

引用格式: 刘建华, 黄亮朝, 左其亭. 黄河下游经济-人口-资源-环境和谐发展水平评估[J]. 资源科学, 2021, 43(2): 412-422.  
[Liu J H, Huang L C, Zuo Q T. Evaluation of harmonious development of economy-population-resource-environment in the lower reaches of the Yellow River[J]. Resources Science, 2021, 43(2): 412-422.] DOI: 10.18402/resci.2021.02.18

# 黄河下游经济-人口-资源-环境和谐发展水平评估

刘建华<sup>1,2</sup>, 黄亮朝<sup>1</sup>, 左其亭<sup>2,3</sup>

(1. 郑州大学管理工程学院, 郑州 450001; 2. 郑州大学黄河生态保护与区域协调发展研究院, 郑州 450001; 3. 郑州大学水科学研究中心, 郑州 450001)

**摘要:**随着工业化和城镇化的快速推进,黄河下游经济、人口、资源、环境关系复杂,矛盾日益突出,定量评估其和谐发展水平对黄河下游高质量发展具有重要意义。本文从经济、人口、资源、环境4方面构建和谐发展水平评估指标体系;采用“单指标量化-多指标综合-多准则集成”评价方法(SMI-P方法),评估黄河下游河南、山东沿黄17个城市2010—2018年经济-人口-资源-环境和谐发展水平;利用雷达图、箱线图分析其时间变化过程,利用Kriging插值法分析其空间变化过程。结果表明:①黄河下游总体和谐水平不高,但逐年稳步提升;经济子系统发展指数最高,环境子系统次之,人口和资源子系统发展指数较低;②和谐发展水平的空间分布,呈现以郑州和济南为中心的高水平聚集区、两省交界城市的低水平聚集区,其他地区为中等水平。最后,结合黄河下游特征,根据不同的聚集区分析其和谐发展过程中的优劣态势,并从结构调整的角度提出促进黄河下游和谐发展的建议。本文旨在通过量化黄河下游经济-人口-资源-环境和谐发展水平,为黄河下游和谐发展提供数据支持和政策建议。

**关键词:**经济-人口-资源-环境;和谐发展;评估体系;量化方法;时空变化;黄河下游

DOI: 10.18402/resci.2021.02.18

## 1 引言

2019年9月18日,习近平总书记在河南考察期间提出黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略。黄河是中国的重要生态屏障和经济带,2018年黄河下游河南、山东两省人口和经济总量分别占全流域的46.8%和52.2%,推进黄河下游生态保护和高质量发展对整个黄河流域乃至全国都具有重要意义。近年来,随着城镇化、工业化快速发展,资源与环境的消耗不断加重,水资源短缺、空气污染、水土侵蚀、土壤流失等问题导致生态逐渐失衡,与经济之间的矛盾凸显。某种意义上讲,高质量发展最稳定的状态就是和谐,即系统内各类因素按照一定的规则,达到一种最佳平衡状态。和谐度是对和谐

发展水平的一种度量,是对各个子系统之间相互联系、相互协调状况的一种量化判别与检验<sup>[1]</sup>。黄河流域高质量发展涉及到经济、人口、资源、环境等子系统,这些子系统的和谐水平决定各个地区的发展质量。

国内外学者对经济-人口-资源-环境和谐发展从不同角度开展了研究。学者们采用不同方法构建评价指标体系进行研究,包括物理耦合模型<sup>[2]</sup>、主成分分析法<sup>[3]</sup>、TOPSIS模型<sup>[4]</sup>、系统动力学模型<sup>[5]</sup>、因子分析法<sup>[6]</sup>、协调度模型<sup>[7]</sup>等,其中协调度模型能直观反映出各个因素之间的影响程度,一些学者采用了双系统乃至多系统对不同区域经济-人口-资源-环境和谐发展水平进行了研究。如Moll等<sup>[8,9]</sup>分析

收稿日期: 2019-12-31; 修订日期: 2020-05-05

基金资助: 河南省软科学重大项目(212400410002); 国家自然科学基金项目(51779230); 中国工程院重大咨询项目(2021-149-1-5)。

作者简介: 刘建华,男,河南郑州人,博士,教授,研究方向为区域经济。E-mail: ljh@zzu.edu.cn

通讯作者: 黄亮朝,男,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为区域经济。E-mail: hlc@gs.zzu.edu.cn

了资源环境与经济发展的直接关系,并对其协调性进行测算评价;刘建华等<sup>[10,11]</sup>对资源环境承载力与经济发展之间的关系进行时空差异分析;Raza<sup>[12]</sup>从宏观经济方面论证了人口变化对经济增长具有轻微的正向效应;付娇等<sup>[13]</sup>研究了甘肃省人口与经济耦合特征;郭唯等<sup>[14]</sup>对河南省人口、水资源与经济间的和谐水平进行时空变换分析。在黄河流域生态保护和高质量发展方面,左其亭等<sup>[15,16]</sup>从资源-环境-经济和谐发展的角度提出黄河流域生态保护和高质量发展研究框架,且基于人水和谐的角度提出一套跨界河流分水计算方法,测算得出黄河分水新方案;任保平<sup>[17]</sup>根据“共同抓好大保护、协同推进大治理”的思路,提出从经济发展、生态保护和基础设施建设三方面协同推进黄河流域高质量发展;金凤君<sup>[18]</sup>提出以三大资源-经济-生态协调发展区域、七大人-产业-城镇重点聚集城市群为基本框架,协调推进黄河流域生态保护和高质量发展;刘建华等<sup>[19,20]</sup>提出黄河流域生态保护和高质量发展协同推进准则及量化指标体系,且对黄河下游水资源利用与经济高质量发展关联水平进行评估;张金良<sup>[21]</sup>从水生态系统和经济社会协调发展的角度制定协同管理体制框架,以促进流域和谐发展。

综上所述,国内外学者对经济-人口-资源-环境等方面的和谐发展已有一定研究基础,提出了协同度、耦合度、匹配度、和谐度等计算方法,但尚未形成统一的量化标准和度量方法;对黄河流域生态保护和高质量发展和谐发展的研究大多为2个系统或者3个系统的理论探讨和实例分析,针对经济-人口-资源-环境4个系统和谐发展的定量研究较少,单一地强调多系统相互促进、和谐发展,缺乏基于综合理论分析、构建指标体系、提出量化方法的系统和和谐量化理论研究。黄河下游河南、山东两省人口密集、资源消耗量大、环境污染严重,研究其经济-人口-资源-环境之间的和谐关系,对促进黄河下游乃至整个黄河流域生态保护和高质量发展意义重大。因此,本文从经济、人口、资源、环境4个方面构建和谐发展水平评估指标体系,确定黄河下游河南、山东沿黄17个城市2010—2018年经济-人口-资源-环境指标节点特征值,采用“单指标量化-多指标综合-多准则集成”评价方法(SMI-P方法)计算其总体和谐度,并分析其时空变化过程。

