

季风期前后西藏纳木错湖水及 入湖河流水化学特征变化

王君波, 鞠建廷, 朱立平

(中国科学院青藏高原研究所青藏高原环境变化与地表过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 2011年季风期前和季风期后, 分别对纳木错湖中两个站点的湖水和周边16条入湖河流进行水样采集, 水化学分析结果表明: 湖水中各离子含量在季风期后都比季风期前有明显的增加, 其中 Mg^{2+} 在两个站点分别增加46.84%和46.95%, Ca^{2+} 分别增加67.02%和75.11%, HCO_3^- 分别增加27.61%和25.02%。河水中大部分离子含量也都表现为季风期后的增加, 而 F^- 、 Cl^- 和 NO_3^- 则表现为降低趋势。离子含量的动态变化主要受流域内风化作用影响, 即风化产物是造成大部分离子含量升高的主要来源, 而蒸发作用对湖水离子含量的升高也起一定作用。

关 键 词: 湖水水化学; 河流水化学; 动态变化; 季风期前后; 纳木错

中图分类号: X13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)01-0090-07

湖水与河水的化学组成特征是流域水化学的基本要素, 也是区域自然地理条件的重要特征之一, 自然水体水化学特征主要受区域地质岩性条件和气候条件如降水量等因素影响^[1-4], 封闭水体的蒸发—结晶过程也是影响水化学特征的重要因素, 与区域内岩石风化作用和大气降水共同构成控制地表水化学组成的三大主要因素^[5]。水化学组成有明显的季节动态变化特征, 主要受降水量、冰雪融水和地表径流等因素影响, 这在不同自然地带和气候区水化学研究中都得到证实^[6-10]。雪坑化学组成特征也有明显的季节变化特征, 且可反映长距离沙尘源或海盐来源, 有良好的环境指示意义^[11-13]。

青藏高原地区是中国重要的河流湖泊分布区, 河流湖泊水化学研究近年来取得了较大的进展, 在高原的不同区域都开展了研究^[14-19], 然而, 目前的水化学研究都以静态研究为主, 较少涉及到河水和湖水的动态变化特征。

纳木错位于青藏高原中南部, 是进行古环境变化、流域水文、湖泊现代过程研究的理想地点。纳木错流域水化学研究也已取得了较多的成果, 不同研究者对流域河水、湖水的水化学组成基本特征、离子来源及控制因素等的研究都取得共识^[20-23], 这

些研究大都是基于静态采样即分析某些时段的河水和湖水的化学组成, 而对于纳木错流域水化学特征的动态变化特别是季风期前后差异的研究尚未开展。本文通过对纳木错湖水及主要的入湖河流在季风期前后分别采样分析, 对比其离子组成特征的差异, 并初步揭示纳木错流域内水化学特征动态变化的影响因素。

1 研究区概况

纳木错($90^{\circ}16' \sim 91^{\circ}03' E$, $30^{\circ}30' \sim 30^{\circ}55' N$)位于青藏高原中南部, 西藏第二大湖泊, 湖面海拔4 718 m, 湖泊和流域面积分别为1 920 km²和10 610 km², 补给系数5.53^[24]。纳木错系第三纪喜马拉雅山运动拗陷而成, 其东南部是念青唐古拉山脉, 山上发育大量现代冰川, 冰川融水形成的河流和大气降水是纳木错主要补给水源。纳木错周边共有60余条河流注入, 分布非常不均匀, 主要河流都分布在南岸和西岸, 北岸几乎无河流注入^[21]。

地质上, 纳木错及其周边地区属于雅鲁藏布和班公—怒江缝合带, 流域内大部分地区主要被第四纪和下白垩纪沉积物所覆盖, 东南部出露较少上白垩纪沉积物, 东北部较小范围内有中—上

收稿日期: 2012-05-11; **修订日期:** 2012-07-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071123)、国家重点基础研究发展计划项目(2012CB956100)资助。

作者简介: 王君波(1977-), 男, 山东临沂人, 博士, 副研究员, 主要从事青藏高原湖泊现代过程与环境变化研究。E-mail: wangjb@itp-cas.ac.cn

侏罗纪沉积物;在纳木错沿岸分布着多级由湖相砂与粘土沉积组成的湖岸堆积阶地、基座阶地和数十道由湖滨相砾石所组成的湖岸堤;其中湖相沉积多为富含碳酸盐的灰白色粉砂、细砂或粘土质细砂;湖滨相沉积则主要以沿岸堤形式出现,部分湖滨相砂砾石沉积已被钙质胶结^[25,26]。

