

Study on the Evaluation of Water Environment Capacity of Hanjiang River Ecological Economic Belt Based on DPSIRM

Wenting Tian¹, Zhongwang Zhang^{1,2*}, Zhijie Shi¹, Jimin Cai¹

¹College of Resource Environment and Tourism, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang Hubei

²School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan Hubei

Email: *1961604511@qq.com

Received: May 14th, 2019; accepted: May 29th, 2019; published: June 5th, 2019

Abstract

In order to evaluate the water environment carrying capacity of the Hanjiang River eco-economic belt, based on the concept framework of DPSIRM, the evaluation index system of the water environment carrying capacity was constructed, and the changing trend and influencing factors of the water environment carrying capacity of the Hanjiang River in Hubei province from 2007 to 2016 were analyzed and evaluated systematically. The results show that the overall water environment carrying capacity of the Hubei Hanjiang River eco-economic belt has risen from 2007 to 2016, and the evaluation level has changed from Class IV in 2007 to Grade II in 2016, indicating that the water environment carrying capacity is gradually increasing. The driving force target layer has the highest impact on the water environment carrying capacity, and the evaluation index is the highest, followed by the pressure target layer and management target layer, indicating that the driving force target layer is the most important factor affecting the water carrying capacity of the ecological economic belt of the Hanjiang River in Hubei Province. The six indicator layers that have the greatest impact on the degree of water environment carrying capacity are: per capita GDP, energy consumption per unit of GDP, average water consumption per Mu of farmland irrigation, per capita daily water consumption, per unit of arable land fertilizer application, and environmental pollution management investment in the proportion of GDP. The research results are of theoretical reference value and practical guidance to the improvement of water environment, the rational use of water resources and the construction of ecological environment in Hubei Hanjiang River.

Keywords

DPSIRM Model, Variation Coefficient Method, Water Environment Carrying Capacity, Hanjiang River Ecological Economic Belt

*通讯作者。

基于DPSIRM汉江生态经济带水环境承载力评价研究

田文婷¹, 张中旺^{1,2*}, 石志杰¹, 蔡姬敏¹

¹湖北文理学院资源环境与旅游学院, 湖北 襄阳

²中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉

Email: *1961604511@qq.com

收稿日期: 2019年5月14日; 录用日期: 2019年5月29日; 发布日期: 2019年6月5日

摘要

为了评价湖北汉江生态经济带水环境承载力, 在DPSIRM概念框架的基础上, 构建了水环境承载力评价指标体系, 较全面、系统地分析评价了2007~2016年湖北汉江生态经济带水环境承载力的变化趋势及影响因素。研究表明: 2007~2016年湖北汉江生态经济带水环境承载力综合指数呈上升态势, 评价等级从2007年IV级转变为2016年II级, 表明了水环境承载力在逐步提高; 驱动力目标层对水环境承载力的影响比重最高, 评价指数上升幅度最大, 压力目标层和管理目标层次之, 表明驱动力目标层是影响湖北汉江生态经济带水环境承载力的最重要因子; 对水环境承载力影响程度最大的6个指标层依次为: 人均GDP、单位GDP能耗、农田灌溉亩均用水量、人均日生活用水量、单位耕地面积化肥施用量和环境污染治理投资占GDP比重。研究结果对湖北汉江生态经济带水环境改善、水资源合理利用和生态环境建设具有一定的理论参考价值和实践指导意义。

关键词

DPSIRM模型, 变异系数法, 水环境承载力, 汉江生态经济带

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水环境是生态环境系统的重要组成部分, 是人类赖以生存和发展必不可少的条件之一。水环境承载力直接关系到整个生态环境系统的安全和人类社会的可持续发展[1], 被认为是衡量社会经济发展与水环境协调程度的重要指标[2]。如今水资源短缺和水环境恶化已成为全球性的严峻问题, 成为制约区域可持续发展的重要因素[3]。近年来, 我国学者对水环境承载力的研究方法和计算模型等方面进行了积极探索, 取得了很大进展, 如: 邢有凯等采用向量模法评价了北京市 2000~2005 年的水环境承载力, 指出水资源紧缺是制约北京市发展的重要原因[4]; 徐志青等用熵权法和障碍度模型对 2015 年珠三角地区的水环境承载力和障碍指标进行了评价分析, 提出提高其水环境承载力的建议[5]; 胡溪等对 2016 年长江经济带的水环境承载力进行评价, 并进行了超载成因的分析[6]; 张静等用灰色关联度和主成分分析法对宁夏

