

· 城市生态保护 ·

## 基于指标权重法的湖州市内区县水环境承载力评比研究

吴波<sup>1,2</sup>, 李中华<sup>1,2</sup>, 秦顺兴<sup>1,2</sup>, 王冠<sup>3</sup>, 赵银玲<sup>4</sup>, 陈岩<sup>1,2</sup>

- (1. 生态环境部环境规划院, 北京 100012;
2. 长江经济带生态环境联合研究中心, 北京 100012;
3. 辽宁天益达环境工程技术有限公司, 辽宁 沈阳 110011;
4. 沈阳经济技术开发区开发集团有限公司, 辽宁 沈阳 110011)

**摘要:** 为了科学使用水环境承载力方法考核地方的水生态环境治理成效, 去除现有承载力方法在实际应用中存在的问题, 提出了一套基于指标权重法的水环境承载力评比管控方法。通过构建包含 3 个一级评价指标、17 个二级评价指标的两级评价指标体系, 以 2019 年数据为例, 计算得出湖州市内各区县的水环境承载力综合评估指数。结果表明, 湖州市三县两区中, 长兴县的水环境承载力综合指数最高, 为 0.58, 比排在第二位吴兴区高出 0.65 倍, 德清县最低, 为 0.28。该结果较好地显示了湖州市各区县的水环境承载力排名, 为当地政府在生态环境治理、保护与修复工作的成效考核上提供了重要的决策依据。

**关键词:** 水环境承载力; 指标体系; 熵值法; 湖州市

**中图分类号:** X24

**文献标志码:** A

**DOI:** [10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022.01.20](https://doi.org/10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022.01.20)

## Research on evaluation of water environment carrying capacity in inner districts and counties of Huzhou City based on index weight method

WU Bo<sup>1,2</sup>, LI Zhonghua<sup>1,2</sup>, QIN Shunxing<sup>1,2</sup>, WANG Guan<sup>3</sup>, ZHAO Yinling<sup>4</sup>, CHEN Yan<sup>1,2</sup>

- (1. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China; 2. United Center for Eco-Environment in Yangtze River Economic Belt, Beijing 100012, China; 3. Liaoning Tianyida Environment Engineering Technology Co. Ltd., Shenyang 110011, China; 4. Shenyang Economic and Technological Development Zone Development Group Co. Ltd., Shenyang 110011, China)

**Abstract:** In order to scientifically use the water environment carrying capacity method to assess the effectiveness of the local water ecological environment governance, and to solve the existing problems in the actual application of the existing carrying capacity method, a set of water environment carrying capacity evaluation and control methods based on the index weight method are proposed. A two-level evaluation index system is constructed, which includes 3 first-level evaluation indicators and 17 second-level evaluation indicators. By using this system, the comprehensive evaluation index of the water environment carrying capacity of all districts and counties in Huzhou City is calculated with the data in 2019. The results show that among the three counties and two districts of Huzhou City, Changxing County has the highest comprehensive index of water environment carrying capacity with the value of 0.58. It is 0.65 times higher than Wuxing District, which ranks the second place. Deqing County has the lowest value of 0.28. The results indicate clearly the water environment carrying capacities of the districts and counties in Huzhou City, and provide an important decision-making basis for the local government in evaluating the effectiveness of water ecological environment governance, protection and restoration.

**Keywords:** water environmental carrying capacity; index system; entropy method; Huzhou

**CLC number:** X24

湖州市地处“长三角”的核心腹地之内, 是全国首个地市级生态文明先行示范区, 经济发展和生态环境治理上做出了很多重要的贡献。但是, 几十年的快速发展导致当地资源的索取和环境的影响不

**收稿日期:** 2020-11-28

**作者简介:** 吴波(1983-), 女, 博士、副研究员。研究方向: 水环境模拟。E-mail: wu\_bo@caep.org.cn

**通信作者:** 陈岩(1981-), 男, 博士、副研究员。研究方向: 水环境模拟。E-mail: chenyan@caep.org.cn

**引用格式:** 吴波, 李中华, 秦顺兴, 等. 基于指标权重法的湖州市内区县水环境承载力评比研究[J]. 环境保护科学, 2022, 48(1): 120-125.

断加大,造成水资源和水环境的承载能力不断降低。虽然各地区实施了有效的生态环境保护和污染治理措施,但成效如何仍需判断。习总书记的生态文明思想中指出:要把水环境承载力作为刚性约束,贯彻落实到改革发展稳定的各项工作中。可见水环境承载力的评估是地区发展和环境管理的重要依据,可成为各地区环境治理成效检验的重要工具。

