

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2017.04.001

基于熵权 TOPSIS 法的大连市水贫困评价 及障碍因子分析

孙才志^{1,2}, 吴永杰¹, 刘文新²

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029;

2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029)

摘要:以水贫困理论为基础,从资源、设施、能力、使用和环境5个方面构建了大连市水贫困评价指标体系,采用熵权 TOPSIS 法对大连市 2006—2015 年的水贫困状况进行综合评估,并通过障碍度模型剖析阻碍水贫困问题解决的障碍因子。结果表明:研究期内大连市水贫困状况逐步好转,综合评价价值从 0.249 上升到 0.314;水贫困最严重的地区是金州区、旅顺口区 and 长海县;影响全市水贫困的普遍性障碍指标依次为公共厕所量、自来水受益村数、建成区绿地覆盖率、地表水供给量、地下水供给量和年末从业人员比例。障碍因子的诊断揭示水贫困治理的短板因素,有利于促进大连市水资源的可持续发展。

关键词:水贫困评价;熵权 TOPSIS 法;障碍度;障碍因子;大连市

中图分类号:TV213.4

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2017)04-0001-08

Application of TOPSIS method based on entropy weight to water poverty evaluation and obstacle indicator diagnoses for Dalian City

SUN Caizhi^{1,2}, WU Yongjie¹, LIU Wenxin²

(1. College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;

2. Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development,
Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Based on the water poverty theory, the water poverty assessment indicator system for Dalian City was developed in respect to five components (resources, facilities, capacity, utilization, and environment). The improved TOPSIS method based on entropy weight was used to evaluate the water poverty status in Dalian City from 2006 to 2015, and the obstacle model was used to analyze the obstacle indicators. The results indicated that, the water poverty situation in Dalian City was improving in the study period, and the comprehensive evaluation value increased from 0.249 to 0.314; the Jinzhou District, Lyushunkou District, and Changhai County had the most serious water poverty; the general obstacle indicators that affected the water poverty in Dalian City included the number of sanitary toilets, the number of villages supplied with tap water, the proportion of vegetation coverage area, surface water availability, groundwater availability, and the percentage of employment at the end of a year. Through diagnoses of the obstacle indicators, the existing problems of water poverty control were found out, which could help to promote the sustainable development of water resources in Dalian City.

Key words: water poverty assessment; entropy-TOPSIS; obstacle degree; obstacle indicators; Dalian City

大连市是北方水资源严重短缺的沿海城市之一,水资源总量少,且时空分布不均匀。全市多年平均水资源量为 31.09 亿 m^3 ,人均水资源量仅为 465 m^3 ,不足全国人均水平的 1/4。近年来,随着旅游业的发展、沿海城市人口的增加、城市化进程加快及人民生活水平的提高,全市的用水结构发生很大变化,水资源供需矛盾也在加剧。为全面评估大连市的水资源状况,并给市内经济和社会活动提供安全的水资源环境,建立一个科学合理的水资源评估体系是十分必要的。

传统的水资源评价限制在水文工程领域,未考虑与社会经济的联系,也缺少一个简单易行、从多方面宏观测度某地区缺水状况的综合评价指标和方法。2002 年,英国生态与水文研究中心(Center for Ecology and Hydrology, CEH)研究员 Sullivan 等^[1]提出水贫困指数(water poverty index, WPI)的概念。该指数从资源、设施、能力、使用和环境等 5 个方面考虑,使人们对于水资源的可获得性、用水能力及其对环境的影响之间的关系有了更系统、更科学的理解^[2];其后,CEH 提出水资源财富指数(water wealth index)^[3]和气候脆弱性指数(climate vulnerability index)^[4],从增加粮食、健康、生产力状况等因素的角度扩充水贫困理论;王雪妮等^[5]建立加拿大水资源可持续利用指数(Canadian water sustainability index),使水贫困理论在社区尺度得到应用;Ricard 等^[6]将 Bayes 理论引入 WPI 体系,运用网络方法进行数据分析。在我国,曹建廷等^[7-8]对水贫困概念及其演变过程和评价方法做了介绍;邵薇薇等^[2,9]利用 WPI 指标体系对中国主要流域的水贫困状况进行评估研究;孙才志等^[10]从增加社会适应能力指标角度对我国省际水贫困的空间关联格局进行实证分析。确定 WPI 指标权重的方法主要有层次分析法、熵值法、主成分分析法、主客观综合赋权法等。综上,水贫困评价的概念不断得以完善,量化方法的研究也呈现多样化发展趋势。

水贫困是一个从低值向高值演变的过程,对其发展状况进行评价时,可为不同时期的发展状况设定理想解,通过综合测度评价指标与理想解的距离来评价水贫困状况。TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)模型可实现这一目标,但传统 TOPSIS 模型各评价指标权重相同,无法体现指标的相对重要性。基于此背景,本文结合已有的 WPI 理论的研究成果和大连市实际情况,运用熵权改进的 TOPSIS 模型对大连市 10 个地区的水贫困现状进行综合评价,并借助障碍度模型剖析影响水贫困的障碍性指标,以期为大

