

长江经济带水资源利用效率与产业结构的耦合协调评价与分析

章恒全¹, 陈诗情¹, 张陈俊², 李海燕¹, 陈彬彬³

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 江苏科技大学经济管理学院, 江苏 镇江 212100; 3. 湖南理工学院信息科学与工程学院, 湖南 岳阳 414000)

摘要: 水资源利用效率与产业结构之间存在耦合协调关系。采用耦合协调度模型测算了2010—2020年长江经济带11省市水资源利用效率与产业结构间的耦合协调关系,并用时空地理加权回归(GTWR)模型对影响两系统耦合协调关系的因素进行了探究。结果表明:2010—2020年长江经济带大部分省市的耦合协调度呈波动上升趋势,且在空间上形成了“东高西低”,以上海市、重庆市为“核心”的集聚状态;2010—2020年上、中、下游的耦合协调度重心呈现向南、向北、向西北迁移的趋势,不同流域的集聚性也有所不同;各影响因素对耦合协调度的影响存在显著的时空非平稳性与异质性,其中外资依存度、技术创新、居民教育程度和水资源拥有量是长江经济带耦合协调度的主导影响因素。

关键词: 水资源利用效率; 产业结构; 耦合协调; GTWR模型; 长江经济带

中图分类号: F127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-9511(2022)05-0001-07

水是生命之源、生产之要和生态之基^[1],水资源的开发、利用、配置会深刻影响区域经济总量、区域产业结构演化及产业结构的空间布局。为保障水资源利用,国家不断出台有关水资源规划,从2012年的最严格水资源管理制度、控制红线,到水资源刚性约束制度,再到《“十四五”水安全保障规划》中明确提出“提升水资源集约、节约利用能力”的目标,都彰显出国家对水资源利用的重视。可以认为,水资源会对产业结构的发展产生约束性作用,而产业结构的变动也会带动水资源需求、使用方式的改变,二者存在相互交织、彼此耦合的关联关系,而长江经济带是新时代我国经济发展、社会进步的重要战略支撑带并因新兴产业集群的带动作用经济飞速增长、产业逐渐集聚。以此为背景,长江经济带的水资源愈发紧张,目前该区域的用水效率与产业结构如何?两者存在何种耦合关系?何种因素能影响两系统的耦合关系?如何提高两系统的耦合水平使水资源利用系统和产业结构系统能稳态、良性发展?这些问题对推动经济社会的良性运转、实现用水与产业升级有重要的现实意义。

1 文献综述

1.1 水资源利用效率与产业结构评价方法

近年来,有关水资源、产业结构的研究呈现上升趋势,研究的侧重点也不尽相同。在水资源利用效率和产业结构的评价方面,学界常将水资源作为重要的资源环境要素进行利用效率测算,将产业结构通过结构解构与分解进行指标评价。水资源利用效率方面,利用非参数估计的数据包络分析及其衍生算法有许多,如卢曦等^[2]采用三阶段DEA方法测度用水效率。然而亦有诸多学者考虑到数据包络分析的不足,从综合性的角度出发,聚焦多领域、多行业进行用水效率的指标评价,较为典型的有邢霞等^[3]、姚亭亭等^[4]从综合、农业、工业、生活、生态用水效率维度构建水资源利用效率系统的指标。产业结构方面,产业结构升级与优化测度的发展则较为完备,除了基于产业结构基础研究而引申出的霍夫曼比例^[5]、钱纳里产业结构偏离度^[6-7]等指标外,多数学者为能更全面地描绘区域产业结构的升级与优化情况,一般将产业结构分解为产业结构合理化、产

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金(17YJC790194)

作者简介:章恒全(1957—),男,教授,主要从事项目管理与水资源管理研究。E-mail:hqzhang630@163.com

业结构高级化等内容进行多角度的综合探究,如江洪等^[8]将产业结构分解为产业合理度、产业高级度与产业集中度3个指标,黄海立^[9]从产业结构偏离度、三产占GDP比重等角度衡量产业结构情况。可见,在指标评价上两系统研究成果丰富且日趋完善。

1.2 水资源利用效率与产业结构耦合协调关系

有关水资源利用效率与产业结构耦合协调关系的研究较少,但再进一步分析可发现,现有研究存在由水资源与产业结构单向影响向双向互进转变的研究趋势。水资源约束下产业结构的演变已有许多学者进行研讨,如崔志清等^[10]以数学规划模型的方式构建水资源约束下的产业结构调整模型。同样的单向影响还包括产业结构调整对用水的影响,如张黎鸣等^[11]以资源型省市为研究样本,探究产业结构调整对样本地区用水效率的影响。然而,随着单向影响研究的深入,更多学者意识到,水资源系统和产业结构系统之间的影响是双向互进、密不可分的,因此在整合单向影响的基础上,又有学者从两系统匹配度^[12]、关联性^[13]、演进关系^[14]等双向关系与优化的角度展开研讨。此外,焦士兴等^[15]则构建耦合协调模型分析经济新常态下产业结构与水资源的耦合协调关系。

