

土地利用生态效率测度、时空异质性及优化配置

黄鑫¹ 程文仕¹ 焦利民^{2*}

(¹甘肃农业大学管理学院, 兰州 730070; ²武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079)

摘要 土地利用生态效率反映土地利用经济活动产生的生态影响,是监测经济发展状态、实现生态成本控制的关键要素。以2005、2010、2015年中国31个省级行政单元为对象,基于数据包络分析方法,借助空间统计及灰靶模型,在明确土地利用生态效率内涵基础上,分析中国省级行政单元效率水平及变化状态,并对其空间分异格局及资源配置有效度和产出能效进行研究。结果表明:(1)中国土地利用生态效率水平除西藏外总体处于较低状态,呈现出西高东低、南北分异的空间分布格局。(2)中国省级土地利用生态效率具有显著的空间自相关性,局部范畴存在明显的“极化”特质,高高聚类在西北地区较为典型,低低聚类主要分布在广东、福建一线的东南沿海地区。(3)东部地区资源配置有效度低于西部,存在明显的投入过剩问题;2005—2015年,各地产出效能有显著提升,低值区域向京津冀、长三角和珠三角为中心的辐射面集聚。

关键词 土地利用生态效率;数据包络分析;探索性空间数据分析;灰靶模型;配置度;产出效能

Measurement and spatial heterogeneity of land use eco-efficiency and the optimal allocation of land resources. HUANG Xin¹, CHENG Wen-shi¹, JIAO Li-min^{2*} (¹College of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; ²School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China).

Abstract: The eco-efficiency of land use reflects the ecological impacts produced by economic activities of land use, which is a critical factor to monitor economic development and to achieve the control of ecological cost. On the basis of defining the connotation of the eco-efficiency of land use, we examined the efficiency situation, spatial differentiation, availability of resource allocation and output efficiency of 31 provincial administrative units in China in 2005, 2010, and 2015, based on C²R model of data envelopment analysis, spatial statistics analysis and grey target model. The results showed that the eco-efficiency of land use was generally low except Tibet Autonomous Region. The spatial distribution was basically high in the west and north and low in the east and south. There was a significant spatial autocorrelation of eco-efficiency of land use at the provincial level, with an obvious change in partial places. The northwestern part had high-high cluster, and a low-low cluster was mainly distributed in southeast coasts of Guangdong and Fujian. The availability of resource allocation in the east part was lower than that in the west part, indicating an obvious input surplus in the east part. The output efficiency was significantly increased in China from 2005 to 2015, and the regions with low values were clustered to the radiating regions of Beijing-Tianjin-Hebei, Yangtze River Delta and Pearl River Delta as cores.

Key words: land use eco-efficiency; data envelopment analysis; exploratory spatial data analysis; grey target model; allocation degree; output efficiency.

土地利用效率表征单位面积土地的产出能力,其高低状态是利用行为合理与否的指示剂。长期以

来,效率水平常以资源投入量为切入点,借由社会经济价值表征的产出成效加以核算和判别,缺乏对生态环境的综合考量。虽然人们意识到土地利用与土地生态和谐共生的重要性,但利用过程产生的环境

甘肃农业大学盛彤笙科技创新基金项目(GSAU-STS-1707)资助。

收稿日期:2018-04-01 接受日期:2018-09-25

* 通讯作者 E-mail: lmjiao027@163.com

影响及支付的生态成本,常被看作效率提升所必须付出的投资代价,成为经济发展难以兼顾的分支,独立于以资源稀缺性和产出经济性为架构的土地利用“单极”绩效系统。近年来,社会发展日新月异,土地利用强度、规模对土地生态的影响越发剧烈,环境污染、生境破坏已成为利用效率提升必须直面的症结。

土地利用与土地生态存在复杂的相关关系,但就过程而论,保持利用的生态性始终贯穿于土地经济产出和利用行为之间,构成复合共生的耦合系统,二者都以强调与污染代谢的脱钩和与经济社会发展的耦合为中心,共同落脚于有效保障土地利用经济效益的同时,并行维护期间的生态价值。由此,土地利用生态效率问题应运而生,既考虑投产过程中资源消耗与经济价值的平衡,还需明确实现此过程所能承载的生态成本。

当下,学术界对生态效率评价较为关切(Reith *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2006; 孙鹏等, 2007; 尹科等, 2011; 朱玉林等, 2012; 孙露等, 2014), 土地利用生态效率领域的研究则相对稀缺,只涉及指标构建、绩效量化、投产方案改良设计等方面(游和远等, 2011; 盖兆雪等, 2014; 谢曼曼等, 2015; 施鑫, 2016)。相关研究处起步期,尚存在一定不足:①首先,土地利用生态效率作为独立的科学问题和相关研究的基本出发点,其内涵并不具体和明晰。该名词由郭艳桃等(2010)、游和远等(2011)学者最先应用,泛指基于过程耦合的土地利用与生态影响,从投入产出思考土地利用的资源消耗与生态价值,作为丰富土地利用与土地生态复杂关系研究的一种新切入点(游和远等, 2011)。后继研究基本沿用该观点,但均未给出完整释义。为更好明确其与生态效率及利用效率的区别与联系,综合相关资料,将其定义为:在顾及生态影响前提下,基于投入产出视角,单位面积土地上各类资源(本)运营量所能产生的经济总价值,以及该经济价值下单位面积土地上所担负的全部生态支出成本。②从研究视角和方法看,学者更多关注效率的时间变化规律和空间分布特征,忽略对潜在空间相关性的挖掘,缺乏对分异格局的探讨。③从研究内容看,更多关注为达到最优状态对投入和产出松弛的控制,忽略了资源分配和产出能效在空间的配置状态,难以从宏观把控和优化投入过剩和产出不足的情况。

