

潘润秋, 易子豪, 张 琴. 基于 DEA 模型和 Malmquist 生产效率指数的我国省际土地利用生态效率时空演变[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 244–249. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.064

基于 DEA 模型和 Malmquist 生产效率指数的 我国省际土地利用生态效率时空演变

潘润秋, 易子豪, 张 琴

(武汉大学资源与环境科学学院, 湖北武汉 430079)

摘要: 土地利用变化深刻影响着土地生态, 土地利用生态效率可以作为有效方法解释土地利用的生态影响, 帮助理解土地生态与土地利用的关系, 促进两者和谐共生。利用数据包络分析法 (data envelopment analysis, 简称 DEA), 以全国 30 个省(市、区)为研究样本构建评价指标体系, 对 1997—2014 年我国 30 个省(市、区)的土地利用生态效率状况进行评价。通过 DEA 视角的静态分析可知, 我国土地利用生态效率总体呈现波动增长的演变格局, 区域差异明显, 绝大部分省(市、区)的土地利用生态效率较低, 综合效率、纯技术效率和规模效率均呈增长趋势, 纯技术效率是影响各省(市、区)土地利用生态效率的主要因素。从动态时间序列效率来看, 全国 30 个省(市、区)土地利用生态效率总体呈增长趋势, 技术变动和纯技术效率变动是 Malmquist 生产效率指数提升的主要影响因素, 贡献较大, 规模效率变动拖累了生产效率变动, 需要进一步提升。

关键词: 土地利用生态效率; 评价结果; 数据包络分析法 (DEA); Malmquist 生产效率指数; 时空演变; 变化趋势

中图分类号: F301.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)05-0244-06

“生态效率”概念是在 20 世纪 70 年代被加拿大科学委员会首次初步提出的。生态效率的核心思想是产出最大化价值的同时只需要消耗最小化的资源, 造成最轻的环境污染。1900 年, Schaltegger 等率先在学术界提出生态效率概念, 并指出生态效率是“经济增加值与环境影响的比值”。生态效率概念被广泛认识和接受是通过世界可持续发展工商理事会 (简称 WBCSD) 于 1992 年在学术会议上发表的报告。该报告确定了生态效率的定义就是影响最小化, 价值最大化^[1]。生态效率强调以尽可能少的资源投入生产尽可能多的产品和服务, 目的是提高资源的利用效率, 减少资源消耗和对环境的负面影响, 最终实现经济效益与环境效益的统一。国外对于生态效率的核算已经从简单评价转向生态效率驱动机制的探究, 侧重于对现有生态效率计算方法^[2]、经济/环境比值法和模型法的改进^[3], 开始将生态效率与全球变暖、生物多样性、食品安全等全球性生态问题结合起来^[4]。

国内学者对于生态效率的理解和研究大多是基于 WBCSD 提出的概念来进行延伸或扩展。如周国梅等指出, 生态效率的提升就是推行循环经济的本质, 并尝试对循环经济的指标体系进行初步构建^[5]; 诸大建等利用生态效率的含义解释了循环经济的本质是减物质化^[6]; 程翠云等利用基于机会成本的经济核算方法分析, 评价我国农业生态效率的时空变化^[7]; 关伟等基于考虑非期望产出的 SBM 模型和空间计量

模型对省际能源生态效率进行测算和验证^[8]。国内对生态效率的研究仍侧重于生态效率指标体系的构建与效率模型的应用, 重点放在方法的创新上, 研究范围以行业、地级市及区域等大尺度为主, 生态维度的体现主要集中在污染物排放量的分析。

近年来, 随着人们对土地利用生态效率评价重要性的理解逐渐加深, 生态效率值在土地利用过程中的变化情况得到了越来越广泛的关注。考虑到数据的一致性和可获得性, 本研究区域未包括西藏自治区、香港特别行政区、澳门特别行政区以及台湾地区, 故本研究以全国 30 个省(市、区)为研究对象, 通过对 1997—2014 年全国 30 个省(市、区)之间的土地利用生态效率水平进行测算, 利用 DEAP2.1 软件, 运用数据包络分析法 (data envelopment analysis, 简称 DEA), 基于投入角度的规模报酬可变模型 (简称 VRS) 对收集的数据进行计算, 得到各省(市、区)的土地利用生态效率评价结果, 并通过计算 Malmquist 指数分析各省(市、区)土地利用生态效率的变化趋势。

