

江苏省城镇化进程水平与河湖水系 连通耦合协调模式研究

李普林¹, 陈菁^{1,2}, 邓鹏¹, 张蕴倩¹, 尹越¹

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 南方地区高效灌排与农业
水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要:近年来,我国城镇化水平不断提升,城镇水系问题日趋严重。以江苏省为研究对象,通过建立城镇化系统进程状况和河湖水系连通水平的评价指标体系,采用熵值法求出各项指标的权重,进而利用耦合协调模型计算城镇化与河湖水系连通系统耦合协调度。结果表明:江苏省2004-2014年城镇化水平逐年提升,河湖水系连通水平基本上呈下降趋势。城镇化与河湖水系连通系统经历了低水平耦合阶段和颀抗阶段,并向基本磨合阶段过渡。耦合协调度前期普遍处于较低水平,后期呈上升趋势,故在城镇化过程中要注重城镇化建设与河湖水系连通建设,使二者耦合协调,促进区域人水和谐。

关键词: 城镇化; 河湖水系连通; 耦合度; 协调度; 江苏省

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)02-0086-06

Research of the coupling and coordination model between urbanization level and the interconnected river system network in Jiangsu Province

LI Pulin¹, CHEN Jing^{1,2}, DENG Peng¹, ZHANG Yunqian¹, YIN Yue¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Key Laboratory of Efficient Irrigation - drainage and Agricultural Soil - water Environment in Southern Area, Nanjing 210098, China)

Abstract: With the rising levels of urbanization in China, the problem of urban water system has become more and more serious in recent years. Taking Jiangsu province as the research object, in this paper the evaluation index system of urbanization system process and the level of interconnected river system network were established, the entropy method was used to calculate the weight of each index, and then the coupling and coordination degrees of urbanization and interconnected river system network were calculated by using the Coupling and Coordination Model. The results showed that, the urbanization level increased year by year from 2004 to 2014 in Jiangsu province, and the level of interconnected river system network was basically declining. The urbanization and the interconnected river system network has undergone the low-level coupling stage and the resistance stage, and transitted to the basic running-in stage. The coupling and coordination degree was generally at a low level in the early stage and ascended in the later stage. As a result, attentions should be paid to the construction of urbanization and the interconnected river system network in the process of urbanization, so that the coupling and coordination of them can promote the harmony of people and water in the region.

Key words: urbanization; the interconnected river system network; coupling degree; coordination degree; Jiangsu Province

收稿日期: 2016-12-02; 修回日期: 2017-02-21

基金项目: 江苏省水利科技重点项目(2014006)

作者简介: 李普林(1992-), 男, 湖北荆州人, 硕士研究生, 主要从事河湖水系连通与水土资源规划工作。

通讯作者: 陈菁(1964-), 女, 福建福州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土资源规划与管理工。

1 研究背景

近年来,我国城镇化水平不断提升,城镇水系问题日趋严重,人水和谐的局势面临威胁。河湖水系连通作为新时期治水兴水的新思路目前被国内外学者广泛研究^[1-10]。随着河湖水系连通水平的不断推进,城镇化与河湖水系连通的关系逐渐显现。事实上,城镇化与河湖水系连通是一种相互作用、交互耦合的关系。一方面,在城镇化的进程中,河湖水系连通度发生改变,水系问题显现;另一方面,河湖水系连通度的改变反过来约束城镇化进程。为了保证城镇化进程与河湖水系连通系统之间能相互协调,减少彼此之间的约束,研究两者之间的耦合协调关系十分必要。

国内学者对耦合关系的研究已比较完善,尤其是在城镇化领域。范斐等^[11]在构建科技资源与城市化耦合系统评价指标体系的基础上,利用耦合协调度模型综合评价长江区域科技资源配置与城市化的交互耦合关系。刘耀彬等^[12]利用协同学思想构建城市化与生态环境之间的耦合度模型,并对此进行了耦合度分析。张明斗等^[13]以东北三省34个地级市为例,对其进行了城市土地利用效益与城市化的耦合协调性分析。孙东琪等^[14]利用DEM模型、层次分析法和耦合度模型分析了长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系。左其亭等^[15]建立了评价水系连通系统与经济发展系统的指标体系,提出了河湖水系连通与经济社会发展协调度计算方法,并应用于郑州市。目前,关于城镇化与河湖水系连通耦合的关联分析研究很少。因此笔者从耦合度的角度出发,以江苏省为研究对象,通过建立城镇化进程状况与河湖水系连通程度的综合评价指标体系,分析城镇化与河湖水系连通的关系,为区域人水和谐的发展提供新的思路和方法。

