

Characteristics and Changes of Water Quality Parameters of Qinghai Lake in 2015

Rongxin Bi¹, Hucai Zhang^{1*}, Huayong Li¹, Fengqin Chang¹, Lizeng Duan¹, Yubang He², Hu Zhang¹, Xinyu Wen¹, Yu Zhou¹

¹Yunnan Provincial Key Laboratory of Geographical Process and Environmental Change on the Plateau, Key Laboratory of Plateau Lake Ecology & Global Change, College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

²Qinghai Lake National Nature Reserve Bureau, Xining Qinghai

Email: 584312565@qq.com, *zhanghc@niglas.ac.cn

Received: Nov. 21st, 2017; accepted: Dec. 1st, 2017; published: Dec. 8th, 2017

Abstract

The water temperature, dissolved oxygen, pH, chlorophyll-a concentration and turbidity vertical profile monitoring were carried out at Qinghai Lake during September 22-24, 2015. At the same time, physical and chemical status of Qinghai Lake and lake nutrition status were analyzed by the experimental determination of total phosphorus and total nitrogen content, and nutrient salt determination through collecting water samples, compared with the data from Qinghai Lake Management Bureau. The results showed that there were some differences in physical and chemical parameters and nutritional degree of each point, and due to wind and lake disturbance, there is a weak stratification phenomenon at the center of the lake; the dissolved oxygen concentration at the center of lake is lower, and the dissolved oxygen stratification is affected by the temperature stratification; Qinghai Lake's high salinity and high hydronium concentration control its pH and have a greater impact on the dissolved oxygen concentration and turbidity. The release of sediment caused by temperature and lake water circulation makes phytoplankton concentrate in the middle and low water, so that submerged plants have better growth conditions. The nutrient level of Qinghai Lake is not high, but the concentration of total phosphorus has a tendency to increase. Exogenous input is the main reason that affects the degree of lake nutrition. The intensification of human activities makes the Qinghai Lake have the danger of deterioration of water quality.

Keywords

Qinghai Lake, Water Temperature, Dissolved Oxygen, pH, Chlorophyll a, Nutritional Degree, Human Activities

青海湖2015年水质参数特征及其变化

毕荣鑫¹, 张虎才^{1*}, 李华勇¹, 常凤琴¹, 段立曾¹, 何玉邦², 张 虎¹, 文新宇¹, 周 瑜¹

作者简介: 毕荣鑫(1992-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事湖泊沉积与环境变化研究。

*通讯作者。

文章引用: 毕荣鑫, 张虎才, 李华勇, 常凤琴, 段立曾, 何玉邦, 张 虎, 文新宇, 周瑜. 青海湖 2015 年水质参数特征及其变化[J]. 水资源研究, 2018, 7(1): 74-83. DOI: 10.12677/jwrr.2018.71009

¹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实验室, 云南省高原地理过程与环境变化重点实验室, 云南 昆明

²青海湖国家级自然保护区管理局, 青海 西宁

Email: 584312565@qq.com, *zhanghc@niglas.ac.cn

收稿日期: 2017年11月21日; 录用日期: 2017年12月1日; 发布日期: 2017年12月8日

摘要

通过对2015年9月22~24日在青海湖进行水温、溶解氧、pH、叶绿素a浓度、浊度垂直剖面监测, 同时采集湖水样通过实验测定湖水总磷、总氮含量, 采集各入湖河流进行营养盐测定, 结合青海湖管理局提供的数据进行对比, 分析了青海湖水体理化状况及湖水营养状况。结果显示, 各监测区域水体理化参数、营养化程度存在一定差异, 受风力及湖流扰动影响, 湖心处存在较弱的分层现象; 湖心处溶解氧浓度较低, 受温度分层影响出现溶解氧分层现象; 青海湖高盐度、高离子浓度是控制其pH并对溶解氧浓度及浊度等产生较大影响的主要因素, 温度及湖泊水循环引起的底泥释放使得浮游植物多集中在中下层水体, 沉水植物具有较好的生长条件。青海湖水体营养水平不高, 但总磷浓度在局部有不断增加的趋势, 外源输入是影响湖泊营养化程度的主要原因。人类活动的加剧, 使青海湖水质存在恶化的风险。

关键词

青海湖, 水温, 溶解氧, pH, 叶绿素a, 浊度, 营养程度, 人类活动

Copyright © 2018 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

湖泊是一个相对独立的自然有机体, 它的发展变化与大气圈、岩石圈、生物圈和陆地水圈密切相关, 对于自然过程的变化有敏感响应, 是气候、环境及其生物发生变化和演变信息的良好载体[1]。湖泊水体理化参数以及营养盐特征, 是气候变化、人类活动以及流域内土壤沉积特征等相互作用的结果, 也是评价水质水环境的重要指标。

湖水的温度分布决定了湖泊分层与混合的状态。湖水的温度是湖水的重要物理属性之一, 它反映湖泊的热学状况, 制约着湖泊的生物化学过程[2]。湖水理化参数的特征及变化, 直接反映了流域特定的环境下, 温度对湖泊水体水质变化的影响。王斌等对天山天池监测得出: 天山天池水体受水温分层影响, 水体溶解氧浓度、电导率、pH值、叶绿素a浓度和蓝绿藻细胞密度在水体中也出现明显的分层现象[3]。黄磊等[4]针对纳木错水温变化及热力学分层进行深入研究, 发现纳木错为典型双季对流、完全混合型湖泊, 不同湖盆形状及水深分布是造成其中部与东部两个湖盆热力学特征差异的主要原因。赵雪枫[5]、文新宇[6]等对泸沽湖温度分层季节变化及其环境效应的研究, 其结果揭示了泸沽湖季节变化的过程。以往对水质参数及变化规律的研究, 主要集中于青藏高原、云贵高原及长江流域等地区的淡水湖泊及水库。相较于淡水湖泊, 咸水湖受水体溶解盐浓度、湖泊水体循环等差异的影响, 水质理化参数的特征及变化规律与淡水湖不尽相同。针对咸水湖泊水质参数的资料积累及数据资料的分析解译明显不足, 亟待加强观测和分析研究。

