

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.01.008

基于 GIS 的黄河三角洲水资源脆弱性评价

刘海娇^{1 2}, 仕玉治^{1 2}, 范明元^{1 2}, 张 欣^{1 2}

(1. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省水资源与水环境重点实验室, 山东 济南 250013)

摘要 依据黄河三角洲自然地理及经济社会发展状况, 构建黄河三角洲水资源脆弱性评价指标体系, 并基于 GIS 技术进行空间区域划分, 建立基于熵权的水资源脆弱性模糊优选评价模型。结果显示, 黄河三角洲水资源脆弱性空间变化较大, 沿海及小清河区域水资源脆弱性较高, 沿黄河区域脆弱性相对较低。

关键词 水资源脆弱性, 黄河三角洲, GIS, 熵权, 模糊优选模型

中图分类号: TV211.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2012)01-0034-04

Water resources vulnerability assessment in Yellow River Delta based on GIS

LIU Hai-jiao^{1 2}, SHI Yu-zhi^{1 2}, FAN Ming-yuan^{1 2}, ZHANG Xin^{1 2}

(1. Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China;

2. Shandong Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment, Jinan 250013, China)

Abstract : Based on the physical geography and economic and social development status in the Yellow River Delta, a water resources vulnerability assessment index system for the region was constructed. Through GIS-based spatial zoning, the water resources vulnerability fuzzy optimization assessment model was established based on entropy weight. The results show that the spatial variation of water resources vulnerability was significant in the Yellow River Delta, and water resources vulnerability was relatively high along the coastal area and the Xiaoqing River and relatively low along the Yellow River.

Key words : water resources vulnerability; Yellow River Delta; GIS; entropy weight; fuzzy optimization model

黄河三角洲是中国暖温带最年轻、经济增长最快、景观变化最剧烈的地区, 也是东北亚内陆和西太平洋鸟类迁徙重要的中转站、越冬栖息地和繁殖地。该区域是国家“十一五”“十二五”重点建设区域, 同时也是山东省区域经济发展“一体两翼”中北翼主体, 战略地位十分重要。当地经济社会的快速发展给生态环境及水资源造成了很大影响, 尤其是水资源短缺和不合理地开发利用使得水资源脆弱性发生改变。因此, 进行黄河三角洲水资源脆弱性评价, 为解决黄河三角洲地区水资源短缺和环境脆弱性等问题提供参考, 对实现黄河三角洲水资源的可持续利用具有重要意义。

水资源脆弱性源于 Margat 在 1968 年提出的地下水脆弱性这一概念^[1], 国外水文地质学家开始对

地下水脆弱性进行研究, 并逐步明晰地下水脆弱性概念内涵及评价方法^[2-3], 水资源脆弱性评价逐渐拓展为地下水和地表水综合评价。我国对水资源脆弱性评价研究起步较晚, 大约始于 20 世纪 90 年代中期, 在水资源脆弱性定义上多是引用外文资料。而对于水资源脆弱性(vulnerability of water resources)的研究则主要探讨的是气候变化下对水资源系统的影响, 考虑的影响因素包括气候变化和人类活动的影响^[4]。

当前, 水资源脆弱性评价不仅仅局限于点域评价, 更多关注于某一区域空间水资源脆弱性分布格局, 为进一步实现水资源空间优化配置和合理开发利用奠定基础。本文基于 GIS 空间分析技术初步实现评价区域划分, 并建立黄河三角洲评价指标体系, 采用模糊评价方法识别黄河三角洲空间水资源脆

1 研究区概况

研究区多年平均降雨量 537.7 mm,时空分布不均匀,年内分配亦不均匀,汛期降水占全年的 75.2%,冬、春季节降水较少。黄河是该地区最主要的可开发利用的客水资源,全区 90% 以上的用水需要由黄河来供给。研究区盐碱地分布面积大,大部分地区地下水为咸水,仅在小清河以南的广饶县、黄河滩地及黄河故道的部分地段有地下淡水分布。在过去的一段时间内,为了增加供水量,地下水遭受了高强度的开采甚至超采。

2 水资源脆弱性评价指标体系构建

2.1 评价指标体系

水资源脆弱性评价指标体系涉及范围和内容包括较多。为便于评价分析,笔者根据指标体系构建的科学性、完备性、主导性、相互独立性和区域性等原则,在实地调查研究区水文地质、地形、气候等自然条件及社会经济状况,并参考文献[5-7],从自然脆弱性和人为脆弱性方面进行评价指标体系构建。研究区域水资源脆弱性评价指标体系如图1所示。

