

新疆寒旱区某典型水库 水质营养状态相关因素 研究

刘晓茹¹, 吴文强¹, 阿布都沙拉木·托尔逊², 李 昆¹, 马立平², 李 争¹

¹中国水利水电科学研究院, 北京

²新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年1月14日; 录用日期: 2022年2月16日; 发布日期: 2022年2月23日

摘 要

新疆北部典型水库为工农业及重要城市供水, 为研究水库水质营养化状态, 保障供水安全, 于2020~2021年分四个季度监测水质指标: 溶解氧、不同形态氮素、总磷、高锰酸盐指数和总有机碳。分析了各项指标的时空分布特征及主要影响因素, 按地表水环境质量标准进行单指标评价。底层水的溶解氧在8月未达标, 总氮在停水期超标, 无机氮均未超标。总磷在11月超标。总磷、高锰酸盐指数和总有机碳在水库进水口较出水口高, 夏季水中植物吸收氮磷、从水库捕捞鱼类、消化及反硝化作用等多种因素, 使得水库有一定的自净作用。评价了水库水质的营养状态为中营养, 分析水库营养化的内源污染影响因素为水库淹没的植被、鱼残体及排泄物的腐败分解, 并提出治理建议, 本研究为保障水库水环境安全提供科学依据。

关键词

寒旱区, 水库, 氮素, 营养状态, 评价

Study on Related Factors of Water Quality and Nutritional Status of a Typical Reservoir in Cold and Arid Region of Xinjiang

Xiaoru Liu¹, Wenqiang Wu¹, Abudushalamu Tuoerxun², Kun Li¹, Liping Ma², Zheng Li¹

¹China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing

²Xinjiang Ertix River Basin Development Engineering Construction Administration, Urumqi Xinjiang

文章引用: 刘晓茹, 吴文强, 阿布都沙拉木·托尔逊, 李昆, 马立平, 李争. 新疆寒旱区某典型水库水质营养状态相关因素研究[J]. 环境保护前沿, 2022, 12(1): 123-132. DOI: 10.12677/aep.2022.121016

Abstract

Typical reservoirs in Northern Xinjiang supply water for industry, agriculture and important cities. To study the eutrophication state of reservoir water quality to ensure the safety of water supply, water quality indicators: dissolved oxygen, different forms of nitrogen, total phosphorus, permanganate index and total organic carbon will be monitored in four quarters from 2020 to 2021. The temporal and spatial distribution characteristics and main influencing factors of each index are analyzed, and the single index evaluation is carried out according to the surface water environmental quality standard. The dissolved oxygen in the bottom water did not meet the standard in August, the total nitrogen exceeded the standard during the water cut-off period, and the inorganic nitrogen did not exceed the standard. Total phosphorus exceeded the standard in November. Total phosphorus, permanganate index and total organic carbon are higher at the water inlet than at the water outlet of the reservoir. In summer, plants absorb nitrogen and phosphorus, catch fish from the reservoir, digestion and denitrification and other factors make the reservoir have a certain self purification effect. It is evaluated that the nutritional state of the reservoir water quality is mesotrophic, the influencing factors of the internal pollution of the reservoir eutrophication are the corruption and decomposition of the submerged vegetation, fish residues and excreta of the reservoir, and the treatment suggestions are put forward. This study provides a scientific basis for ensuring the safety of the reservoir water environment.

