

DOI:10.13476/j.cnki.nsbddqk.2020.0050

刘君龙,陈进,袁喆,等.基于DPSIR-模糊集对评价模型的湖北省水资源评价[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(3):57-64. LIU J L, CHEN J, YUAN Z, et al. Evaluation of water resources in Hubei Province based on DPSIR-fuzzy set pair model[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(3): 57-64. (in Chinese)

基于 DPSIR-模糊集对评价模型的 湖北省水资源评价

刘君龙¹,陈进¹,袁喆¹,许继军¹,田承伟²,苗恒录³

(1. 长江水利委员会 长江科学院, 武汉 430010; 2. 抚州市水文局, 江西 抚州 344000;
3. 水利部 牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020)

摘要:为合理评价湖北省水资源态势,在系统考虑湖北省水资源特点和实际情况的基础上,同时遵循代表性、科学性、可操作性和系统性等指标体系构建原则,构建了基于驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)概念框架的湖北省水资源评价指标体系,并将熵权法与模糊集对分析法相结合,建立了水资源评价模型,对湖北省2008—2016年水资源状态进行了定量评价。研究表明:2008—2016年湖北省水资源状态呈现出波动式升高的趋势,研究结果表明近9年间湖北省的水资源状态良好;从水资源DPSIR评价结果可以看出,研究时段内水资源影响和水资源响应是影响湖北省水资源状况的最重要因素。

关键词:湖北省;水资源评价;DPSIR概念框架;熵权法;模糊集对分析法

中图分类号:TV213.4 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



Evaluation of water resources in Hubei Province based on DPSIR-fuzzy set pair model

LIU Junlong¹, CHEN Jin¹, YUAN Zhe¹, XU Jijun¹, TIAN Chengwei², MIAO Henglu³

(1. Changjiang River Scientific Research Institute of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China;

2. Fuzhou Hydrological Bureau, Fuzhou 344000, China;

3. Research Institute of Pastoral Water Conservancy, Ministry of Water Resources, Huhehaote 010020, China)

Abstract: To reasonably evaluate the water resource state in Hubei Province, based on the systematical consideration of characteristics and actual situation of water resources in Hubei Province, following the principles of representative, scientific, operational and systematic index system construction, we have built the water resource evaluation index system of the Hubei Province on the basis of the Driving Force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) concept framework, established a water resource evaluation model by combining the entropy weight method with the fuzzy set pair analysis method and conducted quantitative evaluations of the water resource states from 2008 to 2016. The results have show: The water resource status in Hubei Province shows a trend of fluctuating increase from 2008 to 2016, which shows that the water resources in Hubei Province is in good condition; From the DPSIR evaluation results of water resources, we can see that the impact of water resources and the response of water resources are the most important factors affecting water resources condition in Hubei Province.

收稿日期:2019-08-15 修回日期:2019-10-15 网络出版时间:2019-11-01

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20191101.1014.004.html>

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC1502404);国家自然科学基金(51709008)

作者简介:刘君龙(1992—),男,安徽亳州人,主要从事水文水资源方面研究工作。E-mail:673095036@qq.com

通信作者:袁喆(1988—),男,湖北武汉人,高级工程师,主要从事水资源管理和评价方面研究。E-mail:yuanzhe_0116@126.com

Key words: Hubei Province; water resources evaluation; DPSIR conceptual framework; entropy weight method; fuzzy set pair analysis method

水资源安全是 20 世纪末国际社会提出的一个重要概念,与粮食安全、生态安全和环境安全紧密相连^[1],是人类安全的基本要素之一^[2]。研究区域水资源状况,对于防控不安全因素、缓解水资源供需矛盾、进一步提高水资源开发利用水平以及实现水资源与社会经济的和谐发展具有重要意义。

湖北省地处长江经济带承东启西的枢纽地带,是整个长江流域的“腰杆”部位,也是促进中部崛起的战略支点^[3]。近年来,在长江经济带建设与中部崛起战略背景的契机下,湖北省的社会经济得到了快速发展,城镇化进程也明显加快^[4]。但与此同时,水资源所面临的压力也随之增长,水资源现状堪忧^[5],如水资源供需矛盾日益突出,水污染问题依旧严峻,水生态恶化趋势仍未能得到有效控制,水安全保障能力亟待增强^[6]。因此,对湖北省水资源状态进行评价,分析水资源开发利用中存在的问题,制定相应的水资源保护措施,才能保障区域水资源的可持续利用,进而才能实现长江经济带“生态优先、绿色发展”的战略目标。

