

王耕, 李素娟, 马奇飞. 人类福祉视角下中国生态效率时空演化研究[J]. 地理科学, 2018, 38(10): 1597-1605. [Wang Geng, Li Sujuan, Ma Qifei. Spatial-temporal Evolution of Chinese Eco-efficiency from the Perspective of Human Well-being. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(10): 1597-1605.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.10.003

# 人类福祉视角下中国生态效率时空演化研究

王耕, 李素娟, 马奇飞

(辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

**摘要:** 基于非径向、非角度的SBM模型和Malmquist生产率指数模型, 对2000~2015年中国30个地区的生态效率进行测度, 对中国生态效率的时空动态变化特征及其驱动因素进行研究。结果表明: 2000~2015年中国生态效率呈缓慢波动上升的特点, 但整体处于中等水平; 生态效率的高值区主要集中在东西部, 中部生态效率相对较低; 除北京、天津、上海、山东、海南外, 其余地区都需要调整配比关系来改善生态效率; 人类福祉在某些地区已成为制约生态效率的第一影响因素; 中国生态效率的全要素生产率、技术进步变化指数以及纯技术效率变化指数均呈波动中缓慢上升的特点, 规模效率变化指数则呈下降趋势, 除四川全要素生产率的提高完全得益于规模效率外, 科技进步对其他地区均具有正向作用。

**关键词:** 人类福祉; 生态效率; SBM模型; 全要素生产率及其分解指数

**中图分类号:** F205

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2018)10-1597-09

区域协调发展不仅是经济-资源-环境的可持续发展, 更是民生福祉的体现。在人类福祉视角下, 协调好经济、资源、环境三者之间的关系, 以最小的资源消耗和环境污染获取最大的经济发展及人类福祉, 不仅是中国区域经济社会发展的基本出发点和落脚点, 也是生态文明建设的战略任务和民生宗旨。生态效率是一种衡量经济与环境协调发展的重要指标, 是一个刻画在产品和服务生产过程中如何减少能源、自然资源利用、减少浪费和污染物释放的概念<sup>[1]</sup>。国内外对此有了大量的研究成果, 在研究内容上, 生态效率在区域<sup>[2]</sup>、城市<sup>[3,4]</sup>、产业工业<sup>[5,6]</sup>、农业<sup>[7,8]</sup>、能源<sup>[9]</sup>、旅游<sup>[10]</sup>等方面有广泛研究, 并集中于概念与实证评价; 在评价指标选取上, 大多数学者选用经济和环境指标以测度生态效率<sup>[11,12]</sup>; 在研究方法上, 多通用DEA模型法<sup>[13,14]</sup>。经济-资源-环境发展的最终目的是为人类谋福祉, 仅选用经济、资源、环境指标衡量生态效率, 显然并不能真实衡量中国生态效率实际情况, 需要补充并完善指标体系。在评价生态效

率时传统的DEA模型对投入和产出的松弛问题欠缺考虑, 可能会因径向及角度的选择而使生态效率的测算结果产生偏差, 从而会影响评价结果及政府决策。鉴于此, 本文结合人类福祉与生态效率的相关理论构建区域生态效率的评价指标体系, 丰富生态效率测度指标体系; 选用SBM模型, 对中国2000~2015年的生态效率进行测度, 克服因径向及角度的选择而产生评估偏差, 并基于Malmquist全要素生产率模型对中国生态效率全要素生产率及其分解指数跨期变动进行分析, 旨在明确人类福祉视角下中国生态效率的状况, 生态效率损失原因及驱动因素, 赢得生态效率的高效, 实现地区的可持续发展。

## 1 研究方法及其指标数据

### 1.1 SBM模型

Tone<sup>[15]</sup>提出的非径向、非角度的考虑非期望产出的SBM模型, 与传统DEA模型相比, 该模型将非期望产出问题考虑在内, 超越了径向和线性分

收稿日期: 2017-09-20; 修订日期: 2017-12-22

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41771132)、教育部共建人文社会科学重点研究基地项目(15JJD790039)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41771132), Ministry of Education of China to Build a Humanities and Social Science Key Research Base Project (15JJD790039).]

**作者简介:** 王耕(1973-), 女, 辽宁沈阳人, 教授, 博士, 主要从事区域生态安全与环境管理研究。E-mail: wanggeng@lnnu.edu.cn

段形式理论的限制,有效解决了投入产出的松弛性问题,使生态效率测度值更加准确。具体模型公式及计算请参考文献<sup>[16,17]</sup>。该模型计算出的生态效率值( $\xi$ ),根据马占新的研究<sup>[18]</sup>设定效率值的等级: $\xi=1$ 为生态效率最高; $0.8 \leq \xi < 1$ 为生态效率良好; $0.6 \leq \xi < 0.8$ 为生态效率中等; $\xi < 0.6$ 为生态效率无效。

