

宁夏太阳山湿地水质现状与富营养化评价

孙旭杨¹, 赵增锋¹, 尹娟¹, 邱小琮², 王世强¹, 欧阳虹¹, 郭琦¹

(1.宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2.宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: [目的] 探明宁夏太阳山湿地湖泊水质与富营养化现状, 为其生态修复与合理开发利用提供依据。[方法] 于 2019 年 4, 7, 10 月和 2020 年 1 月对水样进行采集, 检测水环境因子理化指标, 分析浮游植物密度、生物量、优势种以及 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)。[结果] 西湖夏、秋季为Ⅲ类水, 春季和冬季分别为Ⅴ类和Ⅳ类, 南湖夏、秋季为Ⅱ类水, 春、冬季分别为Ⅳ类和Ⅴ类, 小南湖和东湖最差, 全年均为Ⅴ类水。西湖和南湖浮游植物 H' 较高, 均匀度 J 变化幅度小, 水体污染较轻。而小南湖和东湖浮游植物 H' 变化较为明显, 水质状况较差。西湖夏季水体呈现轻度富营养, 其他季节为中营养状态。南湖情况较好, 全年水体均呈现中营养状态。小南湖在夏、秋季为中度富营养, 春、冬季为轻度富营养。东湖除夏季水体呈现中度富营养外, 其余季节均为轻度富营养状态。[结论] 太阳山湿地湖泊水质已受到污染, 富营养化程度随季节变化较为明显, 应密切监测其水质和富营养化趋势, 并及时采取相应治理措施。

关键词: 太阳山湿地; 水质评价; 浮游植物; 富营养化评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)02-0298-08

中图分类号: X524

文献参数: 孙旭杨, 赵增锋, 尹娟, 等. 宁夏太阳山湿地水质现状与富营养化评价[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 298-305. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.039; Sun Xuyang, Zhao Zengfeng, Yin Juan, et al. Evaluation on water quality and eutrophication of Taiyangshan Wetland in Ningxia Hui Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 298-305.

Evaluation on Water Quality and Eutrophication of Taiyangshan Wetland in Ningxia Hui Autonomous Region

Sun Xuyang¹, Zhao Zengfeng¹, Yin Juan¹, Qiu Xiacong², Wang Shiqiang¹, Ouyang Hong¹, Guo Qi¹

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia

750021, China; 2. School of Life Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: [Objective] The water quality and eutrophication status were studied in order to provide a basis for its ecological restoration and rational development and utilization in Taiyangshan Wetland of Ningxia area. [Methods] The water samples were collected in April, July, October, 2019, and January 2020, the physical and chemical indicators of water environment factors were tested, and the phytoplankton density, biomass, the dominant species, Shannon-Wiener diversity index (H') and Pielou uniformity index (J) of phytoplankton were analyzed in Taiyangshan Wetland. [Results] The water quality in summer and autumn of West Lake was class III, and that in spring and winter was class V and class IV respectively. The water quality in summer and autumn of Nanhu Lake was class II, and that in spring and winter was class IV and class V respectively. The water quality in Xiaonan Lake and East Lake was the worst and that was class V in the whole year. The phytoplankton diversity index (H') was high, the variation of evenness (J) was small, and the water pollution was light in West Lake and Nanhu Lake. The change of phytoplankton diversity index (H') was obvious, and the water quality was poor in Xiaonan Lake and East Lake. The water body of West Lake presented slight eutrophication in summer and moderate nutrition in other seasons. The water body was

收稿日期: 2020-09-26

修回日期: 2020-12-21

资助项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目“太阳山温泉国家湿地公园水质改善与生态修复关键技术研究及示范”(2019BFG02014)

第一作者: 孙旭杨(1997—), 男(汉族), 河南省许昌市人, 硕士研究生, 研究方向为水资源与水环境调控。Email: 1047924116@qq.com。

通讯作者: 尹娟(1970—), 女(汉族), 宁夏回族自治区同心县人, 博士, 教授, 主要从事农业水资源高效利用方面的科研及教学工作。Email: yj7115@126.com。

moderately nutritious in the whole year in Nanhu Lake. The water body of Xiaonan Lake was moderately eutrophication in summer and autumn, and slightly eutrophication in spring and winter. The water body of East Lake presented a moderate eutrophication in summer and a slight eutrophication in other seasons. [Conclusion] The water quality of the Taiyangshan Wetland lakes has been polluted, and the degree of eutrophication changes significantly with the seasons. The water quality and eutrophication status of the lake should be closely monitored, and corresponding treatment measures should be taken in time.

Keywords: Taiyangshan wetland; evaluation of water quality; phytoplankton; eutrophication evaluation

湖泊作为地表水资源的重要组成部分,是地区社会发展的重要自然资源^[1],除了具有调节河川径流、提供灌溉用水、旅游观光和沟通航运等方面的功能外,还在干旱地区脆弱的生态环境保护方面有不可替代的作用^[2]。近年来随着区域气候环境的变化,以及工农业和旅游行业等人为不合理开发活动的增加,使得湖泊的形态、数量发生了巨大变化^[3],水体水质逐年恶化、浮游植物的种类及多样性也逐年减少^[4],湖泊富营养化问题日益突出。湖泊富营养化是指在自然因素或人为活动影响下,氮、磷等营养盐含量在水中急剧增加,使生产力较低的贫营养湖泊转变成成为高生产力的富营养湖泊^[5]。湖泊富营养化会使得水生植物和藻类爆发式生长,水体颜色发生变化和水体透明度降低^[6-7],进而造成水质恶化以及破坏湖泊生态系统平衡能力^[8],因此分析并评价湖泊水体水质现状及富营养化程度,对湖泊水环境治理具有十分重要的意义。

