

基于TOPSIS法的陕西省黄河流域 干旱综合评价模型

张晓华¹, 毕生², 曹永潇³

(1. 黄河水利科学研究院, 郑州 450003; 2. 南水北调中线干线工程建设管理局 河南直管项目建设管理局, 郑州 450046;
3. 华北水利水电大学, 郑州 450045)

摘要: 干旱是沿黄地区农业发展的长期制约性因素, 研究黄河流域典型区域的干旱等级评价方法, 建立黄河流域干旱评价模型, 科学、客观、准确地评估黄河流域及供水区干旱级别, 是做好抗旱工作的前提和基础。采用TOPSIS客观赋权法对各干旱评价指标进行加权, 构建一个干旱综合指数, 对陕西省黄河流域1999年6月-1999年8月进行干旱综合评价, 评价结果与实际情况相符合, 证明了评价方法的合理性和可操作性。

关键词: 黄河; 干旱; 综合评价; 指标; 模型; 矩阵; 陕西省

中图分类号: S423 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)02-0211-03

Comprehensive evaluation model of drought in the Yellow River of Shaanxi province based on TOPSIS method

ZHANG Xiaohua¹, BI Sheng², CAO Yongxiao³

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 2. Construction and Administration Bureau of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Zhengzhou 450046, China;
3. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: In the Yellow River, drought is one of the most outstanding natural disasters in agricultural production, which has become a long term conditionality factor of agricultural development in the area. Development of the drought grade evaluation method in typical regions of the Yellow River, establishment of the arid evaluation model of the Yellow River, and scientific, objective, and accurate evaluation of the drought level in the Yellow River and water supply area are the premise and foundation of drought relief work. In this paper, TOPSIS objective weighting method was used to assign weights for each drought evaluation index and then to develop a comprehensive drought index, which was used to perform drought analysis in the Yellow River of Shaanxi Province between June 1999 and August 1999. The evaluation results were similar to the actual conditions, which proved the rationality and operability of the evaluation method.

Key words: Yellow River; drought; comprehensive evaluation; index; model; matrix; Shaanxi Province

黄河流域位于我国北中部, 属大陆性气候, 流域东南部基本属湿润气候, 中部属半干旱气候, 西北部为干旱气候。黄河流域干旱具有明显的地域性分布特点, 多年平均干旱等级和发生重旱的频率均呈从东南向西北递增的趋势, 即以中部黄土高原地区为中心, 向东南、西南递减的趋势^[1]。大量的历史文献和当代旱灾普查资料统计表明, 黄河流域干旱灾情最重的地区出现在半湿润、半干旱区(河口镇至三门峡区间)^[2], 其中大部分位于陕西省境内, 涉及榆林、延安、渭南、

铜川、咸阳、宝鸡和西安等秦岭以北地区, 面积13.33万km², 占全省面积的64.8%。

由于干旱现象异常复杂, 目前用于量化干旱的指标更是多种多样, 至少有百余种, 通常可分为气象干旱指标、水文干旱指标、农业干旱指标和社会经济干旱指标。尽管关于干旱指标已有大量研究^[3-4], 但是由于干旱自身的复杂特性和对社会影响的广泛性, 干旱指标都是建立在特定的地域和时间范围内, 难以准确全面的对干旱做出综合评价^[5-7]。干旱综

收稿日期: 2013-08-28 修回日期: 2015-01-14 网络出版时间: 2014-03-20

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150320.1637.011.html>

基金项目: 黄河水利科学研究院基本科研业务费专项资金资助项目“黄河典型区域干旱等级评价体系研究”(HKY-JBYW-2010-07)

作者简介: 张晓华(1981-), 女, 河南林州人, 工程师, 主要从事水利水电工程管理工作。E-mail: bison135@126.com

合评价确定权重的方法主要有德尔菲法、层次分析法和 TOPSIS 法^[8]。

1 TOPSIS 法的基本原理

TOPSIS 法是由 C. L. Hwang 和 K. Yoon 提出的^[9]一种有效的多指标、多目标决策分析方法。它的基本思想是,基于归一化后的原始数据矩阵,找出有限方案中的最优方案和最劣方案(分别用最优向量和最劣向量表示),然后分别计算诸评价对象与最优方案和最劣方案的距离,获得评价对象与最优方案的相对接近程度,以此作为评价优劣的依据。TOPSIS 法思路清晰、方法简单、计算量小,被广泛的应用于各领域。

