DOI:10.13476/j.cnki.nsbdqk.2019.0008
黄垒,张礼中,朱吉祥,等. 河南省水资源承载力时空特征分析[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(1):54-60. HUANG L, ZHANG L Z, ZHU J X, et al. Temporal and spatial characteristics of water resources carrying capacity in Henan Province[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(1):54-60. (in Chinese)

河南省水资源承载力时空特征分析

黄垒[1],张礼中[2],朱吉祥[1],霍志彬[1]

(1. 中国地质科学院 水文地质环境地质研究所,石家庄 050061;2. 中国地质环境监测院,北京 100081)

摘要:随着社会经济的发展,河南省水资源问题正变得越来越严重。选择13项评价指标构建河南省水资源承载力评价指标体系,采用主成分分析法分别从时间和空间两个维度对河南省水资源承载力进行评价分析。结果表明:河南省水资源承载力随时间变化特征主要与其社会经济发展水平、水资源供需水平和人类生活活动的强度有关,全省水资源承载力水平在2007—2016年处于波动上升的状态;河南省水资源承载力的空间分布特征主要与各市社会经济发展水平、农业发展状况和水资源自然禀赋条件有关,其中郑州市的水资源承载力水平最高,漯河市、鹤壁市和济源市最低。研究可为河南省水资源的可持续利用及其合理管理政策的制定提供科学依据。

关键词:河南省;水资源承载力;评价指标体系;主成分分析法;时空特征

中图分类号:TV213 **文献标志码**:A **开放科学(资源服务)标识码(OSID)**:

Temporal and spatial characteristics of water resources carrying capacity in Henan Province

HUANG Lei[1], ZHANG Lizhong[2], ZHU Jixiang[1], HUO Zhibin[1]

(1. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang* 050061, *China*; 2. *China Institute for Geo-environmental Monitoring, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: With the development of social economy, the water resources problem in Henan Province is becoming increasingly serious. We selected 13 evaluation indexes to construct an evaluation index system for water resources carrying capacity in Henan Province, and we used the principal component analysis method to evaluate the water resources carrying capacity in Henan Province in both temporal and spatial dimensions. The results showed that: The temporal variation characteristics of water resources carrying capacity in Henan Province were mainly related to the level of social and economic development, the level of water supply and demand, and the intensity of human activities. The water resources carrying capacity in Henan Province showed a fluctuating increasing trend from 2007 to 2016. The spatial distribution characteristics of water resources carrying capacity in Henan Province were mainly related to the level of social and economic development, the status of agricultural development, and the natural endowment of water resources in different cities. Zhengzhou City had the highest level of water resources carrying capacity, while Luohe City, Hebi City, and Jiyuan City had the lowest level. This study can provide a scientific basis for the sustainable utilization of water resources in Henan Province and the formulation of related rational management policies.

Key words: Henan Province; water resources carrying capacity; evaluation index system; principal component analysis; temporal and spatial characteristics

收稿日期:2018-04-16 **修回日期**:2018-09-25 **网络出版时间**:2018-11-21
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20181116.1520.002.html
基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20160299;DD20179375)
作者简介:黄 垒(1995—),男,河南罗山人,主要从事水文地质环境地质调查评价信息化研究。E-mail:huanglei_9509@163.com
通信作者:张礼中(1969—),男,四川大竹人,研究员,博士,主要从事水工环信息技术和水文地质环境地质相关地质调查及科研工作。E-mail:zhanglizhong1015@126.com

南水北调与水利科技(中英文)

