

鄂尔多斯市水资源承载力的主成分分析

王春娟, 冯利华, 陆小强

(浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 运用主成分分析法得出经济发展和水资源开发利用是影响鄂尔多斯市水资源承载力的两个主要因子的结论, 并对鄂尔多斯市水资源承载力进行了综合评价。结果表明: 目前鄂尔多斯市水资源承载力已具有一定规模, 但随着社会经济的发展, 水资源承载力已相对较小, 因此应该合理开发、有效利用水资源, 保障鄂尔多斯市经济可持续发展。

关键词: 水资源承载力; 影响因子; 主成分分析; 鄂尔多斯市

中图分类号: TV21

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)01-0077-04

Principal components analysis of water resources carrying capacity in Erdos

WANG Chunjuan, FENG Lihua, LU Xiaoqiang

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

Abstract: Economic development and water resources exploitation and use were the main factors affecting water resources carrying capacity in Erdos City by using the principal components method. The results show that current water exploitation and use has reached a relative high degree. But with the economic development, there is only a very limited water carrying capacity. Therefore, water resources should be reasonably and effectively exploited to guarantee sustainable economic development in Erosds.

Key words: water resources carrying capacity; influential factors; principal component analysis; Erdos City

水资源不仅是一种控制生态环境的基础自然资源 and 一切社会发展的物质基础, 而且是一种战略性的经济资源, 是一个国家综合国力的有机组成部分^[1]。一般而言, 水资源有广义和狭义之分。广义的水资源是指地球上所存在的各种形式的水; 狭义的水资源是指在当前经济技术条件下可为人类利用的那一部分水, 主要包括河流、湖泊、水库、冰雪及地下水等淡水资源^[2]。区域水资源承载力是指区域在一定经济社会和科学技术发展水平条件下, 以生态、环境健康发展和社会经济可持续发展协调为前提的区域水资源系统能够支撑社会经济可持续发展的合理规模^[3]。

1 研究区概况

鄂尔多斯市位于内蒙古自治区西南部, 地处鄂尔多斯高原腹地, 东西长约 400 km, 南北宽约 340 km, 总面积 86 752 万 km², 人口 154 万人。东、南、西与晋、陕、宁三省区接壤, 北及东北与草原钢城包头以及自治区首府呼和浩特隔河相望, 东、西、北三

面黄河环绕, 河岸线长 767 km, 南临黄土高原。区内属典型的干旱、半干旱温带大陆性气候, 风大沙多, 降水量少且时空分布极不均匀, 年降水量 150 ~ 350 mm, 年蒸发量 2 000 ~ 3 000 mm, 水资源匮乏, 属资源性、工程性和结构性缺水并存的地区。

随着社会经济的发展、人口的增长以及工业化、城市化进程的不断推进, 对水的需求量不断增加, 水资源供需矛盾日益突出, 水资源短缺已逐渐成为制约社会经济可持续发展的“瓶颈”。目前区域水资源承载力研究是 21 世纪区域水资源安全战略研究中的一个基础课题, 而且水资源承载力已经是衡量区域可持续发展的一项重要指标。因此, 本文运用主成分分析方法建立了综合评价模型, 评价区域水资源的承载力, 对合理充分地利用水资源以及促进区域社会经济的可持续发展具有重要的现实意义^[4]。

2 水资源承载力的主成分分析

主成分分析是把原来多个指标化为少数几个综合指标的一种统计分析方法, 从数学角度来看, 这是

收稿日期: 2011-09-10; 修回日期: 2011-11-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171430、40771044)

作者简介: 王春娟(1984-), 女, 陕西宝鸡人, 硕士研究生, 研究方向为水文学与水资源、资源地理。

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。

一种降维处理技术^[5]。设原始变量为 $X_1, X_2, \dots, X_p$ ，主成分分析后得到的新变量(综合变量)为 $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ ，它们是 $X_1, X_2, \dots, X_p$ 的线性组合($m \leq p$)。新变量 $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ 构成的坐标系是在原坐标系经平移和正交旋转后的得到的，称 $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$ 空间为 m 维主超平面。在主超平面上，第一主成分 Z_1 对应于数据变异(贡献率 e_1) 最大的方向。对于 $Z_2, \dots, Z_m$ 依次有 $e_2 \geq e_3 \geq e_4 \geq e_m$ 。因此， Z_1 是携带原始数据信息最多的一维变量，而 m 维主超平面是保留原始数据信息量最大的 m 维子空间。

主成分分析法的主要步骤如下^[6]：

(1) 为了排除数量级和量纲带来的误差，对数据的标准化处理。公式为：

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j}$$

$(i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J)$

(1)

