

青藏高原湖泊水化学与盐度的相关性初步研究

王海雷^{1,2,3)}, 郑绵平^{1,2,3)}

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

2) 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京, 100037;

3) 中国地质科学院盐湖与热水研究发展中心, 北京, 100037

内容提要:本文综合分析了青藏高原地区 400 多个湖泊的水化学成分(Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Sr/Ca 和 Mg/Ca)与湖水盐度的相关关系,以及这种关系随着湖水变化(不同采样时间和采样点以及蒸发实验)而产生的变化规律。认为:在青藏高原湖泊中, Mg^{2+} 与盐度具有较为稳定的正相关关系,而 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Sr/Ca 以及 Mg/Ca 与盐度的相关性较弱且不稳定。而在特定的水化学类型的湖泊中,碳酸盐型湖泊的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度均没有明显的相关性。硫酸盐型湖泊中 Mg^{2+} 和盐度呈现较高的正相关关系,而 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关性仍很弱。而在氯化物型湖泊中, Mg^{2+} 与盐度呈更强的正相关关系, Ca^{2+} 与盐度也呈一定的正相关关系,而 Mg/Ca 与盐度的相关性依然很弱。在特定的单个湖泊中, Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关性仍然不稳定或很弱,而 Mg^{2+} 与盐度仍然保持明显的正相关关系。在青藏高原利用湖相沉积恢复特定湖区古环境演化序列的时候, Mg^{2+} 浓度是湖水古盐度一个较好的转换指标,而在应用 Mg/Ca 这一指标时应谨慎。

关键词: 青藏高原; 湖泊; Mg^{2+} ; Mg/Ca ; 盐度; 相关性

青藏高原地区是全球气候变化的敏感区。高原上湖泊星罗棋布,其湖相沉积物中保留了丰富的过去气候环境变化的信息。目前人们常利用沉积物中的孢粉、矿物组合、粒度、磁化率、自生碳酸盐的碳氧同位素和生物化石,如介形虫和轮藻等来恢复不同时间尺度的气候环境变化(傅开道等, 2001; 刘兴起等, 2003; 郑绵平等, 2007; Fontes et al., 1996)。但是目前的研究大多只能定性地恢复古气候的演变,定量化的恢复因为缺乏合适的指标,存在一定的困难。

Chivas 等(1983, 1985, 1986)的研究表明,介形虫壳体微量元素(Mg/Ca , Sr/Ca)与缩生水体的水化学(Mg/Ca , Sr/Ca)及盐度有很大的相关关系,提出了壳体微量元素的分布系数: $K_d(M) = (M/Ca)_{介形虫} / (M/Ca)_{湖水}$,并通过大量的统计分析和室内实验,认为在同样的温度和盐度条件下,相同或相似的种有相近的分布系数,分布系数与形成时的温度和盐度成一定的相关关系,这为利用介形虫壳体定量恢复古环境提供了广阔的前景。这在一定范围内能定量地恢复形成时的盐度(沈吉等, 2001; 张恩楼等,

2004)。但是,这种定量恢复,是建立在假定湖水 Mg/Ca 和 Sr/Ca 与盐度成正相关关系的基础上的。Engstrom 等(1991)和 Williams(1966)发现,当湖水 Ca^{2+} 在矿物结晶沉积达到平衡后,湖水的盐度和 Mg/Ca 及 Sr/Ca 确实存在一定的正相关关系。但是 Homes(1996)后来的研究表明,在湖相沉积系统中这种关系是不稳定的,在利用这种关系时须谨慎。

本文综合分析了自 1989 年以来盐湖中心几次青藏高原湖泊调查取得的大量湖泊水化学数据,以及郑绵平等(1989)、陈敬清等(1997)、郑喜玉等(2002)和高世扬等(2007)的一些湖泊水化学数据,并结合青藏高原几个盐湖卤水的蒸发实验数据,归纳总结并探讨了青藏高原湖泊 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 和 Ca^{2+} 与盐度的关系,为正确认识合理的应用 Mg^{2+} 和 Mg/Ca 等古盐度的定量转换指标,提供一定的理论基础。

1 未分类型湖泊

首先,我们对收集的青藏高原湖泊数据不进行

注:本文为中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号 K2007-3-2、K0915)、国家自然科学基金重点项目(编号 40531002)和国家地质大调查项目(编号 1212010818057)资助成果。

