

# 青海湖流域水化学分析及水质初步评价

张 琨<sup>1,2</sup>, 蓝江湖<sup>2</sup>, 沈振兴<sup>1,2</sup>, 徐 海<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学 环境科学与工程系, 西安 710049;

2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

**摘 要:** 为了解青海湖流域水化学的组成及水质状况, 于2009年冬季采集了青海湖湖水及流域内主要支流河水样品, 并分析了水样中的化学组成。结果表明, 青海湖水质总体较好, 但部分指标如pH、COD已达到水质V级标准。另 $\text{SO}_4^{2-}$ 和 $\text{Ca}^{2+}$ 是青海湖支流水样中最主要的阴阳离子, 而湖水中则是 $\text{Cl}^-$ 和 $\text{Na}^+$ 。溶解性有机碳(DOC)和化学需氧量(COD)表现出相似的变化趋势, 反映出青海湖流域局部水系的有机物污染比较严重。分析青海湖湖水中 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 以及河水中 $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$ 数据表明青海湖湖水化学组成主要由蒸发和结晶作用产生, 河水的化学组成则主要是由于碳酸盐的风化作用生成。

**关键词:** 青海湖; 水化学特性; 水质分析; 离子组成

**中图分类号:** X13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2010)03-0162-07

## The chemical composition and quality evaluation of surface water in Qinghai Lake areas

ZHANG Kun<sup>1,2</sup>, LAN Jiang-hu<sup>2</sup>, SHEN Zhen-xing<sup>1,2</sup>, XU Hai<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** In order to understand the chemical composition and the quality of surface water in Qinghai Lake areas, water samples in river and lake were collected in 2009. In general, the water quality of surface water in Qinghai Lake was pretty good, although pH and COD exceeded the class V of water quality standard.  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  were the main cation and anion of river water samples, while  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Na}^+$  were the main ionic species of lake water samples. The levels of DOC and COD revealed the serious organic pollution of surface water in Qinghai Lake areas, and some measurement should be taken to improve the water quality in this area. The ions composition of water between river and lake showed remarkable different, which implied that the chemical composition of the lake water was mainly decided by evaporation and crystallization, while the chemical composition of the river water was mainly decided by decomposition of carbonate.

**Key words:** Qinghai Lake; hydro chemical characteristics; water analysis; ionic composition

近年来国内对地表水、湖水的水质调查分析研究很多, 但大多数都是通过pH、COD、总氮、总磷等单一的水质指标来反映某一流域的水质变化情况。杨建新等(2005)对青海湖2002—2004年青

海湖水体指标进行了动态监测, 宏观上反映了青海湖水体指标情况, 薛武申等(2005)对长江源区水质进行了分析, 指出降水是影响当地水化学特征的基本因素, 而且地表水环境是影响江河湖水化学特

收稿日期: 2010-11-15

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAC30B01)

通讯作者: 沈振兴, E-mail: zxshen@mail.xjtu.edu.cn

征的重要因素。Xu et al (2010) 着重从青海湖水质化学的组成来源进行了分析。但是通过离子组成、溶解性有机碳等方面分析水质污染状况在国内报道鲜见。

青海湖, 古称西海, 位于青藏高原东北部, 海拔近 3200 m, 总面积达 4300 km<sup>2</sup>, 是我国最大的内陆咸水湖泊。青海湖具有高原大陆性气候, 光照充足, 日照强烈; 冬寒夏凉, 暖季短暂, 冷季漫长, 春季多大风和沙暴; 雨量偏少, 雨热同季, 干湿季分明。

近年来随着全球变暖, 青海湖流域也经历了生态和环境的退化, 例如其湖水面积逐年减少, 盐度升高, 荒漠化加剧等。本研究通过对青海湖流域的主要入湖河流以及湖水的化学组成分析, 对青海湖水质组成及来源进行了探讨, 目的是为保护青海湖的稀有资源和青海湖流域生态环境, 为开发利用青海湖以及青海湖流域综合治理提供重要的科学依据和基本资料。

