

文章编号: 1005-0523(2024)02-0118-9



“强省会”战略下长江经济带低碳经济和产业选择

陈志建, 张立, 张庆娟

(华东交通大学经济管理学院, 江西南昌 330013)

摘要: 城市低碳发展是我国生态文明建设的重要抓手, 而“强省会”战略对区域间的协调发展产生了重要影响, 这就为“强省会”战略下长江经济带城市的低碳经济发展和产业选择提出了新要求。**【目的】** 研究刻画长江经济带地级市行业的低碳经济效应, 探讨产业选择问题。**【方法】** 研究采用随机森林模型。**【结果】** 长江经济带城市行业碳减排潜力较大, 其中建筑业最大。“强省会”战略下, 上海、武汉、重庆、成都的产业低碳经济发展较为充分, 南昌、贵阳、昆明、长沙等小核心省会城市制造业和部分社会服务业等产业的减排潜力较大。**【结论】** 省会城市应重点发展社会服务业, 非省会城市根据自身资源禀赋, 选取具有自身特色的产业重点发展。

关键词: 强省会; 低碳城市; 碳生产率; 产业选择

中图分类号: F291.1

文献标志码: A

本文引用格式: 陈志建, 张立, 张庆娟. “强省会”战略下长江经济带低碳经济和产业选择[J]. 华东交通大学学报, 2024, 41(2): 118-126.

Under the Strategy of “Strengthening Provincial Capital”, Low Carbon Economic and Industrial Choice in the Yangtze River Economic Belt

Chen Zhijian, Zhang Li, Zhang Qingjuan

(School of Economics and Management, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The low-carbon development of cities is an important lever in China's ecological civilization construction, and the “strong provincial capital” strategy has had a significant impact on the coordinated development between regions, which puts forward new requirements for the low-carbon economic development and industrial selection of cities in the Yangtze River Economic Belt under the “strong provincial capital” strategy. **【Objective】** The study describe the low-carbon economic effects of the industries in the prefecture level cities of the Yangtze River Economic Belt, and discusses the problem of industry selection. **【Method】** The study uses the random forest model. **【Result】** The carbon emission reduction potential of urban industries in the Yangtze River Economic Belt is significant, with the construction industry being the largest. Under the strategy of “strengthening provincial capitals”, Shanghai, Wuhan, Chongqing, and Chengdu have relatively full development of low-carbon industries, while small core provincial capitals such as Nanchang, Guiyang, Kunming, and Changsha have great potential for emission reduction in manufacturing and some social service industries. **【Conclusion】** Provincial capital cit-

收稿日期: 2023-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(42261060); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(21YJCZH011); 江西省研究生创新专项基金项目(YC2021-S477)

ies should focus on developing social service industries, while non provincial capital cities should select industries with their own characteristics for key development based on their own resource endowments.

Key words: strengthen provincial capital; low carbon city; carbon productivity; industry selection

Citation format: CHEN Z J, ZHANG L, ZHANG Q J. Under the strategy of “strengthening provincial capital”, low carbon economic and industrial choice in the Yangtze River Economic Belt[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2024, 41(2): 118–126.

【研究意义】壮大中心城市、省会城市,实施“强省会”战略,进一步增强对其他城市的辐射带动作用,是实现经济协调发展的重要举措。然而,“强省会”战略在通过省会城市快速发展拉动全省域经济的同时,也导致了城市产业同构、环境污染加剧等问题,从而导致战略实施“大而不强”^[1]。特别是在我国承诺“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”目标背景下,城市低碳经济发展是当前我国亟需解决的现实问题,是我国高质量发展的内在要求^[2]。显然,低碳经济发展模式是在现有的经济结构基础上,利用技术创新和产业引导,优化产业结构布局,提高单位GDP能源利用效率,以此来控制污染物排放,实现经济与环境和谐发展^[3]。由此观之,研究“强省会”战略下城市低碳经济发展及其产业选择问题,对探索区域经济发展之路具有重要的学术价值和现实意义。

【研究进展】现有研究表明,“强省会”战略下,省会城市发展伴随一定的辐射效应^[4]和溢出效应^[5],特别是具有关联性的产业,其溢出效应更强。但部分研究也显示“强省会”战略是通过城市扩张和资源虹吸来加速省会城市经济发展^[6],这就意味着“强省会”战略在一定程度上也会导致城市间发展不平衡和不协调等问题。

与此同时,对于低碳经济和产业选择问题,鉴于市级数据的不可获得性,大部分学者主要研究对象为国家和省域层面^[7-8],也有少数研究通过降维的方式探讨市级城市产业发展和低碳经济^[9]。部分学者对城市低碳经济^[10]和城市产业分工选择^[11-12]进行系统分析和细致研究,但以上研究均是基于单个产业、单个城市探讨城市低碳经济和产业选择,未从全产业选择视角研究城市低碳经济发展。**【创新特色】**究其原因,一方面是数据的难获得性,另一方面是在单方程回归或计量模型中加入过多变量会导致模型出现多重共线性和自由度下降的现象,而遗