目前,水环境承载力评价方法多样, BU et al<sup>[1-3]</sup>使用的指标体系评价法、余晓玲等<sup>[4-5]</sup>使用的系统动力学法、JIA et al<sup>[6-8]</sup>使用的多目标最优化法以及 LU et al<sup>[9-10]</sup>使用的人工神经网络法等多种量化方法,需要涉及社会经济、水资源、水环境、水生态和技术管理等多方面指标,但是,这些方法存在部分指标可获得性不强、实际应用中难于操作、指标选取单一、未从管理实际出发、没有统筹考虑“三水共治”和“一点两线”的需求等问题。本文针对这些情况,设计一套简单、易于地方操作的基于指标权重的水环境承载力评比管控方法。该方法简单、易于地方操作,无需大量计算,只需要利用各类指标的查询或简单计算出的结果进行权重计算,再累加得出每个研究对象的水环境承载力结果,可初步评判不同尺度、多种研究对象综合的水环境承载力情况,以此评估湖州市内三区两县的环境治理和保护成效,为地方的领导干部考核及水环境保护工作的研究与实施提供参考依据。

## 1 研究区概况

湖州市位于浙江省北部、太湖西南侧,东与江苏省吴江市、嘉兴桐乡市接壤,南与杭州市余杭区相接,西与安徽省广德县、宁国市相邻,北滨太湖与江苏省宜兴市交界,与苏州市、无锡两市隔湖相望。辖德清、长兴和安吉三县和吴兴、南浔两区,总面积 5 818 km<sup>2</sup>。2019 年户籍人口 267.57 万人,地区生产总值 3 122.4 亿元。湖州市河流水系属长江下游太湖流域水系,境内有三大水系,包括苕溪水系、杭嘉湖平原水系和长兴水系,境内流域面积分别为 3 090、1 445 和 1 283 km<sup>2</sup>。多年平均气温 12.2 ~ 17.3 ℃,年降水量 761 ~ 1 780 mm。水资源总量为 52.26 亿 m<sup>3</sup>,人均水资源占有量 1 726 m<sup>3</sup>。2019 年,共有城镇污水处理厂 45 座,处理能力 99.025 万 t/d,年污水处理量 2.95 亿 t,平均负荷率 82.9%。已累计建设农村生活污水处理设施 6 107 个,

处理能力共计 5.82 万 t/d,累计建设管网 7 563 km,覆盖 762 个行政村,占湖州市全市行政村数量的 70%。共有工业企业 1 074 家,化学需氧量、氨氮、总氮和总磷排放量分别为 3 514、180、496 和 76 t。共有规模化畜禽养殖场 15 个,化学需氧量、氨氮、总氮和总磷的排放量分别为 7.7、1.6、5.0 和 0.2 t。2019 年,湖州市农作物播种总面积为 15.61 万 hm<sup>2</sup>,农用化肥施用总量为 3.88 万 t,单位农作物播种面积化肥施用强度为 248.6 kg/hm<sup>2</sup>。农药使用量为 3 271 t,农药的使用强度为 20.95 kg/hm<sup>2</sup><sup>[11-12]</sup>。

## 2 研究方法

研究水环境承载力状况的指数评价等级划分法是基于层次分析法(AHP)中指标层次性建构的理论指导,分层次构建 2 个独立的一级评价指标体系和科学、典型的二级评价指标。

### 2.1 选取评价指标

以习近平生态文明思想为基础,评价指标的选取考虑绿色化发展程度、三水共治的效果、增容和减排的阶段等内容。利用层次法以 3 个一级指标和 17 个二级指标构建成指标体系,见表 1。

