

2005~2014年山东省水资源承载力评价

蒋贤栋^{1,2}, 聂兵兵^{1,2}

(1. 四川师范大学西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, 四川成都 610066; 2. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川成都 610066)

摘要 [目的]研究山东省水资源承载力状况。[方法]根据2005~2014年《山东省统计年鉴》和《山东省水资源公报》等,选取总人口、城镇化率、水资源总量等14个指标,建立水资源承载力指标体系,运用主成分分析法计算主成分的特征值和贡献率,得到影响山东省水资源承载力的两大主成分因子,并对2005~2014年的水资源承载力趋势进行评价。[结果]在水资源相对短缺的情况下,2005~2014年山东省水资源承载力呈逐年上升趋势,原因可能与人口、经济发展和水资源综合利用现状有关。[结论]转变经济发展方式和运用科学技术可有效缓解水资源压力,提高水资源承载力。

关键词 水资源承载力;主成分分析;山东省

中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)09-103-03

Evaluation on Water Resource Carrying Capacity in Shandong Province during 2005-2014

JIANG Xian-dong^{1,2}, NIE Bing-bing^{1,2} (1. Key Lab of Southwest Land Resource Evaluation and Monitoring of Ministry of Education, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610066; 2. The Faculty of Geography and Resource Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610066)

Abstract [Objective] The aim was to study water resource carrying capacity status in Shandong Province. [Method] According to *Statistical Yearbook of Shandong Province* during 2005-2014 and *Bulletin of Water Resources in Shandong Province*, selecting 14 indicators such as total population, urbanization rate, total amount of water resources, the indicator system was established, the characteristic value and contribution rate of principle component was calculated by using principle component analysis method. Two principle component factors influencing water resource carrying capacity in Shandong Province were obtained, the tendency during 2005-2014 was evaluated. [Result] Under the situation of water resource relative shortage, the carrying capacity increased year by year from 2005 to 2014, which may be related to population, economic development and comprehensive utilization status of water resource. [Conclusion] Transforming the economic development mode and applying science and technology can effectively alleviate the pressure of water resources and improve the carrying capacity of water resources.

Key words Water resource carrying capacity; Principle component analysis; Shandong Province

随着人口的快速增长和经济的迅速发展,水资源已成为制约社会发展的“瓶颈”。如今工业、农业和生态环境的发展对水的依赖程度越来越高,因此水资源承载力成为制订地区发展规划的指标和尺度。水资源承载力的大小对一个国家或地区的综合发展有很大的影响。近年来,为了实现水资源与人口、经济 and 环境的相协调发展,国内外学者对水资源承载力进行了研究^[1-3],但至今尚未形成统一认识^[4]。1998年美国URS公司运用数学分析方法对佛罗里达Keys流域的水资源承载力进行了首次研究^[5]。我国水资源承载力的研究起步相对较晚,1985年新疆水资源软科学课题组首次对新疆流域的水资源承载力进行了研究。近年来,我国学术界对区域水资源承载力定性 with 定量研究取得了较大进展。闵庆文等^[6]采用模糊综合评价法,对山西省天津市水资源承载力变化趋势进行了分析;夏军等^[7]以“自然-人工”水循环为基础,以可持续发展作为控制目标,采用目标综合分析 with 多级灰关联评价相结合的方法,研究了城市水资源和生态与环境问题;陈凯等^[8]分别建立RBF神经网络模型、BP神经网络模型、模糊层次综合评价模型,对汕头市水资源承载力状况进行了研究,比较得出了适用性更强的数学模型。笔者在前人研究的基础上,运用主成分分析法对2005~2014年山东省水资源承载力进行了动态研究,并评价了其发展趋势,以期为提高山东省水资源承载力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 山东省位于我国东部沿海、黄河下游流域,其境域由半岛和内陆两部分组成,全境总面积约15.8万km²,约占全国总面积的1.642%。属暖温带季风气候类型,多年平均气温10~15℃,平均年降水量680.5mm,平均水资源总量303.1亿m³,其中地表水资源量197.9亿m³,平均地下水水资源量165.3亿m³(地表水、地下水的重复计算量59.8亿m³)。该省主要利用的客水资源是黄河水,每年流入境内的水量为360.1亿m³,一般来水年份可引用黄河水量达70.0亿m³。