漏部分变量又会导致模型内生性和有偏估计的现象,相比之下,随机森林模型能很好地解决这些问题^[13-14]。**【关键问题】**采用机器学习中的随机森林算法,以长江经济带108个地级市为研究对象,将国民经济19大行业纳入到随机森林模型中,研究各行业的低碳经济效应,探讨城市低碳经济发展的产业选择。

1 研究区域概况

长江经济带拥有横跨东中西三大地理区的区位优势,现阶段主要以生态优先、绿色发展为导向,推动长江上中下游地区协调发展和沿江地区高质量发展^[15]。近年来长江经济带各省市通过“安徽合肥代管原巢湖市部分区县”“四川成都代管简阳市”“江西做大做强南昌大都市圈”“湖北武汉成为‘国家中心城市’”等一系列举措,形成了“强省会”发展态势。因此,在“强省会”背景下,选取长江经济带作为研究对象,对中国城市低碳经济发展与区域协调发展具有重要的现实指导意义。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 城市低碳经济核算

碳生产率作为低碳经济的衡量指标,表示为单位二氧化碳排放量所产生的GDP,即同期内地区GDP与二氧化碳排放量之比。碳生产率从经济学角度表示为衡量一个经济体消耗单位碳资源所带来的相应产出^[16],其值越大意味着以更少的能源消耗带来更多的产出,代表该地区低碳经济越发达,反之,说明该地区经济产出的同时伴随着高碳排放。而对于城市碳生产率,受限于数据的真实性和可获得性,市级二氧化碳排放量核算难度较大。通过夜间灯光数据拟合的市级甚至县级二氧化碳排放量得到广泛应用^[17-18]。研究采用Chen等开发生

成的 NPP-VIIRS-LIKE 夜间灯光数据^[19]核算出 2003—2019 年长江经济带城市二氧化碳排放量。并利用城市同期 GDP 与该二氧化碳排放量之比计算出各城市碳生产率。

2.2 随机森林模型

一般的多元线性回归模型可能因变量过多而受多重共线性、自由度下降等问题的影响,导致结果不显著,而随机森林模型能很好地解决这类问题且回归精度更高。随机森林(Random Forest)是 Breiman 在决策树(回归树)的基础上提出的一种集成学习的方法^[20]。

随机森林模型在研究中的应用,有 3 层经济含义:① 对于随机森林中每棵决策树而言,树越顶端的行业对模型残差平方和影响越大,即对城市低碳经济的作用越大。② 树的每个分裂点代表一个行业的阈值,通过多个行业阈值的选择,确定不同行业结构的低碳经济效果。③ 偏效应大小体现了各行业对低碳经济的影响程度,即各行业就业人口的增加所带来的边际碳生产率的提升。

此外,以产业分工为基础的城市职能一定程度上体现了城市的产业发展水平^[21],因而将能反应城市职能现状的国民经济 19 大行业就业人口纳入到随机森林模型中,揭示各城市各行业碳生产率之间的关系,探究“强省会”战略下长江经济带各城市低碳经济的产业选择及其发展路径。根据国民经济行业分类标准 GB/T 4752-2002 分类,19 大行业分别为:农林牧渔业、采掘业、电力煤气及水生产供应业、制造业、建筑业、交通仓储邮电业、金融业、科研技术服务和地质勘查业、租赁和商业服务业、信息传输计算机服务和软件业、住宿餐饮业、批发零售贸易业、居民服务和其他服务业、文化体育和娱乐业、房地产业、水利环境和公共设施管理业、卫生社会保险和社会福利业、教育业、公共管理和社会组织业。

对于城市低碳经济,IPAT 模型是研究环境与社会因素之间问题的经典模型^[22],其表达式为

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

式中: I 为环境压力; P 为人口规模; A 为富裕程度; T 为技术水平。可见,人口、财富和技术水平是影响环境的三大主要因素本研究选取年末人口数(单位:万人),人均 GDP(单位:元)和专利授权数(单位:件)三大变量分别代表人口、财富和技术水平,

并将其加入到随机森林模型中,模型的自变量为低碳经济的碳生产率。

对于随机森林模型,其每次所考虑的变量个数 $mtry$ 属于关键性参数,对此通过最小化交叉验证误差确定,当 $mtry=5$ 的时候,交叉验证误差达到最小值 1.38,故选定参数 $mtry=5$ 。此外,自主样本数 $B=500$ 。

