

# 乌鲁木齐市水资源承载力的动态分析

王 涛<sup>1,3</sup>, 孜比布拉·司马义<sup>1,2,3</sup>, 美克拉衣·艾克拜尔<sup>1,3</sup>, 陈 溯<sup>1,3</sup>

(1.新疆大学资源与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830046;2.新疆大学绿洲生态教育部重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830046;3.新疆大学资源与环境科学学院,智慧城市与环境建模普通高校重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘 要:**中国是水资源短缺国家,水资源已成为制约中国社会经济可持续发展的重要因素。通过构建水资源承载力研究指标体系,选取16个水资源承载力影响因子,运用主成分分析的方法对乌鲁木齐市的水环境承载力进行动态的分析和研究。结果表明:乌鲁木齐市2004~2011年水资源承载力基本呈下降趋势,其中2005~2007年下降较为缓慢,2009~2011年下降较为明显,综合评价指数从1.0273上升至2.6919。影响乌鲁木齐市水资源承载力的主要因素涉及到社会经济与工业生产、人口、水资源开发及其利用等三大方面。乌鲁木齐市的水资源的利用程度非常高,且以后利用的发展潜力非常小。

**关键词:**水资源承载力;主成份分析;载荷矩阵

中图分类号:TV211.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)06-0055-06

水资源是人类社会发展的基础,与人类的生存、发展和一切经济活动都有十分密切的联系。对水资源的研究现在已经成为国内外的一个重要课题之一。合理利用水资源,保护水环境,从而实现水资源的可持续利用已经成为我国众多城市亟待解决的问题。水环境承载力在此基础上被提出,即在社会、经济和生态环境可持续发展前提下,根据一定的经济技术水平和社会生产条件,水资源天然产出量的允许开发水量维持社会健康、有序、可持续发展能力<sup>[1]</sup>。全国将近百分之六十的城市处于缺水状态,而对处于缺水状态的城市,对水资源承载力的研究就变得尤为重要<sup>[2]</sup>。国外研究大多将水资源承载力纳入可持续发展理论中,如Harris(1998)着重研究了农业生产区域水资源农业承载力,将此作为区域发展潜力的一项衡量标准<sup>[3]</sup>;Rijberman.J(1999)等在研究城市水资源承载力评价和管理体系中,将承载力作为城市水资源安全保障的衡量标准<sup>[4]</sup>。国内对水资源承载力的研究主要集中在城市水资源承载力和流域水资源承载力两个方面,如郭怀成、唐剑武(1994)开展了对城市水环境与社会经济可持续发展对策研究<sup>[5]</sup>;尚松浩(2004)对水资源系统分析方法及应用进行了研究<sup>[6]</sup>;唐恒、杜发兴(2006)基于熵权模型对水资源承载力进行评价<sup>[7]</sup>;张志芬、刘东(2010)基于虚拟水理论对

区域水资源承载力进行评价<sup>[8]</sup>;刘佳骏、董锁成、李泽红(2011)用综合评价法对中国水资源承载力进行了研究<sup>[9]</sup>;王传武(2013)研究了水资源承载力对城市规模的影响<sup>[10]</sup>。水环境承载力的分析方法主要有物元综合评价模型<sup>[11]</sup>、主成分分析法<sup>[12-13]</sup>、熵模型<sup>[14]</sup>、人工神经网络<sup>[15]</sup>、综合评价指标法<sup>[16]</sup>、区域水资源的供需平衡模型<sup>[17]</sup>等,国内外的一系列研究成果丰富了水资源承载力研究内容。

## 1 研究区概况

乌鲁木齐市是亚欧大陆的中心,是新疆政治、经济、文化的中心,也是西部重点发展的城市,它的发展对整个西部以及国家的西部战略有很大的影响。2012年地区生产总值2057亿元。据最新的人口普查结果,2012年末人口为335万人。全市面积为 $1.4213 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中建成区面积 $365.88 \text{ km}^2$ 。乌鲁木齐市属中温带大陆性干旱气候,早晚温差大。2004~2011年的年平均降水量为 $313.63 \text{ mm}$ ,属于严重自然缺水城市。全市共有大小河流40多条,其中乌鲁木齐河为主要河流。乌鲁木齐市多年平均水资源总量为 $11.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,其中地表水资源量 $9.198 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下水资源量 $2.002 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2012年中国人均水资源量只有 $2100 \text{ m}^3$ ,人均水资源量仅为世界