1 评价模型

DEA 是在相对效率的基础上发展起来的一种基于线性规划模型, 根据多指标投入、产出数据评价同类型决策单元 (decision making unit, 简称 DMU) 相对有效性的系统分析方法^[9], 由 Charnes 等创建的不变规模报酬模型 (简称 CRS 模型) 是 DEA 的第 1 个模型。

将省(市、区)作为决策单元, 若有 K 个省(市、区), 且每个省(市、区)有 L 种投入指标和 M 种生态产出指标。设 x_{jl} 为第 j 个省的第 l 种指标的投入量, y_{jm} 为第 j 个省的第 m 种生态效益的产出量 ($j=1, 2, \dots, K; l=1, 2, \dots, L; m=1, 2, \dots, M$), 则第 n 个省在凸性、锥性、无效性和最小性公理的假设下有基

收稿日期: 2017-06-29

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 41571384)。

作者简介: 潘润秋 (1964—), 男, 吉林长春人, 硕士, 副教授, 主要从事土地规划与评价研究。E-mail: 478622375@qq.com。

通信作者: 易子豪, 硕士, 主要从事土地规划与评价研究。E-mail: 137463807@qq.com。

于规模报酬不变的模型(即 CRS 模型)表示如下:

$$\begin{aligned} \min & [\theta - \varepsilon(\hat{e}^T s^- + e^T s^+)] ; \\ \text{s. t. } & \sum_{j=1}^k x_{\beta j} \lambda_j + s^- = \theta x_i^n ; \sum_{j=1}^k y_{\beta j} \lambda_j - s^+ = y_m^n ; \\ & \lambda_j, s^-, s^+ \geq 0, n=1, 2, \dots, K. \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $\theta(0 < \theta \leq 1)$ 为省(市、区)的土地利用生态效率综合指数; λ_j 为权重变量; s^- 为松弛变量; s^+ 为剩余变量; ε 为非阿基米德无穷小量; $\hat{e}^T = (1, 1, \dots, 1) \in E^L$ 与 $e^T = (1, 1, \dots, 1) \in E^M$ 为单位向量空间。 θ 值越大, 省(市、区)土地利用生态效率越高; $\theta = 1$, 表明该省(市、区)的土地利用生态效率值在最优生产前沿面上, 它的产出相对于投入而言达到了综合效率最优。

若在 CRS 模型的约束条件中加入凸性假设 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$, 则方程(1)可以转换为规模报酬变化模型(简称 VRS 模型)。利用 VRS 模型可将综合效率分解为纯技术效率和规模效率的乘积。用 VRS 模型得到的效率指数(记为 θ_b)即为纯技术效率指数, 有 $0 < \theta_b \leq 1, \theta_b \geq \theta$ 。规模效率(简称 SE)可通过方程 $SE = \theta / \theta_b$ 计算得到, $0 < SE \leq 1$ 。同样, θ_b 、SE 的值越接近 1, 表示开发区纯技术效率、规模效率越高; $\theta_b = 1$ 或 $SE = 1$, 表明纯技术效率最优或规模效率最优。

由于 DEA 方法只能从截面数据和时间序列模型对土地利用的生态效率进行评价, 而不能进行面板数据分析, 本研究引入 Malmquist 指数^[10]对我国各省(市、区)土地利用生态效率从多个角度、不同层面进行分析, 以弥补 DEA 方法的不足。决策单元效率变动情况是借助距离函数的比率来表示的。从产出角度来说, 距离函数实际上就是在 t 期实际值与最大值之间的比值, 也就是实际值与当期前沿生产面的距离。在 t 时期的技术条件下, t 时期的生产点 (x^t, y^t) 与当期前沿生产面的比值为距离函数 $D^t(x^t, y^t)$; $t+1$ 时期的生产点 (x^{t+1}, y^{t+1}) 与当期前沿生产面的比值为距离函数 $D^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ 。Malmquist 指数从 t 时期到 $t+1$ 时期的变化形式如下:

$$\begin{aligned} M_{t,t+1} &= \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} ; \\ M_{t,t+1} &= \frac{D_v^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_v^{t+1}(x^t, y^t)} \times \frac{D_e^t(x^t, y^t)}{D_e^t(x^t, y^t)} \times \frac{D_e^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_e^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \\ & \left[\frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^t(x^t, y^t)} \right]^{1/2} 。 \end{aligned}$$

Malmquist 指数可以分解为生产效率变化指数 (efficiency change, 简称 EC) 和技术变化指数 (technical change, 简称 TC), 并将效率变化指数进一步分解为纯效率变动指数 (pure efficiency change, 简称 PEC) 和规模变动指数 (scale change, 简称 SC)。 $EC(CRS) = \frac{D_e^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_e^t(x^t, y^t)}$ 为基于 CRS 在 t 和 $t+1$