纳木错最大水深超过95 m,中部是一个平坦的湖盆,湖水pH约为9.13,主要湖区湖水在夏季呈现明显的分层特征,在20~30 m水深处形成温跃层^[27]。多站点水质监测结果表明,在夏季纳木错湖水混合均匀,各水质参数的空间差异较小,只有电导率在不同湖区显示了较为明显的不同^[28]。

2 采样与分析

2.1 采 样

为对纳木错湖水和河水进行化学组成的动态变化研究,分别于2011年5月中旬和10月下旬在纳木错湖中两个位置(T1和T2,图1)采集水样,从表层开始每隔5 m深度(其中10月下旬的T2站点60~90 m深度处间隔为10 m)采集一个水样,其中T1采样深度约为50 m,T2采样深度超过90 m。从纳木错东南部开始沿顺时针方向选择16条主要河流作为研究对象,分别在5月18日和10月31日采集河水样(图1)。水样采集使用预先清洗的聚乙烯塑料水样瓶,采样结束后运回中科院青藏高原所拉萨部实验室,测量之前冷藏保存。

2.2 离子含量分析

利用离子交换色谱法进行离子含量分析,所用仪器为美国戴安公司生产的离子色谱仪(Dion-

ex-ICS900),该仪器配备抑制器及电导检测器,阳离子系统使用的淋洗液是甲烷磺酸,抑制器型号为ASRS300;阴离子使用的淋洗液为氢氧化钠,抑制器型号为CSRS300。测量之前用0.22 μm 的滤膜过滤除去颗粒物,河水水样无稀释进样,湖水水样稀释10倍进样。测量过程中根据4个已知浓度的标样,做出工作曲线,然后根据曲线计算出待测样品浓度,对仪器的误差控制要求4个标样做出的工作曲线的相关系数在0.999以上,测试在中国科学院青藏高原研究所拉萨部实验室完成。主要离子含量中, HCO_3^- 含量根据其他离子间的离子平衡关系估算得出^[21]。

3 结果与讨论

3.1 不同位置湖水主要离子组成特征

从表1和表2可以看出,在5月中旬和10月下旬采样期,两个站点湖水主要离子含量最小值、平均值和最大值都非常接近。已有研究表明,纳木错湖水的水质参数在主要湖区内空间差异很小,且湖水的化学组成在东部湖区也表现出混合均匀的特点^[22,28],本研究的结果则说明纳木错湖水的化学组成在不同季节不同区域都是混合均匀的。

3.2 水化学组成在季风期前后变化特征

由于湖水化学组成在垂直方向上变化幅度较小,因而可以用其离子含量的平均值代表某一站点在某一时期的离子含量情况。利用两个站点在两个采样期各离子含量的平均值作为指标,比较其在不同采样期的变化情况。如表1、2所示,在两个站点中,10月下旬湖水的各离子含量都比5月中

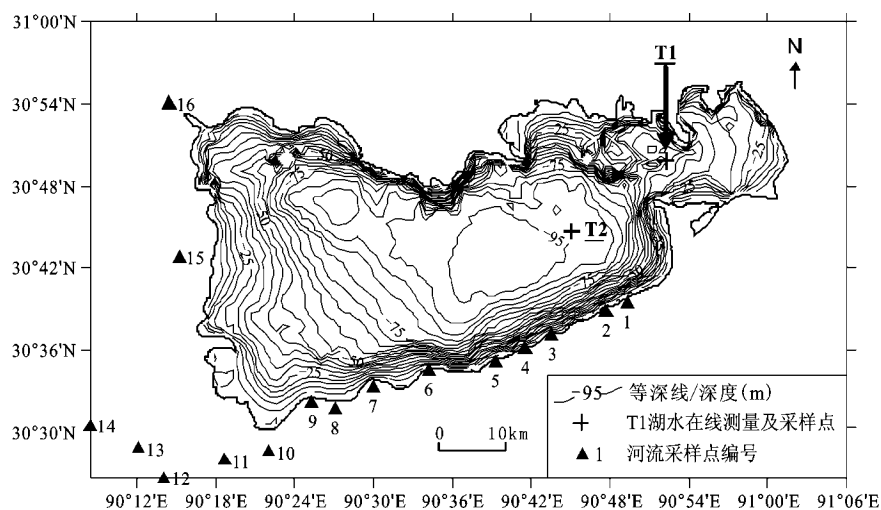


图1 纳木错湖水和周边16条河流采样点

Fig.1 Sampling sites of Nam Co water and the 16 rivers

表1 T1站点各离子含量的统计量及变化(mg/L)