青海湖是我国最大的内陆半咸水湖, 是维系青藏高原北部生态安全的重要水体[7], 是控制西部荒漠风沙向

东蔓延的天然屏障。因为独特的高原、水文、气候等环境条件,加之流域内没有修建拦水、引水工程,因此青海湖流域的水文过程、特征以及湖泊水量和水位变化在半干旱区的流域中具有很好的区域代表性[8]。对青海湖的研究主要针对于其水量变化[9] [10] [11]、沉积物特征[12] [13] [14] [15]、地质构造[16]、以及生态环境保护[7] [17]、流域土地利用[18]、环境演化[19]-[24]、水化学特征[25] [26] [27]、浮游植物分布[28]、营养盐状况[29] [30]等方面,但通过多监测点水质分析,对青海湖水体循环特征、水质变化的原因讨论及报道相对较少。本文通过 2015 年 9 月实测水质参数的分布特征,结合不同时期的数据,讨论青海湖水体动力特征及营养状况,并分析营养物质来源、讨论水体营养变化和水位变化的影响因素及意义。

2. 研究区域概况

青海湖位于青藏高原东北部青海湖盆地,湖区介于东经 99°30'~100°50',北纬 36°15'~38°20'。湖泊面积 4400 km²,流域面积 29,660 km² [12],是我国面积最大的内陆咸水湖[31]。湖泊西宽东窄,东西最长 106 km,南北最宽 63 km,最窄处约 20 km,湖周长 360 km,水容量 7.39×10^{10} m³,2013 年 8 月实测湖水最大水深 31.4 m (对应湖面海拔高度 3198 m)。

青海湖地处东亚季风区、西北部干旱区和青藏高原高寒区的交汇地带,其气候类型为半干旱的温带大陆性气候。气温偏低,寒冷期长,年平均气温在-1.0℃~1.5℃之间[32]。四季多风,风力强劲,日照充足,太阳辐射强,降水稀少,年降水量平均值在 300~500 mm 之间,降水集中于每年 6~9 月,约占全年降雨量 70%。常年蒸发量大,达 1300~2000 mm。青海湖入湖河流大小约 50 条,多为季节性河流,集中在湖泊西、北部,呈明显不对称分布。主要河流有布哈河、沙柳河、泉吉河、哈尔盖河、甘孜河、黑马河等,其中以布哈河最大,约占入湖径流总量的 60% [32]。

3. 监测点选择及采样方法

3.1. 监测、采样点选择

本次测量在靠近湖心岛屿及渔场共 5 个工作点进行实地监测,分别位于海心山(A 点、B 点)、三块石(C)、二郎剑(D 点、E 点)附近。在海心山处(A 点)、二郎剑(D 点)、靠码头点(点 1)、三块石(点 2)四个点以 1 m 为间隔采集水柱,并在布哈河、沙流河、泉吉河、哈尔盖河、莱挤河、黑马河等入湖河流采集河水样共 27 个,低温保存带回实验室,通过分光光度计法测定其氮磷含量。同时,结合青海湖管理局提供的 2011 年 5 月、8 月,2012 年 6 月、8 月青海湖及其子湖、入湖河流共计 25 个湖水表层水化学数据进行对比分析。

3.2. 采样及分析方法

本文所涉及的主要水质监测工作 2015 年 9 月 22 日~9 月 24 日在青海湖开展。采样点由手持 GPS 确定(图 1)。运用美国维赛 YSI6600V 多参数水质监测仪在监测点以 1 m 为间隔测定水体中的水温、叶绿素 a、溶解氧、pH 值、浊度等水质参数,每次检测前对仪器进行交叉校正,保证数据可靠性。数据处理采用 Excel2007、ArcGIS 和 Grapher 等软件进行统计分析处理。同时采得水样低温保存,带回云南师范大学高原湖泊生态与全球变化实验室,通过分光光度计法测定水体中总氮、总磷含量,用于分析湖泊营养状况。气象数据的来源用逐月气象数据求算研究区的逐年平均气温、年平均降水量。

4. 数据分析与讨论

4.1. 水质参数垂直特征

4.1.1. 温度变化特征

如图 2 所示,监测时段内,青海湖各监测区域水体温度处于 8℃~14℃之间,存在一定空间差异性,具体表

现为海心山处 A、B 两点温度较低，三块石处 C 点及二郎剑处 D、E 两点较高的特点。不同湖区水体垂直方向上温度变化也存在差异。海心山处 A 点表层水温约 12.3℃，上层水体水温虽深度变化不大，稳定在 12℃左右，水深超过 13 m 后水温迅速降低，在水深 15 m 以下水温稳定在 8℃；B 点水温变化趋势与 A 点相类似，表层水体水温为 13℃，水深超过 10 m 后水温出现明显下降，水深超过 14 m 后水温恒定。三块石处 C 点以及二郎剑处的 D、E 两点水温相对略高，水温随深度没有明显变化，整体水温处于 13℃~14℃。

4.1.2. 溶解氧(DO)变化特征

整体而言，监测时段内，青海湖各点溶解氧浓度均处于较低水平，各监测区域溶解氧浓度存在一定差异。二郎剑处 D、E 两点溶解氧浓度相对较高，而位于海心山处的 A、B 两点溶解氧水平低于其他监测点。垂直方向上，二郎剑处及三块石处溶解氧浓度随水深变化不明显，仅在底层水体略有下降。海心山处 A、B 两点溶解氧浓度随深度变化与温度相类似，A 点表层水体溶解氧浓度为 6.7 mg/L，水深超过 13 m 后溶解氧浓度迅速下降，底层水体溶解氧浓度远低于表层水体。B 点表层水体溶解氧浓度为 6.6 mg/L，水深超过 10 m 后溶解氧浓度大幅下降。海心山处两点底层水体溶解氧浓度为 3.7 mg/L。