收稿日期:2009-06-12;改回日期:2010-07-06;责任编辑:周健。

作者简介:王海雷,男,1977年生。主要从事湖相沉积与古环境研究。Email: wanghailei77@126.com。

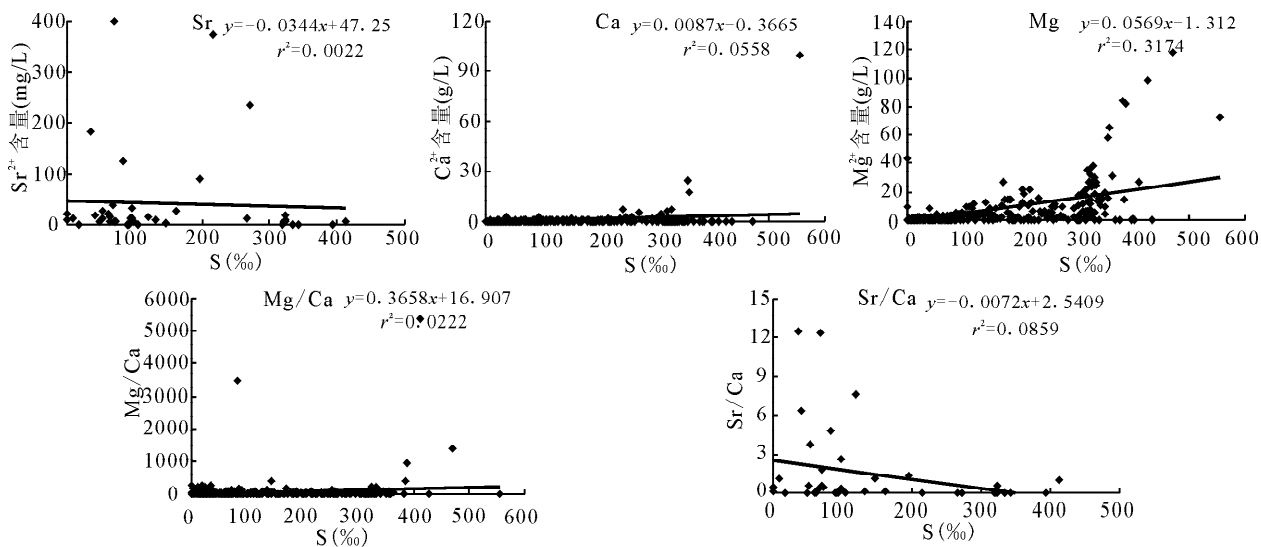


图1 未分类型湖泊 Sr^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr/Ca 及 Mg/Ca 与盐度的相关性

Fig. 1 Graph showing relationship between Sr^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr/Ca and Mg/Ca and salinity in non-classified lakes

任何分类处理,将所有湖泊水化学数据一起分析(图1),从图上可以看出,在不分水化学类型的青藏高原湖泊中, Sr^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Sr/Ca 及 Mg/Ca 与盐度的相关性均很弱,相关系数分别为 0.047、0.236、0.293 和 0.149。而 Mg^{2+} 则与盐度呈现一定的正相关关系,相关系数为 0.563。

2 单类型湖泊

为了更好地研究湖泊 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的内在关系,我们将各湖泊按水化学类型分类,图2~4分别为碳酸盐型、硫酸盐型和氯化物型湖泊 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关关系图。从图上可以看出,碳酸盐型湖泊的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关性均很弱,相关系数低于 0.2。而硫酸盐型湖泊中, Mg^{2+} 与盐度呈一定的正相关关系,相关系数为 0.584,而 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关性仍很弱,相关系数分别仅 0.281 和 0.181。氯化物型湖泊中, Mg^{2+} 与盐度呈更强的正相关关系,相关系数达 0.626, Ca^{2+} 与盐度也呈一定的正相关关系,相关系数为 0.559,而 Mg/Ca 与盐度的相关性依然很弱,仅为 0.048。

