

• 碳汇研究 •

# 中国森林碳汇发展潜力分析

陈思婷<sup>2</sup>, 黄 衍<sup>1,2</sup>, 何 霄<sup>2</sup>

(1. 福建农林大学 经济管理学院, 福州 350002; 2. 福建农林大学 计算机与信息学院, 福州 350002)

**摘 要:** 以中国 31 个省份的碳汇发展潜力为研究对象, 将 2008、2013 及 2018 年的林业统计数据作为研究数据, 基于熵权信息和模糊一致性判断矩阵对各省份的森林碳汇发展潜力水平进行定量分析, 探究森林碳汇发展的主导因素, 从地域视角和时间视角两个方面探讨目前中国森林碳汇发展的现状以及潜力。研究表明: 对森林碳汇发展影响最大的因素为木材产量、年降水量和林业重点生态工程造林面积, 影响最小的因素为森林面积和森林病虫害发生面积; 森林碳汇的发展受到资源、经济以及政策的影响。发展潜力最大的省份为广西和云南, 发展潜力最小的省份为天津和宁夏。建议通过提高森林经营管理水平, 不断完善经济政策, 以增加森林蓄积量和提升林业产业为发展方向, 全面提高中国的森林碳汇。

**关键词:** 森林碳汇; 指标体系; 熵; 模糊一致性矩阵

**中图分类号:** F326.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-5919(2022)04-0068-05

**DOI:** 10.13691/j.cnki.cn23-1539/f.2022.04.013

## Analysis on the Development Potential of China's Forest Carbon Sink

CHEN Si-ting<sup>2</sup>, HUANG Yan<sup>1,2</sup>, HE Xiao<sup>2</sup>

(1. College of Economics and Management, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;  
2. College of Computer and Information Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** This paper constructed an evaluation index system of forest carbon sequestration development potential. Taking the carbon sequestration development potential of 31 provinces in China as the research object, this paper used the forestry statistical data of 2008, 2013 and 2018 as the research data to make a quantitative analysis on the forest carbon sequestration development potential level of each province based on entropy weight information and fuzzy consistency judgment matrix, and it explored the leading factors of forest carbon sequestration development. This paper discussed the current situation and potential of forest carbon sequestration in China from the perspective of region and time. The results showed that the most influential factors on the development of forest carbon sequestration were forest stock and annual precipitation, and the least influential factors were forest area and forest fire affected area; The development of forest carbon sequestration was affected by resources, economy and policies. The provinces with the largest development potential were Guangxi and Yunnan, and the provinces with the smallest development potential were Tianjin and Ningxia. Through the improvement of forest management level and the continuous improvement of economic policies, China's forest carbon sequestration could be comprehensively improved by taking increasing forest stock and improving forestry industry as the two main development directions.

**Key words:** Forest carbon sink; Indicator system; Entropy; Fuzzy consistency matrix

收稿日期: 2021-12-30

**基金项目:** 国家自然科学基金青年项目“可变标杆面下的资源优化配置研究: 以森林碳汇效率为例”(72001042); 福建省自然科学基金项目“基于可变生产可能集的区间交叉效率研究(2019J01399)”; 中国博士后基金面上项目“共识效率下林业碳汇共同开发项目的资源优化配置研究(2021M700781)”; 福建农林大学科技创新专项基金项目(社科类)“不确定环境下森林碳汇效率的标杆设置与优化方法研究”(CXZX2021029)。

**第一作者简介:** 陈思婷(1999-), 女, 福建泉州人, 硕士研究生。

**通讯作者:** 黄衍(1983-), 女, 福建福州人, 博士, 副教授。研究方向: 林业经济政策、决策理论与方法。

**责任编辑:** 郑德胜

2020年9月20号,习近平总书记提出了实现碳达峰、碳中和的“双碳目标”。森林碳汇是指森林植物吸收大气中的二氧化碳并将其固定在植被或土壤中,在未来应对气候变化,将会扮演越来越重要的角色。