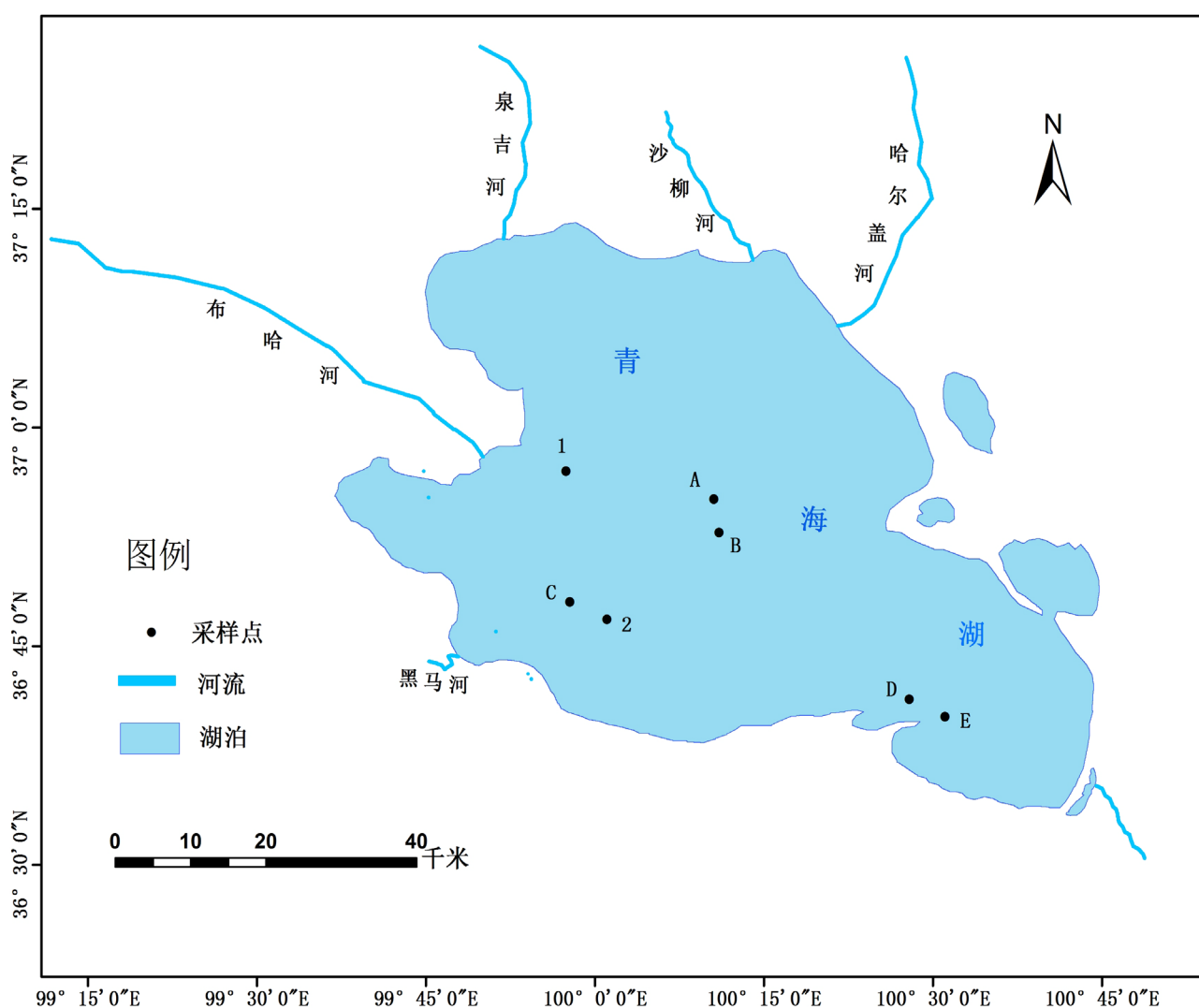


Figure 1. Location and sampling sites at Qinghai Lake

图 1. 青海湖位置及采样点

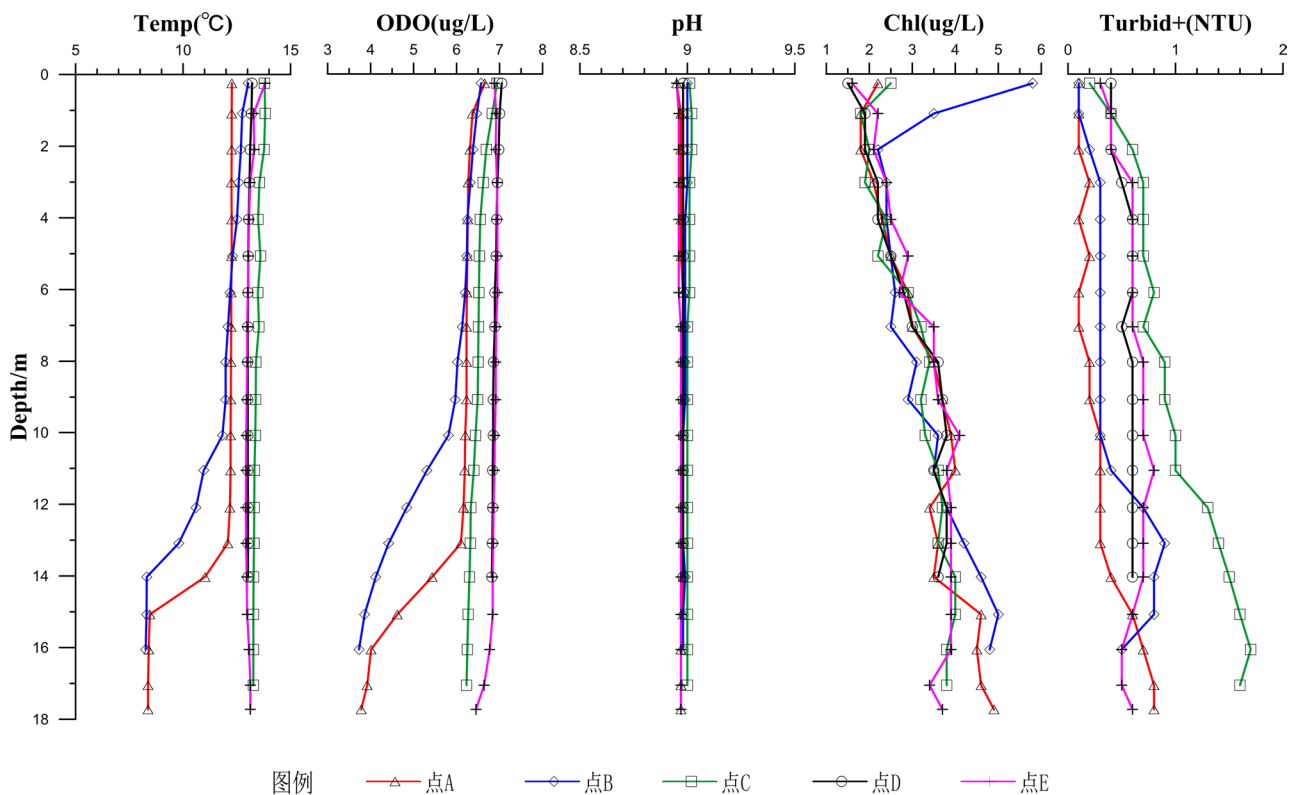


Figure 2. Vertical variations of water quality parameters
图 2. 水质参数垂直分布特征

4.1.3. pH 变化特征

青海湖水体 pH 较高且稳定，监测时间内，监测区域 pH 值在 8.95~9.03 之间，各点差异不大，垂直方向上随深度增加 pH 没有明显变化。青海湖管理局提供的水化学数据表明，青海湖水体 pH 虽然存在季节性波动，枯水季较高，各点均值约为 9.28；丰水季相对较低，约在 8.95 左右。但整体而言，监测时段内 pH 均处于较高状态。同时发现，尽管各监测点水体 pH 差异不大，但湖滨处(特别是河流入湖口)水体 pH 依然略低于其他监测点。

4.1.4. 叶绿素 a (Chl-a)浓度分布特征

叶绿素 a (Chl-a)是浮游植物生物体的组成成分的一个指标，由于湖水和生物本身的动态特征，在实测数据和实验室静态分析结果之间往往存在差别，其原因是容易理解的。大量实测数据表明，利用 YSI 进行系统实测叶绿素数据，还是可以提供平面和垂直方面相对量的变化，提供有意义的参考值。青海湖水体叶绿素 a 浓度相对较低，监测区域内叶绿素 a 浓度范围为 1.6 μg/L~4.8 μg/L，各点叶绿素 a 浓度差异不大(三块石处 C 点略高)且变化趋势也基本一致，从表层到底层水体叶绿素 a 浓度呈增高趋势，多在中下层水体出现较大值。

4.1.5. 浊度(Turbid+)变化特征

浊度是表征水体浑浊程度的物理量，青海湖水体整体浊度较低，监测湖区各点浊度范围为 0.1~1.7 NTU 之间，垂直方向上均表现为随深度增加，浊度增大的变化特征，与叶绿素 a 变化趋势相类似，三块石处(点 C)浊度相对较大，海心山处(点 A、点 B)较低但随深度增加变化幅度较大。

4.1.6. 总氮(TN)、总磷(TP)状况