针对以上问题,以中国31个省域单元为对象,

在数据包络分析定量测度土地利用生态效率基础上,基于空间计量算法及灰靶模型,分析中国省际效率时空分异格局与规律,挖掘资源配置在省际层面的有效程度,以期为准绳把控中国省际土地利用生态效率水平,认清效率空间分布结构,为政府因地制宜实施资源优化配置提供科学参考。

1 研究方法

1.1 数据包络分析

数据包络分析(DEA)是Charnes等于1978年提出的,用以衡量效率相对有效性的非参数方法(Charnes *et al.*, 1978)。C²R是运用最普遍的DEA模型,依据多指标投入和多指标产出对相同类型决策单元进行相对有效性的系统评价与分析,在土地、水资源等领域都有应用(赵晨等, 2013; 汪险生等, 2014)。采用C²R-I作为效率评价的基础模型,量化效率值,并获得非有效区的松弛和剩余变量,为进一步挖掘资源配置有效度等提供数据基础。

1.2 探索性空间数据分析

采用探索性空间数据分析方法(exploratory spatial data analysis, ESDA)对中国省际层面土地利用生态效率空间布局进行探索,该方法能够在描述并可视化现象的空间分布格局和模式基础上,揭示数据在空间的集聚性和异质性,有利于发现效率的空间模式和非常态分布(孙才志等, 2009)。分别采用Global/Local Moran I探索其在全局及局部的分布规律。

Global Moran I用以探索土地利用生态效率在整个区域的空间分布特征,公式为:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: X_i 和 X_j 代表第*i*个和第*j*个空间单元上的土地利用生态相对效率, n 代表空间单元总数, W_{ij} 表示空间权重。Moran I指数值域为 $[-1, 1]$,在显著性水平下,Moran I值越趋近1,表示区域空间差异越小,区域存在正空间相关性,反之亦然(关伟等, 2015)。

为探索全局状态下局部范围内的效率不稳定现象,采用Local Moran I测度各子区与周边地区间局部空间的异质性,结合Moran散点图及LISA聚集将差异进行空间可视化,研究其分布规律。公式为:

$$\text{Local Moran's } I_i = Z_i \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_j \quad (2)$$

式中: Z_i 、 Z_j 表示区域*i*和*j*观测值的标准化, W_{ij} 代表空间权重。

1.3 灰靶模型

灰靶理论 (grey target theory) 是处理模式序列的灰关联分析理论 (张俊凤等,2014)。在没有标准模式的情况下,通过评价指标标准化构建欧式距离空间得到灰靶,并以此寻找靶心作为标准模式,通过计算各灰关联差异信息空间与标准模式的靶心距获得靶心度,最后对靶心度进行模式分级,确定其等级状态 (文博等,2016)。计算流程包括:构建标准模式、灰靶变换、确定灰色关联差异信息空间、计算靶心系数、获取靶心度等五步,具体可见文献 (李红等,2012)。公式为:

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma[x_0(k), x_i(k)] \quad (3)$$

式中: $\gamma(x_0, x_i)$ 代表待评模式 x_i 的靶心度, $\gamma[x_0(k)]$ 代表靶心系数 (评价指标 k 下灰关联差异空间与标准模式靶心距), x_i 代表灰关联差异空间, n 代表评价指标个数。

2 指标选取与数据来源

2.1 投入产出指标的确定

完善的投产指标是效率评价结果合理准确的基础。考虑数据可获取性、指标代表性,兼顾利用行为的经济导向和生态影响,参考相关成果 (游和远等,2011),构建土地利用生态效率评价系统。分别从人力资源、经济资本、物资消耗和生产生活需求 4 个维度,选取地均劳动力、地均固定资本、地均水资源、地均能源消耗 4 项内容作为投入指标:地区生产总值作为利用行为的基本出发点,是效率评价的期望产出;为此付出的生态环境成本,COD 排放量、氨氮排放量、烟粉尘排放量、废水排放量、SO₂ 排放量为非期望产出,非期望产出伴随期望产出产生。考虑 C²R-I 模型对产出指标与投入指标正相关的要求,最终确定将各非期望值的 GDP 负荷作为产出 (表 1)。研究以中国 31 个省域对象 (不含香港、澳门和台湾) 为评价单元,指标体系符合投入与产出和小于 1/2 的 DMU 的模型构建要求。