河南省地处我国中东部、黄河中下游地区,总面积约 1.67×10^5 km^2。全省自北向南横跨海河、黄河、淮河、长江四大水系,境内共有主干河流 1 500 余条(图 1)。全省多年平均降水量 500～900 mm,水资源总量 413 亿 m^3,人均占有量仅为 440 m^3,低于人均 500 m^3 的国际水资源紧缺标准,属极度缺水地区[1]。同时,河南省水资源时空分布极为不均,降水多集中在每年的 6—9 月,空间上受地形地貌以及地层沉积的影响,水资源总体分布特征表现为南部大于北部,山区大于平原[2]。更严峻的是河南省水资源的空间分布与人口分布不相适应,导致水资源供需矛盾更加突出[3]。随着河南省经济的高速发展和人口的不断增长,工农业和生活用水需求日益增加,又加剧了水资源的承载负担[4-5]。我国学者就河南省水资源承载力状况展开了相关研究,如秦奋等[2]对河南省各市水资源承载力进行了模糊综合评价,揭示了河南省水资源承载力空间差异较大的现象;王志良等[6]提出了基于熵权的集对分析模型,并将其应用于河南省 11 个市的水资源承载力评价中,表明了河南省水资源承载力整体上处于较低水平;杜华民[7]采用主成分分析法对河南省水资源承载力进行了定量评价,将影响河南省水资源承载力的最主要因素归结为国内生产总值、固定资产值和总人口。这些研究多是仅从空间层面展开,缺乏时态性,不能代表长时间序列的水资源承载力状况,且没有对产生空间分布差异的原因进行具体分析,无法有针对性地指导河南省不同地区的水资源规划。鉴于此,本文以 2007—2016 年《河南省水资源公报》和 2008—2017 年《河南省统计年鉴》为主要数据来源,采用主成分分析法分别从时间和空间两个维度对河南省水资源承载力进行评价,以便更全面地把握其时空特征,为河南省水资源的时空合理配置提供参考依据。

图 1　河南省主要河流分布

Fig. 1　Distribution of major rivers in Henan Province

1　研究方法

1.1　评价指标体系

水资源系统较为复杂,其影响因素涉及到社会、经济和生态环境等多个方面[8-10]。遵循科学性、系统性、综合性、层次性、区域性和动态性等基本原则[11],参考专家意见及前人研究成果[7,12-13],并结合研究区自身水资源特点及经济发展模式等条件,选取 13 项评价指标构建河南省水资源承载力评价指标体系见表 1。

表 1　河南省水资源承载力评价指标体系

Tab. 1　Evaluation index system for water resources carrying capacity in Henan Province

评价指标	指标名称	类型
X_1	地区生产总值/亿元	效益型
X_2	全社会固定资产投资总额/亿元	效益型
X_3	工业增加值/亿元	效益型
X_4	常住人口数/万人	成本型
X_5	降水量/mm	效益型
X_6	水资源总量/亿 m^3	效益型
X_7	总供水量/亿 m^3	效益型
X_8	农田灌溉用水量/亿 m^3	成本型
X_9	农业用水量/亿 m^3	成本型
X_{10}	工业用水量/亿 m^3	成本型
X_{11}	生活用水量/亿 m^3	成本型
X_{12}	用水消耗总量/亿 m^3	成本型
X_{13}	废水排放总量/亿 t	成本型

在对河南省水资源承载力的空间分布特征进行分析时,受制于数据的可获得性,未能取得生活用水量和农田灌溉用水量的原始数据。鉴于河南省各市的经济发展水平和城市化进程差异较大,引入耕地面积(10^3 hm^2)和城镇化率(%)两项指标分别替代 X_8 和 X_{11},作为反映各市城乡发展水平的评价指标,二者均为效益型指标。

1.2　主成分分析法

主成分分析法是一种对高维变量进行降维处理的技术[14],它不仅能够以少数几个相互独立的主成分来反映原始多维变量的绝大部分信息,保证数据信息丢失最小,还能够客观地确定各主成分的权重,有效地避免主观随意性[15]。因此,其在水资源承载力评价中得到了较为广泛的应用[15-19]。主要原理为:利用水资源承载力评价中各指标的具体数据计