针对所采集的全部水样通过实验所得到的湖水及河水氮磷浓度，对湖水各采样点所有水样的实验结果求平均值作为该点浓度值，并对所有河水样求平均值作为河水氮磷浓度水平，如表 1 所示。

根据实验结果可以得出, 青海湖各测点水体富营养化程度不高, 水体依然保持较低的营养化水平。但各监测点营养盐浓度存在较大差异, 湖泊水体 TN 浓度范围为 0.53~0.91 mg/L, 各点之间大小关系为海心山 > 二郎剑 > 码头 > 三块石, TP 浓度范围为 0.022~0.040 mg/L, 各点大小关系则为二郎剑 > 海心山 > 码头 > 三块石。而入湖河流氮磷浓度分别达到 1.65 mg/L 和 0.23 mg/L, 远高于湖泊水体。根据青海湖管理局所提供的数据, 得青海湖湖水及入湖河流水体表层样总氮、总磷数据, 如表 2。

从表 2 可以看出, 11 年、12 年监测时段内青海湖表层水体 TN、TP 处于较低水平, 且进入丰水期后营养盐浓度会有所上升, 入湖河流氮磷浓度同时期远高于湖泊水体。

对比 2011、2012 年数据可以得出, 青海湖水体在 2012~2015 年间总氮浓度略有上升, 整体而言变化不大, 但总磷浓度增加明显, 就平均值而言, 2015 年青海湖水体总磷浓度是 2011、2012 年的 2 倍多, 青海湖水体营养化有加重的趋势。

4.2. 结果讨论

青海湖作为青藏高原的重要组成部分, 属全球变化敏感地区和生态系统典型脆弱地区[7]。青海湖属高原咸水湖, 主要特点表现在湖水年平均水温低、矿化度高、营养物质相对贫乏[17]。青海湖流域没有大规模的农业面源污染。流域土地类型主要以草地为主, 耕地面积占区域面积的 1.47%, 主要分布于黑马河乡、江西沟乡、青海湖农场、倒淌河镇、伊克乌兰乡、泉吉乡[18]。青海湖水体理化参数受人类活动直接影响相对较小, 更多以入湖河流注入改变湖泊水体理化参数。

青海湖位于我国东南季风区、西北干旱区和西藏高寒区交汇处。季节变化外, 水体温度变化主要受风力扰

Table 1. Nitrogen, phosphorus mass concentrations at Qinghai Lake and some anabranches

