

王勇,李海英,俞海. 中国省域绿色发展的空间格局及其演变特征[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10): 96-104. [WANG Yong, LI Haiying, YU Hai. Analysis of spatial pattern and evolution characteristics of provincial green development in China[J]. China population, resources and environment, 2018, 28(10): 96-104.]

# 中国省域绿色发展的空间格局及其演变特征

王勇 李海英 俞海

(生态环境部环境与经济政策研究中心, 北京 100029)

**摘要** 基于四部委发布的《绿色发展指标体系》,对中国大陆除西藏以外的30个省份2013—2016年的绿色发展状况进行了深入评价,并采用空间计量模型实证考察了中国绿色发展的空间格局及其演变特点。研究发现:①中国省域绿色发展存在较为明显的地域性差异,绿色发展指数较高的地区主要分布在经济发展水平较高的东部沿海省份和生态禀赋较好的西南省份。②在变动趋势上,中国绿色发展水平整体呈现上升趋势,且东部和中部分省份的绿色发展提升趋势要相对快于西部省份。从省际绿色发展水平变动来看,存在多数省份绿色发展水平提升和个别省份绿色发展水平下降并存的趋势特征。③从全局空间自相关来看,中国绿色发展存在较明显的空间自相关特征,但2013—2016年省域绿色发展的空间集聚程度逐渐减弱。从局域空间自相关来看,绿色发展水平高的省份和绿色发展水平低的省份在地理空间分布上均相对集中,且2013年到2016年发生跃迁的省份仅有7个,反映出绿色发展空间分布格局的相对稳定。④从空间自相关的驱动因素来看,资源利用指数的空间集聚特征不明显,生态保护、增长质量和绿色生活指数的空间集聚性增强,而环境治理和环境质量指数的空间集聚性减弱,即环境领域的竞相向上趋势是驱动绿色发展从集聚走向平衡的主要因素。⑤从收敛性趋势来看,省际绿色发展存在落后地区追赶领先地区的趋势,其中生态保护和资源利用方面的追赶趋势最为明显。此外,在空间分布层面,绿色发展呈现“俱乐部”收敛特征,主要是源于增长质量的空间集聚以及生态保护的地域性差别。

**关键词** 绿色发展;空间相关;空间收敛

中图分类号 F061.3 文献标识码 A 文章编号 1002-2104(2018)10-0096-09 DOI: 10.12062/cpre.20180506

绿色发展是“十三五”乃至更长时期中国经济社会发展的基本方向。党的十八大以来,中国在绿色发展相关领域密集出台了一系列的政策措施,并取得了比较明显的成效。党的十九大报告则将生态文明和绿色发展置于更为突出的位置,开启了绿色发展的新时代。那么,当前中国的绿色发展究竟处于什么状态,具有怎样的空间格局和趋势特征,这对于研究如何进一步提升中国的绿色发展水平,优化绿色发展空间格局具有重要意义。

关于绿色发展评价的研究主要围绕绿色国民经济核算、绿色发展多指标测度体系和绿色发展综合指数三方面展开<sup>[1]</sup>。其中通过构建综合评价体系对绿色发展水平进行评估是现有研究采用的主要方法,比较有影响力的包括北京师范大学绿色发展指数<sup>[2]</sup>、中科院资源环境绩效指数<sup>[3]</sup>等。苏利阳等<sup>[4]</sup>、曾贤刚和毕瑞亨<sup>[5]</sup>、吴传清和黄磊<sup>[6]</sup>、俞海等<sup>[7]</sup>也分别通过构建综合评价指标体系对我国绿色发展水平进行评估。但是这些指标体系多偏于经济

领域,而对生态环境领域的考察相对较弱。

为加强对生态文明建设和绿色发展的监测考核,2016年12月,国家发展改革委、国家统计局、环境保护部、中央组织部制定了《绿色发展指标体系》用于各地方绿色发展的年度评价。在此基础上,2017年12月,国家统计局初步计算了各省份2016年的绿色发展状况<sup>[8]</sup>。但这只是一种静态的结果,无法观察到绿色发展的动态进展和成效。为此,本研究拟在该指标体系的基础上对十八大以来中国各省份绿色发展的变动趋势和空间演变特征进行分析,为各地区的绿色发展提供客观的判断依据,为更好地探索和实践绿色发展提供决策参考,使绿色发展理念更加深入人心。

## 1 研究方法数据来源

### 1.1 绿色发展水平测度

《绿色发展指标体系》包含资源利用、环境治理、环境

收稿日期:2018-05-13

作者简介:王勇,博士,助理研究员,主要研究方向为环境经济、绿色发展。E-mail: wang.yong@prcee.org.

通讯作者:俞海,博士,研究员,主要研究方向为环境战略、绿色发展和环境公共治理。E-mail: yu.hai@prcee.org.

基金项目:国家社科基金项目“空间异质视角下我国绿色发展的可行路径与配套政策研究”(批准号:18BJL061)。

质量、生态保护、增长质量和绿色生活六大类 55 个客观指标,并且明确了各指标权重及加权方法<sup>[9]</sup>。与已有相关指标体系相比,该体系具有如下突出特点:首先,对绿色发展的考察更为全面,集中体现了绿色发展的各个领域,基本上覆盖了“十三五”规划明确的绿色发展的主要任务。其次,对生态环境保护的考察更为突出。该指标体系的生态保护权重达到 16.5%,且同时考虑了森林、湿地、草地、海洋、土地等各个生态要素。第三,明确了能源资源总量和强度控制以及污染物排放总量和环境质量控制的双重目标。已有的研究多集中于考虑能源资源利用的强度指标,对于总量指标的关注甚少。第四,同时考虑了过程性指标和结果性指标,如环境治理和环境质量以及资源利用与资源产出等。