Table 1 Statistics of major ions concentrations of T1 station and their change (mg/L)									
采样时间	统计量	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
5月14日	最小值	300.30	35.46	85.57	9.19	5.28	57.27	191.81	907.40
	平均值	315.95	36.83	89.55	9.08	5.53	59.63	205.36	994.63
	最大值	323.69	37.62	92.63	10.98	5.81	61.72	225.19	1051.96
10月27日	最小值	327.72	36.47	126.09	15.93	5.54	60.03	196.29	1239.61
	平均值	335.84	37.84	131.50	16.69	5.87	63.65	207.47	1269.23
	最大值	340.37	38.82	136.08	18.12	6.29	68.37	218.30	1306.00
	增加(%)	6.30	2.73	46.84	67.02	6.16	6.74	1.03	27.61

表2 T2站点各离子含量的统计量及变化(mg/L)

Table 2 Statistics of major ions concentrations of T2 station and their change (mg/L)									
采样时间	统计量	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
5月16日	最小值	302.29	35.00	77.88	8.60	5.51	58.34	195.15	898.83
	平均值	317.80	36.73	89.24	9.74	5.69	59.13	200.56	1003.50
	最大值	329.60	37.99	94.44	12.24	6.01	60.76	207.67	1060.36
10月29日	最小值	321.49	36.44	114.59	12.96	5.79	65.00	206.68	1193.77
	平均值	338.75	38.80	131.44	17.05	6.08	38.18	219.02	1254.62
	最大值	366.25	41.54	136.74	18.77	6.35	72.22	237.05	1297.97
	增加(%)	6.59	5.62	46.95	75.11	6.77	15.30	9.20	25.02

旬的含量高,即所有离子的平均含量都增加了。在主要离子组成中,阳离子中的Mg²⁺和Ca²⁺含量增加最多,Mg²⁺在T1和T2站点分别增加46.84%和46.95%,而Ca²⁺则分别增加67.02%和75.11%,Na⁺和K⁺的含量增加较少;阴离子中HCO₃⁻含量增加最多,在T1和T2分别增加27.61%和25.02%。

从湖水离子组成的垂直方向来看,不同深度处的离子含量都表现为增加趋势,以T2站点主要阳离子含量变化为例,看出10月下旬相对于5月中旬各离子的含量显著增加,特别是Mg²⁺和Ca²⁺增加最明显,Na⁺和K⁺增加相对较少(图2)。湖水离子含量在垂直方向上的变化主要受温跃层的控

制,即在温跃层深度处离子含量有相应的增加^[22],形成这一现象的机制尚需要更多观测研究进行证实和解释。图2还看出不同季节湖水离子含量在垂直方向上的变化特征,其中10月下旬各离子含量在20~30 m深度处的温跃层都表现出明显变化,即离子含量有一个先降低又显著增加的特征;5月中旬的离子含量这一特征表现不明显,说明在5月中旬湖水还没有形成完整的化学分层。

