

宾津佑,唐小兵,白福臣,等.广东省区域开发强度与资源环境承载力耦合分析[J].环境科学与技术,2021,44(10):223-231. Bin Jinyou, Tang Xiaobing, Bai Fuchen, et al. Coupling analysis between regional development intensity and resources environment carrying capacity in Guangdong Province[J]. Environmental Science & Technology, 2021, 44(10): 223-231.

# 广东省区域开发强度与资源环境承载力耦合分析

宾津佑<sup>1,2</sup>, 唐小兵<sup>3\*</sup>, 白福臣<sup>1</sup>, 吴宝茵<sup>1</sup>

- (1. 广东海洋大学管理学院, 广东 湛江 524088;
2. 广东沿海经济带发展研究院, 广东 湛江 524088;
3. 湖南省社会科学院, 湖南 长沙 410003)

**摘要:**解决区域开发强度与资源环境承载力发展不协调、不平衡的矛盾,已成为统筹推进区域协调发展战略的重要内容。该文以广东省为研究对象,引入综合指数测度模型、耦合协调度模型探究区域开发强度与资源环境承载力时空耦合特征及其演化规律,并借助地理探测器模型对其耦合协调时空演变的影响因素进行分析。结果表明:(1)2008-2018年广东省区域开发强度在不断增强,总体呈空间非均衡性分布,区域开发强度最高的依次为深圳、东莞、珠海三市;(2)2008-2018年广东省资源环境承载力状况整体不容乐观,且有所下降,空间分异明显,其中广州、深圳的资源环境承载力水平最高;(3)区域开发强度与资源环境承载力的耦合协调发展关系呈总体向好发展态势,处于拮抗耦合类型,失调阶段类型占比较大,深圳、东莞耦合协调度最高,河源最低;(4)区域开发强度与资源环境承载力的交互影响效应显著,经济、产业因素对二者耦合协调交互影响作用程度有所弱化,而区域投资效率、资源利用效率的作用强度在不断增强。

**关键词:**区域开发强度; 资源环境承载力; 时空耦合特征; 地理探测器; 广东省

中图分类号:X321;F301.24 文献标志码:A doi:10.19672/j.cnki.1003-6504.0798.21.338 文章编号:1003-6504(2021)10-0223-09

## Coupling Analysis Between Regional Development Intensity and Resources Environment Carrying Capacity in Guangdong Province

BIN Jinyou<sup>1,2</sup>, TANG Xiaobing<sup>3\*</sup>, BAI Fuchen<sup>1</sup>, WU Baoyin<sup>1</sup>

- (1. College of Management, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;
2. Guangdong Coastal Economic Belt Development Research Institute, Zhanjiang 524088, China;
3. Hunan Academy of Social Sciences, Changsha 410003, China)

**Abstract:** The contradiction of uncoordinated and unbalanced development between regional development intensity and resource environment carrying capacity, is becoming an important issue that need to be solved urgently in the strategy of regional coordinated development strategy. Taking Guangdong Province as the research object, comprehensive index measurement model and the coupling coordination degree model were introduced to explore the spatio-temporal coupling characteristics and evolution law of regional development intensity and resource environment carrying capacity, and the influencing factors of coupling coordination spatiotemporal evolution were analyzed with the help of geographical detector. The results showed that regional development intensity of Guangdong Province was increased in 2008-2018, and the overall spatial distribution of regional development intensity was non-equilibrium. The regional development intensity in Shenzhen, Dongguan, Zhuhai was the highest. The resource environment carrying capacity in Guangdong Province developed in declined from 2008 to 2018, with obvious spatial difference. The resource environment carrying capacity in Guangzhou, Shenzhen was the highest. The coupling and coordinated development between regional development intensity and resource environment carrying capacity showed a steady upward trend. The coupling degree between regional development intensity and resource environment carrying capacity was in the stage of antagonistic coupling. The coordination degree showed disorder type. The coupling coordination in Shenzhen, Dongguan was the highest, and the coupling coordination in Heyuan was the lowest. There was significant interaction effect between regional development intensity and resource environment

《环境科学与技术》编辑部:(网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@vip.126.com

收稿日期:2021-04-20;修回2021-08-26

基金项目:广东省哲学社会科学规划项目(GD19YYJ03);广东海洋大学人文社科项目(C19088);广东沿海经济带发展研究院2020年专项课题(YJY202002);广东省教育厅创新强校工程重大项目(2017WZDXM013);广东海洋大学教育教学改革项目(570219035)

作者简介:宾津佑(1992-),女,硕士,主要研究方向为区域经济与区域发展、人文地理与区域规划,(电子信箱)yours\_bin@163.com;\*通讯作者,(电子信箱)xiaobing9129@163.com。

carrying capacity. The influence of economic and industrial factors on the coordinated development level of regional development intensity and resource environment carrying capacity was weakened, while the intensity of regional investment efficiency and resource utilization efficiency was increased.

**Key words:** regional development intensity; resource environment carrying capacity; spatio-temporal coupling characteristics; geographic detector; Guangdong Province