3 单个湖泊

在研究古湖泊古环境演化的时候,往往要考虑某一个特定的湖泊在不同的演化阶段水化学组成与盐度的关系。我们同时分析了同一个湖泊不同时间和不同采样点的数据(如图5~7所示),从图上可以看出, Mg/Ca 与盐度的相关性很不稳定,在某些湖泊中呈现较强的正相关(图7a),但在某些湖泊中甚

至呈现弱的负相关(图7b,d)。 Ca^{2+} 与盐度呈现较为稳定的正相关关系,但是相关性相对较弱,相关系数最高的为 0.688(图5c),最低的仅 0.381(图5b)。而 Mg^{2+} 与盐度呈现了相对稳定的较强的正相关关系,最低的为 0.624(图6b),最高的达 0.972(图6a)。对于某些封闭湖盆而言,其演化过程中没有物质和能量的输入和输出,其演化环境接近于常温蒸发。我们又分析了同一个湖泊湖水在蒸发过程中 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的变化规律(图8~10),分别选取了硫酸盐型的拉果错的 5℃ 等温蒸发数据(郭秀红,2008)和氯化物型的达布逊盐湖天然蒸发数据(陈敬清等,1997),结果显示, Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度相关关系均不稳定,甚至呈现弱的负相关,达布逊盐湖卤水天然蒸发过程中甚至出现了 Ca^{2+} 与盐度成显著的负相关关系(图8b),相关系数达 0.962。而 Mg^{2+} 与盐度则仍然呈现稳定的正相关关系,相关系数分别为 0.727 和 0.985。

4 讨论

青藏高原湖泊中, Mg^{2+} 与盐度表现出较为稳定的正相关关系,而 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关性较弱且不稳定。这与 Homes(1996)的研究结果较为相近,进一步证明了 Mg/Ca 与盐度不稳定的相关性具有全球普遍性。单独应用这一关系重建古盐度是不可行的。但是, Mg^{2+} 与盐度之间存在较为稳定的正相关性,表明在青藏高原湖泊演化过程中,盐度与 Mg^{2+} 有较为相似的行为。这种稳定的相关性充分说明可以利用 Mg^{2+} 与盐度的这种关系来恢复古盐度,这为利用湖相介形虫壳体微量元

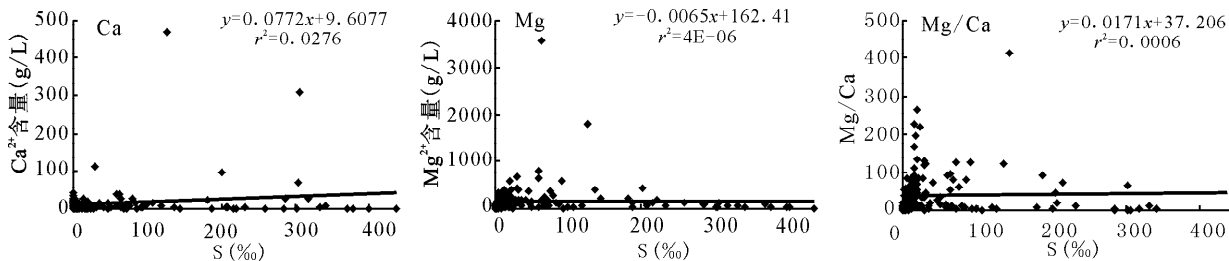


图 2 碳酸盐型湖泊 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关关系图

Fig. 2 Graph showing relationship between Ca^{2+} , Mg^{2+} and Mg/Ca and salinity in carbonate type lakes

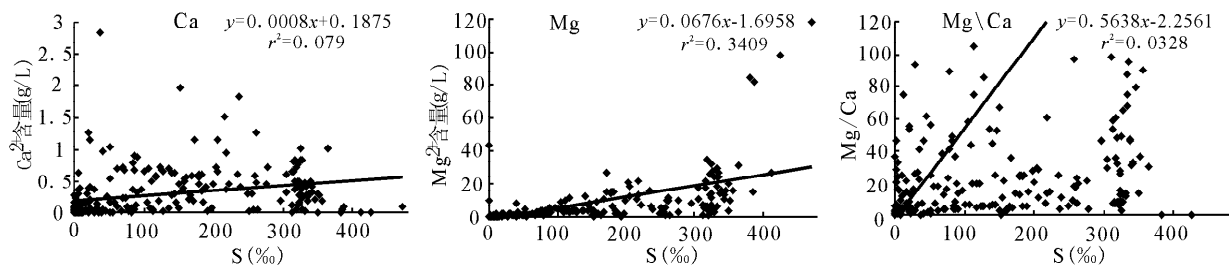


图 3 硫酸盐型湖泊 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关关系图

Fig. 3 Graph showing relationship between Ca^{2+} , Mg^{2+} and Mg/Ca and salinity in sulphate type lakes

