

# 林业生态全要素生产率的统计测度与收敛特征研究

董丙瑞<sup>a</sup>, 陈臻鹏<sup>b</sup>, 谢帮生<sup>a,b</sup>

(福建农林大学 a.经济与管理学院; b.乡村振兴学院, 福州 350002)

**摘要:**提升林业生态全要素生产率,是贯彻“绿水青山就是金山银山”理念、加快推进生态产品价值实现的现实需要。文章基于当量因子法与调整模型,核算了中国30个省份2012—2022年的林业生态价值,并结合EBM-GML模型,测算了林业生态全要素生产率、技术效率与技术进步水平。进一步地,运用Dagum基尼系数及其分解法、核密度估计和变异系数等方法,识别了林业生态全要素生产率的区域差异、动态演进与收敛特征。研究发现,在时间特征方面,2012—2022年中国林业生态全要素生产率稳步上升,增长态势逐渐由“技术进步”驱动转向“技术进步与技术效率”驱动模式;在空间特征方面,林业生态全要素生产率存在显著的空间分异情况;在动态演进方面,核密度曲线表现出右偏特征,区域间差异逐步缩小,“马太效应”弱化;在收敛性方面,全国和东部地区林业生态全要素生产率存在 $\sigma$ 收敛现象,全国及四大地区的林业生态全要素生产率均存在绝对 $\beta$ 与条件 $\beta$ 收敛特征。

**关键词:**林业生态全要素生产率;技术效率;技术进步;区域差异;收敛性

**中图分类号:**F326.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-6487(2025)15-0121-06

## 0 引言

随着我国经济进入新常态,传统粗放型生产模式已难以为继<sup>[1]</sup>。因此,要转变发展方式,发展以绿色为底色的产业体系,加快形成新质生产力<sup>[2]</sup>。党的二十届三中全会指出,“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化,加快落实绿水青山就是金山银山理念的体制机制”。落实“两山”理念就是将生态价值转化为经济价值,具体体现在生态全要素生产率上。生态全要素生产率(Ecological Total Factor Productivity, ETFP)是衡量特定区域既有资源投入上经济价值、生态效益和环境容量适配程度的效率指标<sup>[3]</sup>。提高ETFP是落实“两山”理念的重要体现。

林业作为国民经济发展的基础性产业,不仅贡献了经济价值,还具有防风固沙、固碳释氧等生态价值和社会效益<sup>[4]</sup>。特别是在全球气候变暖的背景下,森林碳汇是“碳达峰”“碳中和”目标下基于自然的解决方案<sup>[5]</sup>。但林业弱质性特征突出,其发展面临周期长、风险大的问题<sup>[6]</sup>,生产效率普遍较低<sup>[7]</sup>。在强调生态产品价值实现、落实“两山”理念的阶段,如何构建林业ETFP测算体系?不同地区林业ETFP现状如何?时空变化呈现何种特征?研究这些问题对于全面提升中国林业ETFP具有重要的现实意义。

现阶段,直接测算林业ETFP的研究较少,既有文献

主要从全要素生产率(TFP)和绿色全要素生产率(GTFP)的视角对林业生产效率展开讨论。例如,史常亮等(2017)<sup>[8]</sup>测算了林业TFP,识别了各省份林业技术变化和技术效率,但未考量环境负外部性损失。在此基础上,后续研究综合考虑了林业SO<sub>2</sub>、废水和固体废弃物排放等环境要素,对TFP进行了修正<sup>[9]</sup>,识别了空间分异情况。但此类研究仍忽视了林业资源提供的水源涵养、防风固沙、固碳释氧等生态价值,测算结果可能存在“生态偏差”。事实上,Costanza等(1997)<sup>[10]</sup>、谢高地等(2015)<sup>[11]</sup>提出了生态价值核算当量法,为测算生态价值提供了先行经验。同时,在效率测算方法上,Tone和Tsutsui(2010)<sup>[12]</sup>提出了混合距离函数Epsilon-Based Measure(EBM)模型,结合Global Malmquist-Luenberger(GML)指数有利于消除考虑单一距离函数导致的测算结果偏误,符合林业ETFP的测算体系。

综上所述,已有研究对林业生产效率展开了讨论,但仍存在一定的局限性:一是评价体系忽视了林业的生态产出价值,现有评价结果可能存在偏误;二是研究视角较少关注林业生态全要素生产率的时空特征与空间分异情况。鉴于此,本文采用当量因子法及调整模型,核算中国30个省份2011—2022年的林业生态价值,并结合数据包络分析方法与EBM-GML模型,构建了林业ETFP测算框架,测算2012—2022年的林业ETFP,揭示林业ETFP的区域差异、动态演进及收敛特征。

