

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.02.012

武汉城市圈水资源脆弱性评价

朱怡娟, 黄建武, 揭毅

(华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北 武汉 430079)

摘要: 在分析武汉城市圈水资源脆弱性成因的基础上, 基于 DPSIR 模型建立了评价水资源脆弱性的指标体系, 利用熵值法确定各指标的权重, 进一步运用模糊综合评价法对武汉城市圈水资源脆弱性进行了评价, 同时将其与湖北省水资源脆弱性进行了比较。结果表明, 武汉城市圈水资源脆弱性高于湖北省水资源的脆弱性, 存在着较多不安全因素。在空间分布上, 武汉城市圈水资源脆弱性差异较大, 表现出从东南向西北逐渐增大的趋势。提出了防治水污染、维护和完善水利工程施工、节约用水提高用水效率、加强水资源的统一规划和管理的建议。

关键词: 水资源脆弱性; DPSIR 模型; 熵值法; 定量评价; 武汉城市圈

中图分类号: TV213.4 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2015)02-0059-06

Evaluation on water resources vulnerability of Wuhan City Circle

ZHU Yijuan, HUANG Jianwu, JIE Yi

(College of Urban & Environment Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: After analyzing the cause of water resources vulnerability of Wuhan City Circle, we developed a water resources vulnerability evaluation index system based on the DPSIR model. We obtained weights of factors using entropy value method, and made an evaluation of water resource vulnerability of Wuhan City Circle with the fuzzy comprehensive evaluation method. We also compared the water resources vulnerability of Wuhan City Circle with that of Hubei province. The result indicates that water resources of Wuhan City Circle are more vulnerable and there are more insecurity factors. The spatial distribution of water resources vulnerability of Wuhan City Circle is different with the trend of increasing from southeast to northwest. We suggest that we should prevent and control water pollution, maintain and improve water conservancy facilities, save water and improve water use efficiency, and strengthen water resources planning and management.

Key words: water resources vulnerability; DPSIR model; entropy value method; quantifying assessment; Wuhan City Circle

水资源作为人类生存和发展必不可少的基础性自然资源, 在社会经济发展中发挥着不可替代的重要作用。近年来, 随着经济社会的发展进步, 人口的迅速增长以及城市化、工业化的加快推进, 人类对水资源的需求越来越大, 加上目前全球气候变化的大背景, 水资源系统出现了水资源短缺、水环境污染、水旱灾害频发等诸多问题, 水资源系统的脆弱性日益显著, 水资源系统的脆弱性已经成为影响人类社

会实现可持续发展的重要因素。

水资源脆弱性研究源于 20 世纪 60 年代法国学者 Albinet 和 Margot 对地下水资源脆弱性的研究^[1], 之后随着研究的深入, 水资源脆弱性研究的范围从地下水资源逐步延伸到地表水资源和整个水资源系统^[2-3], 并且还开展了全球气候变化背景下的水资源脆弱性研究^[4]。我国水资源脆弱性研究开始于 20 世纪 90 年代, 虽起步较晚, 但已取得了有关

基金项目: 国家自然科学基金 (31270378)

作者简介: 朱怡娟 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为自然资源开发与利用。E-mail: zyj900708@163.com

通信作者: 黄建武, 教授。E-mail: wgzjhjw@163.com

水资源脆弱性的概念、内涵和定量评价等方面的研究成果^[5-7],水资源脆弱性研究获得了较大发展。刘绿柳^[5]提出水资源脆弱性的概念为水资源系统易于遭受人类活动、自然灾害威胁和损失的性质和状态,受损后难于恢复到原来状态和功能的性质。并且,在分析其脆弱性内涵的基础上给出了水资源脆弱性定量评价的指标体系和评价方法。

武汉城市圈地处长江中游地区。目前,有不少关于武汉城市圈水资源方面的研究。如王鑫等^[8]运用水资源生态足迹的理论,定量研究了武汉城市圈 2003—2008 年水资源的生态状况。李长健等^[9]从可持续发展角度出发,分析武汉城市圈水生态环境的现状及其原因,提出了保护武汉城市圈水生态环境的途径。黄彧^[10]以 2010 年的数据定量评价了武汉城市圈的水资源承载力。目前,关于武汉城市圈的水资源脆弱性的研究未见报道。本文拟在全面分析武汉城市圈水资源脆弱性的原因的基础上,以 DPSIR 模型框架为基础,建立水资源脆弱性评价指标体系,运用熵值法和模糊综合评价法对武汉城市圈水资源系统的脆弱性进行评价,并且与湖北省的水资源脆弱性进行比较,最后根据评价结果,就降低武汉城市圈水资源脆弱性方面提出了建议,以期为武汉城市圈水资源的保护和合理开发利用提供一定参考。

