

DOI:10.13216/j.cnki.upcjess.2016.01.0005

基于碳排放约束的中国省际生态效率评价与驱动力研究

刘丙泉, 尚梦芳, 李永波
(中国石油大学 经济管理学院, 山东 青岛 266580)

摘要:在构建生态效率评价指标体系的基础上,应用熵值法将多项环境污染指标综合为单一非期望产出指标,应用数据包络分析(DEA)和环境生产技术,构建考虑碳排放约束的省际全要素生态效率评价模型,结合 Malmquist 指数及其分解对中国 2006—2012 年 30 个省市自治区生态效率进行实证研究。结果表明,考察期内中国生态效率总体呈现缓慢增长,区域差异显著,大多数省市自治区生态效率与经济增长密切相关;诸多省市自治区生态效率的提升主要源于资源配置,技术进步驱动并不显著,但 10 余省市自治区技术进步对生态效率的驱动作用正在增强。

关键词:生态效率;数据包络分析;Malmquist 指数

中图分类号:F205;X24 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-5595(2016)01-0022-07

一、引言

自改革开放以来,中国取得了令人瞩目的经济发展成就,已成为世界第二大经济体。中国 30 多年经济高速发展主要依赖于高投入、高消耗、高排放的粗放增长方式,目前已成为世界上最大的能源消费国,2012 年单位国内生产总值能耗达到 0.696 万吨标准煤/亿元,而以煤为主的能源消费结构造成了严重的季节性雾霾等环境污染问题。中国作为最大的发展中国家,保增长、促发展是未来一段时间中国各级政府要重点思考的问题。^[1]因此,如何在确保经济持续增长的同时实现生态环境的持续改善,将成为影响中国生态文明建设、制约中国梦实现的关键问题。

生态效率将经济增长和环境改善纳入统一的考核体系中,成为测度区域经济绿色增长的重要指标,并为众多学者所关注。诸多学者对生态效率内涵、评价、应用等方面进行了较为全面的阐述。生态效率一词自 Schaltegger、Sturm 两位学者提出后,世界自然保护联盟(International Union for the Conservation of

Nature, IUCN)、世界可持续发展工商理事会(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)^[2]和经合组织(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)分别对生态效率的内涵作了详尽的描述。此后,出现了生态足迹法、综合评价法、数据包络分析(DEA)法等多种生态效率核算方法^[3-5],其研究应用也深入到行业、工业园区、国家等多个层面。^[6-9]上述研究大都将环境污染指标视为生态效率评价的投入指标,将经济增长指标视为产出指标,以吻合生态效率的定义描述。但实际上环境污染是经济增长等正向产出的伴生物,将其作为非期望产出更符合全要素视角的生产过程;以二氧化碳为代表的温室气体排放已经成为影响经济发展质量的重要指标,其对生态效率的约束作用日益明显,而上述研究大都未将其纳入生态效率评价;现有研究大都是展示区域生态效率发展和演化的现状,而到底是什么因素驱动了区域生态效率的提升,对该问题的回答明显不够充分。

收稿日期:2015-07-13

基金项目:国家社会科学基金项目(14BJL045);教育部人文社会科学研究青年基金项目(13YJC790090);青岛市社会科学规划研究项目(QDSKL140415);山东省高等学校人文社会科学研究项目(J14WG57);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(15CX04027B)

作者简介:刘丙泉(1982—),男,山东新泰人,中国石油大学(华东)经济管理学院副教授,博士,研究方向为生态效率、区域可持续发展。

基于此,本文在全要素视角下构建区域生态效率评价指标体系,应用熵值法将多项环境污染指标综合为单一非期望产出指标,应用 DEA 和环境生产技术构建考虑碳排放约束的全要素视角的中国省际生态效率评价模型,并对中国 2006—2012 年 30 个省市自治区(不包括港澳台和西藏)生态效率时空分异情况进行实证分析,进而根据 Malmquist 指数原理,对中国省际生态效率进行分解,以期揭示中国省际生态效率提升的动力源泉。

二、指标体系构建

生态效率是评价生态环境改善和经济发展状况的重要依据,其投入、产出指标的选取要客观反映中国各省市自治区的经济发展、能源消耗、环境破坏等情况。在全要素视角下,本文将资本存量、从业人员数、能源消费总量作为投入指标,将环境污染总排放量、碳排放量、地区 GDP 作为产出指标。其中,碳排放量、环境污染总排放量作为非期望产出^[10],见表 1。