时期的土地利用生态效率变化指数, 而 $TC(CRS) = \left[\frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^t(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$ 为基于 CRS 的在 t 和 $t+1$ 时期的土地利用生态效率技术变化指数, 若 $EC > 1$, 表示该决策单元在 $t+1$ 时期与生产前沿面的距离与 t 时期的距离相比, $t+1$ 时期更接近生产前沿面, 相对效率发生提高, 反之则表示相对效率出现下降。 $SC(CRS, VRS) = \frac{D_e^t(x^t, y^t)}{D_e^t(x^t, y^t)} \times$

$\frac{D_e^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_e^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}$ 为基于 CRS 和 VRS 的土地利用生态效率规模效率变化指数, 若 $SC > 1$, 表示决策单元接近最优生产规模, 反之则表示偏离最优生产规模。 $PEC(VRS) = \frac{D_e^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_e^{t+1}(x^t, y^t)}$

为基于 VRS 的纯效率变动指数, 若 $PEC > 1$, 表示管理水平改善使得效率提升, 反之表示效率下降。 D_e 和 D_e 分别为基于 CRS 和 VRS 的距离函数。

Malmquist 生产率指数 (Malmquist productivity index, 简称 MPI) 被提出用于反映土地生态效率的变动, MPI 可看作是技术进步和技术不变条件下效率变化的“合力”。其公式如下:

$$MPI = EC \times TC = PCE \times SC \times TC。$$

当 $MPI > 1$ 时, 表示从 t 时期到 $t+1$ 时期, 该地区土地利用生态效率水平提高, 反之则表示土地利用生态效率水平下降。

本研究根据 DEA 思想的基本思路是, 将每个省(市、区)作为一个实际 DMU, 运用 DEA - Malmquist 模型构造一个生产最佳前沿面, 并估算全国各省域土地利用生态效率有效集到技术前沿的距离, 从而得到每个省(市、区)的土地利用生态效率测度。

2 研究区域及数据

2.1 指标体系构建

对土地利用的生态效率进行评价是基于土地利用的投入产出指标, 评价结果是否合理有效的关键在于评价指标是否确立。选取较为全面的投入输出指标体系对于运用 DEA 模型进行土地利用生态效率评价显得尤其关键。参照相关学者所构建的指标体系^[11], 确定土地利用生态效率的投入为在土地利用过程中在土地上消耗的劳动力、能源和资金等投入变量, 将单位土地面积上劳动力投入、能源投入、水资源投入和资金投入作为土地利用生态效率评价体系中的投入指标。产出指标的选择较为复杂, 主要考虑 2 个方面的内容: 第一, 产出指标应综合考虑到经济增加和环境污染双方面的影响; 第二, 由于 DEA 模型要求产出指标必须与投入指标呈正相关, 需要将土地利用的非期望产出转换为期望产出的伴随物, 最终选取地区生产总值 (GDP) 为分子, 选取 SO_2 排放量、COD 排放量、废水排放量和烟尘排放量为产出指标。产出指标实际上表示的是单位污染物对于 GDP 的拉动作用, 即单位土地面积投入资源产生的污染物对 GDP 的贡献程度, 对比地均 GDP 更能如实反映现阶段我国各省、市、自治区在土地利用方面的生态效率情况。综合以上选取指标的内容构建了我国省际土地利用生态效率的指标体系(表 1)。

2.2 评价区域选择及数据来源

根据通用的区域划分方法, 将本研究区域划分为东部、中部和西部三大经济区域, 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南共 11 个省(市); 中部地区包括吉林、黑龙江、山西、河南、安徽、江西、湖南和湖北 8 个省; 西部地区包括广西、重庆、四川、贵州、云南、甘肃、陕西、内蒙古、新疆、青海 10 个省(区)。由于西藏自治区能源、环境统计数据缺失, 故西藏地区不包含于本次研究区域之内。所有指标数据来源于 1998—2015 年《中国统计年

鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国水资源 数据来自各省(市、区)的统计年鉴。
公报》《中国环境年鉴》《中国区域经济统计年鉴》,部分缺失

