

# 基于改进的单因子水质标识指数法的南湾水库 水质时间变化特征

严育通<sup>1</sup>, 李飞飞<sup>2\*</sup>, 翁文静<sup>2</sup>, 史兴俊<sup>1</sup>, 刘明华<sup>1</sup>, 周红升<sup>1</sup>

(1. 信阳师范大学 地理科学学院/河南省水土环境污染协同防治重点实验室/豫南岩矿宝石鉴定及加工中心/  
信阳市气候与环境演变重点实验室/地理科学科普基地, 河南 信阳 464000;  
2. 河南省信阳生态环境监测中心, 河南 信阳 464000)

**摘要:**以淮河流域上游南湾水库为研究对象,提出了改进的单因子水质标识指数法,对南湾水库水质的时间变化特征进行了监测和评价。结果表明:(1)改进的单因子水质标识指数法能显示水质是否达到功能区标准和优于功能区标准的具体数值;(2)2018—2019年大多数月份的绝大多数水质指标均符合Ⅲ类水标准以上,只有TN部分月份超标,总磷项已接近标准临界值;(3)使用综合营养状态指数法对南湾水库水质的营养化程度进行了评价,结果表明TP整体处于贫营养化阶段;(4)水质的时间变化特征为:年际稍微好转的指标为溶解氧DO、BOD<sub>5</sub>、TN;年际变化不大的指标为COD<sub>Mn</sub>、TP、阴离子表面活性剂、叶绿素a、Cr<sup>6+</sup>;年际变差的指标为透明度、粪大肠杆菌群。季节变化特征是:溶解氧DO数值依次从冬季、春季、夏季、秋季呈降低的趋势,TN、TP在夏季和秋季含量较高,石油类在夏季的8月份较高。

**关键词:** 南湾水库;水质评价;营养化;时间变化特征;单因子水质标识指数法

中图分类号: X824

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Time variation characteristics of water quality in Nanwan Reservoir based on the improved single-factor water quality identification index method

YAN Yutong<sup>1</sup>, LI Feifei<sup>2\*</sup>, WENG Wenjing<sup>2</sup>, SHI Xingjun<sup>1</sup>, LIU Minghua<sup>1</sup>, ZHOU Hongsheng<sup>1</sup>

(1. College of Geographical Sciences/Henan Key Laboratory for Synergistic Prevention of Water and Soil Environmental Pollution/ Southern Henan Center of Mineral Rock and Gem-Jade Identification and Processing / Xinyang Key Laboratory of Climate and Environmental Change /Geoscience Popular Science Base, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China;

2. Xinyang Ecological Environment Monitoring Center of Henan Province, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** Taking Nanwan Reservoir in the upper reaches of Huaihe River basin as the research object, an enhanced single-factor water quality identification index method was presented, the time variation characteristics of its water quality were monitored and evaluated. The results showed that: (1) The presented method could effectively demonstrate whether the water quality meets the functional zone standards, as well as highlight the specific values by which the water quality exceeds or falls short of these standards, showcasing its superiority in accuracy compared to conventional methods. (2) Most of the water quality indicators in most months of 2018—2019 meet the Class III water standard, and only some months of TN total nitrogen exceed the standard. The total phosphorus term was also close to the standard critical value. (3) The eutrophication degree of TP of Nanwan

收稿日期:2023-05-28;修回日期:2023-12-16;\*.通信联系人,E-mail: yanyt@xynu.edu.cn; luoxuehanfei@163.com

基金项目:河南省科技攻关项目(222102320128);信阳师范大学“南湖学者奖励计划”青年项目

作者简介:严育通(1983—),男,河南信阳人,讲师,博士,主要从事环境矿物学、水污染治理方面工作。

引用格式:严育通,李飞飞,翁文静,等.基于改进的单因子水质标识指数法的南湾水库水质时间变化特征[J].信阳师范大学学报(自然科学版),2025,38(4):459-464.

YAN Yutong, LI Feifei, WENG Wenjing, et al. Time variation characteristics of water quality in Nanwan Reservoir based on the improved single-factor water quality identification index method[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2025, 38(4):459-464.