表 1 生态效率评价指标体系

指标	类别	构成	备注
投入指标	资本	资本存量(亿元)	计算量
	劳动力	从业人员数(万人)	统计年鉴
	能源消耗	能源消费总量(万吨标准煤)	统计年鉴
产出指标	环境污染	环境污染总排放量(万吨)	计算量,包括固体废物、二氧化碳排放量、烟粉尘、废气、化学需氧量等污染排放量
	碳排放	碳排放量(万吨)	计算量,包括煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气 8 种能源消费量
	地区 GDP	地区 GDP(亿元)	统计年鉴

三、研究方法 with 模型

假设有 n 个决策单元(DMU)(本文指待评价的省级区域),每个 DMU 均有相同的 m 项投入(包括资本、劳动力和能源消耗)和 s 项产出(包括环境污染指标、经济增长指标),记 X_{ij} 为第 j 个 DMU 的第 i 项投入, Y_{rj} 为第 j 个 DMU 的第 r 项产出,若 $X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \cdots, X_{mj})^T > 0, Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, \cdots, Y_{sj})^T > 0$, 则产出导向下的第 j_0 个决策单元的全要素生态效率可由式(1)进行测算^[11]:

$$\begin{aligned} &\max \alpha \\ &s. \ t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j + s^- = X_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j - s^+ = \alpha Y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \cdots, n \\ s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{1}$$

式(1)追求投入不增长情况下的产出要素最大同比例增长,但由于产出要素中既包含了经济增长(地区 GDP)等期望产出指标,也包含了环境污染(废水排放等)等非期望产出指标,因此,为寻求每个 DMU 的最佳生态效率提升方向,本文结合环境生产技术^[12-15]提出全要素视角下中国省际生态效率评价模型:

$$\begin{aligned} &\max \beta \\ &s. \ t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq X_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^+ \geq (1+\beta) Y_0^+ \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^- = (1-\beta) Y_0^- \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j C_j = C_0 \\ \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \cdots, n \end{cases} \end{aligned} \tag{2}$$

式(2)将产出要素分为期望产出和非期望产出两大组成部分,同时将非期望产出中的碳排放单独视为短期无法调整的非合意变量,约束期望产出和非期望产出的调整比例。式(2)中的不等式约束表征投入要素和期望产出要素的强可处置性,等式约束则表征非期望产出的弱可处置性及零结合性。

式(2)体现各省市自治区生态效率在相同时间维度的差异情况,无法测度各省市自治区生态效率的时序变化规律。为此,本文引入 Malmquist 指数测算从 t 期到 $t+1$ 期的生态效率时序规律^[16]:

$$\begin{aligned} &M(X_{t+1}, Y_{t+1}, X_t, Y_t) = \\ &\sqrt{\frac{D_t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_t(X_t, Y_t)} \times \frac{D_{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_{t+1}(X_t, Y_t)}} \end{aligned} \tag{3}$$

式中, t 为时期数; $D_t(X_{t+1}, Y_{t+1})$ 为以第 t 期数据作为参照的 $t+1$ 期生态效率水平; $D_t(X_t, Y_t)$ 为第 t 期的生态效率水平。当 $M > 1$ 时,表示待评价 DMU 生态效率水平有所提高;当 $M < 1$ 时,则表示其生态效率水平有所下降。

上述 M 指数又可以分解为:

$$\begin{aligned} &M(X_{t+1}, Y_{t+1}, X_t, Y_t) = \frac{D_{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_t(X_t, Y_t)} \times \\ &\sqrt{\frac{D_t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \times \frac{D_t(X_t, Y_t)}{D_{t+1}(X_t, Y_t)}} \\ &\text{令:} \\ &EC = \frac{D_{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_t(X_t, Y_t)}, \\ &TC = \sqrt{\frac{D_t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \times \frac{D_t(X_t, Y_t)}{D_{t+1}(X_t, Y_t)}} = \\ &\sqrt{TC_{t+1} \times TC_t} \end{aligned} \tag{4}$$