2.2 数据来源与处理

研究所需数据主要源自 2006、2011、2016 年《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国环境年鉴》及《中国能源统计年鉴》。其中,31 个省市区 15~64 岁人口数按照抽样人口占总人口的抽样比进

表 1 土地利用生态效率评价投入产出指标体系
Table 1 The input-output index system for the land use ecological efficiency evaluation

	指标	单位	指标说明
投入 指标	地均劳动力投入	人·hm ⁻²	劳动力参与土地利用活动的投入,以 15~64 岁人口作为计算依据
	地均固定资本投入	万元·hm ⁻²	单位面积土地上的固定资本投入,固定资本投资/土地面积
	地均水资源投入	m ³ ·hm ⁻²	单位面积土地上的水资源消耗,用水消耗总量/土地面积
	地均能源消耗投入	t·hm ⁻²	单位面积土地上的能源消耗量,能源消耗总量/土地面积
产出 指标	COD-GDP 负荷	万元·t ⁻¹	GDP/COD 排放量,单位 GDP 经济产出伴生的化学需氧量成本
	氨氮-GDP 负荷	万元·t ⁻¹	GDP/氨氮排放量,单位 GDP 经济产出伴生的氨氮排放成本
	烟粉尘-GDP 负荷	万元·t ⁻¹	GDP/烟粉尘排放量,单位 GDP 经济产出伴生的烟粉尘成本
	废水-GDP 负荷	万元·t ⁻¹	GDP/废水排放量,单位 GDP 经济产出伴生的废水负荷
	SO ₂ -GDP 负荷	万元·t ⁻¹	GDP/SO ₂ 排放量,单位 GDP 经济产出伴生的 SO ₂ 成本

行折算;2005 及 2010 年土地面积取自《中国区域经
济统计年鉴》,2015 年土地面积取自《中华人民共和国
乡镇行政区划简册》;西藏地区的能源消耗量缺
失,依据西藏自治区“十一五、十二五”时期国民
经济和社会发展规划纲要及《西藏统计年鉴》(2011
年)提供的单位地区生产总值能源消耗控制量推
算。为了保持数据统一性,2015 年各类污染物排
放量扣除了农业面源、集中式和机动车排放量。

3 结果与分析

3.1 土地利用生态效率测算

3.1.1 时间序列变化 采用 MAXDEA 软件,测算
中国各省土地利用生态效率 (图 1)。从时间序列
看,2005—2015 年西藏土地利用生态效率保持稳
定,效率值为 1,松弛及剩余变量均为 0,处于效率前
缘面,达到 DEA 有效。各地区 10 年的均值状态显
示,青海、内蒙古、新疆、甘肃效率水平相对较高,湖
南、广西、宁夏、江苏和上海最低。地区自身的效率
水平随时间变化不明显,总体平稳并多处于低效运
行状态。全区域 3 年效率平均值分别为 0.0817、
0.1247 和 0.0937,均落在效率前缘面右侧,除西藏
外,绝大地区的效率值都处于低值区间。说明低效
的土地利用生态效率水平,是过去以及当前主流的
现实状态。

3.1.2 空间变化情况 对 2005—2015 年效率变化
分区定等,进一步了解其空间分布状态。考虑值域

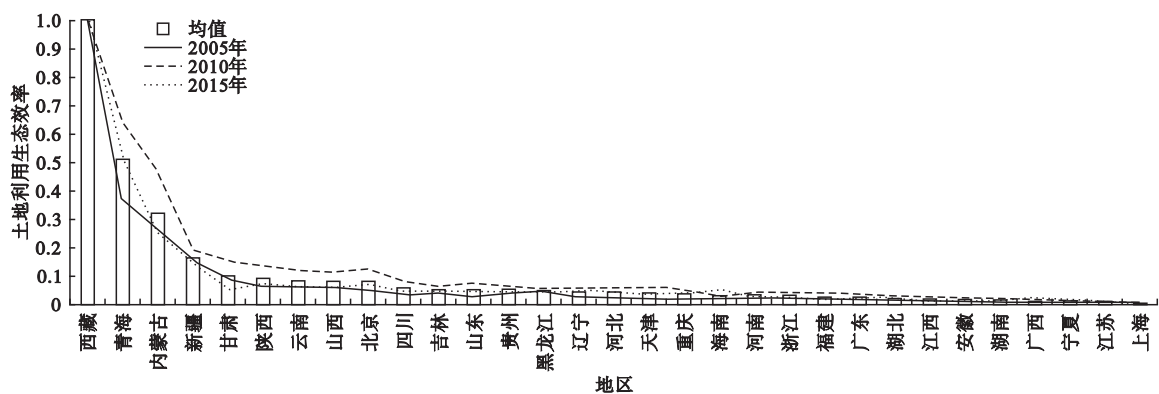


图 1 2005、2010、2015 年中国省际土地利用生态效率
Fig.1 Land use ecological efficiency in various provinces of China in 2005, 2010 and 2015
未包括香港及澳门特别行政区和台湾省数据。

