

引用格式:胡博伟,周亮,王中辉,等.干旱区资源型城市绿色经济效率时空分异特征[J].资源科学,2020,42(2):383-393.[Hu B W, Zhou L, Wang Z H, et al. Spatiotemporal differentiation of green economic efficiency of resource-based cities in arid area[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 383-393.] DOI: 10.18402/resci.2020.02.16

干旱区资源型城市绿色经济效率时空分异特征

胡博伟^{1,2},周亮^{1,2},王中辉^{1,2},车磊³,张梦瑶⁴

(1. 兰州交通大学测绘与地理信息学院,兰州 730070;2. 地理国情监测技术应用国家地方联合工程研究中心,兰州 730070;3. 南京大学建筑与城市规划学院,南京 210093;
4. 中国农业大学人文与发展学院,北京 100193)

摘要:绿色经济效率评价对干旱区资源型城市绿色发展质量提升和经济转型意义重大。通过构建基于绿色发展理念的投入-产出指标体系,运用SBM-Undesirable和Malmquist-Luenberger模型,对中国北方干旱区20个资源型城市2006—2016年静态效率、动态效率进行测度。并借助城市发展周期、主导资源类型分类特征以及动态变化视角对干旱区资源型城市的绿色发展水平和特征规律进行差异性分析。结果表明:①干旱区资源型城市绿色经济静态效率总体水平较低(0.932),且城市间效率值表现出较大差异性,其中吕梁、延安和庆阳等城市绿色发展水平相对较高。②按照主导资源类型划分城市的绿色经济效率,呈现石油类(0.995)>综合类(0.958)>金属类(0.908)>煤炭类(0.904)规律特征,金属类城市和煤炭类城市变化趋势相似且都处于较低状态;依据城市发展周期划分城市的绿色经济效率,呈现成长型(0.978)>再生型(0.945)>成熟型(0.920)>衰退型(0.882)的规律特征,衰退型城市绿色发展明显滞后。③干旱区资源型城市绿色经济动态效率总体处于增长状态,在2006-2016年整个时期呈现出“逐步上升—快速上升—缓慢上升”的变化规律。④根据ML指数将城市划分为4种类型,其中增长型和波动增长型城市占比为65%。大同、包头和白银等城市动态效率值较高,绿色经济的增长速度较快。整体上干旱区资源型城市在国家政策引导和统筹管理下,绿色发展水平正逐步得到改善提升。

关键词:资源型城市;绿色发展;经济效率;时空分异;干旱区

DOI: 10.18402/resci.2020.02.16

1 引言

绿色发展是中国改善生态环境和提高经济质量的必经之路,同时也是新时期生态文明建设所面临的重大考验和核心任务。作为国家战略资源保障基础的资源型城市,其绿色增长能力更是彰显国家绿色发展水平的关键^[1]。然而,在经济发展新常态背景下,中国北方干旱脆弱区资源型城市,面临一般资源型城市共性问题的同时,还面临干旱区环境承载力弱、水资源短缺、生态恢复难度大、人才流失、城市收缩、城市区位呈现孤岛性和封闭性等特殊问题和困境^[2-4]。在可持续发展过程中,区域资源型城市将面对更为严峻的挑战。因此,针对干旱地

区资源型城市进行绿色经济效率的测度和分析,是区域推动绿色转型发展和精准政策实施的关键,也是资源型城市摆脱“资源诅咒”困境的重要前提。

绿色经济效率是将资源和环境因素引入经济发展水平的测度中,进行绿色经济绩效研究的一种综合评价指标,能够真实反映出当地经济发展的健康程度和绿色发展水平^[5]。学者Pierce等^[6]在1989年首次提出“绿色经济”概念,在2012年联合国可持续发展大会后,绿色经济效率相关研究逐渐深入到可操作层面,成为发展绿色经济的研究热点^[7]。中国则针对生态文明建设的现实需求,逐渐加大了对绿色经济效率的实证研究^[8]。国内外学者围绕绿色融资

收稿日期:2019-06-20 修订日期:2019-11-01

基金项目:国家自然科学基金项目(41961027;41861060);教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJCZH268)。

作者简介:胡博伟,男,河北张家口人,硕士生,研究方向为城市与区域生态可持续发展。E-mail: hubw001@outlook.com

通讯作者:周亮,男,甘肃天水人,副教授,硕士生导师,研究方向为城市地理,城市与区域可持续发展。E-mail: zhougeo@126.com

效率、循环经济效率及可持续发展、效率的区域差异分析、产业效率和减排绩效成本评估等内容,对不同产业部门的绿色经济效率进行评价测算^[9-12]。或基于区域性组织、国家、城市群以及省域单元等尺度,对绿色经济效率的发展水平、空间特征及影响机制等进行实证分析^[13-17]。对于资源型城市的研究,城市社会经济与生态环境间协调关系已逐渐成为该领域的热点和前沿^[18]。国外学者主要以发达国家为研究对象,而在研究内容上则侧重于对工业化后期阶段矿业社区的社会结构体系、就业及劳动力市场变化、社区建设等社会问题进行研究^[19,20];国内研究则主要从资源型城市产业转型升级、阶段特征和演化周期、环境污染及环境政策等经济发展方面展开^[21,22]。

总结发现,现阶段对于绿色经济效率的研究,多聚焦在对区域间宏观层面的差异性以及对个别典型城市进行实证分析,或者基于绿色经济框架对行业整体发展效率进行测评。对资源型城市的研究,内容上多着重于对城市绿色发展内涵的定性阐释以及整体特征的定量分析。然而,利用绿色经济效率相关模型,将干旱地区作为独立的研究单元,考虑该区域特殊因素,对区域资源型城市多年绿色发展水平、绿色发展状态的规律及特征进行定性和定量相结合的研究较少。鉴于此,本文将干旱区20个资源型地级市作为研究对象,根据干旱区城市特性构建绿色经济效率指标体系,利用SBM-Undesirable模型和ML指数模型等方法,综合测算2006—

2016年干旱区资源型城市绿色经济效率。分析城市静态效率特征和不同分类视角下各类型城市的发展特征,以及动态效率下,不同阶段的变化特征以及变化分类情况。在干旱区特殊环境背景下,探索资源型城市绿色发展水平和各时期阶段的绿色发展状态。同时,基于不同分类视角揭示干旱区资源型城市间发展差异,探析区域绿色发展的典型示范城市;以期为干旱区资源型城市可持续发展提供一定的研究支撑。

