

长江经济带城镇化效率与水资源效率协调发展时空演变及驱动因素¹

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】：和谐的城水关系是促进新型城镇化高质量发展、实现人与自然和谐共生的基础与关键所在。利用探索性空间数据分析方法、GTWR模型等构建流域—区域—省域—市域的跨尺度空间分异特征分析框架，以长江经济带2011~2020年110地级市为例开展实证研究，揭示长江经济带城镇化效率与水资源效率协调发展的内在规律及空间演变模式，并对其协调发展的空间异质性驱动因素展开分析。结果表明：(1)研究期内长江经济带整体城镇化效率和水资源效率均呈波动上升趋势，城镇化效率在0.3950~0.7676区间内波动上升，万元地区生产总值用水量在167.57到69.63内呈波动下降趋势；(2)长江经济带城镇化效率总体自上游地区到下游地区逐渐提升，水资源效率呈现两头高中间低的显著特征，水资源效率与城镇化效率相比存在更显著的全局空间正相关关系；(3)长江经济带城镇化效率与水资源效率两系统耦合性不断增强，由松散耦合状态向协同耦合状态演变，整体协调发展度为濒临失调型，呈现出上升—回落—再上升的螺旋式发展过程；(4)长江经济带城镇化效率与水资源效率协调发展的内在驱动因素从多年平均值的绝对值上看，主要为经济发展水平>农业发展状况>工业化水平>对外开放程度>城市行政级别>水资源禀赋。

【关键词】：城镇化效率；水资源效率；协调发展；驱动因素；长江经济带

【中图分类号】：K901.3 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004-8227(2023)11-2237-17

DOI: 10.11870/cjlyzyhj202311002

工业革命以来的经济社会发展史表明，国家要想实现现代化，在工业化发展的同时，必须注重城镇化的发展，城镇化是经济社会发展的重要载体和平台，已成为我国实现高质量发展的重要支撑和强大引擎。城镇化建设过程中不可避免地会对资源环境造成影响甚至破坏，反过来城镇化发展又会受到资源环境的约束效应[1]，因此高质量推进新型城镇化要求处理好与资源环境的相互促进与相互制约关系；其中，水资源作为重要的基础性自然资源和战略性经济资源，其与城镇化建设的关系问题是包含经济-社会-资源-环境的全面性问题。党的二十大提出中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化，和谐的城水关系是实现城镇高质量发展、科学配置城镇水资源、改善城镇人居环境、实现人与自然和谐共生的基础与关键所在。近年来，我国针对城镇化发展过程中过度开发使用水资源、注重提高城镇化发展效率而忽视水资源使用状况等重要问题作出了一系列要求与部署，对我国城镇化发展效率的提高、水资源的合理优化使用发挥了重要的指导作用。但与此同时，我国城镇化发展仍面临水资源约束趋紧、城镇化效率和水资源效率区域差异较大等问题[2,3]，对我国实现可持续发展形成挑战。在我国城镇化发展由高速增长转变为高质量发展的关键转型期，及时评价与分析我国城镇化效率和水资源效率发展情况，揭示城镇化效率与水资源效率的协调发展规律，探究其协调发展的内在驱动因素对进一步缩小区域发展差距、推进我国新型城镇化建设、建设人与自然和谐共生的中国式现代

¹ 收稿日期：2023-02-15；修回日期：2023-06-15

基金项目：国家社会科学基金重点项目(19ZDA0897)

作者简介：秦尊文(1961~)，男，研究员，主要研究方向为区域经济、城市经济。E-mail: qinzunwen@163.com

化具有重要意义。

基于我国水资源时空分布不均、人口经济社会发展区域差距明显的基本国情，学者对城镇化发展、水资源利用、城镇化与水资源之间的相互影响关系等展开深入研究。一方面，针对快速城镇化进程中水资源对经济社会发展制约作用的不断增强，学者将水资源作为约束条件探讨经济发展模式，认为水资源约束力是水资源系统和经济社会系统相互作用关系的直接体现，其研究框架主要包括基本理论、量化方法、实证研究等内容[4]，并在此基础上对我国干旱区和水资源丰富地区水资源对城镇化的约束强度进行研究，结果表明干旱区水资源开发利用潜力小对城镇化发展造成巨大挑战，而水资源丰富地区则表示出湖泊与城市化发展呈距离相关的非线性分异格局[5,6]；此外，通过构建城镇化驱动经济与用水增长的完全分解模型定量测度中国以及 31 个省级行政区城镇化过程对经济增长和用水变化的驱动效应，发现城镇化对用水的综合驱动以减量效应为主，中国用水总量增长的原因是人口和经济规模效应[7]，同时城镇化率是全国用水总量和水资源利用效率的 Granger 原因，即随着我国城镇化率的提高，用水总量和水资源利用效率将提高[8]，并基于水资源约束的中国城镇化 SD 模型对水资源利用进行多情景模拟[9]。另一方面，学者也将城镇化与水资源作为两个独立系统进行耦合关系研究，从辽宁沿海经济带[10]、沿海省份[11]、西北干旱地区[12]、黄河三角洲地区[13]、京津冀城市群[14]、珠三角城市群[15]、汾河流域[16]等不同尺度展开研究，主要采用基于信息熵的演化有序度模型、复合系统耦合度模型、Pearson 相关分析法等方法探讨两者相互关系。

综上，城镇化与水资源各自的研究较为常见，集中于理论解析、发展阶段量化测度以及实证研究等，对于两者的关联研究主要侧重于以城镇化或水资源某一要素角度出发探讨另一要素发展状态如水资源对城镇化的约束效应，或对两系统整体相关关系作出评价等。考虑到二者时空交互比较分析、协调发展规律性分析以及协调发展的内在驱动因素分析等方面的研究相对缺乏，较难从整体的角度看待二者的区域匹配性以及发展程度，同时长江经济带作为我国城镇化发展重要支撑带，水资源供需矛盾突出，水资源与区域经济社会发展关系一直是备受关注的重要议题。鉴于此，文章选取长江经济带 110 市为研究对象，测度分析其 2011~2020 年的城镇化效率和水资源效率；在此基础上，运用修正的耦合协调度模型评价分析城镇化效率与水资源效率的协调发展状况，揭示其时空演变特征与规律；识别城镇化效率和水资源效率协调发展的内在驱动因素及变化趋势；最后提出相关对策建议，为城镇化进程中科学配置城市水资源、促进经济社会资源可持续发展、建设高质量长江经济带提供科学支撑和决策依据。

1 研究区概况、研究方法 with 指标说明

1.1 长江经济带的战略地位及自然资源概况

长江经济带横跨我国东中西三大区域，覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南 11 个省(直辖市)，共包括 2 个直辖市、108 个地级市、16 个自治州、1 个林区、3 个省级直管市。根据 2014 年《国务院关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》对长江经济带行政区域的划分标准，长江经济带可分为上中下游三大区域，上游地区包括重庆、四川、贵州、云南 4 省市，中游地区包括江西、湖北、湖南 3 省份，下游地区包括上海、江苏、浙江、安徽 4 省市。面积约 205 万 km²，以全国 21.4% 的国土面积承载了 42.9% 的人口，2020 年贡献了全国生产总值的 46.4%，是我国经济发展的重心所在、活力所在。同时拥有长江三角洲城市群、长江中游城市群和成渝城市群三大城市群，在优化我国城镇化发展格局、提高城镇发展质量方面占有举足轻重的地位。

长江经济带以长江为纽带，地跨热带、亚热带和暖温带，雨量充沛，水资源丰富，生态系统类型多样。2020 年水资源总量为 1.56 万亿 m³，占全国水资源总量的 49.4%，年平均降水量 1 495 mm，是全国年平均降水量的 2.1 倍。森林覆盖率平均值为 44.93%，高出全国平均水平约一倍。此外，江苏扬州江都水利枢纽和湖北丹江口水库分别作为南水北调东线一期工程和中线一期工程的取水源头区，向华北、苏北、山东半岛等广大地区提供生活、工业用水，兼顾农业、生态和其他用水。长江经济带水资源开发利用状况对保障区域水环境安全、优化水资源配置和促进长江经济带城镇化高质量发展起着至关重要的作用。

1.2 城镇化与水资源耦合机理及指标体系

1.2.1 城镇化发展与水资源利用交互耦合机理

在城镇化进程中人水互动关系增强，人类社会系统与水文系统逐渐演变为一个耦合系统[17]。城镇化发展是涉及到人口、经济、社会、资源多维度的复杂系统，是人口城镇化、经济城镇化、社会城镇化、空间城镇化、生态城镇化的多方面融合发展过程；水资源系统中以具有地理属性的基础性自然资源水作为主控要素，为人类经济社会系统提供基础物质资源，目的在于实现水资源的有效开发和可持续利用。城镇化系统与水资源系统之间存在着复杂的非线性交互作用，相互胁迫、相互促进，具有显著的耦合性特征[8]。

