

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2013.01.006

基于因子分析的青海省水资源承载力综合评价

吴 琼

(北京世纪农丰土地科技有限公司,北京 100083)

摘要:运用因子分析法从时间的角度对青海省水资源承载力进行综合评价。结果表明:影响青海省水资源承载力的 3 大因子分别为人口、经济和消费因子,水资源供给能力和工业用水因子,耗水量和农业用水因子;2002—2009 年,青海省的水资源承载力整体上呈稳步增长的趋势,但在 2009 年有所回落,预测青海省水资源承载力会继续呈上升的发展趋势。探讨提高青海省水资源承载力的方法和措施:进一步加强水利工程建设,充分挖掘水资源的开发潜力,提高水利工程的蓄水保水能力,并转变原有经济发展模式,优化产业结构。

关键词:水资源承载力;因子分析法;驱动因子;青海省

中图分类号:TV213 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2013)01-0022-05

Comprehensive evaluation of carrying capacity of water resources of Qinghai Province based on factor analysis

WU Qiong

(Beijing SJNF Land Science & Technology Co., Ltd, Beijing 100083, China)

Abstract: The method of factor analysis was used to evaluate the carrying capacity of water resources of Qinghai Province from a temporal view. The results show that the population, economic, and consumption factors; the water supply capacity and industrial water factors; and the water consumption and agricultural water factors are three main factors affecting the carrying capacity of water resources of Qinghai Province. During the period from 2002 to 2009, the overall carrying capacity of water resources in Qinghai Province improved steadily, except for a fluctuation in 2009. It is predicted that the water resources carrying capacity will have an increasing trend in the future. The methods and measures of enhancing the water resources carrying capacity are discussed, including strengthening of hydraulic engineering construction, enhancement of water resources exploitation, improvement of water storage and preservation capacity, transformation of the original economic development pattern, and optimization of industrial structure.

Key words: water resources carrying capacity; factor analysis; driving factor; Qinghai Province

水资源承载力是指在一定社会发展和科技水平阶段,在生态系统不受破坏的前提下,某一区域的水资源最大可承载工业、农业、城市规模和人口数量的能力^[1]。水资源承载力是承载力概念与水资源概念的有机结合,是区域水安全的基本度量指标,同时也是可持续发展理论体系的重要组成部分^[2]。近年来,随着社会经济的发展及城市化进程的加快,水资源供需矛盾日益突出,水资源短缺问题已成为制

约社会经济可持续发展的瓶颈。研究水资源承载力对合理规划和利用水资源、促进区域经济的可持续发展具有重要意义。

水资源承载力的研究方法很多^[3-6],常用的有指标综合评价法、模糊综合评判法、层次分析法、系统动力学法以及主成分分析法等。这些方法各有优劣,在具体的分析过程中均存在一定局限性,如指标综合评价法和模糊综合评判法是一种对主观产生的

离散过程进行综合处理的方法,其取大取小的运算法会使大量有用信息遗失,导致模型利用率低;层次分析法在确定权重过程中主观性较强;利用系统动力学法对长期水资源承载能力状况进行模拟时,参数变量不易掌握,容易导致结论不合理,且模型精度较难控制^[7]等。因子分析法是主成分分析的推广,通过对多维变量进行降维与简化,能避免指标分析过程中的主观任意性,同时又可以客观地确定各个指标的权重等。因子分析法因其独特的优势被广泛运用于数理统计与分析^[6,8]。

青海省自然地理和气候条件特殊,水资源时空分布极不均衡,与其人口、耕地、矿产资源的分布和经济的发展不相匹配。目前,关于青海省水资源承载力的研究^[9-11]较少,且主要从空间角度上进行分析。笔者试图采取因子分析法提取影响青海省水资源承载力的驱动因子,从时间的角度对该省的水资源承载力进行动态分析,对其水资源承载力的年际变化进行综合评价,旨在为未来青海省水资源的可持续开发利用提供依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