Keywords

Cold and Arid Area, Reservoir, Nitrogen, Nutritional Status, Evaluate

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

富营养化是指湖泊、水库、河口、海湾等缓流水体，在自然条件及人类社会活动等因素影响下，营养盐等物质进入水体，水中氮、磷等营养物质的浓度超过一定的界限，在适宜的光照和水温条件下，引起藻类以及其他水生物异常繁殖，水体的透明度和溶解氧大大降低，使水体由贫营养状态逐步向营养状态及富营养状态发展，导致水质恶化的现象[1]。富营养化是我国大部分水库面临的主要水环境安全问题，开展水库营养状态研究十分必要[2]。

水库营养状态分为贫营养、中营养和富营养型，贫营养水库是库中营养物质浓度低、生物区系贫乏的水库；中营养水库介于贫营养库和富营养库之间的水库类型；富营养库是指水库中营养物质浓度高、浮游生物种类少但生物量高的水库。

本文研究区域是饮用水地表水源一级保护区，不但为周边工农业供水，还承担着重要城市供水。目前水库只开展了常规的水质监测，关于水质状况的评价研究较欠缺，水库的水环境安全状况存在潜在风险。为进一步了解水库水质现状及水库的内源影响，保障本水库的供水安全，开展水库水环境研究，评价水库的营养状况势在必行。

2. 研究方法

2.1. 水质状况分析方法

于2020年11月、2021年4月、8月和10月分四个季度开展了该水库水环境质量状况分析研究,在库区出入口、中心区、近坝区等处布设了采样点,在水面下0.5米、水库底部0.5米处以上分层采集水样开展监测,本文主要分析与水环境营养状况相关的水质指标,包括溶解氧、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、总氮、总磷、高锰酸盐指数和总有机碳,并按地表水环境质量标准评价。

2.2. 水库营养状态评价方法

本文研究水质营养状态相关指标分布特征,按照《地表水资源质量评价技术规程》SL395-2007开展水库营养状态评价,评价指标包括叶绿素a、总磷、总氮、透明度和高锰酸盐指数。国内外湖泊、水库营养状态评价,一般针对表层0.5m水深测点的营养状态指标值进行评价。根据湖库营养状态发布的周期,湖泊、水库营养状态评价一般可按照旬、月、水期、季度、年度评价,以季度和年度评价为主[3][4][5][6][7]。本文对新疆寒旱地区的典型水库营养状态按季度进行评价。

2.3. 水库概况

该水库位于新疆北部高寒干旱区域,是四面筑坝而成的尾部调节平原水库,地势分布为南高北低、东高西低,坝轴线全长17.7km,最大坝高28m,坝顶高程503m,水库总库容2.81亿 m^3 ,水面面积为24 km^2 ,工程规模属大(2)型II等工程。水库每年蓄水自5月起,至9月结束,以满足12个月向工业和城市生活供水。水库达到平均水位490.62m时,库容为0.91亿 m^3 ,达到较高水位492.73m时,相应库容为1.24亿 m^3 ,水库自2014年至今,每年供水量持续增加,水库负荷逐年增大[8]。

水库周边建有工业园区及近百家大小企业,企业的生产规模、数量不断增大,其中有多家属于“三高”企业,不仅库区空气质量有明显下降,工业生产对水库水环境质量存在潜在影响;春季水库上游来水,有部分植物被淹没,并有大量鱼苗进入水库,随着夏季到来水温升高,鱼苗迅速生长繁殖,水库鱼类增多,淹没的植物及鱼类排泄物的腐败分解对水库营养状态有较大影响;冬季上游停水,水位较低,水库鲢鳙类鱼库存量,密度较高,造成鱼类死亡。上述诸多因素导致水库营养状态加重。

3. 水库水质状况分析结果与讨论

3.1. 溶解氧

在2020年11月、2021年4月、8月和10月的四次采样监测中,分别测定了库区各采样点水体表层和底层溶解氧,统计数据见表1。

Table 1. Statistical table of dissolved oxygen concentration level in the reservoir area (mg/L)

表 1. 库区溶解氧浓度水平统计表 单位: mg/L

采样时间	样品数	统计项	表层	底层	表、底层之差
2020年11月	2	库出口	11.49	11.00	0.49
		最小值	9.97	9.75	
		最大值	11.48	10.83	
2021年4月	11	均值	10.68	10.49	0.20
		标准差	0.52	0.42	