1.2 研究方法 水资源承载力的研究方法主要有主成分分析法^[9]、系统动力学法^[10]、常规趋势法^[9]、多目标决策法、投影寻踪法、神经网络法、全口径层次化评价方法、压力-状态-相应模型、因子分子、生态足迹法等。其中,主成分分析法是一种数学变换方法,是从数学角度对原有变量进行线性变换并舍弃其中一部分信息,其主旨是利用降维的思想,将多个单指标转化成几个综合指标,这些综合指标同时又能反应原来多指标的信息 and 避免主观随意性。笔者在前人研究的基础上,应用主成分分析法,从时间角度,对2005~2014年山东省水资源承载力进行综合评价。

1.3 指标选取 在构建山东省水资源承载力指标体系的过程中,选取的指标能够从不同方面、不同角度客观地反映山东省区域水资源供需关系及开发利用状况。根据山东省水资源利用的现实情况及特点,依据《山东省统计年鉴》(2005~2014)、《山东省水资源公报》(2005~2014)及相关资料,并按照选取水资源承载力评价指标的原则,选取了14个指标

作者简介 蒋贤栋(1990-),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向:水资源与环境。

收稿日期 2016-01-20

因子对2005~2014年山东省水资源承载力进行了分析。具体指标:① X_1 总人口(万人);② X_2 生产总值(亿元);③ X_3 固定资产投资(亿元);④ X_4 万元GDP用水量(m^3);⑤ X_5 城镇化率(%);⑥ X_6 供水总量(亿 m^3);⑦ X_7 水资源总量(亿 m^3);⑧ X_8 地表水资源(亿 m^3);⑨ X_9 降水量(亿 m^3);⑩ X_{10} 工业用水量(亿 m^3);⑪ X_{11} 农业用水量(亿 m^3);⑫ X_{12} 生活用水量(亿 m^3);⑬ X_{13} 污水排放量(万t);⑭ X_{14} 有效灌溉面积(千 hm^2)。

主成分分析步骤:①因各项指标选取不同,为了消除其

量纲的影响,对原始数据进行标准化;②计算数据标准化后的相关系数;③求相关矩阵的特征值及特征向量;④计算累计贡献率,一般是按累计贡献率 $\geq 85\%$ 的原则确定主成分数;⑤以各主成分的贡献率为权数,对各年水资源承载力进行综合分析。

2 结果与分析

运用SPSS软件对2005~2014年山东省水资源承载力进行主成分分析,得出相关系数矩阵、特征值、贡献率和累计贡献率(表1、2)。

表1 山东省水资源承载力因子相关系数矩阵

Table 1 The correlation coefficient matrix of water resource carrying capacity factors in Shandong Province

指标 Index	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_{14}
X_1	1.000													
X_2	0.994	1.000												
X_3	0.991	0.990	1.000											
X_4	-0.792	-0.789	0.768	1.000										
X_5	0.987	0.974	0.963	-0.791	1.000									
X_6	-0.542	-0.487	-0.530	0.267	-0.630	1.000								
X_7	0.139	0.105	0.140	0.152	0.232	-0.761	1.000							
X_8	0.069	0.039	0.067	0.181	0.166	-0.696	0.992	1.000						
X_9	0.163	0.129	0.168	0.170	0.250	-0.792	0.992	0.972	1.000					
X_{10}	-0.540	-0.465	-0.501	0.461	-0.630	0.875	-0.452	-0.380	-0.479	1.000				
X_{11}	-0.629	-0.595	-0.636	0.269	-0.689	0.955	-0.780	-0.715	-0.817	0.723	1.000			
X_{12}	0.659	0.660	0.641	-0.548	0.715	-0.713	0.501	0.446	0.536	-0.598	-0.752	1.000		
X_{13}	0.987	0.995	0.989	-0.765	0.955	-0.450	0.103	0.038	0.126	-0.406	-0.580	0.632	1.000	
X_{14}	0.933	0.952	0.943	-0.737	0.872	-0.236	-0.104	-0.160	-0.087	-0.236	-0.377	0.426	0.964	1.000

由表2可知,前2个主成分的累计贡献率已经达到89.481%,符合分析的85.000%要求,前2个主成分可以较全面地反映影响水资源承载力变化的驱动因子,因此选取前2个主成分进行分析。

表2 特征值、主成分贡献率和累计贡献率

Table 2 Characteristic value, principle component contribution rate and cumulative contribution rate

主成分 Principle component	特征值 Characteristic value	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%
1	8.437	60.267	60.267
2	4.090	29.214	89.481

