

中国的气候变化政策关注程度与林业碳汇增长

卢峰¹ 孟佶贤¹ 程宝栋^{1,2*}

(1. 北京林业大学经管学院 北京 10083; 2. 北京林业大学国家林草经贸研究院 北京 10083)

摘要:【目的】森林碳汇具有减缓和适应气候变化的重要作用。本文旨在解释中国的气候变化政策关注度对森林碳汇的影响机制及其影响异质性,进而从促进森林碳汇(FCS)增长的角度,为中国政府制相关政策提供一定的理论依据。【方法】本文借助中国政府工作报告和五年发展规划合成了反映中国政府对气候变化和林业重视程度的指标CCPA,连同调整的美国的气候不确定性指标CPU和中国经济政策不确定性指标EPU,并考察这些指标对中国森林碳储量FCS的影响。具体地,使用2000-2017年中国30个省份形成的面板数据进行实证分析。【结果】基准回归表明CCPA能够显著促进FCS的增长,而CPU或EPU则能够抑制FCS的增长;交互效应回归表明,CCPA对FCS增长的促进作用,强于CPU或EPU对FCS增长的抑制作用;中介效应检验表明,CCPA能够通过促进森林抚育面积增加、现有森林面积扩张、可再生能源消费量增长和绿色投资水平提高,进而促进FCS的增长;异质性分析表明,CCPA对FCS的影响呈现出明显的差异化特征。【结论】政府的气候政策关注度对森林碳汇的增长具有重要作用。

关键词: 气候变化 政策关注碳储量 林业碳汇 影响渠道

China's Climate Change Policy Attention and Forestry Carbon Sequestration Growth

Abstract: 【Objective】 Forest carbon sinks play an important role in climate change mitigation and adaptation. This article is expected to provide a theoretical basis for the Chinese government to develop relevant policies from the perspective of promoting FCS growth. 【Methods】 In this article, the Chinese Government's Work Reports and Five-Year Plans were used to construct an index named CCPA, which reflects the government's emphasis on climate change and forestry in China. This paper aims to examine the impact of the CCPA, the adjusted Climate Policy Uncertainty (CPU) index from the U.S., or the Economic Policy Uncertainty (EPU) index from China on the Chinese forest carbon stocks (FCS), comprehensively. On this basis, we are interested in clarifying the channels that promote the growth of forest carbon sequestration in China. Specifically, a panel data from 30 provinces in China from 2000 to 2017 is used for empirical analysis. 【Results】 The baseline regression indicates that CCPA significantly promotes the growth of FCS, while CPU or EPU inhibits its growth; The interactive regression shows that the promoting effect of CCPA on FCS growth is stronger than the inhibiting effect of CPU or EPU; Mediation analysis documents that CCPA promotes FCS growth by increasing forest tending area, expanding existing forest area, increasing renewable energy consumption, and improving green investment; Heterogeneity analysis reveals a clear differentiation in the impact of CCPA on FCS. 【Conclusion】

Keywords: Climate Change, Policy Attention, Carbon Stock, Forestry Carbon Sequestration, Channel analysis

中国政府历来对气候变化保持高度关注,并积极采取措施减缓和适应气候变化。森林碳汇(Forest Carbon Sink)是应对气候变化潜力较大且成本有效的手段之一(Richards et al., 1993),中国政府也已将森

基金项目:国家自然科学基金青年项目(72101253)、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(22JJD790021)、国家自然科学基金重大项目(72192800)、中央高校科研业务专项资金项目(BLX202125)的资助。

*程宝栋为通讯作者。

林增汇作为应对气候变化的国家战略。2020年9月,在第75届联合国大会期间,中国提出将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,争取二氧化碳排放在2030年前达到峰值,到2060年前努力实现碳中和。同年12月,在气候雄心峰会上进一步承诺2030年森林蓄积比2005年增加60亿立方米。2021年10月,中国提交的《中国落实国家自主贡献成效和新目标新举措》,重申“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的总体目标,到2030年单位GDP碳排放较2005年降低65%。中国政府发布的实现“双碳”目标的指导方针,都强调了要构建绿色低碳循环发展的经济体系、提升能源利用效率、提高非化石能源消费比重、降低二氧化碳排放水平、提升生态系统碳汇能力等五个方面的主要目标。

由此可见,中国如期实现“双碳”战略目标,以减排增汇为导向的提升FCS将发挥不可替代的作用(徐晋涛和易媛媛,2022)。因此,如何实现FCS稳定、快速增长,对于中国实现可持续发展具有十分重大的意义。

现有文献就如何促进FCS增长已有一定的研究积累。例如,Lin and Ge. (2020a)和Lin and Ge. (2021)基于1990-2015年全球139个国家的面板数据,定量识别了制度自由与FCS增长之间的关系,并指出制度自由主要通过调整土地利用结构、教育和收入不平等3个路径影响FCS增长;Ge and Lin. (2021)基于1990-2018年全球147个国家的政治、经济、社会 and 气候数据,采用广义合成控制法,定量研究了京都议定书的签署与FCS增长之间的关系;Zhao et al. (2023)采用空间计量模型从自然环境、经济发展、林业管理和环境规制等角度对中国FCS的跨区域溢出效应进行了比较。上述文献大多研究具体因素对FCS增长的影响,并提出相关的政策建议,以期各国政府能够对通过FCS来缓解日益严峻的气候变化问题这一有效途径保持足够的重视,并出台相关政策予以落实。为衡量中国政府对于气候变化和林业的关注程度,本文以中国政府年度工作报告和五年发展规划为依据提取了气候变化和林业有关的关键词词库,再通过对中国各省级政府的年度工作报告中相关词汇出现的频率,构造了中国省级政府对气候变化和林业的关注度指标(Climate Change Policy Attention, CCPA)。中国以成长为全球第二大经济体,具备了解决气候变化议题的意愿和能力,因此CCPA预期将能够对于中国的双碳目标产生积极的作用。那么作为碳中和实现的重要途径的FCS也将得益于CCPA而获得大规模的提升。然而,在CCPA增加中国FCS的同时,美国作为全球第一大经济体,其气候政策不确定性对于全球的气候变化问题都有着不小的负面影响。当然,中国经济自身的EPU增加,导致地方政府将更加注重GDP短期增长目标而对长期的绿色转型目标有所松懈,这也可能对FCS的增长产生不利影响。

然而,CCPA对FCS增长的具体影响效果如何?CCPA与CPU或EPU的交互产生的综合影响究竟是会加强FCS,还是削弱FCS?CCPA通过何种渠道实现FCS的增长?CCPA对FCS的影响在不同条件下是否存在差异?对于这一系列重要的问题却鲜有文献进行研究。上述问题的解答,在为中国低碳发展提供新思路的同时,为促进FCS增长及其相关产业发展,如期实现“双碳”目标提供了有益借鉴。

鉴此,本文基于2000-2017年中国大陆30个省份(除西藏外)的面板数据,分别定量识别了CCPA、气候政策不确定性(Climate Policy Uncertainty, CPU)和经济政策不确定性(Economic Policy Uncertainty, EPU)与森林碳汇量(Forest carbon sink, FCS)之间的关系,并在此基础上识别了CCPA与CPU或EPU的交互效应对FCS的影响;在CCPA对FCS影响机理进行分析的基础上,构建中介效应模型,实证检验森林抚育面积、森林面积、可再生能源消费量和绿色投资影响FCS的传导机制;此外,本文还对不同条件下CCPA对FCS的影响差异进行了分析:具体包括不同区域(东中部和西部)、不同林种(人工林和天然林)、不同排污许可企业数量。

本文的边际贡献在于:①基于python词频分析,合成了CCPA变量。②实证检验了CCPA、CPU和EPU对FCS的影响,以及CCPA与CPU或EPU的交互效应;③在理论上厘清了CCPA影响FCS的内在作用机理,探索出4条可能的影响路径;④实证分析了不同区域、不同林区和不同排污许可企业数量下CCPA对FCS影响的差异。

本文余下的部分这样安排:第2部分提出研究假说;第3部分描述研究设计和数据;第4部分讨论研

究结果和渠道分析；第5部分进行基准回归结果和渠道分析的稳健性检验；第6部分进行异质性分析；第7部分提出结论和启示。

1 研究假说

1.1 CCPA, EPU 和 CPU 对森林碳汇影响的理论分析

1.1.1 CCPA 对森林碳汇量的影响 自从中国 2001 年加入 WTO，并于 2010 年成为全球第二大经济体，在经济保持高速增长的过程中，中国政府对于气候变化和林业议题的关注也在日益增长。中国的气候政策主要致力于从增汇和减排 2 个方面来减缓和适应气候变化，向来是将提高林业碳汇能力视作实现碳中和的重要途径，其中中国政府推行的增加森林碳汇量相关的政策主要包括以下两个政策体系：① 碳减排政策体系，包括碳限额政策、碳税政策、碳补贴政策和碳交易政策。现有文献也就上述政策对森林碳汇量的影响进行了量化研究。例如，He and Ren (2023) 基于动态随机一般均衡模型，实证分析了碳汇保险和补贴政策对森林碳汇量的影响，其结果表明碳汇保险和补贴均可以显著增加森林碳汇量；Zhao et al. (2023) 的研究表明，碳排放交易试点政策可以促进当地森林碳汇的增长，环境规制会对邻近地区产生正向的溢出效应；Im et al. (2007) 研究了碳税对森林碳汇量的影响，证实了碳税会导致森林采伐量减少，从而导致现存森林的碳储量增加；Dong et al. (2021) 基于森林碳储量对碳价格拟合回归的 logit 模型，研究了森林碳储量最大时的最优碳价格。② 森林保护和生态修复政策体系，包括森林限伐、退耕还林、天然林保护、造林和森林管理等一系列旨在促进森林数量和质量提升的政策，而森林数量和质量提升又和森林碳汇量的增长具有密切联系。例如，Yuan et al. (2023) 的研究表明，在全球变暖和碳中和战略目标的背景下，对退化竹林进行经营管理，有助于恢复其固碳能力；Daigneault et al. (2022) 的研究证实了森林管理和碳定价对增加森林碳汇量具有重要的促进作用，而全球森林部门未来将保持碳汇增长的趋势；Lin and Ge (2020b) 基于碳减排、生态收益和经济收益的角度，测度了全球 180 个国家通过森林经营管理而实现的生物质能源生产和碳汇生产之间的平衡度；Liu et al. (2017) 的研究表明，适当的森林间伐可以促进森林碳汇的增长和生态环境的保护。上述研究表明，各国以碳中和为目标的气候政策可以显著增加森林碳汇量。本文参照 Baker et al. (2016) 通过新闻报道合成测度经济波动情况指数的方法，首次通过对于中国各级政府年度工作报告和五年发展规划纲要中与气候变化和林业议题关键词频的识别、检索、统计和测算，合成了反映中国政府对于气候变化和林业的关注程度的变量 CCPA，并且我们预计 CCPA 能够显著的促进中国的森林碳汇量。