太阳山温泉国家湿地公园位于吴忠市红寺堡太阳山开发区,东经 $106^{\circ}32'01''-106^{\circ}40'58''$,北纬 $37^{\circ}23'59''-37^{\circ}29'17''$ 。湿地公园总面积 $2\,447.50\text{ hm}^2$,湿地面积 $1\,492.7\text{ hm}^2$,水域面积 654.8 hm^2 ,其中湿地类型丰富,包含了河流湿地中的季节性河流,湖泊湿地中的永久性淡水湖、季节性咸水湖等诸多种类。太阳山温泉国家湿地公园是宁夏中部干旱带稀有和独特的湿地类型,处于宁夏多个重要生态功能区交汇处,对蓄洪抗旱、调节小气候、提供水鸟繁殖地和保护中部干旱带生物多样性等方面具有重要战略意义。但近年来,由于当地工业快速发展、水土流失严重、土地沙化日益加速,以及水资源的不合理开发利用,使得湖面水域减小、生物多样性降低、湿地水环境日趋恶化,现急需对湿地湖泊水质和富营养化现状进行评价并积极主动寻找保护对策。目前太阳山温泉国家湿地公园的水质与富营养化研究尚缺乏,且部分学者^[9-11]对水体富营养化评价时主要的考虑对象为叶绿素 a 和氮、磷营养盐含量等非生物指标,这对湖泊生态系统的富营养化评价是不全面的,应同时考虑非生物指标和藻类生物指标的角度对湖泊富营养化状

态进行评价。为此,本研究针对太阳山湿地 4 个主要湖泊,除将常规的非生物指标和藻类生物指标纳入评价范围外,还考虑当地湖泊水体高氟的特殊情况。采用灰色关联法和水质生物学法对水质进行分析,运用藻类生物学法和综合营养状态指数法评价水体富营养化状态,旨在为太阳山温泉国家湿地公园的水生态修复和水资源合理开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 样点布设与采样时间

依据研究目标,并结合太阳山湿地湖泊的地理位置、补给水源以及相似水文特征,使用 GPS 定位,布设西湖(S_1-S_3)、南湖(S_4-S_6)、小南湖(S_7-S_8)和东湖(S_9-S_{11})11 个采样点位。为了更好地描述太阳山湿地湖泊水质及营养化现状,采样时间为 2019 年 4, 7, 10 月和 2020 年 1 月以代表春、夏、秋、冬四季,具体采样点位置如图 1 所示。

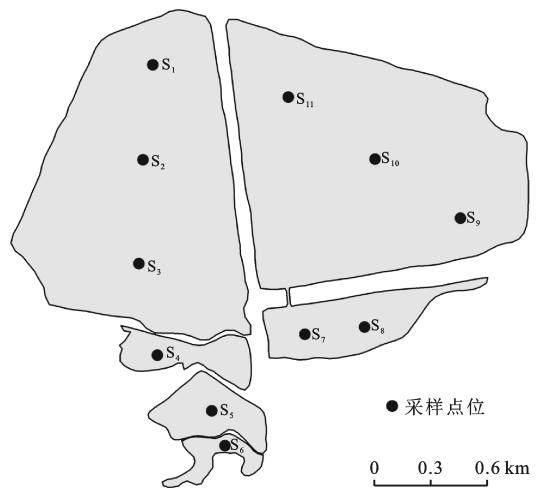


图 1 太阳山湖泊水样采集点分布图

1.2 样品的采集和测定

水样采集按照采样技术指导(HJ494-2009)、采样方案设计技术(HJ495-2009)以及水质样品的保存和管理技术(HJ493-2009)中的要求进行^[12-13]。其中水体透明度指标 SD 使用塞氏盘现场进行测量,采用 5.0 L 有机玻璃采水器采集水样并保存,带回实验室

当天测定高锰酸盐指数 COD_{Mn} (GB/T11892-92)、氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ (HJ535-2009)、氟化物 F (HJ487-2009)、总磷 TP (GB/T11893-89)、总氮 TN (HJ632-2012)、5 d 生化需氧量 BOD_5 (HJ505-2009) 和叶绿素 Chl. a (SL88-2012) 等指标。浮游植物样品采集及检测方法参照规定^[14]进行,浮游植物样品包括定性标本和定量标本,定性标本使用 25 号浮游生物网在设计样点处采集,并用鲁哥氏液现场固定。用 1 L 采水器采集定量标本,现场用鲁哥氏液固定,带回实验室后先经 24 h 沉淀浓缩至 200 ml,再经 24 h 浓缩至 50 ml,然后每 50 ml 加入 2 ml 甲醛保存。浮游植物的定性标本使用 400 倍显微镜进行观察鉴定,一般鉴定到种,至少鉴定到属,定量标本则采用视野法,计浮游植物个体数。