算指标相关系数矩阵，并求得特征值及其贡献率。提取累计贡献率大于等于 85%的前几个特征值所对应的主成分，根据其特征向量构建表达式计算主成分得分。以各主成分贡献率为权重，对其得分进行加权求和，得到水资源承载力综合得分。综合得分有正有负，但正负并不能代表水资源承载力的真实水平，只能表示其所处的相对位置，正值表示被评价地区的水资源承载力高于平均水平，负值则相反。综合得分越大，说明水资源承载力越大，反之则越小。具体流程见图 2。

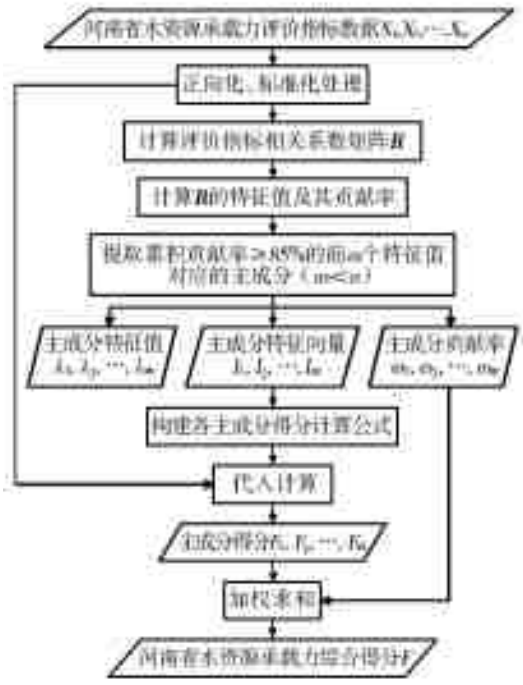

图 2　河南省水资源承载力评价流程

Fig. 2　Evaluation process for water resources carrying capacity in Henan Province

2　河南省水资源承载力时空特征分析

2.1　河南省水资源承载力随时间变化特征分析

按照图 2 依次计算得到河南省 2007—2016 年水资源承载力评价指标的相关系数矩阵（表 2）、主成分特征值、贡献率和累计贡献率（表 3）、主成分载荷矩阵（表 4）以及各主成分得分和水资源承载力综合得分（图 3）。

由表 2 可知，选取的评价指标间存在显著的相关关系，适合做主成分分析[20]。由表 3 可知，前三个主成分的特征值均大于 1，且它们的累计贡献率达到 90.534%，基本包含了河南省各年份水资源承载力评价原始指标的绝大部分信息，因此选择前三个主成分参与后续评价[21]。

主成分载荷矩阵反映了各主成分与各原始指标之间的相关系数，据此可以判断提取的各主成分在河南省水资源承载力评价中所代表的含义。由表 4 可知，第一主成分与地区生产总值（X_1）、全社会固定资产投资总额（X_2）、工业增加值（X_3）以及废水排放总量（X_{13}）有着较强的相关关系，代表社会经济发展水平对水资源承载力的影响。第二主成分与降水量（X_5）、水资源总量（X_6）、总供水量（X_7）、农田灌溉用水量（X_8）、农业用水量（X_9）、工业用水量（X_{10}）、以及用水消耗总量（X_{12}）有着较强的相关关系，代表水资源的供需水平对水资源承载力的影响。第三主成分与常住人口数（X_4）和生活用水量（X_{11}）有着较强的相关关系，代表人类生活活动的强度对水资源承载力的影响。

表 2　河南省 2007—2016 年水资源承载力评价指标相关系数矩阵

Tab. 2　Correlation coefficient matrix of evaluation indexes for water resources carrying capacity in Henan Province from 2007 to 2016