1.1.2 CPU 对森林碳汇量的影响 美国作为世界第一大经济体，其有能力、有责任同世界各国共同努力以应对日益严重的全球变暖问题，但美国在气候政策方面的摇摆也备受各方争议。Gavrilidis (2021) 提出了量化衡量美国气候政策不确定性的指标 CPU。大量的研究表明 CPU 对于全球气候变化和生态环境保护都能产生一定程度负面的影响，现有文献关于 CPU 在这些方面相关研究，更多地是集中终于 CPU 对可再生能源消费量影响的研究，而可再生能源消费量又和二氧化碳排放量具有密切关系。例如，Guo et al. (2022) 研究了美国的气候政策不确定性对全球原油和天然气价格的重大影响；Shang et al. (2022) 基于美国 2000 年第 1 季度至 2023 年第 3 季度的数据，定量分析了 CPU 对可再生能源和非可再生能源消费量的影响，结果表明 CPU 会降低不可再生能源的需求量，同时也会增加可再生能源的消费量。Li et al. (2023) 同时研究了 EPU 和 CPU 对可再生能源和非可再生能源消费量的影响，结果表明在大多数时期 EPU 会抑制可再生能源的消费量，刺激非可再生能源的消费量；尽管其研究表明 CPU 在特定的时期可以刺激非可再生能源的消费量，但 CPU 对可再生能源消费量的影响正负取决于政府当局对气候变化持有的积极或消极态度；Lin and Zhao (2023) 认为 CPU 的增加会导致化石能源消费量的增长，进而导致二氧化碳排放量的增加。此外，也有一些学者就 CPU 与二氧化碳排放之间的直接因果关系展开研究。例如，Zeng et al. (2022) 发现美国的气候政策不确定性指数拥有碳中和更多、更相关的信息，能够影响用中国 A 股指数构建的 Wind 碳中和概念指数；Guesmi et al. (2023) 以自然灾害的财务成本和死亡人数作为气候风险的测度，并以

Gavriilidis(2021)的方法测算 CPU 指标,研究了美国 2000 至 2022 年气候风险和气候政策不确定性对二氧化碳排放量的影响,结果表明气候风险和气候政策不确定性都可以显著地影响碳排放,对 CPU 的有效控制能够减少各类排放,这凸显了美国应该统一政策口径和方向,以加强应对全球气候变化的必要性。上述研究总体上倾向于认定 CPU 对生态环境产生负向影响,大多聚焦于对二氧化碳排放量的直接或间接影响。既然 CPU 对生态环境的影响为负,那么从理论上来说,CPU 也会对森林碳汇产生不利影响。

1.1.3 EPU 对森林碳汇量的影响 EPU 对生态环境的负向影响,已在多数研究中得到证实 (Li et al., 2023),但往往集中于 EPU 对碳排放量或生态足迹的影响,而较少关注其对森林碳汇量的影响。一方面,大量研究将生态足迹(EF)作为生态环境恶化的一种衡量,并研究了 EPU 与 EF 之间的关系。例如, Xu et al. (2022) 基于 1992~2020 年新兴 7 国的面板数据,实证检验了自然资源、经济政策不确定性、能源结构和生态足迹之间的关系,证实了 EPU 对生态环境的负面影响; Hussain et al. (2022) 则基于金砖国家 1992 至 2020 年的面板数据,通过 STIRPAT 模型 (The Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology),研究了 EPU、环境相关技术和可再生能源消费对生态环境的影响,结果表明 EPU 导致了 EF 的增加,环境相关技术和可再生能源消费则导致了 EF 的减少。另一方面,也有研究将二氧化碳排放量作为生态环境的一种测度,研究 EPU 与碳排放量(CE)或碳排放强度(CI)之间的关系。例如, Zhou et al. (2022) 基于 5 各个排放量最大的经济体 1992 至 2020 年的数据,证明了无论在长期还是短期, EPU 都加剧了 CE,即 EPU 恶化了生态环境; Yu et al.(2021)则基于构建的中国省级 EPU 指标,实证分析了 EPU 对企业 CI 的影响,结果表明 EPU 导致了 CI 的显著增加。进一步的渠道分析表明,企业更倾向于用廉价和不清洁的化石燃料来应对持续上升的 EPU 所引发的经营风险,从而加剧了生态环境造负担。上述研究通过生态足迹、碳排放量和碳排放强度等指标证明了 EPU 对生态环境的负向影响,但鲜有文献将森林碳汇作为生态环境的一种测度,研究其与 EPU 之间的关系。根据以上梳理,本文猜想中国的 EPU 会对本国森林碳汇量产生负面作用。

综合以上 3 个方面的分析,提出本文的第 1 个研究假说:

H1: 中国气候变化政策关注程度能够显著增加中国森林碳储量;而美国的气候政策不确定性和中国自身的经济政策不确定性等方面的因素会对中国森林碳储量产生负向影响。

1.2 CCPA 与 EPU、CPU 的交互效应

森林碳汇是应对气候变化潜力较大且可有效控制成本的手段之一 (Richard et al., 1993)。历次联合国气候变化框架公约谈判都突出强调了森林在减缓和适应气候方面的重要作用,事实上,中国政府历来都将林业增汇作为应对气候变化的重要国家战略之一,并向全世界做出一系列庄严承诺:2009 年,在哥本哈根会议上,中国承诺到 2020 年森林面积和蓄积量分别比 2005 年增加 4000 万公顷和 13 亿立方米;2015 年,在巴黎气候大会上,中国再次承诺,森林蓄积量到 2030 年比 2005 年增加 45 亿立方米;2020 年,在气候雄心峰会上,中国政府进一步承诺,森林蓄积量到 2030 年比 2005 年增加 60 亿立方米。为此,中国对森林资源实施了一系列的保护措施,包括对森林实行限额采伐,保护天然林、鼓励植树造林、封山育林、退耕还林、扩大森林覆盖面积等;对集体和个人造林、育林给予一定的经济扶持或长期贷款;提倡木材综合利用和节约使用木材,鼓励开发和利用木材代用品等(Zhang et al., 2023; Zinda et al., 2017)。中国通过体制改革和政策创新,可以大幅提升森林生产力,增加森林碳汇,对“双碳”战略目标的实现具有重要意义 (Xu and Yi, 2022)。一般认为一个国家越发关注环保和气候变化议题,通常也会出台强有力的政策来推动较少温室气体的排放,提升环境综合保护和治理的水平 (Lin and Ge, 2020b; Zhao et al., 2023)。与此形成鲜明对比的是,研究发现 CPU 和 EPU 对生态环境保护 and 温室气体减排都有负面冲击效应 (Yu et al., 2021; Guesmi et al., 2023)。上述三个方面的因素也势必会对森林碳汇造成直接、重要的影响。为此,本

文定义了 CCPA, 并且提出了调整的 CPU, 同时引入 EPU 指标, 如 H1 所述, 我们预期 CCPA 将有利于中国森林碳汇, 而 CPU 和 EPU 都将对中国的森林碳汇造成不利冲击。然而, 由于林业在减缓和适应气候变化中的重要作用和中国政府对发展林业碳汇的高度重视, 在双碳发展目标驱动下, 预期中国政府必将采取果断而有效的措施克服 EPU 和 CPU 对森林碳汇的负向影响, 因而本文预测 CCPA 能够在与 EPU 和 CPU 对森林碳汇量增长的效应中发挥主导作用。因此, 提出本文的第 2 个研究假说:

H2: 中国气候变化政策关注程度对于森林碳储量增长的积极影响, 能够有效阻遏美国气候政策不确定性或中国经济政策不确定性对于中国森林碳储量增长的负面影响。即中国的气候变化政策关注程度分别与美国气候政策不确定性或中国经济政策不确定性共同作用时, 均表现为对于中国森林碳储量的正向影响。

1.3 CCPA 对 FCS 影响的渠道分析

接下来, 我们关心的是如何证实影响中国 FCS 增长的作用渠道。如前所述, 中国气候政策的一个重要方面是森林保护和生态修复, 旨在通过森林限伐禁伐、退耕还林、造林育林、建立三北防护林等一系列措施增加森林数量和质量, 进而增加森林碳汇 (Liu et al., 2023)。再结合中国在历次联合国气候变化大会上做出的关于森林面积和蓄积的承诺, CCPA 的增加必然导致森林面积和蓄积量的增加。而蓄积量的增长可以通过森林抚育面积的增加来实现。此外, 根据现行的林业碳汇项目方法学, 森林碳汇的增长可通过造林碳汇和经营碳汇 2 种方式来实现 (Xu and Yi, 2022; Tian et al., 2022; Gao and Li, 2023), 分别对应森林面积和森林抚育面积的增加。即 CCPA 增加了森林面积和森林抚育面积, 进而增加了森林碳汇量。

政府对气候变化的关注程度增加, 必然会对碳排放施行严格管控, 同时鼓励可再生能源的消费并抑制非可再生能源的消费 (Shah et al., 2023; Kwakwa, 2023; Yang et al., 2022)。另一方面, 可再生能源消费量的增加会促使森林碳汇量的增加: 将枯死木、以及森林采伐产生的残余物作为可再生能源用于燃烧或发电, 不仅可以满足不断增长的能源消耗需求, 也可以在一定程度上降低森林火灾发生的风险 (Li et al., 2023), 从而避免了森林碳泄露, 也即在某种程度上促进了森林碳汇的增长。另外, 中国 CCPA 指标以及其他国家的碳中和政策路线图在增加可再生能源消费量的同时, 可以促进绿色金融水平的发展 (Jin et al., 2023; Gong et al., 2023), 而绿色金融水平的发展对森林碳汇量的增长具有正向作用。例如, 林权质押贷款、林业碳汇收益权质押贷款、中国绿色碳汇基金、林业碳汇保险和碳补贴等绿色金融方面投资的出现和发展, 降低了林业碳汇项目开发的融资压力, 进而促进林业碳汇及其相关产业的发展和森林碳汇量的增长 (He and Ren, 2023; Shi et al., 2022)。综上, 为了检验影响 CCPA 对于中国 FCS 增长的作用渠道, 我们提出本文的第 3 个研究假说:

H3: 中国气候变化政策关注程度可以分别通过增加森林抚育面积, 提升现有森林面积, 提高可再生能源消费量, 以及加大绿色投资水平等四个渠道来促使中国森林碳储量保持不断增长的态势。

3 实证设计

3.1 变量选择

本节对全文所用的因变量、核心自变量, 控制变量、中介变量、工具变量的选取和构造进行简要的定义和说明, 所有变量的描述性统计如表 1 所示。

3.1.1 被解释变量

(1) 基于生物量-林龄的森林碳储量 现有文献关于森林碳汇量的计算已有一定的研究积累 (徐冰等, 2010; Lee et al., 2018; Zhang et al., 2019; Chen et al., 2023)。本文采用两个估算森林碳汇量的权威指标, 记为 $FCS1$ 和 $FCS2$ 。其中 $FCS1$ 是借鉴徐冰等 (2010) 的研究思路, 基于其对中国 2000 年已有森林和新造森林碳密度的估算结果, 估计得到中国大陆 30 个省份 (除西藏外) 2000-2017 年的森林碳储量数据。具

体计算过程如下：

$$FCS1 = (FCS_{it}^{existing\ forest} + FCS_{it}^{afforestation}) \times \frac{100}{51}$$

$$FCS_{it}^{existing\ forest} = \frac{existing\ forest\ area_{it} \times density_{it}^{existing\ forest}}{100} \times \frac{44}{12} \times 0.875$$

$$FCS_{it}^{afforestation} = \frac{afforestation\ area_{it} \times density_{it}^{afforestation}}{100} \times \frac{44}{12} \times 0.875$$

式中，下标 i 和 t 分别表示省份和年， $FCS1$ 为碳储量，单位为百万 tCO_2e 。 $FCS_{it}^{existing\ forest}$ 和 $FCS_{it}^{afforestation}$ 分别表示已有森林和新造森林的碳储量， $existing\ area$ 和 $afforestation\ area$ 分别为已有森林和新造森林的面积， $density_{it}^{existing\ forest}$ 和 $density_{it}^{afforestation}$ 分别表示已有森林和新造森林的碳密度；根据李顺龙（2005）的研究成果， $\frac{100}{51}$ 为地上生物量碳库和总碳库（包含地上生物量碳库、地下生物

量碳库和土壤碳库）的转化系数； $\frac{44}{12}$ 为 C 和 CO_2 的转化系数；2000 年林分面积占森林总面积的比例为 0.875，假定其保持不变。需要说明的是，森林面积源自每 5 年统计 1 次的中国森林资源清查数据，因此相邻两次森林资源清查统计年份之间的森林面积数据根据其年均增长率进行补齐；已有森林碳密度和新造森林碳密度的参数，也基于徐冰等（2010）的研究结果，根据其年均增长率进行补齐。

（2）基于遥感观测的森林碳储量 $FCS2$ 的数据来源于 Chen et al.(2023) 对 2002-2021 年对全国范围内 2444 个地面样地实测森林地上生物量碳储量（AGBC），并通过收集全国范围内 8729 个森林样地的实测数据建立的随机森林模型预测的森林地下生物量碳储量（BGBC），数据分辨率为 $1km \times 1km$ 。首先，本文利用 ArcGIS 10.5 软件分别统计 30 个省份关于 AGBC 和 BGBC 的平均碳密度；其次，用各省森林面积分别乘各省 AGBC 和 BGBC 的平均碳密度，得到地上生物量和地下生物量碳储量，并将两者相加，得到森林碳储量数据；最后，对于 2000-2001 年缺失的数据，采用三年移动平均法进行填补。具体计算过程如下：

$$FCS2 = forest\ area_{it} \times \frac{density_{AGBC} + density_{BGBC}}{100}$$

式中，下标 i, t 分别表示省份和年份， $FCS2$ 表示森林碳储量，为地上生物量碳储量和地下生物量碳储量之和，单位为百万吨 C。 $forest\ area$ 为森林面积，单位为万 ha。 $density_{AGBC}$ 和 $density_{BGBC}$ 分别表示森林地上生物量和地下生物量的碳密度，单位均为 tC/ha 。

3.1.2 核心解释变量

（1）中国的气候政策关注程度 《政府工作报告》和五年规划纲要是对政府过去工作的总结和未来工作的展望，可以在很大程度上体现政府对经济和社会活动的重视程度。为筛选体现政府对气候和林业关注度的词汇，本文在考虑中国特殊背景的前提下，对 Baker et al.(2016)的做法进行了调整。首先，人工审阅 2000-2017 年的国务院《政府工作报告》和五年规划纲要，筛选出政府对气候和林业关注度相关的高频词汇，例如国家自主贡献、温室气体、双碳、碳汇、退耕还林、封山育林等，共计 62 个；其次，采用 python 3.9 软件对 2000-2017 年省级政府工作报告进行词频分析，分别统计省级政府工作报告中政府对气候和林业关注度相关高频词汇出现的频次和总词频，由于部分省份某些年度的政府工作报告缺失，因而采用三年移动平均法对缺失值进行填补；最后，为统一量纲，采用高频词汇的频次占总词频的比例作为政府对气候和林业关注度的代理变量，该比例越高，间接体现政府对气候和林业的重视程度越高（尹礼汇和吴传清，2021）。

（2）美国的气候政策不确定性指标 气候政策不确定性指标参考 Baker et al.(2016)的做法以及

Gavrilidis(2021)的研究成果,该指标是一个时间序列数据,衡量了美国气候政策的不确定性程度。美国是世界上最大的经济体,因此可以使用美国的气候政策不确定性指标表征全球的气候政策不确定性,同时美国的气候政策不确定性也会影响中国经济社会的发展(Ren et al., 2022)。中国经济增长在较大程度上依赖于进口和出口,因此为了体现美国气候不确定性指标对中国各省份经济社会活动的影响,将该指标乘以各省的进出口总额占全国进出口总额的比例进行修正,如下式所示。

$$adjusted\ CPU_{it} = CPU_t \times \frac{IMEX_{it}}{TIMEX}$$

式中,下标*i*和*t*分别表示省份和年份, *adjusted CPU*表示修正后的CPU指标, CPU为美国的气候不确定性指标, IMEX 为各省的进出口总额, TIMEX 为全国进出口总额,此处为中国大陆 30 个省份(除西藏外)的进出口总额加总。为行文简洁,后文若无特殊说明,将直接以 CPU 表示 *adjusted CPU*。

(3) 经济政策不确定性指标 经济政策不确定性指标参考 Baker et al.(2016)的做法和 Yu et al.(2021)的研究,对中国的省级经济政策不确定性指标进行了估计。该指标是依据过去 50 年国务院政府工作报告和五年规划纲要筛选出和中国经济政策不确定性相关的高频词频,并在此基础上对各省日报进行词频统计得出的。与 Baker et al.(2016)的中国经济政策不确定性指标相比,该指标较为全面地总结了体现经济政策不确定性的中文词汇,纳入了省份的异质性,排除了非经济类的新闻报道,因此更加科学合理(Yu et al., 2021)。此外,为方便比较,本文在直接借鉴 Yu et al.(2021)研究成果的基础上对该指标进行归一化处理。

3.1.3 控制变量 参考已有文献(Lin and Ge, 2020a; Lin and Ge, 2021; Ge and Lin, 2021)的做法,在基准模型中控制如下变量:对数化的人均 GDP (GDPP); 农业增加值 (AGRI); 工业增加值 (INDU); 服务业增加值 (SERV); 城市化率 (URBA), 采用年末城镇人口占总人口的比重表示城市化率; GDP 增长率 (GDPG), 人口增长率 (POPG), 分别采用名义 GDP 和总人口的当期值减上期值的差与上期值的比例衡量; 森林覆盖率(COVER); 对外开放程度 (OPEN), 采用进出口总额与名义 GDP 的比例衡量; 能源结构 (STRUC), 采用可再生能源消费量与能源消费量的比例衡量,其中可再生能源消费量的计算,借鉴 Destek and Aslan(2017)和 Wang et al.(2021)的做法,用水电、风能、太阳能以及核能等可再生能源的发电量衡量; 森林虫害防治面积 (PEST); 对数化的林业投资 (INVEST); 政府与市场的关系 (GOV_MKT) 和非国有经济的发展 (NONSTATE), 来自于樊纲指数分项指数(樊纲等, 2003)。

3.1.4 其他重要变量

(1) 中介变量 本文主要选取如下四个中介变量,其可归为三个类型:① 森林抚育面积 (Tending area) 和森林面积 (Forest area)。根据森林碳汇的增长方式,中国现行的林业碳汇项目方法学将森林碳汇增长分为造林碳汇和经营碳汇 2 种类型。一方面,在中国严格限制森林采伐量的国情下,造林面积的增加必然引起森林面积的增加,而森林面积的增加又和森林碳汇的增加密切相关;森林抚育是森林经营的主要方式之一,也是森林碳汇增长的一个重要途径。另一方面,林业增汇是应对气候变化成本有效的方式之一(Lin and Ge, 2019),政府对气候变化的关注程度增加也必然导致森林面积和森林抚育面积的增长。因此,本文选取森林面积 (Forest area) 和森林抚育面积 (Tending area) 作为中介变量。需要说明的是,个别年份某些年份的森林抚育面积数据缺失,用三年移动平均法进行填补。② 绿色投资水平,其度量方式参考陈慧莹(2020)的做法,用环境污染治理投资额占 GDP 的比重衡量,并进行归一化。③ 可再生能源消费量。一方面,将枯死木、以及森林采伐产生的残余物作为可再生能源用于燃烧或发电,不仅可以满足不断增长的能源消耗需求,也可以在一定程度上降低森林火灾发生的风险(li et al., 2023),从而避免了森林碳泄露,也即在某种程度上促进了森林碳汇的增长;另一方面,政府对气候变化的关注程度增加,也必然会加强

对碳排放的管制,鼓励增加对可再生能源的消费并抑制化石燃料等非可再生能源的消费。可再生能源消费量的计算如前文所述。

(2) 工具变量 本文选取对数化的平均风速(WIND)作为工具变量。一方面,平均风速并不会直接影响森林碳汇量;另一方面,平均风速和政府对气候变化和林业的关注度密切相关(董直庆和王辉,2019),一个地区的风速越慢,则温室气体的扩散速度越慢,那么该地区温室气体的集聚程度也就越高,温室效应自然就越明显,因此,我们有理由相信该地区政府对气候变化和林业的关注度也越高。