则 EC 衡量待评估 DMU 从 t 期到 $t+1$ 期相对生态效率的变动情况,称之为资源配置效率,若 $EC > 1$,说明该 DMU 在 $t+1$ 期更靠近前沿面,即该 DMU 通过资源配置实现了“追赶效应”^[17]; TC 衡量不同期前沿面的推移程度,称之为技术变动效率,若 $TC > 1$,说明 $t+1$ 期实现了“技术进步”。通过 EC 和 TC 的比较,能清楚地看到区域生态效率变动的驱动力源泉。进一步还可将 TC 分解为 TC_{t+1} 和 TC_t , TC_{t+1} 表示 $t+1$ 期 DMU 距离 t 期和 $t+1$ 期前沿面距离之比, TC_t 表示 t 期 DMU 距离 t 期和 $t+1$ 期前沿面距离之比,根据 TC_{t+1} 、 TC_t 和 1 的比较情况,即可清楚地判断不同时期生产前沿面的变动情况,见图 1。

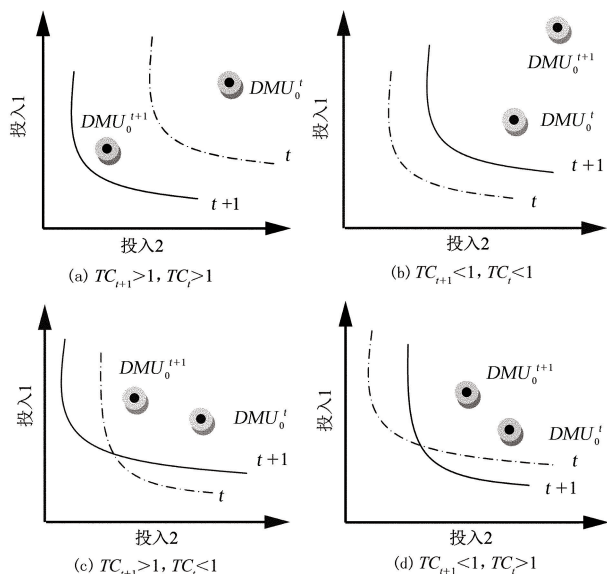


图 1 不同时期生产前沿面的变动

$TC_{t+1} > 1, TC_t > 1$, 则 $TC > 1$, 说明该年份跨度研究样本构成的生产可能集实现了生产前沿的“内收”, 技术进步推动生态效率提升效果显著。

$TC_{t+1} < 1, TC_t < 1$, 则 $TC < 1$, 说明该年份跨度研究样本构成的生产可能集实现了生产前沿的“外扩”, 技术退化导致生态效率下降。

$TC_{t+1} > 1, TC_t < 1$, 有可能 $TC > 1$, 也有可能 $TC < 1$, 说明技术进步推动生态效率提升的作用正在加强。

$TC_{t+1} < 1, TC_t > 1$, 有可能 $TC > 1$, 也有可能 $TC < 1$, 说明技术进步推进生态效率提升的作用正在弱化。

四、实证分析

(一) 数据来源及说明

本文搜集了 2006—2012 年中国 30 个省市自治区的生态效率指标(不包括港澳台和西藏), 因个别指标非直接可得, 还搜集了煤炭、原油、天然气等 8 种能源消费量和烟粉尘、废气、化学需氧量等 5 种环

境污染物指标。各项指标数据主要来源于国家统计局网站、中国统计年鉴、中国能源统计年鉴、中国区域经济统计年鉴等。

对于非直接可得指标, 其处理方式具体如下:

各省市自治区年度碳排放量由式(5)计算获得:

$$C = \sum_{i=1}^n a_i E_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中, C 为碳排放量总和; E_i 为按标准煤计的第 i 种能源消费量; a_i 为第 i 种能源碳排放系数; i 表示能源消费种类, 包括煤炭、原油、天然气等 8 种。

各省市自治区年度资本存量由式(6)得到^[18]:

$$K_t = (1 - 0.1096) K_{t-1} + M_t, \quad t=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中, K_t 为第 t 年的资本存量; M_t 为第 t 年固定资本形成的总额。这里的变量含义只适用于本文研究的变量定义, 在不同研究中, 其特定的变量含义要视具体情况而定。