收稿日期:2014-01-10

基金项目:国家自然科学基金项目(40861006)

作者简介:王涛(1989-),男,安徽合肥人,硕士研究生,主要研究方向为环境评价和区域污染控制。E-mail:974518738@qq.com

人均水平的 28%。而作为新疆首府城市乌鲁木齐市近 10 年来的人均水资源量仅为  $501\text{m}^3$ , 远低于缺水城市的标准, 所以研究乌鲁木齐市的水资源承载力对乌鲁木齐市的发展有十分重要的作用。

## 2 评价因子的选取及研究方法

### 2.1 数据来源及评价因子的选取

本文以乌鲁木齐市为研究对象。统计数据一部分来自《新疆维吾尔自治区城市、县城统计年报》2005~2012 年乌鲁木齐市的统计数据 and 2005~2012 年乌鲁木齐市统计年鉴, 另一部分数据取自乌鲁木齐市环保局统计资料。指标的选取必须考虑到各方面的因素, 如社会、环境、生态、人口、资源等, 所以水环境承载力的评价指标要考虑到数据的代表性、综合性, 防止数据的重复。此外, 必须考虑不同地区的地域特殊性, 所取数据应该能够体现研究区的特殊性, 例如乌鲁木齐的日照时数相比于内地城市明显增加。因子的可得性, 选取因子时尽量选择可以得到的数据, 对于一些不可直接得到的数据可以通过其它数据间接地表示。综合以上因素以及专家打分法选取以下 16 个指标作为乌鲁木齐水资源承载力的评价指标:  $x_1$  城市化率(%),  $x_2$  总人口数(万人),  $x_3$  国内生产总值(亿元),  $x_4$  居民平均消费水平(元),  $x_5$  降水量(mm),  $x_6$  万元 GDP 用水量( $\text{m}^3$ ),  $x_7$  工业废水排放量( $\text{m}^3$ ),  $x_8$  工业总产值(亿元),  $x_9$  人均水资源量( $\text{m}^3$ ),  $x_{10}$  生态用水率(%),  $x_{11}$  污水处理率(%),  $x_{12}$  日照时数(h),  $x_{13}$  工业废水再利用率(%),  $x_{14}$  人口密度(人/ $\text{km}^2$ ),  $x_{15}$  人口自然增长率(%),  $x_{16}$  水资源利用率(%).

### 2.2 主成分分析法

主成分分析法是一种降维处理, 以少数综合变量代替原有的多维变量, 以便达到综合和简化的目的<sup>[18]</sup>。将原始变量记为  $x_1, x_1, \dots, x_p$ ; 主成分分析后得到的新综合变量  $F_1, F_2, \dots, F_m (m < p)$ , 称  $F_1, F_2, \dots, F_m$  空间为  $m$  维主超平面。其中, 第一主成分  $F_1$  对应的是贡献率  $e_1$  最大的方向, 对于  $F_2 \dots F_m$ , 依次有  $e_2 \geq \dots \geq e_m$ , 原变量是新变量(综合变量)的线性组合, 即

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

主成分分析法的步骤如下:

(1) 为解决数据数量级和量纲的差异的影响, 要对

原始数据进行处理:

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

式中:  $x_{ij}$  为第  $i$  个指标第  $j$  个分区的原始数据;  $x_{ij}^*$  为第  $i$  个指标第  $j$  个分区的标准化数据;  $\bar{x}_i$  和  $\sigma_i$  分别为第  $i$  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  $|R - \lambda I| = 0$ , 计算特征根, 并使其从大到小排列:  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ , 同时可以得到对应的特征向量  $u_1, u_2, \dots, u_p$ 。