Continued

2021年8月	13	最小值	4.20	3.82	
		最大值	6.52	5.07	
		均值	5.31	4.54	0.78
		标准差	0.79	0.60	
2021年10月	8	最小值	7.23	6.87	
		最大值	7.37	9.02	
		均值	7.31	8.13	-0.82

由表可见, 2020年11月和2021年4月表层和底层平均溶解氧差别较小, 差值分别为0.49 mg/L和0.2 mg/L。2021年8月表层平均溶解氧较底层高0.78 mg/L, 底层平均溶解氧为4.8 mg/L, 未达到地表水环境质量标准 III类水溶解氧5 mg/L的标准。2021年10月表层平均溶解氧较底层低0.82 mg/L, 底层溶解氧标准差比表层大。由于水库上游来水在9月底~10月初停止, 说明在刚停水阶段溶解氧还处于不稳定期。溶解氧在8月有未达标现象, 其他三个月总体达标。

在自然情况下, 空气中的含氧量变动不大, 故水温是主要的因素。当水温较低时, 水生生物生命活动变缓甚至停止, 水中各种物质的转化速率相应降低; 当水温上升时, 水生生物的新陈代谢增强, 呼吸作用加快, 物质转换速率增加, 有机物的耗氧率明显增高, 导致水中溶解氧浓度减少[9]。

夏季8月水库水温升高, 溶解氧降低, 10月水温降低, 溶解氧升高, 如图1所示。溶解氧浓度值越低, 表征水质越差, 在夏季若水循环慢, 或上游停水, 易发生水环境安全问题。

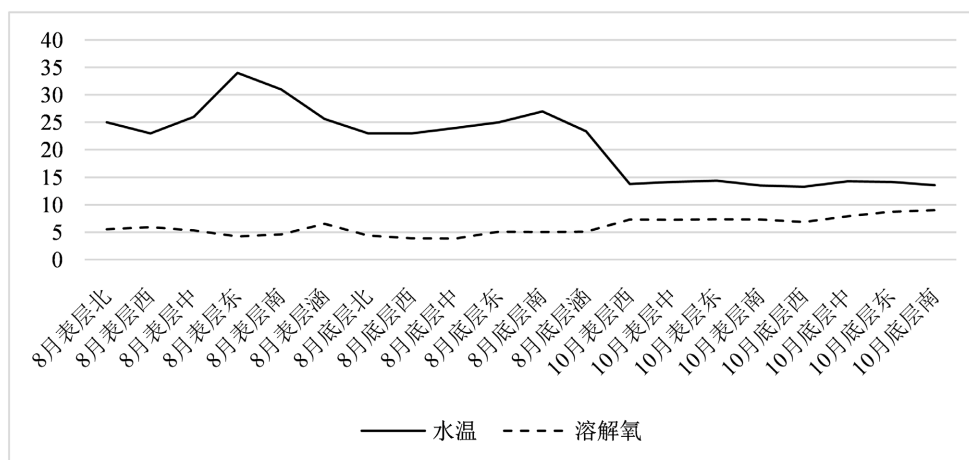


Figure 1. Variation Trend of water temperature (°C) and dissolved oxygen (mg/L)

图1. 水温(°C)、溶解氧(mg/L)变化趋势图

3.2. 氮素

水中总氮包括无机氮和有机氮, 无机氮包括氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮三种形态, 不同形态氮在各采样时段的浓度统计见表2。

由表可见, 氨氮各采样点浓度的标准差较小, 数据较平稳, 表层和底层差别不大, 汇总后浓度值最大值为0.3 mg/L, 最小值为<0.025 mg/L, 未检出。亚硝酸盐氮浓度普遍较低, 表层和底层差别不大, 均值为0.004 mg/L, 对水质影响不大。硝酸盐氮各采样点浓度的标准差较小, 数据较平稳, 表层和底层差