2 研究区概况

江苏省位于中国东部沿海地区,与上海、浙江共同构成长江三角洲城市群。全省共辖13个地级市,总面积为10.72 km²,占全国的1.12%,人均国土面积在全国各省区中最少。2015年,江苏省全年实现地区生产总值7.01×10¹²元,比上年增长8.5%,年末全省常住人口7 976.3万人,增长0.2%。全省自然资源丰富,由于地处江、淮、沂沭泗流域下游和南北气候过渡带,河湖众多,水系复杂,水资源量丰富。

江苏省虽然经济发达,人口众多,但是随着城镇

化的不断推进,省内河湖水系连通出现诸多问题。为了与水争地,大量末级河道被填埋,部分主干河道淤塞,水系连通性受阻,进一步导致城市内涝频发。面对日益严重的水系问题,有必要加强城镇化与河湖水系连通耦合协调关系的研究,用于指导城镇化过程中水系连通问题,促进地区经济的健康发展。

3 研究方法

3.1 指标体系设计

本文从人水关系理论出发,借鉴国内已有研究成果,分别构建城镇化系统指标体系和河湖水系连通系统指标体系,然后分析评价二者之间的关系,探讨其耦合度。

3.1.1 城镇化系统指标体系 近年来,关于城镇化的研究较多,城镇化具有多维涵义,主要包括人口增长,经济发展,空间扩张和生活水平提高4个方面^[16],本文借鉴国内学者的研究成果,从人口、经济、社会 and 空间4个方面建立城镇化系统指标体系,其中人口子系统包括城镇人口比例、人口增长率、第三产业人口占总就业人口比例;经济子系统包括人均GDP、万元GDP用水量、第三产业增加值占GDP比例;社会子系统包括城镇居民人均可支配收入、万人拥有卫生技术人员数、城市人均拥有道路面积、万人在校大学生人数;空间子系统包括城镇人均现住房建筑面积、人口密度。

3.1.2 河湖水系连通系统指标体系 本文从结构、功能、环境3方面建立河湖水系连通系统指标体系。

(1)结构子系统包括河网密度、水面率、河频率3个指标。其中河网密度为单位面积内河流的总长度。河网密度反映了流域水系排水的有效性,一般来讲,河网密度越大,河湖水系连通性水平也就越高;水面率指河流与湖泊等水体多年平均水位下水体面积占研究区域总面积的比例,水面率越高,对提高单位面积内河湖水系连通水平越有利;河频率是指单位面积内的河流条数。河频率越大,单位面积上起连通作用的河道数越多,河湖水系连通性水平也越高。

(2)功能子系统包括城市地表可供水量、亩均灌溉用水量。其中城市地表可供水量为地表水源在不同来水条件下对城市提供的水资源量;亩均灌溉用水量为河流对某一地区农作物每亩的灌溉用水量^[15]。

(3)环境子系统包括优于Ⅲ类水的断面所占比、水功能区达标率。

3.2 数据来源及预处理

本文以江苏省为研究区域,数据来源于江苏省 2004—2014 年统计年鉴、2004—2014 年江苏省国民经济和社会发展统计公报以及 2004—2014 年江苏省水资源公报等,部分数据通过 GIS 对遥感地图处理得到。

由于各指标的原始数据量纲不同,为了增强指标的可比性,采用极差标准化方法对原始数据进行标准化处理。标准化处理具体计算公式如下:

正向“+”指标:
$$x'_{ij} = (x_{ij} - x_{\min j}) / (x_{\max j} - x_{\min j}) \tag{1}$$

负向“-”指标:
$$x'_{ij} = (x_{\max j} - x_{ij}) / (x_{\max j} - x_{\min j}) \tag{2}$$

式中: x'_{ij} 为标准化后的指标值; x_{ij} 为指标原始值; $x_{\max j}$ 、 $x_{\min j}$ 分别为历年来 j 指标的最大值和最小值。

3.3 评价方法

3.3.1 确定指标权重 本文建立了城镇化系统指标体系和河湖水系连通系统指标体系共 19 个指标,由于各个指标发挥的作用不同,因此需要选择合适的方法确定各指标的权重。本文采用了 2004—

2014 年共 11 年的数据,时间序列较长,采取的数据基本为客观数据,故采用熵值法确定指标权重(表 1)。熵值法确定权重的具体步骤为:

(1) 将各指标同度量化,计算第 j 项指标第 i 年指标值的比例 P_{ij}

$$P_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^m x'_{ij} \tag{3}$$

式中: m 为统计年数; x'_{ij} 同上。

(2) 计算信息熵 e_j

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (P_{ij} \ln P_{ij}) \tag{4}$$

其中 $0 \leq e_j \leq 1$; 当 $P_{ij} = 0, e_j = 0$ 。

(3) 计算差异系数 g_j

$$g_j = 1 - e_j \tag{5}$$

熵值越小,指标间的差异性越大。

(4) 评价指标越重要计算指标权重 w_j

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j \tag{6}$$

式中: n 为指标个数,采用加权求和法计算各年份城镇化系统和河湖水系连通系统综合评价价值。

表 1 江苏省城镇化进程状况与河湖水系连通水平综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标类型	熵值权重
城镇化	人口	城镇人口比例 $U_1 / \%$	+	0.0803
		人口增长率 $U_2 / \%$	+	0.1170
		第三产业人口占总就业人口比例 $U_3 / \%$	+	0.0593
	经济	人均 GDP $U_4 / \text{元}$	+	0.0968
		万元 GDP 用水量 U_5 / m^3	-	0.0595
		第三产业增加值占 GDP 比例 $U_6 / \%$	+	0.1026
	社会	城镇居民人均可支配收入 $U_7 / \text{元}$	+	0.0932
		万人拥有卫生技术人员数 $U_8 / (\text{人} \cdot \text{万人}^{-1})$	+	0.1376
		城市人均拥有道路面积 U_9 / m^2	+	0.0548
		万人在校大学生人数 $U_{10} / (\text{人} \cdot \text{万人}^{-1})$	+	0.0481
	空间	城镇人均现住房建筑面积 U_{11} / m^2	+	0.0734
		人口密度 $U_{12} / (\text{人} \cdot \text{m}^{-2})$	+	0.0773
河湖水系连通	结构	河网密度 $R_1 / (\text{km} \cdot \text{km}^{-2})$	+	0.1423
		水面率 $R_2 / \%$	+	0.1431
		河频率 $R_3 / (\text{条} \cdot \text{km}^{-2})$	+	0.2702
	功能	城市地表供水量 $R_4 / 10^8 \text{ m}^3$	+	0.0761
		每公顷均灌溉用水量 $R_5 / (\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	-	0.1422
	环境	优于Ⅲ类水的断面所占比 $R_6 / \%$	+	0.0947
		水功能区达标率 $R_7 / \%$	+	0.1314

3.3.2 评价函数 本文采用多目标线性加权函数法计算城市化系统和河湖水系连通系统的综合评价得分,在指标层采用乘法合成,强调指标的独立性和不可替代性;在子系统层采用加法合成,体现系统的迭加性。构建的函数如下:

子目标的评价函数:

$$M_i = \sum_{j=1}^m (w_{ij} \cdot x_{ij}) \tag{7}$$

式中: M_i 为各个指标层的得分值; w_{ij} 为各指标的权重; x_{ij} 为各指标的标准化值。

总目标的综合评价函数:

$$N = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot L_i) \tag{8}$$

式中: N 为各系统的综合评价得分; w_i 为各准则层的权重。

3.3.3 城镇化与河湖水系连通耦合协调度模型 利用耦合协调度模型可以有效地评价城镇化与河湖水系连通相互耦合的协调程度,其计算公式为^[17]:

$$D = (C \cdot T)^{1/2} \tag{9}$$

$$C = \left[\frac{U \cdot R}{\left(\frac{U + R}{2} \right)^k} \right] \tag{10}$$

$$T = (\alpha U + \beta R)^{1/2} \tag{11}$$

式中: D 为协调度; C 为耦合度; k 为调节系数($k \geq 2$),本研究取 $k = 2$; U 、 R 分别为城镇化系统和河湖水系连通系统的综合评价得分。 T 为城镇化与河湖水系连通的综合协调指数,在本文中,城镇化系统与河湖水系连通系统同等重要,因此取 α 、 β 同取 0.5。