由于相关指标数据的可获得性等问题,本研究需要对《绿色发展指标体系》进行一定的调整。调整后的绿色发展评价指标体系仍由六部分组成,其中资源利用包括能源、用水和用地的相关指标;环境治理包括污染物、危险废物、生活垃圾和污水治理的相关指标;环境质量包括 PM<sub>2.5</sub>、地表水、饮用水、近岸海域和耕地的相关指标;生态保护包括森林、草原、湿地、保护区、水土流失的相关指标;增长质量包括增长速度、收入水平、产业结构和创新投入的相关指标;绿色生活包括生活用水、生活用电、交通出行、绿化和卫生的相关指标。

在调整过程中,主要遵从以下几个方面的原则:一是保证指标体系的原始性和权威性。在调整过程中尽力遵从原始的指标体系,找到类似的替代指标,同时保证一级指标类别权重的不变。二是保证各指标数据的公开可获得性。有些指标数据从公开的统计资料中无法获得,或者仅能获得部分省市自治区的相关数据,在调整的过程中则舍弃这些指标。三是保留所有约束性指标。我们保留了全部权重最大的约束性指标,能够保证其他指标的替代不会对评价结果产生太大的影响。除此之外,尽量将绝对数指标转化为相对数指标,总量指标转化为增长指标,来反映一个地区绿色发展水平的趋势和变动程度。

调整后省级层面的绿色发展指标体系见表 1,由原指标体系的 55 个指标缩减为 45 个指标,其中原有指标、绝对转相对指标以及相近替代指标为 42 个,占原有指标的比重为 76%,权重则占 93%。因此,调整后的指标体系与原指标体系基本一致。

根据数据可得性,将研究范围界定为中国大陆除西藏以外的 30 个省市自治区。各指标的数据主要来源于中国统计年鉴、中国能源统计年鉴、中国工业统计年鉴、中国环境年鉴、中国卫生年鉴、各省统计年鉴、各省环境状况公报、各省水土保持公报等。本研究最终会根据各指标及其

赋予的权重,采用综合指数法计算出各省的绿色发展综合指数。即:

$$Z = \sum_{i=1}^N W_i Y_i \quad (1)$$

其中  $Z$  为绿色发展指数,反映地区绿色发展的整体水平, $Y$  为无量纲化的各指标, $W$  为各指标的权重, $N$  为指标个数。

关于各指标权重的调整,保持各一级指标权重不变,如果该一级指标中有指标剔除,则将剔除指标的权重按比例添加到其他指标上进行调整。另外,由于有些省份并不临海,关于海域水质这个指标,仅在沿海省份囊括在内,其它内陆省份则将该指标的权重按比例分配到其他指标上进行加权计算。

## 1.2 空间自相关分析

空间自相关分析是研究某一区域属性时空格局演进的常用方法<sup>[10]</sup>,通常采用 Moran 指数来进行测度,包括全域空间自相关和局域空间自相关两部分。

(1) 全局空间自相关。该分析用于描述某一属性在总体空间内是否存在集聚性状态,计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} |y_i - \bar{y}| |y_j - \bar{y}|}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

其中  $I$  为全局 Moran 指数, $n$  为区域个数, $y_i$  和  $y_j$  分别为区域  $i, j$  地理单元的属性值, $\bar{y}$  为各区域属性值的平均值, $W_{ij}$  为空间关系权重矩阵。

Moran 指数结果介于  $[-1, 1]$  之间,当  $0 < \text{Moran 指数} \leq 1$  时,说明各省份某属性取值具有正相关性,也就是趋于空间集聚;当趋近于或等于 0 时,则说明属性取值不存在空间自相关;当  $-1 \leq \text{Moran 指数} < 0$  时,则说明属性取值具有负相关性,值越小说明空间分异性越强。统计量  $Z$  用于检验 Moran 指数的显著性水平,即:

$$z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{VAR}(I)}} \quad (3)$$

若  $Z > 0$  且通过  $Z$  值显著性统计检验,则说明某属性在空间分布上具有显著的正相关性;若  $Z < 0$  且通过  $Z$  值显著性统计检验,则说明某属性在空间分布上具有显著的负相关性;否则,不具有相关性。

(2) 局部空间自相关。该指数可以将全局空间自相关的 Moran 指数分解到各个组成单元,用以检验局部地区是否存在空间集聚区,计算公式为:

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (4)$$

$I_i$  为正说明区域单元周围呈现高-高或低-低的相似值空间集聚区, $I_i$  为负说明区域单元周围呈现高-低或低-高的相似值空间集聚区。

## 1.3 省际绿色发展的 $\beta$ 收敛检验

中国区域发展模式最大的特点就是存在俱乐部收敛

表1 省级层面的绿色发展指标体系  
Tab.1 Provincial green development index system

一级指标	序号	二级指标	单位	权数	指标属性
资源利用 (权数 = 29.3%)	1	能源消费总量增长率	%	2.17	逆向
	2	单位 GDP 能源消耗降低	%	3.26	正向
	3	单位 GDP 二氧化碳排放降低	%	3.26	正向
	4	非化石能源占一次能源消费比重	%	3.26	正向
	5	用水总量增长率	%	2.17	逆向
	6	万元 GDP 用水量下降	%	3.26	正向
	7	单位工业增加值用水量降低率	%	2.17	正向
	8	耕地面积增长率	%	3.26	正向
	9	新增建设用地占建设用地总量的比重	%	3.26	逆向
	10	单位 GDP 建设用地面积降低率	%	2.17	正向
	11	一般工业固体废物综合利用率	%	1.09	正向
环境治理 (权数 = 16.5%)	12	化学需氧量排放总量减少	%	2.75	正向
	13	氨氮排放总量减少	%	2.75	正向
	14	二氧化硫排放总量减少	%	2.75	正向
	15	氮氧化物排放总量减少	%	2.75	正向
	16	危险废物处置利用率	%	0.92	正向
	17	生活垃圾无害化处理率	%	1.83	正向
	18	污水集中处理率	%	1.83	正向
	19	环境污染治理投资占 GDP 比重	%	0.92	正向
环境质量 (权数 = 19.3%)	20	地级及以上城市空气质量优良天数比率	%	3.22	正向
	21	地级及以上城市细颗粒物(PM <sub>2.5</sub> )浓度下降	%	3.22	正向
	22	地表水达到或好于 III 类水体比例	%	3.22	正向
	23	地表水劣 V 类水体比例	%	3.22	逆向
	24	地级及以上城市集中式饮用水水源地水质达到或优于 III 类比例	%	2.14	正向
	25	近岸海域水质优良(一、二类)比例	%	2.14	正向
	26	单位耕地面积化肥使用量	kg/hm <sup>2</sup>	1.08	逆向
生态保护 (权数 = 16.5%)	27	单位耕地面积农药使用量	kg/hm <sup>2</sup>	1.08	逆向
	28	森林覆盖率	%	3.44	正向
	29	单位土地面积的森林蓄积量	亿 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	3.44	正向
	30	草原面积占行政区域面积的比例	万 hm <sup>2</sup>	2.13	正向
	31	湿地面积占行政区域面积的比例	%	2.13	正向
	32	陆域自然保护区面积占行政区域面积的比重	%	1.00	正向
	33	新增水土流失治理面积	万 hm <sup>2</sup>	1.00	正向
增长质量 (权数 = 9.2%)	34	人均 GDP 增长率	%	1.83	正向
	35	居民人均可支配收入	元/人	1.83	正向
	36	第三产业增加值占 GDP 比重	%	1.83	正向
	37	六大高载能行业产值占工业总产值比重	%	1.83	逆向
	38	研究与试验发展经费支出占 GDP 比重	%	1.83	正向
绿色生活 (权数 = 9.2%)	39	人均日生活用水量	m <sup>3</sup> /人	1.31	逆向
	40	人均生活用电量	kW·h/人	1.31	逆向
	41	绿色出行(城镇每万人口公共交通客运量)	万人次/万人	1.31	正向
	42	城市建成区绿化覆盖率	%	1.31	正向
	43	农村自来水普及率	%	1.31	正向
	44	农村卫生厕所普及率	%	1.31	正向
	45	人均绿地面积	hm <sup>2</sup> /万人	1.31	正向

注: ①资源利用: 原指标体系还包括农田灌溉水利用系数、资源产出率、农作物秸秆利用率, 由于数据缺失, 这三个指标无法计算。且这三个指标主要是监测指标, 并非约束性指标, 故将这三个指标剔除, 相应的权重按比例平均分配到其它指标上。能源消费总量增长率, 原指标为能源消费总量, 将绝对指标转化为相对指标。此后的用水和耕地采用同样方式调整。新增建设用地占建设用地总量的比重, 原指标为新增建设用地规模, 将绝对指标转化为相对指标。②环境质量: 原指标体系还包括重要江河湖泊水功能区水质达标率和受污染耕地安全利用率。考虑到重要江河湖泊水功能区水质达标率无法在省际层面进行区分, 故删除该指标。另外, 受污染耕地安全利用率由于缺失数据, 在此同样不包含该指标, 相应的权重按比例平均分配到其它指标上。③生态保护: 原指标体系还包括自然岸线保有率、海洋保护区面积可治理沙化土地治理率、新增矿山恢复治理面积。由于数据缺失, 这些指标不能得到有效计算。但是本研究采用的指标也基本上能够反映生态系统的受保护程度。单位土地面积的森林蓄积量, 原指标为森林蓄积量, 将绝对指标转化为相对指标。草原面积占行政区域面积的比例, 原指标为草原综合植被覆盖度。湿地面积占行政区域面积的比例, 原指标为湿地保护率。陆域自然保护区面积占行政区域面积的比重, 原指标为陆域自然保护区面积。④增长质量: 高载能行业产值占工业总产值比重, 原指标为战略性新兴产业增加值占 GDP 比重, 由于战略性新兴产业没有统一界定, 故采用该指标进行替代。⑤绿色生活: 原指标包括公共机构人均能耗降低率、绿色产品市场占有率、新能源汽车保有量增长率、绿色出行(城镇每万人口公共交通客运量)、城市绿色建筑占新建建筑比重、城市建成区绿地率、农村自来水普及率、农村卫生厕所普及率。很多指标数据可得性较弱, 我们使用相关指标来进行替换, 补充指标包括人均日生活用水量、人均生活用电量和人均绿地面积, 能够反映绿色生活的整体状况。

的特征,也就是相邻省份间具有较强的空间集聚效应。经济学上的收敛一般采用 $\beta$ 收敛或 $\sigma$ 收敛,前者针对增量,后者针对存量。 $\beta$ 收敛分为绝对收敛和相对收敛,前者是指不考虑其它条件,不同省份绿色发展水平与其初始水平负相关,后者是指各省份的稳态水平不同,但随时间演进趋向各自稳态水平。

由于本研究主要关注省际绿色发展在时间上呈现的变动态势,根据收敛理论方法设置绝对收敛检验模型如下:

$$\frac{1}{T} \ln(\text{green}_{i+T}/\text{green}_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{green}_i + \mu_{i+T} \quad (5)$$

同时在上式基础上加入空间滞后项来考察绿色发展是否存在空间收敛性特征点,即:

$$\frac{1}{T} \ln(\text{green}_{i+T}/\text{green}_i) = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{green}_i + \rho W \ln(\text{green}_{i+T}/\text{green}_i) + \mu_{i+T} \quad (6)$$

其中 $\text{green}_i$ 为绿色发展指数, $\beta_1$ 表示省际绿色发展在时间上的绝对收敛趋势, $\rho$ 表示省际绿色发展呈现的空间收敛态势。在后文回归中,将 $T$ 值取为1,即年度的绿色发展指数变化。 $W$ 为根据rook原则确定空间权重矩阵,即以是否有共同边界来定义省份临近,当两个省份相邻 $W=1$ ,否则 $W=0$ 。