区域开发强度指一定地域空间内区域空间开发利用程度,是表征区域土地开发与空间扩展的直接测度指标,常采用建设空间占区域土地总面积的比重来测度<sup>[1-3]</sup>。资源环境承载力是指在自然资源禀赋和生态环境本底可承受并且实现良性循环发展的前提下一定地域空间所能够承载的开发规模<sup>[4-6]</sup>。一方面,资源环境承载力评价是区域开发建设的基础与重要依据,其承载力高低将直接影响区域国土空间开发利用强度、规模和方向,另一方面,区域开发建设是推动资源环境发展演化的重要动力,反之又受到资源环境承载力的束缚,二者相互作用、相互制约。近年来区域开发强度与资源环境承载力发展不匹配问题日益凸显,学者们对此愈发关注,但多基于单一角度探讨研究区域开发强度<sup>[7-9]</sup>或资源环境承载力<sup>[10-13]</sup>,部分学者开始基于国家<sup>[14]</sup>、省域<sup>[6,15,16]</sup>、沿海地区<sup>[17]</sup>、城市群地区<sup>[5,18,19]</sup>、市域<sup>[20]</sup>、开发区<sup>[21]</sup>等不同空间尺度层面对二者间的耦合协调关系进行了有益探索,刘艳军等<sup>[11]</sup>对1995-2009年间长时间序列下中国开发强度与资源环境的协调与响应机制进行了探究;薛曜祖等<sup>[15]</sup>分析了2006-2015年间中部六省区域开发强度和资源环境的协调耦合关系;沈春竹等<sup>[6]</sup>基于资源环境承载力与国土开发建设适宜性探讨了江苏省各地市目标年可承载的国土开发强度,并识别了影响江苏省13个地级市国土空间开发建设用地扩张的限定性因素;孔雪松等<sup>[16]</sup>在县域研究尺度对江苏省国土空间开发强度与资源环境承载的耦合特征探究的基础上提出了优化国土空间规划策略;吴大放等<sup>[19]</sup>对珠三角核心九市城市国土开发强度与资源环境承载力可持续发展水平进行定量测度,并针对不同发展状态类型提出应对方案;卫思夷等<sup>[21]</sup>指出城市国土开发强度和资源环境承载力间不存在必然的对立或制约关系。此外,耦合协调度模型、GIS\_ESDA 数据分析方法、多元回归分析、地理加权回归等方法的引入为多系统时空耦合特征分析提供了有利的定量分析工具,但现有研究多停留在时空分异的可视化解读,对时空耦合协调的驱动机制及其影响因素解读较少涉及,难以解释区域开发强度和资源环境承载力二者间的互动耦合演变关系。

改革开放以来,广东省作为我国城镇化进程发

展最为迅速和经济发展最为活跃的重点省份之一,伴随而来的土地供需矛盾、无序扩张蔓延、土地功能退化、资源环境破坏、生态环境恶化等负面问题也日趋严峻。2008年广东省城市建设用地面积为3 943.09 km<sup>2</sup>,2018年扩张至5 209.88 km<sup>2</sup>,10年间扩张了1 266.79 km<sup>2</sup>,年均增速为3.2%。与此同时,区域间发展不协调、不平衡问题仍是困扰广东省实现高质量发展根本症结之所在。在经济社会发展转型升级、生态文明体制建设加快、新型城镇化加速推进以及供给侧改革的多重背景下,如何解决区域开发强度与资源环境承载力发展不协调、不平衡的矛盾,已成为推进该区域实现高质量协调发展的重要议题。基于此,探究广东省区域开发强度与资源环境承载力耦合协调发展具有典型性和必要性。本文运用熵值法、极差标准化处理法、综合指数测度模型、耦合协调度分析、地理探测器模型等综合集成方法,从时间、空间维度对广东省及所辖21个地市区域开发强度与资源环境承载力的时空耦合特征及影响进行探析,以期推进区域协调高质量发展并制定差异化发展策略提供理论借鉴和决策参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

广东省(20°09'~25°31'N,109°45'~117°20'E),为我国大陆最南端沿海省份,毗邻港澳,北、东、西方向分别与湘、闽、桂三省接壤,南隔琼州海峡与海南相望,在地理区划上可划分为珠三角、西翼、东翼和粤北山区四大区域,广东省作为中国经济版图中最活跃和最具发展潜力的板块之一,已跃升为全国第一经济大省,2018年GDP总量达9.73亿元,但区域发展不平衡不协调问题依然突出。截至2018年末,下辖21个地级市,陆地面积为17.98万km<sup>2</sup>,占全国陆地面积约1.87%,城市建成区面积为6 036.26 km<sup>2</sup>,广东省户籍人口已达9 502.12万人,常住人口城镇化率为70.7%。因此,探究广东省区域开发强度与资源环境承载力互动耦合发展对于优化调整国土空间规划布局、破解资源环境瓶颈约束具有重要现实意义。

### 1.2 数据来源

本文选取地级市作为空间研究单元尺度,以2008

年、2018年作为典型研究年份,探析近10年广东省区域开发强度和资源环境承载力互动耦合演变过程及其影响因素。数据主要来源于相应年份的《中国城市建设统计年鉴》《中国城乡建设统计年鉴》《广东省生态环境状况公报》《广东省水资源公报》《广东农村统计年鉴》《广东统计年鉴》和各地级市统计年鉴以及统计公报数据。对于个别缺漏的数据,采用广东省各地级市相邻年份统计年鉴数据进行插补。

2 指标构建与测度模型

自然资源禀赋既是支撑区域开发强度的基础,也是人民幸福生活和产业兴旺发展的刚性要求。区域开发强度适宜,可以有效提升资源利用效率和环境承载容量,改善人民生活品质,促进区域经济发展。遵循指标选取的科学性、全面性、可操作性和代表性原则,综合借鉴现有研究成果<sup>[14-21]</sup>,在区域开发强度评价测度指标选取上,根据《全国主体功能区规划》的界定,将某一地域空间内建设空间占该区域土地总面积比重作为国土空间开发强度评价依据,即采用城市建设用地面积占区域土地总面积比重来表征区域开发强度;在资源环境承载力指标构建上,根据区域发展实际,从自然资源、社会经济以及生态环境3个维度构建广东省资源环境承载力测度评价指标体系(表1)。为消除评价指标不同量纲及属性差异的影响,本文按照正负属性指标使用极差非零化处理、熵值法对基础数据进行标准化预处理及权重计算。

表1 广东省区域资源环境承载力测度评价指标体系  
Table 1 Index evaluation system of resources environment carrying capacity of Guangdong Province

目标层	系统层	指标代码	指标层	指标属性
自然资源 承载力		x <sub>1</sub>	人均水资源量/m <sup>3</sup>	+
		x <sub>2</sub>	人均综合用水量/m <sup>3</sup>	-
		x <sub>3</sub>	人均耕地面积/hm <sup>2</sup>	+
		x <sub>4</sub>	人均电力消费量/(kW·h)	-
		x <sub>5</sub>	人均公园绿地面积/m <sup>2</sup>	+
		x <sub>6</sub>	人均土地面积/km <sup>2</sup>	+
资源 环境 承载力	社会经济 承载力	x <sub>7</sub>	人均GDP/万元	+
		x <sub>8</sub>	单位GDP能耗/(tce·万元 <sup>-1</sup> )	-
		x <sub>9</sub>	人均道路面积/km <sup>2</sup>	+
		x <sub>10</sub>	市政公共设施投资/万元	+
		x <sub>11</sub>	人均可支配收入/元	+
		x <sub>12</sub>	人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	-
		x <sub>13</sub>	地均固定资产投资/(万元·km <sup>-2</sup> )	+
生态环境 承载力		x <sub>14</sub>	工业废水排放量/t	-
		x <sub>15</sub>	工业废气排放量/m <sup>3</sup>	-
		x <sub>16</sub>	工业固体废弃物产生量/t	-
		x <sub>17</sub>	污水集中处理率/%	+
		x <sub>18</sub>	生活垃圾无害化处理率/%	+
		x <sub>19</sub>	建成区绿化覆盖率/%	+
		x <sub>20</sub>	空气质量达标率/%	+

