

基于 DPSIR – TOPSIS 模型的河北省水资源承载力评价及障碍因素研究

石晓昕^{1,2}, 袁重乐^{1,2}, 钱会^{1,2}, 徐盼盼^{1,2}, 郑乐^{1,2}

(1. 长安大学 水利与环境学院, 陕西 西安 710064; 2. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要: 水资源承载力评价是了解水资源发展水平的关键,在水资源可持续发展中具有重要作用。基于 DPSIR 概念模型选取 14 个指标构成评价体系,采用熵权 TOPSIS 方法和障碍度模型对河北省 2010 – 2017 年水资源承载力进行分析研究。结果表明:2010 – 2017 年河北省水资源承载力水平呈上升趋势;从分类指标来看,除影响子系统承载力水平下降外,其余子系统承载力水平都有不同程度的提升;从障碍度分析来看,影响水资源承载力发展的主要因素为压力子系统,就主要障碍因子而言,2010 – 2013 年为工业用水量、人均用水量以及生态环境用水比重;2014 – 2017 年为农业化肥施用量、人均水资源量、建成区绿化覆盖率。DPSIR – TOPSIS 模型对河北省水资源承载力评价有较好的适用性,对该地区经济社会和生态环境的发展具有重要意义。

关键词: 水资源承载力; DPSIR – TOPSIS 模型; 障碍因素; 河北省

中图分类号:TV211.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)05-0092-08

Evaluation and obstacle factors of water resources carrying capacity in Hebei Province based on DPSIR – TOPSIS model

SHI Xiaoxin^{1,2}, YUAN Chongle^{1,2}, QIAN Hui^{1,2}, XU Panpan^{1,2}, ZHENG Le^{1,2}

(1. School of Water and Environment, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effect in Arid Region (Chang'an University), Ministry of Education, Xi'an 710064, China)

Abstract: The evaluation of water resources carrying capacity is the key to understanding the development level of water resources, it plays an important role in the pursuit of sustainable development of water resources. Based on the DPSIR conceptual model, 14 indexes were selected to constitute the evaluation index system, and the entropy weight TOPSIS model and obstacle degree model were used to analyze the water resources carrying capacity of Hebei Province from 2010 to 2017. The results show that the water resources carrying capacity of Hebei Province was on the rise from 2010 to 2017. According to the classification indices, the bearing capacity level of the subsystems has been improved to different degrees except that the influence subsystem decreased. From the perspective of obstacle degree analysis, the main factor affecting the development of water resources carrying capacity was the pressure subsystem. In terms of the main obstacle factors, the industrial water consumption, *per capita* water consumption and the proportion of ecological environment water consumption were the main obstacle factors from 2010 to 2013. From 2014 to 2017, the main obstacle factors included the application of agricultural fertilizers, *per capita* water resources and the green coverage rate of established areas. DPSIR – TOPSIS model is applicable to the evaluation of water resources carrying capacity of Hebei Province, and it is beneficial for the development of social economy and ecological environment in this region.

收稿日期:2020-12-05; 修回日期:2021-04-25

基金项目:黄河流域水资源调查评价项目(300102290401);中央高校基本科研业务费专项资金项目(300102291401、300102291402、300102291507);国家111引智计划项目(B08039)

作者简介:石晓昕(1997-),女,山西临汾人,硕士研究生,主要从事水文与水资源方面的研究。

通讯作者:钱会(1963-),男,陕西咸阳人,博士,教授,博士生导师,主要从事水文地质方面的研究。

Key words: water resources carrying capacity; DPSIR - TOPSIS model; obstacle factor; Hebei Province

1 研究背景

我国是一个水资源短缺的国家,人均水资源量不足世界人均水平的 1/4,且水资源需求量随着社会的快速发展不断增加,导致水资源短缺、水环境恶化等问题日益凸显,面临的风险挑战更加复杂^[1-2]。究其原因是人类经济社会发展对水资源造成的影响和干扰,致使水资源、经济社会和生态环境三者之间严重失衡。为了充分合理利用水资源,使社会、生态和水资源保护协调发展,必须综合考虑水资源系统承载力^[3-4]。