## 2 指标选取与评估方法

### 2.1 和谐评估指标体系构建

不同学者对和谐发展的理解不同,构建评价指标体系的角度也不尽相同。郭唯等<sup>[14]</sup>从水资源的角度出发,构建了人口、水资源、经济3个子系统层面的和谐发展评价指标;阿里木江·阿不来提等<sup>[22]</sup>从经济、人口、资源、环境4个维度建立新疆和谐发展评价指标体系;张彩霞等<sup>[23]</sup>从人口、环境、资源、社会经济及外部系统5个维度建立了区域PERD指标体系。黄河流域生态保护评价指标研究方面,乔飞等<sup>[24]</sup>从水资源供给、径流调节、洪水调蓄3个维度建立了三江源区水源涵养表征指标;胡春宏等<sup>[25]</sup>从泥沙量、径流量、植被覆盖程度、梯田、淤地坝5个维度分析了黄土高原水土流失状况;翟俊等<sup>[26]</sup>从国土空间、湿地和岸线、植被、水沙、物种5个维度评价了黄河三角洲的生态状况。关于高质量发展评价指标,多数研究基于五大发展理念<sup>[27]</sup>、经济学内涵<sup>[28]</sup>、社会矛盾变化<sup>[29]</sup>等角度展开;黄河流域高质量发展测度方面,师博<sup>[30]</sup>从发展基本面、生态成果、社会成果3个维度测算了黄河流域中心城市高质量发展水平;徐辉等<sup>[31]</sup>从经济发展、创新驱动、民生改善、环境状况、生态状况5个维度测算了黄河流域高质量发展水平并进行了时空分析。

在参考已有理论成果的基础上,本文依据科学性、系统性、适用性、可操作性等原则,基于区域和谐理论<sup>[1]</sup>,提出由目标层、子系统层、分类层、指标层4个层次组成的区域和谐量化评估指标体系,如表1所示。为便于指标的标记和选用,所有指标均采用Xabc格式的编码。其中X代表指标,即所有的指标编码均以X开头;a代表4个子系统层,分别用1、2、3、4代表经济子系统、人口子系统、资源子系统和环境子系统;b代表各个子系统层对应的分类层;c代表各个分类层对应的指标层。

经济、人口、资源与环境4个方面是黄河流域生态保护和高质量发展能否和谐推进的关键。因此,分别将经济、人口、资源与环境作为4个子系统,衡量其和谐水平。①经济子系统从经济基础、创新驱动、开放合作3个方面来衡量。经济基础层面用人均GDP反映经济发展程度,人均财政收入反映经济调控能力,经济波动率反映经济稳定性;此外,黄河下游是中国重要粮食生产区,承担保障国家粮食安

表1 经济-人口-资源-环境和谐量化评估指标体系

Table 1 Quantitative evaluation index system of the harmonious development of economy-population-resource-environment

目标层	子系统层	分类层	指标	单位	方向	编号
经济-人口-资源-环境和谐发展指数	经济子系统	经济基础	人均GDP	元/人	正向	X111
			人均财政收入	元/人	正向	X112
			经济波动率	%	逆向	X113
			亩均粮食产量	kg/亩	正向	X114
		创新驱动	研发强度	%	正向	X121
			万人从业人员中R&D人员数	人	正向	X122
			万人发明专利授权量	件	正向	X123
			万人发明专利授权量	件	正向	X123
		开放合作	对外贸易依存度	%	正向	X131
			外商直接投资依存度	%	正向	X132
	人口子系统	人口数量	人口密度	人/km <sup>2</sup>	逆向	X211
			人口自然增长率	‰	逆向	X212
			城镇化率	%	正向	X213
		人口质量	城乡人均收入比	无量纲	逆向	X221
			恩格尔系数	%	逆向	X222
			城镇登记失业率	%	逆向	X223
			人均教育经费	元/人	正向	X224
		资源条件	人均水资源量	m <sup>3</sup> /人	正向	X311
			人均公园绿地面积	m <sup>2</sup> /人	正向	X312
			人均耕地面积	hm <sup>2</sup> /人	正向	X313
	资源子系统	资源利用	人均用水量	m <sup>3</sup> /人	逆向	X321
			万元GDP水耗	m <sup>3</sup> /万元	逆向	X322
			万元GDP能耗	t标准煤/万元	逆向	X323
		环境污染	万元工业增加值SO <sub>2</sub> 排放量	kg/万元	逆向	X411
			万元工业增加值烟(粉)尘排放量	kg/万元	逆向	X412
			万元工业增加值废水排放量	t/万元	逆向	X413
			PM2.5均值	μg/m <sup>3</sup>	逆向	X414
		环境治理	城市建成区绿化覆盖率	%	正向	X421
			生活垃圾无害化处理率	%	正向	X422
			固体废弃物综合利用率	%	正向	X423
			城市污水处理率	%	正向	X424

全的重任,故用亩均粮食产量反映经济高质量发展的保障能力。创新驱动层面分为研发投入和研发产出,其中,研发投入用研发强度、万人从业人员中R&D(Research and Development)人员数来衡量,研发产出用万人发明专利授权量来衡量。开放合作层面包括国际市场的依赖程度、经济发展依赖外商直接投资的程度,分别用对外贸易依存度和外商直接投资依存度来衡量。②人口子系统从人口数量和人口质量两方面来体现,其中,人口数量指标使用人口密度、人口自然增长率和城镇化率,人口质量指标使用城乡人均收入比、恩格尔系数、城镇登记失业率和人均教育经费来体现。③资源子系统

主要体现在人与自然资源的和谐,从资源条件和资源利用两方面来衡量。用人均水资源量、人均公园绿地面积和人均耕地面积反映资源条件状况。用人均用水量、万元GDP能耗、万元GDP水耗反映资源利用状况。④环境子系统从环境污染和环境治理两方面体现。选取万元工业增加值SO<sub>2</sub>排放量、万元工业增加值烟(粉)尘排放量、万元工业增加值废水排放量和PM2.5均值4个指标反映环境污染状况。用城市建成区绿化覆盖率、生活垃圾无害化处理率、固体废弃物综合利用率和城市污水处理率4个指标反映环境治理状况。

