

Seasonal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in Lake Xingyun

Yunying Zhang, Hucai Zhang*, Fengqin Chang, Manping Xie, Lizeng Duan, Huayong Li, Mengshu Zhu, Zhiming Lu, Han Wu, Yang Zhang

Key Laboratory of Plateau Lake Ecology & Global Change, Yunnan Provincial Key Laboratory of Geographical Process & Environmental Change on the Plateau, College of Tourism & Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

Email: eagle21@126.com, *zhanghc@niglas.ac.cn

Received: Aug. 4th, 2017; accepted: Aug. 16th, 2017; published: Aug. 29th, 2017

Abstract

Based on field monitoring data, the characteristics of water quality changes, in both vertical and spatial distributions in the end of dry and wet seasons in Xingyun Lake were analyzed. The monitoring data shows that the water temperature has seasonal changes and on the vertical profile, the water temperature almost always below 1 m in depth. In wet season, the lake water mixture condition enhanced, and the water quality shows slight changes in spatial pattern, but it displays a significant difference in dry season. In vertical profile, the pH value of lake water shows a high uniformity from the surface to 7 m in depth, with an average value of 8.9~9.4. And it shows that a higher value in wet than in dry season. The chlorophyll content in Xingyun Lake shows a weak seasonal change in wet season, but the content increases with the increasing of water depth in dry season. The dissolved oxygen content is higher in wet season than that in dry season. The SpCond is significantly higher in wet season than that in dry season. We found that the water temperature, pH value and dissolved oxygen content possess a similar change tendency in vertical profile. Our analysis results reveal that the average TP content in the wet season is 0.43~0.48 mg/L, while that in dry season is 0.29~0.39 mg/L. The average TN content is 2.16~2.52 mg/L in wet seasons, and 1.94~2.88 mg/L in dry seasons, showing the TP and TN input increased significantly in the wet season. The calculation results demonstrated that the whole lake possess a heavy nutrient level, and the nutrient level distribute a pattern of in the south > in the central > in the north, the bottom > the surface > the middle in dry season, and the north > the south > the central, the middle > the bottom > the surface in wet season.

Keywords

Xingyun Lake, Water Quality Parameters, Spatial and Temporal Variation

星云湖季节性水质变化及影响因素

张云鹰, 张虎才*, 常凤琴, 谢曼平, 段立曾, 李华勇, 朱梦姝, 陆志明, 吴 汉, 张 扬

作者简介: 张云鹰(1990-), 女, 辽宁丹东人, 硕士研究生, 主要从事湖泊沉积和介形类研究。
*通讯作者。

文章引用: 张云鹰, 张虎才, 常凤琴, 谢曼平, 段立曾, 李华勇, 朱梦姝, 陆志明, 吴汉, 张杨. 星云湖季节性水质变化及影响因素[J]. 水资源研究, 2017, 6(5): 512-521. DOI: 10.12677/jwrr.2017.65060

云南师范大学旅游与地理科学学院高原湖泊生态与全球变化重点实验室, 高原地理过程与环境云南省重点实验室, 云南 昆明

Email: eagle21@126.com, *zhanghc@niglas.ac.cn

收稿日期: 2017年8月4日; 录用日期: 2017年8月16日; 发布日期: 2017年8月29日

摘要

依据实地监测数据, 本文分别对旱季和雨季末星云湖水体在垂向和空间分布上的水质变化特征进行了分析, 探讨了季节性水量变化对星云湖水质的影响。监测结果显示: 星云湖丰水期水质空间差异较小, 枯水期水质空间差异较大, 主要表现在丰水期溶解氧含量高于枯水期。同时, 丰水期水体的比电导明显高于枯水期。星云湖水体的pH值在8.9~9.4之间变化, 且有枯水期高于丰水期的特征。在垂向上, 星云湖丰水期水温、pH值与溶解氧含量具有相似变化趋势, 整体上都随深度的增加而呈现下降的变化, 这可能与浮游藻类的呼吸作用有关; 丰水期水体中叶绿素含量在整个湖泊较低且趋于一致, 而枯水期具有由表层向下增高的变化。营养盐分析结果显示, 丰水期的总磷(TP)含量平均为0.43~0.48 mg/L, 枯水期平均为0.29~0.39 mg/L; 而丰水期的总氮(TN)含量平均为2.1557~2.5225 mg/L, 枯水期1.9388~2.875 mg/L, 指示丰水期河流物质输入作用明显增加, 人类活动影响明显增强。计算分析结果显示, 星云湖水体全湖全年为重富营养水平, 且具有枯水期水质富营养水平南部 > 中部 > 北部水体、底层 > 中层 > 表层水体、丰水期北部 > 南部 > 中部水体, 中层 > 底层 > 表层水体的特点。认识这些特点及时空变化规律, 对于有的放矢、高效的开展星云湖富营养化治理具有一定的指导作用。