2 研究区概况、数据来源与指标体系

2.1 研究区概况

按照自然区划,中国干旱区位于内陆腹地。其行政区域范围主要包括内蒙古中西部,新疆大部,宁夏北部,甘肃中西部以及接壤的山西、陕西、辽宁等边缘地带。横跨新疆绿洲、河西走廊、河套平原、黄土高原、内蒙古高原边缘地区等生态脆弱区,面积约为300多万 km^2 ,占国土面积的30%(图1)。第六次人口普查结果显示干旱区人口占中国总人口的7.5%。年降水量低于200 mm,蒸发量在2000~3000 mm以上。水资源总量在1500亿 m^3 ,占全国总量的6%。干旱区是中国重要能源矿产资源蕴藏区,石油资源探明储量占全国41%,天然气储量占全国74%,煤炭储量约4000亿t,占全国储量的30%;金属、非金属已探明171种矿产中,该地区有138种,近30种矿产居中国首位。区域内资源型城市位于塔里木盆地油气资源富集区,东天山、北祁

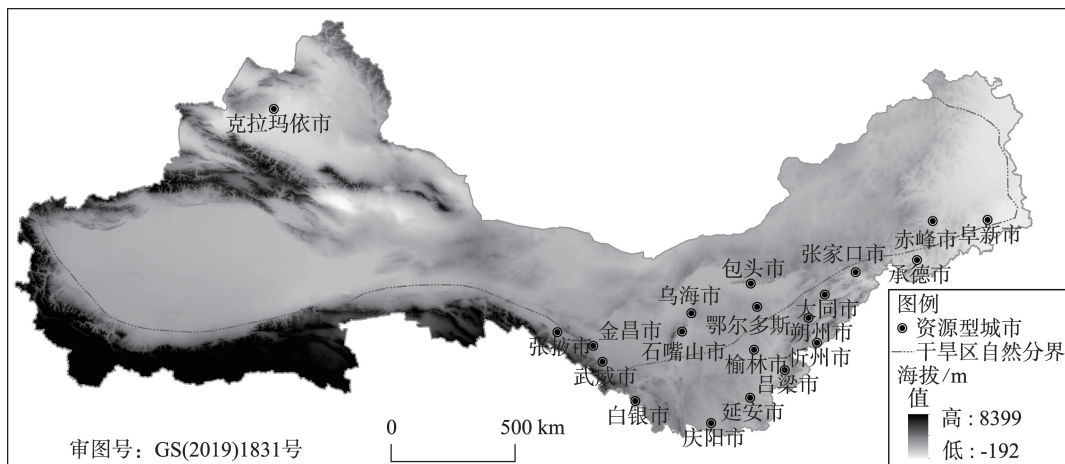


图1 干旱区资源型城市区位

Figure 1 Location of resource-based cities in the arid area of China

2020年2月

连山有色金属及能源集中区,鄂尔多斯盆地及东缘能源富集区,陕甘川接壤地带有有色金属富集区等资源储量丰富地区^[23],肩负国家资源供应和战略储备的重大任务。

2.2 数据来源与指标体系

基于数据可获得性、相关性以及科学性原则,依据国家发布的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》对资源型城市的界定,选取2006—2016年度干旱区行政区域范围内,张家口、大同、吕梁、克拉玛依等20个地级资源型城市作为决策单元(DMU)进行分析(巴音郭楞蒙古自治州、阿勒泰地区因数据缺失暂不纳入研究)。所需统计数据来自2007—2017年《中国城市统计年鉴》,非期望产出指标中缺失数据从各地级市历年政府环境统计公报和政府工作报告等资料中补齐。

干旱区资源型城市绿色经济效率的测度,不仅要考虑投入要素对该地区特殊状况的反映,也要考虑产出要素因自然资源耗减和环境污染所造成价值损失的问题。基于此,本文构建了干旱地区绿色经济效率指标体系(表1)。在投入指标中,选取城镇单位从业人员年末人数作为劳动力要素;生产用水量、工业用电量和建成区面积作为资源要素。其中,生产用水为供水总量减去生活用水量,包括农业和工业生产用水。选取资本存量作为投入指标中的资本要素,由于地级市一级的资本存量无法从统计年鉴上直接得出,本文根据永续盘存法对地级市的资本存量进行估算^[24]。在产出指标中,以各市的地区生产总值作为期望产出;选取工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟(粉)尘排放量作

为非期望产出。

3 研究方法

本文利用永续盘存法确定城市的资本存量作为资本要素,运用SBM-Undesirable模型和ML指数模型计算出干旱区各资源型城市的绿色经济静态效率和动态效率;探究干旱区内部资源型城市的绿色发展水平和变化规律,分析不同分类视角下各类型城市间绿色发展的差异性特征。

3.1 永续盘存法

1951年Goldsmith提出的永续盘存法已经逐渐成为国际通用的资本存量估算方法,其基本原理是将资本存量作为前期连续投资的加权和。能够准确反映随生产能力改变城市资产效率的整体水平。计算公式为:

$$K_t = K_{t-1}(1 - \delta) + (I_t + I_{t-1} + I_{t-2})/3 \quad (1)$$

式中: K_t 为 t 期的资本存量; K_{t-1} 为 $t-1$ 期的资本存量; δ 为资本折旧率;固定资产投资的建设周期选定为3年; $(I_t + I_{t-1} + I_{t-2})/3$ 表示 t 年新增固定资产额。初始资本存量、折旧率、以及投资建设周期3年的选定均借鉴柯善咨等^[24]的计算。

3.2 SBM-Undesirable模型

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)是用于测度多个投入与产出要素间非参数技术效率的系统分析方法^[25]。但由于传统DEA模型存在相对不足,Tone首先构造出非径向SBM(Slacks-Based Measure)模型,避免了投入和产出的松弛性问题。之后针对负外部效益产出造成的缺陷,基于非期望产出构造出SBM-Undesirable模型,真实反映出干旱区资源型城市绿色发展的本质^[26,27]。具体

表1 绿色经济效率指标体系

Table 1 The green economic efficiency index system

指标类别	指标特征	指标名称	单位
投入指标	劳动力要素	城镇单位从业人员年末人数(全市)	人
	资源要素	生产用水	万t
		工业用电量	万kW·h
		建成区面积	km ²
产出指标	资本要素	资本存量(市辖区)	万元
	期望产出	地区生产总值	万元
	非期望产出	工业废水排放量	万t
	非期望产出	工业二氧化硫排放量	t
	非期望产出	工业烟(粉)尘排放量	t