**基金项目:**福建省社会科学研究基地生态文明研究中心重大项目(FJ2022JDZ037);福建农林大学科技创新专项基金资助项目(KCX23F25A);福建农林大学生态文明研究中心项目(KSBXK2316)

**作者简介:**董丙瑞(1997—),男,江苏徐州人,博士研究生,研究方向:资源环境经济。

陈臻鹏(2000—),男,福建南安人,硕士研究生,研究方向:农业经济管理。

(通讯作者)谢帮生(1977—),男,福建霞浦人,教授,博士生导师,研究方向:资源环境经济。

## 1 研究设计

### 1.1 指标体系构建

林业ETFP是衡量林业资本、土地、能源等生产要素投入上获得经济产出、生态效益及环境污染的效率指标。参考已有研究<sup>[7,9]</sup>,本文选取资本、土地、能源、劳动等要素作为投入指标,选取经济产出、生态产出和“三废”作为产出指标。具体的指标体系如表1所示。

表1 林业ETFP的投入产出指标体系

指标	分项指标	基础指标	具体评价指标	计算方法	单位
投入	投入指标	资本	林业资本	以2011年为基期,使用永续盘存法计算林业固定资产投资	亿元
		土地	林地投资	林业用地面积	万公顷
		能源	林业能源消费	地区能源消费总量(标准煤)*地区林业产业总产值/地区生产总值	万吨
		劳动力	林业人力投资	林业系统在岗职工人数	百人
产出	期望产出	经济产出	林业产业产值	林业一、二、三产业产值	亿元
		生态产出	林业生态价值	采用当量法核算的林业生态价值	亿元
	非期望产出	SO <sub>2</sub> 排放	林业SO <sub>2</sub> 排放	地区工业SO <sub>2</sub> 排放量*地区林业第二产业产值/地区工业产值	万吨
		废水排放	林业废水排放	地区废水排放量*地区林业第二产业产值/地区工业产值	万吨
		固体废物排放	林业固体废物排放	地区固体废物排放量*地区林业第二产业产值/地区工业产值	万吨

在林业生态价值核算上,本文参考 Costanza 等(1997)<sup>[10]</sup>和谢高地等(2015)<sup>[11]</sup>的研究,将林业生态服务功能分为4种一级功能和11种二级功能,具体包括:食物生产、原料生产、水资源供给等供给服务,气体调节、气候调节、净化环境、水文调节等调节服务,土壤保持、维持养分循环、生物多样性等支持服务,以及美学景观等文化服务。在此基础上,构建动态当量调节因子模型<sup>①</sup>。步骤如下:

第一,本文将测算2011—2022年中国30个省份逐年期的林业生态价值<sup>②</sup>,为体现时空差异,参考薛明皋等(2018)<sup>[13]</sup>的研究,选取植被净初级生产力(NPP)和降水量因子对上述功能价值的当量因子进行修正,计算公式为:

$$AESV_{j, it} = \begin{cases} V_{n1} \times W_{1, it}, W_{1, it} = B_{it} / \bar{B} \\ V_{n2} \times W_{2, it}, W_{2, it} = P_{it} / \bar{P} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中,  $AESV_{j, it}$  表示  $i$  省第  $t$  年第  $j$  类服务功能单位面积生态服务价值当量因子;  $W_{1, it}$  表示 NPP 调节因子,用于修正可能影响的服务功能,包括气体调节、气候调节等;  $W_{2, it}$  表示降水量调节因子,修正水文调节服务功能;  $V_n$  表示该类生态系统的第  $n$  种生态服务价值当量因子,  $n1$  表示与 NPP 相关的服务功能,  $n2$  表示与降水相关的服务功能;  $B_{it}$  表示  $i$  省份  $t$  年 NPP(吨/公顷),  $\bar{B}$  表示全国年均 NPP(吨/公顷);  $P_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年降水量(米/公顷),  $\bar{P}$  表示全国年均降水量(米/公顷)。

第二,参考尹朝静等(2024)<sup>[3]</sup>的研究,采用水稻、小

麦、玉米、大豆、马铃薯等粮食作物单位面积平均净利润修正价值当量,计算公式为:

$$D = \frac{1}{12} \sum_{t=2011}^{2022} (S_t^N \times F_t^N) \quad (2)$$

式(2)中,  $D$  表示单位当量因子生态系统服务价值(元/公顷),  $N$  代表5种粮食作物,  $S_t^N$  表示第  $t$  年粮食作物播种面积占全部播种面积的比重,  $F_t^N$  表示第  $t$  年粮食作物单位面积的平均净利润(元/公顷)。

基于动态当量因子和林地利用面积,测算林业生态价值,计算公式为:

$$ESV_{it} = \sum_{j=1}^8 A_{it} \times AESV_{j, it} \times D \quad (3)$$

式(3)中,  $ESV_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年林业生态价值总量(元),  $A_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年林地利用类型的面积(公顷),其余变量的含义同上。

