

综合水质标识指数法在青山湖水质评价中的应用

谷建强¹, 张文², 朱凡¹, 陈峰², 苏光云^{1,3}, 祁亨年^{1,4}

(1. 浙江农林大学 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省临安市环境监测站, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省临安市教育局, 浙江 临安 311300; 4. 湖州师范学院 信息工程学院, 浙江 湖州 313000)

摘要: 浙江省临安市青山湖主要用于旅游业、农业灌溉及饮用水源等多种用途, 而周边旅游业、工业等方面的发展可能使得它存在受污染的风险, 通过水质评价来了解青山湖水环境质量状况具有重要的意义。以 2009-2013 年临安市青山湖水质采样数据为基础, 采用传统的综合水质标识指数法对青山湖水质进行综合评价, 并结合 3 种赋权法对指标权重进一步优化处理, 通过污染成因分析初步得出各支流对青山湖水库水质污染贡献情况。结果表明: 青山湖化学需氧量、氨氮的单因子水质标识指数平均达到 II 类水质标准, 符合青山湖水质功能区划分等级要求; 总氮、总磷、叶绿素 a 的单因子水质标识指数平均大于 III 类水质, 为主要污染物; 基于主成分分析赋权的综合水质标识指数法和传统的综合水质标识指数法的计算结果一致, 2009-2013 年青山湖水质都达到 IV 类, 且 2009 年青山湖水质最差, 综合水质标识指数为 4.331, 2013 年最好, 为 4.131, 呈 U 型变化趋势; 锦溪的总氮、叶绿素 a 污染贡献最高, 南苕溪次之, 灵溪的总磷污染贡献最高。图 4 表 6 参 16

关键词: 综合水质标识指数法; 赋权; 青山湖; 水质评价

中图分类号: S273.3; X824 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2016)05-0890-09

WQI for water quality evaluation in Qingshan Lake

GU Jianqiang¹, ZHANG Wen², ZHU Fan¹, CHEN Feng², SU Guangyun^{1,3}, QI Hengnian^{1,4}

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Forestry Intelligent Monitoring and Information Technology Research, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Environmental Monitoring Station of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Bureau of Education of Lin'an City, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. School of Information Engineering, Huzhou University, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

Abstract: Qingshan Lake used mainly for tourism, agricultural irrigation, and drinking water and other purposes and development of tourism, industry may make the existence of the risks contamination. So this study was conducted to help understand the lake's water quality by using a water quality assessment. Based on sampled water quality data from Qingshan Lake in Lin'an from 2009 to 2013, water quality was evaluated using the water quality index method with a Principal Component Analysis along with a coefficient of variation for standard multiple weight and average weight. The water pollution contribution of each into the reservoir was obtained by analyzing the causes of pollution. Results showed that the single factor chemical oxygen demand index and NH₃-N in Qingshan Lake reached level II, in accordance with function grade of Qingshan Lake. Single factor labeling indexes revealed that total phosphorus, total nitrogen, and chlorophyll-a were the main pollutant. The comprehensive water quality identification index method based on the principal component analysis and the av-

收稿日期: 2015-10-10; 修回日期: 2015-11-30

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y14C130046); 浙江农林大学科研发展基金人才启动基金资助项目(2013FR035); 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室资助项目; 浙江省临安市环境保护局资助项目(2014-2)

作者简介: 谷建强, 从事水质检测研究。E-mail: 572018351@qq.com。通信作者: 祁亨年, 教授, 博士, 从事模式识别、机器视觉、移动物联等研究。E-mail: qihengnian@foxmail.com

erage weight, confirmed these results. From 2009 to 2013 the lake's water quality reached level IV. The maximum WQI was 4.331 in 2009, and the minimum was 4.131 in 2013 with a U-shaped pattern. The pollution contribution from the Jinxi Stream was highest for TN and Chl-a. The South Tiaoxi Stream took the second place. The pollution contribution from Linxi Stream was highest for TP. These results will help provide a scientific basis for management and protection of Qingshan Lake. [Ch, 4 fig. 6 tab. 16 ref.]