表 1 评价指标表

一级指标	二级指标	权重	效应
水环境 指标 $W_{En}$	环境治理投资占GDP比例/%	$W_{En1}$	正
	6大高耗能行业产值占工业总产值比重/%	$W_{En2}$	负
	工业污染强度指数/kg·万元 <sup>-1</sup>	$W_{En3}$	负
	畜禽养殖业污染强度指数/kg·万元 <sup>-1</sup>	$W_{En4}$	负
	农用化肥施用强度/kg·hm <sup>-2</sup>	$W_{En5}$	负
	农药施用强度/kg·hm <sup>-2</sup>	$W_{En6}$	负
	城镇污水收集处理率/%	$W_{En7}$	正
	地表水达到或优于Ⅲ类水比例/%	$W_{En8}$	正
	地表水劣Ⅴ类水比例/%	$W_{En9}$	负
水资源 指标 $W_C$	水资源开发利用率/%	$W_{C1}$	负
	生态基流保障率/%	$W_{C2}$	正
	非常规水源利用替代水资源比例/%	$W_{C3}$	正
	农田灌溉水有效利用系数(无量纲)	$W_{C4}$	正
	工业用水重复利用率/%	$W_{C5}$	正
水生态 指标 $W_{EC}$	湿地面积比例/%	$W_{EC1}$	正
	建成区绿地率/%	$W_{EC2}$	正
	森林覆盖率/%	$W_{EC3}$	正

指标的构建充分考虑了是否存在关联性和重复性,存在的剔除不重要的,并考虑指标选择的公信力、易获取性、关键性、客观性,以及可量化和可比性<sup>[13-15]</sup>。

2.1.1 水环境指标 体现的是研究区域社会经济发展的绿色化水平,以及各地区采取各种环境治理措施,减少污染物进入环境的效果。

(1)环境治理投资占 GDP 比例。环境治理投资占 GDP 比例是指一定经济规模下地区的环境保护投资力度,见式(1)。环境污染治理投资包含城镇环境基础设施建设投资、工业污染源治理投资和完成环保验收项目环保投资。

$$\text{环境治理投资占GDP比例} = \frac{\text{环境污染治理投资(万元)}}{\text{地区生产总值(万元)}} \times 100\% \quad (1)$$

(2)六大高耗能行业产值占工业总产值比重。反映当地产业布局和发展方式。当地的高耗能行业所占比重的多少,对地区的资源消耗和排污都存在一定的影响,见式(2)。根据《2019年国民经济和社会发展统计报告》六大高耗能行业分别为:化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工炼焦及核燃料加工业以及电力热力的生产和供应业。

$$\text{六大高耗能行业产值占工业总产值比重} = \frac{\text{六大高耗能行业产值(万元)}}{\text{工业总产值(万元)}} \times 100\% \quad (2)$$

(3)工业污染强度指数。反映地区工业生产过程中排放的污染物对水环境的压力,同时代表该地区的产业经济发展方式及绿色化水平。该值越大,说明产业绿色化水平越低。以工业生产过程中排放的污染物与工业生产总值的比值得出,见式(3~6)。其中每个地区工业排放的代表性污染物有所区别,根据 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN 和 TP 4 个污染物指标的排放量与工业生产总值的比值之中,最大的结果作为该指标的最终结果。

$$W_{\text{En3a}} = \frac{\text{工业COD排放量 (kg)}}{\text{工业生产总值(万元)}} \quad (3)$$

$$W_{\text{En3b}} = \frac{\text{工业NH}_3\text{-N排放量(kg)}}{\text{工业生产总值(万元)}} \quad (4)$$

$$W_{\text{En3c}} = \frac{\text{工业TN排放量(kg)}}{\text{工业生产总值(万元)}} \quad (5)$$

$$W_{\text{En3d}} = \frac{\text{工业TP排放量 (kg)}}{\text{工业生产总值(万元)}} \quad (6)$$

(4)畜禽养殖业污染强度指数。反映地区畜禽养殖业中排放的污染物对水环境的压力和绿色化发展程度。该值越大,说明畜禽养殖业生产绿色化水平越低。以畜禽养殖业排放的污染物与畜禽养殖业生产总值的比值得出,见式(7~10)。同理选择最大的结果作为该指标的最终结果。