2010~2015 年水环境承载力进行了计算, 分析出影响其水环境承载力的主要因素[7]。

目前国内对水环境承载力的研究在时间尺度上多侧重于时间断面或短时期的探讨, 长时间序列的演化研究比对较少[8]。汉江生态经济带在实施“一带一路”、京津冀协同发展、长江经济带三大战略中发挥着承东启西, 呼应南北的枢纽作用, 具有十分重要的战略地位, 其作为南水北调中线工程水源地, 是我国重要的绿色生态屏障, 是维护我国用水安全的重要力量。但是随着调水的进行, 汉江生态经济带在水量、水质、农田灌溉、工农业生产及城市发展等方面受到了不同程度的影响。至今对湖北汉江生态经济带水环境承载力的评价研究还鲜为报道。因此本文运用 DPSIRM 框架模型, 引入变异系数法进行权重赋值, 对 2007~2016 年湖北汉江生态经济带水环境承载力进行综合评价, 旨在为水环境管理提供决策依据, 对确保“一库清水北送”、“一江清水东流”具有重要的实践指导意义。

2. 研究区概况与数据来源

2.1. 研究区概况

湖北汉江生态经济带位于我国中部腹心, 属于亚热带季风区, 河湖密集, 流域面积达 6.3 万 km³, 占全省国土面积的 34%, 流域内涵盖了十堰市、襄阳市、荆门市、随州市、天门市、仙桃市、潜江市、孝感市、武汉市和神农架林区, 自然资源丰富, 生态条件优越, 是我国重要的粮食主产区和生态功能区; 经济基础雄厚, 矿产资源富集, 产业发展迅速, 在湖北省经济社会发展格局中具有突出的带动作用; 汉江生态经济带是连接长江经济带和新丝绸之路经济带的一条战略通道。但是近年来, 汉江中下游流量因调水减少 26.9%, 水资源过度开发带来的环境问题凸显, 一些河湖的生态环境系统性、完整性遭到破坏; 在流量减少情况下, 仍实施六级梯级开发, 干流流速降低, 水体自净能力下降[9], 对汉江生态经济带的可持续发展形成了巨大挑战。

2.2. 数据来源

本文所涉及的数据主要来自 2007~2016 年的《湖北省统计年鉴》、《十堰市统计年鉴》、《神农架林区统计年鉴》、《襄阳市统计年鉴》、《荆门市统计年鉴》、《随州市统计年鉴》、《天门市统计年鉴》、《仙桃市统计年鉴》、《潜江市统计年鉴》、《孝感市统计年鉴》和《武汉市统计年鉴》等, 少部分数据来自各相关部门的官方网站和新闻报道或者通过趋势预测获取。

3. 研究方法

3.1. 指标体系的构建

常见的指标体系构建方法有压力 - 状态 - 响应模型[10] (Pressure-State-Response, PSR)、驱动力 - 状态 - 响应模型[11] (Driving-State-Response, DSR)、驱动力 - 压力 - 状态 - 影响 - 响应模型[12] (Driving-Pressure-State-Impact-Response, DPSIR)以及驱动力 - 压力 - 状态 - 影响 - 响应 - 管理模型 (Driving-Pressure-State-Impact-Response-Management, DPSIRM)。其中, DPSIRM 模型可以综合考虑影响水环境系统的经济、社会、生态、环境等因素, 凸显水环境系统的内在机理, 能更大程度上完整、科学地反映系统内部各要素之间的关系, 突出自然环境、资源与人类的耦合关系, 从而增强对水环境系统内各要素的统筹管理[13]。因此, 本文采用 DPSIRM 模型描述湖北汉江生态经济带水环境系统, 为湖北汉江生态经济带规划和人口社会经济发展下的水环境管理提供有效反馈。DPSIRM 模型是由驱动力子系统(D)、压力子系统(P)、状态子系统(S)、影响子系统(I)、响应子系统(R)以及管理子系统(M) 6 部分构成(如图 1)。

