

DOI: 10.5846/stxb202106051488

田立涛, 王少剑. 珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调发展研究. 生态学报, 2022, 42(15): 6381-6394.

Tian L T, Wang S J. Coupling and coordinated development between technological innovation and ecological environment in the Pearl River Delta region. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(15): 6381-6394.

珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调发展研究

田立涛, 王少剑*

中山大学地理科学与规划学院 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室, 广州 510275

摘要:探究科技创新与生态环境之间的耦合协调关系,是当前我国高质量发展过程中亟待解决的关键问题。通过探讨科技创新与生态环境的耦合协调机制,构建两者的综合评价指标体系,借助物理学耦合协调度模型定量测算 2007—2018 年珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调度,并对其时空演化特征进行探讨分析。结果表明:珠三角各市的科技创新综合指数与生态环境综合指数均呈现不断上升的趋势,且两者耦合度、耦合协调度也呈现出由低水平向高水平的演进特征。在空间分布上,珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调度呈现出以珠江入海口城市“广深佛莞”为中心,向两侧递减的空间格局。在作用类型上,珠三角多数城市在 2007 年的科技创新能力起到明显地滞后作用,但随着时间的推移,城市创新能力不断增强,与生态环境之间达到基本协调,甚至高级协调水平;而肇庆市发展相对缓慢,仍处于“基本失调—科技创新受阻型”。以区域高质量发展为引领,通过加大创新要素投入、控制污染物排放、合理布局生态用地等方法提高生态创新,有助于未来珠三角实现科技创新与生态环境协调可持续发展。

关键词:区域高质量发展;珠三角地区;科技创新;生态环境;生态创新;耦合协调度模型

Coupling and coordinated development between technological innovation and ecological environment in the Pearl River Delta region

TIAN Litao, WANG Shaojian*

Guangdong Provincial Key Laboratory of Urbanization and Geo-simulation, School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: It is vital for China to investigate the coupling and coordination relationship between technological innovation and ecological environment to accomplish its high-quality development strategy currently. In order to solve the question mentioned above, this paper firstly elaborated the mechanism process of the coupling and coordination relationship between technological innovation and the ecological environment. After that, the paper chose the Pearl River Delta region as the study area. A comprehensive evaluation indicator system was constructed to evaluate the situation of technological innovation and ecological environment in the Pearl River Delta region from 2007 to 2018. Subsequently, we quantitatively calculated the coupling coordination level between technological innovation and ecological environment with the help of coupling coordination degree model of physics. What's more, the paper analyzed and discussed the spatiotemporal evolution characteristics of their coupling coordination development situation in the Pearl River Delta region. Our findings are as follows. Firstly, both the situation of technological innovation and ecological environment showed a gradual upgrade trend in all cities of the Pearl River Delta from 2007 to 2018. More importantly, the coupling degree and the coupling coordination degree between technological innovation and ecological environment also presented the positive characteristics that moved from low level state to more advanced state. As for spatial distribution, the coupling coordination degree between

基金项目:第三次新疆综合科学考察项目(2021xjkk0904);教育部人文社会科学研究规划基金项目(21YJAZH087)

收稿日期:2021-06-05; 网络出版日期:2022-04-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1987wangshaojian@163.com

technological innovation and ecological environment in the Pearl River Delta region showed a significantly spatial pattern which descended from the core region to the periphery, meanwhile, Guangzhou, Shenzhen, Foshan and Dongguan such developed cities are situated in the central area. In terms of coupling and coordinated types, although most cities' technological innovative ability hindered the improvement of coupling coordination degree between technological innovation and the ecological environment after 2007, the innovation ability of cities has been continuously captured with the ecological environment which pushed the coupling coordination degree to reach the basic coordination or even advanced level as time goes on. However, the development of Zhaoqing was slow compared with other cities, and it still belonged to the basic imbalance-technological innovation hindered type during the study period. Therefore, under the guidance of regional high-quality development strategy, we concluded several developmental strategies for the Pearl River Delta to implement the coordinated and sustainable development of technological innovation and ecological environment, for example, improving ecological innovation by increasing investment in innovation factors, controlling pollutant emissions and reasonably maintaining ecological land.

Key Words: regional high-quality development; the Pearl River Delta region; scientific and technological innovation; ecological environment; eco-innovation; coupling coordination degree model

进入 21 世纪以来,中国的经济社会逐渐由高速增长转变为高质量发展阶段,亟需强大的科技创新能力与和谐的生态环境作为发展支撑^[1]。然而在不同发展阶段和水平条件下,科技创新对生态环境产生不同的带动效应,当区域出现创新动力不足、创新成果转化率低下和产学研脱节等问题,会严重影响科技创新与生态环境之间的良性互动^[2-4]。党的十九大报告明确提出“创新”是高质量发展的核心地位,“绿色”是高质量发展的重要保障。科技创新能够提高能源使用效率、减少生态污染、构建绿色市场,对于实现绿色和谐的生态环境具有重要的推动作用;生态环境通过提供资源、人才和环境等条件为科技创新提供强有力的支撑,两者之间存在相互影响、互为关联、交互耦合的复杂关系。因此,如何实现科技创新与生态环境的耦合协调发展,是当前生态学、地理学、环境学的研究热点,对于中国实现高质量发展和现代化建设具有重要意义。

目前国内外学者关于耦合协调性的研究主要集中在理论框架^[5-6]、影响机制^[7-8]、作用类型划分^[9-11]、协同路径等领域^[12],研究热点主要关于城市化、经济与生态环境的耦合协调^[13-15];旅游经济与环境的耦合协调^[16-18];人口、土地、产业与城市化之间的耦合协调^[19-21];还有金融创新、城市化、绿色发展与科技创新的耦合协调等方面^[22-24]。然而关于科技创新与生态环境耦合协调关系的关注度较低,已有研究主要集中在科技创新与生态环境的单向关系研究。一方面从创新平台、企业机构、高校院所等创新主体出发,探究提高技术创新的影响因素,分析如何减少对生态环境的影响^[25-27]。另一方面,随着环境规制的实施和治理成本的增加,再加上政府通过政策激励进行合理引导,迫使创新主体提高技术水平和生产效率,从而形成生态环境影响科技创新^[28-30]。

现阶段随着区域高质量发展的提出,部分学者逐步重视科技创新与生态环境的相互作用关系,研究内容主要涉及两者之间的优化作用关系、时空演化规律,以及科技创新与生态环境内部各要素之间的影响机制研究^[31-33]。虽然学界对于科技创新与生态环境之间的关系展开了激烈讨论,但是对于二者之间的作用机制的进一步揭示较少,对于不同尺度下两者之间的耦合协调关系及时空格局演化实证研究也少有涉及。鉴于现有文献的研究不足,本文以珠三角 9 市为例,尝试揭示科技创新与生态环境的耦合协调机制,构建两者综合评价指标体系,使用熵值法和耦合协调度模型对 2007—2018 年珠三角地区科技创新与生态环境的面板数据进行分析。并借鉴王成等对耦合度类型划分^[11],以及王少剑等对耦合协调度类型划分^[15],分析珠三角地区科技创新与生态环境耦合协调关系的时空演化规律,为珠三角城市群携手香港和澳门共建粤港澳大湾区、实现区域高质量发展提供参考。