Reservoir was evaluated by comprehensive trophic state index method, and the results showed that the whole lake was in the stage of poor eutrophication. (4) The characteristics of time variation of water quality were as follows: dissolved oxygen DO, BOD<sub>5</sub> and TN were the indicators for slight improvement between years; COD<sub>Mn</sub>, TP, anionic surfactant, chlorophyll a, Cr<sup>6+</sup> were the indicators with little change between years. The indicators of interannual variation were transparency and fecal coliform. The seasonal variation characteristics were as follows: DO value of dissolved oxygen showed a decreasing trend from winter, spring, summer and autumn, TN and TP contents were higher in summer and autumn, and petroleum substances content was higher in August of petroleum summer.

**Key words:** Nanwan reservoir; water quality evaluation; nutrition; time variation characteristics; single-factor water quality identification index method

## 0 引言

随着经济和城市化的快速发展,环境污染问题引起了人们的广泛关注<sup>[1-2]</sup>。水污染是我国面临的最主要的环境安全问题<sup>[3]</sup>。湖泊水库是人类重要的饮用水源地。随着湖泊周边的经济发展、人口增加、农业面源污染等,污染物不断增多。李国莲<sup>[4]</sup>对巢湖的研究表明,巢湖水质基本属于V类水,湖泊总体呈中度富营养化状态,由于水体污染严重,致使鸟类、鱼类、水生动植物不断消亡,污染严重的湖泊还会出现水华和水体发腥发黑。朱广伟<sup>[5]</sup>对太湖水质进行了分析评价,认为太湖近年来富营养化状况有加重趋势,TN、TP呈增高趋势,夏季水华暴发的频率越来越高,持续时间也越来越长。

水质监测评价是水污染治理中的重要基础性工作,是制定科学整治规划,采取有效措施的依据。湖泊水质监测依据《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》进行。目前常用的湖泊水质评价方法有:1)根据国家标准选择最差的指标进行评价;2)污染指数法;3)改进的综合污染指数法<sup>[6]</sup>;4)神经网络法;5)徐祖信的单因子水质标识指数法及综合水质标识指数法等<sup>[7-8]</sup>。

淮河是“三河三湖”三河之一,人口稠密,经济活动频繁,水污染问题突出。南湾水库是淮河流域上游信阳市生活饮用水最重要的水源地,其水质事关全市居民的健康。

目前对南湾水库水污染的研究相对较少。赵佳等<sup>[9]</sup>用蚕豆根尖微核监测技术对南湾水库码头、大坝、燕尾岛、中心岛等4处采样点进行了微核千分率及污染指数的研究,污染指数分别为1.67、1.33、1.00、0.33,除了码头有轻度污染,其他无污染。文晔等<sup>[10]</sup>用国产高分宽幅数据对南湾湖绿藻

污染情况进行了短时序监测,结果表明2020年7月20日存在绿藻污染,2020年8月4日、5日、9日在下游某一弯道处有复发,和实际情况均相符。

因此,为了查明南湾湖的水质情况,本研究于2018—2019年对南湾水库进行采样,采用《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》国标或行标认证的方法进行测试,用补充后的单因子水质标识指数法对南湾湖水质、营养化程度、季节变化和年时间变化特征进行了分析,为南湾水库水污染治理提供依据。

## 1 信阳市南湾水库概况

信阳市处于我国秦岭—大别山—淮河一线,即中国南北方的自然地理分界线,气候介于温带季风性半湿润气候和北亚热带季风性湿润气候,四季分明,雨热同期,植被介于亚热带常绿阔叶林和落叶阔叶林混生。南湾湖风景区地处大别山北麓,淮河上游,东距信阳市7 km,全区总面积443 km<sup>2</sup>,其中林地面积145.8 km<sup>2</sup>,水域面积72 km<sup>2</sup><sup>[11]</sup>,景区为省级风景名胜区和国家级森林公园。景区内的南湾水库是信阳市居民唯一饮用水源地。南湾水库面积75 km<sup>2</sup>,最大蓄水量16.3亿 m<sup>3</sup>,素有“中原第一湖”“水墨南湾湖”之美称。南湾湖风景区交通便利,地处京广、宁西铁路和107、312国道以及京港澳、沪陕高速公路十字交汇的枢纽位置,南距武汉天河机场180 km,北距郑州新郑机场290 km,交通便利。

