

DOI: 10.5846/stxb201704190698

何亚芬,谢花林.中国林地绿色利用效率的时空差异分析.生态学报,2018,38(15): - .

He Y F, Xie H L. Spatio-temporal difference analysis of green utilization efficiency of forested land in China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(15): - .

## 中国林地绿色利用效率的时空差异分析

何亚芬,谢花林\*

江西财经大学生态文明研究院,南昌 330013

**摘要:**林地资源利用是一个多投入、多产出的系统,其产出不仅有直接的经济价值,而且具有宝贵的生态价值。权衡林地利用的经济价值和生态价值是可持续发展的问题。林地绿色利用效率是评价林地利用是否可持续的重要方法。采用价值当量法估算中国 31 省市林地的生态功能价值当量,在此基础上,运用 SBM 模型评价了 1998 年、2003 年、2008 年和 2013 年的林地绿色利用效率,并分析了中国 31 省市林地绿色利用效率损失的主要原因和改善方向。得出的结论有:在 1998—2013 年期间,中国 31 省市的林地绿色利用效率呈现先下降后回升的态势;东部沿海以及拥有传统林区的省市的林地绿色利用效率表现最佳,而青海等地的林地绿色利用效率最低;对于缺乏效率的省市来说,应分清林地绿色利用效率损失的本质原因,由劳动力投入以及固定资产投资冗余导致的效率损失应加大重视程度,有的放矢,减少浪费;针对区域生态功能薄弱环节,应合理规划森林类型和林木种类,同时注意对区域森林生态系统的构建和维护。

**关键词:**林地绿色利用效率;生态价值;价值当量法;SBM 模型

## Spatio-temporal difference analysis of green utilization efficiency of forested land in China

HE Yafen, XIE Hualin\*

*Institute of Ecological civilization, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China*

**Abstract:** Forested land use is a system with multi-input and multi-output. Its output has direct economic value and precious ecological value. Evaluating the economic and ecological value of forested land use is of great importance with regard to sustainable development. Green use efficiency of forested land is an important method to evaluate the sustainable use of forested land. The value equivalent method is adopted to estimate the equivalent weights of ecological value of forested land in 31 provinces and cities in China. Based on that, green utilization efficiency of forested land in 1998, 2003, 2008, and 2013 in 31 provinces and cities in China is evaluated through slack-based measure (SBM) model, and the main reasons for efficiency loss and improving directions are analyzed. Conclusions are as follows: during 1998—2013, green utilization efficiency of forested land trended down at first and trended up later. With regard to green utilization efficiency of forested land, the best performing areas are eastern coastal areas and provinces and cities with traditional forested area, while provinces such as Qinghai are the worst performers. For inefficient provinces and cities, the essential reasons for efficiency loss should be clarified. More attention should be paid to efficiency loss caused by redundant labor force and fixed-asset investment. Targeted approaches should be taken to reduce waste. Aiming at the vulnerable spots of regional ecological function, forest types and tree species should be classified reasonably, and more attention should be paid to the construction and maintenance of regional forested ecological system.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(41561040);江西省主要学科学术和技术带头人资助计划(20172BCB22011);江西省高校科技落地计划项目(KJLD14033);江西省经济社会发展重大招标课题(17ZD03);江西省教育厅科技项目(GJJ160431)

**收稿日期:**2017-04-19; **网络出版日期:**2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiehl\_2000@163.com

**Key Words:** forested land green utilization efficiency; ecological value; the value equivalent method; SBM model

林地不仅能够产出直接的经济价值,而且具有宝贵的生态价值<sup>[1]</sup>。但这两种价值往往会产生冲突,冲突的根源表现在经济利益往往在短期内就能看到,而林地的生态价值形成于长期的积累,一旦遭到破坏要想恢复则非常困难。在改革开放初期,绝大多数人没有意识到林地的生态价值,而只看到短期的经济利益,从而导致林地的变化。刘纪远等<sup>[2]</sup>通过解译 1980 年代末、1995 年、2000 年、2005 年和 2010 年等 5 期遥感影像图,基于土地利用动态区划的方法发现在 1980—2000 年之间,中国的林地减少了  $10.89 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,主要集中在东北等重点林区有林地的砍伐和农耕地扩张对林地占用。这一时期,中国人口增长较快,人们从事的各类社会经济活动加剧,造成具有相对较高收益的种植业快速发展,伴随着耕地的扩张,林地面积不断缩减,而这一土地利用变化多发生在山区河谷、沟谷、坡地及丘陵岗地等水热自然条件较好的生态脆弱地区。将生态脆弱区开发用于农业生产,常常会造成水土流失、水质污染、土壤污染等生态和环境问题。例如,长江上中游不合理的耕作方式和毁林开荒,每年输入长江的泥沙量达  $2 \times 10^9 \text{ t}$ ,其中 2/3 来自坡耕地。再如山西是全国水土流失面积大、分布广、危害最严重的地区之一。据调查,山西水土流失面积达  $1.08 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,每年平均向黄河、海河输送泥沙  $4.56 \times 10^8 \text{ t}$ 。同时,由于天然林木价值不菲,我国传统林区出现过量采伐和乱砍滥伐等问题。这种因乱砍滥伐造成的森林破碎和损失带来严重的后果之一就是生物多样性的减少,包括珍贵的林木树种的减少以及因生境遭到破坏而出现的动物物种的灭绝<sup>[3-4]</sup>。