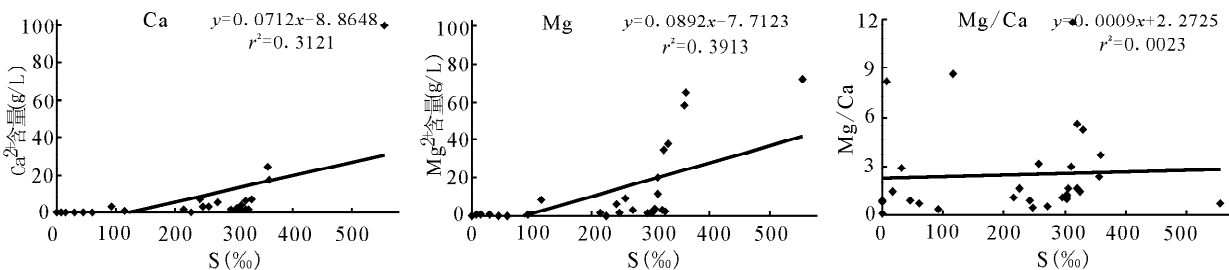


图 4 氯化物型湖泊 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 与盐度的相关关系图

Fig. 4 Graph showing relationship between Ca^{2+} , Mg^{2+} and Mg/Ca and salinity in chloride type lakes

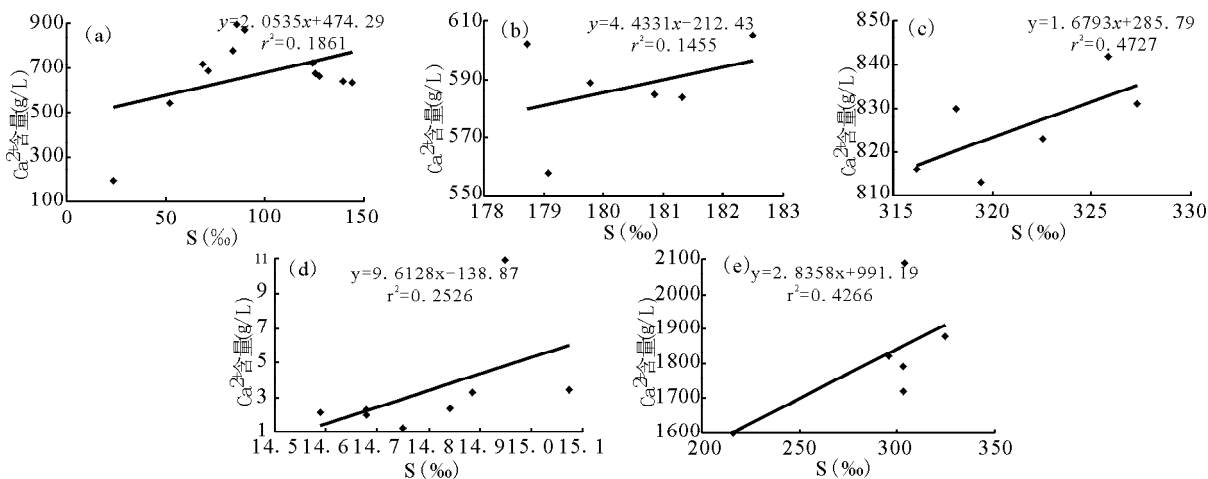


图 5 单个湖泊 Ca^{2+} 与盐度的相关关系图(a,b,c,d,e 分别为错尼东湖、鄂雅错、玛尔果茶卡、色林错和多格错仁)

Fig. 5 Graph showing relationship between Ca^{2+} and salinity in single lakes (a,b,c,d,e represent for East Coni Lake, Eya Co Lake, Maerguo Salt Lake, Sèrling Co Lake and Duogecuoren Lake respectively)