## 2 样品采集、分析测试及评价方法

样品采集根据国家地表水监测技术规范的要求进行。在2018—2019年24个月期间,每月取样1次,在南湾水库水源取水口周边100 m处设置1个监测点,用采样器进行采样,采样深度为湖面

下0.5 m处。

**分析测试:**分析测试在河南省信阳生态环境监测中心进行,分析项目按照《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)规定的方法和项目进行,主要有化学需氧量、氨氮、总氮(TN)、总磷(TP)、重金属、石油类、粪大肠菌群等。

**评价方法:**水质达标评价采用《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)Ⅲ类标准。水质评价采用补充后的单因子水质标识指数法及综合水质标识指数法。营养度评价采用《地表水环境质量评价方法(试行)》(环办[2011]22号)规定的综合营养状态指数法(TLI(Σ))。

2018—2019年河南省信阳市浉河区南湾水库站点气温和降水数据,来源于国家气象科学数据共享服务平台。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 水质监测

从图1和图2中的监测数据可以看出:2018—2019年绝大多数月份的绝大多数指标南湾水库水质符合《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)Ⅲ类标准以上,只有TN在2018年的1、2、3、5、6、7月超标,分别达到1.76、1.83、1.53、1.48、1.51、1.28。

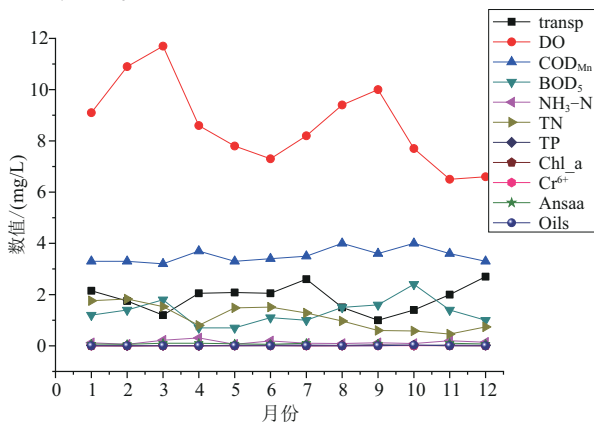


图1 2018年南湾水库水质测试部分结果

Fig. 1 Water quality test results of Nanwan reservoir in 2018

注 transp:透明度; DO:溶解氧; COD<sub>Mn</sub>:高锰酸盐指数; BOD<sub>5</sub>:5日生化需氧量; NH<sub>3</sub>-N:氨氮; TN:总氮; TP:总磷; Chl<sub>a</sub>:叶绿素a; Cr<sup>6+</sup>:六价铬; Ansa:阴离子表面活性剂; Oils:石油类,下同。

由单因子评价法的评价结果可知,1、2、3、6月的TN在1.5~2.0之间,为V类水;5月和7月在1.0~1.5之间,为Ⅳ类水。重金属汞、铅、砷、镉、六价铬等重金属均符合Ⅲ类水标准。阴离子表面活