第三,将测算的理论生态价值进一步转化为实际生态价值。参考杨文杰等(2019)<sup>[14]</sup>的研究,使用社会发展系数再次进行修正,计算公式为:

$$ESV_{it}^r = ESV_{it} \times y_{it} = ESV_{it} \times \left[ 1 / \left( 1 + e^{-1/(E_{it}-3)} \right) \right] \quad (4)$$

式(4)中,  $ESV_{it}^r$  表示实际林业生态价值;  $ESV_{it}$  表示理论林业生态价值;  $y_{it}$  表示支付意愿,取值范围为(0,1);  $E_{it}$  表示恩格尔系数;  $e$  表示自然对数的底。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 EBM-GML模型

鉴于林业ETFP属于多投入多产出关系,参考黄万华和王梦迪(2021)<sup>[15]</sup>的研究,使用EBM模型和GML指数测算林业ETFP。同时,将其分解为林业技术效率( $EC$ )和林业技术进步( $TC$ ),计算公式为:

$$ETFP^{t,t+1} = EC^{t,t+1} \times TC^{t,t+1} \quad (5)$$

式(5)中,  $t$  表示年份,  $ETFP$  代表测度的  $ETFP$  指数值,  $EC$  代表林业技术效率,  $TC$  代表林业技术进步。若  $ETFP^{t,t+1}$  大于1,则代表林业ETFP提升;反之,则表示林业ETFP下降。此外,为消除数据量纲影响,对指标进行标准化处理,计算公式如下:

$$T_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \times 0.9 + 0.1 \quad (6)$$

式(6)中,  $T_{ij}$  表示第  $i$  年第  $j$  个指标的标准化值,  $X_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  个指标值,  $\min(X_{ij})$  和  $\max(X_{ij})$  分别表示第  $i$  年第  $j$  个指标的最小值和最大值。

### 1.2.2 Dagum基尼系数及其分解法

为识别区域差异及差异来源,参考陈博文和周世军(2024)<sup>[16]</sup>的研究,使用Dagum基尼系数测算林业ETFP的差异及其来源,计算公式为:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |Y_{ji} - Y_{jr}|}{2n^2 \bar{Y}}, G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (7)$$

①由于测算林业ETFP时已将供给服务纳入期望经济产出,因此仅对调节、支持和文化服务的生态价值予以测算。

②本文在使用EBM-GML模型测算中国30个省份2012—2022年的林业ETFP时将以2011年为基期,因此该处需核算2011—2022年逐年期的林业生态价值。

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} P_j S_j \quad (8)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (P_j S_h + P_h S_j) D_{jh} \quad (9)$$

$$G_i = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (P_j S_h + P_h S_j) (1 - D_{jh}) \quad (10)$$

其中,  $G$  表示总体基尼系数,  $G_{jj}$  为地区  $j$  的基尼系数,  $G_{jh}$  为地区  $j$  和  $h$  的区域间差异,  $G_w$  表示区域内差异,  $G_{nb}$  表示区域间差异,  $G_i$  表示超变密度,  $k$  表示地区个数,  $n$  表示省份个数,  $Y_{ji}$  表示地区  $j$  内  $i$  省份的林业 ETFP,  $\bar{Y}$  表示地区内林业 ETFP 均值,  $D_{jh}$  用于衡量不同地区间林业 ETFP 的相互影响,  $P_j = n_j/n$ ,  $S_j = n_j \bar{Y}_j / n \bar{Y}$ ,  $D_{jh} = (d_{jh} - P_{jh}) / (d_{jh} + P_{jh})$ ,  $j = 1, 2, \dots, k$ 。

### 1.2.3 核密度估计

核密度估计是非参数估计方法,能够识别林业 ETFP 的分布特征。参考董丙瑞等(2025)<sup>[17]</sup>的研究,构建核密度估计函数:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{X_i - x}{h}\right) \quad (11)$$

式(11)中,  $K(\cdot)$  代表核密度函数(高斯核函数),  $h$  为估计窗宽。

### 1.2.4 收敛模型

#### (1) $\sigma$ 收敛

本文采用变异系数检验林业 ETFP 的离散程度,计算公式为:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\ln ETFP_{it} - \ln ETFP_t)^2} \quad (12)$$

$$CV_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ETFP_{it} - ETFP_t)^2} / ETFP_t \quad (13)$$

式(12)和式(13)中,  $\sigma_t$  表示  $t$  年林业 ETFP 对数值的标准差,  $CV_t$  表示  $t$  年林业 ETFP 的变异系数,  $N$  表示省份的数量,  $\ln ETFP_t$  表示第  $t$  年林业 ETFP 对数值的均值,  $ETFP_t$  表示  $t$  年林业 ETFP 的均值。

#### (2) $\beta$ 收敛

本文从绝对  $\beta$ 、条件  $\beta$  收敛识别林业 ETFP 的  $\beta$  收敛情况。模型设定为:

$$\ln\left(\frac{ETFP_{i,t+1}}{ETFP_{it}}\right) = \alpha + \beta \ln(ETFP_{it}) + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

