

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.04.006

曹永强, 朱明明, 张亮亮, 等. 基于可变模糊评价法的大连市水资源承载力分析[J]. 水利水运工程学报, 2016(4): 40-46.
(CAO Yong-qiang, ZHU Ming-ming, ZHANG Liang-liang, et al. Analysis of carrying capacity of water resources in Dalian based on variable fuzzy assessment method[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(4): 40-46.)

基于可变模糊评价法的大连市水资源承载力分析

曹永强, 朱明明, 张亮亮, 高 璐

(辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

摘要: 以大连市水资源总量、供水量、需水量、土地面积及人口数普查数据等为基础数据,参照我国水资源分析中的多种指标择取方式,从水资源利用、社会经济以及生态环境3方面,构建大连市水资源承载力评价指标体系。运用因子分析方法确定各评价指标的权重,结合可变模糊评价模型对大连市2000—2013年水资源承载力进行计算和评价,并通过基础数据的搜集和处理,对2020年大连市水资源承载力进行预测评价。结果显示:生态用水率和工业用水重复利用率两个因子的累计方差贡献率达到85%,能够反映大连市水资源承载力的大部分信息,因此作为主因子来进行权重的计算。通过可变模糊评价模型计算,2000—2013年大连市水资源承载力的评价等级为1~2级,说明大连市在这14年来水资源开发利用程度达较高水平,水资源的供给量基本上满足该市社会经济、生态环境等发展需求。为保证水资源的持续供给,须优化水资源配置,提高水资源利用率,以提高水资源承载力;2020年水资源承载力的预测评价结果为2级,表示在未来几年内,大连市已经逐渐实现维持水资源稳定开发的战略目标,大连市水资源的可持续开发利用得到了基本保障。

关键词: 水资源承载力; 可变模糊评价法; 因子分析

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2016)04-0040-07

水资源是人类社会生存繁衍和经济发展的重要资源。水资源承载力是衡量一个区域水资源是否抑制人类生存和经济发展的重要指标,也是当前国内外专家和学者解决水资源可持续发展问题的研究核心。水资源承载力的概念目前还没有统一的表达^[1],一般解释为某地区的水资源在某一具体历史发展阶段下,以可预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性循环为条件,经过优化配置,可提供该地区社会经济最大支撑能力^[2]。

近年来,我国对水资源承载力的研究成果颇丰^[3]。施雅风等^[4]采用常规趋势法对乌鲁木齐河流域承载力进行评价;闵庆文等^[5]利用模糊综合评判方法研究了山西省河津市水资源承载力状况;牛云格等^[6]运用可变模糊评价模型对东莞市属资源可持续利用协调能力进行评价分析。大连市是我国水资源短缺较为严重的城市之一,近年来由于该市经济发展迅速,水资源数量不断减少,水资源短缺将会成为影响该市可持续发展的首要因素。因此,对大连市水资源承载力的研究具有现实意义。目前,有关大连市水资源承载力评价方面可供参考的文献资料较少。本文采用近几年为众多学者认可的可变模糊评价方法与因子分析法相结合,通过地区水资源的特点对2000—2013年大连市水资源承载力进行评价分析,并对2020年该市水资源承载力进行预测评价,为该市水资源评价及规划工作提供决策支持。

收稿日期: 2015-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51279072)

作者简介: 曹永强(1972—),男,内蒙古丰镇人,教授,博士,主要从事水文水资源方面研究。

E-mail: caoyongqiang@lnnu.edu.cn

1 研究区域、研究方法与数据统计

1.1 研究区域概况

大连市位于辽东半岛最南端,濒临渤海和黄海,地理位置得天独厚,素有“京津门户”之称。土地面积为 12 573.85 km²,属于温带大陆性季风气候,该市年平均降水量为 500~850 mm,降水时空分布不均,多集中于 6—8 月。大连地区河流属于黄海、渤海两大水系。河网发达,大小河流约 200 多条,河流多属季节性河流,水资源主要靠大气降水补给,水资源总量受汛期影响较大^[7]。大连目前供水主要靠“引英入连”和“引碧入连”工程完成,截止到 2013 年大连市水资源总量为 53.29 亿 m³,年人均用水量为 273 m³,仅为全国年人均用水量的 1/4^[8]。由于人口数量逐年增加,大连市成为中国严重缺水城市之一。