公式如下:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{n_1 + n_2} \left(\sum_{r=1}^{n_1} \frac{s_r^+}{y_{rk}} + \sum_{t=1}^{n_2} \frac{s_t^{b^-}}{b_{rk}} \right)} \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \mathbf{X}\lambda + \mathbf{S}^- = x_k \\ \mathbf{Y}\lambda - \mathbf{S}^+ = y_k \\ \mathbf{B}\lambda + \mathbf{S}^{b^-} = b_k \\ \lambda \geq 0, \mathbf{S}^+ \geq 0, \mathbf{S}^- \geq 0, \mathbf{S}^{b^-} \geq 0 \end{cases}$$

式中: ρ^* 为目标函数的绿色经济效率值; $\mathbf{S}^-, \mathbf{S}^+, \mathbf{S}^{b^-}$ 表示投入、期望产出和非期望产出的松弛矩阵; s_i^- 、 s_r^+ 、 $s_t^{b^-}$ 分别表示投入指标、期望产出、非期望产出松弛量; ρ^* 关于 $\mathbf{S}^-, \mathbf{S}^+, \mathbf{S}^{b^-}$ 严格递减,且 $0 < \rho^* \leq 1$ 。 λ 为权重向量,用来判定资源型城市的规模效益; k 表示为被评价单元; m, n_1, n_2 分别表示投入,期望产出和非期望产出指标个数; $\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{B}$ 分别表示投入、期望产出和非期望产出所构成矩阵; x_k, y_k 和 b_k 分别表示投入、期望产出和非期望产出。当 $\rho^* < 1$ 时,若 ρ^* 的值越接近1,表示第 i 个资源型城市绿色经济效率值越高。当存在最优解 $\rho^* = 1$ 时,即 $s_i^-, s_r^+, s_t^{b^-}$ 都为0时,表明第 i 个城市的绿色经济效率达到了最优。

3.3 Malmquist-Luenberger 指数模型

为了进一步探析干旱区资源型城市绿色经济的动态效率变化规律,以及分解效率的特征,文章借鉴Chung等^[28]构造的Malmquist-Luenberger(ML)指数模型,定义绿色经济效率变化指数(GML),具体公式如下:

$$GML(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) = \left[\frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t, b^t)} \times \frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^t, y^t, b^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

式中: x^t 表示投入向量; y^t 表示期望产出向量; b^t 表示非期望产出向量; $D_c^t(x^t, y^t, b^t)$ 表示 t 时期规模报酬不变(CRS)的全局方向性距离函数。绿色经济效率变化指数(GML)可进一步分解为绿色综合效率变化指数(GEC)和绿色技术进步指数(GTC),用模型表示为:

$$GML(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) = GEC_t^{t+1} \times GTC_t^{t+1} \quad (4)$$

$$GEC_t^{t+1} = \frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t, b^t)} \quad (5)$$

$$GTC_t^{t+1} = \left[\frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \frac{D_c^{t+1}(x^t, y^t, b^t)}{D_c^t(x^t, y^t, b^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

针对GML指数进行进一步分解,将GEC分解为绿色规模效率变化指数(GSEC)和绿色纯技术效率变化指数(GPEC),其公式如下:

$$GSEC_t^{t+1} = \frac{D_c^t(x^t, y^t, b^t)}{D_v^t(x^t, y^t, b^t)} \times \frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \quad (7)$$

$$GPEC_t^{t+1} = \frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{D_v^t(x^t, y^t, b^t)} \quad (8)$$

式中: $D_v^t(x^t, y^t, b^t)$ 表示为 t 时期规模报酬可变(VRS)的全局方向性距离函数。所得公式简化为:

$$GML = GEC \times GTC = GSEC \times GPEC \times GTC \quad (9)$$

其中 $GML > 1$ 表示为在 t 时期到 $t+1$ 时期内,绿色经济变化效率提高; $GML < 1$ 表示为在 t 时期到 $t+1$ 时期内,绿色经济变化效率降低; $GML = 1$ 表示在 t 时期到 $t+1$ 时期内,绿色经济变化效率不变,其他指数也分别具有对应含义。

4 结果与分析

4.1 区域绿色经济静态效率及其分解特征

通过MaxDEA软件,利用SBM-Undesirable模型,对绿色经济投入-产出数据进行处理,得出2006—2016年干旱区20个资源型城市多年平均绿色经济效率分解指数(图2)。研究发现:干旱区资源型城市的绿色经济静态效率表现出整体低水平及内部差异性大的特征,干旱区资源型城市整体绿色发展水平有待提升。分解特征中的绿色纯技术效率较高,对地区绿色发展水平的提升贡献度较大。从内部来看,吕梁、鄂尔多斯、延安和庆阳4个城市的绿色经济效率值为1,绿色发展处于高水平状态,为区域特征城市的绿色发展树立典型范例。

绿色经济静态效率分解特征中,绿色综合效率值处于中低水平的资源型城市比重较大,不均衡特征表现明显。吕梁、鄂尔多斯、延安和庆阳4市处于效率值为1的高效发展状态,克拉玛依和榆林2市处于相对高效发展状态,但两类型城市数量占比仅为整体的30%。绿色综合效率值处于0.9以下低效率发展状态的城市较多,分析表明,低效率城市在发展中资源转化经济效益能力较低,同时由于该地区主要以采掘业和重工业为主,污染物的大量排放大大增加了非期望产出,导致绿色综合效率值较低。反映该地区资源型城市依然存在较强的资源路径依赖,对环境的重视程度有待加强。