存在巨大的变动区间可能对不同分类标准产生不同响应,影响合理性,因此采用自然断点法对结果进行划分(图 2)。结果显示:土地利用生态效率区域分布差异明显,存在西高东低、南北分异的分布格局,效率水平由西北内陆向东南沿海逐级递减。高效、亚高效及中效带主要分布于西北地区,包含:西藏、青海、新疆、内蒙古等地。低效、亚低效区覆盖宁夏、上海、江苏、安徽、江西、湖南等在内的大部分区域,呈集中连片分布特征。黑龙江、吉林、辽宁、河北、山东、四川、贵州、重庆则处于临界过渡状态,在中、低效间徘徊。总体来看,低效分布占主体地位,以 400 mm 等降水量线为界,呈现东西分异的格局特征。3 个不同观测截面效率的变异系数分别为 2.29、1.67 和 2.07,说明区域内效率水平差距较大,但高效区和低效区的水平落差,在长达 10 年的时间跨度上,于 $\pm 28\%$ 的均值范围内浮动,变化并不剧烈,说明较大的差异状态一直处于较为稳定的状态。

3.2 效率空间自相关分析

3.2.1 全局自相关 为进一步挖掘效率的空间聚类和分异特征,采用 GeoDa 软件计算 2005—2015 年

土地利用生态效率空间自相关系数。在置信水平超过 0.05,正态统计量 Z 值均高于 1.96 临界值的前提下,3 年 Global Moran I 指数分别为 0.215、0.273 和 0.233。表明:①省际层面土地利用生态效率水平全局空间自相关特征显著,效率较高的单元彼此趋于相邻,效率较低的单元也趋于集聚。②研究期内 Global Moran I 指数均为正,波动中呈上升趋势。其中,2005—2010 年指数增加,说明各省土地利用经济产出及生态支出差异逐渐变小,级间生态效率联系增强;2010—2015 年指数有所下降,表明生态效率差异有所增大,不同投入水平下的经济产出和环境影响有一定变化,导致效率的空间集聚性减弱。就总体而言,10 年间的 Moran I 整体增加,说明效率变化动态平稳,并未破坏内部的集聚状态。

3.2.2 局部自相关 土地利用生态效率 Moran 散点图显示(图 3),在不同时间截面上,土地利用生态效率的波动均大于其空间滞后量。效率水平处于 2~5 范围的点较少,具有显著的离群分布特征。其中,落入第 I 象限的省级单元向外扩散分布的幅度较大,而落入第 III 象限的单元则呈现出团聚状丛

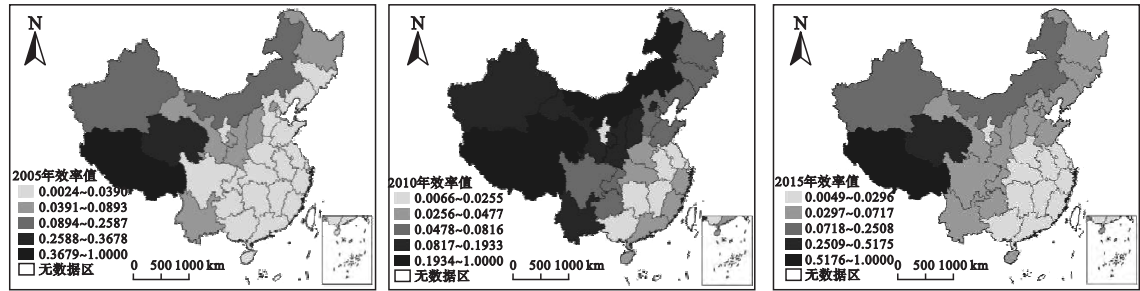


图 2 2005、2010、2015 年中国省际土地利用生态效率空间分布示意图
Fig.2 Spatial distribution of land use ecological efficiency in various provinces of China in 2005, 2010 and 2015
未包括香港及澳门特别行政区和台湾省数据。

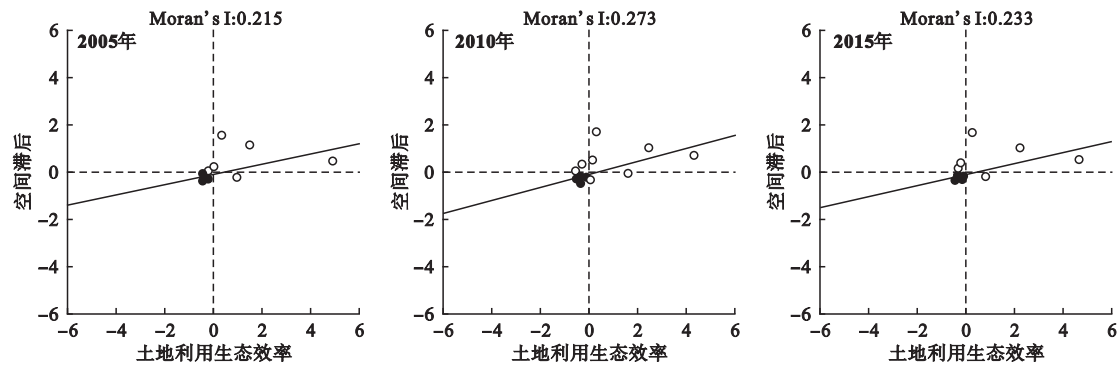


图3 2005、2010、2015 年中国省际土地利用生态效率 Moran *I* 散点图
Fig.3 Scatter plot of Moran's *I* of land use ecological efficiency in various provinces of China in 2005, 2010 and 2015
未包括香港及澳门特别行政区和台湾省数据。