水环境承载力状况与经济、社会的发展密切相关, 直接关系到汉江生态经济带的可持续发展。因此,

科学、合理的水环境承载力综合评价指标体系是评判水环境承载能力的重要依据，也是对水资源进行合理开发与科学管理的关键。在 DPSIRM 模型的理论基础上，根据汉江生态经济带水环境特点和利用现状，参考了相关文献[1] [14]，遵循指标选取的政策相关性、完整性、科学性和可操作性等原则[1]，选取了湖北汉江生态经济带涵盖的 10 个城市，分别为：十堰市、神农架林区、襄阳市、荆门市、随州市、天门市、仙桃市、潜江市、孝感市、武汉市，建立了水环境承载力评价指标体系，该体系由 17 个单项指标组成，如表 1 所示。

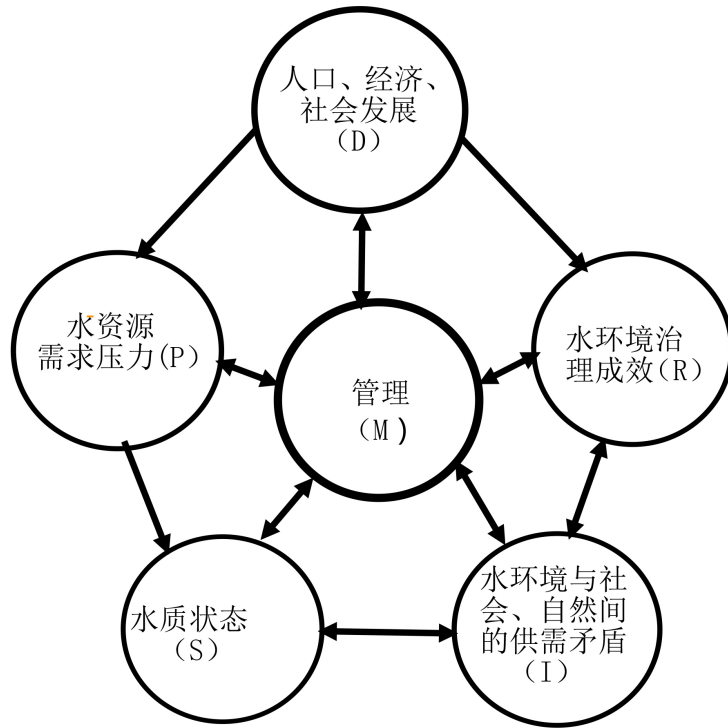


Figure 1. DPSIRM framework model for water environment carrying capacity
图 1. 水环境承载力 DPSIRM 框架模型

Table 1. Evaluation index system for water environment carrying capacity of Hanjiang ecological economic belt
表 1. 汉江生态经济带水环境承载力评价指标体系

目标层	序号	指标层	指标属性	含义	权重
驱动力 D	X ₁	人均 GDP (元)	+	反映区域经济发展水平	0.102
	X ₂	人口密度(人/km ²)	-	人口越稠密，水资源需求量越大	0.005
	X ₃	城镇化率(%)	-	反映城市化水平	0.027
	X ₄	单位 GDP 能耗(t 标准煤/万元)	-	反映经济结构和能源利用效率的变化	0.146
	X ₅	农田灌溉亩均用水量(m ³)	-	反映农业灌溉发展水平	0.115
	X ₆	人均日生活用水量(L)	-	反映居民的节水观念	0.130
压力 P	X ₇	万元工业增加值用水量(m ³ /万元)	-	反映经济发展的用水效率	0.026
	X ₈	万元 GDP 用水量(m ³ /万元)	-	反映生产用水水平	0.026
	X ₉	单位耕地面积化肥施用量(kg/hm ²)	-	反映化肥中氮磷元素对水体富营养化的作用	0.088