(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

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

## 3 乌鲁木齐市水资源承载力的结果与分析

### 3.1 水资源承载力的主成分分析

运用主成分的计算公式以及统计分析软件对样本数据进行计算, 得到标准化数据、相关系数矩阵、特征值、主成分贡献率和累计贡献率(见表 1~3)。由表 2 可以看出乌鲁木齐水资源承载力指标之间存在着不同的相关性, 其中  $x_3$  与  $x_2, x_4$  与  $x_2, x_3$  与  $x_4, x_3$  与  $x_7$  分别存在相关性, 相关系数分别为 0.86, 0.86, 0.99, 0.98, 说明可以进行主成分分析。由表 3 的前三个主成分的累计贡献率为 85.1%  $\geq$  85%, 总体代表了因子对乌鲁木齐市水资源承载力的影响, 从而进一步得到主成分的载荷矩阵(见表 4)。

由统计软件计算出相关矩阵  $R$  的特征值  $K$ 、累积方差贡献率  $E$  及主成分载荷矩阵(见表 3、表 4)。由表 3 得知, 当  $E > 85\%$  时的最小  $m$  为 3, 因此本文取前 3 个主成分进行分析, 对应的 3 个特征值分别为  $k_1 = 9.003$ 、 $k_2 = 2.543$ 、 $k_3 = 2.074$ 。由方差贡献率公式可知, 各个特征值的方差贡献率即为各主成分量的权重:  $e_1 = 56.268\%$ 、 $e_2 = 15.892\%$ 、 $e_3 = 12.941\%$ 、 $e_4 = 6.194\%$ 。从表 3 中可以看出前三个主成分的贡献率已经达到 85.1%,

表 1 水资源承载力标准化数据

Table 1 The standardized data of the water resources carrying capacity

年份	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
2004	0.125	-1.410	-1.230	-1.290	0.200	1.605	-1.640	-1.300
2005	0.125	-1.140	-1.030	-0.990	-0.330	0.936	-0.830	0.809
2006	0.166	-0.900	-0.790	-0.830	-0.900	1.016	-0.430	-0.880
2007	0.000	0.138	-0.340	-0.460	1.683	-0.070	-0.270	-0.300
2008	-0.420	0.310	0.161	0.271	-1.810	-0.740	0.060	0.487
2009	-0.830	0.483	0.335	0.622	0.747	-0.730	0.324	0.459
2010	-0.920	1.793	0.987	0.883	-0.250	-0.680	0.972	1.030
2011	-0.630	0.758	1.901	1.792	0.619	-1.370	1.812	1.636
年份	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$
2004	1.085	-1.000	-0.812	-1.625	-0.083	-0.928	-0.600	-0.785
2005	1.085	-1.000	0.437	-1.441	-0.583	0.714	-0.600	-0.142
2006	1.143	-0.571	0.437	0.206	-0.750	0.500	-1.800	-0.571
2007	-0.271	-0.285	-0.375	0.368	-0.916	-1.142	1.200	-0.571
2008	-0.271	2.000	-0.063	1.709	1.083	-0.928	1.400	-1.428
2009	-1.243	0.428	0.006	0.268	0.083	-0.428	0.200	0.928
2010	0.185	-1.000	0.006	0.162	0.606	2.000	0.800	0.571
2011	-1.600	1.142	0.000	-0.106	0.666	-0.071	0.800	1.857

表 2 影响水资源承载力的变量的相关系数矩阵

Table 2 The variable correlation coefficient matrix affecting the water resources carrying capacity

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$
$x_1$	1.00															
$x_2$	-0.90	1														
$x_3$	-0.80	0.86	1													
$x_4$	-0.90	0.86	0.99	1												
$x_5$	-0.10	0.12	0.14	0.11	1											
$x_6$	0.85	-0.90	-0.90	-0.90	-0.10	1										
$x_7$	-0.80	0.85	0.98	0.97	0.11	-0.9	1									
$x_8$	-0.70	0.68	0.79	0.81	0	-0.8	0.82	1								
$x_9$	0.73	-0.70	-0.80	-0.90	-0.40	-0.9	-0.8	-0.6	1							
$x_{10}$	-0.40	0.34	0.53	0.58	-0.30	-0.7	0.49	0.4	-0.7	1						
$x_{11}$	-0.10	0.07	0.11	0.14	-0.40	-0.1	0.29	0.42	0.07	0.03	1					
$x_{12}$	-0.40	0.58	0.44	0.48	-0.30	-0.7	0.48	0.23	-0.5	0.73	0.17	1				
$x_{13}$	-0.70	0.59	0.67	0.70	-0.40	-0.7	0.56	0.56	-0.5	0.65	-0.1	0.44	1			
$x_{14}$	-0.30	0.36	0.24	0.22	-0.20	-0.1	0.33	0.41	0.24	-0.5	0.58	-0.2	0.08	1		
$x_{15}$	-0.60	0.71	0.60	0.60	0.20	-0.80	0.53	0.54	-0.7	0.57	-0.3	0.55	0.57	-0.2	1	
$x_{16}$	-0.60	0.51	0.74	0.74	0.47	-0.60	0.75	0.67	-0.6	0.06	0.21	-0.1	0.22	0.37	0.13	1