1 研究理论与机制

1.1 生态创新理论内涵

“生态创新”也常被称为“绿色创新”、“环境创新”、“可持续创新”等,最早可以追溯到 1972 年联合国提出的可持续发展理念。Fussler 和 James 最早提出了“生态创新”的概念^[34],经过欧盟生态创新专题(Measuring eco-innovation 简称:MEI)、经合组织 OECD 和董颖等组织和学者对定义的丰富和完善^[35—37],强调生态创新不仅包括前端技术方法的创新、中端新产品、新工艺的销售,还应包括末端的环境治理,即在强调经济效益的同时,不能忽视生态环境效益,因此生态创新是实现区域高质量发展的主要引擎。本文构建珠三角地区科技创新与生态环境的综合评价指标体系,分析两者之间的耦合度、协调发展水平以及时空格局差异,为区域高质量发展提供合理化建议。

1.2 区域高质量发展背景下科技创新与生态环境的耦合协调机制

1.2.1 区域高质量发展背景下科技创新与生态环境的耦合互动机制

区域政府、高校和企业等主体通过投入人才、资金和资源等创新要素,加之信息网络化和交通便捷化,促使创新要素在区域内进行快速流动和循环,推动科技创新的步伐加快、原有技术和生产模式的革新,从而实现生产效率的提升^[4,9]。还有市场的竞争压力、企业的成本压力和顾客的绿色需求等因素都会促进技术的生态创新,产生新兴的技术、产品和管理方法等。科技创新能够推动新能源和清洁能源的使用和推广,提高能源使用效率、降低能耗,减少废弃物和污染物的排放;推动生态创新产品应用、以及绿色市场的构建,实现市场和企业的低碳环保化转型,提高市场的准入门槛,减少无序竞争和资源浪费;推动末端环境治理的有效性和长期性,有效防止环境的恶化和污染,实现生态环境的保护和优化^[38]。

由于生态环境问题的长期性、复杂性和多样性,政府会实施环境规制和一系列政策激励措施,包括环境保护的法律法规、排污费、节能减排和环保倡议等政策^[39],倒逼企业转变传统生产方式,实现产品技术的升级换代,来维护区域人地关系的良性平衡。同时,良好的生态环境为科技创新提供持续的资源和产业优势,有利于促进创新要素的集聚和产业结构的生态化转型,提升科技创新效率和生产力水平。此外,在生态环境不断优化过程中,会对区域要素禀赋与产业结构产生影响冲击,也会增加企业的竞争压力和外部成本,区域通过政策激励和优化资源配置来推动科技创新的发展^[40]。

由此可见,良好的区域科技创新有利于促进生态环境的治理和优化,而良好的区域生态环境也会倒逼科技创新的生态化转型(图 1),两者之间相互联系、互为影响、耦合互动,共同促进区域朝着高质量生产、生活、生态化转变。

1.2.2 区域高质量发展背景下科技创新与生态环境的协调发展机制

虽然区域高质量发展要求科技创新与生态环境之间进行良性互动,但是不能忽视区域两系统协调发展水平的时空差异。一方面,区域科技创新是一个长期漫长的过程,对生态环境的影响不能“一针见血,立见疗效”,因此会呈现单一系统存在滞后性的特征;另一方面,生态环境需要长期的修复和保护,也会受到快速城镇化、人口激增等影响,因此区域科技创新和生态环境的耦合协调水平具有一定的时空格局差异,探究两系统的协调发展类型有助于区域实现由低水平到高级协调水平的发展转变。同时,区域应该重视和关注两系统存在显著差异的成因及影响,避免两者相互制约、阻碍产业结构调整优化、绿色市场构建发展、生活环境改善和自然环境修复等问题的出现,保证区域朝着高质量协调方向发展。

2 研究区域和模型方法

2.1 研究区域与数据来源

2.1.1 研究区域

本文中的珠三角地区包括广州、深圳、珠海、佛山、东莞、中山、江门、惠州、肇庆 9 个地级市,是建设粤港澳

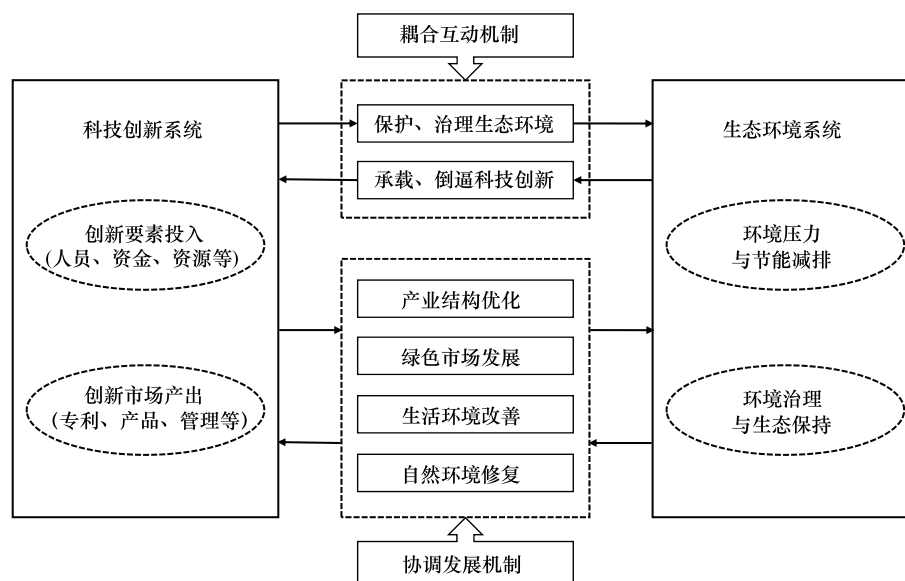


图1 科技创新与生态环境耦合协调的理论机制

Fig.1 The theoretical mechanism of coupling relationship between technological innovation and ecological environment

大湾区的重要组成部分。2019年2月,中共中央、国务院印发了《粤港澳大湾区发展规划纲要》中,明确提出将粤港澳大湾区建设成为国际科技创新中心和宜居宜业宜游的优质生活圈,就要求珠三角地区在深入实施创新驱动发展战略、大力发展科技创新的同时,应该注重对生态环境的保护和环境质量的提升^[41]。此外,珠三角地区拥有各类高等院校120多所、院士工作站140多家、高新技术企业已逾3万家、世界500强企业13家等创新主体,为科技创新注入强大驱动力,促进国际科技创新中心的建设^[42]。但是珠三角地区的台风、洪涝等自然灾害频发,加上快速的工业化、城市化以及生产生活等活动不仅加剧了人地矛盾的突出,也导致了大气污染、水体污染以及噪音污染等环境问题的增多^[43-44]。由此可见,珠三角地区在实现高质量发展的背景下,促进科技创新和生态环境的协调发展也面临着严峻挑战,也是成为国际知名湾区的“必由之路”。

2.1.2 数据来源

2006年9月,为了摆脱传统的“三来一补”局面,实现产业结构的转型升级,广东省审核通过了《广东省人民政府关于促进自主创新的若干政策》,构建支持自主创新的政策体系和服务体系。为了探究珠三角地区逐步提升的科技创新能力与生态环境产生的交互关系,因此研究数据的时间跨度为2007—2018年;但各市的统计标准有所不同,采取多渠道搜集数据,其主要来源于2007—2018年《广东省统计年鉴》、各地市《统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》以及各类专项统计数据,如广东科技统计数据和环境公报等。

2.2 指标体系的构建

科技创新与生态环境的协调发展受到多个因素影响,借鉴已有研究关于指标的选取理念^[9,31],考虑珠三角地区实际情况,并按照系统科学性、全面合理性和可获得性等指标选取原则,构建科技创新与生态环境综合评价指标体系(表1)。针对科技创新指标系统,主要分为要素投入与成果产出两大方面,6个细分指标,且所有指标都具有正向性;而生态环境指标系统以环境污染压力、治理与保持维度来构建体系,并结合对生态环境的影响区分正向性和负向性。通过对两个系统指标体系的构建,共计选取16项指标对珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调发展水平进行评价。