(1)城镇化发展对水资源产生胁迫作用，同时促进水资源效率的提升

一方面，随着城镇化初期的粗放式发展，直接表现为人口、经济、土地的快速扩张，对水资源系统产生胁迫，最主要的表现为用水总量增加，同时造成可利用水资源量减少、水环境污染等问题，水资源约束逐渐趋紧；另一方面，城镇化发展通过提高规模效益和优化产业结构，加快发展用水效率相对较高的第二产业和第三产业，使得单位产出的水资源消耗量逐渐下降，同时随着人口素质和技术管理水平的提高，节水型社会建设进程加快，在一定程度上减少了经济社会发展对水资源的需求，水资源的综合开发利用效率得到提升。

(2)水资源作为城镇化发展的重要支撑，同时约束城镇化高质量发展

水资源作为城镇化发展的基础性投入资源，是支撑城镇化可持续发展的关键所在。水资源以其自然、经济和社会属性为城镇化提供直接和间接服务，除生产生活用水需求外，水资源作为生态环境的关键控制要素，为城市生态系统和人居环境质量提供重要支撑，水资源效率的提高使得城镇化发展单位产出的水资源投入量减少，从而提高城镇化效率。水资源约束城镇化高质量发展主要表现在两方面，其一，水资源总量短缺和质量恶化使经济社会效益高但耗水量大的产业发展受限，进而减缓工业化和城镇化进程，限制城市发展规模和速度；其二，可开发利用的水资源量不足使得生态环境水平下降，对异质性人才的吸引力不足，从而约束城镇化发展。

1.2.2 指标体系构建

发展指数评价和效率测度是评价主体发展现状常用的测算方法，发展指数评价侧重于现状的分析与描述，更多地关注结果表现，忽视了发展过程中投入与产出的关联关系，研究对象可能表现出较高的发展水平，但对背后造成的资源投入消耗无法做进一步分析。而效率评价较好地弥补了这一不足并得到广泛应用[18,19,20],可以用来解释技术进步、管理机制改善等引起的投入产出比下降。城镇化高质量发展的内在要求是提高投入产出效率，长江经济带 110 个城市作为评价主体，在支撑各主体内部功能的要素投入规模、产出效益等方面具有多样性，在经济社会发展要素多投入多产出的情况下，发展水平评价不足以反映“单位投入的产出最多，收益最大，负面影响最小”的高质量可持续发展标准。因此，文章利用基于数据自身特征可以反映投入和产出之间关联关系的效率评价对比分析长江经济带不同地级市城镇化发展效率的相对变化，对城市经济社会环境集约节约利用与发展状况作出评价分析。

(1)城镇化效率评价。

在充分借鉴现有研究及城镇化高质量发展研究的基础上[19,21],综合考虑指标选取的系统性、科学性、代表性以及数据可获得性，结合长江经济带城镇化发展实际情况，运用非期望产出的全局超效率-SBM 模型测度城镇化效率[22,23,24],从要素投入、期望产出和非期望产出 3 个维度来构建城镇化效率评价指标体系(表 1)。①要素投入包括劳动力、资本、土地、用水和能源 5 个部分。劳动力投入选取城镇单位从业人员数量衡量；资本投入选取地方一般公共预算支出和社会固定资产投资总额衡量；土地投入采用城市建设用地面积衡量；能源投入采用全社会用电量表示。②期望产出包括人口城镇化、经济城镇化、社会城镇化、

空间城镇化和生态城镇化 5 个方面。其中，人口城镇化利用常住人口城镇化率表示；经济城镇化选取非农产业产值和地方一般公共预算收入两个指标衡量；社会城镇化用社会消费品零售总额衡量；空间城镇化利用城市建设用地面积占市区面积比重衡量；生态城镇化选取建成区绿化覆盖率和公园绿地面积占辖区面积比重衡量。③非期望产出考虑到城镇化进程中的废水及废气排放，分别选择工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟(粉)尘排放量衡量。

表 1 长江经济带城镇化效率投入产出指标体系

指标类型	指标含义	指标名称	单位
要素投入	劳动投入	城镇单位从业人员数量	万人
	资本投入	地方一般公共预算支出	亿元
		社会固定资产投资总额	亿元
	土地投入	城市建设用地面积	km ²
	用水投入	城市用水总量	亿 m ³
	能源投入	全社会用电量	亿 kW·h
期望产出	人口城镇化	常住人口城镇化率	%
	经济城镇化	非农产业产值	亿元
		地方一般公共预算收入	亿元
	社会城镇化	社会消费品零售总额	亿元
	空间城镇化	城市建设用地面积占市区面积比重	%
	生态城镇化	建成区绿化覆盖率	%
公园绿地面积占辖区面积比重		%	
非期望产出	废水排放	工业废水排放量	万 t
	废气排放	工业二氧化硫排放量	万 t
		工业烟(粉)尘排放量	万 t

(2)水资源效率评价。

万元地区生产总值用水量是国际公认评价用水效率的通用指标之一，能较好地体现宏观水资源利用效率，反映区域内单位 GDP 社会生产所需要的用水量，以实现不同体量生产规模地区之间的综合用水效率比较；同时，作为节水型社会的核心指标之一，其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中。文章采用万元地区生产总值用水量以提高数据可对比性，比较分析流域-区域-省域-市域综合用水效率，为不同城市综合用水效率评价提供参考。

相关指标数据来源于 2012~2021 年《中国城市统计年鉴》、长江经济带各省市统计年鉴及 2011~2020 年《中国城市建设统计年鉴》、2011~2020 年长江经济带各省市水资源公报。基于数据自身特点，部分地区个别时期缺失数据由线性插值法插值补齐。

1.3 研究方法

1.3.1 修正的耦合协调度模型

耦合与协调发展度模型对于反映城镇化效率与水资源效率之间耦合程度强弱以及协调发展状况的演变具有良好的解释作用。耦合度是对系统间关联程度的度量，耦合度越大，说明系统间的联系程度和依赖作用越密切，其耦合性越强。协调度用以体现系统相互作用关系中良性耦合程度的大小，可以反映出协调发展水平的高低。文章采用修正后的耦合协调度模型测度城镇化效率和水资源效率的协调发展程度[25]。具体如下：

$$C = \sqrt{\left[1 - \frac{\sum_{i>j, j=1}^n \sqrt{(U_i - U_j)^2}}{\sum_{m=1}^{n-1} m} \right]} \times \left(\prod_{i=1}^n \frac{U_i}{\max U_i} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (1)$$

$$T = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times U_i, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (2)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (3)$$

式中： $U_i \in [0,1], C \in [0,1]$ ，当各子系统越离散，C 值越低；反之，C 值越高。

当 $n=2$ 时，假定 $\max U_i$ 为 U_2 ，则，

$$\begin{aligned} C &= \sqrt{\left[1 - \sqrt{(U_2 - U_1)^2} \right]} \times \frac{U_1}{U_2} \\ &= \sqrt{\left[1 - (U_2 - U_1) \right]} \times \frac{U_1}{U_2} \end{aligned} \quad (4)$$

$$T = \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1 \quad (5)$$

修正后模型将耦合度 C 值尽可能分散分布于 $[0,1]$ ，从而加大 C 值的区分度，使 C 值具有更高的效率。从而，进一步计算出来的协调发展度 D 可以更加合理地反映城镇化系统与水资源系统之间协调发展程度的高低。

1.3.2 探索性空间数据分析

为了探讨城镇化效率、水资源效率以及城镇化与水资源效率协调发展关系的空间分布、空间相互作用和空间演变模式，研究引入探索性空间数据分析方法，主要借助空间自相关模型对数据进行进一步剖析。

(1) 全局空间自相关模型

空间自相关分析分为全局空间自相关与局域空间自相关。进行空间数据分析的关键步骤是空间权重矩阵的确定，基于长江

经济带 110 市地理位置与实际情况，文章采用基于 Queen 地理邻近性的一阶空间权重矩阵进行空间相关性分析。全局空间自相关基于全域视角判断整体区域内是否存在相关关系，多用 Moran' s I 指数测度，具体公式为：

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n w_{ij}} \quad (6)
 \end{aligned}$$

式中： x_i 、 x_j 分别代表地级市 i 和地级市 j 的城镇化效率或水资源效率； n 为样本量长江经济带 110 地级市； w_{ij} 为空间权重矩阵，用以表示空间位置 i 和 j 的邻近关系。Moran' s I 取值范围为 $[-1, 1]$ ，大于 0 表示空间正相关，即高值与高值或低值与低值相邻；小于 0 表示空间负相关，即高值与低值相邻；等于 0 意味着不存在空间自相关性。

(2)局域空间自相关模型

鉴于 Moran' s I 指数无法对区域内部空间集聚情况进行分析，而相对于全局空间自相关而言，局域空间自相关分析的意义在于探讨分析是否存在空间异质性以及寻找可能存在的与全局空间自相关结论不一致的局域空间自相关的位置。因此，引入 LISA 局域空间自相关模型刻画区域内部单元间是否存在相关关系：

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (7)$$

局域 Moran' s I 值大于 0 并通过显著性检验时，表明该空间单元与邻近单元的属性值相似，即为高-高型(或低-低型)区域，指城镇化效率或水资源效率较高(或较低)的地区趋向于和周围较高(或较低)的地区相连；局域 Moran' s I 值小于 0 时，表明该空间单元与邻近单元属性值相异，即为低-高型(或高-低型)区域，指城镇化效率或水资源效率较低或较高的地区趋向于与周围较高或较低的地区相连，表示在局部区域内出现异常值。