1.3 水质评价方法

1.3.1 灰色关联法 灰色关联法的基本思路是以《地表水环境质量标准 GB3838-2002》中规定的 5 类水质分级标准作为比较序列,以各采样点水环境因子实测值为参考序列^[15],从而得到两者的关联程度。具体的方法是,先对所选样点的试验数据和水质标准等级阈值进行归一化处理,然后选取各个样点的水环境因子指标值和相应水质的标准等级进行关联,并根据每一个指标的权重计算出各样点和 5 个水质标准等级的灰关联序^[16],最后依据最大隶属度的原则来判断每个点位所对应地表水水质标准等级。

1.3.2 水质生物学法 浮游植物群落中各种参数变化可以很好地反应水体环境的变化,通常被用作水体环境的生物评估指标^[17]。当水体环境变化时,浮游植物对其群落结构的适应性也会发生改变,因此可通过浮游植物的优势度指数(Y)、Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)来衡量水体环境质量的优劣,具体计算公式为:

$$Y = P_i \cdot f_i \quad (1)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (3)$$

式中: P_i 为第 i 个属细胞密度 n_i 占总细胞密度 N 的比例, f_i 为第 i 个属出现的频率, $Y \geq 0.02$ 为优势种, S 为浮游植物总属数。参考宋勇军^[18]对湖泊水质生物学的研究,多样性指数(H')和均匀度指数(J)的水质生物学评价标准详见表 1。

1.4 富营养化评价方法

1.4.1 藻类生物学法 目前水体富营养化的生物评价法常选取浮游植物细胞密度、优势种和多样性指数

指标^[19],不同营养状态的水体中存在不同的生物物种,尤其是浮游植物细胞密度、多样性指数(H')以及均匀度指数(J)与水体营养状态存在某种对应关系,因此可以通过浮游植物群落特征作为评价富营养状态的依据^[20],水体营养状态多样性指数评级标准^[21]详见表 2。

表 1 浮游植物水质生物学评价标准

| 评价标准 | Shannon-Wiener 多样性指数 | Pielou 均匀度指数 |
|------|-------------------------|-----------------|
| 重度污染 | 0~1 | 0~0.3 |
| 中度污染 | 1~2 | 0.3~0.5 |
| 轻度污染 | 2~3 | 0.5~0.8 |
| 微污染 | >3 | >0.8 |

表 2 水体营养状态评价的多样性指数及标准

| 营养状态 | 细胞密度/ ($10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$) | 多样性指数 (H') | 均匀度指数 (J) |
|------|---|-------------------|------------------|
| 极贫营养 | 50< | >3 | >0.5 |
| 贫营养 | 50~100 | | |
| 贫中营养 | 100~900 | | |
| 中营养 | 900~4 000 | 2~3 | 0.3~0.5 |
| 中富营养 | 4 000~8 000 | 1~2 | 0.2~0.3 |
| 富营养 | 8 000~10 000 | 0~1 | 0~0.2 |
| 极富营养 | >10 000 | | |

1.4.2 综合营养状态指数法 综合营养状态指数法指标简单、反馈灵敏,且考虑了相关权重的差异,故采用综合营养状态指数法评价太阳山湿地湖泊的营养状态。选取了 Chl.a, TP, TN, SD 和 COD_{Mn} 作为评价因子,参照金相灿等^[22]提出的评价方法,具体计算公式为:

$$\text{TLI}(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \text{TLI}(j) \quad (4)$$

式中:TLI(Σ)是综合营养状态指数; W_j 是第 j 种参数营养状态指数的相关权重;TLI(j)为代表第 j 种参数的营养状态指数; m 为评价指标的个数,以 Chl.a 为基准参数,各指标营养状态指数计算公式为:

$$\text{TLI}(\text{Chl.a}) = 10(2.5 + 1.086 \ln c_{\text{Chl.a}}) \quad (5)$$

$$\text{TLI}(\text{TP}) = 10(9.436 + 1.624 \ln c_{\text{TP}}) \quad (6)$$

$$\text{TLI}(\text{TN}) = 10(5.453 + 1.694 \ln c_{\text{TN}}) \quad (7)$$

$$\text{TLI}(\text{SD}) = 10(5.118 - 1.94 \ln c_{\text{SD}}) \quad (8)$$

$$\text{TLI}(\text{COD}_{\text{Mn}}) = 10(0.109 + 2.661 \ln c_{\text{COD}_{\text{Mn}}}) \quad (9)$$

式中:除 Chl.a 单位为 mg/m^3 ,SD 单位为 m 外,其他指标单位均为 mg/L 。

将湖泊的营养状态等级^[23]按 0~100 的一系列连续数字进行划分,综合营养指数越大则表明水体的富营养化状态越高。水体营养状态指数小于 30 为贫

营养,30~50 为中营养,50~60 为轻度富营养,60~70 为中度富营养,大于 70 为重度富营养。

2 结果与分析

2.1 灰色关联法评价

在进行关联度计算时,结合太阳山湿地水体高氟情况,选取 $\text{NH}_3\text{-N}$, TN , TP , COD_{Mn} , BOD_5 和 F 作为评价因子。将湖泊季度平均值做归一化处理,分辨

系数选为 0.1 后,根据最大关联度得出太阳山湿地湖泊的水质级别详见表 3。结果显示,西湖在夏、秋季水体最好,为Ⅲ类水标准,春季和冬季较差,分别为Ⅴ类和Ⅳ类,呈现出明显的季节性变化特点,这种特点同样也出现在南湖水体中。南湖在夏、秋季水体水质要稍好于西湖,可达到Ⅱ类水,在春、冬季水质为Ⅳ类和Ⅴ类,小南湖和东湖水质最差,全年均为Ⅴ类水。