1.2 Malmquist生产率指数

具体关系表达式及分解公式请参考相关文献<sup>[19,20]</sup>。

1.3 指标选取与数据来源

人类福祉视角下,生态效率的本质是消耗最少的资源、人力和财力,期望获得最优的经济产出、谋取最大的人类福祉和最小的环境污染,这正好符合了SBM-DEA方法对投入、期望产出和非期望产出指标的要求。由于数据的可获得性,本文的研究地区不包括西藏、中国台湾、香港和澳门。所需数据均来源于相关各年《中国环境年鉴》<sup>[21]</sup>、《中国能源统计年鉴》<sup>[22]</sup>、《中国统计年鉴》<sup>[23]</sup>、各地区统计年鉴、《中国水资源公报》<sup>[24]</sup>、《中国国土统计年鉴》<sup>[25]</sup>。具体指标构成见表1。

表1 生态效率投入产出评价指标体系

Table 1 System of eco-efficiency inputs and outputs evaluation index			
指标	类别	具体指标构成	说明
投入 指标	资源 消耗	能源消耗	煤、石油、天然气、电能等则折合成万吨标准煤量
		水资源消耗	农业、工业、生活、生态用水总量
		土地消耗	建设用地面积
		人力消耗	第一、二、三产业劳动力就业总数
		财力消耗	资本存量
产出 指标	期望 产出	经济发展总量	地区GDP
	非期望 产出	人类福祉指数	借鉴了黄甘霖等的研究构建人类福祉评价指标体系
		环境污染指数	工业固体废物排放量,SO <sub>2</sub> 、烟(粉)尘排放量,废水排放总量,COD排放量

相关指标处理说明。① 资本存量:本文采用的是以1997年为基期的资本存量,并运用永续盘存法,以10.96%的折旧率进行计算,计算过程参考单豪杰<sup>[26]</sup>的算法。② 人类福祉指数:参考黄甘霖<sup>[27]</sup>等的研究构建人类福祉评价指标体系。由于

主观福祉评价指数中相关指标的主观性较强,且个体差异较大,因此本文仅根据客观福祉评价指标构建人类福祉指标体系,并采用熵值法<sup>[28]</sup>计算人类福祉指数;③ 环境污染指数:环境污染指数的计算同样采用熵值法,且各指标均为成本型指标(表2)。

表2 人类福祉评价指标体系

Table 2 Index system of social development			
目标层	一级指标	二级指标	指标类型
人类福祉 评价指数	物质生活 质量指数	城镇居民恩格尔系数	成本型
		农村居民恩格尔系数	成本型
		科教事业费占财政支出比例	效益型
	人类发展 指数	万人医生数	效益型
		医院床位数	效益型
		预期寿命	效益型
	城市发 展指数	人均GDP	效益型
		文盲率	成本型
		万人本专科以上学历人数	效益型
	城市发 展指数	非农业人口比例	效益型
		建成区面积	效益型
		城镇居民可支配收入	效益型
		65岁以上人口比重	成本型
		人口自然增长率	成本型

2 结果分析

2.1 中国生态效率的时空格局演化分析

本文基于SBM-DEA模型测算了中国30个省(市、自治区)2000~2015年的生态效率值。基于2000、2005、2010、2015年的截面数据,利用ArcGIS软件绘制中国生态效率的时空格局分布图(图1),用以说明2000~2015年来生态效率的时空演化分布特征。

1) 中国生态效率的时间演化特征。从时间序列看(图1),2000年中国生态效率处于有效水平( $\xi \geq 0.6$ )的地区有11个,其中生态效率良好地区( $0.8 \leq \xi < 1$ )数量为0;2005年中国生态效率有效水平以上地区12个;2010年中国生态效率有效水平以上地区17个,其中生态效率良好地区( $0.8 \leq \xi < 1$ )数量为0;2015年中国生态效率有效水平以上地区有16个,说明中国生态效率整体呈缓慢上升趋势。在2012~2013年间生态效率有明显下降,主要是因为2012年中国发生洪涝灾害,经济遭受严重损失,2013年政府大力推进资源节约型、环境