综合各方观点可以看出,提高水资源利用效率是解决水资源供需矛盾的根本途径,而产业结构的优化与调整又能进一步推动水资源由低用水效率部门向高用水效率部门转移,从而在水资源与产业结构系统之间形成共同演进、互相关联的耦合协调关系。一方面,受水资源禀赋和水资源开发的约束,只有科技进步促进水资源利用效率提升才会逐步带动用水格局和产业结构改变。另一方面,产业结构转型会不断带动产业对水资源需求和使用方式,以及生态环境的变化。在产业结构水平较低时,各产业的水资源利用为粗放型,生态环境较为良好;产业结

构演进,水利化程度不断提高,用水量逐步增加,环境问题渐渐凸显;进一步升级与优化后,产业结构体现为合理化、高级化与集中化,为实现区域经济的可持续发展生态环境用水的比重逐步增大,但以社会整体而言水资源消耗量减少、水资源利用效率提高。水资源利用与产业结构之间的耦合协调关系如图1所示(图中↑表示用水量增加,↓表示用水量减少)。

可以发现,现有研究多是将水资源作为经济资源进行探讨而未考虑水资源作为生态环境资源所发挥的作用;或是对水资源利用效率与产业结构耦合关系的影响因素研究较少。本文基于上述不足,利用综合评价法测算用水效率与产业结构,利用耦合协调度模型分析两系统之间的耦合协调关系,并利用时空地理加权回归(GTWR)模型进行时空地理加权回归来探究两系统关系的影响因素,从地理的角度分析如何能使两系统更加协调。

2 指标体系构建

本文以长江经济带的11省市为研究单元,所需数据均来源于《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《城市建设统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《长江经济带发展统计年鉴》、各省市统计年鉴、各省市历年水资源公报以及国家统计局网站。考虑到物价变动和通货膨胀的因素,将国内生产总值GDP使用国家统计局公布的GDP平减指数折算为2010年的不变价。

已有多位学者应用综合评价指标体系评价效率,本文借鉴已有研究^[3,8]并结合图1的分析结果,基于科学性、系统性、层次性的指标选取原则,考虑数据的可获得性,建立水资源利用效率和产业结构的评价指标体系,最终构建指标体系如表1所示。