20 世纪 90 年代我国林地面积总量减少,生态环境问题频出,1998 年长江爆发历史性的洪水给人们敲响了警钟。1998 年 8 月至 2000 年 1 月、2001 年初,国务院先后批准实施六大林业重点工程规划,并将其列入“十五”计划。六大工程分别是:天然林资源保护工程、退耕还林工程、“三北”及长江中下游等重点防护林体系建设工程、京津风沙源治理工程、野生动植物保护及自然保护区建设工程、重点地区速生丰产用材林基地建设工程。2003 年国家颁布了《退耕还林条例》,退耕还林进入全面依法实施的阶段。国家实施六大林业重点工程的意义在于发挥森林作为“大自然总调度室”的作用,同时提高我国森林资源的蓄积量,满足国民经济各部门对森林资源的需求。事实证明,六大林业工程实施卓见成效,根据刘纪远等<sup>[2]</sup>的测算结果:2000—2010 年,我国的林地面积增加  $2.37 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,主要集中在黄土高原、南方丘陵区等。尽管林地面积有所增加,但新增林地发挥的生态功能价值如何?与林地的投入相比,林地的产出,尤其是绿色产出是否是有效率的?福建和江西是我国森林覆盖率最高的两个省份,然而在不少研究中,这两个省份无论是综合生态功能服务价值还是单项生态功能服务价值都不能完全领先于中国的其他省份,原因出在哪里?

土地资源的利用是一个多投入、多产出的系统,评价其利用效率应该把多种投入与产出进行对比,考虑其综合效率,才能真正说明评价单元效率的高低<sup>[5]</sup>。林地更是如此,除了经济产出外,其带来的生态服务价值对全球生态安全意义重大。因此林地绿色利用效率可以表达为在适度的投入水平下,维持林业经济收益不降低的前提下,发挥出更多的林地生态功能价值。因此,本文在这样的概念背景下评价林地的绿色利用效率。

从现有的文献看,国内外学者运用不同的分析方法对林业效率进行评价,从投入角度,有对劳动投入要素—伐木工人的生产技术效率进行评价和分析<sup>[6]</sup>,有对资金使用效率的分析评价<sup>[7-9]</sup>以及对作为投入要素之一的土地的利用效率进行评价<sup>[1]</sup>;从研究层次来看,学者们已经对特定的林木类型、产品、行业、区域等的林业效率开展了大量研究<sup>[10-14]</sup>,为林业效率的评价奠定了基础。这些研究所考察的侧重点各有不同,但他们的模型产出指标都是基于林业经济效益设定的。对于林业这一产业来说,投入要素除了劳动和资本投入外,土地投入也是必要的,而林地作为一种土地利用类型,其利用过程会产生诸如气候调节、土壤保持等的生态服务价值,在实际研究中,由于生态系统服务价值估算还没有成熟的定价方法,多数学者都是采用一些替代法计算,但由于不同人对参数选取的差异,所得结果往往差异很大,从而限制了对林地生态系统服务功能及其价值的客观认识<sup>[15-16]</sup>,因此现阶段将林地的生态服务功能价值纳入到效率评价指标体系的研究较少。目前,在生态系统服务价值评估方面,国际上较为有影响力的是 Costanza 等<sup>[17]</sup>在 Nature 上发表的关于生态系统服务价

值核算和联合国资助的千年生态系统评估项目(MA)<sup>[18]</sup>,谢高地团队在两者的基础上对中国 700 位具有生态学背景的专业人员进行问卷调查,于 2008 年发布了符合中国实际情况的生态系统服务评估单价体系—当量因子表,该表于 2015 年被进一步改进,其评价结果更加客观实用<sup>[16,19]</sup>。改进后的当量因子表被众多学者广泛用于国内生态系统服务价值的评估<sup>[20-22]</sup>并取得良好效果,因此本文尝试基于当量因子表考察各研究年份的林地生态系统服务价值,将它们作为林地的绿色产出纳入到效率评价中。

从效率的评价方法来看,DEA(数据包络分析法)是应用最广泛的效率计算模型,自 1978 年第一个 DEA 模型建立以来,理论研究不断深入,应用领域也日渐广泛,目前已成为管理科学和系统工程领域一种重要而有效的分析工具<sup>[23]</sup>。但作为传统的效率计算模型,DEA 也存在一些致命的缺点,它在评价效率时没有考虑投入和产出的松弛问题,且可能会由于径向及角度的选择而带来效率的测算偏差<sup>[24]</sup>。为了克服这一缺陷,Tone<sup>[25]</sup>提出了非径向、非角度的 SBM 模型,该模型可以把松弛变量直接放入目标函数,从而可以全面考虑每个决策单元的输入和输出。Zhang 等<sup>[24]</sup>、潘丹等<sup>[26]</sup>、谢花林等<sup>[27]</sup>将此方法应用到能源、农业产出和工业用地等的效率可持续性评价中并取得较好的研究成果。因此,本文选取 SBM 模型作为林地绿色利用效率的评价方法。

