

基于 TOPSIS 及耦合协调度的湖南省 2009—2018 年 水资源承载力综合评价

阳斌成, 张家其, 罗伟聪, 喻兴洁, 张兴苗

(衡阳师范学院 地理与旅游学院, 湖南 衡阳 421002)

摘要: [目的] 评价湖南省水资源承载力, 为区域制定水资源、社会经济发展和生态环境协调发展政策提供理论参考。[方法] 通过构建系统耦合协调度模型及综合评价指标体系, 分析湖南省 2009—2018 年水资源—社会经济—生态环境系统耦合协调的时空演变过程。[结果] ① 2009—2018 年湖南省及各市州水资源承载力除湘潭市外, 均呈上升趋势, 同时空间上呈现“U”型特征; ② 在时间维度上, 耦合协调度呈波动增长态势, 耦合协调状态由初级向中级协调转变; ③ 从空间维度看, 耦合协调度呈现: 西部 > 东部 > 中部的地区差异, 但总体由不均衡逐渐转向整体协同发展, 其中张家界市耦合协调最好, 常德市耦合协调度增长最快, 湘潭、衡阳、邵阳等市处于较低水平。[结论] 湖南省水资源承载力与耦合协调发展态势较好, 但时空差异显著; 可从产业结构优化、节水排污科技投入、资源优势转化、绿色生态农业发展等方面加大政策支持以提高湖南省水资源承载力, 实现高质量的可持续发展。

关键词: 水资源承载力; 耦合协调度; TOPSIS; 湖南省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)05-0357-08

中图分类号: TV213.4, X24

文献参数: 阳斌成, 张家其, 罗伟聪, 等. 基于 TOPSIS 及耦合协调度的湖南省 2009—2018 年水资源承载力综合评价[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 357-364. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.05.045; Yang Bincheng, Zhang Jiaqi, Luo Weicong, et al. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Hu'nan Province during 2009—2018 based on TOPSIS and coupling coordination development [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(5): 357-364.

Comprehensive Evaluation of Water Resources Carrying Capacity in Hu'nan Province During 2009—2018 Based on TOPSIS and Coupling Coordination Development

Yang Bincheng, Zhang Jiaqi, Luo Weicong, Yu Xingjie, Zhang Xingmiao

(College of Geography and Tourism, Hengyang Normal University, Hengyang, Hu'nan 421002, China)

Abstract: [Objective] The water resource carrying capacity in Hu'nan Province was evaluated in order to provide a theoretical reference for the regional formulation of coordinated development policies of water resources, socio-economic development, and ecological environment. [Methods] The spatio-temporal evolution process of the coupling coordination development of water resources, social economies, and ecological environmental systems in Hu'nan Province from 2009 to 2018 was analyzed by constructing a coupling coordination development model and a comprehensive evaluation index system. [Results] ① The water resource carrying capacity of all cities in Hu'nan Province (except Xiangtan City) from 2009 to 2018 showed an upward trend, and at the same time, showed a U-shaped in space. ② Coupling coordination development showed a fluctuating growth trend as state changed from primary to intermediate. ③ Coupling coordination development from the spatial dimension showed regional differences, from high to low appearing in the west area, east area, and central area. However, the overall imbalance gradually turned to overall coordinated development, with Zhangjiajie City being the best, Changde City being the fastest growing, and Xiangtan, Hengyang and Shaoyang cities being at a low level. [Conclusion] The coordinated development trend of water

收稿日期: 2021-04-29

修回日期: 2021-06-03

资助项目: 湖南省教育厅科学研究重点项目“旅游驱动下的民族传统村落重构理论探究”(20A061); 湖南省研究生科研创新项目“洞庭湖流域生态系统服务供需匹配的时空演变特征研究”(CX20201158)

第一作者: 阳斌成(1996—), 男(汉族), 湖南省衡阳市人, 硕士研究生, 研究方向为生态经济与可持续发展。Email: 936370170@qq.com。

通讯作者: 张家其(1986—), 男(汉族), 湖南省醴陵市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事区域生态安全研究。Email: 594089143@qq.com。

resource carrying capacity and coupling in Hu'nan Province were in a good condition, but there were significant differences in time and space. In order to improve the carrying capacity of water resources and achieve high-quality sustainable development, the policy support, aiming to improve the carrying capacity of water resources and achieve high-quality sustainable development, could be issued by Hu'nan Province. Which will be respectively enhanced from the perspectives of industrial structure optimization, investment in water conservation and pollution discharge science and technology, the transformation of resource advantages, and green ecological agriculture development.