2 城镇化效率与水资源效率测度与分析

基于全局超效率 SBM 模型，借助 MATLAB 软件测算长江经济带 110 个城市的城镇化效率，为准确揭示长江经济带城镇化效率与水资源效率的时空演化趋势，以 2011~2020 年多年均值绘制分级图和聚类图，研究探讨长江经济带城镇化效率和水资源效率两系统时序变化和空间演变特征趋势。

2.1 城镇化效率测度与分析

2.1.1 城镇化效率时序变化分析

(1)从长江经济带整体来看,2011~2020年城镇化效率处于0.3950~0.7676之间,总体呈波动上升趋势,且在2020年达到最大值。长江经济带城镇化效率根据波动情况可分为2011~2015年和2016~2020年两个阶段(图1),2011~2015年间整体城镇化效率处于波动下降趋势,年均降低率为5.51%;2016年《长江经济带发展规划纲要》颁布实施,长江经济带作为支撑我国城镇化发展的重要轴线,上中下游积极开展合作共同推动发展,2016~2020年长江经济带城镇化效率进入快速攀升阶段,由2016年0.4121稳定上升至2020年最高位0.7676,长江经济带城镇化发展效率得到有效提升。

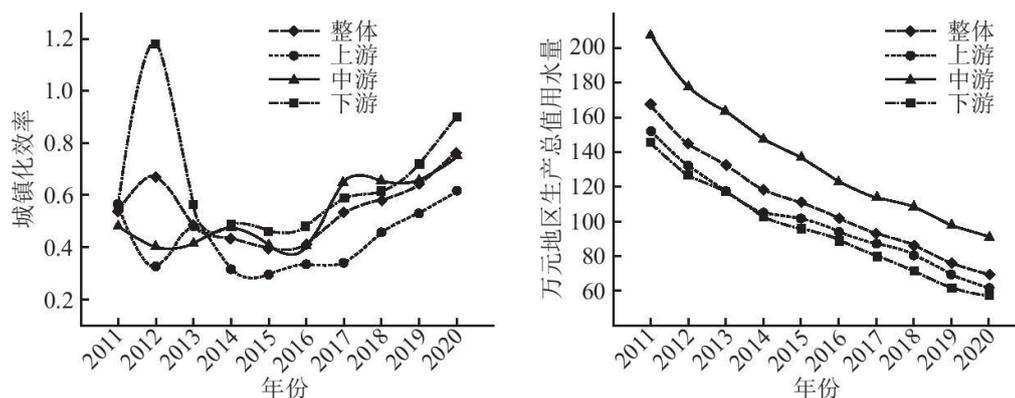


图1 城镇化效率与水资源效率变化趋势

(2)从长江经济带三大区域来看,研究期内上中下游地区城镇化效率变动趋势与长江经济带整体城镇化效率变动趋势基本保持一致,经历了先下降后上升的两阶段过程(图1)。从长江经济带三大区域城镇化效率多年平均值角度分析,长江经济带城镇化效率从上游地区至下游地区随着地理位置向东推移而逐渐上升,多年均值依次为0.4322、0.5378、0.6837。三大区域由于地理环境、经济基础、产业结构等不同导致其城镇化效率出现与经济发展水平一致的地域差异。长江经济带下游地区经济发展最为强劲,拥有一体化程度较高的长三角城市群,二三产业基础雄厚,技术创新及开放程度较高,因此整体城镇化效率处于较高水平;长江经济带中游地区包括长江中游城市群,经济发展水平居于中位,整体经济社会发展水平良好,城镇化发展迅速,城镇化效率居中;长江经济带上游地区除重庆、四川个别地区外,其他地区经济基础有限,二三产业与中下游地区相比发展缓慢,城镇人口占比较低,其城镇化效率在长江经济带中最低。

2.1.2 城镇化效率时空演变分析

(1)将长江经济带110市2011~2020年多年城镇化效率均值利用自然断点法做可视化处理,由图2可以看出,城镇化效率总体自上游区域到下游区域逐渐提升,三大区域中均存在城镇化效率高值与低值交叉聚集地区。上游地区城镇化效率低值区域主要集中在四川北部和南部、云南东部和贵州西部,形成三省交界处低值带;中游地区低值区域主要为江西省大部分地市;下游地区低值区域主要为安徽省部分地级市。城镇化效率高值区域呈现以省会城市为中心,向周围扩散的特征。

(2)为了更加直观地体现长江经济带城镇化效率时空分布及演变情况,进一步作空间关联性分析发现,长江经济带110地级市城镇化效率大部分年份存在全局空间正相关性,即高值与高值聚集,低值与低值聚集(表2)。由于局域空间自相关可能与全局空间自相关关系一致,也可能存在相反关系,因此进一步检验在全局空间自相关中未发现的局部地区空间相关现象(图3)。从局部空间关联性特征来看,长江经济带城镇化效率多年均值空间集聚形式以低低类型最为突出,主要集聚在上游地区四川、贵州、云南交界处泸州、毕节、六盘水、昭通、曲靖,中游地区为湖南郴州,下游地区为江苏宿迁;高高型地区为四川攀枝花、江西景德镇、安徽铜陵、黄山;高低异常值区域为四川自贡、江西南昌、新余、鹰潭、安徽合肥,这些地区相较于周围地区城镇化

效率较高,可以通过带动周边地区城镇化效率的提升促进区域整体效率提高;低高异常值区域为江西上饶、安徽芜湖、宣城、安庆,与周围地区相比城镇化效率较低,应进一步加强与周围地区城镇发展相关经验的交流借鉴。

2.2 水资源效率测度与分析

2.2.1 水资源效率时序变化分析

(1)从长江经济带整体水资源效率来看(图 1),2011~2020 年万元地区生产总值用水量在最高值 167.57 到最低值 69.63 范围内呈现稳定下降趋势,2011 年为最大值,2020 年降低至最小值,年平均降低率为 9%。总体上看,长江经济带水资源综合利用效率得到较大程度提高。

(2)从长江经济带三大区域来看,2011~2020 年上中下游三大区域万元地区生产总值用水量降低幅度较为一致,水资源综合利用效率差距逐渐缩小。2011~2020 年下游地区万元地区生产总值用水量多年均值最低(57.31),上游地区居中(61.53),中游地区最高(91.09),且中游地区与上游地区和下游地区差距较大。长江经济带下游地区经济实力强劲,产业技术创新水平和治理能力最高,因此水资源利用效率最高;上游地区虽然经济实力有限,但相对而言高耗水型工业产业较少,同时积极响应绿色发展政策,重视节能环保产业,因而水资源效率也较高;中游地区传统的钢铁、化工、有色金属等产业比重相对较大,工业耗水较多,导致其水资源综合利用效率最低。

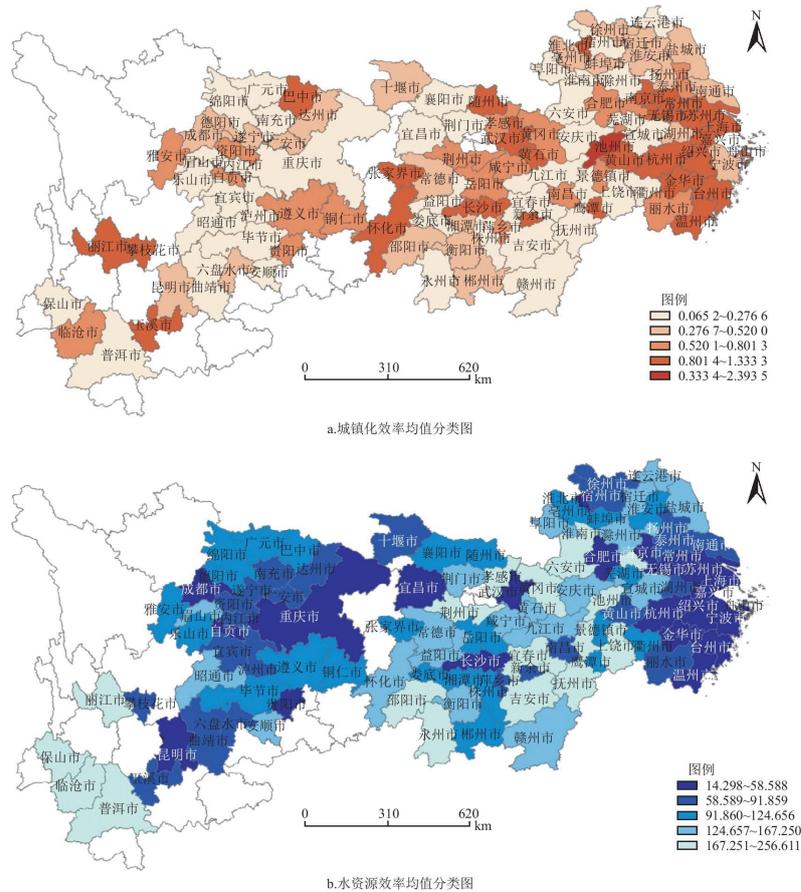


图 2 城镇化效率与水资源效率均值分类图

表 2 全局空间自相关结果

城镇化效率				水资源效率			
年份	Moran' s I	Z	P	年份	Moran' s I	Z	P
2011	0.151	2.367	0.016	2011	0.325	5.406	0.001
2012	0.004	0.379	0.322	2012	0.312	5.212	0.001
2013	0.002	0.117	0.449	2013	0.300	4.966	0.001
2014	0.229	3.645	0.001	2014	0.288	4.723	0.001
2015	0.214	3.410	0.001	2015	0.295	4.889	0.001
2016	0.192	3.061	0.003	2016	0.283	4.557	0.001
2017	0.070	1.922	0.046	2017	0.294	4.774	0.001
2018	0.140	2.307	0.018	2018	0.316	5.099	0.001
2019	0.099	1.563	0.067	2019	0.359	5.753	0.001
2020	0.042	1.820	0.048	2020	0.329	4.973	0.001