$$W_{\text{En4a}} = \frac{\text{畜禽养殖业COD排放量(kg)}}{\text{畜禽养殖业生产总值(万元)}} \quad (7)$$

$$W_{\text{En4b}} = \frac{\text{畜禽养殖业NH}_3\text{-N排放量(kg)}}{\text{畜禽养殖业生产总值(万元)}} \quad (8)$$

$$W_{\text{En4c}} = \frac{\text{畜禽养殖业TN排放量(kg)}}{\text{畜禽养殖业生产总值(万元)}} \quad (9)$$

$$W_{\text{En4d}} = \frac{\text{畜禽养殖业TP排放量(kg)}}{\text{畜禽养殖业生产总值(万元)}} \quad (10)$$

(5)农用化肥施用强度。体现的是农业生产绿色化水平,化肥的施用量越低,说明农业生产越注重降低化肥造成的污染,见式(11)。

$$\text{农用化肥施用强度} = \frac{\text{农用化肥施用量(kg)}}{\text{农作物总播种面积(hm}^2\text{)}} \quad (11)$$

(6)农药施用强度。体现的是农业生产绿色化水平,农药的施用量越低,说明农业生产越注重降低化肥造成的污染,见式(12)。

$$\text{农药施用强度} = \frac{\text{农药施用量(kg)}}{\text{农作物总播种面积(hm}^2\text{)}} \quad (12)$$

(7)城镇污水收集处理率。指县城及城镇建成区经过污水处理厂或其他污水处理设施(土地、湿地处理系统等)收集处理污水,达到排放标准的排水量占县城及城镇建成区污水排放总量的百分比,可直接从统计年鉴中获取该结果<sup>[16]</sup>。

(8)地表水达到或优于 III 类水比例。根据《地表水环境质量标准: GB3838—2002》,区域内主要地表水监测断面水质达到或优于 III 类水的比例。可以了解一个国家或地区水环境质量状况的优良程度,可直接从生态环境状况公报中获取该结果<sup>[11]</sup>。

(9)地表水劣 V 类水比例。根据《地表水环境质量标准: GB3838—2002》,区域内主要地表水监测断面水质为劣 V 类水的比例。可以了解一个国家或地区水环境质量状况的优劣程度,可直接从生态环境状况公报中获取该结果<sup>[11]</sup>。

2.1.2 水资源指标 (1)水资源开发利用。反映研究区域人类用水对江河生态产生的压力,见式(13)。

$$\text{水资源开发利用} = \frac{\text{该地区的用水总量}(t)}{\text{该地区多平均水资源总量}(t)} \times 100\% \quad (13)$$

(2)生态基流保障率。基础年月实际平均流量占最小生态基流百分比。生态基流量是指为保证河流生态服务功能,用以维持或恢复河流生态系统基本结构与功能所需的最小流量。生态基流保障率越高,河流生态系统服务功能越强,水环境承载力越大。其中最小生态基流流量可利用 Tennant 法计算,将江河多年平均流量的 10% 作为最小生态基流,可从水利局获取该数据资料<sup>[12]</sup>,见式(14)。

$$\text{生态基流保障率} = \frac{\text{基准年月实际平均流量}(m^3/s)}{\text{最小生态基流量}(m^3/s)} \times 100\% \quad (14)$$

(3)非常规水源利用替代水资源比例。反映地区开发利用雨水和再生水等替代常规水源的能力,计算见式(15)。

$$\text{非常规水源利用替代水资源比例} = \frac{\text{非常规水源利用量}(雨水、再生水等)(t)}{\text{总的水资源使用量}(t)} \times 100\% \quad (15)$$

(4)农田灌溉水有效利用系数。农田灌溉水有效利用系数是指某一时期灌入田间可被作物利用的水量与水源地灌溉取水总量的比值。它反映灌区渠系输水和田间用水状况,是衡量从水源取水到田间作物吸收利用过程中灌溉水利用程度的一个重要指标,能综合反映灌区灌溉工程状况、用水管理水平和灌溉技术水平,对农田灌溉的节水性能的评定有着重要意义,可从水利局获取该数据资料<sup>[12]</sup>。

