

长江经济带水资源承载力评价及时空动态变化

何刚¹, 夏业领¹, 秦勇², 朱艳娜¹, 王雯雯¹

(1. 安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001; 2. 成都理工大学 管理科学学院, 成都 610059)

摘要:以长江经济带水资源承载力综合评价为中心, 构建涵盖水资源、社会经济、生态等方面的水资源承载力综合评价指标体系。运用 TOPSIS 综合评价方法, 测算研究了 2007—2016 年长江经济带 11 省市水资源承载力动态变化及区域差异, 并利用 ArcGIS 10.2 软件, 可视化 2007 年与 2016 年长江经济带 11 省市水资源承载力等级分布。结果表明: 2007—2016 年长江经济带水资源承载力呈波动上升趋势, 承载力水平基本维持在警戒和中级水平; 经济发达的东段地区水资源承载力高于经济欠发达的中段和西段地区, 近年来差距不断扩大; 长江经济带 11 省市水资源承载力年均增长率位于前三的分别是贵州、上海和云南, 而湖北、重庆、四川年均增长率为负值; 长江经济带各省市水资源承载力整体水平仍较低, 且各省市间水资源承载力均衡性差异并未随着时间推移而产生大的改观。

关键词: 长江经济带; 水资源承载力; TOPSIS 模型

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0287-06

Evaluation and Spatial-Temporal Dynamic Change of Water Resources Carrying Capacity in the Yangtze River Economic Belt

HE Gang¹, XIA Yeling¹, QIN Yong², ZHU Yanna¹, WANG Wenwen¹

(1. School of Economics and Management, Anhui University of Science & Technology, Huainan,

Anhui 232001, China; 2. School of Management Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Taking the comprehensive evaluation of the water resources carrying capacity of the Yangtze River economic belt as the center, we constructed the comprehensive evaluation index system of water resources carrying capacity through water resources, society, economy and ecology. The dynamic changes and regional differences of water resources carrying capacity in 11 provinces and cities of the Yangtze River Economic Belt in 2007—2016 were calculated by using TOPSIS method. The ArcGIS 10.2 software was used to visualize the calculation results of carrying capacity of water resources in various provinces and cities in the Yangtze River Economic Belt in 2007 and 2016. The results showed that in 2007—2016, the carrying capacity of water resources in the Yangtze River Economic Belt presented the upward trend of fluctuation, and the carrying capacity was basically maintained at the alert and intermediate level; the water resources carrying capacity of the economically developed eastern region was gradually higher than that in the underdeveloped middle and western regions, and the gap was expanding in recent years; the provinces or municipality with average annual growth rates of water resources carrying capacity ranked in the first three among the 11 provinces and cities of the Yangtze River Economic Belt are Guizhou Province, Shanghai, and Yunnan Province. the provinces or municipality with the negative annual average growth rate of water resources carrying capacity are Hubei, Chongqing and Sichuan. In general, the overall level of water resources carrying capacity of the provinces and cities of the Yangtze River Economic Zone was still low, and the balance of water resources carrying capacity was low, and it did not change too much over the time.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; water resources carrying capacity; TOPSIS model

收稿日期: 2018-04-22

修回日期: 2018-05-08

资助项目: 国家自然科学基金“个体与环境交互作用下煤矿员工安全行为能力评价及动态预警”(51574010); 安徽理工大学青年教师科学资助项目“皖江城市带生态安全共生耦合水平动态测度与预警研究”(QN2017111); 校级大学生创新资助项目“区域生态安全评价与预警研究”(2017CX2124)

第一作者: 何刚(1966—), 男, 安徽合肥人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 矿区安全与评价。E-mail: hgang0111@163.com

