

长江经济带经济发展与水资源环境耦合协调性实证分析

袁汝华^{1,2}, 臧艳秋^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学水利经济研究所, 江苏 南京 210098)

摘要:为探究长江经济带经济发展与水资源环境协调发展状况,利用耦合协调度模型分析 2004—2018 年长江经济带耦合协调度变化情况并分析区域差异,利用灰色关联度进一步分析两者关联性。结果显示耦合协调度呈波动上升趋势,且下游大于中游大于上游;灰色关联分析结果显示,经济发展结构子系统对水资源环境系统影响最大,水资源环境抗逆指数子系统对经济发展系统关联最大。

关键词:长江经济带;耦合协调度;灰色关联度

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1003-9511(2021)02-0001-08

水资源环境与经济协调发展是实现可持续发展的重要指标^[1]。随着工业化、城镇化进程的加快,经济发展对水生态系统产生胁迫作用,水资源环境污染问题加剧。水资源环境的恶化对经济增长会产生一定的约束作用,制约经济的可持续发展,因此协调好水资源环境与经济发展之间的关系日益重要。

长江经济带横跨我国东、中、西三大区域,覆盖上海、江苏等 11 个省(市),是我国经济增长的重要支撑。近年来,由于水资源过度开发,忽视了水环境保护的重要性,长江经济带正面临着水资源短缺、水污染加剧等问题。对此,2016 年 1 月,习近平总书记提出“要把修复长江生态环境摆在压倒性位置,共抓大保护,不搞大开发”。鉴于长江经济带经济发展和水资源环境的现状,考察经济发展与水资源环境耦合协调性对于推动长江经济带可持续发展具有重要意义。

目前,国内外有关学者对水资源环境与经济的协调发展展开了一系列的研究,其中,美国经济学家 Grossman 等^[2]提出的环境库兹涅茨(EKC)曲线被广泛应用于研究经济与环境的关系中。冯颖等^[3]以中国水环境污染与经济发展关系为研究对象,构建了二者的联立方程模型,研究结果表明,水污染排放物与人均 GDP 之间呈现出显著的 N 型曲线关系。李瑛珊^[4]通过耦合协调度模型对广东区域环境

协调发展的时空分布进行实证分析。潘兴侠等^[5]利用熵权法构建生态-经济-金融系统的耦合协调度模型,并以鄱阳湖为例进行实证研究。张胜武等^[6]以石羊河流域为例,运用耦合关联法分析城镇化与水资源环境系统交互耦合的主要因素,并揭示耦合度的时空发展规律。潘安娥等^[7-8]基于水足迹视角构建协调发展脱钩评价模型,对湖北省 1995—2010 年水资源消耗与经济增长之间的协调关系进行了评价。何宜庆等^[9]采用主成分赋权法和模糊隶属度函数法对鄱阳湖地区的资源环境质量和经济发展水平进行综合评价,并对二者的协调发展性进行了实证分析。唐晓丹等^[10]运用耦合协调度模型深入分析了江苏省 2000—2012 年经济与环境协调发展关系的时空演化特征。谈飞等^[11]对江苏省 2002—2017 年的水资源环境与经济发展水平进行综合评价,并运用耦合协调度模型测算两者的耦合协调发展程度。黄瑞芬等^[12]对环渤海经济圈的低碳经济发展与环境资源系统的耦合协调度进行分析;马海良等^[13]利用层次分析法并结合耦合协调度模型对河北省城镇化与水资源系统的耦合协调态势进行实证分析。

综合以上研究发现,国内外大多学者研究经济-环境、经济-资源、经济-资源-环境的关系,研究对象较泛,很少学者单独研究水资源环境与经济协调发展的关系。故本文在前人研究的基础上,将水资源

基金项目:国家自然科学基金(71774048)

作者简介:袁汝华(1962—),男,教授,研究员,主要从事资源与环境经济理论、技术经济及管理、水利经济政策研究。E-mail: yrh@hhu.edu.cn

与水环境一体化,构建经济发展与水资源环境耦合协调评价指标体系,分别计算两个系统的综合评价指数,并利用耦合协调度模型测算长江经济带的耦合协调度,利用灰色关联度模型分析影响耦合协调度的关键因素。

1 数据处理及模型构建

1.1 指标体系构建

水是长江经济带的生命线,《长江经济带发展规划纲要》指出,要贯彻落实“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水新思路,所以不仅要关注水资源方面的数量特征,更要关注水环境方面的质量特征。经济发展是长江经济带发展的重要支撑,是衡量长江经济带综合发展实力的重要依据,且经济发展与水资源环境存在异质性,且均具有绝对多样性和差异性,两者又存在内部关联性,水资源环境是经济发展的基础和保证,经济发展需要水资源环境的物质要素投入,又会反作用于水资源环境。两者相互作用,交互制约。

将水资源环境、经济发展分别作为一个子系统,结合研究目标,指标体系目标界定见表1。基于系统性、完备性、适用性、可获得性,借鉴相关研究成果,结合长江经济带区域经济发展与水资源环境的特点,设计具体指标体系如表2所示。