青海省地处青藏高原东北部,境内山脉纵横,湖泊众多,大部分地区海拔 3 000 ~ 5 000 m,介于东经 89°35' ~ 103°04' 和北纬 31°40' ~ 39°19' 之间。青海省地表水资源分布于长江、黄河、澜沧江和内陆河,地下水资源储量 258.48 亿 m³; 年均水资源总量为 622 亿 m³,列全国 16 位;人均水资源量为 13327 m³,列全国第 2 位,仅次于西藏;年出境水量为 623.6 亿 m³,入境水量为 97.13 亿 m³^[12]。受海拔、地形、纬度、大气环流等自然因素的影响,青海省拥有独具特色的高原大陆性气候,冬季漫长寒冷,夏季短暂凉爽,日温差大而年温差小,为我国干旱和半干旱气候区,年降水量较少且时空分布不均,呈典型的内陆高原降水特征:降水主要集中在 5—9 月份,其降水量占全年降雨量的 79% ~ 94%,而冬季晴冷干燥,降水量极少,常出现春旱现象。青海省地域降水量差异大,从东南向西北递减,从 776.1 mm/a 逐渐降至 16.7 mm/a。青海省常年日照时间长,蒸发量大,年蒸发量与降水量的比值在 1.5 : 1 至 194.5 : 1 之间,平均值为 4.8 : 1。总体来看,青海省水资源储量丰富和干旱半干旱现象并存。

1.2 数据资料来源

本研究所采用主要数据资料来自《青海省统计年鉴》(2002—2009 年)、《青海省水资源公报》(2002—2009 年)。此外,2012 年 4 月,笔者在青海

省进行了现场考察,收集了部分相关资料。

1.3 研究方法

1.3.1 因子分析法

因子分析法是利用降维的思想,在尽可能保留原有信息量的前提下从研究原始变量相关矩阵出发,把一些具有错综复杂关系的变量归结为少数几个公共因子,从而揭示整体变量的规律或本质的一种多元统计方法^[13]。因子分析法的步骤为:①对原始数据进行标准化处理,以消除系统数量级和量纲差异产生的影响;②计算标准化处理后的样本的相关系数矩阵;③计算特征值与特征向量:解特征方程 $|\lambda \mathbf{I} - \mathbf{R}| = 0$, 其中, λ 为特征值, \mathbf{I} 为单位矩阵, \mathbf{R} 为样本的相关系数矩阵, 求出特征值 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, p, p$ 为特征值的个数), 并按大小顺序排序, 同时分别求出对应于特征值 λ_i 的特征向量 $\mathbf{e}_i (i = 1, 2, \dots, p)$; ④计算方差贡献率及累计方差贡献率, 提取公共因子: 一般取累计贡献率 $\geq 85\%$ 的特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 所对应的第 1, 第 2, \dots , 第 $m (m \leq p)$ 个因子为公共因子 (m 为累积贡献率 $\geq 85\%$ 的因子的个数); ⑤进行因子旋转, 构建旋转之后的载荷矩阵, 以解释公共因子的实际意义; ⑥用原指标的线性组合来求各因子得分: 设 F_i 代表第 i 个因子的得分, 则

$$F_i = b_{i1}x_1 + b_{i2}x_2 + \dots + b_{ip}x_p \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

式中: $b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ip}$ 是利用回归方法估计出的因子得分系数; x_1, x_2, \dots, x_p 是可观测的变量; ⑦以方差贡献率为权数, 得到 m 个公共因子的综合评价指标函数 $F^{[6]}$ 和得分排序^[14], 计算公式为