表 1 评价指标体系

指标类型	指标	指标说明
投入指标	地均劳动力投入(人/hm ²)	地均劳动力投入 = 劳动力总量/土地面积。考虑到数据的收集,以 15 ~ 65 岁年龄段人口为劳动力计算依据,调查抽样数据按 0.907%进行折算
	地均能源投入(以标准煤计,t/hm ²)	地均能源投入 = 能源消费总量/土地面积。以标准化后的主要能源的消耗量作为能源消费总量
	地均水资源投入(m ³ /hm ²)	地均水资源投入 = 用水量/土地面积。以各地区用水量作为水资源投入
	地均资金投入(万元/hm ²)	地均资金投入 = 资金投入量/土地面积。以城乡全社会固定资产总额作为土地利用中的资金投入
产出指标	SO ₂ - GDP 负荷(万元/t)	GDP/SO ₂ 排放量
	COD - GDP 负荷(万元/t)	GDP/COD 排放量
	废水 - GDP 负荷(万元/t)	GDP/废水排放量
	烟尘 - GDP 负荷(万元/t)	GDP/烟尘排放量

3 结果与分析

运用 DEAR 2.1 软件,选择基于投入角度的规模报酬可
变模型(VRS),分别计算得到 1997—2014 年我国 30 个省
(市、区)的土地利用生态效率,详见表 2。

3.1 我国省际土地利用生态效率时间分异特征

表 2 1997—2014 年我国各省(市、区)土地利用生态效率评价结果

地区	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
北京	0.056	0.090	0.125	0.123	0.105	0.131	0.153	0.198	0.347	0.387
天津	0.074	0.099	0.070	0.060	0.066	0.087	0.085	0.128	0.132	0.142
河北	0.054	0.049	0.047	0.068	0.053	0.050	0.059	0.079	0.080	0.080
山西	0.068	0.089	0.080	0.087	0.084	0.081	0.091	0.113	0.186	0.172
内蒙古	0.479	0.882	0.736	0.795	0.860	0.727	0.482	0.535	0.845	0.824
辽宁	0.067	0.058	0.059	0.076	0.063	0.065	0.072	0.092	0.078	0.078
吉林	0.106	0.080	0.086	0.101	0.093	0.099	0.105	0.131	0.179	0.178
黑龙江	0.193	0.160	0.158	0.217	0.191	0.209	0.262	0.287	0.326	0.332
上海	0.026	0.023	0.024	0.024	0.019	0.024	0.022	0.027	0.027	0.026
江苏	0.052	0.061	0.084	0.093	0.067	0.076	0.071	0.085	0.079	0.079
浙江	0.083	0.094	0.114	0.152	0.137	0.140	0.139	0.172	0.186	0.186
安徽	0.084	0.089	0.094	0.121	0.109	0.112	0.093	0.133	0.120	0.113
福建	0.274	0.568	0.629	0.508	0.425	0.499	0.302	0.375	0.310	0.267
江西	0.151	0.305	0.310	0.205	0.244	0.257	0.167	0.211	0.196	0.212
山东	0.066	0.062	0.074	0.097	0.070	0.072	0.088	0.134	0.134	0.130
河南	0.046	0.063	0.052	0.068	0.049	0.052	0.056	0.065	0.070	0.065
湖北	0.086	0.126	0.137	0.128	0.122	0.116	0.105	0.129	0.118	0.121
湖南	0.105	0.107	0.153	0.148	0.107	0.103	0.077	0.090	0.085	0.090
广东	0.162	0.178	0.192	0.244	0.244	0.249	0.194	0.222	0.258	0.246
广西	0.136	0.152	0.221	0.097	0.109	0.110	0.082	0.104	0.108	0.129
海南	0.867	0.593	0.609	0.609	0.937	0.722	0.721	1.000	1.000	1.000
重庆	0.130	0.104	0.105	0.130	0.102	0.098	0.086	0.109	0.113	0.103
四川	0.097	0.105	0.192	0.125	0.093	0.095	0.093	0.119	0.129	0.159
贵州	0.072	0.073	0.065	0.076	0.070	0.072	0.065	0.069	0.101	0.106
云南	0.227	0.212	0.224	0.307	0.264	0.360	0.304	0.374	0.321	0.318
陕西	0.083	0.115	0.105	0.126	0.114	0.115	0.120	0.143	0.181	0.178
甘肃	0.278	0.304	0.315	0.425	0.364	0.376	0.292	0.400	0.410	0.404
青海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
宁夏	0.059	0.073	0.072	0.059	0.046	0.048	0.042	0.069	0.061	0.060
新疆	1.000	1.000	0.952	1.000	0.997	1.000	0.888	0.888	0.995	1.000
平均值	0.206	0.23	0.236	0.242	0.240	0.238	0.210	0.249	0.273	0.273
地区	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	年均	
北京	0.389	0.404	0.370	0.329	0.404	0.386	0.499	0.617	0.284	
天津	0.144	0.188	0.155	0.182	0.276	0.250	0.274	0.211	0.146	
河北	0.081	0.101	0.093	0.097	0.068	0.065	0.030	0.033	0.066	