1 研究区概况

武汉城市圈地处湖北省的东部地区,是以武汉为中心,包括其周边的黄石、鄂州、孝感、黄冈、咸宁、仙桃、潜江和天门在内的 9 个城市组成的区域,总面积为 58 052 km²。地质构造以新华夏构造为主,地势起伏不大,东北部和南部高,中西部低,东北部和南部为低山丘陵,中部和西部为面积广阔的江汉平原,平原面积约占区域总面积的 50%。城市圈地处亚热带,为亚热带季风性湿润气候,四季分明,日照充足,雨量丰沛,雨热同季。区域水系发达,河湖众多,境内河流主要为长江水系及其 18 条支流^[10],现有大小湖泊 170 个,武汉更是素有“百湖之市”的美誉^[9]。因降水丰富,河流湖泊众多,武汉城市圈水资源十分丰富,2012 年,水资源总量为 330.06 亿 m³,占湖北省水量的 40.6%,其中地表水资源量 313.53 亿 m³,地下水资源量为 84.44 亿 m³。

截至 2012 年年底,武汉城市圈常住人口达 3 062.85 万人,占全省常住人口的 53%,当年完成地区生产总值 13 883.58 亿元,占全省的 62.4%,人均地区生产总值达到 45 329 元,是湖北省经济发展的核心区域。

2 水资源脆弱性评价

2.1 成因分析

水资源脆弱性是指水资源系统易于遭受人类活动、自然灾害威胁和损失的性质和状态,受损后难于恢复到原来状态和功能的性质^[5]。武汉城市圈地处亚热带地区,虽然水热条件充足,但水资源的时空分配不均匀。从时间上来看,年内降水较为集中,主要在每年的 4—9 月,同时还存在着降水量的年际变化。从空间上来看,降水量从东南向西北逐渐减少。区域内平原面积广大,地势低平,易发生洪涝灾害,是历史上著名的“水袋子”。而西北部岗地相对坡度较大,降水量少,易发生旱灾。武汉城市圈是湖北省人口最密集、产业最发达的地区,虽然水资源总量丰富,但因人口较多,人均拥有水资源量的优势并不明显。随着工业化、城市化的发展,工农业生产和居民生活用水量加大,但节水意识淡薄,工农业耗水量大,使得用水效率不高,出现了水资源短缺的现象。同时废污水排放量大,河流湖泊水资源污染严重。由于城镇建设用地的需要等人为原因导致了湖泊减少和面积萎缩,使其对水资源的调蓄能力降低。周边水利设施虽较完善,但因多数设施年份久远,无法满足需要。

武汉城市圈水资源脆弱性成因由内部因素和外部因素构成。降水状况、地貌特征等因素是引起水资源系统脆弱的内部因素,也是水资源脆弱性的自然成因;生产生活用水、废污水的排放等人类活动是外部因素,是水资源脆弱性的主要诱因。人类活动与水资源系统协调发展,则水资源系统处于良好状态,反之,则导致水资源系统的脆弱性。

2.2 评价指标体系的建立

水资源系统是一个复杂开放的大系统,因此本文采用 DPSIR(driving forces-pressures-states-impacts-responses)概念模型来评价水资源系统的脆弱性。1993 年,DPSIR 模型由联合国首次提出^[11],目前多用于环境、资源等可持续发展评价^[12]。

以 DPSIR 模型为基础,依据系统性、科学性、可操作性的原则,结合实际情况和数据的可获取性,从驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个子模型选取了 17 项指标,建立了如图 1 所示的水资源系统脆弱性评价指标体系。驱动力子模型表征的是推动水资源发展变化的因素,主要采用的是社会经济发展、水资源的自然丰枯变化等方面的指标。压力子模型描述社会经济发展的各个部门对水资源的需求以及相应的水资源系统产生的副作用,主要是废污水的排放。状态子模型描述了系统满足人类生产生活用水需求

的能力和目前水资源的开发利用状况。影响子模型表征了在人为、自然因素等胁迫下系统遭受到的影响,以及受到影响的系统对国民经济和生态系统产生的影响。响应子模型描述了针对水资源系统的脆弱性所采取的工程措施和管理措施,如节水、水污染防治、水利工程建设等。

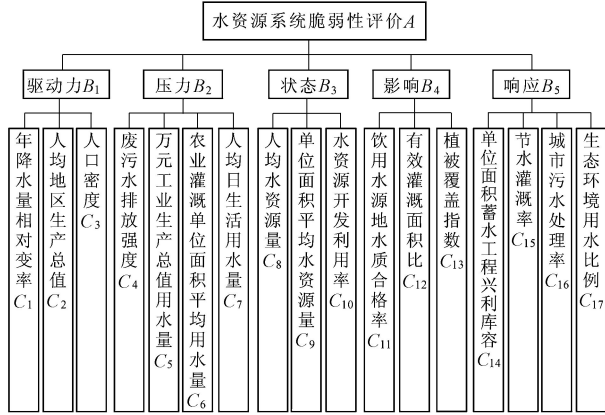


图1 水资源系统脆弱性评价指标体系

2.3 指标权重的确定

确定权重系数的方法有很多,概括起来有两种:主观赋权法和客观赋权法^[13]。主观赋权法存在主观因素,可能会造成评价结果因人的主观价值判断标准的差异而形成偏差。因此,本文采用客观赋权法——熵值法^[14]来确定各个指标的权重值。用熵值法确定指标权重的步骤如下:

