

欢迎按以下格式引用:秦尊文,聂夏清.长江经济带水资源利用效率时空分异特征及影响因素探析[J].长江大学学报(社会科学版),2022,45(5):71-81.

长江经济带水资源利用效率时空分异特征及影响因素探析

秦尊文 聂夏清

(湖北省社会科学院 长江流域经济研究所,湖北 武汉 430077)

摘要:运用熵权法对长江经济带11省(市)水资源利用效率进行测度,利用综合探索性空间数据分析方法(ESDA)对长江经济带水资源利用效率时空格局和热点趋势进行分析,最后运用地理探测器探讨长江经济带水资源利用效率时空分异特征的影响因素。结果表明:长江经济带水资源综合利用效率呈逐年稳定上升趋势,长江经济带水资源利用状况逐步改善;从长江经济带上中下游区域来看,下游地区水资源综合利用效率平均值最高,上游地区次之,中游地区最低;从农业、工业、生活、生态用水效率来看,11省(市)均呈上升趋势,水资源利用效率热点区域呈现由下游地区向上游地区迁移的趋势;在地理探测器对影响因素的探析结果中,有11项因素的多年 q 均值大于0.5,解释力较强的有“水资源总量”“年末常住人口城镇化率”“湿地面积占辖区面积比重”“每万人口授权发明专利拥有量”等因子,任意两项因子的交互作用均大于独立影响。

关键词:水资源效率;熵权法;地理探测器;影响因素;长江经济带

分类号:F061.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-1395(2022)05-0071-11

一、导言

近年来我国水资源利用效率显著提高,但与发达国家相比,差距仍然明显,节水潜力较大。长江经济带作为我国典型的丰水地区,水资源承载能力相对较强,但目前水资源利用状况与区域水资源高效利用和高质量发展要求仍有差距。探讨长江经济带水资源利用效率,分析区域内不同省(市)间差异性,如何在优化水资源时空配置的同时提升水资源利用效率,处理好经济发展与水资源环境保护日益严峻的冲突,是关系到长江经济带高质量发展的核心问题。

目前,水资源效率问题已经引起国内外学者广

泛关注,早期姜文来(2001)^[1]、张利平等(2009)^[2]等学者在分析我国水资源存在问题的基础上提出开展以提高用水效率为核心的技术革命以缓解水资源安全问题,同时其他学者提出应对水资源配置进行优化(吴泽宁等,2004)^[3],在流域水资源配置方面,应建立以流域水循环为基础的配置模式(王浩等,2004)^[4]和区域性水资源可持续利用评价指标体系(刘恒等,2003)^[5]。在农业节水效率研究方面,提出农业高效节水技术是提高农业用水效率、促进农业发展的关键(康绍忠,1998;孙景生等,2000)^{[6][7]},并展望我国农业节水技术的主要创新点和发展方向(康绍忠等,2004)^[8],后期学者采用非期望产出的

收稿日期:2022-06-03

基金项目:国家社会科学基金重大项目“建设‘长江三峡生态经济走廊’研究”(19ZDA0897)

第一作者简介:秦尊文(1961-),男,湖北荆门人,研究员,博士生导师,主要从事区域经济、城市经济研究。

通信作者:聂夏清(1997-),女,山西忻州人,主要从事区域经济、流域经济研究,E-mail:nxiaqing@163.com。

SBM 模型和 DEA 方法等对我国农业生态效率进行测算(潘丹等,2013;李明璁,2017)^{[9][10]}。在工业用水效率方面,学者运用随机前沿函数法 SFA 和数据包络模型 DEA 等方法对我国工业用水效率进行测算(孙爱军等,2007;买亚宗等,2014;张峰等,2017)^[11~13]。针对我国全域水资源使用效率,我国学者由最初的直观感受水资源使用效率低下到定量研究水资源利用效率及影响因素,陈素景等(2007)^[14]、李世祥等(2008)^[15]、孙才志等(2009,2017)^{[16][17]}、朱达等(2020)^[18]、任玉芬等(2020)^[19]对我国东中西三大区域和大陆 31 个省份水资源利用效率差异进行了探讨,认为经济发展水平是造成水资源利用效率区域差异的重要影响因素。此外,学者也对我国个别流域或特定区域进行水资源效率分析,邢霞等(2020)^[20]利用耦合协调度和障碍度模型探讨了黄河流域用水效率和经济发展的协调关系,认为黄河流域子系统耦合度均有不同程度提高,经济发展水平滞后于水资源利用效率水平;陈浩等(2021)^[21]基于投入产出表的影子价格法对京津冀地区水资源使用效率进行评估,认为用水效率的提高将进一步促进京津冀协调发展;张振龙等(2017)^[22]对西北干旱地区水资源利用效率及影响因素进行测度,认为西北地区水资源使用效率差距不断被扩大,总体呈波段上升趋势;部分学者对广西、河南等省份进行水资源利用效率测度与分析(钟丽雯等,2020;焦士兴等,2022)^{[23][24]}。

总体来看,我国学者以水资源、资本和劳动力等

作为投入要素,GDP 作为产出对水资源利用效率进行测度,研究区域主要以全国、部分区域或个别省份为主,对长江经济带水资源综合利用效率测算分析相对不足。基于此,文章将以长江经济带 11 省(市)为研究对象,构建包含农业用水效率、工业用水效率、生活用水效率和生态环境效率的水资源综合效率评价指标体系,较为全面地测度 2015~2019 年长江经济带水资源综合利用情况,并运用地理探测器探究长江经济带水资源利用效率的影响因素,以期 为长江经济带水资源高效利用和实现中国区域高质量发展提供参考借鉴。

二、指标体系与数据来源

(一)指标体系构建

1.水资源综合利用效率指标体系

本文将水资源利用效率定义为在有限的水资源供给条件下,通过建立水资源消耗与农业、工业、生活、生态产出的相关指标,评价地区水资源生产要素投入所带来的生产、生活、生态的产出效率,目的是平衡有限的水资源量与经济、社会、生态日益增长的水资源需求量之间的矛盾,促进区域水资源的高效可持续利用。本文将水资源利用效率指标体系分为 3 个层次,目标层、准则层和指标层(见表 1)。目标层为单一目标,准则层为农业、工业、生活和生态 4 个准则,具体指标若干,目的是突出不同系统对水资源利用的分块以及综合描述,体现“经济—社会—生态环境”协调发展的本质。