绿色纯技术效率表示城市对各资源要素的配

2020年2月

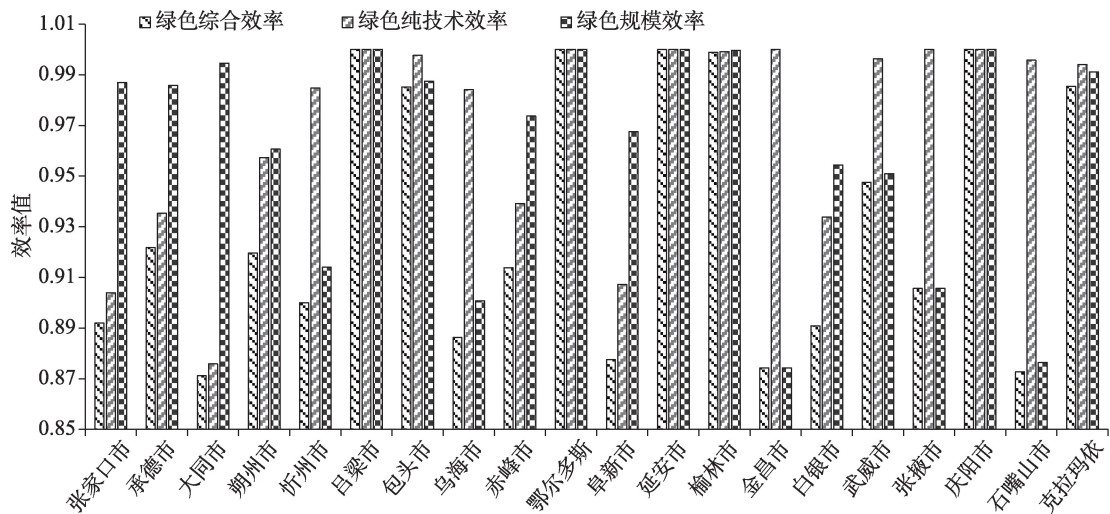


图2 各地级市绿色经济效率分解指数

Figure 2 Sub-indices of green economic efficiency of prefecture-level cities

置和利用效率,综合反映出地方政府对要素的管理水平^[29]。如图2所示,绿色纯技术效率值整体水平较高(0.97),吕梁、鄂尔多斯、延安、金昌、张掖和庆阳处于效率值为1的高效发展水平,包头、榆林、武威和克拉玛依处于相对高效发展水平,效率值处于较高水平以上城市占整体的50%以上。结果反映国家政策的引导和政府生态脆弱区的保护管理水平的提升对区域绿色发展发挥较大作用,一定程度上推动了区域内绿色纯技术效率的提升。绿色规模效率解释为在资源环境的条件下,要素规模投入水平与最优规模水平的差距,表示规模经济的适宜状况^[30]。该区域资源型城市的绿色规模效率整体水平较低(0.96)。同时,绿色规模效率在干旱区资源型城市内部差异性较大,吕梁、鄂尔多斯、延安和庆阳处于效率值为1的高效发展状态,金昌、乌海、忻州、石嘴山和张掖处于低效率发展状态,且效率值处于低水平状态的城市占比较大。较低的绿色规模效率显示,区域大量资源型产业存在过度扩张且经济效益低下的问题,导致地方长期处于规模不经济状态。表明盲目加大资金投入,扩大产业规模来获取经济增长的道路不可取。

4.2 绿色经济静态效率分类特征

为进一步分析干旱区资源型城市不同分类视角下,各类型城市绿色经济效率的差异性特征,将干旱区20个资源型城市按照城市发展周期划分为成长型、成熟型、衰退型和再生型4种类型;按照主

导资源类型划分为煤炭类、石油类、金属类和综合类4种类型^[31],计算出不同城市类型的绿色经济效率,并分析表现特征。

4.2.1 城市发展周期分类特征

将城市发展周期作为城市分类依据的各类型城市中,绿色经济效率差异明显,总体表现规律为:成长型(0.978)>再生型(0.945)>成熟型(0.920)>衰退型(0.882),且衰退型远低于其他几种类型城市(图3)。4种类型城市效率值呈现出以2012年为峰值点的倒“V”型变化特征。绿色纯技术效率相对平稳且整体处于较高水平,对绿色发展的贡献率较大。上述特征表明,干旱区内资源型城市的绿色发展水平与对资源产业的路径依赖程度存在直接关系。区域内成长型城市处于发展周期的前期阶段,资源、环境和经济社会中积累问题较少且产业转型压力较小,致使绿色发展水平的提升具有较强后发优势。再生型城市基本摆脱对资源产业的路径发展依赖,同时对干旱生态脆弱区高排放、高污染产业较大的治理力度,以及“退矿还林”政策的严格执行,使得绿色经济效率呈现较高水平。成熟型城市由于城市资源开采周期较长,生态环境极度脆弱,污染造成水质性缺水严重,同时又面对当地大型资源型企业产能落后等问题,造成其绿色经济效率相对较低。衰退型城市效率值低下具有复杂原因,由于城市发展依赖的资源禀赋消失,锁定效应明显致使产业链萎缩,经济发展迟滞。同时地区又存在大

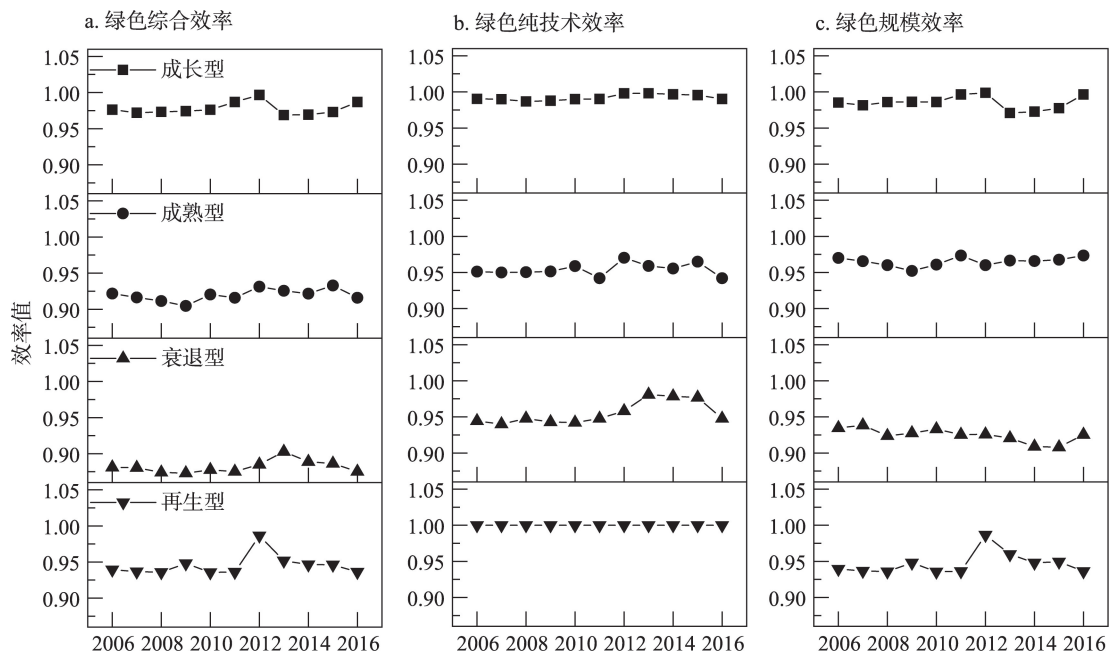


图3 2006—2016年城市发展周期分类城市绿色经济效率分解变化

Figure 3 Changes of green economic efficiency sub-index values of cities by urban development cycle, 2006-2016

