

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.03.052.

周璐红, 杨光绪. 合肥市资源环境承载力与经济发展水平耦合关系的时空演变分析及障碍因素诊断[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 440-447.

ZHOU Luhong, YANG Guangxu. Spatiotemporal Evolution Analysis and Obstacle Factor Diagnosis of the Coupling Relationship Between Resource and Environmental Carrying Capacity and Economic Development Level in Hefei City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 440-447.

# 合肥市资源环境承载力与经济发展水平耦合关系的 时空演变分析及障碍因素诊断

周璐红<sup>1,2</sup>, 杨光绪<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学 土地工程学院, 西安 710054; 2. 陕西省土地整治重点实验室, 西安 710054)

**摘要:** [目的] 探究资源环境承载力和经济发展水平关系的时空演变特征和障碍因素的识别, 对区域生态文明建设和可持续发展具有重要理论意义。[方法] 以合肥市为研究对象, 构建合肥市资源环境承载力和经济发展水平指标体系, 利用状态空间法模型、耦合模型、障碍度模型等方法, 测算分析了合肥市 2011—2020 年资源环境承载力与经济发展水平之间的耦合协调程度及演变过程并识别了制约两者的障碍因素。[结果] 合肥市资源环境承载力和经济发展水平指数值均呈现上升趋势, 资源环境承载力和经济发展水平不断增强。2011—2020 年资源环境承载力和经济发展水平耦合度数值在 0.48~0.50 之间, 类型属拮抗状态, 耦合协调度水平处于 0.42~0.65 之间, 呈现上升趋势, 经历了从轻度失调到低水平协调再到良好协调发展的过程。从障碍因素识别来看, 制约合肥市资源环境承载力的障碍因素主要来自要素层环境容量要素, 制约合肥市经济发展水平的障碍因素主要来源于经济实力和经济结构要素, 这三个要素也是制约资源环境与经济协调发展的关键所在。[结论] 通过对资源环境承载力和经济发展水平之间关系的研究及其障碍因素的准确识别, 增添了合肥市资源环境与经济协调发展的理论支撑。

**关键词:** 资源环境承载力; 经济发展水平; 耦合关系; 障碍因素; 合肥市

**中图分类号:** X22; X826

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2023)03-0440-08

## Spatiotemporal Evolution Analysis and Obstacle Factor Diagnosis of the Coupling Relationship Between Resource and Environmental Carrying Capacity and Economic Development Level in Hefei City

ZHOU Luhong<sup>1,2</sup>, YANG Guangxu<sup>1,2</sup>

(1. College of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Land Consolidation of Shaanxi Province, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** [Objective] Exploring the temporal and spatial evolution characteristics of the relationship between the carrying capacity of resources and the environment and the level of economic development and the identification of obstacles has important theoretical significance for the construction of regional ecological civilization and sustainable coordinated development. [Methods] This study took Hefei City as the research object, and an index system of Hefei City's resource and environmental carrying capacity and economic development level was constructed. State space method model, coupling model, obstacle degree model and other methods, the coupling coordination degree and evolution process between resource and environmental carrying capacity and economic development level in Hefei City from 2011 to 2020 were calculated and analyzed, and the obstacle factors restricting both were identified. [Results] The index values of Hefei's resource and environmental carrying capacity and economic development level both showed an upward trend, and the resource and environmental carrying capacity and economic development level continued to increase. From 2011 to 2020,

收稿日期: 2022-05-16

修回日期: 2022-06-24

资助项目: 陕西省土地整治重点实验室开放基金(2019-JC02); 长安大学研究生教育教学改革资助项目(300103120050)

第一作者: 周璐红(1975—), 女, 陕西宝鸡人, 副教授, 博士, 研究方向为土地资源管理及评价。E-mail: zylzhzhou@chd.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

the coupling degree between resource and environmental carrying capacity and economic development level was between 0.48 and 0.50, and the type was antagonistic. The level of coupling coordination was between 0.42 and 0.65, showing an upward trend, and had experienced a process of development from mild imbalance to low level coordination and then to good coordination. From the point of view of the identification of obstacles, the obstacle factors restricting the resource and environmental carrying capacity of Hefei mainly came from the environmental capacity factors of the element layer, the obstacles to the economic development level of Hefei mainly came from economic strength and economic structural elements. These three elements were also the key to restricting the coordinated development of resources, environment and economy. [Conclusions] The study of the relationship between the carrying capacity of resources and the environment and the level of economic development and the accurate identification of the obstacle factors can supply the theoretical support for the coordinated development of resources, environment and economy in Hefei City.

**Keywords:** resource and environmental carrying capacity; economic development level; coupling relationship; obstacle factor; Hefei City

资源环境承载力作为现今可持续发展的重要内容,事关国家安全与社会稳定<sup>[1]</sup>。资源环境承载力是指在一定的时空范围内和技术条件下,在保证区域资源合理开发利用和生态系统良性循环的基础上,可承载人类活动和社会经济规模的能力<sup>[2]</sup>。近年来随着经济发展,资源环境承载力与社会经济之间的矛盾也愈发明显,已经阻碍了国家的可持续发展道路<sup>[3]</sup>。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中指出:“协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护”。在此背景下,一些学者引入物理学中的“耦合”概念以便进一步探求资源环境与经济发展的相互关系,耦合是指两个或两个以上的事件之间存在紧密配合和相互影响的现象;资源环境系统与经济系统间就存在如下关系:在环境受经济系统影响的同时,经济系统也受环境系统在环境质量等方面的制约<sup>[4]</sup>。因此,研究资源环境承载力与经济发展水平的协调性,对完成国家“十四五”规划、“碳达峰、碳中和”等重要任务和实现协调发展具有重要意义。

