

# 不同时期城市创新投入对绿色经济效率的影响 ——以粤港澳大湾区为例

曹靖<sup>1,2</sup>, 张文忠<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 本文以粤港澳大湾区各城市作为案例, 对2000—2017年各城市创新投入强度及绿色经济效率进行了测度, 并探讨了不同时期城市创新投入对提升绿色经济效率影响方式和大小的变化。本文主要得出了以下结论: ① 大湾区绝大多数城市在2000—2017年期间创新投入强度都实现了显著提升, 在此期间深圳城市创新投入强度始终处于领先地位, 广州、香港创新投入强度增长较慢。② 2000年—2017年间大湾区各城市绿色经济效率的变化情况存在较大差异, 处于稳定发展阶段的城市绿色经济效率通常稳步提升, 而处于高速增长阶段的城市绿色经济效率多出现波动。③ 从2000年—2017年, 大湾区城市绿色经济效率的主要影响因素由规模效应逐渐过渡到创新效应, 创新投入强度提升对于提升城市绿色经济效率的贡献度明显上升; ④ 创新效应会随着城市发展成熟、产业规模的增大, 对提升城市绿色经济效率起到的作用不断增强, 应将提升创新投入作为提升城市绿色经济效率最重要的手段。

**关键词:** 粤港澳大湾区; 创新投入强度; 绿色经济效率

DOI: 10.11821/dlj020200439

## 1 引言

改革开放40多年以来, 中国经济发展取得了巨大成就, 当前, 在国内生产总值稳居世界第二的同时, 中国仍保持了较高的经济增长速度。但在高速发展的同时, 大量资源被消耗、大量污染物被排放到了自然界当中, 使得部分地区生态环境受到显著影响。在此背景下, 生态文明建设和绿色发展的理念逐渐受到重视。2015年, 中共中央、国务院出台了《关于加快推进生态文明建设的意见》<sup>[1]</sup>, 首次将“绿色化”提升至与“新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化”同等地位, 要求“五化”协同发展, 体现了国家对经济增长目的性和可持续性关注度的显著提升。绿色发展理论认为, 绿色发展就是在资源环境承载潜力基础上, 依靠高科技, 更多地以人造资本代替环境和自然资本, 从而提高生产效率, 使经济逐步向低消耗、低能耗的方向转变<sup>[2]</sup>, 其核心是在经济发展的同时, 同步考虑资源环境保护的问题, 实现二者之间的优化平衡。对于绿色发展优劣的评价, 实质上是评价经济产出与资源环境投入之间的相互数量关系, 是一个效率问题。近年来, 随着生态文明建设和经济转型的迫切需求, 有关城市生态效率、能源效率和资源配置效率、绿色经济效率等研究逐渐涌现, 其中, 生态效率、能源效率和资源配置效率等

收稿日期: 2020-05-07; 修订日期: 2020-09-07

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41871170); 国家自然科学基金面上项目(41671166)

作者简介: 曹靖(1988-), 男, 陕西宝鸡人, 博士研究生, 主要从事城市地理与区域发展研究。

E-mail: 359175995@qq.com

通讯作者: 张文忠(1966-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事城市与区域发展研究。

E-mail: zhangwz@igsnrr.ac.cn

概念分别体现了绿色经济效率概念的某些方面。Ahmed等学者将能源消耗和污染物排放的投入产出效率定义为绿色经济效率,认为绿色经济效率是在考虑资源投入和环境代价的基础上,评价一个国家或地区生产效率的重要指标,反映了在追求经济效益的过程中利用自然资源和减轻环境压力的效率<sup>[3]</sup>。于婷婷等认为,当前区域与城市经济发展中的效率问题并未受到足够的重视<sup>[4]</sup>。陆大道认为,多数国家的经济增长是资源投入的结果,而非效率的提升<sup>[5]</sup>。相关实证研究主要关注城市绿色经济效率的评价及其影响因素的分析,例如,钱争鸣等对1996—2010年中国各省区绿色经济效率值进行了测算,并将其与传统经济效率值的对比,分析了东部、中部和西部绿色经济效率水平的区域差异,然后考察了各省区绿色经济效率的影响因素<sup>[6]</sup>;穆学英等基于“人地协调”理念和“过程+格局”思维,建立了衡量绿色经济效率的投入-产出指标,采用数据包络分析法对中国30个省(市、区)2005—2014年的绿色经济效率进行测度,对中国2005—2014绿色经济效率差异以及空间格局的时空演变进行了研究<sup>[7]</sup>;林伯强等构建了评价中国地级及以上城市的绿色经济效率指标,并实证研究了经济集聚对绿色经济效率的影响<sup>[8]</sup>;刘曙光等测算了中国东部沿海四大城市群城市群及各城市的绿色发展效率,并测算了投入产出指标对各城市绿色发展效率的障碍度<sup>[9]</sup>;Tao等应用DEA-SBM模型度量了中国省级绿色经济效率<sup>[10]</sup>;Wen等结合多区域投入产出和数据包络分析方法审视了中国建筑业的区域效率差异<sup>[11]</sup>。

经济增长质量理论认为,经济增长质量涵盖了增长效率提高、创新能力提高等诸多方面,其中,从经济增长的效率来看,单位投入获得的产出越多,要素生产效率越高,经济增长质量越高;从创新能力来看,技术创新既是企业竞争力的源泉,也是提高经济增长质量的关键<sup>[12]</sup>。经济效率理论认为,企业经济与地方经济效率,都可以被界定为纯技术效率、配置效率和规模效率三部分共同作用<sup>[13-15]</sup>。前述有关绿色经济效率的实证研究中也普遍认为,技术进步(创新投入)、规模效应(集聚效应)、产业结构等是影响城市绿色经济效率的主要因素,其中,技术因素在当前体现出更强的影响力<sup>[16]</sup>。现有有关科技创新与效率之间关系的研究主要集中在创新效率本身,即创新投入能够产生多少创新产出,研究的产出因子多为专利、论文等创新的直接产出,例如,曹贤忠等以R&D人员全时当量、R&D支出经费为投入指标,以专利产出、科技论文数量、新产品产值率为产出指标构建研发资源投入产出评价指标体系,运用DEA中的CRS、VRS模型和Malmquist指数方法,测度了长三角城市群研发资源的投入产出效率、变化趋势以及空间分异特征<sup>[17]</sup>。刘树峰等以R&D人员、经费、新产品开发经费等为投入指标,发表论文、出版专利、申请专利、专利许可收入、技术转让收入、新产品销售额等为产出指标,运用网络DEA-SBM模型、核密度分析、自然断裂点和空间面板计量模型等方法分析了2008—2015年中国省际创新总效率及两阶段效率演化动态及其成因<sup>[18]</sup>。类似地,刘汉初等<sup>[19]</sup>、杜志威等<sup>[20]</sup>、谭俊涛<sup>[21]</sup>、桂黄宝<sup>[22]</sup>等也基于类似的指标体系,运用不同的模型方法,对不同空间单元开展创新效率的分析研究。现有研究中,尚且缺少对于创新投入对城市绿色经济效率作用强度的量化研究,特别是对于不同时期其作用强度大小的比较。开展相关研究,有助于丰富经济效率理论的当代解释,明晰创新活动对绿色发展的作用,并指导区域与城市制定合理的发展策略。