## 1 样品采集与分析

### 1.1 样品采集

本研究于 2009 年 10 月 24 日至 26 日对青海湖水域以及其主要的入湖河流定点划区进行河水、湖水的表层水样(水面以下 0.5 m)采集。河水水样来自布哈河、黑马河、泉吉河、沙柳河、哈尔盖河以及周围其他的入湖河流; 湖水水样来源于沙岛景区、仙女湾景区、鸟岛景区、海心山附近水域、江西沟附近水域、青海湖渔场水域, 经纬度均现场用 GPS 准确定位。样品总数为 39 个。

使用专用的无色聚乙烯样品瓶收集表层水, 样品瓶在使用前先用蒸馏水清洗 5 次, 再用去离子水清洗 5 次, 最后用超声波超声 1 个小时, 并用离子色谱抽检保证样品瓶无污染。使用 0.45 μm 的微孔滤膜(Millipore)过滤水样后装入无色聚乙烯塑料瓶, 在 3~5℃ 的冰箱中保存, 待分析。样品的采集与保存按照《水质监测第四版》规范执行(魏复盛, 2002; 张全东, 1995)。

### 1.2 样品分析

#### (1) pH 值和电导率的测定

取部分样品用梅特勒(DELTA320) pH 仪和雷磁(DDB-303A 型)电导率仪分别测量湖水、河水的 pH 值与电导率(Electric Conductivity, EC),

所测得 pH 值与电导率均换算为 25℃ 下的值, pH 的测定采用 GB6920-86 规定的玻璃电极法。

#### (2) 水溶性无机离子的分析

本研究使用戴安公司生产的 DX-600 型离子色谱仪测量样品中的无机离子(Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Br<sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)。阳离子使用 CS12A 型分析柱、淋洗液为 20 mmol·L<sup>-1</sup> 的甲烷磺酸(MSA)溶液, 流速为 1 mL·min<sup>-1</sup>; 阴离子使用的分析柱为 AS11-HC 和 AG11-HC 保护柱及 ASRS 抑制器, 淋洗液为 25 mmol·L<sup>-1</sup> 的 KOH 溶液, 流速为 1 mL·min<sup>-1</sup>。阳离子中 Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 的最低检出限分别是 4.6 μg·L<sup>-1</sup>、4.1 μg·L<sup>-1</sup>、10.5 μg·L<sup>-1</sup>、9.1 μg·L<sup>-1</sup> 和 9.8 μg·L<sup>-1</sup>, 阴离子中 F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 和 Br<sup>-</sup> 的最低检出限均为 0.5 μg·L<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 分别是 15 μg·L<sup>-1</sup> 和 20 μg·L<sup>-1</sup>。

#### (3) 溶解性有机碳的分析

本文采用燃烧氧化-非分散红外吸收法测定水样中的溶解性有机碳。实验所使用的仪器为 ET1020A 总有机碳分析仪, 检测下限为 0.01 mg·L<sup>-1</sup>。该仪器测定样品中总碳(DC)和无机碳(DIC)的含量, 两者的差值即为样品中溶解性有机碳(DOC)含量。样品均分析三次取平均值, 相对标准偏差不超过 5%。

#### (4) 化学需氧量的分析

本文采用快速消解分光光度法, 根据国标 HJ/T399-2009(国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会编, 1989)来测定 COD: 样品中加入已知量的重铬酸钾溶液, 在强酸介质中, 以硫酸银作为催化剂, 经高温消解后, 用紫外分光光度计测定其吸光度, 最后换算成相对应的 COD 值。样品测定前, 需严格的制定标准曲线, 相关性达到 0.999。

#### (5) 质量保证与质量控制

本研究实验测定按照严格的实验室质量控制进行。pH、EC、水溶性有机碳测定时每 5 个样做一次复检, 化学需氧量的分析每 6 个样做一次复检。水溶性无机离子的相对标准偏差为 0.5%, 水溶性有机碳和化学需氧量的相对标准偏差为 5%。离子色谱的实验标准物质使用国家标准物质中心的标准溶液进行配制。样品测定结果均进行空白校正。数据质量控制采用美国沙漠所的控制标准, 每 10 个样