表 1 水资源利用效率指标体系

目标层	准则层	指标层	权重
水资源综合利用效率	农业用水效率	农田灌溉亩均用水量	0.083
		农田灌溉水有效利用系数	0.223
		单位用水量的农业总产值	0.285
	工业用水效率	万元地区生产总值用水量	0.078
		万元工业增加值用水量	0.091
		工业用水重复利用率	0.086
	生活用水效率	城镇居民生活人均用水量	0.059
		农村居民生活人均用水量	0.003
	生态环境效率	地表水达到或好于Ⅲ类水体比例	0.053
		城市污水处理率	0.039

2.影响因素指标体系

水资源综合利用效率是对水资源所产生的经济—社会—生态效益的综合测度,因此长江经济带水资源综合效率的时空分异也受到自然、经济、社会

等多重因素影响。基于此,文章围绕经济发展水平、城镇化水平、产业结构、水资源禀赋、环保支出、创新能力、教育服务水平、对外开放度和生态涵养 9 个方面 22 个影响因素指标(见表 2),展开水资源利用效

率差异背后的影响机制探析。

表 2 水资源利用效率影响因素指标体系

准则层	指标层	单位
经济发展水平	地区生产总值占全国比重(x1)	%
	人均地区生产总值(x2)	万元
城镇化水平	农村居民恩格尔系数(x3)	—
	年末常住人口城镇化率(x4)	%
产业结构	第三产业产值占 GDP 比重(x5)	%
水资源可得性	人均水资源量(x6)	立方米/人
	年降水量(x7)	mm
	水资源总量(x8)	亿立方米
环境保护	单位工业增加值工业污染治理完成投资(x9)	%
	地方财政环境保护支出占一般预算支出比重(x10)	%
	节能环保支出(x11)	亿元
创新能力	万人拥有规模以上工业企业 R&D 人员全时当量(x12)	人年
	科学技术支出占地方一般公共预算支出比重(x13)	%
	每万人口授权发明专利拥有量(x14)	件
教育服务水平	教育经费支出占一般公共预算支出比重(x15)	%
	每万人拥有社会工作专业人才数(x16)	人
	就业人员中受过高中及以上教育的人员占比(x17)	%
对外开放度	外商投资企业占规模以上工业企业数量比重(x18)	%
	外商直接投资项目(x19)	个
	实际外商直接投资额(x20)	万美元
生态涵养	森林覆盖率(x21)	%
	湿地面积占辖区面积比重(x22)	%

(二)数据来源

文章研究数据主要来源为：2015～2019 年长江经济带 11 省(市)水资源公报、《中国水资源公报》、长江经济带 11 省(市)统计年鉴、长江经济带 11 省(市)生态环境状况公报、长江经济带 11 省(市)环境统计年鉴和《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国城市统计年鉴》等。缺失数据由相邻两年份插值得得。

三、研究方法

(一)熵权法

本文运用熵权法对水资源综合利用效率指标体系进行定量评价,使其结果更加客观合理。数据处理步骤如下：

(1)数据标准化处理。由于文章构建的水资源综合利用效率指标体系既包括正向指标也包括负向指标,不同指标之间的量纲不同,因此在进行测度之前,首先需要对评价指标进行标准化处理,以消除指标量纲的影响。采用极差法对原始数据进行标准化,具体如下：

正向指标：

$$X_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \times 40 + 60 \tag{1}$$

负向指标：

$$X_{ij} = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \times 40 + 60 \tag{2}$$

其中， X_{ij} 为原始指标数据矩阵， X_{ij} 表示第 i 个评价单元第 j 项评价指标值， $\max(X_j)$ 和 $\min(X_j)$ 分别表示第 j 项指标的最大值和最小值。

(2) 计算第 i 个个体对第 j 项指标的贡献度：

$$c_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum b_{ij}} \tag{3}$$

(3) 计算第 j 项指标的信息效用值：

$$d_j = 1 - \left(\frac{\sum (c_{ij} \cdot \ln c_{ij})}{-\ln n} \right) \tag{4}$$

(4) 确定评价指标熵权：

$$w_j = \frac{d_j}{\sum d_j} \tag{5}$$

(二)热点分析

局部自相关作为探索性空间数据分析(ESDA)的一种方法,是通过对现象或事物空间分布格局的

探索,来发现单元空间高值或低值的聚集情况以及聚类方式。局部 Getis-Ord G_i^* 热点探测是一种典型的局部空间自相关分析方法,可以发现不同年份水资源利用效率的冷热点分布。 G_i^* 值接近 0 时,说明观测值在该区域呈随机分布; G_i^* 的绝对值越大,说明观测值在该区域形成热点区域;正的 G_i^* 值指示高值的空间聚集,负的 G_i^* 值则指示低值的空间聚集。

(三)Geodetector 模型

地理探测器是探究自然和经济社会空间表现分异性背后驱动因子的工具,其 q 统计量用以表现空间分异性、探测解释因子及变量间的交互关系,具有明确的物理含义且没有线性假设。当因变量 Y 和自变量 X 均为数值量时,对 X 进行离散化转换为类型值后,运用地理探测器建立的 Y 与 X 之间的关系比经典回归更加可靠,客观地探测了自变量对因变量的解释(王劲峰等,2017)^[25]。因此文章运用地理探测器探测长江经济带水资源利用效率差异背后的

影响因子和因子间的交互作用机理,用 q 值度量:

$$q = 1 - \left(\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \right) / N \sigma^2$$

(6)

式中, L 表示各影响因素的分层个数,即分类或分区; N 和 N_h 分别为全区和层 h 的单元数; σ^2 和 σ_h^2 分别是全区和层 h 的水资源综合利用效率的方差。 q 的值域为 $[0,1]$, q 值越大表示该因素对水资源综合利用效率空间分异性的解释力越强,反之则越弱。

四、结果与分析

(一)总体特征分析

总体来看,在我国生态文明建设和长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”的背景下,长江经济带实现绿色可持续发展程度不断提高,区域水资源利用效率不断上升。长江经济带整体水资源利用效率平均值呈逐年上升趋势,由 2015 年的 0.393 上升至 2019 年的 0.503,年上升率分别为 8.3%、4.6%、5.2%、7.4%(见表 3)。