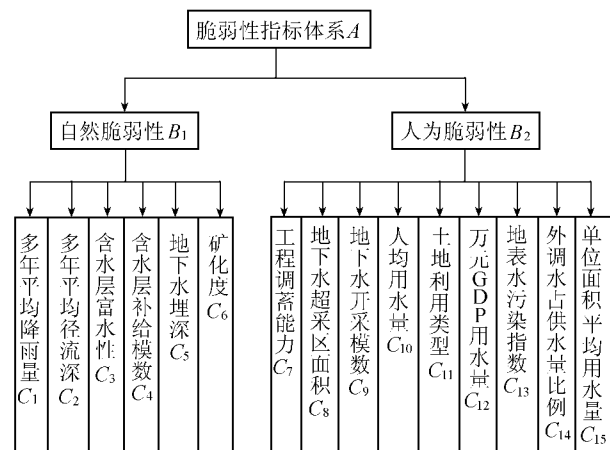


图 1 研究区水资源脆弱性指标体系

2.2 GIS 评价分区

为实现水资源脆弱性空间评价,需进行评价区域的空间划分。依据《山东省环境地质图集》^[8]、《东营市水资源公报(2008)》等相关数据资料,获得评价指标属性值的空间分布图,限于本文篇幅仅给出地下水矿化度的指标分布(图2)。然后利用 Map GIS

软件将各指标参数图层文件进行叠加处理,实现评价区域空间划分,研究区域叠加得到 180 个分区,如图 3 所示。

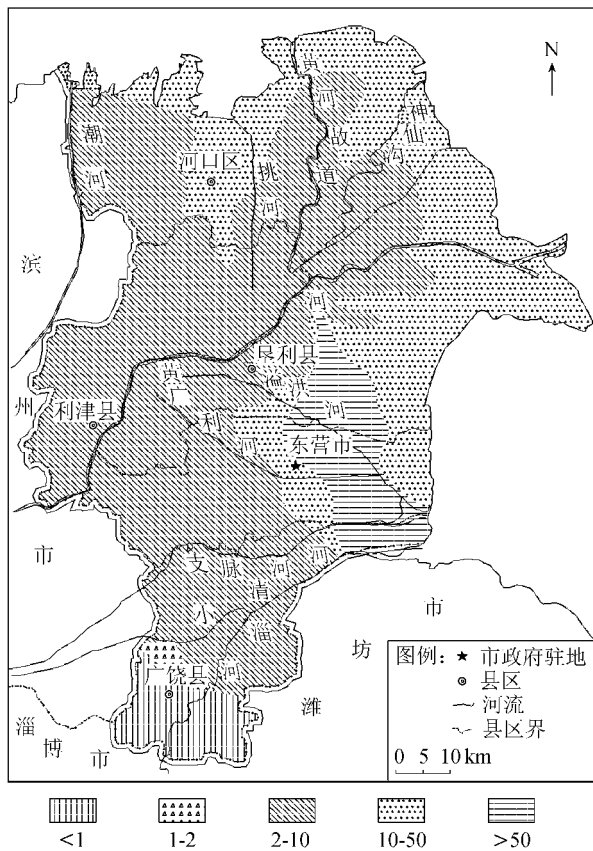


图2 地下水矿化度空间分布(单位:g/L)

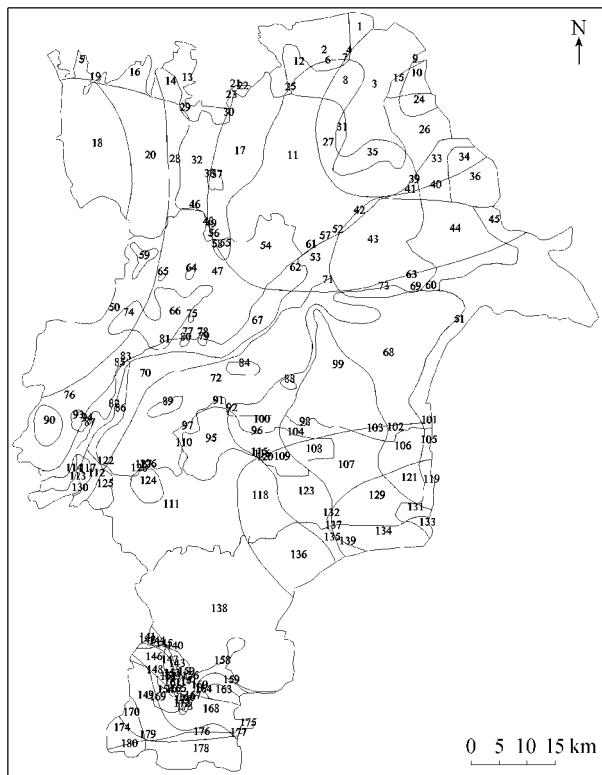


图 3 GIS 评价分区图

3 水资源脆弱性评价模型构建

设由 n 个($n = 180$)待优选的样本(GIS 叠加分区) , m 个($m = 15$)样本脆弱性指标 构成样本的指标矩阵

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) (1)