1.2 研究方法

1.2.1 可变模糊评价法 可变模糊评价法是以工程模糊集理论为基础,通过评价指标特征值 X 和标准值 Y 以及 I_{ab} , I_{cd} 和 M 点值的确定,求得相对隶属度 $\mu_A(x)$ 、相对差异度 $D_A(u)$ 。确定权重 w 后,通过对参数 α 和 p 进行多组选取来计算不同年份水资源承载力的评价价值。计算方法及步骤详见文献[9-11],此处不再赘述。

1.2.2 因子分析 因子分析是用少数几个因子去描述许多指标或因素之间的联系,即将相关比较密切的几个变量归在同一类中,每一类变量就成为一个因子,以较少的几个因子反映原资料的大部分信息。将评价指标标准化处理后,运用 Statistical Product and Service Solutions (SPSS) 软件中的因子分析提取主因子,得出各因子的方差贡献率和累计方差贡献率。累计方差贡献率达 85% (即提取的因子能够反映原有变量的大部分信息,丢失信息较少)的因子即为主因子。通过得到的各评价因子的方差贡献率(e_i)和主评价因子的贡献率(f_i)^[12],计算各指标因子的权重。计算公式如下:

$$W_j = \sum_{i=1}^m \beta_{ij} e_i / \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^m \beta_{ij} e_i \quad (1)$$

$$\beta_j = A_{1j} f_1 + A_{2j} f_2 + \dots + A_{mj} f_m \quad (2)$$

式中: β_{ij} 表示各评价因子的得分系数; $e_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i$; A_{mj} 代表第 m 个主因子对第 j 个变量的得分值 ($A_{mj} = |A_{mj}|$)。

1.3 评价指标的选取及等级划分

区域水资源承载力的影响因素众多,基本上可分为社会、经济、环境、生态、资源五大类^[13]。大连市水资源承载力评价指标的择取遵循以下原则:①以大连市为评价主体进行综合评价,兼顾自然和社会经济现状和发展前景、客观条件和利用管理水平;②选取的指标应能反映一定区域特性或区域差异;③着重加入能反映水资源可利用程度的指标和供需情况以及满足程度指标;④指标选取时要考虑指标的可得性;⑤评价指标体系必须是动态的,其指标随社会经济发展而变化^[14]。根据以上评价指标的择取要求,本文择取以下 8 个评价指标,各指标计算方法及意义见表 1。

表 1 各评价指标的计算方法及意义

Tab. 1 Calculating method and selection meaning of every evaluation index

影响因素	评价指标	指标计算方法	指标意义
水资源系统	供水模数(x_1)	供水量/区域面积	反映区域单位面积供水保障程度
	水资源利用率(x_2)	水资源利用量/水资源总量	反映区域水资源供需情况
	径流深(x_3)	统计数据	反映区域单位面积上流动水资源量
经济系统	工业用水重复利用率(x_4)	重复利用水量/用水总量	反映区域节能减排工作的执行力度
	万元 GDP 用水量(x_5)	用水总量/区域生产总值(万元)	反映区域经济发展与水资源利用的关系
社会系统	人均供水量(x_6)	供水量/人口总数	反映区域整体供水情况
	需水模数(x_7)	需水量/区域面积	反映区域单位面积需水程度
生态系统	生态用水率(x_8)	生态环境用水量/总水量	反映区域在生态建设对水资源的需求

将8个评价指标分为3个等级: V_1 级表示水资源承载状况较差,表明水资源承载力已经接近饱和值,开发潜力较小,水资源已制约国民经济的发展,继续供给和开发利用将导致水资源短缺; V_3 级表示现阶段水资源状况较好,仍有较大的开发和利用潜力,能满足基本需求; $V_3 > V_2 > V_1$,表明 V_2 水资源供给和开发利用已具相当规模,但仍有一定开发潜力。根据水资源承载力指标分级标准值的确定结合参考文献[15-16]的分级标准,并结合大连市水资源以及社会、经济等因素做出适当调整。各评价指标及其分级标准见表2。