表 3 灰色关联法评价结果

| 湖区 | 季节 | 水质级别 | | | | | 水质级别 |
|-----|----|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | | I | II | III | IV | V | |
| 西湖 | 春季 | 0.406 5 | 0.524 6 | 0.576 8 | 0.703 8 | 0.812 7 | V |
| | 夏季 | 0.486 3 | 0.655 9 | 0.754 2 | 0.664 2 | 0.596 7 | III |
| | 秋季 | 0.515 7 | 0.681 4 | 0.729 9 | 0.631 0 | 0.577 1 | III |
| | 冬季 | 0.441 4 | 0.576 5 | 0.664 2 | 0.720 7 | 0.697 8 | IV |
| 南湖 | 春季 | 0.443 5 | 0.576 1 | 0.634 0 | 0.789 8 | 0.678 4 | IV |
| | 夏季 | 0.552 8 | 0.740 1 | 0.726 1 | 0.581 9 | 0.549 2 | II |
| | 秋季 | 0.602 6 | 0.732 3 | 0.682 1 | 0.556 0 | 0.532 9 | II |
| | 冬季 | 0.442 2 | 0.585 0 | 0.646 9 | 0.697 3 | 0.713 7 | V |
| 小南湖 | 春季 | 0.378 9 | 0.470 8 | 0.625 7 | 0.723 3 | 0.829 6 | V |
| | 夏季 | 0.406 1 | 0.517 5 | 0.626 2 | 0.733 2 | 0.762 4 | V |
| | 秋季 | 0.443 5 | 0.587 5 | 0.661 1 | 0.695 5 | 0.717 9 | V |
| | 冬季 | 0.357 2 | 0.436 9 | 0.565 2 | 0.688 4 | 0.911 8 | V |
| 东湖 | 春季 | 0.368 1 | 0.452 9 | 0.590 1 | 0.757 0 | 0.846 8 | V |
| | 夏季 | 0.381 0 | 0.480 1 | 0.559 9 | 0.647 6 | 0.888 9 | V |
| | 秋季 | 0.367 5 | 0.454 8 | 0.596 9 | 0.665 3 | 0.899 2 | V |
| | 冬季 | 0.361 0 | 0.443 5 | 0.578 6 | 0.678 2 | 0.906 4 | V |

2.2 水质生物学评价

太阳山湿地 2019 年各湖泊水体的浮游植物生物量、Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)如图 2 所示。其中西湖的多样性指数(H')在夏季达到最大为 3.99,秋季其次为 3.43,均匀度指数(J)变化幅度较小。南湖同样夏季多样性指数(H')最高为 3.899,均匀度指数(J)变幅为 0.04~0.08,此时水体达到全年最优状态。小南湖和东湖情况略差,多样性指数(H')变化分别处于 2.35~3.56 和 1.71~3.10,春、冬季接近中度污染状态。

从整体来看,2019 年太阳山湿地湖泊的浮游植物指数时空变化较为明显,浮游植物生物量年平均生物量西湖最高,为 24.15 mg/L,南湖最低,为 15.13 mg/L。各样点中,生物量最低出现在冬季的东湖,为 4.10 mg/L,最高点出现在夏季的西湖,为 33.06 mg/L。其中多样性指数(H')处于 1.718~3.990,均匀度指数(J)均在 0.8 及以上,说明太阳山湿地湖泊浮游植物多样性丰富,且均匀度较好。在夏季各湖泊的生物

量、Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)均达到各自峰值,此时浮游植物种类数最为丰富,这是因为此时湖泊水体温度较高,加上营养成分充足,各种藻类大量繁殖造成的,而春、冬季浮游植物以硅藻占绝对优势,种类数下降的同时,多样性指数也随之下降。

2.3 藻类生物学法评价

太阳山湿地各湖泊 2019 年浮游植物细胞密度如图 3 所示。其中西湖年浮游植物细胞密度平均值为 1.25×10^7 cells/L,其中春、夏和秋季密度分别为 1.52×10^7 cells/L, 2.14×10^7 cells/L 和 1.16×10^7 cells/L,水体呈中营养,冬季密度较小为 1.66×10^6 cells/L,处于贫中营养状态。南湖年浮游植物细胞密度平均值为 6.77×10^6 cells/L,其中夏季富营养程度最大,细胞密度为 1.48×10^7 cells/L,为中营养状态,春、秋和冬季密度分别为 4.83×10^6 cells/L, 6.16×10^6 cells/L 和 1.29×10^6 cells/L,均呈贫中营养状态。小南湖年浮游植物细胞密度平均值为 7.32×10^6 cells/L,同样夏季

达到中营养状态,植物细胞密度为 1.69×10^7 cells/L,而在其他季节依次为 4.58×10^6 cells/L, 6.42×10^6 cells/L 和 1.38×10^6 cells/L,水体处于贫中营养。东湖年浮游植物细胞密度平均值为 1.00×10^7 cells/L,同

样在夏季密度最大,为 2.52×10^7 cells/L,处于中营养,在春、秋和冬季密度分别为 6.24×10^6 cells/L, 7.78×10^6 cells/L 和 8.83×10^5 cells/L,呈现贫中营养状态。