式中： X_{ij} 为第 i 个样本中第 j 个指标的原始数据； $\bar{X}_j$ 、 S_j 分别为第 j 个指标原始数值的平均值和标准差。

(2) 计算相关矩阵 R 。

(3) 计算 R 的 J 个特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_J$ ，以及对应的特征向量 $U_1, U_2, \dots, U_J$ 。

(4) 通过累计贡献率 E 确定主成分。

$$E = \sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{j=1}^J \lambda_j$$

一般取 $E > 85\%$ 时最小 m ，得到主成分：

$$Z_k = \sum_{j=1}^J U_{kj} X_{kj}$$

$(k = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, J)$

(2)

式中： U_{kj} 为特征向量 U_k 的第 j 个分量。

(5) 求主成分权重 e_k 。

$$e_k = \lambda_k / \sum_{j=1}^J \lambda_j$$

$(k = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, J)$

(3)

(6) 求综合评价指数 Z 。

$$Z = \sum_{k=1}^m e_k Z_k \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

(4)

根据综合评价指数的大小，就可以对区域水资源承载力进行评价。综合评价指数越大，说明水资源承载力越小，反之，则越大。

3 鄂尔多斯市水资源承载力评价研究

区域水资源承载力的各个影响因素间是彼此联系的，由主成分分析法原理得知，可以合理有效的找出影响鄂尔多斯市水资源承载力变化的主要因子。

通过对区域水资源系统及各影响因素的综合分析，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其标准，选用以下 9 个指标作为评价因素。各因素的含义如下：

- ①水资源开发利用率 X_1 (%)，现状水平年 75% 保证率的供水量与可利用的水资源总量之比；
- ②灌溉率 X_2 (%)，灌溉面积与耕地面积之比；
- ③地表水控制率 X_3 (%)，当地地表水蓄水工程入库水量与当地地表水资源量之比；
- ④工业用水重复利用率 X_4 (%)，工业重复利用水量与总用水量之比；
- ⑤人均水资源可利用量 X_5 (m³/人)，可供水资源量与总人口数之比；
- ⑥人均供水量 X_6 (m³/人)，现状水平年 75% 保证率的供水量与总人口数之比；
- ⑦排污率 X_7 (%)，污水排放量与总用水量之比；
- ⑧供水量模数 X_8 (万 m³/km²)，供水量与土地面积之比；
- ⑨生态用水率 X_9 (%)，生态用水总量与总需水量之比^[7-8]。鄂尔多斯市水资源承载力的原始数据源自文献^[9]。

运用 SPSS 分析软件对样本进行分析计算，得出各评价因素的相关系数矩阵(表 1)、特征值、主成分贡献率和累计贡献率(表 2)。

表 1 水资源承载力影响因子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_1	1.000								
X_2	0.253	1.000							
X_3	0.046	-0.404	1.000						
X_4	-0.128	0.675	-0.746	1.000					
X_5	-0.789	-0.207	0.109	-0.105	1.000				
X_6	-0.687	-0.082	0.258	-0.284	0.770	1.000			
X_7	0.691	-0.147	-0.137	0.005	-0.713	-0.927	1.000		
X_8	0.694	0.846	-0.359	0.447	-0.516	-0.450	0.298	1.000	
X_9	0.297	-0.297	-0.064	-0.259	0.023	-0.277	0.427	0.0811	1.000

表 2 特征值及主成分贡献率

			%
主成分	特征值	贡献率	累计贡献率
1	3.962	44.020	44.020
2	2.502	27.801	71.821
3	1.204	13.375	85.196
4	0.893	9.924	95.120
5	0.277	3.080	98.200
6	0.106	1.179	99.378
7	0.045	0.496	99.874
8	0.011	0.126	100.000
9	-1.292×10^{-16}	-1.436×10^{-15}	100.000

主成分分析的结果表明，前 3 个主成分的累计贡献率已达到了 85.196%，基本代表了全部因子对鄂尔多斯市水资源承载力的影响，符合分析的要求。

为了保证计算结果更加准确,选取前 3 个主成分来分析鄂尔多斯市水资源承载力状况,由此得到主成分载荷矩阵(表 3),它是主成分与变量之间的相关系数。从表中可以看出,第一主成分与 X_1 、 X_7 、 X_8 有很大的正相关,与 X_5 、 X_6 有较大的负相关, X_2 、 X_4 与第二主成分有较大的正相关, X_3 与第三主成分有较大的正相关。因此,鄂尔多斯市水资源承载力的主要影响因子可以归纳为经济发展和水资源开发利用因素两大类。