粤港澳大湾区是中国开放程度最高、经济活力最强的区域之一,在国家发展大局中具有重要战略地位。改革开放以来,大湾区多数城市都经历了以劳动密集型产业、高能耗产业为主要动力推进的快速发展过程,并逐渐进入向绿色发展转型的阶段,加之香港、澳门可以作为不同制度和发展进度下的对照对象,使得粤港澳大湾区成为研究不同时期城市创新投入对提升绿色经济效率的贡献大小变化问题的良好案例区域。此外,研

究粤港澳大湾区创新投入对提升绿色经济效率的作用也有着重要的现实意义。党的十九大报告提出“创新是引领发展的第一动力”，要“加快建设创新型国家”、构建“国家创新体系”。《粤港澳大湾区发展规划纲要》<sup>[23]</sup>指出，粤港澳大湾区发展战略定位之一是“建成全球科技创新高地和新兴产业重要策源地”，提升城市创新投入是当前大湾区发展的重要战略之一。同时，《纲要》指出，大湾区要持续推进生态文明建设，要坚持节约优先、保护优先、形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式。这就要求大湾区在发展的过程中应在有限的资源投入下，尽可能达到更高的社会经济产出，同时尽可能减少对自然环境的破坏。该研究有助于指导粤港澳大湾区制定相应政策以达到上述目标。

考虑到数据的可得性和可对比性，本文选取2000年、2010年、2017年三个年份作为研究的时点，以粤港澳大湾区各城市作为研究对象，对各城市创新投入强度及绿色经济效率进行测度，探讨不同时期城市创新投入对提升绿色经济效率影响方式和大小的变化，并分析其原因。

## 2 研究区域及研究方法

### 2.1 研究区域概况

本文研究区域为中共中央、国务院印发的《粤港澳大湾区发展规划纲要》中所表述的粤港澳大湾区的范围（如图1），即香港特别行政区、澳门特别行政区和广东省广州市、深圳市、珠海市、佛山市、惠州市、东莞市、中山市、江门市、肇庆市等二区九市。粤港澳大湾区是中国经济体量和增速最快的区域之一，2019年粤港澳大湾区整体实现地区生产总值11.62万亿元，其中大湾区广东九市实现地区生产总值8.69万亿元，占广东省地区生产总值的80.7%<sup>[24]</sup>。近年来，粤港澳大湾区科创企业和人才加速聚集，信息技术（IT）、硬件研发、生物医药、金融科技等领域的独角兽企业不断增加，其中部分企业在细分领域具有全球技术领先地位。2018年，广东省高新技术企业总量超过3.3万家，与2015年相比增加了两倍，总数位列全国第一，其中绝大多数高新技术企业集中于粤港澳大湾区。同时大湾区科研论文和发明专利数量长期保持了高速增长<sup>[25]</sup>。

### 2.2 城市创新投入强度的测度

城市创新投入主要包括了人力投入和资金投入两方面，考虑到不同城市间劳动人口和经济体量可能存在显著差异，城市间R&D人员和资金投入的绝对值缺乏可比性，而R&D投入占GDP的比例、R&D人员占从业人员比例两项指标可以更准确地体现城市对于创新地投入力度。基于上述两项指标，采用突变级数法来计算城市创新投入强度。

突变级数法的理论基础是系统新三论之一的突变理论，其基本原理就是利用落

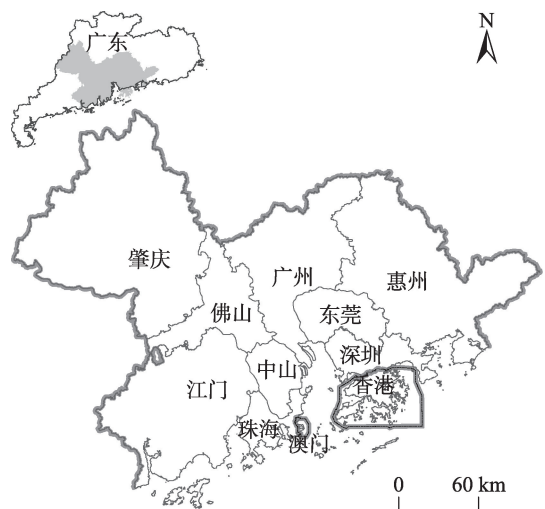


图1 粤港澳大湾区范围

Fig. 1 The scope of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

注：此图基于国家测绘地理信息局标准地图（审图号GS(2019)4342号）绘制，底图无修改。

在分叉集内的控制变量的取值会使系统的状态发生突变这一性质来构建评价模型。本文应用该方法计算城市创新投入强度。由于采用了如前所述的2个指标作为控制变量,仅存在城市创新投入强度1个状态变量,因而采用尖点突变模型,其势函数为和归一公式分别为:

$$V(x) = x^4 + ux^2 + vx \quad (1)$$

$$x_1 = c_1^{\frac{1}{2}}, x_2 = c_2^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

式中:  $V(x)$  为势函数;  $x$  为自变量;  $u$ 、 $v$  为系数;  $c_1$ 、 $c_2$  为导致系统突变的主要、次要因子; 由于2个控制变量之间联系较为紧密,相互之间可以一定程度上弥补不足,因而取诸控制变量对应的  $x_1$ 、 $x_2$  的平均值作为该控制变量的取值<sup>[26]</sup>。