表 3 2015~2019 年长江经济带水资源综合利用效率测度结果

年份	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	多年平均
上海	0.526	0.530	0.531	0.539	0.566	0.538
江苏	0.466	0.490	0.503	0.511	0.501	0.494
浙江	0.526	0.550	0.566	0.588	0.623	0.571
安徽	0.375	0.393	0.429	0.451	0.477	0.425
江西	0.180	0.209	0.256	0.262	0.290	0.239
湖北	0.358	0.437	0.444	0.453	0.493	0.437
湖南	0.252	0.283	0.295	0.319	0.369	0.304
重庆	0.488	0.545	0.560	0.593	0.651	0.568
四川	0.321	0.349	0.394	0.450	0.483	0.400
贵州	0.463	0.490	0.498	0.538	0.577	0.513
云南	0.370	0.407	0.421	0.450	0.501	0.430
上游	0.411	0.448	0.468	0.508	0.553	0.478
中游	0.263	0.309	0.331	0.345	0.384	0.327
下游	0.473	0.491	0.507	0.522	0.542	0.507
平均	0.393	0.426	0.445	0.468	0.503	0.447

为进一步分析长江经济带 11 省(市)水资源利用效率变化趋势,对比 11 省(市)间水资源效率变化差异,文章运用 Origin2021 对长江经济带 11 省(市)水资源效率值绘制箱线图进行对比分析(见图 1)。

箱线图的高度在一定程度上反映数据的波动范围,上下边缘分别代表最大值和最小值,箱体部分的上下限分别表示组数据的上四分位数与下四分位数,箱体越扁则表示数据越集中。如图 1 所示,长江

经济带 11 省(市)在不同年份水资源利用效率变化差异显著,其中上海和江苏波动幅度较小,其余省(市)均呈现出较大的波动趋势。结合表 3 可知,箱线图的波动幅度大也代表水资源利用效率得到较大幅度提升,11 省(市)水资源利用效率取得明显改善。具体来看,2015~2019 年重庆水资源综合利用效率提升幅度最大,由 2015 年 0.488 上升至 2019 年 0.651,同时在 2019 年成为长江经济带水资源利

用效率最高的地区。就均值而言,长江经济带不同省(市)差距明显,江西省均值明显低于其他省(市),其中上游地区省份间水资源利用效率差异最大,下游地区省份水资源利用效率差异最小,不同区域内省(市)差异呈现出由上游地区到下游地区逐渐缩小的空间格局。

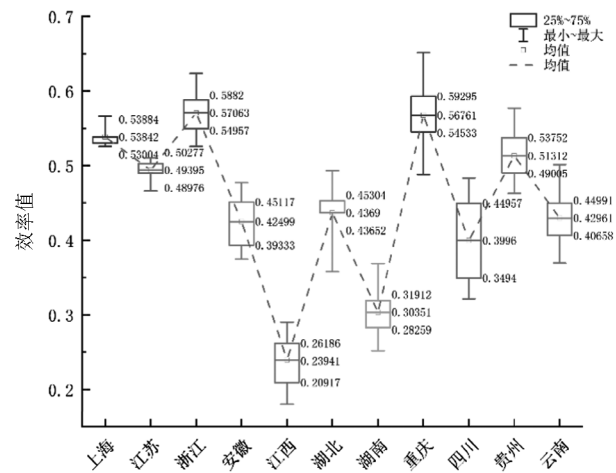


图 1 长江经济带 11 省(市)2015~2019 年水资源效率

(二)时空格局与局部空间集聚性分析

1. 时空格局

根据水资源综合利用效率评价方法得到 11 省(市)水资源利用效率指数,并将其划分为低值区、较低值区、中值区、较高值区和高值区 5 类,采用 GIS 进行空间可视化分析(见图 2)。

从时间维度来看,2015~2019 年 11 省(市)水资源利用效率指数呈不断上升趋势,其中,8 个(72.7%)省(市)指数变化值超过 0.1,主要集中在上游和中游区域,变化率由高到低依次为江西(61.02%)、四川(50.39%)、湖南(46.43%)、湖北(37.83%)、云南(35.69%)、重庆(33.45%)、安徽(27.35%)、贵州(24.67%)、浙江(18.61%)、上海(7.72%)、江苏(7.42%),从提升幅度来看,中游地区>上游地区>下游地区。

从空间维度来看,11 省(市)水资源利用效率区域差异较为显著,三大区域均有水资源效率相对较高和较低的省份,下游地区以浙江、上海、江苏为首,安徽相对较低;上游地区重庆和贵州显著高于云南和四川;中游地区湖北高于湖南和江西。水资源利用效率总体保持下游地区>上游地区>中游地区的空间格局。

2. 热点分析

利用局部 Getis-Ord G_i^* 热点探测来说明水资

源利用效率的局部空间自相关特征,发现不同年份水资源利用效率的热点区域不同,热点区域呈现由下游地区向上游地区迁移的趋势(见图 3)。2015 年热点区域为下游地区上海和江苏,无显著冷点区域;2016 年无显著热点区域和冷点区域;2017 年热点区域为上海;2018 年和 2019 年热点区域为上游地区四川,无显著冷点区域。

(三)农业、工业、生活、生态用水效率变化趋势分析

1. 农业用水效率变化趋势分析

2015~2019 年农业用水效率除上海、江苏有轻微下降外,其余省(市)呈逐年上升趋势。中国作为传统的农业大国,农业仍是我国用水量最大的生产部门,长江经济带是我国重要的农业区,农业科学用水关系到长江经济带经济社会高质量发展。近年来,长江经济带农业节水措施取得成效,农业总产值提升的同时农业灌溉效率不断提高。2015~2019 年江西省农业用水效率常年处于最低位,主要是由于农田灌溉亩均用水量较高,单位用水量的农业总产值较低,江西省应进一步改进农业节水措施,增加农业节水灌溉面积,降低农业单位面积用水量以提高农业用水效率。

2. 工业用水效率变化趋势分析

长江经济带 11 省(市)工业用水效率均呈上升趋势。万元 GDP 用水量与万元工业增加值用水量作为节水型社会的核心指标之一,反映了经济社会发展的耗水量高低,直观反映着节水政策的执行效果是否切实体现在经济社会发展之中。长江经济带各省(市)近年来万元 GDP 用水量和万元工业增加值用水量不断降低,用水结构不断优化,工业用水效率不断提升。2015~2019 年浙江、上海和江苏工业用水效率位列前三,湖南和江西工业用水效率常年位于 11 省(市)的末位,主要是由于万元工业增加值用水量较高,工业用水重复利用率较低。

