

# 广东省产业绿色发展的空间格局及影响因素分析

张国俊<sup>1</sup>, 邓毛颖<sup>2</sup>, 姚洋洋<sup>3</sup>, 李雄英<sup>4</sup>

(1. 广东财经大学公共管理学院, 广州 510320; 2. 增城市城乡规划编制研究中心, 广州 511300;  
3. 广东财经大学地理与旅游学院, 广州 510320; 4. 广东财经大学统计与数学学院, 广州 510320)

**摘要:** 产业绿色发展对构建高效低耗、绿色循环发展的产业体系、实现经济可持续发展具有重要意义。从产业绿色增长度、资源环境承载力和政府政策支撑力三个维度构建广东省产业绿色发展综合评价指标体系, 采用熵值法, 测度了2005-2015年广东省及各市产业绿色发展综合水平, 并运用探索性空间数据分析方法剖析了广东省各市产业绿色发展的空间关联特征, 在此基础上采用空间误差模型对广东省产业绿色发展水平的影响因素进行探讨。结果表明: (1) 从总体水平看, 广东省产业绿色发展综合水平基本呈现持续增长态势; (2) 从空间分布看, 其总体水平的空间格局呈现“核心—边缘”状, 高水平主要集聚在珠三角, 而中低水平主要分布在珠三角外围地区; (3) 从空间演化看, 2005-2015年广东省各市的产业绿色发展水平空间差异略有扩大, 但总体格局保持相对稳定; (4) 从空间关联特征看, 广东省各市产业绿色发展水平的空间分布集聚格局基本稳定, 珠三角城市处于高值集聚的热点地区, 外围地区的东翼和北部山区部分城市处于低值集聚的冷点地区; (5) 空间误差模型结果显示全球化、市场化、居民收入水平、政府调控和科技水平均对广东省产业绿色发展水平产生显著的正向影响, 而城镇化对产业绿色发展的影响不显著。

**关键词:** 产业绿色发展; 综合评价; 空间误差模型; 广东

随着全球工业化进程的加速, 环境问题的凸显在全球范围内备受关注。20世纪60年代在以保护环境为主题的西方绿色和平运动推动下, 绿色发展理念思潮受到欧美等西方发达国家以及国际组织高度重视。如何协调产业系统高效运作, 同时又能与生态环境系统保持动态平衡, 目前已成为诸多国家经济发展优先考虑的议题。在中国, 2015年10月, 党的十八届五中全会将“绿色发展”作为“五大发展理念”之一, 鼓励推进传统产业的绿色改造; “十九大”中国开启了生态文明建设新时代, 在实现美丽中国梦的时代背景下, 产业发展的“绿”意更浓。

学术界对产业绿色发展的研究源于1989年英国环境经济学家Pearce等<sup>[1]</sup>所著的《绿色经济蓝图》, 指出通过环保技术、清洁生产构建一种“可承受的经济”, “绿色经济”的概念首次提出。当前, 产业绿色发展作为可持续发展理论的拓展与深化, 引发了经济学、生态学、环境学、地理学等多学科领域的学者对这一议题的关注。作为多学科交叉融合的一个新兴研究领域, 绿色发展的研究内容趋于多元化, 就产业绿色方面的研究主

收稿日期: 2019-01-25; 修订日期: 2019-05-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41601161); 广东省自然科学基金项目 (No. 2017A030313224); 教育部人文社会科学研究基金项目 (17YJC790189)

作者简介: 张国俊 (1977-), 女, 湖北公安人, 博士, 副教授, 研究方向为区域发展与城乡规划。

E-mail: guojunz@gdufe.edu.cn

通讯作者: 邓毛颖 (1973-), 男, 广东徐闻人, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为城乡规划、交通规划、城市经营、城市管理等。E-mail: dengmaoying@126.com

要表现在以下四个方面：(1) 内涵界定。目前国内外对产业绿色发展内涵未有统一界定，但都强调产业绿色发展是研究经济系统和环境系统协调、可持续发展在产业方面的体现。Allenby<sup>[2]</sup>、Hall<sup>[3]</sup>、Erkman<sup>[4]</sup>、Jänicke<sup>[5]</sup>等学者分别从模仿生态学视角、微观经济主体、系统学思想、产业绿色发展目标等视角对产业绿色发展的概念进行了界定。(2) 研究方法。目前国际上对产业绿色发展水平的衡量呈现多元化趋势。投入产出分析<sup>[6]</sup>、模糊控制算法<sup>[7]</sup>、能值分析<sup>[8]</sup>、解释结构模型<sup>[9]</sup>等方法广泛运用到与产业绿色发展相关的议题研究。(3) 研究视角。从绿色产业对经济增长的贡献<sup>[10]</sup>、对消费结构转变<sup>[11]</sup>、绿色建筑发展<sup>[12-13]</sup>、产品创新<sup>[14]</sup>等方面进行了探讨，重点阐释产业绿色发展的经济效应。(4) 产业绿色发展与企业竞争力研究。新古典经济学认为绿色发展与微观企业追求利润最大化之间存在矛盾，绿色发展易增加企业成本、弱化企业竞争力。随着产业绿色发展理念的深入研究，发现产业绿色发展有利于刺激企业向价值链高端挺进，增加产品附加值而降低成本、增强企业竞争力。绿色发展有助于企业创新驱动力的增强，提高企业优化资源配置能力、进而提升企业的竞争实力和消费者的生活质量<sup>[11-15]</sup>。