### 2.3 城市绿色经济效率的测度

绿色经济是一种以生态经济协调发展为核心,通过效率的改进和技术的进步,实现对资源利用效率最大化、对环境压力最小化目标的生产方式<sup>[7]</sup>。本文所讨论的城市绿色经济效率,基于资源投入-经济产出-污染产出的角度予以理解和定义。较高的投入产出效率要求以较小的资源投入和环境污染来获取较大的经济产出。基于社会经济发展与资源环境问题演变态势,同时兼顾样本数据的可得性和可比性,并参考已有文献<sup>[7,27-29]</sup>,本文选取了社会经济要素、自然资源要素两类投入要素,以及以经济正产出及污染负产出组成的产出要素构成指标体系,每类要素由相关的2至3个典型指标来表征。如表1所示,其中自然资源投入要素用水、电消耗及建设用地的投入量表征;社会经济投入要素用从业人员数量、固定资产投资额分别表征人力及财力投入;用GDP和社会消费品零售总额分别代表经济的宏观产出和社会消费水平体现;由于经济活动中污染主要来源于工业排放,因此采用工业“三废”的排放量在表征负向产出要素。基于指标体系,采用数据包络分析法超效率(Super CCR)模型来测算城市绿色经济效率。

表1 绿色经济效率指标体系

Tab. 1 Index system of green economy efficiency

| 指标类型 | 类别     | 指标        |
|------|--------|-----------|
| 投入   | 自然资源投入 | 用水总量      |
|      |        | 建设用地总量    |
|      |        | 电力消耗量     |
|      | 社会经济投入 | 从业人员数量    |
|      |        | 固定资产投资额   |
| 产出   | 正向产出   | GDP       |
|      |        | 社会消费品零售总额 |
|      | 负向产出   | 工业固废排放量   |
|      |        | 工业废水排放量   |

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)是基于线性规划模型处理多投入、多产出的效率评价问题的常用方法,可以用于衡量具有多投入、多产出的多个相同类型决策单元相对有效性或效益。为了进一步对多个同时有效的决策单元进行分析和评价,引入超效率DEA模型—Super CCR模型来弥补这一缺陷,以解决多个效率值为1的决策单元之间的比较。超效率DEA模型如下:

假定要评价  $n$  个地区的投入产出效率,每个地区都有  $m$  个投入变量和  $s$  个产出变量,  $x_{ik}$  表示第  $k$  个地区第  $i$  种投入变量,  $y_{jk}$  表示第  $k$  个地区的第  $j$  种产出变量。则第  $k$  个DMU投入产出效率计算公式如下<sup>[29]</sup>:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta \\
 \text{(CCR)s.t.} & \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n X_j \lambda_j \leq \theta X_k \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j \leq Y_k \\ \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (3)
 \end{aligned}$$

式中:  $X_k$ 、 $Y_k$  为向量;  $X_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{mk})$ ;  $Y_k = (y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{sk})$ ;  $\theta$  表示该决策单元地区的有效值, 即产出相对于投入的有效利用程度;  $\lambda_j$  为相对于地区重新构造一个有效地区组合中第  $j$  个决策单元的组合比例。

## 2.4 数据来源

本文中所采用的各类统计数据来源为各年份《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《广东省统计年鉴》《香港统计年刊》《澳门统计年鉴》以及香港政府统计处、澳门统计暨普查局网站, 个别缺失数据参考世界银行公开数据及 Knoema 世界数据图谱分析平台。各城市历年建设用地面积数据来源于 Landsat 系列卫星影像解译结果。

## 3 结果与分析

### 3.1 粤港澳大湾区城市创新投入强度时空格局

由表 2、图 2 可见, 大湾区各城市在 2000 年—2017 年间, 城市创新投入强度均持续提升, 但提升幅度有所不同。2000 年以来深圳在城市创新方面在大湾区始终位于领先地位, 2000 年深圳城市创新投入强度测度值为 0.73, 与其他城市相比领先幅度较大。广州、珠海测度值相对较高, 分别为 0.57、0.53。珠海、佛山、香港的测度值位于 0.4—0.5 之间。其他城市测度值低于 0.4, 这其中澳门由于其长期以来形成的以娱乐产业及相关服务业为主的产业结构, 在创新方面的投入缺乏; 除澳门外, 大湾区各城市中在此时期肇庆的创新投入强度最低, 测度值为 0.25。

2010 年, 深圳城市创新投入强度测度值上升到 0.94, 在大湾区范围内领先幅度进一步加大。其他城市创新投入强度均有所提升, 但提升幅度存在较大差异。中山创新投入强度在此期间实现了大幅提升, 2010 年其创新投入强度在大湾区仅次于深圳, 测度值达到 0.72。珠海、佛山的创新投入强度仍然保持了大湾区范围内相对领先的地位, 测度值分别为 0.70、0.68。广州、香港城市创新投入强度增长与其他多数城市相比明显偏慢, 在大湾区各城市中的位次明显下降。此时期肇庆仍然为大湾区除澳门之外创新投入强度最低的城市, 但其测度值 0.45 与 2000 年相比实现了显著提升。

2017 年, 深圳创新投入强度测度

表 2 2000—2017 年粤港澳大湾区各城市创新投入强度测度值

Tab. 2 Measure values of innovation input intensity of cities in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 2000 to 2017

| 城市 | 2000年 | 2010年 | 2017年 | 年均上升量 |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 广州 | 0.57  | 0.59  | 0.68  | 0.006 |
| 深圳 | 0.73  | 0.94  | 1.00  | 0.016 |
| 珠海 | 0.53  | 0.70  | 0.88  | 0.021 |
| 佛山 | 0.48  | 0.68  | 0.90  | 0.025 |
| 江门 | 0.30  | 0.51  | 0.70  | 0.024 |
| 肇庆 | 0.25  | 0.45  | 0.56  | 0.018 |
| 惠州 | 0.29  | 0.51  | 0.80  | 0.030 |
| 东莞 | 0.31  | 0.58  | 0.75  | 0.026 |
| 中山 | 0.38  | 0.72  | 0.89  | 0.030 |
| 香港 | 0.42  | 0.55  | 0.57  | 0.009 |
| 澳门 | 0.22  | 0.25  | 0.31  | 0.005 |