(5)工业用水重复利用率。反映工业再生水利用技术的提高对于减少水资源的使用带来的作用,可从水利局获取该数据资料<sup>[12]</sup>。

2.1.3 水生态指标 (1)湿地面积比例。研究区域湿地面积占该地区总面积的比率。湿地面积越大,说明该地区的水生生态环境越多,对于生物生存的环境越有利,同时对于该地区的径流的调节以及水质的改善都有很大作用。因此湿地面积比例越高,水环境承载力越大,计算见式(16)。

$$\text{湿地面积比例} = \frac{\text{该研究区域湿地所占面积}(hm^2)}{\text{该区域总面积}(hm^2)} \times 100\% \quad (16)$$

(2)建成区绿地率。指在城市建成区的各类绿地面积占建成区面积的比率。城市各类绿地包括公共绿地、居住区绿地、单位附属绿地、防护绿地、生产绿地和风景林地等 6 类,见式(17)。

$$\text{建成区绿地率} = \frac{\text{建成区各类绿地面积}(hm^2)}{\text{建成区面积}(hm^2)} \times 100\% \quad (17)$$

(3)森林覆盖率。亦称森林覆被率,指一个国家或地区森林面积占土地面积的百分比,是反映一个国家或地区森林面积占有情况或森林资源丰富程度及实现绿化程度的指标,又是确定森林经营和开发利用方针的重要依据之一。可直接从统计年鉴上获取<sup>[16]</sup>,或者通过森林面积与地区国土面积的比值得出。

## 2.2 评价方法

指标体系的权重选取熵值法进行计算。熵值法是判断指标离散程度的数学方法,能客观的得到各项指标的权重系数。

(1)指标数据标准化归一处理

指标分为两类:一类是正向指标,表示数据越大指标越好;另一类是逆向指标,表示数据越小指标越好。

正向指标标准化归一,见式(18)。

$$X_{ij} = (1-a) + a \times \frac{x_{ij} - x_{\min j}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (18)$$

逆向指标标准化归一,见式(19)。

$$X'_{ij} = (1-a) + a \times \frac{x_{\max j} - x_{ij}}{x_{\max j} - x_{\min j}} \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (19)$$

式(18~19)中: $x_{ij}$ 、 $X'_{ij}$ 分别表示第*i*个研究对象第*j*项指标的原始数据和标准化处理后数值; $x_{\max j}$ 、 $x_{\min j}$ 分别表示所有研究对象第*j*个指标中的最大值和最小值。 $a \in (0, 1)$ ,一般*a*取 0.9。

(2)计算第*i*个研究对象第*j*项指标值的比重,见式(20)。

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^m X'_{ij}} \quad (20)$$

式(20)中, $Y_{ij}$ 表示第*i*个研究对象第*j*项指标值比重, $m$ 表示研究对象数量。

(3)计算指标信息熵,见式(21)。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}) \quad (21)$$

式(21)中,  $e_j$ 为信息熵, 而 $k = 1/\ln m$ 。

(4)计算信息熵冗余度, 见式(22)。

$$d_j = 1 - e_j \quad (22)$$

式(22)中,  $d_j$ 为信息熵冗余度。

(5)计算指标权重, 见式(23)。

$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad (23)$$

式(23)中,  $W_j$ 为第  $j$  项指标的权重值,  $n$  为指标数量。

(6)计算第  $i$  个研究对象评价总得分, 见式(24)。

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (24)$$

式(24)中,  $S_i$ 为第  $i$  个研究对象评价总得分。

评价指标共分为两级, 首先按照以上公式计算

第二级指标从公式(1~17)的值, 再按照一级指标的类别计算权重, 式(18~23)以及一级指标的得分(式24), 得到三类一级指标的最终结果。

### 2.3 水环境承载力状况的综合评估结果评比方法

在计算指数评价结果之后, 由于每个指标结果都是越大代表该项结果越好, 综合所有的指标结果, 汇总成水环境承载力综合评估指数, 见式(25)。

$$\text{水环境承载力综合评估指数} = \text{水环境指标} + \text{水资源指标} + \text{水生态指标} \quad (25)$$

## 3 结果和讨论

根据所选择的指标, 在各区县以及湖州市的统计年鉴、水文年鉴和环境质量状况公报中查找数据<sup>[6]</sup>后汇总于表2。经过指标结果和权重的计算, 得到三县两区的水环境承载力综合评估, 见表3。