关于资源环境承载力与经济发展的协调关系问题上,国内外学者开展了相关研究。Bradford等<sup>[5]</sup>探讨了经济增长过程中生活质量的变化规律与经济发展和生态环境关系;Grossman等<sup>[6]</sup>运用计量经济学方法提出了环境库兹涅茨曲线(EKC),并揭示出生态环境质量随着经济发展演变呈现倒“U”型的变化趋势。在国内,牛方曲等<sup>[7]</sup>通过构建CM模型(China Model, CM),模拟中国社会经济与资源环境要素的相互作用过程,阐释未来经济增长可能的方案及其对资源环境支撑系统的要求;张晓东等<sup>[8]</sup>通过建立环境承载力与经济发展水平之间的协调度模型对20世纪90年代我国省级区域进行实证分析,发现我国空间

区域经济环境协调度基本符合“U”型曲线;谷国峰等<sup>[9]</sup>研究了东北地区经济与环境的耦合关系,发现两者整体呈正“U”型特征的耦合度时序变动;张进<sup>[10]</sup>采用熵值法和加权综合法评价了2010—2016年华北地区农业资源环境与经济发展水平,并在此基础上使用耦合模型深入探究了两者之间的协调性关系;赵雪雁<sup>[11]</sup>研究发现甘肃省经济发展与环境质量的交互耦合关系并非呈典型的倒“U”型环境库茨涅茨曲线,而是呈三次曲线;金贵等<sup>[12]</sup>从资源效率视角认为资源公平与效率的综合关联研究是未来研究的方向之一。综上所述,目前对于资源环境与经济协调发展方面的研究主要集中在二者关系的定量和评价研究,对二者的耦合关系十分重视。已有的研究有着极其重要的借鉴价值,为本文进一步深入研究提供了方向:首先,以往的研究中大都选择国家、省级以及跨区域的大尺度层面作为研究对象,少有对市级层面的研究,中国城市众多,每个城市的发展各有特色,因此更加需要结合每个城市各自的特点进行研究;其次,现有的研究大多关注于资源环境承载力与经济发展的相互作用关系与耦合作用机理,缺乏二者间的根源性分析,通过障碍因素诊断,识别阻碍二者协调发展的根源所在,可以为区域资源环境承载力与经济协调发展提供有力支撑。

合肥市作为安徽省政治、经济、文化中心,地处黄淮平原与长江中下游平原的交界地带。当前有关合肥市资源环境承载力与经济发展的研究主要体现在单一方面的探索分析,而缺乏对于两者之间耦合关系及障碍因素诊断的研究。鉴于此,本研究以合肥市为研究对象,基于状态空间法模型、耦合度和耦合协调度模型对合肥市资源环境承载力与经济发展水平的耦合协调程度进行分析,并借助障碍因素诊断模型识别阻碍合肥市资源环境承载力与经济协调发展主要

因素,以期为合肥市明晰当前资源环境与经济发展协调的重要性,选择合适的经济发展与生态文明建设模式提供思路,同时对于丰富市级层面资源环境承载力与经济发展协调关系的研究具有一定的理论意义。

1 研究区概况

合肥市位于中国东部地区、长江下游,属中纬度地带(30°57′—32°32′N,116°41′—117°58′E),北连淮南市,西接六安市,西南接安庆市、铜陵市,东北与滁州市,东南与马鞍山市、芜湖市为邻。全市总面积 11 445 km<sup>2</sup>,地形地貌主要有丘陵岗地、低山残丘、低洼平原,地势中部高、南北低,市区平均海拔高度 20~40 m;属亚热带湿润性季风气候,冬寒夏热,春秋温和,年均降雨量 1 000 mm 左右;境内土地资源类型多样,水资源丰富,江淮分水岭自西向东将全域分为岭北的淮河水系和岭南的长江水系。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

数据资料主要来源于《中国统计年鉴》、《安徽省

统计年鉴》、《合肥市统计年鉴》、《合肥市环境质量公报》、《合肥市国民经济和社会发展统计公报》,年份为 2011—2020 年。对于其中缺失的部分数据,采用加权平均法进行赋值补缺。其中,人均森林面积、人均耕地面积、单位 GDP 建设用地面积指标为经处理后获取,其他指标均直接获取。

2.2 研究方法

2.2.1 指标选取 资源环境系统与经济系统的影响因素是多方面的,都是人口、社会、经济等多方面相互作用的结果<sup>[13]</sup>。本研究在综合参考已有的研究基础上<sup>[14-17]</sup>,遵循科学性、系统性与全面性相结合、稳定性与动态预测性相结合等原则,根据合肥市的生态环境现状及社会经济发展状况,构建资源环境承载力(表 1)和经济发展水平(表 2)指标体系。表 1 中支撑层指标反映了资源环境和社会经济的支撑力度,确定为正向指标;压力层指标则反映了资源环境所受到的压力状况,确定为负向指标。表 2 中指标层指标反映了经济实力、经济结构、创新发展以及人民生活水平四个方面的状况,根据它们对经济发展水平的最大影响程度分别确定其正负指向。