2 水资源承载力等级评价分析与预测

2.1 大连市水资源承载力等级评价过程与分析

2.1.1 评价样本特征值向量的计算 根据2000—2013年《大连市水资源公报》^[17],2000—2013年的8个评价指标值见表3。根据表3的数据可构建评价指标特征值矩阵 X ;根据表2可建立标准值矩阵 Y 。

表3 2000—2013年大连市水资源承载力评价指标基础数据

Tab. 3 Basic data of 2000—2013 Dalian water resources carrying capacity evaluation

年份	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
2000	7.47	47.60	156.8	75	31	155.17	39.37	0.55
2001	7.21	67.34	131.8	75	26	142.13	40.82	0.58
2002	7.22	99.88	98.0	78	25	121.34	65.98	0.61
2003	8.25	69.31	126.3	80	38	135.08	44.07	0.62
2004	8.49	40.24	178.7	80	47	152.14	35.65	0.68
2005	8.75	28.23	237.5	84	51	184.45	21.33	0.71
2006	8.65	51.60	145.2	84	45	180.07	38.98	0.73
2007	9.26	39.99	180.3	85	39	190.37	30.21	0.77
2008	9.84	65.39	132.8	85	39	199.62	49.40	0.80
2009	10.83	99.77	118.0	85	32	217.08	75.37	0.78
2010	11.67	39.35	261.9	85	30	230.93	29.73	0.78
2011	11.88	40.27	251.9	85	29	232.35	27.74	0.79
2012	11.97	30.65	272.0	85	26	234.77	26.52	0.80
2013	12.03	29.63	288.6	85	25	236.18	23.38	0.80

2.1.2 区间 $[a, b]$, $[c, d]$ 矩阵 M 及点位置确定 根据2000—2013年大连市水资源承载力的评价指标特征值和标准值的矩阵可确定 M 点值。对于1级别而言, M 点的位置与区间内最小值重合;第2级别, M 点应取区间的中点;第3级别, M 点的位置与区间内最大值重合。结果如下矩阵所示:

$$I_{ab} = \begin{bmatrix} [100, 60] & [60, 10] & [10, 0] \\ [100, 75] & [75, 50] & [50, 0] \\ [0, 10] & [10, 160] & [160, 240] \\ [0, 50] & [50, 75] & [75, 100] \\ [60, 40] & [40, 20] & [20, 0] \\ [0, 200] & [200, 400] & [400, 500] \\ [100, 60] & [60, 10] & [10, 0] \\ [0, 2] & [2, 5] & [5, 9] \end{bmatrix} \quad I_{cd} = \begin{bmatrix} [100, 10] & [60, 0] & [10, 0] \\ [100, 50] & [75, 0] & [50, 0] \\ [0, 160] & [0, 240] & [10, 240] \\ [0, 75] & [0, 100] & [50, 100] \\ [60, 20] & [40, 0] & [20, 0] \\ [0, 400] & [0, 500] & [200, 500] \\ [100, 10] & [60, 0] & [10, 0] \\ [0, 5] & [0, 9] & [2, 9] \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 100 & 35 & 0 \\ 100 & 63 & 0 \\ 0 & 80 & 240 \\ 0 & 63 & 100 \\ 60 & 30 & 0 \\ 0 & 300 & 500 \\ 100 & 35 & 0 \\ 0 & 3.5 & 9 \end{bmatrix}$$

表2 大连市水资源承载力评价指标级别

Tab. 2 Evaluation of water resources carrying capacity level of Dalian

评价因素	V_1	V_2	V_3
供水模数($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	>60	10~60	<10
水资源利用率(%)	>75	50~75	<50
径流深(mm)	<0	0~160	>160
工业用水重复利用率(%)	<50	50~75	>75
万元GDP用水量($\text{m}^3 \cdot (\text{万元})^{-1}$)	>40	20~40	<20
人均供水量($\text{m}^3 \cdot (\text{人})^{-1}$)	<200	200~400	>400
需水模数($10^4 \text{ m}^3 \cdot (\text{km}^{-2})^{-1}$)	>60	10~60	<10
生态用水率(%)	<2	2~5	>5