表 3 特征值及主成分贡献率

Table 3 The eigenvalue and variance contribution

主成分	特征值	方差贡献率	累计贡献率
1	9.003	56.268	56.268
2	2.543	15.892	72.16
3	2.074	12.941	85.1
4	0.991	6.194	91.294

符合主成分分析的条件,所以就选取前三个主成分作为研究的对象。

由表 4 主成分载荷矩阵可以看出  $x_3, x_4, x_7, x_8, x_{13}, x_{15}$  与第一主成分有较大的正相关性,  $x_2, x_{14}$  与第二主成分有较大正相关性,  $x_{11}, x_{13}, x_{16}$  与第三主成分有较大的正相关性。因此乌鲁木齐的水环境承载力可以归纳为社会经济与工业生产,人口,水资源的开发利用等

表4 主成分载荷矩阵  
Table 4 The principal component load matrix

变量	第一主成分	第二主成分	第三主成分
$x_1$	-0.893	-0.113	0.013
$x_2$	0.695	0.691	-0.002
$x_3$	0.966	0.117	-0.081
$x_4$	0.983	0.092	-0.052
$x_5$	0.085	0.033	-0.962
$x_6$	-0.984	0.107	0
$x_7$	0.946	0.220	-0.008
$x_8$	0.823	0.330	-0.081
$x_9$	-0.87	0.230	0.316
$x_{10}$	0.629	-0.595	0.295
$x_{11}$	0.129	0.607	0.550
$x_{12}$	0.570	-0.462	0.463
$x_{13}$	0.716	-0.223	0.350
$x_{14}$	0.170	0.878	0.296
$x_{15}$	0.711	-0.487	-0.131
$x_{16}$	0.645	0.539	0.445

三大方面。

(1) 社会经济与工业生产。第一主成分包含56.27%的主成分贡献率,属于主控因子,是影响乌鲁木齐市水资源承载力的主要指标因素,可以控制其他因子的变化。主要包括国内生产总值、居民消费水平、工业废物的排放量。由此可以看出经济以及工业方面的污染物的排放及水资源处理效率对乌鲁木齐市的水资源承载力有较为显著的影响。经济发展一般与水资源承载力都具有明显的正相关<sup>[19]</sup>,乌鲁木齐作为新疆的首府城市,经济发展在改革开放特别是西部大开发战略实施以来发展迅速,其生产总值由2004年的484亿元到2011年的1690亿元,实现了连续翻番的持续稳步增长。居民的生活水平也有了较大水平的提高,居民消费水平从2004年的6358元增长到2011年的15986.47元。乌鲁木齐市的经济快速的发展使得城市的工业、农业、生活等各方面的用水大量增加,工业的快速发展,使得工业废物的排放量增加,工业回用水变得尤为重要。

(2) 人口。第二主成分包含了15.89%的贡献率,人口因素是第二主成分的主控因子。乌鲁木齐市作为西部地区对外开放的重要门户和一个正在快速发展的发展中城市,工作的机会比内地一些发达城市多且工作的压力也明显小于内地城市,所以全国各地的人才都聚集乌鲁木齐寻找发展机遇,使得乌鲁木齐市的人口

快速膨胀,由2004年的185.96万人增长到2012年的335万人,人口的过快增长直接导致城市生产生活用水的紧张。另一方面由于人口的激增,增加了污水量的排放,加重了水资源受污染程度,其中地表水污染最为严重。