水资源承载力概念最早是在 20 世纪 80 年代末提出的,之后水资源承载力的研究范围和深度越来越大^[5]。从研究方法来看,卢炎秋等^[6]采用主成分分析法研究了恩施州水资源承载力,发现人口、水资源的利用情况和经济社会发展是影响承载力的因素;安国庆^[7]利用 BP 神经网络对衡水市水资源承载力进行了时空分析,结果表明 2010 - 2016 年其水资源承载力呈先上升后降低的趋势,空间上呈现东、西部地区分异的特征;杨光明等^[8]通过构建系统动力学模型评价了重庆市水资源承载力;夏欢等^[9]应用改进的 TOPSIS 法对连云港市水资源承载力进行了评价,并针对评价结果提出了合理化建议。除了上述研究方法,还有多目标分析法^[10]、水足迹理论^[11]、模糊综合评价法^[12]等。从评价体系来看,陈海涛等^[13]基于水资源、经济社会、生态环境 3 个方面构建了评价体系对河南省水资源承载力进行了评价研究;阮君等^[14]基于 DPSIR 概念模型构建了评价指标体系。

综上所述,水资源承载力已成为当下水资源领域研究的重点和热点,现有的成果理论完善了其评价体系。但也存在着一些不足之处:在确定权重方面受主观因素影响较大,结果不具有客观性,如主成分分析法;在评价过程中无法反映真实和理想承载力水平之间的差距,如水足迹法;模糊综合评价法容易忽略次要因素,评价结果不够细致。与其他方法相比, TOPSIS 方法不受指标和数据的限制,思路清晰且应用简便。DPSIR 模型能有效地反映各子系统之间的相互作用,被广泛应用于水资源承载力水平研究。目前,针对河北省水资源承载力评价的研究较少,大都集中在对某个市的研究^[15-16],或者是将京津冀地区^[17]作为整体系统来研究水资源承载力。鉴于此,本文采用 DPSIR 概念模型构建评价体系,

利用熵权 TOPSIS 方法对河北省 2010 - 2017 年水资源承载力进行评价研究,并通过障碍度模型分析主要障碍因子,为河北省水资源承载力评价提供依据和方法,为协调水资源、生态环境和经济社会发展的关系提供借鉴。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

河北省界于北纬 36°05' ~ 42°40'、东经 113°27' ~ 119°50' 之间,东临渤海,内环京津,总面积 18.88×10^4 km²,研究区域行政区划如图 1 所示。该地属温带大陆性季风气候,四季分明。降水量季节差异大,分布特点为东南多西北少;年平均气温 1.6 ~ 14.1 °C,分布特征为南高北低。据 2010 - 2017 年资料统计,河北省多年平均水资源总量为 161.79×10^8 m³,平均用水量为 190.05×10^8 m³,水资源总量供不应求。平均人均水资源量为 220.12 m³,仅相当于全国人均水平的 10.51%。河北是京津地区水源地,不断地向京津供水,支持其经济社会和生态环境用水,承担着保护用水安全的重要责任,但日益增长的用水需求使得河北省面临水资源短缺、供需矛盾不断加重等一系列问题。



图1 研究区域行政区划图

2.2 数据来源

本文选取的数据均来自于 2010 - 2017 年《河北

省统计年鉴》和《河北水资源公报》。

2.3 研究方法

2.3.1 综合评价指标体系构建 DPSIR (driving force – pressure – state – impact – response) 是一种由欧洲环境署对 PSR 模型做出改进后提出的概念模型,系统地概括了人与自然环境的相互作用与关系,

还包含了社会、经济、资源与环境等要素,具有综合性、科学性、系统性等优点^[18-20]。该模型将水资源系统分为驱动力 (driving force)、压力 (pressure)、状态 (state)、影响 (impact)、响应 (response) 5 大部分^[21]。河北省水资源承载力评价指标体系由这 5 部分组成,共选取 14 个指标,如表 1 所示。