2.1 综合指数测度模型

在数据极差非零标准化处理和熵权法权重计算的基础之上,对区域资源环境承载力综合指数值进行测算,计算公式为:

$$Z_{ij} = \sum_{i=1}^n w_{ij} x'_{ij} \tag{1}$$

式(1)中,Z<sub>ij</sub>为区域资源环境承载力综合指数值;w<sub>ij</sub>表示为子系统j中指标i的权重值;x'\_{ij}表示子系统j中指标i的标准化值;n为指标数量。

2.2 耦合协调度模型

耦合模型可以测度不同子系统层间的有机耦合程度,而协调度模型则可以反映各子系统间的整体“功效”与“协同”水平。两个模型的结合运用不仅可以研究子系统层和各要素间的交互耦合和影响强度,还可以反映不同目标层间相互作用、和谐一致的程度。耦合协调度模型的计算公式为:

$$C = 2 \times \sqrt{\frac{Q_{ik} \times Z_{ij}}{(Q_{ik} + Z_{ij})^2}} \tag{2}$$

$$T = \alpha Q_{ik} + \beta Z_{ij} \tag{3}$$

$$D = \sqrt{C \times T} \tag{4}$$

式中,C表示研究区域两目标层间的耦合度,其值介于0~1之间,C值越大,则表明两者间的耦合交互效应越明显,反之,C值越小,耦合交互效应则越弱;Q<sub>ik</sub>为区域开发强度综合指数;T表示综合协调指数,即贡献度;考虑两者同等重要,取α=β=0.5<sup>[15,16]</sup>;D表示研究区两目标层间的协调度,D值越大,协调度水平越高,反之,D值越小,协调度水平越低。参照已有研究划分标准<sup>[15,16]</sup>,定义耦合度、协调度等级划分标准(表2、表3)。

表2 耦合度等级划分标准  
Table 2 Coupling degree classification criteria

耦合协调度(C)	等级类型	耦合协调度(C)	等级类型
(0.00,0.30]	低水平耦合	(0.50,0.80]	磨合耦合
(0.30,0.50]	拮抗耦合	(0.80,0.10]	高水平耦合

表3 耦合协调度等级划分标准  
Table 3 Coupling coordination degree classification criteria

耦合协调度(D)	等级类型	耦合协调度(D)	等级类型
(0.00,0.10]	极度失调	(0.50,0.60]	勉强协调
(0.10,0.20]	严重失调	(0.60,0.70]	初级协调
(0.20,0.30]	中度失调	(0.70,0.80]	中级协调
(0.30,0.40]	轻度失调	(0.80,0.90]	良好协调
(0.40,0.50]	濒临失调	(0.90,0.10]	优质协调

2.3 地理探测器模型

地理探测器模型<sup>[22]</sup>是通过探测地理事物空间分布的异质性以揭示要素间的作用机理及驱动机制。本研究采用交互探测器和因子探测器对时空耦合演变的影响因子进行测度。交互探测器主要用于判别不同影响因子间是否具有交互作用,并分析交互效应对因变量的影响强弱,交互作用大小主要依据下

述表达式进行判别:若  $P(x_1 \cap x_2) < \text{Min}(P(x_1), P(x_2))$ , 交互类型为非线性减弱;若  $\text{Min}(P(x_1), P(x_2)) < P(x_1 \cap x_2) < \text{Max}(P(x_1), P(x_2))$ , 交互类型为单因素非线性减弱;若  $P(x_1 \cap x_2) > \text{Max}(P(x_1), P(x_2))$ , 交互类型为双因子增强;若  $P(x_1 \cap x_2) = P(x_1) + P(x_2)$ , 交互类型为相互独立;若  $P(x_1 \cap x_2) > P(x_1) + P(x_2)$ , 交互类型为非线性增强。因子探测器主要通过  $P_{D,G}$  值来衡量各影响因素交互作用强度大小,即探测被解释变量(Y)的空间异质性及解释变量(X)对属性因子(Y)的解释程度,其计算公式为:

$$P_{D,G} = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (5)$$

式(5)中,  $P_{D,G}$  为探测因子  $q$ -statistics 的作用强度值;  $h=1, \dots, L$  为被解释变量(Y)或解释变量(X)的分类或分区;  $N_h$  为  $h$  类别数量或分区数量;  $N$  为研究区域样本数量;  $\sigma_h^2$  和  $\sigma^2$  分别为类别  $h$  和研究区域内被解释变量(Y)的方差。  $P_{D,G} \in [0, 1]$ ,  $P_{D,G}$  值越大,表明解释变量(X)对被解释变量(Y)的解释作用越强,反之则越弱。

### 3 时空耦合特征分析

#### 3.1 区域开发强度时空特征分析

综合考虑区域开发强度指数测度结果、广东省各地市区域开发强度发展实际以及时空特征的可比性,按照统一间隔标准将2008年、2018年的区域开发强

度划分成4个等级,借助 ArcGIS 10.2 软件绘制广东省区域开发强度空间分布图(图1)。时序变化上,广东省区域开发强度呈不断增强态势,全省平均区域开发强度由2008年的6.3%增长至2018年的7.40%。空间格局上,广东省区域开发强度总体呈空间非均衡性分布,“核心-边缘”空间分异特征明显。其中,受国家政策策略的不断调整和城市群一体化战略的推进实施,城市间经济、社会联系不断增强,以核心城市为中心的都市圈地区“以点带面”的极核辐射带动效应逐渐凸显,高值分布区由珠三角地区的主要经济中心及门户城市逐渐扩展至珠三角三大都市圈(即深莞惠都市圈、广佛都市圈、珠江中都市圈)以及粤东的潮汕揭都市圈。区域层面上,广东省四大区域开发强度均值由大到小依次为珠三角>东翼>西翼>粤北山区,其中,最低值的粤北山区平均开发强度与最高值的珠三角平均地区开发强度相差40倍。市域层面上,区域开发强度最大的区域为深圳市,由2008年的0.399 0增加值至2018年的0.470 3,其次为东莞市。国际上某一区域国土开发强度的警戒线或临界值界定为30%,其中,深圳、东莞已远超过国际警戒线,达到45%以上,且区域开发强度仍在持续增强,未来区域开发利用应致力于控制增量、确保存量,挖掘潜力、提升效能,优化结构、调控强度,从而推动区域实现有序、高效、绿色、可持续开发利用。