式(14)中,  $\ln\left(\frac{ETFP_{i,t+1}}{ETFP_{it}}\right)$  表示地区  $i$  的林业 ETFP 在第  $t$  年到  $t+1$  年的年增长率;  $\alpha$  是常数项;  $\beta$  为核心待估参数。若  $\beta < 0$ , 则表明林业 ETFP 负相关, 具备收敛特征; 反之, 则呈现发散趋势。  $u_i$ 、  $v_t$ 、  $\varepsilon_{it}$  依次代表地区固定效应、时间固定效应和随机误差项。

### 1.3 变量选取

部分指标已在林业 ETFP 测算时做出说明, 此处不再重复。此外, 考虑到地区经济发展水平、政府干预水平和林业产业结构水平会影响林业 ETFP, 因此将其作为  $\beta$  收

敛模型的控制变量。其中, 经济发展水平 ( $ECO$ ) 使用人均地区生产总值的对数值表示; 政府干预程度 ( $GOV$ ) 使用一般公共预算支出占地区生产总值的比重衡量; 林业产业结构水平 ( $FIS$ ) 借鉴唐湛和黎红梅(2017)<sup>[18]</sup>的做法, 使用产业结构层次系数法予以测算, 林业一、二、三产业的权重依次赋值为 1、2、3。

### 1.4 数据来源

为保证数据可获取性, 本文选取中国 30 个省份(不含西藏和港澳台)2012—2022 年的面板数据进行分析。林业生态价值测算使用的土地覆盖数据来自中国年度土地覆盖数据集(武汉大学, 空间分辨率为 30 米); NPP 数据来自 Google Earth Engine 平台(空间分辨率为 500 米); 降水量数据来自 ERA5-Land 数据集(欧洲中期天气预报中心, 空间分辨率为 100 米)。相关数据使用 ArcGIS 软件在省级层面进行汇总。其余数据来自《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国林业统计年鉴》《中国林业和草原统计年鉴》《全国农产品成本收益资料汇编》。缺失数据使用插值法补充。

## 2 中国林业生态全要素生产率的测度结果

### 2.1 林业 ETFP 增长的时间特征分析

2012—2022 年中国林业 ETFP 指数及其分解变化如下页图 1 所示。在时间趋势上, 林业 ETFP 变化分为增长阶段(2012—2014 年)、波动阶段(2015—2020 年)和新发展阶段(2021—2022 年)。在增长阶段, 林业 ETFP、林业 TC 大于 1, 林业 EC 小于 1, 表明林业 ETFP 和林业 TC 有所提升, 且林业 ETFP 提升是通过林业 TC 增长来实现的, 呈现“技术进步驱动”的增长态势。在波动阶段, 林业 ETFP、林业 TC、林业 EC 在 1 值附近波动, 并未实现持续增长, 原因在于自然灾害和极端气候对林业生产造成了较大影响, 阻碍了生态价值的转化。在新发展阶段, 林业 ETFP、林业 TC 大于 1, 林业 EC 在 1 值附近波动, 这表明林业 ETFP 的提升是依靠林业 TC、林业 EC 增长得以实现, 呈现“技术进步和技术效率双轮驱动”的增长态势。本文的研究结果与谭少鹏(2022)<sup>[9]</sup>的研究结果相似, 但结论更加稳健, 且识别了个别年份(2015 年、2016 年、2020 年)林业 ETFP 发展的停滞现象, 表明将生态价值纳入林业 ETFP 的测算结果是合理且必要的。

### 2.2 林业 ETFP 增长的空间特征分析

下页表 2 列示了中国 30 个省份 2012—2022 年林业 ETFP 及其分解项的几何平均值。在区域分布上, 中部地区林业 ETFP 最高(1.0449), 其次是东部地区(1.0218), 均高于全国平均水平(1.0181), 这是因为东部和中部地区经济发展水平高, 拥有更多资金用于技术研发, 实现技术创新。此外, 西部(1.0078)和东北地区(0.9917)林业 ETFP 低于全国平均水平, 东北地区甚至呈现下降态势, 原因在于西部和东北地区属于生态脆弱或以天然林为主区域, 数字技术及管理应用薄弱, 限伐高压下可能仍存在生态破坏现