设一个多属性决策问题的备选方案集为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, 衡量方案优劣的属性向量为 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$; 方案集 X 中的每个方案 $x_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 的 n 个属性值构成的向量是 $Y = \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}\}$; 它作为 n 维空间中的一个点,能唯一地表征方案 x_i 。

理想点 x^* 是一个方案集 X 中并不存在的虚拟的最佳方案。它的每个属性值都是决策矩阵中该属性最好的值; 而负理想点 x^0 则是虚拟的最差方案, 它的每个属性值都是决策矩阵中该属性的最差值。在 n 维空间中, 将方案集 X 中的各备选方案 x_i 与理想点 x^* 和负理想点 x^0 的距离进行比较, 既靠近理想点又远离负理想点的方案就是方案集 X 中的最佳方案, 并可以据此排定方案集 X 中各备选方案的优先顺序。

2 基于 TOPSIS 法的干旱综合评价模型

基于 TOPSIS 法的干旱综合评价建模步骤如下^[10-11]。

(1) 确定评价区域, 选择评价指标体系。

(2) 以各干旱评价指标历年评价价值与实际旱灾资料的相关系数建立多目标决策矩阵 $Z = \{z_{ij}\}$;

$$z_{ij} = y_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ij}^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

(3) 无量纲化决策矩阵 V 。

将判断矩阵 Z 归一化处理, 得到标准化决策矩阵 V 。

对于越大越优型的指标:

$$v(i, j) = \frac{z(i, j) - z_{\min}(j)}{z_{\max}(j) - z_{\min}(j)} \quad (2)$$

对于越小越优型的指标:

$$v(i, j) = \frac{z_{\max}(j) - z(i, j)}{z_{\max}(j) - z_{\min}(j)} \quad (3)$$

式中: $v(i, j)$ 为各指标的归一化值; $Z_{\max}(j)$ 、 $Z_{\min}(j)$ 为第 j 个指标的最大值和最小值。

(4) 构造加权规范矩阵 $U = \{x_{ij}\}$ 。

设各指标权重给定为 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 则

$$x_{ij} = w_j \times v_{ij}, (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

(5) 确定理想点 x^* 和负理想点 x^0 。

设理想点 x^* 的第 j 个属性值为 x_j^* , 负理想点 x^0 的第 j 个属性值为 x_j^0 , 则

$$x_j^* = \begin{cases} \max x_{ij} & j \text{ 为效益型属性} \\ \min x_{ij} & j \text{ 为成本型属性} \end{cases}, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

负理想点

$$x_j^0 = \begin{cases} \max x_{ij} & j \text{ 为成本型属性} \\ \min x_{ij} & j \text{ 为效益型属性} \end{cases}, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

(6) 构造优化函数以评价价值距正理想点越近越好而距负理想点越远越好为原则, 按 TOPSIS 法构造优化函数如下:

$$\min f(w) = \sum_{i=1}^m \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (1 - |x_{ij}|)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (1 - |x_{ij}|)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2}} \quad (7)$$

(7) 采用遗传算法对目标函数进行求解, 得到权重系数 W 。

(8) 将权重带入评价指标体系进行干旱综合评价。

3 陕西省黄河流域干旱综合评价

3.1 评价指标体系

干旱评价指标是干旱评价的基本工具, 它是反映干旱成因和程度的度量。干旱评价指标的选取应该遵循准确性、理论性、实用性、易理解性、普适性、特点和可比性(无量纲性)的原则。

由于气象干旱是最基本和最普遍的, 其直接影响和造成的灾害往往通过农业、水文和社会经济来反映。因此, 结合陕西省黄河流域的自然地理和干旱监测的实际特点, 重点考虑气象干旱, 选择连续无雨日数 (N)、降水量距平百分率 (D_p)、标准化降水指数 (SPI)^[12-14]、相对湿度指数 (M) 四个干旱指标进行评价^[15]。