3. 生活用水效率变化趋势分析

2015~2019 年长江经济带各省(市)城镇、农村居民人均生活用水量基本保持不变或小幅增加,各省(市)生活用水效率总体保持稳定不变或略微降低的趋势。四川城镇、农村居民人均生活用水量远高于其它省(市),导致其生活用水效率在长江经济带 11 省(市)中处于最低位,应向周边生活用水效率较高的省份云南和贵州学习,有效控制人均生活用水量,提高生活用水效率,促进城市水资源可持续发展。随着我国城镇化建设取得历史性成就,城镇生

活用水也随之增加、污染和浪费,个别省份出现城镇居民和农村居民生活用水量增加,生活用水效率降

低的趋势,应进一步关注城镇、农村居民生活用水状况,增强节水意识,创造节约用水的社会氛围。

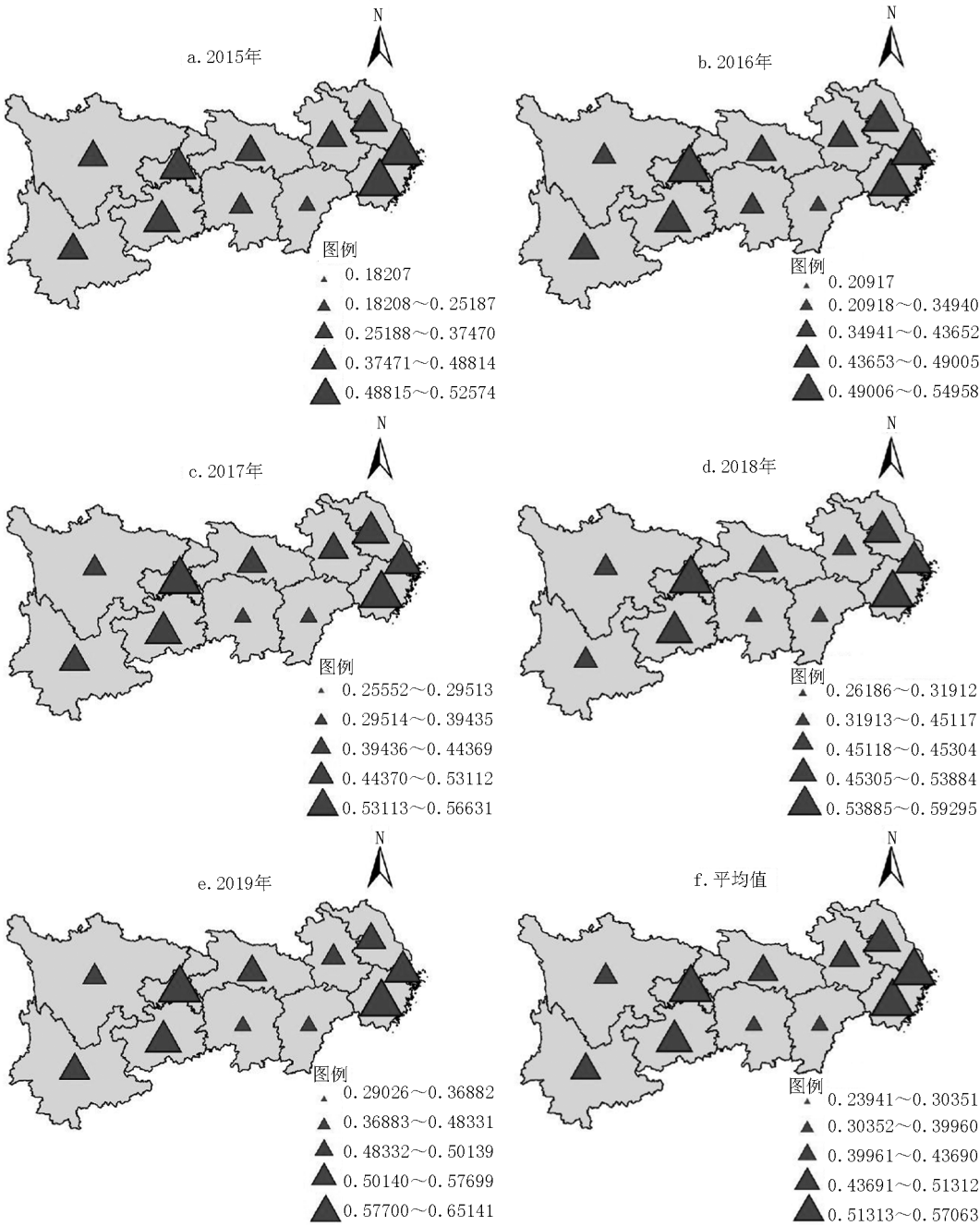


图 2 长江经济带水资源效率时空格局变化

4.生态用水效率变化趋势分析

长江经济带 11 省(市)生态环境用水效率均呈上升趋势。生态环境用水效率从高到低依次为贵州>湖南>湖北>重庆>安徽>浙江>云南>江苏>江西>四川>上海。其中,上海 2015~2019 年生态环境水资源效率均显著低于其他省份,主要由于其生态环境用水效率指标中,地表水达到或好于Ⅲ类

水体比例值在 11 省(市)中历年处于最低值。经济的高速发展加剧了上海河流污染的严峻情势,近年来上海市不断加大截污治污力度,地表水环境质量持续改善,但地表水环境氮磷污染问题仍然突出,已成为上海市水环境质量进一步提升的关键因素之一。上海作为长三角地区核心都市,应当充分发挥自身在经济、科技和教育方面的优势,加大环保投