Continued

状态 S	X_{10}	氨氮(mg/L)	-	反映水体中有机及无机可氧化物质污染	0.054
	X_{11}	高锰酸盐指数(mg/L)	-	反映水体中有机及无机可氧化物质污染	0.053
影响 I	X_{12}	人均水资源量(m ³ /人)	-	反映区域水资源丰、缺情况和发展潜力	0.033
	X_{13}	森林覆盖率(%)	-	反映森林资源的丰富程度和生态平衡状况	0.009
响应 R	X_{14}	污水处理率(%)	-	反映污水排放对环境的影响	0.024
	X_{15}	工业废水排放达标率(%)	-	反映工业废水对环境的影响	0.003
管理 M	X_{16}	绿化覆盖率(%)	-	反映区域的绿化水平	0.005
	X_{17}	环境污染治理投资占 GDP 比重(%)	-	反映环境保护投入的力度	0.153

3.2. 单指标评价指数计算

为消除由评价指标数据量纲不同产生的影响,在评价之前需对指标数据进行标准化处理,使指标值介于[0, 1]之间,本文采用极差标准化方法[14]:

越大越优型(正向指标):

$$I_i = \begin{cases} 0 & X_i < X_{im} \\ \frac{X_i - X_{im}}{X_{iM} - X_{im}} & X_{im} \leq X_i \leq X_{iM} \\ 1 & X_i > X_{iM} \end{cases} \quad (1)$$

越小越优型(负向指标):

$$I_i = \begin{cases} 1 & X_i < X_{im} \\ 1 - \frac{X_i - X_{im}}{X_{iM} - X_{im}} & X_{im} \leq X_i \leq X_{iM} \\ 0 & X_i > X_{iM} \end{cases} \quad (2)$$

(式中: X_i 为第 i 个指标的实际值, X_{im} 和 X_{iM} 分别是为指标 i 设置的极小值和极大值)。

3.3. 指标权重的确定

确定评价指标体系权重的方法有很多,常见的方法大致可以分为三大类:主观赋权法、客观赋权法和组合赋权法。为不以人的主观判断为依据,避免专家赋权的偏向性,可以较为客观地反映指标的相对重要性[14],本文选取客观赋权法——变异系数法来确定各指标的权重。

变异系数法是指在多指标综合评价中,如果某项指标在所有被评价对象上观测值的变异程度较大,它能够明确地区分开各被评价对象在该方面的水平,则该指标应赋予较大的权重;反之,则应赋予较小的权重[15]。各指标的变异系数和权重计算公式如下:

$$V_i = \sigma_i / \bar{X}_i \quad (3)$$

$$W_i = V_i / \sum_{i=1}^n V_i \quad (4)$$

(式中: σ_i 为第 i 项指标的标准差; \bar{X}_i 为第 i 项指标的平均值; V_i 为第 i 项指标的变异系数)。

水环境承载力评价指数计算公式为[14]:

$$F = \sum_{i=1}^n W_i \cdot I_i \quad (5)$$

(式中: I_i 为第 i 个指标的标准值; W_i 为指标 i 的权重)。

4. 汉江生态经济带水环境承载力评价与分析

通过查阅统计年鉴得到 2007~2016 年十堰市、神农架林区、襄阳市、荆门市、随州市、天门市、仙桃市、潜江市、孝感市和武汉市各市相关的统计数据,将每年各市各指标数据平均,得到湖北汉江生态经济带 2007~2016 年水环境承载力各指标数据。将得到的湖北汉江生态经济带 2007~2016 年的数据代入上式(1)~(5),即得到各指标的权重,如表 1 所示。

将湖北汉江生态经济带水环境承载力评价指标体系数据代入公式(1)~(5),参考文献[14]评价指标等级划分标准,结合表 1 确定的各指标权重,计算得出水环境承载力等级的分级标准: F_V (弱) $\in (0, 0.2453)$, F_{IV} (较弱) $\in (0.2453, 0.3668)$, F_{III} (一般) $\in (0.3668, 0.4985)$, F_{II} (较强) $\in (0.4985, 0.6100)$, F_I (强) $\in (0.6100, 0.7546)$ 。

通过将收集到的 10 个城市的 2007~2016 年的指标数据平均,得到 2007~2016 年湖北汉江生态经济带水环境承载力各指标数据,代入公式(1)~(5),结合表 1 确定的各指标权重,可以计算得出 2007~2016 年的湖北汉江生态经济带水环境承载力综合评价指数,并依据分级标准赋予对应的评价等级,如图 2 所示。