别不大, 监测数据汇总后浓度值最大值为 0.23 mg/L, 最小值为 0.0033 mg/L。无机氮三项指标均未超过地表水环境质量标准, 对库区水环境污染影响较小。

Table 2. Statistics of nitrogen concentration level in water (mg/L)

表 2. 水中氮素浓度水平统计表 单位: mg/L

采样时间	统计项	氨氮		亚硝酸盐氮		硝酸盐氮		总氮	
		表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层
2020 年 11 月	单次值	0.13	0.12	0.0048	0.0038	0.012	0.23	2.64	2.96
	最小值	0.07	0.11	<0.003	<0.003	0.19	0.20	1.87	1.90
2021 年 4 月	最大值	0.12	0.15	<0.003	<0.003	0.20	0.20	2.18	2.12
	均值	0.09	0.12	<0.003	<0.003	0.20	0.20	1.98	2.00
	标准差	0.02	0.02	0.000	0.000	0.004	0.003	0.11	0.09
2021 年 8 月	最小值	<0.025	0.05	<0.003	<0.003	0.004	0.003	0.36	0.33
	最大值	0.23	0.30	0.020	0.014	0.02	0.01	0.58	0.74
	均值	0.09	0.15	0.004	0.004	0.01	0.01	0.50	0.59
	标准差	0.08	0.09	0.008	0.006	0.004	0.001	0.09	0.16
2021 年 10 月	最小值	0.06	0.07	0.003	0.000	0.02	0.02	0.11	0.17
	最大值	0.09	0.10	0.008	0.008	0.05	0.04	0.92	0.23
	均值	0.08	0.08	0.006	0.007	0.03	0.03	0.34	0.20
	标准差	0.01	0.01	0.002	0.001	0.01	0.01	0.33	0.03
汇总	最小值	<0.025		<0.003		0.0033		0.11	
	最大值	0.30		0.04		0.23		2.96	
	均值	0.10		0.004		0.08		1.04	
	标准差	0.1		0.007		0.09		0.9	
III 类水标准值		1		-		10		1	

水中总氮、氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮四种形态氮的时间变化如图 2 所示。

总氮在停水期间(2020 年 11 月和 2021 年 4 月)浓度较高, 浓度范围在(1.87~2.96) mg/L 之间, 均超过地表水环境质量标准 III 类水标准值(1.0 mg/L), 底层水总氮略高于表层水, 差别不大, 各采样点数据标准差较小, 数据波动不大。推断总氮来源以内源为主, 主要来源为如下两方面:

1) 停水期(11 月和 4 月)水循环较慢, 冬季温度降低, 生物活性减弱, 水库对氮素的净化能力有所降低, 有富营养化的影响;

2) 停水期, 水位较低, 水库中鱼的密度较大, 造成鱼类死亡, 鱼残体及排泄物腐败分解, 造成水中总氮等指标升高。

8 月和 10 月为来水期及刚停水后水位较高阶段, 总氮浓度较低, 在(0.11~0.92) mg/L 之间, 均未超标, 10 月表层水总氮数据标准差较大, 数据不稳定, 从以下几方面进行分析:

1) 夏季温度升高, 生物活性增强, 水体中的氮会被植物(芦苇、水草、浮游植物)吸收, 水库有一定的自净作用;

