一是受自然资源制约,造林难度加大。三北工程地区生态环境脆弱,水资源矛盾日益突出,造林成林难度逐渐升级^[41]。二是林分退化严重导致治理难度提高。由于生理过熟、立地条件严酷、树种选择局限等多重原因,工程建设成果不稳定,前期所造林木逐渐老化退化,需要进行大量的更新改造与退化修复工作,尽管目前已经加快林分改造修复进度,但工程区依旧呈现退化林分总量增加且局部加重的趋势^[42]。三是防护林经营管理体系尚未健全。在营林过程中,关于林分补植补造、抚育修复等政策措施尚不完善,森林采伐、公益林经营等机制与实际生产不相适应,造林成果难以巩固,防护林质量效益有待提升^[38]。

1.1.4 三大生态工程碳汇效益总结

通过比较三个工程增汇效益发现,天保工程森林植被年均新增碳储量最为显著,这主要源于天保工程区天然林带来的固碳效益。一方面天然林生物量种类丰富,生态系统稳定,实施管护措施后森林质量显著提高,有效促进碳汇能力提升^[27];另一方面天保工程区覆盖天然林 $1.3 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ^[17],高于退耕还林工程和三北工程造林面积,大范围的天然林保护抚育将带来更多碳汇效益。“双碳”目标下,我国对全国森林覆盖率和森林蓄积量提出了更高的要求,三大生态工程作为扩大林草资源总量、提高植被覆盖度的重要载体,目前在促进碳汇能力提升中仍存在经营管护措施不完善、成果长效巩固机制不健全和工程实施过程存在碳泄漏等问题。基于此,进一步扩大人工造林面积,加强对现有林地抚育管理,提升整体森林质量,促进森林可持续经营将成为增强生态工程碳汇功能、巩固提升我国森林碳汇能力的重要方向。

1.2 经济政策

森林碳汇所具有的生态价值需要通过市场机制给予体现、补偿和激励。目前,在建设生态补偿机制方面,我国主要形成了碳汇交易、融资支持和财政补贴三类经济政策。

1.2.1 碳汇交易

林业碳汇项目将森林生态系统碳汇功能开发为碳汇产品^[43],为林业经营主体提供可观的经济收益,正向激励碳汇产品供给量提升^[44],对实现碳中和目标有重要意义。我国的林业碳汇项目始于清洁发展机制的造林再造林项目,但项目申报流程复杂、开发要求严格且主要在低收入国家实施^[45]等因素限制了该项目在我国的发展,后期国际核证碳减排标准下的林业碳汇项目成为我国参与的主要国际碳汇项目。国际核证碳减排标准旨在降低申请者的成本和负担,申请效率较其他国际标准更高^[45],同时核证后的项目可在国际碳市场进行交易,相较国内项目扩大了需求范围和成交可能性,广受林业经营者欢迎。目前国际核证碳减排标准备案的林业碳汇项目实施面积已达 $102 \times 10^4 \text{ hm}^2$,项目期内预计可抵消 $5.2 \times 10^8 \text{ tCO}_2$ ^[46]。同时,随着国内碳交易试点的启动与发展,中国核证减排机制下林业碳汇项目和各地方林业碳汇项目应运而生^[47],推动国内林业碳汇交易市场的发展。尽管 2017 年中国核证减排机制下碳汇项目出于规范自愿减排交易的考虑暂缓申请受理,导致目前国内林业碳汇交易主要以地方林业碳汇项目为主,但其暂缓审定的项目实施面积高达 $141 \times 10^4 \text{ hm}^2$,预计可抵消 $4.8 \times 10^8 \text{ tCO}_2$,碳汇潜力巨大。随着全国碳交易市场的发展和国内核证减排机制重启,我国碳汇项目将得到更快发展。总体而言,我国已形成以国际核证碳减排标准和中国核证减排机制下的林业碳汇项目为

主的多层级林业碳汇交易市场,有效推动林业碳汇项目建设与发展(表 4)。

我国林业碳汇项目建设存在供给意愿较低、有效需求不足等问题,导致林业碳汇产品价值无法顺利实现。对项目供给者而言,一方面林业碳汇项目具有经营周期较长、前期沉没成本较大、收益滞后等特性,同时其开发准入门槛较高,对土地合格性和造林抚育等技术要求较为严格^[48];另一方面我国当前林业碳汇交易价格低于经营者预期,甚至低于平均造林成本^[49],两者共同导致我国林业碳汇项目供给意愿较低。从需求层面来看,目前碳交易市场的配额量超发情况严重,且以免费配额为主,同时我国林业碳汇项目的最高抵消比例较低,导致控排企业对林业碳汇有效需求不高^[50],限制了林业碳汇市场的发展。