提升森林碳汇的发展潜力可以有效应对目前全球气候问题。从生态学角度,学者结合森林蓄积量、生物转换量等因子<sup>[1-2]</sup>,基于碳汇模型、计量模型对森林碳汇的潜力做出了定量分析,利用灰色方法对碳汇潜力做出预测<sup>[2-4]</sup>。森林碳汇的发展具有社会、经济、生态三重效益,为更深层次剖析碳汇潜力,学者综合生态学、经济学以及社会学视角,构建多层级的指标体系,对森林碳汇影响因素的相关性、优先性进行分析<sup>[5-6]</sup>。分析结果表明在空间维度上森林碳汇发展受到地理条件以及经济水平的制约,存在明显的区域特征,区域之间的碳汇水平呈现不平衡的发展态势<sup>[7-10]</sup>。在时间维度上,随着对森林生态功能的定位,以及对各项生态补偿政策的出台,森林碳汇呈现出不断提高的趋势<sup>[11]</sup>。然而,在目前的文献中,森林碳汇指标体系的构建缺乏对负面指标的考虑,同时基于因子分析法和层次分析法的多层级指标体系定量分析,由于过于强调主观决策,影响了最后数据分析的客观性。本文基于上述研究基础,进一步考虑森林碳汇发展中的负向指标,构建多层级的指标体系。通过熵权法对指标数据进行融合,利用序关系构建模糊一致性矩阵,对指标之间进行权重分配,基于权重结果对各省份的综合森林碳汇水平进行排序和聚类,分析我国31个省份森林碳汇潜力的时空差异及发展潜力,并提出合适的政策建议,以促进我国节能减排事业,推进生态文明建设。

## 1 数据与方法

### 1.1 指标体系构建

基于对森林碳汇指标体系的研究文献,及出于对数据可获得性的考虑,本文将森林碳汇评价指标分为正向指标 $x_1$ 和负向指标 $x_2$ ,正向指标包含:资源指标 $x_{11}$ 、营林指标 $x_{12}$ 、产业发展指标 $x_{13}$ 、环境指标 $x_{14}$ ,负向指标包含:灾害指标 $x_{21}$ ,如表1所示。

①资源指标。森林资源的多少代表了直接参与固碳过程的森林植物的多少,森林资源越丰富,森林碳汇量就会越多。

②营林指标。生态营林是指通过人工造林、人工抚育林,使森林面积增加,改善林木组成和品质,为森林生态环境的改善奠定基础。通过植树造林活动能够促进森林植被的恢复与改善,有利于进一步开发与利用森林植被的碳汇功能。再通过强化森林抚育经营,能够有效提高森林质量,促进森林碳汇功能的发挥。

③产业发展指标。林业产业若是能够快速发展,那么林业从业人员的就业率和薪酬就能大大增加,这会促使他们积极投入到林业工作中,并吸引更多人才加入林业行业,从而保障森林资源合理利用,提高森林的质量,更好地发挥森林的固碳功能。

④环境指标。森林植物固碳过程的实质是绿色植物进行光合作用。而光合作用会受温度、降水量等因素的影响。

⑤灾害指标。森林火灾会使森林大量释放在多年生长过程中固定的碳;而森林病虫害会导致树木的质量变差甚至坏死,从而使森林植被转化成逆碳。二者会对森林碳汇产生负向影响。

### 1.2 数据来源

本文的数据来源于中国统计出版社2009年、2014年、2019年出版的《中国统计年鉴》和中国林业出版社2009年、2014年、2019年出版的《中国林业和草原统计年鉴》。

### 1.3 数据处理评价方法

熵权模糊一致性互补判断矩阵是基于客观数据赋权的方法,其优势在于通过熵权法对客观指标数据进行融合,能够充分反映各项指标数据在收集过程中信息的缺失而保证各项指标的真实有效性,根据序关系来确定决策者对各项指标的偏好程度而保证赋权结果的客观性,由序关系生成的模糊判断矩阵满足决策者赋权的一致性准则而保证该方法的合理性<sup>[12]</sup>。因此,本文采用该方法对指标体系进行赋权。具体来说,首先使用标准化处理后的样本数据,通过熵权法计算出各项评价指标的熵值;然后通过模糊一致性互补判断矩阵法计算出各项评价指标的模糊偏好程度,用最小方差法计算出各项评价指标的权重,如表1所示。最后用各项评价指标权重和规范化的数据相乘得到各省份森林碳汇发展潜力的综合得

分<sup>[20]</sup>。不同年度各省森林碳汇发展潜力综合得分如图1所示,各省资源评价指标均值比较如图2所示。

表1 各项指标权重分配系数

一级指标	二级指标	权重	三级指标	权重	单位	序号	融合权重
森林碳汇量	资源指标	0.2	森林面积	0.167	万hm <sup>2</sup>	R1	0.033
			林地面积	0.222	万hm <sup>2</sup>	R2	0.044
			活立木总蓄积	0.278	万m <sup>3</sup>	R3	0.056
			森林蓄积	0.333	万m <sup>3</sup>	R4	0.067
	正向指标	0.234	造林面积	0.208	hm <sup>2</sup>	C2	0.048
			森林抚育面积	0.333	hm <sup>2</sup>	C3	0.077
			林业重点生态工程造林面积	0.458	hm <sup>2</sup>	C4	0.106
			木材产量	0.75	万m <sup>3</sup>	P1	0.197
	产业发展指标	0.263	林业总产值	0.25	万元	P2	0.066
			年降水量	0.75	mm	E1	0.127
	环境指标	0.169	年平均气温	0.25	℃	E2	0.042
			森林火灾受害面积	0.75	hm <sup>2</sup>	D1	0.103
	负向指标	0.138	森林病虫害发生面积	0.25	hm <sup>2</sup>	D2	0.034