## 1 研究方法和数据

### 1.1 林地生态价值当量

根据千年生态系统评估(MA)<sup>[18]</sup>的方法,将生态系统服务分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务 4 大类<sup>[28]</sup>,并进一步细分为食物生产、原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持、维持养分循环、生物多样性和美学景观等 11 种服务功能<sup>[19]</sup>。根据千年生态计划(MA)<sup>[18]</sup>给出的定义,食物生产是指将太阳能转化为能食用的植物和动物产品。原材料生产是指将太阳能转化为生物能,给人类作建筑物或其他用途。水资源供给是指由各生态系统提供的、为居民生活、农业(灌溉)、工业过程等使用的水资源。气体调节是指生态系统维持大气化学组分平衡,吸收 SO<sub>2</sub>、吸收氟化物、吸收氮氧化物。气候调节是指对区域气候的调节作用,如增加降水、降低气温等。水文调节功能是指生态系统截留、吸收和贮存降水,调节径流,调蓄洪水、降低旱涝灾害。净化环境功能是指植被和生物去除和降解多余养分和化合物,滞留灰尘、除污等,包括净化水质和空气等。维持养分循环功能是指对 N、P 等元素与养分的储存、内部循环、处理和获取。保持土壤是指有机质积累及植被根物质和生物在土壤保持中的作用,养分循环和累积。美学景观功能是指生态系统具有(潜在)娱乐用途、文化和艺术价值的景观。林地兼具以上生态服务功能,本文采用价值当量法计算林地的生态功能价值当量,其中林地供给服务中的食物生产、原料生产和水资源供给的生态功能价值被计算在林地经济产出中,为避免重复计算,这里仅考虑除食物生产、原料生产和水资源供给以外的 8 种生态服务功能。具体的林地生态系统服务价值当量因子对照表见表 1。

表 1 单位面积生态系统服务价值当量

Table 1 Unit area ecosystem service value equivalent

生态系统分类 Level		调节服务 Regulating				支持服务 Supporting		文化服务 Cultural	
一级分类 Level 1	二级分类 Level 2	气体调节 Gas regulating	气候调节 Climate regulating	净化环境 Purify environment	水文调节 Hydrological regulating	土壤保持 Soil conservation	维持养分循环 Maintain nutrient cycling	生物多样性 Bio-diversity	美学景观 Aesthetic
森林 Forest	针叶	1.70	5.07	1.49	3.34	2.06	0.16	1.88	0.82
	针阔混交	2.35	7.03	1.99	3.51	2.86	0.22	2.60	1.14
	阔叶	2.17	6.50	1.93	4.74	2.65	0.20	2.41	1.06
	灌木	1.41	4.23	1.28	3.35	1.72	0.13	1.57	0.69

该表部分摘自谢高地等<sup>[19]</sup>于 2015 年发表在自然资源学报第 8 期第 30 卷《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》的文章上

### 1.2 林地绿色利用效率评价方法

作为 DEA(数据包络分析)模型的改进,SBM 模型增加了投入或产出要素的松弛变量,从而使得在评价投入或产出存在非零松弛问题方面的效率时更客观更准确。该模型的基本形式为:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_{m0}^x}{x_{m0}}}{1 + \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{s_{j0}^y}{y_{j0}}}$$

$$S.T. \begin{cases} x_0 = X\lambda + s_0^x \\ y_0 = Y\lambda - s_0^y \\ \lambda \geq 0, s_0^x \geq 0, s_0^y \geq 0 \end{cases}$$

投入冗余比例即投入要素可缩减比率:  $\bar{X} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_{m0}^x}{x_{m0}}$

产出不足比例即产出可扩大比率:  $\bar{Y} = \frac{1}{J} \left( \sum_{j=1}^J \frac{s_{j0}^y}{y_{j0}} \right)$

式中,  $m$  和  $j$  分别代表  $DMU_0$  的投入和产出;  $s_{m0}^x, s_{j0}^y$  分别代表  $DMU_0$  投入和产出的松弛变量,即投入的冗余量和产出的不足量;  $\rho$  代表被评价的  $DMU_0$  的效率值,  $\rho$  满足  $0 \leq \rho \leq 1$ , 且关于  $s_{m0}^x, s_{j0}^y$  严格单调递减; 当  $\rho = 1$ , 并且  $s_{m0}^x, s_{j0}^y$  都等于 0 时,  $DMU_0$  是强有效的; 当  $\rho = 1$ , 并且  $s_{m0}^x, s_{j0}^y$  不都等于 0 时,  $DMU_0$  是弱有效的; 当  $\rho < 1$  时,  $DMU_0$  是无效率的。  $\lambda$  是非负向量, 当  $\lambda = 1$  则  $T(x)$  处于规模报酬可变的情况, 当  $\lambda > 1$  则  $T(x)$  处于规模报酬非递减的情况, 当  $\lambda < 1$  则  $T(x)$  处于规模报酬非递增的情况。

从公式中可以看出: SBM 模型将投入和产出的松弛量直接放入目标函数中, 不仅能测算出各个决策单元的绿色利用效率值, 还能得出特定决策单元与最优决策单元相比较的期望产出不足率和投入冗余率, 从而为各地区提供相应的绿色利用效率改善方向。当生产单元存在效率损失(即  $\rho < 1$ )时, 基于松弛变量, 可以将绿色效率损失的来源分解为: (1) 投入冗余, 表示投入要素的可缩减比例; (2) 期望产出不足, 表示期望产出的可扩张比例。