2.1.3 相对差异度、相对隶属度计算 根据 I_{ab} 和 I_{cd} 与 M 点的位置关系计算出差异度 $D_A(u)$ 的值。建立 3 个不同级别的相对隶属度矩阵,本文以 $h=1$ 为例,当 $j=1,2,\dots,14$ 时,计算出 8 个指标相对隶属度 $\mu_A(x)$ 的值,并构成矩阵 U_1 ,

$$U_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.910 & 0.903 & 0.901 & 0.900 & 0.900 \\ 0 & 0.653 & 0.500 & 0.614 & 0 & 0.968 & 0 & 0.692 & 0.500 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.989 & 0.906 & 0.793 & 0.888 & 0.500 & 0.500 & 0.951 & 0.500 & 0.909 & 0.860 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 & 0.500 \\ 0.688 & 0.688 & 0.725 & 0.750 & 0.750 & 0.800 & 0.800 & 0.813 & 0.813 & 0.813 & 0.813 & 0.813 & 0.813 & 0.813 & 0.813 \\ 0.275 & 0.150 & 0.125 & 0.450 & 0.675 & 0.775 & 0.625 & 0.475 & 0.475 & 0.300 & 0.250 & 0.213 & 0.150 & 0.125 & 0.125 \\ 0.612 & 0.645 & 0.700 & 0.663 & 0.620 & 0.539 & 0.550 & 0.524 & 0.501 & 0.543 & 0.577 & 0.581 & 0.587 & 0.591 & 0.591 \\ 0.617 & 0.660 & 0.575 & 0.633 & 0.703 & 0.822 & 0.675 & 0.748 & 0.588 & 0.692 & 0.752 & 0.769 & 0.779 & 0.805 & 0.805 \\ 0.863 & 0.855 & 0.848 & 0.845 & 0.830 & 0.823 & 0.818 & 0.808 & 0.800 & 0.805 & 0.805 & 0.803 & 0.800 & 0.800 & 0.800 \end{bmatrix}$$

2.1.4 确定权重 根据 2000—2013 年大连市水资源承载力的评价指标特征值 X 的数据,将 8 个评价指标标准化后,利用 SPSS 对 8 个评价指标进行因子分析,结果见表 4。

由表 4 可知,前两个因子的累计贡献率已经达到 93.719%,超过 85%,即前两个因子能够反映大连市水资源承载力的大部分信息,因此选取前 2 个主因子来进行大连市水资源承载力的分析和计算。通过方差最大化旋转后得到因子载荷矩阵,结果见表 5。

表 4 评价因子的方差贡献率和累计方差贡献率

Tab. 4 Variance contribution rate and cumulative variance contribution rate of evaluation factors

因子	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
生态用水率	5.286	66.072	66.072
工业用水重复利用率	2.212	27.647	93.719
人均供水量	0.347	4.332	98.051
径流深	0.127	1.581	99.632
水资源利用率	0.022	0.280	99.912
需水模数	0.004	0.047	99.960
供水模数	0.003	0.040	100.000
万元 GDP 用水量	0	0	100.000

表 5 旋转后评价因子载荷矩阵

Tab. 5 Evaluation factor loading matrix after rotating

指标	成分	
	1	2
水资源利用率(u_2)	-0.055	0.993
生态用水率(u_8)	0.959	-0.050
需水模数(u_7)	-0.055	0.993
工业用水重复利用率(u_4)	0.863	-0.176
人均供水量(u_6)	0.962	-0.175
径流深(u_3)	0.498	-0.829
供水模数(u_1)	0.967	-0.224
万元 GDP 用水量(u_5)	-0.969	0.089

由表 5 可知,8 个变量在两个主因子中的荷载分布不同。其中第 1 个主因子与工业用水重复利用率(u_4)、人均供水量(u_6)、供水模数(u_1)有较高的荷载,对水资源承载力的影响比较显著,代表水资源状况和生态环境建设对水资源承载力的影响。第 2 个主因子与水资源利用率(u_2)、需水模数(u_7)有较高的荷载,代表经济发展水平和社会发展状况对水资源承载力的影响。旋转后两个因子的实际含义清晰,可用于权重计算。通过表 5 得到的载荷计算各评价指标($u_1 \sim u_8$)的权重分别为:

$$w = [0.090 \quad 0.184 \quad 0.120 \quad 0.085 \quad 0.116 \quad 0.099 \quad 0.184 \quad 0.123]$$