量生态环境方面的历史遗留问题,导致效率值持续处于较低水平。

4.2.2 主导资源类型分类特征

以主导资源类型为分类特征的城市中,4种类型城市的绿色经济效率值差异明显。总体表现为:

石油类(0.995)>综合类(0.958)>金属类(0.908)>煤炭类(0.904),金属类和煤炭类城市的绿色综合效率、绿色规模效率均处于较低水平的发展状态,且金属类城市的效率整体波动明显(图4)。由变化特征可知,主导资源类型对干旱区资源型城市绿色发

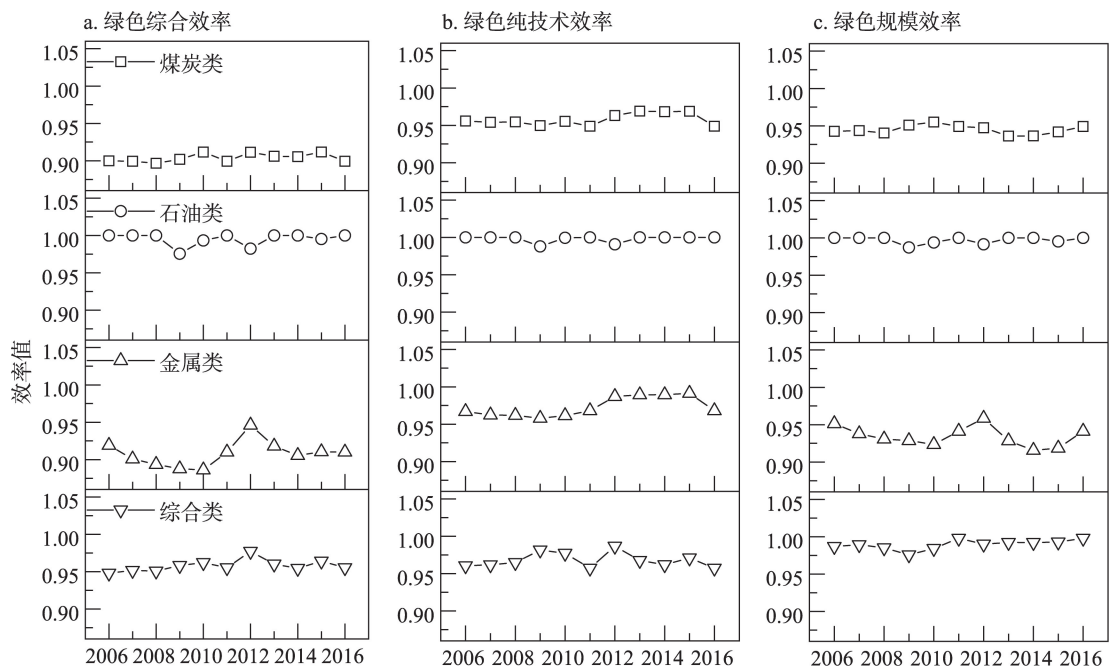


图4 2006—2016年主导资源类型分类城市绿色经济效率分解变化

Figure 4 Changes of green economic efficiency sub-index values of cities by dominant resource type, 2006-2016

2020年2月

展水平的影响,体现在资源禀赋的利用效率以及城市产业结构多元化程度。石油类城市在干旱地区探明资源储量巨大,具有较大潜在动力。同时,石油行业经济附加值和技术含量较高,且生态环境整治包袱较小,使其始终具有较高发展效率。综合类城市效率值较高,原因在于形成了对资源综合开发的多元产业结构,同时依托原有产业积累优势推动产业转型,使得绿色经济处于较高的发展状态。煤炭类和金属类处于低水平发展状态且所占比重较大,原因是两类城市矿区分散且开采强度大,产业发展粗放单一,大部分位于祁连山生态脆弱地区。同时该类型城市多处于成熟期或者衰退期阶段,存在很多长期积累和忽视的城市问题,这对绿色经济效率提升带来较大的挑战^[32,33]。

4.3 区域绿色经济动态效率变化趋势分析

为反映2006—2016年干旱区资源型城市绿色经济效率动态格局变化特征,分析各时期绿色发展状态以及干旱区城市之间变化的差异性特点,根据20个地级市Malmquist-Luenberger指数的总体变化特征,将整个时期划分为2006—2008年、2009—2012

年、2013—2016年3个阶段,对GML、GEC、GTC、GPTC和GSEC进行分析,并依据GML变化特征进行类型划分。综合分析表明:绿色经济效率在整个时期处于持续增长的发展状态,但3个阶段的发展势头受不同时期国内外形势以及区域政策的影响,呈现“逐步上升—快速上升—缓慢上升”的变化规律。GPTC均值在3个时期为1.000、1.005、1.001都处于大于1的增长水平,为推动绿色发展的主要动力。区域内部差异来看,平稳及上升型城市占到75%以上。大同、包头、赤峰、白银和石嘴山5个市为GML上升型城市,在干旱区资源型城市绿色动态效率发展中具有典型性(图5)。

4.3.1 动态效率分解和变化特征

2006—2008年GML整体呈现出逐步上升势头(1.006),其中GTC上涨趋势明显,而GEC、GPTC和GSEC呈微弱下降趋势,均小于1。分布特征显示,忻州(0.989)、金昌(0.997)、武威(0.988)和克拉玛依(0.984)4个市GML在该时期呈下降趋势。吕梁,鄂尔多斯、延安和庆阳4个市GML维持在稳定状态。表明该时期干旱区资源型城市GML的提升主要来