### 1.3 数据和变量

考虑到林地的投入产出, 最终选取了林业用地面积、林业从业人员人数、固定资产完成额作为投入指标, 林业总产出作为经济产出指标, 调节功能价值、支持功能价值和景观功能价值作为林地利用的绿色产出指标。从第五次全国森林资源清查(1994—1998 年)开始采用修订后的技术规定和技术标准, 为保持数据的统一性, 本文选取中国 31 省市(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省)1998 年及以后的数据进行林地绿色利用效率评价, 为了观察林地绿色利用效率的时空变化, 具体的研究年份分别为 1998 年、2003 年、2008 年

表 2 林地绿色利用效率投入产出指标

Table 2 The inputs and outputs indexes of forested land green use efficiency

指标 Indicator	变量 Variable	变量说明 Variable description
投入 Inputs	土地投入	林业用地面积/hm <sup>2</sup>
	劳动力投入	林业从业人员/万人
	固定资产投入	年内固定资产完成额/万元
经济产出 Economic outputs	林业总产值	林业总产值/万元
绿色产出 Green outputs	调节功能价值	生态价值/价值当量
	支持功能价值	生态价值/价值当量
	美学景观价值	生态价值/价值当量

景观功能价值不包括森林旅游产值

以及 2013 年,其中涉及到的林业用地面积( $\text{km}^2$ )、林业从业人员人数(人)、固定资产完成额( $10^4$ 元)以及林业总产出( $10^4$ 元)数据主要来源于对应年份的中国林业统计年鉴,其中固定资产完成额和林业总产出分别以固定资产投资价格指数和 GDP 平减指数以 1998 年为基期进行折算,而计算各类生态功能价值所需的各个区域的森林资源状态主要来源于全国森林资源清查资料。

## 2 林地绿色利用效率测算结果分析

### 2.1 林地绿色利用效率趋势变化

以 DEA-SOLBER PRO 软件为计算平台,使用 SBM 模型测算中国 31 省市 1998 年、2003 年、2008 年和 2013 年的林地绿色利用效率,结果见图 1。

图 1 表明:1998 年到 2013 年间中国 31 省市的林地绿色利用效率经历了一个先下降后上升的过程。在 1998—2008 年期间,林地绿色利用效率持续下降,而在 2008—2013 年期间,林地绿色利用效率回升,从图 1 上可以看出到 2013 年,中国 31 省市的林地绿色利用效率基本恢复到 1998 年的水平。总的来说,中国 31 省市的林地绿色利用效率都保持在相对较高的水平。分析林地绿色利用效率的变化趋势,可能的原因是:一直以来,政府对林地的管制并不严格,毁林开荒、对天然林的乱砍滥伐一直存在,从而导致林地的质量和数量的双重下降,这无疑导致了林地生态功能的削弱。而国家层面的六大林业工程于 2000 年左右经国务院正式批准,但从国家到地方,政策的实施需要一个过程,并且林木的生长也需要一定年限,因此林地绿色利用效率的恢复出现在 2008 年左右。