第1步:设 $X_{ij}(i=1,2,\dots,n,j=1,2,\dots,m)$ 为第 i 个被评价对象的第 j 项指标的观测数据,计算第 j 项指标下第 i 个被评价对象的特征比重 P_{ij} 。

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad i=1,2,\dots,n,j=1,2,\dots,m \quad (1)$$

第2步:计算第 j 项指标的熵值 e_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (2)$$

式中: $k>0, k=\frac{1}{\ln n}, e_j \geq 0$; 规定当 $P_{ij}=0$ 时, $P_{ij} \ln P_{ij}=0$ 。

第3步:计算第 j 项指标的差异性系数 g_j 。

$$g_j = 1 - e_j \quad (3)$$

第4步:计算第 j 项指标的权重 w_j 。

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad j=1,2,\dots,m \quad (4)$$

2.4 水资源脆弱性模糊综合评价

a. 建立因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, 即 U 是 m 项评价指标组成的集合。

b. 建立评价集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 即 V 是 n 个被评价对象组成的集合。

c. 在因素集 U 与评价集 V 之间进行单因素评判,建立模糊关系矩阵 R , 即

$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: r_{ij} 表示因素集 U 中第 i 个因素 u_i 对应于评价集 V 中第 j 个等级 v_j 的隶属度; $0 \leq r_{ij} \leq 1, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n$ 。

脆弱性评价指标分为正向指标和逆向指标两种。正向指标表示指标的数据值越大,系统的脆弱性越大。逆向指标表示指标的数据值越大,系统的脆弱性越小,因此,隶属度 r_{ij} 的计算公式为

$$\text{正向指标: } r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (5)$$

$$\text{逆向指标: } r_{ij} = \frac{x_{i\max} - x_{ij}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (6)$$

式中: $x_{i\min}, x_{i\max}$ 分别表示第 i 项指标的最小值和最大值。

d. 建立评价因素的权重矩阵 W 。上文中通过熵值法可求得各项指标的权重 w_i , 那么可得模糊权重矩阵 W , 即

$$W = (w_i)_{1 \times m} = (w_1 \quad w_2 \quad \cdots \quad w_m) \quad (7)$$

e. 模糊综合评价。将模糊权重矩阵 W 与模糊关系矩阵 R 合成运算^[15] 即可得到模糊综合评价结果, 即

$$B = W \cdot R \quad (8)$$

2.5 数据来源

本文以2010年为评价年份,人均地区生产总值(C_2)、人口密度(C_3)的数据来源于《湖北统计年鉴2011》,有效灌溉面积比(C_{12})、单位面积蓄水工程兴利库容(C_{14})、节水灌溉率(C_{15})的数据来源于《湖北农村统计年鉴2011》,植被覆盖指数(C_{13})的数据来源于《2010年湖北省环境质量状况公报》,城市污水处理率(C_{16})的数据来源于《湖北建设年鉴2011》,年降水量相对变率(C_1)、废污水排放强度(C_4)、万元工业生产总用水量(C_5)、农业灌溉单位面积平均用水量(C_6)、人均日生活用水量(C_7)、人均水资源量(C_8)、单位面积平均水资源量(C_9)、水资源开发利用率(C_{10})、饮用水水源地水质合格率(C_{11})、生态环境用水比例(C_{17})的数据来源于《2010年湖北省水资源公报》。

3 结果与分析

3.1 结果计算

运用熵值赋权法,求得各个指标的权重值如

表 1 所示。生态环境用水比例 (C_{17})、单位面积蓄水工程兴利库容 (C_{14})、节水灌溉率 (C_{15}) 的权重值最高,分别为 0.2677、0.2039、0.1341。它们均是响应子模型下的指标,这表明,针对水资源系统的脆弱性,是否采取积极有效的措施是影响水资源系统脆弱性大小的最重要因素。同时,人均水资源量 (C_8)、单位面积平均水资源量 (C_9)、废污水排放强度 (C_4) 的权重值也较高,分别为 0.0567、0.0576、0.0468。人均水资源量和单位面积平均水资源量表征了水资源系统满足人类用水需求的能力,它们也是加剧水资源脆弱性的重要因素;废污水排放强度的权重值较高,说明因人类排放废污水对水资源系统产生的压力也是导致水资源系统脆弱性变大的