3.2 TOPSIS 法确定指标权重

依据评价区域的产业结构分析, 农业受旱灾影响最严重, 且农业旱灾受人干扰相对较小, 故本文根据 1990 年-2007 年的实测逐日气象资料与农业旱灾统计数据, 计算各评价指标历年评价指标值与各地区粮食因旱减产率及两者相关系数(表 1), 建立干旱评价决策矩阵 $Z = \{z_{ij}\}_{6 \times 4}$ 。它反映了各地区各干旱指标历年评价价值与该区域最终旱灾等级的相关性, 相关系数可以作为选择各指标权重的依据。

表 1 干旱综合指数法初始评价矩阵

Tab. 1 The initial evaluation matrix of comprehensive drought index method

地区	N	D_p	SPI	M
西安	0.23	-0.19	-0.29	-0.41
铜川	0.30	-0.54	-0.24	-0.57
宝鸡	0.14	-0.41	-0.20	-0.30
延安	0.19	-0.57	-0.29	-0.13
咸阳	0.18	-0.49	-0.48	-0.39
榆林	0.16	-0.27	-0.61	-0.28

对初始决策矩阵进行归一化处理, 得到标准化决策矩阵 V 为

$$V = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.00 & 0.23 & 0.63 \\ 1.00 & 0.91 & 0.10 & 1.00 \\ 0.00 & 0.58 & 0.00 & 0.39 \\ 0.30 & 1.00 & 0.23 & 0.00 \\ 0.26 & 0.78 & 0.70 & 0.58 \\ 0.08 & 0.21 & 1.00 & 0.34 \end{bmatrix}$$

根据已构建的标准化决策矩阵 V , 取 0 为负理想点、1 为正理想点, 最终通过求解得到各评价的区域统一评价权重

$\omega = (0.1802, 0.1963, 0.3462, 0.2773)$ 。从权重的分配来看, 标准化降雨指数权重最大, 即标准化降雨指数作为干旱评价指标, 评价结果与干旱灾害等级的一致性最好。

3.3 综合评价结果

3.3.1 单指标评价

根据地区分布特征及资料收集情况, 选取西安、铜川、宝鸡、延安、咸阳和榆林等地区 6 个国家基本气象站点 1981 年-2010 年的逐日降雨、气温资料。参照《气象干旱等级(GB/T 20481-2006)》和《旱情等级标准(SL 424-2008)》, 对 1999 年 6 月-8 月陕西省黄河流域各地区进行干旱单指标评价。从评价结果(表 2)可知, 由于选取的干旱评价指标定义不同, 同一评价区域、相同时段, 干旱等级评价的结果存在着差异, 因此干旱单指标评价存在一定的局限性。

表 2 陕西省黄河流域干旱单指标评价结果

Tab. 2 The single index evaluation results of drought in the Yellow River of Shaanxi Province

评价期	评价指标	干旱评价等级					
		西安	铜川	宝鸡	延安	咸阳	榆林
1999-6-1 至 1999-8-31	N	轻旱	轻旱	中旱	轻旱	中旱	重旱
1999-6-1 至 1999-8-31	D_p	无旱	中旱	中旱	轻旱	重旱	重旱
1999-6-1 至 1999-8-31	SPI	重旱	特旱	特旱	特旱	特旱	重旱
1999-6-1 至 1999-8-31	M	无旱	中旱	中旱	中旱	重旱	特旱

3.3.2 综合评价

将单指标评价结果进行统一化处理, 依据计算权重, 对 1999 年 6 月-8 月陕西省黄河流域各地区进行干旱综合评价; 在此基础上, 将陕西省黄河流域各地区看作空间干旱性质相同的点, 依据《旱情等级标准(SL 424-2008)》中区域干旱指数法对陕西省黄河流域进行干旱等级评价, 评价结果见表 3。

表 3 陕西省黄河流域干旱综合评价结果

Tab. 3 The comprehensive evaluation results of drought in the Yellow River of Shaanxi Province

地区	西安	铜川	宝鸡	延安	咸阳	榆林	陕西省黄河流域
评价结果	轻旱	中旱	重旱	中旱	重旱	重旱	中旱

3.4 结果分析

根据黄河流域雨情资料统计, 1999 年汛期, 黄河流域各区间降雨量与历年均值相比, 偏少 10%~30%, 其余中游地区偏少 30% 左右, 可见, 评价期 1999 年 6 月 1 日-1999 年 8 月 31 日, 黄河中游地区降雨量偏少, 存在一定旱情。此外, 根据统计资料, 1999 年陕西省各地区粮食因旱减产率, 西安市最小, 榆林市最大, 与干旱综合评价的干旱等级一致, 在一定程度上说明评价结果基本合理。