3.2 计量经济模型

3.2.1 基准回归模型 本文的三个基准面板回归模型如下:

$$FCS_{it} = \alpha_1 + \beta_1 CCPA_{it} + \gamma_1 Controls + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$FCS_{it} = \tilde{\alpha}_1 + \tilde{\beta}_1 CPU_{it} + \tilde{\gamma}_1 Controls + \tilde{\delta}_i + \tilde{\mu}_t + \tilde{\varepsilon}_{it} \quad (2)$$

$$FCS_{it} = \bar{\alpha}_1 + \bar{\beta}_1 EPU_{it} + \bar{\gamma}_1 Controls + \bar{\delta}_i + \bar{\mu}_t + \bar{\varepsilon}_{it}, \quad (3)$$

FCS 为因变量,文中使用两种不同来源的森林碳储量,分别记为 $FCS1$ 和 $FCS2$ 。将中国的气候政策关注程度 $CCPA$,美国的气候政策不确定性 CPU ,以及中国的经济政策不确定性 EPU 三个变量分别作为基准回归的自变量,回归系数 β_1 , $\tilde{\beta}_1$, $\bar{\beta}_1$ 则反映了自变量对于中国森林碳储量的影响程度。 $Controls$ 为引入回归方程的控制变量,回归系数记为 γ 。回归的截距项系数为 α 。上述三个基准回归中还控制了省份固定效应 δ_i 和年份固定效应 μ_t , ε_{it} 是随机扰动项,这三个回归表达式本质上是相同的,因此我们简要介绍回归系数的含义,在不同的回归公式中采用不同的顶标(tilde and bar)以示区分。

3.2.2 交互效应检验模型 在明确了三个解释变量对森林碳储量的影响后,我们将通过分别考察 $CCPA$ 分别与 CPU 和 EPU 的交互效应来明确 $CCPA$ 是否能对中国森林碳储量的增长起到主导的作用,相关的交互效应回归表达式如下:

$$FCS_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 CCPA_{it} + \varphi_2 CPU_{it} + \varphi_3 CCPA_{it} \times CPU_{it} + \varphi_4 Controls + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$FCS_{it} = \omega_0 + \omega_1 CCPA_{it} + \omega_2 EPU_{it} + \omega_3 CCPA_{it} \times EPU_{it} + \omega_4 Controls + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

在上述两个回归表达式中,分别纳入了 $CCPA$ 、 CPU 或 EPU 、以及 $CCPA$ 与 CPU 或 EPU 的交互项,系数 φ_3 和 ω_3 分别表示交互项对 FCS 的影响程度,回归控制了省份和年份固定效应。

3.2.3 中介效应检验模型 接下来,通过中介效应模型来验证影响中国森林碳储量的渠道,本文在基准模型回归式(1)的基础之上,添加如下的两个回归表达式,一同构成检验中介效应的三步法回归模型:

$$M_{it} = \alpha_2 + \beta_2 CCPA_{it} + \gamma_2 Controls + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (6)$$

$$FCS_{it} = \alpha_3 + \beta_3 CCPA_{it} + \eta M_{it} + \gamma_3 Controls + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (7)$$

本文使用的中介变量 M_{it} 依次为:森林抚育面积,森林面积,可再生能源消费量和绿色投资水平,中介效应的检验步骤依次为:验证 β_1 、 β_2 是否显著,若均显著,则验证 η 是否显著, η 显著表明存在中介渠道来解释中国 $CCPA$ 的不断提升对中国森林碳储量增长的正向影响。若 β_1 显著, β_2 和 η 有一个不显著,则需进一步通过Sobel检验明确是否存在中介效应。

3.2.4 异质性检验模型 本文的异质性检验采用两种方式:分样本回归和门限回归。首先,将样本划分成不同的区域的子样本,再在每个子样本上进行回归以检验区域异质性。这里,分别将样本划分成东-中、西部两个子样本,以及人工林区和天然林区两个子样本。分样本异质性检验采用的回归式与模型(1)一样,这里不再赘述。

其次,在不同排污许可企业数量的异质性分析中,采用门限效应回归模型分析 $CCPA$ 对 FCS 的影响:

$$FCS_{it} = \theta_0 + \theta_1 CCPA_{it}(P_{it} \leq M_1) + \theta_2 CCPA_{it}(M_1 < P_{it} \leq M_2) + \theta_3 CCPA_{it}(M_2 < P_{it} \leq M_3) + \theta_4 CCPA_{it}(M_3 < P_{it} \leq M_4) + \theta_5 CCPA_{it}(P_{it} > M_4) + \theta_6 Controls + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (8)$$

式中,下标*i*和*t*分别表示省份和年份, θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 和 θ_5 分别表示排污许可企业数量 P_{it} 在 $(0, M_1]$ 、

$(M_1, M_2]$ 、 $(M_2, M_3]$ 、 $(M_3, M_4]$ 、 (M_4, ∞) 时, $CCPA_{it}$ 的估计系数, μ_t 为年份固定效应, ε_{it} 为随机干扰项。

3.3 样本和描述性统计

本文构建的样本包含 2000 至 2017 年中国大陆 30 个省份关于森林碳储量、政府气候变化政策关注度、美国气候政策不确定性、中国经济政策不确定性和其他经济社会控制变量共同构成的非平衡面板数据, 对于部分缺失数据, 采用三年移动平均法进行插补。样本数据来源为: 历年国务院政府工作报告和各省政府工作报告、五年规划纲要、中国统计年鉴、中国林业年鉴、中国环境统计年鉴、中国能源统计年鉴、中国电力年鉴等。

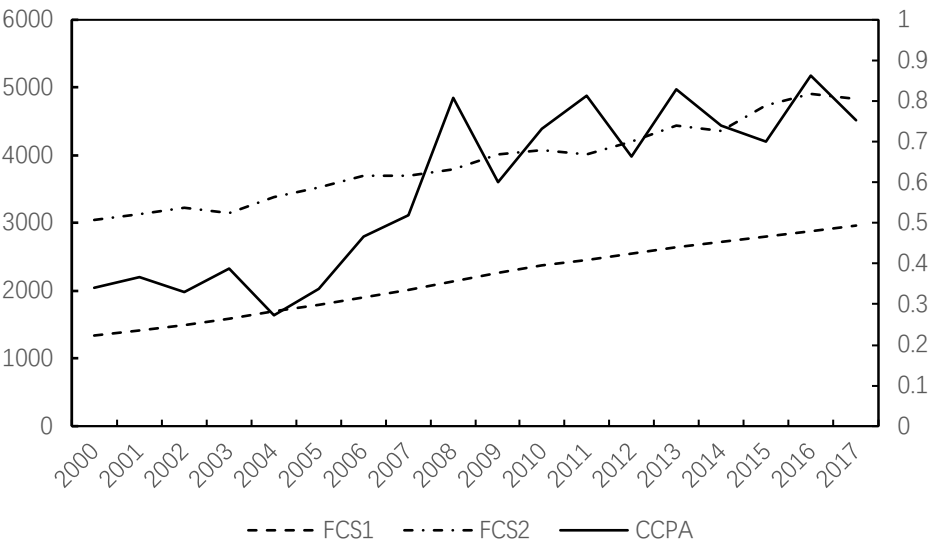
表 1 是所有变量的描述性统计, 表中列出了变量的名称、单位、样本量、均值、标准差和最值。尽管本文使用了两个不同来源的渠道计算 FCS, 但从 FCS1 和 FCS2 的均值来看, 分别为 2166.1933 10⁶ 吨 CO₂ 和 3900.4062 10⁶ 吨 C, 属于同一量级, 说明这两个渠道计算的结果可以相互印证, 保证了 FCS 计算结果的可靠性。CCPA 为本文构造的核心解释变量, 其表征的是中国各级政府对于气候变化和林业的关注程度, 可以代表中国政府试图走低碳转型、环境友好的绿色可持续发展道路。通过测算, 样本期内 CCPA 的均值为 0.5847%, 以指导中国当前经济发展的十四五规划纲要为例, 全文接近 9 万字, 那么其中以 CCPA 视角衡量的与环保相关的内容就有将近 530 余字, 这表明了中国政府对于气候变化和林业议题的高度重视。CPU 最初被提出用以衡量美国政府在气候变化政策上的摇摆, 由于美国目前仍然是世界第一大经济体, 美国的气候政策对于其他各国都有一定的影响(Ren et al., 2022)。中国和美国互为各自排名前列的贸易伙伴, 本文在实证研究中采用省级面板数据, 因此使用各省进出口占全国进出口的比值拆解 CPU, 这样就能大致获得 CPU 对于中国各省份的影响, 即为变量定义中的 adjusted CPU, 其值越大表明 CPU 对各省实现环保目标越不利, 继而阻碍了森林碳汇的增长势头。EPU 是中国的经济政策不确定性, 中国过去靠投资拉动的经济增长模式事实上是不可持续的, 中国的政策制定者也清楚地看到了以往经济增长的问题, 试图从根本上转变这样的发展路径, 践行中国政府领导人提出的“绿水青山就是金山银山”的发展理念但如果经济状况不稳定因素增多, 作为全世界最大的发展中国家, 中国会暂时将经济发展诉求的优先级高于对环保目标的追求。如本文的研究假说, 当中国的经济政策不确定性增高时, 可能会暂时的削弱 CCPA 的积极效应, 所以 EPU 增大时, 将不利于中国的绿色转型, 自然对于森林碳汇也有负面影响。表 1 中还列出了其他控制变量和中介变量的描述性统计, 文中不在赘述。

表 1 描述性统计

Variable	Unit	Obs.	Mean	Std.	Min	Max
FCS1	10 ⁶ ton (CO ₂)	540	2166.1933	2014.2432	5.3005	10527.7832
FCS2	10 ⁶ ton (C)	540	3900.4062	6682.9994	0.0241	31244.1484
CCPA	%	540	0.5847	0.2654	0.0879	1.5208
CPU	\	540	3.1224	5.7675	0.0123	40.2734
EPU	\	540	0.6676	0.2372	0.0000	1.0000
GDPP	YUAN	540	29200.9074	22918.4139	2759.0000	136172.0000
AGRI	10 ⁸ YUAN	540	1189.3180	1037.5520	40.1000	4902.7998
INDU	10 ⁸ YUAN	540	5801.3904	6600.8040	80.9000	39124.1016
SERV	10 ⁸ YUAN	540	5860.2848	6946.2369	127.6000	49500.6992
URBA	%	540	48.3021	16.5105	15.2493	90.8602
GDPG	%	540	13.4338	5.7948	-3.9504	29.8086
POPG	%	540	3.7535	18.6849	-62.4913	283.5291
COVER	%	540	29.7356	17.6956	0.6846	66.6291
IMEX	10 ⁸ YUAN	540	2552.9195	4957.6027	5.9727	34027.1875
GDP	10 ⁸ YUAN	540	12850.9806	14078.9010	263.7000	91648.7031
Energy	10 ⁴ ton	540	11043.1762	7805.2608	480.0000	38899.0000
Renewable energy	10 ⁴ ton	540	274.0046	426.0570	0.0000	3215.0000
PEST	10 ⁴ ha	540	18.5735	15.4812	0.0829	98.6884