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
X_1	1.000												
X_2	0.980	1.000											
X_3	0.969	0.905	1.000										
X_4	−0.559	−0.667	−0.428	1.000									
X_5	−0.320	−0.203	−0.446	−0.121	1.000								
X_6	−0.589	−0.512	−0.644	0.294	0.844	1.000							
X_7	0.119	0.038	0.271	−0.174	−0.573	−0.447	1.000						
X_8	0.413	0.442	0.297	0.005	0.391	0.208	−0.790	1.000					
X_9	0.196	0.264	0.048	0.021	0.421	0.265	−0.912	0.871	1.000				
X_{10}	−0.028	0.132	−0.243	−0.502	0.710	0.359	−0.627	0.419	0.608	1.000			
X_{11}	−0.271	−0.377	−0.141	0.638	−0.233	0.028	0.176	−0.124	−0.416	−0.670	1.000		
X_{12}	0.321	0.370	0.188	0.035	0.296	0.120	−0.885	0.915	0.950	0.458	−0.222	1.000	
X_{13}	−0.934	−0.869	−0.961	0.358	0.488	0.659	−0.194	−0.325	−0.107	0.286	0.129	−0.269	1.000

表 3　河南省 2007—2016 年水资源承载力评价主成分特征值及贡献率

Tab. 3　Eigenvalues and contribution rates of principal components in evaluation of water resources carrying capacity in Henan Province from 2007 to 2016

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	5.061	38.935	38.935
2	4.742	36.480	75.414
3	1.966	15.120	90.534

表 4　河南省 2007—2016 年水资源承载力评价主成分载荷矩阵

Tab. 4　Principal component load matrix in evaluation of water resources carrying capacity in Henan Province from 2007 to 2016

指标	第一主成分	第二主成分	第三主成分
X_1	0.975	−0.148	0.010
X_2	0.974	−0.035	−0.112
X_3	0.913	−0.321	0.109
X_4	−0.571	0.006	0.778
X_5	−0.270	0.783	−0.307
X_6	−0.579	0.625	−0.053
X_7	−0.046	−0.937	−0.274
X_8	0.503	0.735	0.392
X_9	0.360	0.873	0.223
X_{10}	0.109	0.790	−0.551
X_{11}	−0.392	−0.359	0.681
X_{12}	0.468	0.770	0.391
X_{13}	−0.909	0.293	−0.203

由图 3 可知,虽然 2016 年河南省水资源承载力综合得分较 2007 有所增加,但十年间总体的变化波动较大。依据各主成分得分的变化趋势,并结合其各自所代表的含义分析造成这种现象的原因:一方面,河南省 2007—2016 年经济高速发展,全省生产总值由 1.51×10^{12} 元增加到 4.05×10^{12} 元,全社会固定资产投资总额由 8.01×10^{11} 元增加到 4.04×10^{12} 元,经济的大幅增长加重了大批企业的用水压力,从而带动了相关产业的结构调整,推动了水资源利用方式的更新换代,提高了用水效率,对水资源的集约利用有着十分重要的意义;另一方面,河南省十年间水资源的供需水平很不稳定,水资源总量和降水量的变化也毫无规律可循,这对于该省供水安全及社会经济的稳定发展较为不利。综合各方面因素,最终形成了河南省水资源承载力水平随时间波动上升的变化趋势。

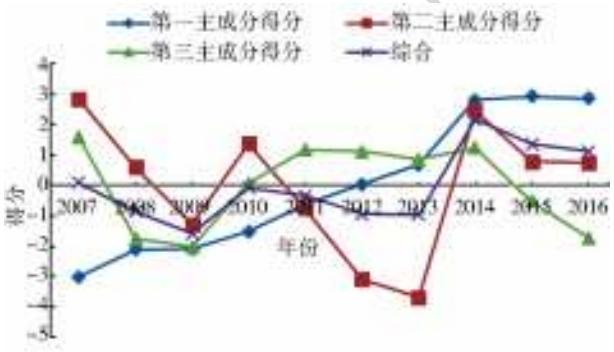

图 3　河南省 2007—2016 年水资源承载力评价结果

Fig. 3　Results of evaluation of water resources carrying capacity in Henan Province from 2007 to 2016

2.2　河南省水资源承载力的空间分布特征分析

按照图 2 依次计算得到 2016 年河南省各市水资源承载力评价指标的相关系数矩阵(表 5)、主成分特征值、贡献率和累计贡献率(表 6)、主成分载荷矩阵(表 7)以及各主成分得分和水资源承载力综合得分(图 4)。