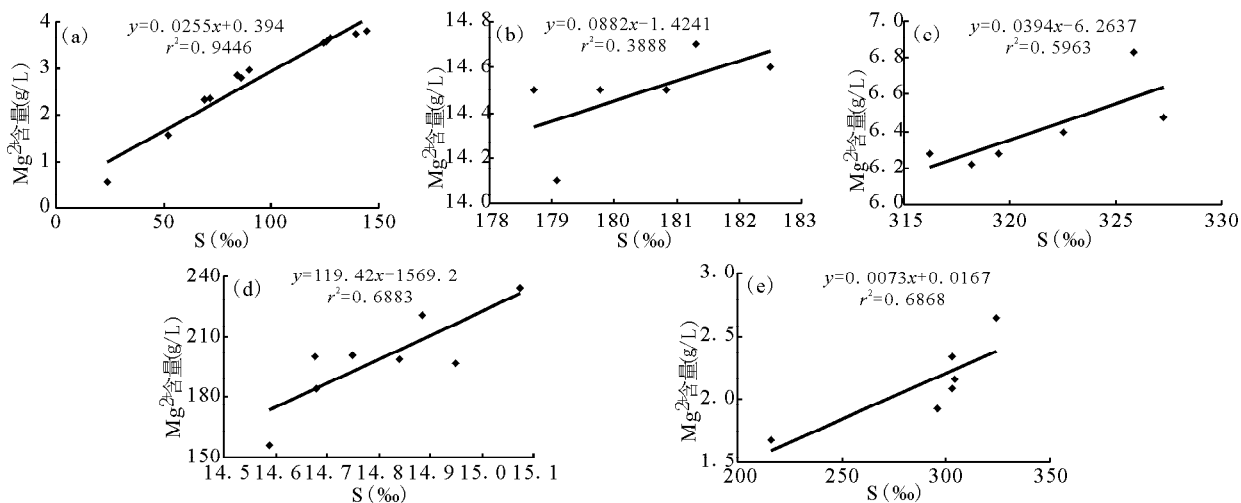


图6 单个湖泊 Mg^{2+} 与盐度的相关关系图(a,b,c,d,e 分别为错尼东湖、鄂雅错、玛尔果茶卡、色林错和多格错仁)

Fig. 6 Graph showing relationship between Mg^{2+} and salinity in single lakes (a,b,c,d,e represent for East Coni Lake, Eya Co Lake, Maerguo Salt Lake, Sêrling Co Lake and Duogecuoren Lake respectively)

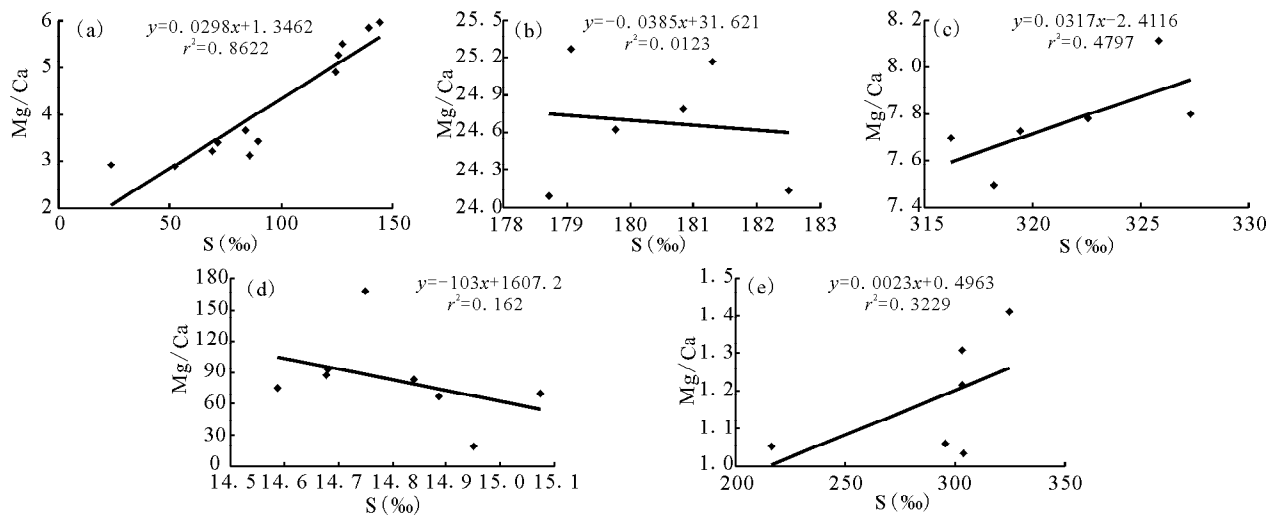


图7 单个湖泊 Mg/Ca 与盐度的相关关系图(a,b,c,d,e 分别为错尼东湖、鄂雅错、玛尔果茶卡、色林错和多格错仁)