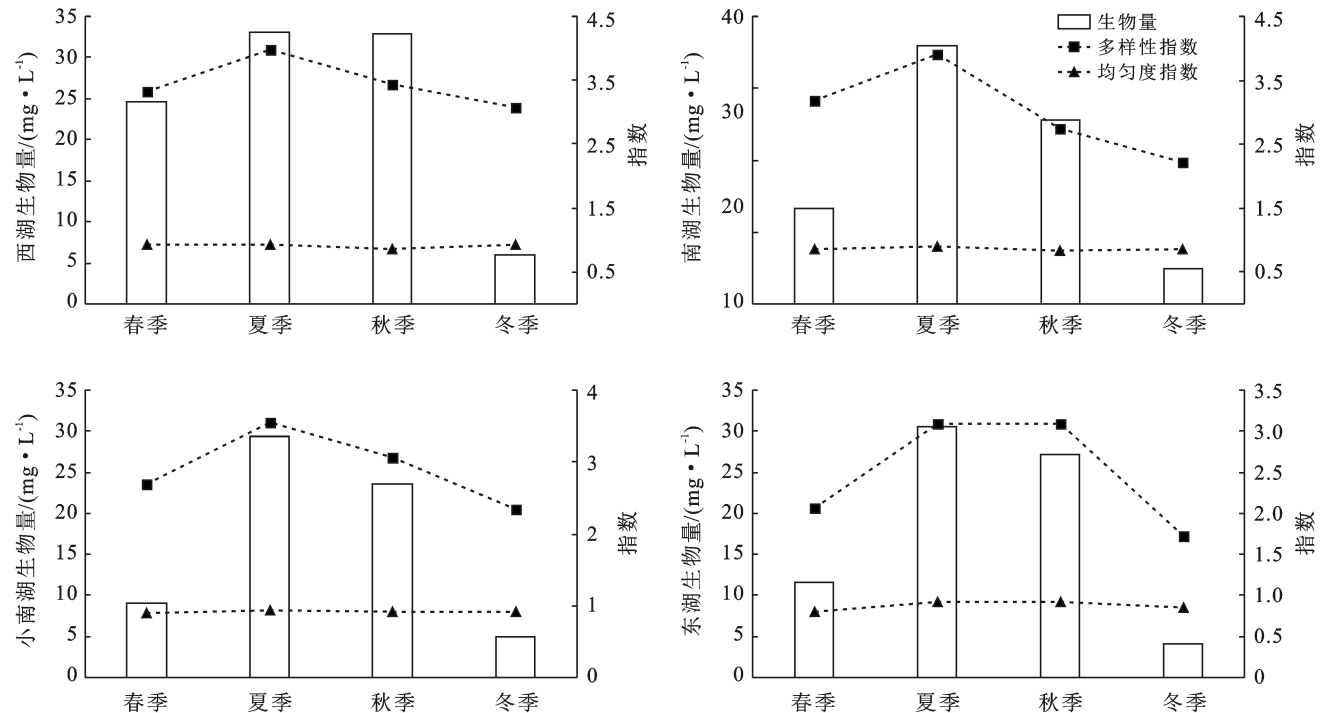


图 2 太阳山各湖泊浮游植物生物量、多样性指数和均匀度指数

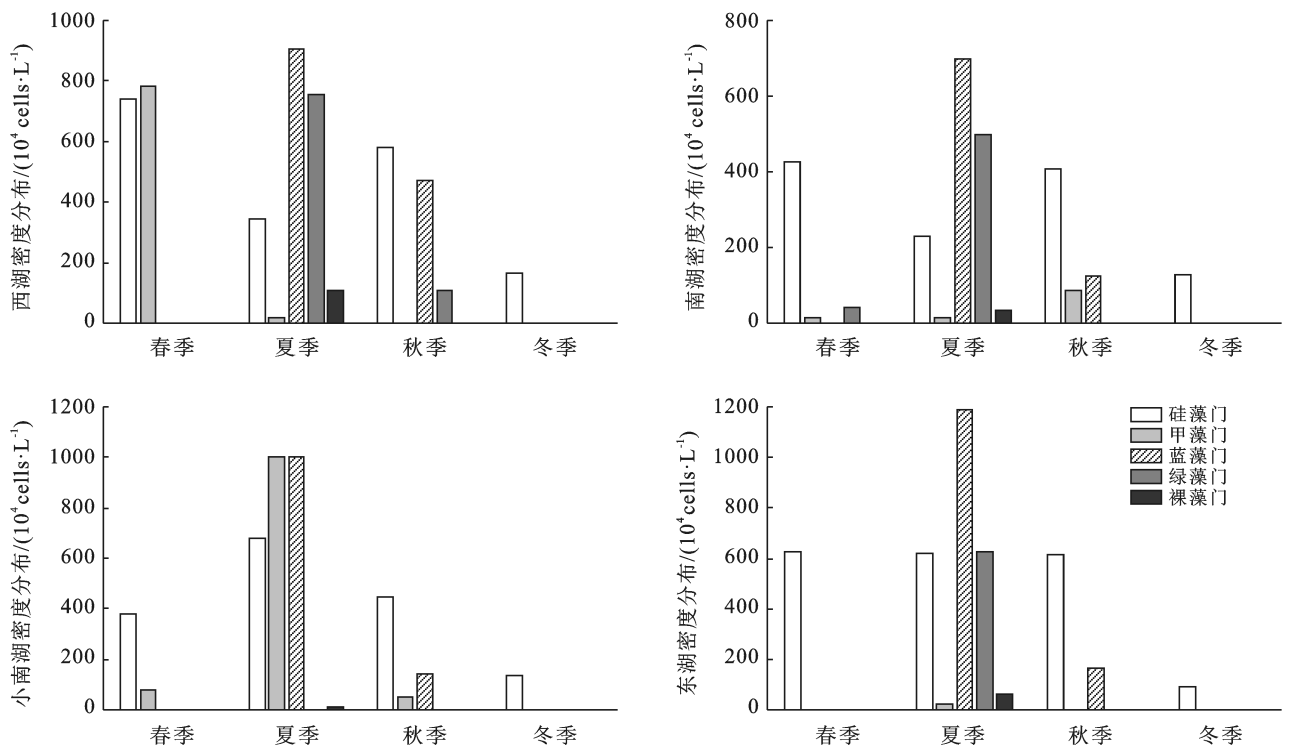


图 3 太阳山各湖泊浮游植物细胞密度分布

在浮游植物优势种指示湖泊营养状况^[24]中,贫营养型湖泊一般以黄藻和金藻类为主,中营养型湖泊

以隐藻、硅藻和甲藻为主,而富营养型湖泊优势种大多为蓝、绿藻。其中太阳山湿地湖泊春季优势种共

14 种,分别属于硅藻门、甲藻门和绿藻门,夏季优势种有 15 种分别属硅藻门、绿藻门和蓝藻门,秋季优势种共有 13 种属于硅藻门、甲藻门、蓝藻门和绿藻门,冬季优势种为 8 种,均属硅藻门。由此也可看出,太阳山湿地湖泊在夏、秋季已到达富营养程度,春、冬季多为中营养状态。

2.4 综合营养状态指数法评价

按照湖泊营养状态评价标准,对太阳山湿地湖泊进行综合营养指数等级评价,评价结果详见表 4。

由表 4 可以看出,2019 年太阳山湿地湖泊富营养化具有较明显的季节变化,普遍呈现夏季营养化程度高,春、冬季营养化程度低的趋势。其中西湖夏季最高,水体呈现轻度富营养,春、秋和冬季为中营养状态;南湖情况较好,全年水体均呈现中营养。而小南湖情况较差,在夏、秋季为中度富营养,春、冬季则为轻度富营养。东湖与小南湖相差不大,除夏季水体呈现中度富营养外,其余季节均为轻度富营养状态。

表 4 综合富营养状态评价结果

| 湖区 | 季节 | TLI(Chl.a) | TLI(TP) | TLI(TN) | TLI(SD) | TLI(COD _{Mn}) | TLI | 营养水平 |
|-----|----|------------|---------|---------|---------|-------------------------|-------|-------|
| 西湖 | 春季 | 52.51 | 38.16 | 66.16 | 47.64 | 36.00 | 48.33 | 中营养 |
| | 夏季 | 58.72 | 34.23 | 57.43 | 58.10 | 38.50 | 50.06 | 轻度富营养 |
| | 秋季 | 54.90 | 44.86 | 49.00 | 52.80 | 42.63 | 49.32 | 中营养 |
| | 冬季 | 46.28 | 30.25 | 48.67 | 42.68 | 35.74 | 41.10 | 中营养 |