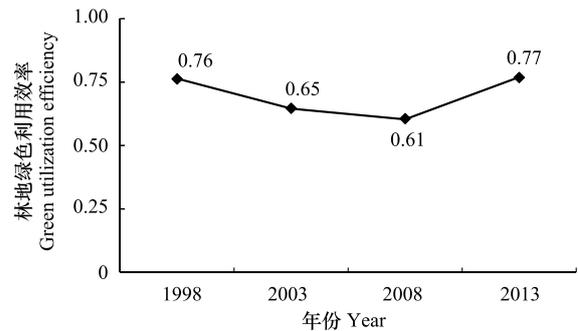


图 1 中国林地绿色利用效率变动趋势

Fig.1 The trend of green utilization efficiency of forested land in China

### 2.2 林地绿色利用效率的空间分布

根据计算结果,将 4 个时期的 31 个省市林地绿色利用效率均值制成图 2,图 3 为 31 省市的林地绿色利用效率的时空分布图。

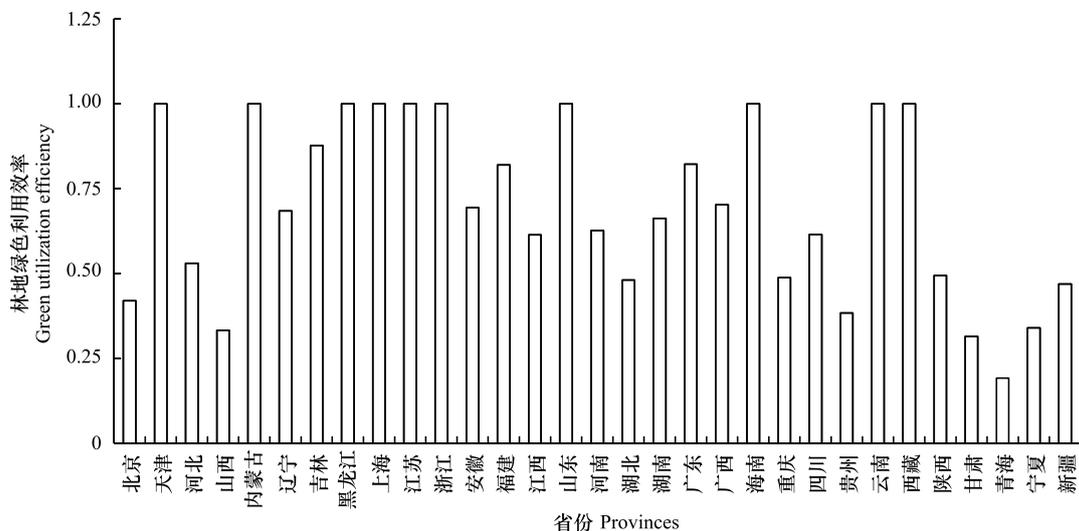


图 2 中国 31 个省市的林地绿色利用效率

Fig.2 Green utilization efficiency of forested land of 31 provinces and cities in China

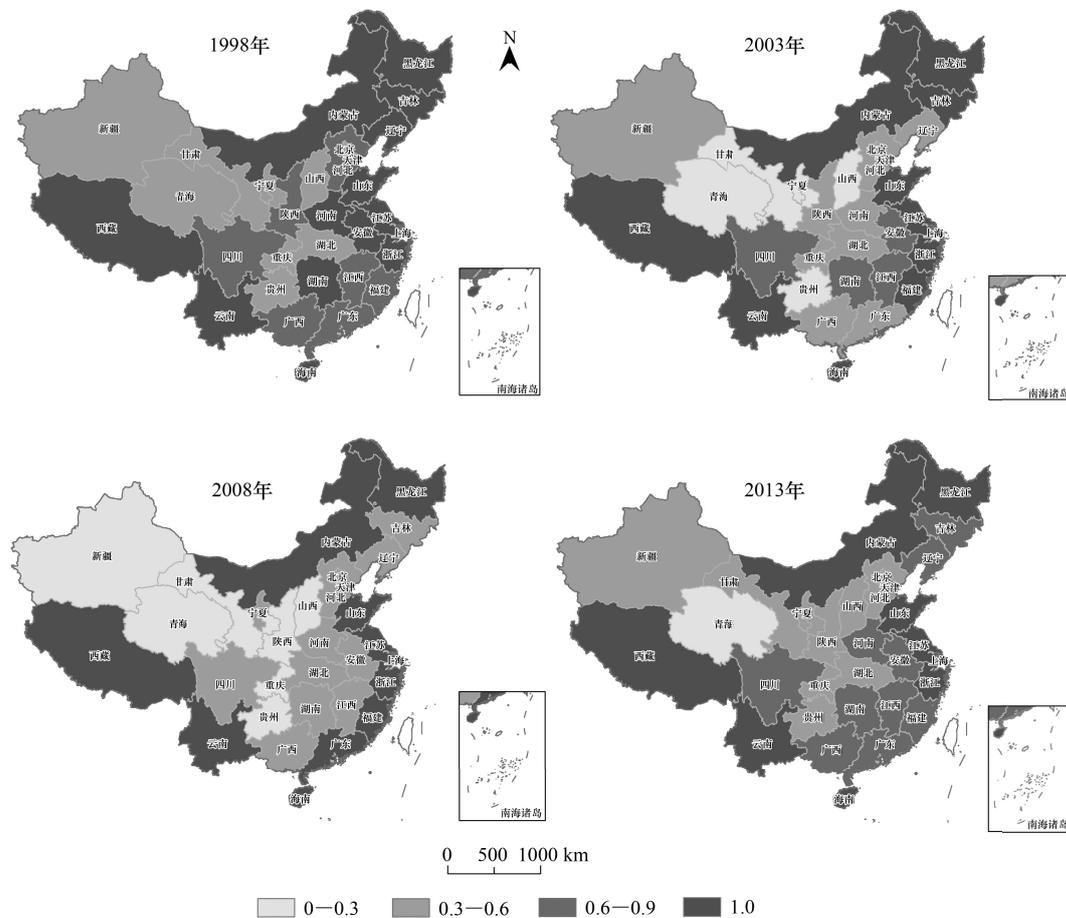


图3 中国31省市林地绿色利用效率时空分布图

Fig.3 Spatiotemporal distribution of forested land green use efficiency of 31 provinces and cities in China

首先,从图2中可知,天津、内蒙古、黑龙江、上海、江苏、浙江、山东、海南、云南以及西藏的林地绿色利用效率均值为1。这表明这10个省市的林地绿色利用是处在中国31省市的前沿面上,相对于其他21个省市,它们的林地绿色利用是有效率的。从空间区位上,除了黑龙江、内蒙古、西藏和云南,其余六省市都为东部沿海省市。一般来说,这些东部区域以其特有的区位优势占据经济有利位置,同时它们都属于湿润的海洋性气候,雨量充沛,光温条件好,有利于林木的生长,并且这些地区的森林资源主要为生态价值较高的阔叶林。而黑龙江、内蒙古、西藏以及云南的林地绿色利用优势在于它们拥有中国主要的传统林区:东北针叶林及针阔叶混交林和西南高山针叶林及针阔叶混交林。这些传统林区森林质量好,物种丰富,生态价值极高。

