

基于 DPSR – 改进 TOPSIS 模型的淮安市 水资源承载力评价

许杨, 陈菁, 夏欢, 褚琳琳, 张馨元
(河海大学 农业工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 对区域水资源承载力的综合评价是实现区域可持续发展的重要前提。针对目前评价指标体系和评价方法存在的一些不足,运用 DPSR 模型(驱动力-压力-状态-响应)提出了 4 类要素 16 个指标所组成的区域水资源承载力综合评价指标体系;运用熵权法对各指标进行客观赋值,减少了人为主观性对评价结果的影响;应用 TOPSIS 分析方法以解决评价体系参照标准的适用性问题,并引入灰色关联分析改进 TOPSIS 以克服其自身局限性,构建了基于 DPSR – 改进 TOPSIS 的水资源承载力综合评价模型。以淮安市为例进行研究,结果表明:淮安市水资源承载力在 2015 年前总体呈上升趋势,2015 年之后明显下降;保持环保资金高投入,减少 COD、氨氮等污染物排放量,提升水功能区水质达标率是提高区域水资源承载力的关键措施;DPSR – 改进 TOPSIS 模型能为区域水资源承载力评价提供新的思路和方法支撑,具有一定的应用价值。

关键词: 水资源承载力; DPSR 模型; 灰色关联分析; 改进的 TOPSIS; 淮安市

中图分类号:TV213.4 文献标识码:A 文章编号:1672-643X(2019)04-0047-06

Evaluation of water resource carrying capacity in Huai'an City based on DPSR – improved TOPSIS model

XU Yang, CHEN Jing, XIA Huan, CHU Linlin, ZHANG Xinyuan
(College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to achieve the regional sustainable development, the carrying capacity of regional water resources needs to be evaluated objectively and comprehensively. In view of the deficiencies in the current evaluation index system and evaluation methods, a regional water resource carrying capacity evaluation index system consisting of 16 indexes divided into four categories was constructed using the DPSR (driving forces – pressure – state – response) model. The method of entropy weight was used to assign objective values to various indexes, which reduces the influence of human subjectivity on evaluation results. TOPSIS analysis method was applied to solve the applicability problem of the reference standard of the evaluation system, and grey relational analysis was introduced to improve TOPSIS to overcome its own limitations. Above all, a comprehensive evaluation model of water resource carrying capacity based on DPSR – improved TOPSIS was constructed. Taking Huai'an city as the research example, we can see that the water resource carrying capacity of Huai'an city enhanced overall before 2015, and then significantly declined. Maintaining high input of environmental protection funds, reducing the discharge of pollutants such as COD and ammonia nitrogen, and improving the water quality compliance rate in water functional areas are key measures to improve the carrying capacity of regional water resources. DPSR – improved TOPSIS model can provide new ideas and methods for regional water resource carrying capacity evaluation, which has certain application value.

Key words: water resource carrying capacity; DPSR(driving forces-pressure-state-response) model; gray cor-

收稿日期:2018-11-04; 修回日期:2019-02-24

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC040320503)

作者简介:许杨(1995-),男,江苏扬州人,硕士研究生,研究方向为水土资源规划管理。

通讯作者:陈菁(1964-),女,福建福州人,博士,教授,博士生导师,研究方向为水土资源规划管理。

relation analysis; improved-TOPSIS; Huaian City

1 研究背景

水是生命之源,是人类社会赖以生存的根本。随着经济社会的快速发展和城市化进程的不断推进,人类对水资源的需求量日益增长,水资源供需矛盾日益突出^[1]。与此同时,对水资源的过度开发利用和水生态保护工作的不足,导致了部分地区水质变差、生态恶化,从而引发了一系列的水环境危机。水资源数量和质量正在逐渐成为制约区域生态环境和经济社会可持续发展的主要原因,其严重影响了区域水资源承载力^[2]。客观全面地评价区域水资源承载力^[3-4],分析当前区域水资源使用上存在的问题并提出改进建议,是实现区域可持续发展的重要前提。