关键词

星云湖, 水质参数, 时空变化

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

湖泊是在一定的地质、地理背景下形成具有一定规模和持续时间、并具有一定生物种属和组合的自然水体。自然湖泊在自其形成到成熟、最后消亡的演化过程中, 地质、物理、化学、生物及气候等作用互相影响与依存, 表现出明显的区域特色[1]。高原断陷湖泊作为一个特殊的自然综合体, 具有湖岸陡峭, 湖盆较深, 出湖河流较少, 换水周期较长等特点, 生态环境比较脆弱, 一旦被污染或发生富营养化, 很难在短时间内被有效治理。由于人类活动的影响, 湖泊污染, 特别是重金属污染和富营养化问题已成为当今世界面临的最主要生态环境问题之一, 严重制约了当地经济的发展。认识和了解湖泊现状、明晰湖泊水质的时空变化规律是评价湖泊水环境质量、分析污染来源和改善湖泊水环境的基础[2]。在这方面, 不少研究者进行了很多监测工作, 杨文花和曹瑛杰(2005)曾对浙江省长潭水库水质指标进行监测, 分析了该水库的水质指标变化的统计特征值及相关性, 并提出了控制水库周围点源和农业面临的污染等建议[3]; 魏星和易杨柳曾对武汉市某小型浅水人工湖泊水质进行一年的理化监测、分析, 发现 COD 和 BOD₅ 均有季节性的变化规律, 气温的变化会影响湖水及底泥中微生物的活性, 从而影响底泥污染物的释放量[4]; 对于陡河水库水质中 TN、TP 等指标的季节变化趋势进行分析, 发现控制 TN 浓度不仅是抑制陡河水库富营养化的关键因子, 更是提高和改善陡河水库水质的关键指标[5]。从区域已经状况来看, 目前对于水质的时空变化规律的研究主要集中在青藏高原[6], 云贵高原[7], 河北[8], 江苏[9], 长江流域

[10]及淮河流域[11]等。与之相比,云南高原湖泊的资料积累、系统性和对数据资料的解译明显不足。

星云湖为典型的高原湖泊,对调节当地气候、提供水源和美化环境起着不可替代的重要作用,是千百年来人们生产、生活之地。但近年来由于人类活动的影响,大量工业废水和生活污水的排入及不合理的农业耕作方式,不但造成星云湖水位剧烈波动,更严重的是水质持续恶化,富营养化加剧,已成为除“三湖”(太湖、巢湖、滇池)之外的又一遭受蓝藻常态化爆发严重“水华”的湖泊[12],对当地生态环境建设和水安全造成严重影响,严重制约了当地经济的发展和人民生活质量的提高。本文主要通过对雨季前后星云湖水体在垂向上和空间分布上的水质监测数据,分析其变化特征及影响因素,探究季节性水量变化对星云湖水质的影响,并提出相应的对策与建议。

2. 研究区自然地理环境

星云湖是云南八大湖泊之一(杞麓湖于2012年湖泊面积减小现维持在20余 km^2 ,跌出九大湖泊之列[13]),位于云南省江川盆地东部,主要形成于中新世—上新世,迄今约有340万年的历史,目前已进入湖沼发育的中晚期阶段。湖泊水面地理范围为 $24^{\circ}17'20''\sim 24^{\circ}23'03''\text{N}$, $102^{\circ}45'20''\sim 102^{\circ}48'20''\text{E}$,水位高程约为1722 m,南北长约10.5 km,东西平均宽约3.8 km,最大水深10 m,平均水深7 m,水域面积 34.7 km^2 ,湖水容量1.833亿 m^3 (2005年实测数据),目前为一半封闭性高原断陷浅水湖泊,沉降中心靠近湖盆东侧,因而造成了湖盆东侧较陡西侧较为平缓,周围多温泉。主要入湖河流有东西大河、螺蛳铺河、渔村河、大庄河、海浒河等十余条季节性河流。星云湖曾为抚仙湖上游河流,经人工开凿的隔河与抚仙湖相连。后经“星云湖—抚仙湖出流改道”工程,人工开凿小街河,成为星云湖唯一出水口。据江川县县志记载,在湖盆发育最盛时期,曾与抚仙湖和杞麓湖连为一体,即古抚仙湖,直至第四纪南北向断裂活动,地壳沿断裂沉陷,使抚仙湖解体,才形成了如今的星云湖[14]。

湖区属于中亚热带半湿润高原季风气候,可分干湿两季,降水81.4%集中在每年的5~10月形成雨季。据1957~2009年的气象数据可知,该地多年平均气温约为 18.4°C ,多年平均降水量约为879.1 mm;主要风向为西南风,年平均风速约为2.2 m/s,最大风速为33 m/s。流域内土壤以红壤为主,并兼有紫色土和水稻土3个土类,现区内主要植被为云南松林、华山松等针叶次生林和人工林。

3. 研究方法

针对湖水的理化性质在垂直方向和空间分布上的季节变化,在星云湖中部和北部分别选点进行了野外调查监测工作(见图1)。其中,XYL-1,XYL-2,XYL-3和XYL-4采集于2014年4月6日;XYL-5,XYL-6和XYL-7采集于2015年10月25日。用于测量的仪器是美国维赛YSI 6600V多参数水质监测仪,现场进行仪器校正后测定选点水温、pH、溶解氧、电导率、浊度、水深等水质参数。在野外工作时,将仪器垂直放入湖中,平均约每隔1 m采集一个数据。数据处理采用Grapher和Arcgis等软件进行统计分析。2016年5月29日和2016年10月14日分别在星云湖北中南三点(T1, T2, T3)以1 m为间隔采集垂直水体水样,并使用预先清洗好的1 L聚乙烯塑料水样瓶封装,采样结束后,冷藏保存,并在本实验室内采用分光光度计法测量水体中总氮和总磷的含量。水质评价的方法是依据国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)进行分类,并将其中劣于V类的划分为VI类水质,即分为6个级别,各评价项目环境质量级别标准与国家标准相同。评价过程中采用单因子评价法判断水体类型。营养级的评价主要采用相崎守弘的湖泊营养程度评分标准对各采样点进行评分(保留两位小数)[15],然后用卡森指数法对各监测点进行分级(见表1)。