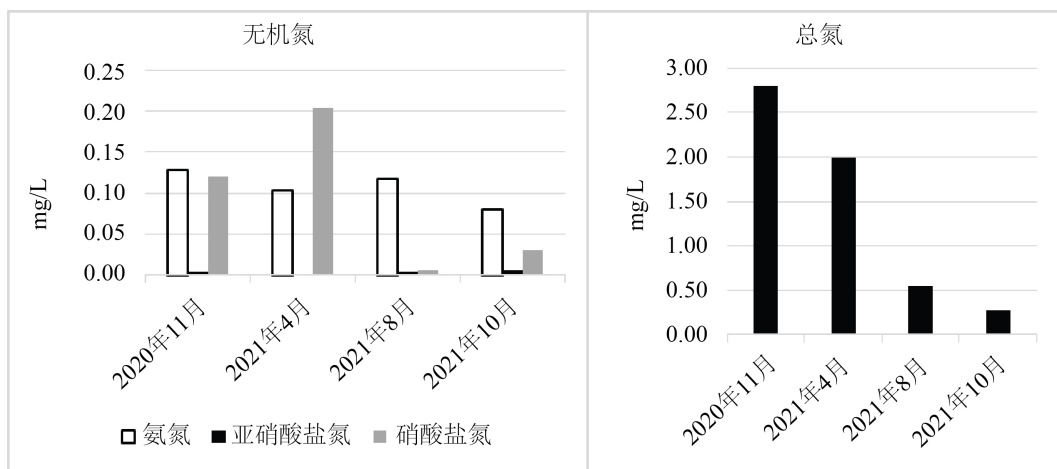


Figure 2. Variation trend of different forms of nitrogen
图 2. 不同形态氮变化趋势

2) 通过水中消费者的捕食，氮素被固定于浮游动物和鱼类机体，通过人类捕捞生产移出水体，从而起到减轻水体氮负荷的作用；

3) 来水期(8 月)水循环加快，上游来水对库区水有稀释作用，且水库捕捞鱼量较大，鱼残体及排泄物减少，水质较好；

4) 刚停水后(10 月)，水体泥沙沉降等自净作用及水中富营养化作用的共同影响，导致各采样点数据不稳定。

由图可知，水中无机氮(氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮)普遍较低，说明水体中总氮以有机氮为主。不同时段，各无机氮(氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮)浓度存在一定差异，氨氮和亚硝酸盐氮变化不大，硝酸盐氮有一定变化。硝酸盐氮和总氮的变化趋势接近，停水期间(11 月和 4 月)较高，来水期间及刚停水后较低，主要有两方面原因：

1) 4 月和 11 月，库区水中硝酸盐氮高于氨氮和亚硝酸盐氮，说明虽然水体受到一定的污染，但是已经完成氧化自净；8 月和 10 月氨氮浓度高于硝酸盐氮和亚硝酸盐氮，说明库区水体由于鱼残体及排泄物等原因受到一定污染，且还未完成氧化自净，因这两个月属来水和刚停水期，可能和外来污染源、内源污染及上覆水体扰动沉积物有关；

2) 夏季反硝化细菌活性较强，硝态氮发生了强烈的反硝化脱氮作用，因此，夏季水中硝态氮浓度会降低。

查询全国水环境状况通报，调研了我国部分水源地水中总氮的浓度，见表 3，浓度值在(0.23~2.33) mg/L 之间，本水库监测数据汇总总氮浓度在(0.11~2.96) mg/L 之间，来水期总体处于中等偏好水平，停水期间较其他水库浓度偏高。

Table 3. Concentration of total nitrogen in water of some water sources in China (mg/L)

表 3. 我国部分水源地水中总氮的浓度 单位：mg/L

名称	水库 1	水库 2	水库 3
广西 1 月份	1.20	1.67	0.65
广西 7 月份	0.23	2.33	0.52
广西 10 月份	2.04	1.14	0.72

Continued

江西 8 月份	1.27	0.86	1.42
江西 12 月份	0.75	0.97	0.84
云南	0.88	1.62	1.06
北京	1.53	1.08	1.54
本水库	0.11~2.96		