对于指标的方向性,需同时考虑研究区域的实



2021年2月

际情况及指标的特性。城镇化率、人口自然增长率、人口密度等指标理论上应为双向指标,但考虑到河南、山东两省是人口大省、劳动力密集,因此本文将其看作单项指标。

## 2.2 和谐发展水平定量评估方法

引入经济-人口-资源-环境和谐发展指数(Economy- Population- Resource- Environment Harmony Development Index, EPREHI)来衡量经济子系统、人口子系统、资源子系统和环境子系统之间作用关系的变化。EPREHI由经济子系统发展指数(Economy System Development Index, ESDI)、人口子系统发展指数(Population System Development Index, PSDI)、资源子系统发展指数(Resources System Development Index, RSDI)、环境子系统发展指数(Environment System Development Index, ESDI)4个准则层构成,取值范围为[0, 1]。

左其亭等<sup>[32]</sup>提出了一种基于多指标-多准则的人水和谐定量评价方法——SMI-P方法,该方法以和谐理论及数学模型为依据,已在测算河南省人口-水资源-经济和谐发展<sup>[14]</sup>以及黄河流域生态保护和高质量协同发展<sup>[19]</sup>中进行了验证,因此本文采用SMI-P方法来进行和谐发展指数计算。具体步骤如下:①单指标量化。采用分段模糊隶属度分析法,通过分段函数,将各指标统一映射到[0, 1]上。根据指标与和谐度的关系,将其分为正向指标和逆向指标。指标函数分为5段,各个指标有5个特征值:最差值、较差值、及格值、较优值、最优值,对应的和谐度分别为0、0.3、0.6、0.8、1。②多指标综合。针对经济、人口、资源、环境4个子系统层,采用多指标加权平均综合计算的方法,综合评估经济、人口、资源、环境4个子系统和谐发展指数。③多准则集成。由经济、人口、资源、环境4个子系统和谐发展指数,采用加权平均综合计算得到整体和谐度。按整体和谐度数值大小,进行定性描述等级划分,参照文献<sup>[32]</sup>划分为7类:完全不和谐、基本不和谐、较不和谐、接近和谐、较和谐、基本和谐、完全和谐。

## 3 研究区域与数据处理

### 3.1 研究区域

地域上黄河下游从郑州市桃花峪开始划分,但考虑到河南省经济社会发展及中原城市群建设的统一布局,故将黄河中游河南区域的三门峡、洛阳、

济源3市也列入研究区域。因此,本文研究区域为河南、山东两省沿黄共计17个省辖市,分别为三门峡、济源、焦作、洛阳、郑州、新乡、开封、濮阳、菏泽、济宁、泰安、聊城、济南、德州、滨州、淄博、东营,如图1所示,将黄河下游划分为17个计算分区对2010—2018年的经济-人口-资源-环境和谐发展状况进行量化评估。

### 3.2 数据来源

各指标数据主要来源于《河南省统计年鉴》《河南省水资源公报》《河南省环境统计年报》《山东省统计年鉴》《山东省水资源公报》《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴、水资源公报、水资源规划及各城市统计局、环保局相关单位公报。部分缺失数据采用相邻年份均值或插值法填充。

### 3.3 数据处理

指标数据收集完成后,需要确定各指标的特征值。结合黄河下游各城市数据及指标的正负向,根据2.2小节所选方法确定各个指标的5个特征值(表2)。其中,以各地区各指标多年平均值作为及格值;最高值扩大10%作为最优值,其中达到100%的百分比指标不再扩大;最低值缩小10%作为最差值;较差值和较优值采用插值法确定<sup>[32]</sup>。

量化评估结果的准确性与指标权重的科学性、合理性紧密相关。权重作为各指标重要程度的反映,要确保其客观准确性。本文分别采用熵值法和变异系数法两种方法来确定各个指标的权重,然后用两种方法得出权重的算数平均值来确定最终权重。黄河下游2010—2018年各指标权重计算结果

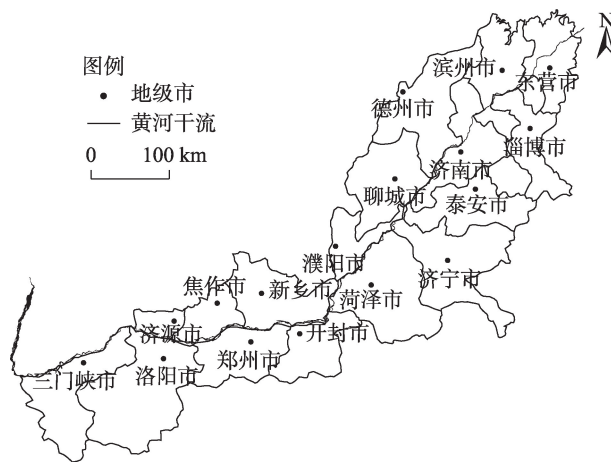


图1 研究区域图

Figure 1 The study area

表2 量化指标节点特征值与指标权重

Table 2 Characteristic values of quantitative indicator nodes and weights of indicators