连市水贫困治理提供参考。

1 研究方法

1.1 WPI 评价指标体系的建立

WPI 是一组可以定量评价国家或地区间相对缺水程度的综合性指数。它从一般贫困理论出发,将水资源短缺问题从水文工程领域扩展到社会经济领域,将水资源的开发、利用和管理以及人们利用水资源的能力、权利和生计影响有机地结合起来,创造了比较独特的研究视角,研究成果可为水资源综合管理提供理论依据,并通过综合管理,实现人水和谐共生的目的^[10]。该指数具体包括水资源禀赋、供水设施、利用能力、使用状况及环境状况 5 个组成部分。其中,水资源禀赋指可以被利用的地表与地下水资源量及其可靠性或可变性;供水设施指自来水及灌溉的普及率等,考虑国家或地区的基本需水和卫生需水,反映社会大众接近清洁水源的程度以及用水的安全性;利用能力综合考虑基于教育、健康及财政状况等方面的水管理能力,反映社会经济状况对水行业的影响;使用状况综合反映生活、工业和农业各部门的用水情况;环境状况反映与水资源管理相关的环境情况,包括水质及生态环境可能受到的潜在压力等。这 5 个组分分别对应 WPI 的 5 个子系统,每个子系统包含一系列的指标。不同的研究尺度中各组成部分选取的指标有所区别^[7-8],在较大的研究尺度上,常选取相对宏观的指标分析研究区水资源状况;在较小的研究尺度上,选取微观的指标,详细真实地透视区域间的缺水程度。

1.2 熵权 TOPSIS 法

熵权法是一种根据各评价指标提供的信息确定其权重的客观赋权方法。TOPSIS 法是系统工程学中常用的多目标系统决策方法,其基本原理是通过构造决策问题中各指标的最优解和最劣解,计算各评价对象与最优解的接近程度和最劣解的远离程度,进而实现评价样本的优劣排序。熵权 TOPSIS 法是对传统 TOPSIS 法的改进,先由熵权法确定评价指标的权重,再使用 TOPSIS 法的逼近理想解的原理确定评价对象的相对优劣^[11-13]。利用 TOPSIS 法进行样本评价,对各指标的赋权是重要的环节。为避免主观因素的影响,本文采用信息熵法确定指标的权重,熵权 TOPSIS 法的主要计算步骤如下^[14-15]:

步骤 1: 评价矩阵的构建及标准化。假设被评价对象有 m 个,每个被评价对象的评价指标有 n 个,构建判断矩阵: $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$ ($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$),由于指标之间存在量纲的限制,所

以在进行水贫困评估之前,对指标进行标准化处理。正向指标的标准化公式为

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

逆向指标的标准化公式为

$$x'_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中: x'_{ij} 为标准化后第 i 个样本的第 j 个指标值; $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别为同一指标下的最大值和最小值。

步骤 2: 信息熵确定指标的权重。根据标准化的矩阵 $\mathbf{X}' = (x'_{ij})_{m \times n}$ 计算信息熵 H_j :

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (3)$$

其中

$$p_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^m x'_{ij}$$

$$k = 1 / \ln m$$

根据数据的变异程度计算指标 j 的差异性度 $G_j = 1 - H_j$, 其值越大表示指标 j 的差异度越大, 指标提供的信息量越大, 指标 j 的权重也越大。定义指标 j 的权重为

$$\omega_j = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^n G_j} \quad (4)$$

式中, $\omega_j \in [0, 1]$, 且 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。

步骤 3: 根据加权标准矩阵确定最优解。由权重 ω_j 和标准化矩阵 $\mathbf{X}' = (x'_{ij})_{m \times n}$, 计算加权标准化决策矩阵 $\mathbf{A} = (a_{ij})_{m \times n}$, 其中 $a_{ij} = \omega_j x'_{ij}$ 。因各指标均进行了标准化处理, 分别用加权标准化矩阵中各指标的最大值和最小值表示最优解 $\mathbf{A}^+ = (a_j^+)_{1 \times n}$ 和最劣解 $\mathbf{A}^- = (a_j^-)_{1 \times n}$, 其中, $a_j^+ = \max(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$, $1 \leq i \leq m$; $a_j^- = \min(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$, $1 \leq i \leq m$ 。

步骤 4: 计算评价对象与最优解的距离。采用欧式距离法计算评价对象与最优解、最劣解的距离 D_i^+ 和 D_i^- , 其中, $D_i^+ = \left[\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^+)^2 \right]^{1/2}$, $D_i^- = \left[\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^-)^2 \right]^{1/2}$ 。 D_i^+ 和 D_i^- 从不同角度表示评价对象的结果, D_i^+ 越小表示评价对象与最优解越接近, D_i^- 越大表示评价对象越远离最劣解, 评价结果越好。