各省市自治区年度环境污染总排放量根据 5 种主要环境污染物的熵值权重计算获得:

$$En = \sum_{i=1}^5 \varphi_i \times p_i \quad (7)$$

式中, En 为环境污染总排放量; φ_i 为第 i 种污染物的熵值权重; p_i 为第 i 种污染物的归一化排放量。

(二) 中国省际生态效率年度差异分析

根据式(2), 在 MATLABR2012a 平台上编写模型程序, 计算得到中国 30 个省市自治区 2006—2012 年全要素生态效率, 见表 2。

由表 2 可知, 中国绝大多数省市自治区生态效率均存在较大的提升空间。从全国平均情况看, 2006—2012 年中国生态效率整体呈现缓慢增长趋势, 7 年平均为 0.858, 生态效率提升空间较大; 从三大经济带情况看, 东部、中部、西部生态效率差异非常明显, 东部较高, 中部次之, 西部最低, 但西部地区生态效率提升明显, 与东中部的差距正逐年缩小。而从省市层面来看, 7 年来仅有北京、上海、广东及山西四个区域始终处在年度评估的前沿面上, 天津、江苏、福建、浙江等 10 省市生态效率大于 0.9, 而吉林、重庆、四川、云南等 7 省市生态效率低于 0.8, 尤其青海、重庆生态效率均在 0.6 以下。对比各省市自治区投入产出数据, 生态效率较高的省市无一例外是经济发展速度较快的省市, 而生态效率较低的省市自治区则是经济发展速度较低的地区, 这说明中国区域生态效率靠经济增长带动的局面未获改观, 先发展后治理的经济增长思路依然存在。因此, 从经济社会发展的顶层设计上制定经济增长与环境保护协调发展的思路迫在眉睫。

表 2 中国省级区域生态效率值(2006—2012)

区域	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	平均值
北京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
天津	0.905	0.943	0.888	0.903	0.854	0.900	1.000	0.913
河北	0.828	0.830	0.842	0.810	0.793	0.787	0.906	0.828
辽宁	0.938	0.836	0.818	0.765	0.766	0.786	0.871	0.826
上海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
江苏	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.969	1.000	0.996
浙江	0.964	1.000	1.000	1.000	1.000	0.956	0.941	0.980
福建	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.836	0.842	0.954
山东	0.933	0.941	0.896	0.894	0.832	0.860	0.937	0.899
广东	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
广西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.520	0.621	0.877
海南	0.871	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.981
东部均值	0.953	0.962	0.954	0.948	0.937	0.885	0.926	
山西	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
内蒙古	0.913	0.915	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.975
吉林	0.840	0.813	0.743	0.672	0.561	0.620	0.813	0.723
黑龙江	0.979	0.990	0.990	0.970	0.873	0.894	0.921	0.945
安徽	0.887	0.877	0.858	0.960	1.000	1.000	1.000	0.940
江西	0.827	0.832	0.829	0.824	0.862	0.903	1.000	0.868
河南	0.902	0.876	0.851	0.829	0.717	0.702	0.750	0.804
湖北	0.791	0.791	0.800	0.787	0.774	0.803	0.886	0.804
湖南	0.875	0.813	0.827	0.812	0.797	0.792	0.895	0.830
中部均值	0.890	0.878	0.878	0.873	0.843	0.857	0.918	
重庆	0.322	0.313	0.362	0.382	0.488	0.830	0.809	0.501
四川	0.652	0.684	0.707	0.692	0.686	0.734	0.858	0.716
贵州	0.780	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.939	0.960
云南	0.778	0.765	0.737	0.777	0.731	0.660	0.676	0.732
陕西	0.701	0.911	0.742	0.788	0.843	1.000	1.000	0.855
甘肃	0.922	0.962	0.963	0.908	0.867	0.944	0.952	0.931
青海	0.427	0.492	0.522	0.584	0.513	0.513	0.625	0.525
宁夏	0.318	0.411	0.424	0.471	1.000	0.713	1.000	0.619
新疆	0.660	0.696	0.669	0.703	0.678	0.916	0.880	0.743
西部均值	0.618	0.693	0.680	0.700	0.756	0.812	0.860	
全国均值	0.834	0.856	0.849	0.851	0.854	0.855	0.904	