Key words: WQI; weighting method; Qingshan Lake; water quality assessment

水是人类的生命之源, 是发展经济不可或缺的宝贵资源。水体污染以及水资源紧缺等一系列水环境问题已成为经济发展过程中不可避免的话题, 随着城市化进程的加快, 水环境问题日益凸显。水质评价是水环境治理中的基础性工作。陈敏等^[1]采用单因子指数评价法对广西北仑河口海域 16 个站位的海水水质进行评价; 寇文杰等^[2]对内梅罗指数法在水质评价中存在的问题进行了修正, 解决了水质评价中的数值不连续的局限性; 闫滨等^[3]运用模糊综合评价法及层次分析法对辽宁省浑河大伙房水库上游北杂木、古楼及台沟断面的丰、枯水期的水质进行评价; 申剑等^[4]采用灰色关联无量纲化的处理方法, 对丹江口流域 2012 年河流中 11 个典型断面水体污染因子进行评价; YANG 等^[5]将模糊数学和神经网络相结合, 提出了模糊人工神经网络评价模型, 并应用于韶关水域的水质评价中。浙江省临安市青山湖是集灌溉用水、饮用水等多功能为一体的大型水库, 周边旅游业、工业的发展可能使得它存在受污染的风险, 目前对于青山湖水质评价的研究较少, 对青山湖水质进行评价具有重要的意义。由于综合水质标识指数蕴含水体的水质类别, 劣于环境功能区目标的单项指标个数等多方面的信息^[6-7], 因此, 本研究选取综合水质标识指数法对青山湖水质进行综合性评价, 并结合 3 种客观赋权方法对青山湖水库的指标权重进一步优化处理, 为临安市青山湖水环境的治理与保护提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区域概况

浙江省临安市青山湖建于 1964 年, 位于青山湖街道, 是大型的人造湖, 其集雨面积为 603.00 km², 库容量为 2.13 亿 m³, 是以防洪为主, 并结合灌溉、发电等多功能的大 II 型水库, 为临安境内唯一大型水库。

1.2 采样与分析

通过对青山湖的调查, 于 2009 年 1 月至 2013 年 12 月对临安市青山湖进行水质采样, 采样周期为 2 个月 1 次, 采样地点为青山湖中心, 位于 30°24'N, 119°78'E。水质采样主要利用经超纯水冲刷过的采样瓶, 取样水深在 0.5 m 左右, 采样方法参照 GB/T 14581—1993《水质 湖泊和水库采样技术指导》。根据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》, 选取化学需氧量、总氮、总磷、氨氮、叶绿素 a 等几个指标作为青山湖水质评价指标。化学需氧量的测量参照 GB/T 11892—1989《水质 高锰酸盐指数的测定》, 氨氮的测量采用 HJ35—2009《纳氏试剂比色法》, 总氮测定采用 GB 11894—1989《碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》, 总磷测定采用 GB 11893—1989《钼酸铵分光光度法》, 叶绿素 a 的测定采用 SL 88—2012《分光光度法》。

1.3 评价方法

综合水质标识指数法是基于单因子水质标识指数法计算的一个综合性水质信息, 但由于传统的综合水质标识指数在指标权重分配上无法体现指标的差异性, 因此, 结合主成分分析赋权、变异系数赋权、超标倍数赋权对指标权重进一步优化。综合水质标识指数计算公式为:

$$I_{wqi} = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \quad (1)$$

式(1)中: I_{wqi} 为综合水质标识指数; $X_1 \cdot X_2$ 为所有测量值的单因子水质标识指数的平均值; X_3 为参与水质综合评价的水质指标中, 劣于水环境功能区目标的单项指标个数; X_4 为综合水质类别与水体功能区类别的比较结果。

$$X_1 \cdot X_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

式(2)中: n 为评价指标的个数, P_i 为第 i 项指标的单因子水质标识指数。

1.3.1 单因子水质标识指数 单因子水质标识指数^[8-9]具体表示形式为:

$$P_i = X_1 X_2 X_3 \quad (3)$$

式(3)中: P_i 用来表示第 i 项指标的单因子水质标识指数; X_1 用来表示第 i 项指标的水质类别; X_2 用来表示监测值在 X_1 类水质变化区间所处的位置, 根据公式按四舍五入的原则确定; X_3 用来表示水质类别与功能区划分类别的比较结果。

1.3.2 变异系数赋权法 变异系数赋权法^[10]是反映各指标变异程度的一种客观赋权的方法。它首先通过对数据的标准化处理, 消除了指标间不同量纲的影响, 通过计算各指标的变异系数来衡量各指标的差异程度, 以此来确定指标的权重。其计算公式如下:

$$V_i = \frac{\delta_i}{\sum_{i=1}^n \delta_i} \quad (4)$$

式(4)中: V_i 是第 i 项指标的权重; δ_i 是第 i 项指标的变异系数; $\delta_i = \frac{S}{\bar{C}_i}$; S 为第 i 项指标的均方差; $S =$

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n}}; \bar{C}_i \text{ 为第 } i \text{ 项指标的平均质量浓度; } n \text{ 为评价指标的个数。}$$

1.3.3 主成分分析赋权法 主成分分析赋权法是具有代表性的客观赋权方法, 它首先依据参与评价的指标体系构建样本矩阵并对其进行标准化处理, 然后计算相关系数矩阵并以此得出特征值、贡献率和累计方差贡献率。根据特征值不小于 1 的原则确定主因子个数, 接着计算特征向量和初始化因子载荷矩阵, 通过因子载荷矩阵中各指标的载荷数除以对应主成分的特征根的平方根, 来确定指标在不同主成分线性组合中的系数, 最后把主成分的方差贡献率与相应主成分线性组合中的系数做加权平均并归一化处理得到最后的权重。