相关学者对水资源承载力的研究在评价体系和评价方法上百舛争流。贺欣悦等^[5]将熵权法和云理论有机结合,用于成都市各区县水资源承载力评价,避免权重确定的主观性同时兼顾概念的模糊性和随机性;肖杰等^[6]根据关中-天水经济区相关资料应用主成分分析法从时间和空间角度综合评估了区域水资源承载力;张天宇等^[7]运用模糊综合评价模型对沙漠绿洲未来水资源承载力进行了评价和预测研究以期对地区水资源可持续利用和管理提供决策;蓝希等^[8]采用结构熵权法和均方差决策法进行主客观联合赋权,对长江经济带战略下的武汉城市水环境承载背景进行研究;杨琳琳等^[9]运用BP神经网络模型模拟分析了2个情景下2014-2020年新疆的水资源承载力。但是目前的研究主要存在两方面不足:(1)评价指标体系的构建对各种因素间的相关性反映不够,对影响区域水资源承载力的深层原因反映不够;(2)评价体系参照标准的适用性有所不足,存在一定的主观任意性。

DPSR模型在PSR(压力-状态-响应)模型^[10-14]的基础上增加考虑了D(驱动力)因素,指标体系较为完整,不仅能够清晰反映出各种因素之间的相关性,还能一定程度地探究区域水资源承载力变化的深层原因。TOPSIS模型^[15-16]能充分利用原始数据的信息,其参照标准来源于原始数据本身,无需主观确定,能客观充分地反映各方案之间的差距。灰色关联法^[17-18]能很好地反映各评估对象与参考数列间的非线性关系,可以一定程度上弥补TOPSIS分析法的缺陷,引入灰色关联法改进TOPSIS可以增加评价结果的客观全面性。因此,本文

引入DPSR模型,将其与灰色关联改进的TOPSIS模型相结合,并对淮安市水资源承载力进行实例分析,以期对区域水资源承载力评价提供新的思路和方法支撑。

2 研究区域概况和数据来源

2.1 研究区域概况

淮安市地处苏北腹地,境内河网密布、湖泊众多,水资源总量相对较为丰富,但是淮安市人均水资源总量却相当匮乏,不到全国水平的三分之一。随着经济社会的快速发展和城镇化进程的不断推进,淮安市的水资源需求将愈发紧张。为保障区域生态环境和经济社会可持续发展,须要对淮安市水资源承载力进行客观全面的综合评价。

2.2 数据资料来源

通过对淮安市2011-2016年统计年鉴、环境保护公报、水资源公报等相关数据进行整理分析计算,得到本文原始数据。

3 研究方法

3.1 指标体系的构建

本文结合淮安市水资源状况和经济社会发展状况,运用DPSR模型,选取4个层面共16个指标作为综合评价分析的依据,其中驱动力层指标2个,压力层指标5个,状态层指标5个,响应层指标4个,具体见表1。

3.1.1 驱动力指标 驱动力指标可定义为推动区域水资源系统发展变化的指标,它是水资源承载力变化最原始的关键指标,主要与区域社会经济发展等指标有关:

社会发展指标。目前我国大部分地区依旧处于加速工业化、城镇化阶段,这一过程中行业用水结构的调整以及人类对河流湖泊的改造都将对区域水资源系统产生根本的改变,因此社会发展指标是驱动力指标中的最关键指标之一。城市化率目前能很好地反映我国大部分城市社会发展状况,可作为社会发展代表性指标。

经济发展指标。一方面,区域水资源承载能力的过载主要是由于区域经济中各行业的用水需求快速增长;另一方面,更高水平的水资源承载力也有着承受更高经济发展水平的内在要求。人均GDP是衡量中国地区经济发展水平的最常用指标之一,因而可作为经济发展代表性指标。

3.1.2 压力指标 压力指标可定义为在驱动力作用之后,施加在水资源系统上造成水资源承载力恶化的直接因素。压力可以认为是经济社会不断发展的情况下人类对水资源的需求和人类活动产生的污水和主要水体污染物对水资源系统的负担。本文选择从以下几个方面的指标考虑:

人口指标。人口数量的增长会导致人类对水资源系统干涉活动的增加,这在一定程度上削弱了水资源系统的完整性,从而对水资源承载力造成相当严峻的压力。本文选取人口密度作为人口指标的代表性指标。