式中 : x_{ij} 为方案 i 中第 j 个目标的特征值。

水资源脆弱性评价指标相对隶属度计算主要有两类 ,一类是目标特征值越大方案越优(C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_7 、 C_{15}) ,采用公式(2)计算 ;另一类是目标特征值越小方案越优(C_6 、 C_8 、 C_9 、 C_{10} 、 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 、 C_{14}) ,采用公式(3)计算。

越大越优型 :

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (2)$$

越小越优型 :

$$r_{ij} = \frac{x_{i\max} - x_{ij}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (3)$$

式中 : r_{ij} 为第 i 个样本的第 j 项指标对脆弱性的相对隶属度 ; $x_{i\max}$ 、 $x_{i\min}$ 分别为方案 i 对目标 j 的特征值的最大、最小值。

R 为 n 个样本 m 项指标的相对隶属度矩阵 ,如公式(4)所示。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij}) \quad (4)$$

采用熵权法^[9]计算评价指标的权重 W

$$W = (w_i)_{1 \times m} \quad (5)$$

其中 $w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}$ 且满足 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$, $H_i = -\frac{1}{\ln n} \left(\sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \right)$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) ,

为保证 $\ln f_{ij}$ 有意义 ,对其进行修正 ,计算公式为

$$f_{ij} = \frac{1 + r_{ij}}{\sum_{j=1}^n (1 + r_{ij})} \quad (6)$$

将指标相对隶属度 r_{ij} 及指标权重 w_i 代入模糊优选模型^[10] ,如式(7)所示 ,即可对 180 个叠加分区进行水资源脆弱性评价。

$$u_j = \frac{1}{1 + \left[\frac{\sum_{i=1}^m (w_i (1 - r_{ij}))^p}{\sum_{i=1}^m (w_i r_{ij})^p} \right]^{2/p}} \quad (7)$$

4 黄河三角洲水资源脆弱性评价

根据上述构建的水资源脆弱性评价模型 ,按照式(5)计算出各指标权重 ,如表 1 所示。

表 1 评价指标的权重

指标	权重	指标	权重
C_1	0.027	C_9	0.097
C_2	0.055	C_{10}	0.055
C_3	0.051	C_{11}	0.040
C_4	0.093	C_{12}	0.071
C_5	0.015	C_{13}	0.114
C_6	0.068	C_{14}	0.095
C_7	0.072	C_{15}	0.103
C_8	0.045		

由表 1 中可知 ,指标分类中人为脆弱性指标权重比自然脆弱性指标权重大。其中 ,地表水污染指数 C_{13} 、单位面积平均用水量 C_{15} 、地下水开采模数 C_9 、外调水占供水量比例 C_{14} 、含水层补给模数 C_4 、工程调蓄能力 C_7 、万元 GDP 用水量 C_{12} 、矿化度 C_6 占权重的前八位。

计算出各指标的权重及相对隶属度矩阵后 ,根据式(7)计算出各分区的脆弱性隶属度 ,计算结果如表 2 所示。

根据最大隶属度原则及研究区实际概况 ,将各分区水资源脆弱性评价隶属度级别分为 5 个等级 :①强脆弱性 :相对隶属度 0.1 ~ 0.3 ;②较强脆弱性 :相对隶属度 0.3 ~ 0.4 ;③中度脆弱性 :相对隶属度 0.4 ~ 0.6 ;④低脆弱性 :相对隶属度 0.6 ~ 0.7 ;⑤弱

表 2 评价分区脆弱性评价结果

分区	相对隶属度	分区	相对隶属度	分区	相对隶属度	分区	相对隶属度	分区	相对隶属度
1	0.300	31	0.291	61	0.335	91	0.297	121	0.419
2	0.312	32	0.295	62	0.382	92	0.261	122	0.463
3	0.298	33	0.260	63	0.307	93	0.372	123	0.421
28	0.331	58	0.339	88	0.473	118	0.454	148	0.468
29	0.349	59	0.614	89	0.507	119	0.437	149	0.459
30	0.312	60	0.271	90	0.612	120	0.449	150	0.248
								180	0.406