2.3 数据来源

基于数据的完整度,采用 2003—2019 年长江经济带 108 个地级市(毕节、铜仁数据严重缺失)面板数据。数据来源主要包括:① Chen 等生成的 2003—2019 年 NPP-VIIRS-LIKE 夜间灯光年度扩展序列数据^[19],公布在哈佛大学的数据公开网站上(<https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/YGIVCD>);② 2003—2018 年长江经济带 11 个省碳排放数据来源中国碳排放数据库(www.ceads.net);③ 2003—2019 年长江经济带地级市人口、人均 GDP 及国民经济 19 大行业就业人口来源于 EPS 数据平台的中国城市数据库,极少部分缺失值采用插值法进行补充;④ 2003—2019 年长江经济带地级市专利授权数数据来源于国家知识产权局。

3 实证分析

3.1 长江经济带城市行业低碳经济效应分析

长江经济带城市各行业对低碳经济影响因子的重要性排序,见图 1。图 1 中 IncMSE 为精度平均减少值,指将该变量删除或随机取值后模型估算的误差相对原来误差升高的幅度,其值越大,说明该

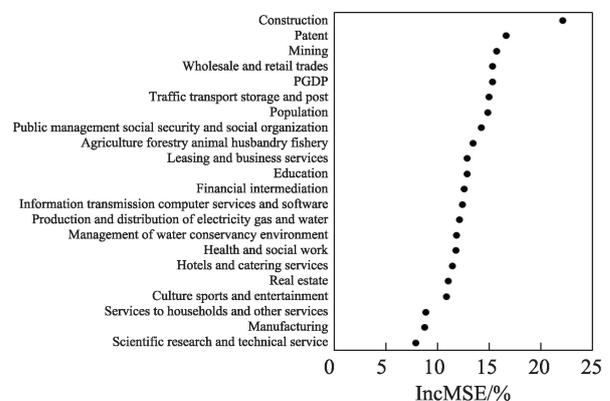


图 1 长江经济带城市低碳经济变量重要性
Fig. 1 Importance of urban low-carbon economy variables in the Yangtze River Economic Belt

变量越重要。从图1中可以看出,专利授权、人均GDP和人口三大因素的重要性程度排名均在前列,说明长江经济带城市人口、财富、技术仍是影响城市低碳经济的重要指标。

图2为国民经济19大行业发展对长江经济带城市低碳经济影响的偏效应图,即各行业对长江经济带城市碳生产率的边际效应。

从图2中可以看出,每个行业发展的低碳经济效应可分为两部分,前部分为行业低碳经济发展不充分阶段,城市碳生产率的边际效应会随着行业从业人员的增加或减少而变化,处于此阶段的城市行业称为未充分发展;后半部分为行业低碳经济发展充分阶段,城市碳生产率的边际效应保持稳定,不会随行业从业人员的增加或减少而明显变化,处于此阶段的城市行业称为充分发展。此外,高碳生产率的行业有:建筑业、采掘业、公共管理和社会组织业、农林牧渔业、信息传输计算机服务和软件业、电力煤气及水生产供应业、卫生社会保险和社会福利业、居民服务和其他服务业、制造业,这些行业充分发展阶段的碳生产率边际效应均为2以上。

结合图1和图2进行分析,从产业结构来看,对长江经济带城市碳生产率的影响最大的前五大行业为建筑业、采掘业、批发零售贸易业、交通仓储邮电业、公共管理和社会组织业,主要集中在工业和一般生产性服务业。其中,建筑业是唯一一个重要程度超过20%的行业,并且从偏效应图来看,处于未充分发展阶段的建筑业有利于提高城市的碳生产率,可见建筑业属于发展城市低碳经济的重点行业。从各行业低碳经济效应来看,4个行业未充分发展阶段有利于提高城市碳生产率,分别为:建筑业、信息传输计算机服务和软件业、卫生社会保险和社会福利业、居民服务和其他服务业;5个行业未充分发展阶段不利于提高长江经济带城市碳生产率,分别为:批发零售贸易业、交通仓储邮电业、租赁和商业服务业、教育业、住宿餐饮业;10个行业未充分发展阶段与城市碳生产率之间整体呈“U”型关系,分别为:采掘业、公共管理和社会组织业、农林牧渔业、电力煤气及水生产供应业、房地产业、文化体育和娱乐业、水利环境和公共设施管理业、制造业、科研技术服务和地质勘查业、金融业,其中仅金融业呈倒“U”型。此外,在19大行业中,13个行业在达到充分发展阶段前都能提高城市低碳经济效