3.3. 营养状态相关指标

除了上述氮素以外，与水质营养状态相关指标重点分析了总磷、高锰酸盐指数和总有机碳，三项指标的时空分布状况如下[10]。

3.3.1. 时间分布特征

三项指标在 2020 年 11 月、2021 年 4 月、2021 年 8 月和 2021 年 10 月四个阶段的分布状况如图 3 所示。

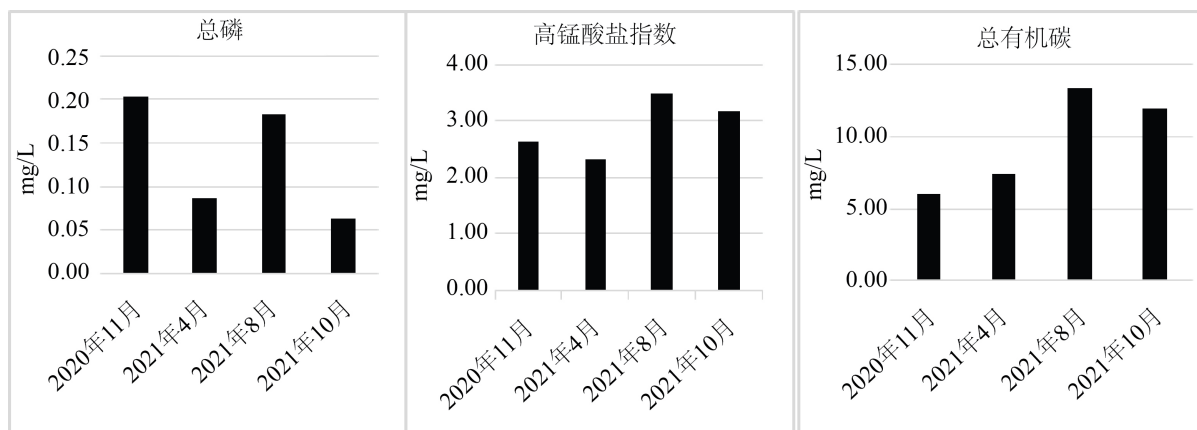


Figure 3. Time distribution of total phosphorus, permanganate index and total organic carbon

图 3. 总磷、高锰酸盐指数和总有机碳时间分布状况

11 月底层水总磷浓度超标；8 月总磷、高锰酸盐指数和总有机碳浓度较其他时段偏高，个别采样点位有超标情况，但总体均值未超标；4 月各项指标浓度偏低，10 月较 8 月浓度偏低，主要有如下几方面原因：

- 1) 外源影响，即 8 月上游来水带来一定污染影响；
- 2) 内源影响，库区南岸在上一年停水期水位低时，生长了大量的芦苇、红柳，待次年 8 月上游来水期，水位上升后大量芦苇、红柳死亡，且夏季温度较高，经发酵腐败分解，对库区总磷、高锰酸盐指数及总有机碳等营养物质有贡献；
- 3) 水库沉积物的总磷及总有机碳平均值分别为 0.57 g/kg 和 4.3 g/kg，8 月为来水期，上覆水体对沉积物的扰动，导致沉积物中总磷和总有机碳对上覆水质带来影响；
- 4) 水中植物对磷有一定吸收，由于 11 月温度较低，植物对磷的吸收较弱，故 11 月总磷浓度较高；
- 5) 刚停水后(10 月)，库区水循环速度较慢，水体在库区的滞留时间较长，泥沙沉降也随之增强，附着于泥沙的污染物浓度降低，因此三项指标的浓度较 10 月有所降低，水库具有一定的自净能力。