Keywords: water carrying capacity; coupling coordination development; TOPSIS; Hunan Province

水是人类生存与社会经济发展不可替代的基础性资源^[1],然而,因城镇化快速推进、人口高度集聚、工农业高速发展,水资源需求的时空差异愈发明显,在中国水资源时空分布本就不均的格局背景下,水资源供需矛盾更为突出。近年来,在“两山理论”引领下,保护与改善环境就是发展生产力的理念深入人心,如何合理使用水资源,防止水污染成为国家关注的重点。2016年水利部印发《关于做好建立全国水资源承载能力监测预警机制工作的通知》要求对水资源承载状态进行评价,3 a内建立全国县域水资源承载力监测预警机制;2020年自然资源部印发《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南(试行)》指出水资源承载能力是资源环境承载力中基本组成部分之一。由此可见,水资源承载力已经成为影响区域可持续发展核心要素之一^[2]。

国外研究主要集中于水资源管理^[3]、水安全^[4]、水资源与可持续发展^[5]方向。国内研究最早由新疆软科学研究小组提出水资源承载力的概念^[6],随后众多学者对水资源承载力的概念与内涵进行了深入讨论^[7-9],关于如何量化水资源对社会经济发展与生态环境保护的基础性作用研究成为热点话题^[10-11]。现今,水资源承载力已从水资源单系统逐渐走向水资源—社会经济—生态环境多系统研究,研究角度从静态单一指标体系评价发展到动态多元评价^[12],但由于水资源承载力是一个复杂、开放的巨系统,同时良好的生态环境又为社会经济发展提供载体,为水资源提供保障与更新能力;而社会经济发展水平直接影响科技投入与公众意识,继而影响区域水资源利用效率与节水意识,为生态环境保护提供更有力的经济支撑与制度保障。因此,水资源承载研究要加强跨区域多要素综合研究^[13]。此外,关于水资源承载力的评价方法众多,但这些方法在应用过程中各有优缺点,例如常规趋势法容易忽略各指标的相互关系^[14],模糊综合评价法在运算过程中易遗失信息,而利用主成分分析法得到的综合评价结果可比性差^[15],系统动力学则因参变量和数学方程结构复杂,对数据要求高。另外在确定指标权重方面,层次分析法存在主观性过强

的问题。为此,本研究采用熵权-TOPSIS法进行水资源承载力评价,并开展水资源—社会经济—生态环境的耦合协调发展探究,以此凸显指标的差异性及评价结果的客观、可比性,注重水资源与社会经济、生态环境各指标之间的相互联动关系,为区域制定水资源、社会经济发展和生态环境协调发展政策提供理论参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

湖南省地处亚热带季风区,多年平均降水量1 450 mm。2018年人均水资源量1 952 m³,高于全国平均水平,水资源总量相对丰富。湖南省被列入长江经济带国家重要战略发展区域,该地域具有承接南北,联通东西的重要地位,环长株潭城市群更是长江经济带发展格局中“三极”的重要组成部分。区内武陵山区与洞庭湖为长江流域重要生态安全屏障,湘江流域和洞庭湖生态保护修复工程试点被列入全国第三批山水林田湖草生态保护修复工程,为长江经济带发展提供涵养水源、调蓄洪水的重要生态系统服务功能。然而,该地域一方面因季风不稳定及地形等因素影响,降水时空分布不均;而另一方面,洞庭湖平原为中国九大商品粮基地之一,且湘江流域是中国重要的有色金属冶炼基地,工农业需水量与污水排放量巨大,这种水资源供需矛盾严重威胁区域水资源与粮食安全。因此,无论是从长江经济带一盘棋格局出发,还是湖南省各市州高质量协同发展的角度来看,实现研究区水资源、社会经济与生态环境协调发展意义重大。

1.2 数据来源

本文所用的数据主要来源于2009—2018年的《湖南省水资源公报》《湖南省统计年鉴》,部分数据来源于各地市统计年鉴、环境公报、国民经济和社会发展统计公报等,其中对个别指标数据缺失采用加权均值法进行赋值补缺,为降低不同指标量纲对研究可靠性的影响,对指标进行无量纲化处理。在数据筛选方面,考虑湖南省属于亚热带季风性湿润气候,水资源开发利用主要以地表水资源为主,而降水的不稳定会导致水资源承载力在年际之间出现波动,为体现这一

外在影响因素,故选取 2009(枯水年),2012(丰水年),2015(平偏丰),2018 年(平偏枯)4 个典型年份进行分析。

2 研究方法

2.1 水资源承载力影响因素构成分析

水资源承载力的研究对象是水资源,水资源是水资源承载力的主体,人类及其生存的经济社会和生态环境系统是水资源承载力的客体^[16]。水资源子系统对社会经济子系统与生态环境子系统具有支撑作用,水资源子系统为社会经济子系统平稳发展提供生产生活所需水量,同时也为生态环境子系统提供环境及其他生物生存所需生态用水。社会经济子系统在发展的过程中利用自然资源满足其发展需求,同时排放污染物进入生态环境子系统,虽然生态环境具有消纳污染的能力,但当污染物的浓度到达区域生态环境所能承受的最大限度,就会对生态环境造成不可逆的损害。另外,社会经济发展对区域的土地利用需求具有权衡性。例如,20 世纪中期,人类为谋求更多耕地,对洞庭湖进行围垦,大量的水域空间被侵占成耕地,导致区域生态系统退化,严重影响区域水资源涵养、净化与更新能力。此外,基于湖南省季风性气候降水变率大,导致旱涝灾害频繁,汛期水资源难以利用等问题,考虑合理修建水利工程对湖南省水旱灾害防御与水资源调配具有重要作用,进而显著提升水资源承载力。