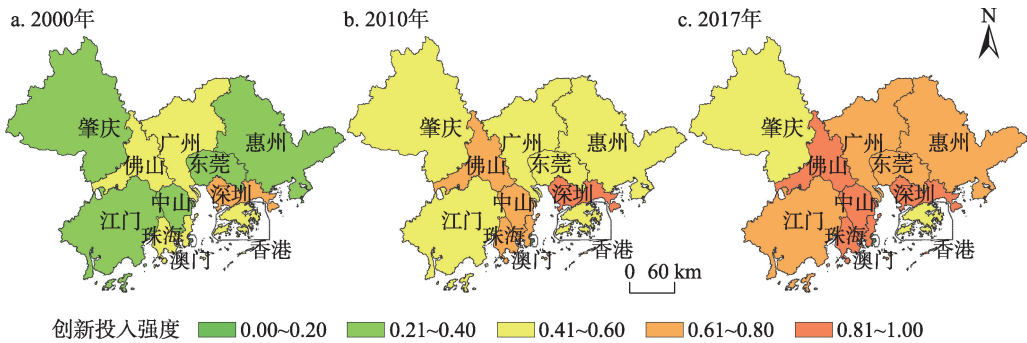


图2 2000—2017粤港澳大湾区各城市创新投入强度

Fig. 2 Innovation input intensity values of cities in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 2000 to 2017  
注：此图基于国家测绘地理信息局标准地图（审图号GS(2019)4342号）绘制，底图无修改。

值达到本次计算模型当中的上限值1。佛山、中山、珠海创新投入强度保持了较快的增长，测度值分别达到0.90、0.89、0.88。惠州、东莞、江门的创新投入强度值均达到0.70以上，其中惠州城市创新投入强度提升速度最快。广州、香港创新投入强度提升速度仍然偏慢，在大湾区各城市中处于相对落后的位置，其中香港创新投入强度测度值已与肇庆相差无几。

综合来看，大湾区绝大多数城市在2000—2017年期间创新投入强度都实现了显著提升。深圳城市创新投入强度在研究期间始终位于大湾区各城市的首位，并且领先程度明显，体现了深圳以创新为引领的城市发展战略。佛山、珠海城市创新投入强度在研究期间始终以较高的增长速度保持了在大湾区范围内相对优势的地位。惠州、中山、东莞、江门等城市2000年创新投入强度相对偏低，但此后随着高速增长已逐渐赶超大湾区平均水平，这充分体现了产业转型升级的发展策略。广州、香港在此期间缺乏对创新投入的足够重视，创新投入强度被其他多数城市所赶超，这并不符合作为大湾区核心城市的地位和城市功能需求。澳门由于其特殊的产业结构，且受制于城市规模，城市创新投入强度始终未得到有效提升。创新投入强度的缺乏，是港澳未来发展过程中所需要面对的重大问题。

### 3.2 粤港澳大湾区城市绿色经济效率时空格局

由表3、图3可见，2000年—2017年间，大湾区各城市绿色经济效率的变化情况存在较大差异。2000年惠州绿色经济效率达到了4.51，其他城市除香港、澳门外均处于1~2之间。惠州市此时期正向产出处于大湾区各城市中游水平，但其水、电消耗量很小，特别是电力消耗量在大湾区11个城市中仅高于肇庆，与此同时，惠州市负向产出量极小，其中固体废

表3 2000—2017粤港澳大湾区各城市绿色经济效率测度值  
Tab. 3 Green economy efficiency of cities in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 2000 to 2017

| 城市  | 2000年 | 2010年 | 2017年 |
|-----|-------|-------|-------|
| 广州  | 1.32  | 1.54  | 1.57  |
| 深圳  | 1.65  | 1.62  | 2.37  |
| 珠海  | 1.50  | 2.51  | 3.31  |
| 佛山  | 1.49  | 1.21  | 0.87  |
| 江门  | 1.21  | 0.94  | 1.03  |
| 肇庆  | 1.82  | 1.49  | 1.52  |
| 惠州  | 4.51  | 2.54  | 0.85  |
| 东莞  | 1.40  | 0.79  | 1.18  |
| 中山  | 1.74  | 2.64  | 1.79  |
| 香港* | 2.30  | 2.50  | 3.00  |
| 澳门* | 3.00  | 3.50  | 4.00  |

注：\*表示香港、澳门由于部分指标统计口径不同，难以与其他城市直接比较，因此未纳入模型计算，表中香港、澳门的测度值实为依据可进行对比的指标与其他城市进行对比后的估算值。

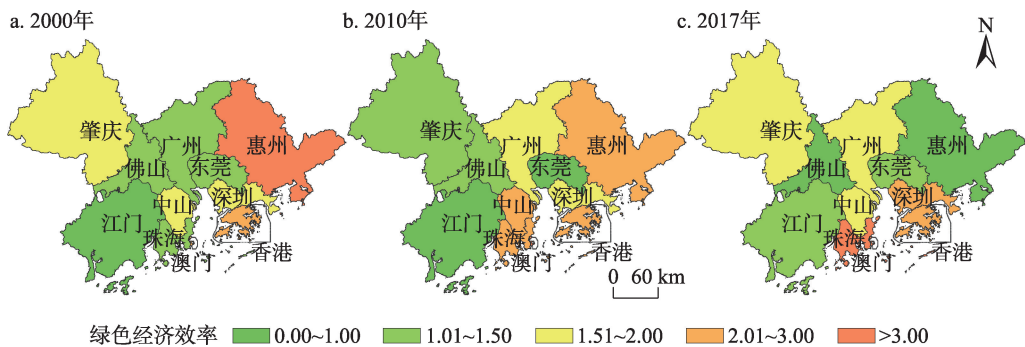


图3 2000—2017粤港澳大湾区各城市绿色经济效率

Tab. 3 Green economy efficiency of cities in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 2000 to 2017

注: 此图基于国家测绘地理信息局标准地图(审图号GS(2019)4342号)绘制, 底图无修改。

物排放量、废水排放量均在大湾区各城市中为最低, 废气排放量仅高于中山市(该指标港、澳未能获取数据), 因而在本文采用的测算体系下, 惠州市的绿色经济效率十分突出。香港由于突出的正向产出、澳门由于较低的资源投入, 得到了较高的测算效率值。其他各城市绿色经济效率在此时期并无显著差异。