表 1 资源环境承载力指标体系

目标层	准则层	要素层	指标层(单位)	代码	指标属性	主观权重	客观权重	综合权重
资源 环境 承载力	支撑层 Q	自然资源 容量 Qr	人均森林面积(m <sup>2</sup> /人)	<i>x</i> <sub>1</sub>	+	0.0448	0.0233	0.0230
			人均耕地面积(m <sup>2</sup> /人)	<i>x</i> <sub>2</sub>	+	0.0896	0.0193	0.0381
			人均水资源(m <sup>3</sup> /人)	<i>x</i> <sub>3</sub>	+	0.0896	0.0492	0.0971
			大气环境 SO <sub>2</sub> 日平均值(mg/m <sup>3</sup> )	<i>x</i> <sub>4</sub>	+	0.0337	0.0507	0.0376
		环境容量 Qe	当年造林面积(hm <sup>2</sup> )	<i>x</i> <sub>5</sub>	+	0.1163	0.0465	0.1191
			建成区绿化覆盖面积(hm <sup>2</sup> )	<i>x</i> <sub>6</sub>	+	0.1163	0.0371	0.0950
			大气污染治理设备(套)	<i>x</i> <sub>7</sub>	+	0.0611	0.0842	0.1133
			水污染治理设备(套)	<i>x</i> <sub>8</sub>	+	0.0611	0.0519	0.0698
			固体废弃物治理(10 <sup>4</sup> t)	<i>x</i> <sub>9</sub>	+	0.0611	0.0586	0.0789
			人均 GDP(元)	<i>x</i> <sub>10</sub>	+	0.0272	0.0445	0.0267
	压力层 P	经济社会水平 Qs	第三产业占 GDP 比重(%)	<i>x</i> <sub>11</sub>	+	0.0272	0.1008	0.0604
			每万人拥有移动电话(部)	<i>x</i> <sub>12</sub>	+	0.0272	0.0389	0.0233
			恩格尔系数(%)	<i>x</i> <sub>13</sub>	—	0.0136	0.0273	0.0082
			城乡居民人均可支配收入(元)	<i>x</i> <sub>14</sub>	—	0.0136	0.0359	0.0108
			人口自然增长率(‰)	<i>x</i> <sub>15</sub>	—	0.0272	0.0326	0.0195
		社会环境 Ps	人口密度(人/km <sup>2</sup> )	<i>x</i> <sub>16</sub>	—	0.0272	0.0295	0.0177
			水体污染物排放量(10 <sup>4</sup> t)	<i>x</i> <sub>17</sub>	—	0.0272	0.0295	0.0177
			大气污染物排放量(SO <sub>2</sub> )(t)	<i>x</i> <sub>18</sub>	—	0.0272	0.0573	0.0343
			固体废弃物排放量(10 <sup>4</sup> t)	<i>x</i> <sub>19</sub>	—	0.0272	0.0541	0.0324
			单位 GDP 能耗(t/10 <sup>4</sup> 元)	<i>x</i> <sub>20</sub>	—	0.0272	0.0385	0.0231
			单位 GDP 电耗(kW·h/10 <sup>4</sup> 元)	<i>x</i> <sub>21</sub>	—	0.0272	0.0401	0.0240
			单位 GDP 建设用地面积(m <sup>2</sup> /10 <sup>4</sup> 元)	<i>x</i> <sub>22</sub>	—	0.0272	0.0502	0.0300

由于指标的量纲以及性质指向存在差异,本文采

用极差法对指标进行标准化处理,公式为:

正向指标处理:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{1}$$

负向指标处理:

$$x'_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{2}$$

式中: $x_{ij}$ 为第  $j$  项指标第  $i$  年的指标值; $x'_{ij}$ 为标准化结果; $x_{\max}, x_{\min}$ 分别表示第  $j$  项指标的最大值和最小值。

表 2 经济发展水平指标体系

目标层	要素层	指标层(单位)	代码	指标属性	主观权重	客观权重	综合权重
经济发展水平	经济实力	人均 GDP(元)	y <sub>1</sub>	+	0.0827	0.0666	0.0763
		地方财政收入(10 <sup>8</sup> 元)	y <sub>2</sub>	+	0.1402	0.0575	0.1117
		全社会固定资产投资(10 <sup>8</sup> 元)	y <sub>3</sub>	+	0.1402	0.0552	0.1072
		社会消费品零售总额(10 <sup>8</sup> 元)	y <sub>4</sub>	+	0.1246	0.0823	0.1421
		规模以上工业增加值(10 <sup>8</sup> 元)	y <sub>5</sub>	+	0.1402	0.0604	0.1174
	经济结构	第一产业占 GDP 的比重(%)	y <sub>6</sub>	+	0.0385	0.0782	0.0417
		第二产业占 GDP 的比重(%)	y <sub>7</sub>	+	0.0385	0.0732	0.0391
		第三产业占 GDP 的比重(%)	y <sub>8</sub>	+	0.0772	0.1527	0.1634
	创新发展	三种专利申请授权量(件)	y <sub>9</sub>	+	0.0514	0.1068	0.0761
		研究与试验发展经费(10 <sup>4</sup> 元)	y <sub>10</sub>	+	0.0514	0.0587	0.0418
		研究与试验发展人员(人)	y <sub>11</sub>	+	0.0514	0.0488	0.0348
		每万人拥有移动电话(部)	y <sub>12</sub>	+	0.0076	0.0582	0.0061
	人民生活水平	城乡居民人均可支配收入(元)	y <sub>13</sub>	+	0.0387	0.0606	0.0325
		恩格尔系数(%)	y <sub>14</sub>	-	0.0174	0.0408	0.0098

2.2.2 指标权重确定方法 层次分析法确定主观权重。层次分析法将定性和定量结合起来,从而解决系统性和层次性的多目标决策分析方法<sup>[18]</sup>。该方法广泛应用于生态安全、环境规划、区域承载力等诸多领域。本研究使用 yaahp 软件分析确定各项指标的主观权重。