表 5　2016 年河南省各市水资源承载力评价指标相关系数矩阵

Tab. 5　Correlation coefficient matrix of evaluation indexes for water resources carrying capacity of cities in Henan Province in 2016

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
X_1	1.000												
X_2	0.985	1.000											
X_3	0.977	0.959	1.000										
X_4	−0.694	−0.701	−0.572	1.000									
X_5	−0.098	−0.078	−0.203	−0.154	1.000								
X_6	0.034	0.082	−0.100	−0.392	0.895	1.000							
X_7	0.566	0.588	0.464	−0.859	0.133	0.418	1.000						
X_8	0.168	0.195	0.007	−0.794	0.448	0.667	0.672	1.000					
X_9	−0.146	−0.161	−0.046	0.648	−0.195	−0.429	−0.868	−0.711	1.000				
X_{10}	−0.665	−0.712	−0.643	0.641	0.145	−0.059	−0.633	−0.254	0.252	1.000			
X_{11}	0.475	0.452	0.571	0.231	−0.185	−0.370	−0.251	−0.671	0.553	−0.169	1.000		
X_{12}	−0.412	−0.416	−0.315	0.804	−0.023	−0.280	−0.936	−0.694	0.940	0.419	0.391	1.000	
X_{13}	−0.966	−0.946	−0.950	0.661	0.099	0.023	−0.543	−0.125	0.161	0.638	−0.503	0.409	1.000

南水北调与水利科技

表 6　2016 年河南省各市水资源承载力评价主成分特征值及贡献率

Tab. 6　Eigenvalues and contribution rates of principal components in evaluation of water resources carrying capacity of cities in Henan Province in 2016

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	6.393	49.175	49.175
2	3.918	30.138	79.314
3	1.514	11.644	90.958

由表 5 可知，选取的评价指标间存在显著的相关关系，适合做主成分分析。根据表 6 选择累计贡献率达到 90.958%的前三个主成分进行下一步分析。

表 7　2016 年河南省各市水资源承载力评价主成分载荷矩阵

Tab. 7　Principal component load matrix in evaluation of water resources carrying capacity of cities in Henan Province in 2016

指标	第一主成分	第二主成分	第三主成分
X_1	0.846	0.492	0.135
X_2	0.858	0.464	0.151
X_3	0.761	0.617	0.088
X_4	−0.935	0.219	0.030
X_5	0.084	−0.541	0.813
X_6	0.321	−0.655	0.654
X_7	0.901	−0.319	−0.166
X_8	0.588	−0.723	0.057
X_9	−0.613	0.646	0.307
X_{10}	−0.742	−0.240	0.087
X_{11}	0.027	0.881	0.305
X_{12}	−0.788	0.421	0.370
X_{13}	−0.820	−0.507	−0.110

由表 7 可知，第一主成分与地区生产总值(X_1)、全社会固定资产投资总额(X_2)、工业增加值(X_3)、常住人口数(X_4)、总供水量(X_7)、工业用水量(X_{10})、用水消耗总量(X_{12})和废水排放总量(X_{13})有着较强的相关关系，代表社会经济发展和水资源供需水平对水资源承载力的影响。第二主成分与水资源总量(X_6)、耕地面积(X_8)、农业用水量(X_9)和城镇化率(X_{11})有着较强的相关关系，代表各市农业发展状况对水资源承载力的影响。第三主成分与降水量(X_5)有着较强的相关关系，代表水资源自然禀赋条件对水资源承载力的影响。

由图 4 可知，郑州市、洛阳市和南阳市的水资源承载力水平最高，其综合得分均高于 1，尤其是郑州市，得分高达 4.567，远高于处在第二位的洛阳市。济源市、鹤壁市和漯河市的综合得分均低于−1，水资源承载力水平处于全省最末位。三门峡市、濮阳市、开封市和驻马店市得分均低于−0.5，水资源承载力同样处于较低水平。依据各市各主成分得分，结合这些主成分所代表的含义分析形成这种结果的原因如下。