2.1.5 评价等级的计算 得出各指标对各级别的相对隶属度矩阵和综合相对隶属度向量后,根据 α 和 p 有 4 种组合形式,可得 2000—2013 年大连市水资源承载能力的评价等级,如表 6 所示。

表 6 2000—2013 年大连市水资源承载力评价等级

Tab. 6 Rating of water resources carrying capacity of Dalian in 2000—2013

年份	特征值				稳定范围	评价等级
	$\alpha=1, p=1$	$\alpha=1, p=2$	$\alpha=2, p=1$	$\alpha=2, p=2$		
2000	2.202	1.593	1.085	2.578	1.085~2.578	1~2
2001	2.182	1.464	1.198	2.534	1.198~2.534	1~2

(续表)

年份	特征值				稳定范围	评价等级
	$\alpha=1, p=1$	$\alpha=1, p=2$	$\alpha=2, p=1$	$\alpha=2, p=2$		
2002	2.100	1.450	1.159	2.351	1.450~2.351	1~2
2003	2.238	1.456	1.292	2.534	1.292~2.534	1
2004	2.158	1.581	1.062	2.509	1.062~2.509	1
2005	2.078	1.506	1.082	2.477	1.082~2.477	1
2006	2.047	1.329	1.209	2.456	1.209~2.456	1
2007	2.265	1.670	1.084	2.608	1.084~2.608	1~2
2008	2.336	1.454	1.372	2.570	1.372~2.570	1~2
2009	2.169	1.307	1.427	2.411	1.307~2.411	1~2
2010	2.270	1.509	1.162	2.637	1.162~2.637	1~2
2011	2.264	1.505	1.156	2.639	1.156~2.639	1~2
2012	2.112	1.496	1.104	2.616	1.104~2.616	1~2
2013	2.064	1.480	1.095	2.611	1.095~2.611	1~2

由表6可见:当 $\alpha=2, p=1$ 时,每年水资源承载力的特征值最低;当 $\alpha=2, p=2$ 时,每年特征值均为最高值。说明大连市水资源承载力在不同的距离参数 p 下评价结果差别较大。2000—2002年水资源承载力评价等级为1~2,而2003—2006年水资源承载力等级下降至1级。说明大连市从2003年开始水资源承载状况较差。这是由于大连市人口数量不断增加、社会经济不断扩展对水资源的需求逐年加大,再加上生态环境的恶化,水资源开发程度已达最大值,可供开发的水资源较少,不合理开发利用导致水资源短缺。2007年水资源承载力逐渐恢复,说明大连市对水资源的开发及利用进行了合理配置,先后进行引水入连、修建水库、加大力度保护生态环境等一系列措施,在全面提高全市所有产业的水资源利用率同时,逐渐提高水资源承载能力。

2.2 未来水资源承载力评价等级的预测

根据《大连市水资源配置及供水发展规划报告》和《大连市城市发展规划报告》^[18]中对几项评价指标的预测并结合水资源承载力计算模型,对2020年大连市水资源承载能力进行预测,结果见表7。

表7 2020年大连市水资源承载力预测评价

Tab. 7 Values of bearing capacity evaluation and prediction of water resources of Dalian in 2020

年份	特征值				稳定范围	评价等级
	$\alpha=1, p=1$	$\alpha=1, p=2$	$\alpha=2, p=1$	$\alpha=2, p=2$		
2020	2.008	1.887	1.609	2.880	1.609~2.880	2

由表7可见,在不断加强生态环境和经济发展并重的原则下,大连市逐步提升水资源承载能力,在未来5年内水资源承载力评价等级可达到并维持在2级以上。

3 结 语

(1)通过可变模糊评价模型4组不同参数下得到的水资源承载力级别特征值可以看出,参数变换后得到的级别特征值基本稳定在同一区间范围内,评价结果稳定,具有较高可信度。

(2)2000—2013年大连市水资源承载能力综合评价结果为1~2级,大连市水资源承载力经历了从适中变差,再恢复为适中的趋势,目前大连市的水资源开发利用程度已比较高。2020年大连市水资源承载力的预测评价结果为2级,说明大连市水资源通过各项合理配置和持续发展在未来5年内可使水资源承载力得