续表 2

地区	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	年均
山西	0.177	0.203	0.032	0.179	0.129	0.114	0.115	0.105	0.115
内蒙古	0.948	0.860	0.978	0.921	0.644	0.634	0.627	0.663	0.737
辽宁	0.075	0.088	0.081	0.093	0.118	0.112	0.139	0.101	0.084
吉林	0.187	0.202	0.209	0.211	0.221	0.320	0.322	0.317	0.175
黑龙江	0.328	0.325	0.323	0.327	0.375	0.377	0.451	0.467	0.295
上海	0.028	0.026	0.025	0.021	0.045	0.063	0.084	0.080	0.034
江苏	0.091	0.099	0.101	0.093	0.117	0.153	0.155	0.136	0.094
浙江	0.200	0.215	0.187	0.197	0.205	0.296	0.264	0.289	0.181
安徽	0.120	0.118	0.127	0.134	0.161	0.171	0.197	0.190	0.127
福建	0.323	0.307	0.318	0.24	0.292	0.284	0.312	0.288	0.362
江西	0.238	0.242	0.274	0.256	0.231	0.262	0.282	0.280	0.240
山东	0.160	0.185	0.168	0.173	0.146	0.161	0.190	0.137	0.125
河南	0.071	0.080	0.068	0.077	0.107	0.134	0.151	0.152	0.079
湖北	0.150	0.166	0.177	0.185	0.206	0.223	0.263	0.251	0.156
湖南	0.100	0.116	0.128	0.129	0.215	0.276	0.315	0.296	0.147
广东	0.230	0.204	0.212	0.185	0.354	0.407	0.448	0.471	0.261
广西	0.161	0.172	0.199	0.177	0.340	0.343	0.401	0.374	0.190
海南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.892
重庆	0.101	0.117	0.096	0.089	0.190	0.219	0.275	0.315	0.138
四川	0.213	0.337	0.344	0.275	0.477	0.702	0.849	0.781	0.288
贵州	0.103	0.107	0.113	0.108	0.133	0.164	0.208	0.228	0.107
云南	0.331	0.340	0.376	0.448	0.324	0.353	0.425	0.592	0.339
陕西	0.018	0.238	0.286	0.449	0.227	0.243	0.251	0.250	0.180
甘肃	0.487	0.466	0.408	0.417	0.505	0.592	0.612	0.558	0.421
青海	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
宁夏	0.059	0.069	0.083	0.056	0.052	0.057	0.078	0.099	0.063
新疆	0.926	0.831	0.837	0.797	0.751	0.651	0.657	0.826	0.887
平均值	0.281	0.293	0.292	0.295	0.311	0.334	0.362	0.370	0.274

纵观整个研究时段,2014 年平均综合效率最高,达到 0.370,平均综合效率呈现波动变化,虽然土地利用生态效率总体呈增长趋势(图 1),但不可忽视土地利用生态低效率化是我国各省(市、区)土地利用的基本状态。

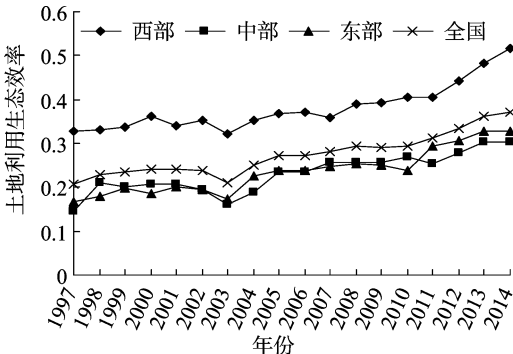


图1 1997—2014 年我国土地利用生态效率变化趋势

1997—2014 年省际土地利用生态效率分项平均值及规模报酬变化情况如表 3 所示,土地利用生态效率分项平均值见图 2。可以看出,土地利用生态纯技术效率呈现波动上升的趋势。但在研究期内,每年达到最优纯技术效率的省(市、区)数量比达到最优综合效率和规模效率的省(市、区)数量更多。其中,2001、2004 年纯技术效率到达最优的省(市、区)为 12 个,占总量的 40%,为历史最多。在研究期内,规模效率整体呈增加趋势,这与综合效率的增长趋势极为相似,说明规模效率是决定综合效率的主要因素,但是与生产前沿面仍