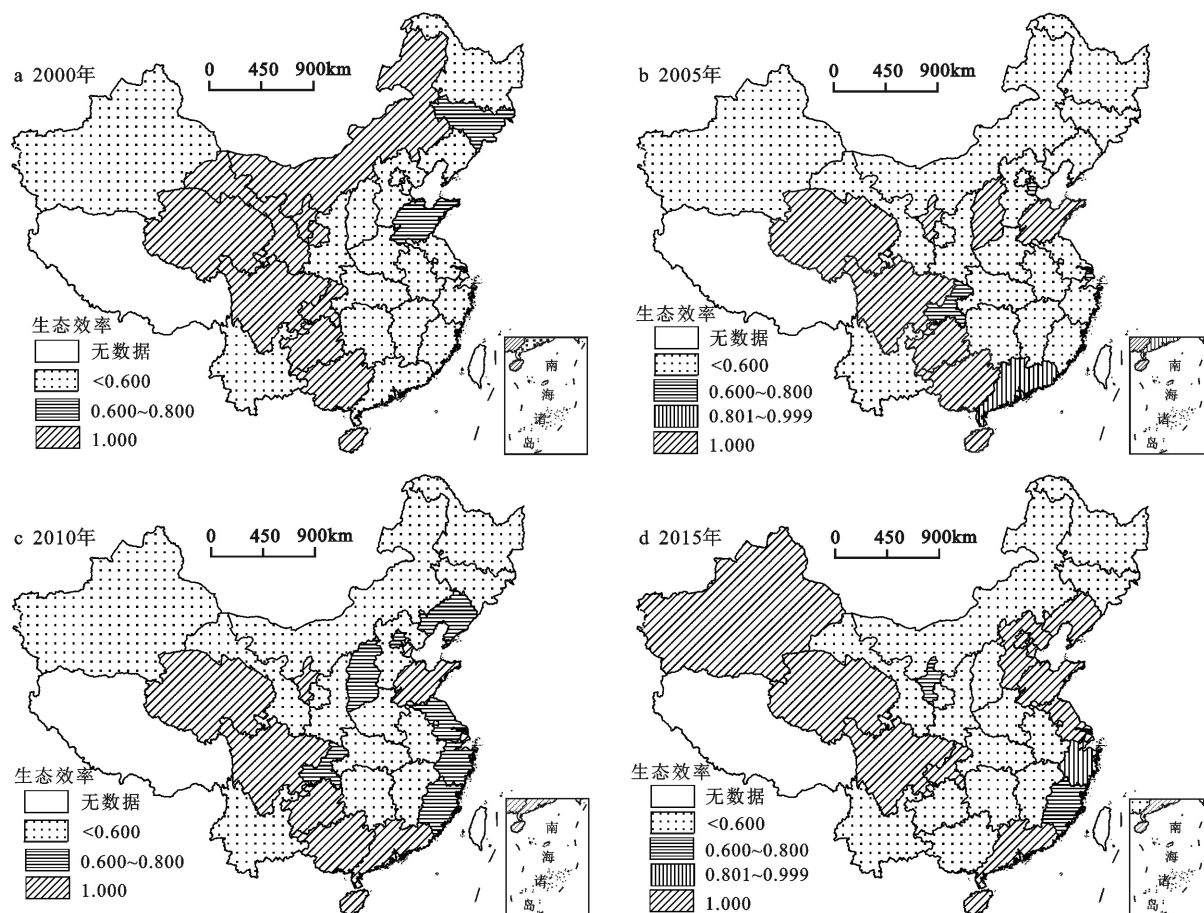


图1 生态效率时空分布演化

Fig.1 Spatial and temporal distribution evolution of eco-efficiency

友好型社会的建设,经济(GDP)和人类福祉指数均有提升。2000~2015年中国生态效率处于0.6~0.8之间,平均值为0.680,表明中国总体水平处于生态效率中等。

2) 中国生态效率的空间演化特征。从空间分布来看(图1),2000年中国生态效率的高效区主要集中在西部地区;2005年西部高效区减少,东中部的天津、山东、广东、山西等地区的生态效率均有较大提升;到2010年东部沿海地区的生态效率明显提升,中西部地区则无太大变化;2015年东部地区的高效区逐渐增多,生态效率有较大提升。由此可见,中国东部地区生态效率是不断提升的,西部地区呈下降趋势,中部地区变化不大。

生态效率就如同“木桶”原理一样,它强调资源、环境、经济、人类福祉的同步协调发展,四者缺一不可,任何一个因素都会直接影响生态效率的高低。由此可见,资源、环境、经济和人类福祉是制约生态效率损失的原因,而一个区域的管理水

平(纯技术效率)、科技发展程度(技术效率)及生产规模(规模效率)则是影响区域生态效率及差异的驱动因素;因此,本文引入投入(产出)冗余率(不足率)以及Malmquist生产率指数模型及其分解以探究影响区域生态效率及区域差异的原因和驱动因素。

## 2.2 中国生态效率驱动因素分析

根据SBM模型,当生态效率值( $\xi$ )小于1时,松弛量 $S_n^s$ 、 $S_m^s$ 、 $S_i^b$ 的大小可以反映中国生态效率损失的原因。本文将各地区各投入变量松弛量 $S_n^s$ 除以对应的投入指标值得到2000~2015年中国各地区各投入指标的投入冗余率,将期望产出松弛量 $S_m^s$ 除以相应的产出值得到期望产出不足率,而非期望产出冗余率是将非期望产出松弛量 $S_i^b$ 除以相应的非期望产出值(表3)。