品中任意选取1个样品进行重复检测；每批样品使用同一标准溶液复检，每做10个样品复检一次。当样品溶液浓度为 $0.03\sim 0.1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，相对标准偏差小于 $\pm 30\%$ ；当样品浓度为 $0.1\sim 0.15\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，相对标准偏差小于 $\pm 20\%$ ；当样品溶液浓度在 $0.15\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 以上时相对标准偏差在 $\pm 10\%$ 以内。

## 2 结果与讨论

### 2.1 湖水及河水的 pH 值和电导率

水体的 pH 值是衡量水体水质的一项最常用的指标。表1示出青海湖冬季湖水 pH 值范围为 $8.9\sim 9.09$ ，平均值为 $9.05$ ；主要入湖河流 pH 值范围为 $8.41\sim 9.01$ ，平均值为 $8.56$ 。这说明青海湖流域水质呈碱性，可能与青海湖地区大气降水和表层土壤都是碱性有关。杨建新（2005）等对青海湖水质监测结果与本研究结果基本一致。各采样点湖水的 pH 大小为青海湖渔场 $>$ 鸟岛 $>$ 海心岛 $>$ 沙岛 $>$ 湖边水样 $>$ 江西沟湖边水样。河水样中 pH 大小为泉吉河 $>$ 布哈河 $>$ 黑马河 $>$ 哈尔盖河 $>$ 沙柳河。与太湖、鄱阳湖、巢湖相比，其 pH 值相对较高，已达到国家水质标准 V 级标准（高桂青等，2010；成芳等，2010；余秋梅等，2010；曾慧卿等，2003）。

电导率常用于间接推测水中带电荷物质的总浓度。海水电导率大约为 $30000\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ；清洁河水电导率为 $100\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。青海湖湖水电导率变化范围为 $3.93\times 10^3\sim 5.16\times 10^3\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ，河流水样电导率变化范围为 $320.7\sim 528.3\ \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 。这说明青海湖流域富含无机酸、碱、盐等，且青海湖湖水以及河水水质

纯度是很好的。各湖水样品中的 EC 大小为青海湖渔场 $>$ 江西沟 $>$ 湖边水样 $>$ 鸟岛 $>$ 海心岛 $>$ 沙岛，河水样的 EC 大小为黑马河 $>$ 布哈河 $>$ 泉吉河 $>$ 沙柳河 $>$ 哈尔盖河。

另表1示出青海湖河水和湖水都是碱性水质，这与青海湖地处我国北部，其大气降水和表层土壤都是碱性有关，这也与杨建新等（2005）对青海湖水质监测结果基本一致，这表明青海湖流域 pH 值水平分布以及年度变化是不大的。

### 2.2 水溶性组分化学特征

#### 2.2.1 离子浓度变化

表2示出了青海湖流域离子浓度水平。河流样中 $\text{Na}^+$ 浓度变化范围是 $8.6\sim 21.4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $15.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ； $\text{Cl}^-$ 浓度变化范围是 $5.2\sim 37.2\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $20.4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ； $\text{NO}_3^-$ 浓度变化范围是 $2.1\sim 18.8\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $7.6\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ； $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度变化范围是 $18.9\sim 56.4\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $34.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。湖水样中 $\text{Na}^+$ 浓度变化范围是 $2558.2\sim 7083.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $4921.8\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ； $\text{Cl}^-$ 浓度变化范围是 $3565.1\sim 10292.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $7231.2\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ； $\text{NO}_3^-$ 只有一个点位检出，浓度为 $44.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ； $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度变化范围是 $1432.9\sim 3785.8\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为 $2730.7\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

#### 2.2.2 水溶性无机离子变化特征分析

图1为青海湖冬季河水、湖水离子组成。河流水样中离子的顺序为， $\text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{F}^-$ 。 $\text{NH}_4^+$ 在冬季湖水、河水中

表1 青海湖冬季河水、湖水 pH、EC 比较

Table 1 Comparison of pH, EC from river and lake in winter

| 个数  |    | pH   | EC ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) |
|-----|----|------|-----------------------------------------|
| 河流样 | 17 | 平均值  | 8.6                                     |
|     |    | 最大值  | 9.0                                     |
|     |    | 最小值  | 8.4                                     |
|     |    | 中位数  | 8.5                                     |
|     |    | 标准偏差 | 0.05                                    |
| 湖水样 | 22 | 平均值  | 9.1                                     |
|     |    | 最大值  | 9.1                                     |
|     |    | 最小值  | 8.9                                     |
|     |    | 中位数  | 9.1                                     |
|     |    | 标准偏差 | 0.04                                    |