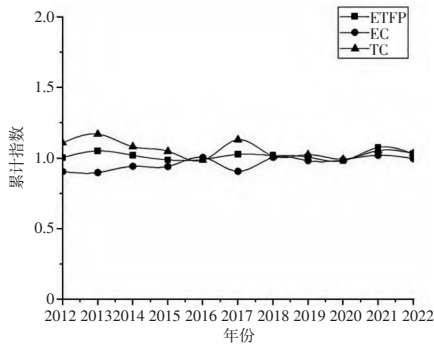


图1 2012—2022年中国林业ETFP指数及其分解变化

象。此外,全国及四大地区的林业EC均小于1,表明林业技术效率存在恶化趋势,林业资源配置存在较大优化空间。

表2 中国30个省份2012—2022年林业ETFP及其分解情况

地区	省份	ETFP	EC	TC	地区	省份	ETFP	EC	TC
东部	北京	1.0030	0.9284	1.0804	西部	内蒙古	0.9601	0.9280	1.0347
	天津	0.9982	0.9382	1.0640		广西	1.0249	0.9980	1.0269
	河北	0.9996	0.9337	1.0705		重庆	1.0152	0.9630	1.0542
	上海	1.0029	0.9348	1.0729		四川	1.0432	0.9766	1.0681
	江苏	1.0534	1.0000	1.0534		贵州	1.0438	1.0000	1.0438
	浙江	1.0339	0.9835	1.0513		云南	1.0145	1.0000	1.0145
	福建	1.0412	1.0068	1.0342		陕西	1.0153	0.9564	1.0616
	山东	1.0482	0.9729	1.0775		甘肃	0.9991	0.9436	1.0589
	广东	1.0377	1.0000	1.0377		青海	0.9867	0.9344	1.0560
	海南	1.0018	0.9380	1.0680		宁夏	0.9985	0.9566	1.0438
平均值	1.0218	0.9631	1.0609	新疆	0.9877	0.8921	1.1072		
中部	山西	1.0096	0.9460	1.0672	平均值	1.0078	0.9584	1.0515	
	安徽	1.0783	1.0254	1.0516	辽宁	0.9994	0.9087	1.0998	
	江西	1.0269	0.9793	1.0486	吉林	0.9996	0.9482	1.0543	
	河南	1.0306	0.9539	1.0804	黑龙江	0.9762	0.9221	1.0587	
	湖北	1.0654	1.0105	1.0543	平均值	0.9917	0.9262	1.0707	
	湖南	1.0604	1.0146	1.0451	全国平均值	1.0181	0.9625	1.0578	
	平均值	1.0449	0.9878	1.0578					

注:表格中的数值为几何平均值。

在省份分布上,中国30个省份2012—2022年林业ETFP提升的驱动模式存在显著差异。除天津、河北、内蒙古、甘肃、青海、宁夏、新疆、辽宁、吉林和黑龙江外,其余各省份林业ETFP均实现增长。其中,增速最快的5个省份依次是安徽(1.0783)、湖北(1.0654)、湖南(1.0604)、江苏

(1.0534)和山东(1.0482),多位于东部和中部地区,林业EC和林业TC总体较高;降幅最大的5个省份依次是黑龙江(0.9762)、青海(0.9867)、新疆(0.9877)、天津(0.9982)和宁夏(0.9985),多位于西部和东北地区。进一步分析发现,新疆、辽宁、河南、北京、山东、上海、河北、四川、海南、山西、天津、陕西、甘肃、黑龙江、青海、吉林、重庆、浙江、江西、宁夏、内蒙古、广西等省份林业TC大于1,林业EC小于1,表明林业ETFP增长是由技术进步单轮驱动;相比之下,湖北、江苏、安徽、湖南、贵州、广东、福建、云南等省份林业EC与林业TC均大于1,表明林业ETFP增长是通过效率改善和技术进步双轮驱动实现。本文不仅从区域整体角度厘清了地区发展态势,还识别了各省份林业ETFP增长的驱动模式,为林业ETFP“落后”地区实现赶超指明了努力方向。

### 3 中国林业生态全要素生产率的区域差异

采用Dagum基尼系数识别中国30个省份2012—2022年林业ETFP的空间分异情况,结果如表3所示。

在总体表现上,2012—2022年全国林业ETFP基尼系数相对较低,均值为0.023,波动幅度较小。区域内差异、区域间差异和超变密度均值依次为0.006、0.008、0.009,共同构成区域差异。

在区域内差异上,林业ETFP不均衡现象突出:东部地区(0.018)、中部地区(0.019)和东北地区(0.019)区域内基尼系数均值低于全国总体基尼系数均值;西部地区(0.028)均值略高于全国平均水平,表明西部地区林业ETFP波动较大,其余地区波动较小。同时,2017年以后区域内差异大幅下降,这可能是因为从2016年起实现环保督察全覆盖,加强了生态保护,进而缩小了区域内部差异。

在区域间差异上,林业ETFP空间分异现象依旧存在。东部与东北地区区域间差异(0.032)最大,表明东部和东北地区林业ETFP分化较大,原因在于东部地区林中分布以集体林为主,林业发展效率更高,东北地区以国有林为主,国有林区和国有林场经营效率相对较低,林业发展效率有待进一步提高。其余地区的区域间差异相对较小,也同样表明区域发展存在分异情况。