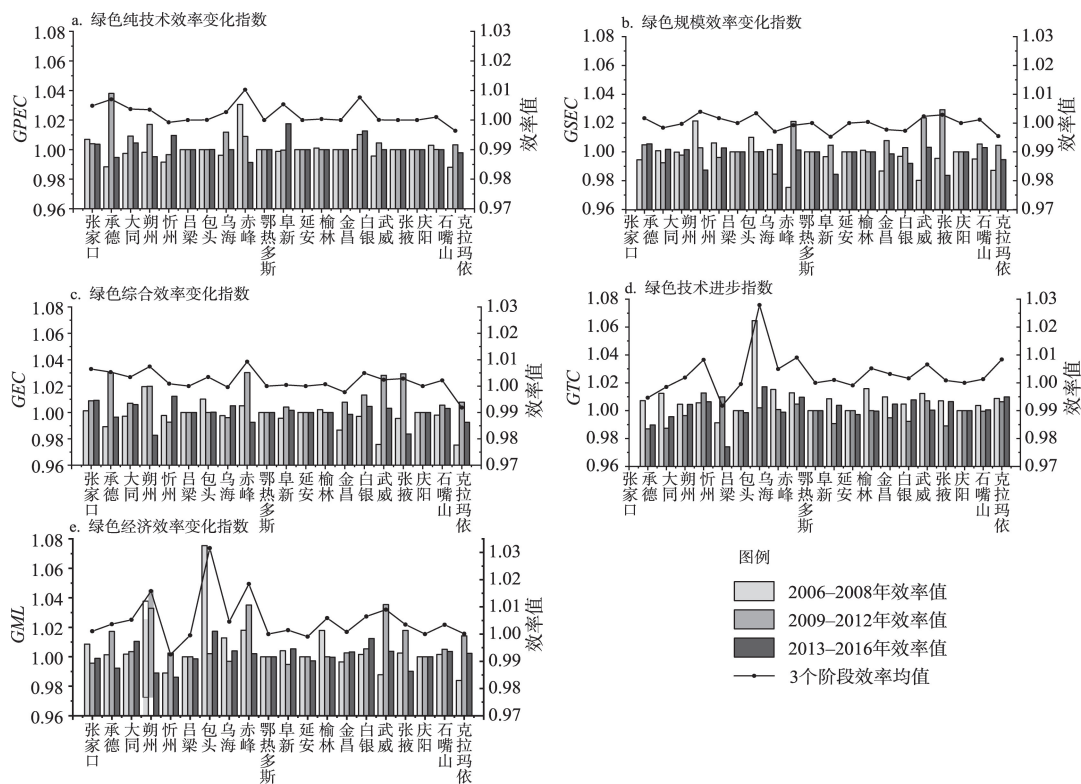


图5 2006—2016年干旱区资源型城市绿色经济动态效率分解变化

Figure 5 Changes of dynamic green economic efficiency sub-index characteristics of resource-based cities in arid regions of China, 2006-2016

自于技术进步效率提升的贡献,反映出该时期绿色经济效率的提升,城市对相关技术的引进和创新起到重要推动作用。该时期西部大开发政策有力的推进了地区经济发展方式的转型,初步转变资源采掘、初级资源外运等附加值低的经济模式,开始推动以资源能源为基础的高技术性、高附加值的深加工产业的发展。

2009—2012年GML进入快速发展阶段(1.008),其中GEC(1.005)、GSEC(1.004)以及GPEC(1.009)均大于1,直接推动GML的上升,而GTC(0.999)在这一时期处于下降趋势,GSEC相较其他两阶段较高(1.004)。分布特征显示,GML处于增长状态的城市数量较上一阶段明显增多,仅张家口、乌海和阜新3个城市的GML为下降态势,反映该阶段干旱区资源型城市绿色经济水平呈现高速发展的状态。得益于以内生型经济为主的干旱区资源型城市较少受到金融危机的影响,以及政府统筹下,地区加大高附加值产业投资与加快产业转型所致。

2013—2016年GML处于缓慢上升状态(1.001),相较前两个阶段,该时期增长势头明显减弱,其中GSEC(0.998)以及GEC(0.999)均小于1,处于下降趋势,GTC(1.001)和GPTC(1.001)增长幅度较小,而张家口、承德等8个市GML处于下降趋势,GML处于不变和下降状态的城市数量增多,占干旱区资源型城市数量的一半。反映该地区进入新常态后,绿色经济效率发展势头减弱,规模投资水平减退明显的整体态势。但整体GTC和GPTC的小幅提升也进一步表明,在国家政策引导下,该地区正在努

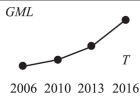



力谋求发展方式升级和技术改进,经济逐渐朝绿色可持续方向发展。

4.3.2 绿色经济效率动态变化类型分类

为进一步分析区域内部各城市变化特征,直观表现城市间的差异性,识别出绿色动态效率在整个时期发展良好的典型性城市,本文依据20个城市3个阶段GML的变化特征,将城市划分为上升型、波动上升型,波动下降型和平稳型4种变化类型。结果如表2所示:上升型城市表现为GML持续增长的状态,该类型有大同、包头、赤峰、白银和石嘴山5个市,占整个区域城市数量的25%。波动上升型城市的GML表现特征具有多样性,总体表现为两阶段处于增长状态,GML发展趋势相对较好。该类型占整个区域的40%,是区域动态效率的主要类型城市。波动下降型城市是以下降状态为主的的城市类型,该类型城市的GML长期处于降低趋势,占整个区域城市的25%。平稳型城市变化特征为长期处于较为稳定的态势,曲线呈“一”型的发展状态。该类型城市为鄂尔多斯和庆阳,仅占区域城市的10%。总体表明,平稳及增长以上类型城市占到75%以上,直接推动干旱区资源型城市绿色发展在11年间的持续进步。大同、包头、赤峰、白银和石嘴山5个市作为上升型城市,在动态效率发展中具有典型性,但这些城市在静态效率中多表现为低水平状态。综上发现:干旱区的资源型城市虽经济基础较薄弱,自然和区位条件差,绿色发展水平较低,但在国家的持续支持和地方的统筹管理下,绿色经济效率正在逐步提升。

表2 2006—2016年区域GML变化趋势类型

Table 2 Types of trend of regional green Malmquist-Luenberger (GML) index, 2006-2016

类型	GML变化典型示图	效率变化特征	比例/%	典型城市
上升型		$Num(GML > 1) = 3$	25	大同、包头、赤峰、白银、石嘴山
波动上升型		$Num(GML > 1) = 2$	40	承德、朔州、乌海、阜新、金昌、武威、张掖、克拉玛依
波动下降型		$Num(GML < 1) \geq 2 /$ $Num(GML > 1) \leq 1$	25	张家口、忻州、吕梁、延安、榆林
平稳型		$Num(GML = 1) = 3$	10	庆阳、鄂尔多斯