由于湖区降雨主要集中在每年的5~10月,且其水位主要受降雨量的影响,雨季前后,水位大约会有1 m左右的上涨。本文所使用的数据由于不是在1年之内采集,而是将近两年的监测数据综合起来,因此,本文着重依据星云湖在枯水期末期或最干旱的时期(2014年4月6日)和丰水期或降水积累最大的时期(2015年10月25日)时所获数据,对星云湖湖水垂直方向和空间分布上的水质变化特征进行分析,并结合2016年的氮磷检测数据,探讨雨季前后星云湖水水质参数变化的规律和影响因素。

Table 1. The standard of grading & classification
表 1. 评分与分级标准

评分值	0~35 分	36~45 分	46~55 分	56~65 分	66~75 分	76~85 分	86~95 分	96~100 分
营养程度	贫营养	贫中营养	中营养	中富营养	富营养	重富营养	严重富营养	异常富营养

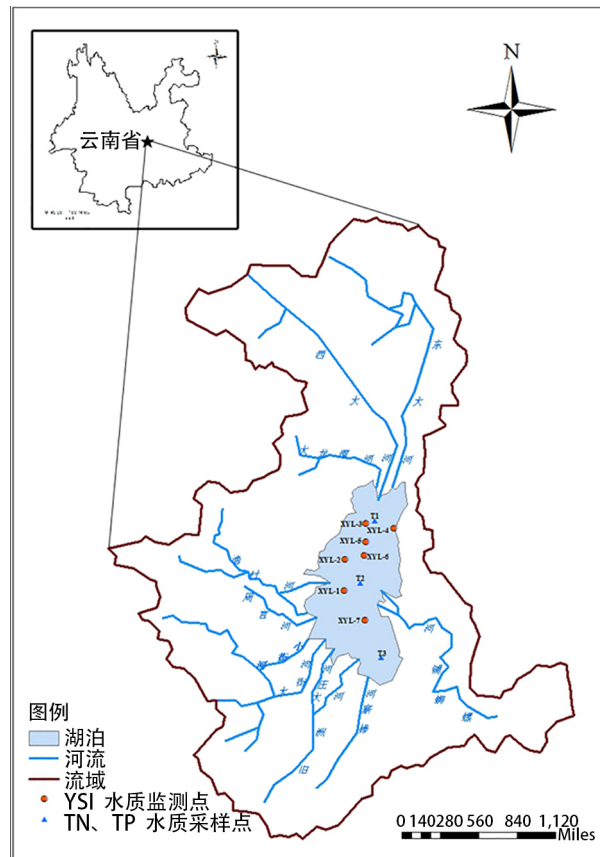


Figure 1. The drainage area & the monitoring sites of Xingyun Lake

图 1. 星云湖流域图及水质监测点图

4. 结果与讨论

4.1. 时空变化分析

4.1.1. 水温时空变化分析

水温是影响湖水各种理化过程和动力现象的重要因素，其不仅决定了湖泊的类型，还决定了生物群落的结构和水生生态系统的生产力[16]。水温的变化主要是由季节性的光照变化而引起的，与地区气温基本上同步变化且高度相关[17]。已有研究表明，随着 20 世纪以来全球气候变暖，全球范围内有害藻华的发生和急剧扩散与全球气温上升密切相关[18]。温跃层是指水体温度在垂直梯度上出现突变或不连续剧变的水层[19]。之前在对抚仙湖热学状况的研究中，将水温梯度超过 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的水层定义为温跃层[20]。但也有研究将表层 1 m 排除在温跃层之外[21]。

由图 2 的水温曲线可知，星云湖水深较浅故无温跃层现成。其水温明显受气温变化的影响，其表层 1 m 以下的水温均存在明显的下降趋势，且枯水期水温差异较丰水期的明显。从水平空间分布上看，枯水期星云湖水

温南北空间差异也较大, 而丰水期则较小。

4.1.2. pH 时空变化分析

pH 是控制湖泊富营养化、沉积物磷循环及介形类等其他微体古生物分布的重要因素[22] [23], 同时还直接影响到水体中无机碳源的存在形式。它的形成除与地质背景、气候条件、大地热流等有关外, 也是人为富营养化过程中不断变化的营养元素汇入、富有藻类繁殖、溶解氧含量等要素相互作用的结果[24]。pH 偏高是云南高原湖泊的特征之一。有关湖水 pH 值与藻类关系研究表明, pH 为 8.5 时有利于藻类生长, 而 pH 为 9.5 时藻类生长状况最差[25]。

从图 2 中的 pH 变化曲线可以看出, 星云湖 pH 值在垂直方向上变化很小, 7 个观测点的所有测量结果均在 8.71~9.4 之间。整体上均随深度的增加呈现下降的趋势, 这可能与浮游藻类的呼吸作用有关。表层浮游藻类进行光合作用, 吸收周围水中的 CO_2 , 从而使周围水体中的 pH 值升高; 底层藻类由于透射阳光减少, 故主要以呼吸作用为主, 呼出 CO_2 , 从而使周围水体中的 pH 值降低。星云湖丰水期的 pH 值虽均低于枯水期的 pH 值, 但丰水期星云湖底部的 pH 值变化较枯水期明显, 这可能是由于丰水期降雨量的增加一方面稀释作用使星云湖水 pH 值降低, 但另一方面湖泊水动力增强从而又导致丰水期星云湖底部 pH 值差异较大。从图中还可以看出, XYL-1 点受人类活动的影响较大。