表3显示,北京、天津、上海、山东、海南各项冗余率和不足率均为0,说明这些地区投入和产出达到最优,资源、环境、经济协调度高,该地区为人类



表3 生态效率投入和产出的优化结果

Table 3 Inputs and outputs optimization of eco-efficiency in each province

省份	投入冗余率(%)					期望产出不足率(%)		非期望产出冗余率(%)
	劳动力	资本存量	能源消耗	水资源消耗	土地消耗	GDP	人类福祉指数	环境污染指数
北京	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
天津	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
河北	-18.15	-17.11	-35.74	-2.51	-33.53	0.00	13.65	-1.22
山西	-11.83	-9.02	-19.78	-4.29	-14.82	0.00	0.00	-0.78
内蒙古	-10.15	-23.52	-44.75	-36.94	-54.69	0.00	0.00	-5.47
辽宁	-3.71	-3.92	-10.86	-2.41	-13.60	0.00	2.70	0.00
吉林	-36.04	-19.56	-23.60	-29.72	-60.11	0.00	31.63	-9.25
黑龙江	-23.95	-16.38	-35.27	-58.00	-59.18	0.00	67.22	-1.73
上海	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
江苏	-2.89	-6.06	-1.47	-8.30	-9.51	0.00	12.53	0.00
浙江	-1.30	-1.64	-1.83	-13.26	-6.95	0.00	0.65	-1.30
安徽	-52.85	-6.70	-11.90	-38.72	-57.80	0.00	21.24	-9.62
福建	-17.56	-12.50	0.00	-19.37	-0.89	0.00	40.89	-8.18
江西	-55.35	-24.34	-22.96	-58.81	-56.76	0.00	3.22	-15.88
山东	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
河南	-52.29	-28.89	-36.73	-7.75	-59.97	0.00	18.69	-2.08
湖北	-35.91	-17.83	-21.73	-33.21	-42.28	0.00	88.30	0.00
湖南	-49.60	-16.08	-30.98	-52.29	-52.10	0.00	14.05	-12.22
广东	-0.62	-0.26	-1.43	-1.68	-3.33	0.00	7.92	0.00
广西	-17.64	-10.57	-3.23	-21.21	-18.27	0.00	0.00	-2.75
海南	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
重庆	-18.88	-1.04	-4.16	-0.45	-15.44	0.00	0.00	-5.22
四川	-7.14	-0.03	-3.29	-1.52	-8.70	0.00	2.04	-2.14
贵州	-9.48	-4.43	-5.84	-8.68	-5.56	0.00	0.14	-2.14
云南	-60.33	-28.40	-31.46	-43.98	-45.39	0.00	0.00	-4.72
陕西	-54.34	-22.16	-30.44	-12.47	-59.01	0.00	0.00	-9.83
甘肃	-50.11	-8.08	-28.12	-38.81	-48.72	0.00	2.43	-3.76
青海	-14.95	-9.31	0.00	-10.11	-9.68	0.00	4.78	0.00
宁夏	-41.60	-1.21	-9.28	-31.27	-25.19	20.96	0.00	-3.97
新疆	-26.57	-30.83	-46.77	-72.70	-62.61	0.00	0.00	-10.33
全国	-22.44	-10.66	-15.39	-20.28	-27.47	0.70	11.07	-3.75
东部	-5.16	-4.34	-4.55	-5.73	-7.17	0.00	6.53	-1.12
中部	-36.44	-18.04	-27.52	-35.53	-50.86	0.00	27.15	-6.34
西部	-31.49	-11.72	-17.71	-24.44	-31.14	2.33	1.04	-4.68

谋得最大福祉。从生产过程看,各地区除宁夏外 GDP 产出不足率均为 0,说明地区 GDP 并不是影响中国生态效率损失的原因,导致中国生态效率损失的原因主要是资源投入过多、污染排放过量、福祉谋取不足。从人类福祉指数来看,人类福祉不足已成为制约某些地区生态效率的第一影响因素,如湖北、黑龙江、福建等地区。为明确中国生

态效率影响的驱动因素,本文基于 Malmquist 生产率指数模型及其分解公式,计算出 2000~2015 年中国生态效率的全要素生产率及其分解指数值,并绘制出 2000~2015 年中国各年生产率及其分解指数的均值图(图 2),用以分析全要素生产率、纯技术效率、规模效率、技术进步的变动趋势及其对生态效率的影响情况。