综上所述,水资源承载力影响因素主要可以归纳为 4 个方面:水资源可利用量、水质状况、水域空间面积、水利工程。

(1) 从水资源承载力角度分析,水资源可利用量是指以总取耗水量为基础,结合区域经济发展与科技水平,本区域一定时期内可一次性利用的最大水量,但取耗水量越大并不代表水资源承载力越大,还应结合区域产业结构与用水效率综合判断^[17]。因此区域水资源本底与水资源开发利用状况是其主要影响因素。

(2) 水质状况主要受生态环境基底与排污技术影响。良好的生态环境为水资源质量提供保障,从而促进社会经济发展。另一方面,社会经济发展促进科技进步,尤其是节水排污技术的创新又可以为生态环境保护提供更好的技术支持。

(3) 足够的水域空间、森林覆盖面积不仅为水循环的产、汇流提供自然空间,而且为水体的纳污自净提供场所,是水生态系统健康运行的基本要素^[18]。

(4) 水利工程的合理修建一方面能够防洪排涝,调蓄汛期洪水,保障旱情期间社会经济发展与生态环

境用水安全;另一方面可以增加水域空间,调节局部小气候。

2.2 水资源承载力综合评价指标体系构建

现今水资源承载力评价体系的构建多从区域水资源本底、人类活动造成的负面压力以及生态环境破坏等角度选取指标^[19],较少考虑产业结构优化以及区域科技发展水平等因素对水资源承载力的正面影响。对此,本文借鉴田培等^[20]研究成果,以自然本底为基础,结合人类活动的正负影响两个方面构建水资源—社会经济—生态环境综合承载力评价指标体系(表 1)。

表 1 湖南省水资源承载力评价指标体系

目标层	系统层	系统权重	指标层	指标性质	指标权重		
水资源承载力	水资源子系统	0.246	人均水资源量 X_1	正向	0.036		
			供水模数 X_2	正向	0.048		
			产水模数 X_3	正向	0.038		
			年降水量 X_4	正向	0.031		
			人均用水量 X_5	负向	0.036		
			大中型水库年末蓄水量 X_6	正向	0.037		
			水资源开发利用率 X_7	负向	0.020		
			人口密度 X_8	负向	0.065		
			城镇化水平 X_9	正向	0.066		
			人均日生活用水量 X_{10}	负向	0.043		
	社会经济子系统	0.524	人口自然增长率 X_{11}	负向	0.101		
			人均 GDP X_{12}	正向	0.042		
			第三产业比重 X_{13}	正向	0.085		
			R & D 研发经费比重 X_{14}	正向	0.084		
			工业用水量 X_{15}	负向	0.040		
			农业用水量 X_{16}	负向	0.031		
			万元 GDP 用水量 X_{17}	负向	0.029		
			生态环境子系统	0.230	生态环境用水率 X_{18}	正向	0.069
					污水处理率 X_{19}	正向	0.025
					环保产业年收入 X_{20}	正向	0.059
					每万人造林面积 X_{21}	正向	0.036
					万元 GDP 污水排放量 X_{22}	负向	0.042

其中选择人均水资源量、供水模数、产水模数、年降水量等指标反映区域水资源本底状况,选取人均用水量、水资源开发利用率反映区域水资源利用压力状况,并结合湖南省亚热带季风气候降水变率大特征,以大中型水库年末蓄水量反映区域水资源调节保障能力。社会经济子系统主要体现区域社会经济发展状况以及对水资源需求压力,结合《湖南省国民经济和社会发展规划“十三五”规划纲要》与《“十三五”水资源消耗总量和强度双控行动工作方案》,从宏观层面选择城镇化水平、人均 GDP 反映社会经济发展状况;需水压力则从人口密度、人口自然增长率、人均用水量、工业用水量等指标来反映;产业结构与科技发展水平采

用第三产业比重、R&D 研发经费比重为代表性指标。

生态环境子系统是针对水资源再生与水生态环境状况,考虑到数据的可获取性原则,采用生态环境用水率、环保产业年收入、每万人造林面积、来代表人类活动对生态环境的正面影响;采用污水处理率、万元 GDP 污水排放量来表示水生态环境的污染及治理状况。

2.3 指标数据标准化

评价指标有正向指标与负向指标之分,正向指标具有极大值属性,负向指标具有极小值属性,要分别对其指标数据进行标准化处理:

正向指标:

$$x_{ij} = (r_{ij} - \min r_j) / (\max r_j - \min r_j) \quad (1)$$

负向指标:

$$x_{ij} = (\max r_j - r_{ij}) / (\max r_j - \min r_j) \quad (2)$$

式中: r_{ij} ($i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$) 为第 i 年第 j 个指标值; n, m 分别为年份数和指标数; $\max r_j, \min r_j$ 分别为第 j 个指标的最大值、最小值。

设研究区域水资源承载力的原始评价矩阵为:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (3)$$

2.4 熵权-TOPSIS 法

熵权法依据数据的离散程度对指标赋权,即根据

各指标所含信息有序程度的差异性来确定指标权重,是相对客观赋权方法^[21]。TOPSIS 法即优劣解距离法,能充分利用原始数据的信息,其结果能精确地反映各评价方案之间的差距,实现评价目标的优劣排序。目前熵权-TOPSIS 法多用于评价类研究,计算方法与过程详参考李星等^[22]研究。