4.1.3. 溶解氧时空变化分析

溶解氧是水质评价的重要指标之一。其值的高低不仅可以影响水生生物的生长和发育, 还可影响湖泊的自净能力[16]。溶解氧与盐度和温度成反比, 但却与湖浪作用强度成正比, 除此之外, 溶解氧其含量的高低还与藻类的光合作用有关。

从图 2 中的溶解氧变化曲线可知, 在垂直方向上, 其变化趋势与 pH 值相似, 整体上均随深度的增加呈现

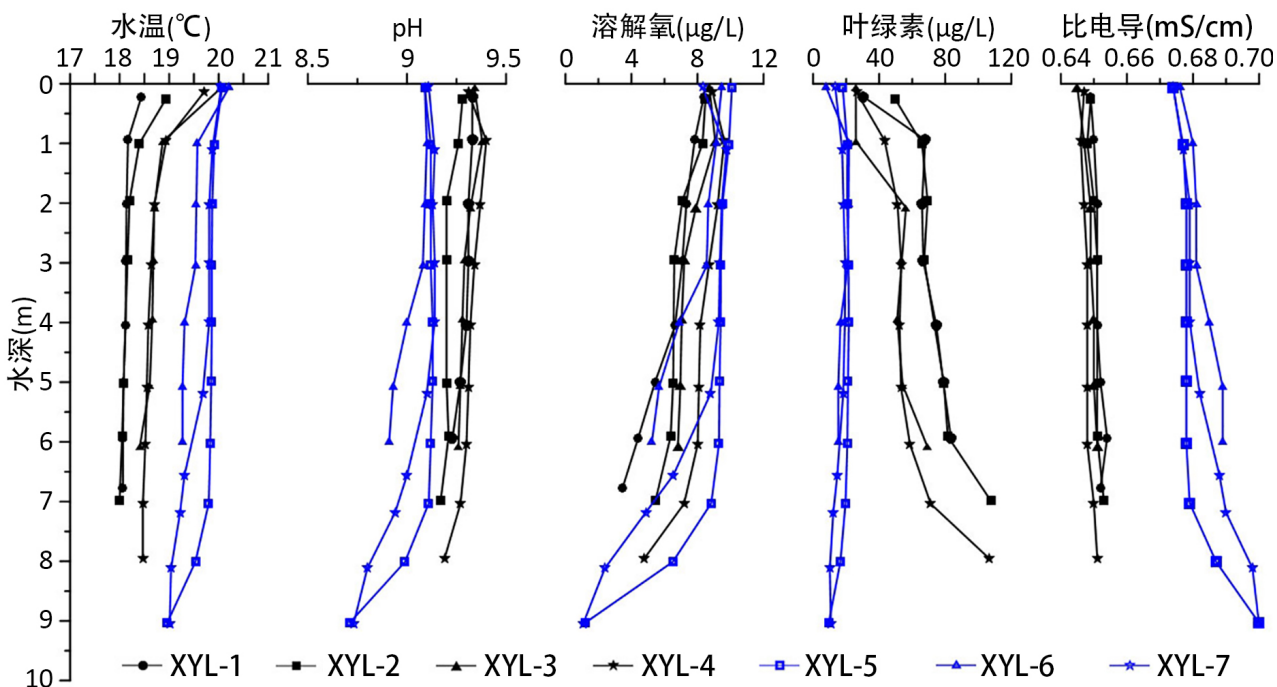


Figure 2. The water quality parameters of Xingyun Lake (XYL-1, XYL-2, XYL-3, XYL-4 are the monitoring data in end of dry seasons on 6th April, 2014; XYL-5, XYL-6, XYL-7 are the monitoring data in wet seasons on 25th October, 2015)

图 2. 星云湖水质参数分布图(XYL-1, XYL-2, XYL-3, XYL-4 为枯水期 2014 年 4 月 6 日监测数据; XYL-5, XYL-6, XYL-7 为丰水期 2015 年 10 月 25 日监测数据)

下降的趋势。这可能也是由于浮游藻类的光合作用的结果,表层光合作用时,释放 O_2 ,使周围水体中的氧含量增加;底层呼吸作用时,消耗周围水体中的 O_2 ,使周围水体中的氧含量减少。丰水期的溶解氧几乎均高于枯水期,这可能一方面是由于丰水期水温增加导致藻类增多,光合作用使水体中溶解氧含量增加;另一方面是由于降水增加,水动力增强,湖浪作用增强,使其表层水体迅速补充溶解氧的含量,同时水位升高,底层阳光投射减少,底层植物呼吸作用增强,耗氧量增加,从而导致丰水期星云湖水表层溶解氧含量增加,而水体底层溶解氧含量下降,且变化差异较大。