通信作者: 夏业领(1993—), 女, 安徽六安人, 硕士研究生, 研究方向: 生态环境评价与治理。E-mail: xiayeling@163.com

水是人类社会可持续发展的战略支撑条件之一,随着人口增长和城镇化进程加快,水资源短缺和水环境恶化已成为全球性问题。长江经济带横贯我国东、中、西部三大区域,涵盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州 11 个省市,其人口总数、地区生产总值、第三产业产值均超过全国的 40%,现已成为中国经济实力最强、战略支撑作用最大的区域之一。然而长期粗放型增长方式和经济社会高速发展使得长江经济带水资源需求压力和水生态破坏压力并存,水资源需求由 2007 年的 2 478.8 亿 m^3 增加为 2016 年的 2 607.1 亿 m^3 ,净增加 128.2 亿 m^3 ,该增加量相当于每年 1/4 个南水北调工程的调水总量。用水量占全国比重也由 2007 年的 42.6% 上升为 2016 年的 43.2%,提升了 0.6%。而废水、氨氮、化学需氧量等水体污染物排放量占全国比重分别由 2007 年的 43.3%,40.7%,41.4% 提升到了 2016 年的 44.2%,47.3%,48.6%,水体污染与水生态破坏问题日益严重。长江经济带应如何立足流域水资源综合治理,实现经济社会发展与水资源可持续利用耦合协同,是当前迫切需要解决的重要课题之一。因此,科学评价长江经济带水资源承载力,分析其时空演变趋势及成因,对长江经济带制定科学有效的水资源承载力提升对策有重要参考价值。

目前水资源研究成果主要集中在水资源效率测度^[1]、水资源开发利用^[2]、水资源优化配置^[3]以及水资源承载力测度^[4]等方面,尤以水资源承载力更加值得深入研究。水资源承载力是指在某一具体的历史发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会水平为依据,以社会可持续发展和水资源可持续利用为原则,以维护生态环境良性发展为条件,以水资源合理开发和配置为前提,水资源可支撑的特定区域社会、经济、生态环境协调发展的规模^[5]。近年来,关于水资源承载力定性研究与定量研究均取得了丰富成果。研究重点集中在水资源承载力评价,研究内容包括水资源承载力定义^[6]、水资源承载力指标体系构建^[7]、水资源承载力预测^[8]等。研究对象包括城市水资源承载力^[9]、区域水资源承载力^[10]以及流域水资源承载力评价等^[11]。从研究方法来看,代表性的研究方法有投影寻踪评价模型^[12]、系统动力学法^[8]及主成分分析法^[13]。上述研究在丰富水资源承载力相关理论的同时,也为水资源的综合利用提供了有效指导。其不足之处在于:(1) 现有研究偏重于水资源承载力评价方法的研究,而理论研究有所不足;(2) 多数研究集中于水资源承载力时间或空间单一维度,对水资源承载力时空差异关注较少。水资源承载力评价最终

目的在于接近水资源承载力的最佳状态,远离水资源承载力的最劣状态,而 TOPSIS 法就是测度目标对象与正负理想解的距离。鉴于此,本文从水资源子系统—社会经济子系统—生态系统 3 个联系紧密又相互作用的系统出发构建长江经济带水资源承载力评价指标体系,运用 TOPSIS 法实证测度评价水资源承载力,利用 ArcGIS 10.2 软件绘制 2007 年与 2016 年长江经济带水资源承载力等级分布地图,可视化表达承载力测算结果,为长江经济带水资源综合治理提供依据,亦为区域水资源承载力研究提供参考。

1 水资源承载力评价指标体系构建及数据来源

指标体系的构建通常分为两类,第 1 类是基于系统论的思想,将系统划分为既联系又独立的层次和要素构成的子系统;第 2 类是基于框架模型,如压力—状态—响应(PSR)、驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)、驱动力—压力—状态—影响—响应—管理(DPSIRM)等选取水资源承载力评价指标。充分的文献研究发现,两种方法都是将水资源系统作为一个内部各要素之间相互联系、相互作用的复杂大系统。指标选取上,都将影响水资源承载力的人口、资源、社会、经济与生态等指标考虑在内,切实反映水资源承载力研究中各组成部分的和谐共存关系。鉴于此,本文在参考《长江经济带生态环境保护规划》基础上,从水资源—社会—经济—生态等方面选取水资源承载力评价指标,综合考虑影响水资源承载力的多种因素,对长江经济带水资源承载力作出系统评价。本研究在参考大量有关水资源承载力评价文献^[14-16]基础上,综合频度统计与理论分析方法选取使用频率较高的指标,同时考虑到数据的可获得性,力求做到既涵盖统计年鉴直接可查的指标,又涵盖根据年鉴数据计算而成的指标,尽可能体现指标的代表性、综合性和全面性,具体的指标体系见表 1。

本文原始数据来源于 2007—2016 年的《水利发展统计公报》、《水资源公报》、《中国统计年鉴》,部分指标数据根据中国统计年鉴数据及各省统计年鉴数据计算而成。

2 长江经济带水资源承载力评价方法——TOPSIS 法

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) 法是一种常见的基于多目标的评价方法,该方法在指标多少、样本含量和数据分布等方面都没有严格的限制和要求,且能够实