(3) 水资源的开发及其利用。第三主成分的贡献率为12.94%,主要包括水资源量及其开发利用。2012年中国人均水资源量只有2100m<sup>3</sup>,人均水资源量仅为世界人均水平的28%。而作为新疆首府城市乌鲁木齐市10年来的人均水资源量仅为501m<sup>3</sup>,远不及世界的缺水警戒线,属于严重缺水城市。近年来乌鲁木齐市的耕地面积由2004年的34.35×10<sup>3</sup>hm<sup>2</sup>增长到2011年的96.95×10<sup>3</sup>hm<sup>2</sup>,由于耕地面积的激增以及灌溉方式的落后,导致农业用水的飞速增长。此外由于新疆独特的地理环境,常年日照时间长且降水少,也是水资源紧缺的重要原因。所以水资源的重复利用变得尤为重要。由于污水处理工艺和方法的落后导致污水处理率不高也是水资源承载力低的一个主要原因。

### 3.2 乌鲁木齐市水资源承载力综合评价

运用统计软件以及主成分的运算公式得到主成分 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 与各因子之间的线性关系式,同时根据综合得分=因子得分×方差贡献率,计算综合得分 $F$ 。根据 $F$ 值的大小来表明水资源承载力的情况,越大说明该年度水资源承载力越小,然后对其进行排序。

$$F_1 = -0.297x_1 + 0.298x_2 + 0.332x_3 + 0.327x_4 + 0.028x_5 - 0.328x_6 + 0.315x_7 + 0.274x_8 - 0.29x_9 + 0.209x_{10} + 0.043x_{11} + 0.19x_{12} + 0.238x_{13} + 0.04x_{14} + 0.237x_{15} + 0.215x_{16}$$

$$F_2 = -0.07x_1 + 0.057x_2 + 0.073x_3 + 0.057x_4 + 0.02x_5 + 0.067x_6 + 0.138x_7 + 0.206x_8 + 0.144x_9 - 0.373x_{10} + 0.38x_{11} - 0.289x_{12} - 0.139x_{13} + 0.55x_{14} + 0.299x_{15} + 0.337x_{16}$$

$$F_3 = 0.148x_1 - 0.001x_2 - 0.056x_3 - 0.036x_4 - 0.668x_5 - 0.005x_7 + 0.056x_8 + 0.219x_9 + 0.205x_{10} + 0.382x_{11} + 0.321x_{12} + 0.243x_{13} + 0.205x_{14} - 0.091x_{15} + 0.309x_{16}$$

$$F = 0.5626F_1 + 0.1589F_2 + 0.1924F_3$$

水资源承载力与水资源承载力综合评价的 $F$ 值成负相关。从表5可以看出乌鲁木齐市2004~2011年水资源开发利用程度基本呈上升趋势,水资源承载力基本呈下降趋势,其中2005~2007下降较为缓慢,2009~2011年下降较为明显,综合评价指数从1.0273上升至2.6919。2005年与2006年比较特殊,2006年高于2005,是由于该年份之间乌鲁木齐市发生旱情。总

表5 乌鲁木齐市2004~2011年水资源承载力综合评价结果

Table5 The results of the water resources carrying capacity evaluation in Urumqi city from 2004 to 2011

年份	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F$	排序
2004	-3.4529	-0.8880	-1.2600	-2.0697	1
2005	-2.4600	1.2460	0.1372	-1.1684	3
2006	-2.4665	-0.2084	0.9987	-1.2917	2
2007	-0.3439	-0.6277	-1.9895	-0.5507	4
2008	1.8963	-1.9297	1.5315	0.9585	5
2009	1.9588	-0.0350	-0.5350	1.0273	6
2010	2.5313	2.3878	0.6995	1.5764	7
2011	4.5400	0.9436	-0.0970	2.6919	8

体来看,乌鲁木齐市的水资源承载力呈下降趋势。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1) 运用主成分的分析方法对乌鲁木齐市的水资源承载力进行分析,利用专家打分法确定评价因子,不仅可以避免一些人为的主观随意性,也使评价工作变得较为简单。

(2) 通过主成分分析,将影响乌鲁木齐市水资源承载力的因子分为三大主成分:社会经济与工业生产、人口、水资源的开发利用等三大方面,尤其是经济方面的因素对乌鲁木齐市的水资源承载力负影响最大,主成分贡献率达到56.27%;人口因素主成分贡献率达到15.89%;最后为水资源开发及其利用,其主成分贡献率为12.94%。