4.1.4. 叶绿素时空变化分析

叶绿素是衡量湖水营养状态等级的指标之一。其含量的多少基本上可以指示藻类数量的多少。藻类的分布除了受控于温度、pH 值、溶解氧,光照强度、有机碳含量、风向及 TN 和 TP 等营养盐因素外,还与其自身的个体生物学和种群生态学有关。据玉溪市环境监测站多年监测资料显示,2000 年,星云湖少部分湖湾开始出现蓝藻水华,随之每年 4~11 月周期性爆发。2002 年 5 月至今,蓝藻水华已扩展至全湖,水质重度富营养化[26]。1996~2003 年,浮游植物共鉴定出 6 门 58 种,其中绝对优势种为水华束丝藻(3 月)和铜绿微囊藻(8 月) [27] [28]。吴艳龙等[29]曾对滇池水华束丝藻-微囊藻演替过程及其机制进行研究,发现水温是驱动两者复苏、生长和演替的重要环境因子。水华束丝藻休眠孢子在 3 月份(水温 $14^{\circ}C$ 左右)开始复苏,在无竞争压力下持续生长。在此期间,微囊藻受水温胁迫,复苏和生长受到严重抑制,复苏过程迟于水华束丝藻。4 月底(水温达到 $18^{\circ}C$),微囊藻开始复苏,并随着水温的升高而快速生长,逐渐代替水华束丝藻,成为滇池的绝对优势种。随后,吴艳龙等[30]又通过对滇池水华束丝藻对低氮的生理响应进行研究,结果发现水华束丝藻为典型的固氮蓝藻,其在消退的过程中会释放大量的氮,可能成为其他非固氮蓝藻水华的诱发因子。胡智泉[31]等认为,除温度外,毒素同样在这一过程中发挥重要作用。水华束丝藻的突然死亡,可能是其周围的微囊藻种群增殖到一定数量,微囊藻分泌的微囊藻毒素浓度达到一定水平,对水华束丝藻产生了溶藻效应所致,但这两者之间的毒性机理还有待进一步的研究。刘邵俊等[32]通过对星云湖藻量昼夜变化(2013 年 8 月 29 日~30 日)及垂直分布进行调查采样分析,发现上层藻量昼夜变化呈典型的双峰曲线,峰值分别出现在 2 时和 14 时左右,全天藻量最大值为 14 时。白天藻类主要分布于水体上层,夜晚上层水体藻量下降,上中下各层水体藻量起伏变化,但各层平均藻量无显著性差异。

从图 2 中叶绿素曲线可知,枯水期星云湖水体中叶绿素含量差异较大,而丰水期差异较小,且丰水期水体中叶绿素含量均低于枯水期。这可能一方面是由于丰水期微囊藻大量爆发,产生的毒素浓度达到一定水平,对其他藻类产生了溶藻效应所致;另一方面可能是与 pH 值相关,由于丰水期星云湖水量增加产生稀释作用使叶绿素含量降低,同时湖泊水动力增强使水体较均一。

4.1.5. 电导率时空变化分析

在自然水体中,电导率会随着水体中碱、酸和盐的浓度的增大而增大,所以,电导率和盐度成正比。其影响因素除了与其自然地质背景和气候条件有关,还与人类活动释放的污水和工业废水及农业污染有关。

从图 2 中电导率变化曲线可知,丰水期的电导率均大于枯水期的电导率,即丰水期的盐度均大于枯水期的盐度。这可能一方面是由于丰水期降雨量的增大使随水流汇入湖中的泥砂含量增多,导致湖水电导率增大;另一方面可能是由于丰水期正处于农田耕种季节,星云湖周围农田中农药施用量加大,雨水的冲刷导致周围农田中的农药化肥随之大量汇入湖泊,导致星云湖水体中盐度增大。

4.2. 水质评价

湖泊富营养过程主要原因是湖内初级生产者(具有光合作用的植物和藻类)利用湖内可利用的营养盐生产有机质。湖泊外部输入、湖泊内部有机质循环和底泥释放是其营养盐来源的主要 3 个途径。而氮磷则是湖泊植物生物量的主要控制因子。

从表 2 中可以看出,星云湖水体全湖全年已均为 VI 类水质,且在营养级方面,除枯水期 T3 点表层为严重

Table 2. The evaluation table of water quality in Xingyun Lake
表 2. 星云湖水水质评价表

采样点	水深(m)	4 月份					10 月份				
		TN(mg/L)	TP(mg/L)	平均分	营养级	类别	TN(mg/L)	TP(mg/L)	平均分	营养级	类别
T-1	0	2.06	0.26	79.09	重富营养	VI	2.09	0.45	82.32	重富营养	VI
	1	1.95	0.29	79.04	重富营养	VI	2.53	0.46	83.95	重富营养	VI
	2	1.91	0.28	78.69	重富营养	VI	2.78	0.46	84.49	重富营养	VI
	3	1.77	0.28	78.07	重富营养	VI	2.81	0.46	84.56	重富营养	VI
	4	1.83	0.29	78.55	重富营养	VI	2.43	0.46	83.73	重富营养	VI
	5	1.98	0.30	79.30	重富营养	VI	2.15	0.44	82.44	重富营养	VI
	6	1.91	0.28	78.76	重富营养	VI	2.59	0.46	84.08	重富营养	VI
	7	2.10	0.35	80.79	重富营养	VI	2.80	0.47	84.69	重富营养	VI
T-2	0	1.98	0.28	79.12	重富营养	VI	2.24	0.42	82.51	重富营养	VI
	1	1.84	0.29	78.62	重富营养	VI	1.94	0.43	81.32	重富营养	VI
	2	2.11	0.29	79.72	重富营养	VI	1.91	0.44	81.34	重富营养	VI
	3	1.66	0.29	77.67	重富营养	VI	2.33	0.42	82.85	重富营养	VI
	4	1.80	0.29	78.38	重富营养	VI	2.61	0.43	83.63	重富营养	VI
	5	1.96	0.28	79.00	重富营养	VI	2.35	0.44	83.23	重富营养	VI
	6	3.44	0.29	83.19	重富营养	VI	1.71	0.43	80.27	重富营养	VI
	0	5.68	0.60	90.41	严重富营养	VI	1.94	0.45	81.64	重富营养	VI
T-3	1	2.33	0.46	83.55	重富营养	VI	1.84	0.47	81.52	重富营养	VI
	2	2.13	0.34	80.75	重富营养	VI	2.90	0.46	84.75	重富营养	VI
	3	2.34	0.30	81.63	重富营养	VI	2.82	0.46	84.58	重富营养	VI
	4	2.90	0.34	82.73	重富营养	VI	2.04	0.54	83.58	重富营养	VI
	5	1.87	0.30	78.81	重富营养	VI	2.02	0.48	82.50	重富营养	VI