5 结论

本文通过对干旱区2006—2016年20个资源型城市的绿色经济静态效率和绿色经济动态效率进行测度,以及从城市发展周期和主导资源类型分类特征、动态变化类型等视角进行差异性分析,得出以下结论:

(1)2006—2016年干旱区资源型城市绿色经济静态效率整体水平较低且内部差异较大。绿色经济效率分解特征表明该地区资源型城市资源转化效率较低,产业发展存在较大结构性缺陷,导致该区域产业长期处于规模不经济状态。同时,该地区资源型城市绿色纯技术效率整体水平相对较高,对于绿色发展水平的提升贡献度较大。

(2)静态差异性分析结果中,吕梁、鄂尔多斯、延安和庆阳的绿色发展水平处于高水平状态。以城市发展周期为分类特征城市的绿色经济效率呈现成长型>再生型>成熟型>衰退型的规律特征。以主导资源类型为分类特征城市的绿色经济效率呈现石油类>综合类>金属类>煤炭类的发展规律。煤炭类和金属类城市效率值较低,且在成熟型和衰退型城市中比重较大,反映干旱区资源型城市绿色发展问题多集中于煤炭类和金属类城市。

(3)2006—2016年绿色经济动态效率在3个时期整体呈现出持续上升的发展状态,具体表现为“逐步上升—快速上升—缓慢上升”的变化规律。*GPTC*在3个时期均处于大于1的发展状态,对绿色发展的持续性具有较大贡献度。绿色经济发展受国家对宏观政策影响显著,同时受金融经济危机影响较小,反映出区域资源型城市内生性的特征规律。

(4)动态效率差异性中,根据发展状态将干旱区资源型城市划分为上升型、波动上升型、波动下降型和平稳型4种类型。其中波动上升型和上升型两类城市占到区域资源型城市65%以上,是绿色经济效率动态变化的主要状态。同时大同、包头、赤峰、白银和石嘴山5个市作为上升型城市,其绿色发展的速度较快,在干旱区具有典型性。

基于上述对干旱区资源型城市绿色经济效率的测度,及内部差异性和特殊性的分析发现,中国干旱地区资源型城市的绿色发展整体水平较低且差异明显,但由于自身发展内生性的特点,在国家

政策引导及地方政府的统筹管理下,绿色经济效率正缓慢提升,绿色发展水平朝积极的方向进步。随着国家绿色发展进入纵深阶段,针对干旱区资源型城市绿色经济效率的研究,为中国区域绿色发展水平的提高提供了一定参考价值。同时也是对生态脆弱地区城市研究的一次探索。资源型城市的发展在中国是复杂而严峻的城市问题,未来结合干旱因素对资源型城市绿色发展的影响机理,兼顾国家政策对绿色经济的驱动机制,定量分析区域内部典型城市的发展模式,可为干旱区绿色发展提供更加科学具体的实施意见。

参考文献(References):

- [1] 黄跃,李琳.中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化[J].地理研究,2017,36(7):1309-1322. [Huang Y, Li L. A comprehensive assessment of green development and its spatial-temporal evolution in urban agglomerations of China[J]. Geographical Research, 2017, 36(7): 1309-1322.]
- [2] 徐君,李贵芳,王育红.国内外资源型城市脆弱性研究综述与展望[J].资源科学,2015,37(6):1266-1278. [Xu J, Li G F, Wang Y H. Review and prospect of resource based city vulnerability in China and abroad[J]. Resources Science, 2015, 37(6): 1266-1278.]
- [3] 潘竟虎,冯翠芹,杜怀玉.干旱区资源型城市可持续发展研究:以嘉峪关市为例[J].干旱区研究,2007,24(5):717-722. [Pan J H, Feng C Q, Du H Y. Study on sustainable development of resources-based cities in arid areas based on analyzing ecological footprints: A case study in Jiayuguan City, Gansu Province[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(5): 717-722.]
- [4] He S Y, Lee J, Zhou T, et al. Shrinking cities and resource-based economy: The economic restructuring in China's mining cities[J]. Cities, 2017, 60: 75-83.
- [5] Chen S Y, Golley J. 'Green' productivity growth in China's industrial economy[J]. Energy Economics, 2014, 44: 89-98.
- [6] Pearce D, Markandya A, Barbier E. Blueprint for a Green Economy: A Report[M]. London: Earthscan Publications Ltd, 1989.
- [7] Makower J, Pike C. Strategies for the Green Economy: Opportunities and Challenges in the New World of Business[M]. New York: McGraw Hill Professional, 2008.
- [8] 侯纯光,任建兰,程钰,等.中国绿色化进程空间格局动态演变及其驱动机制[J].地理科学,2018,38(10):1589-1596. [Hou C G, Ren J L, Cheng Y, et al. Spatial evolution and driving mechanism of China's greening process[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(10): 1589-1596.]
- [9] Allevi E, Basso A, Bonenti F, et al. Measuring the environmental performance of green SRI funds: A DEA approach[J]. Energy Economics, 2019, 79: 32-44.