(3) 水资源承载力与水资源承载力综合评价 $F$ 的值成负相关, $F$ 值越大表明水资源承载力越小。通过综合评价,乌鲁木齐市2004~2011年水资源开发利用程度基本呈上升趋势, $F$ 值从2004年的-2.0697上升到2011年的2.6919,水资源承载力明显呈下降趋势,其中2009~2011年下降较为明显。

### 4.2 讨论

结合以上分析结果进行讨论:乌鲁木齐市的首要任务要严格控制人口的数量,以免给水资源带来更大压力;水资源问题的根源在于供需不平衡,水资源供给一定的情况下,用水矛盾主要取决于用水主体对水资源的使用量和利用效率<sup>[20]</sup>,充分利用各条河流的水资源,最大限度减少出境水量,建立大坝及时收集多余的出境水量;加强水资源管理,制定科学的用水总量控制和管理指标体系;加强节水方面的相关宣传和教育工

作;加强对污水处理厂的管理,对其处理技术进行更新,增加水资源的重复利用率;增加对虚拟水的管理,严格控制虚拟水的输入和输出,间接地保护水资源;推广使用节水型器具,可以大面积推广滴灌,制定合理的节水目标,使有限的水资源得到有效地利用;用经济手段来调整水资源的合理利用。

### 参考文献:

- [1] 冯耀龙,韩文秀,王宏江,等.区域水资源承载力研究[J].水科学进展,2003,14(1):109-113. (FENG Yaolong, HAN Wenxiu, WANG Hongjiang, et al. Study on the region water resources carrying capacity[J]. Advances in Water Science, 2003, 14(1):109-113. (in Chinese))
- [2] 汤奇成,张捷斌.西北干旱地区水资源与生态环境保护[J].地理科学进展,2001,(3):227-233. (TANG Qicheng, ZHANG Jiebin. Water resources and eco-environment protection in the arid regions in northwest of China[J]. Progress in Geography, 2001,(3):227-233. (in Chinese))
- [3] Harris Jonathan M. Carrying capacity in agriculture: globe and regional issue [J]. Ecological Economics, 1999,129(3):443-461.
- [4] Rijberman, et al. Different approaches to assessment of design and management of sustainable water system [J]. Environment Impact Assessment Review, 2000,129(3):333-345.
- [5] 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. (GUO Huaicheng, TANG Jianwu. A strategy for sustainable development of urban water environment and socio-economy[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1995,15(3):363-369. (in Chinese))
- [6] 尚松浩.水资源系统分析方法及应用[M].北京:清华大学出版社,2005. (SHANG Songhao. System Analysis of Water Resources Method and Application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese))
- [7] 唐恒,杜发兴.基于熵权的模糊物元水资源承载力评价模型[J].中国农村水利水电,2006,12:36-39. (TANG Heng, DU Faxing. Application of fuzzy matter-element model based on entropy in comprehensive evaluation of water resources bearing capacity [J]. China's Rural Water and Hydropower, 2006,12:36-39. (in Chinese))
- [8] 张志芬,刘东.基于虚拟水理论区域水资源承载力评价方法[J].内蒙古水利,2010(1):15-17. (ZHANG Zhifen, LIU Dong. The method of regional water resources carrying capacity evaluation based on virtual water theory [J]. Inner Mongolia Water Resources, 2010(1):15-17. (in Chinese))
- [9] 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(22):258-269. (LIU Jiajun, DONG Suocheng, LI Zegong. Comprehensive evaluation of China's water resources carrying capacity [J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(22):258-269. (in Chinese))
- [10] 王传武.基于水资源承载力的城市规模研究[J].水文,2013(4):70-74. (WANG Chuanwu. Study on urban size based on water resources carrying capacity [J]. Journal of China Hydrology, 2013(4):