人均用水需求指标。社会经济的发展显著提高了人类的生活水平,人均用水需求势必会日益增长,形成日益增加的需水压力。本文选取人均用水量作为人均用水需求指标。

污水排放量指标。水资源在经历从自然系统到社会系统再回归自然系统的过程中,一般均会受到不同程度的污染,这就给水资源系统施加了一定程度的水质压力。

水环境污染程度指标。水资源污染程度的高低对水资源质量以及治理带来的压力也有所不同。目前,化学需氧量(COD)和氨氮排放量是水环境治理中的主要控制指标,因此本文选取这两项指标作为水环境污染程度指标。

3.1.3 状态指标 状态指标是用来描述水资源系统在压力作用下所处的物理特征状态,很大程度上反映了区域水资源系统目前的客观状态,可从以下几个方面考虑:

行业用水状态指标。各行业的用水水平很大程度上决定了区域的水资源系统状态,考虑到淮安市农业用水仍然占据总用水量的绝大部分,选取亩均灌溉用水量作为农业用水状态指标,万元 GDP 取水量作为全行业用水状态指标。

水资源可利用量。水资源可利用量是水资源系统能满足人类用水需求的尤为重要的指标,本文选取人均可利用水资源量作为代表性指标。

河湖水环境指标。河道、湖泊作为水资源系统的天然组成部分,其水环境质量对区域内居民有着毋庸置疑的影响。本文选取水功能区达标率作为湖泊水环境指标,选取三类水以上断面率作为河流水环境指标。

3.1.4 响应指标 响应是指人类在水资源开发利用过程中充分发挥主观能动性对水资源系统采取的保护性管理治理措施。鉴于淮安市近年来投入了大

量资金优化了产业结构、提高了农业用水效率以及污水处理水平,本文选取灌溉水利用系数、污水日处理能力、环保资金投入和第三产业占比 4 个指标作为响应指标。

表 1 水资源承载力 DPSR 模型指标体系

目标层	准则层	指标层	指标性质	权重
D(驱动力)		城市化率/%	+	0.0609
		人均 GDP/元	+	0.0625
		人口密度/km ²	-	0.0607
P(压力)		人均用水量/m ³	-	0.0431
		污水排放量/10 ⁸ t	-	0.0735
		COD/10 ⁴ t	-	0.0406
		氨氮排放量/10 ⁴ t	-	0.0540
S(状态)		万元 GDP 取水量/m ³	-	0.0547
		亩均灌溉用水量/m ³	-	0.0440
		人均可利用水资源量/m ³	+	0.0423
		水功能区达标率/%	+	0.0448
		三类水以上断面率/%	+	0.0369
		灌溉水利用系数	+	0.0480
R(响应)		污水日处理能力/10 ⁴ t	+	0.1096
		环保资金投入/10 ⁴ 元	+	0.1526
		第三产业占比/%	+	0.0718

注: + 表示正向指标; - 表示负向指标。

3.2 指标权重

本文采用熵权法确定 DPSR 模型指标体系各指标权重。熵权法^[19-20]确定的各指标权重主要来源于数据自身的客观差异性,不受主观偏好影响,从而能客观反映数据中的相关信息,适用范围很广。

3.2.1 归一化评价矩阵 设历史数据有 m 年,评价指标有 n 个,则初始评价矩阵为 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 。

数据归一化处理:

$$a'_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij} - \min\{a_{ij}\}}{\max\{a_{ij}\} - \min\{a_{ij}\}} \\ \frac{\max\{a_{ij}\} - a_{ij}}{\max\{a_{ij}\} - \min\{a_{ij}\}} \end{cases} \quad (1)$$

式中: a_{ij} 为第 i 年第 j 个指标; a'_{ij} 为初始评价矩阵中初始值标准化后得到的标准值; $\max\{a_{ij}\}$ 、 $\min\{a_{ij}\}$ 分别表示第 j 个指标的最大值和最小值。