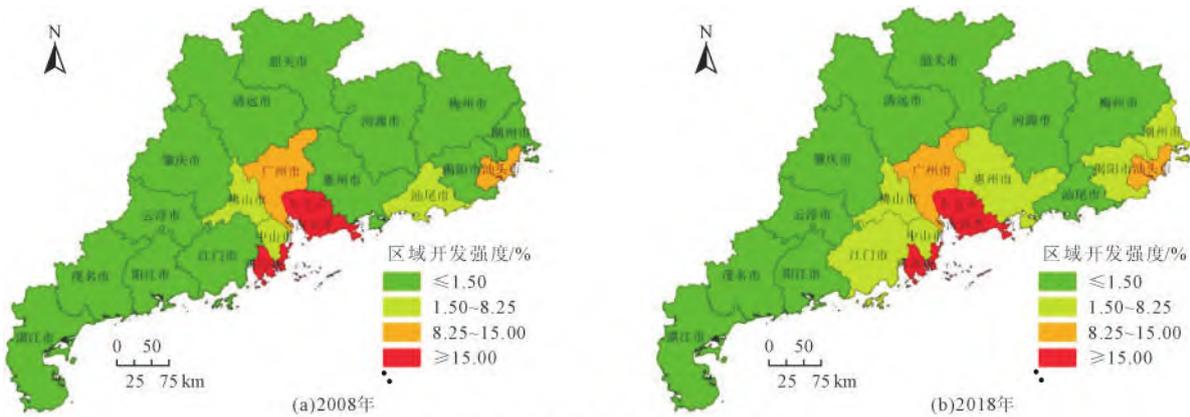


图1 广东省区域开发强度空间分布  
Fig.1 Spatial distribution of regional development intensity in Guangdong Province

究其原因,珠三角地区区位优势得天独厚,地处平原地区,交通便利,靠近沿海及粤港澳地区,受外向型经济驱动影响,产业升级转型加速推进,使得人口、产业在珠三角地区集聚,城市地区快速扩张,截至2018年,全省城镇化率提高到70.7%。而西翼、粤北山区等地受自然资源禀赋及生态环境本底条件的制约,区位条件差,城市化进程发展缓慢,受政策导向的影响长期以资源和农业等传统产业发展为主,工业基础

薄弱,加之地方政府财政支撑能力有限,区域产业结构严重失衡,难以形成规模经济推动城市开发,成为区域开发强度的低值区。

#### 3.2 资源环境承载力时空特征分析

根据式(1)计算广东省各地级市资源环境承载力综合指数值,运用等间隔法将其划分为4个等级,并借助 ArcGIS 10.2 软件绘制广东省资源环境承载力空间分布图(图2)。时序变化上,广东省资源环境承载力

状况整体不容乐观,且有所下降。研究期内广东省各地市资源环境承载力综合指数值均介于 0.22~0.56 之间,全省均值由 2008 年的 0.348 1 下降至 2018 年的 0.346 7。空间分布上,研究期内广州、深圳的资源环境承载力均一直处于第一梯队,其次为珠海市;低值区主要分布在西翼、东翼的部分地市。从区域层面看,2008 年四大区域资源环境承载力均值排序依次为珠三角(0.404 3)>西翼(0.331 7)>粤北(0.329 2)>东翼(0.257 6),2018 年排序依次为珠三角(0.390 3)>粤北

(0.349 9)>西翼(0.315 3)>东翼(0.268 1)。由此可见,研究期内珠三角、西翼地区资源环境承载力值有所下降,而粤北山区、东翼地区的资源环境承载力则有所提升,且粤北山区呈现出赶超西翼地区的趋势。市域层面上,相较于 2008 年大部分地区区域开发强度等级维持基本稳定外,湛江、东莞、汕尾三市资源环境承载力等级明显下降,资源环境约束趋紧,区域环境治理水平亟需提升,而茂名、云浮 2 市承载力等级则有所提升。

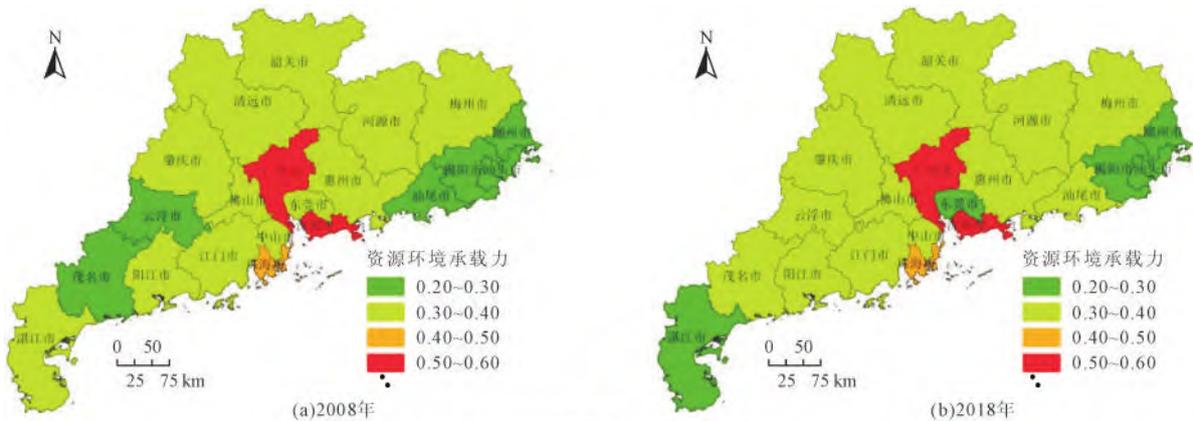


图2 广东省资源环境承载力空间分布  
Fig.2 Spatial distribution of resources environment carrying capacity in Guangdong Province