步骤 5: 计算各评价对象的相对贴近程度。为综合 D_i^+ 和 D_i^- 两个指标反映的评价对象的状况, 采用相对贴近度 C_i 描述。 $C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$, $0 \leq C_i \leq 1$, $i = 1, 2, \dots, m$; C_i 越大表示第 i 个样本与最优解越贴近。

1.3 障碍度模型

在水贫困的评价中, 不仅要对地区间水贫困现状进行测度, 更具有实践意义的问题在于了解不同地区解决水贫困问题的阻碍因素, 以便对地区间的水贫困进行病理性诊断。因此, 本文将障碍度模型^[11, 14, 16]引入水贫困分析, 对大连市水贫困展开延伸性研究, 探寻影响大连市水贫困的主要障碍因子。

障碍度计算采用因子贡献度、指标偏离度和障碍度 3 个指标进行分析诊断: ①因子贡献度即单个因素对总目标的贡献程度, 用单个因素的权重 ω_j 表示; ②指标偏离度 I_{ij} 是指单因素指标与系统发展目标的差距, 其中, $I_{ij} = 1 - x_{ij}$, 此处设为单项指标标准化值与 100% 之差; ③障碍度 O_{ij} 为单项指标或准则层因素对农村水贫困灾害风险的影响程度, 计算公式为

$$O_{ij} = I_{ij} \omega_j / \sum_{j=1}^n I_{ij} \omega_j \quad (5)$$

2 实证研究

2.1 研究区概况

大连市属于辽宁省管辖, 是我国东北部的一个沿海城市。全市包括中山区、西岗区、沙河口区、甘井子区、旅顺口区、金州区、瓦房店市、普兰店区、庄河市、长海县 10 个区市(县), 总面积为 12 573.85 km², 总人口 594.3 万人。随着旅游业和沿海港口运输业的发展, 大连市的旅游接待能力和高效能的现代化港口建设能力也在稳步增强^[17-18]。

大连市位于辽东半岛最南端, 三面环海, 海岸线绵长; 地貌多山地丘陵, 地势北高南低, 滨海岩溶地貌形态较发达; 紧邻海洋, 属暖温带半湿润大陆性季风气候, 又具海洋性气候特点。全市年平均气温 10.5℃, 年降水量 550~950 mm, 降水多集中于夏季。大连市的河网发育水平较高, 全市有碧流河、英那河、庄河等 200 多条大小河流, 但多属季节性河流, 汛期对水资源总量有较大影响^[19-20]。

2.2 数据来源

本文建立的大连市水贫困评价指标体系共涉及 5 个子系统 23 个指标, 指标中的数据均来源于《大连市水资源公报》(2006—2015 年), 《大连统计年鉴》(2007—2016 年), 《大连市国民经济和社会发展统计公报》(2007—2016 年), 《中国海洋统计年鉴》等, 部分指标数据根据地方统计年鉴或大连市水务局、水文水资源局等官网数据进行综合

处理所得。

2.3 研究区 WPI 评价指标体系

运用 WPI 指数评价大连市水资源短缺状况,必须更全面地考虑大连市的实际情况。前人关于 WPI 指标体系选取的研究成果^[1-3,6-8,10]已经相对丰富完善,然而考虑到本文的研究角度,在水资源总量既定的前提下,本文对大连市水贫困评价指标的选取参照 WPI 的指标体系,主要遵循科学性、特殊性、易获得性、合理性等原则,同时,为了使本文更科学、真实地反映大连市水贫困的现状,在选取能反映一个地区水贫困状况的基本指标的前提下,还适当选用了一些能反映作为沿海地区的大连市水贫困特有的一些指标,如海水淡化量、海水入侵面积等指标,以期得出的结果能客观反映大连市水贫困的实际状况。

以 WPI 为框架,结合大连市的实际情况,构建大连市水贫困评价指标体系(表1)。该指标体系由资源、设施、能力、使用及环境5个子系统和23个指标组成。

表1 大连市水贫困评价指标体系与权重

目标层	准则层	指标层	指标属性	熵值	指标权重
大连市水贫困评价指标体系	资源(R)	地表水供水量(R_1)/万 m ³	正向	0.8227	0.0569
		地下水供水量(R_2)/万 m ³	正向	0.7118	0.0938
		其他水源供水量(R_3)/万 m ³	正向	0.4505	0.1753
		降水量变化率(R_4)/%	负向	0.9987	0.0004
	设施(A)	人均供水管道长度(A_1)/m	正向	0.6155	0.1248
		自来水受益村数比例(A_2)/%	正向	0.9698	0.0098
		农业机械(A_3)/kW	正向	0.5597	0.1430
		公共厕所量(A_4)/座	正向	0.9084	0.0297
	能力(C)	人均 GDP(C_1)/万元	正向	0.9215	0.0255
		人均家庭收入(C_2)/元	正向	0.9795	0.0067
		年末从业人员比例(C_3)/%	正向	0.8564	0.0467
		教育支出(C_4)/元	正向	0.8557	0.0473
		医院床位(C_5)/床	正向	0.9372	0.0204
	使用(U)	农业灌溉用水量(U_1)/万 m ³	负向	0.9709	0.0093
		工业用水量(U_2)/万 m ³	负向	0.9660	0.0108
		林牧渔畜用水量(U_3)/万 m ³	负向	0.9864	0.0046
		生态用水量(U_4)/万 m ³	负向	0.9582	0.0139
		人均生活用水量(U_5)/m ³	负向	0.9589	0.0134
	环境(E)	污水处理率(E_1)/%	正向	0.9808	0.0062
		年污水排放量(E_2)/万 m ³	负向	0.9437	0.0184
		农药和化肥使用量(E_3)/t	负向	0.9113	0.0288
		海水入侵面积(E_4)/km ²	负向	0.9520	0.0156
		建成区绿地覆盖率(E_5)/%	正向	0.6960	0.0987