当指标有利益属性为正向指标时,取公式(1)中上式;当指标有成本属性为负向指标时,取公式(1)中下式。

3.2.2 指标权重计算 计算 m 年数据序列里第 j 项指标的第 i 年数据占该指标的比重:

$$p_{ij} = \frac{a'_{ij}}{\sum_{i=1}^m a'_{ij}} \quad (2)$$

计算第 j 项指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

式中: $k = 1/\ln(m)$ 且 $p_{ij} = 0$ 时, 记 $\ln(p_{ij}) = 0$ 。

计算第 j 项指标权重:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{i=1}^m e_j} \quad (4)$$

记权重向量为 $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 。

3.3 灰色关联改进的 TOPSIS

用 TOPSIS 分析法评价各对象优劣程度时, 选取的参照标准来源于各对象数据本身, 客观性很强。但考虑到 TOPSIS 求得的欧式距离只反映了其属性与其效用之间的线性变化关系, 而灰色关联分析法是通过计算各参考方案序列与最优解序列的相关度来比较各方案优劣, 其能较好地反映序列之间的非线性关系, 因此运用灰色关联分析的灰色关联度来改进 TOPSIS。

3.3.1 标准化评价矩阵 对初始评价矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 进行标准化处理, 记为 $B = (b_{ij})_{m \times n}$ 。

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

3.3.2 加权判断矩阵计算 将标准化后的评价矩阵与熵权法确定的权重矩阵相乘, 得加权判断矩阵如下:

$$F = \begin{bmatrix} a_{11} \cdot w_1 & a_{12} \cdot w_2 & \cdots & a_{1n} \cdot w_n \\ a_{21} \cdot w_1 & a_{22} \cdot w_2 & \cdots & a_{2n} \cdot w_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} \cdot w_1 & a_{m2} \cdot w_2 & \cdots & a_{mn} \cdot w_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

记为 $F = (f_{ij})_{m \times n}$ 。

3.3.3 最优最劣解的确定 记最优解向量为 $f^+ = \{f_1^+, f_2^+, \dots, f_n^+\}$, 最劣解向量为 $f^- = \{f_1^-, f_2^-, \dots, f_n^-\}$ 。

对于正向指标:

$$\begin{aligned} f_j^+ &= \max\{(f_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m)\} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ f_j^- &= \min\{(f_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m)\} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (7)$$

对于负向指标:

$$\begin{aligned} f_j^+ &= \min\{(f_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m)\} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ f_j^- &= \max\{(f_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, m)\} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (8)$$

3.3.4 计算距离 采用欧式距离作为评价年各指标与最优最劣解接近程度的标准, 计算公式如下:

$$\begin{aligned} d_i^+ &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_j^+ - f_{ij})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ d_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^n (f_j^- - f_{ij})^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (9)$$

式中: d_i^+ 为第 i 年各指标与最优解的欧式距离; d_i^- 为第 i 年对象各指标与最劣解的欧式距离。

3.3.5 计算灰色关联系数 在前文中确定的加权标准化矩阵和最优最劣解的基础上, 通过以下公式计算灰色关联系数。

$$\begin{aligned} \zeta_j^+ &= \frac{\min_i \min_j |f_j^+ - f_{ij}| + \rho \max_j \max_i |f_j^+ - f_{ij}|}{|f_j^+ - f_{ij}| + \rho \max_j \max_i |f_j^+ - f_{ij}|} \\ \zeta_j^- &= \frac{\min_i \min_j |f_j^- - f_{ij}| + \rho \max_j \max_i |f_j^- - f_{ij}|}{|f_j^- - f_{ij}| + \rho \max_j \max_i |f_j^- - f_{ij}|} \end{aligned} \quad (10)$$

式中: $\zeta_j^+(i)$ 、 $\zeta_j^-(i)$ 分别为第 i 年第 j 个指标对参考数列第 j 个指标的关联系数; $\max_j \max_i |f_j^+ - f_{ij}|$ 、 $\min_j \min_i |f_j^+ - f_{ij}|$ 分别为两级最大差和最小差; ρ 为关联系数, 取 0.5。

3.3.6 计算灰色关联度

$$r_i^+ = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \zeta_j^+(i), \quad r_i^- = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \zeta_j^-(i) \quad (11)$$