熵权法确定客观权重。熵权法是根据信息数量在各指标之间的传递情况,确定指标权重值的一种常用客观赋权法<sup>[19]</sup>,此方法能有效避免人为主观因素的干扰,使结果更科学合理。本研究对各指标数据采用极值标准化进行处理,为了消除 0 值的影响整体右移 0.001 个单位,最终确定各项指标的客观权重。

为克服两种方法确定的权重差异,采用综合权重,公式为:

$$W_m = \frac{W_i W_j}{\sum_{i,j=1}^n W_i W_j} \tag{3}$$

式中: $W_m$  为综合权重值; $n$  为指标数量; $W_i$  为层次分析法确定的主观权重值; $W_j$  为熵权法确定的客观权重值。

2.2.3 状态空间法模型 状态空间法是欧式几何空间的一种运用方法,以数学线性代数的矢量模长来表现系统内部各要素的状态,是定量描述系统状态的一种重要方法<sup>[20]</sup>,可用于定量表达和测度资源环境承载力、经济发展水平。

状态空间法模型以坐标原点 O 为中心建立三维

坐标系,OX,OY,OZ 三个状态轴代表不同的指标类型,每个指标数值组合在空间上形成一个状态点,坐标原点与状态点间的矢量模长代表资源环境承载力和经济发展水平的大小,本研究考虑到各指标对资源环境承载力和经济发展水平的影响程度不同,最终确定公式为:

$$F = |P| = \sqrt{\sum_{m=1}^n W_m x_{mj}^2} \tag{4}$$

式中: $P$  为状态点; $F$  即矢量模  $P$ ,为资源环境承载力和经济发展水平的大小; $W_m$  为各指标的综合权重; $x_{mj}$  为指标体系中各指标标准化数值; $n$  为指标个数。

2.2.4 耦合协调度模型

(1) 耦合度。耦合度是用来分析多个系统间相互作用及影响程度大小的方法<sup>[4]</sup>。本研究中的耦合度反映了资源环境系统与社会经济系统之间的耦合关系,公式为:

$$C = \frac{2 \sqrt{F_1 \times F_2}}{F_1 + F_2} \tag{5}$$

式中: $F_1$  为资源环境承载力指数; $F_2$  为经济发展水平指数; $C$  为系统耦合度,取值范围是 $[0,1]$ , $C$  越接近 1,则耦合度越好。参照已有的研究成果<sup>[4,10,21]</sup>,确定本研究区耦合等级评价标准,当  $0.8 < C \leq 1$  时为高水平耦合状态;当  $0.5 < C \leq 0.8$  时为磨合状态;当  $0.3 < C \leq 0.5$  时为拮抗状态;当  $0 \leq C \leq 0.3$  时为基本不耦合状态。

(2) 综合协调指数。综合协调指数用于反映研

究区资源环境承载力和经济发展水平的综合水平,由两者加权获得。公式为:

$$T = \alpha F_1 + \beta F_2 \quad (6)$$

式中:  $T$  为系统综合协调指数,  $\alpha$ 、 $\beta$  为待定系数,本研究取资源环境承载力与经济发展水平同等重要,即  $\alpha = \beta = 0.5$ 。

(3) 耦合协调度。耦合协调度反映资源环境承载力与经济发展水平的协调发展水平,避免两者水平都较低但耦合程度很高的情况,公式为:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (7)$$

式中:  $D$  为耦合协调度,根据已有研究成果<sup>[22-23]</sup>,耦合协调评判标准见表3。

表3 资源环境承载力与经济发展水平耦合协调评判标准

耦合协调度	耦合协调等级	$F_1/F_2$	耦合发展基本类型
$0 < D \leq 0.4$	严重失调发展	$F_1/F_2 > 1.2$	经济发展损益型
		$0.8 \leq F_1/F_2 \leq 1.2$	拮抗型
		$F_1/F_2 < 0.8$	资源环境损益型
$0.4 < D \leq 0.5$	轻度失调发展	$F_1/F_2 > 1.2$	经济发展损益型
		$0.8 \leq F_1/F_2 \leq 1.2$	磨合型
		$F_1/F_2 < 0.8$	资源环境滞后型
$0.5 < D \leq 0.6$	低水平协调发展	$F_1/F_2 > 1.2$	经济发展滞后型
		$0.8 \leq F_1/F_2 \leq 1.2$	同步型
		$F_1/F_2 < 0.8$	资源环境滞后型
$0.6 < D \leq 0.8$	良好协调发展	$F_1/F_2 > 1.2$	资源环境主导型
		$0.8 \leq F_1/F_2 \leq 1.2$	同步型
		$F_1/F_2 < 0.8$	经济发展主导型
$0.8 < D \leq 1$	优质协调发展	$F_1/F_2 > 1.2$	资源环境主导型
		$0.8 \leq F_1/F_2 \leq 1.2$	同步型
		$F_1/F_2 < 0.8$	经济发展主导型

2.2.5 障碍因素诊断模型 参照文献<sup>[24]</sup>,借助障碍因素诊断模型分别对资源环境承载力系统和经济发展水平系统的指标进行障碍度测算,以此识别阻碍合肥市资源环境和经济协调发展的主要障碍因素,公式为:

$$A_j = \sum O_i = \sum \frac{B_i E_i}{\sum_{i=1}^n B_i E_i} \quad (8)$$

式中:  $A_j$  为要素层各要素障碍度;  $O_i$  为指标层障碍度,是各指标对资源环境承载力和经济发展水平影响程度的高低;  $B_i$  为指标偏离度,用1与各指标标准化值之差表示;  $E_i$  为因子贡献度,用各指标的综合权重值  $W_m$  表示。