然存在不小差距。此外,每年达到最优规模效率的省(市、区)数量与达到最优综合效率的省(市、区)数量保持一致。

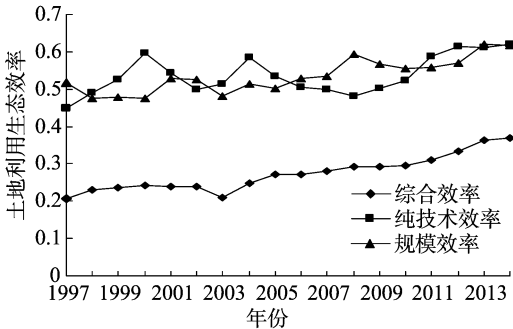


图2 1997—2014年全国各省(市、区)土地利用生态效率分项平均值

由表 3 可以看出,1997—2014 年除极少数省(市、区)的规模报酬保持不变或者递增的状态,绝大多数省(市、区)的规模报酬普遍呈现递减趋势,规模效率离前沿面的差距较大,表明综合效率较低的最主要影响因素是各种资源要素投入存在不合理,过量投入要素也可能导致产出效果欠佳。因此,通过过去仅仅靠加大各区域资源要素投入规模来实现土地利用生态效率的提高是不可行的,必须将所有投入要素作为一个整体,通过确定最佳资源投入来提升土地利用生态效率,以最小的生态代价获取最大的经济产出。

3.2 我国省际土地利用生态效率空间分异特征

从表3可以看出,省际间土地利用生态效率评分存在明

表 3 1997—2014 年省际土地利用生态效率分项平均值
及规模报酬变化情况

年份	综合效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬增减省域数量(个)		
				递减(irs)	递增(drs)	不变(-)
1997	0.206	0.450	0.518	25	1	4
1998	0.230	0.489	0.477	26	2	2
1999	0.236	0.526	0.478	26	3	1
2000	0.242	0.596	0.477	24	4	2
2001	0.240	0.542	0.529	24	5	1
2002	0.238	0.498	0.526	24	4	2
2003	0.210	0.514	0.481	24	4	2
2004	0.249	0.584	0.515	23	4	3
2005	0.273	0.535	0.503	26	2	2
2006	0.273	0.504	0.528	25	2	3
2007	0.281	0.498	0.536	25	2	3
2008	0.293	0.482	0.593	26	2	2
2009	0.292	0.502	0.567	25	3	2
2010	0.295	0.523	0.555	26	2	2
2011	0.311	0.588	0.558	26	2	2
2012	0.334	0.614	0.569	24	4	2
2013	0.362	0.610	0.620	23	3	4
2014	0.370	0.620	0.616	26	1	3

显的两极分化,除去达到 DEA 有效的省(市、区)外,大部分省(市、区)的土地利用生态相对效率水平都处在 0.5 以下,其中土地生态效率达到 1 的地区是青海省,土地利用生态效率较高的省(市、区)为海南、新疆和内蒙古,以上 4 个省(区)是 4 种经济模式的代表,海南省代表旅游经济发展模式,青海省代表生态用地广阔的内陆经济发展模式,新疆代表的是特色产业经济发展模式,内蒙古伊利、蒙牛、东宝等是第三产业知名品牌经济发展模式,这一经济发展模式也反映在全国土地利用生态效率的整体分布上。