INVEST	10 ⁴ YUAN	540	12.3665	1.4135	8.6041	15.7476
GOV_MKT	\	540	7.1929	1.8249	0.8410	12.1520
NONSTATE	\	540	7.7608	2.9440	0.6810	12.7300
TA	10 ⁴ ha	540	21.0643	19.6143	0.1474	89.4603
FA	10 ⁴ ha	540	646.4733	578.2976	1.8900	2588.9517
GI	\	540	0.2897	0.2338	0.0000	1.0000
RE	10 ⁴ ton	540	274.0046	426.0570	0.0000	3215.0000
WIND	m/s	540	1.7289	0.1613	1.2700	2.1559

图 1 绘制了两个因变量和本文最为关注的自变量 CCPA 自 2000-2017 年期间的变动趋势。自变量和因变量在每一年的值均是 30 个省份的平均值。可以发现，CCPA、FCS1 和 FCS2 的总体变动趋势大体相同，在 2000-2017 年呈现明显的上升趋势。这说明，CCPA 与 FCS 的变动呈正相关关系，这在直觉上支持了本文研究假说 1 中的关于 CCPA 影响 FCS 的猜想，但 CCPA 是否促进了 FCS 的增长，还需通过实证研究进一步验证。



注：图中 FCS1, FCS2 和 CCPA 每年的值为 30 个省份的平均值

图 1 CCPA 和 FCS 的变动趋势

4 实证结果

本章主要基于基准面板回归模型和交互效应模型，量化识别CCPA对FCS的影响以及CCPA对CPU或EPU的交互效应对FCS的影响；并在此基础上根据中介效应模型，实证检验CCPA对FCS增长的内在影响机制。

4.1 基准回归结果

基于回归式（1）~（3），基准模型结果如表 2 所示。第 1 列和第 4 列是基于公式（1）的回归结果，分别汇报了CCPA对FCS1和FCS2的影响。在控制年份固定效应和省份固定效应的前提下，CCPA分别在 1% 和 10%的水平上显著地增加了FCS1和FCS2。第 2 列和第 5 列是基于公式（2）的回归结果，分别汇报了CPU对FCS1和FCS2的影响：CPU在 5%的显著性水平上负向影响FCS1，对FCS2的影响系数为负，但不显著，这与我们的预期的回归系数的符号是一致的。第 3 列和第 6 列是基于公式（3）的回归结果，分别汇报了EPU对FCS1和FCS2的影响：类似地，EPU在 5%的显著性水平上负向影响FCS1，对FCS2的影响系数为负，但不显著。综上，CCPA对FCS具有正向影响，CPU和EPU对FCS具有负向影响，从而假说 H1 得证。此外，在分别将FCS1和FCS2对CCPA、CPU、EPU进行回归时，各控制变量的大小、符号和显著性并未发生明显变化，说明结果十分稳健。

表 2 基准回归结果

	FCS1			FCS2		
<i>CCPA</i>	379.0262*** (2.9822)			525.2544* (1.7847)		
<i>CPU</i>		-27.4578** (-2.1410)			-20.6022 (-0.6949)	
<i>EPU</i>			-176.6307** (-2.1421)			-81.3175 (-0.4265)
<i>GDP</i>	445.0337 (0.4775)	622.2637 (0.6675)	1218.1533 (1.2831)	-2774.6877 (-1.2857)	-2418.7714 (-1.1223)	-2094.1043 (-0.9538)
<i>GDP</i> ²	19.4421 (0.3914)	18.2704 (0.3656)	-14.3895 (-0.2826)	169.1140 (1.4702)	161.3798 (1.3970)	143.5558 (1.2192)
<i>AGRI</i>	0.6870*** (9.1322)	0.6458*** (8.6003)	0.6671*** (8.8889)	1.7008*** (9.7632)	1.6509*** (9.5104)	1.6640*** (9.5885)
<i>INDU</i>	-0.0411** (-2.1385)	-0.0390** (-2.0221)	-0.0418** (-2.1608)	-0.1134** (-2.5513)	-0.1102** (-2.4737)	-0.1113** (-2.4906)
<i>SERV</i>	-0.0324** (-2.0759)	-0.0240 (-1.4987)	-0.0281* (-1.7908)	-0.0705* (-1.9533)	-0.0634* (-1.7133)	-0.0673* (-1.8525)
<i>URBA</i>	-16.6389*** (-4.4981)	-16.9542*** (-4.5345)	-15.6540*** (-4.2187)	-30.3208*** (-3.5398)	-30.1090*** (-3.4835)	-29.2145*** (-3.4046)
<i>GDP</i> _G	-14.5312** (-2.4510)	-16.0700*** (-2.6961)	-15.2765** (-2.5675)	-14.6818 (-1.0695)	-16.3302 (-1.1851)	-15.7441 (-1.1443)
<i>POPG</i>	-2.8326*** (-2.9434)	-2.8819*** (-2.9743)	-2.6648*** (-2.7575)	-6.7711*** (-3.0385)	-6.7376*** (-3.0080)	-6.5913*** (-2.9494)
<i>COVER</i>	39.7834*** (6.2596)	39.2774*** (6.1448)	40.0384*** (6.2712)	167.7703*** (11.3998)	167.4922*** (11.3350)	168.0355*** (11.3813)
<i>OPEN</i>	-958.7644** (-2.2185)	-905.1515** (-2.0817)	-984.5352** (-2.2668)	-2320.1302** (-2.3184)	-2278.8256** (-2.2670)	-2330.4253** (-2.3202)
<i>STRUC</i>	560.0528*** (3.3482)	526.8342*** (3.1401)	528.3413*** (3.1492)	1193.4390*** (3.0812)	1150.4343*** (2.9661)	1152.5103*** (2.9707)
<i>TRADE</i>	-132.2312 (-1.3771)	-115.1108 (-1.1974)	-108.4958 (-1.1299)	-530.3674** (-2.3852)	-499.8649** (-2.2492)	-493.7273** (-2.2234)
<i>PEST</i>	0.4873 (0.1990)	0.4483 (0.1822)	0.7936 (0.3221)	-18.8446*** (-3.3233)	-18.8717*** (-3.3184)	-18.7004*** (-3.2819)
<i>INVEST</i>	-76.2007** (-2.2983)	-60.3094* (-1.8438)	-55.9653* (-1.7127)	-122.6115 (-1.5971)	-98.5023 (-1.3027)	-95.5501 (-1.2645)
<i>GOV_MKT</i>	-50.9561** (-2.2530)	-55.2345** (-2.4178)	-53.4986** (-2.3491)	-18.7315 (-0.3577)	-21.3932 (-0.4051)	-19.1033 (-0.3627)
<i>NONSTATE</i>	-100.5866*** (-3.9297)	-95.8197*** (-3.6995)	-102.0321*** (-3.9693)	-211.8248*** (-3.5738)	-209.5521*** (-3.4998)	-214.3893*** (-3.6066)
Intercept	-3136.5500 (-0.6802)	-4547.8611 (-0.9918)	-7306.1470 (-1.5734)	13584.5393 (1.2722)	11035.5567 (1.0410)	9495.0454 (0.8842)
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Province FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.7540	0.7518	0.7518	0.5691	0.5666	0.5664
N	630	630	630	630	630	630

(注: 括号内为 t 值; *, **, *** 分别代表 p<10%, p<5%, p<1%; FE 表示固定效应; 下同。)

4.2 交互效应

基于公式(4)~(5),交互项效应回归结果如表3所示。第1列和第3列是基于公式(4)的回归结果。在控制年份固定效应和省份固定效应的前提下,CPU分别在1%和5%的显著性水平上负向影响FCS1和FCS2,CCPA和CPU的交互项均在1%的显著性水平上正向影响FCS1和FCS2。对于FCS1和FCS2,交互项对FCS的正向影响均显著大于CPU对FCS的负向影响,说明CCPA可以有效促进中国的FCS,同时还能够有效遏制CPU对FCS的负向影响。第2列和第4列是基于公式(5)的回归结果。在控制年份固定效应和省份固定效应的前提下,EPU分别在1%和5%的显著性水平上负向影响FCS1和FCS2,CCPA和EPU的交互项均在5%的显著性水平上正向影响FCS1和FCS2。在回归式(5)的估计结果中,尽管CCPA回归系数为负,但其并不显著。对于FCS1和FCS2而言,交互项对FCS的影响均显著大于EPU对FCS的影响,即便是在此情况下考虑CCPA可能得负向影响,也可保证交互项对FCS的综合效应是促进其不断增长。这说明CCPA对FCS的正向影响,能够有效遏制EPU对FCS的负向影响。从而假说H2得证。

表3 交互项回归结果

	FCS1		FCS2	
CCPA	216.1134*	-50.0872	183.3560	-508.5219
	(1.6615)	(-0.2044)	(0.6073)	(-0.8932)
CPU	-53.6304***		-86.5985**	
	(-3.6558)		(-2.5430)	
CCPA × CPU	65.8061***		156.5763***	
	(4.0213)		(4.1218)	
EPU		-492.1314***		-878.1201**
		(-2.6531)		(-2.0371)
CCPA × EPU		589.8263**		1462.9085**
		(1.9759)		(2.1089)
Controls	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES
Province FE	YES	YES	YES	YES
R ²	0.7640	0.7581	0.5846	0.5733
N	630	630	630	630

4.3 中介效应检验

4.3.1 森林抚育面积 在控制年份固定效应和省份固定效应的前提下,CCPA在1%的显著性水平上对TA产生正向影响,而TA均在1%的显著性水平上正向影响FCS1和FCS2。这说明森林抚育面积的中介效应显著为正,CCPA通过增加森林抚育面积进而增加了森林碳储量。政府对气候变化和林业的关注程度增加时,林业增汇作为减缓和适应气候变化的一个成本有效的手段也愈发受到关注和重视,而森林抚育作为森林经营碳汇的一个重要方式也将愈受林业碳汇项目开发者的青睐,从而CCPA会增加森林抚育面积。