现不同评价指标在同一年份之间的横向比较和同一评价指标在不同年份间的纵向比较^[17],原理是通过测度备选方案评价价值与正负理想解的相对距离进行排序优选。TOPSIS 法基本步骤如下:

表 1 长江经济带水资源承载力综合评价指标体系

目标	指标层	计算方法	指标选取意义	指标性质
水资源子系统	产水模数(万 m ³ /km ²)	水资源总量/区域面积总量	反映区域单位面积产水能力	正
	人均水资源量(m ³ /人)	水资源总量/人口总量	反映水资源人均拥有量情况	正
	地表水资源占比(%)	地表水资源量/水资源总量	反映水资源的分布状况	正
	供水模数(万 m ³ /km ²)	供水量/区域面积总量	反映水资源的供水能力	负
	水资源开发利用率(%)	供水量/水资源总量	反映水资源的开发利用程度	负
	人均水资源利用量(m ³ /人)	用水量/人口总量	反映水资源丰、缺状态及潜力	负
	降雨深(mm)	降水量/土地面积	反映区域单位面积降水能力	正
水资源承载力	城市人口密度(人/km ²)	城市总人口/区域面积	反映单位国土面积人口压力	负
	人口自然增长率(%)	统计数据	反映人口对水资源的动态压力	负
	城镇化率(%)	城镇常住人口/常住人口	反映城镇化程度	正
	人均日生活用水量/升	日生活用水量/城市总人口	反映居民人均用水情况	负
	生活用水总量(亿 m ³)	统计数据	反映生活用水的动态变化	负
	GDP/亿元	统计数据	反映地区经济发展水平	正
	GDP 增长率(%)	GDP 增长额/GDP 总量	反映地区经济发展能力	正
	第三产业比重(%)	统计数据	反映地区经济结构优化程度	正
	万元 GDP 用水量(m ³ /元)	用水总量/GDP 总量	反映水资源与经济发展协调度	负
	万元工业增加值用水量(m ³ /元)	工业用水量/工业增加值	反映工业用水效率	负
生态子系统	森林覆盖率(%)	森林面积/区域面积	反映区域水资源更新能力	正
	生态环境用水率(%)	生态环境用水量/水资源总量	反映生态系统对水资源的需求	负
	水土流失治理面积(km ²)	统计数据	反映水土流失的治理情况	正
	废水治理投资占 GDP 比重(%)	统计数据	反映废水治理的重视程度	正
	城市污水处理厂污水处理能力(万 m ³)	统计数据	反映城市对污水的处理能力	正

2.1 评价指标同趋势化

TOPSIS 法进行评价时,要求所有指标变化方向一致(即所谓同趋势化),一般将低优指标转化为高优指标,转化方法常用倒数法,即令原始数据中低优指标 x_{ij} ,通过 变换而转化成高优指标。

对同趋势化后的数据进行归一化,公式如下

$$a_{ij}=x_{ij}/\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}$$
 (1)

2.2 确定正、负理想解 a^+ 和 a^-

$$a^+=\{\max a_{ij} \mid i=1,2,\cdots,m\}=\{a_1^+,a_2^+,\cdots,a_m^+\}$$
$$a^-=\{\min a_{ij} \mid i=1,2,\cdots,m\}=\{a_1^-,a_2^-, \cdots,a_m^-\}$$
 (2)

2.3 计算评价对象各指标值与最优方案及最劣方案的距离 D_j^+ 与 D_j^-

$$D_j^+=\sqrt{\sum_{i=1}^m w_i(a_i^+-a_{ij})^2}$$
$$D_j^-=\sqrt{\sum_{i=1}^m w_i(a_i^--a_{ij})^2}$$
 (3)

式中: a^- 与 a^+ 分别表示正、负理想解; D_j^+ 与 D_j^- 分别表示各指标值与最优方案及最劣方案的距离; w_i 为

第 i 个指标的权重,指标权重由熵权法^[18] 确定,熵权法确定指标权重可避免主观误差。

2.4 计算评价对象与最优方案的接近程度即贴进度 T_j

贴进度通常用 T_j 表示,表征评价对象与最优方案的接近程度,取值范围为 $[0,1]$,愈接近 1,表示该评价对象愈接近最优水平。反之,愈接近 0,表示该评价对象愈接近最劣水平,计算公式如下:

$$T_j=\frac{D_j^-}{D_j^++D_j^-}$$
 (4)