## 2 省域绿色发展的空间分布特征

### 2.1 绿色发展的空间分布

采用极值法对表1绿色发展指标进行无量纲化处理,然后计算加权综合指数,最后计算得出中国各省份2013—2016年各年度的绿色发展指数。2016年30个省份的绿色发展排名由高到低分别为:福建、浙江、广东、北京、上海、云南、湖北、江苏、湖南、海南、吉林、重庆、广西、山东、江西、黑龙江、贵州、四川、安徽、甘肃、内蒙古、河北、

河南、青海、陕西、天津、宁夏、新疆、辽宁和山西。各省份的绿色发展总体上表现出空间集聚特征,高绿色发展地区主要分布在经济发展水平较高的东部沿海省份和生态禀赋条件较好的西南省份,低绿色发展地区主要分布在经济发展水平相对较低,生态禀赋相对较差的华北和西北省份。根据各地区的特点,我们将东部沿海省份称之为领先型的绿色发展地区,将西南省份称之为发展型绿色发展地区。

### 2.2 分区域的绿色发展变动

根据传统东、中、西部的区域划分,我们计算2013—2016年中国及各区域的绿色发展水平变化,见图1。总体来看,2013—2016年30个省份的绿色发展指数均值分别为52.04、51.77、52.51和53.05,除了在2014年出现暂时性的下降之外,全国的绿色发展综合指数整体呈现上升趋势。分地区来看,东部、中部和西部地区各省份的绿色发展水平变化总体趋势与全国基本一致,绿色发展指数在2014年出现小幅下降之后呈现明显上升趋势。东部地区的绿色发展水平明显高于全国以及中西部地区绿色发展的平均水平,中部地区与西部地区的绿色发展水平低于全国平均水平,但是中部地区与东部地区的绿色发展差距逐渐缩小,并且在2016年大幅领先西部地区。

通过计算2013—2016年各省份绿色发展指数的增长速度,可以发现,绿色发展指数上升的省份有青海、河北、上海、新疆、甘肃、浙江、江西、河南、福建、天津、北京、江苏、湖南、山西、安徽、云南、黑龙江和吉林18省份;绿色发展指数下降的省份有辽宁、重庆、广东、内蒙古、宁夏、贵州、陕西、湖北、四川、海南、广西和山东12省份。总体来看,多数省份的绿色发展指数出现增长,但个别省份有所退化。青海、河北、上海的绿色发展指数的上升幅度均超过10%,辽宁、重庆、广东的绿色发展指数则下降明显。

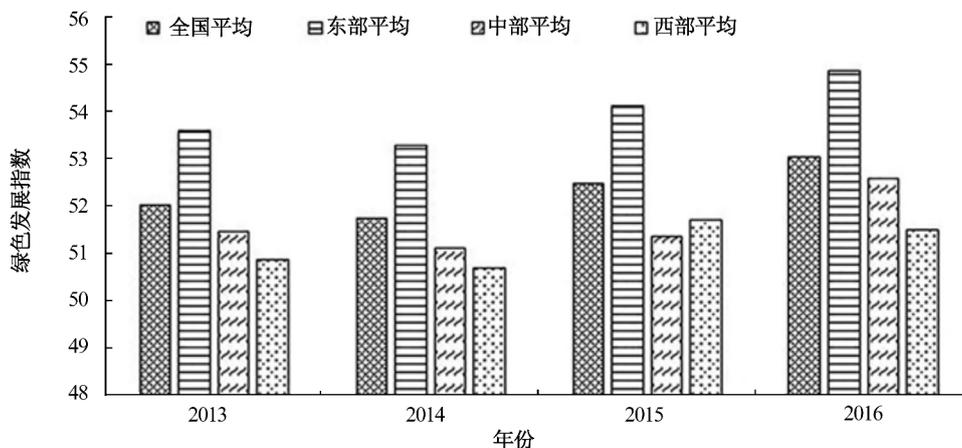


图1 分区域绿色发展水平的变化趋势

Fig. 1 Changes in the level of green development in different regions

### 2.3 与国家统计局结果的比较

2017年12月,国家统计局发布《2016年生态文明建设年度评价结果公报》,首次公布了2016年度各省份绿色发展指数。通过本研究与国家统计局结果的相关关系图可以看出,两类结果存在明显的正相关关系,大部分的结果基本上处于拟合线周围,不存在明显的异常值,因此,两者的结果是基本一致的,见图2。即除了个别省份有较大变动外,本研究计算的2016年各省份绿色发展指数排名与国家统计局的结果基本一致。

## 3 绿色发展的空间相关性分析

### 3.1 全局空间自相关

本文运用GeoDa1.10对2013—2016年中国30省份的绿色发展指数的面板数据进行空间自相关性检验,分别计算各省份绿色发展指数的全局Moran's I,空间权重矩阵的确定选择rook一阶邻近矩阵,并对Moran's I进行显著性检验。结果发现,2013—2016年省际绿色发展水平的Moran's I全部为正值,统计量Z值均大于0,且P值均小于0.01,通过显著性检验,说明中国绿色发展水平呈现显著的空间集聚效应。但是从变化趋势来看,Moran's I随时间的推进呈现下降趋势,反映在Moran's I散点图中拟合线斜率的不断降低,表明绿色发展的空间集聚特征不断下降,说明绿色发展在区域上逐渐走向平衡,见图3。

### 3.2 局域空间自相关

进一步我们可以计算2013—2016年各省份绿色发展水平的局域Moran's I散点图,根据四个象限可以将各省份的绿色发展水平划分为四类:①第一象限的高高(HH)集聚区,表示本区域和相邻区域绿色发展水平均相对较高,空间关联表现为扩散效应;②第二象限为低高(LH)集聚区,即本区域绿色发展水平较低而相邻区域绿色发展水平