应,说明行业发展的低碳经济效应潜力巨大。这就为“强省会”战略下长江经济带城市低碳经济的产业选择及其发展路径提供了重要参考。

3.2 “强省会”战略下长江经济带城市低碳经济发展及产业选择

结合图2各行业低碳经济的偏效应和2019年长江经济带108个地级市各行业数据,得出2019年长江经济带城市低碳经济效应的发展现状,见图3,白色方格代表该城市该行业低碳经济处于充分发展阶段,从业人员数的增加与减少对城市碳生产率的影响不大,非白色方格代表该城市该行业低碳经济处于未充分发展阶段,从业人员数的增加或减少影响着城市碳生产率,其中,阴影方格代表该城市该行业处于从业人员数增加会降低城市碳生产率的阶段,灰色方格代表该城市该行业处于从业人员数增加会提高城市碳生产率的阶段。

从图3可以看出,2019年长江经济带9个省会城市和2个直辖市19大行业的低碳经济大部分发展充分,但不同城市仍有区别,上海、武汉、重庆、成都等三大典型城市群核心省会城市(包括直辖市,下同)的各行业低碳经济发展基本充分,“强省会”战略成效显著;南昌、贵阳、昆明、长沙等非城市群核心省会城市制造业和部分社会服务业低碳经济发展的潜力仍在,这些省份“强省会”战略的落实有利于进一步促进省会城市低碳经济发展。此外,“强省会”战略下,省会城市对周边非省会城市虹吸现象明显,核心城市附近的非省会城市存在较多行业低碳经济发展不充分,其19大行业低碳经济发展均不充分。对于省会城市而言,大部分行业低碳经济发展充分,这些行业低碳经济充分发展阶段碳生产率较低,但未充分发展阶段可促进低碳经济发展。其次,省会城市大部分低碳经济发展不充分的行业为文化体育和娱乐业、居民服务和其他服务业、水利环境和公共设施管理业等社会服务业,并且省会城市这些行业的发展均能提升碳生产率,这部分社会服务业应成为省会城市低碳经济要求下的重点发展产业。省会城市这些行业的发展不仅能提高碳生产率,而且能改善人口和经济体量大幅增加与公共服务供给不配套而降低城市化质量^[23]的情况。综上所述,南京、杭州、合肥、重庆和武汉应注重电力煤气及水生产供应业与居民服务和其他服务业的发展,而长沙、昆明、贵阳和南昌除发展