$$F = \sum_{i=1}^m F_i w_i \quad (2)$$

式中: w_i 为第 i 个因子的方差贡献率。

1.3.2 驱动因子的选取

水资源承载力涉及经济、社会、资源、环境、生态等诸多因素, 这些因素彼此联系、错综复杂。根据青海省水资源的特点、开发状况和人文因素等, 参照全国水资源供需分析中的指标体系和其他水资源评价指标体系及标准^[6, 15], 从青海省人口、资源、经济、社会状况等数据中选取以下 13 个影响青海省水资源承载力的驱动力因子 (即可观测的变量): 地区生产总值 (x_1 , 亿元)、固定资产投资 (x_2 , 亿元)、总人口 (x_3 , 万人)、农业人口 (x_4 , 万人)、非农业人口 (x_5 , 万人)、城镇居民消费水平 (x_6 , 元)、农村居民消费水平 (x_7 , 元)、供水总量 (x_8 , 亿 m³)、用水总量 (x_9 , 亿 m³)、农业用水 (x_{10} , 亿 m³)、工业用水 (x_{11} , 亿 m³)、生活用水 (x_{12} , 亿 m³)、耗水量 (x_{13} , 亿 m³) 等 13 项指标, 见表 1。

表1 青海省2002—2009年经济、社会、水资源等指标的统计数据

年份	x_1 /亿元	x_2 /亿元	x_3 /万人	x_4 /万人	x_5 /万人	x_6 /元	x_7 /元	x_8 /亿 m^3	x_9 /亿 m^3	x_{10} /亿 m^3	x_{11} /亿 m^3	x_{12} /亿 m^3	x_{13} /亿 m^3
2002	340.65	245.02	528.60	385.09	143.51	5261	1399	27.03	27.03	20.36	3.93	2.74	16.25
2003	390.20	285.12	533.80	387.06	146.74	5768	1477	29.01	29.01	22.75	4.15	1.94	17.28
2004	466.10	381.06	538.60	389.3	149.3	6432	1583	30.17	30.17	22.82	5.20	1.99	17.44
2005	543.32	367.15	543.20	391.76	151.44	6947	1941	30.65	30.65	21.06	6.26	2.01	17.09
2006	648.50	419.62	547.70	393.3	154.4	7481	2128	32.20	32.20	22.82	7.01	2.20	17.58
2007	797.35	487.47	551.60	395.83	155.77	8819	2453	31.11	31.11	21.27	7.17	2.28	16.69
2008	1018.62	582.85	554.30	396.93	157.37	9816	3121	31.56	31.56	23.45	5.05	2.26	18.88
2009	1081.27	800.51	557.30	399.08	158.22	10845	3424	28.76	28.76	22.68	2.99	2.29	17.78

2 分析与结果

2.1 因子分析

运用SPSS 16.0对原始数据进行因子分析,得到青海省水资源承载力驱动因子的相关系数矩阵(表2)和因子的特征值与贡献率(表3)。其中,提取因子的方法为主成分分析法,因子旋转方法为正交旋转。

由表2可知,所选取的因子之间存在一定的相关性,这是进行因子分析的基础和条件,也进一步验证了对各个驱动因子做因子分析的必要性和科学性。

由表3可知,前3个因子的累积贡献率为95.283%,超过了85%,比较全面地反映了影响水资源承载力的驱动因子,因此,可以选取第1、第2和第3因子对青海省水资源承载力的年际变化趋势进行分析。

因子载荷是因子与每个变量之间的相关系数,表4是旋转后的因子载荷矩阵。从表4可以看出,第1因子在 x_7 、 x_6 、 x_1 、 x_2 、 x_4 、 x_3 、 x_5 上有较大的正载荷,可归纳为人口、经济和消费因子;第2因子在 x_{11} 、 x_8 、 x_9 上有较大的正载荷,可归纳为水资源供给能力和工业用水因子;第3因子在 x_{10} 、 x_{13} 上有较大的正载荷,可归纳为耗水量和农业用水因子,但该因子在 x_{12} 上的载荷为负相关,从侧面反映青海省生活

表2 水资源承载力驱动因子相关系数矩阵

	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	0.951	1.000											
x_3	0.956	0.903	1.000										
x_4	0.967	0.924	0.997	1.000									
x_5	0.942	0.880	0.998	0.990	1.000								
x_6	0.995	0.967	0.964	0.977	0.947	1.000							
x_7	0.995	0.959	0.939	0.954	0.920	0.990	1.000						
x_8	0.380	0.214	0.581	0.523	0.632	0.365	0.317	1.000					
x_9	0.380	0.214	0.581	0.523	0.632	0.365	0.317	1.000	1.000				
x_{10}	0.450	0.451	0.448	0.411	0.480	0.425	0.420	0.460	0.460	1.000			
x_{11}	-0.057	-0.228	0.187	0.138	0.232	-0.054	-0.121	0.789	0.789	-0.121	1.000		
x_{12}	0.062	0.017	-0.110	-0.071	-0.145	0.027	0.089	-0.474	-0.474	-0.512	-0.248	1.000	
x_{13}	0.662	0.587	0.620	0.595	0.641	0.616	0.648	0.514	0.514	0.869	-0.106	-0.336	1.000