4.3.2 森林面积 在控制年份固定效应和省份固定效应的前提下,CCPA在5%的显著性水平上对FA产生正向影响,而FA均在1%的显著性水平上正向影响FCS1和FCS2。这说明森林面积的中介效应显著为正,CCPA通过增加森林面积进而促进森林碳储量的增长。一个可能的解释是,在政府对气候变化政策较为关注和重视时,林业碳汇价值将逐渐高于木材价值,从而理性的林农为了提高林业碳汇产量将会延长林木轮伐期而减少木材产量(朱添金等,2018),这就表现为森林面积的逐年增加,同时也使中国的FCS不断提升。

4.3.3 可再生能源消费 在控制年份固定效应和省份固定效应的前提下,CCPA在1%的显著性水平上对FA产生正向影响,而FA均在1%的显著性水平上正向影响FCS1和FCS2。这说明可再生能源消费量的中介效应显著为正,CCPA通过提高可再生能源消费量进而增加了森林碳储量。可能的解释原因是,政府对气候变化政策较为关注和重视时,会加强对温室气体排放的规制,从而限制煤炭、石油等化石能源的消费,鼓励太阳能、水电等可再生能源的消费,这一点与中国政府出台的《完善能源消费强度和总量双控制度

方案》中目标一致。可再生能源消费量的增加在减少二氧化碳排放量的同时，还会对森林碳汇量增加起促进作用(Li et al., 2023)。

4.3.4 绿色投资水平 在控制年份固定效应和省份固定效应的前提下，*CCPA*在 1%的显著性水平上对*GI*产生正向影响，而*GI*均在 1%的显著性水平上正向影响*FCS1*和*FCS2*。这说明绿色投资水平的中介效应显著为正，*CCPA*通过提高绿色投资水平进而增加了森林碳储量。政府对气候变化政策较为关注和重视时，会加强对温室气体排放企业的管制，而理性的企业在碳排放配额趋紧和利润最大化的驱动下，可能会加强节能减排和碳封存等绿色技术的研发，进而减少自身的碳排放，并将多余的碳配额在碳市场进行交易；也可能通过林业碳汇项目的开发抵消自身碳排放，同时将多余的 *CCER* 核证减排量在碳市场进行交易。

表 4 中介效应分析结果

	Path A : <i>TA</i>			Path B : <i>FA</i>		
	<i>TA</i>	<i>FCS1</i>	<i>FCS2</i>	<i>FA</i>	<i>FCS1</i>	<i>FCS2</i>
<i>CCPA</i>	10.4429*** (2.9960)	285.6308** (2.2937)	341.3122 (1.1733)	45.0258** (2.3322)	102.6283** (2.2203)	99.1737 (0.4269)
<i>TA</i>		8.9434*** (5.4557)	17.6141*** (4.5997)			
<i>FA</i>					6.1386*** (55.6705)	9.4630*** (17.0747)
Controls	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Province FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.2103	0.7688	0.5879	0.7420	0.9679	0.7352
N	630	630	630	630	630	630
	Path C : <i>REC</i>			Path D : <i>GI</i>		
	<i>REC</i>	<i>FCS1</i>	<i>FCS2</i>	<i>GI</i>	<i>FCS1</i>	<i>FCS2</i>
<i>CCPA</i>	230.7898*** (3.4645)	212.7006* (1.7827)	61.9974 (0.2332)	0.1952*** (4.4323)	233.6507* (1.8619)	343.2679 (1.1526)
<i>REC</i>		0.7207*** (8.7970)	2.0073*** (10.9979)			
<i>GI</i>					744.5966*** (5.7600)	932.1140*** (3.0382)
Controls	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Province FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.6126	0.7891	0.6581	0.3554	0.7704	0.5775
N	630	630	630	630	630	630

本文通过公式（1）、（6）和（7）构成检验中介效应的逐步回归法对 *CCPA* 促进中 *FCS* 增长的机制进行检验，中介效应的回归结果如表 4 所示。其中，Path A、B、C、D 分别是*CCPA*通过森林抚育面积、森林面积、可再生能源消费量和绿色投资水平对*FCS1*和*FCS2*的中介效应结果，从而研究假设 3 得证。

5 稳健性检验

本章分别采用 2SLS 和 GMM 对内生性问题进行处理的基础上，对基准回归结果进行稳健性检验；采用 Bootstrap 法对中介效应回归结果进行稳健性检验。

5.1 工具变量检验

在分析*CCPA*对*FCS*的影响可能存在内生性问题时：利用词频统计生成的*CCPA*变量可能存在测量误差，

从而无法完全精准、全面地衡量政府对气候变化和林业的关注程度，进而导致估计结果产生偏误。因此，选取平均风速作为工具变量对内生性问题进行处理，在此基础上，分别采用 2SLS 和 GMM 方法实证检验 CCPA对FCS的因果效应，结果如表 5 所示。

表 5 工具变量回归结果

	第一阶段	第二阶段			
	CCPA	2SLS		GMM	
		FCS1	FCS2	FCS1	FCS2
WIND	0.3115** (2.0891)				
CCPA		4083.8505** (1.9644)	8845.6040* (1.8737)	4083.8136** (2.3459)	8844.4197** (2.0940)
Controls	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES
Province FE	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.7889	0.9203	0.9636	0.9203	0.9636
N	630	630	630	630	630
F Test	27.6500***				
LM Test		4.9170**	4.9170**		

表 5 的第 1 列为第 1 阶段的回归结果，即WIND对CCPA的因果效应。在控制年份固定效应和时间固定效应的前提下，WIND在 5%的显著性水平上对CCPA产生正向影响；第 2 列和第 3 列为第 2 阶段的 2SLS 估计结果，CCPA分别在 5%和 1%的显著性水平上对FCS1和FCS2产生正向影响。就工具变量的合理性而言，第 1 阶段 F 检验的统计值为 27.65，大于经验值 10，因而不存在弱工具变量问题；第二阶段 LM 检验的统计值为 4.92，在 5%的显著性水平上拒绝了工具变量识别不足的原假设，因此选取WIND作为工具变量是合理的。第 4 列和第 5 列为第 2 阶段的 GMM 估计结果，CCPA均在 5%的显著性水平上对FCS1和FCS2 产生正向影响。综上，无论是采取 2SLS 估计方法还是采取 GMM 估计方法，CCPA对FCS总是保持正向影响，这就说明基准回归的估计结果非常稳健。

5.2 中介效应的 Bootstrap 检验

在 4.3 节，我们采用逐步回归的方法验证了 CCPA 对 FCS 促进的 4 条中介路径。参考江艇（2022）的建议，本文采用 Bootstrap 中介效应检验方法对文中 4 条作用渠道进行检验，作为逐步回归法的稳健性检验。具体地，将随机种子设置为 2023，对TA、FA、RE和GI等 4 条影响路径的中介效应进行了估计，并给出了 95%的 BCA 置信区间，结果如表 6 所示。TA、FA、RE和GI的中介效应均显著为正，同中介效应逐步法的回归结果保持一致，说明中介效应估计结果具有稳健性。

表 6 Bootstrap 检验结果

	Path A: TA		Path B: FA	
	FCS1	FCS2	FCS1	FCS2
间接效应	101.0546** (2.5400)	194.1385** (2.3700)	343.2017*** (3.0100)	524.8885*** (2.9100)
95% 置信区间	(30.7711, 195.7192)	(61.6622, 375.5455)	(140.7148, 632.9423)	(218.7007, 1049.3280)
直接效应	321.0702*** (3.6400)	324.9823 (1.0400)	78.9231* (1.6500)	-5.7677 (-0.0200)
95% 置信区间	(97.7142, 606.1984)	(246.9492, 1033.8300)	(-13.5946, 175.2736)	(-520.9485, 478.6795)
	Path C: REC		Path D: GI	
	FCS1	FCS2	FCS1	FCS2
间接效应	148.8005** (2.5200)	373.3607** (2.2900)	127.8695*** (2.7000)	181.9865** (2.0800)
95% 置信区间	(48.3274, 277.6585)	(116.8348, 755.4642)	(63.1103, 252.2662)	(33.32612, 428.3368)
直接效应	273.3243** (2.3600)	145.7601 (0.4800)	294.2553** (2.3700)	343.2679 (0.9900)
95% 置信区间	(80.2960, 547.0557)	(-406.397, 749.7421)	(75.8732, 577.8439)	(-305.7809, 948.8631)

注：中介效应 Bootstrap 检验为 95%偏差校正加速置信区间（bias-corrected and accelerated confidence interval, BCA）。

6 异质性分析

上述分析表明CCPA对FCS增长具有显著影响。但需要注意的是,上述结果是样本平均影响,在不同地区、不同林区和不同碳排放规制水平下,CCPA对FCS的影响可能表现为异质性特征。为此,我们重点从上述3个方面出发,就CCPA对FCS的影响进行异质性分析。在对异质性检验之前,将不同地区 and 不同林区的异质性归为区域异质性类别,采用与回归式(1)相同的回归模型做分组回归对其进行检验,而借助门限回归式(8)单独考察不同碳排放规制水平的异质性特征。

6.1 区域异质性

6.1.1 不同地区的异质性 在不同的经济发展程度、人才基础和技术研发水平下,CCPA的影响可能体现在减缓和适应气候变化的不同方面。因此,根据经济发展程度,将中国大陆的30个省份划分为东中部和西部两个子样本¹,分样本识别CCPA对FCS的影响,结果如表7的Panel A所示。第1列和第3列分别为东中部地区CCPA对FCS1和FCS2的影响。结果表明,在东中部地区,CCPA对FCS的影响并不显著。一个可能的原因是,东中部地区的经济发展水平相对较高,相对而言具有节能降碳技术研发的经济实力和人才基础,CCPA的影响可能主要体现在控制温室气体排放量这一目标上,而对FCS的增长影响并不明显。此外,经济实力较为雄厚的东中部地区的控排企业也可以选择从经济基础较为薄弱而森林资源相对丰富的西部地区购买林业碳汇核证减排量,抵消自身的碳排放,因而CCPA并未对FCS产生显著影响。第2列和第4列分别为西部地区CCPA对FCS1和FCS2的影响。在西部地区,CCPA对FCS产生了显著的正向影响。出现这一结果可能得原因是西部地区的经济基础较为薄弱而森林资源相对丰富,因而CCPA的影响主要体现在FCS的增长上。控排企业通过林业碳汇项目开发,在抵消自身碳排放的同时,可以将多余的林业碳汇核证减排量在碳市场进行交易,获取利润,进而促进FCS的增长。