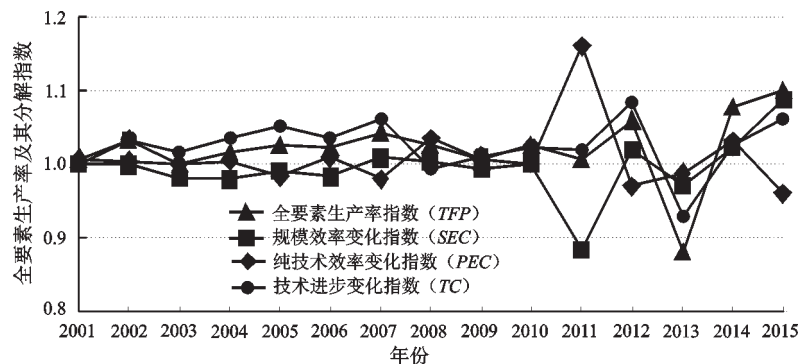


图2 中国生态效率全要素生产率及其分解指数

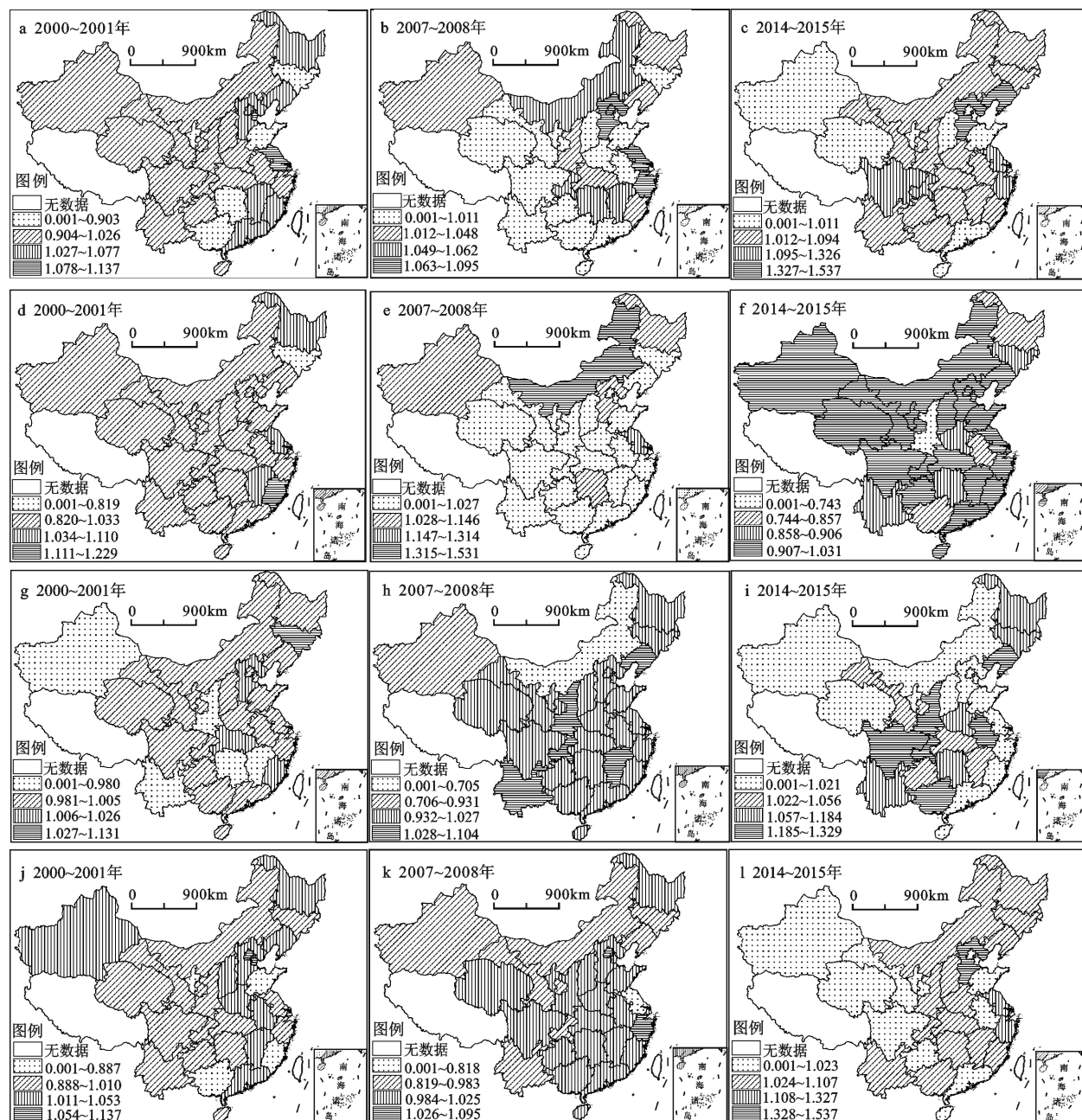
Fig.2 The total factor productivity and its decomposition index of Chinese eco-efficiency

1) 全要素生产率及其分解的总体特征分析。① 从全要素生产率指数的变化情况来看,除了2013年,其余年份的全要素生产率指数均大于1,表明这些年份生产率水平是进步的;2012~2013年生产率指数陡然下降,主要是由规模效率的急速下降引起的;全要素生产率指数在2000~2015年这16 a间的平均值为1.022 5,增长幅度仅为2.25%,表明中国生态效率呈缓慢上升的趋势。② 从纯技术效率和规模效率变化指数来看,整个研究期间纯技术效率变化指数和规模效率变化指数平均值分别为1.010 1、0.995 6,平均增长率分别为1.01%、-0.44%,均低于全要素生产率增长幅度,表明纯技术效率变化指数在研究期内是处于进步状态的,对中国生态效率的提升具有正向促进作用;而规模效率变化指数在2000~2015年间略有倒退,说明生产规模有待进一步调控,还未达到最优规模效应。③ 从技术进步变化指数来看,16 a间平均值为1.025 9,增长幅度为2.59%,高于全要素生产率指数,说明中国生态效率的技术水平不断得到改善。④ 总体来看,中国生态效率全要素生产率、纯技术效率变化指数和技术进步变化指数呈缓慢上升的态势,虽然规模效率变化出现了负效应,但纯技术效率变化和技术效率变化的正效应弥补了这种负效应,使得2000~2015年间全要素生产率呈现上升趋势。表明中国生态效率的提高主要得益于科学技术的进步,而政府的宏观调控、管理手段及总体规模的扩大对中国生态效率的提高贡献较小。

2) 全要素生产率及其分解的时空格局分析。选取2001、2008、2015年3个时段的截面数据绘制成中国生态效率全要素生产率变化及其分解

指数的空间格局分布图(图3)。通过分析全要素生产率及其分解指数的空间格局可知:

① 全要素生产率变化:由图3a~c可知,2000~2001年间中国30个地区中北京、天津等14个地区全要素生产率呈上升趋势,上升幅度范围在1.19%~13.61%,其中天津增幅最大,新疆增幅最小。内蒙古、海南等7个地区全要素生产率保持不变,其余地区均呈下降趋势。2007~2008年间中国30个地区全要素生产率虽然上升幅度(0.13%~9.49%)有所下降,但下降地区的数量大幅减少。到研究末期(2014~2015年间)北京、天津、新疆等7个地区保持稳定,除山西外其余地区均呈上升态势,且上升幅度较大。② 纯技术效率变化:图3d~f显示,2000~2001年间黑龙江、江苏等6个地区纯技术效率呈上升趋势,增幅范围在1.56%~22.82%之间;河北、吉林等7个地区纯技术效率变化指数均小于1,呈下降趋势;其余地区纯技术效率保持不变。2007~2008年间,纯技术效率变化指数上升和降低的地区分别增加4个、减少3个,说明这段时期中国总体纯技术效率呈现良好的上升态势。2014~2015年间,仅福建呈缓慢上升趋势,吉林、黑龙江等9个地区出现不同程度的下降,其余地区保持不变。③ 规模效率变化:图3g~i显示,2000~2001年间河北、吉林、江苏、安徽、福建、湖北规模效率均呈上升趋势,且吉林(1.131 0)增幅较大;黑龙江、江西、河南、湖南、云南、陕西、新疆均呈下降趋势,其余地区规模效率指数保持不变。2007~2008年间规模效率变化指数上升的地区增加到了14个,下降地区减少到3个,其中内蒙古(0.705 8)降幅较大,其余13个地区保持不变。2014~2015年间,北京、天津等10个地区为1,表明这10个地区规模效



a-c.全要素生产率变化指数; d-f. 纯技术效率变化指数; g-i. 规模效率变化指数; j-l. 技术进步变化指数

图3 中国生态效率全要素生产率及其分解指数的空间格局

Fig.3 The spatial pattern of the total factor productivity and its decomposition index of Chinese eco-efficiency

率不变;山西(0.953 7)、浙江(0.946 5)呈下降趋势;其余地区的规模效率呈不同程度的上升,其中陕西(1.329 0)、四川(1.306 9)增幅较大。④ 技术进步变化:图3j~l显示,2000~2001年间30个地区中吉林、江苏等8个地区呈下降趋势,内蒙古、海南等7个地区保持稳定,其余地区呈不同程度的上升;2007~2008年间,由于经济危机的影响仅北京、河北、浙江、福建、河南5地区呈缓慢上升趋势,天

津、上海等11个地区保持不变,其余地区均呈不同程度的下降;2014~2015年间,除北京、天津等8个地区保持不变外,其余地区均呈上升的特点。

综合来看,2000~2015年中国生态效率全要素生产率保持不变的是海南和青海;呈上升趋势的地区高达21个,其中北京、天津、山西、上海、山东、广东6地区全要素生产率的提高完全取决于技术进步因素的驱动,河北、江苏、安徽、新疆全要素生



产率的提高是三要素(纯技术效率、规模效率、技术进步)共同作用的结果,辽宁、福建、重庆全要素生产率的提高得益于规模效率变化和技术进步的共同作用,其余7个地区的提高主要在于纯技术效率和技术进步的共同驱动;内蒙古、贵州、甘肃、宁夏全要素生产率呈负增长主要是当地规模效率降低带来的影响。总体而言,中国30个地区生态效率的提升主要取决于技术进步的驱动,生产投入要素的配置水平以及规模化生产对于生态效率的提高作用较小。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

1) 在时间序列变化方面,中国生态效率整体呈现波动中缓慢上升的特点,但生态效率值并不高,处于中等水平,还有较大的提升空间;在空间分布方面,中国生态效率高值区主要集中在东西部地区,且生态效率处于中等水平,而中部地区生态效率无效。

2) 从冗余度来看,经济GDP产出不足不是影响中国生态效率损失的主要原因,目前中国生态效率损失的主要原因在于资源消耗过多、污染物排放过量及人类福祉谋取不足。因此,提高资源利用率和人类发展状况,降低资源消耗和污染排放是改善中国生态效率的主要途径。

3) 从生态效率驱动影响来看,中国生态效率全要素生产率、纯技术效率变化指数和技术进步变化指数均呈波动中缓慢上升的特点,而规模效率呈缓慢下降的特点。科技水平对生态效率的驱动影响较大。

#### 3.2 讨论

在人类福祉评价指标的构建中,由于主观福祉评价指标的主观性较强,个体差异较大,且人们对于福祉的感受也会随着时间的变化而变化,具有不确定性;因此本文仅借鉴黄甘霖等研究的客观福祉评价指标,并在此基础上加入了与民生福祉息息相关的城市化水平、人口情况、医疗水平等指标,计算值可能会与实际值有误差,但计算生态效率趋势大体一致。

### 参考文献(References):

[1] 姚治国,陈田.国外旅游生态效率研究综述[J].自然资源学报,2015,30(7):1222-1231.[Yao Zhiguo,Chen Tian.Review of re-

search on eco efficiency of tourism abroad.Journal of Natural Resources,2015,30(7):1222-1231.]

