

基于主成分分析的义乌水资源承载力

赵丹丹, 岳丽莹, 许靖, 王亚丽, 冯利华

(浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 根据水资源承载力评价指标体系的研究, 选取 10 个水资源承载力影响因子, 运用主成分分析法, 对义乌市 1997–2010 年的水资源承载力进行分析和评价, 并提出转变经济发展模式和雨洪利用的解决途径, 从而为义乌市水资源规划及其合理的开发利用提供参考依据。

关键词: 水资源承载力; 主成分分析法; 综合评价; 义乌市

中图分类号: TV212

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)01-0051-04

Water resources carrying capacity of Yiwu City based on principal component analysis

ZHAO Dandan, YUE Liying, XU Jing, WANG Yali, FENG Lihua

(College of Geography and Environment Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: According to the research of evaluating index system on water resources carrying capacity, the paper selected 10 factors and used the principal component analysis to analyze and evaluate the water resources carrying capacity of Yiwu City and proposed two solutions of change economic development mode and flood use. It can provide a reference for water resources planning and development in Yiwu City.

Key words: water resources carrying capacity; principal component analysis; comprehensive evaluation; Yiwu City

水资源承载力是对水资源所能支持的人类活动能力阈值的描述, 它是一个动态、变化的概念, 至今尚无统一的定义。有人认为是水资源供给人口的最大限值^[1], 也有人归纳为是水环境对人类活动支持能力的阈值等^[2]。随着城市经济的发展水资源供需矛盾日益突出, 目前, 全国 669 座城市中 400 多座城市处于缺水状态。水资源已经成为许多城市经济发展的瓶颈, 面对城市缺水状态, 对水资源承载力的研究的意义更加突出。

1 研究区概况

义乌市位于浙江省的中部, 地理位置为 119°49′~120°17′E, 29°02′~29°33′N, 地处金衢盆地东缘, 以丘陵为主, 海拔 200~600 m, 东、南、北三面环山, 地势自东北向西南缓降, 构成一个南北长、东西短的长廊式盆地。义乌市东邻东阳, 南连永康、武义, 西接金华、兰溪, 北交浦江、诸暨, 属亚热带季风气候, 年平均气温 17℃, 多年平均降水量为 1 406 mm, 降水年际变化较大, 且时空分布不均, 总体情况为山区

降水量大, 河谷平原地带降水少。

确定义乌市水资源承载力的影响因子, 进行准确有效的评价分析对义乌市的发展有很大意义。水资源承载力的分析方法中, 主成分分析法应用比较普遍, 且考虑到其影响因子较多, 故采用主成分分析法较为合适^[3]。将影响因子转化为较少的但能够反映水资源承载力的几个主要指标, 这对义乌市经济社会和生态环境的协调发展具有现实意义, 对义乌水资源的评价以及规划具有参考价值。

2 主成分分析法的步骤及评价因子

2.1 主成分分析法的步骤及数据来源

主成分分析法是一种高维综合评价法, 本质是对高维变量进行降维处理, 以少数的综合变量取代原有的多维变量, 以便达到综合和简化的目的^[3-4]。将原始变量标记为 $x_1, x_2, \dots, x_p$; 主成分分析后得到的新变量(综合变量)为 $F_1, F_2, \dots, F_m (m < p)$, 综合变量构成的坐标系是原坐标系经过平移和正交旋转所得, 称 $F_1, F_2, \dots, F_m$ 空间为 m 维主超平面。其

收稿日期: 2011-10-10; 修回日期: 2011-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171430、40771044)

作者简介: 赵丹丹(1989-), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要研究方向为水资源规划。

通讯作者: 冯利华(1955-), 男, 浙江建德人, 教授, 主要从事水文学与水资源的教学与研究工作。

中,第一主成分 F_1 对应的是贡献率 e_1 最大的方向,对于 $F_2 \cdots F_m$,依次有 $e_2 \geq \cdots \geq e_m$ 。原变量是新变量(综合变量)的线性组合,即

$$\begin{cases} F_1 = u_{11}x_1 + u_{12}x_2 + \cdots + u_{1p}x_p \\ F_2 = u_{21}x_1 + u_{22}x_2 + \cdots + u_{2p}x_p \\ \cdots \quad \quad \quad \cdots \\ F_m = u_{m1}x_1 + u_{m2}x_2 + \cdots + u_{mp}x_p \end{cases} \quad (1)$$

主成分分析法的步骤如下:

(1) 为消除数量级和量纲的差异产生的影响,要先对原始数据进行标准化处理:

$$x_{ij}^* = (x_{ij} - \bar{x}_i) / \sigma_i \quad (2)$$

式中: x_{ij} 是第 i 个指标第 j 个分区的原始数据; x_{ij}^* 是第 i 个指标第 j 个分区的标准化数据; $\bar{x}_i$ 和 σ_i 分别是第 i 个指标的样本均值和标准差。