根据各省得分的情况,确定森林碳汇发展潜力综合得分分布阶段划分标准为:第一层级0.5以上;第二层级0.4~0.5;第三层级0.3~0.4;第四层级0.2~0.3;第五层级0.1~0.2。各省不同年度综合得分分布阶段频数如表2所示。

2 结果与分析

2.1 森林碳汇各项指标权重分析

2.1.1 重视林业产业发展是森林碳汇高质量发展的前提保障

通过熵权模糊一致性矩阵的赋权方法,可得产业发展指标占据了最大的比重,其权重为0.263。这说明森林碳汇的发展是依托于林业经济发展的,以木材生产为主的产业发展依然是最重要的环节。通过提高林业总产值可以确保林业发展的经济收入,激发各级林业从业人员的积极性。

2.1.2 大力造林是森林碳汇增长的刚性保证

资源、营林指标所占比重次之,在木材等产业良性发展以及林业总产值不断提高的前提下,通过森林经营管理,不断提高森林蓄积量,可以确保森林碳汇增加

的潜力。因此,依据目前各省市制定的林业发展十四五规划,进一步提高我国的森林覆盖率依然是未来发展的重要方向。

2.1.3 生态环境是森林碳汇发展必不可少的资源条件

森林碳汇的发展提升了森林环境,从而为森林旅游、森林康养、林下经济等第三产业的发展打下良好的环境基础。因此,环境指标是森林碳汇发展中重要的一部分,占比为0.169。水分是树木生长过程中必不可少的资源条件,若是缺少水分,树木无法健康成长,而降水提供水分,故年降水量是影响森林

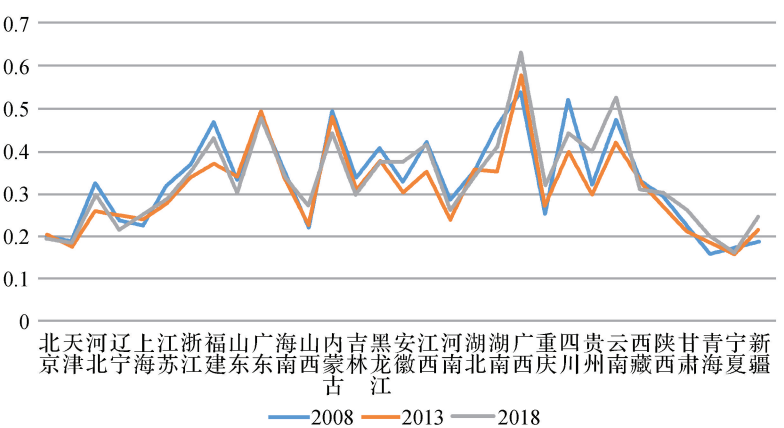


图1 各省不同年度综合得分比较结果

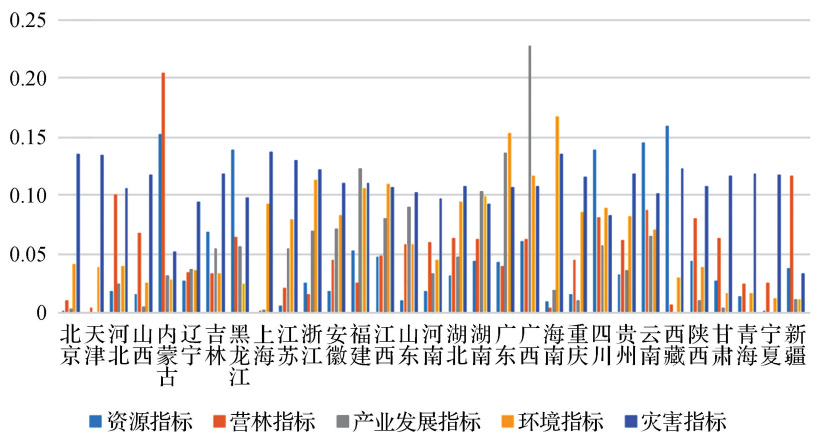


图2 各省资源评价指标均值比较图



碳汇的一个重要指标,在环境指标中的占比为 0.75,处于主导地位。

2.1.4 森林灾害是制约森林碳

汇发展的主要因素

目前,我国对森林管控和森林保护的投入的力度较大,从收集的客观数据来看森林火灾的面积和受到森林病虫害的面积较小,因此还未成为制约我国森林碳汇发展的主要因素。因此该指标所占比重最低,仅 0.138,远低于其他二级指标比重。