与2000年相比, 2010年部分城市绿色经济效率测度值有所下降, 这主要因为此时期大幅增加的资源投入和污染产出。其中惠州市绿色经济效率下降明显, 尽管固废、废水排放量仍然相对较小, 但水电投入方面相较于其他城市已无明显优势。东莞、佛山、肇庆、江门等市绿色经济效率也有明显下滑。深圳市2010年城市绿色经济效率与2000年相比变化不大, 广州市有所提升。珠海、中山两市绿色经济效率提升明显, 这主要是因为这两个城市正向产出增长速度与其他多数城市相比差距不大, 但资源投入增长速度显著低于其他城市。香港、澳门在资源投入和污染产出方面与2000年相比变化幅度不大, 而正向产出有着不同程度的增长, 因此适当提高了绿色经济效率的测算值。

2010年—2017年, 佛山、肇庆、惠州等城市绿色经济效率持续下滑。中山市效率也出现下降, 主要因为与本世纪前十年相比, 中山市水资源消耗量增长速度以及废气排放量增长速度大幅上升, 而GDP和社会消费品零售总额等正向产出指标增长速度下滑。广州、肇庆、江门等城市在此期间绿色经济效率变化不大。深圳、珠海、东莞等城市在此期间绿色经济效率实现了较大幅度的提升, 这主要因为这些城市在此期间资源投入的增长速度显著下降, 而污染产出增长速度得到有效控制, 特别是固废和废水排放量实现了低速增长甚至下降。

综合来看, 各城市绿色经济效率的变化和城市发展所处阶段以及产业发展态势密切相关。香港、澳门在本世纪初已处于发展成熟阶段, 人口增长速度低, 产业结构和体量变动较小, 各类资源投入量和污染产出量基本保持稳定, 在此基础上, 产值等产出指标的提升即可以带来稳定的效率提升。大湾区其他城市本世纪以来大都经历了从业人口高速集聚、产业规模高速增长的过程, 人口高速集聚, 势必带来城市更高的资源消耗, 以及更高的污染产出, 而产业规模增长带来的正向产出的提升, 则有可能被产业增长同时带来的废物排放量的增长所抵消, 这解释了为什么在研究期间部分城市绿色经济效率出现下降。2010年后, 多数城市从业人口增长速度放缓, 深圳、广州、珠海等城市产业发展已相对成熟, 低消耗、低排放的第三产业以及高新技术产业的发展受到更多重视, 高

能耗、高污染的企业逐渐转型或迁出，因而绿色经济效率实现得以稳定增长。东莞等城市在经历了高速工业化进城后进入转型期，资源投入、废物产出趋于稳定，因而绿色经济效率由最低谷实现回升。而大湾区其他多数城市传统工业仍然是经济增长的主要来源，资源投入及废物产出增长速度仍然较高，显著影响了其绿色经济效率的测度值。

### 3.3 城市创新投入强度对绿色经济效率的贡献

为考察不同时期粤港澳大湾区城市创新投入强度变化对绿色经济效率的影响程度大小，可以依据经济效率理论构建回归模型，以绿色经济效率测度值作为因变量，自变量由技术效应、规模效应、配置效应三部分构成，其中技术效应由城市创新投入强度测算值表征，规模效应由城市GDP大小表征，配置效应由产业构成和政策因素共同表征，其中技术效应变量为考察变量，规模效应、配置效应为控制变量。通过对回归系数的估算测算城市创新投入强度变化对绿色经济效率的影响程度大小。回归模型具体如下：

$$GEE_i = \beta_0 + \beta_1 INN_i + \beta_2 SCA_i + \beta_3 ALL_{SEI_i} + \beta_4 ALL_{THI_i} + \beta_5 ALL_{POHi} + \beta_6 ALL_{POMi} + \varepsilon_i \quad (4)$$

式中： $GEE_i$ 为城市*i*绿色经济效率测度值； $INN_i$ 为城市*i*创新投入强度测度值； $SCA_i$ 为城市*i*的GDP大小； $ALL_{SEI_i}$ 为城市*i*第二产业产值比例； $ALL_{THI_i}$ 为城市*i*第三产业产值比例； $ALL_{POHi}$ 、 $ALL_{POMi}$ 为政策因素， $ALL_{POHi}$ 香港赋值为1，其他城市为0， $ALL_{POMi}$ 澳门赋值为1，其他城市为0； $\beta_0$ 为常数项； $\beta_1, \dots, \beta_6$ 为待估系数； $\varepsilon_i$ 为误差项。

分别将粤港澳大湾区2000年、2010年、2017年相关数据代入上述模型，估算相应系数。同时，考虑到技术投入对绿色经济效率影响可能存在滞后效应，参考既往研究结论<sup>[19]</sup>，将模型中创新投入强度数据替换为其他数据年份3年前的数据，即2007年、2014年数据（1997年数据难以完整获取，本文未纳入计算），另行估算系数。系数估算结果如表4。

表4 2000—2017年粤港澳大湾区绿色经济效率影响因素模型标准化系数估算结果

Tab. 4 The results of the model standardized coefficients estimation of the green economy efficiency in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from 2000 to 2017

| 自变量         | 模型1                   | 模型2                | 模型3                  | 模型4                | 模型5                 |
|-------------|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| $INN$       | 0.109<br>(0.431)      | 0.480<br>(0.826)   | 1.563**<br>(3.672)   | 0.840<br>(1.290)   | 1.358**<br>(2.971)  |
| $SCA$       | 5.847**<br>(4.281)    | -0.777<br>(-0.885) | -0.994**<br>(-2.940) | -1.230<br>(-1.344) | -0.903*<br>(-2.338) |
| $ALL_{SEI}$ | 0.334<br>(0.838)      | 0.053<br>(0.030)   | -2.085*<br>(-2.061)  | -0.350<br>(-0.211) | -1.488<br>(-1.385)  |
| $ALL_{THI}$ | -4.725***<br>(-6.121) | 0.486<br>(0.198)   | 0.369<br>(0.354)     | 0.768<br>(0.361)   | 0.564<br>(0.469)    |
| $ALL_{POH}$ | -2.047<br>(-1.860)    | 0.587<br>(0.783)   | -0.151<br>(-0.518)   | 0.457<br>(0.686)   | -0.090<br>(-0.267)  |
| $ALL_{POM}$ | 4.117***<br>(7.241)   | 0.541<br>(0.450)   | -0.026<br>(-0.057)   | 0.281<br>(0.264)   | 0.164<br>(0.304)    |