6.1.2 不同林区的异质性 不同的采伐政策²,可能会导致不同的FCS增长速度,也会导致CCPA对FCS的影响存在差异。中国的三大林区中,南方集体林区为人工林区,西南林区和东北林区为天然林区。因此,将中国林区分为人工林区和天然林区³,分样本检验CCPA对FCS的影响,结果如表7的Panel B所示。第5列和第7列分别为人工林区CCPA对FCS1和FCS2的影响。结果表明,在人工林区,CCPA对FCS的影响并不显著。第6列和第8列分别为自然林区CCPA对FCS1和FCS1的影响。结果表明,在自然林区,CCPA分别在5%和1%的显著性水平上对FCS1和FCS2产生正向影响。可能的原因是,中国政府实施了天保工程Natural forest protection project,对自然林的经济开发有着严格的限制,随着天然林保护成效逐步显现,其FCS也在不断地积累;相比之下,人工林的商业性采伐受到的限制较小,因而其FCS增长缓慢,CCPA对FCS增长的影响并不明显。

表7 区域异质性的结果

	不同地区的异质性				不同林区的异质性			
	FCS1		FCS2		FCS1		FCS2	
	东中部	西部	东中部	西部	人工林	天然林	人工林	天然林
CCPA	170.5180	241.3429**	-4.5132	959.5770**	82.0113	746.8965**	135.8979	2378.1117**
	(1.0167)	(1.9880)	(-0.0138)	(2.2129)	(1.0331)	(2.4811)	(0.7568)	(2.6631)
Controls	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES

¹ 东中西部包括北京、天津、河北、山西、内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、海南等21个省份;西部地区包括重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等9个省份。

² 2015年,国务院印发《国有林场改革方案》和《国有林区改革指导意见》,明确规定到2020年,将有序停止天然林商业性采伐并减少20%左右的人工林商业性采伐。

³ 人工林区包括浙江、安徽、江西、福建、湖北、湖南、广东、广西、海南、贵州等10个省份;天然林区包括四川、云南、黑龙江、吉林、辽宁和内蒙古等6个省份。

Province FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R ²	0.6841	0.9687	0.4916	0.9010	0.9734	0.9602	0.8768	0.9205
N	378	162	378	162	157	108	157	108

6.2 排污许可企业数量的异质性

不同的碳排放规制水平，会影响控排企业的碳排放限额，进而对FCS的增长表现出异质性。一般而言，碳排放规制水平较高的地区，控排企业的碳排放限额越低，同时企业也可通过主动减排和购买林业碳汇来提升自身的CSR，最终可以促进FCS的增长。因此，以各省的排污许可企业数量表征碳排放规制水平。由于排污许可企业数量为连续变量，因此采用门限效应回归模型估计CCPA对FCS的影响，不同门限区间的门限值及对应的估计系数如表8所示。第1列和第5列分别为CCPA对FCS1和FCS2影响的门限值，第2~4列、第6~8列分别为存在单门限、双门限和三门限时，CCPA对FCS1和FCS2影响的估计系数。以三门限效应为例，随着排污许可企业数量的增多，CCPA对FCS的影响呈现先降低后增加的“U”型趋势。一个可能的原因是，在排污许可企业较少时，随着排污许可企业数量的增长，控排企业对包括FCS在内的CCER核证减排量的需求疲弱，进而导致CCPA对FCS的影响降低。但随着排污许可企业超过一定数量，政府出于低碳转型发展目标的需要会加强对碳排放配额的管制，从而增加控排企业对FCS的需求量，最终导致CCPA对FCS的影响持续增强。

表8 排污许可企业数量的异质性

	门限值	FCS1			门限值	FCS2		
区间1	2460	-219.0337 (-1.2093)	26.5269 (0.1496)	23.5122 (0.1340)	935	-1245.9907** (-2.2303)	-272.7037 (-0.5865)	-287.3472 (-0.6233)
区间2	2624	454.9438*** (3.6335)	930.7401*** (6.4304)	918.5297*** (6.4090)	2112	627.9173** (2.1795)	1322.5233*** (3.9412)	1301.1445*** (3.9095)
区间3	3588		307.9593** (2.5010)	300.1907** (2.4625)	3640		443.6983 (1.5197)	427.1014 (1.4750)
区间4	50336			840.9109*** (4.1435)	50336			1602.3818*** (3.3287)
F统计值		243.6300***	225.3900***	224.5000***		724.3200**	687.7500***	691.0500***

7 结论与建议

FCS的稳步增长对于全球应对气候变化问题具有重要意义，也是中国实现绿色可持续发展、达成“双碳”目标的必由之路。中国政府向来十分关注气候变化问题和林业发展，这在历年的政府工作报告和五年规划中被放在非常重要的位置加以强调，为此，本文首次提出反映中国政府气候变化和林业关注程度的指标CCPA，连同调整的CPU和EPU，考察这些指标对于中国FCS的影响。需要说明的是，为了保证结果的科学性，本文采用了2个中国在测量森林碳汇量方面较为权威的团队的方法或数据测度FCS，即借鉴方精云院士团队的研究方法估计了FCS1 (Xu et al., 2010)，直接采用了傅伯杰院士团队利用多源遥感监测和多数据融合测算的森林碳汇量数据FCS2 (Chen et al., 2023)。在此基础上，本文使用2000-2017年中国30个省份形成的面板数据，构建双向固定效应模型，分别定量地分析了CCPA，CPU和EPU对FCS影响；并在此基础上依次纳入CCPA与CPA、CCPA与EPU的交互项，定量评估CCPA与CPU或EPU的交互效应对FCS的影响；进一步，采用逐步回归法实证检验了森林抚育面积、森林面积、可再生能源消费量和绿色投资水平的中介路径，能够解释CCPA对FCS增长的作用渠道；最后，在不同区域，林区和排污许可企业数量条件下进行了异质性分析。通过实证研究，获得了如下4条主要结论：

第一，CCPA能够显著促进FCS的增长，而CPU或EPU则能够抑制FCS的增长。具体地，在考察CCPA、CPU、EPU等单一因素对FCS的影响时，回归纳入了相同的控制变量、省份和年份固定效应，结果表明CCPA对FCS具有正向影响，CPU和EPU对FCS具有负向影响。

第二，CCPA对FCS增长的促进作用，强于CPU或EPU对FCS增长的抑制作用。具体地，在CCPA对FCS的基准回归中，分别纳入CPU和CCPA×CPU、EPU和CCPA×EPU，即采用引入交互项的回归方式考察CCPA对FCS的增长效应是否强于CPU或EPU对FCS的抑制效应。结果表明，CCPA可以分别与CPU或EPU产生对于FCS的协同增长效应，即CCPA对FCS的增长效应占据主导地位，强于CPU或EPU

对 FCS 抑制效应。与此同时, 鉴于 CCPA 对 FCS 影响的主导作用, 单独就 CCPA 对 FCS 的影响评估进行内生性处理后, CCPA 对 FCS 的显著正向影响保持不变。这表明 CCPA 对于 FCS 的增长作用具有较强的稳健性。

第三, 在 CCPA 对于 FCS 增长的渠道检验中, 本文发现 CCPA 能够通过促进森林抚育面积增加、现有森林面积扩张、可再生能源消费量增长和绿色投资水平提高, 进而促进 FCS 的增长。即森林抚育面积、森林面积扩张、可再生能源消费量和绿色投资水平表现为间接效应为正, 且都可通过中介效应检验。同时, 相关的 bootstrap 检验结果表明, 森林抚育面积对 FCS1 和 FCS2 的间接效应分别为 101.0546 和 194.1385, 森林面积对 FCS1 和 FCS2 的间接效应分别为 343.2017 和 524.8885, 可再生能源消费量对 FCS1 和 FCS2 的间接效应分别为 148.8005 和 373.3607, 绿色投资水平对 FCS1 和 FCS2 的间接效应分别为 127.8695 和 181.9865。各中介变量的正向间接影响保持不变, 结论具有稳健性。

第四, 异质性分析表明 CCPA 对 FCS 的影响呈现出明显的差异化特征。就区域异质性而言, CCPA 对 FCS 的影响在东中部地区不显著, 在西部地区显著为正; 就林区异质性而言, CCPA 对 FCS 的影响在人工林区不显著, 在天然林区显著为正; 就排污许可企业数量异质性而言, 我们通过门限回归发现, CCPA 对 FCS 的影响随着排污许可企业数量的增加呈现先降低后增加的“U”型趋势。

基于本文的研究结论, 可以获得 3 条关于促进中国森林碳汇增长的政策启示, 如下:

(1) 中国政府应该持续地对气候变化问题、环境保护问题和经济的低碳转型予以高度关注, 尽快推动相关法律、法规的立法和实施, 出台有助于高质量地达成“双碳”目标的政策条例, 逐步完善和形成一揽子解决气候变化问题的法律和政策体系, 同时, 中国政府和相关部门在执行环节应当注重避免他国逆环保政策和自身经济政策不确定性的干扰, 尽最大努力维持国内经济和气候政策的稳定性, 坚定不移地走低碳、绿色、可持续发展的经济发展道路。具体到通过增加中国森林碳汇以促进双碳目标的进程, 具体要做到两点: 一方面, 重视林业在减缓和适应气候变化方面的重要作用, 完善森林资源保护和生态修复相关法律法规; 完善林业碳汇项目方法学, 加速 CCER 的重启进程, 创新林业碳汇交易机制, 为“双碳”目标的实现贡献林业方面的力量; 另一方面, 尽量维持国内气候和经济政策的稳定性, 避免政策不确定性对经济活动和森林碳汇造成的不利影响。

(2) 本文的研究证实了存在 4 条中介渠道有助于 CCPA 促进森林碳汇的增长, 依次为: 森林抚育面积、森林面积、可再生能源消费量、绿色投资水平, 它们各自都是保证 CCPA 促进森林碳汇增长的重要方式。中国政府在持续加强 CCPA 的背景下, 应该通过以下两个方面的努力来不断促进中国森林碳汇的增长: 一方面, 应当加强对森林资源的经营管理, 合理限制森林的采伐, 实现森林面积的稳定增长和森林质量的持续提升, 进而实现森林碳汇的稳步增长; 另一方面, 应当限制化石燃料等非可再生能源的消费, 鼓励薪材等可再生能源的消费, 并加强绿色技术的研发、推广和应用。

(3) 实施气候政策需要因地制宜, 根据不同的区域和管理特征实施不同的气候政策。首先, 对于东部和中部等经济较为发达的地区, 气候政策应以实现温室气体的直接减排为导向; 对于西部等经济相对落后而森林资源又较为丰富的地区, 气候政策应以充分发挥森林碳汇在减缓和适应气候变化方面的重要作用为导向。其次, 对于东北林区和西南林区等天然林区, 需继续维持在天然林保护等方面做出的工作; 对于南方集体林区等人工林区, 应合理限制人工林的商业性采伐, 并对森林进行合理经营和保护, 充分挖掘南方集体林区的森林碳汇潜力。最后, 应当合理控制企业的温室气体排放总量, 随着排污许可企业数量的增加而加强对碳排放配额的监管。