(三) 中国省际生态效率时序差异分析及其动力分解

为探究各省市自治区生态效率时序变动规律,本文根据式(2)和式(3),测度中国各省市自治区生态效率的 M 指数,见表 3。

从全国范围看,考察期内中国生态效率实现了 5 连升,但是提升幅度并不大,这与上述分析结论是一致的。从三大区域看,东部地区有 4 个年份跨度处于上升状态,2 个年份跨度处于下滑状态;中部地区有 3 个年份跨度处于上升状态,3 个年份跨度处于下滑状态;西部地区仅有 1 个年份跨度处于下滑状态且下滑比较显著,5 个年份跨度处于上升状态。显然,中国西部地区与东中部地区之间生态效率的差距正在逐步地缩小,这也与上述的分析结果是统一的。从各省市自治区的效

率提升情况看,全国有 1/2 的省市自治区生态效率 M 指数大于 1,效率缓慢提升,而从年度效率变动情况看,2011—2012 年度全国出现了大面积效率损失的情况,仅有江苏、浙江等 8 个省市自治区效率提升,这与 2011 年出现的经济增长放缓关系密切,也进一步说明中国大多数省市自治区生态效率提升严重依赖于经济增长,而非经济增长与环境优化的协调发展。对比上述 8 个省市自治区可以发现,这些省市自治区均是实体经济发展良好、民营经济活跃的地区,由此不难看出,中国大多数地区生态效率提升根源于经济增长,而经济增长很大程度上又依赖于政府投资拉动,所以,政府回归管理者角色、减少经济干预是实现中国各省市自治区生态效率稳定增长的关键,是经济增长与环境优化协调发展长效机制构建的关键。

表 3 中国省际区域生态效率时序差距(2006—2012)

区域	2006—2007	2007—2008	2008—2009	2009—2010	2010—2011	2011—2012	平均值
北京	1.099	1.092	1.063	1.065	1.118	0.728	1.027
天津	1.034	0.992	1.046	0.993	1.167	0.860	1.016
河北	1.001	1.049	0.985	0.866	0.982	0.925	0.968
辽宁	0.874	1.067	0.901	0.952	1.064	0.870	0.954
上海	1.057	1.078	1.008	1.143	1.105	0.865	1.043
江苏	1.037	1.024	1.036	1.029	1.092	1.061	1.046
浙江	1.098	1.111	1.084	0.994	1.074	1.016	1.063
福建	1.063	1.114	0.984	0.963	1.023	0.983	1.021
山东	1.014	0.986	1.038	0.938	1.115	1.021	1.019
广东	0.967	1.086	1.012	0.938	1.003	0.914	0.987
广西	0.933	0.897	0.955	1.740	0.856	1.082	1.077
海南	1.189	1.312	1.072	0.936	0.100	1.170	0.963
东部均值	1.030	1.067	1.015	1.046	0.975	0.958	
山西	0.927	1.043	1.006	0.923	0.968	0.798	0.944
内蒙古	0.979	1.228	1.012	1.058	0.987	0.948	1.035
吉林	0.984	0.984	0.994	0.968	1.339	0.993	1.044
黑龙江	1.012	1.030	1.002	0.873	1.019	0.798	0.956
安徽	1.029	1.106	1.095	0.983	1.007	0.989	1.035
江西	1.062	1.136	1.067	1.011	1.153	1.071	1.083
河南	0.973	1.020	1.016	0.839	1.004	0.886	0.956
湖北	1.026	1.053	1.036	0.916	1.045	0.871	0.991
湖南	0.900	1.032	0.975	0.885	0.990	0.879	0.944
中部均值	0.988	1.070	1.023	0.940	1.057	0.915	
重庆	1.035	1.285	1.158	1.328	1.818	0.706	1.222
四川	1.088	1.085	1.041	0.996	1.117	0.845	1.029
贵州	1.140	1.146	0.912	0.962	0.888	0.720	0.961
云南	0.977	1.007	1.090	0.916	0.908	0.630	0.921
陕西	1.315	1.047	1.148	1.044	1.300	1.012	1.144
甘肃	1.019	1.030	0.953	0.901	1.062	0.805	0.962
青海	1.124	1.143	1.152	0.834	0.991	0.723	0.995
宁夏	1.136	1.101	1.103	1.140	0.853	1.266	1.100
新疆	1.024	1.015	1.065	0.930	1.169	0.756	0.993
西部均值	1.095	1.095	1.069	1.006	1.123	0.829	
全国均值	1.037	1.077	1.034	1.002	1.044	0.906	