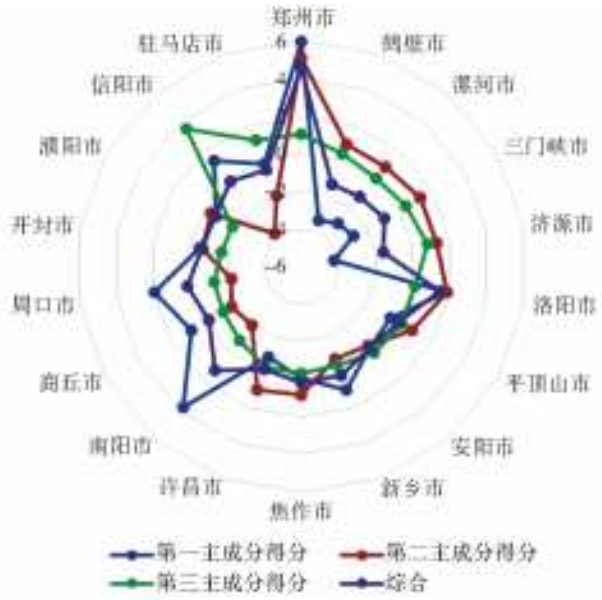

图 4　2016 年河南省各市水资源承载力评价结果

Fig. 4　Results of evaluation of water resources carrying capacity of cities in Henan Province in 2016

(1)郑州市是河南省省会，也是国家重要的综合交通枢纽和中原经济区核心城市。2016 年其地区生产总值、全社会固定资产投资总额、工业增加值及城镇化率在全省均居首位，水资源利用效率更高的工业所占的比重远远大于农业，产业结构及水资源利用方式更优。此外，郑州市地处黄河下游地区，邻近河流的地位优势在一定程度上缓解了其水资源压力。

(2)整体经济水平较低，水资源供需矛盾突出，是造成济源市、鹤壁市、漯河市和三门峡市水资源承载力水平最低的最主要原因。开封市和濮阳市排名靠后则主要是受制于其水资源总量和年降水量的不足，2016 年二者降水量均在 550 mm 左右，为全省最低。驻马店市虽然水资源总量充足、降水充沛，但其城镇化水平较低，农业用水量占总用水量的比重较大，故而水资源利用率较低，从而制约其水资源承载力的大小。

3　结　论

本研究选取 13 项评价指标构建了河南省水资源承载力评价指标体系，运用主成分分析法分别从时间和空间两个维度对河南省水资源承载力进行综合评价。

南水北调与水利科技

（1）从时间维度来看，虽然河南省2016年水资源承载力水平较2007年有所提高，但其在十年间变化的波动较大，这主要受制于河南省水资源供需水平和自然状况的不稳定。

（2）从空间维度来看，郑州市由于其多方面的条件优势，水资源承载力水平远远高于其他城市。而农业比重较高的驻马店市、水资源匮乏的开封市和濮阳市以及经济发展水平较低的三门峡市、漯河市、鹤壁市和济源市的水资源承载力水平在省内处于末位。

参考文献(References)：

[1] 何慧爽. 河南省水污染物总量区域分配公平性研究[J]. 人民黄河，2015，37(8)：73-77.（HE H S. Analysis about total water pollutants amount allocation on equity in Henan Province[J]. Yellow River，2015，37(8)：73-77.（in Chinese)) DOI：10.3969/j.issn.1000-1379.2015.08.019.