表 4 我国主要林业碳汇备案项目对比

Table 4 Comparison of issued forestry carbon sink projects in China

碳抵消机制类型 Carbon crediting type	范围 Scale	最高抵消比例 Maximum offset ratio	备案项目数 Number of issued projects	实施规模 Forestry cover/ ($\times 10^4$ hm ²)	预计减排量 Estimated emission reductions/ ($\times 10^4$ tCO ₂ eq)	成交量 Transaction volume/ ($\times 10^4$ tCO ₂)	2020-1-1— 2021-12-31 交易均价 Average Price/ (元/tCO ₂)
清洁发展机制 Clean development mechanism	国际	当年排放量的 5%	5	2	439	—	4.2—18.7
国际核证碳减排标准 Verified carbon standard	国际	—	36	102	51869	—	—
中国核证减排机制 Chinese certified emission reduction	全国	当年配额量的 5%	15	43	6562	约 200	10.9—52.0
北京林业核证减排项目 Beijing forestry certified emission reduction	地方	当年配额量的 5%	4	0.5	93	13	13.8—61.0
福建林业核证减排项目 Fujian forestry certified emission reduction	地方	当年排放量的 10%	23	8.3	347	284	9.0—37.7
广东碳普惠核证自愿减排项目 Guangdong pu hui certified emission reduction	地方	当年排放量的 10%	56	—	182	—	23.6—40.5

该表仅列出我国主要林业碳汇交易项目,黄金标准、大型活动碳中和碳抵消机制、贵州单株碳汇扶贫项目、福建省三明市的林业碳票交易等因备案个数少、成交量小等原因未纳入统计。此外,该表格仅列出已成功备案的项目,审定中的项目未纳入统计

1.2.2 融资支持

融资政策将社会资金转移至造林、森林管理等增汇活动,保证林业碳汇项目的顺利开展^[51]。目前面向林业碳汇融资的平台包括绿色碳汇基金会、林业碳汇绿色债券、林业碳汇股权质押贷款、林业碳汇保险^[52]。绿色碳汇基金会是我国最早建立且支持造林和森林经营项目最多的融资途径,由中国绿色碳汇基金会、省市县碳汇基金、县区碳汇专项三级管理和资金募集体系构成,资金主要来源于政府财政与社会资本捐赠,整体融资规模和预期碳汇效益有限,其中青海省碳汇造林项目和老牛冬奥碳汇林项目产生碳汇效益相对较高,预计未来 30 年产生碳汇量分别为 20.58×10^4 t 和 38×10^4 t^[53]。

为进一步扩大融资规模、拓宽融资渠道以带动碳汇项目发展,绿色金融债券和林业抵押贷款等金融产品相继产生。其中林业信贷政策因贷款期限相对灵活,操作难度较低,可行性较强,成为金融机构参与碳汇融资最为主要的途径^[52],有助于形成较大规模的碳汇效益。如 2017—2022 年国家开发银行发放贷款 1141 亿元,支持了约 400×10^4 hm² 森林的建设维护,预计 2030 年后每年可以实现碳汇 7200×10^4 t^[54]。同时针对林业碳汇项目经营周期长、风险难以预测等问题,绿色保险产品得到开发,为碳汇林和林业碳汇价格提供双重风险保障^[55],稳定林业碳汇交易收入,提升林业碳汇供给能力。林业碳汇保险虽然发展年份较短,但融资规模可观,2021 年首单林业碳汇指数保险为福建新罗区近 100×10^4 t 年固碳量提供 2000 万元保额^[56]。整体而言,我国林业碳汇融资渠道逐步拓宽,从政府财政支持为主向金融机构、企业和社会公众共同参与转变;金融产品种类不断丰富,呈现出多层次金融产品融合发展趋势(图 1)。