根据国内外耦合协调研究成果,设定城镇化与河湖水系连通耦合协调分类级别(表 2)。

表 2 城镇化与河湖水系连通耦合协调度分类		
耦合协调度	耦合类型	协调类型
$0 < D \leq 0.4$	低水平耦合阶段	严重失调
$0.4 < D \leq 0.5$	颀抗阶段	失调
$0.5 < D \leq 0.8$	磨合阶段	基本协调
$0.8 < D \leq 1$	高水平耦合阶段	协调

4 结果与讨论

4.1 城镇化系统与河湖水系连通系统综合评价值变化趋势分析

根据公式(11)计算各系统综合评价值、耦合度、综合协调指数和协调度见表 3。

表 3 江苏省城镇化进程状况与河湖水系 连通水平耦合协调度(2004 - 2014 年)					
年份	城镇化进 程状况综 合指标 U	河湖水系 连通水平 综合指标 R	综合 协调 指数 T	耦合度 C	协调度 D
2004	0.0073	0.7125	0.5999	0.0002	0.0110
2005	0.0954	0.6926	0.6277	0.0281	0.1328
2006	0.2028	0.5256	0.6035	0.0857	0.2274
2007	0.2972	0.4089	0.5959	0.1185	0.2657
2008	0.3712	0.3875	0.6159	0.1438	0.2976
2009	0.4858	0.3700	0.6541	0.1765	0.3398
2010	0.6552	0.3852	0.7212	0.2354	0.4120
2011	0.7006	0.3673	0.7307	0.2323	0.4120
2012	0.7484	0.2790	0.7167	0.1652	0.3441
2013	0.8323	0.3071	0.7548	0.2013	0.3898
2014	0.9288	0.2744	0.7756	0.1795	0.3731

2004 - 2014 年江苏省城镇化系统和河湖水系连通系统综合评价值变化趋势见图 1。总体上,近 11 年来,江苏省城镇化水平不断提升,河湖水系连通水平不断下降。城镇化水平不断提升是改革开放以来,我国注重经济发展,不断推进城镇化的结果。河湖水系连通水平不断下降,尤其是在 2004 - 2007 年,这几年大力推进城镇化建设,河湖水系连通水平急剧下降。2009 年后,随着水利部提出加快河湖水系连通工程建设,构建引得进、蓄得住、排得出、可调控的河湖水网体系,河湖水系连通水平下降趋势变缓,水系连通性能下降得到一定控制。

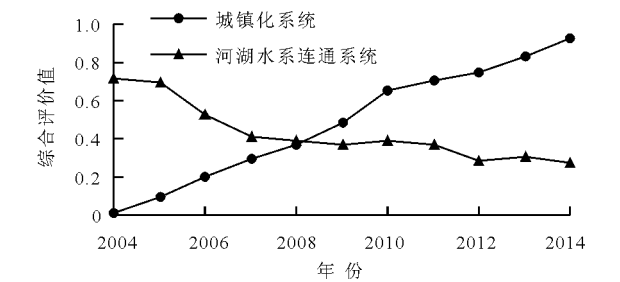


图 1 城镇化系统与河湖水系连通系统综合评价值

2004 - 2014 年江苏省城镇化各子系统综合评价值变化趋势见图 2。图 2 表明江苏省城镇化系统总体上呈上升趋势,其中社会城镇化水平上升趋势最明显。人口城镇化水平在 2010 - 2012 年有所下降,主要原因是外来进城务工人员不断增加,城镇人口接近饱和。2012 年后人口城镇化水平上升,这与国家近年来推进农村人口返乡就业有一定的关联。

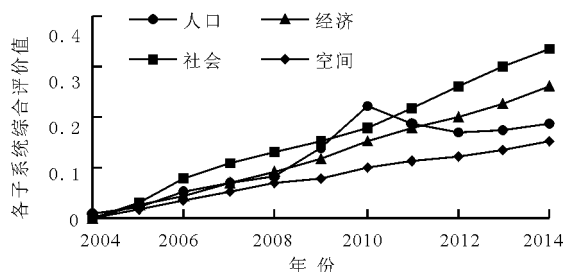


图2 城镇化各子系统综合评价价值

2004–2014年江苏省河湖水系连通各子系统综合评价价值变化趋势见图3。图3表明,随着城镇化的不断推进,江苏省河湖水系结构性能不断下降,主要体现在城镇化过程中,大量末级河道被填埋,河频率和河网密度降低,人与水争地,水域面积不断缩减,水面率下降。由于河湖水系结构性能的不断下降,进一步导致河湖水系连通性能降低,水流循环受阻,水质变差。功能子系统综合评价价值在总体上变化趋势不明显,近十年来,江苏省降雨比较均衡,农田亩均灌溉定额相差不大,城镇地表水供应平稳。环境子系统综合评价价值变化趋势波动较大,2008年以前,环境子系统中优于Ⅲ类水的断面所占比和水功能区达标率普遍较低,这是由于城镇化过程中,生产生活废水、废物任意排放,造成了水体污染,水环境变差,水质达标率低下。随着国家和人们对水环境的重视程度不断提升,政府部门出台一系列的水环境保护政策和法规,投入大量资金用于水环境的整治,2008年后,环境系统综合评价价值总体呈上升的趋势,水环境污染得到一定的控制。