表3 全国及四大地区Dagum基尼系数及其分解情况

年份	总体	区域内差异				区域间差异						区域内差异	区域间差异	超变密度
		东部	中部	西部	东北	东部-中部	东部-西部	东部-东北	中部-西部	中部-东北	西部-东北			
2012	0.018	0.018	0.012	0.016	0.017	0.021	0.030	0.031	0.0165	0.0185	0.0184	0.004	0.009	0.005
2013	0.017	0.009	0.020	0.129	0.009	0.016	0.012	0.019	0.017	0.020	0.018	0.005	0.006	0.007
2014	0.026	0.017	0.024	0.020	0.024	0.022	0.023	0.035	0.024	0.033	0.028	0.006	0.009	0.011
2015	0.015	0.014	0.009	0.010	0.014	0.012	0.013	0.024	0.011	0.022	0.018	0.004	0.009	0.003
2016	0.025	0.019	0.017	0.025	0.024	0.025	0.031	0.031	0.022	0.023	0.025	0.006	0.011	0.008
2017	0.022	0.022	0.013	0.013	0.021	0.020	0.024	0.035	0.015	0.025	0.021	0.005	0.013	0.004
2018	0.021	0.025	0.009	0.015	0.009	0.025	0.028	0.027	0.013	0.011	0.014	0.005	0.011	0.005
2019	0.027	0.022	0.028	0.019	0.026	0.030	0.027	0.034	0.025	0.031	0.024	0.008	0.010	0.010
2020	0.023	0.023	0.020	0.029	0.024	0.025	0.034	0.041	0.029	0.030	0.031	0.007	0.015	0.006
2021	0.023	0.016	0.031	0.011	0.010	0.027	0.017	0.023	0.024	0.024	0.011	0.006	0.008	0.009
2022	0.035	0.014	0.029	0.018	0.028	0.027	0.021	0.051	0.025	0.045	0.042	0.008	0.008	0.009
均值	0.023	0.018	0.019	0.028	0.019	0.023	0.024	0.032	0.020	0.026	0.023	0.006	0.010	0.007

#### 4 中国林业生态全要素生产率的动态演进

本文采用核密度估计方法刻画林业 ETFP 的演进特征,结果如图 2 所示。

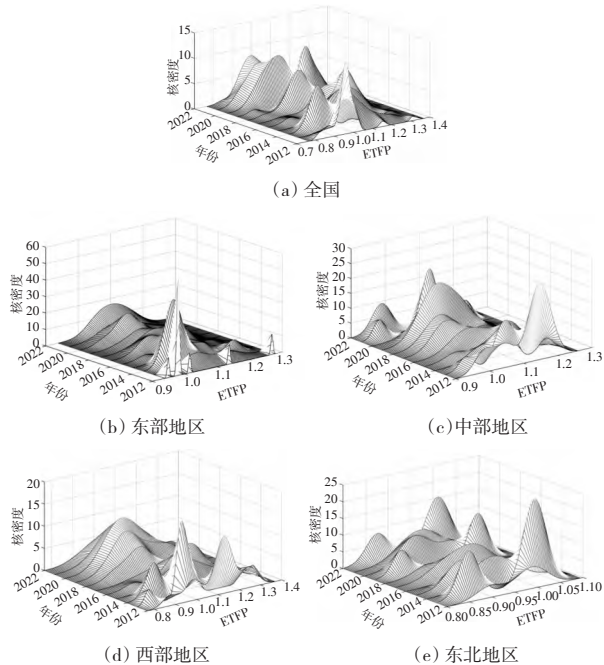


图 2 2012—2022 年全国及四大地区林业 ETFP 动态演进

在分布位置上,全国及四大地区的林业 ETFP 核密度曲线均呈现“右偏”特征,表明区域林业 ETFP 显著提升。东部和中部地区的峰值分布与全国保持一致,但西部和东北地区峰值分布偏左,表明西部和东北地区林业 ETFP 相对滞后。

在主峰形态上,全国林业 ETFP 核密度曲线呈现主峰高度收敛、宽度缓慢变窄态势,表明各省份林业 ETFP 绝对差异逐渐缩小;同时,东部和中部地区主峰位置相对集中,区域差异弱化;而西部和东北地区主峰位置相对分散,区域差异仍显著存在。

在分布延展性上,全国及东部地区林业 ETFP 核密度曲线呈现左拖尾现象,即全国及东部地区林业 ETFP 出现极端值的可能性较小,林业 ETFP 收敛现象突出;相比之下,中部、西部和东北地区林业 ETFP 核密度曲线延展性较低,区域林业 ETFP 仍存在变异。

在波峰数量上,全国及四大地区林业 ETFP 表现出一定的双峰现象,呈现两极分化趋势。其中,全国、东部、中部和东北地区林业 ETFP 早期出现双峰两极分化,近些年转为单峰单极化,表明区域林业 ETFP 差异逐步缩小,“马太效应”减弱;而西部地区林业 ETFP 呈现阶梯特征,两极分化现象依旧突出。