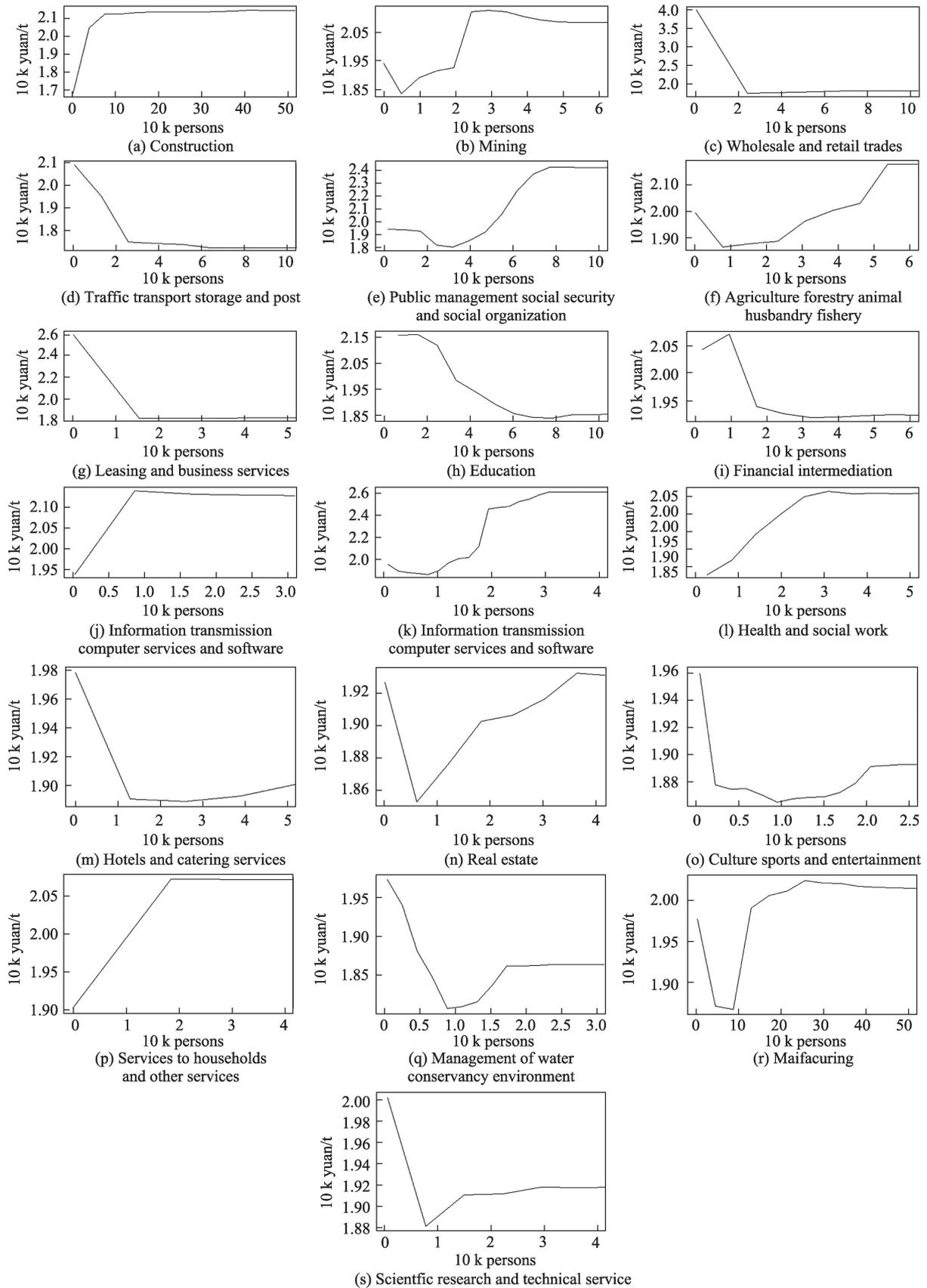
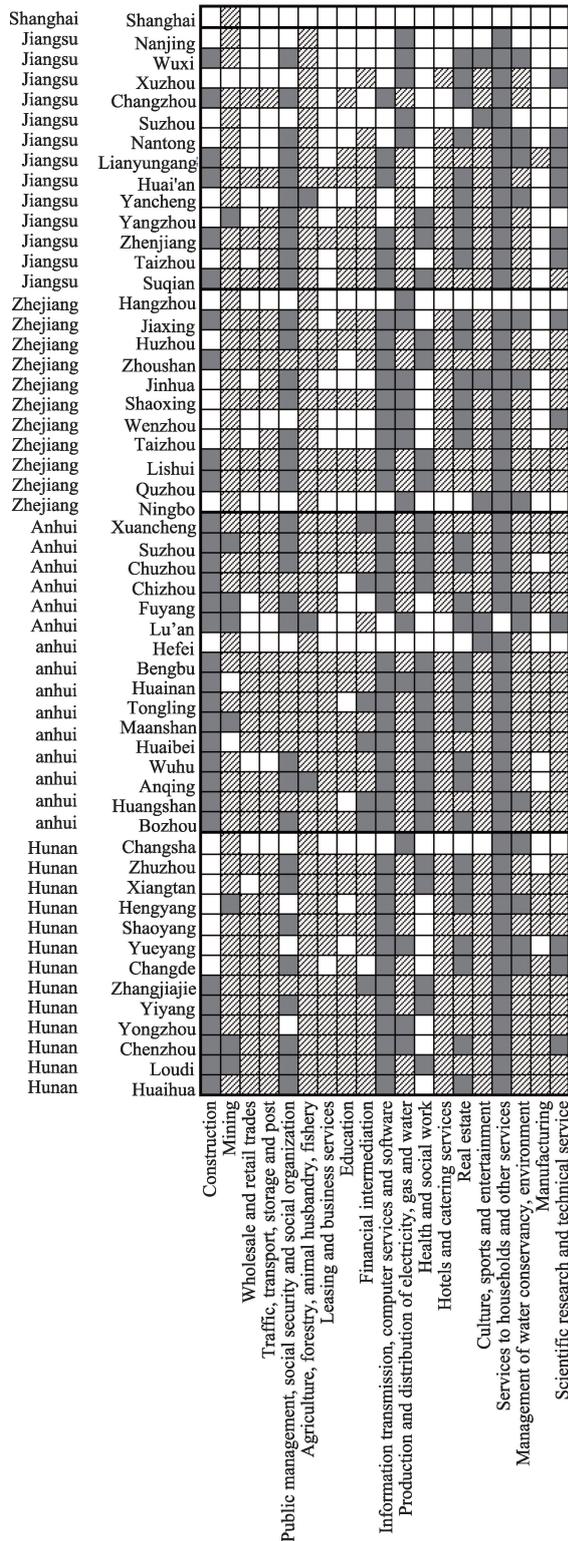
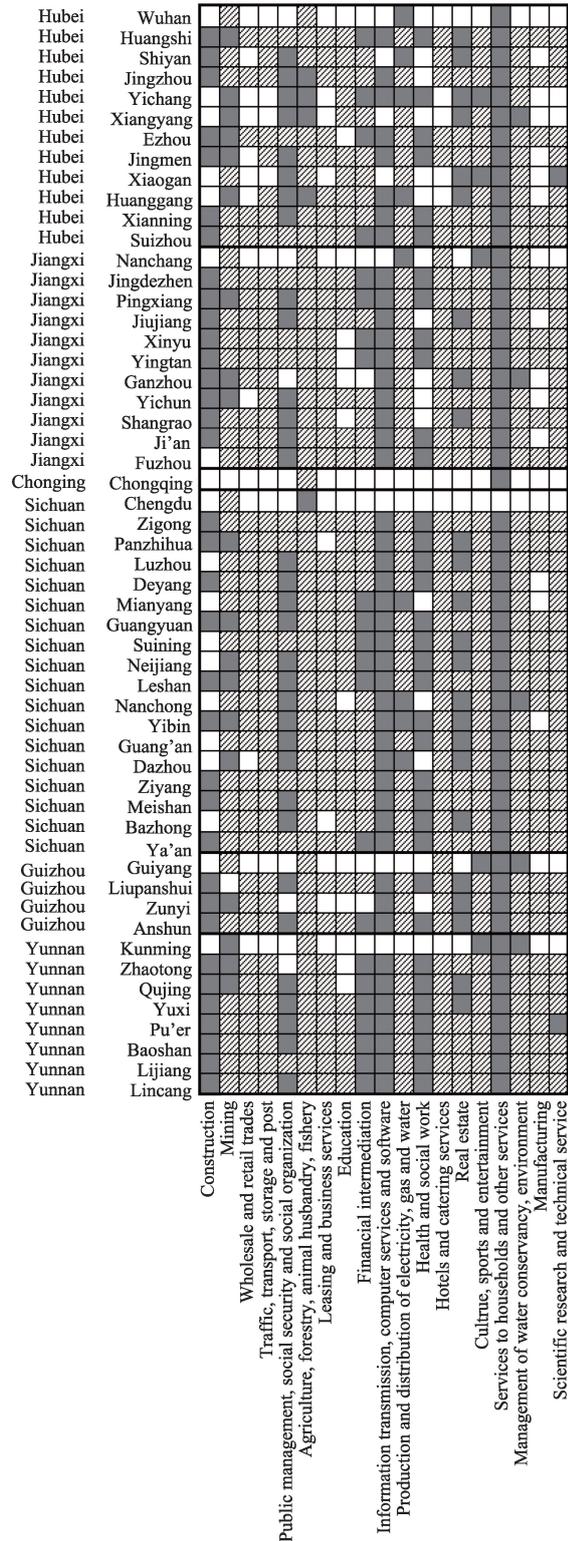