表 2 各省不同年度综合得分分布阶段频数分布表

得分分布段	2008		2013		2018	
	个数	占比/%	个数	占比/%	个数	占比/%
0.1~0.2	5	16.67	4	13.33	4	13.33
0.2~0.3	6	20.00	12	40.00	11	36.67
0.3~0.4	10	33.33	11	36.67	8	26.67
0.4~0.5	7	23.33	3	10.00	6	20.00
0.5 以上	2	6.67	1	3.33	2	6.67

注释:第一层级:0.5 以上;第二层级:0.4~0.5;第三层级:0.3~0.4;第四层级:0.2~0.3;第五层级:0.1~0.2。

2.2 各省份森林碳汇潜力综合得分排名分析

2.2.1 地域分布视角下中国森林碳汇发展现状评价及潜力分析

中国森林碳汇的发展存在明显的地域特征,按森林资源分布的地理位置,可以分为西南林区、南方林区、东北林区、以及三北林区。

①西南林区(四川、重庆、云南、西藏)的综合得分最高,且大多数稳定在第一层级和第二层级。西南林区的森林资源丰富且优质,作为中国主要江河流域的源头,其生态区位作用凸显,是天然林保护、退耕还林等林业重点工程的主要实施地区。2010 年我国推出了天然保护林二期保护工程,随着该工程的实施及退耕还林政策的全面推广,其森林蓄积量稳健提高。随着生态补偿效益政策的深入落实,整体上实现了经济系统、生态系统以及社会系统的良性互动,成为了中国最大的森林碳库。

②东北林区(黑龙江,吉林,内蒙古)森林资源较为丰富,森林蓄积量略高于全国平均水平,是中国国有林区、国有林场重点分布地区,且该林区的森林碳汇综合得分多数在第三层级和第四层级。但从产业资源指标可以看出,其林业产业的现状不佳。这是由于东北地区的国有林场长期存在森林经营管理不善、资金匮乏、机制僵化等问题,陷入了资源和经济的双重危机。

③南方林区(安徽、浙江、福建、江西、湖南、湖北、广东、广西、海南、贵州)的整体森林蓄积量低于全国平均水平。南方林区是中国集体林区的主要所在地,林地的权属关系较为复杂、由于地理位置的关系,其林地分布较为破碎。资源治理的复杂程度以及制度障碍使得该地区各项指标综合得分整体不高。但是随着近几年林权改革的进一步深化、科技手段的引进,以及森林经营水平的不断提高,该地区的部分省份的碳汇森林碳汇发展取得了显著的成效。

④三北林区(不属于前三个林区的省份)多数省份经济发达,但该地区整体森林资源较为匮乏,生态脆弱,其森林面积和森林蓄积量处于全国较低水平,多数省份的森林碳汇综合得分处于第四和第五层级。例如,北京和天津作为直辖市,其发展森林碳汇的资源、营林和产业发展基础都很薄弱,进而导致其发展森林碳汇存在很大的基础短板。

2.2.2 时间分布视角下的中国森林碳汇发展评价及潜力分析

森林碳汇也会受到经济水平和政策的影响。在过去十年,中国 31 个省份的森林碳汇综合得分有增长、下降、稳定三种不同的趋势。

①增长趋势:云南和广西两个省份的增长趋势最为明显,呈现逐步增长的态势。广西以造林绿化为生态建设的主体目标,强调发展商品林,致力于发展林业产业,强调将“大资源”发展为“强产业”的林业发展路径。在生态建设的前提下发展林业,其森林固碳能力也得到了稳健的发展。云南是全国的四大林区之一,森林资源丰富,碳汇总量位居全国前列,是全国仅有的 3 个碳汇高于碳源的省份之一。

②下降趋势:河北、黑龙江、内蒙古、江苏、浙江、福建、江西、河南、湖南、四川等省份在 2008 年的森林碳汇的综合得分最高,而后十年发展中,其森林碳汇的综合得分都未能达到 2008 年的水平。其碳汇量下降的主要原因是自上世纪九十年代以来,中国强调森林的生态价值,生态林的面积逐年增加,林业产业的经济地位降低,使发展出现了萎缩的趋势。