在综合参考众多学者研究成果的基础上,本文将贴进度 T 划分为 5 个等级,分别表示水资源承载力的 5 种状态,具体见表 2。

3 实证研究

为了具体考察长江经济带水资源承载力的区域差异,考虑到各地的水资源承载力与经济发展水平密切相关,因此将长江经济带划分为 3 个地区,分别为经济发达的东段地区(上海、江苏、浙江)、经济次发达的中段(安徽、江西、湖北、湖南)和西段地区(重庆、四川、贵州、云南)。

表 2 水资源承载力评判标准

贴进度	[0,0.3)	[0.3,0.4)	[0.4,0.5)	[0.5,0.6)	[0.6,1)
评判等级	低级	警戒	中级	良好	优质
等级说明	水资源严重匮乏	水资源短缺	水资源合理	水资源利用协调	水资源丰裕

3.1 长江经济带水资源承载力纵向评价及分析

利用式(4)并结合2007—2016年长江经济带11个省市数据,计算东段、中段、西段及长江经济带水资源综合承载力水平,数值越大,表明水资源承载力越强,评价结果见图1。

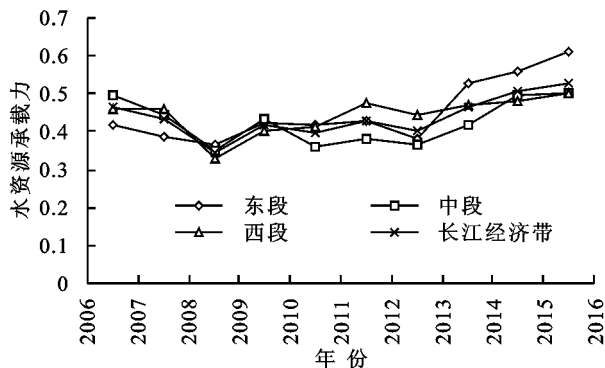


图1 不同经济发展水平区域水资源承载力

图1直观显示,样本考察期内,长江经济带水资源承载力与东段、中段、西段地区水资源承载力水平保持相似的变化趋势,波动幅度较小,总体呈上升趋势。东段地区水资源承载力由2007年的0.419增加到2016年的0.611,增幅为45.7%;中段地区水资源承载力增幅最小,为0.8%;西段地区水资源承载力由2007年的0.459增加为2016年0.503,增幅为14%。可以将图1分成3个时间段:

第一段为2007—2009年,此时间段内东、中、西段水资源承载力呈下降趋势,因此长江经济带水资源承载力也呈下降趋势,由2007年的0.464下降为2009年的0.3345,下降幅度为25.6%,水资源承载力等级由中级降为警戒等级。结合表3,可以看出2007—2009年长江经济带11个省市中,只有上海市水资源承载力保持上升趋势,其余10个省市的水资源承载力都呈下降趋势。2007—2009年上海市经济增速放缓,2009年GDP增长率为6.94%,但其产业结构不断优化,2009年第三产业占比59.35%,经济发展带来了污水处理技术的普及,单位产值耗水与污染排放减少也是上海市水资源承载力提升的原因。2007—2009年长江经济带其余10省市,GDP增长率一直保持两位数增长,多省GDP增长率高达20%以上,万元GDP用水量比上海市高出2~5倍。高速增长的经济与水资源承载力协调能力较差,水资源消耗、浪费严重,用水效率和效益低,直接导致长江经济带水资源承载力逐年降低。

第二段为2010—2013年,此时间段内东、中、西段水资源承载力呈低值小幅度的波动趋势。东段、中段和长江经济带水资源承载力均呈小幅度波动下降趋势,分别由2010年的0.421,0.432,0.419下降为

2013年的0.381,0.368,0.4,承载力等级均由中级水平降为警戒水平;西段水资源承载力呈小幅度波动上升趋势,由2010年的0.403上升为2013年的0.442,承载力等级由警戒水平上升为中级水平。虽然在经历2007—2009年水资源承载力大幅下降之后,长江经济带11省市出台了一系列综合治理水环境的对策措施,使得2010年水资源承载力小幅上升。但多年粗放型经济增长方式和“先污染后治理”老路对水资源造成的破坏,并非一朝一夕之功能彻底扭转的,这也是2010—2013年水资源承载力波动的原因之一。