3.3.7 公式组合

先对 d_i^+ 、 d_i^- 、 r_i^+ 、 r_i^- 做无量纲处理如下:

$$D_i^+ = \frac{d_i^+}{\max\{d_i^+\}}, \quad D_i^- = \frac{d_i^-}{\max\{d_i^-\}} \quad (12)$$

$$R_i^+ = \frac{r_i^+}{\max\{r_i^+\}}, \quad R_i^- = \frac{r_i^-}{\max\{r_i^-\}} \quad (13)$$

然后采用以下公式计算综合距离。

$$\begin{cases} S_i^+ = \alpha R_i^+ + \beta D_i^- \\ S_i^- = \alpha R_i^- + \beta D_i^+ \end{cases} \quad (14)$$

式中: $\alpha + \beta = 1$, $\alpha, \beta \in [0, 1]$, 取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

3.3.8 相对贴近度计算

相对贴近度计算如下:

$$C_i = \frac{S_i^+}{S_i^+ + S_i^-} \quad (15)$$

综上, 得到基于灰色关联改进的 TOPSIS 分析法的综合贴近度 C_i 。 C_i 越大, 则目标值与最优值越接

近,水资源承载力也就越高。

4 实例应用

本文以淮安市 2011 - 2016 年数据为样本,运用 DPSR - 灰色关联改进的 TOPSIS 模型对各个年份的水资源承载力进行综合客观评估。

4.1 熵权法指标权重确定

通过公式(1)归一化原始评价矩阵各指标,然后通过公式(2)、(3)、(4)逐步计算得到 DPSR 模型框架下各指标权重,具体权重见表 1。

4.2 主要数据计算

按公式(5)计算加权判断矩阵 F^T 如下。

$F^T =$

0.0265	0.0259	0.0251	0.0245	0.0238	0.0231
0.0323	0.0292	0.0262	0.0238	0.0207	0.0182
0.0250	0.0249	0.0248	0.0247	0.0246	0.0246
0.0167	0.0162	0.0176	0.0198	0.0181	0.0169
0.0303	0.0286	0.0297	0.0295	0.0311	0.0308
0.0162	0.0156	0.0160	0.0163	0.0169	0.0183
0.0218	0.0208	0.0218	0.0225	0.0222	0.0232
0.0149	0.0160	0.0194	0.0246	0.0251	0.0301
0.0152	0.0151	0.0164	0.0196	0.0174	0.0229
0.0167	0.0206	0.0172	0.0091	0.0158	0.0215
0.0182	0.0183	0.0188	0.0185	0.0183	0.0177
0.0151	0.0151	0.0153	0.0153	0.0153	0.0142
0.0203	0.0202	0.0197	0.0201	0.0189	0.0182
0.0523	0.0500	0.0418	0.0424	0.0406	0.0398
0.0359	0.1227	0.0655	0.0318	0.0263	0.0304
0.0324	0.0308	0.0296	0.0286	0.0274	0.0267

用公式(7)、(8)确定最优最劣解向量后,运用公式(9)计算欧式距离,运用公式(10)、(11)计算灰色关联度,数据结果见表 2。

表 2 淮安市 2011 - 2016 欧式距离以及灰色关联度计算

年份	d^+	d^-	r^+	r^-
2011	0.0962	0.0133	0.8822	0.9781
2012	0.0988	0.0108	0.8933	0.9655
2013	0.0935	0.0113	0.8943	0.9588
2014	0.0589	0.0431	0.9246	0.9128
2015	0.0044	0.0999	0.9868	0.8743
2016	0.0870	0.0293	0.9479	0.9062

4.3 相对贴近度计算

应用公式(12)、(13)对上述数据进行无量纲化

处理,再应用公式(14)、(15)计算相对贴近度,得到相对贴近度向量 $C = \{0.4096, 0.6806, 0.4721, 0.3461, 0.3378, 0.3423\}$