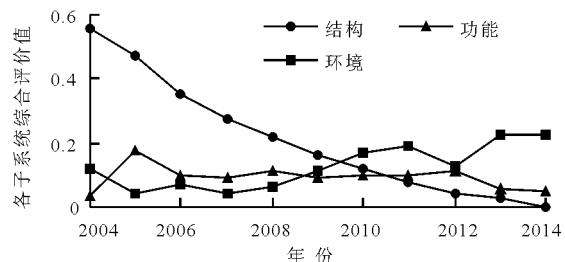
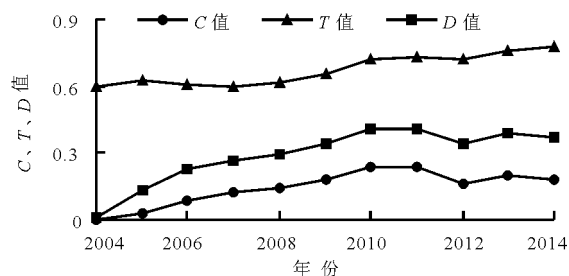


图3 河湖水系连通各子系统综合评价价值

4.2 城镇化系统与河湖水系连通系统耦合协调趋势分析

图4为2004–2014年耦合度 C 、综合协调指数 T 及协调度 D 的值。由图4结合表2可知,城镇化与河湖水系连通两大系统的匹配度总体上呈增加的趋势,但2010年之后匹配度有所下降。城镇化–河湖水系连通系统经历了低水平耦合阶段和颞抗阶段,两大系统呈严重失调到失调到基本协调变化的趋

势。两系统的综合协调指数增长平稳且维持在较高水平。2004–2008年这几年,我国开展大规模的城镇化建设,为了促进城镇经济增长、改造城镇容貌和缓解城镇供水压力,大量末级河道被填埋,地表水被不合理的开发利用,造成了河道功能的退化和水环境的恶化,因此城镇化系统与河湖水系连通系统耦合度和协调度处于一个较低水平。近年来,政府投入大量资金用于改善河湖连通状况,改善水生态环境,城镇化与河湖水系连通系统耦合度呈逐年上升的趋势。一方面,随着城镇化水平的不断提高,河湖水系连通问题越来越引起人们的重视,良好的河湖水系连通系统是城镇防洪排涝安全的保证;另一方面,城镇化与河湖水系连通系统耦合度的不断提高,区域人水和谐的局势得到维持,人与自然协调发展,这是和谐社会的基本要求。

图4 历年耦合度 C 、综合协调指数 T 、协调度 D 值

5 结 论

本文运用耦合协调模型对2004–2014年江苏省城镇化与河湖水系连通系统耦合度和协调度进行了测度,通过测度结果可知近11年来,江苏省城镇化水平逐年提升,河湖水系连通水平呈下降趋势。城镇化系统中,社会城镇化水平上升趋势最明显,其次是经济城镇化、人口城镇化和空间城镇化。河湖水系连通系统中结构水平呈急剧下降到缓慢下降的趋势,功能水平总体比较平稳,环境水平波动较大。城镇化与河湖水系连通系统经历了低水平耦合阶段和颞抗阶段,二者耦合协调度基本上呈上升趋势。

总体来说,江苏省城镇化系统与河湖水系连通系统处于由失调向基本协调转变的阶段。这个阶段必须要处理好城镇化与河湖水系连通的关系,在城镇化过程中要不断提升河湖水系连通性能,杜绝末级河道的填埋和与水争地,保证河湖水系连通状态良好。良好的河湖水系连通系统是城镇水生态环境、供水、防洪排涝安全的保证。因此在推进城镇化建设的同时也要加强河湖水系连通建设,使城镇化

与河湖水系连通系统耦合协调度不断提升,促进江苏省人水和谐。

参考文献:

[1] 左其亭,崔国韬. 河湖水系连通理论体系框架研究[J]. 水电能源科学,2012,30(1): 1-5.