与国外研究相比，国内相关研究虽起步较晚，但诸多学者进行了积极探讨。起初的研究聚焦中国社会经济与自然复合生态系统的现象<sup>[16]</sup>，随着绿色发展概念的提出，逐步开展了对绿色发展的综述介绍<sup>[17]</sup>。在研究方法不断深化条件下，学者们开始对绿色发展进行量化分析，例如从经济社会、生态保护、资源消耗、污染排放和资源循环利用水平等方面构建综合评价指标体系，利用因子分析<sup>[18-19]</sup>；基于投入产出和系统优化模型测算生态效率<sup>[20]</sup>。影响因素方面的研究中，发现经济发展水平、所有制结构、外商投资、政府调控和科学技术对产业绿色发展水平具有影响作用<sup>[19]</sup>。随着研究视角的拓展，学者们开始关注绿色发展不同空间尺度的研究<sup>[21-24]</sup>。综观国内外相关研究进展，其研究视角经历了由关注产业绿色发展对经济增长、与城镇化、就业等宏观经济层面的议题向某一行业的微观绿色发展方向转变。国外研究偏重理论分析，国内研究则注重实证研究，但对产业绿色发展的空间演化分析目前还较为薄弱。

当前，中国经济在经历了改革开放40年的快速发展后一举成为世界第二大经济体，然而物质财富增长和人民生活水平提高的背后却深受资源、生态环境的约束与困扰。广东作为中国改革开放的前沿阵地、第一经济大省的优势在次贷危机爆发后，随着西方发达国家“再工业化”战略的实施，土地资源日益稀缺、劳动力供给短缺、企业成本不断攀升，正面临着前所未有的经济结构调整和产业转型升级的巨大压力。新常态下，针对广东经济发展与资源环境动态平衡中出现的一系列问题，研究广东产业绿色发展及其影响因素具有重要意义。本文从产业绿色增长度、资源环境承载力和政府政策支撑力三个维度构建广东产业绿色发展水平综合评价指标体系，利用熵值法和探索性空间数据分析方法对广东产业绿色发展综合水平以及空间演变特征进行剖析，在此基础上，利用空间计量模型对广东产业绿色发展影响因素进行探讨，以期为促进广东产业绿色发展提供科学的政策建议。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 指标体系与数据来源

产业绿色发展的内涵要求经济发展与资源环境相协调，强调经济发展与资源环境的

动态平衡，政府政策是实现产业绿色发展的重要支撑。在产业绿色发展的视角下，经济发展不仅注重量的增长，也注重质的提升，同时也应考虑其发展的可持续性。因此，本文从产业绿色发展的内涵出发，在已有研究基础上<sup>[17,23]</sup>，结合广东省实际和数据可获性，从产业绿色增长度、资源环境承载力和政府政策支撑力三个维度构建广东省产业绿色发展评价指标体系（表1）。从产业绿色增长的效率和潜力两个方面选取反映产业绿色增长度的指标；从资源丰裕度和环境状况对资源环境承载力进行衡量；政府政策支撑力体现在环境治理和基础设施建设水平上。

表1 广东省产业绿色发展评价指标体系

Table 1 The index system of comprehensive evaluation on the green development of industry in Guangdong				
目标层	维度层	要素层	指标层	指标解释及关系
产业绿色发展水平	A产业绿色增长度	A1产业绿色增长效率	A11人均GDP	地区经济发展水平（正向）
			A12单位GDP能耗	产业发展的节能降耗状况（负向）
			A13单位GDP电耗	
			A14单位GDP水耗	
			A15第一产业劳动生产率	经济活动效率（正向）
			A16第二产业劳动生产率	
			A17第三产业劳动生产率	
		A2产业绿色增长潜力	A21研发经费支出	技术资金投入和人力资本，一定程度上体现创新水平（正向）
			A22研发经费支出占GDP比例	
			A23工业企业科技活动人员	
		B1资源丰裕度	B11人均供水量	地区资源丰富程度（正向）
			B12采矿业城镇单位职工占城市单位职工比例	
		B2环境状况	B21单位GDP工业废气排放量	产业发展引起的常见环境污染情况（负向）
			B22单位GDP工业废水排放量	
			B23单位GDP工业固体废物产生量	
	C政府政策支撑力	C1环境治理	C11工业废水排放达标率	环境污染治理情况（正向）
			C12工业固体废物综合利用率	
			C13人工造林面积占总面积比例	
		C2基础设施建设	C21人均公园绿地面积	地区基础设施建设水平（正向）
			C22城市污水处理率	
			C23生活垃圾无害化处理率	

本文以广东省21个城市为基本研究单元，包括2个副省级市和19个地级市。文中所指珠三角地区包括广州、深圳、佛山、珠海、东莞、中山、惠州、江门、肇庆九市，其余为珠三角外围地区，可分为东翼（汕头、潮州、揭阳、汕尾）、西翼（湛江、茂名、阳江）和北部山区（韶关、清远、梅州、河源、云浮）。

由于数据获取限制，选取研究阶段为2005-2015年。研究数据主要来源于2006-2016年《广东省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及相应年份的各市统计年鉴。对于缺失数

据,采用插值法进行处理;对于不能直接获取的指标数据,通过对相关原始数据的换算求得。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 熵值法

熵值法属于客观赋权法,社会系统中的信息熵表征的是对系统状态无序程度的度量,可用熵值判断指标变化的相对幅度。具体步骤如下<sup>[25]</sup>:

(1) 数据标准化处理:由于各指标的量纲和正负取向不同,需对原始数据进行标准化。本文采用极差法对原始数据进行标准处理,计算方式如下:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (1)$$

$$y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

式中:  $y_{ij}$  为标准化数据矩阵;  $x_{ij}$  为原始数据矩阵;  $\max(x_{ij})$  和  $\min(x_{ij})$  分别表示第  $j$  项指标的最大值和最小值。当指标值越大对产业绿色发展越有利时,利用式(1)进行标准化;当指标值越大对产业绿色发展越不利时,运用式(2)进行标准化。

$$(2) \text{ 指标熵值计算: } e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

式中:  $e_j$  表示指标熵值,  $0 \leq e_j \leq 1$ ;  $k=1/\ln m$ , 其中  $m$  为评价对象数量;  $p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}$ 。

$$(3) \text{ 每个指标的权重确定: } w_{ij} = (1 - e_{ij}) / \sum_{i=1}^n (1 - e_{ij}) \quad (4)$$