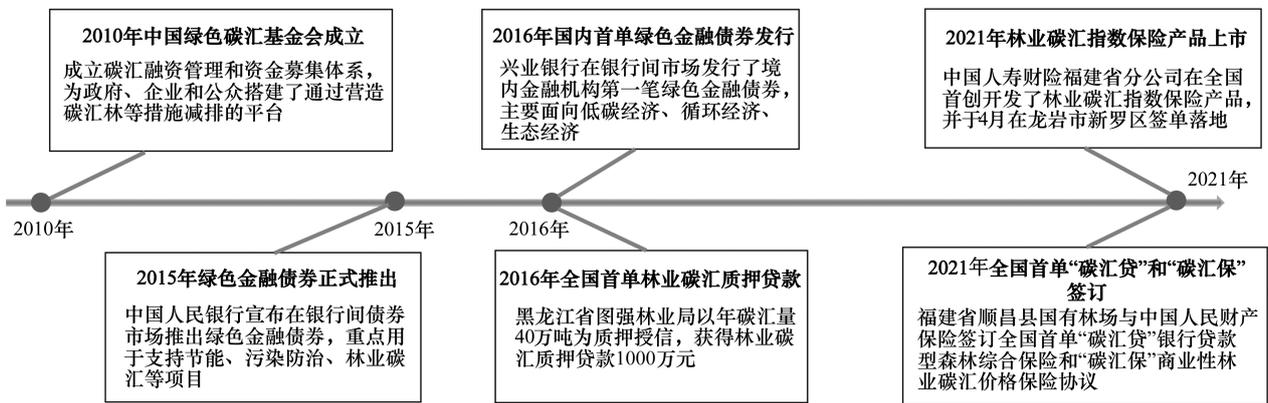


图1 主要林业碳汇融资政策出台时间及内容概要

Fig.1 Summary of financial policies for forestry carbon sink

林业碳汇融资体系建设中仍存在金融产品不完善、投资机构参与积极性不高等问题。在碳汇金融产品开发中,一方面与标的存在期限错配问题,比如碳汇项目对接绿色金融债券的使用期限较短,而林业碳汇项目造林周期较长,二者之间资金期限错配^[52];另一方面现有产品种类较少,不足以满足标的项目资金需求,产品创新性有待提高。而对于投资机构而言,林业碳汇项目受定价机制不明确、监测和审定周期长且难度大等原因影响,导致项目整体收益不足,抑制了社会资金参与积极性^[57];同时林业碳汇贷款优惠和税收减免等金融支持政策的缺乏,也使投资机构参与融资的外部激励机制不足^[58],在一定程度上限制我国林业碳汇金融产品发展。

1.2.3 财政补贴

森林资源具有公共品属性和正外部性,对森林生态效益提供者进行经济补偿,激励农户增加造林和抚育投入,将有助于提升森林碳汇供给能力^[59]。当前,我国有关财政补贴主要为中央森林生态效益补偿、森林抚育补贴和造林补贴三项激励措施。经过十余年的不断完善与发展,三项补贴政策的补贴标准相对细化,试点范围不断扩大,补贴资金规模及受偿森林面积逐年增加,显著促进了森林资源总量增长,有效增强了森林碳汇供给能力(表5)。生态效益补偿政策是三项补贴中财政投入资金最多且受偿面积最大的补助政策。该政策对森林营造、抚育、保护和管理等多个环节实行补助,按所有权对补贴标准进行区分^[60]。整体而言,尽管单位面积补贴金额较少,但补贴对象和补贴环节的覆盖范围相对较大,政策覆盖森林面积高于造林和抚育补贴,是提升森林碳汇能力的重要补贴政策。与之相对比,造林补贴是三项补贴措施中投入资金总量最少、覆盖面积最小的一项。随着我国造林绿化进程的不断推进,受宜造林地有限等生态条件限制,任务落实难度逐步加大,而中央造林补贴标准与其他林业重点工程造林投资标准的不统一,导致农户造林积极性有所下降^[61],也是造林补贴政策成效相对较小的主要原因。同时,在林业重点工程实施后期,政策重心从造林灭荒向科学绿化转变,森林抚育作为增加单位面积蓄积量的重要措施,政策关注度不断提升,抚育补贴范围和补贴标准得到提高,总体抚育面积快速增长。

三类补贴政策均存在补偿支付主体单一、补贴标准偏低和标准划分方式较为单一、补贴对象范围较小等共性问题。一方面,补贴资金主要依靠中央和地方财政转移支付,缺乏市场化资金来源,导致补偿标准较低,对碳汇林营造和抚育的激励作用不明显,且劳动力成本、林业机械价格等费用的上涨进一步弱化了补贴效果^[62-63]。另一方面,现有的补贴标准依照林地权属或林木类型划定不同等级,未考虑受偿地区林业碳汇价值、管护成本等方面的差异;且补贴对象相对较小,如森林生态效益补偿的对象仅为国家级公益林,地方级公益林和商品林并未纳入补偿范围^[64],共同影响了补贴政策的实施成效。

表 5 我国林业碳汇相关补贴政策主要内容

Table 5 The main contents of China's subsidy policy related to forest carbon sink

补贴政策 Subsidy policy	补贴对象 Subsidy object	补贴标准 Subsidy standard	补贴规模 Subsidy scale
造林补贴 Afforestation subsidy	在宜林荒山荒地、沙荒地、迹地、低产低效林地进行人工造林、更新和改造,面积不小于 0.07 hm ² 的国有林场、农民和林业职工、农民专业合作社等造林主体	造林直接补贴为人工营造,乔木林和木本油料林补贴 2999 元/hm ² ,灌木林补贴 1799 元/hm ² ,其他林木、竹林以及迹地人工更新、低产低效林改造补贴 1499 元/hm ² ;间接费用补贴按照中央财政造林补贴总额 5% 的比例安排	补贴金额由 2010 年 3.2 亿元增加到 2014 年 19.4 亿元;2010—2012 年补贴完成造林面积由 22×10 ⁴ hm ² 增加至 110×10 ⁴ hm ² ,但随后有所下降,2014 年降至 68×10 ⁴ hm ²
森林抚育补贴 Forest tending subsidy	2009 年抚育对象为国有中幼龄林,集体和林农个人所有的国家级公益林中的中幼龄林;2014 年集体和个人所有森林的抚育对象扩大到公益林。补贴主体是承担森林抚育任务的国有森工企业、国有林场、农民专业合作社以及农民等	中央财政安排的森林抚育补贴标准为平均 1499 元/hm ² ,天然林资源保护工程二期实施范围内的森林抚育补贴资金标准为平均 1799 元/hm ²	补贴金额由 2009 年 5 亿元增长至 2015 年 59.2 亿元;补贴完成森林抚育面积由 33×10 ⁴ hm ² 增加到 361×10 ⁴ hm ²
森林生态效益补偿 Forest ecological compensation mechanism	对国家级公益林管护者发生的营造、抚育、保护和管理支出给予一定补助的专项资金	2001 年补助标准均为每年 75 元/hm ² ;2017 年国有国家级公益林提高到 150 元/hm ² ;2019 年集体和个人所有国家级公益林提高到 240 元/hm ²	补偿金额由 2001 年 10 亿元快速增长至 2014 年 149 亿元;补偿森林面积由 1300×10 ⁴ hm ² 增长至 9300×10 ⁴ hm ²