### 3 结果与分析

#### 3.1 资源环境承载力与经济发展水平分析

采用状态空间法模型(式4)分别计算合肥市2011—2020年资源环境承载力指数和经济发展水平指数(图1)。资源环境承载力变化趋势整体呈现出

“波浪式”上升状态,指数值由2011年的0.4267上升到2020年的0.7628,年均增速7.88%。具体来看,2011—2013年资源环境承载力稳步上升;2014—2015年又逐渐下降,主要原因是2014年合肥市人口快速增长且造林面积急剧减少,虽然水资源有所增加,但不能缓解人口压力导致的资源环境承载力下降趋势;2015—2016年呈上升趋势,主要原因是人口增长趋势的减缓以及蓄水工程的建设发展使得水资源量增加,资源环境承载能力变强;2017—2020年均呈上升趋势,主要原因是从国家层面注重生态文明建设以及可持续发展道路,环境保护措施初见成效。

经济发展水平指数整体呈现线性上升的趋势,指数值由2011年的0.2825上升到2020年的0.9503,年均增速23.64%。具体来看,2011—2017年经济发展水平指数增速平稳,2017—2020年增速变快,特别是2017—2018年增速最快,从指标体系要素层来看,2018年创新发展要素增幅最大,说明科技带动生产力使经济快速增长,近10年合肥不断开拓创新,加快经济转型,注重科学技术进步,已经取得了显著成果。

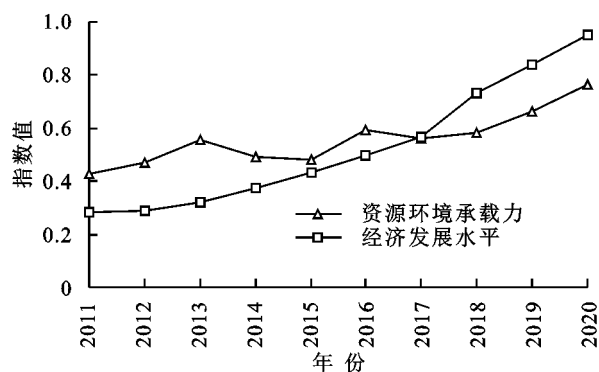


图1 合肥市资源环境承载力、经济发展水平指数值

#### 3.2 耦合关系分析

3.2.1 耦合度分析 根据式(5)计算资源环境承载力与经济发展水平之间的耦合度数值(图2)。从数值来看,耦合度演变趋势较为平缓,数值较低,在0.48~0.50之间,耦合类型属于拮抗状态,整体向着磨合状态发展。具体来看,2011—2015年耦合度指数先下降后上升;2011—2013年资源环境承载力和经济发展水平指数都处于上升状态,但由于这几年合肥市大搞植树造林活动,当年造林面积指标大幅上升,导致资源环境承载力指数上升速率快于经济发展水平指数上升速率,两者差距变大,所以耦合度下降;2014年由于人口增长及造林面积的大幅度减少导致资源环境承载力指数骤降,两者差距变小,耦合度上升;2015—2016年承载力指数快速增长,导致耦合度有所降低;2017年由于人口压力使得承载力指数下降并且发展水平指数首次高于承载力指数,两者接近,

耦合度达到最高;2017 年以后,经济发展水平指数高于资源环境承载力指数,合肥市加大创新发展的同时重视生态文明建设,经济快速发展的同时资源环境承载力也不断增强,耦合度数值变化较小。

表 4 合肥市资源环境承载力指数与经济发展水平指数比值

时间	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
$F_1/F_2$	1.5104	1.6326	1.7349	1.317	1.1041	1.191	0.9866	0.7957	0.7934	0.8026

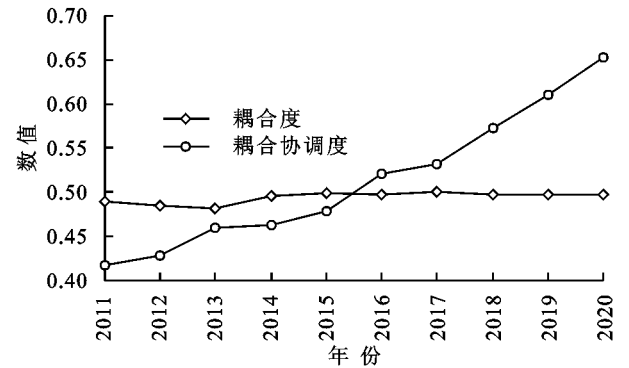


图 2 合肥市资源环境承载力与经济发展水平耦合度、耦合协调度

由图 2 和表 4 可知,2011—2020 年合肥市资源环境承载力和经济发展水平的耦合协调度为 0.42~0.65,呈现上升趋势,经历了从轻度失调到低水平协调再到良好协调发展的过程,说明 10 年间两者的耦合协调度在不断改善。具体来看,2011—2015 年,耦合协调度处于轻度失调发展阶段,其中 2011—2014 年的  $F_1/F_2>1.2$ ,表明资源环境状况优于经济发展水平,属经济发展损益型,2015 年  $F_1/F_2=1.1041$ ,是介于 0.8~1.2 的磨合型,说明两者耦合协调度在变好;2016—2018 年,耦合协调度处于低水平协调发展阶段,其中 2016—2017 年,  $0.8<F_1/F_2<1.2$ ,耦合发展类型是同步型,两者进入同步发展阶段,到 2018 年,  $F_1/F_2<0.8$ ,说明经济发展水平已经高于资源环境承载力,耦合类型由同步型变为资源环境滞后型,主要原因是这段时间合肥市大力投入科技创新,使得经济快速发展;2019 年、2020 年耦合协调度分别为 0.610 8、0.652 5,达到良好协调发展阶段,耦合类型分别是经济发展主导型、同步型,这是因为合肥市在创新发展时注重走可持续发展道路,使得资源环境和经济发展两者相互促进带动。