表 1. 青海湖及入湖河流氮、磷浓度

采样点	单位: mg/L	
	TN	TP
1 (近码头处共 21 个水样值平均)	0.654	0.035
2 (三块石共 19 个水样值平均)	0.533	0.022
A (海心山共 20 个水样值平均)	0.902	0.039
D (二郎剑共 21 个水样值平均)	0.851	0.040
平均值(共 81 个湖水样值平均)	0.735	0.034
河水样(共 27 个样品平均值)	1.651	0.230

Table 2. Nitrogen and phosphorus mass concentrations at Qinghai Lake and some anabranches

表 2. 青海湖及入湖河流氮和磷浓度

采样时间 年-月	单位: mg/L			
	湖水样(共 17 个)		河水样(共 5 个)	
	TN	TP	TN	TP
2011-5	0.53	0.011	1.52	0.101
2011-8	0.83	0.018	1.95	0.239
2012-6	0.52	0.015	1.42	0.085
2012-8	0.76	0.020	1.77	0.163
平均值	0.66	0.016	1.67	0.147

动及水体混合。监测时段内,青海湖流域气候受西北高压气团控制,风向以西、北风向为主。顺着风向上湖滨所受风力扰动大于湖心处,因而靠近东南湖滨二郎剑处的 D 点、E 点垂直方向上温度差异最小。三块石处 C 点靠南部湖滨较近,风力扰动以及湖浪作用大于湖心处,垂直向热量传递也较为均匀,水温虽存在随深度增加降低情况但不明显。海心山处 A、B 点位于湖中心位置,表层水温变化更易引起湖面气流变化而使热量不易于向下传递,风浪的扰动混合作用较弱,水体出现弱分层现象,基本在水深约 10~13 m 处进入温跃层,温跃层厚度约 3~4 m,水温在温跃层迅速下降,恒温层水温约为 8℃。

溶解氧是对湖泊生态系统具有重要影响的关键性因素,是水体能否保持生态平衡的重要指标,与其他参数相比,溶解氧更能反映水生生态系统中的新陈代谢情况[33]。水体中的溶解氧主要来自水生植物的光合作用,其次是空气的溶氧。上层水体浮游植物光合作用以及水-气界面氧交换导致上层水体溶解氧含量升高。气压的变化也会导致氧气的溶解度高低变化。溶解氧浓度与温度、盐度成反比,水体波动性强会促进水气交换,使溶解氧浓度上升。青海湖是我国最大咸水湖,含盐量高,因而溶解氧处于较低水平。高盐度是监测区域内青海湖水体溶解氧水平较低的主要原因。监测时段内风浪的扰动作用促进了水体的交换与混合,风力作用影响较大的湖滨区 D、E 两点以及距湖滨相对较近的 C 点溶解氧浓度较高且水体混合较好。湖心处由于高盐度的抑制、风力作用影响较小,出现同温度分层相似的分层现象,一方面是风力、湖浪扰动作用不明显,另一方面温跃层阻碍了水体的混合,使湖心处溶解氧浓度较低,在恒温层出现厌氧环境。

淡水湖泊中水生植物光合作用及有机物的分解下的 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{CO}_3\text{-HCO}_3^- \text{-CO}_3^{2-}$ 平衡过程是决定湖泊 pH 变化的主要因素。对于咸水湖而言,水生生物活动及有机物的分解在一定程度上对湖泊 pH 值产生影响,这是造成青海湖自然保护区管理局所提供数据中 pH 存在季节性差异的原因之一;另一方面,咸水湖泊中溶解盐各离子之间的化学作用是影响水体 pH 变化的主要原因。青海湖湖水已为 CaCO_3 饱和[19],湖水主要阴阳离子分别为 Cl^- 和 Na^+ ,各溶解盐离子与水之间的电离-水解作用、特别是饱和溶解盐与其他离子的作用在一定程度上改变了不同离子的浓度分布,对水体 pH 产生决定性影响。监测区域内青海湖水体 pH 值变化范围为 8.95~9.03,水质呈碱性。与太湖、鄱阳湖、巢湖相比,其 pH 相对较高,已达到国家水质标准 V 级标准[25]。过高的 pH 会促进底泥中 P 的释放,给水质带来不利的影响;同时改变浮游植物适宜的生活环境,对水体浮游植物的种属变化产生一定作用。

叶绿素 a 是浮游植物生物体的重要组成成分之一,在淡水湖泊中,影响 Chl-a 含量因素众多,如气象条件、水动力条件及营养盐等[34]。对于咸水湖泊而言,高盐度会在一定程度上抑制浮游植物生长,以及较低的营养化程度,青海湖叶绿素 a 浓度处于较低水平。各点叶绿素 a 浓度随深度增加呈上升趋势。青海湖水体透明度高,浊度远低于其他湖泊,水温较低,沉水植物具有较高的生存条件,水温是抑制藻类生长的重要因素,也是上层水体叶绿素 a 浓度较低的原因之一。另一方面,青海湖受底层水湍流影响,扰动底泥的释放,营养盐的释放一定程度上促进了浮游植物的生长,使底层水体叶绿素 a 浓度升高。姚维志[28]等通过对青海湖夏季浮游植物研究得出,硅藻门是青海湖浮游植物优势种群,青海湖硅藻群属处于贫营养型硅藻浮游植物群与富营养型硅藻群属之间,为过渡型硅藻群属。综合青海湖水体营养盐浓度分析,青海湖营养型为中营养型湖泊,这与杨建新等[26]研究所得结论相一致。

水中含有悬浮及胶体状态的颗粒,会导致水体产生浑浊的现象。对青海湖而言,高盐度与高离子浓度使得水体中的胶体悬浮颗粒易于吸附自由移动的离子生成络合物而沉降,从而使得青海湖水体浊度较低,透明度较高。各监测点水体浊度变化表现为随水深增加而增加。青海湖封闭的湖盆及较大的风浪作用,决定了湖泊水循环扰动模式,底层水湍流作用明显。络合物的沉降与底层水湍流扰动引起底泥释放是主要原因。