Fig. 7 Graph showing relationship between Mg/Ca and salinity in single lakes (a,b,c,d,e represent for East Coni Lake, Eya Co Lake, Maerguo Salt Lake, Sêrling Co Lake and Duogecuoren Lake respectively)

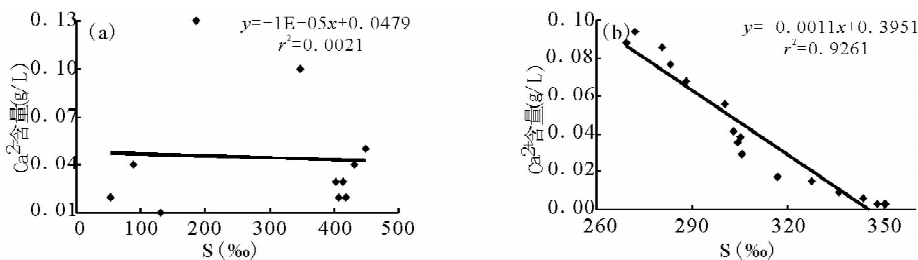


图8 单个湖泊湖水蒸发过程中 Ca^{2+} 与盐度的相关关系图(a,b 分别为拉果错和达布逊)

Fig. 8 Graph showing relationship between Ca^{2+} and salinity during evaporation in single lakes

(a,b represent for Laguo Co Lake and Dabuxun Lake respectively)

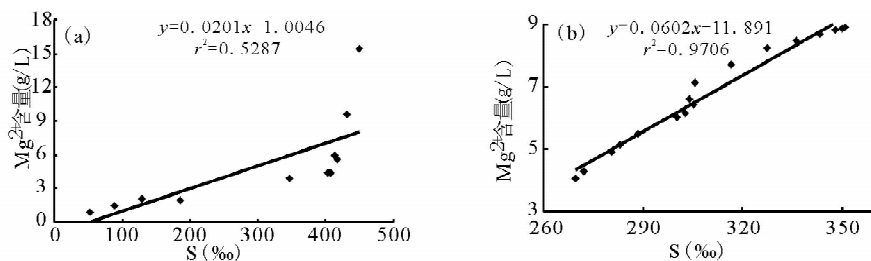


图 9 单个湖泊湖水蒸发过程中 Mg^{2+} 与盐度的相关关系图(a,b 分别为拉果错和达布逊)

Fig. 9 Graph showing relationship between Mg^{2+} and salinity during evaporation in single lakes (a,b represent for Laguo Co Lake and Dabuxun Lake respectively)

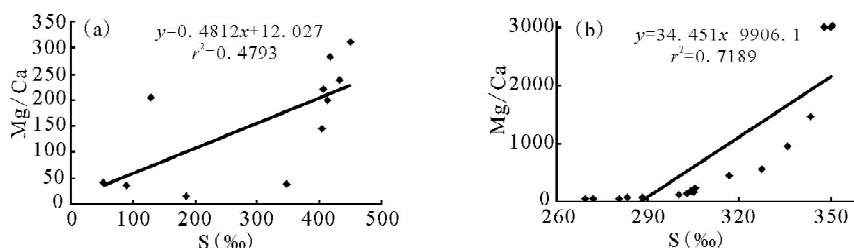


图 10 单个湖泊湖水蒸发过程中 Mg/Ca 与盐度的相关关系图(a,b 分别为拉果错和达布逊)

Fig. 10 Graph showing relationship between Mg/Ca and salinity during evaporation in single lakes (a,b represent for Laguo Co Lake and Dabuxun Lake respectively)