簇分布特征,集聚在很小的范围内。这反映出具有较高效率水平的集聚性个体存在一定差异,而较低水平的集聚单元差异较小。

从分布情况看:①位于第 I 象限表征“高-高”型聚类的省级单元在 3 个时间截面均较少,并由 2005 年的 4 个下降到 2015 年的 3 个,说明 2010 年后效率水平的空间差异是增加的。②位于第 II 和第 IV 象限表征“低-高”型和“高-低”型分布的省级单元也较少,只包含黑龙江、内蒙古等地区。③位于第 III 象限“低-低”型聚类分布的区域在整个研究期内占主导地位,数量稳定在 25 个左右,平均占有率达 79.57%。说明土地利用生态效率原本较低的地区,其周边区域效率水平也相对落后,空间差异程度小。经过长达 10 年的发展,在土地利用方式、强度、投入力度不断改变的背景下,由于经济产出能效不明显或环境承载成本巨大,导致其依然没有摆脱相对落后的局面。这也说明,实现投产合理布局、实现经济环境协调发展的道路还很长。

在 5% 的显著性水平下,根据 LISA 聚类情况,进一步对土地利用生态效率的空间关联模式进行分析(表 2)。①高极化效应区(显著“高-高”带)主要

分布于中国西北内陆,包括西藏、新疆和青海 3 省。该类区域效率水平显著高于周边地区,位于效率的长轴区。这些省份经济发展水平相对滞后,土地利用强度、规模以及资源投入力度相对较低,支付的生态环境成本较少,加之省域面积辽阔,单位面积土地上担负的环境成本弱化的较为剧烈,这些特质使得其效率值较高,高高集聚效应也较为显著。②低极化效应区(显著“低-低”带)集中在中国东南沿海地区,主要包括广东、福建、浙江、安徽、江西等地。这些地区经济发展起步早、水平高,辖区土地供需矛盾尖锐,土地利用强度、规模及单位面积土地上的利用冲突显著高于不发达地区,加之人口稠密、单位面积需消解的生态环境成本基数大,资源承载负荷重,故而形成相似的效率短轴区。从分布情况也可看出,效率较低的区域集聚范围更广,强度更强。③虽然 Moran 散点图显示还存在一定数量的“低-高”和“高-低”分布区,但在 3 个时间截面的 LISA 聚类上看,这 2 类过渡效应区均不显著。形成这一特性的原因主要和效率存在东低西高的“两级化”分布模式有关,高值嵌套低值和低值嵌套高值的离散性分布格局基本不存在,被效率高值和低值在东西地界的集中连片模式所取代,这也进一步证明中国省级土地利用生态效率空间分布的“极化效应”是十分显著的。

3.3 土地利用生态效率优化配置

DMU 落在效率前缘面是实现土地利用生态效率有效的充要条件(游和远等,2011)。根据计算结果,要实现除西藏外其余 30 个 DMU 的有效性,需要对其投入产出量加以制衡,通过减少松弛和增加亏损的优化设计,完成非 DEA 有效的扭转和改变。此类调整,能快速直观给出某一具体 DMU 单元实现

表 2 2005、2010、2015 年中国省际土地利用生态效率 LISA 分布

Table 2 The LISA distribution of land use ecological efficiency in various provinces of China in 2005, 2010 and 2015

年份	“H-H” 高高区	“L-H” 低高区	“L-L” 低低区	“H-L” 高低区
2005	西藏、新疆、青海	-	广东、福建、江西、浙江、安徽、江苏	-
2010	西藏、新疆、青海	-	广东、福建、江西、浙江、安徽	-
2015	西藏、新疆	-	广东、福建、江西、浙江、安徽、江苏、上海、湖北	-

未包括香港及澳门特别行政区和台湾省数据。

DEA 有效的投产修正方案。但该结果难以从宏观层面,对面域范围内资源配置度和产出有效度进行探测和监控。为弥补这一缺失,根据计算得到的各要素松弛量和投影值,采用灰靶模型作进一步探索。

将投入松弛和产出不足看作两个相对独立的黑箱,不考虑彼此间的相互影响。在投入黑箱中,用当前状态下最优化的投影值与目标单元投入量之比,表征资源配置的有效度,值越高,表示当前投入量中的最优份额越大,投入越接近最优量,相对投入冗余低,投入过剩度小,资源配置有效度高。同理,在产出黑箱中,用当前状态下的产出量与目标单元最优投影量之比表征产出有效度,值越大,表明当前产出水平越接近最优状态,反之亦然。分别构建投入和产出在不同时间截面的指标系统,以 2005 年为例(表 3)。