注：① 1表中\*、\*\*和\*\*\*分别表示在90%、95%和99%置信水平下显著；② 括号中为t统计量；③ 表中模型1采用的是2000年数据，模型显著性为0.018；模型2采用的是2010年数据，模型显著性为0.520；模型3采用的是2017年数据，模型显著性为0.399；模型4使用的2010年数据（将创新投入指标替换为2007年数据），模型显著性为0.399；模型5使用的2017年数据（将创新投入指标替换为2014年数据），模型显著性为0.060。

表4中模型1采用的2000年数据，模型拟合效果较好。此时期，大湾区城市创新投入强度并未对绿色经济效率形成明显作用。规模效应和配置效应中的第三产业产值占比



两项指标对绿色经济效率的影响程度最大,其中规模效应与绿色经济效率呈明显正相关关系,而第三产业产值占比与绿色经济效率呈明显负相关关系。在此时期,集聚发展、规模化发展的工业企业与作坊式的、零型布局的小企业相比,由于存在设施共享、技术溢出等效应,在生产效率及污染处理效率方面存在明显优势,因而城市产业规模的扩大可以较为显著地提升其绿色经济效率。此时期香港、澳门第三产业占比明显高于大湾区其他城市,但其绿色生产效率测度值与其他城市相比领先幅度不及第三产业占比的领先幅度,而肇庆等三产比例较低的城市由于更低的污染排放和资源投入,体现出了较高的绿色经济效率,这使得此时期大湾区各城市第三产业占比和绿色经济效率之间在数量上体现出了负向关系。特别行政区特殊的体制对于城市绿色经济效率也存在一定影响。

模型2采用的2010年数据,模型拟合效果较差,显著性不足。模型较差的拟合效果说明选取的自变量不能很好地解释此时期的因变量,换言之,此时期城市绿色经济效率受到了模型之外因素的很大干扰。此时期,由于资源环境限制、国际环境影响以及国内政策引导等原因,大湾区多数城市在产业方面出现显著变化,一方面,广州、深圳等城市加速产业转型升级,大量制造业企业外迁,另一方面,惠州、江门等城市则大力发展园区经济,吸纳各类企业入驻形成产业园区。在这种高速变动的环境下,与城市绿色经济效率有关的指标容易受到来自内外部各种因素的影响,造成其难以被简单的模型所解释。

模型3采用的2017年数据,模型拟合效果较好。此时期,只有创新投入强度和第三产业占比两项指标估算系数为正,其中创新投入强度估算系数具备较高的显著性和估算值。同时,规模效应与配置效应中的第二产业占比两项指标对于绿色经济效率的负向影响较为明显。此时期,大湾区绝大多数城市产业发展以具备一定规模,企业,特别是工业企业多存在于产业园区,有相对完善的配套设施和产业链条,此时产业规模的进一步扩大难以再对提升绿色经济效率产生积极作用,反而可能会带来更高的资源消耗和污染排放,进而影响到城市的绿色经济效率。港、澳的体制差异在此时期对绿色创新效率已无明显影响。

模型4、模型5是考虑到创新投入对提升绿色经济效率作用可能存在的滞后效应,将模型2、模型3中创新投入强度测度数据替换为了相应年份3年前的数据,系数估算结果与模型2、模型3并无显著差异,可以支持前述结论。

由上述分析可见,从2000年—2017年,大湾区城市绿色经济效率的主要影响因素由规模效应逐渐过渡到创新效应,创新投入强度提升对于提升城市绿色经济效率的贡献度明显上升。规模效应在城市产业规模较小时对提升绿色经济效率可以起到明显作用,但其作用有上限,当城市产业达到一定规模之后,其作用将难以持续发挥,甚至会起到反作用。配置效应在城市高速发展时期对于绿色经济效率可能起到一定作用,但这种作用在城市进入稳定发展阶段后会被逐渐冲淡。此外,配置效应多由城市自身属性和性质决定,在稳定发展时期不易在短时期内出现显著变化,难以作为城市提升自身绿色经济效率的有效手段。而创新效应则会随着城市发展成熟、产业规模的增大,对提升城市绿色经济效率起到的作用不断增强,而且创新投入对于城市来说是相对能动的,因此,对于大湾区而言,提升城市创新投入将成为提升城市绿色经济效率最重要的手段。

## 4 结论

本文以粤港澳大湾区各城市作为案例,对2000—2017年各城市创新投入强度及绿色

经济效率进行了测度,并探讨了不同时期城市创新投入对提升绿色经济效率影响方式和大小的变化。本文主要得出了以下结论:大湾区绝大多数城市在2000—2017年期间创新投入强度都实现了显著提升,在此期间深圳城市创新投入强度始终处于领先地位,佛山、珠海、惠州、中山、东莞、江门等城市创新投入强度快速增长,广州、香港创新投入强度增长较慢;2000年—2017年间大湾区各城市绿色经济效率的变化情况存在较大差异,香港、澳门以及2010年后的深圳、广州等处于稳定发展阶段的城市绿色经济效率通常稳步提升,而处于高速增长阶段的城市绿色经济效率多存在波动;从2000年—2017年,大湾区城市绿色经济效率的主要影响因素由规模效应逐渐过渡到创新效应,创新投入强度提升对于提升城市绿色经济效率的贡献度明显上升;规模效应对提升绿色经济效率的作用当城市产业达到一定规模之后将难以持续发挥,配置效应对于绿色经济效率的作用在城市进入稳定发展阶段后会被逐渐冲淡,而创新效应会随着城市发展成熟、产业规模的增大,对提升城市绿色经济效率起到的作用不断增强,应将提升创新投入作为提升城市绿色经济效率最重要的手段。