均未检出,  $\text{NO}_3^-$  仅有一个样品检测出。 $\text{Ca}^{2+}$  是最主要的阳离子, 占总离子浓度的 39.17%, 而  $\text{SO}_4^{2-}$  是最要的阴离子, 占总离子浓度的 21.97%。青海湖的主要河流均来源于附近高山雪水融化, 故其中碳酸盐、蒸发岩、硅酸盐均能产生  $\text{Ca}^{2+}$ , 导致河流中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度较高(王植尧等, 1982; 王昱等, 2010)。河流水样中的硫酸盐和氯化物都远小于生活饮用水水质标准规定的最大限值  $250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 符合饮用水标准。

与河流样相比, 湖水样中离子浓度相对较高。其离子组成浓度为  $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^- > \text{F}^- > \text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_2^-$  未检出。湖水中  $\text{Na}^+$  是最主要的阳离子, 占总离子浓度的 30.44%, 而  $\text{Cl}^-$  是最要的阴离子, 占总离子浓度的 44.73%。这与杨建新等(2005)的研究基本一致, 表明青海湖湖水离子浓度年变化差异不大。湖水中  $\text{Ca}^{2+}$  浓度最小, 这可能是由于青海湖碳酸盐的沉降作用, 导致湖水中

其含量很小(Xu et al, 2010)。强烈的湖水蒸发作用和盐类的结晶过程是青海湖湖水化学组成的主要贡献因素(Xu et al, 2010)。此外, 在流水的作用下, 土地的荒漠化以及径流汇集过程中与土壤中岩石相接触冲刷, 使部分可溶解性的碳酸氢盐溶解, 在一定程度上也可能使河流的盐分增加(Jin et al, 2010; Zhu and Yang, 2007; Zhang et al, 2003)。青海湖湖水的碱度比海水要高, 且其含盐量也较高。水质的盐碱化对水生生物和鱼类的生存及繁衍造成了一定的危险(杨建新等, 2005)。

$\text{Mg}^{2+}$  是湖水样中除  $\text{Na}^+$  外的主要阳离子, 这是因为青海湖湖水中  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  比例很高, 为 37.3~106.9, 而且  $\text{Mg}^{2+}$  浓度很大, 这就导致水溶性的石灰质镁盐的浓度很大(Jones and Deocampo, 2003; Inhaber, 1975)。

杨建新等(2005)于 2002—2004 年对硝酸盐的监测结果显示水体中硝酸盐含量呈现逐年增长趋

表 2 青海湖冬季河水、湖水离子组成比较 (单位:  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

Table 2 Comparison of ions from river and lake in winter

|             |     | $\text{Na}^+$ | $\text{K}^+$ | $\text{Mg}^{2+}$ | $\text{Ca}^{2+}$ | $\text{F}^-$ | $\text{Cl}^-$ | $\text{NO}_2^-$ | $\text{NO}_3^-$ | $\text{SO}_4^{2-}$ |
|-------------|-----|---------------|--------------|------------------|------------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| 河<br>流<br>样 | 平均值 | 15.7          | 2.5          | 14.6             | 61.7             | 0.2          | 20.4          | 0.1             | 7.6             | 34.7               |
|             | 最大值 | 21.4          | 3.9          | 20.7             | 75.9             | 0.3          | 37.2          | 0.1             | 18.8            | 56.4               |
|             | 最小值 | 8.6           | 1.7          | 11.3             | 52.4             | 0.1          | 5.2           | 0.1             | 2.1             | 18.9               |
|             | 中位数 | 17.5          | 2.3          | 14.3             | 59.4             | 0.2          | 21.2          | 0.1             | 4.9             | 33.7               |
| 湖<br>水<br>样 | 平均值 | 4921.8        | 283.6        | 894.8            | 16.5             | 44.5         | 7231.2        | n.a.            | 44.7            | 2730.7             |
|             | 最大值 | 7083.7        | 518.9        | 1238.1           | 37.6             | 81.4         | 10292.7       | n.a.            | 44.7            | 3785.8             |
|             | 最小值 | 2558.2        | 146.2        | 511.7            | 0.5              | 7.6          | 3565.1        | n.a.            | 44.7            | 1432.9             |
|             | 中位数 | 4509.5        | 224.9        | 833.2            | 16.9             | 7.6          | 6793.2        | n.a.            | 44.7            | 2543.3             |