鉴于此,本文以湖北省为研究区域,结合湖北省的水资源特点和实际情况,遵循代表性、科学性、可操作性和系统性等指标体系构建原则,参考借鉴水资源评价相关研究成果,构建了基于 DPSIR 概念模型的湖北省水资源评价指标体系,并由熵权法确定评价指标权重,进而利用模糊集对分析法建立水资源评价模型,对湖北省 2008—2016 年水资源状态进行了定量评价,以期对湖北省水资源规划与管理提供参考依据和决策支持,同时也为长江经济带的水资源研究提供参考。

1 研究材料

1.1 研究区概况

湖北省地处长江中游、洞庭湖以北,总面积约 18.59 万 km²,约占全国总面积的 1.94%^[7],地势高低相差悬殊,东、西、北三面环山,中部低平,略呈向南敞开的完整盆地。全省大部分地区属亚热带季风性湿润气候,降水充沛,雨热同季,但降水时空分布不均,呈现出南多北少,山区多,平原河谷少,且相差悬殊的特征,年内主要集中在 4—9 月,约占全年 70%~85%^[8]。境内水系发达,水域广阔,有集水面积 50 km² 以上的大小河流 1 200 多

条、人工湖(水库)6 400 多个^[9],素有“洪水走廊、千湖之省”之称。

1.2 资料来源

本文所采用的基础数据来源于中国国家数据网(<http://data.stats.gov.cn/>)提供的全国各省市各类指标逐年统计资料。考虑到数据的完整性和可获得性,从中选取了湖北省 2008—2016 年的驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个子系统所需指标的原始资料作为本文研究的基础数据,其中大部分评价指标数据可以直接获取,部分指标没有明确的统计数据,则通过指标计算法求得。

2 研究方法

2.1 指标体系的构建及评价等级标准

2.1.1 指标体系

水资源评价指标体系的构建是进行水资源评价的基础,但考虑到水资源的分布具有地域的特色,因此,不同区域的水资源评价指标体系应有所区别。本文参照已有的水资源评价驱动力-压力-状态-影响-响应(driving forces-pressure-state-impact-response, DPSIR)概念框架^[10],结合湖北省的水资源特点和实际情况,同时遵循代表性、科学性、可操作性和系统性等指标体系构建原则,并借鉴已有水资源安全评价研究中相关成果^[11],初步构建了基于 DPSIR 概念模型的湖北省水资源评价指标体系,见表 1。

2.1.2 分级标准

水资源评价指标等级的标准存在地区差异性,本次研究在考虑湖北省实际情况的基础上,参照国内外水资源评价指标临界值的研究成果^[12-13]及水安全评价标准、地方政府颁布的标准和规划目标以及河流水系保护要求等^[14],将湖北省的水资源评价等级划分为安全、较安全、临界安全、不安全和极不安全 5 个等级,具体的水资源评价分级标准见表 2。

2.2 模糊集对评价模型

2.2.1 指标联系度的计算

本研究指标联系度的计算,参考王文圣等^[11]的相关研究成果。设水资源评价指标体系为 X ,评价对象指标值 $x_l (l=1, 2, \dots, n)$ 可以看成是一个集合

表 1 水资源评价指标及含义

Tab. 1 Water resources evaluation indicators and their implications

因子层	指标层	指标含义	权重	分项权重	子系统权重
驱动力(D)	人均 GDP $D_1/元(-)$	表示经济发展状况对水资源安全的驱动	0.057	0.188	
	人口密度 $D_2/(人 \cdot km^2)(-)$	表示人口的聚集程度对水资源安全的驱动	0.045	0.149	
	城市化率 $D_3/％(-)$	表示区域发展对水资源安全的驱动	0.069	0.228	0.304
	灌溉面积占常用耕地面积比例 $D_4/％(+)$	表示农业发展对水资源安全的驱动	0.069	0.226	
	GDP 的年增长率 $D_5/％(-)$	表示经济发展强度对水资源安全的驱动	0.064	0.209	
压力(P)	万元 GDP 耗水量 $P_1/m^3(-)$	表示经济发展强度对水资源数量的压力	0.047	0.222	
	万元工业产值用水 $P_2/m^3(-)$	表示工业用水对水资源数量的压力	0.048	0.231	
	万元农业产值用水 $P_3/m^3(-)$	表示农业用水对水资源数量的压力	0.053	0.253	0.210
	单位耕地面积化肥使用量 $P_4/(kg \cdot hm^2)(-)$	表示农业生产对水资源质量的压力	0.062	0.294	
状态(S)	人均水资源量 $S_1/m^3(+)$	表示水资源人均状态	0.107	0.503	
	单位面积水资源量 $S_2/(万 m^3 \cdot km^2)(+)$	表示水资源地均状态	0.106	0.497	0.213
影响(I)	农业干旱损失率 $I_1/％(-)$	表示对农业的影响	0.040	0.288	
	因旱饮水困难人口占比 $I_2/％(-)$	表示对人类引用水的影响	0.058	0.412	0.140
	因旱饮水困难牲口占比 $I_3/％(-)$	表示对畜禽养殖业的影响	0.042	0.301	
响应(R)	水资源开发率 $R_1/％(-)$	表示水资源数量安全的响应	0.072	0.544	
	生态用水量占比 $R_2/％(+)$	表示生态系统对水资源的需求度	0.060	0.456	0.132