- [2] 杨斌.2000~2006年中国区域生态效率研究——基于DEA方法的实证分析[J].经济地理,2009,29(7):1197-1202.[Yang Bin. Research on regional eco-efficiency of China from 2000 to 2006:On empirical analysis based on DEA. Economic Geography, 2009, 29(7): 1197-1202.]
- [3] 李慧娟,龙如银,兰新萍.资源型城市的生态效率评价[J].资源科学,2010,32(7):1296-1300.[Li Huijuan,Long Ruyin,Lan Xinping.Ecological efficiency evaluation of resource based cities. Resources Science,2010,32(7):1296-1300.]
- [4] Zhang Yan, Yang Zhifeng. Eco-efficiency of urban material-metabolism:A case study of Shenzhen[J].Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(8):3124-3131.
- [5] 程晓娟,韩庆兰,全春光.基于PCA-DEA组合模型的中国煤炭产业生态效率研究[J].资源科学,2013,35(6):1292-1299.[Cheng Xiaojuan,Han Qinglan,Quan Chunguang.Study on Chinese ecological efficiency of coal industry based on combined model PCA-DEA. Resources Science,2013,35(6):1292-1299.]
- [6] Dominique Maxime,Michele Marcotte,Yves Arcand.Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry[J].Journal of Cleaner Production,2006,14(6-7): 636-648.
- [7] Wu X Q,Xu Y C,Lu G F.The evaluation of agricultural ecoefficiency:A case of rice pot-experiment.Acta Ecologica Sinica, 2009,29(5):2481-2488.
- [8] 张子龙,鹿晨昱,陈兴鹏,等.陇东黄土高原农业生态效率的时空演变分析——以庆阳市为例[J].地理科学,2014,34(4): 472-478.[Zhang Zilong,Lu Chenyi,Chen Xingpeng et al.Temporal and spatial evolution of agricultural eco efficiency in the Loess Plateau of Eastern Gansu Province—A case study of Qingyang.Scintia Geographica Sinica,2014,34(4):472-478.]
- [9] 关伟,许淑婷.中国能源生态效率的空间格局与空间效应[J].地理学报,2015,70(6):980-992.[Guan Wei,Xu Shuting.The spatial pattern and spatial effect of Chinese energy ecological efficiency.Acta Geographica Sinica,2015,70(6):980-992.]
- [10] 姚治国,陈田,尹寿兵,等.区域旅游生态效率实证分析——以海南省为例[J].地理科学,2016,36(3): 417-423.[Yao Zhiguo, Chen Tian, Yin Shoubing et al.Regional tourism eco-efficiency model and an empirical research of Hainan Province. Scientia Geographica Sinica,2016,36(3):417-423.]
- [11] 黄和平.基于生态效率的江西省循环经济发展模式[J].生态学报,2015,35(9):2894-2901.[Huang Heping.Eco-efficiency on the circular economy development pattern in Jiangxi Province. Acta Ecologica Sinica,2015,35(9): 2894-2901.]
- [12] 任宇飞,方创琳.京津冀城市群县域尺度生态效率评价及空间格局分析[J].地理科学进展,2017,36(1):88-98.[Ren Yufei,Fang Chuanglin.Analysis and evaluation of county scale eco efficiency and spatial pattern of Beijing and Tianjin city group.Progress in Geography,2017,36(1):88-98.]
- [13] 尹科,王如松,周传斌,等.国内外生态效率核算方法及其应用