n.a. --- 未检出

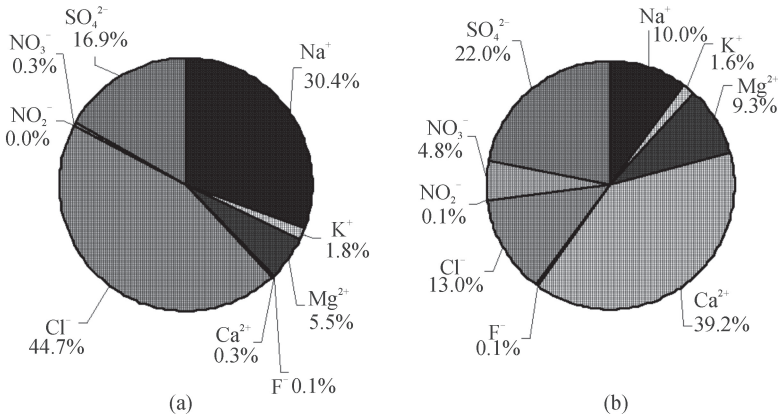


图 1 青海湖湖水 (a)、河水 (b) 离子分布

Fig.1 Percentage distribution of the ionic composition in lake water (a) and river water (b) of Qinghai Lake areas



势, 从2002年的 $2.692 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 增加到2003年的 $9.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 2002年各河流变化范围不大, 2002年最低是海心山 $2.17 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 最高为泉吉河 $3.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。2003年的变化较大, 耳海湖为 $5.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 尕海为 $13.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。而在本研究2009年最新的监测结果中海心山附近水域的硝酸盐含量已达到了 $44.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。这可能是因为海心山附近湖水污泥中有机氮较多, 通过氨化作用形成的硝态氮也就很多, 从而导致硝酸盐含量很大, 而海心山附近水域水体蓝藻多于其他点位可以佐证。从主要入湖河流的硝酸盐含量可以看出, 最大的入湖河流黑马河硝酸盐含量达到了 $17.3075 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 这已经超过了国家规定的生活饮用水地表水源中硝酸盐的最大值 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 而在其他河流中的硝酸盐含量都比较高。湖水、河水的硝酸盐含量偏高可能引起水体的富营养化, 因为水体富营养化对湖泊水质有着显著的危害(王毛兰等, 2008; 丁建华等, 2008), 第一: 它能促使湖泊老化, 造成湖泊入水口被堵塞和泥沙沉积, 使青海湖湖泊面积日益缩小; 第二: 破坏水产资源。有研究表明富营养化能使鱼类死亡, 使青海湖渔业生产受到影响。另外在青海湖湖水、河水中能够进入人体后生成致癌性的亚硝胺物质的亚硝酸盐含量很少, 只是在哈尔盖河中检出 $0.1017 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

从图2可以看出黑马河、泉吉河的 $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ 相对较高, 且Xu et al (2010)指出黑马河的 $\text{HCO}_3^{-}/\text{Na}^{+}$ 在这其中是最小的。这表明蒸发岩对于黑马河和泉吉河的影响较大, 因为蒸发岩主要是由氯化物组成, 其中的 $\text{Cl}^{-}$ 含量比其他河流大, 这可

能与黑马河的水流量大而导致其蒸发量大有关, Na等盐性离子在沿河流域结晶增多, 从而离子态的化合物减少。可以预知黑马河入湖口的盐度相较于其他河流而言也是最低的。较于黑马河, 沙柳河的水流量和蒸发也就较少, 导致该比值较小, 其入湖盐度也是最高的。