注:表中的“(+) / (-)”分别代表该项指标属性为正向性/负向性。

表 2 湖北省水资源评价等级

Tab. 2 Evaluation grade of water resources in Hubei Province

因子层	指标层	安全	较安全	临界安全	不安全	极不安全
驱动力(D)	D_1	<2 000	2 000~5 000	5 000~8 000	8 000~12 000	>12 000
	D_2	<400	400~800	800~2 000	2 000~5 000	>5 000
	D_3	<10	10~20	20~30	30~50	>50
	D_4	>45	25~45	22~25	20~22	<20
	D_5	<3	3~5	5~8	8~10	>10
压力(P)	P_1	<300	300~600	600~1 000	1 000~1 500	>1 500
	P_2	<200	200~400	400~600	600~1 000	>1 000
	P_3	<500	500~1 000	1 000~1 500	1 500~2 000	>2 000
	P_4	<100	100~250	250~400	400~500	>500
状态(S)	S_1	>3 000	3 000~1 500	1 500~800	500~800	<500
	S_2	>200	200~150	150~100	100~50	<50
影响(I)	I_1	<2.75	2.75~7.50	7.50~16.25	16.25~23.30	>23.30
	I_2	0.01	0.01~0.08	0.08~0.85	0.85~2.38	>2.38
	I_3	0.01	0.01~0.64	0.64~5.98	5.98~16.66	>16.66
响应(R)	R_1	<5	5~25	25~35	30~45	>45
	R_2	>45	40~45	35~40	30~35	<30

A_l, B_k 为等级标准中第 K 级的集合,则 A_l 与 B_k 所构成集对为 $H(A_l, B_k)$ 。若评价时将 B_k 特定为指标在评价标准中的第 1 级的集合 B_1 ,则构成的集对 $H(A_l, B_k)$ 可以提高评价结论的精确度,同时也可以避免因各评价指标的作用相差较大而产生差异^[15]。由于门限值 $s_l (l=1, 2, \dots, K-1)$ 的

边界具有模糊性,则联系度 $\mu_{A_l \sim B_1}$ 可由式(1)、(2)计算得到。

通常情况下,水资源评价的指标可划分为负向指标(成本型指标)和正向指标(效益型指标)等。对于越小越优的负向指标,当 $K > 2$ 时,集对 $H(A_l, B)$ 的 K 元联系度为

$$\mu_{A_l \sim B_1} = \begin{cases} 1+0I_1+0I_2+\dots+0I_{K-2}+0J & x_l \leq s_1 \\ \frac{s_1+s_2-2x_l}{s_2-s_1} + \frac{2x_l-2s_1}{s_2-s_1} I_1+2I_2+\dots+0I_{K-2}+0J & s_1 < x_l \leq \frac{s_1+s_2}{2} \\ 0 + \frac{s_2+s_3-2x_l}{s_3-s_1} I_1 + \frac{2x_l-s_1-s_2}{s_3-s_1} I_2 + \dots + 0I_{K-2} + 0J & \frac{s_1+s_2}{2} < x_l \leq \frac{s_2+s_3}{2} \\ \vdots & \\ 0+0I_1+\dots+\frac{2s_{K-1}-2x_l}{s_{K-1}-s_{K-2}} I_{K-2} + \frac{2x_l-s_{K-i}-s_{K-1}}{s_{K-1}-s_{K-2}} J & \frac{s_{K-2}+s_{K-1}}{2} < x_l \leq s_{K-1} \\ 1+0I_1+0I_2+\dots+0I_{K-2}+1J & x_l > s_{K-1} \end{cases} \quad (1)$$