用水耗水程度较低。

表3 因子的特征值和贡献率

因子	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
第1	8.087	62.205	62.205
第2	2.789	21.455	83.660
第3	1.511	11.623	95.283

表4 旋转后的因子载荷矩阵

变量	载荷			变量	载荷		
	第1因子	第2因子	第3因子		第1因子	第2因子	第3因子
x_7	0.989	-0.014	0.122	x_{11}	-0.088	0.984	-0.144
x_6	0.988	0.052	0.123	x_8	0.287	0.879	0.363
x_1	0.986	0.050	0.141	x_9	0.287	0.879	0.363
x_2	0.960	-0.120	0.165	x_{10}	0.326	0.024	0.902
x_4	0.956	0.247	0.122	x_{13}	0.546	0.052	0.757
x_3	0.936	0.300	0.161	x_{12}	0.171	-0.362	-0.737
x_5	0.914	0.348	0.196				

2.1.1 人口、经济和消费因子

第1因子包含了62.205%的贡献率,是主控因子,说明青海省经济发展水平、人口及消费水平对其水资源承载力影响尤为显著。青海省经济的持续发展,使得水资源的需求量不断增长;人口作为水资源承载力持续的客体,既是动力因素也是压力因素,城市化进程中外来务工人员的涌入使得青海省常住人口在近几年内急剧膨胀,对水资源的需求量也持续增大,一方面使得水资源供给的设施相应增加,增大

了水资源的承载力,另一方面人类活动又导致了水资源污染加剧,给水资源承载力造成更大的压力;同时,消费水平的不断提高既使得生活用水量不断增加,也促使供水能力和污水收集处理能力得到增强。

2.1.2 水资源供给能力和工业用水因子

第2因子包括了水资源供给能力和工业用水因子。水资源的开发利用程度随着社会需求的增长和经济技术水平的提高而不断提高。在青海省水资源总量基本稳定的情况下^[16],供水能力直接影响该省水资源承载力。近年来,青海省的工业总产值逐年增长,但是工业用水量却出现了负增长,这在一定程度上缓解了水资源的承载力压力。

2.1.3 耗水量和农业用水因子

第3因子与 x_{10} 、 x_{13} 存在正相关关系,反映出耗水量和农业用水对水资源承载力的影响。青海省处于干旱半干旱气候区,农业灌溉面积大,对水资源需求量大,农业灌溉用水量占总用水量的 68% ~ 79%,且农业用水效率普遍较低。青海省总耗水量占总用水量的 54% ~ 62%,水资源浪费严重。由此可见,总耗水量和农业用水会对青海省水资源承载力造成很大压力。

2.2 因子得分分析

表5中, F_1 、 F_2 、 F_3 分别是第1、第2和第3因子的得分, F 是水资源承载力的综合得分。因子得分有正有负,正负并不能代表水资源承载力的真实水平,而表示水资源承载力所处的相对位置,负值表示该年份的水资源承载力在被评价的时段内所处的相对地位是在平均水平以下,正值说明被评价年份的水资源承载力处于平均水平以上。综合得分 F 值越大,说明水资源承载力越大,反之越小。

表5 2002—2009年的青海省水资源承载力因子得分及排名

年份	F_1	F_2	F_3	F	排名
2002	-0.894	-1.212	-1.626	-1.055	8
2003	-1.141	-0.663	1.059	-0.765	7
2004	-0.775	-0.001	0.883	-0.398	6
2005	-0.383	0.751	-0.315	-0.119	5
2006	-0.057	1.216	0.241	0.266	4
2007	0.556	1.137	-1.201	0.472	3
2008	1.020	0.093	0.924	0.800	1
2009	1.673	-1.322	0.034	0.799	2