较高,空间关联表现为过渡区域;③第三象限为低低(LL)集聚区,即本区域和相邻区域的绿色发展水平均相对较低,空间关联表现为低水平区域;④第四象限为高低(HL)集聚区,即本区域绿色发展水平高而相邻区域较低,空间关联表现为极化效应。

2016年中国30省份绿色发展的局域集聚表明,绿色发展的集聚发生在HH和LL集聚区,即浙江、福建、广东和江西为HH集聚区,内蒙古、甘肃、河北为LL集聚区,表明绿色发展水平高的地区和绿色发展水平低的地区在地理空间分布上均相对集中。其中,高高(HH)集聚区主要分布在东南沿海地区,该地区的生态环境禀赋条件较好,绿色发展水平也相对较高,呈现出比较明显的空间集聚特征。低低(LL)集聚区主要分布在中国华北地区,包括河北、内蒙古等省份。这些省份的生态禀赋较差,是中国环境质量相对较差的地区。与此同时,这些省份也多以资源密集型行业为主,技术水平和产业结构相对较低,增长质量不高。

进一步,将不同时段内各空间集聚类型所包含省份的变动状况用以反映各省份绿色发展水平的时空跃迁,主要包括四种类型:第一种是观测省份跃迁到邻近象限;第二种是观测省份跃迁到相间象限;第三种是观测省份所处象限未发生变化,并且呈现集聚特征,即观测省份和邻近省份绿色发展水平均较高或较低,差异较小;第四种是观测省份所处象限未发生变化,仍呈现空间分异特征,即观测省份与邻近省份绿色发展水平高低相反,差异较大。2013年和2016年,均在第一象限的省份有江苏、浙江、福建、广东、海南、湖南、重庆、广西、贵州和云南;均在第二象限的省份有安徽;均在第三象限的省份有河北、山西、河南、辽宁、陕西、青海、甘肃、宁夏、新疆;均在第四象限的省份有山东、北京、湖北。可以看出,高高集聚区主要分布在东部

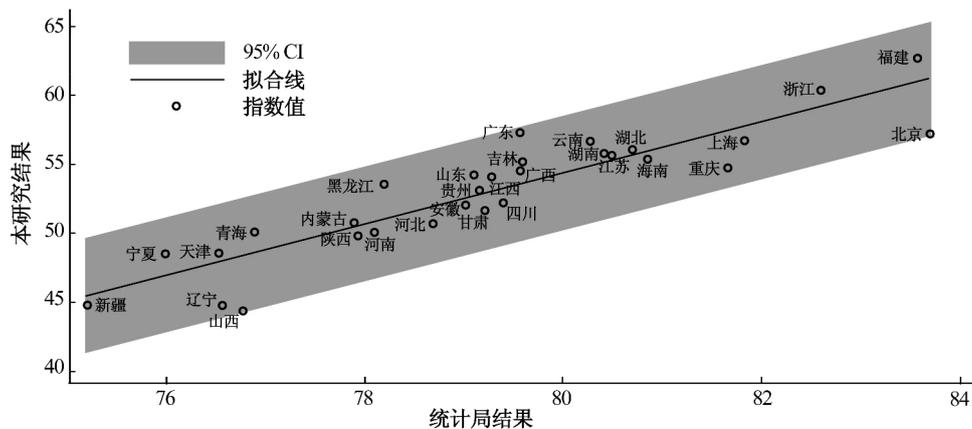


图2 本文计算结果与国家统计局结果比较

Fig. 2 Comparison between the calculation and the result of National Bureau of Statistics

沿海省份和西南省份,而低低聚集区主要分布在华北和西北省份。

2013—2016年,发生跃迁的省份有上海(LH-HH)、江西(LH-HH)、吉林(HH-HL)、黑龙江(HH-HL)、天津(LL-LH)、四川(HL-LL)、内蒙古(HL-LL)。从时空跃迁来看,绿色发展的空间格局较为稳定,个别省份呈现出跃迁特征。如上海、江西跃迁至高绿色发展水平“俱乐部”;内蒙古、四川退入低绿色发展水平“俱乐部”;吉林、黑龙江的绿色发展趋势好于其周边省份;天津的绿色发展水平要低于周边省份。实际发生跃迁省份占所有可能发生跃迁省份数量的比重能够反映出某种属性的空间稳定性<sup>[11]</sup>。从本文的结果来看,2013—2016年发生跃迁的省份共有7个,约占观测省份的23.3%,反映出了绿色发展空间分布格局的相对稳定。

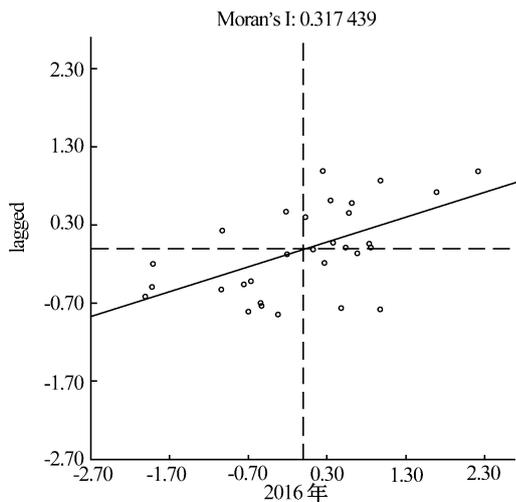
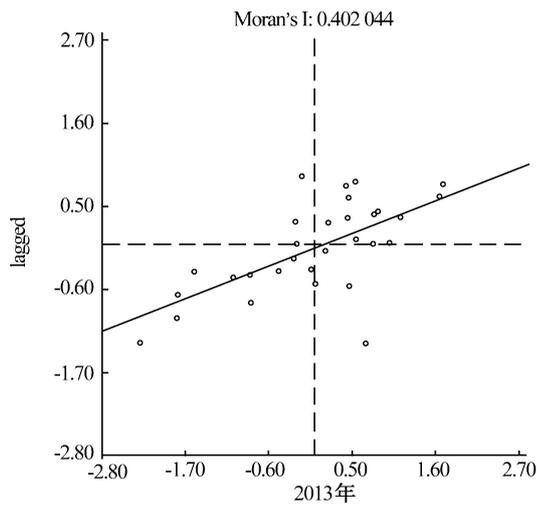