纵观大湾区21世纪以来城市绿色经济效率的变化,在城市人口规模和产业规模快速增长时期,城市绿色经济效率的振荡难以避免,但当城市人口基本稳定,城市产业完成快速扩张、进入转型提升期后,提升城市绿色经济效率是实现绿色发展的必由之路。提升城市绿色经济效率,需要在控制自然资源和社会经济投入、减少污染排放的同时,尽可能增加社会经济产出。实现这个目标,主要有两种途径,一是限制城市工业规模,大力发展第三产业,大幅提升第三产业在产业结构中的比例,类似于香港、澳门。但香港、澳门的产业结构是在长期历史原因的作用下形成的,内地城市很难在短时间内接近港澳的产业结构,而制造业作为大湾区的突出优势,也不可能将之舍弃,且港、澳的产业结构存在自身问题,当前也急需通过转型以谋求新的增长路径,因而该途径不能够成为大湾区城市提升绿色经济效率的主要手段。另一个途径则是着力提升城市的创新投入强度,通过创新使得城市产业实现节能减排,同时提高产品或服务的附加价值,提升经济产出。对于深圳、广州、香港、澳门等核心城市,更强的城市创新投入强度,可以表现在更多的科技企业、更强的研发能力,这是在当前阶段下有效提升经济产出、提升绿色经济效率、提升大湾区国际地位的必要途径。对于大湾区其他城市来说,城市创新投入强度的提升可以更多地表现在先进制造业方面,实现制造业科技含量,减少消耗和污染,提高产品技术含量和价值,从而提升绿色经济效率。

现有研究中对于区域不同时期创新投入对城市绿色经济效率作用强度变化的量化研究相对较少,本文以粤港澳大湾区为案例对比分析了不同时期创新投入及其他因素对城市绿色经济效率影响作用的差异,一定程度上丰富了有关该问题的研究,有助于丰富经济效率理论的当代解释,并对区域与城市绿色发展策略的制定能够提供参考。本文仍然存在一些不足之处,一是时间分辨率较低,难以反映出大湾区城市创新能力及投入产出效率演进过程的具体时点;二是未能深入研究大湾区内部城市间绿色经济效率的耦合关系,未能探讨大湾区中心城市对其他城市的辐射作用及影响机制。上述问题在未来的研究工作中拟予以深化改进。

**致谢:** 真诚感谢匿名评审专家在论文评审中所付出的时间和精力,评审专家对本文思路和结构优化、部分重要概念含义的明确、影响强度计算方法选取、结果分析等方面的修改意见使本文获益良多。

## 参考文献(References)

- [1] 中华人民共和国国务院. 生态文明体制改革总体方案. [http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-09/21/content\\_2936327.htm](http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-09/21/content_2936327.htm), 2019-04-09. [State Council of the People's Republic of China. The Overall Plan for Institutional Reform to Promote Ecological Progress. [http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-09/21/content\\_2936327.htm](http://www.gov.cn/guowuyuan/2015-09/21/content_2936327.htm), 2019-04-09.]
- [2] 黄志斌, 姚灿, 王新. 绿色发展理论基本概念及其相互关系辨析. 自然辩证法研究, 2015, 31(8): 108-113. [Huang Zhibin, Yao Can, Wang Xin. Discrimination on some fundamental concepts of green development theory and their relationships. *Studies in Dialectics of Nature*, 2015, 31(8): 108-113.]
- [3] Ahmed E M. Green TFP intensity impact on sustainable East Asian productivity growth. *Economic Analysis and Policy*, 2012, 42(1): 67-78.
- [4] 于婷婷, 宋玉祥, 浩飞龙, 等. 吉林省经济效率差异及空间格局演变. 地理科学, 2016, 36(7): 1066-1072. [Yu Tingting, Song Yuxiang, Hao Feilong, et al. The inequality of economic efficiency and space pattern evolution in Jilin province. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(7): 1066-1072.]
- [5] 陆大道. 中速增长: 中国经济的可持续发展. 地理科学, 2015, 35(10): 1207-1219. [Lu Dadao. Moderate-speed growth: Sustainable development of China's economy. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(10): 1207-1219.]
- [6] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 104-109. [Qian Zhengming, Liu Xiaochen. Regional differences in China's green economic efficiency and their determinants. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(7): 104-109.]
- [7] 穆学英, 刘凯, 任建兰. 中国绿色生产效率区域差异及空间格局演变. 地理科学进展, 2017, 36(8): 1006-1014. [Mu Xueying, Liu Kai, Ren Jianlan. Spatial differentiation and change of green production efficiency in China. *Progress in Geography*, 2017, 36(8): 1006-1014.]
- [8] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率. 经济研究, 2019, 54(2): 121-134. [Lin Boqiang, Tan Ruipeng. Economic agglomeration and green economy efficiency in China. *Economic Research Journal*, 2019, 54(2): 121-134.]
- [9] 刘曙光, 尚英仕. 中国东部沿海城市群绿色发展效率评价及障碍因子分析. 城市问题, 2020, (1): 73-80. [Liu Shuguang, Shang Yingshi. Efficiency evaluation and obstacle factor analysis of green development of urban agglomeration in east coast of China. *Urban Problems*, 2020, (1): 73-80.]
- [10] Tao Xueping, Wang Ping, Zhu Bangzhu. Provincial green economic efficiency of China: A non-separable input - output SBM approach. *Applied Energy*, 2016, 171(1): 58-66.
- [11] Wen Quan, Hong Jingke, Liu Guiwen, et al. Regional efficiency disparities in China's construction sector: A combination of multiregional input-output and data envelopment analyses. *Applied Energy*, 2020, 257(1): 113964.
- [12] 任保平. 经济增长质量: 理论阐释、基本命题与伦理原则. 学术月刊, 2012, 44(2): 63-70. [Ren Baoping. Economic growth quality: its principle, basic propositions and ethical principles. *Academic Monthly*, 2012, 44(2): 63-70.]
- [13] Farrell M J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statal Society: Series A (General)*, 1957, 120(3): 252-290.
- [14] Rolf Färe, C A Knox Lovell. Measuring the technical efficiency of production. *Journal of Economic Theory*, 1978, 19(1): 150-162.
- [15] 毕泗锋. 经济效率理论研究述评. 经济评论, 2008, (6): 133-138. [Bi Sifeng. A review of economic efficiency theory research. *Economic Review*, 2008, (6): 133-138.]
- [16] 孙金岭, 朱沛宇. 基于SBM-Malmquist-Tobit的“一带一路”重点省份绿色经济效率评价及影响因素分析. 科技管理研究, 2019, 39(12): 230-237. [Sun Jinling, Zhu Peiyu. Evaluation of "Belt And Road" provinces' green economic efficiency and analysis of influencing factors based on SBM-Malmquist-Tobit. *Science and Technology Management Research*, 2019, 39(12): 230-237.]
- [17] 曹贤忠, 曾刚, 邹琳. 长三角城市群R&D资源投入产出效率分析及空间分异. 经济地理, 2015, 35(1): 104-111. [Cao Xianzhong Zeng Gang, Zou Lin. Spatial differentiation of input-output efficiency of R&D resources in case of Yangtze river delta urban agglomeration. *Economic Geography*, 2015, 35(1): 104-111.]
- [18] 刘树峰, 杜德斌, 覃雄合, 等. 基于创新价值链视角下中国创新效率时空格局与影响因素分析. 地理科学, 2019, 39(2): 3-12. [Liu Shufeng, Du Debin, Qin Xionghe, et al. Spatial-temporal pattern and influencing factors of China's innovation efficiency based on innovation value chain. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(2): 3-12.]
- [19] 刘汉初, 樊杰, 周侃. 中国科技创新发展格局与类型划分: 基于投入规模和效率的分析. 地理研究, 2018, 37(5): 910-924. [Liu Hanchu, Fan Jie, Zhou Kan. Development pattern of scientific and technological innovation and typical zone in China based on the analysis of scale and efficiency. *Geographical Research*, 2018, 37(5): 910-924.]
- [20] 杜志威, 吕拉昌, 黄茹. 中国地级以上城市工业创新效率空间格局研究. 地理科学, 2016, 36(3): 321-327. [Du Zhiwei,