(2) 根据标准化数据,计算相关系数矩阵 $R = (r_{ij})_{p \times p}$,其中:

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j) / \sigma_i \sigma_j \quad (3)$$

(3) 计算 R 的特征值和特征向量。根据特征方程 $|R - \lambda_i I| = 0$,计算特征根 λ_i ,并使其从大到小排列: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_p$,同时可得到对应的特征向量 $u_1, u_2, \cdots, u_p$ 。

(4) 计算方差贡献率 $e_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^p \lambda_i$ 和累计贡献率 $E_m = \sum_{j=1}^m \lambda_j / \sum_{i=1}^p \lambda_i$ 。取累计贡献率达到 85% 以上的作为主成分。

(5) 计算主成分:

$$F_m = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^p u_{ij} x_{ij}^* \quad (4)$$

文中选取的南京市 1997 - 2010 年的 10 个国民经济发展指标,数据来自金华市水资源公报和金华统计年鉴。

2.2 评价因子的选取

水资源承载力涉及社会、经济、环境、生态、资源在内的大系统,其影响因子是指推动水资源发展变化的因素。根据“兼顾自然和人文因素、水量和水质、客观条件和利用管理水平”原则,选择 1998 - 2010 年序列资料作为基础数据,并参考专家意见^[5-6],选取 10 个因子构建义乌市水资源承载力指标体系。具体的指标因子为: x_1 为总人口,万人; x_2 为国内生产总值,亿元; x_3 为居民人均消费水平,元; x_4 为城市化率(用非农人口占总人口的比例表示); x_5 为降水量,mm; x_6 为日供水能力, 10^4 t/d; x_7 为水资源利用率,%; x_8 为万元 GDP 用水量, m^3 ; x_9 为工业废水的年排放量, 10^4 t; x_{10} 为人均水资源量, m^3 。

2.3 义乌市水资源承载力主成分分析

运用 SPSS 分析软件对样本数据进行分析计算,得到相关系数矩阵、特征值、主成分贡献率和累计贡献率(表 1 ~ 3)。由表 2 可以看出,影响义乌市水资源承载力的 10 个变量因子中存在着不同程度的相关,其中 x_3 和 x_2 , x_4 和 x_2 分别有着相关性,相关系数分别为 0.983、0.850,说明进行主成分分析的必要性。

由表 3 可知,前 3 个主成分的累计贡献率 87.722% > 85%,基本代表了因子对义乌市水资源承载力的影响,符合分析的要求。由此进一步得到主成分载荷矩阵(表 4)。

表 1 水资源承载力因子标准化数据

年份	x_1^*	x_2^*	x_3^*	x_4^*	x_5^*	x_6^*	x_7^*	x_8^*	x_9^*	x_{10}^*
1997	-0.490	-1.030	-1.125	-1.639	0.922	-1.256	-1.133	1.195	-1.789	1.252
1998	-0.458	-0.998	-1.076	-1.571	0.346	0.550	-0.435	1.608	-1.471	0.822
1999	-0.455	-0.972	-1.006	-1.333	0.309	0.552	-0.303	1.466	-0.970	0.658
2000	-0.422	-0.894	-0.760	-0.334	0.118	-0.464	-0.255	0.833	-0.473	0.228
2001	-0.413	-0.799	-0.721	0.021	-0.782	0.672	1.449	0.796	0.238	-0.596
2002	-0.403	-0.685	-0.708	0.053	1.681	0.169	-1.387	0.380	0.066	2.247
2003	-0.394	-0.502	-0.672	0.173	-1.194	-1.719	0.334	-0.286	0.126	-0.683
2004	-0.377	0.026	0.497	0.136	-1.110	-1.721	1.713	-0.734	0.010	-1.169
2005	-0.356	0.129	-0.001	0.200	-0.277	-0.736	-0.355	-0.684	0.943	0.123
2006	-0.335	0.422	0.303	0.274	-0.965	0.708	0.653	-0.693	2.100	-0.296
2007	-0.314	0.811	0.933	0.326	-0.702	0.952	1.282	-0.829	1.039	-0.598
2008	-0.296	1.221	1.307	0.369	-0.365	0.416	-0.079	-0.982	0.086	0.095
2009	2.334	1.369	1.447	1.599	-0.031	0.537	-0.035	-1.008	0.048	-1.489
2010	2.380	1.903	1.582	1.728	2.048	1.339	-1.449	-1.062	0.046	-0.593