1.2 指标权重和综合评价指数的确定

由于主观赋权法中每个人的主观价值判断标准有差异,构建的权数缺乏稳定性,有非确定性与随机性的特点,考虑到变异系数是统计中常用的衡量数据差异的统计指标,变异系数法根据各个指标的变异程度大小,直接利用各项指标包含的信息来对其赋权,有利于比较数据差别程度,能够客观全面地反映指标数据的变化信息,因此采用

该方法确定权重。

在采用变异系数法确定权重之前,需要对指标数据进行标准化处理以消除量纲和数量级差异。

正向指标:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

负向指标:

$$y_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中: y_{ij} 为指标标准化后的数值; x_{ij} 为第*i*个样本下第*j*个指标的初始值; x_{\max} 、 x_{\min} 分别为第*j*个指标的最大值和最小值。

然后计算各个指标的算数平均值 \bar{y}_j 和标准差 S_j :

$$\bar{y}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

最后计算各指标的变异系数 V_j 和权重 w_j :

$$V_j = \frac{S_j}{\bar{y}_j} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

$$w_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

利用线性加权法将经济发展系统与水资源环境系统标准化的指标数据与各指标权重进行加权求和,分别得到两系统的综合评价指数。

$$U_{i=1,2} = \sum_{j=1}^m w_j y_{ij} \quad (7)$$

表1 指标体系目标界定

一级指标	分目标	二级指标	子目标
经济发展系统	促进经济健康、高效与可持续发展,不但满足人们的需求,还要改善环境质量,保护人类健康和自然资源	经济发展实力	促进经济的人均水平不断提高,使得经济持续稳定增长
		经济发展结构	调整优化产业结构,摒弃高污染高能耗的重工业,发展高新技术产业,促进经济绿色健康增长
		经济发展潜力	提高经济发展效率,促进企业的生产效益,降低投入产出比,推动经济高质量发展
		人们生活水平	在经济获得持续发展并与生态环境和谐均衡的前提下,保障人们收入水平和生活质量稳步提高
水资源环境系统	根据水资源状况,合理开发利用水资源,在开展经济活动的同时减少对水资源的破坏,降低水资源负荷,引导政府企业等组织加强水资源环境保护与污染控制,使水资源在可持续利用下推动经济健康发展	水资源本底条件	表征区域水资源状况,水资源丰度和稀缺情况,进一步对水资源合理开发利用,使区域经济发展获得充足的水资源满足需求
		水资源开发与管理	通过水资源合理配置,提高水资源的开发利用率,为生活用水、生产用水等经济社会建设提供便利
		水资源环境压力	监督检测水体水质和废水的排放,引导有效利用水资源,做到在经济发展的同时水体污染达到最小化,提高水资源利用效率
		水资源环境抗逆指数	通过对废水治理改善水体水质及水生环境,采用节水措施节约利用水资源,保护水生态,确保可获得充足的符合环境标准的水资源,以满足经济发展和人们需求

表 2 长江经济带经济发展与水资源环境耦合协调评价指标体系

二级指标	三级指标	单位	文献来源
经济发展实力	人均 GDP x_1	元	[14-15]
	人均固定资产投资 x_2	元	[14,16]
	人均社会消费品零售额 x_3	元	[16-18]
	人均地方财政收入 x_4	元	[16-18]
经济发展结构	第二产业占 GDP 比重 x_5	%	[14-15,18]
	第三产业占 GDP 比重 x_6	%	[14-15,18]
	第三产业从业人员占比 x_7	%	[17,19]
	城镇化率 x_8	%	[17,19-20]
经济发展潜力	GDP 增长率 x_9	%	[17,21-22]
	投资产出率 x_{10}	%	[21,23]
	全员劳动生产率 x_{11}	元	[15,22]
	外商投资额占 GDP 比重 x_{12}	%	[14,16]
人们生活水平	城镇人均可支配收入 x_{13}	元	[17,21-22]
	农村人均纯收入 x_{14}	元	[17,21-22]
	城镇在岗职工平均工资 x_{15}	元	[21,24]
	居民消费水平 x_{16}	元	[11,20]
水资源本底条件	人均水资源量 y_1	m^3	[18,25]
	产水模数 y_2	万 m^3/km^2	[20,26]
	人均年降水量 y_3	m^3	[24,27-28]
水资源开发与管理	水资源开发利用率 y_4	%	[20,25]
	人均日生活用水量 y_5	L	[20,22,28]
	用水普及率 y_6	%	[6,29]
	排水管道密度 y_7	km/km^2	[5,29]
水资源环境压力	万元 GDP 工业废水排放量 y_8	t	[24-25]
	万元 GDP 用水量 y_9	m^3	[6,20,25]
	万元工业增加值 COD 排放量 y_{10}	t	[18,28]
	人均城镇日生活污水排放量 y_{11}	t	[18,28]
水资源环境抗逆指数	城市污水处理率 y_{12}	%	[6,30]
	废水治理投资占 GDP 比重 y_{13}	%	[20,24-25,28]
	城市污水日处理能力 y_{14}	万 t	[20,27,29]
	生态环境用水率 y_{15}	%	[20,25,30]
	节水灌溉面积占耕地面积比重 y_{16}	%	[25,30]