由表5中排名可见,评价各年的水资源承载力综合得分与第1因子得分趋于一致,这主要是由第1因子的贡献率(62.205%)决定的,可见人口因素和经济发展水平的高低对水资源承载力的大小具有关键的影响作用。第2因子得分出现先增后减的趋势,与水资源供给能力和工业用水量的变化趋势一致,说明水资源供水能力和工业用水量对水资源承

载力的影响也比较突出。此外,耗水量和农业用水也在一定程度上影响着水资源承载力。

在评价年份内,青海省的水资源承载力呈现出逐年上升的发展趋势,但在2009年略有波动,略低于2008年,这与2009年青海省大旱天气引起的供水能力下降密切相关。2009年1—4月高温少雨天气导致青海省大部分地区降水量持续偏少,气温异常偏高,空气干燥,土壤失墒严重,出现不同程度的干旱现象,导致2009年的供水能力比2008年有所下降。青海省为加强全省城乡水利基础设施建设,围绕工程水利、资源水利、民生水利和生态水利“四大工程”,于2009—2020年投资411亿元,这使得青海省在2009年的固定资产投资较2008年有大幅度增长,同时,2009年青海省的经济、人口、城乡居民消费水平均高于2008年,但是,由于水利工程处于新建未投产阶段,干旱直接导致青海省总供水能力下降了8.87%。这进一步验证了供水能力对水资源承载力的促进作用,供水能力越高,水资源承载力越大。

总体而言,青海省的水资源储量丰富,但出境量远大于入境量,且水利开发处于发展阶段,随着经济社会的持续发展和科技水平的提高,尤其是“四大工程”的实施,未来几年青海省的水资源承载力将处于持续上升的趋势。人们节水意识的增强是节水型社会建设的人文基础,将有效缓解水资源压力,对提高未来青海省水资源承载力具有推动作用。

3 结论与讨论

在分析研究区概况的基础上,应用因子分析法对青海省的水资源承载力进行综合评价,把影响该省水资源承载力的驱动因子分为3类:人口、经济和消费因子,水资源供给能力和工业用水因子以及耗水量和农业用水因子,其中人口、经济和消费因子对青海省水资源承载力的影响最为关键。

在评价年份内,青海省水资源承载力处于逐年稳步上升的趋势,但在2009年有所波动,这与2009年大旱天气导致供水能力下降密切相关。青海省以工程性缺水较为普遍,随着规划年限内水利工程施工的实施和投产,青海省水资源开发利用程度会增高,未来青海省的水资源承载力会继续呈现上升的趋势。

青海省虽然水资源总量较为丰富,但是特殊的地域条件导致其干旱缺水现象频发,同时,水资源的有限供给与用水需求的持续增长之间的矛盾将日益凸显。这就要求青海省相关部门进一步加强水利工程建设,充分挖掘水资源的开发潜力,提高水利工

程的蓄水保水能力,并稳步转变原有经济发展模式,优化产业结构;工业上,以水定产,对高耗水、高污染的生产设备进行技术改造升级,降低万元产值用水量,提高工业用水的重复利用率;农业方面,在保证生态环境需水的情况下,加强现有灌区的更新改造,发展先进的农业节水灌溉技术,提高水资源利用效率。

参考文献:

[1] 施雅风,曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京: 科学出版社,1992.

[2] RIJSBERMAN M A, VAN DE VEN F H M. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems [J]. Environmental Impact Assessment Review,2000,20(3): 333-345.