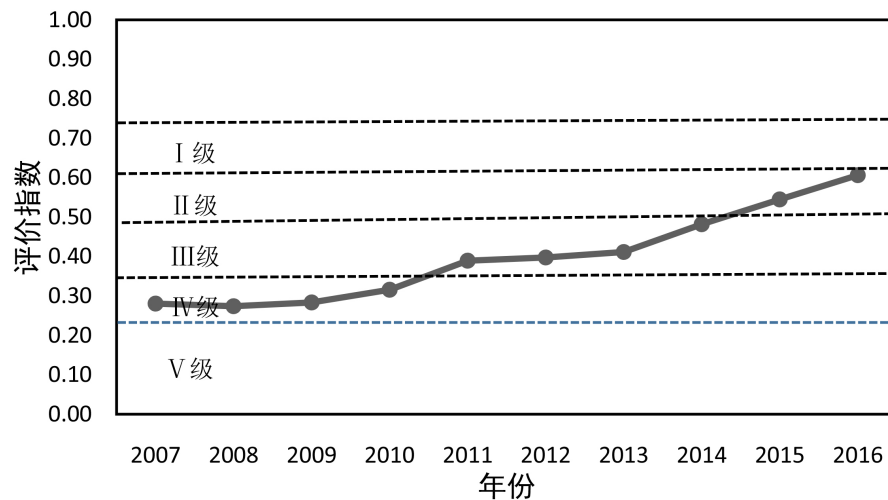


Figure 2. 2007-2016 water environment carrying capacity evaluation index (F)

图 2. 2007~2016 年水环境承载力评价指数(F)

可以看出,湖北汉江生态经济带水环境承载力评价指数最小值和最大值分别为 0.2804 和 0.6061,2007~2016 年水环境承载力水平呈上升趋势,评价等级从 2007 年 IV 级(较弱)转变为 2016 年 II 级(较强),水环境有了显著的改善。2007~2013 年湖北汉江生态经济带水环境承载力指数增长的速度较慢,但是在 2013 年之后水环境承载力以年均 12% 的速度增长,究其原因,主要是因为 2013 年湖北省委十届三次会议上,提出要继续实施“两圈一带”区域发展战略,推动“两圈两带”区域发展格局形成,标志湖北汉江生态经济带开放开发正式上升为省级战略,相关部门致力于水生态保护管理体制的加强和创新、加大资源整合力度、建立生态补偿机制、开展“绿色、民生、经济”三位一体考核等措施,有效地促进了湖北汉江生态经济带社会经济发展与水环境的协调发展。

如图 3 所示,可以看出各个目标层对水环境承载力评价结果的贡献率大小:驱动力(D)目标层所起的作用最为显著,压力(P)目标层次之,其次是管理(M)目标层和状态(S)目标层,影响(I)和响应(R)的作用相对较小。

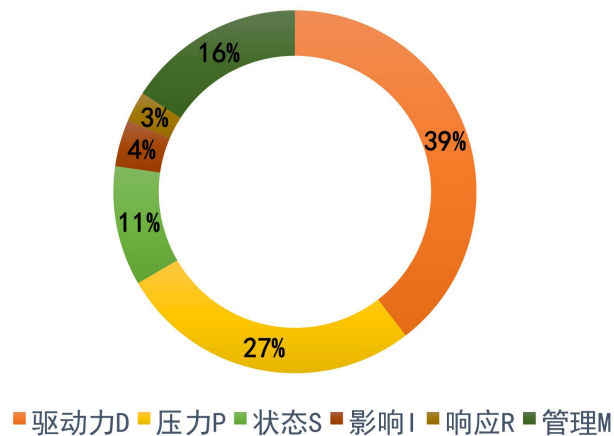


Figure 3. The weight ratio of each target layer

图 3. 各目标层权重比例

由图 4 可以看出, 驱动力(D)目标层评价指数明显呈上升趋势, 压力(P)目标层指数和影响(I)目标层指数出现波动情况, 状态(S)和响应(R)目标层指数均趋于一个较稳定的态势, 管理(M)目标层评价指数总体呈增长趋势。驱动力(D)目标层评价指数上升幅度最大, 压力(P)目标层和管理(M)目标层评价指数紧随其后, 表明 2007~2016 年湖北汉江生态经济带经济、社会的快速发展水平, 及其对工农经济发展的承载能力的不断增强, 此外, 政府提出的发展战略得到了相关部门的积极响应, 更加有效地促进了湖北汉江生态经济带社会经济发展与水环境的协调。