2.3 研究计量方法与模型

2.3.1 数据标准化与指标权重计算

(1) 数据标准化

通过对原始数据进行矩阵的构建,但数据存在量纲和数量级的差别,为了消除特征之间的差异性,方便进

行综合分析,因此使用极值法对数据进行无量纲化处理^[44—45]。

$$\text{正向指标:} \quad Z_{aij} = (X_{aij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$\text{负向指标:} \quad Z_{aij} = (X_{\max} - X_{aij}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中, $a = 1, 2, 3, \dots, m$ 、 $i = 1, 2, 3, \dots, k$ 、 $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 分别表示年份、地区和指标; $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别表示所有年份所有地区中第 j 指标的最大值和最小值; X_{aij} 、 Z_{aij} 为第 a 年份第 i 地区第 j 指标无量纲化处理前和处理后的值;通过对所有数值进行正向偏移 0.0001, 最终标准化值都在 $[0.0001, 1.0001]$ 范围内;分别得到科技创新与生态环境系统的标准化值 X_j 、 Y_j 。

表 1 科技创新与生态环境综合评价指标体系

Table 1 The comprehensive index system of technological innovation and ecological environment

目标层 Destinations	一级指标 First-class indicators	二级指标 The secondary indicators	单位 Units	指标类型 Indicators types	权重 Weights
科技创新 Technological innovation	创新要素投入	R&D 经费	亿元	正向指标	0.2283
		R&D 经费占 GDP 比例	%	正向指标	0.0531
	创新成果产出	各市工业企业 R&D 活动人员	人	正向指标	0.1689
		专利申请量	件/万人	正向指标	0.1872
		专利授权量	件/万人	正向指标	0.1769
生态环境 Ecological environment	环境污染压力	各市工业企业新产品销售收入	亿元	正向指标	0.1856
		人均工业废水排放量	t/人	负向指标	0.0189
		人均工业二氧化硫排放量	t/人	负向指标	0.1097
		人均工业烟(粉)尘排放量	t/人	负向指标	0.0165
		人均工业固体废物产生量	t/人	负向指标	0.0938
	环境治理保持	工业固体废物综合利用率	%	正向指标	0.0788
		生活垃圾无害化处理率	%	正向指标	0.0894
		城镇生活污水处理率	%	正向指标	0.0853
		建成区绿化覆盖率	%	正向指标	0.0835
		人均公园绿地面积	m ²	正向指标	0.0956
		森林覆盖率	%	正向指标	0.3285

(2) 指标权重计算

为了保护数据自身的特性,避免主观干预影响指标赋权,因此采用熵值法,根据各个指标值的变异程度来确定客观权重,并借助线性加权平均法分别计算出珠三角地区各市的科技创新综合指数(TI)和生态环境综合指数(EN)。各系统的所有指数均介于 $[0, 1]$ 之间,综合评价指数值越大,表明该系统的综合发展水平越高;越低则相反^[32—33]。

$$\text{指标归一化处理:} \quad P_{aij} = Z_{aij} / \sum_{a=1}^m \sum_{i=1}^k Z_{aij} \quad (3)$$

$$\text{计算信息熵值:} \quad E_j = -k \sum_{a=1}^m \sum_{i=1}^k P_{aij} \ln P_{aij} \quad (4)$$

式中, $k = 1/\ln(m \times k)$, E_j 为不同指标 j 的熵值。

$$\text{计算各项指标的差异系数:} \quad D_j = 1 - E_j \quad (5)$$

$$\text{计算各项指标的权重:} \quad W_j = D_j / \sum_{j=1}^n D_j \quad (6)$$

$$\text{计算各城市的综合评价指数:} \quad TI = \sum_{j=1}^n W_j \times X_j, EN = \sum_{j=1}^n W_j \times Y_j \quad (7)$$

2.3.2 耦合协调度模型和类型划分

(1) 科技创新与生态环境耦合度模型及类型划分

耦合度模型能够反映科技创新与生态环境两系统之间的共振关系,其值越大说明两者之间相互作用、相互影响越强烈,对区域高质量发展产生积极影响,反之亦然。根据现有研究成果以及区域研究实际情况^[11],将科技创新与生态环境的耦合度划分为4种类型(表2)。

$$C = 2 \{U_1 \times U_2 / (U_1 + U_2)^2\}^{1/2} \quad (8)$$

表2 科技创新与生态环境耦合度类型划分

Table 2 The classification of coupling degree of technological innovation and ecological environment		
耦合度 C Coupling degree	类型 Types	特征 Features
$0 \leq C \leq 0.5$	低耦合时期	科技创新与生态环境之间开始进行博弈,相互作用较弱。其中当 $C=0$ 时,两系统之间处在无关联互动状态并且无序发展
$0.5 < C \leq 0.7$	较低耦合时期	科技创新与生态环境之间相互作用逐步增强,科技创新进程开始加速,但对生态环境的负向影响多于正向影响,且政府开始采取环境规制措施来阻止环境恶化
$0.7 < C \leq 0.9$	良性耦合时期	科技创新与生态环境之间逐渐相互配合,相互之间正向影响明显增强,朝着良性耦合方向发展
$0.9 < C \leq 1.0$	协调耦合时期	科技创新与生态环境之间有序发展,政府也采取多种环境规制措施和激励政策,鼓励创新主体进行科技创新,其中当 $C=1.0$ 时,两系统之间基本实现协调耦合且朝着高质量方向发展

(2) 科技创新与生态环境耦合协调度模型及类型划分

耦合度模型虽然能反映科技创新与生态环境之间的互动关系,但要深入了解两系统之间的“协同效应”,应借助协调度模型,判断两系统之间耦合是否协调,以及是高级协调水平上的相互促进还是低级协调水平上的相互制约状态。具体公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (9)$$

$$T = aU_1 + bU_2 \quad (10)$$

式中, U_1 、 U_2 分别代表科技创新和生态环境的综合评价指数, D 为科技创新与生态环境的耦合协调度, T 为两系统的综合协调指数, a 、 b 为待定系数,根据两系统的贡献率确定份额,参照已有研究,本文认为科技创新与生态环境同等重要,因此值均为0.5。并借鉴王少剑的划分标准^[15],将科技创新和生态环境的耦合协调度情况细分为4个大类、12个亚类(表3)。

表3 科技创新与生态环境耦合协调度类型划分

Table 3 The classification of coupling coordinating degree of technological innovation and ecological environment			
类型 Types	耦合协调度 D Coupling coordination degree	亚类型(亚 ₁ 、亚 ₂ ……亚 ₁₂) Sub-types(Sub-1, Sub-2……Sub-12)	U_1 与 U_2 相对大小 U_1 is relative to U_2
高级协调 Advanced coordination	$0.8 < D \leq 1$	高级协调—科技创新滞后(亚 ₁)	$U_2 - U_1 > 0.1$
		高级协调—生态环境滞后(亚 ₂)	$U_1 - U_2 > 0.1$
		高级协调(亚 ₃)	$0 \leq U_1 - U_2 \leq 0.1$
基本协调 Basic coordination	$0.5 < D \leq 0.8$	基本协调—科技创新滞后(亚 ₄)	$U_2 - U_1 > 0.1$
		基本协调—生态环境滞后(亚 ₅)	$U_1 - U_2 > 0.1$
		基本协调(亚 ₆)	$0 \leq U_1 - U_2 \leq 0.1$
基本失调 Basic disorder	$0.3 < D \leq 0.5$	基本失调—科技创新受阻(亚 ₇)	$U_2 - U_1 > 0.1$
		基本失调—生态环境受阻(亚 ₈)	$U_1 - U_2 > 0.1$
		基本失调(亚 ₉)	$0 \leq U_1 - U_2 \leq 0.1$
严重失调 Severe disorder	$0 < D \leq 0.3$	严重失调—科技创新受阻(亚 ₁₀)	$U_2 - U_1 > 0.1$
		严重失调—生态环境受阻(亚 ₁₁)	$U_1 - U_2 > 0.1$
		严重失调(亚 ₁₂)	$0 \leq U_1 - U_2 \leq 0.1$