由表3可知,从主成分载荷分析,第1主成分与总人口数(X_1)、城镇化率(X_5)、国内生产总值量(X_2)、固定资产投资(X_3)、万元GDP用水量(X_4)等之间存在很强的相关关系,可以认为这些指标反映的是社会经济发展、人口与山东水资源的开发利用情况,说明山东省转变经济战略、节水措施的实施对水资源承载力有巨大影响。第2主成分与水资源总量(X_7)、地表水资源(X_8)、降水量(X_9)有较强的相关关系,可以认为这些指标反映的是水资源的禀赋情况,说明了水资源总量对水资源承载力的影响。

表3 主成分载荷矩阵

Table 3 Principle component load matrix

指标 Index	主成分 Principle component	
	1	2
X_1	0.938	0.331
X_2	0.919	0.371
X_3	0.929	0.332
X_4	-0.699	-0.521
X_5	0.965	0.228
X_6	-0.780	0.549
X_7	0.443	-0.867
X_8	0.373	-0.877
X_9	0.468	-0.865
X_{10}	-0.702	0.293
X_{11}	-0.841	0.493
X_{12}	0.812	-0.200
X_{13}	0.903	0.382
X_{14}	0.769	0.570

将标准化后的数据与得到的特征向量相乘可得出主成分表达式,各指标的特征向量矩阵见表4。

由表4可得主成分 A_1 线性表达式为:

$$A_1 = 0.32X_1 + 0.32X_2 + 0.32X_3 - 0.24X_4 + 0.33X_5 - 0.27X_6 + 0.15X_7 + 0.13X_8 + 0.16X_9 - 0.24X_{10} - 0.29X_{11}$$

$$+0.28X_{12} + 0.31X_{13} + 0.26X_{14}$$

同理,可得 A_2 的表达式。

表 4 特征向量矩阵

Table 4 Characteristic vector matrix

指标 Index	T_1	T_2
X_1	0.32	0.16
X_2	0.32	0.18
X_3	0.32	0.16
X_4	-0.24	-0.26
X_5	0.33	0.11
X_6	-0.27	0.27
X_7	0.15	-0.43
X_8	0.13	-0.43
X_9	0.16	-0.43
X_{10}	-0.24	0.14
X_{11}	-0.29	0.24
X_{12}	0.28	-0.10
X_{13}	0.31	0.19
X_{14}	0.26	0.28

以 2 个主成分的贡献率为权重,构造综合评价函数,综合得分模型: $F=0.60267A_1+0.29214A_2$ 。

根据表 5 的结果,为了更好地分析第 1 主成分、第 2 主成分与水资源承载力的关系以及 2 个主成分之间的关系,笔者进行了偏相关分析、2 个变量之间的相关分析,结果表明:第 1 主成分与第 2 主成分的相关系数达 0.992,这说明社会经济的发展、人口的变化与水资源的禀赋有很大关系;承载力总分与第 1 主成分的偏相关系数达 0.991,与第 2 主成分的偏相关系数达 0.915。这说明水资源的承载力和社会的发展水平、人口的变化之间的关系明显大于与水资源禀赋之间的关系。因此,水资源的充足与否并不能全部代表水资源承载力的大小,水资源承载力的水平还与社会经济发展水平及人口增长有着很大关系。

表 5 2005~2014 年山东省水资源承载力综合得分

Table 5 Comprehensive score of water resource carrying capacity in Shandong Province during 2005-2014

年份 Year	A_1	A_2	F
2005	-4.203 9	0.575 6	-2.365 4
2006	-5.050 7	2.589 7	-2.287 4
2007	-1.245 0	-3.782 2	-1.855 3
2008	-0.730 5	-1.873 2	-0.987 5
2009	0.794 4	-1.942 7	-0.088 8
2010	-0.035 8	1.378 3	-0.381 1
2011	1.639 0	-0.597 4	0.813 2
2012	2.303 0	0.407 5	1.507 0
2013	2.831 0	1.289 4	2.082 8
2014	3.698 6	1.955 1	2.800 2

由表 5 和图 1 可知,2005~2014 年山东省水资源承载力逐年上升。原因可能是山东省近 10 年经济发展迅速,国内生产总值、固定资产投资、工农业用水量等呈现上升趋势,这

些因素既对水资源承载力产生压力,同时也是促使其提高水资源承载力的动力。随着经济水平和科学技术的发展,水资源利用效率不断提高,人们的环保、节水意识逐渐增强,水资源承载力逐年上升。