注:其他水源供水量主要指污水处理回收、雨水回收和海水淡化的水资源量。

2.4 结果与分析

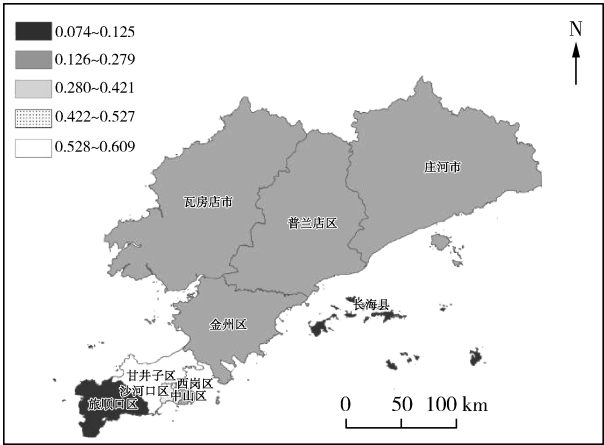
2.4.1 大连市水贫困评价的权重和综合得分分析

根据2006—2015年大连市10个区市(县)各评价指标的统计数据,采用熵权法确定权重(表1)。指标层中某项指标的最优解和最劣解之间的差值越大,变异程度越大,其熵值越小,说明该项指标提供越多有用的信息,从而权重越大。反之指标的熵值越大,熵权就越小。在指标权重中,地表水供水量、地下水供水量、其他水源供水量、人均供水管道长度、农业机械所占权重最大(>0.05),反映了水资源禀赋和取水设施是影响大连市水贫困的基本因素。公共厕所量、人均GDP、年末从业人员比例、教育支出、医院床位、工业用水量、生态用水、人均生活用水量、年污水排放量、农业和化肥使用量、海水入侵面积所占的权重也较大(>0.01),说明社会经济发展水平、生活与生产用水量、水资源污染状况和海水入侵面积对大连市水贫困状况也有较大影响。而降水量变化率、自来水受益村数比例、人均家庭收入、农业

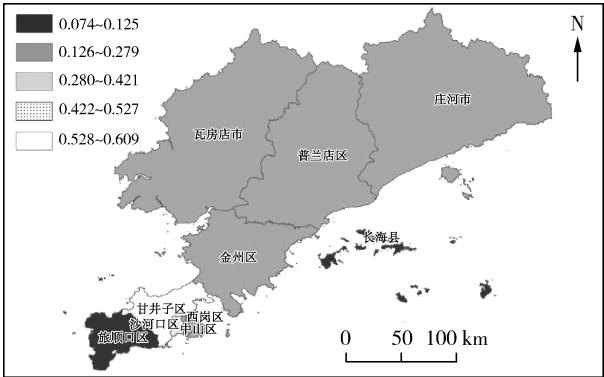
灌溉用水量、林牧渔畜用水量、污水处理率所占比重最小(<0. 01),说明这几项指标在不同地区间分布相对均衡,包含的信息量较小,同时也说明这几项指标是缓解水贫困问题的潜力因子。

在熵权分析基础上按照 TOPSIS 法计算大连市各地区水贫困状况综合得分,结果见表 2。其中水贫困程度与最优解 D_i^+ 的距离越小越好,离最劣解 D_i^- 的距离越大越好,相贴进度 C_i 越大越好。由表 2 可知,2006—2015 年期间全市多数地区水贫困综合评价得分均有不同程度的提升,平均综合评价值从 2006—2008 年的 0. 249 上升到 2013—2015 年的 0. 314,绝对增长幅度为 0. 065,相对增长率达 26%;2006—2008 年高于全市水贫困平均值的地区有 2 个,2013—2015 年高于全市水贫困平均值的地区有 6 个;采用标准差和变异系数对研究期间全市的水贫困水平进行分析,结果显示全市水贫困水平的标准差和变异系数分别从 2006—2008 年的 0. 150 和 0. 601 下降到 2013—2015 年的 0. 124 和 0. 395,这突出体现了大连市水贫困状况整体呈现好转且绝对差异和相对差异均呈减小的趋势。