其中 $\sum_{j=1}^m w_j = 1$

式中 U_1 、 U_2 分别为经济发展系统、水资源环境系统综合评价指数,量化表征了经济发展系统与水资源环境系统水平。

1.3 耦合协调度模型及等级划分

经济发展对水资源环境产生一定的胁迫作用,同时水资源环境状况对经济发展又会产生一定的制约作用。为协调两者之间的关系,避免出现恶性循环,需弄清二者的耦合态势。耦合协调表征的是两个系统在发展演化中彼此和谐一致的程度,揭示从不协调向协调发展的规律。经济发展与水资源环境作为两个系统存在一定的关联性,能够相互影响、相互作用^[31],因此用耦合协调度模型来测度两者交互作用的关系。借鉴物理学中容量耦合模型计算长江经济带经济发展与水资源环境的耦合程度 C :

$$C = \sqrt{\frac{U_1 U_2}{[(U_1 + U_2)/2]^2}} \quad (8)$$

由于耦合协调度模型能更好地判别经济发展与

水资源环境系统整体的“功效”和“协同”效应,引入耦合协调度模型^[31]:

$$D = \sqrt{CT} \quad (9)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (10)$$

式中: D 为耦合协调度值; T 为经济发展与水资源环境综合协调指数; α 、 β 为待定系数,分别代表经济发展系统与水资源环境系统对总系统的重要性及贡献程度, $\alpha + \beta = 1$ 。考虑到两者对总系统同等重要,贡献度不分彼此,参考相关文献^[32-34],将 α 、 β 均赋值为 0.5。

为了更明确地反映两系统耦合协调发展的等级水平,参考刘定惠等^[35-36]的研究,及耦合协调度的取值范围,采用均匀分布函数法进行耦合协调度判别。根据 D 值大小,将耦合协调度划分为几个等级,见表 3。

1.4 灰色关联度模型

耦合协调度无法详细阐述两个系统各指标间的相互作用,灰色关联度分析法可以找出因素间主次关系,故被广泛运用到影响因素排序。灰色关联度

表3 经济发展与水资源环境耦合协调度等级划分

C	0~0.09	0.10~0.19	0.20~0.29	0.30~0.39	0.40~0.49	0.50~0.59	0.60~0.69	0.70~0.79	0.80~0.89	0.90~1.00
协调等级	极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调	基本协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调

是表示两个序列关联性大小度量的量化模型,反映的是系统发展过程中因素间相对变化的情况,理清系统中各因素间的主要关系,找出影响最大的因素^[37]。

鉴于经济发展与水资源环境之间关系的交互性和不确定性,同时考虑两个系统的时序性和关联性,为了更加客观地反映影响水资源环境和经济发展两者耦合协调的主要因素,运用灰色关联度模型来定量评价两者的关系。

a. 利用标准化指标数据,计算关联系数:

$$\zeta_j(t) = \frac{\min_i \min_j |Z_i X(t) - Z_j Y(t)| + \rho \max_i \max_j |Z_i X(t) - Z_j Y(t)|}{|Z_i X(t) - Z_j Y(t)| + \rho \max_i \max_j |Z_i X(t) - Z_j Y(t)|} \quad (11)$$

式中: $\zeta_j(t)$ 为t时刻的关联系数; $Z_i X(t)$ 为经济发展系统指标标准化值; $Z_j Y(t)$ 为水资源环境系统指标标准化值; ρ 为分辨率,一般取0.5。

b. 计算关联度:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \zeta_{kij}(t) \quad (12)$$

式中:k为样本数,即经济发展系统(或水资源环境系统)指标数量。

2 实证分析

2.1 数据来源

选取长江经济带11个省(市)作为样本,对2004—2018年经济发展与水资源环境耦合协调度进行实证研究。指标原始数据来源于2005—2019

年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国城市建设年鉴》和各省(市)的统计年鉴和水资源公报、国民经济与社会发展公报,其中农村人均纯收入、城市污水处理率、生态环境用水率部分省(市)、部分年份数据缺失,缺失数据占比1.82%,如2007年湖北省城市污水处理率缺失,根据该省前后两年数据,利用Excel的Trend函数进行线性插值进行补缺。