对于土地利用生态效率而言,投产黑箱各指标均具有正功效,为最大值序列,根据模型原理,构建标准模式。在此基础上,设置靶心 $X_0 = (1, 1, \dots, 1)$,对指标进行灰靶变换,根据式(3)计算靶心度。根据自然断点法,将结果图形化显示(图 4、5)。

(1) 从投入黑箱看:①2005—2015 年的 10 年间,以灰白色为代表的资源配置低效状态占主体地位,西部资源配置度高于东部,区域差异明显。总体上,西藏、青海处于资源配置有效的 I 级梯队,地区内资源投入量与最优量最为接近;新疆和内蒙古为 II 级梯队,资源配置有效度处于临界的均衡状态,仍有上升空间。两类阶梯所属地区社会经济相对落后,地区面积辽阔、人口较稀疏,生产生活所需的资源消耗相对较小,当前投入量与经济发展水平速度相适宜,因此配置程度相对较高。黑龙江、山西、甘

表 3 2005 年投入与产出黑箱各要素的投产占比
Table 3 The proportion of each element in the inputs black box and outputs black box in 2005

地区	投入黑箱				产出黑箱				
	劳动力	能耗总量	用水总量	固定资产	COD	氨氮	废水	烟粉尘	SO ₂
北京	0.0069	0.0030	0.0434	0.0029	1.0000	0.5918	0.4102	0.3642	0.0868
天津	0.0031	0.0012	0.0198	0.0017	1.0000	0.5489	0.8691	0.3792	0.0787
河北	0.0054	0.0028	0.0247	0.0066	0.8853	0.6058	1.0000	0.1157	0.0559
山西	0.0088	0.0034	0.0678	0.0113	0.6873	0.4419	1.0000	0.0418	0.0251
内蒙古	0.1403	0.0525	0.2587	0.0935	0.5279	0.2240	1.0000	0.0363	0.0154
辽宁	0.0051	0.0023	0.0222	0.0039	0.9522	0.4813	1.0000	0.1461	0.0732
吉林	0.0101	0.0072	0.0390	0.0120	0.6742	0.5444	1.0000	0.1423	0.1026
黑龙江	0.0226	0.0169	0.0445	0.0380	0.6333	0.4145	1.0000	0.1357	0.0898
上海	0.0012	0.0004	0.0024	0.0005	1.0000	0.6387	0.5429	0.6893	0.0847
江苏	0.0030	0.0020	0.0058	0.0020	1.0000	0.8118	0.6647	0.3420	0.1005
浙江	0.0055	0.0033	0.0168	0.0030	1.0000	0.6746	0.6789	0.3837	0.0988
安徽	0.0036	0.0045	0.0126	0.0057	0.9901	0.5925	1.0000	0.1653	0.1100
福建	0.0067	0.0057	0.0167	0.0073	1.0000	0.5412	0.6637	0.3474	0.1221
江西	0.0059	0.0079	0.0145	0.0076	0.7536	0.7235	1.0000	0.1651	0.0803
山东	0.0047	0.0028	0.0275	0.0034	1.0000	0.6548	0.9821	0.2218	0.0549
河南	0.0032	0.0029	0.0191	0.0048	1.0000	0.4952	0.9791	0.1262	0.0634
湖北	0.0041	0.0034	0.0119	0.0062	1.0000	0.5641	0.9283	0.2635	0.1227
湖南	0.0037	0.0036	0.0090	0.0062	0.8009	0.5069	1.0000	0.1566	0.1114
广东	0.0049	0.0037	0.0127	0.0046	1.0000	0.7557	0.5923	0.5038	0.1168
广西	0.0035	0.0044	0.0063	0.0064	0.7092	0.6090	1.0000	0.1960	0.1060
海南	0.0063	0.0086	0.0143	0.0094	0.8105	0.7857	0.7857	1.0000	0.5000
重庆	0.0042	0.0037	0.0203	0.0041	1.0000	0.6862	0.6626	0.1792	0.0459
四川	0.0076	0.0074	0.0354	0.0115	0.9369	0.7821	1.0000	0.1784	0.0807
贵州	0.0080	0.0060	0.0352	0.0187	0.6938	0.6222	1.0000	0.0807	0.0165
云南	0.0183	0.0186	0.0683	0.0308	0.7368	0.7895	1.0000	0.1571	0.0575
西藏	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
陕西	0.0104	0.0103	0.0636	0.0145	0.6640	0.6385	1.0000	0.0905	0.0360
甘肃	0.0339	0.0282	0.0893	0.0690	0.6769	0.2588	1.0000	0.1073	0.0313
青海	0.1649	0.0756	0.3678	0.1868	0.7389	0.5429	1.0000	0.0894	0.0613
宁夏	0.0084	0.0027	0.0079	0.0076	0.7049	0.4235	1.0000	0.1352	0.0420
新疆	0.1494	0.0769	0.0744	0.1543	0.6509	0.5727	1.0000	0.1135	0.0486