1.3.4 超标倍数赋权法 超标倍数赋权法^[11]是一种主要因素突出型赋权方法, 它突出了主要污染物的影响, 其计算公式为:

$$W_i = \frac{X_i / S_i}{\sum_{i=1}^n X_i / S_i} \quad (5)$$

式(5)中: W_i 为第 i 项指标的权重值; S_i 最为第 i 项指标 n 个类别标准的平均值; X_i 为第 i 项指标的实际质量浓度值。

1.4 数据处理和综合水质评价依据

用 Excel 和 SPSS 21.0 对所有数据进行计算和处理, 综合水质评价依据详见参考文献[7]。

2 结果与分析

2.1 主要污染物分析

根据 2009–2013 年 5 项指标的监测数据(图 1), 利用单因子水质标识指数法计算所有指标的单因子水质标识指数(图 2), 通过平均值得出各指标的单因子水质标识指数的总体分布情况(图 3)。由图 3 可知: 青山湖水水质指标化学需氧量的单因子水质标识指数的范围为 1.70~3.10, 在 III 类水质标准范围内。化学需氧量水质标识指数最小出现在 2011 年 11 月($P_1=1.70$), 达到 I 类水质, 最大值出现在 2012 年 7 月($P_1=3.10$), 达到 III 类水质。从月平均值来看, 化学需氧量总体达到 II 类水质($P_1=2.60$)。

氨氮水质标识指数的范围是从 1.20 到 3.02, 在 III 类水质范围内。2010 年 11 月、2011 年 7 月和 9 月、2012 年 11 月都达到了 I 类水质($P_2=1.20$), 2013 年 1 月水质最差($P_2=3.20$), 达到 III 类水质。从氨氮水质标识指数的月平均值来看, 氨氮总体达到 II 类水质标准($P_2=2.10$)。这 2 项指标的结果表明: 青山湖不受化学需氧量、氨氮污染, 满足青山湖水功能区划分要求。

青山湖水水质指标中总磷、总氮、叶绿素 a 的单因子水质标识指数的月平均值大于 3, 是主要污染物。总氮最高($P_3=7.94$), 叶绿素 a 次之($P_5=6.13$), 总磷最低($P_4=5.42$)。总氮水质标识指数的范围是