#### 5 中国林业生态全要素生产率的收敛性分析

##### 5.1 $\sigma$ 收敛检验

表 4 展示了中国林业 ETFP 的  $\sigma$  收敛结果。在全国层

面,2012—2022 年林业 ETFP 变异系数呈现波动式下降,差异逐渐缩小,呈现  $\sigma$  收敛态势。其中,2014 年、2016 年、2017 年全国林业 ETFP 变异系数有所上升,这可能是由于遭受低温、洪水等自然灾害,致使林业 ETFP 发展不均衡。

表 4 中国林业 ETFP 的  $\sigma$  收敛检验结果

年份	全国	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
2012	0.0682	0.0889	0.0209	0.0456	0.0456
2013	0.0584	0.0425	0.0465	0.0775	0.0793
2014	0.0784	0.0161	0.0478	0.1192	0.1265
2015	0.0551	0.0368	0.0519	0.0625	0.0629
2016	0.0635	0.0291	0.0372	0.0603	0.0840
2017	0.0828	0.0326	0.0350	0.1042	0.1047
2018	0.0597	0.0298	0.0406	0.0716	0.1160
2019	0.0468	0.0386	0.0145	0.0399	0.0898
2020	0.0406	0.0277	0.0507	0.0295	0.0426
2021	0.0469	0.0317	0.0408	0.0370	0.0456
2022	0.0615	0.0175	0.0759	0.0593	0.0592

在区域层面,东部地区林业 ETFP 变异系数波动下降,呈现收敛态势。相比之下,中部地区、西部地区和东北地区林业 ETFP 变异系数在样本期间有所上升,表明呈现扩散态势,不存在  $\sigma$  收敛。

##### 5.2 $\beta$ 收敛检验

本文采用 OLS 收敛模型检验林业 ETFP 的  $\beta$  收敛情况。在使用 OLS 收敛模型前,需要使用豪斯曼检验(Hausman test)来确定选择随机效应还是固定效应。豪斯曼检验统计量( $P=0.0386$ )在 5% 的水平上拒绝了选择随机效应的原假设,因此应选择固定效应模型。 $\beta$  收敛检验结果如表 5 和表 6 所示。

表 5 中国林业 ETFP 的绝对  $\beta$  收敛检验结果

	全国	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
$\beta$ 系数	-1.0058*** (-16.10)	-0.8901*** (-8.70)	-1.1617*** (-4.93)	-0.9590*** (-9.66)	-1.5656*** (-9.42)
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
Constant	0.0167*** (4.86)	0.0228*** (4.93)	0.0405*** (3.14)	0.0058 (0.99)	-0.0137 (-1.45)
Observations	300	100	60	110	30
R-squared	0.546	0.643	0.548	0.551	0.860

注:括号中数值为 t 值;\*,\*\*、\*\*\* 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上显著。下同。

表 6 中国林业 ETFP 的条件  $\beta$  收敛检验结果

	全国	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区
$\beta$ 系数	-1.0150*** (-16.21)	-0.8955*** (-8.72)	-1.2180*** (-5.07)	-0.9501*** (-9.39)	-1.6149*** (-13.39)
ECO	0.0151 (1.30)	0.0115 (0.66)	0.0280 (0.56)	-0.0037 (-0.16)	-0.1933 (-1.13)
GOV	-0.0641 (-1.03)	-0.1244 (-1.33)	-0.1325 (-0.60)	0.0512 (0.40)	1.2618 (1.32)
FIS	0.0878 (0.29)	-0.0869 (-0.23)	-3.1110** (-2.37)	0.4485 (0.88)	7.2964*** (3.82)
地区固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
Constant	-0.1343 (-1.03)	-0.0328 (-0.17)	0.7365 (1.32)	-0.0921 (-0.35)	-0.5850 (-0.32)
Observations	300	100	60	110	30
R-squared	0.552	0.657	0.614	0.557	0.946

表 5 的绝对  $\beta$  收敛检验结果显示,全国及各地区的  $\beta$

系数均在1%的水平上显著为负,在一定程度上支持了区域的收敛态势。进一步纳入控制变量后,表6的条件 $\beta$ 收敛检验结果显示, $\beta$ 系数依旧为负,且绝对值有所增大,表明经济发展水平、政府干预程度和林业产业水平在一定程度上加快了林业ETFP的收敛速度,再次证实了区域收敛现象的存在。

## 6 结论与建议

### 6.1 结论

本文运用当量因子法和调整模型核算了中国30个省份2012—2022年的林业生态价值,并结合EBM-GML模型测算林业生态全要素生产率(ETFP)、技术效率(EC)和技术进步(TC)。进一步地,采用Dagum基尼系数及其分解法、核密度估计和变异系数等方法,识别林业ETFP的区域差异、动态演进和收敛特征。主要结论如下:

(1)在时间分布上,2012—2022年林业ETFP的变化总体可分为三个阶段:增长阶段(2012—2014年),林业ETFP呈现“技术进步驱动”的增长态势;波动阶段(2015—2020年),林业ETFP发展受阻;新发展阶段(2021—2022年),林业ETFP呈现“技术进步和技术效率双轮驱动”的增长特征。各省份也相应地呈现“技术进步驱动”“技术进步和技术效率驱动”的增长特征。

(2)在区域差异上,2012—2022年林业ETFP不均衡现象依旧存在,东部、中部和东北地区区域内差异小于全国均值,总体差异不大;而西部地区高于全国均值,呈现一定的分异特征。

(3)在动态演进上,核密度估计结果显示,全国林业ETFP核密度曲线呈现右偏的双峰分布特征,具有左拖尾的收敛现象,表明全国层面上林业ETFP的区域差异逐渐缩小,“马太效应”减弱,但区域间变异现象依旧存在。

(4)在收敛性方面,分析发现,全国和东部地区林业ETFP存在 $\sigma$ 收敛现象;全国及四大地区林业ETFP均存在绝对 $\beta$ 和条件 $\beta$ 收敛现象。

### 6.2 建议

第一,紧抓技术效率和技术进步拉动林业ETFP增长的“双引擎”。一方面,有关部门应建立林业科技园区,积极搭建“林博会”“竹博会”等技术交流平台,促进林业科技成果转化,提升技术效率;另一方面,要积极引导林业发展和创新支持,进行林业关键技术研发,发展林业新质生产力。

第二,持续提升政府干预程度与林业产业结构水平。一方面,林业ETFP收敛性与地区政府干预密切相关,要积极出台支持林业发展的财政、税收和金融政策,激励更多主体参与林业生态建设与保护工作;另一方面,要科学谋划产业发展布局,持续优化林业产业结构,形成特色鲜明的产业集群和产业带。

第三,立足资源禀赋,充分发挥比较优势。一方面,要根据资源禀赋,制定切实可行的林业发展策略。例如,东部和中部地区林业以集体林为主,应深化集体林权制度改革,提升集体林业经营发展水平;西部和东北地区林业以国有林为主,需优化国有林管理和运营模式,充分发挥规模效应。另一方面,要积极推动建立区域资源共享的协调机制,加强区域合作。

### 参考文献:

- [1]韩永辉,黄亮雄,王贤彬.产业结构优化升级改进生态效率了吗?[J].数量经济技术经济研究,2016,33(4).
- [2]黄群慧,盛方富.新质生产力系统:要素特质、结构承载与功能取向[J].改革,2024(2).
- [3]尹朝静,杨坤,田云.中国农业生态全要素生产率增长:经验事实、区域差异与动态演进[J].中国农村经济,2024(2).
- [4]肖寒,欧阳志云,赵景柱,等.森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例[J].应用生态学报,2000(4).
- [5]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(9).
- [6]刘璨,李成金,许兆军,等.我国林业财政政策研究[J].林业经济,2014,37(1).
- [7]Dong B, Chen L, Zhang Y, et al. How Does Green Credit Supply Enhance the Efficiency of Forestry Ecological Development? Taking the Perspective of Ecological Total Factor Productivity [J].Journal of Cleaner Production,2025(488).
- [8]史常亮,揭昌亮,石峰,等.中国林业技术效率与全要素生产率增长分解——基于SFA-Malmquist方法的估计[J].林业科学,2017,53(12).
- [9]谭少鹏.我国林业绿色全要素生产率测度及其影响因素[J].中南林业科技大学学报,2022,42(8).
- [10]Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital [J].Nature,1997,387(6630).
- [11]谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8).
- [12]Tone K, Tsutsui M. Dynamic DEA: A Slacks-based Measure Approach [J].Omega,2010,38(4).
- [13]薛明皋,邢路,王晓艳.中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估[J].中国土地科学,2018,32(9).
- [14]杨文杰,刘丹,巩前文.2001—2016年耕地非农化过程中农业生态服务价值损失估算及其省域差异[J].经济地理,2019,39(3).
- [15]黄万华,王梦迪.长江经济带制造业绿色技术创新效率测度[J].统计与决策,2021,37(19).
- [16]陈博文,周世军.中国数字经济发展水平的区域特征与演变趋势[J].统计与决策,2024,40(3).
- [17]董丙瑞,李心毓,陈宋艺,等.中国农业生态产品价值转化效率空间格局及动态演进[J].中国环境管理,2025,17(2).
- [18]唐湛,黎红梅.城镇化对林业产业结构优化影响的实证分析[J].农业现代化研究,2017,38(2).

(责任编辑/梁红)