未包括香港及澳门特别行政区和台湾省数据。

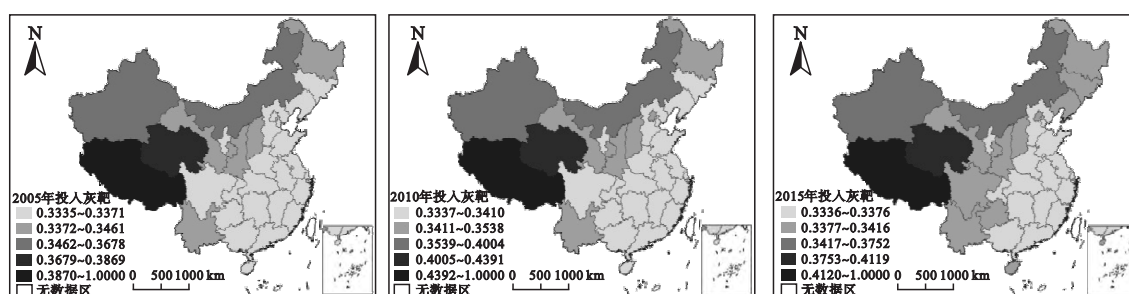


图 4 2005、2010、2015 年资源配置度的灰靶分布

Fig.4 Grey target distribution of resource allocation degree in 2005, 2010 and 2015

未包括香港及澳门特别行政区和台湾省数据。

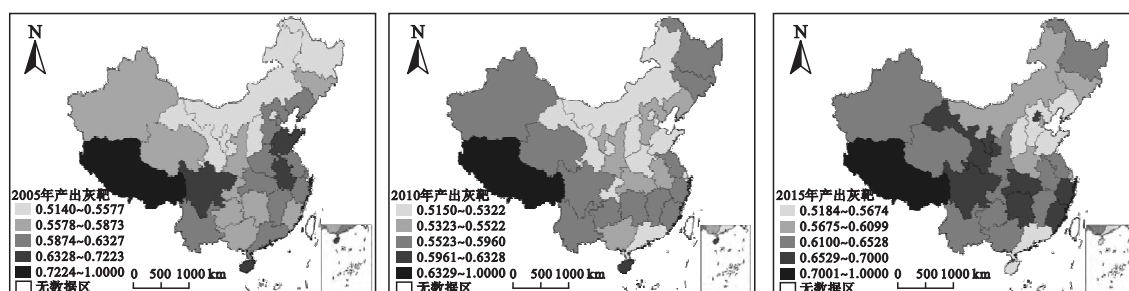


图 5 2005、2010、2015 年产出效能的灰靶分布

Fig.5 Grey target distribution of output of energy efficiency in 2005, 2010 and 2015

未包括香港及澳门特别行政区和台湾省数据。

肃、云南等地构成第Ⅲ梯队,配置度相对较低。这些地区多属资源或工业型省份,能耗较大,拉低了资源配置水平。广大东部地区处于第Ⅳ梯队,3年平均排序最低的两个地区分别为:上海、江苏和湖南,靶心值分别为0.3336、0.3346和0.3353。辖区大部地区经济发展水平较高,以上海市为例,属国家一线城市,基础设施完备、城市吸引力大,具有“人口密集-能耗密集-资金密集”的“高覆盖-高强度-高需求”的三高特征。有限的地域空间,承载着过量的人口基数及连锁式消耗成本,引发如人口资源过剩与土地资源紧缺并存等矛盾性问题,产生配给低效等诸多症结。②资源配置有效度 2005—2010 年变化较小,总体维持稳定,2010—2015 年低效区向东部偏移,总量由 22 个减少到 16 个。说明投入无效率受到一定遏制,朝向好的方面发展。但从总体看,东部地区人力、资本、资源的投入冗余远高于西部地区,应当合理进行资源重组,优化投入结构和份额,将过量资源适当向西部地区转移和倾斜。

(2)从产出黑箱看:① 10 年间西藏产出效率一直处于最高水平,说明经济发展增速对地区环境影响小,处于和谐发展状态。② 2005—2010 年,产出效能处于中下水平的区域主要分布在西北、西南和

东北地区,典型地区包括:黑龙江、内蒙古、山西、宁夏、甘肃,其偏离靶心度的均值分别为:0.4418、0.4833、0.4611、0.4498、0.4667。这些地区多处内陆,经济发展水平较东部落后,产业结构不均衡,部分地区重工业占比大,技术更新速率慢,加之辖区覆盖面广,存在环保监测力度不足等问题,导致 GDP 增量有限的同时,承载了较高的生态负荷,影响了产出水平。③ 2010—2015 年,产出效能在全国范围有较大改善,有 64.51% 的区域达到或超出临界水平,提高了 19.35%,特别是中西部的甘肃、宁夏、四川等地,靶心度提高到 0.68 左右,平均高于期初 25.23%。但以京津冀、长三角及珠三角为中心的中国经济脉动带,一定辐射半径范围内的产出效能多处于临界或较低水平。有限土地上的各类资源被最大限度转换成经济产出,而能够消解的环境资本有限,导致经济但不生态运行模式的非良性循环,土地利用生态产出效率改善任重道远。