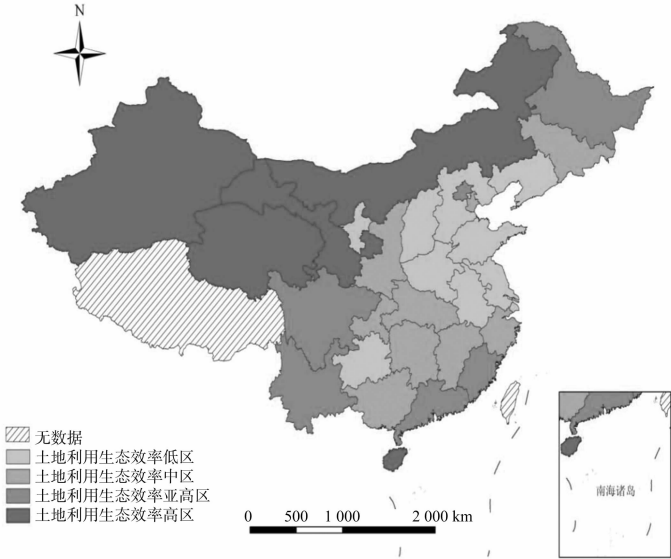


图3 1997—2014 年我国土地利用生态效率均值空间分布

3.3 我国省际土地利用生态效率变化趋势分析

Malmquist 生产率指数能反映不同时期各省(市、区)土地利用的生态效率和技术进步的动态变化趋势,对于全国各省(市、区)动态土地利用生态效率的变化,可以采用

为了进一步分析,从区域层面上来看,西部地区土地利用生态效率最高,中部地区最低(图 1)。西部地区单位土地利用过程中各种资源投入较为充分,产生的单位环境影响排放量对当地 GDP 的贡献较大,中、东部地区土地利用的环境效应仍然存在投入粗放、过量投入等问题。我国土地利用生态效率总体呈现上升趋势,变动趋势线较为一致,说明近几年各地区经济建设正在不断完善,产业结构调整更加合理,资源利用程度逐渐加强,通过加强集约适量投入,节能减排,科技创新,基础设施不断完善,在一定程度上增加了经济产值、减少了废水、废气和固体废弃物(简称三废)的排放,使得实际生产投入与理想边际效率的距离不断缩小,经济增长所需的环境成本逐渐减小,逐年提高了土地利用的生态效率。

根据 1997—2014 年全国各省(市、区)土地利用生态效率评价数据的平均值,将 30 个省(市、区)的土地利用生态效率进行分等划区。分区标准如下:土地利用生态效率高效区,分区为[1.000 0,0.400 00);土地利用生态效率亚高效区,分区为[0.400 0,0.250 0);土地利用生态效率中效区,分区为[0.250 0,0.128 0);土地利用生态效率低效区,分区为[0.128 0,0.000 1]。土地利用生态效率均值空间分布结果如图 3 所示。一般来说,土地利用生态效率的总量水平受到资源稀缺程度的影响,在资源投入的过程中,对于土地的利用强度在不断提高,但是资源的投入是有一定限度的,当超越这个限度时,造成经济产出的急剧增加,代表单位环境排放物经济负荷产出的土地利用生态效率就会相应降低。当前,西部地区区域面积大,矿产资源丰富,经济类型以资源型经济为主,土地利用过程中的各种劳动和生产资料的投入仍处在产出效益递增的阶段。土地利用生态相对效率高区和亚高区涵盖了主要的西部地区及少量东南部沿海旅游经济发达的城市。

Malmquist 生产率来衡量。

根据前面已选的指标和处理的历年数据,本研究利用软件 DEAP2.1 基于投入导向对我国 30 个省(市、区)的数据进行计算,得到效率变化指数、技术变化指数、纯效率变动指数、

规模变动指数以及 Malmquist 生产率指数。

表 4 表明,1997—2014 年我国各省(市、区)土地利用生态 MPI 除在 2002—2003 年、2010—2011 年和 2013—2014 年 3 个时间段小于 1 外(在 2010—2011 年时间段下降幅度最大,达到 0.299,生产技术变化指数下降了 0.411),在其他时间段均大于 1,其均值为 1.078,而且生产变化效率和生产技术效率变化均值均大于 1,表明研究期内 MPI 生产率总体呈增长趋势,平均每年的增长幅度高达 7.8%。从 MPI 生产率指数分解结构上看,生产效率变化均值上升 4.9%,生产技术变化均值上升 2.7%,纯技术效率均值上升 2.9%,规模效率上升 1.9%,表明技术改进、资源要素配置和合理利用以及规模效应均为全国土地利用生态效率提升的驱动因素。

在本研究期内,各分项要素的效率变化趋势也在部分时间段是下降的,其中 2010—2014 年时间段的生产技术效率均小于 1,说明此阶段生产技术改进相较于前期对土地利用生态效率的提升逐渐出现疲软状态,在“十三五”规划的开端,土地利用面临着深度潜力挖掘、产业结构优化升级、土地污染严峻等挑战,更加需要通过创新科技开发、合理配置资源等手段来提高土地利用效率,改善生态效率。然而,总体看来,各分项要素均表现出波动变化,技术改进对 MPI 生产率指数提升贡献较大,而规模效率需要进一步提升。