第三阶段为2014—2016年,长江经济带11省市水资源承载力均呈较大幅度上升,东段水资源承载力显著高于中段、西段水资源承载力,2016年为0.685,已达优质水平。并且东段与中段、西段水资源承载力差距逐渐拉大。原因是水资源日趋匮乏制约社会经济发展的弊端日益显现,东部经济发达省份借助先发优势,在经济社会发展的同时更加注重水资源的集约高效利用,并投入大量资金用于绿色创新技术研发和生态环境治理,使得水资源承载力与经济社会发展和生态环境优化渐趋协调。而中段和西段省市经过多年开发建设,加之2012年后生态文明建设成果累积效应的显现,水资源承载力也渐趋稳定增长态势。但与东段地区相比,产业结构优化、资源利用效率、环保意识等差距短期内将一直存在,甚至是拉大,导致中、西段水资源承载力低于东段。

3.2 长江经济带水资源承载力横向评价及分析

从均值看,2007—2016年长江经济带11省市水资源承载力平均值位列前三的分别是东段的浙江、中段的江西以及西段的重庆,其承载力均值分别为0.463,0.458,0.457,处于水资源合理使用阶段,承载力等级为中级。之后按照承载力平均值大小排名依次为:上海、江苏、四川、云南、湖南、湖北、贵州、安徽。11省市只有安徽省水资源承载力处于警戒状态,相关研究^[19]表明,农业生产是安徽省水资源消耗量最大的产业,不合理的产业结构严重制约省内水资源安全,水资源紧缺程度十分严重,水资源处于不安全状态,制约着社会经济的发展。值得注意的是,湖北和贵州水资源承载力接近警戒状态,未来需重点关注。

从年均增长率看,长江经济带11省市水资源承载力年平均增长率位于前三的分别是贵州省、上海市和云南省,增长率分别为11.41%,10.1%,9.14%;而湖北、重庆、四川年均增长率均为负值,分别为-0.97%, -1.03%, -1.18%。安徽省与湖南省水资源承载力年平均增长率也较低,仅为1.41%和2.75%。

表 3 长江经济带 11 省市水资源承载力评价结果

城市 年份	东段			中段				西段			
	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2007	0.365	0.444	0.438	0.518	0.384	0.565	0.470	0.558	0.530	0.305	0.392
2008	0.340	0.433	0.341	0.360	0.384	0.564	0.403	0.544	0.488	0.411	0.366
2009	0.381	0.395	0.282	0.290	0.249	0.373	0.454	0.454	0.378	0.221	0.188
2010	0.393	0.368	0.534	0.372	0.525	0.438	0.415	0.491	0.426	0.329	0.345
2011	0.351	0.501	0.403	0.337	0.395	0.363	0.362	0.433	0.443	0.311	0.507
2012	0.360	0.418	0.538	0.325	0.520	0.322	0.384	0.364	0.448	0.485	0.631
2013	0.356	0.363	0.454	0.362	0.485	0.305	0.360	0.356	0.402	0.499	0.523
2014	0.658	0.421	0.521	0.357	0.482	0.412	0.453	0.444	0.458	0.513	0.458
2015	0.583	0.534	0.568	0.523	0.603	0.394	0.520	0.450	0.426	0.536	0.486
2016	0.685	0.588	0.552	0.475	0.553	0.437	0.557	0.475	0.448	0.561	0.515
平均值	0.447	0.447	0.463	0.392	0.458	0.417	0.438	0.457	0.445	0.417	0.441
承载力等级	中级	中级	中级	警戒	中级	中级	中级	中级	中级	中级	中级
年均增长率/%	10.10	4.58	7.16	1.41	10.24	-0.97	2.75	-1.03	-1.18	11.41	9.14

注:为了更客观描述水资源承载力年际间的变动,本文采用公式: $\frac{1}{9} \sum_{n=1}^9 (\frac{T_{n+1}}{T_n} - 1)$ 计算年平均增长率,避免仅以首末两年计算平均增长率而忽视年际间波动的弊端,其中 T_{n+1} 为下一年水资源承载力, T_n 为上一年水资源承载力,以 2007 年为首年。