人,不断拓宽科研攻关和人才培养的渠道以提升水环境状况。

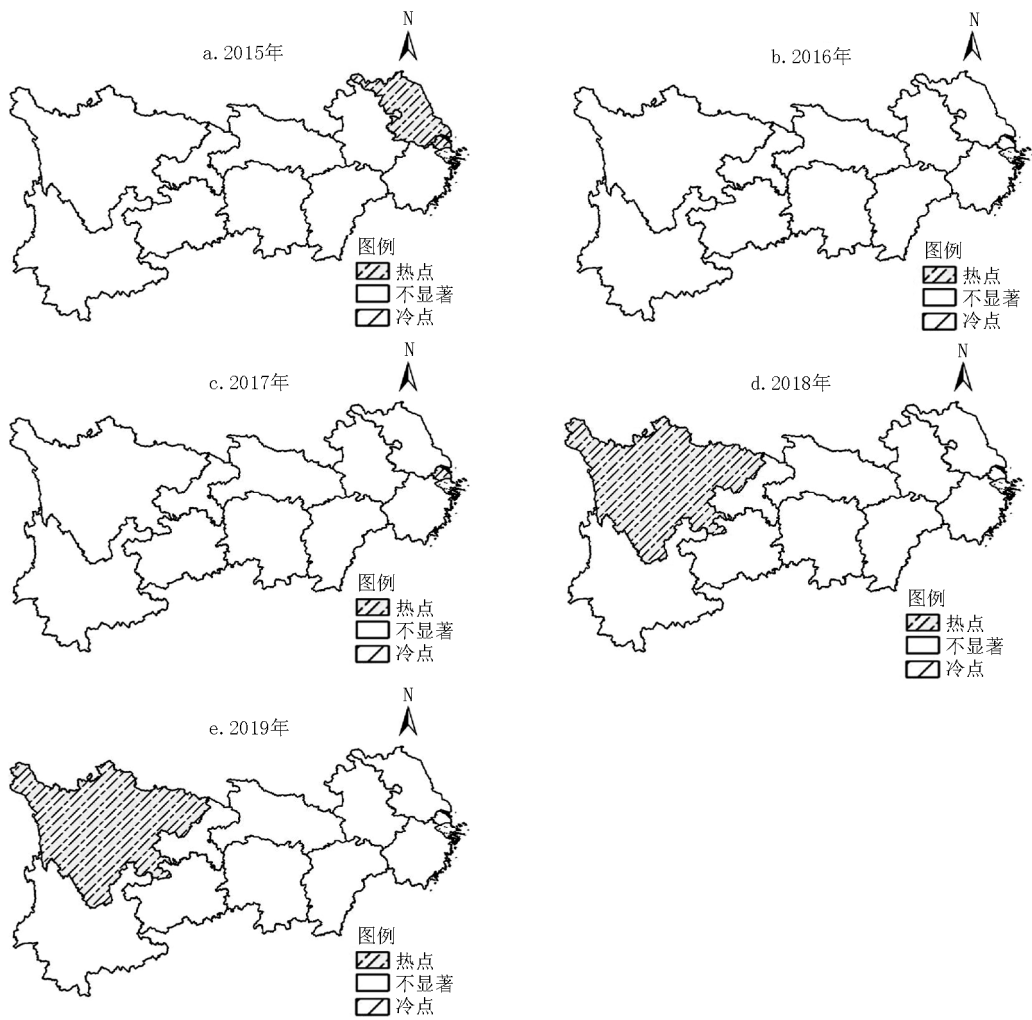


图 3 长江经济带水资源效率热点分析

5.水资源综合利用效率变化趋势分析

从水资源综合利用效率评价指标体系(见表 1)和测度结果(见表 3)可知,各省份水资源利用效率差异主要受农业用水效率和工业用水效率影响,农业用水效率和工业用水效率在水资源利用效率评价指标体系中权重最大,且在各省(市)之间农业用水效率和工业用水效率差异最大。

五、影响因素分析

(一)因子探测

根据长江经济带水资源利用效率影响因素指标体系(见表 2),使用 Arcgis 软件将各影响因子原始数据根据自然断点法划分为 5 类进行离散化处理后,运用地理探测器对其进行因子探测分析,识别长江经济带水资源利用效率时空分异主要驱动因子,测算结果

(见表 4)列出 2015 年、2017 年、2019 年 3 个时间节点及 2015~2019 年各影响因子多年平均 q 值。

由表 4 可知,不同影响因子对长江经济带水资源综合利用效率影响程度不同,且各影响因子在不同年份的影响程度变化较大。其中水资源总量(x_8)、年末常住人口城镇化率(x_4)、湿地面积占辖区面积比重(x_{22})、每万人口授权发明专利拥有量(x_{14})、每万人拥有社会工作专业人才数(x_{16})、人均地区生产总值(x_2)、万人拥有规模以上工业企业 R&D 人员全时当量(x_{12})、第三产业产值占 GDP 比重(x_5)、外商直接投资项目(x_{19})、就业人员中受过高中及以上教育的人员占比(x_{17})和外商投资企业占规模以上工业企业数量比重(x_{18})等有均值大于 0.5 的较高 q 值,表明这些变量在决定长江经济带水资源综合利用效率格局中起着重要作用。