根据表 3,为捕获不同省市自治区生态效率时序变动的驱动力量,本文根据式(4)对各省市自治区测度得到的 M 指数进行分解,其统计性描述见表 4。

根据表 4,从全国层面来看,考察期内中国生态效率提升的主要驱动力量来自资源配置效率,即 7 年间中国多数省市自治区生态效率后续年份较前一年份更贴近前沿面,使得全国生态效率有所提升,但是提升较慢,EC 仅有 1.03,同时,技术进步推动生态效率提升效果也不明显。从三大区域看,东部地区生态效率提升主要得益于技术变动效率,即技术进步推动生态效率提升效果显著,这可能主要得益于东部省市产业结构的不断升级,中西部地区生态效率提升动力主要来源于资源配置指数,尤其是西部地区比较显著,EC 达到 1.08,而 TC 仅为 0.97,这可能主要是由于中西部地区对各类产业的承接而导

致经济增长的加速。从各省市自治区情况看,资源配置效率是中国绝大多数省市自治区生态效率提升的关键力量,技术进步的驱动作用比较有限,受双重力量驱动的省市仅有北京、天津、上海、江苏、山东等 12 个省市。

通过对技术变动效率的分解可以发现,东部地区 $TC_{t+1}>1$ 、 $TC_t>1$,属于图 1(a)所示的情形,说明该地区技术进步推进生产前沿“内收”显著,该地区的创新活动、技术升级对生态效率提升具有重要促进作用;而中部地区 $TC_{t+1}>1$ 、 $TC_t<1$,符合图 1(c)所示的情形,说明该地区技术进步虽然还未明显推动生态效率提升,但其作用正在增强;而西部地区 $TC_{t+1}<1$ 、 $TC_t<1$,符合图 1(b)所示的情形,说明该地区生产前沿正处在“外扩”过程中,技术退步显著,该地区生态效率的提升严重依赖资源的配置,这种生态效率提升显然是不可持续的。从各省市自治区技术

变动效率的分解看,仅有江苏、浙江、福建、山东等 8 个省市技术进步推进生产前沿“内收”显著,诸多省市自治区处在技术进步作用增强的阶段,有 10 个省市自治区生产前沿正在“外扩”,技术退步显著,生态效率提升严重依赖资源配置。

表 4 Malmquist 指数及其分解

区域	EC	TC	TC_{t+1}	TC_t
北京	1.00	1.03	1.16	0.93
天津	1.02	1.00	1.06	0.95
河北	1.02	0.96	0.98	0.93
辽宁	0.99	0.97	1.01	0.93
上海	1.00	1.04	1.15	0.95
江苏	1.00	1.05	1.10	1.00
浙江	1.00	1.07	1.11	1.03
福建	0.97	1.05	1.05	1.06
山东	1.00	1.02	1.03	1.01
广东	1.00	0.99	1.08	0.90
广西	0.95	1.18	0.99	1.58
海南	1.03	0.94	1.00	1.01
东部地区	1.00	1.02	1.06	1.02
山西	1.00	0.94	1.04	0.87
内蒙古	1.02	1.02	1.17	0.90
吉林	1.01	1.05	1.13	0.99
黑龙江	0.99	0.97	0.98	0.95
安徽	1.02	1.02	1.04	0.99
江西	1.03	1.05	1.07	1.03
河南	0.97	0.99	1.02	0.96
湖北	1.02	0.98	1.00	0.95
湖南	1.01	0.94	1.00	0.88
中部地区	1.01	0.99	1.05	0.96
重庆	1.19	1.02	1.01	1.02
四川	1.05	0.99	0.99	0.98
贵州	1.04	0.93	0.97	0.89
云南	0.98	0.95	0.95	0.94
陕西	1.07	1.08	1.15	1.01
甘肃	1.01	0.96	0.97	0.94
青海	1.07	0.94	0.94	0.93
宁夏	1.28	0.93	0.92	0.97
新疆	1.06	0.94	0.97	0.92
西部地区	1.08	0.97	0.99	0.96
全国	1.03	1.00	1.03	0.98

五、结论

本文以数据包络分析为基本模型,结合环境生产技术定量评估 2006—2012 年中国 30 个省市自治区(不包括港澳台和西藏)的生态效率水平,并对生态效率进行年度及时序上的差异分析,得到的主要结论为:(1)中国生态效率水平整体上呈现缓慢改善的状态,这种改善主要源自经济的快速增长,区域生态效率与区域经济增长显著正相关,并且三大区域之间生态效率差异依然比较明显;(2)从生态效率时序差异看,中国绝大多数省份生态效率时序提升动力主要来自政府投资驱动的经济增长,这导致