### 2.2.3 离子平衡

阴阳离子平衡是衡量离子分析数据可靠性的一个重要指标。本研究中, 若将河水、湖水共同计算离子相关性, 相关系数达 $0.998$  ( $p<0.0001$ ), 若将湖水、河水分开, 湖水仍然呈较强的相关性, 相关系数达 $0.988$  ( $p<0.0001$ ), 而河水由于本研究未计算 $\text{HCO}_3^{-}$ , 相关性为 $0.66463$  ( $p<0.00361$ )。假定缺失的离子主要为 $\text{HCO}_3^{-}$ , 可以通过离子平衡计算出入湖河水中 $\text{HCO}_3^{-}$ 浓度为 $3.7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (见图3), 这与Xu et al (2010)中所述青海湖河水中 $\text{HCO}_3^{-}$ 为 $2.87 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 基本相符。

### 2.2.4 溶解性有机碳变化特征

溶解性有机碳是全球碳循环的重要部分, 它能在一定程度上反映环境中碳的含量, 对于研究碳的平衡有着很好的启示作用。青海湖主要入湖河流的冬季水源一部分来自于附近高山上积雪的融化, 一部分来自于大气降水。其中来自于大气降水中的溶解有机碳又可以很好地揭示当地大气中溶解性有机碳的变化特征(Nives, 1999)。

表3给出了青海湖主要入湖河流有机碳含量水平, 其大小顺序为泉吉河>黑马河>哈尔盖河>布哈河>沙柳河, 范围为 $6.35\sim12.65 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均浓

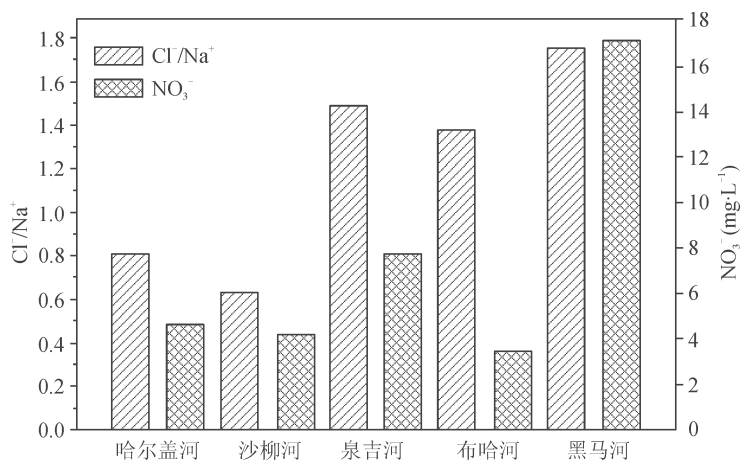


图2 青海湖主要入湖河流中 $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$ 比例及硝酸盐含量

Fig.2 Plots of  $\text{Cl}^{-}/\text{Na}^{+}$  and nitrate concentration in the main rivers in Qinghai lake areas

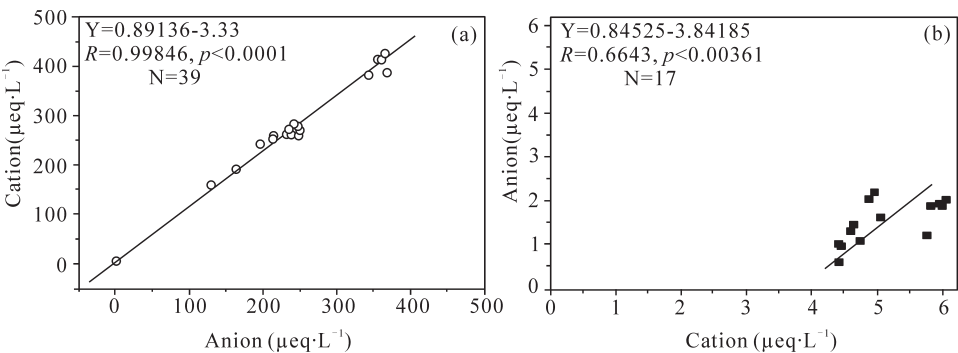


图 3 青海湖湖水 (a)、河水 (b) 阴阳离子相关性

Fig.3 Relationship of anions with cations of lake water (a) and river water (b) in Qinghai Lake