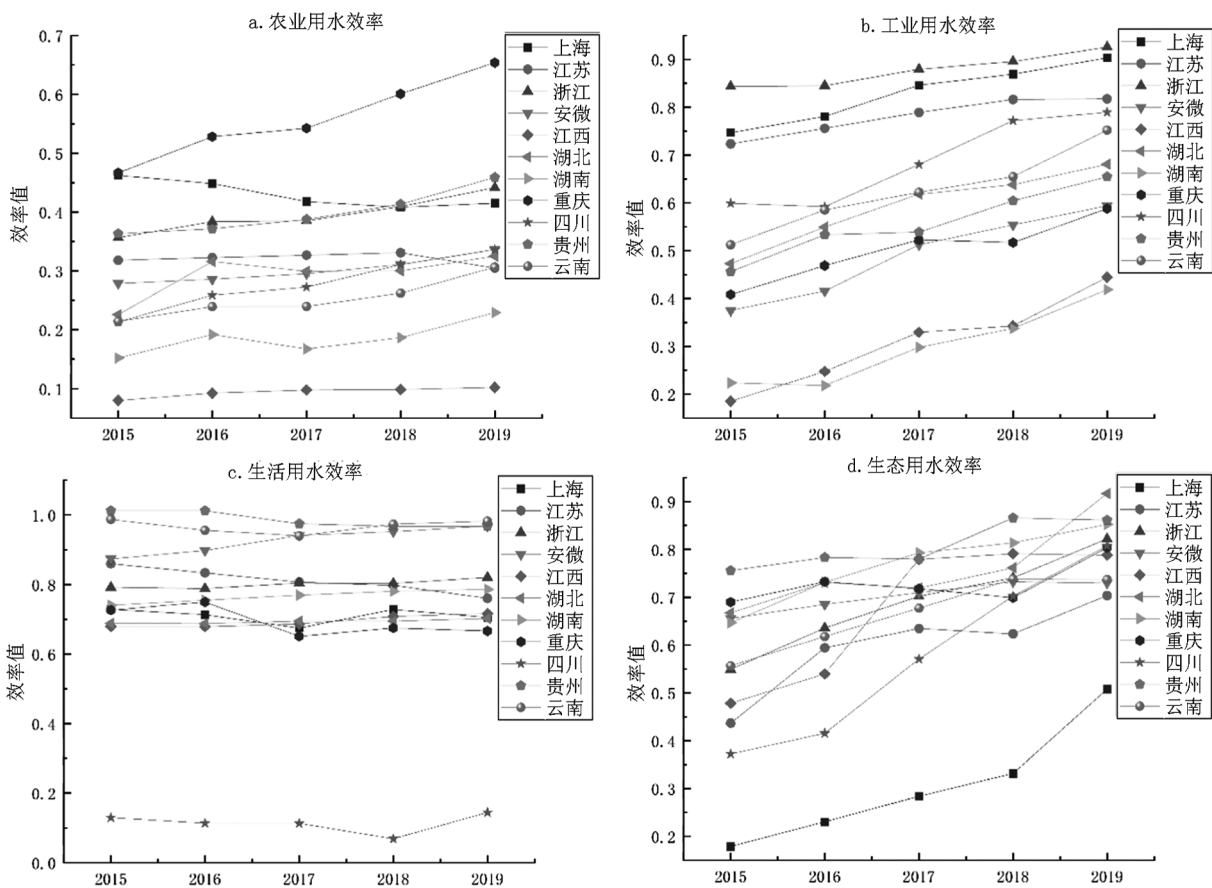


图 4 长江经济带分部门水资源效率变化

表 4 长江经济带水资源利用效率影响因子探测

影响因子	2015 年		2017 年		2019 年		多年平均	排序	影响趋势
	q 值	排序	q 值	排序	q 值	排序			
x1	0.636	11	0.333	18	0.313	15	0.441	14	↓
x2	0.680	7	0.647	6	0.518	9	0.654	6	↓
x3	0.243	20	0.275	21	0.405	12	0.359	18	↑
x4	0.706	6	0.735	3	0.737	4	0.733	2	↑
x5	0.581	12	0.508	9	0.797	1	0.644	8	↑
x6	0.399	17	0.471	12	0.749	3	0.496	12	↑
x7	0.389	18	0.429	14	0.274	19	0.388	17	↓
x8	0.671	9	0.871	1	0.777	2	0.762	1	↑
x9	0.490	16	0.402	15	0.381	14	0.398	16	↓
x10	0.519	14	0.540	8	0.294	17	0.492	13	↓
x11	0.193	22	0.326	19	0.162	22	0.324	19	↓
x12	0.730	4	0.483	11	0.457	11	0.650	7	↓
x13	0.664	10	0.342	17	0.555	8	0.433	15	↓
x14	0.709	5	0.657	5	0.634	6	0.681	4	↓
x15	0.273	19	0.354	16	0.201	21	0.287	21	↓
x16	0.880	1	0.631	7	0.465	10	0.667	5	↓
x17	0.544	13	0.707	4	0.288	18	0.572	10	↓
x18	0.760	3	0.471	13	0.572	7	0.529	11	↓
x19	0.844	2	0.493	10	0.392	13	0.599	9	↓
x20	0.510	15	0.238	22	0.238	20	0.322	20	↓
x21	0.233	21	0.297	20	0.305	16	0.282	22	↑
x22	0.680	8	0.736	2	0.728	5	0.720	3	↑

水资源总量(x_8)多年 q 均值为 0.762,成为决定水资源利用效率时空格局中最重要的影响因素,且影响程度由 2015 年第九位(0.671)上升到 2019 年第二位(0.777),以 q 均值 0.762 在所有影响因素中排名第一。同时另一关于水资源可得性的指标人均水资源量(x_6)多年 q 均值为 0.496,由 2015 年第十七位(0.399)上升至 2019 年第三位(0.749),水资源禀赋对水资源利用效率时空差异的决定性作用逐年增强且不容忽视。水资源总量以及人均水资源量的多少负相关影响地区的用水效率,水资源量越多造成水资源利用效率越低下,因此水资源禀赋越强的省份更应注重生产、生活、生态水资源的高效利用,加大节水力度,提高节水相关技术,使水资源量在省(市)间合理分配以使水资源使用效益最大化。

年末常住人口城镇化率(x_4)以多年平均 q 值 0.733 排在第二位,说明城市化发展水平对水资源利用效率有较强的解释力,同时城镇化水平差异对水资源利用效率差异的解释力不断增强,应进一步提高各省(市)的城镇化水平。城市化在快速发展的同时,在一定程度上加大了水资源使用的紧缺性,在有限水资源约束下水资源利用效率得到进一步提升。总体来看,长江经济带下游地区城市化发展水平和质量优于中游和上游地区,在快速城市化进程中更加注重水资源的优化配置,使水资源使用效率不断提高,因此城镇化水平差异成为长江经济带水资源利用效率时空分异的主要影响因素。

湿地面积占辖区面积比重(x_{22})保持多年连续 q 值大于 0.7 的上升趋势,以多年平均 q 值 0.720 排在第三位,同时森林覆盖率(x_{21}) q 值也有上升趋势。湿地面积占辖区面积比重(x_{22})和森林覆盖率(x_{21})从生态系统考察长江经济带各省(市)生态保护情况,在严格保护生态环境的前提下全面提高水资源利用效率,同时山林湖水草的绿色和谐发展进一步推动水资源的高效利用。湿地面积占辖区面积比重(x_{22})和森林覆盖率(x_{21})与水资源总量(x_8)和人均水资源量(x_6)等自然资源因素对长江经济带水资源利用效率时空分异的影响逐渐增强。

每万人口授权发明专利拥有量(x_{14})、万人拥有规模以上工业企业 R&D 人员全时当量(x_{12})和科学技术支出占地方一般公共预算支出比重(x_{13})多年平均 q 值分别为 0.681、0.650 和 0.433,反映出创新能力对长江经济带水资源利用效率分异也具有显著的影响作用。每万人口授权发明专利拥有量(x_{14})体现了研发成果的市场价值和竞争力,反映

出创新产出的专利质量;万人拥有规模以上工业企业 R&D 人员全时当量(x_{12})反映了自主创新人力投入的规模和强度;科学技术支出占地方一般公共预算支出比重(x_{13})作为政府对科技创新投入的重要体现之一,衡量政府对创新的直接投入力度,整体反映出创新驱动对提高水资源利用效率效果明显。

每万人拥有社会工作专业人才数(x_{16})和就业人员中受过高中及以上教育的人员占比(x_{17})以 q 均值 0.667 和 0.572 分别排在第五位和第十位,反映了社会服务能力水平的高低和就业人口受教育状况,从社会层面反映出社会教育服务能力也是长江经济带水资源利用效率时空分异的重要主导因子。