1.3 保障体系建设

健全保障体系是增强我国森林碳汇政策综合支撑能力,提升我国森林碳汇增量的重要举措。完善法律保障体系可以直接促进植树造林、森林抚育和保护工作,有利于增强森林碳汇功能,推动碳汇交易市场发展^[65]。森林技术体系包含造林技术、抚育技术、经营管理技术和监测评价技术等,技术保障体系的持续改进可以从提高营林规模、提升造林质量和降低增汇经济成本等多个层面支持森林碳汇的发展^[66]。

法律法规的制定能够推动森林碳汇政策的颁布,明确政策导向,为政策的实施提供法律保障和良好的环境支持。近 20 年我国法律法规逐渐强调森林的生态价值开发,但总体内容主要停留在建议和禁止层面,难以对森林增汇进行切实指导^[67]。究其原因,一方面是具体相关规章的法律效力较低。现有关于森林碳汇的规章制度主要来源于国家发展改革委和国家林草局,相较于《森林法》等法规,其法律约束力较弱^[68],对相关主体行为难以形成强有力约束。另一方面是法律内容宽泛。现有针对森林碳汇的法律文件尚不丰富,且指导内容较为抽象,缺少详细且落地的行为和技术规范,更没有因地制宜,形成较为完善的地方级立法体系^[65]。更重要的是,森林碳汇的权利归属问题不清晰致使碳汇交易和碳汇项目的发展受到一定阻碍。《森林法》《民法典》以及其衍生出的规章制度中均详细规范了森林权属,而森林碳汇在法律中并没有被明确定义,缺失对碳汇产权界定的法律体系。并且法律没有将森林碳汇的各项权属与森林权属以及森林所占用的土地权属区分开,不能明确碳汇权的权利内容和权利客体^[69],导致不能为碳汇交易活动提供法律保障,消除交易中的不确定性。

构建技术标准体系为森林碳汇方案制定和实施提供了科学保障^[70],完善评价调查体系有助于准确评估我国森林生态系统碳汇潜力^[71]。当前,我国森林技术关注度显著提升,经营、抚育和调查监测等有关森林技术文件发布量增加,但在森林可持续经营目标下,各类森林技术仍存在较大发展空间。首先,造林技术措施参照标准和碳汇造林方法学滞后^[72],造林前的探究种植地形和整地工作不被重视,专业人才的缺少使得造林设计过程不能全面考虑各项影响因素^[73];其次,森林抚育技术标准不够全面,目前只存在两项国家级和少部分地区级标准,且内容较为宽泛而缺少具体措施与可量化标准;再次,森林质量评价技术中关于质量评价的层次和指标较少,评价指标与森林碳汇的联系不够密切,对后续增汇工作的支撑动力不足;最后,我国森林碳汇资

源调查的准确度较低,现有碳汇调查技术标准大多针对造林再造林等项目级别的计量与检测^[74],区域和国家级别的碳汇调查还是根据森林资源进行推算,不包括由碳泄露和经营过程造成的非固定的碳汇计量^[75]。

2 国际森林碳汇政策发展现状及对我国森林碳汇政策建设启示

自《京都议定书》提出森林碳汇在应对气候变化中的重要作用,国际社会对森林碳汇减排的重视程度不断提升,森林碳汇项目开发建设与市场交易等有关问题受到广泛关注,各国颁布了有关法律法规并制定了相关政策措施推动森林碳汇能力提升。在法律保障层面,国际法为森林碳汇管理提供全球标准和指导方针,而国家立法体系用于制定实质性和程序性的法律机制。在国际法律中,森林碳汇交易机制下所包括的林业活动从单一化的造林再造林拓展到减少毁林和森林退化、保护和可持续管理等,增汇方式不断丰富^[76];各国立法体系从明确森林碳汇权内涵及利益归属等概念界定和规范市场交易制度等视角为碳汇市场提供保障^[77]。相较而言,我国当前森林立法对碳汇功能重视程度不足,碳汇权交易有关法律体系不完善,风险保障制度薄弱,限制了我国森林碳汇发展。

在交易机制建设层面,全球碳汇市场快速发展,形成相对完善的市场交易机制。在交易规模和交易类型中,目前全球已形成美国加州、新西兰等多个成熟的碳汇交易市场,碳汇交易量逐年增长,交易项目覆盖造林再造林、减少毁林和退化、森林经营和土地利用等多个类型^[78-79],充分体现各类林业活动在增汇中的重要功能;在项目实施、监测与评估中,已形成相对规范的森林碳汇项目申报批准与开发程序,建立了国际森林碳汇计量监测标准^[80-81]。相较而言,我国虽然森林碳汇资源丰富,但尚未建成全国统一的规范化森林碳汇交易市场,区域碳汇交易项目成交量和预计减排规模较小,同时目前项目类型主要以造林、森林经营与生态修复为主,对其他林业活动的增汇效益重视程度有待提升。