表 2 影响水资源承载力的变量相关系数矩阵

	x_1^*	x_2^*	x_3^*	x_4^*	x_5^*	x_6^*	x_7^*	x_8^*	x_9^*	x_{10}^*
x_1^*	1									
x_2^*	0.730	1								
x_3^*	0.680	0.983	1							
x_4^*	0.738	0.850	0.842	1						
x_5^*	0.406	0.057	-0.032	0.001	1					
x_6^*	0.410	0.427	0.374	0.291	0.330	1				
x_7^*	-0.294	0.012	0.135	0.093	-0.881	-0.130	1			
x_8^*	-0.484	-0.879	-0.892	-0.865	0.234	-0.076	-0.235	1		
x_9^*	0.065	0.499	0.499	0.617	-0.439	0.228	0.438	-0.715	1	
x_{10}^*	-0.462	-0.565	-0.618	-0.622	0.576	-0.009	-0.642	0.620	-0.423	1

表 3 特征值及主成分贡献率 %

主成分	特征值	方差贡献率	累计贡献率
1	5.190	51.905	51.905
2	2.685	26.854	78.759
3	0.896	8.964	87.722
4	0.738	7.376	95.098
5	0.305	3.053	98.152
6	0.111	1.106	99.258
7	0.046	0.462	99.720
8	0.022	0.219	99.938
9	0.006	0.055	99.994
10	0.001	0.006	100

表 4 主成分载荷矩阵

变量	第一主成分	第二主成分	第三主成分
x_1	0.677	0.576	-0.275
x_2	0.937	0.256	-0.008
x_3	0.945	0.154	-0.036
x_4	0.93	0.149	-0.067
x_5	-0.184	0.955	-0.012
x_6	0.343	0.465	0.711
x_7	0.271	-0.886	0.117
x_8	-0.925	0.093	0.094
x_9	0.672	-0.366	0.459
x_{10}	-0.751	0.432	0.277

由主成分载荷矩阵可以看出 x_1, x_2, x_3, x_4, x_9 与第一主成分由较大的正相关, x_5 与第二主成分有较大的正相关, x_6 与第三主成分有较大的正相关。因此,义乌市水资源承载力主要影响因子可归纳为人口和经济发展因素、自然因素和水资源开发利用因素等三大类。

2.3.1 人口、经济发展因素 第一主成分包含了 51.905% 的变化率,是主控因子,它可以控制其他因子的变化。第一主成分的因子主要有 x_2, x_3 , 由此

可以看出经济发展水平因素对义乌市水资源承载力的影响尤为显著。经济的发展一般与水资源利用存在明显的正相关^[7]。改革开放以来,义乌市采取“兴商建市”的发展战略,城市化水平显著提高。2008 年义乌市 GDP 达到 493.33 亿元,人均 68 508 元,到 2010 年义乌市实现 GDP 614.1 亿元,人均 84 123 元,成功卫冕全国综合实力百强县。义乌市经济的迅速增长和城市化进程的加快,促使城市的工业、农业以及生活用水急剧增加,供需矛盾日益剧烈。2000 年的“东阳-义乌水权交易”已经显露出义乌的水资源短缺问题。

人口因素是影响义乌市水资源承载力的关键因子之一。城市经济的发展,吸引了大量的外来务工人员,使得义乌市常住人口在几年内急剧膨胀,义乌市人口总量从 1997 年的 62.8 万人增加到 2010 年的 191.25 万人,其增长主要是外来人口,人口的过快增长直接导致城市生产、生活用水的紧缺。一方面,居民消费水平的提高导致生活用水量的增多,另一方面,人类的活动导致污染的产生,使得水资源受到污染,尤其是地表水资源,义乌江的污染已经相当严重,这些都是引起水资源承载力下降的原因。

2.3.2 自然因素 第二主成分包含了 26.854% 的变化率,年降雨量是第二主成分的因子。义乌市的水资源总量主要是指地表水资源量,其年降雨量丰富,多年平均降雨量高达 1 406 mm,多年平均水资源总量为 7.19 亿 m^3 ,人均水资源量 1 073 m^3 ,不到我国的 1/2,并且低于浙江省及金华市人均拥有量,已经远远低于人均 2 000 m^3 的国际缺水警戒线。义乌市用水以地表水为主,年降雨量的多少直接影响该年的水资源量。1994-2004 年 10 a 间,小商品城曾两度遭遇水危机。据义乌市水务局统计,2003 年夏季秋季连旱,7-10 月的降水量只有 219 mm,

仅及正常年份的 52%,2004 年继续干旱,2003 年 7 月至 2004 年 7 月,义乌降雨量比往年平均偏少 40% 以上,水库容量比往年平均下降 50% 以上。义乌市生活用水和工业用水陷入极其紧张状态。