2.2 经济发展与水资源环境耦合协调时空分析

根据耦合协调度模型,通过计算得到各省(市)的耦合协调度值,见表4。

根据表4绘制长江经济带上、中、下游经济发展与水资源环境耦合协调度折线图,见图1。

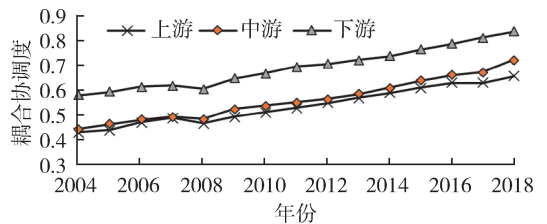


图1 长江经济带上中下游经济发展与水资源环境耦合协调度值

由表4、图1可知,长江经济带11个省(市)经济发展与水资源环境耦合协调发展趋势具有相似性,整体上均呈上升趋势,空间上呈现出下、中、上游阶梯化分异特征,其中下游、中游、上游耦合协调度均值范围分别为[0.58, 0.84]、[0.44, 0.72]、[0.43, 0.66]。2008年,上、中、下游耦合协调度均呈现下降的趋势,这是由于该年上、中、下游除上海市投资产出率都出现不同程度的下降,长江经济带

表4 2004—2018年长江经济带11个省(市)经济发展与水资源环境耦合协调度值

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南	上游均值	中游均值	下游均值
2004	0.62	0.56	0.55	0.42	0.44	0.47	0.44	0.45	0.44	0.41	0.42	0.43	0.44	0.58
2005	0.64	0.57	0.57	0.44	0.47	0.48	0.47	0.46	0.45	0.41	0.43	0.44	0.46	0.59
2006	0.66	0.59	0.59	0.47	0.48	0.50	0.48	0.50	0.47	0.44	0.47	0.47	0.48	0.61
2007	0.66	0.60	0.59	0.47	0.48	0.52	0.50	0.52	0.48	0.47	0.48	0.49	0.49	0.62
2008	0.65	0.58	0.58	0.47	0.48	0.50	0.49	0.51	0.46	0.43	0.46	0.46	0.48	0.60
2009	0.68	0.63	0.63	0.51	0.53	0.54	0.52	0.55	0.49	0.45	0.48	0.49	0.52	0.65
2010	0.70	0.65	0.65	0.53	0.54	0.55	0.53	0.56	0.51	0.47	0.50	0.51	0.54	0.67
2011	0.73	0.67	0.68	0.55	0.55	0.56	0.54	0.56	0.53	0.50	0.52	0.53	0.55	0.69
2012	0.74	0.67	0.70	0.56	0.56	0.58	0.56	0.59	0.55	0.52	0.53	0.55	0.56	0.70
2013	0.76	0.68	0.72	0.56	0.59	0.60	0.58	0.60	0.57	0.55	0.55	0.57	0.58	0.72
2014	0.79	0.70	0.72	0.60	0.61	0.63	0.60	0.63	0.59	0.56	0.56	0.59	0.61	0.74
2015	0.81	0.73	0.75	0.63	0.64	0.65	0.63	0.65	0.61	0.59	0.59	0.61	0.64	0.76
2016	0.85	0.76	0.76	0.65	0.66	0.68	0.65	0.67	0.63	0.60	0.61	0.63	0.66	0.79
2017	0.87	0.78	0.78	0.67	0.67	0.68	0.66	0.65	0.65	0.61	0.62	0.63	0.67	0.81
2018	0.89	0.81	0.81	0.71	0.72	0.73	0.72	0.68	0.67	0.63	0.64	0.66	0.72	0.84

整体投资产出率较 2007 年下降 4.84%，全员劳动生产率也出现一定幅度的下降，上、中、下游分别下降 3.33%、1.88%、1.22%，部分经济指标如 GDP 增长率等增长缓慢，经济发展速度减缓。同年，我国面临严重的自然灾害，水资源紧张，水资源环境压力增加，其中产水模数出现一定程度的下降，上、中、下游产水模数较上一年分别下降 3.97%、5.89%、10.69%。用水方式粗放导致用水量增加，其中上游用水量较上一年增长 2.10%，生态环境用水率也出现了下降，不利于水资源环境系统的良好发展，两者的耦合协调程度受到阻碍。之后上、中、下游的耦合协调度又有所回升，朝着良好协调的方向发展。这是因为我国积极恢复经济，2009 年出台的中部崛起规划和加大西部重点项目建设力度及成渝经济区区域规划等政策效果显著，推动了中、上游地区经济的发展，加之中、上游地区大面积原生态的水资源环境，促进了经济发展与水资源环境系统耦合协调水平的提高。

从变化趋势来看，下游地区的上海市领先于江浙两地，在 2015 年耦合协调度就达到 0.81，进入良好的协调阶段。究其原因，上海是国际化的大都市，经济发展综合水平高于其他省（市），同时，虽然上海市水资源本底条件相对不足，水资源短缺，但其在开发利用与管理水资源时结合自身的水资源状况进行了合理的规划配置。如《上海市水资源管理若干规定》实施后，为严格保护、节约、合理开发和利用水资源，充分发挥了水资源的综合效益，大力推进了生态文明建设，为上海经济社会可持续发展提供了坚实保障，因此上海市的经济发展与水资源环境的耦合协调度高。而江苏、浙江以上海为依托，耦合协调度也相对较高，2018 年均进入良好的协调发展阶段。