2.5 耦合协调度模型

耦合协调模型通常被用来衡量系统之间的协调发展关系^[23]。通过该模型,可以清晰地看出水资源承载力下的社会经济子系统、生态子系统与水资源子系统之间的协调发展关系,能够对未来湖南省水资源的合理利用起到借鉴作用。计算公式如下:

$$C = \left\{ \frac{(U_1 + U_2 + U_3)}{[(U_1 + U_2 + U_3)/3]^3} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \lambda U_3 \quad (5)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (6)$$

式中: D 是耦合协调度; C 是系统耦合度; T 为三元系统的综合评价价值; U_1, U_2, U_3 分别为三元系统各自评价价值; α, β, λ 为待定系数,且 $\alpha + \beta + \lambda = 1$ 。本文认为水资源、社会经济、生态环境三者同样重要,所以 $\alpha = \beta = \lambda = 1/3$ 。

结合湖南省水资源—社会经济—生态环境实际情况,参考相关研究^[24],耦合协调发展状态划分为 5 类(表 2)。

表 2 湖南省水资源承载力复合系统耦合协调发展状态划分

指数名称	数值范围	状态	特征
耦合协调度 D	$0 < D \leq 0.2$	严重失调	区域社会经济、水资源与生态环境无法相互促进,出现相互制约情况
	$0.2 < D \leq 0.4$	轻度失调	区域水资源与生态环境问题得到改善,但水资源—社会经济—生态环境间仍处于失调状态
	$0.4 < D \leq 0.6$	初级协调	区域逐渐走向兼顾各子系统综合发展的道路,三者存在相互促进的趋势,同时开始不断提高水资源与生态环境质量,治理水污染,提升用水效率
	$0.6 < D \leq 0.8$	中级协调	区域水资源—社会经济—生态环境之间存在较为明显的协调状态,三者相互促进,薄弱处逐渐补齐,发展成效开始凸显,区域水资源—社会经济—生态环境三系统进入磨合阶段
	$0.8 < D \leq 1$	高级协调	水资源—社会经济—生态环境三系统间存在良好的协调发展状况,三者相辅相成,系统进入高度协调阶段,迈向高质量发展

3 结果与分析

3.1 水资源承载力分析

3.1.1 水资源承载力时间演变分析 湖南省水资源承载力 10 a 间呈下降—上升的“U”型态势,期间水资源承载力增长了 0.39,且各子系统具有明显的阶段性特征(图 1)。^①2009—2011 年水资源承载力下降,该阶段降水量为建国后最小值,进而影响水资源本底,

同时生产方式较为粗放,造成了严重水污染问题;^②2012—2015 年水资源承载力稳步上升,2012 年国务院出台《实行最严格水资源管理制度的意见》,加之“湘江流域三年整治计划”的成功实施,使得水资源承载力得到提升;^③2016 年长江经济带高质量发展战略提出,湖南积极践行“共抓大保护、不搞大开发”理念,促使生态环境持续改善,绿色发展指数居全国第 8 位,进而助推水资源承载力增长明显。

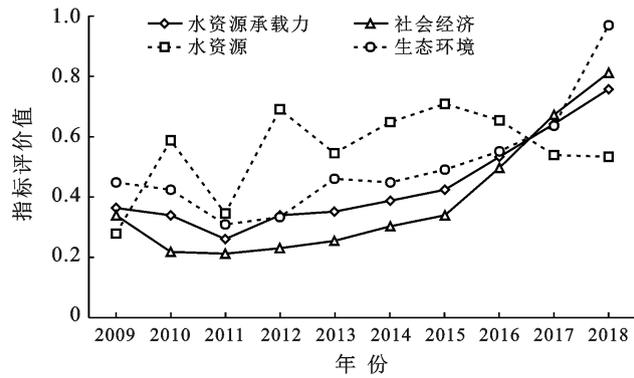


图 1 2009—2018 年湖南省水资源承载力评价指数

3.1.2 各州市水资源承载力空间特征分析 根据各地区自然地理要素差异,考虑区划应用性及行政管理一致性,结合《湖南省国民经济和社会发展“十三五”规划纲要》,将湖南省分为大湘西地区(邵阳、娄底、怀化、张家界、湘西州)、长株潭地区(长沙、株洲、湘潭)、湘南地区(衡阳、永州、郴州)与洞庭湖区(常德、益阳、

岳阳),以此开展水资源承载力空间分析。10 a 间水资源承载力区域均值增长率达 3.8%,但各州市空间差异较为明显,具体表现为:大湘西地区>长株潭地区>湘南地区>洞庭湖区,呈现出两侧高、中间低的“U”型特征(图 2)。此研究结果与 Wang 等^[25]、刘文等^[26]人认为湖南省水资源承载力东西部高于中间的空间分布特征的研究结果相一致。究其原因,大湘西地区植被覆盖度高、人类活动影响相对较小、且旅游这类绿色产业发展较好,因而水资源承载力明显高于其他 3 个地区;长株潭地区社会经济发展状况最好,科技与环保投入较多,居民节水意识较强,因此水资源承载力较高;湘南地区水资源本底较为丰富,但金属冶炼工业聚集,工业需水量大,且工业污染较为严重,水资源承载力处于中等水平;洞庭湖区为中国主要的商品粮基地,且人口稠密,生产生活需水巨大,同时又属降水低值区,水资源本底较差,水资源—社会经济—生态环境系统共同作用导致该区水资源承载力低于湖南省其他地区。