林地绿色利用效率相对较高,也即效率值在0.6—0.9之间的省市有:辽宁、吉林、安徽、福建、江西、河南、湖南、广东、广西和四川。这些地区在1998—2013年期间都经历了林地绿色利用效率的变化,并且变化趋势基本上都是先下降而后恢复。从区位上看,这些区域大都属于季风气候区,有较好的雨热条件,利于林木的生长和恢复,但也是农业发展的优势区域,所以容易发生林地向耕地转变的情况。值得一提的是,福建、江西一直是我国森林覆盖率最高的省份,但它们的林地绿色利用效率表现却不是最好的,主要的原因是尽管这两地的森林面积占比高,但他们森林质量整体不高,生态功能价值较高的森林资源较少。

林地绿色利用效率相对较低的地区主要分布在西北半干旱、干旱地带,这些地区的森林资源禀赋较为稀缺,气候条件也并不利于林木的繁殖和恢复,因此,这些区域的林地绿色利用效率较低。

林地绿色利用效率最低的为青海省,青海省地处高原,属高原大陆性气候,雨量偏少,森林资源稀缺,作为西部省份,其经济发展较为落后,从而导致林地绿色利用效率偏低。此外,西部一些省份如陕西、甘肃和贵州

的林地绿色利用效率在研究期内经历了先下降后回升的发展趋势,在 90 年代末到 21 世纪初,这几个省份在追求经济发展的过程中无计划地乱砍滥伐森林(尤其是天然林)现象严重,尽管在 2000 年以后,天然林资源保护、退耕还林、三北防护林等各项林业工程相继建设,但短期内依托工程建设的人工林的生态功能价值远远达不到天然林所提供的,这就是图 3 中呈现的陕西、甘肃和贵州等省在 1998—2008 年期间林地绿色利用效率下降的原因;随着林业工程二期、三期的继续推进,林地面积在扩大,而早期林业工程的效果也逐渐显现,这是图 3 中陕西、甘肃和贵州等省在 2008—2013 年期间林地绿色利用效率回升的主要原因。同时,需要注意的是这几个省份都是重要的生态脆弱区,一旦重要的关键生态用地被破坏,其恢复的难度非常大。

### 2.3 林地绿色利用效率的改善方向

根据 SBM 模型,当林地绿色利用效率值小于 1 时,松弛变量的大小可以反映林地绿色利用效率损失的原因。本文将 2013 年我国 31 省市投入变量除以对应的投入指标值得到投入冗余率,将林地产出松弛量除以相应的产出值得到林地产出不足率,以期得到林地绿色利用效率的改善方向,计算结果见表 3 所示。

表 3 2013 年林地绿色利用效率投入和产出的优化结果

Table 3 The optimization results of input and output in 2013

省份 Province	投入冗余率 Inputs slack/%			产出不足率 Outputs slack/%			
	林地 Land	劳动力 Labor	固定资产 Fixed assets	林业经济总产出 Gross output value	调节功能价值 Value of regulation function	支持功能价值 Value of supporting function	美学景观 功能价值 Aesthetic value
北京	0.00	31.66 **	55.57 *	3.36	11.07	11.55 ***	11.53
河北	0.00	57.90 *	20.73 **	0.00	13.31	15.37 ***	15.24
山西	0.00	53.53 *	40.20 **	1.62	16.59	19.54 ***	19.42
辽宁	0.00	38.73 *	9.31 **	0.00	3.17	4.78 ***	4.69
安徽	0.00	47.67 *	16.12	0.00	20.22 **	16.50	17.05 ***
福建	0.00	59.55	70.97 *	0.00	3.30 ***	2.11	2.43
江西	0.00	68.96 *	5.27	0.00	14.57 **	12.80	13.34 ***
河南	0.00	64.87 *	34.09 **	0.00	27.38 ***	24.23	24.61
湖北	0.00	65.74 *	18.34 **	0.00	4.61 ***	2.46	2.61
湖南	0.00	55.69 *	43.74 **	0.00	15.03 ***	13.83	14.23
重庆	0.00	40.71 *	18.96 **	0.00	6.79 ***	5.95	6.02
四川	0.00	23.33 **	60.96 *	0.00	1.62 ***	0.00	0.20
贵州	0.00	75.08 *	43.09 **	0.00	1.49 ***	0.00	0.08
陕西	0.00	62.37 *	32.42 **	0.00	0.25 ***	0.90	0.00
甘肃	0.00	83.17 *	64.95 **	0.00	0.00	1.07	1.08 ***
青海	0.00	23.96 *	0.00	6.66 **	0.00	0.39	0.47 ***
宁夏	0.00	23.38 *	15.60	1.77	48.47 ***	49.33 **	49.60 *
新疆	0.00	25.10 *	0.00	0.00	15.00	16.09 ***	16.15 **
中国 31 省 市 Total	0.00	50.08 *	30.56 **	0.75	11.27 ***	10.89	11.04

(1) 此表中中国 31 省(市)数据不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省的数据;(2) 天津、内蒙古、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、山东、广东、广西、海南、云南和西藏的林地绿色利用效率值为 1,为绿色利用效率有效区,因此,本表不包含这 13 个地区;(3) 按照冗余率和不足率进行排序,\* 对林地绿色利用效率损失影响的最主要要素,\*\* 第二影响要素,\*\*\* 第三影响要素