中游地区耦合协调度达 0.72，处于中级协调阶段，相对下游地区有一定的差距，原因是中游各省处于经济发展的关键期，近年来承接了沿海地区的大量产业转移，经济迅速扩张，产业转型和经济发展过程中对水资源的需求和影响较大，而水资源的开发管理及综合治理水平相对不足，这种发展模式制约了耦合协调度的整体提高。

上游地区的耦合协调度整体低于中游和下游地区，2018 年耦合协调度均值为 0.66，处于初级协调阶段，原因是上游地区经济发展起步较晚，经济发展速度较慢，发展结构和发展潜力相对较弱，使得经济发展综合水平不高，但下游地区优越的水资源本底条件对经济发展起到了一定的支撑和促进作用，保障了两者的耦合协调发展，与中下游地区并未拉开

较大的差距。

通过计算得到长江经济带整体 2004—2018 年经济发展综合评价指数、水资源环境综合评价指数与两者的耦合协调度，见表 5。

表 5 长江经济带两系统综合评价指数及耦合协调度值

年份	经济发展综合评价指数	水资源环境综合评价指数	耦合协调度	耦合协调等级
2004	0.23	0.33	0.51	勉强协调
2005	0.25	0.29	0.52	勉强协调
2006	0.29	0.45	0.58	勉强协调
2007	0.30	0.48	0.59	初级协调
2008	0.25	0.41	0.54	勉强协调
2009	0.34	0.54	0.63	初级协调
2010	0.40	0.40	0.63	初级协调
2011	0.38	0.54	0.66	初级协调
2012	0.44	0.47	0.67	初级协调
2013	0.48	0.55	0.71	中级协调
2014	0.52	0.61	0.75	中级协调
2015	0.61	0.70	0.80	良好协调
2016	0.69	0.62	0.81	良好协调
2017	0.73	0.62	0.81	良好协调
2018	0.79	0.69	0.85	良好协调

根据表 5 绘制长江经济带经济发展、水资源环境与耦合协调度的折线图，见图 2。由表 5、图 2 可知，2004—2018 年长江经济带经济发展与水资源环境耦合协调度呈上升趋势，整体处于 0.51~0.85 之间，耦合协调等级从勉强协调逐步上升到良好协调。但 2008 年经济发展指数与水资源环境指数均有所下降，耦合协调度值降低，协调等级由初级协调下降为勉强协调，之后两者的耦合协调度逐渐提高。2004—2015 年，水资源环境综合发展水平基本上一直领先于经济发展水平，但 2016 年以后却开始滞后，说明水资源环境难以较好地满足经济发展的需求，随着经济的发展，水资源开采与利用的需求增大，水环境污染日益凸显，水资源环境指数下降，因此二者耦合协调度也出现一定的停滞，真正实现两系统高质量的耦合协调发展仍需一定的时间。

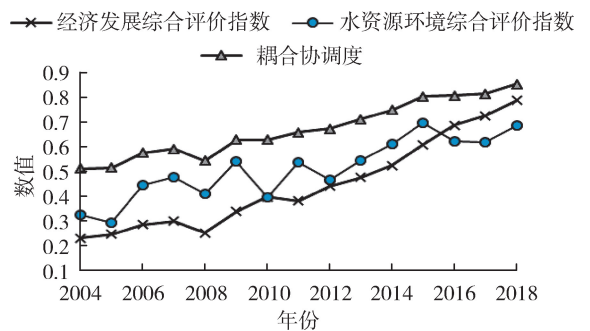


图 2 长江经济带经济发展与水资源环境耦合协调水平

2.3 灰色关联度结果分析

利用灰色关联度模型，计算得到长江经济带经

济发展与水资源环境指标间的关联度矩阵,可得出影响 2004—2018 年经济发展与水资源环境相互耦合的主要因素,见表 6。

灰色关联度 $\gamma \in (0, 1]$, 其值越接近 1, 关联性越强, 即该指标对另一系统的影响程度较大, 是决定两系统能否协调发展的关键因素^[38]。由表 6 可知, 各指标间的灰色关联度均在 0.5 以上, 关联性较大, 反映了经济发展系统与水资源环境系统各要素之间的联系较为紧密, 存在较强的耦合关联特性。

在经济发展系统中, 经济发展结构子系统与水资源环境系统的关联性最为显著, 达到 0.697, 其中城镇化率是影响经济结构与水资源环境耦合协调的最主要因素, 关联度为 0.712。统计资料表明, 2018 年度长江经济带城镇化率达到 59.43%, 比 2017 年城镇化率提高 1.95%, 人均日生活用水量、人均城镇日生活污水排放量分别为 186.93 L、0.10 t, 较上一年分别增长 2.31%、5.15%, 故随着城镇化进程的加快, 人们生活用水、城市生活污水排放量的增加给水资源环境造成了一定的压力, 制约了经济与水资源环境的耦合协调发展。第三产业从业人数占比、第三产业占 GDP 比重、第二产业占 GDP 比重与水资源环境系统的关联度分别为 0.709、0.691、0.679, 表明经济发展结构对于改善或威胁水资源环境系统的发展影响较大, 低附加值、高能耗、高污染的产业不利于水资源环境的长期健康发展, 高附加值、低能耗、低排放的产业对水资源环境的胁迫作用较小, 合理的产业结构将有利于水资源环境的绿色可持续发展。