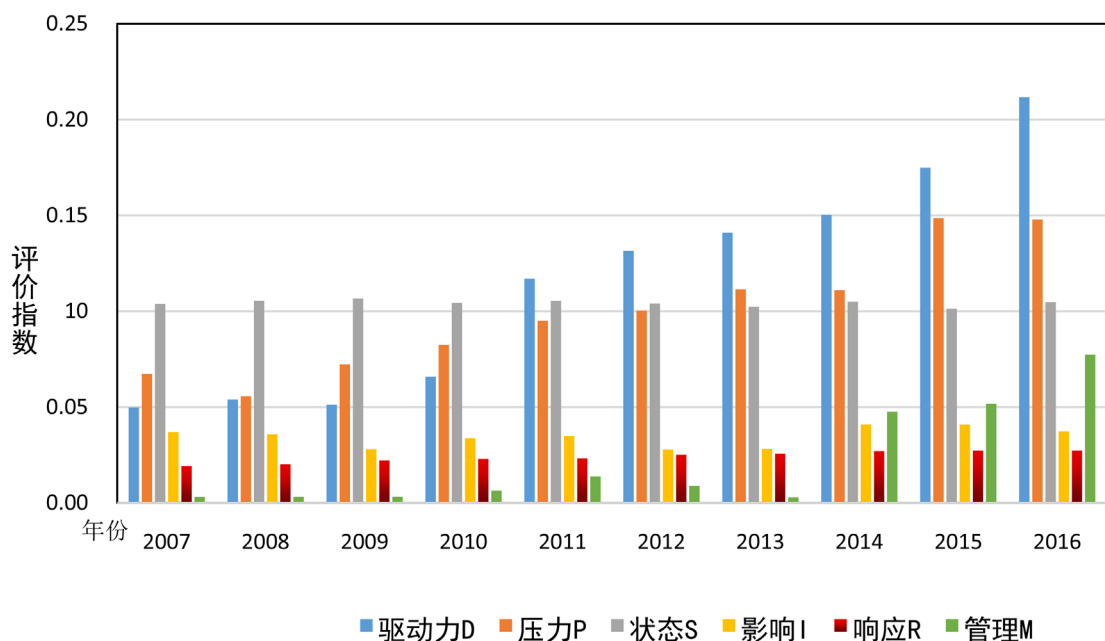


Figure 4. Each target layer evaluation index

图 4. 各目标层评价指数

在驱动力(D)指标层中, 人均 GDP、单位 GDP 能耗、农田灌溉亩均用水量所占的比重较大, 其中人均 GDP 和单位 GDP 能耗为主要的制约因素, 汉江生态经济带经济的快速发展, 人口不断地增多, 对能源利用效率的逐步提高, 使得驱动力(D)目标层评价指数显著的增长。

在压力(P)指标层中, 具有最显著影响的指标为单位耕地面积化肥施用量, 2007~2016年汉江生态经济带的耕地化肥施用量在不断减少, 压力(P)目标层总指数在不断的上升, 可以看出农业生产对水环境的污染强度都是在减小的。

在状态(S)指标层中, 依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)的分级进行分析, 可以看出: 高锰酸盐指数在2007~2016年一直处于地表水II类水质标准, 氨氮指标也一直处在II类水质标准, 表明湖北汉江生态经济带的水环境处于良好状态。

在影响(I)指标层中有两个指标: 人均水资源量和森林覆盖率, 人均水资源量评价指数在2007~2016年处于较稳定的状态, 而森林覆盖率的评价指数则不是很稳定, 其中2012年和2013年评价指数最小, 森林对水源有很好的涵养作用, 因此需加大对自然资源的保护和绿化。