4 结论与讨论

4.1 结论

2005—2015 年的 10 年间,中国土地利用生态效率水平总体保持低效状态,仅西藏一地达到效率

前缘面。土地利用生态效率空间差异明显,区域间差距较大,高效区主要分布在经济发展水平相对落后的西部,具有西高东低、南北分异的分布特征。

中国省际土地利用生态效率存在显著的空间自关联,局部空间格局演变特征显示:土地利用生态效率的空间“极化效应”十分明显,高-高聚类的“高极化区”主要分布在西部内陆,低-低集聚的“低极化区”分布在东部地区,低效集聚的范围和强度均高于高效类。

西藏地区资源配置有效度最高、上海最低,全国绝大部分地区配置有效度处于中下水平,西部地区优于东部地区。低效区有向东部沿海缩小和偏移的趋势,但中东部的资源投入冗余度仍较高。

产出效能的结果反映出地区经济发展水平提高及对生态负荷的有效控制,使得产出效能在整体上趋向于好的方面发展,低效区向京津冀、长三角、珠三角为中心的城市群集聚。调整产业结构,优化经济发展模式,实现资源合理有效布局,加大环保力度,控制污染排放总量仍有待改善。

4.2 讨论

土地利用生态效率属利用效率和生态效率的交叉集,相关研究目前仍处于初步探索期。

首先,效率评价的指标体系还有待完善和改进。对受数据可获取性限制、未做考量的部分因素,如污染三废中的固废等,应寻找替代方案予以修正,以利评价结果更完整、更精准。

其次,除采用 C^2R 模型进行效率测算外,将非期望产出作为独立变量的 SBM-Undesirable 等模型也有待尝试和验证,以利评价方法的丰富和扩展。

第三,研究考虑了效率在时间截面的波动演化状态,但未进行长序列的动态观测,变化规律有何特征还有待再挖掘;同时,影响土地利用生态效率变化的各驱动因素、相互作用机理及优化调控对策,在当前研究中尚存在空白,亟待在后续工作中予以补充和完善。

最后,资源配置有效度和产出效能的空间分异格局及冷点热点区域分布状态也可作进一步辨识,以便实现资源在宏观层面的有效倾斜,提高对地区生态负荷量的探测和监控。

参考文献

盖兆雪,赵映慧,曲长祥. 2014. 黑龙江省东部煤电化基地土地利用生态效率时空特征分析. 中国矿业, 23(9):

61-63.

关伟,张华,许淑婷. 2015. 基于 DEA-ESDA 模型的辽宁省能源效率测度及时空格局演化分析. 资源科学, 37(4): 764-773.

郭艳桃,夏红雨,周银燕. 2010. 我国省际土地利用生态效率评价. 商业经济研究, (26): 13-14.

李红,周波. 2012. 基于改进后灰靶模型的四川省水资源紧缺度评价. 四川大学学报: 工程科学版, 44(1): 43-49.

施鑫. 2016. 基于 DEA 的长江中游城市群土地利用生态效率研究(硕士学位论文). 武汉: 湖北大学.

孙露,耿涌,刘祚希,等. 2014. 基于能值和数据包络分析的城市复合生态系统生态效率评估. 生态学杂志, 33(2): 462-468.

孙鹏,王青,刘建兴,等. 2007. 沈阳市交通生态效率与环境压力. 生态学杂志, 26(12): 199-202.

孙才志,刘玉玉. 2009. 基于 DEA-ESDA 的中国水资源利用相对效率的时空格局分析. 资源科学, 31(10): 1696-1703.

汪险生,郭忠兴. 2014. 基于 DEA 方法的农地非农化效率研究. 自然资源学报, 29(6): 944-955.

文博,刘友兆,夏敏,等. 2016. 基于灰靶模型的宜兴市农村居民点布局适宜性评价及分类调控研究. 地域研究与开发, 35(5): 153-157.

谢曼曼,李秀霞. 2015. 基于数据包络分析法的吉林省土地利用生态效率时空演化规律研究. 水土保持通报, 35(3): 225-230.

尹科,王如松,姚亮,等. 2011. 中国环保模范城市生态效率评价. 生态学报, 31(19): 5588-5598.

游和远,吴次芳,林宁,等. 2011. 基于数据包络分析的土地利用生态效率评价. 农业工程学报, 27(3): 309-315.

张俊凤,花盛,刘友兆,等. 2014. 基于改进灰靶模型的土地整治可持续性评价研究——以江苏省为例. 长江流域资源与环境, 23(2): 153-160.

赵晨,王远,谷学明,等. 2013. 基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率. 生态学报, 33(5): 1636-1644.

朱玉林,李明杰,龙雨孜,等. 2012. 基于能值分析的环洞庭湖区农业生态系统结构功能和效率. 生态学杂志, 31(12): 3086-3093.

Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 3: 338-339.

Cheng B, Wang Q, Liu J. 2006. Comparative analysis on eco-efficiency of arable land ecological footprint in Hubei. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 11: 1052-1058.

Reith CC, Guidry MJ. 2003. Eco-efficiency analysis of an agricultural research complex. *Journal of Environmental Management*, 68: 219-229.

作者简介 黄鑫,男,1986年生,硕士,主要从事土地资源评价研究. E-mail: huangx@gsau.edu.cn

责任编辑 魏中青