重要因素。

表 1 水资源脆弱性评价指标权重计算

指标	熵	权重	指标	熵	权重
C_1	0.9942	0.0054	C_{10}	0.9577	0.0391
C_2	0.9611	0.0359	C_{11}	0.9843	0.0145
C_3	0.9608	0.0362	C_{12}	0.9697	0.0280
C_4	0.9493	0.0468	C_{13}	0.9798	0.0186
C_5	0.9815	0.0171	C_{14}	0.7790	0.2039
C_6	0.9962	0.0035	C_{15}	0.8547	0.1341
C_7	0.9993	0.0006	C_{16}	0.9626	0.0345
C_8	0.9386	0.0567	C_{17}	0.7099	0.2677
C_9	0.9376	0.0576			

依据公式(5)、(6),相应地将各项指标进行处理,继而得到模糊关系矩阵 R :

$$R = \begin{bmatrix} 0.7647 & 0.6555 & 0.8515 & 0.7913 & 0.7941 & 1.0000 & 0.7689 & 0.1331 & 0.4594 & 0 \\ 1.0000 & 0.3361 & 0.5526 & 0.0615 & 0 & 0.1664 & 0.2511 & 0.3899 & 0.0344 & 0.3244 \\ 1.0000 & 0.3104 & 0.4523 & 0.3215 & 0.1142 & 0 & 0.2361 & 0.2461 & 0.3226 & 0.0643 \\ 0.7004 & 0.6381 & 1.0000 & 0.1763 & 0 & 0.0928 & 0.6141 & 0.6865 & 0.2246 & 0.0572 \\ 0 & 0.7481 & 0.7593 & 1.0000 & 0.6005 & 0.6390 & 0.7130 & 0.5537 & 0.4920 & 0.3212 \\ 0.3689 & 0.3835 & 0.4369 & 0.5825 & 0.7816 & 1.0000 & 0.0291 & 0 & 0.3301 & 0.2961 \\ 1.0000 & 0.1765 & 0.4510 & 0.1961 & 0 & 0.0588 & 0.3137 & 0.3137 & 0.3137 & 0.0784 \\ 1.0000 & 0.6310 & 0.7542 & 0.9961 & 0.6019 & 0 & 0.8275 & 0.8650 & 0.9601 & 0.6815 \\ 0.6862 & 0.2994 & 0.5564 & 0.9656 & 0.5264 & 0 & 0.8681 & 0.9364 & 1.0000 & 0.6760 \\ 0.8178 & 0.3323 & 0.7706 & 1.0000 & 0.1254 & 0 & 0.6333 & 0.7120 & 0.8520 & 0.2374 \\ 0.0882 & 0 & 0 & 0.5937 & 0 & 0.1000 & 0 & 0 & 1.0000 & 0.1300 \\ 0.1949 & 0 & 0.0979 & 0.2139 & 0.0653 & 0.0276 & 1.0000 & 0.4971 & 0.4126 & 0.0852 \\ 0.9185 & 0.3282 & 0.9131 & 0.7112 & 0.3128 & 0 & 0.8984 & 1.0000 & 0.8619 & 0.1639 \\ 0.8071 & 0 & 0.9395 & 0.6046 & 0.5008 & 0.6336 & 1.0000 & 1.0000 & 0.9487 & 0.4254 \\ 0.6646 & 0.9049 & 1.0000 & 0.8575 & 0.9002 & 0.8302 & 0.8174 & 0 & 0.7471 & 0.8277 \\ 0 & 0.1525 & 0.1460 & 0.1085 & 0.0288 & 0.1049 & 0.1586 & 0.3532 & 1.0000 & 0.1443 \\ 0 & 0.6971 & 1.0000 & 0.8198 & 1.0000 & 0.6847 & 0.4830 & 1.0000 & 1.0000 & 0.6476 \end{bmatrix}$$