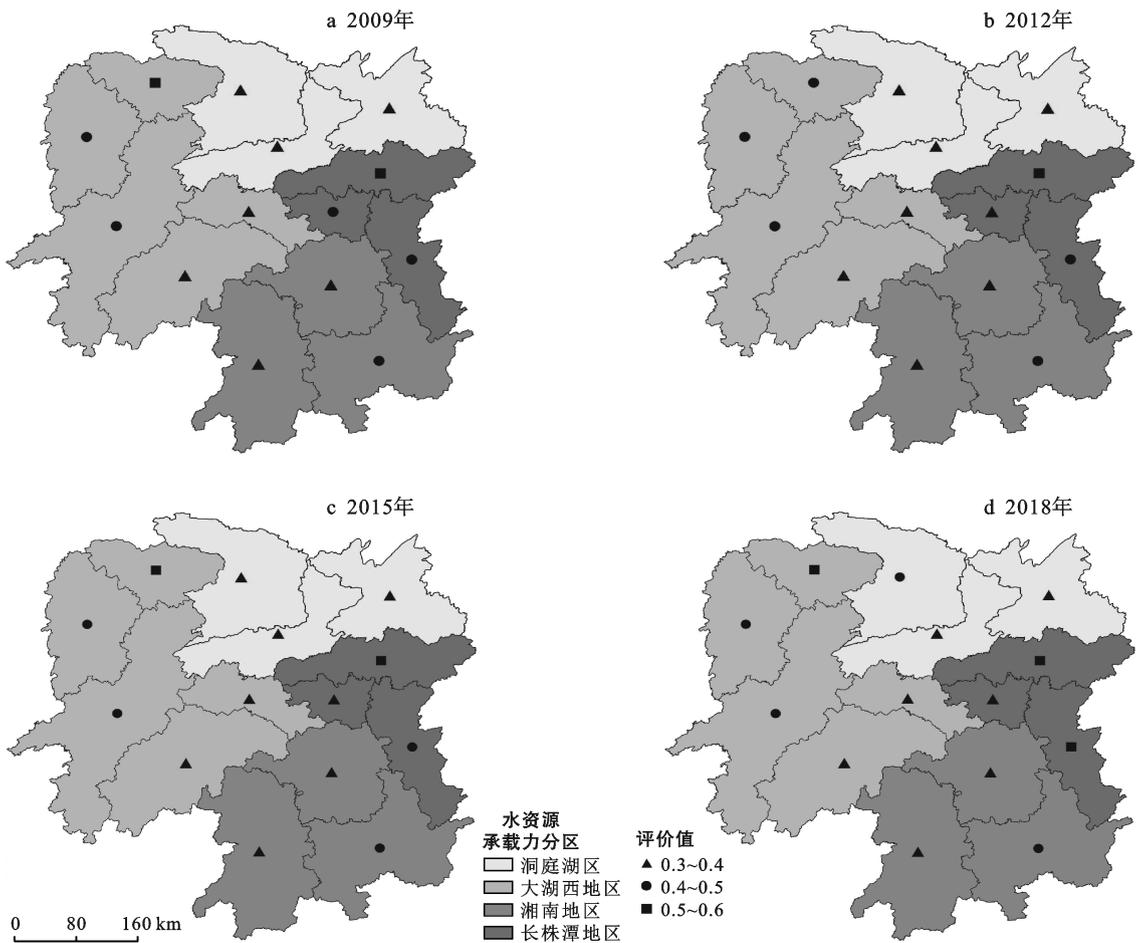


图 2 2009—2018 年湖南省各州市水资源承载力变化特征

3.2 湖南省水资源承载力系统耦合协调度分析

3.2.1 耦合协调度时间特征 2009—2011 年各子系

统受旱情影响,水资源承载力出现下滑趋势;2011 年之后水资源承载力社会经济子系统与生态环境子系

统呈波动上升;2016—2018 年上升趋势最为明显。此外,生态环境子系统提升最大,而水资源承载力系统中的水资源子系统一直处于不稳定状态,尤其是2016—2018 年与社会经济、生态环境子系统呈现反相关,这在一定程度上制约了其他子系统甚至复合系统的发展。在这种情况下,深入探究水资源承载力子系统间的耦合协调度,将更有利于辨明水资源—社会经济—生态环境系统是否协调发展。基于对 2009—2018 年湖南省各市州水资源、社会经济、生态环境三

大子系统耦合协调水平的测度可知,湖南省 14 个市州耦合协调度整体呈增长趋势(图 3)。

(1) 2009—2012 年湖南省水资源—社会经济—生态环境耦合协调度整体呈下降趋势,除洞庭湖区益阳市由中级下降为初级协调阶段,其他市州较为稳定。2009—2012 年益阳市工业用水量增加 47.6%,同时生态环境用水量下降 50%,社会经济快速发展对生态环境造成了胁迫,继而促使三系统耦合协调度下降。