表 3 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	0.833	-0.343	0.347
X_2	0.461	0.784	0.329
X_3	-0.390	-0.585	0.616
X_4	0.383	0.807	-0.333
X_5	-0.835	0.211	-0.238
X_6	-0.879	0.263	0.220
X_7	0.778	-0.510	-0.252
X_8	0.795	0.383	0.285
X_9	0.222	-0.506	-0.485

3.1 经济发展因素

2010 年鄂尔多斯市全市实现地区生产总值 2 643 亿元。就上半年而言,地方财政总收入达 270.4 亿元,同比增长 47.1%。固定资产投资达 790.5 亿元,同比增长 20.5%。城乡居民人均可支配收入 11 419 元,同比增长 11.9%。农牧民人均现金收入达 5 170.5 元,同比增长 9.4%;全市播种各类农作物 389 267 hm^2 ,增加 10 667 hm^2 ;全市八大支柱产业实现工业增加值 453 亿元,总量占规模以上工业的 95.7%,对规模以上工业经济的贡献率大 90%。因此可以得出,鄂尔多斯市经济在高速的发展,水资源的需求量大大的增加。

3.2 水资源开发利用因素

全市水资源主要由地表水资源、地下水资源和过境水资源三部分组成。地表、地下水资源总量为 29.6 亿 m^3 ,过境水指标为 7 亿 m^3 。地表多年平均径流量为 13.1 亿 m^3 ,地下水资源总储量为 16.5 亿 m^3 、可开采量为 14.8 亿 m^3 。水资源人均占有量 1 922 m^3 ,低于全国、全区平均水平。降水特征决定了本市地表水资源年内分布不均匀。地表水资源总量为 13.1 亿 m^3 ;全市综合补给地下水资源量 21.0 亿 m^3 ,扣除重复计算量 4.5 亿 m^3 后为 16.5 亿 m^3 。地下水丰水区主要分布在沿黄冲击平原区、无定河流域区及毛乌素沙区腹地一代,可开采量为 14.8 亿

m^3 ,目前开发利用率达到 60% 以上;黄河是本市唯一的一条过境河流,据磴口水文站实测资料显示,多年平均过境流量为 306.2 亿 m^3 ,国家、自治区分配给本市黄河水初始水权为 7.0 亿 m^3 。由于可供开发利用的水资源总量有限,加之经济发展严重超过水资源承载能力,水资源供需矛盾突出,因此必须严格管理水资源使用量。

3.3 综合评价

由 SPSS 软件处理得到 3 大主成分的因子得分 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 (表 4),总体上鄂尔多斯市尚处于水资源开发利用阶段,水资源的开发利用已具有一定的规模,在现有经济技术条件下,水资源供给有一定的保证,但水资源承载力相对较小,水资源供需矛盾突出。依据综合评价值分析各县区的状况(表 4 和图 1),相对而言,开发利用程度最高的是东胜区,达拉特旗次之,这两个地区的水资源开发利用已接近于饱和阶段,水资源进一步开发潜力较小;准格尔旗、伊金霍洛旗、鄂尔多斯市的水资源开发利用已具有一定的规模;鄂托克旗、鄂托克前旗、乌审旗的开发利用程度依次减小,尚处于水资源开发利用的初始阶段,其水资源开发利用的潜力较大;杭锦旗是水资源开发利用程度最低的地区,其水资源开发潜力最大,承载能力最强。以上评价结果客观的反映了鄂尔多斯市水资源开发利用现状,对今后鄂尔多斯市水资源的可持续利用提供了一定的现实意义。

表 4 各分区水资源承载力综合评价结果

行政分区	Z_1	Z_2	Z_3	Z	排序
鄂尔多斯市	-0.10	0.06	-0.20	-0.05	5
东胜区	3.46	-1.52	-0.97	0.97	9
达拉特旗	-1.78	3.64	-0.64	0.88	8
准格尔旗	1.36	-0.20	-0.51	0.47	7
鄂托克前旗	-1.96	-0.42	0.60	-0.90	3
鄂托克旗	-0.76	-1.05	-0.88	-0.74	4
杭锦旗	-2.03	1.11	-1.14	-1.13	1
乌审旗	-2.40	-0.25	0.10	-1.11	2
伊金霍洛旗	0.64	-1.39	2.35	0.21	6