人均地区生产总值(x_2)和第三产业产值占 GDP 比重(x_5) q 值为 0.654 和 0.644,分别排在第六位和第八位,表示经济发展水平是水资源利用效率分异的重要影响因素。较高的经济发展水平伴随着较高的城镇化率,耗水量较高的农业比重小,非农业产业发展水平高,同时经济发展水平越高,也拥有较高的投资管理和技术水平,使单位水资源的产出更高,水资源效率提高。而对于经济欠发达的地区农业比重高,第三产业比例较小,技术管理水平相对落后,导致水资源利用方式粗放,水资源利用效率低下。

外商直接投资项目(x_{19})和外商投资企业占规模以上工业企业数量比重(x_{18}) q 均值分别为 0.599 和 0.529,在影响因子中排名第九位和第十一位,表明区域对外开放水平对水资源利用效率时空分异有一定的解释力。外商投资通过先进管理和技术经验溢出效应降低工业用水强度,提高工业用水效率,推动了区域水资源合理配置和高效利用。

综上,在影响长江经济带水资源利用效率时空分异的驱动因子中,除水资源禀赋对水资源利用效率是负向驱动外,其他因素均为正向驱动;自然资源因素的影响程度上升,经济、社会因素的影响下降,但经济社会发展水平对水资源利用效率的影响力仍然显著,应在快速城镇化的同时不断加大创新投入,提高节水技术,增强社会服务能力以提高水资源使用效率,同时应增强水资源禀赋强的省(市)的节水意识,注重生态保护,促进人与自然和谐共生。

(二)交互探测

通过计算和比较单因子与双因子叠加后的 q 值,进行两因子作用于因变量的交互探测,发现任意两个因子交互作用后的 q 值都要大于第一种因子的独自作用(见表 5),说明任意两个因子的交互作用都会增强对长江经济带水资源利用效率空间分异的

解释力,各影响因子之间的交互作用均为增强关系,利用效率空间差异是受多个因子共同作用的结果。不存在独立影响或减弱关系,即长江经济带水资源

表 5 长江经济带水资源利用效率影响因子交互探测

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	x21	x22
x1	0.31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x2	1.00	0.52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x3	1.00	1.00	0.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x4	1.00	0.86	1.00	0.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x5	0.89	1.00	1.00	1.00	0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x6	0.89	0.96	1.00	0.96	0.85	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x7	1.00	1.00	0.51	1.00	1.00	0.77	0.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x8	1.00	0.88	1.00	0.93	1.00	0.96	1.00	0.78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x9	0.97	0.95	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x10	0.90	0.88	1.00	0.93	0.87	0.75	0.77	0.85	0.71	0.29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x11	0.32	1.00	0.94	1.00	0.89	0.89	1.00	1.00	0.97	0.51	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x12	1.00	0.92	0.60	1.00	0.83	0.80	0.60	0.92	1.00	0.79	0.98	0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x13	1.00	0.96	0.94	0.93	1.00	0.96	1.00	0.93	1.00	0.93	0.94	0.88	0.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
x14	0.59	1.00	1.00	0.97	0.99	0.99	1.00	0.97	0.73	0.97	0.59	1.00	0.97	0.57	—	—	—	—	—	—	—	—
x15	1.00	0.95	0.71	0.95	0.87	0.80	0.91	1.00	0.68	0.87	1.00	0.80	1.00	0.73	0.39	—	—	—	—	—	—	—
x16	0.90	0.70	0.56	0.96	1.00	0.96	0.60	0.96	0.73	0.87	0.90	0.60	0.90	0.73	0.53	0.24	—	—	—	—	—	—
x17	1.00	0.95	0.60	0.95	0.85	0.87	0.60	0.99	0.95	0.48	0.61	0.35	0.89	1.00	0.82	0.60	0.20	—	—	—	—	—
x18	1.00	0.86	1.00	0.86	1.00	0.96	1.00	0.96	0.67	0.57	0.61	1.00	0.96	1.00	0.95	0.96	0.56	0.47	—	—	—	—
x19	0.74	0.66	0.93	0.74	1.00	0.96	1.00	0.96	0.53	0.96	0.74	1.00	0.96	0.73	0.68	0.43	0.95	0.92	0.29	—	—	—
x20	0.58	0.83	0.80	0.76	1.00	0.96	1.00	0.86	0.79	0.88	0.58	0.92	0.96	0.59	0.75	0.75	0.95	0.92	0.77	0.46	—	—
x21	0.89	1.00	1.00	1.00	0.89	0.76	0.77	1.00	0.73	0.77	0.87	0.85	0.81	0.73	0.67	0.73	0.89	1.00	0.73	1.00	0.56	—
x22	1.00	0.86	1.00	0.86	0.96	0.96	1.00	0.87	0.68	0.96	1.00	0.96	0.96	0.73	0.68	0.69	0.95	0.86	0.65	0.83	0.73	0.63

六、结论与政策启示

(一)结论

在构建水资源综合利用效率评价指标体系和影响因素指标体系的基础上,运用熵权法对长江经济带 2015~2019 年的水资源综合利用效率进行测度并进行空间探索性分析,利用地理探测器模型识别了长江经济带省(市)间水资源利用效率时空分异的影响因素。结果表明:

(1)2015~2019 年长江经济带水资源综合利用效率由 0.393 上升至 0.503,水资源利用效率总体提升了 28%,长江经济带水资源利用效率呈现逐步上升态势;从长江经济带上中下游地区来看,水资源综合利用效率平均值表现为下游地区>上游地区>中游地区,上中下游不同区域内省(市)差异呈现出由上游地区到下游地区逐渐缩小的空间格局;分省(市)来看,长江经济带各省(市)水资源利用效率差距明显,但均呈稳定上升趋势。

(2)从农业、工业、生活和生态用水效率来看,2015~2019 年长江经济带 11 省(市)农业、工业、生活和生态用水效率均呈上升趋势,生产、生活、生态用水效率不断提升;农业用水效率和工业用水效率主导水资源综合利用效率的高低。

(3)2015~2019 年长江经济带热点区域呈现由下游地区向上游地区迁移的趋势。2015 年热点区域为下游地区上海和江苏,无显著冷点区域;2016 年无显著热点区域和冷点区域;2017 年热点区域为上海;2018 年和 2019 年热点区域为上游地区四川,无显著冷点区域。