式中:  $w_{ij}$  表示指标权重;  $n$  表示指标个数。

(4) 得分计算:

$$\text{要素层得分计算: } Y_i = \sum w_{ij} \times y_{ij} \quad (5)$$

式中:  $Y_i$  为要素层得分;  $w_{ij}$  为指标权重。

$$\text{维度层得分计算: } X_i = \sum W_i \times Y_i \quad (6)$$

式中:  $S_i$  为系统层得分;  $W_i$  为指标权重。

$$\text{目标层得分计算: } S_i = \sum Q_i \times X_i \quad (7)$$

式中:  $S_i$  为目标层得分;  $Q_i$  为指标权重。

### 1.2.2 探索性空间数据分析

利用探索性空间数据分析(exploratory spatial data analysis, ESDA),从全局空间自相关和局部空间自相关两个角度,研究广东省产业绿色发展水平的空间分布格局。

(1) 全局空间自相关

通过 Global Moran's  $I$  指数判断广东省产业绿色发展水平的分布是否存在空间集聚现象,反映相邻城市产业绿色发展水平的相似程度。计算公式为<sup>[26]</sup>:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (8)$$



式中:  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ ;  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ ;  $n$  为城市总数;  $y_i$  和  $y_j$  为空间单元  $i$  和  $j$  的产业绿色发展水平;  $W_{ij}$  为各城市的二进制空间权重矩阵。若 Global Moran's  $I$  显著为正, 表示产业绿色发展水平较高 (或较低) 的城市具有空间集聚特征; 若 Global Moran's  $I$  显著为负, 则邻近城市的产业绿色发展水平差异显著; 若 Global Moran's  $I$  为 0, 则产业绿色发展水平呈现随机分布的空间特征。

## (2) 局部空间自相关

采用 Getis-Ord  $G^*$  指标反映广东省产业绿色发展水平在空间上的依赖性和异质性, 分析局部区域空间聚集情况。计算公式为<sup>[26]</sup>:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}(d) y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (9)$$

式中:  $y_i$  为空间单元  $i$  的产业绿色发展水平。若  $G_i^*(d)$  显著为正, 则  $i$  城市周围的产业绿色发展水平较高, 属于热点地区; 反之为冷点地区。

### 1.2.3 空间面板计量模型

经典计量经济学模型没有将空间效应纳入模型分析, 如果观测要素存在空间相关性, 可能导致模型设定和估算结果的偏误。空间面板计量模型将空间效应和时间效应纳入模型, 使设定的空间回归模型能更好地反映各个选定因素对产业绿色发展水平时空格局的影响。目前常用的空间回归模型有空间滞后模型 (SAR)、空间误差模型 (SEM) 和空间杜宾模型 (SDM)<sup>[27-28]</sup>。本文通过构建空间面板计量模型, 以期对广东省产业绿色发展水平的影响因素进行分析, 模型设定如下:

$$\text{SAR: } y_{it} = \delta \sum_{j=1}^n W_{ij} y_{jt} + \beta x_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

$$\text{SEM: } y_{it} = \beta x_{it} + \mu_i + \lambda_t + \Phi_{it}, \Phi_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} \varphi_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

$$\text{SDM: } y_{it} = \delta \sum_{j=1}^n W_{ij} y_{jt} + \beta x_{it} + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} x_{ijt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (12)$$

式中:  $y_{it}$  表示  $i$  市  $t$  期的产业绿色发展水平;  $\delta$  是空间自回归系数;  $x_{it}$  表示影响产业绿色发展水平的解释变量;  $\beta$  是相应解释变量的系数;  $\mu_i$ 、 $\lambda_t$  和  $\varepsilon_{it}$  分别表示空间固定效应、时间固定效应和随机误差;  $\varphi_{it}$  表示空间自相关误差项;  $\rho$  是误差项的空间自相关系数;  $\theta$  是空间滞后解释变量的系数。在 SDM 模型中, 如拒绝原假设  $H_0: \theta=0$ , 则退化为 SAR 模型; 如拒绝原假设  $H_0: \theta + \delta\beta=0$ , 则退化为 SEM 模型。

## 2 结果分析

### 2.1 产业绿色发展的综合水平及空间相关性分析

#### 2.1.1 产业绿色发展综合水平分析

通过式 (1) ~ 式 (7) 计算得到 2005-2015 年广东省及各市的产业绿色发展综合水平, 发现其呈现以下几个方面的特征 (图 1)。(1) 从权重值的大小看, 维度层中权重值最大的是政府政策支撑力 (0.4312), 其次是产业绿色增长度 (0.3127) 和资源环境承载力 (0.2561)。说明政府政策支撑力对广东省产业绿色发展综合水平影响较大。(2) 从总

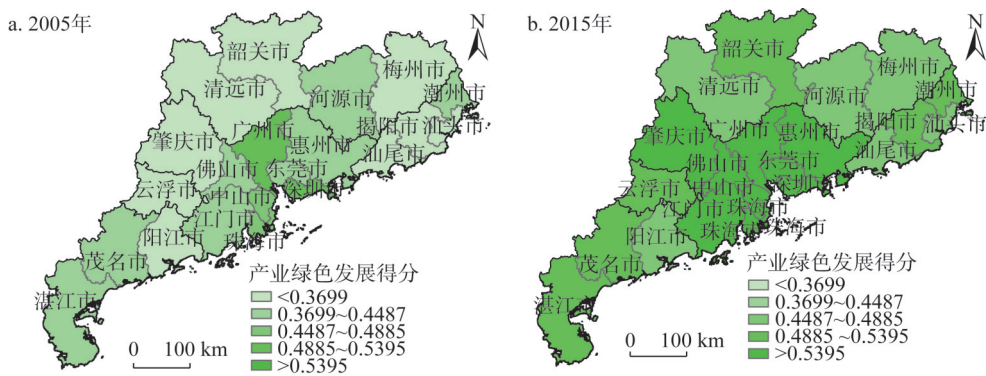


图1 2005年、2015年广东省各市产业绿色发展水平

Fig. 1 The development level of the green development of industry in various cities of Guangdong in 2005 and 2015