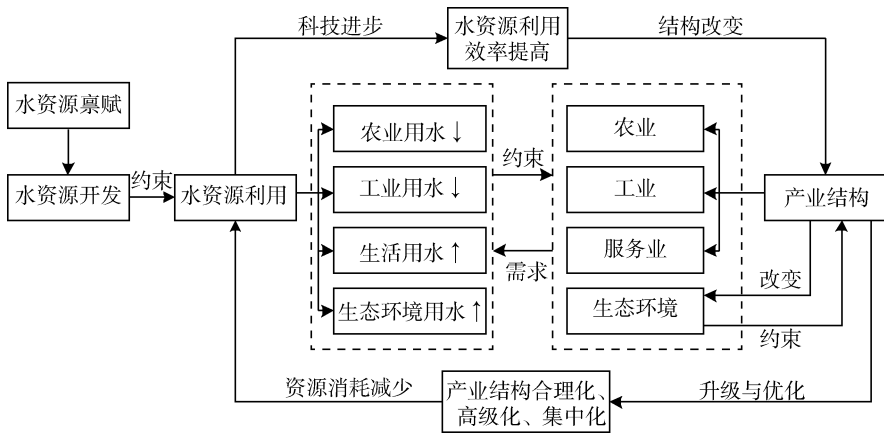


图1 水资源利用与产业结构耦合协调关系作用机制

表 1 水资源利用效率系统与产业结构系统综合评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标单位	指标属性	熵值法权重	变异系数法权重	综合权重
水资源利用效率	综合用水效率	人均综合用水量	m ³	负向	0.0976	0.1220	0.1098
		万元国内生产总值用水量	m ³	负向	0.1356	0.1496	0.1426
	农业用水效率	农田亩均灌溉用水量	m ³	负向	0.0919	0.0828	0.0873
		农田灌溉水有效利用系数		正向	0.2167	0.0604	0.1386
	工业用水效率	万元工业增加值用水量	m ³	负向	0.0385	0.2023	0.1204
	生活用水效率	城镇人均生活用水量	L/d	正向	0.1483	0.0676	0.1079
		农村居民人均生活用水量	L/d	正向	0.1660	0.0746	0.1203
	生态环境用水效率	城市污水集中处理率	%	正向	0.0555	0.0213	0.0384
		人均 COD 排放量	t	负向	0.0501	0.2194	0.1347
	产业结构合理化	泰尔指数		负向	0.1161	0.6992	0.4076
产业结构	产业结构高级化	产业结构高级化指数		正向	0.3413	0.0404	0.1910
	产业结构集中度	产业集中度指数		正向	0.5427	0.2602	0.4014

注:城镇人均生活用水量指标中含公共用水量;产业结构系统的三级指标计算公式见文献[8,16-17]。

3 研究方法

3.1 数据处理与权重计算

由于不同指标之间存在单位上差异,因此需对原始数据进行标准化处理以消除量纲的影响。因选取的指标有正向与负向,还需对指标进行正向化处理。使用极差法对指标进行无量纲正向化处理,正向指标利用式(1)处理,负向指标利用式(2)处理。

$$S_{\lambda ij} = \frac{X_{\lambda ij} - X_{\min j}}{X_{\max j} - X_{\min j}} \quad (1)$$

$$S_{\lambda ij} = \frac{X_{\max j} - X_{\lambda ij}}{X_{\max j} - X_{\min j}} \quad (2)$$

式中: $S_{\lambda ij}$ 为第 λ 年第 i 个省份的第 j 个指标经无量纲正向化后的数值; $X_{\lambda ij}$ 为第 λ 年第 i 个子系统的第 j 个指标的原始值; $X_{\min j}$ 和 $X_{\max j}$ 分别表示第 j 个指标的最小值和最大值。在指标权重方面,为避免主观赋权的打分法造成的非客观性影响,本文采用熵值法^[18]和变异系数法^[19]进行赋权,两者取平均值后为综合权重。经计算,各指标权重如表 1 所示。

3.2 耦合协调度模型

耦合本身是指两个或两个以上的系统的相互作用关系,耦合度则能良好地反映系统间的影响程度,因此常用耦合度来度量系统间协同作用。长江经济带水资源利用效率与产业结构耦合度 C 的计算公式为

$$C = \frac{\sqrt{S_1 S_2}}{S_1 + S_2} \quad (3)$$

式中: S_1 为经过数据处理后的长江经济带水资源利用效率值; S_2 为经过数据处理后的长江经济带产业结构综合评价值。由式(3)可以看出,耦合度 C 的取值范围为 $[0,1]$,当 $C = 0$ 时,两系统不存在相互作用且耦合度最小;当 $C = 1$ 时,两系统的耦合度达到最大值并处于良性耦合状态。

然而,耦合度仅能反映两系统间相互影响的程度而不能展现各系统的发展状况,在一定条件下甚至会出现两系统的综合评价值较低但耦合度较高的情况。因此,计算两系统的耦合协调度 D 来判断两系统的耦合是否是良性耦合。水资源利用效率和产业结构的耦合协调度 D 计算公式为

$$D = \sqrt{C(\alpha S_1 + \beta S_2)} \quad (4)$$

式中: α 、 β 为系数,因为水资源利用效率系统与产业结构系统同等重要,取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。本文依据均匀分布函数法对耦合度和耦合协调度进行划分,划分标准如下:耦合度在 $[0, 0.2]$ 为磨合耦合, $(0.2, 0.4]$ 为初级耦合, $(0.4, 0.6]$ 为中度耦合, $(0.6, 0.8]$ 为良好耦合, $(0.8, 1]$ 为高度耦合;耦合协调度在 $[0, 0.1]$ 为极度失调, $(0.1, 0.2]$ 为严重失调, $(0.2, 0.3]$ 为中度失调, $(0.3, 0.4]$ 为轻度失调, $(0.4, 0.5]$ 为濒临失调, $(0.5, 0.6]$ 为基本协调, $(0.6, 0.7]$ 为初级协调, $(0.7, 0.8]$ 为中级协调, $(0.8, 0.9]$ 为高级协调, $(0.9, 1]$ 为完美协调。