U_1 : 科技创新综合评价指数 Comprehensive evaluation index of technological innovation; U_2 : 生态环境综合评价指数 Comprehensive evaluation index of ecological environment

3 实证分析

3.1 珠三角地区科技创新与生态环境综合发展水平分析

3.1.1 珠三角地区科技创新综合发展水平分析

2007 年—2018 年间,珠三角地区各城市的科技创新综合发展指数呈现出逐年递增趋势,但各城市年增长率差异显著(图 2)。与其他城市相比,深圳市科技创新的年增长率较高,综合指数常年保持在珠三角首位,且 2018 年已愈发接近指数为 1 的临界水平,其原因主要是深圳市作为区域乃至全国的创新型城市,注重创新要素的投入,通过自身的科技产业创新与香港的知识创新进行优势互补、深度合作,形成良好的创新环境,构建具有全球影响力的“创新集群”。而肇庆市属于珠三角外围的传统工业城市,产业转型发展较为缓慢,在创新人才引进、创新要素集聚方面吸引力不足,处于明显劣势,因此其科技创新综合指数居于末位。广州市、东莞市和佛山市的科技创新综合指数属于珠三角地区的中等水平,其中东莞市在 2017 年超过佛山市,主要是由于《广深科技创新走廊规划》的实施,东莞松山湖和滨海湾被纳入其中,加速高端创新要素的集聚,加上传统产业转型升级过程中培育出强劲的技术创新潜力,推动东莞市的科技创新水平进一步提高。珠海、江门、惠州、中山四市的科技创新综合指数均在 0.2 以下,对于城市经济发展的推动性较弱。

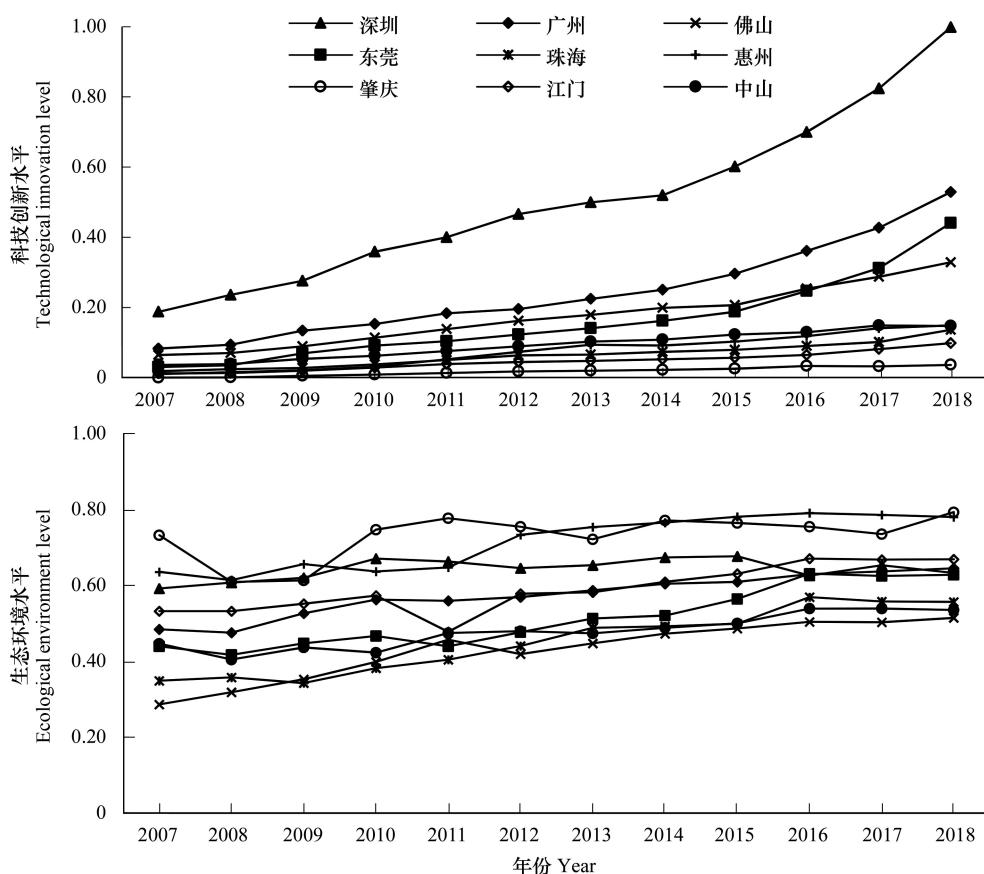


图 2 2007—2018 年珠三角各城市科技创新与生态环境水平的变化趋势

Fig.2 Trends of comprehensive levels of technological innovation and ecological environment of cities in the PRD, 2007—2018

PRD:珠三角地区 The Pearl River Delta Region

珠三角地区可划分为东中西三大都市圈:深莞惠、广佛肇、珠中江,对其空间格局做进一步比较分析,呈现出“东部高、中部平、西部低”的科技创新格局。总的来说,珠三角地区的科技创新水平显著提升,但各城市之间的差距明显,如肇庆等珠三角中西部城市应明确城市发展定位,促进产业结构优化升级,改善创新环境,吸

引人才、资本等要素的集聚,推动科技创新为其高质量发展提供长久驱动力。

3.1.2 珠三角地区生态环境综合发展水平分析

区域生态环境受到城市化水平、人类活动、自然灾害和科技创新等多方面因素影响,是一个长期演化的动态过程。2007 年—2018 年间,珠三角地区的生态环境综合指数都集中在(0.25,0.8)范围内,由 2007 年的指数相对分散到 2016 年后的指数相对集中于(0.5,0.80),各城市的生态环境水平总体上呈现上升趋势,但个别城市在个别年份出现变动异常(图 2)。如肇庆市、惠州市等虽受到城市化影响,人口流入城市,但受到山地、丘陵、河流等地形因素的影响,无法实现城市快速扩张,生态环境保持在较高水平。相反,佛山市因产业结构吸引大量劳动力,城市用地快速扩张,再加上各类污染物排放等因素,生态环境水平相对较低。综合而言,珠三角各城市政府重视环保工作,加快产业的生态化转型,降低能耗,增加绿地、森林等生态用地,为科技创新提供优质的环境和资源,促进“宜居宜业宜游”高质量生活圈的形成。

3.2 珠三角地区科技创新与生态环境耦合度的时空格局特征分析

由图 3 可知,珠三角地区科技创新与生态环境耦合度高的城市主要是经济发达的广州市、深圳市、佛山市和东莞市,中间层次有珠海市、中山市、惠州市和江门市,而耦合度较低的城市是肇庆市;整体上耦合度呈现出从珠江三角洲“广深佛莞”城市向两侧递减的空间格局,区域差异特征显著。2007—2018 年,珠三角地区科技创新与生态环境耦合度大体上稳步上升的趋势,耦合度增速最快的城市有东莞市和惠州市,分别增长 0.5 和 0.49;肇庆、江门、珠海和中山市也增速达到 0.3 及以上;而广州、佛山和深圳市耦合度本身较高,因此增长相对缓慢(表 4)。