富营养级阶段，其余各点全年几乎均为重富营养级阶段。但相比于枯水期，丰水期的 TP 含量几乎为枯水期的 2 倍，TN 含量增加 30%~50%左右，由此可知，星云湖营养盐的主要来源应与外部输入相关。我们认为，丰水期雨水冲刷周围农田所带入的氮磷营养盐对星云湖水质的影响不可小觑。从空间分布上看，枯水期的 T1 和 T2 点及丰水期的 T1 点在底部的 TP 与 TN 值均会突然增加，这可能与底泥沉积物中 P 和 N 释放相关。由此看来，星云湖也存在内源污染源。从 TP 和 TN 的评分来看，枯水期星云湖北部 > 中部 > 南部，中层水体 > 表层水体 > 底层水体；丰水期，星云湖中部 > 南部 > 北部，表层水体 > 底层水体 > 中层水体(注：“>”代表“好于”)。故对于星云湖的治理，首先，应从周围农田入手，减少农药化肥的使用，提倡绿色蔬菜的种植；其次，在周围入湖河流处增设湿地污水处理系统，减少生活污水及禽畜养殖污染的影响；最后，定期进行清淤治理。

5. 结论

通过在枯水期和丰水期对星云湖水体进行现场连续监测，室内总氮总磷的分析及水质评价等方法，可以得出以下初步认识。

星云湖丰水期湖泊水动力增强，水体混合度较高，水质空间差异较小。枯水期，水质空间差异较大。在垂

直方向上, 星云湖水体中的 pH 值与溶解氧含量变化趋势相似, 整体上均随深度的增加而呈下降趋势, 这可能与藻类光合作用有关; 而丰水期其溶解氧的含量增加, 与湖浪作用有关。星云湖水体中叶绿素含量的季节性变化, 可能与藻类演替有关, 这需要进一步的专业实验分析研究。星云湖丰水期水体的比电导明显高于枯水期, 丰水期的 TP 含量几乎为枯水期的 2 倍, 说明丰水期河流物质输入作用十分明显, 人类活动明显增强的同时雨水的冲刷将农田施肥残留物带入湖中的问题应予以足够的重视。

通过水质评价可知, 星云湖水体全湖全年已均为 VI 类水质, 各点全年几乎均为重富营养级阶段。星云湖的营养盐主要来源于外部输入和内源污染同时作用。从 TP 和 TN 的评分来看, 枯水期水质富营养水平南部 > 中部 > 北部, 底层水体 > 表层水体 > 中层水体; 丰水期则表现为北部 > 南部 > 中部, 中层水体 > 底层水体 > 表层水体得特点。

通过对初步监测数据的分析认为, 星云湖已经常年处于严重富营养化状态, 其有效的治理将是一个长期而艰巨得工作。但首先可以开展的工作应从逐步控制和缩小近湖周围农田的面积入手, 减少农药化肥的使用, 提倡绿色蔬菜的种植; 其次, 在周围入湖河流处增设湿地污水处理系统, 减少生活污水及禽畜养殖污染的影响; 最后, 定期进行清淤治理、减少湖泊内源污染危害、延续湖泊自身生命周期。

参考文献 (References)