3.3 GTWR 模型

为更有效地揭示何种因素能对水资源利用效率和产业结构的耦合协调度产生影响,考虑到空间与时间的不平稳性,本文采用 Huang 等^[20]提出的 GTWR 模型进行分析。在自变量的选取上参考前人研究^[21-22],选择对水资源利用效率和产业结构都有影响的因素,分别从资金投入、人口教育、政府行为、资源禀赋等角度进行检验:①资金投入。选择外资依存度 h ,以每年各省市的外商直接投资额与该地区当年 GDP 的比值来表示;选择技术创新 t ,以当年该地区 R&D 支出占 GDP 比例表示。②人口教育。选择区域人口 p ,以年末区域常住人口来表示;选择居民受教育程度 e ,采用 Barro 等^[23]的方法进行计算。③政府行为。选取政策支持 n ,参考韩永辉等^[24]的做法,在中国法律法规数据库中检索各省市当年与产业结构、水资

源、用水等词汇有关的地方性法规、地方政府规章、地方工作文件和省级地方性法规,以相关法规、规章的累计数来表示;选取环境规制 k ,用各省市当年的工业污染治理完成投资额占 GDP 的比值表示。④资源禀赋。选取水资源拥有量 s ,以各省市当年公布的人均水资源拥有量来表示。基于上述指标构建如下 GTWR 模型:

$$D_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \beta_1(u_i, v_i, t_i) p_i + \beta_2(u_i, v_i, t_i) h_i + \beta_3(u_i, v_i, t_i) t_i + \beta_4(u_i, v_i, t_i) e_i + \beta_5(u_i, v_i, t_i) n_i + \beta_6(u_i, v_i, t_i) s_i + \beta_7(u_i, v_i, t_i) k_i \quad (5)$$

式中: D_i 为第 i 个省市在时空坐标 (u_i, v_i, t_i) 的用水效率与产业结构耦合协调度; $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ 为第 i 个省、直辖市的时空截距项; $\beta_i(u_i, v_i, t_i)$ 为时空坐标的函数,即回归系数, $i=1, 2, \dots, 7$ 。

4 模型模拟结果与分析

4.1 耦合协调关系时空分析

4.1.1 耦合协调度时序变化

计算而得水资源利用效率与产业结构的综合评价后,根据式(3)和式(4)计算出各地区的耦合度和耦合协调度,并依照前文将各年份、各地区的结果划分至不同区间。2010—2020 年,长江经济带的耦合度集中于 0.985 左右且几乎没有大幅波动和变化,均处于高水平耦合状态,因此本文不予展示。然而高水平的耦合并不意味着高度的协调,基于高水平耦合阶段对水资源利用效率和产业结构两系统的耦合协调度进行重点分析,将耦合协调度结果绘制成图,如图 2 所示。从时间维度看,2010—2020 年长江经济带整体的耦合协调度均为稳步上升态势,整体波动幅度较小,但不同流域状态有所不同。上游地区的耦合协调度由 2010 年的 0.58 提升至 2020 年的 0.77,增长率为 33.95%,为所有流域中增长幅度最显著的;中游地区有“先降后升再降”的趋势,尤其表现为 2011 年降幅最大;下游地区则整体保持在较高水平处于 0.75 之上,且变化趋于平稳。可以看出,所有省份在样本期间内耦合协调度都有或多或少的提升,这表明在高水平耦合的基础上,各地区的水资源利用效率与产业结构的耦合更加协调,呈现良好的发展态势,而这与我国对长江经济带高度重视、对用水和产业结构不断出台有关政策进行指导有直接关系。