[3] 张欣,陈华伟,仕玉治,等. 基于集对分析的黄河三角洲东营市水资源承载力评价[J]. 水资源保护,2012,28(1): 17-21. (ZHANG Xin, CHEN Huawei, SHI Yuzhi, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of Dongying City in Yellow River Delta based on set pair analysis[J]. Water Resources Protection, 2012,28(1): 17-21. (in Chinese))

[4] 苑涛,何秉宇. 干旱区水资源承载力分析及应用[J]. 水土保持研究,2007,14(3): 341-342. (YUAN Tao, HE Bingyu. Research and Application of Water Resources Carrying Capacity in Arid Area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14 (3): 341-342. (in Chinese))

[5] 侯艳军,安瓦尔·买买提明,侯贞霞. 基于模糊理论的博尔塔拉蒙古自治州水资源利用和谐度分析[J]. 水资源保护,2011,27(3): 1-6. (HOU Yanjun, ANWAER MAIMAITIMING, HOU Zhenxia. Analysis on harmony degree of water resources utilization based on fuzzy theory: a case study of Bortala Mongol Autonomous Prefecture [J]. Water Resources Protection, 2011,27(3): 1-6. (in Chinese))

[6] 刘慧,蔡定健,许宝泉,等. 基于因子分析和熵权法的赣江源流域水资源承载力研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(23): 14264-14267. (LIU Hui, CAI Dingjian, XU Baoquan, et al. Study on water resource carrying capacity of the headstream of Ganjiang River's Drainage area based on component analysis and entropy weight method [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011,39(23): 14264-14267. (in Chinese))

[7] 姚治君,王建华,江东,等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J]. 水科学进展,2002,13(1): 111-115. (YAO Zhijun, WANG Jianhua, JIANG Dong, et al. Advances in study on regional water resources carrying capacity and research on its theory[J]. Advances

in Water Science, 2002, 13 (1): 111-115. (in Chinese))

[8] 何承刚,冯彦,王杰平. 因子分析法在水源保护区水质评价中的应用[J]. 云南地理环境研究,2009,21(1): 100-103. (HE Chenggang, FENG Yan, WANG Jieping. Application of factor analysis method to the water quality evaluation of water source protection area [J] Yunnan Geographic Environment Research, 2009, 21 (1): 100-103. (in Chinese))

[9] 胡乃利,管清香,韩卫滨. 基于模糊识别的青海省水资源可持续利用评价[J]. 水利科技与经济,2007,13(9): 657-660. (HU Naili, GUAN Qingxiang, HAN Weibin. Evaluation of water resources sustainable utilization based on fuzzy recognition in Qinghai Province [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2007,13(9): 657-660. (in Chinese))

[10] 吕建树,刘洋,杨念贵. 基于改进 TOPSIS 法的水资源承载力研究[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(3): 83-86. (Lü Jianshu, LIU Yang, YANG Niangui. Study on regional water resources carrying capacity based on improved TOPSIS method [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2009, 20 (3): 83-86. (in Chinese))

[11] 王学全,卢琦,李保国. 应用模糊综合评判方法对青海省水资源承载力评价研究[J]. 中国沙漠,2005,25(6): 944-949. (WANG Xuequan, LU Qi, LI Baoguo. Fuzzy comprehensive assessment for carrying capacity of water resources in Qinhai Province [J]. Journal of Desert Research, 2005,25(6): 944-949. (in Chinese))

[12] 《青海百科全书》编委会. 青海百科全书[M]. 北京: 中国大百科全书出版社,1998.

[13] 章文波,陈红艳. 实用数据统计分析及 SPSS 12.0 应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.

[14] 王伏虎. SPSS 在社会经济分析中的应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社,2009.

[15] 许朗,黄莺,刘爱军. 基于主成分分析的江苏省水资源承载力研究[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(12): 1468-1474. (XU Lang, HUANG Ying, LIU Aijun. Study on the carrying capacity of water resources in jiangsu province based on the principal component analysis [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(12): 1468-1474. (in Chinese))

[16] 周陈超,贾绍凤,燕华云,等. 近 50 a 以来青海省水资源变化趋势分析[J]. 冰川冻土,2005,27(3): 432-437. (ZHOU Chenchao, JIA Shaofeng, YAN Huayun, et al. Changing trend of water resources in Qinghai Province from 1956 to 2000 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005,27(3): 432-437. (in Chinese))

(收稿日期:2012-05-29 编辑:彭桃英)