3.3 障碍因素诊断

3.3.1 资源环境承载力障碍因素诊断 通过障碍因素诊断模型(式 8)计算得出 2011—2020 年合肥市资源环境承载力要素层各要素(图 3)及指标层各指标障碍度,由于指标较多,参考相关研究<sup>[25]</sup>选取 2011—2020 年每年障碍度排序前五的指标作为合肥市资源环境承载力的主要障碍因素,具体见表 5。

3.2.2 耦合协调度分析 根据式(6)和式(7)计算资源环境承载力与经济发展水平之间的耦合协调度数值(图 2),计算资源环境承载力指数与经济发展水平指数值的比值(表 4),确定其耦合协调度等级类型。

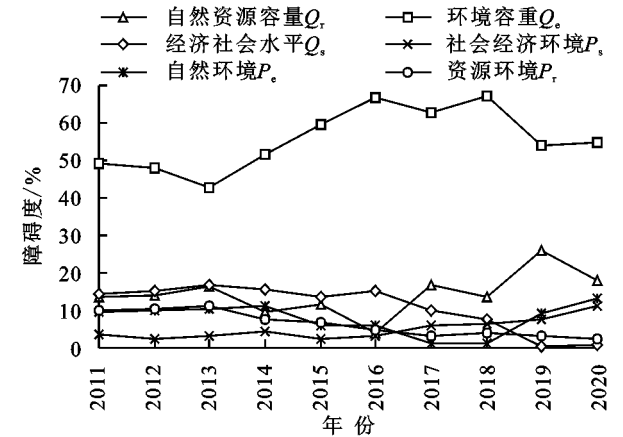


图 3 2011—2020 年合肥市资源环境承载力要素层障碍度

表 5 2011—2020 年合肥市资源环境承载力的主要障碍因素及其障碍度

时间	障碍因素(障碍度)排序				
	1	2	3	4	5
2011	$x_7$ (14.88%)	$x_6$ (12.47%)	$x_5$ (11.38%)	$x_3$ (10.65%)	$x_8$ (9.17%)
2012	$x_7$ (16.11%)	$x_6$ (12.93%)	$x_3$ (11.34%)	$x_8$ (9.65%)	$x_5$ (9.21%)
2013	$x_7$ (19.28%)	$x_3$ (14.19%)	$x_6$ (10.58%)	$x_{11}$ (10.24%)	$x_8$ (10.12%)
2014	$x_7$ (19.05%)	$x_{11}$ (9.95%)	$x_6$ (9.84%)	$x_8$ (9.15%)	$x_3$ (9.01%)
2015	$x_7$ (14.30%)	$x_5$ (12.70%)	$x_9$ (12.05%)	$x_3$ (9.52%)	$x_8$ (9.27%)
2016	$x_5$ (17.10%)	$x_7$ (13.90%)	$x_9$ (12.72%)	$x_6$ (10.08%)	$x_{11}$ (9.69%)
2017	$x_5$ (22.33%)	$x_9$ (14.80%)	$x_3$ (13.65%)	$x_6$ (7.32%)	$x_{11}$ (7.23%)
2018	$x_5$ (21.85%)	$x_9$ (15.95%)	$x_3$ (10.06%)	$x_8$ (7.52%)	$x_7$ (7.32%)
2019	$x_3$ (21.84%)	$x_5$ (21.46%)	$x_9$ (11.57%)	$x_4$ (8.46%)	$x_8$ (7.09%)
2020	$x_5$ (28.55%)	$x_2$ (11.75%)	$x_4$ (10.87%)	$x_{19}$ (9.99%)	$x_7$ (8.15%)

由图 3 可以看出,资源环境承载力要素层各要素的障碍度变化较为显著。从障碍度数值来看,2011—2020 年要素层中的环境容量  $Q_e$  的障碍度远超其他要素,一直高于 40%,并于 2018 年达到峰值 66.86%。到 2020 年,环境容量  $Q_e$  的障碍度为 54.82%,而经济社会水平  $Q_s$ 、资源环境  $P_r$  的障碍度仅为 0.88%,2.2%;从变化情况来看,经济社会水平  $Q_s$  和资源环境  $P_r$  要素的障碍度呈现下降趋势,而社会经济环境  $P_s$  的障碍度在逐渐上升,其他要素障碍度虽有起伏变化,但整体变化不大。

由表 5 可以发现,2011—2015 年大气污染治理( $x_7$ )居于障碍因素首位,在此期间,2011—2014 年建成区绿化覆盖面积( $x_6$ )波动位于第 2,3 位,人均水

资源( $x_3$ )均出现在前5位。2016—2020年大气污染治理( $x_7$ )逐渐退出前列,被当年造林面积( $x_5$ )取代。纵观整个2011—2020年,排名前5的障碍因素中,其中人均水资源( $x_3$ )、当年造林面积( $x_5$ )和大气污染治理( $x_7$ )出现的频率最高,为80%,其次为建成区绿化覆盖面积( $x_6$ ),为70%,说明这几个指标对资源环境承载力的影响长远,属于长期存在的障碍因素,需要采取持续性的措施加以改善,并且主要都是环境容量 $Q_e$ 要素中的具体指标。