4.1.2 耦合协调度空间特征与演变

为分析耦合协调度的空间特征与演变,利用 ArcGIS10.2 软件进行可视化处理,2010 年、2015 年、2020 年长江经济带耦合协调度如图 3 所示。结

果显示,耦合协调度分布在 0.414 ~ 0.874、0.582 ~ 0.900 和 0.672 ~ 0.914,总体在“濒临失调”和“完美协调”间变动。

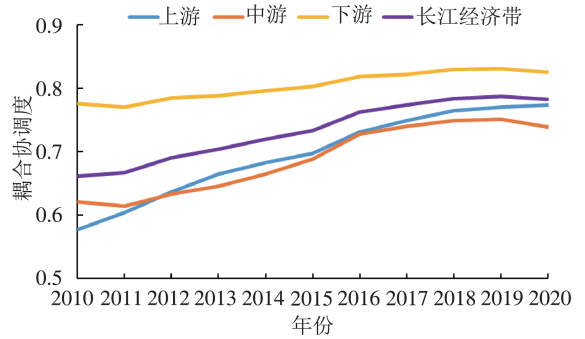


图 2 2010—2020 年长江经济带耦合协调度变化

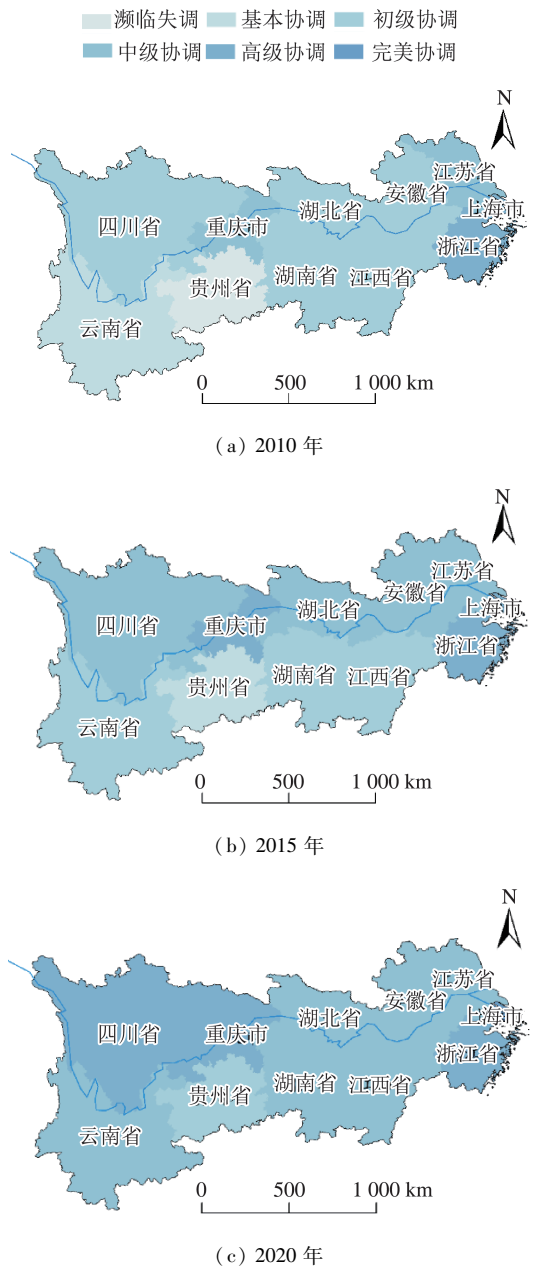


图 3 长江经济带耦合协调度

从空间的分布角度看,长江经济带水资源利用效率与产业结构耦合协调关系的区域分化较为明显,表现为两直辖市和沿海城市耦合协调度较高,其余地区以两直辖市为核心向外多级空间等级扩散、耦合协调度不断降低,最终在整体上呈现较为显著的东高西低、以上海市和重庆市为核心的空间分布特征。在所选取的典型年份中,高耦合协调度区位主要集中于长江下游地区、中耦合协调度区位集中于长江中游地区、低耦合协调度区位集中在长江上游地区的状态,这大致与长江经济带各地区的经济发展状态趋同。但2020年的空间分布中,上、中游所展示的情况却不是很匹配,究其原因,湖北省、湖南省是典型的资源型城市,第二产业占三产中较大的比例,工业占比过高会导致工业用水加大、产业竞争力降低,由此造成两系统的综合评价价值低下,进而呈现较低的耦合协调状态。总而言之,在不同年份间,各地区的耦合协调类型呈现相似的空间分布特征且基本同比例进步,最终皆达到了“初级协调”及以上的水准。

再分析耦合协调类型的空间演变过程,为了更好地揭示空间格局的演变形态,利用 ArcGIS10.2 软件的有关模块,绘制 2010—2020 年长江经济带水资源利用效率和产业结构耦合协调度的标准差椭圆、重心及其迁移方向,重心与标准差椭圆的变动趋势如图 4 所示。

由图 4 可以看出,上中下游的标准差椭圆皆呈现不同的状态,可以发现:①上游地区耦合协调度重心先向东南方后又向西南方迁移,标准差椭圆呈东

北-西南分布,其长轴标准差逐步缩短、短轴标准差逐步扩张,说明上游地区的耦合协调度呈现向南迁移的分散态势,该地区间的区域异质性相对减弱。②中游地区重心在样本期间向北迁移,标准差椭圆呈西北-东南方向分布,长轴先扩后缩而短轴先缩后扩,表明在中游地区空间集聚程度先上升后下降。③下游地区整体呈现向西北方向迁移的显著态势,标准差椭圆呈西北-东南分布,长轴扩张、短轴则基本不变,同时转角逐步缩小,这表明耦合协调度在南北方向上有扩张趋势,且椭圆轴线西北方向的省份耦合协调度增长速度快于轴线东南方向的省份。