利用 ArcGIS 10.2 软件绘制 2007 年与 2016 年长江经济带 11 省市水资源承载力等级空间分布图(图 2),空间分布图显示:上海水资源承载力由 2007 年的警戒等级上升为 2016 年的优质等级,上升幅度最大;江苏、浙江、湖南由 2007 年中级等级上升为 2016 年的良好等级;安徽、湖北、四川、重庆由 2007 年良好等级降为 2016 年的中级等级;江西、云南、贵州分别由 2007 年的警戒等级上升为 2016 年的良好等级。东段省市水资源承载力上升主要得益于良好的经济基础,经济的快速发展带来节水减排技术的进步,使得水资源利用效率和效益提高。长江经济带中段地区产业偏重,沿江地区高耗水型重化工业林立,部分地区磷矿、重金属污染严重。另外,节能减排技术落后导致水资源利用效率低,浪费严重。加之资源管理模式陈旧,水污染治理不力导致水环境质量下降。这些因素都制约了中段地区部分省份水资源承载力的进一步提高。四川、重庆虽然部分指标有所改善,如生态环境用水率逐年增加,万元 GDP 用水逐年降低等,但严重的水土流失和大规模矿产资源开发带来的环境污染和生态破坏,导致水资源恶化程度超出其改善程度,水资源承载力相应降低。云南、贵州由于独特的地理环境限制了其经济发展,人类活动对水资源破坏较小,水资源承载力处于良好等级。

此外,研究还发现,2007 年长江经济带 11 省市水资源承载力与 2016 年相比,除东段 3 省市外,其余 8 省市承载等级出现了较大反转,具体表现为北岸的

安徽、湖北、重庆、四川均由 2007 年的良好等级下降为 2016 年的中级等级,而南岸的江西、湖南、贵州、云南均由警戒或中级等级上升为 2016 年的良好等级。上文已经分析了东段 3 省承载力上升的原因,此处不再赘述。而其余 8 省市承载力出现较大反转可能原因如下:第一,从经济社会发展与水资源承载力协调能力看,8 省市均有提升,如 2016 年万元 GDP 用水量、城市污水处理能力等相比 2007 年均有所改善。这解释了虽然南北两岸 8 省市水资源承载力出现了较大反转,但北岸 4 省市仅从良好等级降为中级等级,并未出现大幅下降,说明承载力变化差异大需要结合自然与经济社会发展综合分析;第二,反转的直观表现是北岸 4 省市承载力下降,南岸 4 省市承载力上升,并形成承载力等级差异。深入分析可得,这一截然不同的发展趋势可能是因为 8 省市经济发展状况和自然资源禀赋差异共同作用所致。分析 8 省市水资源承载力影响因素原始数据可知,与 2007 年相比,2016 年南岸的江西、湖南、贵州、云南 4 省在降水量和水资源总量增加的同时,除个别省份供水量增幅 5% 以内,供水量和水资源开发利用率均下降,尤其是水资源开发利用率下降显著。负向因素改善,正向因素提高,共同推动了南岸 4 省水资源承载力的大幅提升,从警戒或中级水平上升为良好水平。反观北岸四省市,虽然安徽、湖北 2016 年降水量和水资源总量相比 2007 年有所增加,但其供水总量分别增长了 25.3% 和 9%,供水总量大幅增加,一方面反映了水资源需求的快速增长,供需矛盾可能加剧。

另一方面反映了用水总量增加,用水总量增加不仅会导致废污水排放的增加,还能反映出产业结构不合理,尤其是高耗能、高耗水等重化工业占比不合理。此外,2016 年安徽、湖北两省水土流失治理面积相比 2007 年分别增加了 30.2% 和 25.5%。虽然水土流失治理面积增加能提高水资源承载力,但反向思考不难得出,正是因为水土流失严重,才需如此规模的治理。水资源供需矛盾、水污染加剧、产业结构不合理、水土流失严重等共同作用导致安徽、湖北水资源承载力由良好等级降为中级等级。而重庆、四川 2016 年

降水量、水资源总量相比 2007 年双双下降的同时,其供水量和水资源开发利用率却在增加,水资源开发强度的增加不仅加剧了供需矛盾,还会直接破坏水生态安全,导致两地水资源承载力由良好等级下降为中级等级。上述分析从自然和经济社会两个方面解释了为什么 2007 年和 2016 年长江经济带南北两岸水资源承载力会发生较大的反转,也客观反映了水资源承载力的确受自然和经济社会等诸多方面影响,在经济社会发展程度相近时,气候、地形等自然因素往往决定了地区水资源承载力差异。