度为  $10.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。表 3 表明, 青海湖湖水 DOC 含量在  $334.26\sim 518.82\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均浓度为  $453.7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。从图中可以看出沙岛景区附近湖水水样、151 景区及青海湖渔场的 DOC 浓度比其他地点的浓度高, 这可能是由于这些地点旅游开发水平高, 人为活动污染高所造成。因为随着青海湖的逐渐开发, 旅游、科研的人逐渐增多, 而且当地主要的旅游项有游船观光, 这些游艇主要是柴油动力, 这些都导致了青海湖湖水中溶解性有机碳升高, 也表明了其有机污染物的污染成加剧的趋势。而江西沟和其他湖

边 DOC 的主要来源可能是人类活动排放的, 如交通排放源、日常生活排放源等。由于冬季当地牧民主要是采用牛粪、羊粪取暖做饭, 随着牧业的不断发展, 排放到大气中并最终随着干湿沉降进入湖水、河水的有机碳便成增多的趋势。另外, 河流周围居民的生活垃圾基本都是直接排放到这些主要的入湖河流中, 这也就导致了河流中水溶性有机碳含量增多(蒋良维等, 1994; 刘慧娟和曲文辉, 2002)。

2.2.5 化学需氧量分析

从表 3 可以看出, 主要入湖河流的 COD 值范围为  $15.1\sim 27.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均值为  $23.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 符合国家《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中的 III 类水标准; 而湖水的 COD 值范围为  $82.8\sim 163.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 平均值为  $128.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 湖水 COD 含量超过了国家地表水 V 类水标准, COD 含量超标的主要原因可能是当地牧民放牧一般都在湖边农场, 生活垃圾废水均随入湖河流排入湖中, 从而导致青海湖湖水 COD 值偏高。另根据杨建新等(2005) 2002—2004 年的监测数据反映出青海湖水系的 COD 有逐年上升的趋势, 这也与青海湖水系中 DOC 含量变化相似, 即青海湖局部水体有机物污染比较严重。

3 结论

(1) 2009 年青海湖冬季湖水 pH 值范围为  $8.9\sim 9.09$ , 主要入湖河流 pH 值范围为  $8.41\sim 9.01$ , 其平均值分别为 9.05 和 8.56。  $\text{Ca}^{2+}$  是青海湖河流水中最主要的阳离子, 占总离子浓度的 39.17%, 而  $\text{Cl}^{-}$  是最要的阴离子, 占总离子浓度的 21.97%, 湖水中  $\text{Na}^{+}$  是最主要的阳离子, 占总离子浓度的

表 3 青海湖主要湖水、河水水样 DIC、DOC、COD 比较  
(单位:  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )

Table 3 Comparison of DIC, DOC, COD from river and lake samples in winter from Lake Qinghai

|     | 样点    | DIC   | DOC   | COD   |
|-----|-------|-------|-------|-------|
| 湖水样 | 沙岛湖边  | 350.3 | 503.2 | 146.5 |
|     | 海心岛附近 | 293.7 | 470.0 | 122.7 |
|     | 鸟岛    | 296.8 | 431.6 | 137.6 |
|     | 青海湖边  | 187.6 | 454.6 | 163.3 |
|     | 江西沟   | 238.1 | 438.5 | 128.9 |
|     | 青海湖渔场 | 470.4 | 262.3 | 86.3  |
|     | 平均值   | 256.4 | 453.7 | 128.4 |
| 河水样 | 哈尔盖河  | 36.8  | 11.5  | 22.1  |
|     | 沙柳河   | 12.4  | 6.35  | 27.0  |
|     | 泉吉河   | 41.7  | 12.7  | 23.9  |
|     | 布哈河   | 29.2  | 10.9  | 27.4  |
|     | 黑马河   | 35.2  | 12.6  | 19.9  |
|     | 平均值   | 29.2  | 10.5  | 23.2  |

DOC、DIC 以 C 的质量计算

30.44%，而  $\text{Cl}^-$  是最要的阴离子，占总离子浓度的 44.73%。可知青海湖湖水水质中氯质水是占主要位置的，河水较于湖水样的离子浓度来说是很低的。