表 1 基于 DPSIR 概念模型的河北省水资源承载力评价体系

目标层	准则层	指标	性质	指标层	释义
水资源承载力	驱动力 (D)	X_1	+	人均地区生产总值/元	区域经济发展水平
		X_2	-	人口密度/(人·km ⁻²)	单位土地面积上的人口数量
		X_3	+	产水模数/10 ⁴ (m ³ ·km ⁻²)	某地区水资源总量/地区总面积
		X_4	-	农业化肥施用量/t	本年内实际用于农业生产的化肥数量
	压力 (P)	X_5	-	工业用水量/10 ⁸ m ³	本年内用于工业生产的用水量
		X_6	-	生活用水占比/%	生活用水占总用水量的比例
		X_7	-	人均用水量/m ³	每一用水人口平均每天的生活用水量
	状态 (S)	X_8	+	年降水量/10 ⁸ m ³	降水资源丰沛度
		X_9	+	人均水资源量/m ³	多年平均人均拥有水资源数量
		X_{10}	+	人均粮食产量/t	人均粮食作物生产量
	影响 (I)	X_{11}	+	供水综合生产能力/10 ⁴ (m ³ ·d ⁻¹)	城市产水能力
		X_{12}	+	有效灌溉面积/hm ²	灌溉工程能够进行正常灌溉的水田和灌溉面积之和
	响应 (R)	X_{13}	+	建成区绿化覆盖率/%	城市建成区的绿化覆盖面积占建成区的百分比
		X_{14}	+	生态环境用水比重/%	生态用水占总用水量的比例

2.3.2 熵权法 本文选用熵权法对指标赋权。熵权法是根据指标的原始数据的离散程度来确定指标权重,能够避免因主观因素、决策者而造成的误差和影响,具有精度高、客观科学的优点,一般来说,熵值越小,对评价对象的作用越大,熵权越大,反之亦然^[22-24]。具体的步骤如下:

令评价指标初始矩阵为:

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

式中: x_{ij} 为指标 j 在第 i 年的数据。

对原始数据进行标准化处理:

$$\text{正向指标: } r_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \quad (2)$$

$$\text{负向指标: } r_{ij}^- = \frac{x_{\max j} - x_{ij}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \quad (3)$$

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

式中: r_{ij} 为指标 j 第 i 年的标准化值; $x_{\max j}$ 、 $x_{\min j}$ 分别为相应指标对应的最大值和最小值; $i = 1, 2, \cdots, m$, m 为评价对象; $j = 1, 2, \cdots, n$, n 为评价指标。

计算权重:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (5)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (f_{ij} \ln f_{ij}) \quad (6)$$

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (7)$$

式中: e_j 为信息熵; f_{ij} 为指标的特征比重,当 $f_{ij} = 0$ 时,记 $\ln f_{ij} = 0$ 。

得到权重为:

$$W = (w_1, w_2, \cdots, w_n) \quad (8)$$

2.3.3 TOPSIS 模型 TOPSIS (technique for order preference by similarity to an ideal solution) 全称为“逼近于理想解的排序法”,是一种对多方案、多指标的系统进行决策评价的模型,通过构造正理想解和负理想解对评价对象进行排序,计算各评价方案与正负理想解的距离,再计算贴近度,与 1 越接近,

表明评价结果越优,反之越差。这种方法逻辑清晰,应用方便灵活,在水资源承载力研究中被广泛使用^[25-27]。具体步骤如下:

构造加权矩阵:

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \tag{9}$$

确定正负理想解:

正向指标:
$$\begin{cases} S_j^+ = \max_{1 \leq i \leq m} \{ v_{ij} \} & (j = 1, 2, \dots, n) \\ S_j^- = \min_{1 \leq i \leq m} \{ v_{ij} \} & (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \tag{10}$$

负向指标:
$$\begin{cases} S_j^+ = \min_{1 \leq i \leq m} \{ v_{ij} \} & (j = 1, 2, \dots, n) \\ S_j^- = \max_{1 \leq i \leq m} \{ v_{ij} \} & (j = 1, 2, \dots, n) \end{cases} \tag{11}$$

计算不同方案到正、负理想解的距离:

$$Sd_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^+ - v_{ij})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \tag{12}$$

$$Sd_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (S_j^- - v_{ij})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \tag{13}$$

Sd_i^+ 越大,表示评价对象与正理想解距离越远,结果越差; Sd_i^- 越大,表示评价对象与负理想解距离越远,结果越优。

计算贴近度:

$$\eta_i = \frac{Sd_i^-}{Sd_i^+ + Sd_i^-} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{14}$$