[2] 秦奋，张喜旺，刘剑锋. 基于模糊分析法的水资源承载力综合评价[J]. 水资源与水工程学报，2006，17(1)：1-6.（QIN F，ZHANG X W，LIU J F. Comprehensive evaluation of the water resources carrying capacity based on fuzzy analysis method[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering，2006，17(1)：1-6.（in Chinese))

[3] 张吉献，李敏纳，宋绪钦. 河南省水资源承载力评价研究[J]. 地域研究与开发，2005，24(2)：121-124.（ZHANG J X，LI M N，SONG X Q. The comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Henan Province[J]. Areal Research and Development，2005，24(2)：121-124.（in Chinese))

[4] 左其亭，赵衡，马军霞. 水资源与经济社会和谐平衡研究[J]. 水利学报，2014，45(7)：785-792.（ZUO Q T，ZHAO H，MA J X. Study on harmony equilibrium between water resources and economic society development[J]. Journal of Hydraulic Engineering，2014，45(7)：785-792.（in Chinese)) DOI：10.13243/j.cnki.slxb.2014.07.004

[5] 郭唯，左其亭，马军霞. 河南省人口-水资源-经济和谐发展时空变化分析[J]. 资源科学，2015，37(11)：2251-2260.（GUO W，ZUO Q T，MA J X. Spatial and temporal change analysis of harmony development among population-water resources-economics in Henan，China[J]. Resources Science，2015，37(11)：2251-2260.（in Chinese))

[6] 王志良，李楠楠，张先起，等. 基于集对分析的区域水资源承载力评价[J]. 人民黄河，2011，33(4)：40-42.（WANG Z L，LI N N，ZHANG X Q，et al. Evaluation of regional water resources bearing capacity based on set pair analysis[J]. Yellow River，2011，33(4)：40-42.（in Chinese))

[7] 杜华民. 河南省水资源承载力评价[J]. 南水北调与水利科技，2014，12(6)：58-62.（DU H M. Assessment of water resources carrying capacity in Henan Province[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology，2014，12(6)：58-62.（in Chinese)) DOI：10.13476/j.cnki，nsbdqk.2014.06.013.

[8] 王友贞，施国庆，王德胜. 区域水资源承载力评价指标体系的研究[J]. 自然资源学报，2005，20(4)：597-604.（WANG Y Z，SHI G Q，WANG D S. Study on evaluation indexes of regional water resources carrying capacity[J]. Journal of Natural Resources，2005，20(4)：597-604.（in Chinese))

[9] 尹杰杰，崔远来，刘方平，等. 基于模糊综合评价的赣抚平原灌区水资源承载力研究[J]. 节水灌溉，2016(8)：131-134.（YIN J J，CUI Y L，LIU F P，et al. Study on water resources carrying capacity in Ganfu plain irrigation district based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Water Saving Irrigation，2016(8)：131-134.（in Chinese)) DOI：10.3969/j.issn.1007-4929.2016.08.031.

[10] 宰松梅，温季，仵峰，等. 河南省新乡市水资源承载力评价研究[J]. 水利学报，2011，39(7)：783-788.（ZAI S M，WEN J，WU F，et al. Evaluation of water resources carrying capacity in Xinxiang City[J]. Journal of Hydraulic Engineering，2011，39(7)：783-788.（in Chinese))

[11] 段新光，栾芳芳. 基于模糊综合评判的新疆水资源承载力评价[J]. 中国人口·资源与环境，2014，24(3)：119-122.（DUAN X G，LUAN F F. Evaluation of water resources carrying capacity in xinjiang based on fuzzy comprehensive model[J]. China Population，Resources and Environment，2014，24(3)：119-122.（in Chinese))

[12] 张伟. 基于因子分析的安徽省水资源承载力评价[J]. 节水灌溉，2012(9)：11-14.（ZHANG W. Evaluation of water resources carrying capacity in Anhui Province based on factor analysis[J]. Water Saving Irrigation，2012，(9)：11-14.（in Chinese))

[13] 戴明宏，王腊春，魏兴萍. 基于熵权的模糊综合评价模型的广西水资源承载力空间分异研究[J]. 水土保持研究，2016，23(1)：193-199.（DAI M H，WANG L C，WEI X P. Spatial difference of water resource carrying capacity of Guangxi using fussy comprehensive evaluation model based on entropy weight method[J]. Research of Soil and Water Conservation，2016，23(1)：193-199.（in Chinese)) DOI：10.13869/j.cnki.rswc.2016.01.029.