体水平看，广东省产业绿色发展综合水平整体呈现增长趋势，总得分由2005年的0.13增长至2015年的0.90，年均增长率达21.5%。(3)从空间分布特征看，广东省产业绿色发展综合水平总体呈现出“核心—边缘”的空间分布格局，由以珠三角为核心向外围地区逐渐递减。珠三角地区作为广东省经济发展的核心区，产业层次较高，第三产业对经济发展的贡献率高，2015年第三产业占GDP比例为54.63%，产业结构高级化发展，经济发展对能源的依赖和对生态环境的影响较小，产业绿色发展综合水平处于高位；东翼、西翼和北部山区由于产业层次相对较低，第二产业为主导的经济发展对资源环境的影响相对较大，产业绿色发展综合水平与珠三角差异显著。(4)从空间演化特征看，2005-2015年广东省产业绿色发展水平的空间格局保持相对稳定，区域差异略有扩大，各城市产业绿色发展水平极差从2005年的0.27上升至2015年的0.30。尽管大多数城市的产业绿色发展综合水平有所提升，由于珠三角地区的领先优势凸显，空间极化现象仍然显著。其中，珠三角地区的深圳、广州稳居前列，北部山区的清远和东翼的揭阳提升幅度较大。

2.1.2 产业绿色发展总体空间特征

根据式(8)~式(9)，采用空间邻接矩阵作为空间权重，借助ArcGIS软件，测算出2005-2015年广东省产业绿色发展综合水平的全局Moran's *I*指数，发现其结果均为正值，且都通过1%的显著性水平检验(表2)。这表明2005-2015年广东省各市产业绿色发展水平呈现显著的空间集聚特征，产业绿色发展水平相似的地区表现出显著的空间集聚特征。广东省产业绿色发展水平的全局Moran's *I*指数呈现波动上升的发展态势，2005-2011年Moran's *I*指数处于波动状态，而2012-2015年Moran's *I*指数迅速上升。总体而言，2005-2015年广东省产业绿色发展水平处于显著的空间集聚状态，且集聚程度有所提高。

2.1.3 产业绿色发展局部空间关联特征

关于空间特征的分析，地理学往往关注空间关联性与空间异质性研究。为进一步反映广东省产业绿色发展的局部关联特征，揭示各地级市的空间关联格局，采用冷热点分析方法剖析广东省各市的产业绿色发展水平与其相邻城市之间的空间关联程度，以挖掘广东省产业绿色发展的局域空间集聚特征(图2)。通过2005年和2015年这两个时间截面的各市产业绿色发展冷热点地区图，发现珠三角地区的广州、佛山、东莞、中山、珠海、深圳持续为产业绿色发展水平高值集聚的热点地区，其中广州2015年比2005年高值

表2 2005-2015年广东省产业绿色发展水平的全局Moran' I指数

Table 2 Moran' I of the green development of industry in Guangdong from 2005 to 2015

年份	Moran' I	E(I)	Z得分	P值
2005	0.5314	-0.0500	4.3059	0.0000
2006	0.5180	-0.0500	4.2135	0.0000
2007	0.3789	-0.0500	3.4113	0.0006
2008	0.5909	-0.0500	4.9255	0.0000
2009	0.5995	-0.0500	4.9710	0.0000
2010	0.4541	-0.0500	3.8527	0.0001
2011	0.3649	-0.0500	3.1722	0.0015
2012	0.5334	-0.0500	4.6622	0.0000
2013	0.6309	-0.0500	5.2609	0.0000
2014	0.6729	-0.0500	5.4890	0.0000
2015	0.7270	-0.0500	5.8487	0.0000

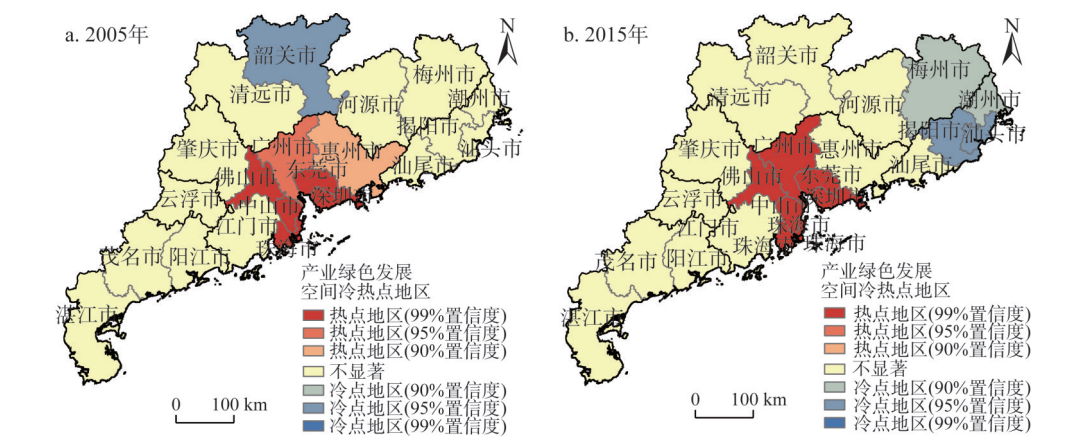


图2 2005年和2015年广东省绿色发展空间冷热点地区分布

Fig. 2 The hot spots map of the green development of industry in Guangdong in 2005 and 2015

集聚的特征更加显著。惠州2005年为90%置信度的热点地区,但2015年其高值集聚特征不显著。2005年仅有关为低值集聚的冷点地区,2015年冷点地区位于广东省东部,包括梅州、潮州、汕头和揭阳,其中汕头和揭阳的低值集聚特征更加显著。