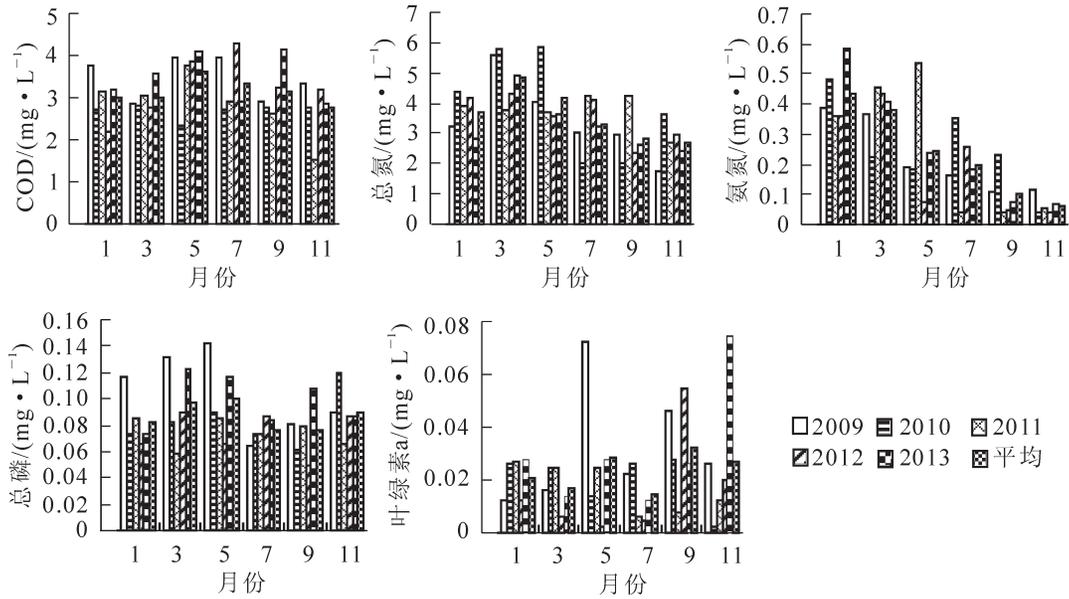


图 1 2009–2013 年 5 项指标的监测结果

Figure 1 Monitoring results of five indexes of Qingshan Lake reservoir

6.93~7.94，超出Ⅲ类水质标准，达到劣Ⅴ类水质标准。总氮浓度过高容易导致水体的富营养化、降低水体的观赏性^[12]。总磷水质标识指数的范围是 4.21~5.42，在Ⅳ类和Ⅴ类之间波动变化。叶绿素 a 水质标识指数的范围是 2.30~6.13，波动范围较大。叶绿素 a 水质标识指数最小值出现在 2010 年 11 月和 2012 年 5 月($P_5=2.30$)，达到Ⅱ类水质标准，其他月份都达到Ⅳ类水质以上(除了 2011 年 7 月、9 月和 2012 年 3 月、7 月)。有相关研究表明叶绿素 a 受氮、磷元素浓度影响较大^[13]。

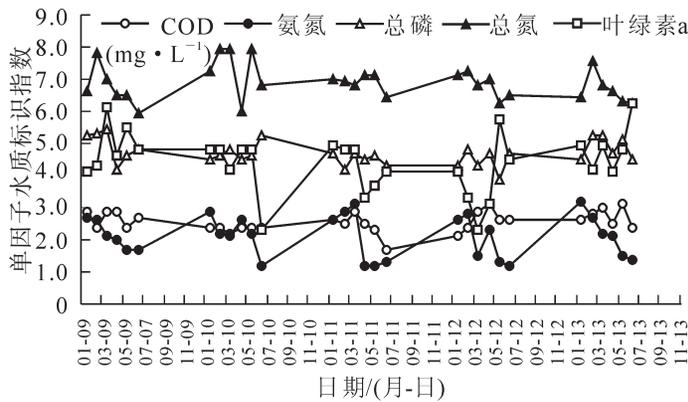


图 2 单因子水质标识指数的月分布特征

Figure 2 Distribution of single factor water quality identification index of month

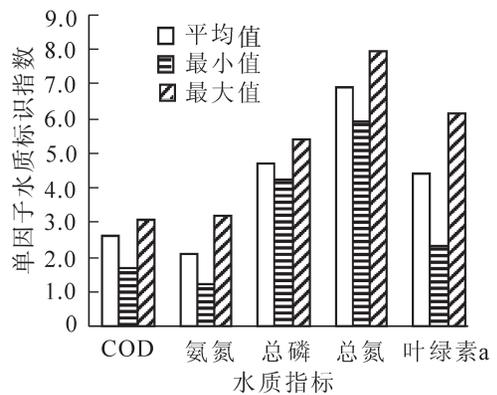


图 3 单因子水质标识指数分布特征

Figure 3 Distribution characteristics of the single factor water quality identification index

2.2 综合水质标识指数时间分布特征分析

根据各指标浓度的年平均值，结合综合水质标识指数(式 1)和综合水质评价类别标准，得出 2009–2013 年的青山湖的综合水质标识指数(表 1)。由表 1 可知：青山湖 2009–2013 年水质达到Ⅳ类，超出功能区Ⅲ类水质标准。2009 年综合水质标识指数最大，达到 4.331。2010–2012 年综合水质标识指数都为 4.031，无明显变化，但相较 2009 年有所减小，水质有所好转，向Ⅲ类水质接近，这可能与临安市相关政府部门开展的企业污染整治有关。2013 年综合水质标识指数为 4.131，较 2012 年有所增大，但变化不明显，整体呈 U 型变化趋势。由单因子水质标识指数可以看出(图 3)：青山湖总磷、总氮、叶绿素 a 的单因子标识指数偏高，拉高了整体水质等级。有相关研究报道：国内大多数水库的污染都是由总磷、总氮等营养盐和有机污染引起，而其他重金属及其他有毒有害物质污染相对较少^[14]。

根据春、夏、秋、冬各个季节，将各指标不同季节的监测数据的综合水质标识指数取平均值，得到

表1 2009–2013年青山湖水质等级及定性评价

Table 1 Water quality grade of Qingshan Lake from 2009 to 2013

年份	单因子标识指数					综合水质标识指数	水质等级	水体功能区类别	综合水质定性评价
	化学需氧量	氨氮	总磷	总氮	叶绿素 a				
2009	2.70	2.20	5.00	6.70	5.00	4.331	IV	III	轻度污染
2010	2.30	2.30	4.00	7.00	4.50	4.031	IV	III	良好
2011	2.40	2.30	4.00	6.90	4.40	4.031	IV	III	良好
2012	2.60	2.30	4.00	6.80	4.30	4.031	IV	III	良好
2013	2.70	2.30	4.10	6.60	5.00	4.131	IV	III	轻度污染