式中: η_i 与 1 越接近,评价结果越优。

2.3.4 障碍度模型 通过障碍度模型对河北省水资源承载力的各子系统和单项指标进行障碍度大小评估,识别障碍因素^[27]。引入因子贡献度(F_{ij})、偏离度(I_{ij})和障碍度(p_{ij} 、 P_{ij}),计算公式如下:

$$F_{ij} = w_j z_j \tag{15}$$

$$I_{ij} = 1 - R_{ij} \tag{16}$$

$$p_{ij} = \frac{F_{ij} \cdot I_{ij}}{\sum_{j=1}^n (F_{ij} \cdot I_{ij})} \times 100\% \tag{17}$$

$$P_{ij} = \sum p_{ij} \tag{18}$$

式中: w_j 为各指标所占的权重; z_j 为各子系统所占的权重; R_{ij} 为标准化处理后的单项指标值。

3 结果与分析

3.1 河北省水资源承载力评价结果与分析

3.1.1 综合系统水资源承载力分析 根据上述的方法及模型,计算得到 2010 - 2017 年河北省水资源承载力综合评价结果,结果如图 2 和 3 所示。

由图 2 可以看出,河北省水资源承载力的综合水平变化趋势呈“M 型”,2010 - 2012 年呈逐步递增

的态势,2012 - 2014 年其综合评价由 0.591 6 降至 0.437 5,同比下降 26.05%,2014 - 2017 年有轻微的波动,呈先上升后下降的趋势,主要是驱动力、状态、影响子系统共同影响的结果。综合来看,河北省 2010 - 2017 年水资源承载力波动较小,整体上处于中等水平。

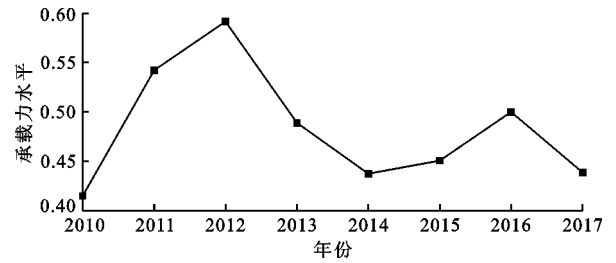


图 2 2010 - 2017 年河北省水资源承载力综合评价结果

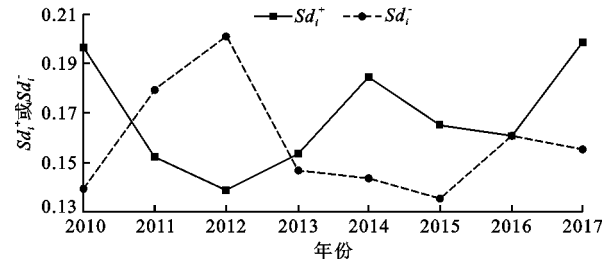


图 3 2010 - 2017 年河北省水资源承载力 Sd_i^+ 、 Sd_i^- 的变化趋势

由图 3 可以看出,2010 - 2017 年 Sd_i^+ 变化很小; Sd_i^- 由 2010 年的 0.139 4 增大到 2017 年的 0.155 4,从整体来看, Sd_i^+ 和 Sd_i^- 的变化趋势波动较大,并且在 2012 - 2014 年及 2016 - 2017 年两个阶段表现为水资源承载力状况较差,其主要原因是由于这两个阶段内的状态子系统下的年降水量以及人均水资源量明显下降,从而影响到了整体的变化趋势。

3.1.2 DPSIR 子系统水资源承载力分析 运用相同模型,进一步对河北省水资源承载力各子系统进行分析,计算得到 2010 - 2017 年各子系统水资源承载力评价结果,结果如表 2 和图 4 所示。

表 2 各子系统水资源承载力评价结果

年份	驱动力 (D)	压力 (P)	状态 (S)	影响 (I)	响应 (R)
2010	0.1717	0.5036	0.2844	0.4704	0.4770
2011	0.3166	0.3250	0.3522	0.9852	0.4008
2012	0.6278	0.3236	0.6597	0.9032	0.1213
2013	0.5139	0.3201	0.5218	0.2680	0.2618
2014	0.3489	0.2828	0.2246	0.1292	0.4647
2015	0.4513	0.4505	0.3470	0.5216	0.3037
2016	0.8101	0.5815	0.6750	0.2530	0.4356
2017	0.5567	0.7847	0.5245	0.2510	0.7197