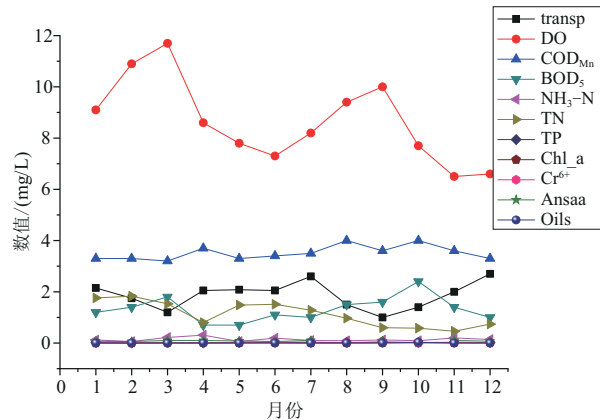


图2 2019年南湾水库水质测试部分结果

Fig. 2 Water quality test results of Nanwan reservoir in 2019

性剂、粪大肠菌群、石油类也符合Ⅲ类水标准。以上结果表明,南湾水库水质除了2018年有半年时间总氮超标外,其他项均符合饮用水源地二级保护区的标准。国际上一般认为湖泊水体总磷浓度为0.02 mg/L,总氮浓度为0.2 mg/L是湖泊富营养化的发生浓度<sup>[12]</sup>。南湾水库2018年的1、5、8、10、12月份总磷浓度已达到0.02 mg/L,达到富营养化极限值。2018年6、7月份总磷浓度为0.03 mg/L,9、11月份为0.04 mg/L,轻微超标。2019年1、2、5、6、8、9月份总磷浓度已达到0.02 mg/L,达到了富营养化极限值。2019年3、7、11月份总磷浓度为0.03 mg/L,10月份总磷浓度为0.04 mg/L,轻微超标。2018年总氮浓度大多数月份已经超过了0.2 mg/L的2~10倍,而2019年总氮浓度超0.2 mg/L的1~4倍。

#### 3.2 水质评价

采用单因子水质标识指数法及综合水质标识指数法<sup>[7]</sup>,表示为:

$$P_i = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3, \quad (1)$$

式中: $P_i$ 代表单因子水质指数, $X_1$ 代表第*i*项水质指标的水质类别, $X_2$ 代表监测数据在*X<sub>1</sub>*类水质变化区间中所处的位置, $X_3$ 代表水质类别与功能区划定类别的比较结果。

对单因子水质标识指数法中优于Ⅰ类水评价部分进行补充(见图3),然后对南湾水库水质进行了评价,结果见表1。

对于水质好于Ⅰ类水或等于Ⅰ类水时,提出优于Ⅰ类水评价部分 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 的确定方法。

(1) $X_1$ 的确定。当水质优于Ⅰ类水时,根据水质监测数据和国家标准比较确定 $X_1$ ,其意义是: $X_1 = 1$ ,表示该指标为Ⅰ类水。

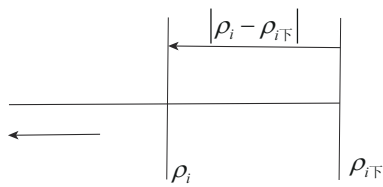


图 3 水质好于 I 类水时的公式符号示意图

Fig. 3 Schematic diagram of formula symbols when the water quality is better than Class I water

表 1 2018—2019 年南湾水库单因子水质指数法评价结果  
Tab. 1 Evaluation results of single factor water quality index method for Nanwan Reservoir in 2018—2019

时间	单因子水质指数 $P_i$					
	DO	COD <sub>Mn</sub>	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
2018-01	1	2.7	1-1	1-1	5.62	2.6
2018-02	1-1	2.7	1-1	1-1	5.72	1-1
2018-03	1-1	2.7	1	2	5.02	1
2018-04	1-1	2.9	1-1	2	3.9	1-1
2018-05	1-1	2.7	1-1	1-1	4.91	2.7
2018-06	1-1	2.7	1-1	2	5.62	3.2
2018-07	1-1	2.8	1-1	1-1	4.61	3.2
2018-08	1-1	2.0	1-1	1-1	3.9	2.7
2018-09	1-1	2.8	1	1-1	3.2	3.6
2018-10	1-1	2.0	1	1-1	3.2	2.6
2018-11	1-1	2.8	1-1	2	2.9	3.2
2018-12	1-1	2.7	1-1	1-1	3.5	2.6
2019-01	1-1	2.7	1-1	1-1	3.5	2.6
2019-02	1-1	2.8	1-1	1	3.5	2.6
2019-03	1-1	2.6	1-1	1-1	3.3	3.2
2019-04	1-1	2.7	1-1	1-1	3.7	1-1
2019-05	1-1	2.6	1-1	1-1	3.7	2.6
2019-06	1-1	2.6	1-1	1-1	3.6	2.6
2019-07	1-1	2.9	1-1	1-1	3.1	3.2
2019-08	1-1	2.9	1-1	1-1	2.6	2.6
2019-09	1-1	2.9	1-1	1-1	2.3	2.6
2019-10	1-1	2.7	1-1	2	2.3	3.6
2019-11	1-1	2.9	1-1	1-1	3.6	3.2
2019-12	1-1	2.6	1-1	1-1	3.3	1-1