从生产过程看,各省的林地面积投入的冗余率都为零,表 3 中绝大多数省份的劳动力投入和固定资产投入都是它们林地绿色利用效率损失的第一影响要素或第二影响要素,宁夏林地绿色利用效率损失的主要影响要素虽然没表现在投入要素上,从数据结果看,其劳动力投入和固定资产投入也存在相当比例的冗余,说明导致我国林地绿色利用效率损失的原因主要集中在非自然资源要素投入上,一方面,由于林地独特的自然属性,区域地理及光、温、水、热、土壤营养等自然环境因素对林木生长有着不容忽视的作用;另一方面,当期的资本和劳动投入所产生的效果并不会完全在当年反映出来,林木的生长需要一个过程,其生态功能价值的产生也

需要完整的生态系统结构,新生林木发展为成熟的森林生态系统需要较长的时间。对应到表3中可知,劳动力投入和资本投入冗余的省份大都在国家“六大林业工程”的实施范围内,国家的重大林业工程一般在实施之初都会投入了大量的财力和人力,但总体林地绿色利用效率的回升却在2008年左右(时间节点上可能比2008年更早)(图2和图3)。从另一个角度来看,相比于林地绿色利用效率值为1的13个省市(不少省份也在“六大林业工程”的实施范围内,如内蒙古、黑龙江和云南),表3中的省份确实存在资金和劳动力投入冗余的情况,过量投入实际上造成了资源的浪费。从林地绿色利用效率的改善方向来看,国家和地区的林业管理部门应分清林地绿色利用效率损失的本质原因,是资金和劳动力投入确实冗余还是生态功能价值的发挥存在滞后效应,对于资金和劳动力投入确实过剩的情况,相关部分应加大林业投入的重视,做到有的放矢,提高从业人员的积极性和技术素养。在产出方面,宁夏的美学景观功能价值、支持功能价值和调节功能价值都严重影响了该区的林地绿色利用效率;安徽和江西的林地绿色利用效率则因调节功能价值和美学景观功能价值的不足而受到影响;青海的林地绿色利用效率受林业经济产出不足的影响较大;新疆则表现出林地的美学景观功能和支持功能的不足。此外,北京、河北、山西、辽宁和新疆主要表现出支持功能价值的不足;福建、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州和陕西主要表现在调节功能价值的匮乏;青海和宁夏则表现出美学景观价值的不足。出现上述现象的原因是复杂的,一方面与区域的资源禀赋有很大关系,另一方面也说明了这些区域的森林资源质量存在问题或者说是森林生态系统服务功能还未完全表现出来。从上述结果看,表现出的林地生态功能价值的不足意味着这些区域林地在遭遇某些危机时的脆弱性。因此,从林地绿色利用效率改善的角度,区域林业部门可以在林种搭配上发挥功效,针对地区林地生态功能价值缺失情况,合理规划森林类型和林木种类,同时加大对区域森林生态系统的构建和维护。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

本文基于SBM模型将林地的生态服务功能价值作为绿色产出测算了中国31个省(自治区、直辖市)在1998年、2003年、2008年和2013年的林地绿色利用效率,并分析了它们的时空差异,在2013年效率结果测算的基础上给出了基于投入和产出的林地绿色利用效率改善途径。

(1)从1998年、2003年、2008年以及2013年4个年份的结果看,中国31省市的林地绿色利用效率经历了先下降后回升的过程。整体来说,中国31省市的林地绿色利用效率处在较好的状态。从区域角度,林地绿色利用效率表现较好的主要是东部沿海经济发达省市以及传统森林资源丰富的地区。中部大部分省市在四个时期都经历了效率下降而后回升的态势,主要原因是这些区域的气候条件既有利于森林的生长又有利于农业的发展,因此,在无监管或监管不严的情况下,林地容易转变为耕地;而在有林地恢复工程的情况下,森林又有较快的恢复能力。

(2)在林地绿色利用效率改善方面,国内不少省份(包括北京、河北、山西、辽宁、安徽、福建、江西、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、陕西、甘肃、青海和新疆)存在劳动力和固定资产投资过剩的情况,原因可能是森林生态功能发挥滞后,也可能确实存在固定资产和劳动力的投入过剩,即存在资源浪费的情况;在产出方面,上述省份或多或少都存在某一类或几类森林生态功能价值产出不足的情况。为此,林地绿色利用效率改善需要相关部门认清林地绿色利用效率损失的本质原因,对症下药,对确实存在投入冗余的情况,要加大重视程度,精简人员,资金做到有的放矢。针对区域生态功能薄弱环节,应合理规划森林类型和林木种类,同时注意对区域森林生态系统的构建和维护。

#### 3.2 讨论

在全球气候变化和生态系统服务功能退化的大背景下,研究最重要的生态用地—林地的绿色利用效率显得尤为关键。林地绿色利用效率不仅考虑了一般的投入产出,也将林地在利用过程中所提供的生态功能服务价值考虑在内,统一的价值当量法让林地的生态功能价值与其经济产出有了可比性,这填补了林业效率研究