表 2 湖州市三县两区各指标数据计算结果

一级指标	二级指标	权重	效应	吴兴区	南浔区	德清县	长兴县	安吉县
水环境指标 $W_{En}$	环境治理投资占GDP比例/%	$W_{En1}$	正	5.72	0.39	2.12	2.18	0.56
	六大高耗能行业产值占工业总产值比重/%	$W_{En2}$	负	35.97	17.67	26.46	22.69	18.5
	工业污染强度指数/kg·万元 <sup>-1</sup>	$W_{En3}$	负	0.56	0.86	0.88	0.8	0.69
	畜禽养殖业污染强度指数/kg·万元 <sup>-1</sup>	$W_{En4}$	负	38.16	72.75	139.16	6.7	7.17
	农用化肥施用强度/kg·hm <sup>2</sup>	$W_{En5}$	负	217.59	219.37	282.62	205.94	378.86
	农药施用强度/kg·hm <sup>2</sup>	$W_{En6}$	负	26.34	27.72	59.28	13.94	16.95
	城镇污水收集处理率/%	$W_{En7}$	正	51.15	49.3	44.3	60.6	40.6
	地表水达到或优于Ⅲ类水比例/%	$W_{En8}$	正	100	100	98.3	100	100
	地表水劣Ⅴ类水比例/%	$W_{En9}$	负	0	0	0	0	0
水资源指标 $W_C$	水资源开发利用率/%	$W_{C1}$	负	24.05	36.74	25.03	17.19	8.15
	生态基流保障率/%	$W_{C2}$	正	261.46	261.46	669.03	708.55	443.7
	非常规水源利用替代水资源比例/%	$W_{C3}$	正	0	0	0	5.26	0
	农田灌溉水有效利用系数(无量纲)	$W_{C4}$	正	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
	工业用水重复利用率/%	$W_{C5}$	正	81.43	81.87	80.73	83.5	80.3
水生态指标 $W_{EC}$	湿地面积比例/%	$W_{EC1}$	正	78.30	19.70	54.50	68.30	10.90
	建成区绿地率/%	$W_{EC2}$	正	44.19	22.63	52.14	42.13	40.3
	森林覆盖率/%	$W_{EC3}$	正	38.18	9.94	42.65	47.43	70.2

表3可知, 三县两区的水环境承载力排序情况由高到低为长兴县、吴兴区、安吉县、南浔区和德清县。其中, 长兴县的水环境承载力综合指数远高于其他区县, 其他4个区县的水环境承载力综合指数相差较小。

从分项指标上看, 长兴县在城镇污水收集处理

率、生态基流保证率、非常规水源利用替代水资源比例和工业用水重复利用率4个指标上分别达到60.6%、708.6%、5.3%和83.5%, 是其他区县指标最低值的0.49倍、1.7倍、5.3倍和0.04倍, 特别是再生水、雨水等其他水源的再利用上, 远高出其他区县5倍以上, 表明长兴县在水资源有效利用和水环

境治理上投入了更多的工作。同时,长兴县的农业畜禽养殖污染排放相对较少,其农用化肥和农药的施用强度分别为 205.9 和 13.9 kg/hm<sup>2</sup>,均小于其他区县。长兴县在水环境治理和水资源节约上所做的工作和成效,以及自然资源禀赋较好的天然优势,使其水环境承载能力综合指标远高于其他区县。

表 3 湖州市三县两区水环境承载力综合指数计算结果

区域	水环境承载力评比值
吴兴区	0.35
南浔区	0.28
德清县	0.28
长兴县	0.58
安吉县	0.30

水环境承载力综合指数排在第二位的吴兴区,其工业污染排放较少,工业污染强度指数为 0.55 kg/万元,低于其他区县该类指标。此外,在环保治理投入和湿地建设面积所占比例上分别达到 5.7% 和 78.3%,是其他区县环保投入和湿地建设指标最低值的 13.6 倍和 6.2 倍,表明其在污染治理设施建设和水生态修复上开展了很多工作,使其水环境承载力综合指数较高。