许多省份生态效率呈快速增长、快速下降的波动式发展,而以江苏、浙江为代表的实体经济、民营经济发展良好的区域,生态效率呈现稳步提升;(3)从生态效率提升动力来源看,中国的大多数省份生态效率提升主要得益于资源配置,技术进步作用有限,但是有 10 余个省市(尤其是中部地区省市)技术进步的作用正在增强,亟须采取措施推动技术创新及其成果转化,实现产业结构升级,实现经济增长与环境优化的协调发展。

参考文献:

[1] 杨凯,王要武,薛维锐. 区域梯度发展模式下我国工业生态效率区域差异与对策[J]. 系统工程理论与实践, 2013,33(12):3095-3102.

[2] WBCSD. Eco-efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance[M]. Geneva: WBCSD, 1996:3-16.

[3] Dyckhoff H, Allen K. Measuring Ecological Efficiency with Data Envelopment Analysis(DEA) [J]. European Journal of Operational Research, 2001(132):312-325.

[4] Picazo-Tadeo A J, et al. Assessing Eco-efficiency with Directional Distance Functions [J]. European Journal of Operational Research, 2012(220):798-809.

[5] 邓波,张学军,郭军华. 基于三阶段 DEA 模型的区域生态效率研究[J]. 中国软科学,2011(1):92-99.

[6] 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.

[7] 李惠娟,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.

[8] 王恩旭,武春友. 基于超效率 DEA 模型的中国省际生态效率时空差异研究[J]. 管理学报,2011,8(3):443-450.

[9] 付丽娜,陈晓红,冷智花. 基于超效率 DEA 模型的城市群生态效率研究[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(4):169-175.

[10] 王群伟,周德群,周鹏. 中国全要素二氧化碳排放绩效的区域差异——考虑非期望产出共同前沿函数的研究[J]. 财贸经济,2010(9):112-117.

[11] Cooper W W, Seiford L M, Thanassoulis E,Zanakis S H. DEA and its Uses in Different Countries [J]. European Journal of Operational Research, 2004,154(2):337-344.

[12] Zhou P, Ang B W, Poh K L. Measuring Environmental Performance under Different Environmental DEA Technologies [J]. Energy Economics, 2008, 30(1):1-14.

[13] Wang Q, Zhou P, Zhou D. Efficiency Measurement with Carbon Dioxide Emissions: The Case of China [J]. Applied Energy, 2012,90(1):161-166.

[14] 崔玮,苗建军,杨晶. 基于碳排放约束的城市非农用地生态效率及影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(7):63-69.

[15] Fare G, Grosskopf S, Pasurka Jr C A. Environmental production functions and environmental directional distance functions [J]. Energy, 2007, 32 (7): 1055-1066.

[16] Zhou P, Ang B W, Han J Y. Total Factor Carbon Emission Performance: A Malmquist Index Analysis[J]. Energy Economics, 2010, 32(1):194-201.

[17] 刘井建,梁冰. Malmquist 生产率指数评析结果——技术变动的新诠释[J]. 运筹与管理,2010,19(1):170-175.

[18] 张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究,2004(10):35-44.

责任编辑:张岩林

Study on Provincial Eco-efficiency Assessment and Driving Force in China Based on Carbon Emission

LIU Bingquan, SHANG Mengfang, LI Yongbo

(School of Economics & Management, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266580, China)

Abstract: The paper brings forward a model to evaluate provincial eco-efficiency in total factor perspective with consideration of carbon emission constraints, which applies entropy value method to integrate many environmental pollution indices into a single undesirable output index, further applies data envelopment analysis (DEA) and environmental production technology. The paper takes an empirical research in 30 provinces in China in 2006—2012 via combining the Malmquist index with its decomposition. The result shows that the Chinese eco-efficiency overall presents the slow growth in the study period, regional differences are still significant, the eco-efficiency of most cities is closely related to economic growth. It also shows that the eco-efficiency promotion of many cities is derived from the allocation of resources and technology progress is not significant, but more than 10 cities' driving action of technological progress on the eco-efficiency is enhanced.

Key words: eco-efficiency; Data envelopment analysis (DEA); Malmquist index