3.3.2. 空间分布特征

总磷、高锰酸盐指数和总有机碳三项指标在库区北面、西面、中心、东面和南面五个位置的分布状况如图 4 所示，南面为进水口，北面为出水口。

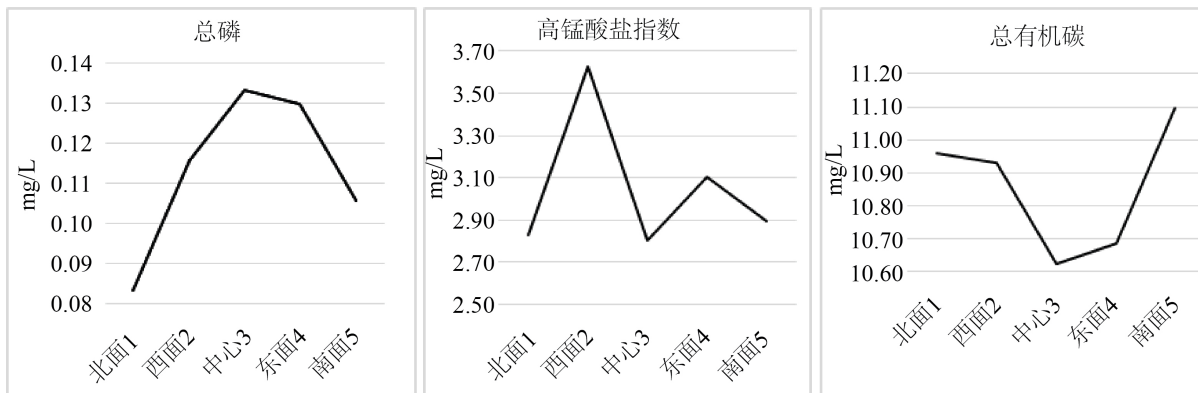


Figure 4. Spatial distribution of total phosphorus, permanganate index and total organic carbon

图 4. 总磷、高锰酸盐指数和总有机碳空间分布状况

由图可见，三项指标空间分布特征均为水库南面进水口高于水库北面出水口，主要原因分析如下：

1) 由于水库的水循环较慢，水体在库区的滞留时间较长，泥沙沉降也随之增强，因此附着于泥沙的污染物浓度得以降低，水库有一定自净的作用，使水库出水口水质比进水口清洁。

2) 由于上一年的停水期水位低时库区南岸生长了大量的芦苇和红柳等植物，8 月上游来水水库水位变化较大，水位上升后大量芦苇和红柳等植物死亡，夏季温度较高，经发酵腐败分解，造成库区南面水体三项指标升高。

3) 水体中的磷会被植物(芦苇、水草、浮游植物)吸收，随后，通过水中消费者的捕食被固定于浮游动物和鱼类机体，或死亡后通过分解、沉降作用重回水体，固定于鱼类机体的磷会通过人类捕捞生产作业移出水体，从而起到减轻水体磷负荷的作用，水库出水口总磷降低。

4. 水库水质营养状态评价结果与讨论

按照《地表水资源质量评价技术规程》SL395-2007 对水库的营养状态进行评价，评价标准及分级方法应符合表 4 的规定[11]。

Table 4. Evaluation criteria and classification methods of nutritional status of lakes (reservoirs)

表 4. 湖泊(水库)营养状态评价标准及分级方法

营养状态分级 EI = 营养状态指数	评价项目赋分值 En	总磷(mg/L)	总氮(mg/L)	叶绿素 a (mg/L)	高锰酸盐指数 (mg/L)	透明度(m)
贫营养 $0 \leq EI \leq 20$	10	0.001	0.020	0.0005	0.15	10
	20	0.004	0.050	0.0010	0.4	5.0
中营养 $20 \leq EI \leq 50$	30	0.010	0.10	0.0020	1.0	3.0
	40	0.025	0.30	0.0040	2.0	1.5
	50	0.050	0.50	0.010	4.0	1.0

Continued

富营养	轻度富营养 50 $\leq EI \leq 60$	60	0.10	1.0	0.026	8.0	0.5
	中度富营养 60 $\leq EI \leq 80$	70	0.20	2.0	0.064	10	0.4
		80	0.60	6.0	0.16	25	0.3
	重度富营养 80 $\leq EI \leq 100$	90	0.90	9.0	0.40	40	0.2
		100	1.3	16.0	1.0	60	0.12