不同季节的综合水质标识指数(图4)。由图4可知:2011年春、夏两季和2012年春、夏两季的综合水质标识指数小于4.00,达到Ⅲ类水质标准,其他季节为Ⅳ类水质标准。综合水质标识指数总体呈先降后升的趋势。春、冬两季的综合标识指数大于夏、秋两季的综合水质标识指数,这可能与青山湖流域水文情况有关^[15]。青山湖降水量时空差异较大,降雨主要集中在夏、秋两季,以梅雨天气和台风天气为主,占全年雨量的70%,大量的降雨使得青山湖夏季和秋季的水质在一定程度上得到了净化,又加之地表径流的作用,水质有所好转。

2.3 水环境功能区达标分析

根据2009–2013年青山湖的单因子标识指数分布特征(图3),计算青山湖的综合水质标识指数,对比青山湖Ⅲ类水环境功能区标准,得到青山湖水质指标达标情况和水质等级达标情况(表2)。由表2可知:化学需氧量、氨氮达标率为100%,未出现超标现象。总氮指标最差,达标率为0,情况不容乐观;总磷次之,在2012年只有1次满足水环境功能区要求。叶绿素a在2009年达标率为0,随后达标率逐年上升,情况有所好转,在2012年达到50%,随后在2013年达标率又降到0,呈先升后降的趋势。综合水质标识指数达标率先从2009年的0开始上升,在2011年达到最大,随后趋于稳定,在2013年达标率又降到0,呈梯形变化。

根据青山湖Ⅲ类水环境功能区标准,2009–2013年青山湖水质定性评价结果见表1。

表2 青山湖水环境功能区达标结果

Table 2 Water quality evaluation of surface water function zones on Qingshan Lake

年份	达标情况	化学需氧量	氨氮	总磷	总氮	叶绿素 a	综合水质标识指数
2009	达标个数	6	6	0	0	0	0
	超标个数	0	0	6	6	6	6
	达标率/%	100	100	0	0	0	0
2010	达标个数	6	6	0	0	1	1
	超标个数	0	0	6	6	5	5
	达标率/%	100	100	0	0	16.67	16.67
2011	达标个数	6	6	0	0	2	3
	超标个数	0	0	6	6	4	3
	达标率/%	100	100	0	0	33.00	50.00
2012	达标个数	6	6	1	0	3	3
	超标个数	0	0	5	6	3	3
	达标率/%	100	100	16.67	0	50.00	50.00
2013	达标个数	6	6	0	0	0	0
	超标个数	0	0	6	6	6	6
	达标率/%	100	100	0	0	0	0

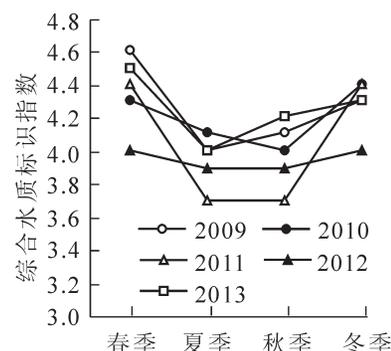


图4 综合标识指数的四季分布特征
Figure 4 Distribution characteristics of the four seasons of WQI

2.4 多指标权重的综合标识水质级别评价分析

采用主成分分析、超标倍数、变异系数赋权法的综合水质标识指数等对青山湖水质类别做进一步优化，其 3 种赋权方法的各指标权重和最终综合评价结果如表 3~4 所示。

由超标倍数赋权法可知：青山湖水质 2009–2013 年间达到 V 类水质。超标倍数赋权法过分突出主要污染物的影响，总磷的权重达到了 0.552(表 3)，而总磷、总氮、叶绿素 a 等 3 个指标的权重和占 0.896，使得结果不科学。变异系数赋权法表明：青山湖水质 2009–2013 年达到 IV 类水质，与传统的综合水质标识指数法、主成分赋权法得出的评价等级一致，而 2010–2012 年青山湖水质达到 III 类水质，优于传统的综合水质标识指数法、主成分赋权法得出的水质等级。临安市相关政府部门公布的 2009–2013 年各年的临安市环境状况公报表明：青山湖为 IV 类水质，因此变异系数赋权法在青山湖水质评价中出现了偏差，与实际情况不符。有研究表明^[16]变异系数的大小反映的是数据的波动大小，也就是包含的信息量的大小，但这仅仅是此指标的一种特性，无法说明此指标的重要性，赋权法无法保证其准确性，应根据实际评价结果来确定其适用性。

主成分分析赋权法得出青山湖水质 2009–2013 年达到 IV 水质，与传统的综合水质标识指数法得出的评价等级一致。主成分分析赋权法克服了传统的综合水质标识指数在权重分配问题上的缺陷，消除了指标间信息重复的问题，综合考虑了各指标占全部信息量的权重，符合青山湖实际情况，其评价结果更为客观、合理。