究其原因,广州、深圳等高度发达的城市化区域,受经济迅猛发展以及城市化步伐的加速推进,人口密度高度集聚,城市建设用地不断扩张,大量耕地被侵占,资源消耗、环境污染加剧,一定程度削弱了区域自然资源环境承载能力;另一方面,通过依托其雄厚的经济实力、完善的公共基础设施建设、持续的科技创新投入等社会经济支撑力来弥补区域整体资源环境承载力的不足,以实现有效维持、巩固和提升区域资源环境承载的可持续发展能力。此外,近年来珠三角区域一体化协同发展、生态文明建设以及对标国际高标准一流生态城市规划等一系列举措统筹推进,生态环境保护、治理和管控力度不断增强,有效缓解了资源环境承载负荷。因此,经济驱动的正面效应远大于资源环境的负面效应的高度发达的城市化地区,在资源环境综合承载力发展中占据着明显优势。但与此同时,研究期内广州、佛山和东莞等经济发达地区资源环境承载力呈下降发展态势,可见经济发展和科技投入对缓解资源环境恶化不是一劳永逸的,还需要有效平衡区域开发与地区经济发展速度。资源环境承载力相对较低的地区(如潮汕揭地区),城市化发展进程相对缓慢,经济发展水平相对落后,自然资源环境本底条件差,加之环境污染加剧、监察力度不够、治理投入不足等负面效应加剧,受制于自然资源环境

与社会经济发展双面夹击,经济驱动难以有效抵消资源环境所带来的负面效应,成为制约区域可持续发展的突出瓶颈。

#### 4 广东省区域开发强度与资源环境承载力时空耦合特征

##### 4.1 耦合度分析

根据耦合度等级划分标准(表 2),分别绘制 2008 年、2018 年广东省区域开发强度与资源环境承载力的耦合度等级类型分布图(图 3)。广东省区域开发强度与资源环境承载力的耦合度总体呈稳中有升发展态势,但整体耦合水平仍有待提升。时序变化上,研究期内广东省各地市耦合度均值由 2008 年的 0.458 7 增加至 2018 年的 0.499 2,且处于(0.30, 0.50]的拮抗耦合阶段类型。从空间分异变化看,低水平耦合类型分布区域数量由 2008 年的 9 个减少至 2018 年的 8 个,分布范围逐渐向珠三角城市群地区呈半包围收拢态势;高水平耦合类型区域主要分布在深圳市、东莞市、珠海市、汕头市 4 个区域;拮抗耦合类型由 2008 年的江门市、惠州市、汕尾市、揭阳市、潮州市 5 个区域减少至湛江市、茂名市、江门市、惠州市 4 个区域;磨合耦合类型在广州市、佛山市、中山市的基础上增加了揭阳市、潮州市 2 市。区域层面上,研究期内四大区域的耦合度均有所提升,但各区域层面耦合阶段类型差

异明显,其中珠三角、东翼地区的耦合度等级一直处于磨合耦合类型,西翼地区由原来的低水平耦合转

变为拮抗耦合类型,粤北山区则一直处于低水平耦合阶段。

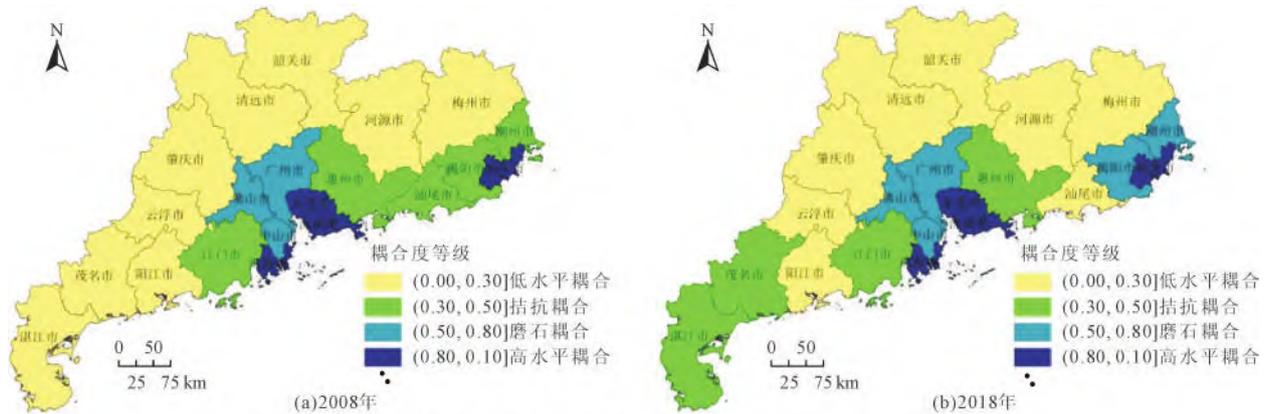


图3 广东省区域开发强度与资源环境承载力耦合度等级类型分布  
Fig.3 Distribution of coupling degree between regional development intensity and resources environment carrying capacity in Guangdong Province

4.2 协调度分析

依据协调度等级划分标准(表3),分别绘制2008年、2018年广东省区域开发强度与资源环境承载力的耦合协调度等级类型分布图(图4)。广东省21个地市的耦合协调度均值由2008年的0.298 5增加至2018年的0.316 8,即由原来的中度失调转为轻度失调,协调度水平虽有所改善,但整体协调水平不高。从空间

分异看,广东省整体耦合协调发展状况堪忧,均未达到良好协调阶段类型,绝大部分区域处于失调状态,占全部区域总数的80%以上,耦合协调程度仍有较大提升空间。区域层面上,研究期内四大区域的协调度均值均有所提升,2008年协调度由大到小排序依次为珠三角>东翼>粤北>西翼,2018年排序转变为珠三角>东翼>西翼>粤北,西翼地区的耦合协调度呈