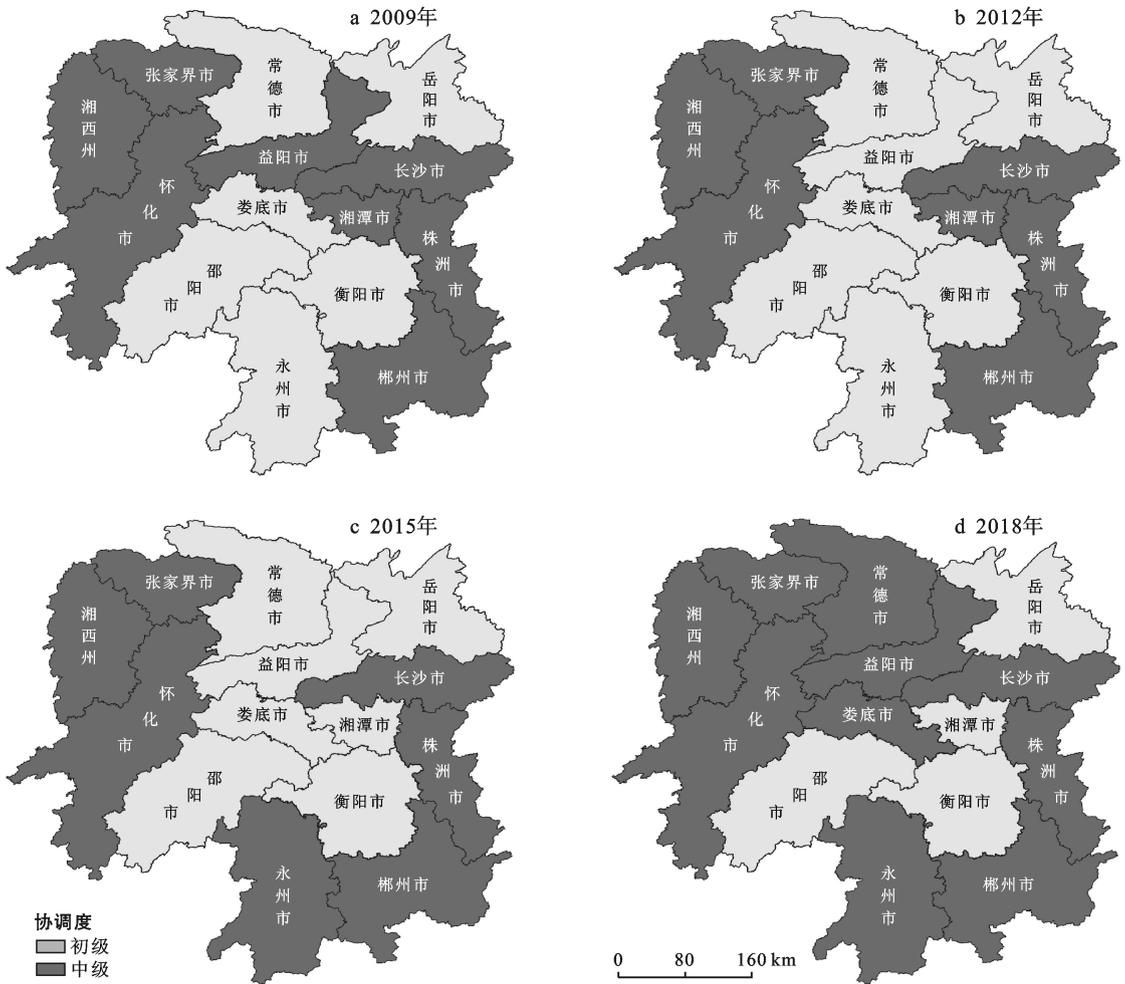


图 3 2009—2018 年水资源—社会经济—生态环境耦合协调发展时空演变

(2) 2012—2015 年耦合协调度有一定程度的上升,其中永州市系统耦合协调度由初级上升为中级协调,而湘潭市则由中级退化为初级协调。湘潭市“十二五”期间快速推进城市化,城市人口比重上升 6.4%,城市人口密度上升,水资源需求迅速增长,从而对水资源子系统造成了巨大压力;同时湘潭市万元 GDP 污水排放量增加,说明产业结构调整面临一定困难,因此双重压力下湘潭市耦合协调度出现下降趋势。

(3) 2015—2018 年耦合协调度出现明显上升,除衡阳、邵阳、岳阳、湘潭等市仍处初级协调阶段之外,

其他市州均为中级协调阶段。在湖南省践行“两型社会”与《湖南省湘江保护和治理第 2 个“三年行动计划”(2016—2018 年)实施方案》等政策大力推动下,湖南省各市州在抓社会经济发展同时,注重生态环境保护,控制并减少水环境的污染,致使水资源—社会经济—生态环境同步发展态势明显。

3.2.2 湖南省水资源承载力耦合协调度空间特征
2009—2018 年,除湘潭外,湖南省各市州耦合协调度都有一定程度提高,耦合协调度增长最快的为常德市,下降最快的为湘潭市。总体而言,湖南省水资