对于越大越优的正向指标,当 $K > 2$ 时,集对 $H(A_l, B)$ 的 K 元联系度为

$$\mu_{A_l \sim B_1} = \begin{cases} 1+0I_1+0I_2+\dots+0I_{K-2}+0J & x_l \geq s_1 \\ \frac{2x_l-s_1-s_2}{s_1-s_2} + \frac{2s_l-2x_l}{s_1-s_2} I_1+2I_2+\dots+0I_{K-2}+0J & \frac{s_1+s_2}{2} < x_l \leq s_1 \\ 0 + \frac{2x_l-s_2-s_3}{s_1-s_3} I_1 + \frac{s_1+s_2-2x_l}{s_1-s_3} I_2 + \dots + 0I_{K-2} + 0J & \frac{s_2+s_3}{2} < x_l \leq \frac{s_1+s_2}{2} \\ \vdots & \\ 0+0I_1+\dots+\frac{2x_l-2s_{K-1}}{s_{K-2}-s_{K-1}} I_{K-2} + \frac{s_{K-2}+s_{K-1}+2x_l}{s_{K-2}-s_{K-1}} J & s_{K-1} < x_l \leq \frac{s_{K-2}+s_{K-1}}{2} \\ 1+0I_1+0I_2+\dots+0I_{K-2}+1J & x_l < s_{K-1} \end{cases} \quad (2)$$

2.2.2 数据标准化

为了消除由评价指标量纲不同带来的影响,在评价之前需对样本各指标进行无量纲化处理。本次研究采用区间值化法对原始数据进行无量纲处理。评价某地区 m 年的 n 个评价指标的水资源状况,则形成 $m \times n$ 阶指标特征值矩阵^[13]

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

若评价指标为正向指标,则其标准化方法

$$y = \frac{X_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \quad (4)$$

若评价指标为负向指标,则其标准化方法

$$y = \frac{\max x_j - X_{ij}}{\max x_j - \min x_j} \quad (5)$$

式中: x_{\max} 为该项指标的最大值; x_{\min} 为该项指标的最小值。

2.2.3 指标权重的确定

由于熵权法所确定的指标权重具有绝对的客观性,且可以有效地避免主观随意性,因此,本文选用熵权法来计算水资源评价指标体系的权重^[16]。在由 m 年的 n 个评价对象组成的水资源评价体系中,第 i 个指标的熵 H_i 定义为

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot \ln f_{ij}, f_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^n y_{ij}, k = 1/\ln n \quad (6)$$

式中:当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

指标的熵权 ω_i 可以按下式计算

$$\omega_i = \frac{1-H_i}{\sum_{i=1}^m (1-H_i)} \quad (7)$$

2.2.4 样本联系度的计算

根据文献[11],设 A 为评价样本集合, B 为所有指标第 1 级评价等级标准的集合,则构成的集对 $H(A, B)$ 的 K 元联系度为

$$\mu_{A-B} = \sum_{i=1}^n \omega_i \mu_{A_i-B_1} = \sum_{i=1}^n \omega_i a_i + \sum_{i=1}^n \omega_i b_{i,1} I_1 + \sum_{i=1}^n \omega_i b_{i,2} I_2 + \dots + \sum_{i=1}^n \omega_i b_{i,K-2} I_{K-2} + \sum_{i=1}^n \omega_i c_i J \quad (8)$$

若令 $f_1 = \sum_{i=1}^n \omega_i a_i, f_2 = \sum_{i=1}^n \omega_i b_{i,1}, \dots, f_{K-1} =$

$\sum_{i=1}^n \omega_i b_{i,K-2}, f_K = \sum_{i=1}^n \omega_i c_i$,则式(8)可变为

$$\mu_{A-B} = f_1 + f_2 I_1 + f_3 I_2 + \dots + f_{K-1} I_{K-2} + f_K J \quad (9)$$

式中: f_1, f_2, \dots, f_k 分别代表评价样本隶属于 1 级、2 级和 K 级评价标准的可能性。

2.2.5 评价等级的确定

由于联系度差异不确定分量系数的确定具有一定的主观性,为减少主观因素造成的评价结果

的误差,提高样本评价等级的准确性。因此,本次研究采用置信度等级法对样本所属等级进行判断^[17],即

$$h_k = (f_1 + f_2 + \dots + f_k) > \lambda, k = 1, 2, \dots, K \quad (10)$$

式中: h_k 为属性测度, λ 为置信度。若 λ 取值过大,则评价结果趋向于保守、稳妥;若 λ 取值过小,则结果的可靠性变差、风险变大。一般建议, λ 在 0.5~0.7 取值,本次研究取 $\lambda = 0.5$ 。