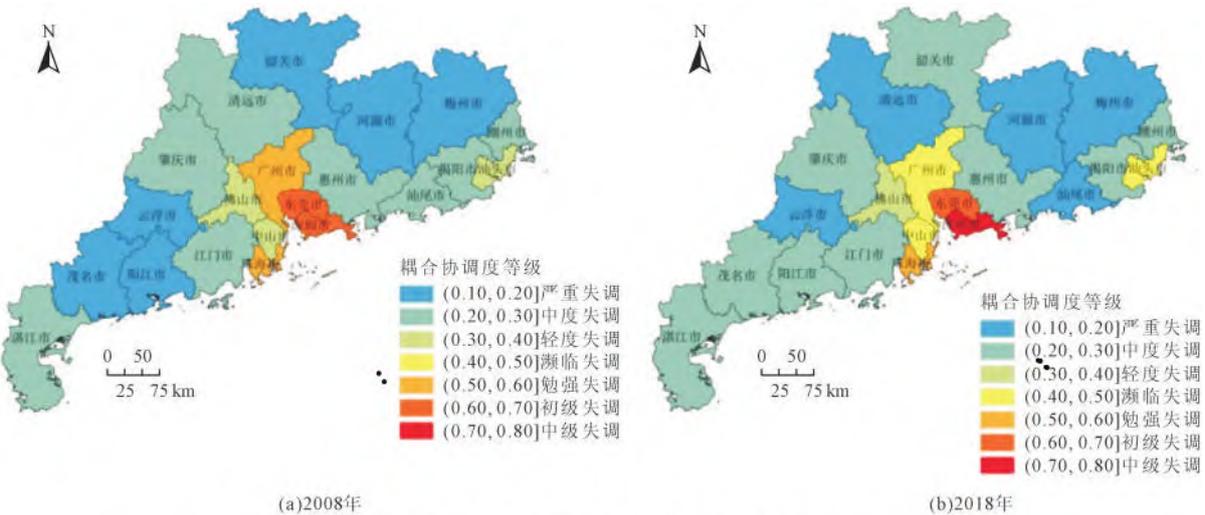


图4 广东省区域开发强度与资源环境承载力耦合协调度等级类型分布  
Fig.4 Distribution of coupling coordination grade between regional development intensity and resources environment carrying capacity in Guangdong Province

持续向好发展态势。市域层面上,深圳、东莞耦合协调度类型等级最高,最低为河源。研究期内茂名市、阳江市、韶关市的协调度等级类型由原来的严重失调转为中度失调,中山市、汕头市由原来的轻度失调转为濒临失调,深圳市由原来的初级协调转为中级协调,上述地区的耦合协调度水平在2008年的基础上均提升了一个等级;相反,广州由原来的勉强协调转为

濒临失调,清远、汕尾则由原来的中度失调转为严重失调,这表明近10年上述地区耦合协调度水平有所下降。可见,局部地区虽有所改善,但仍难以掩饰整体协调发展状况差的现实局面。

5 影响因素分析

区域开发强度与资源环境承载力耦合协调发展

演变是多种因素综合作用的结果,基于前述耦合协调度评价结果,参考已有文献,选取单位建设用地GDP产出量( $X_1$ )、人均GDP( $X_2$ )、单位GDP能耗( $X_3$ )、市政公共设施投资额( $X_4$ )、人口密度( $X_5$ )、地均固定资产投资( $X_6$ )、二三产业产值比重( $X_7$ )、外商直接投资额( $X_8$ )共8个探测因子作为自变量( $X$ ),各指标解释及表征因子见表4,并借助自然断裂法对上述探测因子进行类别化处理,将耦合协调度结果作为因变量( $Y$ ),运用地理探测器模型分别对广东省21个地市影响区域开发强度与资源环境承载力时空耦合演变的主要因素进行交互探测和因子探测,经计算得到因子探测 $P_{D,G}$ 值(表5)。

表4 影响因子指标解释

Table 4 Interpretation of impact factor indicators

探测因素	解释变量	因子代码	因子属性
区域开发效率	单位建设用地GDP产出量	$X_1$	+
经济发展水平	人均GDP	$X_2$	+
资源利用效率	单位GDP能耗	$X_3$	-
公共设施投入	市政公共设施投资额	$X_4$	+
人口集聚状况	人口密度	$X_5$	-
区域投资效率	地均固定资产投资	$X_6$	+
产业发展水平	二三产业产值比重	$X_7$	+
对外开放程度	外商直接投资额	$X_8$	+

表5 耦合协调度影响因素的地理探测结果

Table 5 Geographical detection results of the influence factors of coupling coordination degree

因子代码	探测因素	$P_{D,G}$	
		2008年	2018年
$X_1$	区域开发效率	0.361	0.342
$X_2$	经济发展水平	0.736*	0.703*
$X_3$	资源利用效率	0.420	0.703*
$X_4$	公共设施投入	0.748**	0.482
$X_5$	人口集聚状况	0.702	0.132
$X_6$	区域投资效率	0.849*	0.879*
$X_7$	产业发展水平	0.788*	0.755*
$X_8$	对外开放程度	0.699***	0.637

注:\*、\*\*、\*\*\*分别为通过1%、5%、10%的显著性检验。

由交互探测器分析结果可知,各影响因素对区域开发强度与资源环境承载力的时空耦合演变均存在交互效应,且各探测因子间的交互作用以双因子增强为主,表明在任意双因子的相互作用下区域耦合协调发展差异趋于减小,交互因子的影响力显著增强,即多因素综合作用下的解释力要显著优于单因素独立作用的结果,进一步证实了区域开发强度与资源环境承载力交互作用关系的存在。未来应重视主控因子、一般性因子与低影响度因子等各类型因子间的融合交互作用,增强因子间的综合交互效应。

在地理探测器模型测算结果中, $q$ -statistics为影响因素作用强度值, $p$ -value为数据随机性概率(即显著性水平检验值)。当 $p$ -value<0.1,且 $q$ -statistics $\geq$ 0.5时,即判定为影响因素中的主控因子。由因子探测的影响因素作用强度结果可知(表5),影响广东省区域