[2] 窦明,崔国韬,左其亭,等. 河湖水系连通的特征分析[J]. 中国水利,2011(16):17-19.

[3] 崔国韬,左其亭,李宗礼,等. 河湖水系连通功能及适应性分析[J]. 水电能源科学,2012,30(2):1-5.

[4] 王中根,李宗礼,刘昌明,等. 河湖水系连通的理论探讨[J]. 自然资源学报,2011,26(3):523-529.

[5] 李宗礼,郝秀平,王中根,等. 河湖水系连通分类体系探讨[J]. 自然资源学报,2011,26(11):1975-1982.

[6] 夏军,高扬,左其亭,等. 河湖水系连通特征及其利弊[J]. 地理科学进展,2012,31(1):26-31.

[7] 李原园,黄火键,李宗礼,等. 河湖水系连通实践经验与发展趋势[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(4):81-85.

[8] 李原园,酆建强,李宗礼,等. 河湖水系连通研究的若干问题与挑战[J]. 资源科学,2011,33(3):386-391.

[9] 庞博,徐宗学. 河湖水系连通战略研究:理论基础[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(Z1):138-145.

[10] 庞博,徐宗学. 河湖水系连通战略研究:关键技术[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(Z1):146-152.

[11] 范斐,杜德斌,盛垒. 长三角科技资源配置能力与城市化进程的协调耦合关系研究[J]. 统计与信息论坛,2013,28(7):69-75.

[12] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报,2005,20(1):105-112.

[13] 张明斗,莫冬燕. 城市土地利用效益与城市化的耦合协调性分析——以东北三省34个地级市为例[J]. 资源科学,2014,36(1):8-16.

[14] 孙东琪,张京祥,张明斗,等. 长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系[J]. 地理科学进展,2013,32(7):1060-1071.

[15] 左其亭,臧超,马军霞. 河湖水系连通与经济社会发展协调度计算方法及应用[J]. 南水北调与水利科技,2014,12(3):116-120.

[16] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J]. 地理学报,2005,60(2):237-247.

[17] 赵安周,李英俊,卫海燕,等. 陕西省城市化与资源环境的耦合演进分析[J]. 农业现代化研究,2011,32(6):725-729.



(上接第 85 页)

自我调节能力提升以及生物操纵、生态浮床、曝气等辅助措施,可对其他城市湖泊的治理提供借鉴。

参考文献:

[1] 李瑞改,许振文,刘惠清. 生态健康评价[J]. 长春师范学院学报,2004,23(1):60-64.

[2] 赵臻彦,徐福留,詹巍,等. 湖泊生态系统健康定量评价方法[J]. 生态学报,2005,25(6):1466-1474.

[3] 胡志新,胡维平,谷孝鸿,等. 太湖湖泊生态系统健康评价[J]. 湖泊科学,2005,17(3):256-262.

[4] 席秋义,徐建光,张洪波,等. 河流生态水文系统研究[J]. 人民黄河,2010,32(8):10-12.

[5] 任黎,杨金艳,相欣奕. 湖泊生态系统健康评价指标体系[J]. 河海大学学报(自然科学版),2012,40(1):100-103.

[6] 李新国,江南,王红娟,等. 近30年来太湖流域湖泊岸线形态动态变化[J]. 湖泊科学,2005,17(4):294-298.

[7] 李灿,李永,李嘉. 湖泊健康评价指标体系及评价方法初探[J]. 四川环境,2011,30(2):71-75.

[8] 孔令阳. 江汉湖群典型湖泊生态系统健康评价[D]. 武汉:湖北大学,2012.

[9] 陈星,许钦,何新玥,等. 城市浅水湖泊生态系统健康与保护研究[J]. 水资源保护,2016,32(2):77-81.

[10] 许文杰. 城市湖泊综合需水分析及生态系统健康评价研究[D]. 大连:大连理工大学,2009.

[11] 戈锋,叶春,冯冠宇,等. 基于熵权综合健康指数法的太湖湖滨带水生态系统研究[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),2010,39(6):623-626.

[12] 朱敏,王国祥,王建,等. 南京玄武湖清淤前后底泥主要污染指标的变化[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2004,4(2):66-69.

[13] 丁飞跃. 城市河道水环境生态治理研究[D]. 杭州:浙江大学,2015.