中无法纳入生态功能价值这一产出的空白,也完善了土地利用绿色效率的相关理论。应当指出的是,文中林地生态功能价值估算采用的当量因子法是一种静态的评估方法,对生态系统类型、质量状况的时空差异缺乏考虑。同时,林业不同于农业,其当年投入后未必有产出,文中用 5 年的间隔来评价不同时期的林地绿色利用效率,也是希望能反映出林地产出滞后的效果,但这可能还不够,林业产业的发展也会受到气候、地域等一系列自然要素的限制,进一步林地绿色利用效率的滞后效应,区域的自然地理、气候、土壤等影响因素考虑到林地绿色利用效率的评价模型中,将有助于提出科学的林地绿色利用效率改善的相关政策建议,这是未来重要的研究方向。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] He Y F, Xie H L, Fan, Y H, Wang W, Xie X. Forested land use efficiency in China: spatiotemporal patterns and influencing factors from 1999 to 2010. *Sustainability*, 2016, 8(8): 772.
- [ 2 ] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 吴世新, 史学正, 江南, 于东升, 潘贤章, 迟文峰. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. *地理学报*, 2014, 69(1): 3-14.
- [ 3 ] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系. *生态学报*, 2017, 37(2): 341-348.
- [ 4 ] 于丹丹, 吕楠, 傅伯杰. 生物多样性与生态系统服务评估指标与方法. *生态学报*, 2017, 37(2): 349-357.
- [ 5 ] 傅利平, 顾雅洁. 基于数据包络分析的土地利用效率评价. *西安电子科技大学学报: 社会科学版*, 2008, 18(3): 103-107.
- [ 6 ] LeBell L G, Stuart W B. Technical efficiency evaluation of logging contractors using a nonparametric model. *Journal of Forest Engineering*, 1998, 9(2): 15-24.
- [ 7 ] 张成林, 宋维明. 中国林业外资利用效率研究——基于省级面板数据的空间模型分析. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2017, 16(2): 64-70.
- [ 8 ] 李桦, 刘志兴. 中国林业投入资金利用效率研究及优化路径. *生态经济: 学术版*, 2012, (2): 294-297, 320.
- [ 9 ] 刘宗飞, 田淑英. 林业财政支出效率的影响因素分析. *山西农业大学学报: 社会科学版*, 2017, 16(12): 25-32.
- [ 10 ] Viitala E J, Hänninen H. Measuring the efficiency of public forestry organizations. *Forest Science*, 1998, 44(2): 298-307.
- [ 11 ] Lee J Y. Using DEA to measure efficiency in forest and paper companies. *Forest Products Society*, 2005, 55(1): 58-66.
- [ 12 ] 赖作卿, 张忠海. 基于 DEA 方法的广东林业投入产出超效率分析. *华南农业大学学报: 社会科学版*, 2008, 7(4): 43-48.
- [ 13 ] 李春华, 李宁, 骆华莹, 王斌年. 基于 DEA 方法的中国林业生产效率分析及优化路径. *中国农学通报*, 2011, 27(19): 55-59.
- [ 14 ] 田淑英, 许文立. 基于 DEA 模型的中国林业投入产出效率评价. *资源科学*, 2012, 34(10): 1944-1950.
- [ 15 ] 李波, 宋晓媛, 谢花林, 郝丽霞, 张书慧. 北京市平谷区生态系统服务价值动态. *应用生态学报*, 2008, 19(10): 2251-2258.
- [ 16 ] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [ 17 ] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O' Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [ 18 ] MA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and Human Well-being*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [ 19 ] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 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. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [ 20 ] 卢书兵, 杨琳琳, 李波, 南滔, 妙丹. 华阳河湖群地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2015, 51(4): 412-417.
- [ 21 ] 赵江, 沈刚, 严力蛟, 黄璐, 金爱民, 霍思高. 海岛生态系统服务价值评估及其时空变化——以浙江舟山金塘岛为例. *生态学报*, 2016, 36(23): 7768-7777.
- [ 22 ] 刘家根, 黄璐, 严力蛟. 生态系统服务对人类福祉的影响——以浙江省桐庐县为例. *生态学报*, 2018, 38(5) (2017-11-21). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20171121.1706.062.html>.
- [ 23 ] Zhang N, Wang B, Chen Z F. Carbon emissions reductions and technology gaps in the world's factory, 1990-2012. *Energy Policy*, 2016, 91: 28-37.
- [ 24 ] Zhang N, Kim J D. Measuring sustainability by energy efficiency analysis for Korean power companies: a sequential slacks-based efficiency measure. *Sustainability*, 2014, 6(3): 1414-1426.
- [ 25 ] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.
- [ 26 ] 潘丹, 应瑞瑶. 中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析. *生态学报*, 2013, 33(12): 3837-3845.
- [ 27 ] 谢花林, 王伟, 姚冠荣, 刘志飞. 中国主要经济区城市工业用地效率的时空差异和收敛性分析. *地理学报*, 2015, 70(8): 1327-1338.
- [ 28 ] 赵士洞, 张永民. 生态系统评估的概念、内涵及挑战——介绍《生态系统与人类福利: 评估框架》. *地球科学进展*, 2004, 19(4): 650-657.