3 结果分析

3.1 水资源评价等级

本节以湖北省 2016 年数据为例介绍各参数意义及其运算过程。首先,将 2016 年水资源评价负向指标和正向指标分别带入式(1)和(2),计算出各项指标的联系数度,如表 3,并依据式(3)~(7)计算出其相应的权重,详见表 1。然后,将各指标联系数度与权重结合带入式(8)和(9),可得出 2016 年各等级的联系数度,见表 4。取置信度 $\lambda = 0.5$,对于 2016 年, $h_1 = f_1 = 0.29 < \lambda, h_2 = f_1 + f_2 = 0.51 > \lambda$,由置信度准则可以判断 2016 年湖北省水

资源评价等级为第二等级,即属于较安全。同理,可以计算出 2008—2015 年湖北省的水资源评价等级,结果见表 4。

表 3 2016 年湖北省各项指标联系数度

Tab. 3 Linkage degree of various indicators in Hubei Province in 2016

联系数度	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
$\mu(x_1)$	0	0	0	0	1
$\mu(x_2)$	1	0	0	0	0
$\mu(x_3)$	0	0	0	0	1
$\mu(x_4)$	0.204	0.796	0	0	0
$\mu(x_5)$	0	0.89	0.106	0	0
$\mu(x_6)$	1	0	0	0	0
$-\mu(x_7)$	1	0	0	0	0
$\mu(x_8)$	1	0	0	0	0
$\mu(x_9)$	0	0	0.255	0.745	0
$\mu(x_{10})$	0.403	0.597	0	0	0
$\mu(x_{11})$	0	0	0.112	0.888	0
$\mu(x_{12})$	1	0	0	0	0
$\mu(x_{13})$	0	0	0.369	1.118	0
$\mu(x_{14})$	0	0	0.664	0.336	0
$\mu(x_{15})$	0	0.578	0.422	0	0
$\mu(x_{16})$	0	0	0	0	1

表 4 2008—2016 年湖北省水资源综合评价的联系数度(f_n)及其 h_k 值

Tab. 4 Linkage degree(f_n) and h_k value of comprehensive evaluation of water resources in Hubei Province from 2008 to 2016

年份	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	安全等级
2008	0.31	0.19	0.14	0.12	0.24	0.31	0.50	0.65	0.76	1	较安全
2009	0.23	0.12	0.25	0.22	0.27	0.23	0.36	0.61	0.83	1	临界安全
2010	0.23	0.24	0.18	0.14	0.21	0.23	0.47	0.65	0.79	1	临界安全
2011	0.20	0.15	0.14	0.13	0.39	0.20	0.34	0.48	0.61	1	不安全
2012	0.21	0.15	0.15	0.14	0.35	0.21	0.36	0.51	0.65	1	临界安全
2013	0.19	0.17	0.13	0.11	0.39	0.19	0.36	0.49	0.61	1	不安全
2014	0.24	0.16	0.13	0.10	0.37	0.24	0.40	0.53	0.63	1	临界安全
2015	0.32	0.20	0.13	0.08	0.27	0.32	0.52	0.65	0.73	1	较安全
2016	0.29	0.22	0.11	0.22	0.19	0.29	0.51	0.62	0.84	1	较安全

由表 4 可知,2008—2016 年湖北省水资源状态整体上呈现出波动式升高的趋势,仅 2011 和 2013 年处于不安全等级,其余 7 年则分别属于较安全或临界安全等级范畴,表明近 9 年间湖北省的水资源状态良好。

3.2 水资源 DPSIR 评价等级

参照上述湖北省 2016 年水资源评价等级的运算过程,可以分别计算出 2008—2016 年湖北省逐年水资源驱动力、压力、状态、影响以及响应的评价等级,所得结果见图 1。

从图 1 可以看出,2008—2016 年湖北省水资源

驱动力状态相对较好,其中 2008—2012 年处于临界安全等级,2013—2016 年均属于较安全等级,表明党的十八大以来,随着水生态文明建设的不断推进,湖北省统筹兼顾经济发展与水生态环境保护,并产生了一定的积极效果。

从水资源压力评价结果来看,近 9 年湖北省的水资源压力状态较好,均保持在安全等级范畴内,表明从本研究选取的 3 项水资源压力指标来看,研究时段内湖北省的经济结构和产业结构较为合理,同时也说明各产业水资源利用率较高^[18],对水资源的压力影响相对较小,此结果与杨倩等^[19]在对湖北水