到稳定提高,并保障大连市水资源的可持续开发利用。

(3)对大连市目前的水资源承载力现状提出以下建议:大连市水资源供应能力较弱,继引碧流河和英那河入连之后,再无其他可利用水资源引入,应适当发掘中小型水源地开发能力,以保证水资源供应;大连市水资源分布不均,西南多于东北,应在供水管网等设施允许的基础上进行大连市内“南水北调”,从而达到水资源合理均衡配置;大连市应在节水同时加强非常规水的利用效率,如实施海水淡化、推进雨水收集利用工程的建设以及对生活用水重复利用等,实现集约化供水和合理节约用水。

参 考 文 献:

- [1] 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.(DUAN Chun-qing, LIU Chang-ming, CHEN Xiao-nan, et al. Preliminary research on regional water resources carrying capacity conception and method[J]. *Acat Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 82-90. (in Chinese))
- [2] 张永勇,夏军,王中根.区域水资源承载力理论与方法探讨[J].地理科学进展,2007,26(2):126-132.(ZHANG Yong-yong, XIA Jun, WANG Zhong-gen. Research on regional water resources carrying capacity theory and method[J]. *Progress in Geography*, 2007, 26(2): 126-132. (in Chinese))
- [3] 惠泱河,蒋晓辉,黄强,等.二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究[J].地理研究,2001,20(2):191-198.(HUI Yang-he, JIANG Xiao-hui, HUANG Qiang, et al. On system dynamic simulation model of water resources carrying capacity in duality model[J]. *Geographical Research*, 2001, 20(2): 191-198. (in Chinese))
- [4] 丁玲.乌鲁木齐河水污染现状与防治对策研究[D].乌鲁木齐:新疆医科大学,2010.(DING Ling. Comprehensive assessment of water quality and study on prevention measures of water pollution for Urumqi River[D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2010. (in Chinese))
- [5] 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.(MIN Qing-wen, YU Wei-dong, ZHANG Jian-xin. Fuzzy-based evaluation of water resources carrying capacity and its application [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(3): 14-16. (in Chinese))
- [6] 牛云格,王子茹.基于可变模糊集的东莞市水资源可持续利用协调能力评价研究[J].南水北调与水利科技,2011,9(2):37-40.(NIU Yun-ge, WANG Zi-ru. Evaluation of sustainable use coordination of water resources in Dongguan based on the variable fuzzy sets[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2011, 9(2): 37-40. (in Chinese))
- [7] 盖美,李伟红.基于可变模糊识别模型的大连市水资源与社会经济协调发展研究[J].资源科学,2008,30(8):1141-1146.(GAI Mei, LI Wei-hong. Variable fuzzy recognition applied to Dalian water resources and coordinated socio-economic development[J]. *Resources Science*, 2008, 30(8): 1141-1146. (in Chinese))
- [8] 周惠成,柴智平,何斌.基于可变模糊识别模型的大连市水资源承载能力研究[J].南水北调与水利科技,2011,9(2):46-51,59.(ZHOU Hui-cheng, CHAI Zhi-ping, HE Bin. Study on water resources carrying capacity in Dalian based on variable fuzzy recognition model[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2011, 9(2): 46-51, 59. (in Chinese))
- [9] 陈洁荣,郭瑜.区域水资源承载能力的模糊优选评判分析及其在张掖地区的应用[J].水利水电技术,2012,43(3):1-5.(CHEN Jie-rong, GUO Yu. Analysis of fuzzy optimized judgment of regional water resources carrying capacity and its application in Zhangye district[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2012, 43(3): 1-5. (in Chinese))
- [10] 陈守煜,胡吉敏.可变模糊评价法及在水资源承载能力评价中的应用[J].水利学报,2006,37(3):264-271.(CHEN Shou-yu, HU Ji-min. Variable fuzzy assessment method and its application in assessing water resources carrying capacity [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(3): 264-271. (in Chinese))
- [11] 曹永强,李香云,马静,等.基于可变模糊算法的大连市农业干旱风险评价[J].资源科学,2011,33(5):983-988.(CAO Yong-qiang, LI Xiang-yun, MA Jing, et al. Agricultural drought risk evaluation in Dalian based on the variable fuzzy method[J]. *Resources Science*, 2011, 33(5): 983-988. (in Chinese))
- [12] 邢军,孙立波.基于因子分析与模糊综合评判方法的水资源承载力评价[J].节水灌溉,2014(4):52-59.(XING Jun, SUN Li-bo. Evaluation of water resources carrying capacity based on factor analysis and fuzzy in comprehensive evaluation[J]. *Water Saving Irrigation*, 2014(4): 52-59. (in Chinese))
- [13] 胡吉敏.沿海地区水资源承载力评价研究[D].大连:大连理工大学,2008.(HU Ji-min. Study on evaluation of water resources carrying capacity in coastal regions[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese))