源—社会经济—生态环境耦合协调度增长速度呈现:洞庭湖区>湘南地区>大湘西地区>长株潭地区的特征(表3)。2012年,长株潭地区、大湘西地区的湘西、怀化、张家界以及湘南地区的郴州等市处于中级协调发展阶段,中部各市州都处于初级发展阶段,形成了中间明显低于两侧的“U”型空间格局;2012—2018年,常德、益阳、永州娄底等市耦合协调度出现大幅度提升,逐渐补齐中间短板,促使湖南省水资源—社会经济—生态环境耦合协调空间格局走向整体协同发展态势。

表3 2009—2018年湖南省各市州耦合协调度变化

地区	耦合协调度			
	2009年	2012年	2015年	2018年
长沙市	0.705	0.739	0.702	0.713
株洲市	0.651	0.677	0.661	0.705
湘潭市	0.669	0.606	0.584	0.588
衡阳市	0.547	0.518	0.528	0.576
邵阳市	0.544	0.535	0.552	0.565
岳阳市	0.568	0.592	0.572	0.571
常德市	0.580	0.558	0.564	0.658
张家界	0.748	0.633	0.760	0.765
益阳市	0.627	0.577	0.581	0.608
郴州市	0.681	0.644	0.665	0.674
永州市	0.556	0.573	0.600	0.608
怀化市	0.635	0.652	0.647	0.646
娄底市	0.566	0.580	0.588	0.602
湘西州	0.690	0.663	0.640	0.704
均值	0.626	0.610	0.617	0.642

4 结论与建议

4.1 结论

本文在构建湖南省水资源承载力指标体系的基础上,运用熵权-TOPSIS模型与耦合协调度模型分析了湖南省水资源承载力与系统耦合协调度的时空特征。

(1) 从时间变化特征来看,2009—2018年湖南省水资源承载力评价与耦合协调度整体呈增长态势,14个市州水资源—社会经济—生态环境耦合协调水平由初级阶段进入中级阶段。此外,水资源动态特征(降水)对本研究结果影响具有阶段性,2012年之前枯水年份对水资源承载力负面影响较为明显,然而随着社会经济的发展,特别是湖南省加大了对水利设施的投入,致使2012年后枯水年份对水资源承载力负面影响较小。

(2) 从空间变化特征而言,由于自然要素禀赋与社会经济发展差异,湖南省水资源承载力及耦合协调

度特征在空间上同样出现不均衡,表现为两侧高于中间的“U”型格局,但随着中部短板的补齐,耦合协调发展态势由不均衡逐渐转变为整体协同。

(3) 从发展阶段来看,2009—2012年,湖南省部分地区在发展社会经济的过程中面临产业调整难、生态保护压力大等问题,对水资源、生态环境子系统造成了一定的负面影响,导致耦合协调度下降的趋势。2012—2015年,随着两型社会的推进以及水资源保护力度的加大,湖南省水资源、生态环境质量逐渐恢复,水资源—社会经济—生态环境协调发展逐步上升。2015—2018年,湖南省在积极践行生态文明建设,积极融入长江经济带发展,以及湘江整治行动等一系列行动背景下,水资源承载力与水资源—社会经济—生态环境耦合协调度快速提升。

(4) 根据《湖南省国民经济和社会发展第十三个五年规划》与《国家节水行动湖南省实施方案》,预计到2020年万元GDP用水量、万元工业增加值用水量较2015年分别降低30%和33.9%^[27]。但依照现有发展情况,湖南省水资源承载力不足以支撑社会经济发展,例如2019年万元GDP用水量、万元工业增加值用水量相较于2015年分别只下降了24%,19%,达不到十三五预期目标,同时对生态环境保护也会造成巨大压力。因此,提高节水技术、推进产业升级能够显著提升湖南省水资源承载力,促进社会经济平稳发展。同时值得关注的是《湖南省国民经济和社会发展第十四个五年规划》中提到,到“十四五”末长株潭都市圈建成人口达到 1.50×10^7 左右、经济总量突破 2.00×10^{12} 元的特大都市圈^[28],人口与产业高度集中,是否会对水资源承载能力构成巨大压力值得深入探究。

4.2 建议

针对湖南省各区划水资源承载力时空特征及系统协调度情况,为进一步提升湖南省的水资源承载力,促进社会经济发展,提出几点建议。

(1) 长株潭地区作为湖南省社会经济发展先行区,水资源承载力与耦合协调度较高,但存在人均水资源拥有量较低、人均用水量较大等问题。应加快推进长株潭一体化发展,继续优化产业结构,推进湘潭老工业基地调整改造。同时合理管控人口增长,继续推进“两型社会”建设。

(2) 湘南地区作为湖南省重要的有色金属加工基地,水资源本底较好,但生产、生活用水量大,且水污染问题严重,从而导致水资源承载力与耦合协调度不高。应重点整治污染较大的工矿企业,加大节水排污科技投入,提高有色金属深加工能力,延长产业链。

(3) 大湘西地区作为国家重点生态功能区与贫

困连片地区,水资源承载力与耦合协调度均值最高,但存在水资源利用率与地区经济发展水平较低等问题。因此,应积极稳妥推进新型城镇化,完善公共交通布局,促进地区经济发展。提高水资源的开发利用,将资源优势转化为经济优势,但也应注意到该地区生态系统脆弱,在经济发展的过程中应当注意生态环境的保护。