表 4 1997—2014 年我国各省(市、区)土地利用生态效率
分年 Malmquist 指数及分解

年份	EC	TC	PEC	SC	MPI
1997—1998	1.124	1.302	1.137	0.988	1.464
1998—1999	1.062	1.058	1.088	0.976	1.124
1999—2000	1.053	0.987	1.148	0.918	1.040
2000—2001	0.898	1.290	0.819	1.097	1.159
2001—2002	1.041	1.035	0.935	1.114	1.077
2002—2003	0.921	1.073	1.050	0.877	0.988
2003—2004	1.248	0.854	1.208	1.033	1.066
2004—2005	1.075	0.962	0.977	1.101	1.034
2005—2006	1.005	1.109	0.931	1.078	1.114
2006—2007	0.991	1.156	0.978	1.014	1.146
2007—2008	1.162	1.126	1.008	1.153	1.308
2008—2009	0.943	1.096	1.026	0.919	1.034
2009—2010	1.011	1.122	1.187	0.852	1.135
2010—2011	1.176	0.711	1.039	1.131	0.836
2011—2012	1.102	0.991	1.062	1.037	1.092
2012—2013	1.089	0.939	0.976	1.115	1.023
2013—2014	0.996	0.844	1.009	0.987	0.840
平均值	1.049	1.027	1.029	1.019	1.078

4 结论

本研究运用 DEA 模型和 Malmquist 生产率指数,分别从时间与空间的角度对 1997—2014 年我国 30 个省(市、区)的土地利用生态效率进行了静态和动态的分析,研究结果表明:(1)土地利用生态低效率化是我国各省(市、区)土地利用的基本状态,但是随着时间的推移逐步增长。其中规模效率整体呈现增加趋势,土地利用生态纯技术效率呈现波动上升的趋势。1997—2014 年,绝大多数省(市、区)的规模报酬普遍

呈现递减趋势,表明综合效率较低的最主要影响因素是各种资源要素投入存在不合理。

(2)大部分省(市、区)的土地利用生态相对效率水平都相对低下,其中西部地区土地利用生态效率最高,中部地区最低。西部地区单位土地利用过程中各种资源投入较为充分,产生的单位环境影响排放量对当地 GDP 的贡献较大,中、东部地区土地利用的环境效应仍然存在投入粗放、过量投入等问题。

(3)1997—2014 年我国各省(市、区)土地利用生态 MPI 生产率指数除在 2002—2003 年、2010—2011 年和 2013—2014 年 3 个时间段小于 1 外(其中 2010—2011 年时间段下降幅度最大,达到 0.299,生产技术效率下降了 0.411),其他时间段均大于 1,其均值为 1.078,而且生产变化效率和生产技术效率变化均值均大于 1,表明研究期内 MPI 生产率总体呈增长趋势,平均每年的增长幅度高达 7.8%。

总体而言,上述结果说明从土地资源利用角度来讲,我国的经济建设正朝向资源的可持续利用方向发展,而提高土地利用的生态效率可以产生巨大的经济效益、社会效益和生态效益。但是,通过过去仅仅靠加大各区域资源要素投入规模来实现土地利用生态效率的提高是不可行的,必须将所有投入要素作为一个整体,通过确定最佳资源投入来提升土地利用生态效率,从而以最小的生态代价获取最大的经济产出。

参考文献:

[1] Lehni M. Eco - efficiency: creating more value with less impact[C]. Geneve, Switzerland: WBCSD, 2000.

[2] Cheng B H, Wang Q, Liu J X. Comparative analysis on eco - efficiency of arable land ecological footprint in Hubei[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006, 11(4): 1052 - 1085.

[3] Kytzia S, Walz A, Wegmann M. How can tourism use land more efficiently? A model - based approach to land - use efficiency for tourist destinations[J]. Tourism Management, 2011, 32(3): 629 - 640.

[4] 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述评[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3595 - 3605.

[5] 周国梅,彭 昊,曹凤中. 循环经济和工业生态效率指标体系[J]. 城市环境与城市生态, 2003(6): 201 - 203.

[6] 诸大建,朱 远. 生态效率与循环经济[J]. 复旦学报(社会科学版), 2005(2): 60 - 66.

[7] 程翠云,任景明,王如松. 我国农业生态效率的时空差异[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 142 - 148.

[8] 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.

[9] 孙 威,董冠鹏. 基于 DEA 模型的中国资源型城市效率及其变化[J]. 地理研究, 2010, 29(12): 2155 - 2165.

[10] 沈 能,刘凤朝,赵建强. 中国地区工业技术效率差异及其变动趋势分析——基于 Malmquist 生产率指数[J]. 科研管理, 2007, 28(4): 16 - 22.

[11] 刘秉镰,李清彬. 中国城市全要素生产率的动态实证分析: 1990—2006——基于 DEA 模型的 Malmquist 指数方法[J]. 南开经济研究, 2009(3): 139 - 152.