脆弱性 相对隶属度 0.7~1.0。黄河三角洲水资源脆弱性评价结果如图 4 所示。

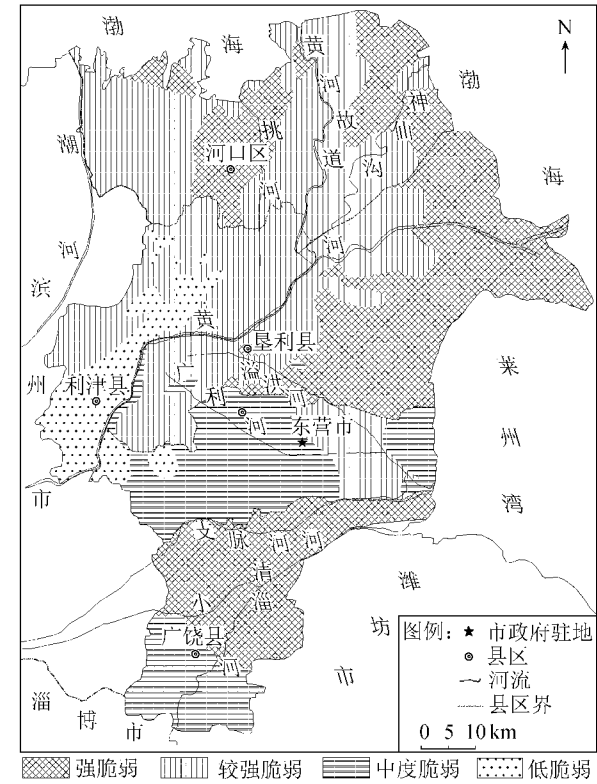


图 4 研究区水资源脆弱性评价结果

评价结果显示,研究区整体水资源脆弱性程度较高,其中中度脆弱以上地区占研究区总面积的 93.7%,没有弱度脆弱的区域。水资源脆弱性空间变化较大,沿海及小清河区域水资源脆弱性较高,沿黄河区域脆弱性相对较低。分析原因是沿海地区受到海水入侵,矿化度较高,对跨流域外调水依赖性较大,小清河地区受到地下水过度开采及地表水污染严重及农业面源污染等影响,水资源脆弱性较高,而地处沿黄河区域水资源相对较为丰富,引、输水干渠配套工程较为完善,其水资源脆弱性相对较低,处于中等水平。

5 建 议

水资源脆弱性评价是识别区域空间水资源受到人类活动干扰后恢复原来状态的能力,为进一步实现水资源空间优化配置和合理开发利用奠定基础。研究表明,黄河三角洲脆弱性较高,空间区域变化较大,水资源脆弱性影响因素较多且不同。因此需要在现有黄河三角洲水系基础上,规划建设滨海骨干生态河道,综合整治区域排水河道,完善灌区灌排干支渠,增设必要蓄水设施,把黄河、区域河道和平原水库等水源工程串联起来,构成一个集输水、蓄水、灌溉、供水、排水、改碱、咸水微咸水利用及自然保护区湿地补水于一体的工程水网和生态水系,做到多

水联供和循环利用,切实转变水资源利用方式,减弱黄河三角洲水资源脆弱性,建立黄河三角洲水资源高效生态利用模式。

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 tool[J]. Environmental Geology, 1999, 39(2):165-176.

[2] 李剑颖. 官厅水库流域水资源脆弱性评价研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2007.

[3] 张保祥. 黄河流域地下水脆弱性评价与水源保护区划分研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2006.

[4] 沈珍瑶, 杨志峰, 曹瑜. 环境脆弱性研究评述[J]. 地质科技情报, 2003, 22(3):91-94.

[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.

[6] 邹君, 刘兰芳, 田亚平, 等. 地表水资源的脆弱性及其评价初探[J]. 资源科学, 2007, 29(1):92-98.

[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.

[8] 山东省地质矿产局. 山东省环境地质图集[M]. 济南: 山东省地图出版社, 1996:66.

[9] 张先起, 梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9):1057-1061.

[10] 陈守煜. 复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002:10-13.

(收稿日期 2011-11-15 编辑:高渭文)

(上接第 33 页)

[6] 牛玉国, 张海敏, 李世明. 黄河水资源问题与对策研究[J]. 湖泊科学, 2004, 16(S1):16-29.

[7] 高善明, 李元芳. 黄河三角洲[EB/OL]. [2011-10-03]. <http://baike.baidu.com/view/145124.htm#3>

[8] 任美镔. 黄河三角洲自然地理概念[EB/OL]. [2009-12-04]. http://www.dzwww.com/2009/hsj/bj/200912/t20091204_5246425.htm

[9] 东营市统计局, 国家统计局东营调查队. 东营市统计年鉴—2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[10] 《东营市水利志》编纂委员会. 东营市水利志[M]. 北京: 红旗出版社, 2003:34-68.

[11] 东营市水利局. 东营市水资源公报(2002—2010年). 东营: 东营市水利局, 2002—2010.

(收稿日期 2011-10-26 编辑:徐娟)