在此基础上,用灰色关联改进的 TOPSIS 分别计算驱动力层、压力层、状态层和响应层的相对贴近度,具体数值见表 3。

表 3 淮安市 2011 - 2016 水资源承载力相对贴近度计算

年份	驱动力层	压力层	状态层	响应层
2011	0.2010	0.4140	0.4148	0.2587
2012	0.3056	0.4232	0.4639	0.2501
2013	0.4379	0.4170	0.3663	0.2936
2014	0.5443	0.5263	0.5903	0.4489
2015	0.6724	0.6706	0.7052	0.7469
2016	0.7990	0.5381	0.6441	0.3798

4.4 评价结果分析

绘制 2011 - 2016 年驱动力、压力、状态、响应子系统相对贴近度变化趋势图,见图 1。

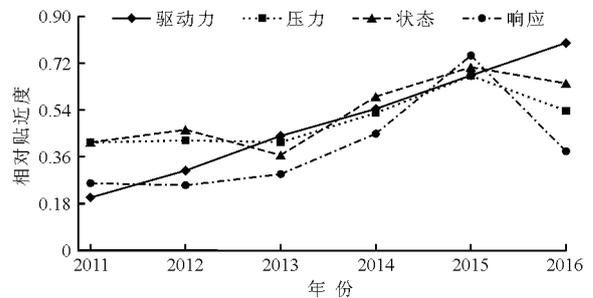


图 1 2011 - 2016 年 DPSR 模型各子系统相对贴近度变化趋势

从驱动力子系统来分析,驱动力一直保持在高速增长阶段,这表明淮安市近 6 年经济建设取得了卓越成就,城市化率和人均 GDP 增长迅速。这一现象,一方面表明淮安市的水资源所能承载的社会经济结构更为先进发达,即水资源承载力更高,另一面在社会、经济高速发展的强大内在驱动力下,水资源势必会承受来自人类不断增长的数量和质量上的压力,从而对压力子系统产生影响,进而对状态子系统产生影响。

从压力子系统来分析,淮安市的水资源压力先优化后恶化。2011 - 2016 压力子系统逐渐优化,是因为淮安市在“十二五”期间先后开展了江苏省节水型社会示范区和节水型城市建设,政府投入大量人力物力开展全行业节水技术改造、推广节水型生活器具并开展水生态保护。从图 1 中可以看到,污水排放量、COD 排放量、氨氮排放量这 3 项压力指

标均呈现出相当明显的下降趋势。但值得注意的是2016年,COD排放量、氨氮排放量这两项指标较2015年明显增长,压力子系统明显恶化,因此在发展的同时控制住COD、氨氮等污染物的排放是维持压力子系统良好运行的重要前提。

从状态子系统分析,状态子系统变化趋势基本与压力子系统一致,经历了先优化后恶化的过程。最劣解出现在2013年是因为该年是枯水年,来水量严重偏低,导致人均可利用水资源量处于历史低位。而2011-2015年这5年间农田亩均灌溉用水量、万元GDP用水量等技术指标均逐步提升,水功能区达标率基本呈上升趋势,三类水以上断面率基本保持在优良水平,这与最优解出现在2015年基本对应。2016年较2015年,人口密度不断增长累积效应带来的人均可利用水资源量的下降以及该年水功能区水质达标率的恶化,导致2016年状态子系统较之前出现了一定程度的下滑。通过分析可以得到,人均可利用水资源量和水功能区水质达标率是影响状态子系统的主要因子。

从响应子系统分析,响应状态先上升后下降。2011-2016年,淮安市污水厂扩建工程的逐步配套实施使淮安市污水处理能力也在逐渐提升,产业结构调整提升了第三产业占比,农业工程性和非工程性节水措施的实施提升了灌溉水利用系数,这与淮安市响应子系统的总体优化趋势基本符合。但值得注意的是2016年大幅减少了环保资金投入后,响应子系统状态显著下降,这表明环保资金投入是影响响应子系统的主要因素。

综上,淮安市总体水资源承载力变化趋势与压力、状态、响应子系统变化趋势一致,即2015年之前总体呈上升趋势,2015年之后出现了明显下降。究其深层次原因,在淮安市经济社会高速发展的强大内在驱动力作用下,生活水平提高导致的人均用水需求的持续增长、各行业蓬勃发展引发的用水需求以及产业结构优化不够导致的污染物排放量上升等因素给水资源压力子系统不断加压,进而影响状态子系统,在响应子系统响应程度出现突然下降响应不足的情况下,就会导致总体水资源承载力的突然恶化。因此,淮安市在今后的发展过程中,一定要考虑到社会经济快速发展的强劲内在驱动力给压力子系统和状态子系统造成的负担,充分发挥主观能动性,积极响应,树立全局观念,兼顾统筹发展与环境保护才,能实现可持续发展。