资源生态承载力研究中所得出结论相一致。可以看出在中央一号文件明确提出实行最严格水资源管理制度的背景下,湖北省加快实施最严格水资源管理制

度,所建立的一套从水资源保护、防治、监督到考核的制度体系^[20],有力地推动了区域节水型社会的建设。

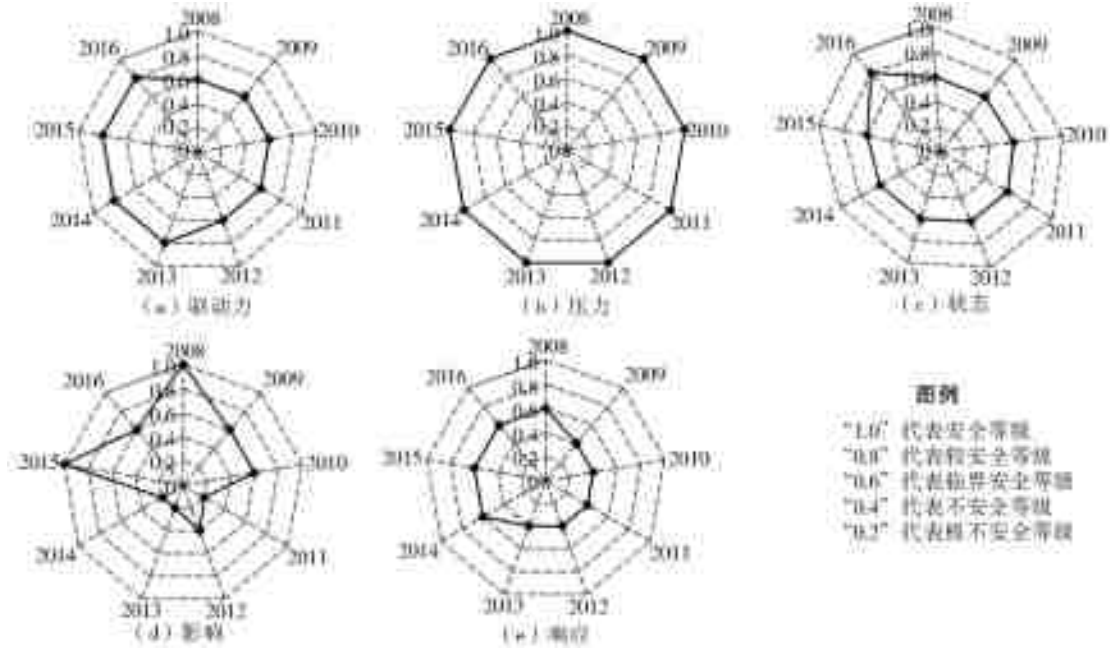


图 1 2008—2016 年湖北省水资源 DPSIR 评级等级

Fig. 1 Water resources DPSIR evaluation level in Hubei Province from 2008 to 2016

从水资源状态评价结果来看,2008—2016 年湖北省的水资源状态较为稳定,2008—2015 年均属于临界安全,仅 2016 年处于较安全等级,表明湖北省的水资源状态一般,这主要可以从两个方面解释:一方面是近些年湖北省人口增长迅速,加之在长江经济带建设和中部崛起战略背景下,湖北省经济发展迅速导致人口聚集,使得湖北省人均水资源量低于全国平均值,接近国际公认的人均 1 700 m³ 严重缺水警戒线^[21],尤其城市缺水突出^[22];另一方面,由于湖北省山地、丘陵和岗地面积占比高达 80%,因此地表水贮存条件相对较差,大部分山丘区存在工程性缺水问题,且鄂北岗地区还存在资源性缺水问题,水资源状态安全仍面临着巨大的挑战。

从水资源影响评价结果来看,近 9 年间湖北省的水资源影响评价等级呈现出先降低后升高的趋势。其中,2011—2014 年水资源影响属于极不安全等级或不安全等级,这和期间发生的旱灾密切相关。据中国水旱灾害公报显示:2011 年,全国共有 2 895.45 万人因旱饮水困难,其中湖北、贵州、云南、四川 4 省占全国的 59.2%;2012 年,湖北省中北部降水偏少 3~6 成,全省饮水困难人数占全国的 11.4%,旱情高峰时,30 万头大牲畜因旱饮水困难;2013 年水资源影响安全也相对较差,这主要是期间长江中下游地区发生严重的高温伏旱所致,湖北省

降水量较多年同期平均值偏少 55%,其中湖北中部、北部部分地区连续 4 年受旱,旱情高峰期时,全省耕地受灾面积为多年同期平均值的 4 倍;2014 年 6 月至 8 月下旬,湖北省北部降水量较常年偏少 5~7 成,湖北省作物因旱受灾面积占全国的 5.2%。

从水资源响应评价结果来看,2009—2013 年处于不安全等级,2014—2016 年均达到临界安全等级,表明近 9 年间湖北省的水资源响应状态相对较差,但水资源响应状态呈现出上升的趋势。因此,湖北省在发展过程中应注重采取更全方位的响应措施来进一步应对水资源面临的威胁。