2.2 产业绿色发展水平的影响因素

绿色发展作为产业活动高级化发展的方向,发展经济学、制度经济学、新经济地理学等相关理论从不同视角对其影响因素进行探讨。产业活动作为人类的创造性与自然、社会关系复杂性的统一,其绿色发展过程不仅是产业内部和谐共生问题,更是内部各要素和外部社会因素共同作用的结果。广东省产业绿色发展的空间特征表现出空间异质性,说明市际间的产业绿色发展水平具有空间溢出效应,空间特征的演化不仅受市域内绿色发展自身条件的制约,同时还与外部因素息息相关。

结合相关理论、借鉴已有研究成果<sup>[20,29-31]</sup>,选择了全球化、市场化、城镇化、居民收入水平、政府调控、科技水平这6个变量以反映经济、制度、社会等内、外部因素,以此对广东省产业绿色发展水平空间分布的影响因素进行剖析。具体选择人均出口贸易额

( $X_1$ ) 作为反映全球化程度的指标,城镇化率( $X_2$ )作为衡量城镇化水平的指标,除国有和集体外其他所有制在岗人员比例( $X_3$ )作为衡量市场化水平的指标,城镇居民人均可支配收入( $X_4$ )作为度量居民收入水平指标,财政支出占 GDP 比例( $X_5$ )作为反映政府调控强度的指标,工业企业科技活动人员占第二产业从业人员比例( $X_6$ )作为反映科技水平的指标。通过这 6 个变量构建反映广东省产业绿色发展水平的影响因素模型,进行回归分析。由于广东省产业绿色发展水平的分布具有较强的空间相关特征,应将空间效应纳入产业绿色发展水平空间分布影响因素的分析框架,采用空间面板回归模型进行分析。经检验,6 个自变量不存在多重共线性。Hausman 检验结果为 10.75,在 10% 的显著性水平下拒绝了采用随机效应的零假设,故采用固定效应模型进行估计。固定效应包含了时间固定、空间固定和时空固定三种形式,由于本文数据时间跨度较短,且研究侧重于分析空间差异,故采用空间固定效应模型进行分析。通过 Stata 14 得到的三种常见空间计量模型空间固定效应的估计结果(表 3)。Wald 和 LR 检验显示在 1% 的显著性水平上拒绝  $\theta=0$  的原假设而接受  $\theta+\delta\beta=0$  的原假设,且 SEM 模型的 Log-L 值最大,因此选择 SEM 模型。

表 3 空间计量模型的估计结果及模型选择的检验  
Table 3 Estimation results of spatial econometric models and test of model selection

变量	SDM		SAR		SEM		模型选择的 检验方法	统计量	P 值
	系数	P 值	系数	P 值	系数	P 值			
$x_1$	0.0410***	0.0000	0.0636***	0.0000	0.0188**	0.0270	Ward 空间滞后	115.39***	0.0000
$x_2$	-0.0131	0.2880	-0.0293**	0.0230	0.0117	0.2330	LR 空间滞后	98.03***	0.0000
$x_3$	0.0054	0.2440	-0.0096*	0.0720	0.0115***	0.0050	Ward 空间误差	10.67*	0.0992
$x_4$	0.0137*	0.0720	-0.0272***	0.0000	0.0427***	0.0000	LR 空间误差	-111.07	1.0000
$x_5$	0.0173***	0.0000	0.0079*	0.0770	0.0145***	0.0000	Hausman 检验	10.75*	0.0964
$x_6$	0.0170***	0.0050	0.0113*	0.0930	0.0194***	0.0000			
$\rho/\lambda$	0.3107***	0.0000	0.2993***	0.0000	0.0125	0.6230			
Log-L	494.7534		445.7377		550.2909				

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别代表在 0.1、0.05、0.01 的水平上显著。

SEM 模型结果显示,在 1% 的显著性水平下,市场化、居民收入水平、政府调控强度和科技水平这 4 个指标均对产业绿色发展的影响显著,全球化在 5% 的显著性水平下对产业绿色发展的影响显著,而城镇化对产业绿色发展的影响不显著。

全球化对广东省产业绿色发展水平产生显著的正向影响。已有研究探讨了 20 世纪 90 年代以来广东省的出口贸易是否导致环境污染,但尚未得到一致的研究结论:有研究认为位于中国东部的广东省市场化程度较高,对外贸易有利于改善环境<sup>[32]</sup>;也有观点认为 20 世纪 90 年代到 21 世纪初,广东省的对外贸易加剧了环境污染<sup>[33]</sup>。本文研究结果表明,外向经济活跃的广东省在 2005-2015 年中,总体上出口贸易在带来经济效益的同时,资源生态环境未受到显著破坏。产业绿色发展水平高值集聚地区位于珠三角地区,这些城市的开放度高、产业绿色发展水平也相应较高。随着产业结构不断优化,东西两翼、北部山区城市的产业绿色发展水平应在加强对外贸易过程中不断提升。可能的原因是研究时段的不同所致。21 世纪初,广东早期参与全球化过程中,其产业往往是低端的,对环境



的影响以负面为主;随着广东参与全球竞争力的提升,产业逐渐向价值链高端延伸,对环境的影响更多表现出积极的一面。这也正验证了库兹涅兹曲线,即环境污染随着经济的发展先增加、后下降。

市场化对广东省产业绿色发展水平产生显著的正向影响。广东省是改革开放的先行地区,民营经济发达,中小企业众多,市场经济发育成熟度相对较高。市场化水平的提高有助于推动人才集聚和人才流动,有助于提升产业发展的灵活度和发展活力,减少产业转型升级、落后产能退出的阻力,有利于及时适应新时代的发展需求,实现产业结构优化,减轻产业发展对资源环境的依赖和破坏,从而提高绿色发展水平。