根据模糊综合评价计算公式(8),可知水资源脆弱性模糊综合评价结果为

$$B = \begin{bmatrix} 0.0054 \\ 0.0359 \\ 0.0362 \\ 0.0468 \\ 0.0171 \\ 0.0035 \\ 0.0006 \\ 0.0567 \\ 0.0576 \\ 0.0391 \\ 0.0145 \\ 0.0280 \\ 0.0186 \\ 0.2039 \\ 0.1341 \\ 0.0345 \\ 0.2677 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 0.7647 & 0.6555 & 0.8515 & 0.7913 & 0.7941 & 1.0000 & 0.7689 & 0.1331 & 0.4594 & 0 \\ 1.0000 & 0.3361 & 0.5526 & 0.0615 & 0 & 0.1664 & 0.2511 & 0.3899 & 0.0344 & 0.3244 \\ 1.0000 & 0.3104 & 0.4523 & 0.3215 & 0.1142 & 0 & 0.2361 & 0.2461 & 0.3226 & 0.0643 \\ 0.7004 & 0.6381 & 1.0000 & 0.1763 & 0 & 0.0928 & 0.6141 & 0.6865 & 0.2246 & 0.0572 \\ 0 & 0.7481 & 0.7593 & 1.0000 & 0.6005 & 0.6390 & 0.7130 & 0.5537 & 0.4920 & 0.3212 \\ 0.3689 & 0.3835 & 0.4369 & 0.5825 & 0.7816 & 1.0000 & 0.0291 & 0 & 0.3301 & 0.2961 \\ 1.0000 & 0.1765 & 0.4510 & 0.1961 & 0 & 0.0588 & 0.3137 & 0.3137 & 0.3137 & 0.0784 \\ 1.0000 & 0.6310 & 0.7542 & 0.9961 & 0.6019 & 0 & 0.8275 & 0.8650 & 0.9601 & 0.6815 \\ 0.6862 & 0.2994 & 0.5564 & 0.9656 & 0.5264 & 0 & 0.8681 & 0.9364 & 1.0000 & 0.6760 \\ 0.8178 & 0.3323 & 0.7706 & 1.0000 & 0.1254 & 0 & 0.6333 & 0.7120 & 0.8520 & 0.2374 \\ 0.0882 & 0 & 0 & 0.5937 & 0 & 0.1000 & 0 & 0 & 1.0000 & 0.1300 \\ 0.1949 & 0 & 0.0979 & 0.2139 & 0.0653 & 0.0276 & 1.0000 & 0.4971 & 0.4126 & 0.0852 \\ 0.9185 & 0.3282 & 0.9131 & 0.7112 & 0.3128 & 0 & 0.8984 & 1.0000 & 0.8619 & 0.1639 \\ 0.8071 & 0 & 0.9395 & 0.6046 & 0.5008 & 0.6336 & 1.0000 & 1.0000 & 0.9487 & 0.4254 \\ 0.6646 & 0.9049 & 1.0000 & 0.8575 & 0.9002 & 0.8302 & 0.8174 & 0 & 0.7471 & 0.8277 \\ 0 & 0.1525 & 0.1460 & 0.1085 & 0.0288 & 0.1049 & 0.1586 & 0.3532 & 1.0000 & 0.1443 \\ 0 & 0.6971 & 1.0000 & 0.8198 & 1.0000 & 0.6847 & 0.4830 & 1.0000 & 1.0000 & 0.6476 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5166 & 0.4563 & 0.8255 & 0.6861 & 0.5899 & 0.4598 & 0.6776 & 0.7125 & 0.8189 & 0.4935 \end{bmatrix}$$

为了使评价结果更为直观,按照水资源脆弱性计算结果从高到低进行分级。目前,对水资源脆弱程度没有统一的评价标准,本文在参考相关文献^[6-7,12]的基础上,根据上述模糊计算结果提出水资源脆弱性评价标准,把脆弱性程度分为4级,分别为不脆弱、轻度脆弱、中度脆弱和重度脆弱(表2)。将上述计算求得的10个被评价对象的水资源脆弱性计算结果,依据表2的水资源脆弱性评价标准进行分级。

表2 水资源脆弱性评价标准

脆弱级别	评分标准	脆弱程度
1	<0.45	不脆弱
2	[0.45,0.65)	轻度
3	[0.65,0.80)	中度
4	≥0.80	重度

湖北省的水资源脆弱性评价分值为0.4935,脆弱性等级为2级,属于水资源轻度脆弱区,武汉城市圈的武汉、黄石、鄂州、孝感、黄冈、咸宁、仙桃、潜江和天门的水资源脆弱性评价分值分别为0.5166、0.4563、0.8255、0.6861、0.5899、0.4598、0.6776、0.7125、0.8189,武汉、黄石、黄冈、咸宁的脆弱性等级为2级,属于水资源轻度脆弱区,孝感、仙桃、潜江的脆弱性等级为3级,属于中度脆弱区,鄂州和天门的脆弱性等级为4级,属于重度脆弱区(表3)。

表3 水资源脆弱性评价分值

评价对象	评价分值	脆弱程度	评价对象	评价分值	脆弱程度
武汉	0.5166	轻度	咸宁	0.4598	轻度
黄石	0.4563	轻度	仙桃	0.6776	中度
鄂州	0.8255	重度	潜江	0.7125	中度
孝感	0.6861	中度	天门	0.8189	重度
黄冈	0.5899	轻度	湖北省	0.4935	轻度