| 南湖 | 春季 | 60.35 | 27.58 | 62.53 | 55.51 | 26.43 | 47.47 | 中营养 |
| | 夏季 | 60.68 | 31.29 | 54.71 | 61.09 | 17.63 | 46.27 | 中营养 |
| | 秋季 | 54.97 | 38.46 | 42.20 | 59.54 | 25.26 | 44.97 | 中营养 |
| | 冬季 | 46.60 | 29.42 | 67.51 | 50.23 | 14.84 | 41.96 | 中营养 |
| 小南湖 | 春季 | 62.10 | 36.22 | 79.58 | 61.33 | 39.16 | 56.02 | 轻度富营养 |
| | 夏季 | 65.91 | 48.52 | 89.03 | 73.29 | 32.24 | 61.96 | 中度富营养 |
| | 秋季 | 60.28 | 51.01 | 82.77 | 71.55 | 35.95 | 60.17 | 中度富营养 |
| | 冬季 | 54.76 | 36.86 | 94.84 | 49.33 | 37.71 | 54.45 | 轻度富营养 |
| 东湖 | 春季 | 56.21 | 55.95 | 77.84 | 43.31 | 62.54 | 58.83 | 轻度富营养 |
| | 夏季 | 58.98 | 50.71 | 79.64 | 54.11 | 64.91 | 61.32 | 中度富营养 |
| | 秋季 | 50.51 | 44.93 | 67.93 | 49.33 | 67.53 | 55.48 | 轻度富营养 |
| | 冬季 | 49.00 | 36.80 | 70.64 | 42.06 | 62.40 | 51.76 | 轻度富营养 |

3 讨论与结论

3.1 水质特征分析

应用水环境理化因子灰色关联法和浮游植物水质生物学法,对太阳山湿地湖泊的水质进行评价,其结果差异不大,具有较好的一致性。其中西湖夏、秋季为Ⅲ类水标准,南湖为Ⅱ类水标准,此时水体浮游植物的生物量、多样性指数(H')和均匀度指数(J)也达到各自峰值,其次为秋季,均呈微污染状态。而春、冬季浮游植物种类数下降,多样性指数(H')随之下降,此时水质较差,接近中度污染状态。这些表明,水体中浮游植物多样性指数(H')和均匀度指数(J)能较好反映水质情况^[25],如果水体中浮游植物种类多且分布均匀性越高,则相对应的水环境污染也就越小。