注 1-1 即表示水质为 I 类水,-1 表示水质达到 I 类水下限值的 2 倍。

(2)  $X_2$ 、 $X_3$  的确定。无论是溶解氧还是非溶解氧,根据图 3 和式(1)按四舍五入的原则取小数点后 1 位确定。 $X_3$  由于水质好于或达到功能区, $X_3=0$ 。

$$X_2 = -(|\rho_i - \rho_{iF}|) / \rho_{iF}, \quad (2)$$

式中: $\rho_i$  为第  $i$  项水质指标的质量浓度。

表 1 显示出南湾水库的单因子水质标识指数  $P_i$ , 通过这个指数, 可以看到水质是否达到水环境功能区标准。其中可以明显地看出总氮超标严重, 而总磷接近功能区标准临界值。因此, 该方法在南湾水库得到了良好的应用。

### 3.3 营养度评价

营养度评价采用《地表水环境质量评价方法(试行)》(环办[2011]22号)规定的综合营养状态指数法。计算公式

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m w_j TLI(j), \quad (3)$$

式中:  $TLI(\Sigma)$  为综合营养状态指数,  $w_j$  为第  $j$  种参数的营养状态指数的相关权重,  $TLI(j)$  为第  $j$  种参数营养状态指数。

从表 2 可知, 南湾水库的营养化程度较低, 均处于贫营养状态。和长江中下游大多数湖泊(如太湖、巢湖等)处于富营养化状态相比, 南湾水库营养化程度较好, 这可能与南湾水库地处大别山北麓, 生态系统较好, 同时也是信阳市饮用水源保护区, 周边工农业污染管制较严格所致。但是其也已经处于贫营养化阶段, 总氮严重超标, 总磷也已达标准临界值, 因此需要加强整治。

表 2 信阳市南湾水库营养状态分级

Tab. 2 Nutrient status classification of Nanwan reservoir in Xinyang city

时间	TLI ( $\Sigma$ )	营养状态分级	时间	TLI ( $\Sigma$ )	营养状态分级
2018-01	16.64	贫营养	2019-01	14.41	贫营养
2018-02	13.26	贫营养	2019-02	20.34	贫营养
2018-03	21.21	贫营养	2019-03	15.29	贫营养
2018-04	17.10	贫营养	2019-04	17.39	贫营养
2018-05	21.86	贫营养	2019-05	20.48	贫营养
2018-06	25.15	贫营养	2019-06	22.73	贫营养
2018-07	21.18	贫营养	2019-07	20.23	贫营养
2018-08	22.24	贫营养	2019-08	17.72	贫营养
2018-09	27.30	贫营养	2019-09	19.44	贫营养
2018-10	23.37	贫营养	2019-10	22.33	贫营养
2018-11	20.50	贫营养	2019-11	20.78	贫营养
2018-12	17.86	贫营养	2019-12	12.62	贫营养

### 3.4 水质季节、年际时间变化特征

从图 1 和图 2 可知, 南湾水库的年变化特征为: 2019 年比 2018 年稍微好转的指标有溶解氧 DO、BOD<sub>5</sub>、TN, 说明整体水质有所改善, 可能与南湾湖周边面源污染的有效治理有关。年际变化

不大的指标有:COD<sub>Mn</sub>、TP、阴离子表面活性剂、叶绿素 a、Cr<sup>6+</sup>,如叶绿素 a 含量 2018 年 6 月和 10 月为 0.013 和 0.014 mg/L,为 2018 年最大值。2019 年和 2018 年类似,说明 6 月和 9 月的叶绿素 a 最大值可能与水库藻类生长旺盛有关,可能反映了这两年南湾湖周边的农村生活污水治理未取得明显进展。年际变差的指标有:透明度、粪大肠杆菌群。如 2019 年 9 月—10 月份粪大肠杆菌群为 490 个/L 和 270 个/L,可能与生活污水排放有关,也可能与降水量有关(见下文),说明粪大肠杆菌群年变化有所加重。整体来看,2019 年整体水质较 2018 年稍微有所好转。

南湾水库季节变化特征是:溶解氧 DO 数值从冬季、春季、夏季、秋季呈降低的趋势。夏秋季 DO 数值较低,可能与藻类生长繁盛有关。TN、TP 夏季和秋季含量较高,冬季和春季较低。秋季粪大肠杆菌群含量较高。石油类在夏季的 8 月份较高,如 2018 年 8 月为 0.03 mg/L。