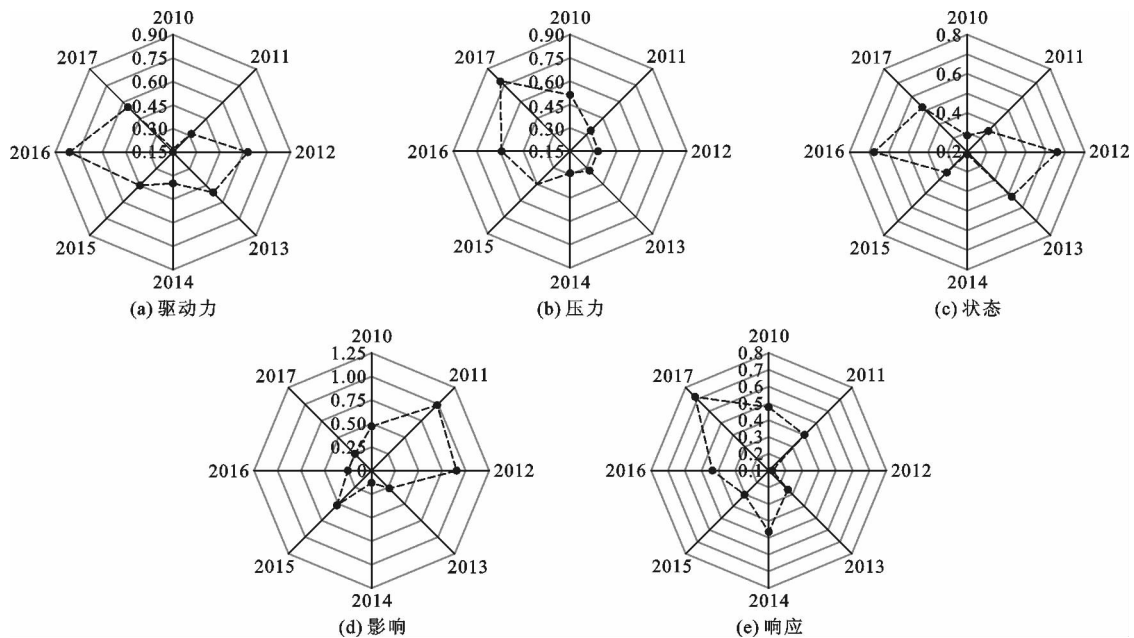


图4 2010—2017年河北省各子系统水资源承载力评价结果

根据表2和图4,对各子系统水资源承载力分析如下:

(1)驱动力子系统。2010—2017年驱动力子系统波动幅度较大,2010—2012年贴适度由0.1717增大至0.6278,到2014年又减小至0.3489,2014—2017年呈先增大后减小的趋势,整体来看是波动上升的,其主要原因在于河北省近年来的经济发展水平不断提高,尤其是在2015年之后我国将京津冀协同发展战略确立为国家的重大发展战略,人均地区生产总值不断提高,贡献率增大,而在2012—2014年及2016—2017年两个阶段内,驱动力子系统的贴适度降低,是由于这两个阶段内的产水模数降低,说明水资源总量减少,水资源供需矛盾变得突出,从而导致水资源承载力降低。

(2)压力子系统。2010—2017年压力子系统贴适度呈现先减小后增大的趋势。主要分为两个阶段,第1阶段从2010年的0.5036减小至2014年的0.2828,第2阶段从2014年的0.2828增大至2017年的0.7847,整体的发展趋势较好。从原始数据来看,主要是因为自2014年之后,河北省农业化肥施用量以及工业用水量在不断地减小,这得益于河北省相关的管理措施,推进有机肥代替农药化肥,严格控制高毒农药的使用,工业用水量在研究期间减少了11.84%,另外人均用水量也在不断地减少,降低了水资源负荷,使得压力子系统达到较高的承载力水平。

(3)状态子系统。状态子系统的贴适度呈不断波动的趋势,状态子系统反映了驱动力和压力子系

统共同作用的结果。2012、2016年状态子系统的贴适度较高,分别为0.6597、0.6750,主要原因在于这两个年度的降水丰沛,分别达到了 $1\,138.22 \times 10^8$ 和 $1\,118.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,使得区域水资源量和人均水资源量均有所增加,2014年的贴适度最低,仅为0.2246,主要原因为该年年降水量少,导致水资源承载力水平较低。