指标编号	最差值	较差值	及格值	较优值	最优值	熵值法	变异系数法	综合权重
X111	13345.86	35839.04	58332.22	134734.21	211136.20	0.0231	0.0286	0.0259
X112	712.12	2453.54	4194.97	8348.80	12502.62	0.0338	0.0347	0.0342
X113	40.35	22.84	5.33	2.68	0.04	0.0674	0.0522	0.0598
X114	187.42	329.68	471.94	664.21	865.47	0.0297	0.0311	0.0304
X121	0.33	1.01	1.68	2.39	3.09	0.0295	0.0320	0.0307
X122	7.99	35.40	62.81	145.42	228.02	0.0470	0.0423	0.0447
X123	0.01	0.45	0.89	4.23	7.58	0.0513	0.0420	0.0467
X131	1.06	6.87	12.68	33.06	53.44	0.0513	0.0418	0.0465
X132	0.12	1.01	1.89	3.87	5.86	0.0677	0.0509	0.0593
X211	16560.50	10410.94	4261.37	2397.99	534.60	0.0147	0.0229	0.0188
X212	20.92	13.57	6.21	3.20	0.19	0.0178	0.0244	0.0211
X213	19.13	35.09	51.05	65.88	80.72	0.0465	0.0400	0.0433
X221	3.42	2.87	2.33	1.97	1.61	0.0140	0.0234	0.0187
X222	48.16	39.52	30.88	22.00	13.12	0.0264	0.0324	0.0294
X223	4.52	3.72	2.91	2.07	1.23	0.0194	0.0259	0.0227
X224	351.49	887.11	1422.73	2324.40	3226.07	0.0277	0.0307	0.0292
X311	64.02	176.39	288.76	796.47	1304.19	0.0213	0.0275	0.0244
X312	4.70	9.37	14.04	22.75	31.46	0.0258	0.0294	0.0276
X313	0.03	0.05	0.08	0.11	0.13	0.0465	0.0417	0.0441
X321	628.46	466.88	305.30	231.99	158.69	0.0508	0.0429	0.0469
X322	223.86	144.84	65.82	41.72	17.62	0.0357	0.0367	0.0362
X323	1.88	1.33	0.78	0.47	0.16	0.0521	0.0425	0.0473
X411	72.58	39.93	7.29	3.71	0.13	0.0508	0.0414	0.0461
X412	14.43	8.56	2.69	1.40	0.11	0.0412	0.0407	0.0409
X413	79.34	45.32	11.30	6.06	0.82	0.0311	0.0315	0.0313
X414	92.83	76.12	59.42	41.58	23.75	0.0106	0.0188	0.0147
X421	26.94	33.89	40.83	46.21	51.59	0.0112	0.0194	0.0153
X422	51.85	74.49	97.13	98.56	100.00	0.0247	0.0276	0.0261
X423	29.59	57.68	85.77	92.88	100.00	0.0076	0.0165	0.0121
X424	48.08	70.52	92.95	96.48	100.00	0.0231	0.0286	0.0259

见表2。由于权重是根据山东、河南两省各城市各指标的最大值、最小值来确定的,因此计算结果为黄河下游各城市和谐度的相对水平。

依据SMI-P方法,运用Matlab计算2010—2018年黄河下游各城市经济子系统发展指数、人口子系统发展指数、资源子系统发展指数、环境子系统发展指数,再根据权重加权计算出总的和谐度。采用折线图、箱线图、雷达图进行和谐度时间变化分析。通过ArcGIS软件对各城市和谐度空间分布状况进行可视化分析,采用Kriging插值法进行空间跨区域分析,空间分析均根据ArcGIS软件中的Jenks自然断裂法进行分类。

4 结果与分析

4.1 时间变化分析

(1)黄河下游总体和谐发展水平。从表3可以看出,2010—2018年黄河下游和谐发展水平整体呈现稳定上升趋势,总体和谐度从2010年的0.482增加到2018年的0.675,由“接近和谐”向“较和谐”转变。但整体和谐水平不高,说明黄河下游城市的经济、人口、资源、环境之间的不和谐关系还是比较突出的。对比2010—2018年经济、人口、资源、环境4个子系统发展指数,作趋势图如图2所示。整体来看,4个子系统发展指数都呈上升趋势,经济子系统发展指数最高,环境子系统次之,人口和资源子系

2021年2月

表3 2010—2018年黄河下游及各城市总体和谐度计算结果

Table 3 Overall harmonious development degree calculation results of the lower reaches of the Yellow River and their cities, 2010-2018

地区	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
黄河下游	0.482	0.533	0.558	0.583	0.589	0.608	0.633	0.659	0.675
郑州市	0.524	0.585	0.607	0.658	0.657	0.680	0.709	0.727	0.750
开封市	0.388	0.430	0.487	0.516	0.534	0.559	0.609	0.632	0.641
洛阳市	0.455	0.497	0.544	0.547	0.591	0.608	0.631	0.671	0.668
新乡市	0.457	0.514	0.524	0.565	0.585	0.578	0.618	0.642	0.652
焦作市	0.429	0.498	0.515	0.538	0.570	0.582	0.618	0.670	0.657
濮阳市	0.371	0.435	0.467	0.494	0.526	0.530	0.579	0.608	0.598
三门峡市	0.447	0.486	0.519	0.537	0.541	0.566	0.603	0.651	0.668
济源市	0.465	0.487	0.552	0.551	0.573	0.579	0.609	0.656	0.662
济南市	0.614	0.622	0.646	0.667	0.669	0.669	0.705	0.732	0.756
淄博市	0.578	0.632	0.633	0.655	0.649	0.641	0.648	0.692	0.735
东营市	0.622	0.670	0.693	0.693	0.705	0.700	0.706	0.717	0.742
济宁市	0.492	0.538	0.541	0.584	0.583	0.604	0.630	0.667	0.691
泰安市	0.513	0.541	0.594	0.625	0.621	0.650	0.677	0.686	0.693
德州市	0.459	0.514	0.549	0.563	0.547	0.605	0.602	0.622	0.658
聊城市	0.478	0.526	0.548	0.579	0.560	0.596	0.609	0.612	0.644
滨州市	0.507	0.605	0.580	0.621	0.604	0.635	0.622	0.629	0.650
菏泽市	0.398	0.482	0.482	0.523	0.504	0.552	0.582	0.594	0.613

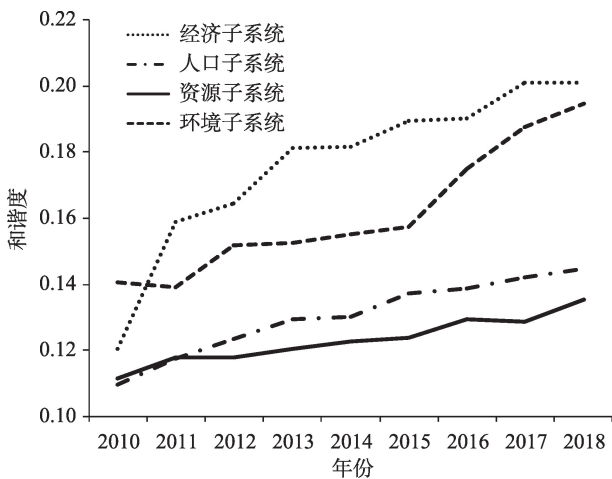


图2 2010—2018年黄河下游各子系统发展指数趋势图

Figure 2 Trend of development index of the subsystems in the lower reaches of the Yellow River, 2010-2018

统发展指数较低。这与该地区人口密度大,资源量较少,存在牺牲环境换取经济发展的实际情况是比较符合的。具体结果为:①经济子系统方面,2010、2011年增长幅度最快,原因可能为2008年金融危机后宏观调控政策产生的经济回暖;2012—2018年增长稍微放缓,其中2018年增长极其微弱,对比2017年和2018年数据发现,主要原因是经济波动率较2017年增高3.1%,平均研发强度降低0.031,万人从