5 结论与讨论

本文运用DPSIR模型从驱动力、压力、状态、响应4个子系统选取了16项综合指标构建了水资源承载力综合评价指标体系,引入灰色关联分析改进的TOPSIS分析法作为评价方法,并将改进TOPSIS分析法计算得到的相对贴近度作为水资源承载力综合评价的标准。

运用该模型对淮安市2011-2016年水资源承载力进行评价,评价结果显示淮安市水资源承载力在2015年前总体呈上升趋势,2015年后明显下降,结果基本符合淮安市现状。从各个子系统的分析可以得到,COD排放量、氨氮排放量是影响压力子系统的主要因素;人均可利用水资源量和水功能区达标率是影响状态子系统的主要因素;环保资金投入是影响响应子系统的主要因素。这一结果表明淮安市为保证其水资源承载力良性发展,需要做到以下几点:(1)保持环保资金高投入,进一步推进环保工作,控制COD、氨氮等污染物排放量,保证水功能区水质不恶化;(2)加快再生水工程建设,开发利用非常规水资源,稳定甚至提升人均水资源可利用量。

参考文献:

- [1] 李庆贺,伍博炜,杨珺丽,等.福建省城市水资源承载力综合评价研究[J].水资源与水工程学报,2014,25(4):147-151.
- [2] 陈洋波,陈俊合,李长兴,等.基于DPSIR模型的深圳市水资源承载能力评价指标体系[J].水利学报,2004(7):98-103.
- [3] 栾芳芳,夏建新.区域水资源承载力理论与方法对比[J].水资源与水工程学报,2013,24(3):116-120.
- [4] 张丽敏,王佳敏.基于文献计量的国内水资源承载力研究进展与评价[J].水资源与水工程学报,2012,23(4):56-60.
- [5] 贺欣悦,刘国东,胡月,等.基于云理论的成都市水资源承载力评价[J].中国农村水利水电,2018(9):58-63.
- [6] 肖杰,郑国璋,郭鹏军,等.基于主成分分析的关中——天水经济区水资源承载力评价[J].中国农业资源与区划,2018,39(7):159-167.
- [7] 张天宇,卢玉东,王正川.基于多层次模糊综合评价模型的沙漠绿洲水资源承载力评价与预测[J].水土保持通报,2018,38(2):275-280.
- [8] 蓝希,刘小琼,郭炎,等.“长江经济带”战略背景下武汉城市水环境承载力综合评价[J].长江流域资源与环境,2018,27(7):1433-1443.

(下转第62页)