经济发展实力子系统与水资源环境的关联度为 0.693, 其中人均地方财政收入关联度为 0.704, 关

联度最高, 其次是人均 GDP (0.694)、人均社会消费品零售额 (0.691)、人均固定资产投资 (0.684), 这是由于随着经济实力的提高, 生产、生活等对水资源的需求加大, 对水资源环境造成一定的胁迫作用。

人们生活水平子系统与水资源环境系统的关联度为 0.646, 说明人们生活水平仍与水资源环境息息相关, 其中城镇人均可支配收入、居民消费水平的关联度分别为 0.691、0.679, 关联度较大。随着人们生活水平的提高、生活条件的改善, 对水资源的开发利用程度加大, 生活用水、生活污水增加, 造成水资源匮乏, 水环境恶化, 水资源环境面临一定的压力, 对水资源环境的发展起到胁迫作用。另一方面, 人们在生活质量提升的过程中也会更加重视其生存环境, 环保意识增强, 做到节水护水, 如 2018 年城市污水日处理能力、生态环境用水率、城市污水处理率分别为 7324 万 t/d、1.30%、95.43%, 分别较上一年上升 2.68%、8.18%、0.65%, 表明政府加大了对生活污水的处理、生态环境的保护力度, 对水资源环境的发展起到一定的促进作用。

水资源环境系统内部指标中, 与经济发展系统的关联度为: 水资源环境抗逆指数大于水资源环境压力大于水资源开发与管理大于水资源本底条件, 其中废水治理投资占 GDP 比重与经济发展系统的关联度最大, 是影响水资源环境抗逆指数子系统与经济发展系统耦合协调的关键因素。

其次为城市污水日处理能力, 这是由于水资源环境治理力度的加大有利于减少水资源因污染而造成的浪费, 可利用水资源量增加, 水环境得到改善, 给生活、生产、生态用水带来了符合标准的水资源, 提高了经济发展的综合水平, 推进了经济发展与水

表 6 长江经济带 2004—2018 年经济发展与水资源环境各指标灰色关联度矩阵

指标	经济发展实力(0.693)				经济发展结构(0.697)				经济发展潜力(0.590)				人们生活水平(0.646)				均值	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}		
水资源本底条件(0.640)	y_1	0.652	0.649	0.650	0.638	0.650	0.660	0.642	0.645	0.606	0.652	0.66	0.550	0.660	0.570	0.645	0.667	0.637
水资源开发与管理(0.644)	y_2	0.673	0.673	0.669	0.660	0.671	0.678	0.663	0.670	0.878	0.539	0.678	0.533	0.678	0.548	0.661	0.692	0.660
	y_3	0.639	0.640	0.638	0.647	0.635	0.640	0.638	0.642	0.612	0.554	0.639	0.540	0.643	0.606	0.621	0.644	0.624
	y_4	0.735	0.715	0.737	0.776	0.706	0.725	0.785	0.786	0.477	0.481	0.728	0.448	0.725	0.538	0.640	0.692	0.668
水资源环境压力(0.664)	y_5	0.654	0.645	0.652	0.673	0.635	0.647	0.672	0.682	0.538	0.470	0.651	0.441	0.648	0.641	0.584	0.620	0.616
	y_6	0.642	0.628	0.648	0.676	0.622	0.633	0.668	0.675	0.520	0.482	0.636	0.452	0.634	0.622	0.576	0.598	0.607
	y_7	0.651	0.664	0.646	0.618	0.665	0.664	0.635	0.623	0.684	0.605	0.661	0.578	0.665	0.580	0.712	0.657	0.644
水资源环境抗逆指数(0.679)	y_8	0.818	0.782	0.802	0.854	0.774	0.800	0.837	0.862	0.483	0.518	0.812	0.487	0.802	0.495	0.681	0.784	0.724
	y_9	0.728	0.710	0.734	0.766	0.702	0.719	0.782	0.780	0.472	0.478	0.724	0.450	0.720	0.532	0.637	0.687	0.663
	y_{10}	0.788	0.761	0.786	0.810	0.753	0.768	0.828	0.839	0.493	0.514	0.780	0.476	0.771	0.560	0.668	0.743	0.709
均值	y_{11}	0.480	0.495	0.480	0.470	0.496	0.489	0.490	0.468	0.742	0.792	0.482	0.830	0.490	0.740	0.493	0.502	0.559
	y_{12}	0.729	0.706	0.730	0.761	0.698	0.718	0.781	0.775	0.469	0.458	0.718	0.438	0.716	0.540	0.637	0.691	0.660
	y_{13}	0.941	0.924	0.918	0.902	0.924	0.950	0.869	0.896	0.500	0.523	0.944	0.515	0.947	0.487	0.812	0.932	0.812
均值	y_{14}	0.822	0.790	0.816	0.872	0.782	0.804	0.881	0.893	0.481	0.524	0.812	0.478	0.808	0.518	0.692	0.775	0.734
	y_{15}	0.630	0.618	0.622	0.635	0.618	0.620	0.646	0.657	0.539	0.475	0.625	0.452	0.624	0.624	0.578	0.624	0.599
	y_{16}	0.518	0.540	0.524	0.500	0.532	0.534	0.522	0.495	0.778	0.847	0.521	0.832	0.530	0.685	0.524	0.550	0.590
均值		0.694	0.684	0.691	0.704	0.679	0.691	0.709	0.712	0.580	0.557	0.692	0.531	0.691	0.580	0.635	0.679	—