③稳定趋势:经济发达地区,如北京、上海、广东、浙江、江苏、山东,其碳汇综合得分在这十年

相对平稳。对于经济发达地区,林业在经济中的占比较小,虽然经济增幅较大,并有大量的人才流入,但是由于林业在经济中的占比较小,资金、人才以及各方资源并未进入林业发展领域,近十年的发展变化不大。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

本研究旨在通过构建的森林碳汇发展潜力指标体系,科学合理地评价各省森林碳汇的发展前景。研究发现,在森林碳汇发展潜力的评价指标体系中,二级指标里,产业发展指标权重最大,灾害指标权重最小;三级指标中,木材产量、年降水量和林业重点生态工程造林面积对各地森林碳汇发展的影响最大。同时结合全国31个省的森林碳汇潜力得分结果发现,广西、云南和广东为森林碳汇发展潜力最高的三个省份。

总体而言,我国森林碳汇发展水平偏低,各个地区森林碳汇都存在森林蓄积量低于世界平均水平,林业碳汇发展水平整体有下滑趋势,环境指标逐年提升,森林灾害等负向指标逐渐转好。由此可见,我国的森林碳汇仍有较大的增长空间。

#### 3.2 建议

①精准提升森林资源的质量。森林碳汇的关键指标是森林蓄积量,提高我国的森林蓄积量迫切需要精准提升森林资源的质量。首先要在全国范围内大力推广高代种苗。其次,在遵照新《森林法》提出的“生长量要大于消耗量”的限额采伐总原则不变的前提下,在放活和管控之间找到一个“平衡点”。

②逐步发展林业经济。将林业产业发展纳入乡村振兴和农业农村发展支持政策范围,鼓励发展林下经济,聚焦木本粮油、森林旅游康养、特色林下经济。林业资金短缺的瓶颈问题要通过拓宽林业产业投融资渠道来解决,如鼓励地方政府出台相应的林权流转奖补政策,完善林业保险政策等。

③探索生态产品补偿机制。生态产品补偿机制需要健全森林生态产品保护补偿机制,完善纵向生态保护补偿制度,建立横向生态保护补偿机制。森林碳汇作为最主要的生态产品,我们需要探索符合国情的森林碳汇计量方法,扩大全国碳汇市场,促进森林碳汇在碳市场中的交易需求。

④提高森林防护措施,防范森林灾害。目前全国大力推广“林长制”,我们可以充分运用林长制机制,加强基层的林业管护工作,强化基层林业执法力度。此外,在森林管护过程中要利用科技手段,提高对森林灾害的监管效率,要通过现有的科技创新技术提高应对森林灾害的应急响应能力。

### 参考文献:

- [1] Henrik, MeilbyFinn, Helles. A general model for assessment of the carbon sequestration potential of afforestation projects[J]. New Forests, 2011, 42(3): 383-396.
- [2] 韩旭超, 赵进, 李顺龙. 龙江森工林区森林固碳量核算及碳汇潜力评价[J]. 林业经济问题, 2016, 36(5): 434-438, 461.
- [3] 崔雪妍, 董佳宇. 森林碳汇影响因素的计量模型研究[J]. 中国市场, 2016(33): 121-122.
- [4] 谢立红, 张荣涛. 黑龙江省森林碳汇估算及潜力分析[J]. 国土与自然资源研究, 2011(4): 88-89.
- [5] 黄敏, 廖为明, 邓荣根, 等. 鄱阳湖生态经济区森林碳汇潜力计量分析[J]. 改革与战略, 2011, 27(3): 113-116.
- [6] 张娟, 林晓薇. 中国森林碳储量的影响因素研究: 基于社会经济视角[J]. 长春工程学院学报(社会科学版), 2020, 21(4): 34-39.
- [7] 夏本安, 文敏, 任煜堃, 等. 基于层次分析法的湖南省森林碳汇发展潜力评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(11): 97-102.
- [8] 续珊珊. 基于因子分析法的我国森林碳汇潜力评价[J]. 林业资源管理, 2015, (2): 51-58, 138.
- [9] 李笑笑, 李嘉. 贵州省森林碳汇潜力及发展研究[J]. 中国林业经济, 2020(1): 87-88, 92.
- [10] 陈新军, 刘扬晶, 楚春晖. 海南省森林碳汇社会因子分析[J]. 中南林业调查规划, 2018, 37(4): 48-53.
- [11] 续珊珊, 贾利, 李友华. 森林碳汇影响因素的灰色关联分析: 基于辽宁等20个省、区面板数据的实证分析[J]. 林业经济, 2010(3): 30-35.
- [12] 黄衍, 王应明, 林健. 基于广义梯形模糊数相似度的交叉效率集结[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(1): 240-250.