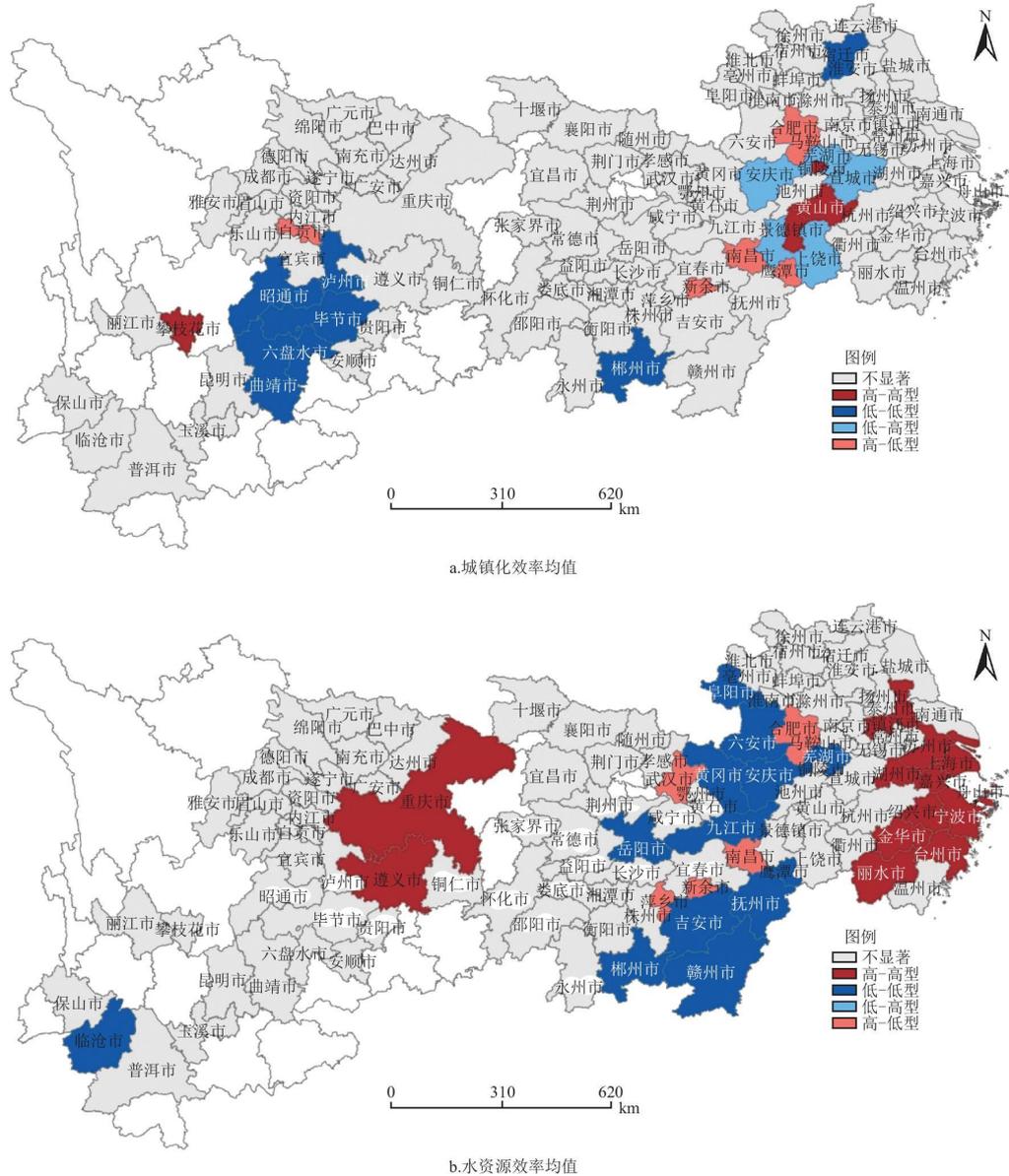


图3 城镇化效率与水资源效率均值聚类分布图

2.2.2 水资源效率时空演变分析

(1)通过对长江经济带110市水资源综合利用效率多年均值做分类处理,由图2可知,长江经济带水资源综合利用效率在空间分布上存在两头高中间低的特点。水资源综合利用效率高值地区主要聚集在长江经济带上游和下游地区,上游地区集中在重庆及与四川省交界处、贵阳、云南昆明及周围市域,可见经济欠发达地区也可以通过控制用水总量、提高单位用水产出实现水资源效率的提升;下游地区主要集中在上海,江苏和浙江东南部,表现出较高的经济发展水平可以带动水资源效率的提高。水资源综合利用效率低值地区主要集中在长江经济带中游地区,低效率地区占比较高,高效率地区仅有湖北武汉、宜昌,湖南长沙,江西南昌等个别地市,表现出明显的省会指向特征。

(2)由全局Moran's I指数可知(表2),水资源效率在长江经济带全局范围内存在显著的空间正自相关关系,且所有年份均通过了0.1%的显著性检验,即水资源效率高值与高值地区聚集,低值与低值地区聚集(表2)。长江经济带水资源效率主要存在三种

空间集聚现象：高高型、低低型、高低型。高高型区域主要集中在上海、江苏南部、浙江大部分地市、重庆、遵义；低低型区域主要集中在安徽西南部、江西九江以及江西南部和湖南岳阳、郴州等市；高低型区域主要为安徽合肥、湖北武汉、江西南昌、新余和萍乡，该类地区水资源效率与周围地区相比较高而出现高低异常值，应进一步发挥辐射带动作用，推动周边区域水资源综合利用效率提升。

3 城镇化效率与水资源效率耦合及协调度测度

参考城镇化与生态环境耦合性强弱的分类标准[26],根据城镇化效率与水资源效率耦合度与耦合特征的不同将耦合性强弱类型分为低度耦合、较低耦合、中等耦合、较高耦合、高度耦合和完全耦合 6 种类型，划分及耦合特征描述如下(表 3)。

表 3 耦合性的强弱类型及耦合特性

耦合度(%)	耦合性强弱类型	耦合特性	耦合特征
0~10	低度耦合	随性耦合	相互独立，但不影响正常功能发挥
10~30	较低耦合	间接耦合	没有直接关系，通过间接关系发挥作用
30~50	中等耦合	松散耦合	具有一般关联关系，通过数据参数调节
50~70	较高耦合	协同耦合	具有较密切关联关系，需要系统间合作才能发挥正常作用
70~90	高度耦合	紧密耦合	具有高度密切的关联关系，高度依赖系统间配合发挥正常作用
90~100	完全耦合	控制耦合	具有完全密切关联关系，牵一发而动全身

长江经济带整体城镇化效率和水资源效率耦合度呈波动上升趋势(表 4),由 2011 年 0.443 2 上升至 2020 年 0.504 0,由松散耦合状态向协同耦合状态演变，城镇化效率与水资源效率之间的关联关系有所增强，城镇化效率与水资源效率逐渐形成紧密联系，互相反馈调控以保持良好的有序状态。上中下游三大区域两系统之间的耦合性变化趋势与长江经济带整体保持一致，就耦合度多年均值来看，下游地区(0.475 6)>中游地区(0.459 2)>上游地区(0.365 8)。

表 4 城镇化效率与水资源效率耦合度

区域	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	均值
整体	0.44 32	0.29 50	0.52 74	0.52 02	0.43 41	0.39 65	0.19 68	0.50 23	0.56 34	0.50 40	0.43 83
上游	0.38 37	0.23 85	0.50 31	0.40 80	0.34 98	0.33 30	0.15 84	0.41 54	0.50 13	0.36 70	0.36 58
中游	0.47 78	0.32 43	0.45 28	0.53 81	0.46 97	0.42 10	0.24 42	0.55 68	0.54 45	0.56 25	0.45 92
下游	0.46 08	0.31 47	0.61 23	0.59 49	0.47 07	0.42 59	0.18 62	0.52 43	0.63 01	0.53 60	0.47 56

表 5 协调发展度等级划分标准

阈值	协调发展度等级	协调发展度类型	内涵
(0.0~0.2]	1	严重失调衰退类	系统间协调发展存在严重差异
(0.2~0.3]	2	中度失调衰退类	系统间协调发展存在较大差异
(0.3~0.4]	3	轻度失调衰退类	系统间协调发展出现一定差异

(0.4~0.5]	4	濒临失调衰退类	系统间协调发展出现轻微差异
(0.5~0.6]	5	初级协调发展类	系统间协调发展基本无差异
(0.6~0.7]	6	中级协调发展类	系统间协调发展状态较好
(0.7~0.8]	7	良好协调发展类	系统间协调发展状态良好
(0.8~1.0]	8	优质协调发展类	系统间协调发展状态极佳