这说明10年来虽然合肥市保持经济稳步增长的同时也在不断改善资源环境承载能力,但环境容量要素越来越制约着资源环境的承载能力,是主要障碍度来源。合肥市目前的环境保护、污染治理、资源高效利用措施政策有待进一步提高。

3.3.2 经济发展水平障碍因素诊断 按照资源环境承载力的障碍度因素诊断方法,对合肥市2011—2020年经济发展水平要素层各要素(图4)及指标层障碍度排序前五指标(表6)的障碍度进行分析。

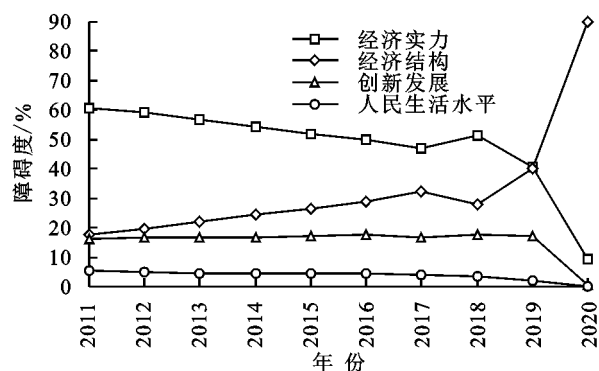


图4 2011—2020年合肥市经济发展水平要素层障碍度

表6 2011—2020年合肥市经济发展水平的  
主要障碍因素及其障碍度

时间	障碍因素(障碍度)排序				
	1	2	3	4	5
2011	$y_8$ (17.79%)	$y_4$ (15.50%)	$y_5$ (12.80%)	$y_2$ (12.18%)	$y_3$ (11.69%)
2012	$y_8$ (19.19%)	$y_4$ (15.79%)	$y_5$ (12.44%)	$y_2$ (11.54%)	$y_3$ (11.37%)
2013	$y_8$ (20.90%)	$y_4$ (16.38%)	$y_5$ (11.41%)	$y_2$ (11.04%)	$y_3$ (10.20%)
2014	$y_8$ (22.66%)	$y_4$ (17.04%)	$y_5$ (10.97%)	$y_2$ (9.90%)	$y_9$ (9.83%)
2015	$y_8$ (22.83%)	$y_4$ (16.24%)	$y_5$ (11.41%)	$y_9$ (9.70%)	$y_2$ (8.41%)
2016	$y_8$ (22.67%)	$y_4$ (16.32%)	$y_5$ (12.62%)	$y_9$ (10.32%)	$y_1$ (7.62%)
2017	$y_8$ (23.13%)	$y_4$ (16.53%)	$y_5$ (11.59%)	$y_9$ (10.52%)	$y_3$ (7.65%)
2018	$y_4$ (21.21%)	$y_6$ (13.10%)	$y_7$ (12.13%)	$y_5$ (10.96%)	$y_9$ (10.10%)
2019	$y_4$ (25.97%)	$y_6$ (20.27%)	$y_7$ (18.36%)	$y_9$ (12.73%)	$y_5$ (8.25%)
2020	$y_7$ (45.42%)	$y_6$ (44.57%)	$y_1$ (9.51%)	$y_{11}$ (0.51%)	—

注:“—”表示指标障碍度为0。

由图4可知,2011—2020年经济发展水平要素层中经济实力、创新发展、人民生活水平要素的障碍

度整体呈现下降趋势,而经济结构要素的障碍度不断增加,并于2020年达到峰值。2017—2020年经济实力、经济结构要素的障碍度发生较大波动,是因为合肥市改革创新、调整产业结构等措施导致第三产业比重大大增加,所以2018年经济结构障碍度减少而经济实力障碍度增加。

从表6指标层排名前5的障碍因素来看,2011—2017年第三产业占GDP的比重( $y_8$ )居于障碍因素首位,在此期间,社会消费品零售总额( $y_4$ )位于第2位,规模以上工业增加值( $y_5$ )位于第3位,2011—2014年地方财政收入( $y_2$ )位于第4位,2015—2017年三种专利申请授权量( $y_9$ )位于第4位。2018—2020年,第三产业占GDP的比重( $y_8$ )退出主要障碍因素行列。近年来,随着合肥市对科技创新的大力投入,主要障碍因素从经济实力要素中各具体指标逐渐转变为经济结构要素中的各指标因素,特别是第一产业占GDP的比重( $y_6$ )、第二产业占GDP的比重( $y_7$ )的障碍度呈现扩大趋势,需要着重关注。

以上可以看出制约合肥市经济发展水平的障碍因素主要来源于经济实力和经济结构要素。虽然研究时段的合肥市经济持续快速增长,但是其经济结构不合理问题亟需解决,并且经济增长方式和经济发展质量都有待进一步提高。

3.3.3 资源环境与经济协调发展障碍要素诊断 资源环境承载力与经济发展水平相互影响,通过对资源环境承载力和经济发展水平的障碍因素进行识别分析,可以得出影响资源环境与经济协调发展的障碍要素为环境容量、经济实力和经济结构要素。这也是合肥市想要走可持续发展道路,实现健康的经济发展与生态文明建设模式所必须要考虑的问题关键所在。