南浔区、安吉县和德清县水环境承载力综合指数相近,其中德清县的指数值最低,主要是:德清县施用的化肥和农药量远高于其他区县,环保投入相对较低,导致治理水平和治理效果相比其他县区略差。虽然相比其他区县其水资源较丰富、自然禀赋较好,但是大量非点源污染的存在和工业、生活点源治理效果相对较低,也拉低了整体水环境承载力的综合指数。

#### 4 结论

2019 年湖州市三县两区的水环境承载力评比结果中,长兴县的水环境承载力综合指数最高,其在污染治理、水资源节约和水生态增容 3 个方面所做的工作成效远高于其他区县。南浔区、安吉县和德清县要注意农业农村非点源污染和城市生活点源污染的治理,同时要加大环保投入。

#### 参考文献

[1] BU J H, LI C H, WANG X, et al. Assessment and prediction of the

water ecological carrying capacity in Changzhou city, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 227(20): 123988.

- [2] WU X, HU F. Analysis of ecological carrying capacity using a fuzzy comprehensive evaluation method[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 113: 106243.
- [3] 王秦, 张艳, 杨永芳. 雄安新区资源环境承载力评价指标体系研究[J]. *环境科学与技术*, 2020, 43(5): 203 – 212.
- [4] 余晓玲, 林珍铭, 韦喜凤. 城镇化过程中的资源环境承载力相应演变与驱动因素分析研究[J]. *环境科学与管理*, 2020, 45(3): 51 – 56.
- [5] WANG Y, ZHOU X, ENGEL B. Water environment carrying capacity in Bosten Lake basin[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 199: 574 – 583.
- [6] JIA Z M, CAI Y P, CHEN Y, et al. Regionalization of water environmental carrying capacity for supporting the sustainable water resources management and development in China[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 134: 282 – 293.
- [7] CHENG K, FU Q, MENG J, et al. Analysis of the spatial variation and identification of factors affecting the water resources carrying capacity based on the cloud model[J]. *Water Resource Management*, 2018, 32: 2767 – 2781.
- [8] FANG W, AN H, LI H, et al. Urban economy development and ecological carrying capacity: taking Beijing City as the case[J]. *Energy Procedia*, 2017, 105: 3493 – 3498.
- [9] LU Y, XU H W, WANG Y X, et al. Evaluation of water environmental carrying capacity of city in Huaihe River Basin based on the AHP method: A case in Huai'an City[J]. *Water Resources and Industry*, 2017, 18: 71 – 77.
- [10] WANG Z G, LUO Y Z, ZHANG M H, et al. Quantitative evaluation of sustainable development and eco-environmental carrying capacity in water-deficient regions: A case study in the Haihe River basin, China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13(1): 195 – 216.
- [11] 湖州市生态环境局. 2019 年湖州市生态环境状况公报[R/OL]. 湖州, 2019. [http://hbj.huzhou.gov.cn/art/2020/7/21/art\\_1229208577\\_55621501.html](http://hbj.huzhou.gov.cn/art/2020/7/21/art_1229208577_55621501.html).
- [12] 湖州市水务局. 2019 年湖州市水资源公报[R/OL]. 湖州, 2019. [https://www.sohu.com/a/416917797\\_120206275](https://www.sohu.com/a/416917797_120206275).
- [13] 王静, 袁昕怡, 陈晔, 等. 面向可持续城市生态系统管理的资源环境承载力评价方法与实践应用——以烟台市为例[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(10): 2371 – 2384.
- [14] ZENG W H, WU B, CHAI Y. Dynamic simulation of urban water metabolism under water environmental carrying capacity restrictions[J]. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 2016, 10(1): 114 – 128.
- [15] 曾维华, 吴波, 杨志峰, 等. 水代谢、水再生与水环境承载力研究 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2016.
- [16] 湖州市统计局. 2019 年湖州市统计年鉴[R/OL]. 湖州, 2019. <http://tjj.huzhou.gov.cn/hzgov/front/s29/tjsj/tjnj/20201023/i2816147.html>.