水环境评价结果还显示,太阳山湿地湖泊水质具有明显的季节性特点,即夏、秋季节水环境质量要优

于其他季节。这是由于外部降雨多集中于夏、秋季,湖内污染因子被稀释,而在春、冬季时,由于入湖水量减少,使得湖内污染物浓度较高,水环境质量也就较差。西湖和南湖的季节性变化较为明显,夏、秋季受外部降水和周围地下水补给量大,水质较好,而春、冬相反,水体内氮类营养盐 TN 含量过高,多为Ⅳ类和Ⅴ类水。小南湖与东湖情况较为复杂,季节特点变化不明显,全年均为Ⅴ类水,这是因为湖水主要补给水源为苦水河上游来水,湖内 COD_{Mn}, F 和 NH₃-N 造成的水环境污染较为严重。这一方面与当地水文地质条件有关系,经监测小南湖和东湖中水环境指标 F 超Ⅴ类水标准 2.2~4.2 倍,这是流域内含氟岩石等通过淋溶和解吸后^[26],在水体中蒸发、浓缩与累积等富集而成。另一方面由于湿地公园处于太阳山开发区内,受周围工业排放与城镇面源污染影响,湖内水体有机物 COD_{Mn} 和氨氮营养盐 NH₃-N 含量过高,因此而造成全年均为Ⅴ类水标准。

3.2 富营养化特征分析

在太阳山湿地湖泊富营养状态评价中,浮游植物生物学评价结果与水环境理化因子评价结果有所差异,这种差异的存在不仅是因为湖泊生态环境本身具有复杂性和影响因素多样性,还因为从不同角度去评价水体富营养程度均有其局限性,因此应综合考虑两种结果才能更为全面地评价太阳山湿地湖泊富营养化状态。综合以上两种方法分析,西湖和南湖情况较好,多呈中营养状态,小南湖和东湖较差,分别已达到中度富营养和轻度富营养水平。

小南湖和东湖的富营养化程度较大,一方面小南湖作为苦水河过水河道,是东湖的常年补给水源。在苦水河沿流域调查^[27]中表明,其水体中营养元素过多,这主要与当地农田灌溉方式以及农业化肥的不当使用有关,农田灌溉退水中含有大量的氮、磷等营养盐流入湖内,使得小南湖和东湖营养化程度较高。另一方面,也有学者^[28]研究表明浅水水体更易发生富营养化,小南湖和东湖常年水位在 1.2~1.6 m,属于浅水型湖泊,在夏、秋季受温度、pH 值和风浪等因素影响,导致湖底沉积物中大量的营养盐悬浮和释放而造成水体营养化较为严重。湿地南湖附近有多处泉眼,受地下水补给较多,由于地下水量补给充足,氮、磷等营养元素被稀释,使得南湖水体营养化程度相对较低,全年均呈中营养状态。但南湖水域面积较小为 41.6 hm²,环境容量有限,应密切监测其水体状况变化趋势。西湖西南区域村庄聚集,人为影响较为明显外加湖内水生植物种类丰富,鸟类和两栖类动物多且活动频繁,致使夏季有机物污染较严重,水体呈现轻度富营养,春、秋和冬季活动较弱为中营养状态。

3.3 结论

(1) 太阳山温泉国家湿地公园水质已受到不同程度的污染,在夏、秋季到达富营养程度,春、冬季多为中营养状态,均呈现明显的季节性特点。西湖和南湖水质较好,富营养化程度多为中营养状态,而小南湖和东湖水质最差,且水体分别达到中度富营养和轻度富营养水平。

(2) 浮游植物群落特征与水质的关联性较强,水质较好的区域(如西湖和南湖)的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')较高和 Pielou 均匀度指数(J)变化小,在水质较差区域(如小南湖和东湖)的多样性指数(H')和均匀度(J)则相反。

(3) 由于湖泊水质和富营养化状态受水环境系统多种因素影响,使用多种方法对其进行分析和评价,会因指标或角度的不同而产生差异。故在进行水质和富营养化评价时,除考虑常规的非生物指标外,

还应考虑生物指标和评价对象实际特点,才能得到准确的结果。

综合以上分析,参考国内其他地区研究,建议采取如下措施:首先应严格限制流入湖区地表水体氮、磷等污染物含量;合理地进行相关旅游开发,并考虑采用其他的补水来源,实现多渠道补水;考虑使用相关的工程技术和措施,如生物处理、生态修复和定期监测相结合的办法,以免湿地水质和富营养化状况进一步恶化。

[参 考 文 献]