### 3.5 水质变化和气温、降水的关系

图 4 和图 5 为 2018 和 2019 年南湾水库气温和降水的每月均值,其中 2018 年和 2019 年气温年际变化不大,都是呈抛物线状,7 月和 8 月是一年气温最高月份,最高可达 28.6 °C 和 30.3 °C。12 月和 1 月是一年气温最低的月份,分别为 0.5 °C 和 2.5 °C,因此气温对这两年水质影响不大。

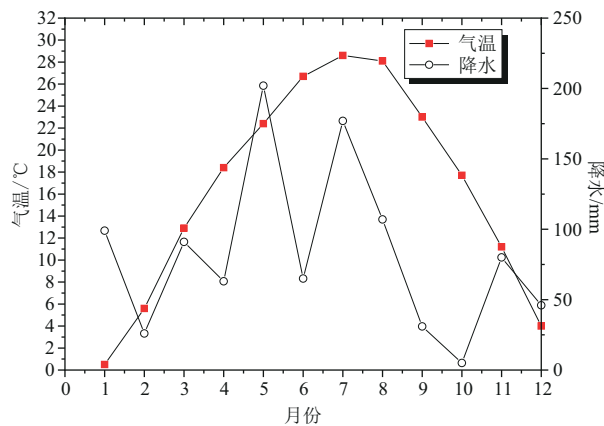


图 4 2018 年南湾水库气温和降水每月均值  
Fig. 4 Air temperature and precipitation average value of each month of Nanwan reservoir in 2018

降水年际变化较大,2019 年总降水量为 589 mm,是 2018 年的 992 mm 的 59%,即减少了 41%,可能会对水质造成某些程度的影响,比如 2019 年透明度和粪大肠杆菌群水质指标变差,就可能和降水量减少有关。叶绿素 a 最大值出现在 6 月和 9

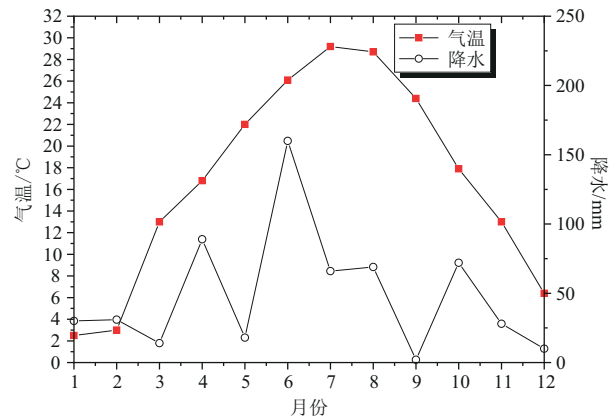


图 5 2019 年南湾水库气温和降水每月均值  
Fig. 5 Air temperature and precipitation average value of each month of Nanwan reservoir in 2019

月而不是 7 月和 8 月的原因,可能是 6 月和 9 月气温不是特别高,均值在 25 °C 左右,说明过高的气温并不适宜藻类的生长发育。另一方面,7 月和 8 月一般降水量较大,而 6 月和 9 月降水量明显减少,比如 2018 年 7 月和 8 月降水量总和为 284 mm,6 月和 9 月总和为 96 mm,是 7 月和 8 月总和的 34%。即 6 月和 9 月份降水量的减少,可能造成叶绿素 a 稀释不足,导致其浓度变大,水质变差。

## 4 结论

(1)提出了改进的单因子水质标识指数法,并对南湾水库水质进行评价,结果表明该方法能显示水质是否达功能区标准和优于功能区标准的具体数值。

(2)2018—2019 年绝大多数月份的绝大多数水质指标如重金属、离子表面活性剂、粪大肠杆菌群、石油类均符合 GB 3838—2002 的 III 类标准以上,只有 TN 总氮部分月份超标,在 2018 年 1、2、3、6 月在 1.5~2.0 之间,为 V 类水。5 月和 7 月在 1.0~1.5 之间,为 IV 类水。2018 年总氮浓度大多数月份已经超了 0.2 mg/L 的 2~10 倍,而 2019 年总氮浓度超 0.2 mg/L 的 1~4 倍,应引起重视。