在响应(R)指标层中, 起制约作用的指标是污水处理率, 其评价指数呈增长趋势, 2007~2016年湖北汉江生态经济带污水处理率在不断的提高。

在管理(M)指标层中, 包含绿化覆盖率和环境污染治理投资占GDP比重两个指标, 其中起制约作用的是环境污染治理投资占GDP比重, 该指标的评价指数在2007年和2008年几乎为0, 2009年之后该指标才有了投入, 在2013年湖北省委十届三次会议上提出推动“两圈两带”区域发展格局战略之后, 汉江生态经济带环境污染治理投资占GDP比重评价指数开始呈上升的趋势, 管理(M)指标层评价指数也开始不断增长, 因此, 在治理湖北汉江生态经济带水环境问题上, 需进一步加强管理方面的有效措施。

5. 结论

通过对湖北汉江生态经济带水环境承载力研究评价表明: 2007~2016年湖北汉江生态经济带水环境承载力水平在不断地提高, 评价等级从IV级(较弱)转变为II级(较强), 水环境有了显著的改善。随着“十三五”规划中“加强水环境保护和治理, 推进汉江生态经济带建设”和习近平总书记指出“长江经济带建设要共抓大保护、不搞大开发”战略的提出, 水环境承载力势必成为汉江生态经济带可持续发展的制约因素。本文基于DPSIRM概念框架建立了评价指标体系, 对湖北汉江生态经济带水环境承载力较全面、系统地分析了其变化的趋势及影响因素, 反映了湖北汉江生态经济带社会经济发展与水环境协调之间的程度, 对其水环境管理、水资源合理利用及社会经济的可持续发展具有一定的实际意义和参考价值。

基金项目

大学生创新创业项目(201810519052); 湖北省教育厅人文社科重点项目(2016D090); 2019年湖北省技术创新专项(软科学研究类)项目“南水北调中线工程后汉江生态经济带水环境问题诊断及对策研究”(2019)。

参考文献

- [1] 黄涛珍, 宋胜帮. 淮河流域水环境承载力评价研究[J]. 中国农村水利水电, 2013(4): 45-49.
- [2] 唐剑武, 郭怀成, 叶文虎. 环境承载力及其在环境规划中的初步应用[J]. 中国环境科学, 1997, 17(1): 6-9.
- [3] 李姣, 严定容. 湖南省及洞庭湖区重点城市水环境承载力研究[J]. 经济地理, 2013, 33(10): 157-162.
- [4] 刑有凯, 余红, 肖扬, 等. 基于向量模法的北京市水环境承载力评价[J]. 水资源保护, 2008, 24(4): 1-3+9.
- [5] 徐志青, 刘雪瑜, 肖书虎, 等. 珠江三角洲地区水环境承载力评价及障碍因素研究[J]. 环境工程技术学报, 2019, 9(1): 44-52.
- [6] 胡溪, 刘年磊, 蒋洪强, 等. 基于环境质量标准的长江经济带水环境承载力评价[J]. 环境保护, 2018, 46(21): 36-40.
- [7] 张静, 唐莲, 刘子西, 等. 宁夏水环境承载力变化趋势及影响因素研究[EB/OL]. 宁夏大学学报(自然科学版).

<http://kns.cnki.net/kcms/detail/64.1006.N.20190403.2124.004.html>, 2019-04-21.

- [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.
- [9] 梁小青, 杜华清, 肖习明. 汉江生态经济带绿色发展思考[J]. 领导科学论坛, 2017(19): 44-45+66.
- [10] 颜利, 王金坑, 黄浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
- [11] 谈迎新, 於忠祥. 基于 DSR 模型的淮河流域生态安全评价研究[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2012, 21(5): 35-39.
- [12] 陈洋波, 陈俊和, 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, 35(7): 98-103.
- [13] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于 DPSIRM 框架的区域水资源承载力综合评价[J]. 自然资源学报, 2017, 32(3): 484-493.
- [14] 汪嘉杨, 翟庆伟, 郭倩, 等. 太湖流域水环境承载力评价研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(5): 1979-1987.
- [15] 程大友. 基于变异系数法的财产保险公司绩效评价研究[J]. 改革与战略, 2008, 24(2): 128-130.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org