图2 长江经济带城市19大行业的低碳经济偏效应

Fig. 2 Urban low carbon economy partial effects of 19 industries in the Yangtze River Economic Belt



(a) Low carbon economic effect map of 19 industries in Shanghai, Jiangsu, Zhejiang and Hunan of the Yangtze River Economic Belt in 2019



(b) Low carbon economic effect map of 19 industries in Hubei, Jiangxi, Chongqing, Sichuan, Guizhou and Yunnan of the Yangtze River Economic Belt in 2019

图3 2019年长江经济带108个地级市19大行业低碳经济效应图
Fig. 3 Low carbon economic effect map of 19 industries in 108 prefecture level cities of the Yangtze River Economic Belt in 2019

以上两种行业外还应重点发展制造业、文化体育和娱乐业与水利环境,此外,昆明的采掘业和成都的农林牧渔业的进一步发展有利于促进城市的低碳经济。

对于非省会城市而言,特别是在发展不足的中西部地区城市,大部分行业低碳经济发展不充分,应结合自身资源禀赋,针对性地选择部分产业发展。此外,部分近邻地方城市之间的产业可协调互补发展,部分城市可针对自身低碳经济发展的劣势产业,与具有产业互补性质的近邻城市协同发展,打造各自城市的特色低碳经济产业的同时提高碳生产率。

4 结论

研究利用夜间灯光数据拟合城市二氧化碳排放量,并以此核算2003—2019年长江经济带108个地级市的碳生产率。利用这一数据,在现阶段强调“强省会”战略背景下,通过随机森林模型,分析了国民经济19大行业的城市低碳经济效应,探讨了长江经济带省会城市和非省会城市低碳经济协调发展及产业选择等问题,这对地区发挥比较优势,并制定优势互补、低碳经济发展的区域产业布局具有重要理论意义和现实价值。

1) 城市的行业低碳经济效应潜力巨大,建筑业低碳经济效应最强。从实证结果来看,国民经济19大行业中有13个行业在达到低碳经济充分发展之前能提高低碳经济效应,这为长江经济带在推动结构性改革进程中,实现产业结构升级优化和低碳经济的可持续发展提供了重要支撑。此外,建筑业对城市低碳经济影响最大,且在未充分发展阶段能提高城市低碳经济效应。建筑业作为国民经济发展的重要支柱产业,伴随着巨大的能源消耗和碳排放,但其能耗存在碳锁定效应,只在建筑过程中产生碳排放。因此建筑业存在巨大的减排潜力,通过优化建筑材料,提升建筑质量,延长建筑寿命等方法能有效地提高城市建筑业的低碳经济效应。