盐度与 Mg^{2+} 相关性较弱,硫酸盐型湖泊中盐度与 Mg^{2+} 具有较强的相关性,而氯化物型湖泊中盐度与 Mg^{2+} 的这种相关性最强。青藏高原的湖泊演化一般遵循从碳酸盐沉积阶段,到硫酸盐沉积阶段,再到氯化物沉积阶段的正演化序列。在碳酸盐沉积阶段,随着湖水浓缩,盐度升高,此时主要是 Ca 和 Mg 的碳酸盐的沉积,因为有很大一部分 Ca 沉积的影响, Mg^{2+} 与盐度没有明显的相关性。到硫酸盐沉积阶段,大部分湖泊 Mg 的碳酸盐沉积已结束,除了一些溶解度较小的镁盐,如库水硼镁石和柱硼镁石等, Mg 一般以易溶盐的形式出现,此时随着湖水浓缩,盐度和 Mg^{2+} 同时升高而呈现较高的正相关性。而到了氯化物沉积阶段,这种关系进一步加强,随着 Mg^{2+} 其他形式盐类的进一步沉积, Mg 主要以易溶盐的形式出现, Mg^{2+} 与盐度呈现更高的正相关性。

Sr^{2+} 、 Sr/Ca 与盐度呈弱的正相关关系,但因本文引用的数据较少,其相关性仍需进一步补充数据加以讨论。

在同一个湖泊中,随着湖水的浓缩或稀释,湖水盐度与 Mg^{2+} 呈现出极高的正相关性,但是盐度与 Ca^{2+} 以及 Mg/Ca 的相关关系很不稳定。达布逊盐湖卤水天然蒸发过程中甚至出现 Ca^{2+} 与盐度成显著的负相关关系。

因为物质来源和卤水演化历史的不同,即使是

在同一个地区,湖泊的水化学类型以及盐度与 Mg^{2+} 的这种相关关系也会有所不同。

在利用湖相沉积恢复青藏高原特定湖区古环境演化的时候, Mg^{2+} 浓度是古盐度一个较好的转换指标,而在应用 Mg/Ca 这一指标恢复古盐度时应谨慎。青藏高原的湖泊演化一般遵循从碳酸盐沉积到硫酸盐沉积再到氯化物沉积的正演化序列,如果在定量恢复古盐度的时候能够利用沉积物,如沉积盐类矿物(张彭熹等,1999)等,先确定古湖泊的演化阶段或古湖水的水化学类型,则能进一步区分出 Mg^{2+} 和 Mg/Ca 等的适用范围,从而提供更为可靠的古盐度的定量恢复。

5 结论

(1) Mg^{2+} 浓度是古盐度一个较好的转换指标,而在应用 Mg/Ca 这一指标恢复古盐度时应谨慎。

(2) Mg^{2+} 与盐度在不同的湖泊演化阶段有不同的相关性:在碳酸盐沉积阶段, Mg^{2+} 与盐度没有明显的相关性;硫酸盐沉积阶段, Mg^{2+} 和盐度呈现较高的正相关性。而在氯化物沉积阶段,这种关系进一步加强, Mg^{2+} 与盐度呈现更高的正相关性。