4.2 影响因素拟合系数分析

4.2.1 GTWR 模型结果

GTWR 模型适用于时间和空间都有显著非平稳性的数据,因此应先分析测试数据的时空非平稳性。本文采用 Ma 等^[25]的方法,通过比较最小二乘(OLS)回归的两倍标准误差与 GTWR 模型的四分位间距的大小来判断非平稳性,四分位间距较大则表明数据的时空非平稳性显著。时空非平稳性的检验情况的结果表明,所有变量都表现出了额外的局部变化,因此可利用 GTWR 模型进行回归。

使用 ArcGIS10.2 软件与 GTWR 插件工具包估计 GTWR 模型,选择自动优化设置带宽,并设置时空距离参数比为 1。同时为观察 GTWR 模型的适用性,利用 Stata15.1 软件对数据进行 OLS 回归,利用 ArcGIS10.2 软件对 2010 年、2015 年、2020 年的截面数据进行地理加权(GWR)回归,从而与 GTWR 模型对比。各模型的最终估计结果见表 2。

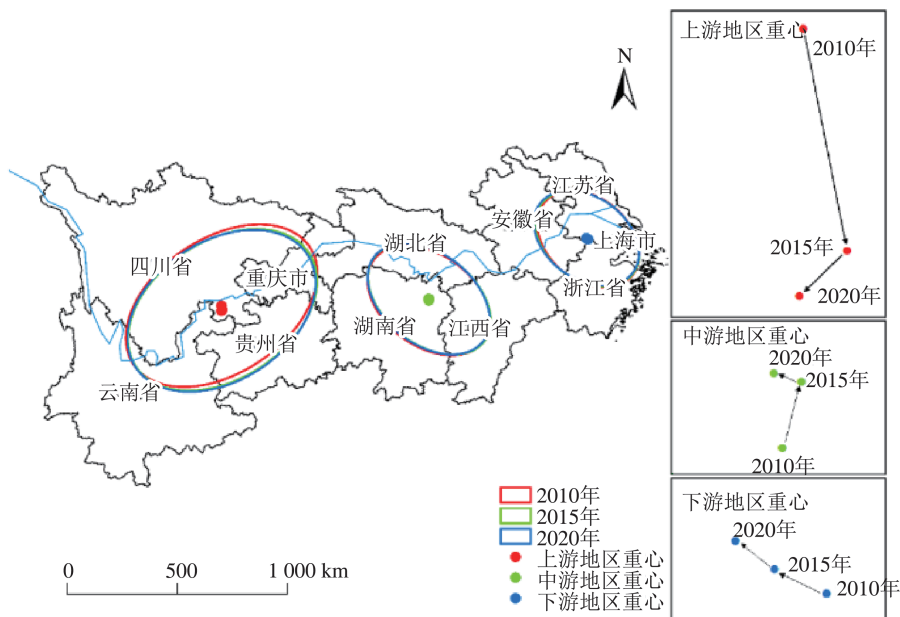


图 4 2010—2020 年长江经济带上、中、下游标准差椭圆及重心迁移

表2 OLS模型、GWR模型与GTWR模型的估计结果

指标	OLS模型	GWR模型			GTWR模型				
		2010年	2015年	2020年	上四分位	中位数	下四分位	峰值	平均值
截距项	0.415908***	0.254520	-0.297616	1.946702	0.174765	0.371857	0.621521	1.146649	0.389249
<i>p</i>	-0.101911***	-0.144083	-0.170406	-0.321088	-0.204609	-0.122083	0.016443	0.230914	-0.094679
<i>h</i>	0.156883***	0.220776	0.192142	-0.455360	-0.146674	0.098430	0.270520	0.713495	0.078903
<i>t</i>	0.751718***	0.705679	1.512587	1.503617	0.269850	0.545461	0.849896	2.449812	0.536154
<i>e</i>	-0.099408	0.333555	-0.563627	-1.564804	-0.222027	0.057104	0.714535	1.172756	0.220953
<i>n</i>	0.076894*	37.165823	2.139788	0.670691	-0.060769	0.010697	0.097911	0.362614	0.010050
<i>s</i>	0.158741***	0.204606	0.317743	0.151874	0.037612	0.115625	0.304751	0.844436	0.173124
<i>k</i>	-0.175108***	-0.422088	-0.165751	-0.936561	-0.131184	-0.026693	-0.000206	0.450546	-0.059833
模型带宽		1.981720	1.985000	1.987200			0.116761		
AIC值	-218.024	199.244	175.781	173.87			-367.995		
<i>R</i> ²	0.761761	0.863637	0.936545	0.919900			0.984060		
调整后 <i>R</i> ²	0.747003	0.545456	0.788482	0.733001			0.983073		