水体中氮、磷的浓度,一方面直接影响湖水中的溶解氧浓度、湖水水环境容量、湖水自净能力;另一方面氮、磷浓度变化直接反映了人类活动的干扰程度、补给水水质情况以及外部环境和内释源对湖水的干扰程度[19]。从采样点数据来看,青海湖总氮、总磷浓度水平尚不高,但有着逐渐增长的趋势,各点氮磷比均大于

16:1, 磷是藻类生长的制约因素。二郎剑靠近渔场附近, 海心山岛屿旅游开发程度较高, 人类生产生活对青海湖水体营养程度变化产生较为明显的影响。同时, 入湖河流营养盐含量与湖泊水体差异较大, 从监测实验数据来看, 各入湖河流水样中氮磷浓度均高于湖泊水体, 表明入湖河流携带流域内人类活动产生的污染物及营养盐进入湖泊是影响湖泊水体营养化程度的主要原因, 结合 2011、2012 年水化学数据来看, 在主要河流入湖处湖区营养盐浓度远高于湖泊其他区域, 这进一步说明青海湖水体营养盐浓度变化主要受外源输入的影响。尽管 2012~2015 年间总氮变化不大, 但磷浓度有较大增加, 入湖河流的氮磷状况也是如此, 可见青海湖水体水质在向不利于湖泊良性循环的方向发展, 青海湖水质有着恶化的风险。严刚等[29] [30]对青海湖水质研究得出, 水温是影响湖水藻类和氮转化的主要因素, 并由此推断 8 月和 9 月湖水水温有利于氮的转化, 湖水中磷的主要形态不是可溶性磷, pH 对磷的存在形态有很大影响, 湖水磷的外源输入主要是入湖河流径流带入的土壤悬浮物。同时指出, 雨季径流的增大携带营养盐进入湖水高于湖水自身转化能力, 使得湖水营养盐不断积累, 从而对湖水水质产生影响。

中国科学院出版的《青海湖近代环境的演化和预测》一书中指出, 青海湖是更新世构造运动的结果。青海湖的水位波动与湖泊面积变化, 受青藏高原隆起、构造运动及气候变化的影响, 经历了多次水位下降、湖泊退缩-水位回升, 湖泊面积扩大的波动过[19]。张倩等[14]研究表明, 青海湖区近 800 a 来, 湖泊水体经历了 6 次相对冷暖干湿的波动变化, 近百年来基本处于干旱环境, 而近 30 a 尤甚。韩元红等[15]也证实, 青海湖目前整体处于湖退期, 尽管有的年份水位略微上升, 湖水水位整体还是以下降为主, 河流作用明显减弱。青海湖水补给主要是河水, 其次是湖底的泉水和降水。流域气候干燥, 常年多风, 蒸发量较大, 蒸发是流域内水量的主要损失途径[10]。近年来, 人类活动也在愈来愈大的程度上影响着青海湖周围生态环境, 环青海湖地区土地沙化和草地退化日趋严重, 对青海湖湖退及周围水系水量减少, 及湖泊东西岸沙丘的发展有着一定的作用[15]。在青海湖缩小过程中, 尕海、耳海、新尕海等子湖相继脱离母体[16]。敏感性实验表明, 气候变化仍是影响青海湖水位变化的主要因素。流域气候变化趋势分析表明未来 30 年湖泊水量有增加的可能。这对青海湖区生态环境的改善具有重要意义[9]。而近几年的监测数据也指出, 青海湖在近几年水位持续上涨, 湖泊蓄水量增加。因而对青海湖而言, 湖泊水量变化主要受气候因素控制, 人类活动对湖泊水位也产生一定影响, 同时, 湖泊生态功能的变化与营养化水平则更多受人为因素作用。青海湖水体维护与水质保护, 需要大家共同的努力。

5. 结论

青海湖独特的地理位置和气候条件, 以及内陆咸水湖盐度高、扰动强等因素, 进入丰水期, 湖泊各监测点水体理化特征具有明显的差异性。温度出现湖心处弱分层而湖滨不分层现象, 受风力扰动与湖水波动差异, 溶解氧在各点垂直分布规律与温度相类似, 这一时期风力扰动和湖水波动的作用是影响水体热力学状况的主要因素, 并对溶解氧产生一定影响。较高的盐度是控制水体理化性质的主要原因之一, 受高盐度影响, 青海湖水体溶解氧水平较低, 水体 pH 较高, 达 9.0 以上, 在监测各点 pH 值不存在明显差异, 过高的 pH 对底泥的扩散起到促进作用, 青海湖溶解态离子及颗粒之间的络合沉淀作用使悬浮胶体颗粒易于沉淀, 水体浊度整体较低, 透明度高, 为沉水植物生长提供了有利条件, 浮游植物也更多出现在底层水体。底层水体湍流易引起底泥释放, 底泥释放是影响青海湖 TP 的原因之一, 磷是青海湖藻类生长的制约因素, 近几年青海湖水体磷浓度出现了较大程度的增高, 水体营养化程度有一定的上升, 水质有向着不利于湖泊良性循环的方向发展的趋势。各监测点理化差异与风力、湍流的作用说明该时期湖泊处于半混合状态。青海湖入湖河流营养盐浓度远高于湖泊水体, 外源污染是青海湖水质变化的主要影响因子。人类活动强度的加剧和污染排放的增加, 是造成青海湖水质下降的主要原因。尽管就目前而言, 人类活动尚不是影响湖泊水位变化的主要因素, 但青海湖湖泊水量与水质的变化, 关系到我国西北干旱地区整体的环境状况与当地人民生活生产条件, 因此需要人们更多的关注与保护行动。