(3)用综合营养状态指数法对南湾湖水质的营养化程度进行了评价,结果表明整体处于贫营养化阶段,和长江中下游湖泊相比营养化程度较轻。

(4)水质季节、年变化特征:2019 年比 2018 年稍微好转的指标有溶解氧 DO、BOD<sub>5</sub>、TN。年际变化不大的指标有:COD<sub>Mn</sub>、TP、阴离子表面活性剂、叶绿素 a、Cr<sup>6+</sup>。年际变差的指标有:透明度、粪

大肠杆菌群。季节变化特征为:溶解氧DO数值从冬季—春季—夏季—秋季呈降低的趋势。TN、TP夏季和秋季含量较高,冬季和春季较低。秋季粪大肠菌群含量较高。石油类在夏季的8月份较高。

(5)水质与气温、降水的关系:气温年际变化不大,因此对水质影响不大。降水量2019年较

2018年减少了41%,可能会对水质造成某些程度的影响,比如2019年透明度和粪大肠杆菌群水质指标变差,就可能和降水量减少有关。叶绿素a最大值出现在6月和9月而不是7月和8月的原因,可能是受气温和降水的双重影响。

#### 参考文献:

- [1] 王敏,黄滢. 中国的环境污染与经济增长[J]. 经济学(季刊),2015,14(2):557-578.  
WANG Min, HUANG Ying. Environmental pollution and economic growth in China [J]. Journal of economics (quarterly), 2015, 14 (2) : 557-578.
- [2] 陈阿江. 剧变:中国环境60年[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2012,14(4):34-42,94.  
CHEN AJiang. Dramatic change: 60 years of China's environment. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2012, 14(4):34-42,94.
- [3] 张晓. 中国水污染趋势与治理制度[J]. 中国软科学,2014, 2(10):11-24.  
ZHANG Xiao. Trend and treatment system of water pollution in China [J]. China Soft Science, 2014, 2(10):11-24.
- [4] 李国莲. 巢湖污染物赋存、来源及风险评价研究[D]. 中国科学技术大学,2012.  
LI Guolian. Study on occurrence, source and risk assessment of pollutants in Chaohu Lake [D]. University of Science and Technology of China, 2012.
- [5] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析[J]. 湖泊科学,2008,3(1):21-26.  
ZHU Guangwei. Status and causes of eutrophication in Taihu Lake [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 3(1):21-26.
- [6] 梁德华,蒋火华. 河流水质综合评价方法的统一和改进[J]. 中国环境监测,2002,5(2):63-66.  
LIANG Dehua, JIANG Huohua. The unity of the comprehensive evaluation method of river water quality and improve [J]. Journal of environmental monitoring in China, 2002, 5(2):63-66.
- [7] 徐祖信. 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版),2005,2(3):321-325.  
XU Zuxin. Study on evaluation method of single factor water quality index of rivers in China [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 2(3):321-325.
- [8] 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),2005,4(4):482-488.  
XU Zuxin. Study on evaluation method of river comprehensive water quality identification index [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 4(4):482-488.
- [9] 赵佳,余炎炎. 利用微核检测技术监测信阳市南湾湖水质污染[J]. 产业与科技论坛,2015,14(7):51-52.  
ZHAO Jia, YU Yanyan. Monitoring water pollution of Nanwan Lake in Xinyang city by micronuclei detection technology [J]. Industry & Science Forum, 2015, 14(7):51-52.
- [10] 文晔,王松妍,张欢. 高分数据连续多时相南湾湖藻类污染监测[J]. 测绘通报,2023,3(4):1-5,15.  
WEN Ye, WANG Songyan, ZHANG Huan. High score data continuous long south bay lake algae pollution monitoring [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2023, 3(4):1-5,15.
- [11] 靳军,王义民. 信阳南湾湖风景区旅游功能分区初探[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版),1999,12(4):422-425.  
JIN Jun, WANG Yimin. Preliminary study on Tourism function zoning of Nanwan Lake Scenic Spot in Xinyang [J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 1999, 12(4):422-425.
- [12] 彭近新,辰慧君. 水质富营养化与防治[M]. 北京: 中国环境出版社, 1988.  
PENG Jinxin, CHEN Huijun. Water eutrophication and its control [M]. Beijing: China Environment Press, 1988.

责任编辑:邱海洋 陈松楠