开发强度与资源环境承载力时空耦合演变的主控因素总体上由经济发展水平、区域投资效率、产业发展水平三大因素演变为经济发展水平、资源利用效率、区域投资效率、产业发展水平四大作用因素,进一步印证了经济性因素是维持区域开发强度与资源环境承载力耦合协调发展的重要驱动力。其中,区域投资效率影响作用强度最大,且有所强化,表明近10年加大区域投资力度对于提升广东省区域开发强度与资源环境承载力的耦合协调效应具有重要促进作用;其次为资源利用效率因素,伴随着生态文明进程持续推进,通过技术进步提升资源利用效率很大程度上缓解了区域开发强度与资源环境承载力发展失衡的负面效应;而经济发展水平和产业发展水平的作用强度则有所下降,表明近年来经济、产业驱动因素在维持区域开发强度与资源环境承载力协调发展上的影响力正在逐步减弱。

## 6 结论与建议

### 6.1 结论

解决区域开发强度与资源环境承载力间不协调、不平衡发展问题是一项复杂长期艰巨的系统性工程,本文以广东省为例,探究了经济发达省份区域开发强度与资源环境承载力的时空耦合特征。

(1)广东省区域开发强度呈不断增强态势,总体呈空间非均衡性分布,“核心-边缘”空间分异特征明显,其中以深圳、东莞为首的珠三角主要经济中心及门户城市为主要高值集聚区,潮汕揭都市圈为次级高值集聚区。

(2)广东省资源环境承载力状况整体不容乐观,且有所下降,空间分异明显,其中,广州、深圳的资源环境承载力指数处于区域最高水平,低值区主要分布在西翼、东翼的部分地市。

(3)广东省区域开发强度与资源环境承载力的耦合协调发展关系呈总体向好的发展态势,处于拮抗耦合阶段类型,失调阶段类型占比较大,各地区区域开发强度与资源环境承载力的耦合协调发展水平仍有较大提升空间,各区域耦合协调阶段类型空间差异明显,深圳、东莞的耦合协调度等级最高,最低的为河源。

(4)通过地理探测器模型的交互探测器与因子探测器分析可知,任意双因子的交互作用后影响力显著增强,近年来经济和产业发展因素对区域开发强度与资源环境承载力协调发展水平的影响作用强度有所弱化,而区域投资效率、资源利用效率的影响作用强度在不断增强。各类型因子间的融合交互作用印证了影响广东省区域开发强度与资源环境承载力耦合协调

发展因素的多样性、综合性、复杂性。

## 6.2 建议

针对广东省未来资源环境约束日益趋紧、国土开发强度不断增强的严峻形势与发展态势,现提出以下对策建议。

(1)摸清自然资源家底,提升国土资源开发利用效率。各地区资源禀赋与环境容量差异较大,应尽快查清区域资源具体分布与优劣势,加强资源环境承载能力评价和国土空间开发适宜性评价,明晰区域开发现状与潜力,科学规划和合理控制开发强度;兼顾重点开发与均衡发展,对于资源环境承载力较强的区域,实施紧凑式节约集约高效开发利用,对于资源环境承载力减弱乃至超载区域,实行适度调整及限制开发,根据区域资源环境承载能力刚性约束和功能差异推行区域间优势互补、错位发展与分工协作,统筹推进区域开发的协同性、联动性、整体性、均衡性。

(2)坚持生态保护优先,构建国土空间保护开发新格局。强化绿色导向,在充分考虑环境资源生态承载力和严控开发强度的基础上,协调保护与开发的矛盾,不断拓展绿色发展新空间;巩固生态本底,建立健全生态环境分区管控体系,加强山水林田湖草生态综合治理与生态修复;建立健全区域污染联防联控机制和生态安全评估预警,强化生态环境动态监测以及废物资源化利用、无害化处置,将资源消耗、环境污染、生态效益纳入生态文明考核评价。

(3)加强国土科学管控,科学编制各级各类国土空间规划。合理划定“三区三线”,因地制宜、分区分类、差异化实施国土空间用途管制政策,核实核准管控区域、管制目标、管制强度,有效规范空间开发秩序,统筹推进国土空间开发与资源环境承载、经济社会发展水平相协调,盘活国土空间存量,强化规划实施监督,实现国土空间有序有度、高效开发、提质增效。

研究侧重于区域开发强度与资源环境承载力的时空耦合特征及其影响因素的分析,为广东省区域协调发展提供了新的决策参考和分析思路。本文研究尺度以市域宏观层面为主,不同空间尺度单元的研究结果可能会有所差异,未来可深入探究更精细化单元(如县域、村镇等)及跨区域尺度的多案例研究及跟踪对比研究;通过构建前瞻性指标,预测和模拟未来区域开发强度与资源环境承载力时空耦合演变趋势也是下一步研究拓展的重要方向。

### [参考文献]

[1] 樊杰. 主体功能区战略与优化国土空间开发格局[J]. 中国科学院院刊, 2013,28(2):193-206.

Fan Jie. The strategy of major function oriented zoning and the optimization of territorial development patterns[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2013,28(2):193-206.

[2] 林坚,唐辉栋. 全域意义上的“开发强度”刍议[J]. 中国土地, 2017(6):16-18.

Lin Jian, Tang Huidong. On the “development intensity” in the significance of the whole region[J]. China Land, 2017(6): 16-18.

[3] 严金明,迪力沙提 亚库甫,夏方舟. 基于协同发展的省域狭义国土开发强度内涵界定与阈值测度[J]. 农业工程学报, 2019,35(4):255-264.

Yan Jinming, Dilishati Yakufu, Xia Fangzhou. Definition and threshold measurement of narrow land development intensity in province scale based on coordinated development[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(4):255-264.

[4] 封志明,杨艳昭,闫慧敏,等. 百年来的资源环境承载力研究:从理论到实践[J]. 资源科学, 2017,39(3):379-395.

Feng Zhiming, Yang Yanzhao, Yan Huimin, et al. A review of resources and environment carrying capacity research since the 20th century: from theory to practice[J]. Resources Science, 2017,39(3):379-395.

[5] 段佩利,刘曙光,尹鹏. 区域开发强度与资源环境承载力耦合协调分析:以中国沿海城市群为例[J]. 资源开发与市场, 2018,34(7):930-934.

Duan Peili, Liu Shuguang, Yin Peng. Analysis on coupling coordination between development strength and resource environmental bearing capacity: a case study of coastal urban agglomeration in China[J]. Resource Development & Market, 2018,34(7):930-934.