图3 2013和2016年绿色发展水平空间分布 Moran's I 散点图

Fig. 3 Moran's I scatter plot of spatial distribution of green development levels in 2013 and 2016

### 3.3 空间自相关的驱动因素

从上述空间相关分析可以发现,中国省际绿色发展的空间相关性不断降低,即省际绿色发展的空间集聚性逐步减弱。那么,背后驱动的主要因素是什么呢?本文关于绿色发展的评估涉及资源利用、环境治理、环境质量、生态保护、增长质量和绿色生活六大类。为了观察绿色发展空间集聚性减弱的主要来源,我们分别计算这六大类指标的 Moran's I,通过各大类指标的变化趋势来分析绿色发展空间集聚特征变化的原因。

由表2绿色发展各大类指标的 Moran's I 变化可以看出,资源利用指数呈现的空间集聚特征并不明显, Moran's I 值相对较小且大都不显著。针对各省份环境治理指数计算的 Moran's I 呈现出下降趋势,由2013年的0.528下降到2015年的0.213,反映出环境治理指数由集聚走向平衡。环境质量指数的 Moran's I 由2013年的0.573下降到2016年的0.433,环境质量的空间集聚特征趋于减弱。针对各省份生态保护指数计算的 Moran's I 呈现出上升趋势,增长质量指数的 Moran's I 同样表现出上升趋势,省际增长质量空间集聚趋势日益明显。绿色生活指数的 Moran's I 也呈现上升趋势,2016年出现下降。根据上述各类指标计算的 Moran's I 变化趋势可以发现,环境领域的进展是促进各省份绿色发展指数逐渐走向平衡的主要因素,尤其是环境治理空间集聚性的大幅减弱,反映了省际环境治理的竞相向上趋势。这也是助推我国整体跨越环境库兹涅茨曲线拐点,实现环境质量总体改善的关键因素<sup>[12]</sup>。

## 4 绿色发展的收敛性分析

绿色发展水平在区域间表现出较大的差异性,这种差异势必会影响绿色发展空间格局的变化。基于中国绿色发展可能存在的“俱乐部”现象<sup>[13]</sup>,我们采用 $\beta$ 收敛分析

表2 绿色发展各大类指标的 Moran's I 变化  
Tab. 2 Moran's I changes in various indicators of green development

年份	资源利用	环境治理	环境质量	生态保护	增长质量	绿色生活
2013	0.119 (0.091)	0.528 (0.001)	0.573 (0.001)	0.414 (0.001)	0.310 (0.001)	0.264 (0.005)
2014	0.011 (0.294)	0.475 (0.001)	0.560 (0.001)	0.419 (0.001)	0.310 (0.001)	0.283 (0.005)
2015	0.143 (0.059)	0.213 (0.015)	0.441 (0.001)	0.417 (0.001)	0.332 (0.001)	0.308 (0.001)
2016	0.049	0.483	0.433	0.435	0.339	0.275

(0.186) (0.001) (0.001) (0.001) (0.001) (0.003)

注: 括号内为 P 值显著性统计检验。

进行检验,同时加入绿色发展的空间滞后项来考察绿色发展格局的变化趋势。基于计算的 2013—2016 年 30 个省份绿色发展的面板数据,分别采用空间自回归和空间误差模型进行检验。其中在公式(6)基础上,空间误差模型表示为:

$$\frac{1}{T} \ln(\text{green}_{i+T} / \text{green}_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{green}_{it} + \mu_{i+T} - \mu_{it} \\ = \varphi W + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

其中  $\varphi$  为反映回归残差之间空间相关性的参数。

根据收敛性的回归方程  $\rho$  系数反映的是省际绿色发展的空间收敛趋势  $\beta$  系数反映的是省际绿色发展的时间收敛趋势(见表3)。针对绿色发展回归的  $\rho$  系数不显著,说明省际绿色发展水平变化的空间集聚趋势并不明显。为了考察绿色发展收敛趋势背后的驱动因素,我们分别针对资源利用、环境治理、环境质量、增长质量、生态保护和绿色生活各大类指数进行计量回归。首先,针对环境质量、资源利用和绿色生活回归的  $\rho$  系数均不显著,说明这些领域的绿色发展并未呈现空间收敛趋势,环境治理、生态保护和增长质量的空间收敛趋势是促进绿色发展呈现空间收敛的主要原因。其次,针对绿色发展及其各领域回归的  $\beta$  系数显著为负,说明这些指标均在时间上呈现收敛趋势。可以看出,省际绿色发展存在落后地区追赶领先地区的趋势,其中生态保护、资源利用和环境治理方面的追赶趋势最为明显。在空间分布层面,绿色发展也呈现“俱

乐部”收敛的特征,这种特征主要源于经济发展水平的空间集聚以及生态禀赋在地域上的集聚分布特征。

## 5 结论与建议

为分析中国绿色发展的整体性进展和变化趋势特征,本研究基于国家发展改革委、国家统计局、环境保护部、中央组织部制定的《绿色发展指标体系》并对其进行了适当调整,对 2013—2016 年中国各省份绿色发展状况进行了深入考察。除个别省份变动较大外,本研究计算的 2016 年各省份绿色发展指数排名与国家统计局的结果基本一致,结果是可信的。