[14] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京：高等教育出版社，2002.（XU J H. Mathematical methods in

南水北调与水利科技（中英文）

contemporary geography[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002. (in Chinese))

[15] 李燕,张兴奇. 基于主成分分析的长江经济带水资源承载力评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 172-178. (LI Y, ZHANG X Q. Assessment on carrying capacity of water resources in Yangtze River economic zone based on principal component analysis[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 172-178. (in Chinese)) DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 04. 029.

[16] LIU X J, WANG J. Evaluation of regional water resources carrying capacity in Yan'an based on principal component analysis [J]. Advanced Materials Research, 2014, 864-867: 2331-2334. DOI: 10. 4028/www. scientific. net/AMR. 864-867. 2331.

[17] 曹丽娟,张小平. 基于主成分分析的甘肃省水资源承载力评价[J]. 干旱区地理, 2017, 40(4): 906-912. (CAO L J, ZHANG X P. Assessment of water resources carrying capacity in Gansu Province based on principal component analysis[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(4): 906-912. (in Chinese)) DOI: 10. 13826/j. cnki. cn65-1103/x. 2017. 04. 024.

[18] 王晓玮,邵景力,崔亚莉,等. 基于 DPSIR 和主成分分析的阜康市水资源承载力评价[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(3): 37-42. (WANG X W, SHAO J L, CUI Y L, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of Fukang based on DPSIR and principal component analysis[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(3): 37-42. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2017. 03. 007.

[19] 赵自阳,李王成,王霞,等. 基于主成分分析和因子分析的宁夏水资源承载力研究[J]. 水文, 2017, 37(2): 64-72. (ZHAO Z Y, LI W C, WANG X, et al. Study on water resources carrying capacity in Ningxia based on principal component analysis and factor analysis [J]. Journal of China Hydrology, 2017, 37(2): 64-72. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0852. 2017. 02. 012.

[20] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2013: 262-279. (XUE W. SPSS statistical analysis method and its application[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: 262-279. (in Chinese))

[21] 邰淑彩,孙韫玉,何娟娟. 应用数理统计[M]. 武汉:武汉大学出版社, 2005: 248-256. (TAI S C, SUN W Y, HE J J. Applied mathematical statistics[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005: 248-256. (in Chinese))

(上接第 45 页)

[24] BEN K N, TYTECA D, MARINANGELI C, et al. Structural features of the KPI domain control APP dimerization, trafficking, and processing [J]. Faseb Journal Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology, 2012, 26(2): 855.

[25] 李琪,安树伟. 中国地级及以上城市不同城市化质量类型划分及比较研究[J]. 经济问题探索, 2012(12): 54-61. (LI Q, AN S W. Classification and comparative study of different urbanization quality types in cities of China and above[J]. Exploring Economic Issues, 2012(12): 54-61. (in Chinese))

[26] 王博,西安市水资源合理利用问题研究[D]. 西安:长安大学, 2015. (WANG B. Study on the effective usage of urban water resources of Xi'an City[D]. Xi'an: Chang'an University, 2015. (in Chinese))

[27] 李娜,杨茂盛. 基于物元分析法的西安市水资源可持续利用评价[J]. 水电能源科学, 2013, 31(9): 36-38, 7. (LI N, YANG M S. Sustainable utilization evaluation of water resources in Xi'an City based on matter-element analysis method[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(9): 36-38, 7. (in Chinese))

[28] 史方方. 西安建设国际化大都市的水资源承载力浅析[J]. 陕西水利, 2018(1): 28-30. (SHI F F. Analysis on the water resources carrying capacity of Xi'an to build an international metropolis [J]. Shanxi Water Resources, 2018(1): 28-30. (in Chinese)) DOI: 10. 16747/j. cnki. cn61-1109/tv. 2018. 01. 011.

南水北调与水利科技(中英文)