业人员中R&D人员数和万人发明专利授权量也有所下降。②人口子系统方面不断改善,发展指数由2010年的0.110增长到2018年的0.144,其中2010—2013年相对2014—2018年增长幅度较快,主要是由于,相较2014—2018年而言,2010—2013年的城乡人均收入比、恩格尔系数、城镇登记失业率的降低幅度和人均教育经费、城镇化率增加幅度较大。③资源子系统方面,2010—2015年只有小幅度提升,2016—2018年提升幅度稍有改善,这与人均公园绿地面积提高、节水减排技术及水资源利用率的提升使人均用水量、万元GDP能耗、水耗逐渐降低有关。而整体上升幅度不大的主要原因是人与资源环境间的关系尚不协调,人均水资源量指标由2010年的0.576降低至2018年的0.499,人均耕地面积指标由2010年的0.561降低至2018年的0.536。④环境子系统方面,2010—2015年增幅缓慢,2016—2018年增长速度大幅度提升,主要得益于十三五规划的实施,加大了对黄河流域环境的治理与保护,污染排放量大幅度减少,空气质量、生活垃圾无害化处理率、污水处理率等方面有所提高。

(2)黄河下游各城市和谐发展水平。雷达图是对数据系统分析的有效方法,可以直观地看出各年份各地区的变化情况。利用2010、2012、2015、2018

年各城市和谐度数据,按照2018年和谐度大小降序排列,作雷达图展示黄河下游各城市时间变化情况,如图3所示。从图中可以看出,2010年仅济南市处于“较和谐”状态,其余城市和谐度均小于0.6,处于“接近和谐”的状态;2012年,郑州、东营、淄博3市也进入“较和谐”状态;到2018年,除濮阳市外,其余城市都达到了“较和谐”状态。整体而言,各城市的和谐发展水平都在稳步提升,各年份雷达图逐渐趋近圆形,证明各城市和谐发展水平差异逐步减小。

箱线图能够直观反映数据的分散性,是进行数据分析的有效方法。利用箱线图分析2010—2018年各城市和谐度的变化情况,其中每个箱子代表每个年份17个城市的和谐度,如图4所示。2010—2017年,箱线图上边缘至下边缘的距离整体上逐渐减小,表明各城市的差异度逐渐减小,和谐发展水平逐渐趋于稳定;2018年较2017年而言,上边缘至下边缘的距离有所增大,其原因和和谐发展水平最高的济南市增速较快,拉高了最大值,而和谐发展水平最低的濮阳市较上年和谐水平有所降低,拉低了最小值。箱线图上边缘至上四分位数的距离代表和谐度较高的城市,下边缘至下四分位数的距离代表和谐度较低的城市,距离越大,证明集聚性越差。因此可认为,2010—2016年,各城市和谐发展多数集中于较低水平;而2017—2018年,和谐度较

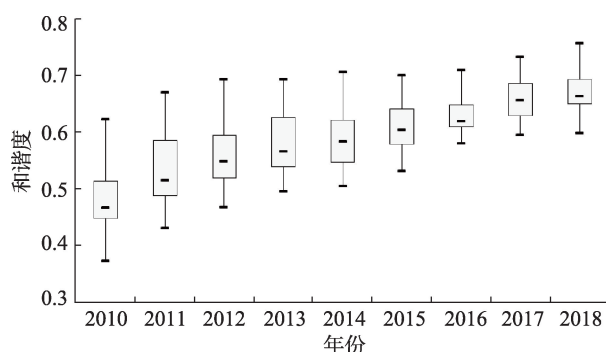


图4 2010—2018年黄河下游各城市和谐度变化箱线图

Figure 4 Time-varying boxplot of harmonious development degree of cities in the lower reaches of the Yellow River, 2010-2018

低的城市逐渐减少,向较高的水平集聚。

## 4.2 空间变化分析

(1)黄河下游各城市和谐度空间分布状况。如图5所示,以2018年为例,由于几乎所有城市都达到了“较和谐”的水平,为便于区分,将2018年和谐度再次细分为4个等级,如图例所示,0.5980~0.6130为和谐水平低,0.6131~0.6680为和谐水平较低,0.6681~0.6930为和谐水平较高,0.6931~0.7560为和谐水平高。

从图5可以看出,黄河下游17个城市中,济南、郑州、东营、淄博4个城市的和谐发展水平较高,菏泽与濮阳的和谐发展水平较低,和谐发展水平呈现正态分布,处于中等水平的城市占比较高。济南、郑州、东营、淄博和谐发展水平高的原因在于:近年来郑州建设国家中心城市,注重生态保护、人才引

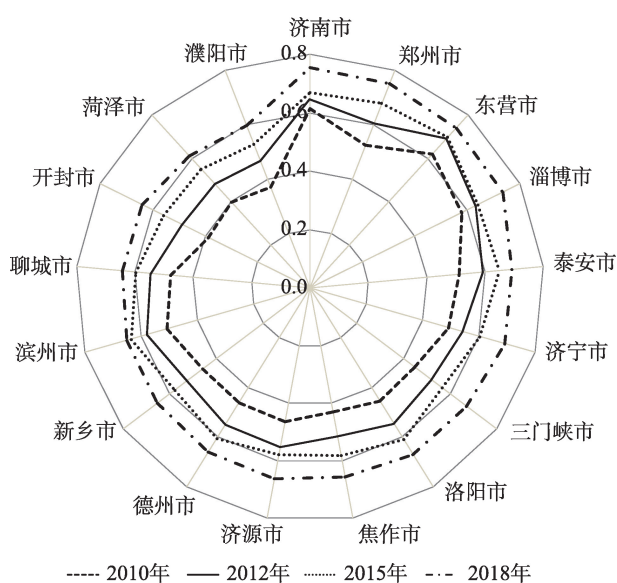


图3 2010—2018年黄河下游各城市和谐度变化雷达图

Figure 3 Time-varying radar chart of harmonious development degree of cities in the lower reaches of the Yellow River, 2010-2018