表 3 指标权重的分布特征

Table 3 Weight of each index

指标	化学需氧量	氨氮	总磷	总磷	叶绿素 a
主成分分析法	0.186	0.179	0.282	0.177	0.177
变异系数法	0.079	0.346	0.104	0.138	0.333
超标法	0.067	0.036	0.178	0.552	0.167

表 4 青山湖水质综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation results of water quality in Qingshan Lake

年份	综合水质标识指数							
	传统	评价等级	主成分	评价等级	超标倍数	评价等级	变异系数	评价等级
2009	4.331	IV	4.431	IV	5.731	V	4.131	IV
2010	4.231	IV	4.031	IV	5.631	V	3.931	III
2011	4.031	IV	4.031	IV	5.531	V	3.831	III
2012	4.031	IV	4.031	IV	5.431	V	3.831	III
2013	4.131	IV	4.131	IV	5.531	V	4.031	IV

3 青山湖水质污染成因

3.1 水库入水口各支流污染

水体质量在一定程度上受补水水源的影响较大，当补水水源中含较多的污染物时，一旦超过水体自身的净化能力，必然会导致水体恶化。青山湖上游主要由苕溪、锦溪、横溪、灵溪(表 5)及城市某污水处理厂等(表 6)不同点位流入，导致水体中的有机物和无机物含量大大增加，尤其是氮磷污染负荷的加重。由表 5 可知：青山湖中的 3 个流入点位南苕溪、锦溪、灵溪的水质等级都超过 III 类水质功能区标准，锦溪的水质等级相对较高，污染较为严重。横溪的综合水质标识指数满足 III 类水质标准，但 4 个流入点位的总磷、总氮、叶绿素 a 的含量均偏高。锦溪的总氮、叶绿素 a 污染贡献最高，其单因子标识指数在 2009–2013 年均分别达到 6.00 和 4.80 以上，南苕溪次之。灵溪的总磷污染贡献最高，单因子标识指数在 2009 年到 2013 年均达到 5.00 以上，最高为 8.40。由此可见青山湖氮磷及叶绿素 a 污染主要受各支流汇入影响较大。

青山湖下游为临安锦城主城区，库区四周环绕锦城、锦北街道及板桥镇，均为人口和工业企业较为密集地区，部分企业仍存在偷排、漏排现象，各类污染物通过不同途径直接或间接排入库区，使得青山

湖水质氮磷污染进一步加重,总磷、总氮的单因子标识指数居高不下。总氮的单因子水质标识指数较大值主要集中在3月,5月,最低值为6.93。总磷的单因子标识指数最低为4.21,与总氮相比污染程度相对较好,较大值同样集中出现在3月,5月,但也超出Ⅲ类水环境功能区标准,远超出青山湖自身的自净能力。这可能与春、夏季雨水充沛,地表径流作用较强有关。

3.2 旅游业污染

随着青山湖周边旅游业的不断发展,由旅游设施,人口增多等造成的水质污染无法避免。一方面,在周边环境建设的过程中,水、电能及其他能源供给过度,废水、汽车尾气、生活垃圾的处理不及时等都可能对水环境形成污染。另一方面,大量的旅游者环境保护意识较差,随便扔垃圾,造成一定污染。在这些原因的共同作用下,青山湖水体中总氮、总磷含量明显偏高,水质的富营养化程度加剧。

3.3 农业面源污染

青山湖周边农田较多,由灌溉设施、灌溉方式等原因造成的深层渗透现象较为严重。又由于各种农药的大面积使用,在地表径流的作用下农田中的水土会携带大量营养物质,尤其是以氮磷元素为主的肥料流入水库造成水体污染。水体氮磷元素增加会使得藻类迅速生长,水体中叶绿素a含量增加。

表5 2009–2013年青山湖各支流的综合水质标识指数

Table 5 Comprehensive water quality index of the tributaries of the Qingshan Lake from 2009 to 2013