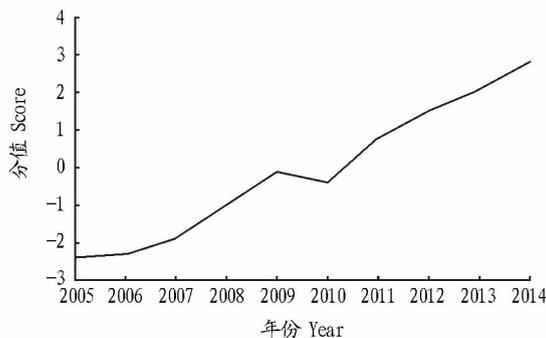


图 1 2005~2014 年山东省水资源承载力变化趋势

Fig. 1 The variation trend of water resource carrying capacity in Shandong Province during 2005-2014

近 10 年来,山东的人口平稳增长、经济战略的实施和科学技术的发展促进了该省工农业的快速发展,国内生产总值增长了 4 倍多,固定资产增长了约 8 倍。固定资产投资中用于农林、农田水利方面的基础设施、城市生活污水处理设施以及江河治理等环保工程和生态水利工程的比重逐年升高,使得山东省水资源的承载力逐渐增强,这都有利于山东省经济稳定、健康、协调的发展。

3 结论与讨论

(1) 利用《山东省统计年鉴》(2005~2014)、《山东省水资源公报》(2005~2014)及相关资料,选取水资源总量等指标,运用主成分分析法分析了 2005~2014 年山东省水资源承载力的变化情况,结果表明,2005~2014 年山东省水资源承载力呈逐年上升趋势。

(2) 人口、经济发展和水资源综合利用情况,是影响山东省水资源承载力的主要原因。随着山东省经济增长战略的转变和水资源利用率的提高,山东省在水资源短缺的情况下水资源承载力呈现逐年上升趋势。

(3) 笔者仅对 2005~2014 年山东省水资源承载力的变化趋势进行了评价分析,并未研究各指标对水资源承载力的影响关系,也未对山东省各地区的水资源承载力进行全面分析,这将有待进一步研究。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 秦宇,罗吉忠,魏文杰,等. 水文资料缺乏地区水资源承载能力研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2014(5):776-780.
- [3] 孙毅,常胜,卢艳秋,等. 恩施州水环境承载力研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2014(4):467-468,473.
- [4] 段春青,刘昌明,陈晓楠,等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010,65(1):82-90.
- [5] Committee to Review the Florida Keys Carrying Capacity Study, National Research Council. Interim review of the Florida keys carrying capacity study [M]. Washington D C :National Academy, 2001.
- [6] 闵庆文,余卫东,张建新. 区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用[J]. 水土保持研究, 2004,11(3):14-16.

明在一定的浓度范围内,各元素浓度与吸光度均呈良好的线性关系。

2.2 回收率和精密度测定 在已知含量的样品中分别加入一定量的标准溶液,按照“1.2”仪器工作条件,进行加标回收

率测定,每个样品重复测定 6 次,得出回收率和精密度。由表 2 可知,样品中 11 种元素的回收率为 96.83% ~ 100.81%,相对标准偏差 < 1.0%,表明用该方法进行微量元素测定结果可靠,可用于火炭母中微量元素的准确测定。

表 2 各元素的回收率和精密度

Table 2 Recovery rate and precision degree of each element

元素 Element	加标前含量 Content before adding standard material// μg	加标量 Added amount // μg	加标后含量 Content after adding standard material// μg	回收率 Recovery rate //%	RSD//%
Fe	2.137	4.000	6.007	100.81	0.52
Mg	1.828	4.000	5.836	97.96	0.33
Ca	1.622	2.800	4.328	99.99	0.36
K	2.081	4.000	6.038	98.91	0.51
Cu	1.985	4.000	5.965	99.65	0.43
Pb	0.337	1.600	2.083	99.25	0.58
Cr	0.179	1.600	1.883	96.83	0.59
Cd	0.848	1.600	2.215	99.67	0.98
Zn	1.897	2.400	4.088	97.99	0.66
Mn	1.388	2.400	3.692	99.67	0.33
Ni	0.560	1.600	2.141	99.35	0.59