3.2 结果分析

湖北省水资源脆弱性模糊综合评价分值为0.4935,属于轻度脆弱地区,武汉城市圈九个城市的水资源脆弱性评价分值分布集中在0.4563~0.8255之间(图2),平均值为0.6237;武汉、黄石、黄冈、咸宁为轻度脆弱区,孝感、仙桃、潜江为中度脆弱区,鄂州和天门为重度脆弱区。可以看出,湖北省和武汉城市圈的水资源均存在着脆弱性。这是因为

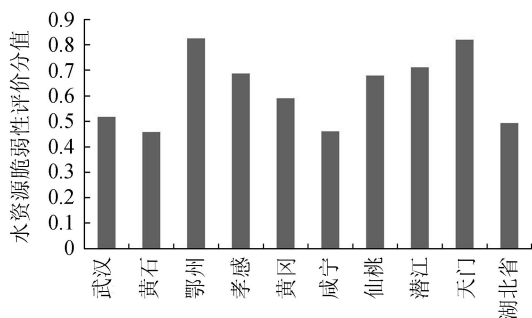


图2 水资源脆弱性模糊综合评价结果

尽管湖北省和武汉城市圈均位于亚热带湿润季风气候区,降水丰沛,但是因自然、人为等因素的影响导致水资源系统存在较多的不安全因素,水资源系统呈现出较为突出的脆弱性。

武汉城市圈水资源脆弱性评价结果的平均值为0.6237,高于湖北省的结果0.4935。这说明与湖北省相比较,武汉城市圈整体的水资源脆弱性更大。武汉城市圈是湖北省人口最密集、经济最发达的区域,对水资源的需求量大,废污水的排放总量大,它虽然是“两型”社会建设综合配套改革试验区,在水资源的开发利用和保护方面采取了很多措施和政策,但还有着诸多不够完善和不成熟的地方,因此,武汉城市圈的水资源脆弱性大于湖北省的水资源脆弱性。

就武汉城市圈的9个城市来说,水资源的脆弱性也存在着较大差异(图3)。

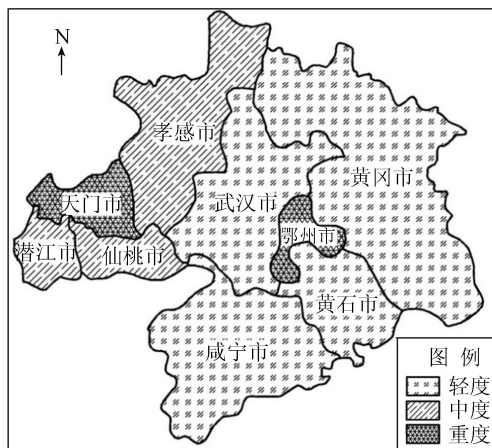


图3 武汉城市圈水资源脆弱性分级图

武汉城市圈水资源脆弱性有从东南向西北逐渐增大的趋势。中部、东部和南部的绝大部分地区(除鄂州之外)属于轻度脆弱性地区,脆弱性相对较小,西北部为中度和重度脆弱区,脆弱性相对较大。因为武汉城市圈为亚热带季风气候,来自于东南部的太平洋暖湿气流带来的降水是水资源的最主要来源,水资源从东南向西北递减,东南部的水资源多,西北部的水资源少。另一方面,中部、东部和南部地区经济相对发达,人口素质较高,对水资源保护的投入较大,对水资源的监督和管理到位,而西北部地区是武汉城市圈中经济相对不发达的地区,工农业生产粗放,水资源的利用率不高,废污水的处理率低,加上各项水资源保护的政策和法规等的实施和监管不够到位,这又加剧了西部地区水资源的脆弱性,就导致了西北部地区的水资源脆弱性大于东南部地区。鄂州为重度脆弱性地区是因为鄂州经济较发达,废污水排放量大,但土地面积小,单位土地面积

上排放的废污水多,即废污水的排放强度大,导致水资源极易被污染,另外人口密度大,对水资源的需求量大,使得水资源的开发程度大,但节水意识不够,出现了水资源短缺的现象。

4 结论与建议

研究表明,武汉城市圈水资源系统存在较为突出的脆弱性,与湖北省相比较,武汉城市圈的脆弱性程度较大,这与武汉城市圈人口密集,产业发达,追求经济社会的快速发展密切相关,这从一定程度上表明了武汉城市圈经济社会发展与区域水资源系统不协调,水资源开发利用和保护方面呈现出脆弱性,水资源系统存在着较多的不安全因素。另外,武汉城市圈水资源脆弱性从东南向西北逐渐增大,这与水资源本身的自然禀赋有关,也与在水资源开发利用和保护等方面是否合理以及是否做到有效的管理和监督有关。