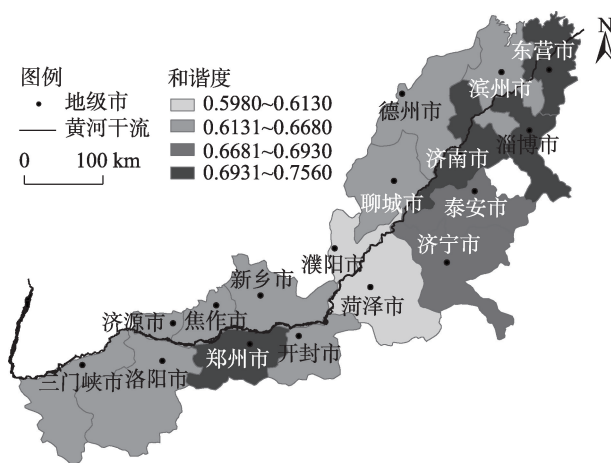


图5 2018年黄河下游各城市和谐度空间分布图

Figure 5 Spatial distribution of harmonious development degree of cities in the lower reaches of the Yellow River, 2018



2021年2月

进和资源高效利用均衡发展;济南作为新旧动能转换综合试验区的核心城市,坚持建设绿色智慧城市,注重和谐发展;东营虽然经济基础落后,但其作为黄河下游入海口的海滨城市,对外开放程度高,同时注重生态发展,交通较为便利,还有着丰富的矿产资源,人口密度较小,2018年人均GDP达到19.19万元,超越多数一线城市;淄博作为山东省重点工业城市,自然资源较为丰富,2018年GDP总量在黄河下游仅次于郑州与济南,研发投入及产出仅次于济南,经济与资源子系统发展指数拉高了其和谐发展水平。对比2010—2018年各城市均值,依旧是济南、郑州、东营、淄博位列前茅,而濮阳与菏泽和谐发展指数分别为0.512、0.525,仍是和谐发展水平最差的城市。濮阳、菏泽处于黄河下游河南与山东交界处,交通基础设施建设落后,目前高铁尚未修通;从4个子系统来分析,濮阳和菏泽经济子系统指数处于黄河下游城市末尾,远低于平均水平,尽管其人口密度适中,但资源有限,城镇化率、人均水资源量较低,导致人口与资源子系统指数也略低于平均水平。

(2)黄河下游各城市和谐度跨区域分析。为打破各市的界限,分析流域和谐发展状况,对2018年各地和谐度进行插值分析,如图6所示。从图中可以看出,空间上整体呈现以郑州、济南为中心的高水平聚集区,菏泽、濮阳为低水平聚集区,其余地区

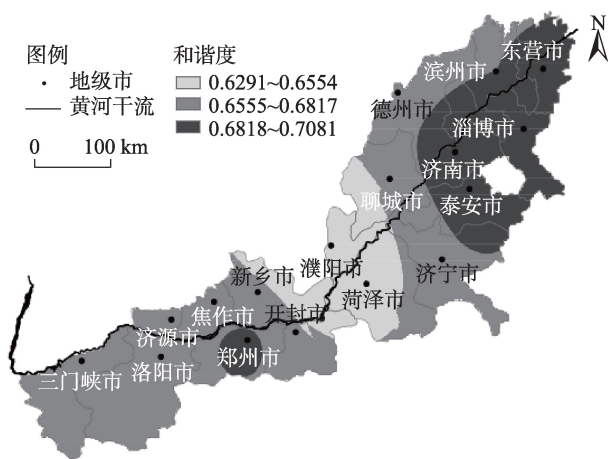


图6 2018年黄河下游各城市和谐度插值分析图

Figure 6 Spatial interpolation result of harmonious development degree of cities in the lower reaches of the Yellow River, 2018

为中等水平聚集区。①济南作为山东的省会城市,对周边的泰安、淄博、东营、滨州等城市和谐发展水平具有辐射带动作用,济南、泰安、淄博、东营、滨州5个城市经济、人口、资源子系统发展指数均值都高于黄河下游平均水平;虽然滨州市的环境污染排放与环境治理状况拉低了5个城市环境子系统均值,但也与黄河下游平均水平基本持平。而郑州作为河南省省会及国家中心城市,其辐射影响范围远不如济南,主要原因为山东省沿海地区对外开放程度高,河南省沿黄城市整体上和谐发展水平不如山东沿黄城市;且区域发展不协调,郑州市对周边城市虹吸效应大于辐射效应,导致郑州市和谐发展指数与周边城市差距较为明显。②河南、山东两省交界处的菏泽、濮阳低水平聚集区,第一产业占比大,城市化水平低,交通不发达,人均水资源量及水资源利用水平偏低,万元GDP能耗和水耗偏高,教育文化及基础设施建设有待提高。应统筹谋划新老基础设施的合理布局,打破行政壁垒和地区分割,共建共享基础设施,实现乡村振兴及美丽乡村建设。③河南省三门峡、洛阳、济源、焦作、新乡、开封及山东省德州、聊城、济宁为中等水平聚集区。其中,位于河南的中等水平聚集区经济、人口、资源子系统发展指数均值均低于黄河下游平均水平,应充分发挥洛阳副中心城市优势,实现洛三济(洛阳、三门峡、济源)一体化,加快郑新、郑焦跨河大桥建设,打造黄河北岸经济带,促进区域经济和谐发展;位于山东的中等水平聚集区经济、环境子系统均值与黄河下游平均水平尚有差距,人口、资源子系统发展情况较为稳定,应大力发展民生事业,强化污染治理,扩大开放,推进携河发展<sup>①</sup>,加快水利、能源、交通等基础设施建设。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

本文采用SMI-P方法,量化评估黄河下游各城市2010—2018年经济-人口-资源-环境和谐发展水平,通过箱线图、雷达图、Kriging插值法等进行时空演变分析。得到结论如下:

(1)黄河下游2010—2018年和谐发展水平整体呈现稳定上升趋势,由“接近和谐”向“较和谐”转变。4个子系统发展指数都呈上升趋势,经济子系

① 济南市第十一次党代会上提出携河发展,意为开启黄河时代,依河发展、跨河发展,不再将黄河作为一条隔断南北的“拦路河”。



统发展指数最高,环境子系统次之,人口和资源子系统发展指数较低。

(2)黄河下游各城市和谐发展水平稳步提升,2010—2016年各城市和谐发展多数集中于较低水平;2017—2018年和谐度较低的城市逐渐减少,向较高的水平集聚。

(3)黄河下游各城市和谐发展水平空间上呈现正态分布,处于中等水平的城市占比较高。郑州和以济南为中心的5座城市(济南、东营、淄博、泰安、滨州)为高水平聚集区,河南与山东交界处(菏泽、濮阳)为低水平聚集区,其余地区为中等水平聚集区。