(4)影响子系统。影响子系统的贴适度波动较大,从2010年的0.4704增大至2011年的0.9852,2014年骤减至0.1292,2014—2017年整体有小幅度的上升。主要是供水综合生产能力对影响子系统的影响比较大,其所占权重也达到了0.0844,用水量的增加推动着供水综合生产能力的增长,供水综合生产能力欠缺会制约水资源承载力的发展,说明河北省仍需不断完善供水设施,包括治理管网老化、提高水厂工艺等。

(5)响应子系统。响应子系统的贴适度在波动中上升,2010—2017年从0.4770增大至0.7197,同比增大了50.88%,其结果反馈了政府调控与政策倾向,2011—2017年河北省生态环境用水比重不断增大;建成区绿化覆盖率总体上呈小幅下降的趋势,波动较小,这两个指标的权重分别达到了0.079、0.087,说明环境的治理对水资源承载力水平起到了重要作用。

综合来看,在驱动力作用影响下,水资源承载力发展受到一定压力,会导致水资源发生变化,呈现出不同的状态,状态子系统承载力水平的波动范围与驱动力、压力子系统保持一致,且其随着驱动力子系

统承载力的变化而变化。影响子系统是各子系统呈现的状态对人类社会环境的反馈作用,响应子系统是为应对水资源状况出现的各种问题而采取的措施,以阻止环境恶化。由评价结果可知,响应子系统与其余子系统承载力的变化趋势相差较大,说明河北省在经济社会发展的同时,对生态环境的治理保

护兼顾还不到位。

3.2 河北省水资源承载力障碍度因素诊断

3.2.1 主要障碍因素分析 根据障碍度模型,对 2010 - 2017 年河北省水资源承载力障碍度进行计算,选择比重位于前 5 位的指标为主要障碍因子并对其进行排序,结果如表 3 所示。

表 3 2010 - 2017 年河北省水资源承载力主要障碍因素的障碍度排序

年份	项目	指标排序				
		1	2	3	4	5
2010	障碍因素	X_7	X_{10}	X_{14}	X_9	X_5
	障碍度 / %	20.0409	13.6102	12.3737	10.7720	10.7068
2011	障碍因素	X_5	X_7	X_{14}	X_{10}	X_9
	障碍度 / %	19.9255	19.5417	10.4971	9.8461	8.2159
2012	障碍因素	X_5	X_7	X_4	X_{14}	X_{13}
	障碍度 / %	22.2876	21.6841	12.6139	12.4626	11.7346
2013	障碍因素	X_5	X_7	X_4	X_{13}	X_{14}
	障碍度 / %	17.4359	12.5401	12.1442	8.0836	7.8586
2014	障碍因素	X_4	X_5	X_9	X_7	X_3
	障碍度 / %	15.1086	12.2088	11.0409	10.3675	9.4822
2015	障碍因素	X_4	X_9	X_3	X_{13}	X_5
	障碍度 / %	18.3686	10.6644	9.0153	8.7413	7.9362
2016	障碍因素	X_4	X_{13}	X_{11}	X_6	X_2
	障碍度 / %	17.9656	13.9934	11.3721	9.5306	9.2287
2017	障碍因素	X_9	X_{11}	X_6	X_3	X_2
	障碍度 / %	17.4046	15.8227	14.9553	14.4475	13.7590

由表 3 可知,工业用水量(X_5)和人均用水量(X_7)在 2010 - 2014 年的障碍度所占比重较大,2015 - 2017 年逐渐降低。分析原始数据可知,这两个指标值在 2015 年之后开始有较大幅度下降,说明河北省逐渐重视对工业用水的控制,向节水型的新工艺技术方向发展,工业结构优化、技术改革可以有效减少工业用水量,同时居民的节水意识也不断提高,采用一些有效的节水技术来提高用水效率。其次出现次数较多的有农业化肥施用量(X_4)、人均水资源量(X_9),农用化肥和农药导致水体污染,加剧了水资源短缺,而且会影响饮水和粮食安全,因此需要及时采取措施控制有害物质的排放。再者,出现次数相对较多的为建成区绿化覆盖率(X_{13})和生态环境用水比重(X_{14}),说明需要重视生态环境的建设与保护,改善水环境。在 2015 - 2017 年的排序中,出现了一些新的指标因素,包括人口密度(X_2)、产水模数(X_3),表明驱动力子系统对水资源承载力的制约影响越来越大;另