2.3 样品测定 由表 3 可知,干法消解和湿法消解 2 种方法测定火炭母样品结果不同,但总体结果相差不大。在样品

中,Fe、Mg、Ca、K、Zn、Mn 这 6 种微量元素含量较高,而 Cu、Pb、Cr、Cd、Ni 这 5 种微量元素含量较少。

表 3 不同消解方法测定结果

Table 3 Detection results of different digestion methods

消解方法 Digestion method	Fe	Mg	Ca	K	Cu	Pb	Cr	Cd	Zn	Mn	Ni
湿法消解 Wet digestion	2 768.33	4 698.82	4 184.28	4 189.36	9.66	10.09	11.99	8.81	378.22	283.89	10.82
干法消解 Dry digestion	2 869.88	4 867.71	3 959.12	3 892.56	9.67	10.59	19.22	4.23	350.78	249.46	13.83

3 结论与讨论

该研究分别用干法灰化和湿法消解处理火炭母,火焰原子吸收光谱法测定火炭母中 Fe、Mg、Ca、K、Cu、Pb、Cr、Cd、Zn、Mn 和 Ni 共 11 种微量元素的含量。结果表明,所测的各微量元素的校准曲线的相关系数为 0.998 9 ~ 0.999 8,回收率为 96.83% ~ 100.81%,方法检出限为 0.003 8 ~ 0.042 1 mg/L,相对标准偏差 < 1.0%。火炭母中富含人们所需的微量元素 Fe、Mg、Ca、K、Zn、Mn,这 6 种元素均是人体生命活动必需的元素,人体对这些元素需要的量极少,但它们在人体却具有特殊的生理功能,摄入不足、不平衡或缺乏均会不同程度地引起人体生理各项功能的异常进而引发疾病;而 Pb、Cr、Cd、Ni 这 4 种微量元素含量较少,这 4 种元素恰好是人体不能大量摄入的元素。可见,火炭母不仅有很好药食两用保健效果,且可以补充人体每天所需的微量元素,这将为进一步开发利用火炭母资源提供很好的科学理论依据。

参考文献

[1] 蔡家驹,曾聪彦,梅全喜. 火炭母化学成分与药理作用研究进展[J]. 亚

太传统医药,2014,10(24):32-34.

- [2] 蔡家驹,曾聪彦,梅全喜. 火炭母复方制剂的研究进展[J]. 今日药学,2014,24(8):615-617.
- [3] 黄国霞,刘柳,汪青,等. 火炭母有效成分的提取及抗氧化活性研究[J]. 湖北农业科学,2011,50(12):2490-2492.
- [4] 董艳辉. 火炭母总黄酮的提取和抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2015,36(14):299-302,307.
- [5] 张宏武,王悦,都晓伟,等. 粗毛火炭母化学成分的研究[J]. 中国药学杂志,2015,50(12):1012-1016.
- [6] 严慧如,黄丹丹,何静娜,等. 正交设计法优选火炭母中总黄酮的提取工艺[J]. 广东化工,2015,42(11):65-66.
- [7] 王呈文,纪明慧,舒火明,等. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定葵叶中的微量元素[J]. 光谱实验室,2013,30(3):1326-1330.
- [8] 王呈文,纪明慧,陈光英,等. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定莫氏兰根中的微量元素[J]. 光谱实验室,2013,30(3):1340-1344.
- [9] 尹计秋,燕小梅,牛奔. 微波消解-火焰原子吸收光谱法测定海藻中的微量元素[J]. 光谱实验室,2011,28(1):119-120.
- [10] 张修景. 微波消解样品-火焰原子吸收光谱法测定人发中 10 种微量元素[J]. 理化检验-化学分册,2012,48(6):653-655.
- [11] 刘彦明. 原子吸收光谱法测定中成药中微量元素[J]. 光谱学与光谱分析,2000,20(3):373-375.
- [12] 彭相君,李银保,彭金年,等. 微波消解-原子吸收光谱法对海带中 6 种金属元素的测定[J]. 广东微量元素科学,2015(1):7-10.

(上接第 105 页)

- [7] 夏军,张永勇,王中根,等. 城市化地区水资源承载力研究[J]. 水利学报,2006,37(12):1482-1488.
- [8] 陈凯,李就好. 汕头市水资源承载力评价研究[J]. 长江科学院院报,2012,29(7):21-26.

[9] 童纪新,顾希. 基于主成分分析的南京市水资源承载力研究[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(1):122-125.

- [10] FANG G H, HU Y G, XU Y. Research on the multi-objective evaluation model of regional water resources carrying capacity and its application[J]. Water resour protect, 2006,22(6):9-13.