## 5.2 政策建议

针对黄河下游和谐发展存在的问题,基于新发展理念及黄河流域生态保护和高质量发展的重大战略部署,从结构调整的角度出发,通过经济结构调整、人口结构调整、资源技术升级及生态文明支撑4个方面提出促进黄河下游和谐发展的建议。

(1)经济结构调整。黄河下游和谐水平空间分化显著,郑州、济南为黄河下游和谐发展高水平聚集中心。加快推进郑州、济南都市圈建设,打造创新及双向开放示范引领高地,增强其经济、人口承载力,发挥辐射带动作用,完善区域协作机制,加强基础设施联动,依据各地区实际情况,宜工则工、宜农则农,形成优势互补、特色发展的区域经济格局。

(2)人口结构调整。人力资源对和谐发展的作用显而易见,应积极引进高水平大学及科研机构在沿黄地区设立分支机构,加大教育资金投入和研发投入,汇聚人才、技术等创新要素,解决农村就业问题,实现人口双向流动。同时针对黄河下游滩区迁建进行统筹规划,提高教育、医疗和养老等公共服务能力,坚持均衡发展,缩减城乡收入差距及失业率,促进城镇化进程。

(3)资源技术升级。资源条件对区域和谐发展极为重要,但黄河下游资源子系统发展指数较低。一个地区的资源条件难以改变,但可以通过产业结构调整,加强新旧动能转换试验区建设,综合运用智能化、绿色化技术改造、淘汰落后产能等手段,促进传统产业转型升级,提高资源利用效率。

(4)生态文明支撑。黄河下游2015—2018年环境子系统增速明显,在此基础上,坚持生态优先,共

同抓好大保护,协同推进大治理,加快沿黄生态廊道建设,促进文旅融合。在黄河滩区两岸及入海口的关键部位聚焦河岸海岸生态修复、河域海域污染防治,提高河海综合治理能力。

## 参考文献(References):

- [1] 左其亭. 和谐论: 理论·方法·应用[M]. 北京: 科学出版社, 2012. [Zuo Q T. Harmony Theory: Theory, Method and Application [M]. Beijing: Science Press, 2012.]
- [2] 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[J]. 自然资源学报, 2017, 32(5): 788-799. [Jiang L, Bai L, Wu Y M. Coupling and coordinating degrees of provincial economy, resources and environment in China [J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(5): 788-799.]
- [3] 杜忠潮, 黄波, 陈佳丽. 关中-天水经济区城市群人口经济与资源环境发展耦合协调性分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(1): 135-147. [Du Z C, Huang B, Chen J L, et al. Coordinating development of population economy and resources environment of the city group in Guanzhong-Tianshui[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(1): 135-147.]
- [4] 熊鸿斌, 鲁超. 安徽省区域 RESE 系统协调发展评价研究[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(5): 820-825. [Xiong H B, Lu C. Research on evaluation of coordinated development of regional RESE system in Anhui Province[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2019, 46(5): 820-825.]
- [5] 董锁成, 史丹, 李富佳, 等. 中部地区资源环境、经济和城镇化形势与绿色崛起战略研究[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 33-42. [Dong S C, Shi D, Li F J, et al. Study on the resource environment, economy and urbanization situation and green rise strategy in central China[J]. Resources Science, 2019, 41(1): 33-42.]
- [6] 李晋, 曹云源, 孙长青. 河南省区域经济差异与协调发展研究[J]. 经济经纬, 2018, 35(2): 20-26. [Li J, Cao Y Y, Sun C Q. Regional economic disparities and coordinated development of Henan Province[J]. Economic Survey, 2018, 35(2): 20-26.]
- [7] 吕一河, 傅微, 李婷, 等. 区域资源环境综合承载力研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2018, 37(1): 130-138. [Lv Y H, Fu W, Li T, et al. Progress and prospects of research on integrated carrying capacity of regional resources and environment[J]. Progress in Geography, 2018, 37(1): 130-138.]
- [8] Moll S, Acosta J. Environmental implications of resource use-environmental input-output analyses for Germany[J]. Journal of Industrial Ecology, 2006, 10(3): 25-40.
- [9] Brown J H, Burnside W R, Davidson A D, et al. Energetic limits to economic growth[J]. Bioscience, 2011, 61(1): 19-26.
- [10] 刘建华, 姬俊昌. 河南省生态变化动态分析与预测[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(5): 133-137. [Liu J H, Ji J C. Dynamic analysis and forecast of the ecological changes of Henan Province[J]. Areal Research and Development, 2015, 34(5): 133-137.]