在资金供应层面,为降低森林碳汇项目经营过程中面临的各类风险,缓解前期项目实施过程的成本压力,提升农户林业投入积极性,各国建立了多元化的资金保障机制。一方面形成了以财政补贴、税收减免和专项贷款为代表的政府财政资金支持体系^[69],保障森林碳汇项目有效运行。另一方面通过开发碳信托基金等金融商品,为碳汇项目建设扩大资金来源,满足森林资源供给方的受偿意愿,有效激励森林碳汇供给^[11]。而我国当前森林碳汇项目资金主要来源于碳汇基金会募捐资金、林业抵押贷款以及政府财政支持,金融市场对碳汇项目有关贷款整体持谨慎态度。同时我国财政支持手段主要以生态效益补偿为主,但当前生态补偿范围相对有限,在一定程度上限制了我国森林生态效益的提升。

3 结论与政策建议

巩固提升森林生态系统碳汇能力是实现“双碳”目标的重要途径,梳理和总结近 20 年来我国森林碳汇有关政策的发展演变历程,对于新时期深化生态系统碳汇建设工作具有重要意义。当前,我国森林碳汇政策体系建设已逐步完善并取得一定的综合效益,天然林保护、退耕还林还草、“三北”防护林工程从数量建设到质量发展,显著提升了我国森林面积和植被固碳量;多层次林业碳汇项目交易市场的逐步建立有效促进了林业碳汇的价值实现,多类别金融产品的开发和补贴政策的完善为碳汇项目建设提供了多元化资金支持体系,但整体融资规模和财政补贴范围有限,限制了森林生态效益提高;森林碳汇保障体系处于重点建设阶段,现有法律体系缺乏对森林碳汇详细有效的指导规范,有关技术标准尚未形成适应森林可持续经营目标的成熟技术体系。基于此,本文从增强生态工程碳汇功能、完善林业碳汇项目建设及金融与补贴政策设计、健全政策保障体系三方面提出有关政策建议,为构建完备森林碳汇政策体系,充分发挥森林碳汇在“双碳”目标中的重要作用提供政策参考。

为巩固提升森林固碳增汇能力,三大生态工程应围绕政策布局规划科学性有待提升、经营管理体系不完善和工程实施过程存在碳泄漏等问题加以完善。首先,应充分尊重自然规律与地区资源禀赋差异实行科学造林,同时综合选择涵养水源能力持久、水土保持能力强、固碳效益显著的林木树种。其次,要以精准提升森林

质量为重,加强森林资源可持续经营。在生态经营中,需加强中幼林抚育,及时采伐成过熟林,优化林龄结构,提升森林整体固碳速率;在生产经营中,进一步细化森林采伐指标与林木类型认定标准,平衡生态林和经济林种植比例,着力发展林下经济,持续巩固工程建设成果。此外,需加强对工程实施过程的碳排放和碳泄漏问题的重视,通过采用先进的监测设备开展碳排放与碳泄露测算工作,明确碳排放和碳泄露类型与来源,合理规划林区建设。

完善林业碳汇交易市场机制、提高市场融资规模及优化政府财政补贴标准,是建立健全能够体现碳汇价值的生态产品价值实现机制的重要方向。在林业碳汇交易市场建设方面,需调整控排企业的碳配额发放量,提高林业碳汇抵消比例,促进控排企业的潜在碳汇需求转化为现实的有效需求;健全碳价保护机制,形成合理碳汇波动区间,提高林业碳汇项目收益,激励林业经营主体增加碳汇项目供给。在金融产品建设中,需调整现有金融产品设计以适应碳汇项目实施特征,并加大金融衍生品开发创新,增强金融产品资金支持能力;同时建立税收减免、贴息补贴等优惠政策,提高投资机构参与碳汇项目融资积极性,引导更多社会资本流入林业碳汇项目。在财政补贴政策方面,现有补贴政策需提高补贴标准,建立综合考虑立地条件、造林管护成本、区域异质性等因素的差异化补贴政策,并根据要素投入成本的变化建立补贴标准动态调整机制,以确保政策实施有效性^[27];未来应逐步建立林业碳汇专项补助资金,根据森林碳汇效益对不同林业经营主体予以差别化补偿,进一步强化我国碳汇资金支持体系。

完善有关法律法规、加快各类森林技术发展和重视专业型人才培养将有助于推进我国森林碳汇保障体系建设,巩固提升我国森林碳汇能力。首先,应在现有法律中明确森林碳汇在应对气候变化中的战略地位,重视完善森林碳汇有关制度规范,通过明晰森林碳汇产权关系、确定碳汇交易利益归属和分配,保障林业碳汇交易平稳运行,实现森林碳汇的经济价值。其次,需提升现有造林抚育技术,对各类林木和地形进行针对性抚育经营,并制定科学有效的质量评价和资源调查标准,丰富碳汇资源调查层级,扩展碳汇计量指标,建立完善的技术标准体系。此外,还需健全人才培养机制,通过加大人才建设资金投入、拓展人才引进途径和完善针对性培养方案等方式培育高质量林业工作者,推动抚育经营、计量监测等各环节提质增效,从而推进森林生态建设,促进我国森林碳汇能力提升。