2) 从城市低碳经济的行业发展角度来看,长江经济带各省实施“强省会”战略效果显著。“强省会”战略引起了一定程度的虹吸效应,省会城市的大部分行业低碳经济得到充分发展,而周边非省会城市的多数行业低碳经济发展不充分。根据弗里德曼的“核心-边缘”理论,区域经济发展会经历核心区

不断集聚边缘资源和生产要素而快速发展,进而通过辐射效应带动边缘区形成小核心区发展的过程。在“强省会”战略下,上海、武汉、重庆、成都作为长江经济带三大典型城市群大核心省会城市,其产业低碳经济通过资源虹吸效应得到了充分发展。在这些大核心省会城市辐射效应带动下,南昌、贵阳、昆明、长沙等长江经济带小核心省会城市的部分产业低碳经济也得到充分发展,但对于制造业和部分社会服务业,低碳经济发展的潜力仍在。

3) 实施“强省会”战略必定导致区域发展的不平衡,“强省会”战略是加剧了城市间发展差距还是“大带小”使各城市协同发展,关键在于区域间城市的产业选择和协同调控。一方面,省会城市应重点发展文化体育和娱乐业、居民服务和其他服务业、水利环境和公共设施管理业等社会服务业,这不仅能促进省会城市的低碳经济发展,还能解决省会城市快速发展带来的公共资源不匹配等问题。此外,非省会城市应根据自身资源禀赋以及产业的发展水平,发挥比较优势,选取部分产业重点发展,使得城市在促进低碳经济发展的同时还形成了具有自身特色的重点产业。另一方面,省会城市可发挥辐射效应带动非省会城市发展。对于处于充分发展阶段但碳生产率不高的房地产业和部分社会服务业,省会城市可将这些产业转移到部分能提升碳生产率的非省会城市。此外,邻近的非省会城市之间可进行产业协调互补发展,城市可根据自身产业的低碳经济发展水平,与具有产业互补性质的近邻城市资源互换,使得各自城市打造出具有城市特色的低碳经济产业。

参考文献:

- [1] 张航,丁任重. 实施“强省会”战略的现实基础及其可能取向[J]. 改革, 2020(8): 147-158.
ZHANG H, DING R Z. The realistic basis and possible orientation of implementing the strategy of “strengthening the provincial capital”[J]. Reform, 2020(8): 147-158.
- [2] 陈志建,周超,康梓澳,等. 环境规制对经济高质量发展影响研究[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(1): 131-135.
CHEN Z J, ZHOU C, KANG X A, et al. Influence of environmental regulations on high-quality economic development[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(1): 131-135.
- [3] 邬彩霞. 中国低碳经济发展的协同效应研究[J]. 管理世