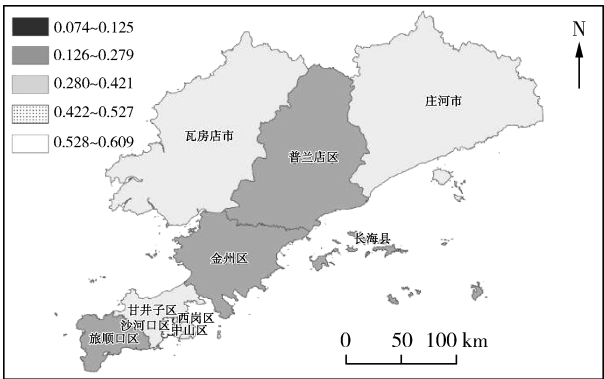
由图 1 可见,大连市各地区水贫困评价价值总体呈上升趋势。2014 和 2015 年甘井子区地下水供给量显著减少,且污水排放量逐年增加,导致该区 2013—2015 年的水贫困平均值相比 2006—2012 年下降幅度较大。甘井子区、西岗区、沙河口区和旅顺口区的综合评价指数在 2009—2012 年出现小幅下降,主要是地表水供水量,工业用水量,人均生活用水量,农药和化肥使用量等指标数据存在波动造成的。从空间分布来看,大连市水贫困最严重的地区是金州区、旅顺口区和长海县,原因在于水资源自然禀赋差,且经济发展水平低。水贫困风险最小的地区是甘井子区、沙河口区和西岗区。



(a) 2006—2008 年



(b) 2009—2012 年



(c) 2013—2015 年

图 1 大连市水贫困空间格局

表 2 大连市各地区水贫困评价结果

地区	D_i^+			D_i^-			C_i					
	a	b	c	a	b	c	a	排序	b	排序	c	排序
中山区	0. 252	0. 250	0. 163	0. 073	0. 080	0. 105	0. 224	6	0. 243	5	0. 336	6
西岗区	0. 244	0. 247	0. 153	0. 105	0. 092	0. 125	0. 302	3	0. 271	3	0. 406	2
沙河口区	0. 241	0. 243	0. 142	0. 149	0. 133	0. 181	0. 382	2	0. 355	2	0. 526	1
甘井子区	0. 155	0. 145	0. 170	0. 224	0. 226	0. 083	0. 592	1	0. 609	1	0. 382	3
旅顺口区	0. 277	0. 273	0. 202	0. 031	0. 027	0. 070	0. 100	9	0. 091	9	0. 146	9
金州区	0. 263	0. 259	0. 193	0. 049	0. 043	0. 088	0. 157	8	0. 143	8	0. 203	8
瓦房店市	0. 269	0. 262	0. 175	0. 082	0. 084	0. 142	0. 233	4	0. 243	6	0. 378	4
普兰店区	0. 270	0. 261	0. 188	0. 069	0. 080	0. 108	0. 204	7	0. 234	7	0. 277	7
庄河市	0. 270	0. 262	0. 182	0. 081	0. 084	0. 138	0. 230	5	0. 243	4	0. 356	5
长海县	0. 279	0. 274	0. 206	0. 022	0. 024	0. 064	0. 074	10	0. 080	10	0. 133	10

注:表格中的 a、b 和 c 分别表示 2006—2008 年、2009—2012 年和 2013—2015 年。因数据较多,表格仅列出 3 个研究期平均的综合评价价值。

2.4.2 水贫困评价的障碍因子诊断

水贫困问题是水资源禀赋、供水设施、利用能力、使用状况及环境状况 5 个组成部分综合作用的结果。为探究大连市水贫困问题的成因,对指标层各指标数据障碍度进行测算,厘清大连市水贫困问题的障碍因子,计算结果见表 3。由于指标层指标较多,按照障碍度大小,本文只列出障碍度排序前 8 位的因子。结果显示,影响大连市不同地区水贫困评价频数不小于 3 的障碍指标在资源、设施、能力、使用和环境系统中分布的比例分别是 12.5%、26.25%、18.75%、15% 和 16.25%。障碍指标分布的数据说明影响大连市水贫困问题的主要障碍指标在各子系统中分布相对均衡,各地区在应对水贫困问题时,应综合考虑多方面因素,统筹兼顾地实现各子系统的发展,实现水资源的可持续利用。

在众多水贫困评价指标中,具有普遍影响作用的(频数不小于 5)障碍指标依次为公共厕所量(A_3)、自来水受益村数比例(A_2)、建成区绿地覆盖率(E_5)、地表水供给量(R_1)、地下水供给量(R_2)和年末从业人员比例(C_3)。其中公共厕所量和自来水受益村数比例是设施组分的指标,说明部分地区,尤其是农村地区的公共卫生设施供给不足,生活用水得不到保障,同时也间接反映了居民公用事业方面的投资需要增加。地表水和地下水供给量是资源组分的指标,反映了水资源的供给不足会带来水贫困问题,在此组分中,应注重增加其他水资源供给量。年末从业人员比例属于能力组分,社会适应能力的提升能有效缓解水贫困问题,应增加就业机会,促进居民生活水平的提高。建成区绿地覆盖率属于使用组分的指标,在研究期内全市建成区绿地覆盖面积均在 43% 左右,人均公园绿地面积不足 12 m²。根据我国 GEJ 1337—90《城市用地分类与规划建设用地面积》的标准,人均绿地面积介于 8~15 m²,大连市土地绿化需要仍有很大提升空间。