参考文献 (References):

- [1] 郭建平. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展. 应用气象学报, 2015, 26(1): 1-11.
- [2] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: a special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2012: 1-582.
- [3] 姚仁福, 边文燕, 范宏琳, 贯君. 中国省域森林碳汇效率演进分析. 林业经济问题, 2021, 41(1): 51-59.
- [4] 赵宁, 周蕾, 庄杰, 王永琳, 周稳, 陈集景, 宋珺, 丁键滢, 迟永刚. 中国陆地生态系统碳源/汇整合分析. 生态学报, 2021, 41(19): 7648-7658.
- [5] 潘瑞, 沈月琴, 杨虹, 何佳渝. 中国森林碳汇需求研究. 林业经济问题, 2020, 40(1): 14-20.
- [6] 陈雅如, 赵金成. 碳达峰、碳中和目标下全球气候治理新格局与林草发展机遇. 世界林业研究, 2021, 34(6): 1-5.
- [7] 孙铭君, 彭红军, 丛静. 碳金融和林业碳汇项目融资综述. 林业经济问题, 2018, 38(5): 90-98, 112.
- [8] 罗明, 于恩逸, 周妍, 应凌霄, 王军, 吴钢. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略. 生态学报, 2019, 39(23): 8692-8701.
- [9] 孙清芳, 马燕娥, 刘强. 基于 CDM 机制对我国林业碳汇项目发展的探析. 林业资源管理, 2017(5): 125-128.
- [10] 刘豪, 高岚. 国内外森林碳汇市场发展比较分析及启示. 生态经济, 2012, 28(11): 57-60.
- [11] 刘冬莉. 国外碳汇林项目融资制度借鉴. 世界农业, 2017(3): 103-109.
- [12] 胡原, 成莹, 曾维忠. 中国森林碳汇发展现状、存在问题与政策建议. 生态经济, 2022, 38(2): 104-109.
- [13] 林宜佐. 基于绩效评价的我国森林碳汇支持政策体系研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [14] 王青. 中国碳汇政策文本研究[D]. 广州: 广东省社会科学院, 2019.
- [15] 漆雁斌, 张艳, 贾阳. 我国试点森林碳汇交易运行机制研究. 农业经济问题, 2014, 35(4): 73-79.
- [16] Lu F, Hu H F, Sun W J, Zhu J J, Liu G B, Zhou W M, Zhang Q F, Shi P L, Liu X P, Wu X, Zhang L, Wei X H, Dai L M, Zhang K R, Sun Y R, Xue S, Zhang W J, Xiong D P, Deng L, Liu B J, Zhou L, Zhang C, Zheng X, Cao J S, Huang Y, He N P, Zhou G Y, Bai Y F, Xie Z Q,