综上所述,研究时段内水资源影响和水资源响应是影响湖北省水资源状态的最重要因素。

4 结论与讨论

本文对湖北省 2008—2016 年的水资源进行评价,评价结果直观地反映了该区域的水资源状态,主要得出以下结论。

(1) 从水资源总的评价结果来看,2008—2016 年湖北省的水资源状态整体上呈现出波动式升高的趋势,研究结果表明近 9 年间湖北省的水资源状态良好。

(2) 从水资源 DPSIR 评价结果可以看出,2008—2016 年水资源影响和水资源响应是影响湖

北省水资源状态的最重要因素。

本次研究结合湖北省的水资源特点和实际情况,尝试构建了基于 DPSIR 概念模型的湖北省水资源评价指标体系,为后续更加深入地研究湖北省以及长江经济带的水资源态势做了必要的准备工作,但文中的研究仍存在以下不足和改进之处:本次选取了 16 个评价指标构成评价体系,但水资源评价问题涉及到资源、环境等诸多方面,且不同地区的水资源实际情况又存在较大的差异性,因此评价指标的选取需要在今后的实践中进一步探索和完善;根据评价结果,结合区域水资源开发利用现状和社会经济发展等,开展水资源状态监测与预警研究,进而对水资源进行法律、制度和保障体系研究。

参考文献(References):

- [1] 邹波,安和平. 贵州省水资源安全问题及战略性对策研究[J]. 农业现代化研究,2012,33(5):529-534. (ZHOU B, AN H P. Study on water resources security problems and strategic countermeasures in Guizhou Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2012, 33(5): 529-534. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0275. 2012. 05. 004.
- [2] 吴传余. 基于 PSR 和熵权模型的安徽省水资源安全评价[J]. 水利科技与经济,2017,23(12):53-57. (WU C Y. Water resources security evaluation of Anhui province based on PSR and entropy weight model[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2017, 23(12): 53-57. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN:SLKY. 0. 2017-12-010.
- [3] 孔雪松,谢世姣,朱思阳,等. 湖北省人口-土地-产业城镇化的时空分异与动态耦合分析[J]. 经济地理,2019,39(4):93-100. (KONG X S, XIE S J, ZHU S Y, et al. Spatial-temporal differentiation and dynamic coupling analysis of population-land-industry urbanization in Hubei Province[J]. Economic Geography, 2019, 39(4): 93-100. (in Chinese)) DOI: 10. 15957/j. cnki. jjdl. 2019. 04. 012.
- [4] 马艳. 基于熵权 TOPSIS 法的湖北省土地生态安全评价[J]. 湖北农业科学,2019,58(8):28-34. (MA Y. Evaluation of land ecological security in Hubei Province based on entropy weight TOPSIS method[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58(8): 28-34. (in Chinese)) DOI: 10. 14088/j. cnki. issn0439-8114. 2019. 08. 007.
- [5] 周念来,陈虹. 湖北水生态文明建设探讨[J]. 中国水运(下半月),2015,15(8):71-72,79. (ZHOU N L, CHEN H. Discussion on the construction of Hubei water ecological civilization[J]. China Water Transport(Second half of the month), 2015, 15(8): 71-72, 79. (in Chinese))
- [6] 张晓京. 长江经济带湖北段水生态建设的问题、成因与对策[J]. 湖北社会科学,2018(2):61-67. (ZHANG X J. Problems, causes and countermeasures of water ecological construction in the Hubei section of the Yangtze river economic belt[J]. Hubei Social Sciences, 2018(2): 61-67. (in Chinese)) DOI: 10. 13660/j. cnki. 42-1112/c. 014494.
- [7] 乌云嘎,聂艳,罗毅,等. 湖北省耕地生态安全时空演变特征研究[J]. 江汉大学学报(自然科学版),2015,43(4):317-322. (WU Y G, NIE Y, LUO Y, et al. Temporal and spatial evolution characteristics of cultivated land ecological security in Hubei Province[J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2015, 43(4): 317-322. (in Chinese)) DOI: 10. 16389/j. cnki. cn42-1737/n. 2015. 04. 006.
- [8] 张感山. 湖北水资源统一管理的对策思路[J]. 中国水利,2002(1):67-68. (ZHANG G S. Countermeasures for the unified management of Hubei water resources[J]. China Water Resources, 2002(1): 67-68. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2002. 01. 028.
- [9] 吴遵雄. 改革开放 40 年湖北省水土保持成效综述[J]. 中国水土保持,2018,441(12):43-45. (WU Z X. A summary of the effect of soil and water conservation in Hubei Province in the 40 years of reform and opening-up[J]. Soil and Water Conservation in China, 2018, 441(12): 43-45. (in Chinese)) DOI: 10. 14123/j. cnki. swcc. 2018. 0276.
- [10] 曹琦,陈兴鹏,师满江. 基于 DPSIR 概念的城市水资源安全评价及调控[J]. 资源科学,2012,34(8):1591-1599. (CAO Q, CHEN X P, SHI M J. Urban water resources security evaluation and regulation based on DPSIR concept[J]. Resources Science, 2012, 34(8): 1591-1599. (in Chinese))
- [11] 王文圣,李跃清,金菊良,等. 水文水资源集对分析[M]. 北京:科学出版社,2010. (WANG W S, LI Y Q, JIN L J, et al. Set pair analysis of hydrology and water resources[M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))
- [12] 杨振华,周秋文,郭跃,等. 基于 SPA-MC 模型的岩溶地区水资源安全动态评价—以贵阳市为例[J]. 中国环境科学,2017,37(4):1589-1600. (YANG Z H, ZHOU Q W, GUO Y, et al. Dynamic evaluation of water resources security in Karst area based on SPA-MC model: a case study of Guiyang City[J]. China Environmental Science, 2017, 37(4): 1589-1600. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-6923. 2017. 04. 048.