2.3.3 水资源开发利用因素 在第三主成分中水资源开发利用占主导作用。随着义乌市水资源供需矛盾的加剧,义乌市水务局及义乌市政府采取了一系列措施来充分挖掘社会资源的开发潜力,开源节流并举提高水资源开发利用水平,如对雨洪利用的研究^[8],以及虚拟水的研究等^[9],在很大程度上缓解了义乌市水资源紧缺的状况,但目前义乌市在该方面的研究和利用还不是很完备,大量的雨水还是白白流走,水资源的开发利用难度较大。

2.4 义乌市水资源承载力综合评价

由 SPSS 软件处理后的数据,结合主成分计算公式得到 3 个主成分 F_1, F_2, F_3 与各因子的线性关系式,同时根据综合得分 = 因子得分 $\times$ 方差贡献率,计算综合得分 F 。根据 F 值越大说明该年度水资源承载力越小,对其进行排序。

$$F_1 = 0.297x_1 + 0.411x_2 + 0.415x_3 + 0.408x_4 - 0.081x_5 + 0.151x_6 + 0.119x_7 - 0.406x_8 + 0.295x_9 - 0.330x_{10}$$
$$F_2 = 0.316x_1 + 0.156x_2 + 0.940x_3 + 0.091x_4 + 0.583x_5 + 0.284x_6 - 0.541x_7 + 0.057x_8 - 0.223x_9 + 0.264x_{10}$$
$$F_3 = -0.291x_1 - 0.008x_2 - 0.038x_3 - 0.071x_4 - 0.013x_5 + 0.751x_6 + 0.124x_7 + 0.099x_8 + 0.485x_9 + 0.293x_{10}$$
$$F = 0.519F_1 + 0.26854F_2 + 0.0896F_3$$

表 5 义乌市 1997~2010 年度水资源承载力综合评价结果

年份	F_1	F_2	F_3	F	排序
1997	-3.529	1.004	-1.165	-1.666	1
1998	-2.989	0.670	0.337	-1.341	2
1999	-2.573	0.447	0.515	-1.169	3
2000	-1.607	-0.101	-0.278	-0.886	4
2001	-0.461	-1.549	0.865	-0.578	6
2002	-1.825	2.067	0.809	-0.320	8
2003	-0.276	-1.852	-1.269	-0.754	5
2004	0.881	-2.483	-1.397	-0.334	7
2005	0.413	-0.482	-0.079	0.078	9
2006	1.572	-1.300	1.549	0.605	10
2007	1.953	-1.136	1.154	0.812	11
2008	1.583	0.141	0.280	0.884	12
2009	3.503	1.008	-0.972	2.001	13
2010	3.356	3.568	-0.347	2.669	14

从综合评价的结果及其排序(表 5)可以看出,水资源的开发利用程度基本呈上升趋势,水资源承载力总体呈下降趋势,2003 和 2004 年较为特殊,主要是由于 2003 年和 2004 年义乌遭遇罕见大旱天气。由以上分析结果说明义乌市水资源承载力呈下降趋势。

3 结论及讨论

(1)在对研究区的概况进行分析的基础上,运用主成分分析方法对义乌市水资源承载力进行分析,既可以避免主观的随意性,同时也可以简化评价工作。

(2)通过主成分分析,将多个影响水资源承载力的因子归为三大主成分:人口和经济发展因素、自然(降雨量)因素和水资源开发利用因素等三大类。

(3)通过综合评价,义乌市水资源承载力呈显著下降趋势。

(4)人口和经济的发展以及降雨量的多少对义乌市水资源承载力影响极为显著。因此,一方面应改变义乌市经济的发展模式,大力推行集约型循环经济的发展,使用新型的清洁技术;另一方面雨洪资源的利用集开源节流为一体,是解决城市水资源短缺,减轻洪涝灾害、改善城市生态环境的主要途径之一,应加大雨洪利用的研究,建立节水型、生态型的可持续发展城市。

参考文献:

[1] 朱一军,夏 军. 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.

[2] 郭怀成,唐剑武. 城市水环境与社会经济可持续发展对策研究[J]. 环境科学学报,1995,15(3):363-369.

[3] 冯利华,赵浩兴,瞿有甜. 灾害等级的综合评价[J]. 灾害学,2002,17(4):16-20.

[4] 李玉珍,王宜怀. 主成分分析及算法[J]. 苏州大学学报(自然科学版),2005,12(1):32-36.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 朱华友,吕东芳. 区域经济发展与水资源利用的关系研究[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2010,33(2):216-220.

[8] 高永胜,伍远康,陶永格. 浙江省城市雨洪控制初步研究[J]. 中国水利,2010(17):17-19.

[9] 崔 婧,朱丽东,李凤全,等. 浙江主要农作物虚拟水含量的初步研究[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2008,31(1):84-90.