- [10] Sueyoshi T, Wang D. Sustainability development for supply chain management in US petroleum industry by DEA environmental assessment[J]. *Energy Economics*, 2014, 46: 360–374.
- [11] 李兆亮, 罗小锋, 薛龙飞, 等. 中国农业绿色生产效率的区域差异及其影响因素分析[J]. *中国农业大学学报*, 2017, 22(10): 203–212. [Li Z L, Luo X F, Xue L F, et al. Agricultural green technical efficiency and its affecting factors in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(10): 203–212.]
- [12] Munster M, Ravn H, Hedegaard K, et al. Economic and environmental optimization of waste treatment[J]. *Waste Management*, 2015, 38(1): 486–495.
- [13] Gudipudi R, Lvdeke M K B, Rybski D, et al. Benchmarking urban eco-efficiency and urbanites' perception[J]. *Cities*, 2018, 74: 109–118.
- [14] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. *地理学报*, 2019, 74(10): 2027–2044. [Zhou L, Che L, Zhou C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2027–2044.]
- [15] 车磊, 白永平, 周亮, 等. 中国绿色发展效率的空间特征及溢出分析[J]. *地理科学*, 2018, 38(11): 1788–1798. [Che L, Bai Y P, Zhou L, et al. Spatial pattern and spillover effects of green development efficiency in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1788–1798.]
- [16] 任宇飞, 方创琳, 蒯雪芹. 中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价[J]. *地理学报*, 2017, 72(11): 2047–2063. [Ren Y F, Fang C L, Lin X Q. Evaluation of eco-efficiency of four major urban agglomerations in eastern coastal area of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(11): 2047–2063.]
- [17] Wang M X, Zhao H H, Cui J X, et al. Evaluating green development level of nine cities within the Pearl River Delta, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 174: 315–323.
- [18] 周宏浩, 陈晓红. 中国资源型城市精明发展与环境质量的耦合关系及响应机制[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(8): 1620–1632. [Zhou H H, Chen X H. Coupling relationship and its response mechanism between smart development and environmental quality in Chinese resource-based cities[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(8): 1620–1632.]
- [19] Louw H, Marais L. Mining and municipal finance in Kathu, an open mining town in South Africa[J]. *The Extractive Industries and Society*, 2018, 5(3): 278–283.
- [20] Hayter R, Nieweler S. The local planning-economic development nexus in transitioning resource-industry towns: Reflections (mainly) from British Columbia[J]. *Journal of Rural Studies*, 2018, 60: 82–92.
- [21] 陈妍, 梅林. 东北地区资源型城市转型过程中社会-经济-环境协调演化特征[J]. *地理研究*, 2018, 37(2): 307–318. [Chen Y, Mei L. Coordination of the “economy-society-environment” triad in the transition development of resource-based cities in North-east China[J]. *Geographical Research*, 2018, 37(2): 307–318.]
- [22] 张宇, 曹卫东, 梁双波, 等. 中部地区资源型城市质量与规模时空差异演化研究: 以山西省为例[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(2): 233–245. [Zhang Y, Cao W D, Liang S B, et al. Research on spatial and temporal evolution of quality and scale of resource based cities in central region of China: A case study of Shanxi Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(2): 233–245.]
- [23] Cui C Q, Wang B, Zhao Y X, et al. China's regional sustainability assessment on mineral resources: Results from an improved analytic hierarchy process-based normal cloud model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 210: 105–120.
- [24] 柯善咨, 向娟. 1996–2009年中国城市固定资本存量估算[J]. *统计研究*, 2012, 29(7): 19–24. [Ke S Z, Xiang J. Estimation of the fixed capital stocks in Chinese cities for 1996–2009[J]. *Statistical Research*, 2012, 29(7): 19–24.]
- [25] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E, et al. Measuring the efficiency of decision-making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429–444.
- [26] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498–509.
- [27] Tone K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-Based Measure (SBM) Approach[R]. GRIPS Research Report Series I-2003-0005, 2003.
- [28] Torgersen A M, Førsund F R, Kittelsen S A S. Slack-adjusted efficiency measures and ranking of efficient units[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 1996, 7(4): 379–398.
- [29] 方创琳, 关兴良. 中国城市群投入产出效率的综合测度与空间分异[J]. *地理学报*, 2011, 66(8): 1011–1022. [Fang C L, Guan X L. Comprehensive measurement and spatial distinction of input-output efficiency of urban agglomerations in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1011–1022.]
- [30] 杨奎, 文琦, 钟太洋. 长江经济带城市土地利用效率评价[J]. *资源科学*, 2018, 40(10): 2048–2059. [Yang K, Wen Q, Zhong T Y. Assessment of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Resources Science*, 2018, 40(10): 2048–2059.]
- [31] 余建辉, 李佳洺, 张文忠. 中国资源型城市识别与综合类型划分[J]. *地理学报*, 2018, 73(4): 677–687. [Yu J H, Li J M, Zhang W Z. Identification and classification of resource-based cities in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 73(4): 677–687.]
- [32] 秦志琴, 郭文炯. 山西省煤炭产业空间集聚过程及其驱动因素[J]. *地理科学*, 2018, 38(9): 1535–1542. [Qin Z Q, Guo W J. The spatial agglomeration evolution of coal industries and its driving mechanism in Shanxi Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(9): 1535–1542.]
- [33] 余建辉, 张文忠, 王岱, 等. 资源枯竭城市转型成效测度研究[J]. *资源科学*, 2013, 35(9): 1812–1820. [Yu J H, Zhang W Z, Wang D, et al. The effect of resource-exhausted city transformation[J]. *Resources Science*, 2013, 35(9): 1812–1820.]

Spatiotemporal differentiation of green economic efficiency of resource-based cities in arid area

HU Bowei^{1,2}, ZHOU Liang^{1,2}, WANG Zhonghui^{1,2}, CHE Lei³, ZHANG Mengyao⁴

(1. Faculty of Geomatics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. National-Local Joint Engineering Research Center of Technologies and Applications for National Geographic State Monitoring, Lanzhou 730070, China; 3. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 4. College of Humanities and Development Studies, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The evaluation of green economic efficiency is of great significance for evaluating the green development quality and economic transformation effect of resource-based cities in arid regions. This study built an input-output index system based on green development level and used the SBM-Undesirable and Malmquist-Luenberger index models to decompose the static efficiency and dynamic efficiency of 20 resource-based cities in the arid region of China from 2006 to 2016. It also examined the differences in green economic efficiency based on life cycle and functional classifications and dynamic change types and summarized the green development level and characteristics over 11 years for these resource-based cities. The results show that: (1) The static efficiency of green economy of these resource-based cities is generally at a low level (0.932), and the efficiency value between cities is quite different, Luliang, Yan'an and Qingyang have experienced high level of green development. (2) Classified by functional types, green economic efficiency pattern of these cities shows the following characteristics: petroleum (0.995) > comprehensive (0.958) > metal (0.908) > coal (0.904). The trends of change of metal- and coal-mining cities are similar and green economic efficiency in both types of cities is at a low level. Classified by life cycle types, the result shows that: growth type (0.978) > regeneration type (0.945) > maturity type (0.920) > decline type (0.882), while the green development of decline type cities is clearly lagging behind obviously. (3) The dynamic efficiency of green economy of resource-based cities in arid areas of China was generally in a state of growth, which gradually rose, then rapidly rose, and then slowly rose. (4) According to the ML index, the green economic efficiency state of cities is divided into four types, among which growth and fluctuating growth types account for 65%. Datong, Baotou, and Baiyin cities have higher dynamic efficiency values, and have faster growth rate of green economy. On the whole, under the guidance and overall management of national policies, the green development level of resource-based cities in arid areas is gradually improved.

Key words: resource-based cities; green development; economic efficiency; spatiotemporal differentiation; arid area