- [1] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 14-15.
WANG Sumin, DOU Hongshen. Chinese Lakes. Beijing: Chinese Academy of Science, 1998: 14-15. (in Chinese)
- [2] 王天阳, 王国祥. 昆承湖水质参数空间分布特征研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(8): 1384-1390.
WANG Tianyang, WANG Guoxiang. Spatial distribution of water quality parameters in Lake Kuncheng. Acta Scientiae Circumstantiae, 27(8): 1384-1390. (in Chinese)
- [3] 杨文花, 曹瑛杰. 浙江省长潭水库水质指标季节性变化及其相关性研究[J]. 江西农业学报, 2010(1): 148-151.
YANG Wenhua, CAO Yingjie. Studies on seasonal variation of water quality indexes of Changtan reservoir in Zhejiang Province and their correlation. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010(1): 148-151. (in Chinese)
- [4] 魏星, 易杨柳. 武汉市某小型浅水人工湖泊水质季节性变化研究[J]. 四川环境, 2008(5): 31-34.
WEI Xing, YI Yangliu. Study on seasonal change of water quality of a small adlitoral artificial lake in Wuhan. Sichuan Environment, 2008(5): 31-34. (in Chinese)
- [5] 徐伟伟. 陡河水库水质季节性变化分析及防治措施[J]. 水科学与工程, 2014(4): 70-73.
XU Weiwei. Analysis of water quality in Douhe reservoir with seasonal changes and its prevention countermeasures. Water Sciences and Engineering Technology, 2014(4): 70-73. (in Chinese)
- [6] 王君波, 彭萍, 马庆峰, 朱立平. 西藏玛旁雍错和拉昂错水深, 水质特征及现代沉积速率[J]. 湖泊科学, 2013, 25(4): 609-616.
WANG Junbo, PENG Ping, MA Qingfeng and ZHU Liping. Investigation of water depth, water quality and modern sedimentation rate in Mapam Yumco and La'ang Co, Tibet. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(4): 609-616. (in Chinese)
- [7] 任泽, 杨顺益, 汪兴中, 唐涛, 蔡庆华. 洱海流域时空变化特征[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(4): 14-20.
REN Ze, YANG Shunyi, WANG Xingzhong, TANG Tao and CAI Qinghua. Spatial and temporal variation of water quality of Erhai basin. Journal of Ecology and Rural Environment, 2011, 27(4): 14-20. (in Chinese)
- [8] 张婷, 刘静玲, 王雪梅. 白洋淀水质时空变化及影响因子评价与分析[J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 261-267.
ZHANG Ting, LIU Jingling and WANG Xuemei. Causal analysis of the spatial-temporal variation of water quality in Baiyangdian Lake. Acta Scientiae Circumstantiae, 2010, 30(2): 261-267. (in Chinese)
- [9] 杨文斌, 王国祥, 张利民, 曹昀, 潘国权. 常熟市昆承湖水质时空变异特征和环境压力分析[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 127-133.
YANG Wenbin, WANG Guoxiang, ZHANG Limin, CAO Yun and PAN Guoquan. On temporal-spatial variability of water quality and environmental stress of Kuncheng Lake in Changshu City. Journal of Natural Resources, 2007, 22(2): 127-133. (in Chinese)
- [10] 张述太, 薛俊增, 姚建良, 吴惠仙. 三峡水库大宁河库湾水环境的时空变化特征[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(2): 1-7.
ZHANG Shutai, XUE Junzeng, YAO Jianliang and WU Huixian. Temporal and spatial variation of water environment in Danning Bay of the Three Gorges Reservoir. Journal of Hydroecology, 2010, 3(2): 1-7. (in Chinese)
- [11] 王变, 陈飘雪, 韦绪好, 孙庆业. 淮河流域焦岗湖水质参数时空变化及影响[J]. 湖泊科学, 2016, 28(3): 520-527.

- WANG Bian, CHEN PiaoXue, WEI Xuhao and SUN Qingye. Spatio-temporal variations and impact parameters of water quality in Lake Jiaogang, Huaihe Basin. *Journal of Lake Sciences*, 2016, 28(3): 520-527. (in Chinese)
- [12] 张耀华, 胡明明, 朱喜, 王震. 中国河湖水生生态系统保护和修复现状及思路[C]//中国环境科学学会. 2015 年中国环境科学学会年会论文集. 2015: 2073-2083.
ZHANG Yaohua, HU Mingming, ZHU Xi and WANG Zhen. Present situation and thought of ecological system protection and restoration of the river lake in China. Chinese Environmental Science Institute. Proceedings of the 2015 annual conference of the Chinese Environmental Science Society. 2015: 2073-2083. (in Chinese)
- [13] 张虎才. 滇池构造漏水隐患及水安全[J]. *地球科学进展*, 2016, 31(8): 849-857.
ZHANG Hucai. The potential endangers of the tectonic lake water leakage from Dianchi and water security. *Advances in Earth Science*, 2016, 31(8): 849-857. (in Chinese)
- [14] 张世涛, 冯明刚, 李荫玺. 近现代星云湖的环境变化与生态对策[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 85-87.
ZHANG Shitao, FENG Minggang and LI Yinxi. Environmental changes and ecological countermeasures of the modern and contemporary in Xingyun Lake. Beijing: Geology Press, 2007: 85-87. (in Chinese)
- [15] 张惠昌, 武秀珍. 水环境质量评价的综合评判法[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1993, 29(2): 135-141.
ZHANG Huichang, WU Xiuzhen. Comprehensive evaluation for water environment quality. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 1993, 29(2): 135-141. (in Chinese)
- [16] 卡尔夫加. 湖沼学: 内陆水生态系统[M]. 古滨河, 等, 译. 北京: 高等教育出版社, 2011: 206-253.
KALFF, J. *Limnology: Inland Water Ecosystems*. Beijing: Higher Education Press, 2011: 206-253. (in Chinese)
- [17] O'REILLY, C. M., ALIN, S. R., PLISNIER, P. D., et al. Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa. *Nature*, 2003, 424(6950): 766-768. <https://doi.org/10.1038/nature01833>
- [18] QIN, B. Q., ZHU, G. W., GAO, G., et al. A drinking water crisis in Lake Taihu, China: Linkage to climatic variability and lake management. *Environmental Management*, 2010, 45(1): 105-112. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9393-6>
- [19] 国家技术监督局. 海洋调查规范——海洋调查资料处理(中华人民共和国国家标准 GB/T 12763, 7-1991)[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992: 67-70.
National Technical Supervision Bureau. Specification for oceanographic survey—Data processing of oceanographic survey (National standard of the People's Republic of China GB/T 12763, 7-1991). Beijing: China Standard Press, 1992: 67-70. (in Chinese)
- [20] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 抚仙湖[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 82-115.
Nanjing Institute of Geology and Limnology, Chinese Academy of Science. Lake Fuxian. Beijing: Ocean Press, 1990: 82-115. (in Chinese)
- [21] JONES, J. R., KNOWLTON, M. F., OBRECHT, D. V., et al. Temperature and oxygen in Missouri reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, 2011, 27(2): 173-182. <https://doi.org/10.1080/07438141.2011.583713>
- [22] NUR, R., BATES, M. H. The effects of pH on the aluminum, iron and calcium phosphate fraction of lake sediments. *Water Research*, 1979, 13: 813-815.
- [23] 彭萍, 朱立平, 鞠建廷, Peter Frenzel, Claudia Wrozyzna. 西藏普莫雍错介形类反映的中晚全新世以来湖面波动与环境变化[J]. *气候变化研究进展*, 2012, 8(5): 334-341.
PENG Ping, ZHU Liping, JU Jianting, FRENZEL Peter and WROZYNA Claudia. Lake level fluctuations and environmental changes reflected by ostracods of Pumayum Co on Tibetan Plateau since middle-late holocene. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2012, 8(5): 334-341. (in Chinese)
- [24] 莫美仙, 张世涛, 叶许春, 陈荣彦, 宋学良, 张子雄. 云南高原湖泊滇池和星云湖 pH 值特征及其影响因素分析[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(增刊): 269-273.
MO Meixian, ZHANG Shitao, YE Xuchun, CHEN Rongyan, SONG Xueliang and ZHANG Zixiong. pH characters and influencing factors in Dianchi and Xingyun Lakes of Yunnan Plateau. *Journal of AGRO-Environment Science*, 2007, 26(z1): 269-273. (in Chinese)
- [25] 刘春光, 金相灿, 孙凌, 钟远, 戴树桂, 庄源益. pH 值对淡水藻类生长和种类变化的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(2): 294-298.
LIU Chunguang, JIN Xiangcan, SUN Ling, ZHONG Yuan, DAI Shugui and ZHUANG Yuanyi. Effects of pH on growth and species changes of algae in freshwater. *Journal of AGRO-Environment Science*, 2005, 24(2): 294-298. (in Chinese)
- [26] 祁云宽, 刘邵俊, 刘宇, 李荫玺. 星云湖藻类发展趋势及其资源化利用可行性研究[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(24): 184-186.
QI Yunkuan, LIU Shaojun, LIU Yu and LI Yinxi. Study on the development trend of algae and the feasibility of its resource utilization in Xingyun Lake. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2015, 43(24): 184-186. (in Chinese)
- [27] 裴国风, 刘国祥, 胡征宇. 云南高原湖泊沿岸带底栖藻类群落的分布[J]. *武汉植物学研究*, 2008, 26(4): 371-378.
PEI Guofeng, LIU Guoxiang and HU Zhengyu. Benthic algal communities distribution in the littoral zone of Yunnan plateau