(2) 青海湖中硝酸盐含量很大，且呈逐年上升的趋势，水体富营养化趋势应当引起重视。青海湖流域河流 DOC 含量为  $6.35\sim 12.65\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均浓度为  $10.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，湖水 DOC 含量为  $334.26\sim 518.82\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均浓度为  $453.7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。另其化学需氧量分别为  $23.2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，符合国家地表水Ⅲ类水标准，而其湖水的 COD 值范围为  $82.8\sim 163.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ，平均值为  $128.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。DOC 与 COD 都呈现相似的变化趋势，且两者均反映出青海湖局部水系中有机物污染比较严重。这也是青海湖流域环境污染问题最突出的方面。

(3) 青海湖湖水化学组成主要由蒸发和结晶化作用，河水的化学组成则主要是由于碳酸盐的风化作用。

## 参考文献

- 成芳, 凌去非, 徐海军, 等. 2010. 太湖水质现状与主要污染物分析[J]. *上海海洋大学学报*, 19(1): 105-114.
- 丁建华, 王翠红, 周新春, 等. 2008. 晋阳湖底泥中氮磷特征的初步研究[J]. *安全与环境学报*, 8(3): 14-20.
- 高桂青, 阮仁增, 欧阳球林. 2010. 鄱阳湖水质状况及变化趋势分析[J]. *南昌工程学院学报*, 29(4): 50-56.
- 国家环保总局《水和废水监测分析方法》编委会. 1989. 水和废水监测分析方法(第3版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1-627.
- 蒋良维, 辛治国, 钟成华, 等. 1994. 长江、陵江重庆段水质现状评价与预测[J]. *重庆环境科学*, 16(3): 13-18.
- 刘慧娟, 曲文辉. 2002. 三峡库区城市江段总体水环境质量综合评价[J]. *环境科学*, 23(1): 74-77.
- 王毛兰, 周文斌, 胡春华. 2008. 鄱阳湖区水体氮、磷污染状况分析[J]. *湖泊科学*, 20(3): 334-338.
- 王昱, 刘贵成, 赵旭. 2010. 嫩江干流与支流水质污染状况分析[J]. *现代农业科技*, 2(3): 1-3.
- 王植尧. 1982. 浙江省地表水水质调查和水质评价初步成果[J]. *浙江水利科技*, 1(23): 1-13.
- 魏复盛, 齐文启, 孙宗光, 等. 2002. 地表水环境质量标准(GB3838-2002)[S]. 国家环境保护局.
- 薛武申, 孙兵, 刘培青. 2005. 长江源区水质分析与长江武汉段水质对比[J]. *安全与环境工程*, 12(1): 17-20.
- 杨建新, 祁洪芳, 史建全, 等. 2005. 青海湖水化学特性及水质分析[J]. *淡水渔业*, 35(3): 1-6.
- 余秋梅, 印士勇, 周良伟. 2010. 巢湖水环境质量现状分析[J]. *人民长江*, 32(7): 29-34.
- 曾慧卿, 何宗健, 彭希珑. 2003. 鄱阳湖水质状况及保护对策[J]. *江西科学*, 21(3): 226-233.
- 张全东. 1995. 一种新的水质评价方法[J]. *环境科技*, 14(2): 1-5.
- Inhaber M. 1975. Approach to a water quality index for Canada[J]. *Water Research*, 9: 821-833.
- Jin Z D, You C F, Wang Y, et al. 2010. Hydrological and solute budgets of Lake Qinghai, the largest lake on the Tibetan Plateau[J]. *Quaternary International*, 218: 151-156.
- Jones B F, Deocampo D M. 2003. Geochemistry of Saline Lakes[J]. *Treatise on Geochemistry*, 5(12): 393-424.
- Nives S G. 1999. Water quality evaluation by index in Dalmatia[J]. *Water Research*, 33: 3423-3440.
- Xu H, Hou Z H, An Z S, et al. 2010. Major ion chemistry of waters in Lake Qinghai catchments, NE Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. *Quaternary International*, 212: 35-43.
- Zhang D D, Peart M, Jim C Y, et al. 2003. Precipitation chemistry of Lhasa and other remote towns, Tibet[J]. *Atmospheric Environment*, 37: 231-240.
- Zhu B Q, Yang X P. 2007. Water chemistries in the natural waters and their formations in the Taklimakan Desert[J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(15): 2123-2129.