- Tang Z Y, Wu B F, Fang J Y, Liu G H, Yu G R. Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(16): 4039-4044.
- [17] 中华人民共和国自然资源部. 中国天然林进入全面保护新阶段. (2019-04-13) [2022-05-05]. http://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/201904/t20190423_2406314.html.
- [18] 央视新闻客户端. 我国天然林保护工程实施 20 周年 天然林面积已达近 30 亿亩. (2018-10-10) [2022-05-05]. <http://m.news.cctv.com/2018/10/10/ARTIY8OZ4CrDLebpuMmFOlpz181010.html>.
- [19] Wu S N, Li J Q, Zhou W M, Lewis B J, Yu D P, Zhou L, Jiang L H, Dai L M. A statistical analysis of spatiotemporal variations and determinant factors of forest carbon storage under China's Natural Forest Protection Program. *Journal of Forestry Research*, 2018, 29(2): 415-424.
- [20] 张逸如, 刘晓彤, 高文强, 李海奎. 天然林保护工程区近 20 年森林植被碳储量动态及碳汇(源)特征. *生态学报*, 2021, 41(13): 5093-5105.
- [21] 刘博杰, 逯非, 王效科, 刘魏魏, 王莉雁, 饶恩明, 张路, 郑华. 中国天然林资源保护工程温室气体排放及净固碳能力. *生态学报*, 2016, 36(14): 4266-4278.
- [22] 何韵, 费梓萱, 叶新建, 刘振芳, 董文娟. 天保工程碳汇价值评估及对“碳中和”的意义研究. *公共管理学报*, 2022, 19(2): 154-163, 176.
- [23] 胡会峰, 刘国华. 中国天然林保护工程的固碳能力估算. *生态学报*, 2006, 26(1): 291-296.
- [24] Zhou W M, Lewis B J, Wu S N, Yu D P, Zhou L, Wei Y W, Dai L M. Biomass carbon storage and its sequestration potential of afforestation under natural forest protection program in China. *Chinese Geographical Science*, 2014, 24(4): 406-413.
- [25] 刘亚培, 陈绍志, 赵荣, 李秋娟. 我国天然林保护修复研究概述. *世界林业研究*, 2022, 35(1): 82-87.
- [26] Li S D, Liu M C. The development process, current situation and prospects of the conversion of farmland to forests and grasses project in China. *Journal of Resources and Ecology*, 2022, 13(1): 120-128.
- [27] Zhao M M, Yang J L, Zhao N, Xiao X M, Yue T X, Wilson J P. Estimation of the relative contributions of forest areal expansion and growth to China's forest stand biomass carbon sequestration from 1977 to 2018. *Journal of Environmental Management*, 2021, 300: 113757.
- [28] Wang K B, Hu D F, Deng J, Shanguan Z P, Deng L. Biomass carbon storages and carbon sequestration potentials of the Grain for Green Program-Covered Forests in China. *Ecology and Evolution*, 2018, 8(15): 7451-7461.
- [29] Persson M, Moberg J, Ostwald M, Xu J T. The Chinese Grain for Green Programme: assessing the carbon sequestered *via* land reform. *Journal of Environmental Management*, 2013, 126: 142-146.
- [30] 刘博杰, 张路, 逯非, 王效科, 刘魏魏, 郑华, 孟龄, 欧阳志云. 中国退耕还林工程温室气体排放与净固碳量. *应用生态学报*, 2016, 27(6): 1693-1707.
- [31] 刘金山, 杨传金, 戴前石. 退耕还林工程植被碳汇效益估算. *中南林业调查规划*, 2015, 34(1): 26-28, 64.
- [32] Zhao F Z, Chen S F, Han X H, Yang G H, Feng Y Z, Ren G X. Policy-guided nationwide ecological recovery. *Soil Science*, 2013, 178(10): 550-555.
- [33] Shi S W, Han P F. Estimating the soil carbon sequestration potential of China's Grain for Green Project. *Global Biogeochemical Cycles*, 2014, 28(11): 1279-1294.
- [34] Zhang K, Dang H, Tan S, Cheng X, Zhang Q. Change in soil organic carbon following the 'Grain-for-Green' programme in China. *Land Degradation & Development*, 2010, 21(1): 13-23.
- [35] 高清, 朱凯宁, 靳乐山. 新一轮退耕还林规模的收入效应研究——基于还经济林、生态林农户调查的实证分析. *农业技术经济*, 2022: 1-15 [2022-06-15]. DOI:10.13246/j.cnki.jae.20211214.006.
- [36] 张坤, 谢晨, 彭伟, 王江. 新一轮退耕还林政策实施中存在的问题及其政策建议. *林业经济*, 2016, 38(3): 52-58.
- [37] 周银花, 赵有贤, 胡延杰, 张坤, 王兰会. 全国 19 省区退耕还林工程农户复耕意愿影响因素分析. *林业资源管理*, 2021(2): 1-10.
- [38] 朱教君, 郑晓. 关于三北防护林体系建设的思考与展望——基于 40 年建设综合评估结果. *生态学杂志*, 2019, 38(5): 1600-1610.
- [39] Zhang Y, Wang X, Qin S. Carbon stocks and dynamics in the three-north protection forest program, China. *Austrian Journal of Forest Science*, 2013, 130(1): 25-43.
- [40] Liu W H, Zhu J J, Jia Q Q, Zheng X, Li J S, Lou X D, Hu L L. Carbon sequestration effects of shrublands in three-north shelterbelt forest region, China. *Chinese Geographical Science*, 2014, 24(4): 444-453.
- [41] Chu X, Zhan J Y, Li Z H, Zhang F, Qi W. Assessment on forest carbon sequestration in the Three-North Shelterbelt Program region, China. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 215: 382-389.
- [42] 潘迎珍. 三北防护林体系建设五期工程若干重大问题研究. 银川: 阳光出版社, 2013: 88-115.
- [43] 许丁, 张卫民. 基于碳中和目标的森林碳汇产品机制优化研究. *中国国土资源经济*, 2021, 34(12): 22-28, 62.
- [44] 刘伯恩, 宋猛. 碳汇生态产品基本构架及其价值实现. *中国国土资源经济*, 2022, 35(4): 4-11.