- Lv Lachang, Huang Ru. Spatial pattern of industrial innovation efficiency for Chinese cities at prefecture level and above. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(3): 321-327.]
- [21] 谭俊涛, 张平宇, 李静. 中国区域创新绩效时空演变特征及其影响因素研究. *地理科学*, 2016, 36(1): 39-46. [Tan Juntao, Zhang Pingyu, Li Jing. Spatio-temporal characteristics of regional innovation performance and its influencing factors in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(1): 39-46.]
- [22] 桂黄宝. 中国高技术产业创新效率及其影响因素空间计量分析. *经济地理*, 2014, 34(6): 100-107. [Gui Huangbao. Innovation efficiency and its influencing factors of China's high-tech industry based on the spatial econometric model. *Economic Geography*, 2014, 34(6): 100-107.]
- [23] 中华人民共和国国务院. 粤港澳大湾区发展规划纲要. 北京: 人民出版社, 2019: 12-22. [State Council of the People's Republic of China. Outline Development Plan for the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Beijing: People's Publishing House, 2019: 12-22.]
- [24] 涂成林, 苏泽群, 李罗力, 等. 中国粤港澳大湾区改革创新报告(2020). 北京: 社会科学文献出版社, 2020: 1-3. [Tu Chenglin, Su Zequn, Li Luoli, et al. Report on Reform and Innovation of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in China(2020). Beijing: Social Sciences Academic Press, 2020: 1-3.]
- [25] 杨道玲, 邢玉冠, 李祥丽. 粤港澳大湾区科技创新的优势与短板: 基于多源数据的世界四大湾区对比研究. *科技管理研究*, 2020, 40(10): 105-111. [Yang Daoling, Xing Yuguan, Li Xiangli. Advantages and shortcomings of science and technology innovation of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area: Comparison of the world's four major bays areas based on multi-source data. *Science and Technology Management Research*, 2020, 40(10): 105-111.]
- [26] 陈云峰, 孙殿义, 陆根法. 突变级数法在生态适宜度评价中的应用: 以镇江新区为例. *生态学报*, 2006, 26(8): 2587-2593. [Chen Yunfeng, Sun Dianyi, Lu Genfa. Application of catastrophe progression method in ecological suitability assessment: A case study on Zhenjiang new area. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2587-2593.]
- [27] 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. *地理学报*, 2011, 66(8): 1011-1022. [Fang Chuanglin, Guan Xingliang. Comprehensive measurement and spatial distinction of input-output efficiency of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1011-1022.]
- [28] 聂玉立, 温湖炜. 中国地级以上城市绿色经济效率实证研究. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(S1): 409-413. [Nie Yuli, Wen Huwei. Green economic efficiency of Chinese city at the level of municipality or above. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(S1): 409-413.]
- [29] 宋周莺, 康蕾, 刘毅. 中国区域投入产出效率的综合测度与时空格局. *地理研究*, 2019, 38(2): 326-336. [Song Zhouying, Kang Lei, Liu Yi. Spatio-temporal analysis of provincial input-output efficiency in China. *Geographical Research*, 2019, 38(2): 326-336.]

## The influence of urban innovation input on green economy efficiency in different periods: A case study of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

CAO Jing<sup>1,2</sup>, ZHANG Wenzhong<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** China's economy has achieved rapid development since the reform and opening up in 1978, but large amounts of resource consumption and pollutant emissions have significantly affected the ecological environment of some regions, therefore attention has been paid to the concept of green development and innovative development. Technological progress and innovation investment is an important way to improve the level of green development. The Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area is a good case study area for examining the contribution of innovation investment to improving green development level in different periods, as this area, one of the regions with the highest degree of openness and the strongest economic vitality in China, has experienced a rapid developing process driven by labor-intensive industries and high-energy consumption industries, and has started the transformation to green development. Taking the cities in the Greater Bay Area as examples, this paper measures the intensity of innovation input and the efficiency of green economy in each city from 2000 to 2017, and discusses the changes in the ways and sizes of the impact of urban innovation input on improving the efficiency of green economy in different periods. This paper mainly comes to the following conclusions. (1) Most cities in the Greater Bay Area have achieved significant improvement in innovation input intensity from 2000 to 2017. During this period, Shenzhen was in the leading position in innovation input intensity, while Guangzhou and Hong Kong had slow growth in innovation input. (2) From 2000 to 2017, there was a big difference in the change of the efficiency of green economy among cities in the Greater Bay Area. The efficiency of green economy in cities in the stage of stable development usually increased steadily, while that in cities in the stage of rapid growth often fluctuated. (3) From 2000 to 2017, the main influencing factors of urban green economy efficiency in the Greater Bay Area gradually transitioned from scale effect to innovation effect, and the contribution of innovation input intensity to the improvement of urban green economy efficiency increased significantly. (4) With the maturity of urban development and the increase of industrial scale, the innovation effect will play a more important role in improving the efficiency of urban green economy.

**Keywords:** the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area; innovation input density; green economy efficiency