针对武汉城市圈水资源脆弱性的现状,提出如下建议以降低武汉城市圈水资源系统的脆弱性。

a. 防治水污染,维护和改善生态环境。武汉城市圈经济发达,废污水的排放量总大,极易造成水资源的污染,引起生态环境的恶化。因此,必须从源头上减少废污水的排放、提高废污水的处理率并且对已经污染的水资源进行治理,另外还要增加生态环境用水量,使生态环境得以维护和改善。

b. 维护和改善水利工程设施。水利工程设施能实现水资源时空分布与需水时空分布相协调,是降低水资源系统的脆弱性的重要途径。武汉城市圈虽然建立了较为完整的水利工程体系,但因泥沙淤积和老化严重等诸多因素的影响,造成水利工程设施在关键的时刻不能发挥作用。因此,需对水利工程设施进行维护和改善,修缮现已废弃的原有设施,疏通河道整治现有设施并尽可能地挖掘现有设施的潜力,对不配套的水利设施进行完善,修建新的水利设施,建立起完善而有效的水利工程设施体系。

c. 节约用水,提高用水效率。武汉城市圈水资源丰富,但是存在着严重的浪费水资源的现象,用水效率不高。因此,必须节约用水,提高用水效率。应大力发展节水农业,推广节水型农业灌溉技术,优化农作物种植品种结构;在工业生产方面,可实行动用水标准定额,适当提高水价,鼓励清洁生产和节约用水,以提高水资源的重复利用率和降低单位工业产品的耗水量;加强宣传和教育,提高生活用水的重复使用率,树立节约用水的观念,树立正确的水资源意识,建立起全民节水的大环境。

d. 加强水资源的统一规划和管理,实现水资源

的优化配置。在分析武汉城市圈水资源面临的形势的基础上,立足现状,针对未来国民经济与社会发展对水资源的需求状况,对武汉城市圈水资源编制统一的开发利用规划,提高水资源综合利用效益,实现水资源的高效配置。水资源管理涉及的机构众多,因此还需明确各个水资源管理机构的职责,做到各个部门各尽所能各司其职。同时,在水资源管理中应充分利用法律和经济手段,发挥它们各自的优势。加强水资源立法,健全和完善水资源保护法律体系,做到依法治水,充分发挥市场在资源配置中的作用,建立完善而高效的水资源管理运行体制机制,实现水资源的综合效益最大化。

参考文献:

- [1] DOERFLIGER N, JEANNIN P Y, ZWAHLEN F. Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools [J]. Environmental Geology, 1999, 39(2):165-176.
- [2] MIRAUDA D, OSTOICH M. Surface water vulnerability assessment applying the integrity model as a decision support system for quality improvement [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2011, 31(3): 161-171.
- [3] BROUWER F, FALKENMARK M. Climate-induced water availability changes in Europe [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1989, 13(1):75-98.
- [4] HAMOUDA M A, NOUR EL-DIN M M, MOURS Y F I. Vulnerability assessment of water resources systems in the Eastern Nile Basin [J]. Water Resources Management, 2009, 23 (13):2697-2725.
- [5] 刘绿柳. 水资源脆弱性及其定量评价 [J]. 水土保持通报, 2002, 22 (2): 41-44. (LIU Lyuliu. Concept and quantitative assessment of vulnerability of water resource [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2002, 22 (2):41-44. (in Chinese))
- [6] 白庆芹,汪妮,解建仓,等. 基于模糊综合评价法的城市河流脆弱性研究 [J]. 水土保持通报, 2012, 32(1):244-247,256. (BAI Qingqin, WANG Ni, XIE Jiancang, et al. A study on vulnerability of urban rivers based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32 (1): 244-247, 256. (in Chinese))
- [7] 冯少辉,李靖,朱振峰,等. 云南省滇中地区水资源脆弱性评价 [J]. 水资源保护, 2010, 26 (1): 13-16. (FENG Shaohui, LI Jing, ZHU Zhenfeng, et al. Study on water resources vulnerability assessment in central Yunnan [J]. Water Resources Protection, 2010, 26 (1): 13-16. (in Chinese))

(下转第94页)

各单一决策方法由于理论依据或适用范围不同所造成的决策缺陷,能够帮助决策者做出准确判断和选择,使决策结果更加客观可信,大大提高了决策的准确性和科学性。

c. 利用组合决策评价方法对黄河流域水量调度各方案进行了评价与优选。结果表明,该评价方法的建立是合理的,它能为黄河流域水量调度方案的优选提供一定的指导意义,对于黄河流域水量调度方案等多目标决策问题提供一定的参考。

参考文献:

[1] 王强,沈永平,陈英武. 多属性决策支持向量机模型与算法[J]. 控制与决策, 2006, 21(12): 1338-1342. (WANG Qiang, SHEN Yongping, CHEN Yingwu. Model and algorithm for multiple attribute decision making based on support vector machine[J]. Control and Decision, 2006, 21(12): 1338-1342. (in Chinese))