居民收入水平对广东省产业绿色发展水平产生显著的正向影响。居民收入水平的提升是人民生活水平改善的直接体现,民众拥有更强大的消费能力,消费观念和消费行为也随之改变。一方面支撑了环保产品的消费市场,支持企业进行清洁绿色生产活动;另一方面民众积极购买通过环境管理体系认证的企业产品,减少一次性产品消费等绿色消费行为,形成绿色消费的社会舆论氛围,引领绿色消费趋势,壮大绿色消费市场。通过需求的扩大吸引更多企业投入绿色生产当中,从而推动产业绿色发展。

政府调控强度对广东省产业绿色发展水平产生显著的正向影响。政府调控一方面通过引导产业转型升级和制定区域产业分工策略来促进广东省各市产业绿色发展水平提升,另一方面通过节能减排的管制促进和保障产业绿色发展。在政府主导下,广东省在全球化的工业产业链中不断提升,优化产业结构,转变路径依赖,各市产业绿色发展水平均有所提升。此外,政府主导实施产业转移,将珠三角地区定位为城市发展的龙头地区,实行产业和劳动力的“双转移”“退二进三”以及“腾笼换鸟”战略;同时建立了建设项目环境保护综合管理系统,通过节能减排管制措施限制高能耗、高污染产业发展,倒逼企业进行技术升级和转型发展,并对各地区实行差别化的环保准入措施。将珠三角地区的产业结构调整为以金融、商务商贸、先进制造业和现代服务业为主,而逐步将资源需求量大、对环境负荷较重的劳动密集型产业向东西两翼、北部山区转移。例如珠三角对电镀、制浆造纸、合成革与人造革、制糖行业实行更严格的水污染物的特别排放限值政策,促使了广州造纸厂、江门甘化厂等相关产业向外迁移。这些政策措施的实施在很大程度促成了广东省产业绿色发展水平以珠三角为核心,东翼、西翼和北部山区为边缘的空间结构特征。

科技水平对广东省产业绿色发展水平产生显著的正向影响。一方面科技水平提升为企业节能减排提供装备和技术支持,如节能锅炉、冷凝锅炉、低氮锅炉等技术创新使锅炉的热效率不断上升,氮氧化物排放量不断减少,高效电动机、蓄热式燃烧、产业集群集中供热体系等技术也保证了广东省“煤改电”“关停小火电”等节能清洁生产政策的推行;另一方面科技水平提升可以促进新的高效朝阳产业的创建,使产业结构进一步优化升级,提升产业附加值,从源头上减少能源消耗和污染排放。

城镇化对广东省产业绿色发展水平的影响不显著,这与已有针对中国西部地区的研究得出的城镇化发展带动绿色发展水平提升的结论有所不同<sup>[34]</sup>。但也有相关研究认为,超出城市环境承载力范围的快速城镇化中,大量人口的集聚产生的环境污染抵消了城镇化对产业绿色发展的提升作用<sup>[35]</sup>。可见,城镇化对生态环境的影响是一把双刃剑。就广东城镇化发展状况而言,全省城镇化率一直稳居全国之首,但内部区域差异显著。2016

年,珠三角城镇化率为84.85%,远远高于东翼(60.02%)、西翼(42.68%)和北部山区(47.85%)。西翼和北部山区人口的适度集聚,较低的城镇化水平对保护环境的影响可能是积极的;而珠三角人口稠密,城镇化水平很高,人口高度集聚对产业绿色发展可能产生负面影响。这说明在新型城镇化建设中,广东需要从追求“量”的增长向“质”的方向提升转变,在城镇化发展格局中使不同区域相互协调、梯度推进,防止过度差异导致的马太效应,促进城镇化发展能积极推进广东省产业绿色发展水平的提升。

### 3 结论与讨论

本文从产业绿色增长度、资源环境承载力和政府政策支撑力三个维度构建广东省产业绿色发展综合评价指标体系,采用熵值法和探索性空间数据分析方法,探究2005-2015年广东省产业绿色发展的时空演变特征和各市产业绿色发展水平的空间格局及其关联效应,并采用空间误差模型探讨广东省产业绿色发展水平的影响因素。研究结论与建议如下:

(1) 广东省产业绿色发展水平的空间分布总体呈现以珠三角为核心、不断向外围递减的“核心—边缘”空间结构且空间格局保持相对稳定;其空间集聚特征显著,高值稳定集聚在珠三角区域,低值集聚多在东翼和北部山区。全球化、市场化、居民收入水平、政府调控和科技水平都对广东省产业绿色发展产生显著的正向影响,而城镇化对广东省产业绿色发展的影响不显著。

(2) 与已有文献对省际、中部、东北等不同空间尺度的绿色发展相关研究<sup>[19,24,26]</sup>对比分析,本文发现:一方面,无论基于何种空间尺度的研究,产业绿色发展水平的空间格局差异显著,且空间演化具有一定的路径依赖。另一方面,经济发展水平不同的区域,其影响产业绿色发展的主导因素有所差异。广东作为东部沿海经济发达地区,政府政策支撑力对区域产业绿色发展影响较大,这与已有研究结论一致<sup>[19]</sup>,但全球化、城镇化等因素对广东产业绿色发展却表现出不一致的地方<sup>[19,33]</sup>。这说明广东在参与全球化过程中,其不同经济发展阶段表现出对环境诉求的差异,随着广东参与全球化竞争力增强,对环境保护的意识也越发重视。广东城镇化水平对产业绿色发展的作用还没有凸显,说明“以人为本”的新型城镇化建设还任重道远。