资源环境的耦合协调发展。

水资源环境压力子系统与经济发展系统关联度为 0.664,有着较强的耦合关联性,其中,万元 GDP 工业废水排放量、万元工业增加值 COD 排放量关联度分别为 0.724、0.709,是制约经济发展与水资源环境较为关键的因素,原因是有害废水的排放会造成水质恶化,进而污染农田,降低土壤质量,导致农作物产量减少,还会造成水生生物的大量死亡,若是人类饮用污染的水资源,还可能引起中毒、引发多种传染病等,这些将成为经济社会可持续发展的重大障碍。

水资源开发与管理子系统中的水资源开发利用指标与经济发展的关联度为 0.644,说明对水资源的过度开发利用会造成水资源枯竭,人类将面临缺水的困境,不利于经济发展。

3 结论与建议

3.1 结论

在构建经济发展与水资源环境综合评价指标体系的基础上,借助耦合协调度模型,对 2004—2018 年间长江经济带经济发展与水资源环境的交互作用关系进行了实证分析。结果表明:耦合协调度空间格局呈现下游大于中游大于上游的趋势,下游的上海市从中级协调发展为良好协调,江苏省和浙江省从勉强协调发展为中级协调,中上游发展情况类似,从濒临失调上升为初级协调。

长江经济带整体耦合协调度呈波动上升趋势,但 2008 年出现下降,水资源环境综合发展水平基本上一直领先于经济发展水平,但 2016 年开始滞后于经济发展水平。

从关联矩阵看出,经济发展系统中对水资源环境关联程度分别是是经济发展结构大于经济发展实力大于人们生活水平大于经济发展潜力,影响两者耦合协调的关键因素分别为城镇化率大于第三产业占 GDP 比值大于人均地方财政收入大于人均 GDP 大于全员劳动生产率。

水资源环境系统中与经济发展关联程度排列顺序依次为水资源环境抗逆指数大于水资源环境压力大于水资源开发与管理大于水资源本底条件,影响两者耦合协调的关键因素排序为废水治理投资占 GDP 比重大于城市污水日处理能力大于万元 GDP 工业废水排放量大于万元工业增加值 COD 排放量大于水资源开发利用率。

3.2 建议

为推动长江大保护战略的实施,走出生态优先绿色发展道路,实现长江经济带经济与水资源环境

的协调发展,建议如下:

a. 努力缩小东中西部发展差距,打破上、中、下游形成较大差距的格局,利用下游经济优势带动中上游腹地发展,引导产业由东向西梯度转移,推动长江经济带经济上、中、下游协调发展。

b. 优化调整产业结构体系,向绿色、生态、节水的产业转型升级,摒弃高污染、高能耗、低附加值的产业,积极发展高新技术产业。

c. 在经济实力不断增强、人们生活不断改善的同时注重水资源环境的有效保护,避免过度追求经济发展速度而忽视水资源环境的保护,使其存在较大的滞后。

d. 要在城镇化进程加快的同时,注重提高城镇居民在生活中节约和保护水资源的能力,积极宣传节水理念,贯彻居民的节水意识,做到一水多用,减少排放生活污水。

e. 加大废水治理投资力度并提高城市污水处理能力,改善水环境质量,使更多可利用的水资源为生产和生活服务。

f. 降低工业废水排放量和废污水中的 COD 含量,鼓励并监督工业废水的超低排放及工业废水的有效处理,检测水质符合标准方可排放。

g. 水资源合理开发利用,保持水资源开发利用率在合理范围,避免水资源开发利用过度,提高用水效率,建设节水型社会。

参考文献:

- [1] 左其亭,张志卓,吴滨滨. 基于组合权重 TOPSIS 模型的黄河流域九省区水资源承载力评价[J]. 水资源保护, 2020,36(2):1-7.
- [2] GROSSMAN G, KRUEGER A. Economic growth and the environment[J]. Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2):353-377.
- [3] 冯颖,李晓宁,屈国俊. 中国水环境污染与经济增长关系研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2017,17(6):66-74.
- [4] 李璎珊. 区域经济增长与环境质量耦合协调发展研究[J]. 科技管理研究,2016,36(9):248-252.
- [5] 潘兴侠,何宜庆. 鄱阳湖地区生态、经济与金融耦合协调发展评价[J]. 科技管理研究,2014,34(9):227-230.
- [6] 张胜武,石培基,王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析:以石羊河流域为例[J]. 经济地理,2012,32(8):142-148.
- [7] 潘安娥,陈丽. 湖北省水资源利用与经济协调发展脱钩分析:基于水足迹视角[J]. 资源科学,2014,36(2):328-333.
- [8] 左其亭,赵衡,马军霞,等. 水资源利用与经济社会发展