由图4可知,从研究期内时间变化趋势上看,2011~2020年长江经济带整体城镇化效率与水资源效率的协调发展关系变化呈现出上升-回落-再上升的螺旋式发展进程。长江经济带三大区域的协调发展关系变化趋势与长江经济带整体协调发展关系变化表现出高度一致,均为上升-回落-再上升的发展趋势,说明长江经济带三大区域协调发展状态在总趋势上表现较为同步,整体发展趋势良好。

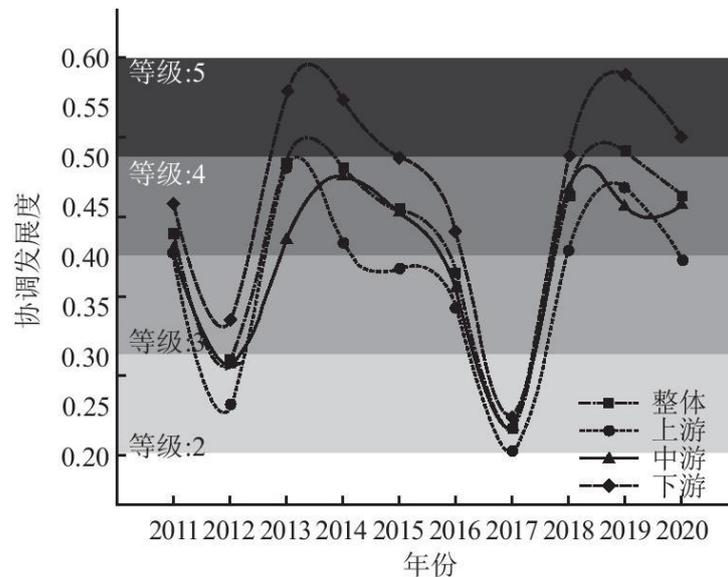


图4 城镇化效率与水资源效率协调发展度变化

从协调发展类型上看,长江经济带整体协调发展度均值为濒临失调型(0.419 1),就三大区域多年协调发展度均值而言,下游地区协调发展度均值为 0.468 3(濒临失调),优于中游地区 0.401 7(濒临失调),上游地区协调发展程度最低 0.376 9(轻度失调)。具体

而言，其原因在于下游地区经济发达、技术先进，城镇化效率与水资源效率均维持在较高水平，协调发展度最高；中游地区城镇化效率较高，但水资源效率较低，且水资源效率提升幅度滞后于城镇化效率发展速度，导致其协调发展程度居中；上游地区虽然水资源效率较高，但经济规模较小，城镇化效率较低，与水资源效率差距较大，因此协调发展水平最低。从长江经济带 11 省市来看，协调发展度多年均值主要在轻度失调至初级协调区间内。其中，上海协调发展程度最高，协调发展类型为良好协调；浙江处在第二梯度，为初级协调；江苏、湖北、湖南、贵州为濒临失调；安徽、江西、四川、云南为轻度失调；重庆协调发展度等级最低为严重失调，总体来看，长江经济带整体城镇化效率与水资源效率协调发展水平有待提高。

由协调发展度类型图(图 5)可知，研究期内，长江经济带 110 市中协调发展度类型中的协调发展类(包括初级协调、中级协调、良好协调、优质协调)地区明显增加，失调衰退类(包括濒临失调、轻度失调、中度失调、严重失调)地区个数逐渐减少；协调发展类地区个数由 2011 年 37 个(34%)增加至 2020 年 65 个(59%)，失调衰退类地区个数由 2011 年 73 个(66%)降低至 2020 年 45 个(41%)；协调发展类地区主要分布在上游地区四川中部和东部、云南中部，中游地区江西南昌、萍乡和鹰潭、湖北武汉和黄冈、湖南长沙和张家界等市以及下游地区上海、江苏东部、浙江中部和东南部、安徽中部等。

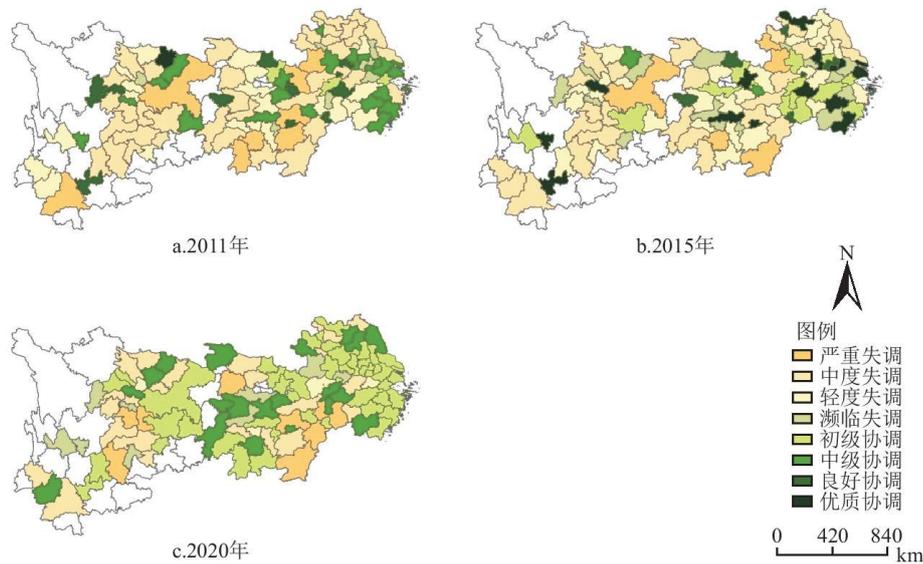


图 5 城镇化效率与水资源效率协调发展度类型分布

4 城镇化效率与水资源效率耦合协调的驱动机制

4.1 变量选取

城镇化效率与水资源效率的耦合协调发展是一个复杂的动态变化过程，受到自然经济社会等多重因素影响。(1)地区水资源禀赋是影响其协调发展的重要自然资源因素；(2)城市行政级别决定了行政权力的大小，进而影响资源要素的流动与再分配，例如省会城市与普通地级市相比更容易获得上级财政支持，更容易吸引国外直接投资与优秀人才聚集继而影响城镇化效率和水资源效率协调发展，文章借鉴江艇、张毓等的处理方法[27,28],设置为虚拟变量，其中，普通地级市赋值为 1,非副省级省会城市赋值为 2,副省级城市赋值为 3,直辖市赋值为 4;(3)经济发展水平和对外开放程度决定了其技术水平的提高；(4)工业化水平直接影响工业用水效率及节水技术应用；(5)农业用水在生产生活生态用水中相较其他用水量最高，且耗水量较大效率最低，因此农业在经济发展中的比重在区域综合用水效率中起关键作用从而影响与城镇化效率的协调发展。文章从上述角度出发构建城镇化效率与水资源综合利用效率耦合协调发展的驱动因素指标体系(见表 6)。

表 6 长江经济带城镇化效率和水资源效率耦合协调驱动因素

因子名称	因子符号	因子说明	单位
水资源禀赋	Wat	人均水资源量	m ³
城市行政级别	Lev	虚拟变量	-
经济发展水平	Econ	人均 GDP	元
农业发展状况	Agri	第一产业产值占 GDP 比重	%
工业化水平	Indu	工业增加值占 GDP 比重	%
对外开放程度	Open	人均实际利用外资额	美元

4.2 研究方法

为探究影响城镇化效率与水资源效率协调发展的主要因素的时空差异，文章基于上述变量和数据建立时空地理加权回归 (GTWR)模型。时空地理加权回归(GTWR)模型是空间地理加权回归(GWR)模型的拓展，核心是综合时间坐标与空间坐标来计算时空权重矩阵，弥补了传统空间地理加权回归模型中没有引入时间维度的不足[29]。具体计算方法如下所示：

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (8)$$

式中：Y_i 为观测值；u_i 和 v_i 分别是第 i 个观测点的经度和纬度；t_i 为第 i 个观测点所处的时序；(u_i,v_i,t_i)即为第 i 个观测点的时空坐标；β₀(u_i,v_i,t_i)为回归常数；β_k(u_i,v_i,t_i)为第 i 个观测点第 k 个自变量的回归系数；X_{ik} 为第 k 个自变量在第 i 点的值；ε_i 为残差。考虑到数据观测点分布的疏密，文章采用自适应带宽，确立的准则为 AICc 准则法。

4.3 城镇化效率与水资源效率协调发展空间格局的驱动因素分析

基于时空地理加权回归(GTWR)模型回归结果,在进行 GTWR 模型回归前对所有变量进行标准化处理。回归结果如表 7 所示, R2 与校正后的 R2 均接近 0.85,说明该时空地理加权回归模型能较好地测度解释变量对被解释变量的影响。从解释变量总体回归系数多年平均值的绝对数来看,对长江经济带城镇化效率与水资源效率协调发展影响的强弱依次为,经济发展水平>农业发展状况>工业化水平>对外开放程度>城市行政级别>水资源禀赋。进一步绘制各解释变量回归系数多年平均值的空间分布状况,如图 6 所示。