(3) 根据以上研究结论,为提高广东省的产业绿色发展水平,促进各市产业绿色发展水平的协调,提出以下策略:① 政府政策支撑力上,应给予东翼、西翼、北部山区更大的倾斜力度,加大对外围地区基础设施建设投入,同时在承接产业转移时,需要加强环境治理,注重环境保护管制,避免成为珠三角污染产业的“污染避难所”,不断提升外围地区产业绿色发展水平以缩小空间差异。② 广东作为中国改革开放的前沿阵地,应进一步顺应经济全球化、市场化浪潮,在观念、体制、技术、管理等方面不断革新,提升广东经济的国际竞争力的同时进一步促进其产业绿色发展水平。③ 在严格的行业环保准入规则下,持续扩大开放,鼓励民营中小企业发展,提高经济活力,提升民众生活水平,通过政府主导下的市场力量促进产业绿色发展。④ 强化科技创新引领作用,将低碳节能、循环利用、绿色环保等科技广泛应用到经济社会的各个领域。

由于数据可获取的受限,本文仅针对产业绿色发展水平所涵盖的三个维度进行了指标体系的构建,该指标体系未能涵盖绿色发展的所有层面,例如社会公平等相关指标;

受篇幅所限,影响因素研究仅对空间固定效应模型进行了分析。随着数据可获性提高和研究方法的进一步多元化,未来相关研究可以从指标体系构建、影响因素的多方法分析进一步提升研究的深度。

### 参考文献(References):

- [1] PEARCE D W, MARKANDYA A, BARBIER E. *Blueprint for A Green Economy*. London, New York: Routledge, 1989.
- [2] ALLENBY B R, RICHARDS D J. *The Greening of Industrial Ecosystems*. Washington, DC: National Academy Press, 1994.
- [3] HALL C R. Making cents of green industry economics. *Hort Technology*, 2010, 20(5): 832-835.
- [4] ERKMAN S. Industrial ecology: An historical view. *Journal of Cleaner Production*, 1997, 261(3): 1-10.
- [5] JÄNICKE M. "Green growth": From a growing eco-industry to economic sustainability. *Energy Policy*, 2012, 48: 13-21.
- [6] HALL C R, HODGES A W, HAYDU J J. The economic impact of the green industry in the United States. *Hort Technology*, 2006, 16(2): 345-353.
- [7] WANG H, WANG J, SHI B. Model and application of green industry evaluation based on fuzzy control. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2015, 29(6): 2489-2494.
- [8] KALIMULLIN A M. The Historical and ecological analysis of middle volga industrial development in Russia in the second half of the XX<sup>th</sup> century. *Review of European Studies*, 2015, 7(4): 172-183.
- [9] HAQ A N, AERATH K, MATHIYAZHAGAN K. Study of mutual influence drivers in the Indian plastic industry for green supply chain management using interpretive structural modelling. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 2017, 9(1): 42-65.
- [10] HODGES A W, HALL C R, PALMA M A, et al. Economic contributions of the green industry in the United States in 2013. *Hort Technology*, 2015, 25(6): 805-814.
- [11] PEREZ M, PALMA M, BEHE B, et al. Structural breaks and future growth of the green industry. *Journal of Environmental Horticulture*, 2016, 34(2): 52-55.
- [12] WOO C, KIM M G, CHUNG Y, et al. Suppliers' communication capability and external green integration for green and financial performance in Korean construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 483-493.
- [13] REZA A K, ISLAM M S, SHIMU A A. Green industry in Bangladesh: An overview. *Environmental Management and Sustainable Development*, 2017, 6(2): 124-143.
- [14] SARKAR A N. Promoting eco-innovations to leverage sustainable development of eco-industry and green growth. *European Journal of Sustainable Development*, 2013, 2(1): 171-224.
- [15] HALL C R, DICKSON M W. Economic, environmental, and health/well-being benefits associated with green industry products and services: A review. *Journal of Environmental Horticulture*, 2011, 29(2): 96-103.
- [16] 厉无畏, 王慧敏. 产业发展的趋势研判与理性思考. *中国工业经济*, 2002, (4): 5-11. [LI W W, WANG H M. An analysis on industry development tendency and rational thinking. *China Industrial Economy*. 2002, (4): 5-11.]
- [17] 曹智, 闵庆文, 刘某承, 等. 基于生态系统服务的生态承载力: 概念、内涵与评估模型及应用. *自然资源学报*, 2015, 30(1): 1-11. [CAO Z, MIN Q W, LIU M C, et al. Ecosystem-service-based ecological carrying capacity: Concept, content, assessment model and application. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(1): 1-11.]
- [18] 陆根尧, 盛龙, 唐辰华. 中国产业生态化水平的静态与动态分析: 基于省际数据的实证研究. *中国工业经济*, 2012, (3): 147-159. [LU G Y, SHENG L, TANG C H. Static and dynamic analysis of China's industrial ecologization level: Empirical study based on provincial data. *China Industrial Economics*, 2012, (3): 147-159.]
- [19] 田泽, 魏翔宇, 丁绪辉. 中国区域产业绿色发展指数评价及影响因素分析. *生态经济*, 2018, 34(11): 103-108. [TIAN Z, WEI X Y, DING X H. Evaluation of China's regional industry green development index and analysis of its influencing factors. *Ecological Economy*, 2018, 34(11): 103-108.]
- [20] 张晓娣. 生态效率变动的产业及要素推动: 基于投入产出和系统优化模型. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 748-760. [ZHANG X D. Eco-efficiency change driven by products and factors: Combining input-output and system optimization