注:***、**、*分别表示变量在1%、5%、10%的显著性水平上统计显著;GWR模型的回归系数为当年所有省份回归系数的平均值。

4.2.2 GTWR模型数据分析

从OLS模型的回归结果看,区域人口、外资依存度、技术创新、水资源拥有量、环境规制等变量在1%的显著性水平上显著,政策支持在10%的显著性水平上显著,其中外资依存度、技术创新、政策支持、水资源拥有量对耦合协调度起正向作用,区域人口、环境规制起负向作用,而居民教育程度呈负相关且不显著。再分析AIC和拟合优度*R*²可以发现,GTWR模型的拟合效果则明显优于OLS模型和GWR模型,这表明应以GTWR模型的结果进行分析,且从AIC角度看GWR模型的回归结果并不理想,正能从侧面证明了单从空间而不从时空角度考虑影响因素的影响作用是不可靠的。统计历年各省市的主导影响因素得,技术创新作为主导影响因素的频次最高,其次是居民教育程度、外资依存度和水资源拥有量。

限于篇幅,各省市的GWR模型和GTWR模型回归系数、GTWR模型回归系数空间分布图不再列出,综合估计结果得出以下结论:①区域人口。区域人口对耦合协调度的影响在上游和中下游区域间逐渐呈现两极化态势,且趋势愈发明显,上游地区呈正向作用而中下游地区呈负向作用。②外资依存度。“十二五”期间除上海、浙江外的其他省市,其回归系数皆为正值,而至“十三五”期间,上述省市外资依存度的正向影响逐步减弱,甚至逐渐展现出抑制作用。③技术创新。技术创新存在显著的正向作用,这一点也较符合预期。然而随着时间演进,技术创新的正向作用逐步削弱。④居民教育程度。随时间推移,居民教育程度对上游地区的正向影响加深且下游的负向影响更甚,以中游为界,上下游地区呈现显著的空间差异。⑤政策支持。政策支持对耦合协调度在上中游地区起显著的正向作用而下游呈负向,但后续政策支持对长江经济带的影响逐步向0

靠近,这表明在研究前期政策支持对耦合协调度起到了极强的影响而至后期效果减弱。⑥水资源拥有量。水资源拥有量对耦合协调度为显著正向影响,并呈现上、下游促进效果更强而中游较弱的空间分布格局。⑦环境规制。GTWR回归结果表明环境规制对两系统耦合协调存在负向效应,但在“十二五”期间四川、重庆则表现为正向促进效应。至“十三五”期间,环境规制的回归系数呈现空间分异态势,表现为上游负向效应加强而中下游负向效应减弱甚至展现出转为正向效应的趋势。

5 结论与建议

5.1 结论

a. 在时序变化方面,2010—2020年长江经济带11省市的水资源利用效率和产业结构系统的耦合协调度不断提高,且多数省份都实现了耦合协调度的状态升级;在空间分布特征方面,形成了以上海市、重庆市为核心,整体上东高西低的空间分布特征;在空间演变方面,上中下游重心迁移的方向略有不同,上游主要向南迁移、中游主要向北方迁移、下游主要向西北方迁移,且上中下游空间集聚性分别呈扩散、先集聚后扩散、集聚的态势。

b. 相比于传统OLS模型和GWR模型,GTWR模型的拟合效果更优,各因素对两系统耦合协调关系的影响表现为:外资依存度、技术创新、水资源拥有量正向作用,环境规制负向作用,区域人口、居民教育程度、政策支持为上游正向作用而下游负向作用,且随时间推移,除区域人口外的影响因素皆有影响变弱的趋势。

5.2 建议

a. 注重生态环境方面的用水效率改善。对水资源进行合理配置,依照我国现行法律法规保障生态与环境用水。坚持预防为主、防治结合、综合治理

的水污染防治原则,积极推动再生水的利用,严格对城市污水、废水进行二次处理,保证排放水对生态环境污染最小化,并借鉴国内外水污染防治的有效经验,强化生态用水的管理机制和保障机制。

b. 坚持创新驱动战略,合理设置外资准入门槛。创新驱动意味着从技术的角度在根本上提高用水效率,于宏观上逐渐淘汰耗水高、产能少的产业,于微观上让企业采用更先进的节水工艺向环保、绿色的方向发展。同时,发展离不开开放与创新,长江经济带应立足于短期区域发展实际、配合于长期战略方向,摆脱对国外技术的依赖性,对外资的使用进行多环节审核,持续有针对性地提高区域的竞争能力,并不断加强区域间的沟通互联,巩固现有成果,通过吸取外界经验不断提高区域内的用水效率、优化产业结构。

c. 发挥人才带动作用。人才是创新的基石,居民教育程度越高则居民素质越好,国家应出台相应政策继续提高教育普及水平,为高精尖产业注入适配人员。同时,应积极促进知识成果转化,充分发挥人才在创新发展中的引领作用,不断提高水资源利用效率。

d. 合理开发水资源。各省市应结合自身资源禀赋情况对水资源进行合理统筹,根据资源情况有规划、有目的地进行开发利用,保证水资源利用与产业布局相匹配。

参考文献:

[1] 孙才志,马奇飞,赵良仕. 基于GWR模型的中国水资源绿色效率驱动机理[J]. 地理学报,2020,75(5):1022-1035.

[2] 卢曦,许长新. 基于三阶段DEA与Malmquist指数分解的长江经济带水资源利用效率研究[J]. 长江流域资源与环境,2017,26(1):7-14.

[3] 邢霞,修长百,刘玉春. 黄河流域水资源利用效率与经济耦合协调关系研究[J]. 软科学,2020,34(8):44-50.

[4] 姚亭亭,刘苏峡. 京津冀水资源利用多效率指标的变化特征比较[J]. 地理科学进展,2021,40(7):1195-1207.

[5] 王玉珍. 资源型经济及其工业化体系催生山西与江苏[J]. 改革,2012(12):76-82.

[6] 段禄峰. 我国产业结构偏离度研究[J]. 统计与决策,2016,32(6):122-125.

[7] 王涛,石丹,安锦. 上海市产业结构偏离度与经济增长关系的实证检验:基于一个新的产业结构偏离度指标[J]. 华东经济管理,2015,29(8):17-23.

[8] 江洪,赵宝福. 碳排放约束下能源效率与产业结构解构、空间分布及耦合分析[J]. 资源科学,2015,37(1):152-162.

[9] 黄海立. 新型城镇化与产业结构优化协调发展实证研究[J]. 统计与决策,2021,37(5):108-111.

[10] 崔志清,董增川. 基于水资源约束的产业结构调整模型研究[J]. 南水北调与水利科技,2008(2):60-63.

[11] 张黎明,王红瑞,潘成忠,等. 资源型地区产业结构调整对水资源利用效率影响的实证分析:来自中国10个资源型省份的经验证据[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2021,57(3):353-362.

[12] 张丽娜,徐洁,庞庆华,等. 水资源与产业结构高级化的适配度时空差异及动态演变[J]. 自然资源学报,2021,36(8):2113-2124.

[13] 吴丹. 京津冀地区产业结构与水资源的关联性分析及双向优化模型构建[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(9):158-166.

[14] 蒋桂芹,赵勇,于福亮. 水资源与产业结构演进互动关系[J]. 水电能源科学,2013,31(4):139-142.

[15] 焦士兴,王安周,张馨歆,等. 经济新常态下河南省产业结构与水资源耦合协调发展研究[J]. 世界地理研究,2020,29(2):358-365.

[16] 于春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究,2011,46(5):4-16.

[17] 付凌晖. 我国产业结构高级化与经济增长关系的实证研究[J]. 统计研究,2010,27(8):79-81.

[18] 冯兴华,钟业喜,李峥荣,等. 长江经济带城市体系空间格局演变[J]. 长江流域资源与环境,2017(11):3-15.

[19] 王亚男,唐晓彬. 基于八大区域视角的中国经济高质量发展水平测度研究[J]. 数理统计与管理,2022,41(2):191-206.

[20] HUANG B, WU B, BARRY M. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices [J]. International Journal of Geographical Information Science,2010,24(3/4):383-401.

[21] 徐传谌,王艺璇. “一带一路”视角下影响中国产业结构变动的因素:基于省级面板数据的实证分析[J]. 工业技术经济,2018,37(3):51-55.

[22] 任俊霖,李浩,伍新木,等. 长江经济带省会城市用水效率分析[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(5):101-107.

[23] BARRO R J, LEE J W. International comparisons of educational attainment [J]. Journal of Monetary Economics,1993,32(3):364-394.

[24] 韩永辉,黄亮雄,王贤彬. 产业政策推动地方产业结构升级了吗:基于发展型地方政府的理论解释与实证检验[J]. 经济研究,2017,52(8):33-48.

[25] MA X, ZHANG J, DING C, et al. A geographically and temporally weighted regression model to explore the spatiotemporal influence of built environment on transit ridership [J]. Computers, Environment and Urban Systems,2018,70:113-124.

(收稿日期:2022-03-27 编辑:张志琴)