表 7 时空地理加权回归的相关参数

序号	模型参数	值
1	Bandwidth	0.114 99
2	Residual Squares	27.777 40
3	Sigma	0.158 91
4	AICc	-660.247 00
5	R2	0.854 06
6	R2 Adjusted	0.853 76
7	Spatio-temporal Distance Ratio	0.373 07

(1)经济发展水平是影响城镇化效率与水资源效率协调发展的主要因素,但作用趋于波动减弱。人均 GDP 对长江经济带城镇化效率和水资源效率协调发展的影响系数均值从 2011 年的 0.538 6 波动下降至 2020 年的 0.400 6,反映出随着经济社会的不断发展,经济发展水平对城镇化效率和水资源效率协调发展的边际贡献逐步下降,但总体来看,仍维持在一个较高的影响水平。从

影响力强弱的空间分布来看，经济发展水平对长江经济带上游和中游地区的影响高于下游地区，经济发展较缓慢地区仍可首先通过提高经济发展水平促进城镇化效率与水资源效率协调发展。

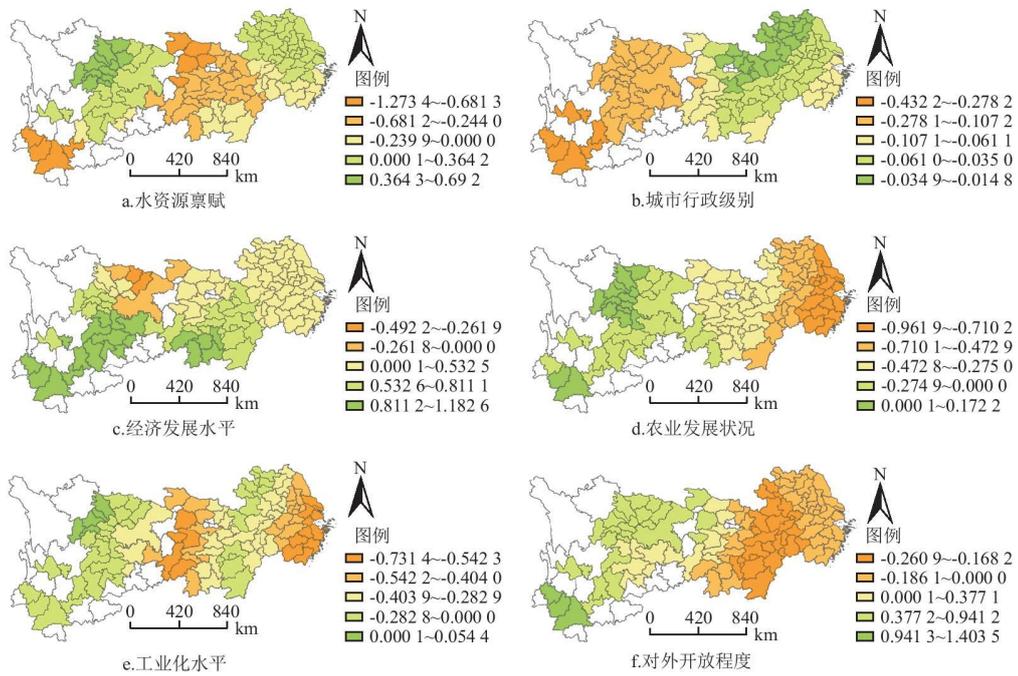


图 6 GTWR 模型各解释变量多年平均值空间分布

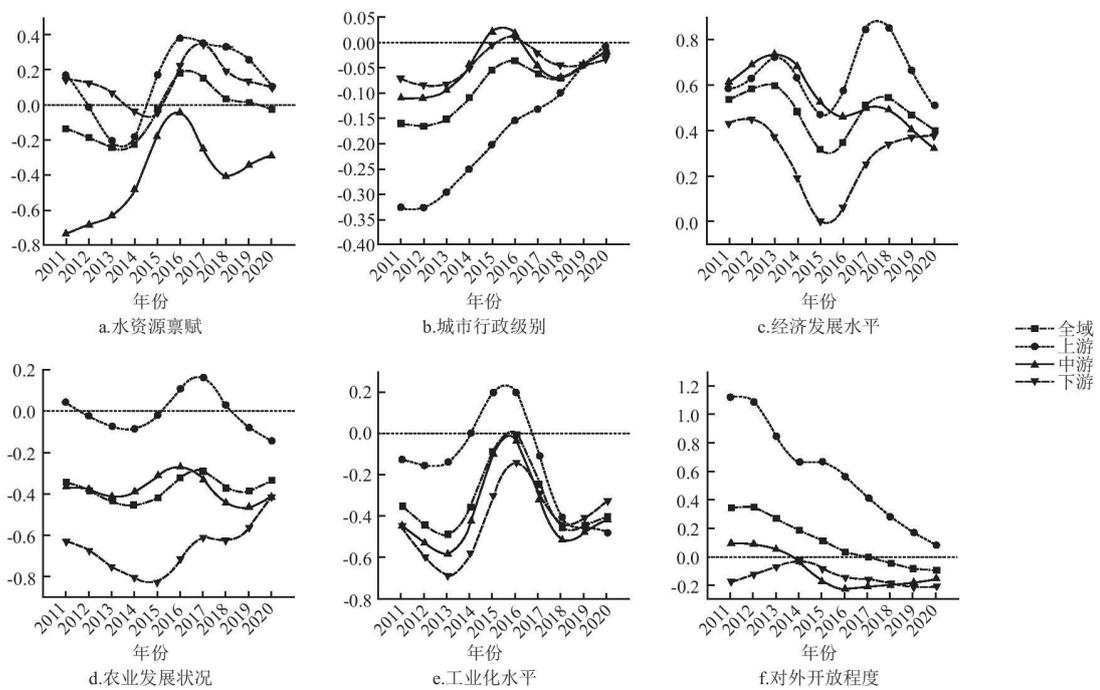


图 7 GTWR 模型各解释变量均值时序变化

(2)第一产业产值占比是负向影响城镇化效率和水资源效率协调发展的关键因素，但作用程度呈现波动减弱趋势。第一产业产值占比反映出一个地区的农业结构状况，第一产业产值占比越高的地区，城镇化效率与水资源效率协调发展程度受到第一产业产值占比的负向影响越大，具体表现为上游地区>中游地区>下游地区。各省市总用水量中，农业用水量占比近一半以上，显著高于工业用水、生活用水和生态用水，但相比其他产业产值较低，农业整体水资源利用效率较低，因此第一产业产值占比比较高的地区城镇化效率和水资源效率协调发展程度较低。近年来，受农业生产方式、组织方式、种植结构、节水水平等多种因素的共同影响，农业用水效率有所提高，第一产业产值占比对城镇化效率和水资源效率协调发展的负向影响有所减弱。

(3)工业化水平对城镇化效率和水资源效率协调发展具有负向的影响作用。长江经济带整体城镇化效率和水资源效率协调发展受工业化水平的负向影响程度由2011年-0.3535增强至2020年-0.4018,主要原因在于2011~2020年上游地区城镇化效率和水资源效率协调发展受工业化水平的负向影响程度逐渐提高，而从中游和下游地区来看，工业化水平的负向影响程度呈波动减弱趋势。其原因可能在于中下游地区工业化程度已处于较高水平，工业发展过程中产生的资源消耗和环境污染等逐步得到控制，并且随着技术水平的提高，对城镇化效率和水资源效率协调发展的负向影响逐渐减弱，而上游地区工业化水平较低，生产技术相对落后，随着工业化发展，对城镇化效率和水资源效率协调发展的负向影响作用正逐步加大。

(4)对外开放程度对城镇化效率和水资源效率协调发展的影响方向由正向转为负向。就上中下游三大区域来看，对外开放程度对中游地区城镇化效率和水资源效率协调发展总体为负向影响，对上游地区协调发展总体为正向影响，但正向影响的作用逐渐减小，同时负向影响逐渐增强。当城市外资利用水平处于较低阶段时，最初的对外开放使得本地资源优势与外资结合为经济发展带来动力，但随着跨国公司污染型、劳动密集型产业进行转移，使得环境污染开始加剧，对城镇化效率和水资源效率协调发展的正向促进作用逐渐减弱。由于外资利用水平对环境污染总体存在着正向波动影响[30],因此在进一步加大对外开放过程中，应该积极利用技术溢出效应促进生产技术的提高，同时加大环保投资和环境规制，减少其带来的负面影响。

(5)城市行政级别对城镇化效率和水资源效率协调发展表现出轻度的负向影响，但负向影响程度逐渐减弱。城市级别与城市城镇化效率存在着高级别-低效率的对应关系，其主要原因在于高级别城市倾向于利用行政级别优势，以牺牲生态城镇化过度追求人口、经济、社会、空间城镇化[20],从而阻碍城镇化效率与水资源效率协调发展，结果进一步显示，城市行政级别对城镇化效率和水资源效率协调发展的负向影响正逐渐减弱，有转变为正向影响的趋势，其原因主要在于，党的十八大将生态文明纳入“五位一体”总体布局，高强度的环境约束在一定程度上缓解了城市行政级别对城镇化效率的抑制效应，同时高级别城市通过完善基础设施和公共服务等方式使得城镇化效率进一步提高。