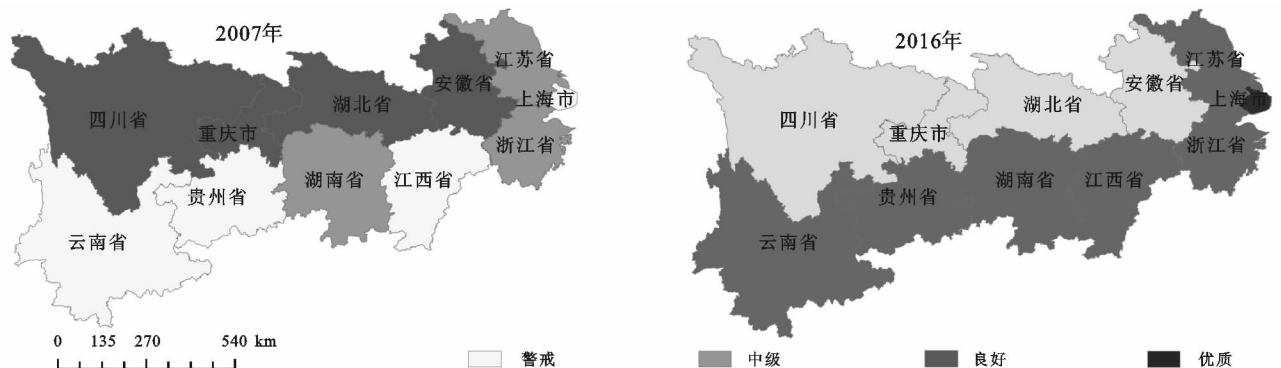


图 2 2007 年和 2016 年长江经济带各省市水资源承载力等级分布

4 结论与讨论

(1) 从纵向时间维度看,2007—2016 年长江经济带水资源承载力总体呈波动上升态势,评价期内基本维持在警戒或中级水平,2016 年已达良好等级。分区域看,东、中、西段水资源承载力与长江经济带整体保持了相同的演化趋势,但 2013 年后东段开始领先于中、西段,且差距有扩大趋势。主要原因是东段地区借助先发优势,在经济社会发展同时投入更多物质资源用于节能减排等绿色创新技术研发和生态环境保护。未来中、西段应抓住生态文明建设和经济“新常态”历史机遇,加快转变发展方式,走资源节约高效、生态环境优美的绿色创新发展道路。

(2) 从横向空间维度看,评价期内,11 省市仅安徽水资源承载力处于警戒水平,其余 10 省市均为中级水平,但整体水平仍较低。其中湖北、贵州接近警戒等级,需重点关注。11 省市水资源承载力年均增长率前三位分别为贵州、上海、云南,而湖北、重庆、四川 3 省市年均增长率为负值,水资源承载力提升压力大。ArcGIS 10.2 可视化地图显示,2007 年长江经济带 11 省市水资源承载力与 2016 年相比,除东段发达地区 3 省市外,其余 8 省市水资源承载力等级出现了较大反转,形成了鲜明对比。具体表现为北岸的安徽、湖北、重庆、四川均由 2007 年的良好等级下降为 2016 年的中级等级,而南

岸的江西、湖南、贵州、云南均由警戒或中级等级上升为 2016 年的良好等级。原因是在自然资源禀赋与经济社会发展相互作用过程中,北岸 4 省市承载力出现了不同程度下降,而南岸 4 省承载力均呈较大幅度上升,一升一降,导致变化差异显著。

本文以综合评价为中心,在构建适用于长江经济带水资源承载力综合评价指标体系基础上,运用熵权 TOPSIS 法从时空维度综合评价了长江经济带水资源承载力,揭示了长江经济带水资源承载力时空动态演化规律,并分析了长江经济带三大区域间水资源承载力差异及可能成因,评价结果基本符合长江经济带实际,对提升长江经济带水资源承载力和流域综合治理水平具有一定参考价值。但本文仅测度了长江经济带水资源承载力,并未从定量角度识别制约其水资源承载力提升的障碍因素,未来需进一步探索。

参考文献:

- [1] 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,2017,32(12):1999-2011.
- [2] 鲍超,贺东梅.京津冀城市群水资源开发利用的时空特征与政策启示[J].地理科学进展,2017,36(1):58-67.
- [3] 谭佳音,蒋大奎.群链产业合作模式下“京津冀”区域水资源优化配置研究[J].中国人口·资源与环境,2017,27(4):160-166.