- 70-74. (in Chinese))
- [11] 宁立波,刘新宇,全晓. 基于物元分析的武汉市水资源承载力分析[J]. 安全与环境学报, 2008,8(4):76-80. (NING Libo, LIU Xinyu, GONG Xiao. Matter-element analysis based evaluation over the bearing capacity of water resources in the city of Wuhan [J]. Journal of Safety and Environment, 2008,8(4):76-80. (in Chinese))
- [12] 李坤峰,谢世友. 基于主成分分析重庆水资源承载力影响因子评价[J]. 水科学与工程学报, 2008,(增刊):38-41. (LI Kunfeng, XIE Shiyu. Application the principal components method in evaluating the influence factors of water resources carrying capacity in Chongqing [J]. Water Science and Engineering, 2008 (supplement), 38 - 41. (in Chinese))
- [13] 孟凡德,王晓燕. 北京市水资源承载力的现状及驱动力分析[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2005,25(3):100-105. (MENG Fande, WANG Xiaoyan. A study on trend and driving forces of carrying capacity change for water resources in Beijing[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2005,25(3):100-105. (in Chinese))
- [14] 赵军凯,李九发,戴志军,等. 基于熵模型的城市水资源承载力研究? 以开封市为例[J]. 自然资源学报, 2009,24(11):1944-1951. (ZHOU Junkai, LI Jiufa, DAI Zhijun, et al. Study on water resources carrying capacity of urbanized area based on entropy model—a case study in Kaifeng City [J]. Journal of Natural Resources, 2009,24(11):1944-1951. (in Chinese))
- [15] 王俭,孙铁珩,李培军,等. 基于人工神经网络的区域水环境承载力评价模型及其应用[J]. 生态学杂志, 2007,26(1):139-144. (WANG Jian, SUN Tiehang, LI Peijun, et al. Evaluation model of regional water environment carrying capacity based on of artificial neural network and its application [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007,26(1):139-144. (in Chinese))
- [16] 黎明,李百战. 重庆市都市圈水资源承载力分析与预测[J]. 生态学报, 2009,29(12):6499-6505. (LI Ming, LI Baizhan. The analysis and prediction of water resources carrying capacity in Chongqing metropolitan, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009,29(12):6499-6505. (in Chinese))
- [17] 王浩,秦大庸,王建华,等. 西北内陆干旱区水资源承载能力研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(2):151-159. (WANG Hao, QIN Dayong, WANG Jianhua, et al. Study on carrying capacity of water resources in inland arid zone of northwest China [J]. Journal of Natural Resources, 2004,19 (2):151-159. (in Chinese))
- [18] 邢旭光,史文娟,张译丹,等. 基于主成分分析西安市地下水水资源承载力评价[J]. 水文, 2013,(4):35-38. (XING Xuguang, SHI Wenjuan, ZHANG Yidan, et al. Assessment of groundwater resources carrying capacity in Xi'an City based on principal component analysis[J]. Journal of China Hydrology, 2013,(4):35-38. (in Chinese))
- [19] 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. (ZHU Huayou, LV Dongfang. A study on the relationship between economic development and water utilization [J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Science Edition), 2010(2):216-220. (in Chinese))
- [20] 白金明,张中旺. 南水北调中线工程对襄阳市水资源持续利用影响与对策[J]. 水文, 2013,30(4):87-91. (BAI Jinming, ZHANG Zhongwang. Influence of middle route project of south-to-north water transfer on sustainable utilization of water resources in Xiangyang City and concerned countermeasures[J]. Journal of China Hydrology, 2013,(4):87-91. (in Chinese))

## Dynamic Analysis of Water Resources Carrying Capacity in Urumqi

WANG Tao<sup>1,3</sup>, ZIBIBULA Simayi<sup>1,2,3</sup>, Mikray Akbar<sup>1,3</sup>, CHEN Su<sup>1,3</sup>

(1. College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China; 3. Key Laboratory of Xinjiang University Intellectualizing City and Environmental Modeling, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** China is a country with a shortage of water resources, and the water resources have become an important factor of restricting China's social and economic sustainable development. This paper analyzed the water environment carrying capacity of Urumqi by using the principal component analysis method and an index system of water resources carrying capacity with 16 impact factors. The results show that there is a downtrend of water resources carrying capacity in Urumqi from 2004 to 2011, of which there is a slow decline from 2005 to 2007 and there is obvious decline from 2009 to 2011. The integrated evaluation index rose from 1.0273 to 2.6919. The water resources carrying capacity in Urumqi is influenced in the respect of the social economy and industrial production, population, and natural resources exploitation and utilization. Now, the utilization degree of water resources in Urumqi is very high, and the development potential is very small.

**Key words:** water resources carrying capacity; principal component analysis; loading matrix