- 界, 2021, 37(8): 105-117.
- WU C X. Research on the synergistic effect of low-carbon economy in China[J]. *Journal of Management World*, 2021, 37(8): 105-117.
- [4] 庄羽, 杨水利. “强省会”战略对区域创新发展的影响——辐射还是虹吸?[J]. *中国软科学*, 2021(8): 86-94.
- ZHUANG Y, YANG S L. Influence of “building a strong provincial capital” strategy on regional innovation development: radiation or siphon effect?[J]. *China Soft Science*, 2021(8): 86-94.
- [5] 赵奎, 后青松, 李巍. 省会城市经济发展的溢出效应——基于工业企业数据的分析[J]. *经济研究*, 2021, 56(3): 150-166.
- ZHAO K, HOU Q S, LI W. Spillover effects of economic development in provincial capitals: An analysis based on industrial enterprise data[J]. *Economic Research Journal*, 2021, 56(3): 150-166.
- [6] LU L, GUO H, CORBANE C, et al. Urban sprawl in provincial capital cities in China: Evidence from multi-temporal urban land products using Landsat data[J]. *Science Bulletin*, 2019, 64(14): 955-957.
- [7] 孙华平, 杜秀梅. 全球价值链嵌入程度及地位对产业碳生产率的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(7): 27-37.
- SUN H P, DU X M. The impact of global value chain's participation degree and position on industrial carbon productivity[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(7): 27-37.
- [8] 余壮雄, 陈婕, 董洁妙. 通往低碳经济之路: 产业规划的视角[J]. *经济研究*, 2020, 55(5): 116-132.
- YU Z X, CHEN J, DONG J M. The road to a low-carbon economy: The perspective of industrial plans[J]. *Economic Research Journal*, 2020, 55(5): 116-132.
- [9] 王浦, 周进生, 王春芳, 等. 矿业城市低碳发展与绿色矿山建设[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(S1): 16-18.
- WANG P, ZHOU J S, WANG C F, et al. Development of mining city's low-carbon economy and construction of green mine research[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(S1): 16-18.
- [10] 李涛. 城市低碳经济的模糊数学评价研究[J]. *中国管理科学*, 2015, 23(S1): 744-748.
- LI T. Fuzzy mathematical evaluation research of urban low-carbon economy[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(S1): 744-748.
- [11] 史雅娟, 朱永彬, 黄金川. 中原城市群产业分工格局演变与功能定位研究[J]. *经济地理*, 2017, 37(11): 84-91.
- SHI Y J, ZHU Y B, HUANG J C. Evolution of industrial specialization pattern in zhongyuan urban agglomeration and its functional orientation[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(11): 84-91.
- [12] 侯杰, 张梅青. 城市群功能分工对区域协调发展的影响研究——以京津冀城市群为例[J]. *经济学家*, 2020(6): 77-86.
- HOU J, ZHANG M Q. Study on the influence of functional division of urban agglomerations on regional coordinated development——taking Beijing-Hebei urban agglomeration as an example[J]. *Economist*, 2020(6): 77-86.
- [13] 欧阳志刚, 陈普. 要素禀赋、地方工业行业发展与行业选择[J]. *经济研究*, 2020, 55(1): 82-98.
- OUYANG Z G, CHEN P. Factor endowment, local industrial development and selecting industries[J]. *Economic Research Journal*, 2020, 55(1): 82-98.
- [14] 闫广华, 陈曦, 张云. 基于随机森林模型的东北地区收缩城市分布格局及影响因素研究[J]. *地理科学*, 2021, 41(5): 880-889.
- YAN G H, CHEN X, ZHANG Y. Shrinking cities distribution pattern and influencing factors in northeast China based on random forest model[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(5): 880-889.
- [15] 孙久文, 张可云, 安虎森, 等. “建立更加有效的区域协调发展新机制”笔谈[J]. *中国工业经济*, 2017, 356(11): 26-61.
- SUN J W, ZHANG K Y, AN H S, et al. Commentary on establishing a more effective and new mechanism for regional coordinated development[J]. *China Industrial Economics*, 2017, 356(11): 26-61.
- [16] 潘家华, 张丽峰. 我国碳生产率区域差异性研究[J]. *中国工业经济*, 2011(5): 47-57.
- PAN J H, ZHANG L F. Research on the regional variation of carbon productivity in China[J]. *China Industrial Economics*, 2011(5): 47-57.
- [17] 杜海波, 魏伟, 张学渊, 等. 黄河流域能源消费碳排放时空格局演变及影响因素——基于DMSP/OLS与NPP/VIIRS夜间灯光数据[J]. *地理研究*, 2021, 40(7): 2051-2065.
- DU H B, WEI W, ZHANG X Y, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of energy-related carbon emissions in the yellow river basin: Based on the DMSP/VIIRS nighttime light data[J]. *Geographical Research*, 2021, 40(7): 2051-2065.
- [18] 吕倩, 刘海滨. 基于夜间灯光数据的黄河流域能源消费碳排放时空演变多尺度分析[J]. *经济地理*, 2020, 40(12): 12-21.
- LYU Q, LIU H B. Multiscale spatio-temporal characteris-

tics of carbon emission of energy consumption in yellow river basin based on the nighttime light datasets[J]. Economic Geography, 2020, 40(12): 12-21.

[19] CHEN Z, YU B, YANG C, et al. An extended time series (2000—2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(3): 889-906.

[20] BREIMAN L. Random forests[J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5-32.

[21] 王振波, 罗奎, 宋洁, 等. 2000年以来长江经济带城市职能结构演变特征及战略思考[J]. 地理科学进展, 2015, 34(11): 1409-1418.

WANG Z B, LUO K, SONG J, et al. Characteristics of change and strategic considerations of the structure of urban functional divisions in the Yangtze River Economic Belt since 2000[J]. Progress in Geography, 2015, 34(11): 1409-1418.

[22] 吴青龙, 王建明, 郭丕斌. 开放 STIRPAT 模型的区域碳排放峰值研究——以能源生产区域山西省为例[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 1051-1062.

WU Q L, WANG J M, GUO P B. Peak regional carbon emissions based on open STIRPAT modeling in an energy-producing region of Shanxi[J]. Resources Science, 2018,

40(5): 1051-1062.



第一作者: 陈志建(1983—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为碳减排政策, 区域经济计算及模拟。

E-mail: czjliyan@163.com。



通信作者: 张立(1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为碳减排政策, 区域经济。E-mail: zl19970330@163.com。

(责任编辑:刘棉玲)