## 4 结论

基于已有研究,本研究综合运用层次分析法、熵权法以及状态空间法模型测算了合肥市2011—2020年的资源环境承载力和经济发展水平,并采用耦合模型分析了两者的耦合情况及协调发展程度,最后结合障碍度模型识别了合肥市资源承载力和经济发展水平协调发展的主要障碍因素。研究结果表明:

(1)从资源环境承载力和经济发展水平指数来看,2011—2020年资源环境承载力指数呈现波浪式上升趋势,由0.4267增加到0.7628,经济发展水平指数不断增长并于2017年开始高于资源环境承载力指数,其指数值处于0.2825~0.9503之间。说明合

合肥市资源环境承载力和经济发展水平在不断增强。

(2) 从耦合度和耦合协调度来看,耦合度数值在0.48~0.50之间,数值较低,演变趋势较为平缓,耦合协调度水平处于0.42~0.65之间,呈现上升趋势。合肥市资源环境承载力和经济发展水平耦合度类型属于拮抗状态,耦合协调水平经历了从轻度失调到低水平协调再到良好协调发展的过程。耦合协调类型以经济发展损益型、磨合型、同步型、资源环境滞后型、经济发展主导型为主。说明10年间合肥市资源环境承载力与经济发展水平的耦合度虽然不高,但是耦合协调度水平在不断提高。

(3) 从障碍因素来看,2011—2020年,合肥市资源环境承载力主要障碍因素为当年造林面积、建成区绿化覆盖面积、大气污染治理和人均水资源,呈现阶段化趋势,并主要属于环境容量要素;经济发展水平的主要障碍因素有第三产业占GDP的比重、社会消费品零售总额、规模以上工业增加值、地方财政收入等经济实力和经济结构要素中的各指标因子,并且从近年来的要素层障碍因素变化可以发现合肥市经济结构趋于不合理的发展态势,需着重关注。以此可以得出制约资源环境与经济协调发展的主要障碍要素为环境容量、经济实力和经济结构要素。

资源环境承载力与经济发展水平都是复杂的系统工程,合理的指标体系对研究会产生重要影响,因统计口径、资料数据、研究方法等的限制,本研究的指标体系不够健全,有待进一步优化。而且资源环境承载力与经济发展水平之间的协调关系十分复杂,二者都包含复杂的子系统,其内部耦合关系仍然有待进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 谭琨,严直慧,赵祖军,等.基于模糊评价的喀斯特山区文山市资源环境承载力评价[J].水土保持研究,2021,28(1):218-227.
- [3] 傅鸿源,胡焱.城市综合承载力研究综述[J].城市问题,2009,166(5):27-31.
- [4] 任祁荣,于恩逸.甘肃省生态环境与社会经济系统协调发展的耦合分析[J].生态学报,2021,41(8):2944-2953.
- [5] Bradford D F, Fender R A, Shore S H, et al. The Environmental Kuznets Curve: Exploring a Fresh Specification[J]. The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy, 2005,4(1):1-30.
- [6] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a north american free trade agreement[J]. Cepr Discussion Papers, 1992,8(2):223-250.
- [7] 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.
- [8] 张晓东,池天河.90年代中国省级区域经济与环境协调度分析[J].地理研究,2001,20(4):506-515.
- [9] 谷国锋,王雪辉.东北地区经济发展与生态环境耦合关系时空分析[J].东北师大学报:哲学社会科学版,2018,294(4):154-160.
- [10] 张进.华北地区农业资源环境与经济增长协调性分析[J].中国农业资源与区划,2020,41(4):27-33.
- [11] 赵雪雁.甘肃省经济发展与环境质量的交互耦合关系[J].干旱区资源与环境,2008,22(6):1-7.
- [12] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
- [13] 程超,童绍玉,彭海英.滇中城市群经济发展水平与资源环境承载力的脱钩分析[J].中国农业资源与区划,2017,38(3):121-130.
- [14] 蒋溢.绵阳市生态环境与经济协调发展研究[J].中国农业资源与区划,2017,38(3):131-135.
- [15] 杨亮洁,杨永春.甘肃省资源环境承载力时空分异[J].生态学报,2017,37(20):7000-7017.
- [16] 何秋萍.珠江资源环境承载力指标体系构建[J].中国农业资源与区划,2018,39(7):99-105.
- [17] 刘金花,郑璐,董光龙,等.平原地区资源环境承载力评价与短板要素分析:以山东省平原县为例[J].中国农业资源与区划,2019,40(2):79-88.
- [18] 张引,杨庆媛,闵婕.重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J].地理学报,2016,71(5):817-828.
- [19] 袁久和,祁春节.基于熵值法的湖南省农业可持续发展能力动态评价[J].长江流域资源与环境,2013,22(2):152-157.
- [20] 余丹林,毛汉英,高群.状态空间衡量区域承载状况初探:以环渤海地区为例[J].地理研究,2003,22(2):201-210.
- [21] 丁宇,张雷,马听琳.山地城镇化与资源环境承载力耦合协调发展的时空演变[J].环境科学研究,2022,35(2):592-600.
- [22] 王志芳,李婷,高伟明.河北省沿海地区海洋资源环境承载力与经济发展水平耦合分析[J].海洋湖沼通报,2021,43(6):58-65.
- [23] 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.
- [24] 郑力燕,毕相东,宋伦,等.基于熵值-突变级数法的环渤海地区海洋生态环境承载力评价及障碍因子诊断[J].海洋通报,2018,37(5):591-600.
- [25] 刘志有,曲秀武,魏冉,等.生态文明视角下的伊犁河谷绿洲土地生态安全评价及障碍因子诊断[J].水土保持通报,2022,42(1):137-143.