[2] 贾伟召,张绍良,朱建华. 二元对比排序法在土地定级中的应用[J]. 国土资源科技管理, 2003, 12(4): 67-72. (JIA Weizhao, ZHANG Shaoliang, ZHU Jianhua. Application of dualistic contrast compositor method in land gradation[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2003, 12(4): 67-72. (in Chinese))

[3] 孟宪萌,胡和平. 基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2009, 40(3): 257-261. (MENG Xianmeng, HU Heping. Application of set pair analysis model based on entropy weight to comprehensive evaluation of water quality [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(3): 257-261. (in Chinese))

[4] 秦旭宝,董增川,费如君,等. 基于逐步优化算法的水库防洪优化调度模型研究[J]. 水电能源科学, 2008, 26(4): 60-62. (QIN Xubao, DONG Zengchuan, FEI Rujun, et al. Research for optimal flood dispatch model for

reservoir based on POA[J]. Water Resources and Power, 2008, 26(4): 60-62. (in Chinese))

[5] 曹永强,王本德,刘金禄. 基于二元对比定权法的水质评价模型及其应用[J]. 水电能源科学, 2002, 20(3): 19-21. (CAO Yongqiang, WANG Bende, LIU Jinlu. Water quality assessment model based on dualistic factor contrast for indexes weight calculation and its application [J]. Water Resources and Power, 2002, 20(3): 19-21. (in Chinese))

[6] 高凯,郭跃,姜瑞华. 基于熵权灰度关联法的重庆市生态系统健康评价[J]. 广西师范学院学报:自然科学版, 2009, 26(1): 72-77. (GAO Kai, GU Yue, JIANG Ruihua. Assessment of urban ecosystem health in Chongqing based on the entropy and gray correlation method[J]. Journal of Guangxi Teachers Education University: Natural Science Edition, 2009, 26(1): 72-77. (in Chinese))

[7] 李瑞杰,李德竹,梅雨雨,等. 基于集对分析和可变模糊集的区域抗旱能力评价模型[J]. 水资源保护, 2013, 29(5): 59-64. (LI Ruijie, LI Dezhu, MEI Runyu, et al. Regional drought-resistant ability assessment model based on set pair analysis and variable fuzzy set [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(5): 59-64. (in Chinese))

[8] 赵克勤. 基于集对分析的方案评价决策矩阵与应用[J]. 系统工程, 1994, 12(4): 67-72. (ZHAO Keqin. An applications of the scheme-appraisal decision matrix based on set pair analysis [J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering, 1994, 12(4): 67-72. (in Chinese))

[9] 王晓敏,胡毓达. 群体决策的模糊 Borda 数规则[J]. 系统工程理论方法应用, 2003, 12(1): 14-19. (WANG Xiaomin, HU Yuda. The fuzzy Borda number rule for group decision making [J]. Systems Engineering-theory Methodology Applications, 2003, 12(1): 14-19. (in Chinese))

(收稿日期:2014-08-31 编辑:高渭文)

(上接第 64 页)

[8] 王鑫,马炳娜,张毅. 武汉城市圈水资源利用状态分析[J]. 水电与新能源, 2011(3): 34-37. (WANG Xin, MA Bingna, ZHANG Yi. Analysis of water resources utilization status of Wuhan City Circle [J]. Hydropower and New Energy, 2011(3): 34-37. (in Chinese))

[9] 李长健,陈捷. 武汉城市圈水生态环境保护的路径选择[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(28): 13966-13968. (LI Changjian, CHEN Jie. The path choice of water ecological environment protection of Wuhan City Circle [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(28): 13966-13968. (in Chinese))

[10] 黄彧. 武汉城市圈水资源承载力综合评价研究[D]. 武汉:华中师范大学, 2012.

[11] SMEETS E, WETERING R. Environmental indicators: typology and overview [R]. Copenhagen: European Environmental Agency, 1999.

[12] 周念清,赵露,沈新平,等. 基于压力驱动模型评价长株潭地区水资源脆弱性[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2013, 41(7): 1061-1066. (ZHOU Nianqing, ZHAO Lu, SHEN Xinping, et al. A DPSIR model for vulnerability assessment of water resources system in Chang-Zhu-Tan Area [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2013, 41(7): 1061-1066. (in Chinese))

[13] 申锦标,吕跃进. 一种基于向量贴近度的组合赋权方法[J]. 重庆工学院学报:自然科学版, 2009, 23(2): 75-77, 89. (SHEN Jinbiao, LYU Yuejin. A combination weighting method based on the close-degree of vector [J]. Journal of Chongqing Institute of Technology: Natural Science, 2009, 23(2): 75-77, 89. (in Chinese))

[14] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京:科学出版社, 2007: 73.

[15] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2007: 149.

(收稿日期:2014-04-10 编辑:高渭文)