大连市水贫困管理过程中存在普遍性问题,同时,不同地区影响水贫困解决的主要障碍指标也是不同的。市内 3 区(中山区、西岗区和沙河口区)障碍因子主要是资源和环境组分的指标。市内 3 区经济和社会发展水平高,高等学府集聚,政府调控能力强,工农业和生活用水设施齐全,水资源利用效率高,外调引水能力强。但市内 3 区面积仅占全市的 0.79%,人口却占全市的 22.08%,是大连市人口最密集的地区,这不仅给区域就业、教育和卫生条件等带来压力,也造成人均水资源量减少,使水资源安全使用受到威胁。经济飞速发展带动城市建设用地不断扩展,绿地面积不断减少,加上废污水排放量和农村地区化肥和农药的使用带来的水环境恶化,环境系统也是造成水贫困的阻碍力量。在研究期内,甘井子区的水贫困评价综合值最高,是全市水贫困问题最轻的地区,该区以设施组分的供水管道长度、公共厕所量和农业机械为主要障碍指标,其发展水平均未达到全市平均标准。瓦房店市、普兰店区和庄河市位于大连市的北部和东北部,占全市面积的 79.55%,是全市地表和地下水最丰富的地区,也是大连市重要的水源地。二市一区水贫困评价的障碍因子主要是设施组分和使用组分的指标,其中设施组分中主要的障碍指标是供水管道长度、自来水受益村数比例和公共厕所量,使用组分中农业灌溉、林牧渔畜和生态用水为主要障碍指标,二者反映二市一区水利基础设施薄弱,水资源使用效率低。旅顺口区、金州区和长海县是全市水贫困最严重的地区,主要以资源组分、设施组分和环境组分的指标为障碍因子。和全市其他区域相比,这些地区不仅水资源自然条件差,社会经济发展水平低,而且海水入侵面积大,在未来不仅要重点突破主要限制水贫困问题的因素,还应该 在逐渐提升水贫困得分的基础上,联系和整合其他系统的指标,稳步处理各组分发展的阻力,逐步缩小与低水贫困地区差距,解决本区域水贫困问题。

表 3 大连市水贫困评价指标层主要障碍因子及其障碍度

地区	1		2		3		4		5		6		7		8	
	x	O_{ij}	x	O_{ij}	x	O_{ij}	x	O_{ij}	x	O_{ij}	x	O_{ij}	x	O_{ij}	x	O_{ij}
中山区	E_3	32.927	U_4	27.254	E_5	14.905	A_2	12.462	R_2	12.277	C_4	12.002	C_1	11.745	R_1	11.168
西岗区	E_3	32.927	U_4	27.254	C_1	16.391	E_5	14.970	A_2	12.462	C_4	12.332	R_2	12.303	R_1	11.548
沙河口区	E_3	32.927	U_4	27.254	C_1	18.760	E_5	14.927	A_2	12.462	R_2	12.269	C_4	12.001	C_3	11.494
甘井子区	U_2	21.549	E_5	13.247	A_4	12.800	A_3	11.418	A_1	11.414	R_2	10.935	C_3	10.514	R_4	10.215
旅顺口区	A_4	14.456	C_5	13.339	E_5	13.003	A_3	12.184	A_1	12.147	R_1	11.806	R_2	11.528	C_2	10.989
金州区	E_4	30.925	A_4	12.568	A_3	12.147	A_1	12.112	E_2	10.770	R_1	10.743	C_5	10.709	R_3	10.230
瓦房店市	U_3	41.733	E_4	36.676	E_2	28.769	U_2	18.969	A_2	17.537	U_1	16.669	C_3	13.525	A_3	12.268
普兰店区	U_1	25.466	U_3	22.614	E_2	22.424	A_2	17.796	C_3	13.806	U_5	13.061	A_3	12.239	A_1	12.200
庄河市	U_1	48.562	E_2	29.411	U_2	22.117	U_3	16.272	E_1	15.185	A_2	14.572	C_3	14.402	A_3	12.286
长海县	E_1	22.166	C_5	15.887	A_4	15.541	E_5	14.434	C_1	13.056	R_1	12.432	A_3	12.169	U_5	12.314