(6)总体来看，水资源禀赋对长江经济带整体城镇化效率和水资源效率协调发展有不显著的负向影响。分区域来看，上游和下游地区水资源禀赋对城镇化效率和水资源效率协调发展主要表现为正向影响，对中游地区则表现为负向影响，这也是对长江经济带整体呈现负向影响的主要原因。其原因或在于中游地区由于水资源禀赋较为丰富，人均水资源量充足，在一定程度上导致了综合用水效率低下，水资源利用效率相对于城镇化效率而言，提升速度较为缓慢，使城镇化效率与水资源效率协调发展受到阻碍。

5 结论与建议

5.1 研究结论

文章通过测度长江经济带110市城镇化效率和水资源效率，分析了城镇化效率与水资源效率的时空分异格局，利用修正的耦合协调度模型测度两者的协调发展度及时空变化规律，并对其协调发展的空间异质性驱动因素展开分析。结论如下：

(1)2011~2020年长江经济带整体城镇化效率处于0.3950~0.7676区间呈波动上升趋势，万元地区生产总值用水量在最高值167.57到最低值69.63范围内呈现稳定下降趋势，水资源综合利用效率稳步提升。从长江经济带三大区域来看，城镇化效率随地理位置由西向东推移而提高，即上游地区<中游地区<下游地区，水资源效率表现出“两头高中间低”的主要特征，具体为

下游地区>上游地区>中游地区。

(2)2011~2020年长江经济带城镇化效率在个别年份存在全局正相关关系,水资源效率与城镇化效率相比存在更为显著的全局空间正相关关系,且所有年份均通过了0.1%的显著性检验;在局部空间相关关系上,长江经济带城镇化效率多年均值主要有高高、低低、高低、低高型空间集聚模式,水资源效率主要表现为高高、低低、高低型3种集聚模式。

(3)研究期内,长江经济带整体城镇化效率与水资源效率的协调发展变化趋势与长江经济带三大区域的协调发展变化表现出高度一致,呈现上升-回落-再上升的螺旋式发展过程。从协调发展类型上看,长江经济带整体协调发展度均值为濒临失调型(0.4191),就三大区域多年协调发展度均值而言,下游地区协调发展度均值为0.4683(濒临失调),优于中游地区0.4017(濒临失调),上游地区协调发展程度最低0.3769(轻度失调)。整体来看,长江经济带城镇化效率与水资源效率协调发展度有所提高,但仍未达到理想水平,协调发展程度有待进一步提高。

(4)从解释变量总体回归系数多年平均值的绝对数来看,长江经济带城镇化效率与水资源效率协调发展驱动因素的强弱依次为,经济发展水平>农业发展状况>工业化水平>对外开放程度>城市行政级别>水资源禀赋;其中经济发展水平作为影响城镇化效率与水资源效率协调发展的主要因素,与对外开放程度均为正向影响,农业发展状况、工业化水平、城市行政级别、水资源禀赋为负向影响。

5.2 对策建议

基于上述分析及结论,从以下几个方面对提升长江经济带城镇化效率和水资源效率及优化两系统之间的协调发展度提出政策建议:

(1)提升高聚集区的辐射带动作用 and 低聚集区的持续发展能力。

注重提高长江经济带整体城镇化效率和水资源效率的同时,局部地区空间集聚和异常值现象更值得关注,尤其是低低聚集区域和低高(或高低)异常值聚集区域是未来需要关注的重点,促进“低洼”城市城镇化效率和水资源效率的提高将最有效地提升长江经济带整体效率协同发展水平。通过借鉴毗邻地区较高的城镇化效率或水资源效率发展经验,按照平等协商、互惠互利、优势互补的原则,因城施策开展合作探索,完善相关法律法规,在要素流动、资源开发、产业发展、生态治理与保护等领域采取联合行动,减少或消除无效竞争,促进邻近区域共同发展。

(2)推进城市群内部一体化建设,促进城镇化效率和水资源效率融合发展。

长江经济带作为我国城镇化发展格局中的关键区域,包含长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群三大城市群,城市群的建立与发展为其资源、要素的流通与交换提供良好基础。城市群内部应加快建立与完善协同发展工作机制,加强人力资源开发和科技创新水平,加大对教育、公共卫生和文化等投入,加强基础研究和关键性技术攻关,构建区域发展的创新驱动机制,推动形成绿色低碳循环发展的生产生活方式,促进城镇化效率和水资源效率进一步融合发展。

(3)建立长江经济带区际合作组织,助力长江经济带整体发展。

长江经济带上中下游三大区域因地理位置不同而造成城镇化效率和水资源效率空间差异,上中下游三大区域要积极谋划和参与区域间合作,协调与其他区域的发展关系将为本区域创造更大的发展空间。通过破除资源要素流动上的壁垒,进一步加强长江上中下游地区在生态环境保护、基础设施互联互通、产业协同发展和市场一体化建设等领域的区域合作;建立组织协调机制,根据区域城镇化与水资源发展战略重点实施统筹领导机构,围绕城镇化与水资源重大发展问题,建立三大区域跨部门的组

织协调机制，以便协调部门的管理政策，充分发挥各自区位优势和比较优势，形成支撑长江经济带整体发展的合力。

(4)强化科技创新对提升水资源利用效率的支撑作用。

科学技术创新是加快推进用水方式由粗放向节约集约转变，提高用水效率的关键支撑。以技术引领和产业培育为原则，加快成果转化，推广先进适用节水技术和工艺，推进节水技术装备产品研发及产业化，大力培育节水产业。农业方面大力推进节水灌溉和优化调整作物结构，不同区域分类别规模化推进高效节水灌溉，加快灌区续建配套和现代化改造，结合高标准农田建设，加大田间节水设施建设力度；上中下游地区根据区位水资源条件，推进适水种植、量水生产，积极发展集雨节灌，增强蓄水保墒能力。大力推进工业节水改造和高耗水行业节水增效，通过大力推广节水工艺和技术，支持企业开展节水技术改造及再生水回用改造，强化生产用水管理；采用差别水价以及树立节水标杆等措施，促进高耗水企业加强废水深度处理和达标再利用，新建企业和园区要在规划布局时，统筹供排水、水处理及循环利用设施建设，推动企业间的用水系统集成优化。

参考文献：

[1]:刘海猛，方创琳，李咏红.城镇化与生态环境“耦合魔方”的基本概念及框架[J].地理学报，2019, 74(8) : 1489-1507.

LIU H M, FANG CL, LI Y H. The Coupled Human and Natural Cube: A conceptual framework for analyzing urbanization and eco-environment interactions [J] . Acta Geographica Sini-ca, 2019, 74(8) : 1489-1507.

[2]许长新，吴晓远.水环境承载力约束下区域城镇化发展合理速度分析[J].中国人口-资源与环境，2020, 30(3): 135-142.

XU C X, WU X Y. Analysis of reasonable speed of regional urbanization development under the constraint of water environmental carrying capacity [J] . China Population, Resources and Environment, 2020 , 30(3) : 135- 142.

[3]阚大学，吕连菊.中国城镇化和水资源利用的协调性分析——基于熵变方程法和状态协调度函数[J].中国农业资源与区划，2019, 40(12) : 1-9.

KAN D X, LYU L J. The coordination analysis of urbanization and water resources utilization in China : Based on the entropy variable equation method and state coordination function [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(12) : 1-9.

[4]鲍超，方创琳.水资源约束力的内涵、研究意义及战略框架[J].自然资源学报,2006, 21(5) : 844-852.

BAO C, FANG C L. On concept, significance and strategic framework for water resources constraint force [J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21 (5) : 844- 852.

[5]鲍超，方创琳.干旱区水资源对城市化约束强度的时空变化分析[J].地理学报,2008, 63(11): 1140-1150.

BAO C, FANG C L. Temporal and spatial variations of water resources constraint intensity on urbanization in arid area [J] . Acta Geographica Sinica, 2008 , 63(11) : 1140 - 1150.

[6]刘耀彬，戴璐，张桂波.水环境胁迫下的环鄱阳湖区城市化格局响应[J].长江流域资源与环境，2014, 23(1): 81-88.

LIU Y B, DAI L, ZHANG G B. Response of urbanization pattern surrounding the Poyang Lake to aquatic environment stress [J] . Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014 , 23(1) : 81-88.

[7]鲍超.中国城镇化与经济增长及用水变化的时空耦合关系[J].地理学报, 2014, 69(12) : 1799-1809.

BAO C . Spatio-temporal coupling relationships among urbanization, economic growth and water use change in China [J] . Acta Geographica Sinica, 2014 , 69 (12) : 1799- 1809.

[8]马海良, 徐 佳, 王普查.中国城镇化进程中的水资源利 用研究[J].资源科学,2014, 36(2) : 334-341.

MA H L, XU J, WANG P C. Water resource utilization and China' s urbanization [J]. Resources Science, 2014, 36(2): 334-341.

[9]曹祺文, 鲍 超, 顾朝林, 等.基于水资源约束的中国城镇 化 SD 模型与模拟[J].地理研究, 2019, 38(1) : 167-180.

CAO Q W, BAO C, GU C L, et al. China' s urbanization SD modelling and simulation based on water resource constraints [J] . Geographical Research, 2019 , 38(1) : 167 - 180.

[10] 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.