2021年2月

- [11] 戴铁军, 王婉君, 刘瑞. 中国社会经济系统资源环境压力的时空差异[J]. 资源科学, 2017, 39(10): 1942-1955. [Dai T J, Wang W J, Liu R. Spatio-temporal variation of resource and environmental pressure in China[J]. Resources Science, 2017, 39(10): 1942-1955.]
- [12] Raza S S, Hussain A. The nexus of foreign direct investment, economic growth and environment in Pakistan[J]. Pakistan Development Review, 2018, 55(2): 95-111.
- [13] 付娇, 黄银洲, 唐菊. 甘肃省经济与人口发展耦合研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(S1): 49-53. [Fu J, Huang Y Z, Tang J. Coupling research of population changes and economic development in Gansu Province[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(S1): 49-53.]
- [14] 郭唯, 左其享, 马军霞. 河南省人口-水资源-经济和谐发展时空变化分析[J]. 资源科学, 2015, 37(11): 2251-2260. [Guo W, Zuo Q T, Ma J X. Spatial and temporal change analysis of harmony development among population-water resources-economics in Henan Province[J]. Resources Science, 2015, 37(11): 2251-2260.]
- [15] 左其享. 黄河流域生态保护和高质量发展研究框架[J]. 人民黄河, 2019, 41(11): 1-6. [Zuo Q T. Research framework for ecological protection and high quality development in the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2019, 41(11): 1-6.]
- [16] 左其享, 吴滨滨, 张伟, 等. 跨界河流分水理论方法及黄河分水新方案计算[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 37-45. [Zuo Q T, Wu B B, Zhang W, et al. A method of water distribution in transboundary rivers and the new calculation scheme of the Yellow River water distribution[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 37-45.]
- [17] 任保平, 张倩. 黄河流域高质量发展的战略设计及其支撑体系构建[J]. 改革, 2019, (10): 26-34. [Ren B P, Zhang Q. The strategic design and supporting system construction of high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019, (10): 26-34.]
- [18] 金凤君. 黄河流域生态保护和高质量发展的协调推进策略[J]. 改革, 2019, (11): 33-39. [Jin F J. Coordinated promotion strategy of ecological protection and high-quality development in the Yellow River Basin[J]. Reform, 2019, (11): 33-39.]
- [19] 刘建华, 黄亮朝, 左其享. 黄河流域生态保护和高质量发展协同推进准则及量化研究[J]. 人民黄河, 2020, 42(9): 26-33. [Liu J H, Huang L C, Zuo Q T. Synergetic promotion criteria and quantitative study of ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2020, 42(9): 26-33.]
- [20] 刘建华, 黄亮朝. 黄河下游水资源利用与高质量发展关联评估[J]. 水资源保护, 2020, 36(5): 24-30. [Liu J H, Huang L C. Evaluation of correlation between water resources utilization and high-quality development in the lower reaches of the Yellow River[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(5): 24-30.]
- [21] 张金良. 黄河流域生态保护和高质量发展水战略思考[J]. 人民黄河, 2020, 42(4): 1-6. [Zhang J L. Water strategy for ecological protection and high quality development in the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2020, 42(4): 1-6.]
- [22] 阿里木江·阿不来提, 娜迪拉·阿不都热苏力, 吐热尼古丽·阿木提. 新疆人口、经济、资源、环境和谐发展的时空分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(12): 20-26. [Alimujiang A, Nadila A, Tureniguli A. The spacial-temporal patterns of harmony development among population, economics, resources and environment of Xinjiang[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(12): 20-26.]
- [23] 张彩霞, 梁婉君. 区域PERD综合协调度评价指标体系研究[J]. 经济经纬, 2007, (3): 59-62. [Zhang C X, Liang W J. A research of the evaluation index system for comprehensive coordination level of regional PERD[J]. Economic Survey, 2007, (3): 59-62.]
- [24] 乔飞, 富国, 徐香勤, 等. 三江源区水源涵养功能评估[J]. 环境科学研究, 2018, 31(6): 1010-1018. [Qiao F, Fu G, Xu X Q, et al. Assessment of water conservation function in the Three-River Headwaters Region[J]. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(6): 1010-1018.]
- [25] 胡春宏, 张晓明. 黄土高原水土流失治理与黄河水沙变化[J]. 水利水电技术, 2020, 51(1): 1-11. [Hu C H, Zhang X M. Loess Plateau soil erosion governance and runoff-sediment variation of Yellow River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(1): 1-11.]
- [26] 翟俊, 金点点, 陈妍, 等. 黄河三角洲高效生态经济区生态变化、问题与对策[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 517-526. [Zhai J, Jin D D, Chen Y, et al. Ecological changes, problems and countermeasures in the High Efficiency Eco-economic Zone of the Yellow River Delta[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 517-526.]
- [27] 丁涛, 顾金亮. 科技创新驱动江苏地区经济高质量发展的路径研究[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2018, 34(4): 41-46. [Ding T, Gu J L. The path of high quality development of regional economy driven by scientific and technological innovation[J]. Journal of Nantong University (Social Sciences Edition), 2018, 34(4): 41-46.]
- [28] 金碚. 关于“高质量发展”的经济学研究[J]. 中国工业经济, 2018, (4): 5-18. [Jin B. Study on the “high-quality development” economics[J]. China Industrial Economics, 2018, (4): 5-18.]
- [29] 张军扩, 侯永志, 刘培林, 等. 高质量发展的目标要求和战略路径[J]. 管理世界, 2019, 35(7): 1-7. [Zhang J K, Hou Y Z, Liu P L, et al. The goals and strategy path of high-quality development[J]. Management World, 2019, 35(7): 1-7.]
- [30] 师博. 黄河流域中心城市高质量发展路径研究[J]. 人文杂志, 2020, (1): 5-9. [Shi B. Research on high-quality development path of central city in the Yellow River Basin[J]. The Journal of Humanities, 2020, (1): 5-9.]
- [31] 徐辉, 师诺, 武玲玲, 等. 黄河流域高质量发展水平测度及其时空演变[J]. 资源科学, 2020, 42(1): 115-126. [Xu H, Shi N, Wu L L, et al. High-quality development level and its spatiotemporal changes in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(1): 115-126.]
- [32] 左其享, 张云, 林平. 人水和谐评价指标及量化方法研究[J]. 水利学报, 2008, 39(4): 440-447. [Zuo Q T, Zhang Y, Lin P. Index system and quantification method for human-water harmony[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(4): 440-447.]

## Evaluation of harmonious development of economy–population–resource–environment in the lower reaches of the Yellow River

LIU Jianhua<sup>1,2</sup>, HUANG Liangchao<sup>1</sup>, ZUO Qiting<sup>2,3</sup>

(1. School of Management Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Yellow River Institute for Ecological Protection & Regional Coordinated Development, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Center for Water Science Research, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** With the rapid progress of industrialization and urbanization, the relationship between the economy, population, resources, and environment of the lower reaches of the Yellow River became increasingly complicated with clear conflicts. Quantitative assessment of their harmonious development level is of great significance for the high-quality development of the lower Yellow River Basin. This study constructed a harmonious development level evaluation index system from four aspects: economy, population, resources, and environment, adopting a single indicator quantification- multiple indicator synthesis- multiple criteria integration evaluation method to evaluate the harmonious development level of the economy, population, resources, and environment in 17 cities in the lower reaches of the Yellow River in Henan and Shandong Provinces from 2010 to 2018. Radar chart and boxplot were used to analyze the time-varying process, and Kriging interpolation was used to analyze the spatial change process. The results show that: (1) The overall degree of harmony in the lower reaches of the Yellow River is only moderate, but it has been steadily increasing year by year. The economic subsystem shows the highest development level, followed by the environmental subsystem, and the population and resources subsystems show a lower development level; (2) In terms of spatial distribution, the level of harmonious development presents a high-level cluster centered on Zhengzhou and Jinan, and low-level clusters in the peripheral cities of the two provinces. Finally, based on the characteristics of the lower reaches of the Yellow River, the advantages and disadvantages of the harmonious development process were analyzed by different urban agglomerations, and suggestions for promoting the harmonious development of the lower reaches of the Yellow River were proposed from the perspective of structural adjustment. This study aimed to provide data support and policy recommendations for the harmonious development of the lower reaches of the Yellow River by quantifying the level of the harmonious development of economy, population, resources, and environment.

**Key words:** economy- population- resources- environment; harmonious development; evaluation system; quantification method; spatiotemporal change; lower reaches of the Yellow River