- lakes. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2008, 26(4): 373-378. (in Chinese)
- [28] 张民, 于洋, 钱善勤, 李大命, 孔繁翔. 云贵高原湖泊夏季浮游植物组成及多样性[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 829-836.
ZHANG Min, YU Yang, QIAN Shanqin, LI Daming and KONG Fanxiang. Phytoplankton community structure and biodiversity in summer Yunnan-Guizhou plateau lakes. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(6): 829-836. (in Chinese)
- [29] 吴艳龙, 李林, 代龚园, 闪锜, 吴华东, 宋立荣. 滇池水华束丝藻微囊藻演替过程及其机制[C]//中国海洋湖沼学会藻类学分会. 中国藻类学会第八次会员代表大会暨第十六次学术讨论会论文摘要集. 2011: 315.
WU Yanlong, LI Lin, DAI Gongyuan, SHAN Kun, WU Huadong and SONG Lirong. The succession process and its mechanism between *Aphanizomenon flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa* in Dianchi Lake. *Phycology branch of China marine lacustrine bog institute. The 8th representative assemblies at the Chinese academy of algae and 16th seminar abstract set*. 2011: 315. (in Chinese)
- [30] 吴艳龙, 郑凌凌, 李林, 殷大聪, 代龚园, 宋立荣. 滇池水华束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)对低氮的生理响应[J]. 湖泊科学, 2014, 26(1): 131-136.
WU Yanlong, ZHENG Lingling, LI Lin, YIN Dacong, DAI Gongyuan and SONG Lirong. Physiological response to low nitrogen level in *Aphanizomenon flos-aquae* from Lake Dianchi. *Journal of Lake Sciences*, 2014, 26(1): 131-136. (in Chinese)
<https://doi.org/10.18307/2014.0116>
- [31] 胡智泉, 刘永定, 何光源. 微囊藻毒素对滇池水华束丝藻的溶藻效应研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(9): 128-131.
HU Zhiquan, LIU Yongding and HE Guangyuan. Algae-lytic effect of microcystin-RR on *Aphanizomenon flos-aquae* isolated from Dian Lake. *Journal Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition)*, 2005, 33(9): 128-131. (in Chinese)
- [32] 刘邵俊, 艾德平, 祁云宽, 刘宇, 刘红, 李荫玺. 星云湖藻量昼夜变化节律及垂直分布初步研究[J]. 环境科学导刊, 2015, 34(5): 1-4.
LIU Shaojun, AI Deping, QI Yunkuan, LIU Yu, LIU Hong and LI Yinxi. Preliminary study on diurnal rhythm and vertical distribution of the algae biomass in Xingyun Lake. *Environmental Sciences Survey*, 2015, 34(5): 1-4. (in Chinese).