通过分析,本研究主要得出以下结论:首先,绿色发展水平总体呈现上升趋势,绿色发展取得明显成效。总体来看,绿色发展呈现明显的空间集聚特征,地域性差异突出,东部省份的绿色发展水平明显高于中西部省份。其次,2013—2016 年,绿色发展的省际差异逐步缩小,绿色发展的空间集聚特征逐渐减弱。环境质量和环境治理领域的竞相上升趋势是促进绿色发展由空间集聚逐渐走向空间平衡的主要力量。经济增长质量的集聚化特征与生态环境领域的平衡化特征并存,反映了经济发展与生态环境的协调性转变。第三,各省份的绿色发展水平在增长中呈现收敛趋势,绿色发展落后省份的追赶趋势明显。省际间的环境治理变化和环境质量改善呈现收敛趋势,环境领域的整体性进展推动着省际绿色发展水平在时间上的趋同。

表3 绿色发展及其各大类指标的收敛性检验

Tab.3 Convergence test of green development and its major indexes

项目	绿色发展	环境治理	环境质量	生态保护	资源利用	增长质量	绿色生活
空间自回归模型							
$\rho$	0.022 0 (0.114 7)	0.420 3*** (0.092 3)	-0.060 1 (0.138 0)	0.331 2** (0.150 8)	0.010 8 (0.089 9)	0.481 9*** (0.073 8)	0.141 6 (0.134 2)
$\beta$	-1.181 3*** (0.097 4)	-0.752 0*** (0.092 0)	-0.788 0*** (0.094 4)	-1.652 2*** (0.397 8)	-1.301 1*** (0.098 5)	-0.715 2*** (0.094 0)	-0.341 5*** (0.103 6)
N	90	90	90	90	90	90	90
R <sup>2</sup>	0.132 1	0.284 1	0.190 0	0.000 4	0.340 5	0.000 7	0.207 9
空间误差模型							
$\lambda$	0.228 4* (0.129 2)	0.658 7*** (0.086 4)	0.329 8** (0.146 0)	0.355 7** (0.154 4)	0.417 1*** (0.119 2)	0.603 3*** (0.089 7)	0.455 5*** (0.119 2)
$\beta$	-1.222 9*** (0.099 4)	-1.051 9*** (0.098 8)	-0.862 3*** (0.097 7)	-1.613 9*** (0.382 1)	-1.414 0*** (0.101 4)	-0.772 6*** (0.107 2)	-0.613 8*** (0.131 7)
N	90	90	90	90	90	90	90
R <sup>2</sup>	0.134 0	0.292 2	0.187 6	0.000 4	0.340 4	0.000 7	0.215 8

注: 括号内为标准差, \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 显著性水平上显著。

本文的研究有助于对“十八大”以来中国绿色发展的整体性进展进行较为全面的把握, 相关结论具有以下几方面的政策启示。

一是适当研究和修正生态保护领域的相关指标, 突出各省份在生态保护领域的工作进展, 增强结果的可比性。当前国家《绿色发展指标体系》中生态保护领域的相关指标主要是状态性指标, 如森林覆盖、草原植被覆盖、自然保护区面积等。在本研究的具体计算过程中发现, 各省份生态禀赋状况对于计算绿色发展综合指数的影响较大, 生态禀赋较好是云南、贵州等西南地区省份排名相对靠前的一个主要因素。状态性指标主要反映的是一个省份生态环境的本底状况, 并不能反映该省份在生态保护方面的积极进展, 这就容易导致某些生态禀赋较差的省份, 虽然在生态保护方面取得了很大的进展, 但是并不能被很好地反映。尤其是对于相对较短时期的监测评价体系而言, 其评价结果的可比性问题较大。

二是根据主体功能区定位, 制定差别化的城市绿色发展评价体系, 开展城市绿色发展监测和评估。省份层面的绿色发展评估地理单元相对较大, 省内不同城市的生态环境禀赋和主体功能定位也存在很大的差别, 省级层面的评估难以反映省内不同城市的差距。国家《绿色发展指标体系》中的生态环境领域的指标多是跨行政区域的, 很多指标难以运用到城市层面的绿色发展评估, 这容易导致《绿色发展指标体系》停留在省级层面, 难以发挥绿色发展评价对于绿色发展的真正引导作用。部分省份构建了省内各城市的评价指标体系, 但是缺乏与中国其它城市间的可比性。因此, 很有必要制定城市层面的绿色发展监测评估指标体系, 根据不同城市主体功能定位的差别来明确各城市绿色发展的评价标准和方向, 发挥绿色发展指标体系在美丽中国建设中的导向作用。

三是高质量发展指标体系要注重反映“绿色”与“发展”的关系, 将绿色发展理念融入到高质量发展的监测评估过程。基于国家《绿色发展指标体系》的分析发现, “绿色”指标与“发展”指标相分离, 难以反映“绿色”与“发展”的关系, 且增长质量指标中, 缺乏经济结构绿色化转型的相关指标。为此, 为了促进绿色的高质量发展, 在高质量发展指标体系中, 应该从以下三个方面来反映绿色发展的内容: 一是将生态环境质量指标纳入约束性指标, 反映高质量发展的“绿色”底线; 二是将绿色经济结构的相关指标纳入指标体系, 如高能耗、高污染行业比重、绿色产业比重等, 以此来反映经济结构变化的环境影响; 三是将能源、资源、环境效率的相关指标纳入指标体系, 以此反映经济增长的资源环境成本。

(编辑: 李 琪)