- [8] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change: implementation strategy[R]. Stockholm: International Humandimensions Programme, 1999.
- [9] 耿焕侠, 张小林, 李红波. 行政中心驻地对县域土地利用景观格局的影响研究: 以江苏省丰县为例[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 1-7.
- [10] 左冕, 张伟, 马永俊. 基于生态服务价值演变的土地利用思路研究: 以浙江省义乌市为例[J]. 中国林业科技大学学报, 2012, 32(3): 98-103.
- [11] 苏蕾, 朱京海, 傅立群. 锦州—葫芦岛沿海地区景观格局变化与生态服务价值评估[J]. 沈阳大学学报: 自然科学版, 2014, 26(1): 4-8.
- [12] 董美娜, 杨琳, 栗练灵, 等. 基于土地利用变化的生态系统服务价值及敏感性研究: 以大庆市为例[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(4): 330-333.
- [13] 肖翠, 解雪峰, 吴涛. 浙江西门岛湿地景观格局与人为干扰度动态变化[J]. 应用生态学, 2014, 25(11): 3255-3262.
- [14] 重玲, 朱志玲, 白琳波, 等. 景观格局动态变化对生态服务价值的影响: 以宁夏中部干旱带为例[J]. 干旱区研究, 2015, 32(2): 329-335.
- [15] 李函洋, 钟秋, 石锦安, 等. 汉源县观光果园景观格局变化及生态系统服务价值估算[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(3): 325-331.
- [16] 赵丹, 马俊杰, 刘哲, 等. 秦岭北麓城市新兴开发区生态系统服务价值变化[J]. 水土保持通报, 2015, 35(5): 279-283.
- [17] 姜建惠, 顾君望, 张建英. 流域突发污染事件的生态服务价值损失评估方法研究[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(1): 163-167.
- [18] 王洪翠, 吴承祯, 洪伟, 等. 武夷山风景名胜生态系统服务价值评价[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 53-56.
- [19] 曾辉, 郭庆华. 东莞市凤岗镇景观人工改造活动的空间分析[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 298-303.
- [20] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [21] 吕明权, 王延平, 王继军. 吴起县土地利用变化及其生态服务价值研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 144-148, 153.
- [22] 董家华, 舒廷飞, 谢慧. 城市建设用地生态服务功能价值计算与应用[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2007, 35(5): 636-640.
- [23] 陈雅琳, 高吉喜, 常学礼. 矿区土地利用及生态服务价值动态评估: 以山西省朔州市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(1): 44-48.
- [24] 邬建国. 景观生态学—格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2012.
- [25] 吴健生, 王政, 张理卿, 等. 景观格局变化驱动力研究进展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1739-1746.



(上接第292页)

- [4] 屈小娥. 陕西省水资源承载力综合评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 91-97.
- [5] 惠泱河, 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.
- [6] 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.
- [7] 王建华, 翟正丽, 桑学锋, 等. 水资源承载力指标体系及评判准则研究[J]. 水利学报, 2017, 48(9): 1023-1029.
- [8] 李焕, 黄贤金, 金雨泽, 等. 长江经济带水资源人口承载力研究[J]. 经济地理, 2017, 37(1): 181-186.
- [9] 李玲玲, 徐琳瑜. 特大城市水资源承载力政策响应的动态模拟[J]. 中国环境科学, 2017, 37(11): 4388-4393.
- [10] 马海良, 施陈玲, 王蕾. 城镇化进程中的江苏水资源承载力研究: 基于组合赋权和升半 Γ 型分布函数[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(11): 1697-1703.
- [11] 文扬, 周楷, 蒋姝睿, 等. 陆水流域水环境与水资源承载力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(3): 126-132.
- [12] 姜秋香, 付强, 王子龙. 三江平原水资源承载力评价及区域差异[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 184-190.
- [13] 李高伟, 韩美, 刘莉, 等. 基于主成分分析的郑州市水资源承载力评价[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(3): 139-142.
- [14] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于 DPSIRM 框架的区域水资源承载力综合评价[J]. 自然资源学报, 2017, 32(3): 484-493.
- [15] 屈小娥. 陕西省水资源承载力综合评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 91-97.
- [16] 刘佳骏, 董锁成, 李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2): 258-269.
- [17] 吴一凡, 雷国平, 路昌, 等. 基于改进 TOPSIS 模型的大庆市城市土地利用绩效评价及障碍度诊断[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 85-90.
- [18] 郭显光. 熵值法及其在综合评价中的应用[J]. 财贸研究, 1994(6): 56-60.
- [19] 刘民士, 刘晓双, 侯兰功. 基于水足迹理论的安徽省水资源评价[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(2): 220-224.