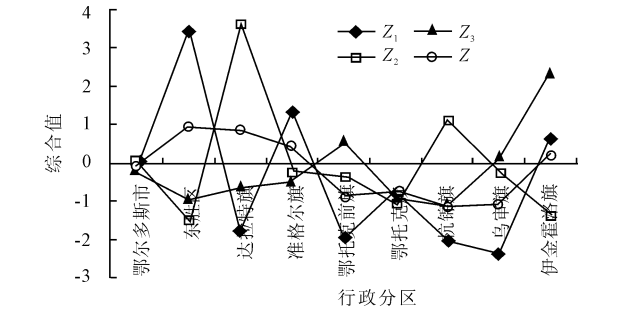


图 1 主成分趋势图

4 结 语

(1)在对区域水资源承载力研究现状分析的基础上,运用主成分分析法对鄂尔多斯市水资源承载力进行综合评价,得出鄂尔多斯市正处于水资源开发利用阶段,水资源的开发利用已具有一定的规模,虽然对国民经济的发展有了一定的保障,但水资源承载力仍很小,供需矛盾突出,其结果与文献[8]运用灰色关联分析方法的结果基本一致,且评价结果与实际情况相吻合。

(2)主成分分析法通过对原有变量进行线性变换和舍弃部分信息,综合和简化高维变量系统,同时客观地确定各个指标的权重,避免人为主观臆断性。因此,主成分分析法是一种较好的评价方法,评价结果可以为区域水资源的合理开发利用提供决策性依据。

(3)水资源系统是自然和社会交互的动态系统,其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增加^[9]。鄂尔多斯市水资源开发利用程度已具有一定规模,相对现状而言水资源开发仍具有一定的潜力,保证了本区域社会经济的发展,因此应高度重视水资源管理模式,实现水资源的可持续开发利用。

(4)全市水资源空间分布不均匀,通过二期水权转换工程、节水工程建设、节水型社会建设和跨区域调水工程来平衡水资源与经济发展的问题,从而

大力提高水资源合理开发和有效利用,保障鄂尔多斯市的经济可持续发展。

参考文献:

- [1] 陈志凯. 人口经济和水资源的关系[J]. 水利规划设计, 2000(3): 1-7.
- [2] 向洪. 人口科学大辞典[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994.
- [3] 段青青, 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.
- [4] 邵金花, 刘贤赵. 区域水资源承载力的主成分分析——以陕西省西安市为例[J]. 安徽农业学, 2006, 34(19): 5017-5018.
- [5] 徐建华. 现代地理学中的数学方法: 第二版[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 30-35.
- [6] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价: 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 168-172.
- [7] 王群, 张和喜. 区域水资源承载力的研究进展[J]. 农业网络信息, 2008(7): 118-123.
- [8] 周波, 贾晓红, 于凤存. 模糊综合评价在区域水资源承载力研究中的应用[J]. 水利科技与经济, 2007, 10(13): 739-741.
- [9] 佟长福, 史海滨, 李和平, 等. 基于灰色关联分析的鄂尔多斯市水资源承载力评价[J]. 节水灌溉, 2009(11): 43-45+49.
- [4] Maidment D. ArcGIS hydro data model[EB/OL][2001-07-03]. GIS hydro 2000 pre-conference seminar, 2000 international user conference, ESRI, San Diego, California, June 2000. <http://www.crwr.utexas.edu/giswr/>.
- [5] Maidment D R. Arc Hydro: GIS for water resources[M]. ESRI. 380 New York Street, Remands. California, 2002.
- [6] 朱思蓉, 吴华意. Arc Hydro 水文数据模型. 测绘与空间地理信息, 2006, 29(5): 88-90.
- [7] Jarvis A, Reuter H I, Nelson, et al. Hole filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT) [EB/OL]. [2009-08-19]. <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- [8] Maathuis B, MSc L W. Digital elevation model based hydro processing[J]. Geocarto International, 2006, 21(1): 21-26.
- [9] Zoun R, Schneider K, Whiteaker T, et al. Applying the ArcGIS hydro data model part/[EB/OL][2001]. <http://www.crwr.utexas.edu/gis/archydrobook/Data Model Files/Tutorial/Archydro Part/.htm>.
- [10] 于森, 陈雪莲. 基于 Arc Hydro Tools 对辽河流域的自动提取[J]. 微计算机信息, 2010, 26(7): 3-7.
- [11] Srinivasan R, Arnold J G. Integration of a basin scale water quality model with GIS[J]. Water Resources Bulletin, 1994, 30(3): 453-460.
- [12] Rivix L L C, Peckham S. River Tools 3.0 User's Guide [M]. Rivix Limited Liability Company, Broomfield, CO, 2004.
- [13] Garbrecht J, Martz L W. Topaz: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parameterization[EB/OL][1999-08]. <http://homepage.usask.ca/~lwm885/topaz/overview.html>.
- [14] James Nelson E. WMS v6.1 Tutorials [M]. Environmental Modeling Research Laboratory, Brigham Young University, Provo, Utah, 2001.

(上接第 76 页)