- [1] 马荣华,杨桂山,段洪涛,等.中国湖泊的数量、面积与空间分布[J].中国科学:地球科学,2011,41(3):394-401.
- [2] 姜加虎,窦鸿身,黄群.湖泊资源特征及与其功能的关系分析[J].自然资源学报,2004,19(3):386-391.
- [3] Yu Tao, Zhang Yuan, Wu Fengchang, et al. Six-decade change in water chemistry of large freshwater Lake Taihu, China [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 47(16): 9093-9101.
- [4] 杨桂山,马荣华,张路,等.中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J].湖泊科学,2010,22(6):799-810.
- [5] Correll D L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters; A review [J]. Journal of environmental quality, 1998, 27(2): 261-266.
- [6] 何德进,邢友华,姜瑞雪,等.东平湖水体中氮磷的分布特征及其富营养化评价[J].环境科学与技术,2010,33(8):45-48,61.
- [7] 李佐琛.藻源型湖泛过程水体光学特性及水色变化研究[D].陕西 西安:西北大学,2015.
- [8] 李娜,黎佳茜,李国文,等.中国典型湖泊富营养化现状与区域性差异分析[J].水生生物学报,2018,42(4):854-864.
- [9] 施玉齐,吴晓东,葛绪广,等.城市湖泊富营养化及氮磷平衡研究:以湖北省黄石市青山湖 1[#] 湖区为例[J].水土保持通报,2020,40(3):208-215.
- [10] 伍冠星,李斌,白维东,等.星海湖水环境因子时空异质性及水环境质量综合评价[J].节水灌溉,2017(03):48-52.
- [11] 赵梦,焦树林,梁虹.基于综合营养状态指数的喀斯特高原湖泊富营养化研究[J].水文,2020,40(3):9-15.
- [12] 杨永宇.黑河流域水环境因子分析及水环境质量综合评价[D].宁夏 银川:宁夏大学,2017.
- [13] 李斌,白维东,杨永宇,等.阅海湖水环境因子时空分布特征及水环境综合评价[J].宁夏农林科技,2016,57(8):40-42,63.
- [14] 章宗涉,黄祥习.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991.
- [15] 鲍广强,尹亮,余金龙,等.基于综合营养状态指数和 BP 神经网络的黑河富营养化评价[J].水土保持通报,

- 2018,38(1):264-269.
- [16] 杨永宇,尹亮,刘畅,等.基于灰关联和 BP 神经网络法评价黑河流域水质[J].人民黄河,2017,39(6):58-62.
- [17] 王俊莉,刘冬燕,古滨河,等.基于浮游植物群落的安徽太平湖水环境生态评价[J].湖泊科学,2014,26(6):939-947.
- [18] 宋勇军,戚菁,刘立恒,等.程海湖夏季浮游植物群落结构与富营养化状况研究[J].环境科学学报,2019,39(12):4106-4113.
- [19] 陆建芳.山仔水库浮游植物群落特征及水体富营养化研究[J].海峡科学,2017(7):66-69.
- [20] 聂瑜.于桥水库浮游植物群落特征及富营养化现状研究[D].天津:天津科技大学,2016.
- [21] 钱磊,颜志娇,朱江,等.污水处理厂出水受纳水体浮游植物群落结构及水质评价[J].环境科学学报,2020,40(09):3287-3297.
- [22] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].2 版.北京:中国环境科学出版社,1990.
- [23] 李延林,郑灿,邱小琮,等.宁夏腾格里湖水质及富营养化现状分析与评价[J].科学技术与工程,2019,19(15):309-315.
- [24] Zhao Changsen, Shao N F, Yang S T, et al. Quantitative assessment of the effects of human activities on phytoplankton communities in lakes and reservoirs [J]. Science of the Total Environment, 2019, 665: 213-225.
- [25] 郭坤.长湖浮游植物生态特征分析及水质评价[D].湖北荆州:长江大学,2017.
- [26] 何锦,张福存,韩双宝,等.中国北方高氟地下水分布特征和成因分析[J].中国地质,2010,37(3):621-626.
- [27] 李小妹,严平,郭金蕊,等.宁夏东南部清水河、苦水河流域苦咸水水质综合评价[J].干旱区资源与环境,2014,28(2):136-142.
- [28] 秦伯强,高光,朱广伟,等.湖泊富营养化及其生态系统响应[J].科学通报,2013,58(10):855-864.
- ~~~~~
- (上接第 221 页)
- [22] 杨海燕,孙晓博,程小文,等.基于 VIKOR 法的潍坊市水资源承载力综合评价[J].环境科学学报,2020,40(2):716-723.
- [23] 吴希.三种权重赋权法的比较分析[J].中国集体经济,2016(34):73-74.
- [24] Mohamed Abdel-Basset, Rehab Mohamed. A novel plithogenic TOPSIS-CRITIC model for sustainable supply chain risk management [J]. Journal of Cleaner Production, 2020,247:119586.
- [25] 朱子云,朱益超.基于精准和解构的标志变异程度算法研究[J].数量经济技术经济研究,2012,29(6):102-114.
- [26] 李宁馨.基于改进的 CRITIC 和灰色关联模型的区域创新能力评价研究[D].安徽 合肥:合肥工业大学,2016.
- [27] Feng Jingchun, Huang Huaai, Yin Yao, et al. Comprehensive security risk factor identification for small reservoirs with heterogeneous data based on grey relational analysis model [J]. Water Science and Engineering, 2019,12(4):330-338.
- [28] 刘君,赵立进,黄良,等.基于 TOPSIS 和灰色关联分析的变压器状态评价方法[J].电力科学与技术学报,2019,34(4):63-68.
- [29] Wang Yang, Feng Yining, Zuo Jian, et al. From "Traditional" to "Low carbon" urban land use: Evaluation and obstacle analysis [J]. Sustainable Cities and Society, 2019,51:101722.
- [30] 陈彦,陈英,谢保鹏,等.嘉峪关市土地利用绩效评价及障碍因子诊断[J].水土保持研究,2018,25(5):226-233.
- [31] 王燕,王增凯,蔡国文.烟台市水资源现状及保障对策探析[J].地下水,2017,39(4):151-152.