- 匹配度计算方法及应用[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(6):1-6.
- [9] 何宜庆, 翁异静. 鄱阳湖地区城市资源环境与经济协调发展评价[J]. 资源科学, 2012, 34(3):502-509.
- [10] 唐晓丹, 仇方道, 朱传耿, 等. 江苏省经济与环境协调发展时空格局分析[J]. 世界地理研究, 2015, 24(2):68-77.
- [11] 谈飞, 史玉莹. 江苏省水资源环境与经济发展耦合协调度测评[J]. 水利经济, 2019, 37(3):8-12.
- [12] 黄瑞芬, 李宁. 环渤海经济圈低碳经济发展与环境资源系统耦合的实证分析[J]. 资源与产业, 2013, 15(2):92-98.
- [13] 马海良, 李珊珊, 侯雅如. 河北省城镇化与水资源系统的耦合协调及预测[J]. 水利经济, 2017, 35(3):37-41.
- [14] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调发展分析—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.
- [15] 汪永生, 李宇航, 揭晓蒙, 等. 中国海洋科技-经济-环境系统耦合协调的时空演化[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8):168-176.
- [16] 张志, 龚健, 王利华. 城市土地集约利用与社会经济时空耦合协调发展评价:以湖北省12个地级市为例[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4):296-303.
- [17] 韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭. 沈阳经济区经济与环境系统动态耦合协调演化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10):2673-2680.
- [18] 饶清华, 林秀珠, 李家兵, 等. 流域社会经济与水环境质量耦合协调度分析[J]. 中国环境科学, 2019, 39(4):1784-1792.
- [19] 刘璐. 京津冀地区基本公共服务与经济发展协调关系研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2020.
- [20] 王保乾, 杨晖, 竺运. 长江经济带水资源承载力综合评价研究[J]. 资源与产业, 2020, 22(1):1-11.
- [21] 王雪辉. 东北地区经济发展与生态环境时空耦合关系研究[D]. 长春:东北师范大学, 2014.
- [22] 邢霞, 修长百, 刘玉春. 黄河流域水资源利用效率与经济发展的耦合协调关系研究[J]. 软科学, 2020, 34(8):44-50.
- [23] 易平, 方世明. 地质公园社会经济与生态环境效益耦合协调度研究:以高山世界地质公园为例[J]. 资源科学, 2014, 36(1):206-216.
- [24] 王飞, 李景保, 陈晓. 皖江城市带城市化与水资源环境耦合的时空变异分析[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(1):1-6.
- [25] 杜湘红, 张涛. 水资源环境与社会经济系统耦合发展的仿真模拟:以洞庭湖生态经济区为例[J]. 地理科学, 2015, 35(9):1109-1115.
- [26] 高翔, 鱼腾飞, 程慧波. 西北地区水资源环境与城市化系统耦合的时空分异:以西陇海兰新经济带甘肃段为例[J]. 干旱区地理, 2010, 33(6):1010-1018.
- [27] 周校培, 陈建明. 南京市水资源与社会经济耦合协调发展研究[J]. 水利经济, 2016, 34(4):26-30.
- [28] 熊东旭, 陈荣. 南京城市化与水资源环境耦合关系实证研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(5):95-101.
- [29] 尹风雨, 龚波, 王颖. 水资源环境与城镇化发展耦合机制研究[J]. 求索, 2016(1):84-88.
- [30] 蔡继, 董增川, 陈康宁. 产业结构调整与水资源可持续利用的耦合性分析[J]. 水利经济, 2007, 25(5):43-45.
- [31] 张雅杰, 刘辉智. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调关系的时空分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6):334-340.
- [32] 焦士兴, 王安周, 李青云, 等. 河南省城镇化与水资源耦合协调发展状况[J]. 水资源保护, 2020, 36(2):21-26.
- [33] 喻笑勇, 张利平, 陈心池, 等. 湖北省水资源与社会经济耦合协调发展分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4):809-817.
- [34] 李娜, 孙才志, 范斐. 辽宁沿海经济带城市化与水资源耦合关系分析[J]. 地域研究与开发, 2010, 29(4):47-51.
- [35] 刘定惠, 杨永春. 区域经济-旅游-生态环境耦合协调度研究:以安徽省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(7):892-896.
- [36] 张玉萍, 瓦哈甫·哈力克, 党建华, 等. 吐鲁番旅游-经济-生态环境耦合协调发展分析[J]. 人文地理, 2014, 29(4):140-145.
- [37] 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.
- [38] 赵安周, 李英俊, 卫海燕. 西安市城市化与城市生态环境耦合协调发展研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6):152-156.

(收稿日期:2020-06-12 编辑:胡新宇)