(4)影响长江经济带水资源利用效率时空分异的因素,其解释力从大到小依次为水资源总量、年末常住人口城镇化率、湿地面积占辖区面积比重、每万人口授权发明专利拥有量、每万人拥有社会工作专业人才数、人均地区生产总值、万人拥有规模以上工业企业 R&D 人员全时当量、第三产业产值占 GDP 比重、外商直接投资项目、就业人员中受过高中及以上教育的人员占比和外商投资企业占规模以上工业企业数量比重。各项因子之间的交互作用均大于独自影响的作用,自然资源因素对长江经济带水资源利用效率时空分异的影响逐渐增强,经济社会因素影响力逐渐减弱,但仍有显著影响。

(二)政策启示

目前,受自然地理环境及社会经济发展水平差异等影响,长江经济带 11 省(市)水资源综合利用效率还存在较大差异且有较大提升空间。因此,研究的政策启示有:

(1)各省(市)应结合实际用水情况,因地制宜,采取科学合理的农业用水和工业用水政策。长江经济带作为一个跨度较大的区域,上中下游地区自然经济社会条件都存在较大差异,因此各省(市)需要综合考虑各方面因素,实施有利于本省(市)水资源高效利用的用水政策。同时长江经济带各省(市)应打破行政壁垒,加强省(市)间合作,学习借鉴有利于提高用水效率的先进技术和方法。尤其是邻近省(市),自然社会经济条件差异相对较小,在供水和用水方面具有一定的相似性,更应加强交流合作,推动实现相关技术经验共享,提升区域整体水资源利用效率。

(2)在城乡居民生活用水方面,应进一步加强城乡居民用水管理,建立健全用水管理法律法规,统筹规划城市人口与水资源利用的关系,促进城市健康发展。加强节水宣传力度,多渠道广泛深入开展节水宣传教育,普及节水知识,同时推广节水措施,推进节水型家庭、节水型城市、节水型社会的建立,促进城市人口与城市水资源、生态环境、经济效益的协调可持续发展。

(3)加强城市污水处理的环境保护措施。在水资源生态环境效率方面,各省(市)应健全区域环境执法监管制度,加大执法力度,重视源头防控和全程监管,构建区域水污染信息监测共享网络,定期发布水质污染信息,提高水环境整体状况;进一步深化长三角区域水污染防治协作机制,强化联防联控,大力推进重点流域和省(市)内重点水域的水源地保护和黑臭水体整治工作,鼓励公众参与和监督,加快推进水环境治理。

参考文献:

[1]姜文来.中国 21 世纪水资源安全对策研究[J].水科学进展,2001(1).

[2]张利平,夏军,胡志芳.中国水资源状况与水资源安全问题分析[J].长江流域资源与环境,2009(2).

[3]吴泽宁,索丽生.水资源优化配置研究进展[J].灌溉排水学报,2004(2).

[4]王浩,王建华,秦大庸.流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J].水科学进展,2004(1).

[5]刘恒,耿雷华,陈晓燕.区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J].水科学进展,2003(3).

[6]康绍忠.新的农业科技革命与 21 世纪我国节水农业的发展[J].干旱地区农业研究,1998(1).

[7]孙景生,康绍忠.我国水资源利用现状与节水灌溉发展对策[J].农业工程学报,2000(2).

[8]康绍忠,蔡焕杰,冯绍元.现代农业与生态节水的技术创新与未来

研究重点[J].农业工程学报,2004(1).

[9]潘丹,应瑞瑄.中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析[J].生态学报,2013(12).

[10]李明璠.基于 DEA 方法的中国农业水资源利用效率研究[J].中国农业资源与区划,2017(9).

[11]孙爱军,董增川,王德智.基于时序的工业用水效率测算与耗水量预测[J].中国矿业大学学报,2007(4).

[12]买亚宗,孙福丽,石磊,等.基于 DEA 的中国工业水资源利用效率评价研究[J].干旱区资源与环境,2014(11).

[13]张峰,薛惠锋,王海宁.基于幅度随机前沿的工业水资源利用效率测度[J].华东经济管理,2017(1).

[14]陈素景,孙根年,韩亚芬,等.中国省际经济发展与水资源利用效率分析[J].统计与决策,2007(22).

[15]李世祥,成金华,吴巧生.中国水资源利用效率区域差异分析[J].中国人口·资源与环境,2008(3).

[16]孙才志,刘玉玉.基于 DEA-ESDA 的中国水资源利用相对效率的时空格局分析[J].资源科学,2009(10).

[17]孙才志,姜坤,赵良仕.中国水资源绿色效率测度及空间格局研究[J].自然资源学报,2017(12).

[18]朱达,唐亮,谢启伟,等.基于数据包络分析方法的都市水资源利用效率研究[J].生态学报,2020(6).

[19]任玉芬,方文颖,王雅晴,等.我国城市水资源利用效率分析[J].环境科学学报,2020(4).

[20]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(8).

[21]陈浩,彭桥.京津冀水资源使用效率评估——基于投入产出表的影子价格法[J].技术经济与管理研究,2021(6).

[22]张振龙,孙慧,苏洋,等.中国西北干旱地区水资源利用效率及其影响因素[J].生态与农村环境学报,2017(11).

[23]钟丽雯,张建功,蔡芸霜,等.广西水资源利用效率及其时空格局[J].经济地理,2020(6).

[24]焦士兴,王安周,张崇崇.河南省水资源效率综合测度及时空分异[J].水资源保护,2022(2).

[25]王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017(1).

[26]李青松,张凤太,苏维词,等.长江经济带农业用水绿色效率测度及影响因素分析——基于超效率 EBM-Geodetector 模型[J].中国农业资源与区划,2022(5).

[27]任玉芬,方文颖,王雅晴.我国城市水资源利用效率分析[J].环境科学学报,2020(4).

[28]朱达,唐亮,谢启伟.基于 DEA 方法的我国省会城市水资源利用效率研究[J].生态学报,2020(6).

[29]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(5).

[30]罗勇,王乐志,傅春.基于主客观耦合的区域水资源综合利用效率评价[J].人民长江,2019(12).

[31]张玮,刘宇.长江经济带绿色水资源利用效率评价——基于 EBM 模型[J].华东经济管理,2018(3).

[32]俞雅乖,刘玲燕.中国水资源效率的区域差异及影响因素分析[J].经济地理,2017(7).

特约编辑 吴爱军

责任编辑 刘玉成 E-mail:770533213@qq.com