- [13] 张凤太,王腊春,苏维词. 基于 DPSIRM 概念框架模型的岩溶区水资源安全评价[J]. 中国环境科学, 2015,35(11): 3511-3520. (ZHANG F T, WANG L C, SU W C. Safety evaluation of water resources in Karst area based on DPSIRM conceptual framework model [J]. China Environmental Science, 2015, 35 (11): 3511-3520. (in Chinese)) DOI: CNKI; SUN; ZGHJ. 0. 2015-11-055.
- [14] 金菊良,吴开亚,魏一鸣. 基于联系数的流域水安全评价模型[J]. 水利学报, 2008, 39(4): 401-409. (JIN L J, WU K Y, WEI Y M. Watershed water safety assessment model based on contact number [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 (4): 401-409. (in Chinese)) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2008. 04. 005.
- [15] 王宏伟,张鑫,邱俊楠. 模糊集对分析法在水资源安全评价中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(10): 209-214. (WANG H W, ZHANG X, QIU J N. Application of fuzzy set pair analysis method in water resources safety evaluation [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2011, 39(10): 209-214. (in Chinese)) DOI: 10. 13207/j. cnki. jnwafu. 2011. 10. 003.
- [16] ZHANG J Y, WANG L C. Assessment of water resource security in Chongqing City of China; What has been done and what remains to be done [J]. Natural Hazards, 2015, 75(3): 2751-2772. (in Chinese)) DOI: 10. 1007/s11069-014-1460-5.
- [17] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33(1): 14-22. (CHEN Q S. Theory model of attribute recognition and its application [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1997, 33(1): 14-22. (in Chinese)) DOI: 10. 13209/j. 0479-8023. 1997. 002.
- [18] 陈进,刘志明. 近 20 年长江水资源利用现状分析[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(1): 1-4. (CHEN J, LIU Z M. Analysis of the current situation of water resources utilization in the Yangtze River [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute 2018, 35 (1): 1-4. (in Chinese)) DOI: CNKI; SUN; CJKB. 0. 2018-01-003.
- [19] 杨倩,孙铖,李山勇,等. 湖北水资源生态承压能力的时空分异特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 289-295, 302. (YANG Q, SUN C, LI S Y, et al. Spatial and temporal variation characteristics of water resources ecological capacity in Hubei Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(1): 289-295, 302. (in Chinese)) DOI: 10. 13869/j. cnki. rswc. 2016. 01. 045.
- [20] 廖松. 湖北水资源保护建设研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(22): 78-79, 88. (LIAO S. Research on Hubei water resources protection construction [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2015, 21 (22): 78-79, 88. (in Chinese)) DOI: 10. 16377/j. cnki. issn1007-7731. 2015. 22. 035.
- [21] 张红梅. 湖北省水资源现状及其利用对策浅析[J]. 湖北水利水电职业技术学院学报, 2012(1): 10-12. (ZHANG H M. Analysis on the present situation of water resources in Hubei Province and its utilization countermeasures [J]. Journal of Hubei Water Resources Technical College, 2012 (1): 10-12. (in Chinese))
- [22] 刘双圆,孙小舟,汪冰寒. 湖北省水资源供需平衡及其承载力[J]. 中国农学通报, 2014, 30(29): 192-196. (LIU S Y, SUN X Z, WANG B H. Water resources supply and demand balance and its bearing capacity in Hubei Province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(29): 192-196. (in Chinese))