年份	流入点位	单因子标识指数					综合水质标识指数	水质等级
		化学需氧量	氨氮	总磷	总氮	叶绿素 a		
2009	南苕溪(长桥)	2.30	3.20	4.70	5.40	4.70	4.131	Ⅳ
	锦溪(三眼桥)	3.40	5.10	5.30	6.50	5.40	5.142	Ⅴ
	横溪(泥山湾)	1.70	2.40	4.70	5.20	4.30	3.730	Ⅲ
	灵溪(亭子)	2.30	3.50	5.30	4.60	4.80	4.031	Ⅳ
2010	南苕溪(长桥)	2.40	3.10	5.10	5.10	4.30	4.131	Ⅳ
	锦溪(三眼桥)	3.00	4.80	5.00	6.70	5.10	4.941	Ⅳ
	横溪(泥山湾)	1.90	2.50	4.60	5.40	4.60	3.830	Ⅲ
	灵溪(亭子)	2.40	3.20	6.20	5.60	5.30	4.631	Ⅳ
2011	南苕溪(长桥)	2.30	3.20	4.30	6.30	5.00	4.231	Ⅳ
	锦溪(三眼桥)	3.60	6.80	4.90	7.40	5.70	5.542	Ⅴ
	横溪(泥山湾)	1.80	2.30	4.20	5.10	3.90	3.530	Ⅲ
	灵溪(亭子)	2.30	4.60	4.80	5.30	4.80	4.341	Ⅳ
2012	南苕溪(长桥)	2.40	2.60	5.00	6.20	4.30	4.231	Ⅳ
	锦溪(三眼桥)	2.90	4.20	5.30	6.30	5.20	4.831	Ⅳ
	横溪(泥山湾)	1.90	2.20	4.50	4.30	4.10	3.530	Ⅲ
	灵溪(亭子)	2.20	2.10	8.40	4.70	3.50	4.631	Ⅳ
2013	南苕溪(长桥)	2.30	3.00	5.30	5.40	4.90	4.331	Ⅳ
	锦溪(三眼桥)	3.10	5.50	6.20	6.00	4.70	5.432	Ⅴ
	横溪(泥山湾)	1.80	2.70	5.30	4.60	4.30	3.930	Ⅲ
	灵溪(亭子)	2.60	3.80	5.70	5.00	4.50	4.531	Ⅳ

表6 2009–2013年城市污水处理有限公司出水口水质监测指标年均质量浓度

Table 6 Annual concentration of outlet water quality monitoring in the treatment Ltd of municipal wastewater from 2009 to 2013

指标	2009年		2010年		2011年		2012年		2013年	
	进口	出口								
总磷/(mg·L ⁻¹)	1.670	0.677	2.870	0.976	2.490	0.279	2.800	1.130	2.220	1.110
化学需氧量/(mg·L ⁻¹)	200.000	23.600	220.000	25.800	303.000	40.700	244.000	28.800	118.000	19.000
氨氮/(mg·L ⁻¹)	21.300	7.200	19.800	4.030	27.200	4.650	30.700	2.600	25.500	2.680
总氮/(mg·L ⁻¹)	34.600	9.470	33.400	11.200	62.800	6.880	49.800	10.900	34.400	13.400
出水量/(万 t·d ⁻¹)	4.700	4.700	4.840	4.840	4.910	4.910	5.480	5.480	5.440	5.440

4 结论

单因子水质标识结果表明: 青山湖化学需氧量、氨氮月平均达到Ⅱ类水质标准, 符合青山湖水质功能区划分等级要求。青山湖水质受总氮、总磷、叶绿素 a 污染影响较大, 单因子标识指数平均大于Ⅲ类水质。

根据综合水质标识指数法计算结果, 青山湖 2009–2013 年水质达到Ⅳ类, 超出功能区Ⅲ类水质标准。2009 年青山湖水库的综合水质标识指数最大, 2013 年次之, 呈 U 型变化趋势, 且夏季和秋季综合标识指数小于春季和冬季, 受降雨影响较大。

基于超标倍数赋权、变异系数赋权、主成分分析赋权和传统的综合水质标识指数法在 2009–2013 年青山湖水质综合评价中有所差异。超标倍数赋权法的计算结果表明: 青山湖水质为Ⅴ类水质, 变异系数赋权法的计算结果显示为Ⅲ类和Ⅳ类, 主成分分析赋权法和平均赋权法的综合水质标识指数法的计算结果一致, 为Ⅳ类。临安市相关政府部门公布的 2009–2013 年各年的临安市环境状况公报表明: 主成分分析赋权法适用于青山湖水水质综合评价中。在用综合水质标识指数法进行水质评价的过程中, 不同水域由于其复杂性没有统一的权重确定方法, 因此应通过不同权重方法的对比分析选取适合于本研究区域的权重方法, 提高水质评价的准确性。