- [45] 高沁怡, 金婷, 顾光同, 吴伟光. 林业碳汇项目类型及开发策略分析. 世界林业研究, 2019, 32(6): 97-102.
- [46] 郑芊卉. 我国林业碳汇项目开发交易政策与实践研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2019.
- [47] 李峰, 王文举, 闫甜. 中国试点碳市场抵消机制. 经济与管理研究, 2018, 39(12): 94-103.
- [48] 程毅明. 不同类型 CCER 林业碳汇项目碳汇供给成本及其敏感性分析[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2020.
- [49] 张颖, 张莉莉, 金笙. 基于分类分析的中国碳交易价格变化分析——兼对林业碳汇造林的讨论. 北京林业大学学报, 2019, 41(2): 116-124.
- [50] 吴慧娟, 张智光. 中国碳市场价格特征及其成因分析: 高低性、均衡性与稳定性. 世界林业研究, 2021, 34(3): 123-128.
- [51] 陆雪文, 潘家坪. 影响我国林业碳汇融资的主要因素及对策. 中国林业经济, 2021(1): 76-78, 86.
- [52] 易扬, 罗述武, 毛丽莉. 金融支持广西林业碳汇发展的路径选择探析. 区域金融研究, 2019(1): 59-62.
- [53] 中国绿色碳汇基金会. 认识林业碳汇项目. [2022-05-05]. <http://www.thjj.org/act-1.html>.
- [54] 开发银行. 国家开发银行超千亿贷款助力提升林业碳汇能力. [2022-03-23]. http://www.cdb.com.cn/xwzx/khdt/202203/t20220323_9743.html.
- [55] 顺昌县林业局. “碳汇+保险”让企业经营林业碳汇“底气”更足. 福建林业, 2021(4): 9.
- [56] 秦涛, 李昊, 宋蕊. 林业碳汇保险模式比较、制约因素和优化策略. 农村经济, 2022(3): 60-66.
- [57] 沈宏. 基于林业碳汇的绿色金融发展路径探析——以内蒙古大兴安岭重点国有林区为例. 北方金融, 2020(12): 55-57.
- [58] 李岩. 对金融支持林业碳汇的研究——以大兴安岭地区为例. 黑龙江金融, 2017(9): 38-40.
- [59] 杨鑫, 尹少华, 邓晶, 张灵曼, 刘璨. 林业财政补贴政策对农户林业投资及其结构的影响分析——基于财政补贴的挤入与挤出效应视角. 林业经济, 2021, 43(2): 5-20.
- [60] 张眉. 公益林管护费用补偿研究. 林业经济问题, 2012, 32(3): 206-210.
- [61] 胡继平, 王恩苓, 贾刚. 中央财政造林补贴试点成效及政策措施建议. 林业资源管理, 2016(4): 5-8, 13.
- [62] 朱洪革, 张宇彤, 宁哲. 森林抚育补贴政策在天保工程中的实施效果. 林业经济问题, 2020, 40(6): 659-667.
- [63] 秦涛, 于衍衍. 我国农林业财政补贴政策比较研究. 河南社会科学, 2014, 22(10): 84-88, 124.
- [64] 刘明明, 卢群群, 杨纪超. 论中国森林生态效益补偿制度存在的问题及完善. 林业经济问题, 2018, 38(5): 1-9, 99.
- [65] 陈孟伟. 生态文明视角下森林碳汇立法焦点问题研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2021.
- [66] 杨运华. 森林碳汇工程质量管理的探讨. 低碳世界, 2021, 11(8): 29-30.
- [67] 杨艳凤. 浅析森林可持续经营的重要性及经营机制构建. 河南农业, 2021(11): 44-45.
- [68] 陈娟丽. 我国林业碳汇存在的问题和法律对策//生态文明法制建设——2014年全国环境资源法学研讨会(年会)论文集(第一册). 2014: 16-21.
- [69] 张萍. 我国森林碳汇法律制度研究[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2021.
- [70] 于国斌. 森林抚育经营技术发展及优化策略. 河北农机, 2021(5): 57-58.
- [71] 王兵, 牛香, 宋庆丰. 基于全口径碳汇监测的中国森林碳中和能力分析. 环境保护, 2021, 49(16): 30-34.
- [72] 毕琼仙. 生态保护修复营造林技术存在的问题及改进措施. 新农业, 2021(3): 31-32.
- [73] 周奉生, 余荣华. 林业营造林技术存在的问题及改进措施. 农业与技术, 2019, 39(6): 65-66.
- [74] 张厦, 朱秩辉. 简述我国碳汇监测体系的发展. 中国林业经济, 2017(2): 88-89.
- [75] 田强. 林业碳汇的作用及监测技术分析. 现代农业研究, 2021, 27(7): 82-83.
- [76] 颜士鹏. 森林碳汇国际法律机制与中国森林立法之协调. 政法论丛, 2015(4): 84-91.
- [77] Ruseva T, Marland E, Szymanski C, Hoyle J, Marland G, Kowalczyk T. Additionality and permanence standards in California's Forest Offset Protocol: a review of project and program level implications. Journal of Environmental Management, 2017, 198: 277-288.
- [78] Kang H M, Choi S I, Sato N. Study on the analysis of forest sink policy against climate change in major countries. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 2012, 57(1): 291-298.
- [79] Forest Trends' Ecosystem Marketplace. State of forest carbon finance 2021. Washington DC: Forest Trends Association, 2021. <https://www.ecosystemmarketplace.com/articles/new-report-finance-for-forest-carbon-doubled-since-2016-but-still-far-from-meeting-its-potential-as-a-natural-climate-solution/>
- [80] Gren I M, Aklilu A Z. Policy design for forest carbon sequestration: a review of the literature. Forest Policy and Economics, 2016, 70: 128-136.
- [81] 李茂林, 吴显春. 国内外森林碳汇市场现状及比较. 世界农业, 2015(7): 98-102.