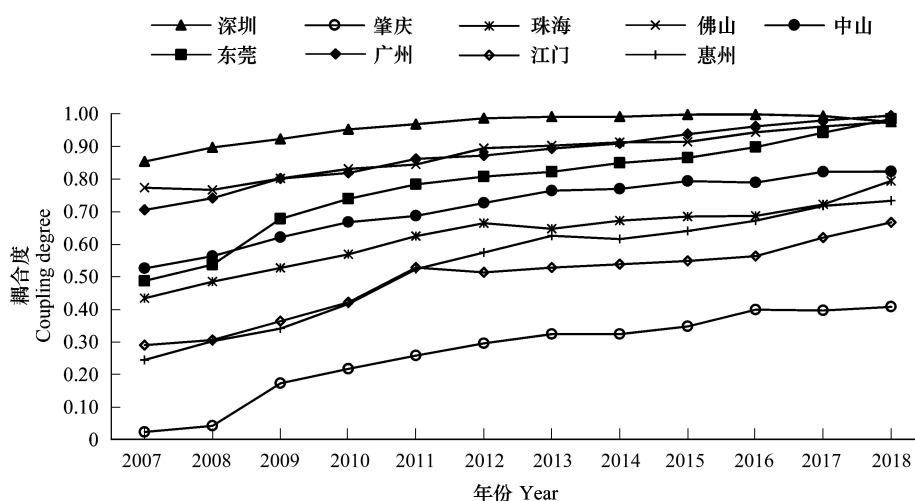


图 3 2007—2018 年珠三角各城市科技创新与生态环境耦合度变化图

Fig.3 The evolution of coupling degree between technology innovation and ecological environment of cities in the PRD, 2007—2018

另外,通过选取 2010 年、2015 年和 2018 年作为代表年份,绘制珠三角地区科技创新与生态环境耦合度类型时空分布图(图 4)。在时间维度上,各城市耦合度均处于“低耦合”时期到“协调耦合”时期,分布相对分散,其中最低值为肇庆市,在研究期内变化幅度较小,处于“低耦合”时期;而最高值为深圳市,在研究期内最早达到协调耦合时期。广州、佛山、东莞三市耦合度有所提升,实现由“良性耦合”时期向“协调耦合”时期的跨越;而珠海、中山两市的耦合度介于[0.57,0.82],研究期末由“较低耦合”时期提升到“良性耦合”时期;江门市的提升幅度相对较小,已转变为“较低耦合”时期;惠州市的提升幅度增长最大,转变为“良性耦合”时期。在空间维度上,协调耦合时期由深圳市“一枝独秀”逐步包括广州市、佛山市、东莞市等经济发达城市,形成一个“内部圈”;“中层圈”则包括中山市、珠海市和惠州市,处于良性耦合时期,并受到“内层圈”城市的影响发展较为迅速;而“外层圈”则是肇庆市和江门市,总体上珠三角各城市呈现出“内层圈向外层圈”梯度递减的空间格局。

这一变化主要由于科技创新与生态环境两者提升幅度不同、相互作用模式也有所不同,反映出珠三角各城市所处的城市化、工业化发展阶段不同,产业结构不同,利用土地、资源和生态环境的效率不同,并且各城市政府运用不同的环境规制措施。例如:深圳市与肇庆市在科技创新与生态环境耦合度方面形成鲜明对比,前者在研究期内加大科技创新力度,集聚创新人才,培育高新技术企业,再加上政府加强环境规制,推动科技创新的生态化方向发展;而后者自身生态禀赋较高,产业和科技发展比较缓慢,两者相互作用力较弱。

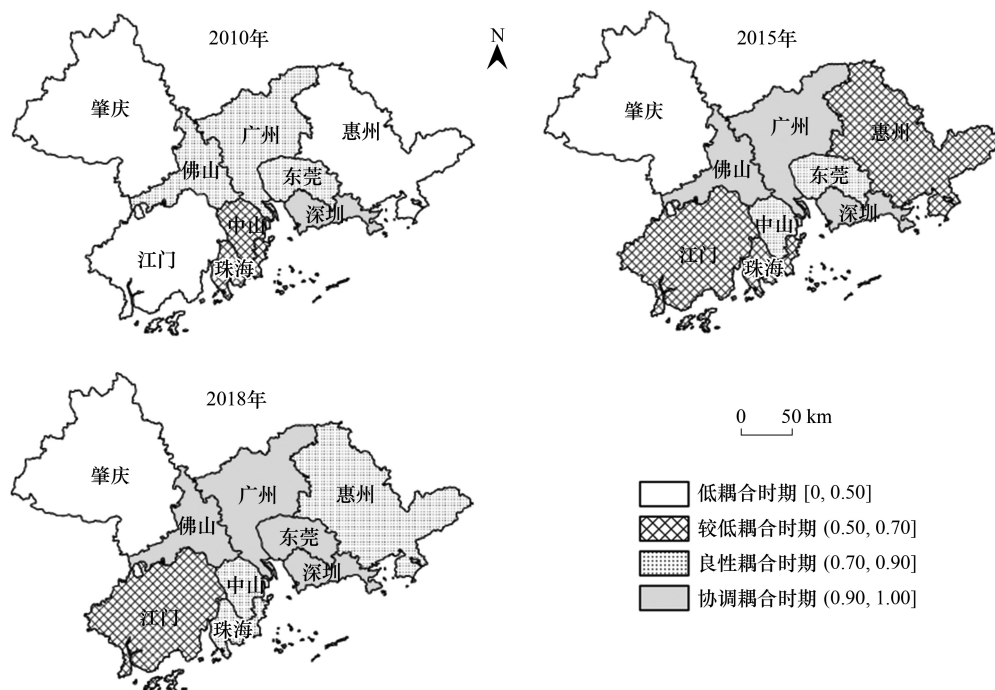


图 4 2010 年、2015 年、2018 年珠三角各城市科技创新与生态环境耦合度的空间格局

Fig.4 Spatial distribution of coupling degree of technological innovation and ecological environment of cities in the PRD, 2010, 2015, 2018

表 4 2007—2018 年珠三角地区科技创新与生态环境的两模型增速表

Table 4 The growth rate table of the two models of technological innovation and ecological environment of cities in the PRD, 2007—2018

	广州	深圳	佛山	东莞	珠海	惠州	肇庆	江门	中山
耦合度 Coupling degree	0.29	0.14	0.21	0.50	0.36	0.49	0.38	0.38	0.30
耦合协调度 Coupling coordination degree	0.32	0.31	0.27	0.39	0.24	0.30	0.32	0.22	0.18