5 参考文献

- [1] 陈敏, 蓝东兆, 任建业, 等. 2008 年广西北仑河口海域水质状况评价[J]. 海洋湖沼通报, 2012(1): 110–115.
CHEN Min, LAN Dongzhao, REN Jianye, *et al.* Assessment of sea water quality status in beilun river estuary, Guangxi in 2008 [J]. *Trans Oceanol Limnol*, 2012(1): 110–115.
- [2] 寇文杰, 林健, 陈忠荣, 等. 内梅罗指数法在水质评价中存在问题及修正[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(4): 39–41.
KOU Wenjie, LIN Jian, CHEN Zhongrong, *et al.* Existing problems and modifications of using Nemerow index method in water quality assessment [J]. *South-North Water Transf Water Sci Technol*, 2012, 10(4): 39–41.
- [3] 闫滨, 杨晓. 基于模糊综合评价法的大伙房水库上游水质评价及预测[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(2): 284–288.
YAN Bin, YANG Xiao. Water quality evaluation and prediction of upstream of Dahuofang Reservoir in the Hunhe River based on the fuzzy comprehensive evaluation [J]. *South-North Water Transf Water Sci Technol*, 2015, 13(2): 284–288.
- [4] 申剑, 史淑娟, 周扬, 等. 基于改进灰色关联分析法的丹江口流域地表水环境质量评价[J]. 中国环境监测, 2014, 30(5): 41–46.
SHEN Jian, SHI Shujuan, ZHOU Yang, *et al.* Surface water environmental quality assessment of Danjiangkou Valley based on improved grey correlation analysis [J]. *Environ Monit China*, 2014, 30(5): 41–46.
- [5] YANG Meini, LI Ding, YANG Jinbo, *et al.* FANN-based surface water quality evaluation model and its application in the Shaoguan area [J]. *Geo-Spat Inf Sci*, 2007, 10(4): 303–310.
- [6] 徐祖信. 我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 33(4): 482–488.
XU Zuxin. Comprehensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water [J]. *J Tongji Univ Nat Sci*, 2005, 33(4): 482–488.
- [7] 胡成, 苏丹. 综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1): 186–192.
HU Cheng, SU Dan. Application of comprehensive water quality identification index in water quality assessment of Hun River [J]. *Ecol Environ Sci*, 2011, 20(1): 186–192.
- [8] 张宇红, 胡成. 单因子标识指数法在浑河抚顺段水质评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6G): 276–279.
ZHANG Yuhong, HU Cheng. Application of mark index method in water quality assessment of Hun River in Fushun City [J]. *Environ Sci Technol*, 2011, 34(6G): 276–279.
- [9] 毛飞剑, 何义亮, 徐智敏, 等. 基于单因子水质标识指数法的东江河源段水质评价[J]. 安全与环境学报, 2014, 14(5): 327–331.

- MAO Feijian, HE Yiliang, XU Zhimin, *et al.* Water quality evaluation of Heyuan reach of Dongjiang River based on the single factor water quality identification index [J]. *J Saf Environ*, 2014, **14**(5): 327 – 331.
- [10] 赵微, 林健, 王树芳, 等. 变异系数法评价人类活动对地下水环境的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(4): 1277 – 1283.
- ZHAO Wei, LIN Jian, WANG Shufang, *et al.* Influence of human activities on groundwater environment based on coefficient variation method [J]. *Environ Sci*, 2013, **34**(4): 1277 – 1283.
- [11] 于森, 王启山, 张旋, 等. 基于指标权重的综合水质标识指数法的应用[J]. 安全与环境学报, 2010, **10**(4): 55 – 58.
- YU Miao, WANG Qishan, ZHANG Xuan, *et al.* Application of comprehensive water quality identification index based on weights [J]. *J Saf Environ*, 2010, **10**(4): 55 – 58.
- [12] 陈斌, 张进, 王家德. 高校校内湖水质监测与评价[J]. 环境科学与技术, 2015, **38**(4): 189 – 192.
- CHEN Bin, ZHANG Jin, WANG Jiade. Monitoring and evaluation of campus lake water quality [J]. *Environ Sci Technol*, 2015, **38**(4): 189 – 192.
- [13] 区铭亮, 周文斌, 胡春华. 鄱阳湖叶绿素 a 空间分布及与氮、磷质量浓度关系[J]. 西北农业学报, 2012, **21**(6): 162 – 166.
- OU Mingliang, ZHOU Wenbin, HU Chunhua. Chlorophyll-a's spatial distribution and relationship with nitrogen and phosphorus in Poyang Lake [J]. *Acta Agric Boreali-Occident Sin*, 2012, **21**(6): 162 – 166.
- [14] 邹曦, 胡莲, 万成炎, 等. 三道河水库水质标示指数评价[J]. 水生态学杂志, 2008, **1**(1): 42 – 46.
- ZOU Xi, HU Lian, WAN Chengyan, *et al.* Water quality identification index in Sandaohe Reservoir [J]. *J Hydroecol*, 2008, **1**(1): 42 – 46.
- [15] 沈海波. 青山湖流域水环境评价研究[D]. 临安: 浙江农林大学, 2013.
- SHEN Haibo. *Qingshan Basin Water Environment Assessment Study* [D]. Lin'an: Zhejiang A & F University, 2013.
- [16] 王晓男. 综合评价中若干理论方法的适用性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2014.
- WANG Xiaonan. *The Applicability Research of Several Theoretical Methods in Comprehensive Evaluation* [D]. Changsha: Hunan University, 2014.