- [14] 朱正, 刘宝康, 冯蜀青, 等. 基于 SSM/I 的青藏高原东部雪深模型反演及积雪时空分布研究[J]. 草业科学, 2009, 26(8):40-46.
- [15] 史建桥. 基于遥感和 GIS 的青藏高原积雪时空变化及影响因子分析[D]. 南京:南京信息工程大学, 2014.
- [16] 侯小刚, 李帅, 张旭, 等. 基于 MODIS 积雪产品的中国天山山区积雪时空分布特征研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(3):9-16.
- [17] 王宏伟, 张璞. 北疆地区积雪时空变化的影响因素分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(3):508-516.
- [18] 黄慰军, 黄镇, 崔彩霞, 等. 新疆雪密度时空分布及其影响特征研究[C]// 中国气象学会 2007 年年会气候变化分会场论文集, 2007:66-72.
- [19] 李斐, 刘苗苗, 王水献. 2001-2013 年开都河流域上游积雪时空分布特征及其对气象因子的响应[J]. 资源科学, 2016, 38(6):1160-1168.
- [20] 胡淑娟, 雷晓云, 邢坤, 等. 西天山气象因子对融雪期积雪深度影响通径分析[J]. 气象与环境科学, 2017(3):36-40.
- [21] 刘艳, 李杨, 张璞. 玛纳斯河流域融雪径流与积雪-气象因子分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2):145-149.
- [22] 董安青. 基于遥感方法的新疆积雪覆盖与气象因子的相关性研究[D]. 新疆师范大学, 2009.
- [23] 郑度, 张百平. 喀喇昆仑山-西昆仑山地区的垂直自然带、环境和自然保护问题[J]. 自然资源学报, 1989, 4(3):254-266.
- [24] 王福勇. 基于 MODIS 遥感影像的融雪径流模拟研究[J]. 水利水电技术, 2015, 46(4):26-29.
- [25] 唐志光, 王建, 彦立利, 等. 基于 MODIS 的青藏高原亚像元积雪覆盖反演[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(11):33-38.
- [26] 鲍伟佳, 刘时银, 吴坤鹏, 等. 一种基于 MODIS 积雪产品的雪线高度提取方法[J]. 冰川冻土, 2017, 39(2):259-272.
- [27] 颜伟, 刘景时, 罗光明, 等. 基于 MODIS 数据的 2000-2013 年西昆仑山玉龙喀什河流域积雪面积变化[J]. 地理科学进展, 2014, 33(3):315-325.
- [28] 周婷婷, 陈文惠. 基于 MODIS 数据和气象观测数据的气温空间插值方法比较[J]. 地理科学进展, 2011, 30(9):1143-1151.
- [29] 林金堂, 冯学智, 肖鹏峰, 等. 基于 MODIS 数据的玛纳斯河山区雪盖年际波动特征研究[J]. 干旱区地理(汉文版), 2011, 34(6):975-982.
- [30] 邱玲花, 彭定志, 胡林涓, 等. 基于 MODIS 和 SRM 的拉萨河流域融雪径流模拟研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(2):152-156.
- [31] 蒋耿明. MODIS 数据基础处理方法研究和软件实现[D]. 北京:中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2003.
- [32] 王明祖. 青藏高原近 15 年积雪时空变化及其与气候因子关系研究[D]. 上海:华东师范大学, 2016.

(上接第 52 页)

- [9] 杨琳琳, 李波, 付奇. 基于 BP 神经网络模型的新疆水资源承载力情景分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(2):216-222.
- [10] 车娅丽, 徐慧, 龚李莉, 等. 基于 PSR 模型和主成分分析法的节水型社会建设评价[J]. 水电能源科学, 2014, 32(7):124-127.
- [11] 曲衍波, 朱伟亚, 郇文聚, 等. 基于压力-状态-响应模型的土地整治空间格局及障碍诊断[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3):241-249.
- [12] 王国重, 李中原, 张继宇, 等. 基于压力-状态-响应模型的河南省水库生态安全评估[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(4):12-17.
- [13] 刘畅, 冯宝平, 张展羽, 等. 基于压力-状态-响应的熵权-物元水生态文明评价模型[J]. 农业工程学报, 2017, 33(16):1-7.
- [14] 皮家骏, 欧阳澍, 张带琴, 等. 基于 PSR-物元模型的水生态文明评价研究——以南昌市为例[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(1):55-61.
- [15] 刘燕, 张江山. 基于熵权的 TOPSIS 法在水环境质量评价中的应用[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2010, 26(5):109-114.
- [16] 赵丹, 刘东, 武秋晨. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的区域农业水资源系统恢复力评价[J]. 中国农村水利水电, 2014(7):52-56.
- [17] 杨建仁, 刘卫东. 基于灰色关联分析和层次分析法的新型工业化水平综合评价——以中部六省为例[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41(2):122-132.
- [18] 李庆胜, 刘思峰. 灰色犹豫模糊集及其灰关联 TOPSIS 决策方法[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2015, 29(6):597-601+606.
- [19] 戴明宏, 王腊春, 魏兴萍. 基于熵权的模糊综合评价模型的广西水资源承载力空间分异研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1):193-199.
- [20] 管新建, 梁胜行. 基于熵权模型的黄河流域水资源利用效率综合评价[J]. 中国农村水利水电, 2016(11):82-85.