3.3 珠三角地区科技创新与生态环境耦合协调度时空格局及类型分析

3.3.1 珠三角地区科技创新与生态环境耦合协调度时空格局特征分析

从 2007—2018 年珠三角各城市科技创新与生态环境耦合协调度变化的视角分析(图 5),各城市的耦合协调度呈现出不同程度的上升;并结合各城市的耦合协调发展增长速度(表 4),研究期内深圳、广州、东莞、惠州、肇庆五市的提升幅度较快,均达到 0.30 及以上;其余四个城市增速均在 0.30 以下,协调发展进程相对缓慢。另外,选取 2010 年、2015 年、2018 年作为代表年份进行时空格局演化分析(图 6)。在时间维度上,2010 年,珠三角各城市耦合协调度介于[0.29,0.70],大多处于“基本协调”或“基本失调”阶段,肇庆市则属于严重失调阶段。2015 年,肇庆市、江门市、珠海市和中山市耦合协调度介于[0.37,0.50],属于基本失调阶段;广州市、佛山市、东莞市和惠州市耦合协调度介于(0.50,0.65],属于基本协调阶段;而深圳市率先达到高级协调的门槛,耦合协调值为 0.80。2018 年,除了深圳市和肇庆市外,其余各城市耦合协调度介于[0.51,0.76],属于基本协调阶段;深圳市处于高级协调阶段,协调发展水平进一步提升;而肇庆市还处于基本失调阶段,耦合协调度水平发展相对缓慢。这一变化是由科技创新水平和生态环境水平的不断提升所形成的,反映出珠三角各市

通过产业转移,实现“腾笼换鸟”;加大自主创新投入,实现产业结构的优化升级;注重对生态环境的治理和修复,不断推动区域由高速发展向高质量发展转变。

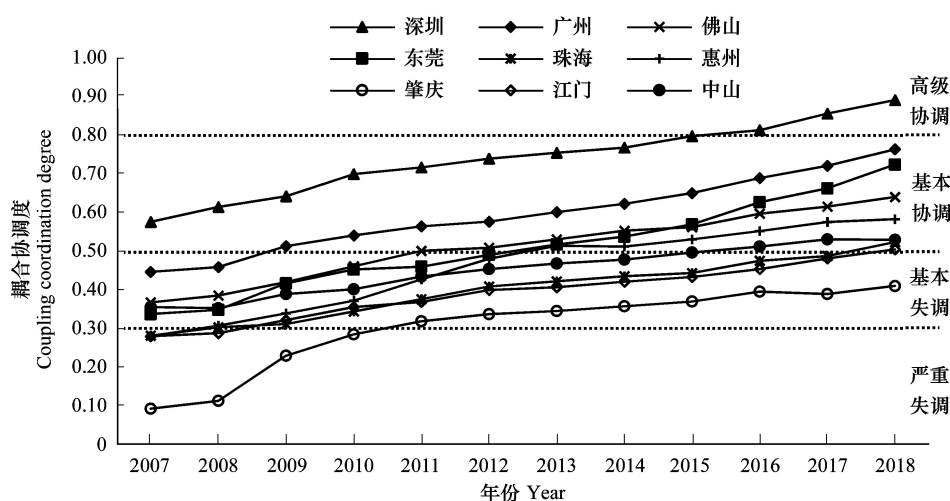


图5 2007—2018年珠三角各城市科技创新与生态环境耦合协调度的时间变化图

Fig.5 The time change chart of coupling coordination degree between scientific and technological innovation and ecological environment of cities in the PRD, 2007—2018

在空间维度上,与耦合度类型相比较,珠三角地区科技创新与生态环境的耦合协调度空间格局略微有所不同,在整体上呈现“一超多强”的内部,并向外两侧梯度递减的空间格局(图6)。到2018年,只有深圳市的耦合协调度属于高水平地区;而广州市、佛山市和东莞市属于“较高水平地区”;剩余五市则属于一般水平地区,但珠海市、中山市和惠州市协调水平明显高于肇庆市和江门市,因此呈现出“由内向外”的递减格局。

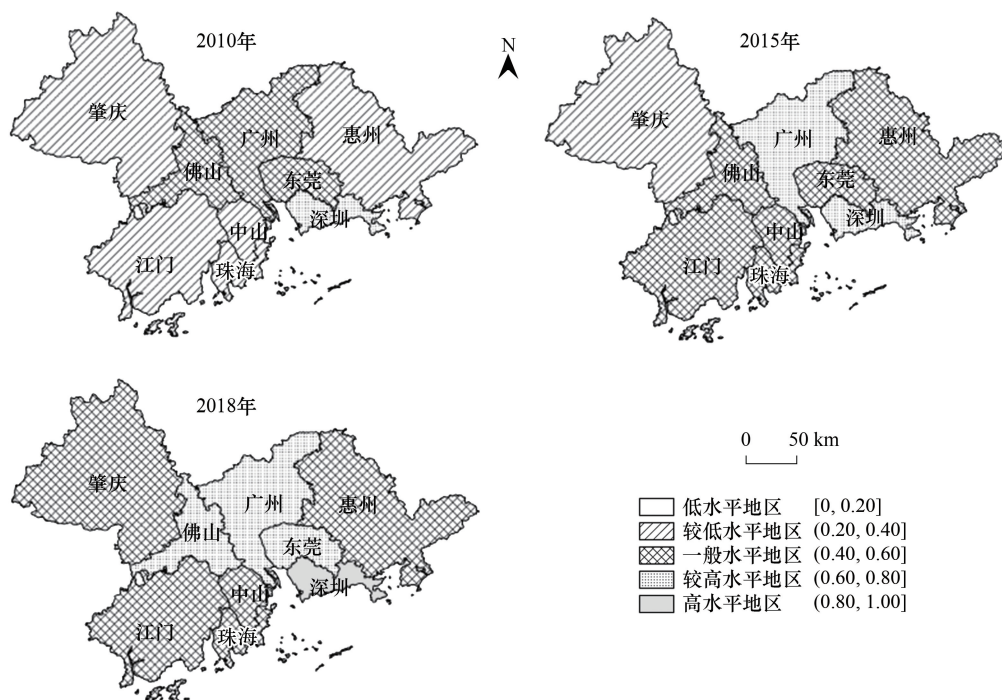


图6 2010年、2015年、2018年珠三角各城市科技创新与生态环境耦合协调度的空间格局

Fig.6 Spatial distribution of coupling coordinating degree of technological innovation and ecological environment of cities in the PRD, 2010、2015、2018

3.3.2 珠三角地区科技创新与生态环境耦合协调度类型划分

根据珠三角地区科技创新与生态环境耦合协调度类型划分图可知(图7),珠三角地区各城市的耦合协调度类型在研究期范围内实现了较大的正向跨越。深圳市作为珠三角经济建设的先行示范区,虽然在2015年已达到基本协调,实现从传统制造业向高新技术产业的转型升级,成为创新创业之都,向高级协调阶段迈进;但由于2017以来,深圳吸引大量人口的涌入,建设用地已经无法满足现有需求,生态环境压力增大。剩余八个城市的耦合协调类型都表现为科技创新滞后型,但各个城市之间的协调发展水平有所差别。广州市、佛山市作为珠三角中部都市圈的经济发达城市,在2010年左右达到基本协调—科技创新滞后型,两市较早采取产业转移政策、加快高新技术产业发展政策,以及水体、空气、垃圾等环境治理政策息息相关。如广州市于2008年提出“关于大力推进自主创新加快高新技术产业发展的决定”,之后又相继提出促进科技、金融与产业融合发展、高层次人才引进以及加强大气、水体和农业生态环境治理等政策,而佛山市于2011年提出推动先进制造业和高科技产业的发展规划。