[6] 沈春竹,谭琦川,王丹阳,等. 基于资源环境承载力与开发建设适宜性的国土开发强度研究:以江苏省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019,28(6):1276-1286.

Shen Chunzhu, Tan Qichuan, Wang Danyang, et al. Research on land development intensity based on carrying capacity of resources and environment and suitability of development and construction: a case study of Jiangsu[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019,28(6):1276-1286.

[7] 杨清可,段学军,金志丰,等. 长三角地区城市土地开发强度时空分异与影响机理[J]. 资源科学, 2020,42(4):723-734.

Yang Qingke, Duan Xuejun, Jin Zhifeng, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing mechanism of urban land development intensity in the Yangtze River Delta[J]. Resources Science, 2020,42(4):723-734.

[8] Zhang P Y, Yang D, Qin M Z, et al. Spatial heterogeneity analysis and driving forces exploring of built-up land development intensity in Chinese prefecture-level cities and implications for future urban land intensive use[J]. Land Use Policy, 2020,99:104958.

[9] 迪力沙提 亚库甫,夏方舟. 基于ESDA-GWR的国土开发强

- 度空间特征及影响因素与机理研究:以河北省为例[J]. 资源与产业, 2018,20(5):28-38.
- Dilishati Yakufu, Xia Fangzhou. A case study on Hebei Province: spatial features, factors and mechanism of land development intensity based on ESDA-GWR[J]. Resources & Industries, 2018,20(5):28-38.
- [10] 徐美,刘春腊. 湖南省资源环境承载力预警评价与警情趋势分析[J]. 经济地理, 2020,40(1):187-196.
- Xu Mei, Liu Chunla. Early warning evaluation and warning trend analysis of resource and environment carrying capacity in Hunan Province[J]. Economic Geography, 2020,40(1): 187-196.
- [11] 牛方曲,孙东琪. 资源环境承载力与中国经济发展可持续性模拟[J]. 地理学报, 2019,74(12):2604-2613.
- Niu Fangqu, Sun Dongqi. Modelling the sustainability of China's growth based on the resource and environmental carrying capacity[J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(12): 2604-2613.
- [12] 张茂鑫,吴次芳,李光宇,等. 资源环境承载力评价的再认识:资源节约集约利用的视角[J]. 中国土地科学, 2020,34(8):98-106.
- Zhang Maoxin, Wu Cifang, Li Guangyu, et al. Re-recognition of resource and environmental carrying capacity evaluation: from the perspective of resource conservation and intensive utilization[J]. China Land Science, 2020,34(8): 98-106.
- [13] 王秦,李伟. 区域资源环境承载力评价研究进展及展望[J]. 生态环境学报, 2020,29(7):1487-1498.
- Wang Qin, Li Wei. Research progress and prospect of regional resources and environment carrying capacity evaluation[J]. Ecology and Environmental Science, 2020,29(7): 1487-1498.
- [14] 刘艳军,刘静,何翠,等. 中国区域开发强度与资源环境水平的耦合关系演化[J]. 地理研究, 2013,32(3):507-517.
- Liu Yanjun, Liu Jing, He Cui, et al. Evolution of the coupling relationship between regional development strength and resource environment level in China[J]. Geographical Research, 2013,32(3):507-517.
- [15] 薛耀祖,李佩娟. 区域开发强度与环境资源耦合的时空演变分析[J]. 环境科学与技术, 2019,42(2):224-230.
- Xue Yaozu, Li Peijuan. Study on spatio-temporal evolution of the coordination between regional development degree and resource environment level[J]. Environmental Science & Technology, 2019,42(2):224-230.
- [16] 孔雪松,蒋献佳,刘叶,等. 国土空间开发强度与资源环境承载力时空耦合及规划启示:以江苏省为例[J]. 中国土地科学, 2020,34(6):10-17.
- Kong Xuesong, Jiang Xianjia, Liu Ye, et al. Spatiotemporal coupling between territorial space development intensity and resource environmental carrying capacity and its planning implications: a case study of Jiangsu Province[J]. China Land Science, 2020,34(6):10-17.
- [17] 段佩利,刘曙光,尹鹏,等. 中国沿海城市开发强度与资源环境承载力时空耦合协调关系[J]. 经济地理, 2018,38(5): 60-67.
- Duan Peili, Liu Shuguang, Yin Peng, et al. Spatial-temporal coupling coordination relationship between development strength and resource environmental bearing capacity of coastal cities in China[J]. Economic Geography, 2018,38(5): 60-67.
- [18] 段佩利,刘曙光,尹鹏,等. 城市群开发强度与资源环境承载力耦合协调的实证[J]. 统计与决策, 2019,35(8):49-52.
- Duan Peili, Liu Shuguang, Yin Peng, et al. Empirical study on the coupling coordination between development strength and resource environmental carrying capacity in urban agglomeration [J]. Statistics & Decision, 2019,35(8):49-52.
- [19] 吴大放,胡悦,刘艳艳,等. 城市开发强度与资源环境承载力协调分析:以珠三角为例[J]. 自然资源学报, 2020,35(1): 82-94.
- Wu Dafang, Hu Yue, Liu Yanyan, et al. Empirical study on the coupling coordination between development intensity and resources-and-environment carrying capacity of core cities in Pearl River Delta[J]. Journal of Natural Resources, 2020,35(1):82-94.
- [20] 刘文斌,徐伟铭,王杏锋,等. 区域国土开发强度与资源环境承载力时空耦合关系[J]. 华侨大学学报:自然科学版, 2020, 41(4):525-533.
- Liu Wenbin, Xu Weiming, Wang Xingfeng, et al. Research on spatiotemporal coupling relationship between regional land development intensity and resource environmental carrying-capacity[J]. Journal of Huaqiao University: Natural Science, 2020,41(4):525-533.
- [21] 卫思夷,居祥,荀文会. 区域国土开发强度与资源环境承载力时空耦合关系研究:以沈阳经济区为例[J]. 中国土地科学, 2018,32(7):58-65.
- Wei Siyi, Ju Xiang, Xun Wenhui. Spatial-temporal coupling relationship between land development intensity and carrying capacity of regional resources and environment: a case study in Shenyang Economic Zone[J]. China Land Science, 2018,32(7):58-65.
- [22] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017,72(1):116-134.