根据水库表层水监测结果,采用线性插值法计算每项指标的赋分值 En ,从等权重角度计算得到营养状态指数值 EI ,水库 EI 值计算结果见表 5。

Table 5. Evaluation results of reservoir nutritional status
表 5. 水库营养状态评价结果

采样时间	En					EI
	总磷	总氮	叶绿素	高锰酸盐指数	透明度	
2020 年 11 月	63	72	24	43	50	50
2021 年 4 月	57	70	28	42	50	49
2021 年 8 月	68	51	29	47	50	49
2021 年 10 月	53	38	26	46	40	41
汇总	61	64	26	44	48	49

四个季度及汇总平均数据的营养状态指数 EI 为 41~50,参照水库营养状态分级方法,水库水质 EI 值在中营养($20 < EI \leq 50$)范围。其中营养源评价项目(总磷、总氮和高锰酸盐指数)赋分值 En 为 38~72,营养状态评价项目(叶绿素 α 和透明度)赋分值 En 为 24~50,总氮和总磷的赋分值较高,总氮在停水期的 11 月和 4 月达到了中度富营养水平,来水期 8 月和刚停水期 10 月达到中营养水平,总磷普遍达到了轻度富营养水平,因此氮、磷是水库营养化的主要因素[12]。

水库中鱼残体、排泄物及被淹没植物的腐败分解,对水库的氮磷贡献较大,且在停水期,水位较低,水循环较慢,对水库的营养状态产生较大影响。

5. 结论

本文分析了水库水质达标情况,主要超标项目包括:总氮、总磷、溶解氧、高锰酸盐指数;评价了水质营养状态,水库总体评价为中营养,氮、磷对水库营养化贡献较大;综合分析了水库内源污染因素,植物淹没、鱼残体腐败及排泄物分解是水库主要的内源污染,悬浮物沉降及动植物对水中营养物质的吸收,使得水库具有一定的自净能力。

本文阐明了水库水环境安全状况,为水库管理提供了科学依据。水库管理部门应加强水库水质氮磷的监测,对水库生态系统开展调查研究,减少停水期鱼的库存量,清理水库南面裸露区的植物,降低氮磷的内源污染,防止水库向富营养化状态发展,保障供水安全。

参考文献

- [1] 刁仁威,管利群,韩晓明. 桃源水库水体营养状态评价[J]. 吉林农业: 学术版, 2011(6): 285-285.

- [2] 田虹. 桃源水库水体富营养化评价[J]. 农业与技术, 2021, 41(2): 35-36.
- [3] 殷飞. 水体营养状况评价方法研究[J]. 科技创新与应用, 2017(30): 99-100.
- [4] 孟祥琴. 黄壁庄水库水体富营养状态分析评价[J]. 南水北调与水利科技, 2012(A02): 69-70, 76.
- [5] 黄文钰, 舒金华, 吴延根. 中国主要水库富营养化评价[J]. 贵州环保科技, 1997(2): 12-16.
- [6] 孟红明, 张振克. 我国主要水库富营养化现状评价[J]. 河南师范大学学报, 2007, 35(2): 133-141.
- [7] 郭倩君, 黄月群, 董堃, 等. 水体富营养化评价方法研究[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(2): 178-185.
- [8] 阿布都沙拉木·托尔逊, 刘晓茹, 吴文强, 等. 我国西北地区典型水库水质分析[J]. 水利技术监督, 2021(10): 85-89.
- [9] 高博, 万晓红, 等. 白洋淀典型污染物水环境过程及效应[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2019: 86-89.
- [10] 黄涌增, 黄金柏, 周亚明, 顾淮. 古运河局部河段水质时间变化特性——以运河三湾风景区河段为例[J]. 环境保护前沿, 2020, 10(1): 49-61.
- [11] 水利部. SL395-2007, 地表水资源质量评价技术规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [12] 沈晓飞, 马巍, 等. 湖库营养状态评价方法及适用性分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2013, 11(1): 74-79.