本文的研究结论预期可以对立法部门、经济决策部门和生态、林业部门等多领域、多部门协同出台法律、法规、完善政策体系发挥有益的理论参考, 从而可以妥善应对气候变化带来的挑战, 并能够助力中国早日实现“双碳”目标, 保障经济社会的高质量发展, 实现人与自然的和谐共生。

参考文献

- Richards, K.R., Moulton, R.J. and Birdsey, R.A. 1993 Costs of creating carbon sinks in the U.S. *Energ Convers Manage.* 34, 905-912.
- 徐晋涛,易媛媛. “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[J]. 农业经济问题, 2022(09):11-23.
- Lin, B. and Ge, J. 2020a How does institutional freedom affect global forest carbon sinks? The analysis of transfer paths. *Resour Conserv Recy.* 161, 104982.
- Lin, B. and Ge, J. 2021 Does institutional freedom matter for global forest carbon sinks in the face of economic development disparity. *China Econ Rev.* 65, 101563.
- Ge, J. and Lin, B. 2021 Does the Kyoto Protocol as an International Environmental Policy Promote Forest Carbon Sinks. *J Glob Inf Manag.* 30, 1-22.
- Zhao, N., Wang, K. and Yuan, Y. 2023 Toward the carbon neutrality: Forest carbon sinks and its spatial spillover effect in China. *Ecol Econ.* 209, 107837.
- He, Y. and Ren, Y. 2023 Can carbon sink insurance and financial subsidies improve the carbon sequestration capacity of forestry? *J Clean Prod.* 397, 136618.
- Im, E.H, Adams, D.M. and Latta, G.S. 2007 Potential impacts of carbon taxes on carbon flux in western Oregon private forests. *Forest Policy Econ.* 9, 1006-1017.
- Dong, L., Bettinger, P. and Liu, Z. 2021 Estimating the optimal internal carbon prices for balancing forest wood production and carbon sequestration: The case of northeast China. *J Clean Prod.* 281, 125342.
- Yuan, N., Wang, E., Lv, S., Tang, X., Wang, T., Wang, G., et al. 2023 Degradation reduces greenhouse gas emissions while weakening ecosystem carbon sequestration of Moso bamboo forests. *Sci Total Environ.* 877, 162915.
- Daigneault, A., Baker, J.S., Guo, J., Lauri, P., Favero, A., Forsell, N., et al. 2022 How the future of the global forest sink depends on timber demand, forest management, and carbon policies. *Global Environ Chang.* 76, 102582.
- Lin, B. and Ge, J. 2020b To harvest or not to harvest? Forest management as a trade-off between bioenergy production and carbon sink. *J Clean Prod.* 268, 122219.
- Liu, W., Lin, C. and Su, K. 2017 Modelling the spatial forest-thinning planning problem considering carbon sequestration and emissions. *Forest Policy Econ.* 78, 51-66.
- Baker, S.R., Bloom, N. and Davis, S.J. 2016 Measuring economic policy uncertainty. *Q J Econ.* 131, 1593–1636.
- Guo, J., Long, S. and Luo, W. 2022 Nonlinear effects of climate policy uncertainty and financial speculation on the global prices of oil and gas. *Int Rev Financ Anal.* 83, 102286.
- Shang, Y., Han, D., Gozgor, G., Mahalik, M.M. and Sahoo, B.K. 2022 The impact of climate policy uncertainty on renewable and non-renewable energy demand in the United States. *Renew Energ.* 197, 654-667.
- Li, Z., Su, C., Moldovan, N. and Umar, M. 2023 Energy consumption within policy uncertainty: Considering the climate and economic factors. *Renew Energ.* 208, 567-576.
- Lin, B. and Zhao, H. 2023 Tracking policy uncertainty under climate change. *Resour Policy.* 83, 103699.
- Zeng, Q., Ma, F., Lu, X. and Xu, W. 2022 Policy uncertainty and carbon neutrality: Evidence from China. *Financ Res Lett.* 47, 102771.
- Guesmi, K., Makrychoriti, P. and Spyrou, S. 2023 The relationship between climate risk, climate policy uncertainty, and CO2 emissions: Empirical evidence from the US. *J Econ Behav Organ.* 212, 610-628.
- Gavrilidis, K., 2021 Measuring Climate Policy Uncertainty. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3847388>.
- Xu, P., Hussain, M., Ye, C., Wang, J., Wang, C., Geng, J., et al. 2022 Natural resources, economic policies, energy structure, and ecological footprints' nexus in emerging seven countries. *Resour Policy.* 77, 102747.
- Hussain, M., Arshad, Z. and Bashir, A. 2022 Do economic policy uncertainty and environment-related technologies help in limiting ecological footprint? *Environ Sci Pollut R.* 29, 46612-46619.
- Zhou, X., Jia, M., Altuntas, M., Kirikkaleli, D. and Hussain M. 2022 Transition to renewable energy and environmental technologies: The role of economic policy uncertainty in top five polluted economies. *J Environ Manage.* 313, 115019.
- Yu, J., Shi, X., Guo, D. and Yang, L. 2021 Economic policy uncertainty (EPU) and firm carbon emissions: Evidence using a China provincial EPU index. *Energ Econ.* 94, 105071.
- Zhang, Q., Cheng, B., Diao, G., Tao, C. and Wang, C. 2023 Does China's natural forest logging ban affect the stability of the timber import trade network? *Forest Policy Econ.* 152, 102974
- Zinda, J.A., Trac, C.J., Zhai, D. and Harrell, S. 2017 Dual-function forests in the returning farmland to forest program and the flexibility of environmental policy in China. *Geoforum.* 78, 119-132.
- 刘宇,羊凌玉,张静等. 近 20 年我国森林碳汇政策演变和评价[J]. 生态学报, 2023, 43(09):3430-3441.

- Tian, H.; Zhu, J.; Jian, Z.; Ou, Q.; He, X.; Chen, X.; Li, C.; Li, Q.; Liu, H.; Huang, G.; et al. The Carbon Neutral Potential of Forests in the Yangtze River Economic Belt of China. *Forests* 2022, 13, 721.
- Gao, L.; Li, H. Improving Carbon Sequestration Capacity of Forest Vegetation in China: Afforestation or Forest Management? *Forests* 2023, 14, 1077.
- Shah, W.U.H., Hao, G., Yan, H., Zhu, N., Yasmeen, R. and Dinca, G. 2023 Role of renewable, non-renewable energy consumption and carbon emission in energy efficiency and productivity change: Evidence from G20 economies. *Geosci Front.* 101631, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101631>. (Available online 27 May 2023)
- Kwakwa, P.A. 2023 Climate change mitigation role of renewable energy consumption: Does institutional quality matter in the case of reducing Africa's carbon dioxide emissions? *J Environ Manage.* 342, 118234.
- Yang, Z., Zhang, M., Liu, L. and Zhou, D. 2022 Can renewable energy investment reduce carbon dioxide emissions? Evidence from scale and structure. *Energy Econ.* 112, 106181.
- Li, K., Kirkland, S., Yeo, B.L., Tubbesing, C., Bandaru, V., Song, L., et al. 2023 Integrated economic and environmental modeling of forest biomass for renewable energy in California: Part I - Model development. *Biomass Bioenerg.* 173, 106774.
- Jin, C., Lv, Z., Li, Z. and Sun, K. 2023 Green finance, renewable energy and carbon neutrality in OECD countries. *Renew Energ.* 211, 279-284.
- Gong, Q., Ying, L. and Dai, J. 2023 Green finance and energy natural resources nexus with economic performance: A novel evidence from China. *Resour Policy.* 84, 103765.
- Shi, D., Chen, L., Wang, X., Xu, X. and Yang, L. 2022 Rural venture investments with credits mortgaged on farmer's forests—A case study of Zhejiang, China. *Forest Policy Econ.* 143, 102814.
- 徐冰,郭兆迪,朴世龙等.2000~2050 年中国森林生物量碳库:基于生物量密度与林龄关系的预测[J].中国科学:生命科学,2010,40(07):587-594.
- Lee, S.J.; Yim, J.S.; Son, Y.M.; Son, Y.; Kim, R. Estimation of Forest Carbon Stocks for National Greenhouse Gas Inventory Reporting in South Korea. *Forests.* 2018, 9, 625.
- Zhang, Y.; Feng, Z.; Chen, P.; Chen, X. Development of a tree growth difference equation and its application in forecasting the biomass carbon stocks of chinese forests in 2050. *Forests.* 2019, 10, 582
- Chen, Y., Feng, X. and Fu, B. 2023 Above- and belowground forest biomass carbon pool in China during 2002~2021. *National Tibetan Plateau Data Center.* <https://doi.org/10.5194/essd-15-897-2023>.
- Chen Y, Feng X, Fu B, et al. Maps with 1 km resolution reveal increases in above-and belowground forest biomass carbon pools in China over the past 20 years[J]. *Earth System Science Data*, 2023, 15(2): 897-910.
- 李顺龙. 森林碳汇经济问题研究[D].东北林业大学,2006.
- 尹礼汇,吴传清.环境规制与长江经济带污染密集型产业生态效率[J].中国软科学,2021(08):181-192.
- Ren, X., Zhang, X., Yan, C. and Gozgor, G. 2022 Climate policy uncertainty and firm-level total factor productivity: Evidence from China. *Energy Econ.* 113, 106209.
- Destek, M. and Aslan, A. 2017 Renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in emerging economies: Evidence from bootstrap panel causality. *Renew Energ.* 111, 757-763.
- Wang, J., Zhang, S. and Zhang, Q. 2021 The relationship of renewable energy consumption to financial development and economic growth in China. *Renew Energ.* 170, 897-904.
- 樊纲,王小鲁,张立文等.中国各地区市场化相对进程报告[J].经济研究,2003(03):9-18+89.
- Lin, B. and Ge, J. 2019 Valued forest carbon sinks: How much emissions abatement costs could be reduced in China. *J Clean Prod.* 224, 455-464.
- 陈慧莹. 绿色金融发展对产业结构调整影响的空间效应研究[D].中国矿业大学,2021.
- 董直庆,王辉.环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J].中国工业经济,2019(01):100-118.
- 朱添金,赵庆建,杨慧等.基于 VAR 模型的碳汇价值对我国木材价格的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(05):191-195.
- 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济,2022(05):100-120.