致谢:感谢郭秀红博士提供部分湖泊蒸发试验数据。

参 考 文 献

- 陈敬清, 刘子琴, 柳大纲. 1997. 氯化物类型盐湖卤水等温蒸发和天然蒸发. 见:《柳大纲科学论著选集》编辑委员会编. 柳大纲科学论著选集. 北京: 科学出版社, 1~257.
- 傅开道, 高军平, 方小敏, 等. 2001. 祁连山区中西段沉积物粒径和青藏高原隆升关系模型. 中国科学(D辑), 31: 169~174.
- 高世扬, 宋彭生, 夏树屏, 等. 2007. 盐湖化学——新类型硼锂盐湖. 北京: 科学出版社, 1~521.
- 郭秀红. 2008. 西藏富锂铷铯盐湖卤水开发利用实验研究. 中国地质科学院博士后出站报告.
- 刘兴起, 王苏民, 沈吉. 2003. 青海湖 QH-2000 钻孔沉积物粒度组成的古气候古环境意义. 湖泊科学, 15(2): 112~117.
- 沈吉, 王苏民, Matsumoto R, 等. 2001. 内蒙古岱海古水温定量恢复及其古气候意义. 中国科学(D辑), 31(12): 1017~1023.
- 张恩楼, 沈吉, 王苏民, 等. 2004. 近 0.9 ka 来青海湖湖水盐度的定量恢复. 科学通报, 49(7): 697~701.
- 张彭熹, 张保珍, 唐渊, 等. 1999. 中国盐湖自然资源及其开发利用. 北京: 科学出版社, 1~325.
- 郑绵平, 向军, 魏新俊, 等. 1989. 青藏高原盐湖. 北京: 北京科学技术出版社, 1~431.
- 郑绵平, 袁鹤然, 刘俊英, 等. 2007. 青藏高原扎布耶盐湖 128 ka 以来沉积特征与古环境记录. 地质学报, 81(12): 1608~1617.
- 郑喜玉, 张明刚, 等. 2002. 中国盐湖志. 北京: 科学出版社, 1~415.
- Chivas A R, De Deckker P, Shelley J M G. 1983. Magnesium, strontium, and barium partitioning in nonmarine ostracode shells and their use in paleoenvironmental reconstructions—a preliminary study. In: Maddocks R F, ed. Applications of Ostracoda. Houston: University of Houston, Geosci. Dep., 238~249.
- Chivas A R, de Deckker P, Shelley J M G. 1985. Strontium content of ostracods indicates lacustrine palaeosalinity. Nature, 316: 251~253.
- Chivas A R, de Deckker P, Shelley J M G. 1986. Magnesium and strontium in non-marine ostracod shells as indicators of palaeosalinity and palaeotemperature. Hydrobiologia, 143: 135~142.
- Engstrom D R, Nelson S R. 1991. Paleosalinity from trace metals in fossil ostracodes compared with observational records at Devils Lake, North Dakota, USA. Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol., 83: 295~312.
- Fontes J C, Gasse F, Gebert E. 1996. Holocene environmental changes in Lake Banggong basin (Western Tibet). Part 1: chronology and stable isotopes of carbonates of a Holocene lacustrine core. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 120: 25~47.
- Homes J A. 1996. Trace-element and stable-isotope geochemistry of non-marine ostracod shells in Quaternary paleoenvironmental reconstruction. Journal of Paleolimnology, 15(3): 223~235.
- Williams W D. 1966. The relationship between salinity and Sr/Ca in the lake water. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 17: 169~176.

Preliminary Study of the Correlation between Hydrochemistry and Salinity of Lakes in the Qinghai—Tibetan Plateau

WANG Hailei^{1,2,3}, ZHENG Mianping^{1,2,3}

1) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences (CAGS), Beijing, 100037;

2) Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Ministry of land and resources, Beijing, 100037;

3) R&D Center for Saline Lake and Epithermal Deposits, CAGS, Beijing, 100037

Abstract

This study discussed the correlation between hydrochemical compositions (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Sr/Ca and Mg/Ca) and salinities of water samples from over 400 lakes in the Qinghai—Tibet Plateau and its corresponding change rule with waters of different places. The result shows that in the Qinghai—Tibet Plateau, the lakes show stable positive relation between Mg^{2+} and salinity, and poor and unstable relation between Ca^{2+} , Sr^{2+} , Sr/Ca and Mg/Ca. In specific water type lakes, however, there is no distinct relation between Mg^{2+} , Ca^{2+} and Mg/Ca and salinity. In sulphate type lakes, Mg^{2+} shows positive relationship with salinity while Ca^{2+} and Mg/Ca remains poor relationship with salinity. But in chloride-type lakes, Mg^{2+} shows stronger positive relationship with salinity, and Ca^{2+} also shows to some extent positive relationship with salinity, but Mg/Ca still shows no clear relationship with salinity. In a single lake, the interrelation between Ca^{2+} and Mg/Ca and salinity is weak or unstable, while Mg^{2+} has remarkable positive relationship with salinity. Our research suggests that Mg^{2+} content is a useful indicator for restoration of paleoenvironment and development sequence of given lakes in the Qinghai—Tibetan Plateau by means of lake deposition, but the value of Mg/Ca might need special attention when employed as an indicator.

Key words: the Qinghai-Tibetan Plateau; lakes; Mg^{2+} ; Mg/Ca; salinity; correlation