4 结语

运用改进的 TOPSIS 法确定各评价指标评价权重, 进行区域干旱综合评价, 可使大量多因素问题得到相对科学的解决, 做出比较客观、公正和科学的决策, 对区域抗旱工作的实施具有指导意义。

参考文献(References):

[1] 水利部黄河水利委员会. 黄河流域地图集[M]. 北京: 中国地图

出版社, 1989. (Yellow River Conservancy Commission. MWR. Atlas the Yellow River Basin[M]. Beijing: SinoMaps Press, 1989. (in Chinese))

[2] 黄河流域及西北片水旱灾害编委会. 中国水旱灾害系列专著: 黄河流域水旱灾害[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996. (The Editorial Board of Flood and Drought Disasters in The Yellow River Basin and the Northwest Region. China flood and drought disasters Monograph Series: Flood and Drought Disaster in the Yellow River Basin[M]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 1996. (in Chinese))

[3] 沙万英, 郭其蕴, 沈建柱. 黄河流域大旱大涝演变特征及趋势预测[J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 80-87. (SHA Wanying, GUO Qiyun, SHEN Jianzhu. Evolving features and trend prediction of severe flood drought in the Yellow River valley[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992, 6(2): 80-87. (in Chinese))

[4] Ji Lei, I Peters A J. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Remote Sensing of Environment, 2003, 87(1): 85-98.

[5] 李芬, 于文金, 张建新. 干旱灾害评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 891-898. (LI Fen, YU Wenjin, ZHANG Jianxin. Review of drought disaster evaluation[J]. Progress in Geography, 2011, 30(7): 891-898. (in Chinese))

[6] 王健. 徐州市干旱评估及旱灾损失评价[D]. 南京: 河海大学, 2010. (WANG Jian. The drought assessment and drought damage assessment in Xuzhou [D]. Nanjing: Hohai University, 2010. (in Chinese))

[7] 王艳玲. 区域干旱模糊综合评价研究[D]. 济南: 山东大学, 2007. (WANG Yanning. The fuzzy comprehensive evaluation of regional drought[D]. Jinan: Shandong University, 2007. (in Chinese))

[8] 付巧峰. 关于 TOPSIS 法的研究[J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(1): 190-193. (FU Qiaofeng. Research on TOPSIS method [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(1): 190-193. (in Chinese))

[9] Hwang C L, Yoon K. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications[M]. New York: Springer Verlag, 1981.

[10] 刘代勇, 梁忠民, 赵卫民. TOPSIS 客观赋权法在干旱综合评估中的应用研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(6): 8-10, 92. LIU Daiyong, LIANG Zhongmin, ZHAO Weimin. The application study of TOPSIS objective weighting method in comprehensive drought assessment[J]. Water and electricity energy science, 2011, 29(6): 8-10, 92. (in Chinese))

[11] 刘亮, 何建新, 高强. 基于熵权的 TOPSIS 模型在城市供水方案优选中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(3): 62-65. (LIU Liang, HE Jianxin, GAO Qiang. The TOPSIS model application based on entropy weight in urban water supply scheme optimization[J]. Journal of water resources and water engineering, 2010, 21(3): 62-65. (in Chinese))

[12] McKee T, Doesken N, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[A]. Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology[C]. American Meteorological Society. Boston, 1993: 179-184.

[13] Cancelliere A, Di Mauro G, Bonaccorso B, et al. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index[J]. Water Resources Management, 2007, 21(5): 801-819.

[14] Nalbantis I, Tsakiris G. Assessment of Hydrological Drought Revisited[J]. Water Resources Management, 2009, 23(5): 881-897.

[15] 易知之, 梁忠民, 赵卫民. 模糊综合法在区域干旱评价中的应用[J]. 人民黄河, 2012, 34(6): 68-70. (YI Zhizhi, LIANG Zhongmin, ZHAO Weimin. The application study of fuzzy synthesis method in regional drought assessment [J]. The Yellow River, 2012, 34(6): 68-70. (in Chinese))