- models. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(5): 748-760.]
- [21] 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. *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. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(11): 1788-1798.]
- [22] 张国俊, 王珏晗, 庄大昌. 广州市产业生态化时空演变特征及驱动因素. *地理研究*, 2018, 37(6): 1070-1086. [ZHANG G J, WANG J H, ZHUANG D C. The characteristics and driving forces of spatial and temporal evolution of industrial ecology in Guangzhou. *Geographical Research*, 2018, 37(6): 1070-1086.]
- [23] 黄跃, 李琳. 中国城市群绿色发展水平综合测度与时空演化. *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. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1309-1322.]
- [24] 任嘉敏, 马廷吉. 东北老工业基地绿色发展评价及障碍因素分析. *地理科学*, 2018, 38(7): 1042-1050. [REN J M, MA Y J. Green development level and the obstacle factors of old industrial base in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 1042-1050.]
- [25] 张欣莹, 解建仓, 刘建林, 等. 基于熵权法的节水型社会建设区域类型分析. *自然资源学报*, 2017, 32(2): 301-309. [ZHANG X Y, XIE J C, LIU J L, et al. Analysis on the regional type of water-saving society based on entropy weight method. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(2): 301-309.]
- [26] 郝汉舟, 汤进华, 翟文侠, 等. 湖北省绿色发展指数空间格局及诊断分析. *世界地理研究*, 2017, 26(2): 91-100. [HAO H Z, TANG J H, ZHAI W X, et al. Spatial pattern analysis and diagnosis of green development index in Hubei province. *World Regional Studies*, 2017, 26(2): 91-100.]
- [27] LESAGE J, PACE R K. *Introduction to Spatial Econometrics*. New York: CRC Press, 2009.
- [28] ELHORST. *Spatial Panel Data Models and Book of Applied Spatial Analysis*. Berlin: Springer Verlag, 2010.
- [29] 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. *管理学报*, 2011, 8(3): 443-450. [WANG E X, WU C Y. Spatial-temporal differences of provincial eco-efficiency in China based on super efficiency DEA model. *Chinese Journal of Management*, 2011, 8(3): 443-450.]
- [30] 王长建, 张小雷, 杜宏茹, 等. 城市化与生态环境的动态计量分析: 以新疆乌鲁木齐市为例. *干旱区地理*, 2014, 37(3): 609-619. [WANG C J, ZHANG X L, DU H R, et al. Quantitative analysis of the dynamic relationship between urbanization and ecological environment in Urumqi, Xinjiang. *Arid Land Geography*, 2014, 37(3): 609-619.]
- [31] 张国俊, 邓鸿鹄. 珠江三角洲地区服务业与城镇化协调关系的时空演变. *地理科学*, 2018, 38(7): 1118-1128. [ZHANG G J, DENG H H. Spatial-temporal evolution of the coordination relationship between service industry and urbanization in the Pearl River Delta region. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 1118-1128.]
- [32] 刘家悦, 罗良文, 阚大学. 对外贸易、市场化进程与污染排放: 动态面板数据的实证研究. *财会月刊*, 2017, (9): 108-114. [LIU J Y, LUO L W, KAN D X. Foreign trade, marketization and pollution emissions: An empirical study of dynamic panel data. *Finance and Accounting Monthly*, 2017, (9): 108-114.]
- [33] 陈恩, 慎少辉. 广东出口贸易与环境污染互动关系探析. *广东工业大学学报: 社会科学版*, 2009, 9(4): 29-35. [CHEN E, SHEN S H. Analyzing the interaction between Guangdong's export trade and environmental pollution. *Journal of Guangdong University of Technology: Social Sciences Edition*, 2009, 9(4): 29-35.]
- [34] 王磊, 龚新蜀. 城镇化与产业生态化的互动关系: 以西北五省(区)为例. *城市问题*, 2014, (5): 61-67. [WANG L, GONG X S. The interaction between urbanization and industrial ecology: Taking the five provinces (regions) in north-west China as an example. *Urban Problems*, 2014, (5): 61-67.]
- [35] 胡雪萍, 李丹青. 城镇化进程中生态足迹的动态变化及影响因素分析: 以安徽省为例. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(2): 300-306. [HU X P, LI D Q. A study on ecological footprint's dynamic change and influence factors in the progress of new pattern urbanization: A case of Anhui province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(2): 300-306.]



## Comprehensive level of the green development of industry in Guangdong province and spatial econometric analysis of the influencing factors

ZHANG Guo-jun<sup>1</sup>, DENG Mao-ying<sup>2</sup>, YAO Yang-yang<sup>3</sup>, LI Xiong-ying<sup>4</sup>

(1. School of Public Administration, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou 510320,

China; 2. Zengcheng Urban and Rural Planning Research Center, Guangzhou 511300, China;

3. School of Geography and Tourism, Guangdong University of Finance and Economics,

Guangzhou 510320, China; 4. School of Statistics and Mathematics, Guangdong University  
of Finance and Economics, Guangzhou 510320, China)

**Abstract:** The green development of industry is of great significance to the construction of industrial system that is efficient, low- cost, green and circular development, and to the realization of sustainable economic development. This paper constructs the comprehensive evaluation index system of the green development of industry in Guangdong province from three dimensions of industrial green growth, resource and environmental carrying capacity and government policy support, using the entropy method, measures the comprehensive levels of Guangdong province and its respective cities from 2005 to 2015, and uses the exploratory spatial data analysis method to analyze the spatial correlation characteristics of the green development of industry of the cities in Guangdong province, on the basis of the spatial error model, discusses the influencing factors of industry ecology in Guangdong province. The results show that: (1) On the whole, the comprehensive level of the green development of industry in Guangdong province presents a sustainable growth trend. (2) From the perspective of spatial distribution, the overall spatial pattern of the Pearl River Delta presents a structure of "Core-edge", with the Pearl River Delta as the core and the peripheral areas of the Pearl River Delta as the edge. (3) From the perspective of spatial evolution, the spatial differences of the green development of industry in the cities of Guangdong province are slightly enlarged from 2005 to 2015, but the overall pattern remains relatively stable. (4) From the perspective of spatial correlation characteristics, the agglomeration pattern of the spatial distribution of the green development of industry in the cities of Guangdong province is stable. The cities in the Pearl River Delta present high- high agglomeration phenomenon, while some cities in the eastern and mountainous areas of the peripheral areas present low- low agglomeration phenomenon. (5) Globalization, marketization, residents' income level, government regulation, as well as science and technology level all have a significant influence on the green development of industry in Guangdong province, while the influence of urbanization is not significant.

**Keywords:** the green development of industry; comprehensive evaluation; spatial error model; Guangdong