LI N, SUN C Z , FAN F. The coupling relation analysis between urbanization and water resources in Liaoning coastal economic zone [J] . Areal Research and Development, 2010 , 29 (4) : 47-51.

[11] 孙才志, 张坤领, 闫邹 玮, 等.中国沿海地区人海关系地域 系统评价及协同演化研究[J].地理研究, 2015, 34(10): 1824-1838.

SUN C Z, ZHANG K L, ZOU W, et al. Study on regional system of man-sea relationship and its synergetic development in the coastal regions of China [J] . Geographical Research , 2015, 34(10) : 1824- 1838.

[12] 杨雪梅, 杨太保, 石培基, 等.西北干旱地区水资源-城市 化复合系统耦合效应研究——以石羊河流域为例[J].干 旱区地理, 2014, 37(1) : 19-30.

YANG X M, YANG T B, SHI P J, et al. Coupling effect of water resources-urbanization composite system in north west arid region of China: A case of Shiyang River Basin [J] . Arid Land Geography, 2014 , 37 (1) : 19-30.

[13] 徐祥功, 任丽军, 刘 明, 等.黄河三角洲地区城市化测度 与水环境系统耦合关系[J].水资源保护, 2015, 31(3): 33-39.

XU X G, REN L J, LIU M, et al. Coupling relationship between urbanization and water environment in Yellow River Delta [J] . Water Resources Protection, 2015, 31 (3) : 33-39.

[14] 海 霞, 李伟峰, 王 朝, 等.京津冀城市群用水效率及其 与城市化水平的关系[J].生态学报, 2018, 38 (12): 4245-4256.

HAI X, LI W F, WANG Z, et al. Interactions between water use efficiency and urbanization level in the Beijing-Tianjin-Hebei

megaregion, China [J] . Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12) : 4245-4256.

[15] 曾惠, 鄢春华, 黄婉彬, 等. 城市化水平与水资源利用效率的关系研究——以珠江三角洲城市群为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2020, 56(3) : 561-570.

ZENG H, YAN C H, HUANG W B, et al. A case study on the relationship between urbanization level and water use efficiency in the Pearl River Delta urban agglomeration [J] . Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2020, 56 (3) : 561-570.

[16] 钞锦龙, 李乐乐, 杨朔, 等. 汾河流域城市化与水资源耦合协调关系研究[J]. 地理科学, 2022, 42(3) : 487-496.

CHAO J L, LI L L, YANG S, et al. Coupling and coordination relationship between urbanization and water resources in the Fenhe River Basin [J] . Scientia Geographica Sinica, 2022, 42 (3) : 487-496.

[17] 鲍超, 方创琳. 城市化与水资源开发利用的互动机理及调控模式[J]. 城市发展研究, 2010, 17(12) : 19-23, 65.

BAO C, FANG C L. Interaction mechanism and control modes on urbanization and water resources exploitation and utilization [J]. Urban Studies, 2010, 17(12) : 19-23, 65.

[18] 马立杰. DEA 理论及应用研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.

MA L J. Study on DEA theory and its applications [D]. Jinan : Shandong University, 2007.

[19] 万庆, 吴传清, 曾菊新. 中国城市群城市化效率及影响因素研究[J]. 中国人口-资源与环境, 2015, 25 (2) : 66-74.

WAN Q, WU C Q, ZENG J X. Study on the urbanization efficiency and determinants of China's urban agglomerations [J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(2): 66-74.

[20] 于斌斌. 城市级别和市场分割对城镇化效率影响评价——以中国 285 个地级及以上城市为例[J]. 地理科学, 2022, 42(3) : 476-486.

YU B B. Impact of urban administrative hierarchy and market segmentation on urbanization efficiency: Taking Chinese 285 prefecture-level cities as examples [J] . Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(3) : 476-486.

[21] 傅为一, 段宜嘉, 熊曦. 科技创新、产业集聚与新型城镇化效率[J]. 经济地理, 2022, 42(1): 90-97.

FU W Y, DUAN Y J, XIONG X. Technological innovation, industrial agglomeration and efficiency of new urbanization [J] . Economic Geography, 2022 , 42(1) : 90- 97.

[22] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J] . European Journal of Operational Research , 2001, 130(3) : 498-509.

[23] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J] . European Journal of Operational Research, 2002, 143(1) : 32-41.

[24] 黄磊, 吴传清.长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究[J].中国人口-资源与环境, 2019, 29(8): 40-49.

HUANG L, WU C Q. Industrial green development efficiency and spatial driven mechanism in cities of the Yangtze River Economic Belt [J] . China Population , Resources and Environment, 2019, 29(8) : 40-49.

[25] 王淑佳, 孔伟, 任亮, 等.国内耦合协调度模型的误区及修正[J].自然资源学报, 2021, 36(3): 793-810.

WANG S J, KONG W, REN L, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China

[J] . Journal of Natural Resources, 2021, 36(3) : 793- 810 .

[26] 方创琳, 崔学刚, 梁龙武.城镇化与生态环境耦合圈理论及耦合器调控[J].地理学报, 2019, 74(12): 2529-2546.

FANG C L, CUI X G, LIANG L W. Theoretical analysis of urbanization and eco-environment coupling coil and coupler control [J] . Acta Geographica Sinica, 2019 , 74 (12) : 2529 -2546.

[27] 江艇, 孙鲲鹏, 聂辉华.城市级别、全要素生产率和资源错配[J].管理世界, 2018, 34(3): 38-50, 77, 183.

JIANG T, SUN K P , NIE H H. Administrative rank, total factor productivity and resource misallocation in Chinese cities [J] . Management World, 2018, 34(3) : 38-50, 77, 183.

[28] 张毓, 孙根年.城市规模与旅游成长空间关系、演变及驱动因子——长江三角洲城市级别体系新认识[J].地理科学, 2016, 36(12): 1877-1884.

ZHANG Y, SUN G N. Spatial relation between city size and tourism growth, and its evolution and driving factors: New understanding of city level system in the Yangtze River Delta [J] . Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(12) : 1877- 1884.

[29] 李恩康, 陆玉麒, 陈娱.中国外贸货物出口的地理格局演化及影响因素分析——基于货物出口距离和GTWR模型[J].地理研究, 2019, 38(11): 2624-2638.

LI E K , LU Y Q, CHEN Y. Geographic pattern evolution of China' s merchandise export and its influencing factors : Based on the analysis of merchandise export distance and the GTWR model [J] . Geographical Research, 2019 , 38 (11) : 2624 -2638.

[30] 代丽华, 林发勤.贸易开放对中国环境污染的程度影响——基于动态面板方法的检验[J].中央财经大学学报, 2015(5): 96-105.

DAI L H, LIN F Q. The impact of trade openness on China' s environmental pollution: Test of dynamic panel method [J] . Journal of Central University of Finance & Economics, 2015 (5) : 96- 105.

[31] 郭莎莎, 陈明星, 刘慧.城镇化与资源环境的耦合过程与解耦分析——以北京为例[J].地理研究, 2018, 37(8): 1599-1608.

GUO S S , CHEN M X , LIU H. Coupling procedure and decoupling analysis of urbanization and resource environment: The study of Beijing [J]. Geographical Research, 2018, 37(8): 1599- 1608.

[32] 马 艳.长江经济带城镇化与生态环境耦合协调效应测度 与交互胁迫关系验证[J].长江流域资源与环境, 2020, 29 (2) : 275-286.

MA Y . Examining the coupling degree and interactive stress between urbanization and eco-environment in Yangtze River Economic Belt [J] . Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(2) : 275-286.

[33] ELVIDGE C, ZISKIN D, BAUGH K, et al. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data [J] . Energies, 2009 , 2(3) : 595- 622.

[34] TELUGUNTLA P , THENKABAIL P S, OLIPHANT A, et al.A 30-m landsat-derived cropland extent product of Australia and China using random forest machine learning algorithm on Google Earth Engine cloud computing platform [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018, 144: 325-340.

[35] JIANG W , CHEN Z, LEI X, et al. Simulation of urban agglomeration ecosystem spatial distributions under different scenarios : A case study of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. Ecological Engineering, 2016 , 88 : 112- 121.

[36] 朱 翔, 王 晖, 吴宜进, 等.基于 Google Earth Engine 的 长江中游城市群城镇化与生态环境耦合协调研究[J].长 江流域资源与环境,2022, 31(12) : 2706-2717.

ZHU X, WANG H, WU Y J, et al. Research on the coupling coordination degree of urbanization and eco-environment of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River based on google earth engine [J] . Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(12) : 2706-2717.

[37] 张国俊, 王珏晗, 吴坤津, 等.中国三大城市群经济与环境 协调度时空特征及影响因素[J].地理研究, 2020, 39 (2) : 272-288.

ZHANG G J, WANG J H, WU K J, et al. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of coordination between economic and environmental development of three major urban agglomerations in China [J] . Geographical Research , 2020 , 39 (2) : 272-288.

[38] 王少剑, 崔子恬, 林靖杰, 等.珠三角地区城镇化与生态韧 性的耦合协调研究[J].地理学报, 2021, 76(4): 973-991.

WANG S J, CUI Z T, LIN J J, et al. Coupling relationship between urbanization and ecological resilience in the P earl River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 2021 , 76(4) : 973-991.