- [14] 惠泱河, 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. (HUI Yang-he, JIANG Xiao-hui, HUANG Qiang, et al. Research on evaluation index system of water resources carrying capacity[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(1): 30-34. (in Chinese))
- [15] 王研, 何士华. 多目标层次分析法评价区域水资源可持续利用[J]. 云南水力发电, 2004, 20(1): 5-8. (WANG Yan, HE Shi-hua. Evaluation of sustainable use of regional water resources using the method of multipurpose and multilevel analysis[J]. Yunnan Water Power, 2004, 20(1): 5-8. (in Chinese))
- [16] 宋松柏, 蔡焕杰, 徐良芳. 水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(5): 648-652. (SONG Song-bai, CAI Huan-jie, XU Liang-fang. Indicators system for region sustainable water resources utilization and its assessing methods[J]. Advances in Water Science, 2003, 14(5): 648-652. (in Chinese))
- [17] 大连市水务局. 大连市水资源公报(2000—2013)[R]. 大连: 大连市水务局. (Dalian Municipal Water Affairs Bureau. Dalian city water resources bulletin(2000—2013)[R]. Dalian: Dalian Municipal Water Affairs Bureau. (in Chinese))
- [18] 大连市城市规划课题小组. 大连市城市发展规划报告(2003—2020)[R]. 大连. (Dalian City Planning Task Group. Dalian city development planning report(2003—2020)[R]. Dalian. (in Chinese))

Analysis of carrying capacity of water resources in Dalian based on variable fuzzy assessment method

CAO Yong-qiang, ZHU Ming-ming, ZHANG Liang-liang, GAO Lu

(School of Urban Planning and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Taking a gross amount of water resources, water supply, water demand, land area and population census in Dalian city as the basic data, making references to the analyses of various index systems of the water resources in China, and based on the water resources, social economy and ecological environment in the region, an evaluation index system for the carrying capacity of water resources in Dalian city has been developed in this paper. Using SPSS factor analysis to determine the weight of the evaluation index combined with a fuzzy variable assessment model, the carrying capacity of water resources in Dalian city from 2000 to 2013 has been comprehensively evaluated. And by the aid of the basic data collection and processing, prediction and assessment of the carrying capacity of water resources in Dalian city in 2020 have been made too in this study. The analysis results of this study show that the cumulative variance contribution rate of two factors of water-use for environment and repeated utilization of industrial water has reached 85%, which can reflect the major carrying capacity of water resources in Dalian city, so as to calculate the weight. It is found from the variable fuzzy assessment method that the rating of the carrying capacity of water resources in Dalian city from 2000 to 2013 is Grade 1 ~ Grade 2, which indicates a considerable development scale in the utilization of the water resources in recent fourteen years. The supply-demand of water resources can basically meet the requirements of development of the social economy and ecological environment in Dalian city. It is necessary to strengthen the water resources management and utilization of water resources, and improve the carrying capacity of water resources in order to ensure the sustainable supply of water resources. The rating of the carrying capacity of water resources in Dalian city in 2020 is predicted and evaluated to be Grade 2, which means that a strategic target in stable development of the water resources shall be gradually maintained and the sustainable development and utilization of water resources in Dalian city basically kept in the next few years.

Key words: carrying capacity of water resources; variable fuzzy assessment method; factor analysis