- 研究评述[J].生态学报,2012,32(11):3595-3605.[Yin Ke,Wang Rusong,Zhou Chuanbin et al. Review of eco-efficiency accounting method and its applications. *Acta Ecologica Sinica*,2012,32(11):3595-3605.]
- [14] 吕彬,杨建新.生态效率方法研究进展与应用[J].生态学报,2006,26(11):3898-3906.[Lv Bin,Yang Jianxin. Research progress and application of eco efficiency method. *Acta Ecologica Sinica*,2006,26(11):3898-3906.]
- [15] Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach[R]. GRIPS Research Report Series, 2003-2005.
- [16] 狄乾斌,孟雪.基于非期望产出的城市发展效率时空差异探讨——以中国东部沿海地区城市为例[J].地理科学,2017,37(6):807-816.[Di Qianbin, Meng Xue. Spatial and temporal disparities of urban development efficiency of coastal cities in China based on undesirable outputs. *Scientia Geographica Sinica*,2017,37(6):807-816.]
- [17] 赵林,张宇硕,吴迪,等.考虑非期望产出的中国省际海洋经济效率测度及时空特征[J].地理科学,2016,36(5):671-680.[Zhao Lin, Zhang Yushuo, Wu Di et al. Marine economic efficiency and spatio-temporal characteristics of inter-province based on undesirable outputs in China. *Scientia Geographica Sinica*,2016,36(5):671-680.]
- [18] 马占新.数据包络分析模型与方法[M].北京:科学出版社,2010.[Ma Zhanxin. Data envelopment analysis model and method. Beijing: Science Press,2010.]
- [19] 韩增林,孙嘉泽,刘天宝,等.东北三省创新全要素生产率增长的时空特征及其发展趋势预测[J].地理科学,2017,37(2):161-171.[Han Zenglin, Sun Jiase, Liu Tianbao et al. The spatio-temporal characteristics and development trend forecast of innovative TFP growth in China's Three Northeastern Provinces. *Scientia Geographica Sinica*,2017,37(2):161-171.]
- [20] 韩瑞玲,张秋变,朱绍华,等.基于DEA-Malmquist模型的唐山市工业经济与能源全要素生产率分析[J].地理科学,2016,36(12):1793-1801.[Han Ruiling, Zhang Qiuluan, Zhu Shaohua et al. Industrial economy and energy TFP of Tangshan City based on DEA and malmquist model. *Scientia Geographica Sinica*,2016,36(12):1793-1801.]
- [21] 中国国家统计局.中国环境统计年鉴(2004~2016)[M].北京:中国统计出版社,2004-2016.[National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China statistics yearbook on environment. Beijing: China Statistics Publishing House, 2004-2016.]
- [22] 中国国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴(2004~2016)[M].北京:中国统计出版社,2004-2016.[Energy Statistics Division National Bureau of Statistics of China. China energy statistics yearbook. Beijing: China Statistics Publishing House, 2004-2016.]
- [23] 中国国家统计局.中国统计年鉴(2004~2016)[M].北京:中国统计出版社,2004-2016.[National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistics yearbook of China. Beijing: China Statistics Publishing House, 2004-2016.]
- [24] 中华人民共和国水利部.中国水资源公报(2003~2015)[M].北京:中国水利水电出版社,2003-2015.[Water Resources Department of the People's Republic of China. China water resources bulletin. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2003-2015.]
- [25] 中华人民共和国国土资源部.中国国土资源统计年鉴(2004~2016)[M].北京:地质出版社,2004-2016.[People's Republic of China Ministry of Land and Resources. China land and resources statistics yearbook. Beijing: Geological Publishing House, 2004-2016.]
- [26] 单豪杰.中国资本存量K的再估算:1952~2006年[J].数量经济技术经济研究,2008(10):17-31.[Shan Haojie. Reestimating the capital stock of China: 1952 to 2006. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2008(10):17-31.]
- [27] 黄甘霖,姜亚琼,刘志锋,等.人类福祉研究进展——基于可持续科学视角[J].生态学报,2016,36(23):7519-7527.[Huang Ganlin, Jiang Yaqiong, Liu Zhifeng et al. Advances in human well-being research: A sustainability science perspective. *Acta Ecologica Sinica*,2016,36(23):7519-7527.]
- [28] 王富喜,毛爱华,李赫龙,等.基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J].地理科学,2013,33(11):1323-1329.[Wang Fuxi, Mao Aihua, Li Helong et al. Quality measurement and spatial difference analysis of urbanization in Shandong Province based on entropy method. *Scientia Geographica Sinica*,2013,33(11):1323-1329.]



## Spatial-temporal Evolution of Chinese Eco-efficiency from the Perspective of Human Well-being

Wang Geng, Li Sujuan, Ma Qifei

*(College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)*

**Abstract:** In today's development of the concept of "people-oriented", it is not only the pursuit of resources, economy and environment sustainable development, but also human sustainable development. Therefore, the ecological efficiency can not only reflect the resources, economy, environment coordination, and it's better to pursue the sustainable development of people, resources, economy and environment. The sustainable development of human beings is aimed at improving the human well-being and enhancing the happiness of people. Improving people's livelihood and well-being is the basic starting point and goal of regional economic and social development in China. Therefore, based on the the concept of "people-oriented", we construct human well-being index, which reflects the livelihood and happiness of people, and integrate it into the evaluation system of Eco-efficiency. In order to reflect the ecological efficiency of our country from four aspects of resources, economy, environment and human well-being. Therefore, from the perspective of human well-being, the evaluation index of human well-being will be integrated into the measurement and evaluation of ecological efficiency in China, which can fully understand the changes of ecological efficiency and the statue of comprehensive, coordinated and sustainable development of resources, economy, environment and human in China. We measure the ecological efficiency from year 2000 to 2015 based on non radial and non angle SBM model in China, analyzing temporal and spatial variation characteristics of ecological efficiency in China, and studying its driving factors. The main results are summarized as follows: In 2000-2015, the ecological efficiency of China has been rising slowly and fluctuating, but the overall level is still at a moderate leve. There is a lot of space for improving ecological efficiency. The high value areas of ecological efficiency are mainly concentrated in the East and the West. The ecological efficiency is relatively low in the middle of the region, so the ecological efficiency of the central region needs to be further promoted. In addition to Beijing, Tianjin, Shanghai, Shandong, and Hainan, the rest of the region needs to adjust the mix ratio to improve ecological efficiency. Human well-being has become the first factor in restricting ecological efficiency in some areas. Therefore, human well-being can not be ignored for the promotion of ecological efficiency. The total factor productivity, the change index of technological progress and the pure technical efficiency index of ecological efficiency all show characteristics of fluctuations in the slowly rising, and the scale efficiency change index show a downward trend. The total factor productivity of Sichuan increases entirely due to scale efficiency, and technological progress has a positive impact on other areas excepting Sichuan.

**Key words:** human well-being; ecological efficiency; SBM model; total factor productivity and its decomposition index