#### 参考文献(References)

- [1] 郑红霞, 王毅, 黄宝荣. 绿色发展评价指标体系研究综述[J]. 工业技术经济, 2013(2): 142-152. [ZHENG Hongxia, WANG Yi, HUANG Baorong. A research review on green development indicator system[J]. Journal of industrial technological economics, 2013(2): 142-152.]
- [2] 李晓西, 刘一萌, 宋涛. 人类绿色发展指数的测算[J]. 中国社会科学, 2014(6): 69-95. [LI Xiaoxi, LIU Yimeng, SONG Tao. The calculation of human green development index[J]. Social sciences in China, 2014(6): 69-95.]
- [3] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2006 中国可持续发展报告[M]. 北京: 科学出版社, 2006. [Sustainable Development Strategy Study Group, Chinese Academy of Sciences. China sustainable development report 2006[M]. Beijing: Science Press, 2006.]
- [4] 苏利阳, 郑红霞, 王毅. 中国省际工业绿色发展评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(8): 116-122. [SU Liyang, ZHENG Hongxia, WANG Yi. Evaluation on green development of China's provincial industry[J]. China population, resources and environment, 2013, 23(8): 116-122.]
- [5] 曾贤刚, 毕瑞亨. 绿色经济发展总体评价与区域差异分析[J]. 环境科学研究, 2014, 27(12): 1564-1570. [ZENG Xiangang, BI Ruiheng. Evaluation and differential analysis of regional green economic development in China[J]. Research of environmental sciences, 2014, 27(12): 1564-1570.]
- [6] 吴传清, 黄磊. 演进轨迹、绩效评估与长江中游城市群的绿色发展[J]. 改革, 2017(3): 65-77. [WU Chuanqing, HUANG Lei. Evolution track, performance evaluation and green development of urban agglomerations in the Middle Reaches of the Yangtze River[J]. Reform, 2017(3): 65-77.]
- [7] 俞海, 王勇, 张永亮, 等. “十三五”中国绿色增长路径识别分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(S1): 1-8. [YU Hai, WANG Yong, ZHANG Yongliang, et al. The path China's green growth in the 13th Five Year Plan period[J]. China population, resources and environment, 2017, 27(S1): 1-8.]
- [8] 国家统计局. 2016 年生态文明建设年度评价结果公报[R]. 2017. [National Bureau of Statistics. Bulletin of the annual assessment of ecological civilization construction in 2016[R]. 2017.]
- [9] 国家发展和改革委员会. 关于印发《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》的通知[R]. 2016. [National Development and Reform Commission. Notice on printing and distributing the green development indicator system and ecological civilization construction assessment target system[R]. 2016.]
- [10] 成金华, 李悦, 陈军. 中国生态文明发展水平的空间差异与趋同性[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(5): 1-9. [CHENG Jinhua, LI Yue, CHEN Jun. Regional difference and convergence of ecological civilization level in China[J]. China population,

- resources and environment ,2015( 5) :1 - 9. ]
- [11] 赵桂梅, 赵桂芹, 陈丽珍 等. 中国碳排放强度的时空演进及跃迁机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27( 10) : 84 - 93. [ZHAO Guimei, ZHAO Guiqin, CHEN Lizhen, et al. Research on spatial and temporal evolution of carbon emission intensity and its transition mechanism in China[J]. China population, resources and environment, 2017, 27( 10) : 84 - 93. ]
- [12] 王勇, 俞海, 张永亮 等. 中国环境质量拐点: 基于EKC的实证判断[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26( 10) : 1 - 7. [WANG Yong, YU Hai, ZHANG Yongliang, et al. Turning point of China's environmental quality: empirical judgment based on EKC [J]. China population, resources and environment, 2016, 26( 10) : 1 - 7. ]
- [13] 林伯强, 黄光晓. 梯度发展模式下中国区域碳排放的演化趋势——基于空间分析的视角[J]. 金融研究, 2011( 12) : 35 - 46. [LIN Boqiang, HUANG Guangxiao. The evolutionary trend of China's regional carbon emissions under the gradient development model: based on the perspective of spatial analysis [J]. Journal of financial research, 2011( 12) : 35 - 46. ]

## Analysis of spatial pattern and evolution characteristics of provincial green development in China

WANG Yong LI Hai-ying YU Hai

( Policy Research Center for Environment and Economy , Ministry of Ecology and Environment , Beijing 100029 , China)

**Abstract** Based on the 'Green Development Index System' issued by the four Ministries and Commissions, the paper evaluated the green development status of 30 provinces in China from 2013 to 2016, and empirically examines the spatial pattern and evolution characteristics of Chinese green development using spatial econometric models. Results are listed as follows: ① There are obvious regional differences in the green development of Chinese provinces. The regions with higher green development index are mainly distributed in the eastern coastal provinces with higher levels of economic development and the southwestern provinces with better ecological endowments. ② In terms of changing trends, the overall level of Chinese green development is on an upward trend, and the eastern provinces and the central provinces have a relatively faster green development trend than the western provinces. In terms of the changes in the provincial level of green development, the green development level has the trend that most of provinces are increasing and individual provinces are decreasing. ③ From the perspective of global spatial autocorrelation, there is a clear spatial autocorrelation feature in Chinese green development. However, the degree of spatial clustering of provincial green development has gradually weakened during 2013 - 2016. From the perspective of local spatial autocorrelation, the provinces with high levels of green development and those with low levels of green development are all relatively concentrated in the geographical distribution. There are only 7 provinces that experienced the transition from 2013 to 2016, reflecting the relative stability of the spatial pattern of green development. ④ From the perspective of the drivers of spatial autocorrelation, the spatial agglomeration characteristic of resource utilization index is not obvious, and the spatial aggregation characteristic of ecological protection, growth quality and green living index is enhanced, while the spatial aggregation characteristic of environmental governance and environmental quality index is weakened. The competitive upward trend in the environmental field is the main factor that drives green development from agglomeration to balance. ⑤ In the trend of convergence, there is a tendency for backward regions to catch up with leading regions in the green development of provinces, among which the catch-up trend in ecological protection and resource utilization is the most obvious. In addition, at the spatial distribution level, the green development presents the 'club convergence' feature, which is mainly due to the spatial aggregation of the growth quality and the regional differences in the ecological protection.

**Key words** green development; spatial correlation; spatial convergence