注: x 表示障碍因子;表栏数字 1—8 表示排序位次。

3 结论和政策建议

3.1 结论

a. 为了科学地反映出大连市水贫困的实际情况,运用 WPI 构建了大连市水贫困评价指标体系,在指标选取上遵循普遍和特殊相结合的原则。借助障碍度模型剖析影响水贫困的障碍性指标,指出地表水供水量、地下水供水量、其他水源供水量、供水管道长度、农业机械等指标占有较大权重,是影响大连市水贫困的基础要素。

b. 2006—2015 年全市平均综合评价值从 0.249 上升到 0.314,绝对增长幅度为 0.065,相对增长率达 26%;高于全市水贫困最优贴进度平均值的地区从 2 个上升到 6 个;综合评价值的标准差和变异系数分别从 0.150 和 0.601 下降到 0.124 和 0.395。由此可见,大连市水贫困状况整体呈现好转且绝对差异和相对差异均呈减小的趋势。在空间分布上,全市水贫困最严重的地区是金州区、旅顺口区 and 长海县。

c. 从指标层障碍度看,普遍影响大连市水贫困状况的障碍指标(频数不小于 5)依次为公共厕所量(A_3)、自来水受益村数比例(A_2)、建成区绿地覆盖率(E_5)、地表水供给量(R_1)、地下水供给量(R_2)和年末从业人员比例(C_3)。

d. 影响大连市水贫困评价(频数不小于 3)的障碍指标在资源、设施、能力、使用和环境 5 系统所占的比例分别是 12.5%、26.25%、18.75%、15% 和 16.25%,说明影响大连市水贫困问题的主要障碍指标在各子系统中分布相对均衡,各地区在应对水贫困问题时,应统筹兼顾地实现各子系统的发展。

3.2 政策建议

a. 资源系统方面,坚持开源与节流并重的方针,在现有集雨工程的基础上,进一步普及城区雨水收集、渗透和储存利用;加强地下水资源开发和管理,建立监控网对地下水资源进行动态监控和规划;加大水资源开发力度,科学高效利用引碧、引英入连,大伙房输水入连,长海县跨海引水等蓄输水工程;积极引导中水处理和回收利用,严格规范中水回用工程的建设和管理;重视海水资源化工作,借助高新技术促进海水淡化发展。

b. 设施系统方面,增加具有节水功能的用水设备和产品的投资,增添自来水网管,提高用水普及率;对用水取水分散的农村地区,增加集中供水设施,提高供水普及率;有效监管生活用水设施,及时更换城镇漏损配套水管网,排查公园绿地灌溉设施等;增加农业区、林业区的灌溉设施投入,减少高耗

水农业水利的使用。

c. 能力系统方面,严格遵循大连市国民经济和社会发展“十三五”规划的指导方针,紧抓国家实施东北老工业基地振兴和辽宁沿海经济开发开放等战略机遇,优化产业结构,保障经济社会在新常态下平稳运行;科学分析自身优势资源,以此促进旅游、种植、生产制造等多渠道经济模式的发展;提供用工需求信息和岗前培训,增加就业机会,提高居民收入;增加教育、科技、卫生设施等方面的投资,提高基础社会生活保障。

d. 使用系统方面,遵循“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期水利工作方针,推进节水型社会建设,提高用水效率;优化水资源配置,完善区域、流域水资源统一管理体制。生活中,加强节水意识教育,促进行之有效的节水技术和节水器具的普及实施。农业用水方面,推广先进的节水灌溉技术,发展节水灌溉工程,引导农民利用绿色环保科技技术,发展农业循环经济。工业用水方面,在合理调整产业结构基础上,提高低耗水产业的比重;大力提倡清洁生产,减少污水排放;加强污水处理能力,提高水的重复利用率。

e. 环境系统方面,推广清洁生活和生产,减少污水排放;实施重点污染企业的远程、实时监控,鼓励企业淘汰污染严重的落后生产设备;加快污水管网铺设,尤其在居住分散的农村地区,应鼓励建立分散式污水处理设施,提高污水处理普及率;增加分散式污水处理设施,包括建设垃圾运转站、生活垃圾收集点等;强化水资源保护和管理,禁止污水直接排放入海;加强海水入侵控制及治理,控制海水入侵灾害危险区地下水资源开采量;科学规划城市建设用地,增加建成区绿地面积。

参考文献:

[1] SULLIVAN C. Calculating a water poverty index [J]. World Development, 2002, 30 (7) : 1195 -1210.

[2] 邵薇薇,杨大文. 水贫乏指数的概念及其在中国主要流域的初步应用 [J]. 水利学报, 2007, 38 (7) : 866-872. (SHAO Weiwei, YANG Dawen. Water poverty index and its application to main river basins in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38 (7) : 866-872. (in Chinese))

[3] SULLIVAN CA, MEIGH J R, GIACOMELLO A M. The water poverty index: development and application at the community scale [J]. Natural Resources Forum, 2003, 27 (3) : 189-199.