外还有生活用水占比(X_6)和供水综合生产能力(X_{11}),说明在今后的水资源管理规划中,更应该注重单项指标的障碍度,将系统管理和单项因子治理相结合,做到统筹兼顾,提高水资源承载力水平。

3.2.2 各子系统障碍度分析 根据各项指标障碍度的分析结果可以得到各子系统的障碍度,如图 5 所示。

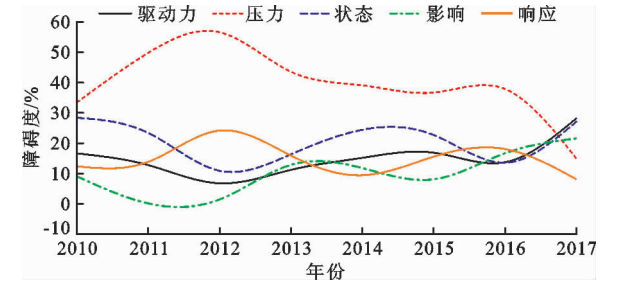


图 5 2010 - 2017 年河北省水资源承载力各子系统障碍度

由图 5 可知,压力子系统从 2012 年之后所占比重呈下降趋势,但除 2017 年之外其余年份的障碍度

依旧处于一个较高的水平;影响子系统在 2011 和 2012 年的障碍度较小,分别为 0.179 9%、1.471 0%,从 2013 年开始所占比重增大;驱动力、状态、响应子系统一直处于波动状态,但总体来说比较稳定。状态子系统与驱动力子系统障碍度的变化趋势相同,这也印证了二者水资源承载力水平的变化关系。综合来看,在今后的水资源承载力发展与治理中,需更加关注驱动力、压力和状态子系统的优化和调整,同时兼顾影响和响应子系统来不断提高河北省水资源承载力水平。

4 讨 论

本研究结果表明,河北省 2010–2017 年水资源承载力水平总体发展处于较平稳的状态,与张永芳等^[28]对河北省水资源脆弱性的研究结果一致,其水资源脆弱性评价结果与本文承载力水平发展趋势相反,验证了承载力越高,脆弱性越低的结论。影响承载力的主要因素包括工农业用水量、人均用水量以及生态环境用水比重,主要是河北省作为工农业大省,其发展对水资源承载力起着极大的影响作用;同时河北省作为我国生态环境较为严峻的区域之一,其生态环境用水也是影响水资源承载力发展的重要因素。因此,当地应采取有效的措施改善用水现状,促进可持续发展。

由于河北省各市部分指标数据不足,本文只对河北省时间序列的水资源承载力进行了评估,未对空间分布作详细探讨,在今后的研究中可以增加对各市水资源承载力的分析,结合时空分布,从整体上讨论河北省水资源承载力水平,使评价结果更完整。

5 结 论

本文通过构建 DPSIR 模型,采用熵权法赋权、TOPSIS 模型作为评价方法,建立了水资源承载力评价体系,并结合障碍度模型对河北省水资源承载力水平进行评价,主要结论如下:

(1)从整体水平上来看,河北省水资源承载力在 2010–2017 年间波动较小,其综合评价指数从 0.414 9 上升至 0.438 7,呈上升趋势。

(2)从各子系统来看,除影响子系统水资源承载力下降外,其余子系统水资源承载力都有不同程度的提高。

(3)从障碍因素来看,河北省水资源承载力发展的主要障碍因素为压力子系统,其次是状态子系统、驱动力子系统。具体来说,影响河北省水资源承

载力的主要障碍因子分为两个阶段,2010–2013 年为工业用水量、人均用水量、生态环境用水比重;2014–2017 年为农业化肥施用量、人均水资源量、建成区绿化覆盖率。

参考文献:

- [1] 赵钟楠,田英,张越,等. 水资源风险内涵辨析与中国水资源风险现状[J]. 人民黄河,2019,41(1):46–50.
- [2] 李茂静. 中国水污染现状及对策分析[J]. 化工管理,2019(6):16.
- [3] 张丽,董增川,张伟. 水资源可持续承载能力概念及研究思路探讨[J]. 水利学报,2003,34(10):108–112+118.
- [4] 王建华,姜大川,肖伟华,等. 水资源承载力理论基础探析:定义内涵与科学问题[J]. 水利学报,2017,48(12):1399–1409.
- [5] 左其亨. 水资源承载力研究方法总结与再思考[J]. 水利水电科技进展,2017,37(3):1–6+54.
- [6] 卢炎秋,程胜高,程迪雨. 基于主成分分析的恩施州水资源承载力研究[J]. 安全与环境工程,2013,20(5):94–99.
- [7] 安国庆. 基于 BP 神经网络的衡水市水资源承载力研究[J]. 水利科技与经济,2018,24(11):18–21.
- [8] 杨光明,时岩钧,杨航,等. 基于系统动力学的水资源承载力可持续发展评估——以重庆市为例[J]. 人民长江,2019,50(8):6–13+51.
- [9] 夏欢,陈菁,许杨,等. 基于改进 TOPSIS 模型的连云港市水资源承载力研究[J]. 节水灌溉,2019,(2):86–90+95.
- [10] 杜立新,唐伟,房浩,等. 基于多目标模型分析法的秦皇岛市水资源承载力分析[J]. 地下水,2014,36(6):80–83.
- [11] WU Lin. Analysis of water sustainable utilization in Changsha City based on water footprint theory[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 694: 532–535.
- [12] 王正选,邱金亮,王静,等. 基于改进模糊集对评价法的水资源承载力评价——以龙川江流域为例[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(5):70–75.
- [13] 陈海涛,徐嘉豪. 基于熵权模糊综合评价模型的河南省水资源承载力评价[J]. 人民珠江,2020,41(1):48–53+116.
- [14] 阮君,何刚,王莹莹. 基于 DPSIR–TOPSIS 模型的安徽省水资源承载力评价[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版),2020,20(4):96–102.
- [15] 陈秋米. 石家庄市水资源承载力评价研究与调控措施[D]. 郑州:华北水利水电大学,2019.
- [16] 卢泽雨. 邯郸市水资源承载力研究[J]. 南方农机,2019,50(3):81–82.
- [17] LI Menggang, LI Wenrui, XU Y Q, et al. Evaluation of water resources carrying capacity of bohai coast Jing-Jin-Ji regions[J]. Journal of Coastal Research, 2020,106(sp1):414.
- [18] 孙才志,吴永杰,刘文新. 基于 DPSIR–PLS 模型的中国水

- 贫困评价[J]. 干旱区地理, 2017, 40(5): 1079 - 1088.
- [19] 杨法暄, 郑乐, 钱会, 等. 基于 DPSIR 模型的城市水资源脆弱性评价——以西安市为例[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(1): 77 - 84.
- [20] ZHAO Jinhui, XIU Haoran, WANG Meng, et al. Construction of evaluation index system of green development in the Yellow River Basin based on DPSIR model[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 510: 032033.
- [21] 白庆芹, 武俊杰, 郝守宁. 基于 DPSIR 模型的西藏水资源脆弱性评价[J]. 人民长江, 2019, 50(6): 98 - 103.
- [22] 韩尚信. 基于 PSR - 改进 TOPSIS 模型安徽省资源环境承载力及影响因素耦合协调度研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.
- [23] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1): 314 - 323.
- [24] 李蕊. 陕西省干旱脆弱性评价[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2015.
- [25] 林龙圳, 李达, 林震. 基于熵权 - TOPSIS 模型的库布齐沙漠地区水资源承载力评价[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2020, 54(4): 640 - 648.
- [26] 郑晶, 于浩, 黄森慰. 基于 DPSIR - TOPSIS 模型的福建省生态环境承载力评价及障碍因素研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(11): 4391 - 4398.
- [27] 顾家明, 胡卫卫, 田素妍. 基于 DPSIR - TOPSIS 模型的江苏省生态承载力评价及障碍因素诊断[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 246 - 252.
- [28] 张永芳, 贾士靖, 刘蕾, 等. 基于综合权重法的河北省水资源脆弱性评价及影响因素分析[J]. 水电能源科学, 2020, 38(4): 22 - 25 + 83.