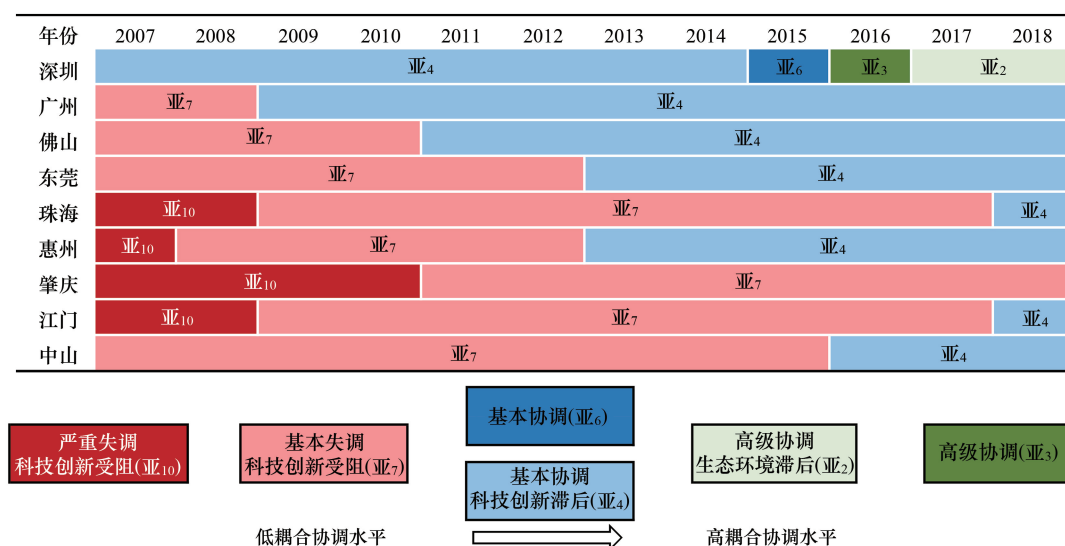


图7 2007年—2018年珠三角各城市科技创新与生态环境耦合协调度类型划分图

Fig.7 Classification of coupling coordination degree of technological innovation and ecological environment in the PRD, 2007—2018

在珠三角其他城市中,东莞市、惠州市作为东部都市圈耦合协调发展较快的城市,在2013年转变为基本协调—科技创新滞后型,一方面承接来自深圳和香港的产业转移、促进经济快速发展,虽然实现了快速的工业化,但科技创新潜力还需进一步提高;另一方面,两市重视生态环境的治理,解决突出环境问题,减污降碳,打造生态宜居的城市环境,曾多次被评为全国水生态文明城市、全国文明城市等称号。而珠三角西部都市圈的珠海、江门、中山三市在2015年后相继实现向基本协调—科技创新滞后型转变,由于三市距离创新源头较远,创新要素投入不足,导致科技创新与生态环境协调发展进程缓慢。肇庆市是耦合协调发展最为缓慢的城市,在2010年转变为基本失调—科技创新受阻,不仅受到广佛等城市的虹吸较为严重,无法较好的承接产业转移和发展优势产业,而且提供创新的资源要素相对较少,产业转型升级缓慢,无法较快实现与生态环境的协调发展。综上所述,珠三角各城市的科技创新与生态环境耦合协调度类型呈现出“东部高、中部平、西部低”的空间发展格局,两者耦合协调的发展过程相对漫长,未来需要各城市相互协作、优势互补,提高创新要素的流通,构建生态环境联合治理机制,共同推动区域实现高质量发展。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究通过构建科技创新与生态环境综合评价指标体系,使用熵值法和物理学耦合协调度模型对珠三角各城市的科技创新和生态环境综合指数分别进行分析,并对各城市的耦合度及耦合协调度进行时空分异特征分析。主要结论如下:

(1)2007—2018年,珠三角各市的科技创新综合水平整体不断提升,而生态环境综合水平呈现波动上升态势。各市科技创新与生态环境在耦合度上存在明显的“正向”关系,其中深、广、佛、莞四市处于“协调耦合”时期,其原因是经济社会发达、高科技产业集聚,形成良好的自主创新能力,与生态环境实现协调发展;处于“良性耦合”时期的有珠海、中山、惠州三市,产业结构正在转型,加大科技研发投入力度,政府采取生态环境规制措施,实现两者的良性互动;而耦合度较低的城市是江门市、肇庆市,分别处于“较低耦合”时期和“低耦合”时期;并呈现出从珠江三角洲入海口“广深佛莞”四市向两侧递减的区域空间格局。

(2)珠三角城市科技创新与生态环境耦合协调特征的时空格局差异明显。研究期末只有深圳市达到“高级协调”阶段;广、佛、莞、珠、惠、中、江七市均实现由“基本失调”阶段转变为“基本协调”阶段;而肇庆市则处于“基本失调”阶段。在空间维度上则呈现出“东部高、中部平、西部低”的格局,区域内部科技创新与生态环境发展不平衡不协调的问题仍然存在。

(3)根据珠三角各城市的耦合度类型、协调度类型的划分,以深圳市为主的珠三角经济发达城市,保持R&D经费投入,吸引创新人才、技术的集聚,实现科技创新综合指数的稳步增长;并且重视城市存量用地的减少,人口激增,空气、水体和土壤等生态环境问题,减少对城市高质量发展的影响,加强政府的规制措施,推动企业的生态化转型,促进城市科技创新与生态环境的协调发展;而肇庆等生态环境综合指数较高的城市,应弥补在科技创新上的不足,培育高新技术企业、引进高质量产业项目,在保证不损害环境利益的情况下推动科技创新稳步发展,摆脱科技创新受阻的困境。着眼未来,珠三角各城市应加强在产业发展、科技创新的协作,实现生态环境的跨区域协同治理,着力补齐短板,实现珠三角地区朝着高质量方向发展,为建设国际科技创新中心、“宜居宜业宜游”的优质生活圈打下良好基础。

4.2 讨论

随着中国人口红利的消失,劳动力成本逐渐攀升,再加上人民对生态环境质量的要求越来越高,以往的粗放式发展方式亟需转变为以科技创新驱动、生态环境优化为主的高质量发展阶段。不同区域以及同一区域内部不同城市科技创新与生态环境的作用机理不同,本研究以珠三角地区为例,定量分析各城市两者的耦合协调发展特征,发现不同经济类型的城市具有不同的耦合协调类型、作用机理和时空格局差异。经济发达城市通过人才引进、产业集聚、R&D经费投入和政策激励等举措助推科技创新升级,促使企业生态化转型;加之政府采取环境规制,居民对良好生态环境的需求日益增长,倒逼企业主动承担社会责任,发挥其应有的社会价值,不断实现科技创新与生态环境的协调发展,如深圳、广州等发达城市。而其他城市在科技创新水平方面相对薄弱,创新投入不足,对生态环境优化的推动力较小;相反根据其在区域中的定位和良好生态环境水平提高了产业的“准入门槛”,限制了大规模城市扩张、很难较短时间内与科技创新的协调发展,如肇庆、江门等城市。着眼未来,珠三角地区发挥广、深核心创新区的辐射力与影响力,打造“研发—转化—生产”循环可持续的区域生态经济产业链,推动创新成果更加生态化、低碳化和绿色化,真正实现科技创新与生态环境的耦合协调;兼顾与其他区域的均衡发展,采取跨区域联合互助的发展模式,加强人、财、物之间的交流沟通,实现“创新、协调、绿色、开放、共享”的高质量发展空间格局。

同时,科技创新与产业结构存在着密不可分的关系,良好的产业结构能够推动自主创新能力的提高,也对生态环境的治理和修复有着深远影响。但由于各城市统计单位上的差异,选取指标的不同可能会对研究结果产生差异,导致本研究存在一定的局限性。未来研究可延长数据年限,构建更为全面、综合的高质量发展指标

体系,也可借助遥感技术、大数据等新方法获取创新、产业和生态环境的实时数据,借助灰色关联度、ARIMA-BP 组合预测模型等对科技创新与生态环境的耦合协调度进行未来预测。此外,运用地理探测器、空间计量模型等方法对区域生态经济进行更深层次的探索研究,为区域高质量发展提供理论基础和优化路径。