[4] CAROLINE K, LUND N J, ROLIGHED T T, et al. Ecophysiology of the filamentous Alphaproteo bacterium

- Meganema perideroedes in activated sludge [J]. Microbiology Ecology, 2005, 54(1): 111-122.
- [5] 王雪妮, 孙才志, 邹玮. 中国水贫困与经济贫困空间耦合关系研究[J]. 中国软科学, 2011(12): 180-192. (WANG Xueni, SUN Caizhi, ZOU Wei. Coupling relation analysis between water poverty and economic poverty in China [J]. China Soft Science, 2011(12): 180-192. (in Chinese))
- [6] RICARD G G, AGUSÍ P, FOGUET J L, et al. Application of Bayesian networks to assess water poverty [C]// II International conference on sustainability measurement and modeling. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), 2009.
- [7] 曹建廷. 水匮乏指数及其在水资源开发利用中的应用[J]. 中国水利, 2005(9): 22-24. (CAO Jianting. Water poverty index: a concise tool to evaluate the progresses in water resource utilization [J]. Chinese Water Resources, 2005(9): 22-24. (in Chinese))
- [8] 何栋材, 徐中民, 王广玉. 水贫困测量及应用的国际研究进展[J]. 干旱区地理, 2009, 32(2): 296-303. (HE Dongcai, XU Zhongmin, WANG Guangyu. Progresses in the international research on water poverty measure and application [J]. Arid Land Geography, 2009, 32(2): 296-303. (in Chinese))
- [9] 曹茜, 刘锐. 基于 WPI 模型的赣江流域水资源评价贫困评价[J]. 资源科学, 2012, 34(7): 1306-1311. (CAO Qian, LIU Rui. Assessment of water poverty in Ganjiang Basin based on WPI model [J]. Resources Science, 2012, 34(7): 1306-1311. (in Chinese))
- [10] 孙才志, 王雪妮. 基于 WPI-ESDA 模型的中国水贫困评价及空间关联格局分析[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1072-1082. (SUN Caizhi, WANG Xueni. Research on the assessment and spatial correlation pattern of water poverty in China based on WPI-ESDA model [J]. Resources Science, 2011, 33(6): 1072-1082. (in Chinese))
- [11] 鲁春阳, 文枫, 杨庆媛, 等. 基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断: 以重庆市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 535-541. (LU Chunyang, WEN Feng, YANG Qingyuan, et al. An evaluation of urban land use performance based on the improved TOPSIS method and diagnosis of its obstacle indicators: a case study of Chongqing [J]. Resources Science, 2011, 33(3): 535-541. (in Chinese))
- [12] 赵文亮, 陈文峰, 孟德友. 中原经济区经济发展水平综合评价及时空格局演变[J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1585-1591. (ZHAO Wenliang, CHEN Wenfeng, MENG Deyou. Evolvement of temporal-spatial pattern of economic development in central plain economic zone [J]. Economic Geography, 2011, 31(10): 1585-1591. (in Chinese))
- [13] 熊雪珍, 何新玥, 陈星, 等. 基于改进 TOPSIS 法的水资源配置方案评价[J]. 水资源保护, 2016, 32(2): 14-20. (XIONG Xuezheng, HE Xinyue, CHEN Xing, et al. Evaluation water resources allocation schemes based on improved TOPSIS [J]. Water Resources Protection, 2016, 32(2): 14-20. (in Chinese))
- [14] 余亮亮, 蔡银莺. 基于农户满意度的耕地保护经济补偿政策绩效评价及障碍因子诊断[J]. 自然资源学报, 2015, 30(7): 1092-1103. (YU Liangliang, CAI Yinying. Performance evaluation and obstacle indicator diagnoses of economic compensation for farmland protection policy based on farmers' satisfaction [J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(7): 1092-1103. (in Chinese))
- [15] 孟德友, 沈惊宏, 陆玉麒. 河南省县域交通优势度综合评价及空间格局演变[J]. 地理科学, 2014(3): 280-287. (MENG Deyou, SHEN Jinghong, LU Yuqi. Evolvement of spatial pattern of county level transportation superiority in Henan, China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2014(3): 280-287. (in Chinese))
- [16] 孙才志, 董璐, 郑德凤. 中国农村水贫困风险评价、障碍因子及阻力类型分析[J]. 资源科学, 2014, 36(5): 895-905. (SUN Caizhi, DONG Lu, ZHENG Defeng. Rural water poverty risk evaluation, obstacle indicators and resistance paradigms in China [J]. Resources Science, 2014, 36(5): 895-905. (in Chinese))
- [17] 大连市统计局, 国家统计局大连调查队. 大连统计年鉴 2015 [M]. 北京: 国家统计局出版社, 2016.
- [18] 大连市统计局. 2014 年大连市国民经济和社会发展统计公报 [M]. 北京: 国家统计局出版社, 2015.
- [19] 郎连和. 大连市水资源可持续利用的配置与评价方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [20] CHEN Lei, XU Linyu, XU Qiao, et al. Optimization of urban industrial structure under the low-carbon goal and the water constraints: a case in Dalian, China [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 114: 323-333.

(收稿日期: 2017-04-07 编辑: 徐娟)

声 明

本刊 2017 年第 2 期 74~78 页发表的“基于不同疏浚绞刀结构的底泥污染物释放情况分析”一文, 作者要求撤稿, 经审定, 同意撤销该论文, 并删除相关数据库中的数据, 终止传播, 特此声明。

《水资源保护》编辑部