基金项目

云南省领军人才项目“云贵高原湖泊演化与水安全”(2015HA024)和高端人才引进项目“云南(云贵高原)湖泊记录与生态环境及可持续发展研究”(2010CI111)。

参考文献 (References)

- [1] 史正涛, 明庆忠, 张虎才. 云南高原典型湖泊现代过程及环境演变研究进展[J]. 云南地理环境研究, 2005, 17(1): 24-26.
SHI Zhengtao, MING Qingzhong and ZHANG Hucui. A study review on the modern processes and environmental evolution of the typical lakes in YUNNAN. YUNNAN Geographic Environment Research, 2005, 17(1): 24-26. (in Chinese)
- [2] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 21-384.
WANG Suming, DOU Hongshen. Lakes of China. Beijing: Science Press, 1998: 21-384. (in Chinese)
- [3] 王斌, 马健, 王银亚, 等. 天山天池水体季节性分层特征[J]. 湖泊科学, 2015, 27(6): 1997-1204.
WANG Bin, MA Jian, WANG Yinya, et al. Seasonal characteristics of thermal stratification in Lake Tianchi of Tianshan Mountains. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(6): 1997-1204. (in Chinese)
- [4] 黄磊, 王君波, 朱立平, 等. 纳木错水温变化及热力学分层特征初步研究[J]. 湖泊科学, 2015, 27(4): 711-718.
HUANG Lei, WANG Junbo, ZHU Liping, et al. Water temperature and characteristics of thermal stratification in Nam Co, Tibet. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(4): 711-718. (in Chinese)
- [5] 赵雪枫. 泸沽湖温度分层季节变化及其环境效应[D]. 广州: 暨南大学, 2014.
ZHAO Xuefeng. Seasonal variations of thermal stratification and its environmental effects in Lake Lugu. Guangzhou: Jinan University, 2014. (in Chinese)
- [6] 文新宇, 张虎才, 常凤琴, 等. 泸沽湖水体垂直断面季节性分层[J]. 地球科学进展, 2016, 31(8): 858-869.
WEN Xinyu, ZHANG Hucui, CHANG Fengqin, et al. Seasonal stratification characteristics of vertical profiles of water body in Lake Lugu. Advances in Earth Science, 2016, 31(8): 858-869. (in Chinese)
- [7] 卞敬玲. 青海湖地区生态环境保护 and 治理研究[J]. 水利水电快报, 2002, 23(24): 27-28.
BIAN Jingling. Study on ecological environment protection and harnessing in Qinghai Lake area. Express Water Resources & Hydropower Information, 2002, 23(24): 27-28. (in Chinese)
- [8] 金章东, 石岳威, 张飞, 等. 青海湖流域浅层地下水补给来源及其水位变化[J]. 地球环境学报, 2010, 1(3): 169-174.
JING Zhangdong, SHI Yuewei, ZHANG Fei, et al. Recharge and level change of shallow groundwater within the Lake Qinghai catchment. Journal of Earth Environment, 2010, 1(3): 169-174. (in Chinese)
- [9] 舒卫先, 李世杰, 等. 青海湖水量变化模拟及原因分析[J]. 干旱区地理, 2008, 31(2): 229-236.
SHU Weixian, LI Shijie, et al. Simulation of water change in Qinghai Lake and affecting factors. Arid Land Geography, 2008, 31(2): 229-236. (in Chinese)
- [10] 张全忠. 青海湖水位变化的探讨[J]. 中国科技博览, 2013(26): 351-353.
ZHANG Quanzhong. Discussion on change of water level in Qinghai Lake. China Science and Technology Review, 2013(26): 351-353. (in Chinese)
- [11] LI, X. Y., XU, H. Y., SUN, Y. L., et al. Lake-level change and water balance analysis at Lake Qinghai, West China during recent decades. Water Resources Management, 2007, 21(9): 1505-1516.
- [12] 刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 16 ka 以来青海湖湖相自生碳酸盐沉积记录的古气候[J]. 高校地质学报, 2003, 9(1): 38-46.
LIU Xingqi, SHEN Ji, WANG Sumin, et al. A 16000-year paleoclimatic record derived from authigenic carbonate of lacustrine sediment in Qinghai Lake. Geological Journal of China Universities, 2003, 9(1): 38-46. (in Chinese)
- [13] 金章东, 张飞, 等. 青海湖湖水性质、颗粒物沉积通量季节和年际变化——来自沉积物捕获器的研究[J]. 地球环境学报, 2013, 4(3): 1306-1313.
JIN Zhangdong, ZHANG Fei, et al. Seasonal and interannual variations of the lake water parameters and particle flux in Lake Qinghai: A time-series sediment trap study. Journal of Earth Environment, 2013, 4(3): 1306-1313. (in Chinese)
- [14] 张倩, 张宝珍. 青海湖浅层沉积物中介形虫及湖底泉华 C、O 同位素组成及其古环境意义[J]. 地球化学, 1994, 23(4): 386-391.
ZHANG Qian, ZHANG Baozhen. The C and O isotopic compositions of ostracod shell in shallow-seated sediments and sinters in bottom of Qinghai Lake and their palaeoclimatic implications. Geochimica, 1994, 23(4): 386-391. (in Chinese)
- [15] 韩元红, 李小燕, 等. 青海湖水动力特征对滨湖沉积体系的控制[J]. 沉积学报, 2015, 33(1): 97-104.
HAN Yuanhong, LI Xiaoyan, et al. Hydrodynamic control of sedimentary systems in shore zone of Qinghai Lake. Acta Sedi-mentologica Sinica, 2015, 33(1): 97-104. (in Chinese)
- [16] 边千韬, 刘嘉麒, 罗小全, 等. 青海湖的地质构造背景及形成演化[J]. 地震地质, 2000, 22(1): 20-26.