参考文献 (References):

- [1] 方创琳. 中国新型城镇化高质量发展的规律性与重点方向. 地理研究, 2019, 38(1): 13-22.
- [2] 任保平, 文丰安. 新时代中国高质量发展的判断标准、决定因素与实现途径. 改革, 2018, (4): 5-16.
- [3] 张来武. 科技创新驱动经济发展方式转变. 中国软科学, 2011, (12): 1-5.
- [4] 李二玲, 崔之珍. 中国区域创新能力与经济发展水平的耦合协调分析. 地理科学, 2018, 38(9): 1412-1421.
- [5] Liu J G, Hull V, Batistella M, DeFries R, Dietz T, Fu F, Hertel T W, Izaurralde R C, Lambin E F, Li S X, Martinelli L A, McConnell W J, Moran E F, Naylor R, Ouyang Z Y, Polenske K R, Reenberg A, Rocha G D, Simmons C S, Verburg P H, Vitousek P M, Zhang F S, Zhu C Q. Framing Sustainability in a Telecoupled World. Ecology and Society, 2013, 18(2): 26.
- [6] 刘海猛, 方创琳, 李咏红. 城镇化与生态环境“耦合魔方”的基本概念及框架. 地理学报, 2019, 74(8): 1489-1507.
- [7] Li Y F, Li Y, Zhou Y, Shi Y L, Zhu X D. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment. Journal of Environmental Management, 2012, 98: 127-133.
- [8] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. 地理研究, 2003, 22(2): 211-220.
- [9] 冯锐, 高菠阳, 陈钰淳, 张婷婷. 粤港澳大湾区科技金融耦合度及其影响因素研究. 地理研究, 2020, 39(9): 1972-1986.
- [10] Tang Z. An integrated approach to evaluating the coupling coordination between tourism and the environment. Tourism Management, 2015, 46: 11-19.
- [11] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化. 地理研究, 2018, 37(6): 1100-1114.
- [12] 冯霞, 刘新平. 江苏省城镇化与生态环境系统耦合协调发展的路径选择. 干旱区地理, 2016, 39(2): 420-427.
- [13] Wang S J, Ma H T, Zhao Y B. Exploring the relationship between urbanization and the eco-environment: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. Ecological Indicators, 2014, 45: 171-183.
- [14] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析——兼论三系统耦合公式及其扩展形式. 自然资源学报, 2017, 32(5): 788-799.
- [15] 王少剑, 方创琳, 王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度. 生态学报, 2015, 35(7): 2244-2254.
- [16] Geng Y Q, Wei Z J, Zhang H, Maimaituerxun M. Analysis and Prediction of the Coupling Coordination Relationship between Tourism and Air Environment: Yangtze River Economic Zone in China as Example. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2020, 2020: 1406978.
- [17] 舒小林, 高应蓓, 张元霞, 杨春宇. 旅游产业与生态文明城市耦合关系及协调发展研究. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3): 82-90.
- [18] 周成, 冯学钢, 唐睿. 区域经济—生态环境—旅游产业耦合协调发展分析与预测——以长江经济带沿线各省市为例. 经济地理, 2016, 36(3): 186-193.
- [19] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼. 中国环渤海地区人口—土地—产业非农化转型协同演化特征. 地理研究, 2015, 34(3): 475-486.
- [20] 孙平军, 丁四保, 修春亮. 北京市人口-经济-空间城市化耦合协调性分析. 城市规划, 2012, 36(5): 38-45.
- [21] 张明斗, 莫冬燕. 城市土地利用效益与城市化的耦合协调性分析——以东北三省 34 个地级市为例. 资源科学, 2014, 36(1): 8-16.
- [22] 王宏起, 徐玉莲. 科技创新与科技金融协同度模型及其应用研究. 中国软科学, 2012, (6): 129-138.
- [23] 韩永楠, 葛鹏飞, 周伯乐. 中国市域技术创新与绿色发展耦合协调演变分异. 经济地理, 2021, 41(6): 12-19.
- [24] 华坚, 胡金昕. 中国区域科技创新与经济高质量发展耦合关系评价. 科技进步与对策, 2019, 36(8): 19-27.
- [25] Horbach J, Rammer C, Rennings K. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact — The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. Ecological Economics, 2012, 78: 112-122.
- [26] 彭雪蓉, 刘洋. 我国创新评价研究综述: 回顾与展望. 科研管理, 2016, 37(S1): 247-256.
- [27] Triguero A, Moreno-Mondéjar L, Davia M A. Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. Ecological Economics, 2013, 92: 25-33.
- [28] Zhang Y J, Peng Y L, Ma C Q, Shen B. Can environmental innovation facilitate carbon emissions reduction? Evidence from China. Energy Policy, 2019, 125: 115-125.

- 2017, 100: 18-28.
- [29] Hille E, Althammer W, Diederich H. Environmental regulation and innovation in renewable energy technologies: Does the policy instrument matter? *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 153: 119921.
- [30] 李斌, 曹万林. 环境规制对我国循环经济绩效的影响研究——基于生态创新的视角. *中国软科学*, 2017, (6): 140-154.
- [31] 向丽. 中国省域科技创新与生态环境协调发展的时空特征. *技术经济*, 2016, 35(11): 28-35.
- [32] 郭爱君, 杨春林, 钟方雷. 我国区域科技创新与生态环境优化耦合协调的时空格局及驱动因素分析. *科技管理研究*, 2020, 40(24): 91-102.
- [33] 周雪娇, 杨琳. 基于创新驱动的区域经济与生态环境协调发展的研究. *经济问题探索*, 2018, (7): 174-183.
- [34] Fussler C, James P. *Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*. London: Pitman, 1996.
- [35] 李虹, 张希源. 区域生态创新协同度及其影响因素研究. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(6): 43-51.
- [36] 董颖, 石磊. 生态创新的内涵、分类体系与研究进展. *生态学报*, 2010, 30(9): 2465-2474.
- [37] OECD. *Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation: Framework, Practice and Measurement-Synthesis Report*. Paris: OECD, 2009.
- [38] 严翔, 成长春. 长江经济带科技创新效率与生态环境非均衡发展研究——基于双门槛面板模型. *软科学*, 2018, 32(2): 11-15.
- [39] 肖雁飞, 廖双红. 绿色创新还是污染转移: 环境规制效应文献综述与协同减排理论展望. *世界地理研究*, 2017, 26(4): 126-133.
- [40] 程钰, 任建兰, 陈延斌, 徐成龙. 中国环境规制效率空间格局动态演变及其驱动机制. *地理研究*, 2016, 35(1): 123-136.
- [41] 新华社. 中共中央 国务院印发《粤港澳大湾区发展规划纲要》. [2019-02-18]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5370836.htm.
- [42] 叶玉瑶, 王景诗, 吴康敏, 杜志威, 王洋, 何淑仪, 刘郑倩. 粤港澳大湾区建设国际科技创新中心的战略思考. *热带地理*, 2020, 40(1): 27-39.
- [43] 康蕾, 马丽, 刘毅. 珠江三角洲地区未来海平面上升及风暴潮增水的耕地损失预测. *地理学报*, 2015, 70(9): 1375-1389.
- [44] 王少剑, 崔子恬, 林靖杰, 谢金燕, 苏坤. 珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究. *地理学报*, 2021, 76(4): 973-991.
- [45] 冯兴华, 钟业喜, 李峥荣, 傅钰. 长江经济带城市体系空间格局演变. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(11): 1721-1733.