(4) 洞庭湖区作为重要的农产品基地,农业用水占比大。应注重提高农业用水效率,促进农业生产类型多元化,发展绿色生态农业。基于湖南省季风性气候特点,应继续完善水利工程建设,同时充分抓住洞庭湖生态经济区建设上升为国家级战略的良好契机,推进流域生态治理和修复合作,促进水资源—社会经济—生态环境协调发展。

[参 考 文 献]

- [1] Walter A, Cadenhead N, Lee V S W, et al. Water as an essential resource: Orb web spiders cannot balance their water budget by prey alone [J]. *Ethology*, 2012, 118(6):534-542.
- [2] Sun Siao, Fang Chuanglin, Lv J. Spatial inequality of water footprint in China: A detailed decomposition of inequality from water use types and drivers [J]. *Journal of Hydrology*, 2017, 553:398-407.
- [3] Varis O, Vakkilainen P. China's 8 challenges to water resources management in the first quarter of the 21st Century [J]. *Geomorphology*, 2001, 41(2/3):93-104.
- [4] van Ginkel K C H, Hoekstra A Y, Buurman J, et al. Urban water security dashboard: Systems approach to characterizing the water security of cities [J]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2018, 144(12):04018075.
- [5] Kundzewicz Z W. Water resources for sustainable development [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 1997, 42(4):467-480.
- [6] 新疆水资源软科学课题研究组.新疆水资源及其承载能力和开发战略对策[J].*水利水电技术*, 1989, 20(6):2-9.
- [7] 惠洪河,蒋晓辉,黄强,等.二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究[J].*地理研究*, 2001, 20(2): 191-198.
- [8] 刘昌明,王红瑞.浅析水资源与人口、经济和社会环境的关系[J].*自然资源学报*, 2003, 18(5):635-644.
- [9] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等.区域水资源承载力研究[J].*水科学进展*, 2003, 14(1):109-113.
- [10] 夏军,朱一中.水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J].*自然资源学报*, 2002, 17(3): 262-269.
- [11] 杨胜苏,张利国,喻玲,等.湖南省社会经济与水资源利用协调发展演化[J].*经济地理*, 2020, 40(11):86-94.
- [12] 孟丽红,吴绍雄,郑蓬蓬,等.江西省水资源利用时空变化特征及区域差异[J].*水土保持通报*, 2020, 40(5): 276-283.
- [13] 朱一中,夏军,谈戈.关于水资源承载力理论与方法的研究[J].*地理科学进展*, 2002, 21(2):180-188.
- [14] 余卫东,闵庆文,李湘阁.水资源承载力研究的进展与展望[J].*干旱区研究*, 2003, 20(1):60-66.
- [15] 党丽娟,徐勇.水资源承载力研究进展及启示[J].*水土保持研究*, 2015, 22(3):341-348.
- [16] 黄昌硕,耿雷华,颜冰,等.水资源承载力动态预测与调控:以黄河流域为例[J].*水科学进展*, 2021, 32(1):59-67.
- [17] 王建华,姜大川,肖伟华,等.水资源承载力理论基础探析:定义内涵与科学问题[J].*水利学报*, 2017, 48(12): 1399-1409.
- [18] 余灏哲,李丽娟,李九一.基于量—质—域—流的京津冀水资源承载力综合评价[J].*资源科学*, 2020, 42(2): 358-371.
- [19] 惠洪河,蒋晓辉,黄强,等.水资源承载力评价指标体系研究[J].*水土保持通报*, 2001, 21(1):30-34.
- [20] 田培,王瑾钰,花威,等.长江中游城市群水资源承载力时空格局及耦合协调性[J/OL].*湖泊科学*:2021, 33(6) [2021-06-02].
- [21] 魏敏,李书昊.新时代中国经济高质量发展水平的测度研究[J].*数量经济技术经济研究*, 2018, 35(11):3-20.
- [22] 李星,左其亭,韩淑颖,等.塔里木河流域水资源适应性利用能力评价及调控[J].*水资源保护*, 2021, 37(2):63-68.
- [23] 童彦,潘玉君,张梅芬,等.云南省城市化与水源的耦合协调发展研究[J].*水土保持通报*, 2020, 40(6):243-248,258.
- [24] 赵建吉,刘岩,朱亚坤,等.黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J].*资源科学*, 2020, 42(1):159-171.
- [25] Wang Xinkui, Dong Zengchuan, Xu Wei, et al. Study on spatial and temporal distribution characteristics of coordinated development degree among regional water resources, social economy, and ecological environment systems [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(21).
- [26] 刘文,杨敏.湖南省水资源承载力综合评价研究[J].*高师理科学刊*, 2017, 37(6):61-66.
- [27] 湖南省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要:(2016年1月30日湖南省第十二届人民代表大会第五次会议批准)[N].*湖南日报*, 2016-04-25(1).
- [28] 湖南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要:(2021年1月29日湖南省第十三届人民代表大会第四次会议批准)2021年3月[N].*湖南日报*, 2021-03-26(8).