- BIAN Qiandao, LIU Jialin, LUO Xiaoquan, et al. Geotectonic setting, formation and evolution of the Qinghai Lake. *Earthquake Geology*, 2000, 22(1): 20-26. (in Chinese)
- [17] 陈桂琛, 陈孝全, 苟新京. 青海湖流域生态环境保护与修复[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2008: 38-62, 97.
CHEN Guichen, CHEN Xiaoquan and GOU Xinjing. Ecological environment protection and restoration in Qinghai Lake watershed. Xining: Qinghai People's Press, 2008: 38-62, 97. (in Chinese)
- [18] 祁佳丽, 李志强, 李飞, 等. 青海湖流域土地利用/土地覆盖变化研究[J]. 青海环境, 2013, 23(4): 197-202.
QI Jiali, LI Zhiqiang, LI Fei, et al. Research on land use/land cover change in Qinghai Lake watershed. *Journal of Qinghai Environment*, 2013, 23(4): 197-202. (in Chinese)
- [19] 中国科学院兰州分院, 中国科学院西部资源环境研究中心. 青海湖近代环境的演化和预测[M]. 兰州: 科学出版社, 1994: 10.
Lanzhou Branch Chinese Academy of Sciences, Bulletin of the Chinese Academy of Science. Evolution of recent environment in Qinghai Lake and its prediction. Lanzhou: Science Press, 1994: 10. (in Chinese)
- [20] KELTS, K. Geological fingerprints of climate history: A cooperative study of Qinghai Lake, China. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 1989, 82(1): 167-182.
- [21] LISTER, G. S., KELTS, K., ZAO, C. K., et al. Lake Qinghai, China: Closed-basin like levels and the oxygen isotope record for ostracoda since the latest pleistocene. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 1991, 84(1): 141-162.
- [22] SHEN, J., LIU, X., WANG, S., et al. Palaeoclimatic changes in the Qinghai Lake area during the last 18,000 years. *Quaternary International*, 2005, 136(1): 131-140.
- [23] LIU, X. Q., JI, S., WANG, S. M., et al. Southwest monsoon changes indicated by oxygen isotope of ostracode shells from sediments in Qinghai Lake since the late glacial. *Science Bulletin*, 2007, 52(4): 539-544.
- [24] LIU, X., COLMAN, S. M., BROWN, E. T., et al. Abrupt deglaciation on the northeastern tibetan plateau: evidence from Lake Qinghai. *Journal of Paleolimnology*, 2014, 51(2): 223-240.
- [25] 张琨, 蓝江湖, 沈振兴, 等. 2010 青海湖流域水化学分析及水质初步评价[J]. 地球环境学报, 2010, 3(1): 162-168.
ZHANG Kun, LAN Jianghu, SHEN Zhenxing, et al. The chemical composition and quality evaluation of surface water in Qinghai Lake areas. *Journal of Earth Environment*, 2010, 3(1): 162-168. (in Chinese)
- [26] 杨建新, 洪芳, 史建全, 等. 青海湖水化学特性及水质分析[J]. 淡水渔业, 2005, 35(3): 28-32.
YANG Jianxin, HONG Fang, SHI Jianquan, et al. Hydrochemistry property and water quality analysis of Qinghai Lake. *Freshwater Fisheries*, 2005, 35(3): 28-32. (in Chinese)
- [27] JIN, Z. D., YOU, C. F. and YU, J. M. Toward a geochemical mass balance of major elements in Lake Qinghai, NE tibetan plateau: A significant role of atmospheric deposition. *Applied Geochemistry*, 2009, 24(10): 1901-1907.
- [28] 姚维志, 史建全, 祁洪芳, 等. 2006-2010 年夏季青海湖浮游植物研究[J]. 淡水渔业, 2011, 41(3): 22-28.
YAO Weizhi, SHI Jianquan, QI Hongfang, et al. Study on the phytoplankton in Qinghai Lake during summer of 2006-2010. *Freshwater Fisheries*, 2011, 41(3): 22-28. (in Chinese)
- [29] 严刚, 何玉邦, 郑洁, 等. 青海湖湖水中磷的空间分布特征[J]. 人民黄河, 2015, 37(9): 69-73.
YAN Gang, HE Yubang, ZHENG Jie, et al. Spatial and temporal dynamic variation of phosphorus in water of Qinghai Lake. *Yellow River*, 2015, 37(9): 69-73. (in Chinese)
- [30] 严刚, 何玉邦, 郑洁, 等. 青海湖湖水中氮的时空变化[J]. 水电能源科学, 2015, 33(9): 49-52.
YAN Gang, HE Yubang, ZHENG Jie, et al. Spatially and temporally dynamic variation of nitrogen in Qinghai Lake. *Water Resources and Power*, 2015, 33(9): 49-52. (in Chinese)
- [31] 张忠孝. 青海地理[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2004: 106.
ZHANG Zhongxiao. Qinghai geography. Xining: Qinghai People's Press, 2004: 106. (in Chinese)
- [32] 陈学民, 韩冰, 王莉莉, 等. 青海湖总磷、水温及矿化度与叶绿素 a 相关性分析[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(2): 333-337.
CHEN Xuemin, HAN Bing, WANG Lili, et al. Analysis on the correlation between total phosphorus, water temperature, mineralization and chlorophyll-a in Qinghai Lake, China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(2): 333-337. (in Chinese)
- [33] 张云鹰, 谢曼平, 刘姗姗, 等. 抚仙湖和星云湖水水质变化趋势分析[J]. 地理科学研究, 2015, 4(3): 81-94.
ZHANG Yunying, XIE Manping, LIU Shanshan, et al. The analysis of water quality change trend for Lake Fuxian & Lake Kingyun. *Geographical Science Research*, 2015, 4(3): 81-94. (in Chinese)
- [34] 秦洁, 吴献花, 高卫国, 等. 杞麓湖叶绿素 a 与水质因子时空分布特征及相关性研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 345-348.
QIN Jie, WU Xianhua, GAO Weiguo, et al. Study on temporal and spatial distribution characteristics of Chl-a and water quality factors in Qilu Lake and their correlations. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(1): 345-348. (in Chinese)