3.3 主要入湖河流离子组成的差异

纳木错周边16条主要河流的离子含量表明,处于不同位置的河流的离子含量差异明显,有些离子含量差异可达10倍以上,在两个采样期都显

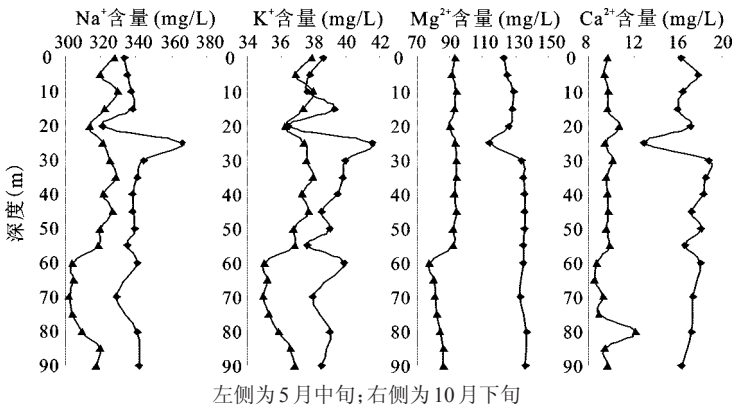


图2 T2站点主要阳离子含量变化

Fig.2 Vertical variation of major anions concentrations of T2 station

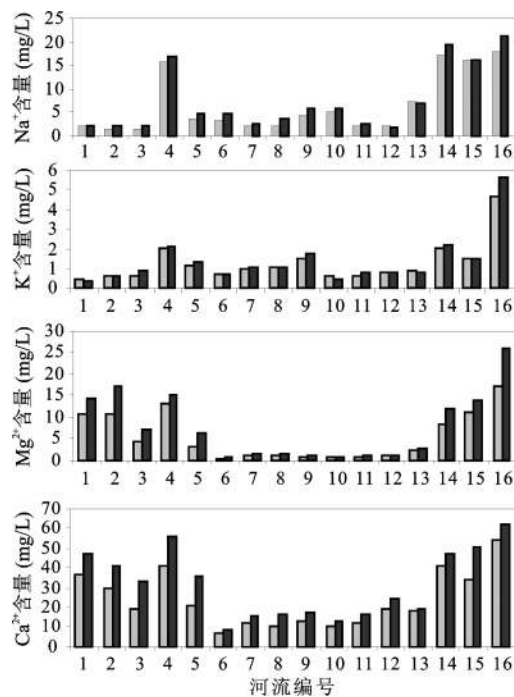
示这一特点,如 Mg^{2+} 含量最大值比最小值高出25倍之多(表3,图3)。在所有离子中, Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 含量的区域差异最为显著,位于纳木错西南部的编号为6~13的河流离子含量最小,不同离子区域差异表现也有较大不同(图3),这说明河流离子含量主要受控于所在位置处的地质状况及河流接受补给情况。

3.4 主要入湖河流离子组成季风期前后变化特征

对比16条河流各离子含量的平均值,可以发现大部分离子含量平均值都表现为10月下旬比5月中旬高,而 F^- 、 Cl^- 和 NO_3^- 则为降低趋势(表3),这与湖水中所有离子都是增加的特征略有不同。其中阳离子中 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 平均含量增加最多,分别为40.55%和33.20%;而阴离子中 HCO_3^- 的增加最

表3 纳木错周围16条河流主要离子含量的统计量及变化(mg/L)

Table 3 Statistics of major ions concentrations and their changing rate from the 16 rivers around Nam Co (mg/L)										
采样时间	统计量	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
5月18日	最小值	1.40	0.53	0.68	6.82	0.16	0.49	1.16	5.91	21.84
	平均值	6.57	1.31	5.50	23.68	0.40	1.55	1.87	27.67	78.19
	最大值	18.22	4.69	17.11	54.38	0.65	5.72	3.02	37.35	240.42
10月31日	最小值	1.77	0.36	0.90	8.83	0.08	0.34	0.30	6.63	28.89
	平均值	7.49	1.40	7.72	31.54	0.38	1.11	1.62	35.54	106.98
	最大值	21.44	5.64	25.93	62.27	0.69	4.46	2.79	72.75	322.17
	增加%	14.03	6.89	40.55	33.20	-6.62	-28.43	-13.49	28.48	36.81



左侧为5月18日采样;右侧为10月31日采样

图3 纳木错周边16条河流主要阳离子含量对比

Fig.3 Comparison of major anions concentrations from the 16 rivers around Nam Co

多,为36.81%, SO_4^{2-} 平均含量也增加28.48%。

图3看出, Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 在16条河流中都是表现为10月下旬离子含量的增加,而有些河流的 Na^+ 和 K^+ 则表现为降低,说明不同河流中不同离子的变化特征并不一致。表4可以看出,阳离子中只有

Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 在16条河流中含量都增加,而阴离子中只有 HCO_3^- 如此;相反,只有 Cl^- 在16条河流中都表现出含量降低的特征,最大降低值为59.09%,最小降低值为9.33%,平均降低了33.30%,即10月下旬所有河流的 Cl^- 含量都比5月中旬时降低了。其他离子含量在16条河流中则有升有降,其中 SO_4^{2-} 含量只在两条河中有很小的下降,其他河流则表现为较大幅度的升高。

3.5 纳木错湖水与主要河流离子组成在季风期前后变化的原因分析

研究表明,印度夏季风一般爆发于6月初,结束于10月初^[29,30],因而本研究中5月中旬采集的样品可以认为代表季风期之前的状况,而10月下旬则可以代表季风期之后。从以上分析可以看出,无论是湖水还是入湖河流的河水其水化学组成特征在季风期前后都发生显著的变化,主要表现为离子平均含量的普遍升高及河流中部分离子含量降低。

已有研究表明,纳木错湖水化学组成主要受蒸发-结晶作用控制^[21]。作为位于半干旱气候区的高海拔封闭大湖,纳木错蒸发作用强烈,降水较少,因而湖泊蒸发作用会导致湖水离子浓缩造成其含量增加。从本研究结果来看,10月下旬湖水的所有离子平均含量都比5月中旬有不同程度增加,可初步认为是湖水蒸发的结果。由于各离子含量的增加值差距较大,阳离子中含量最高的 Na^+

增加值较小,而 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的相对增加值最高,可见蒸发作用并不是导致离子含量升高的决定性因素,而离子的外源输入可能是更重要的控制因素。

纳木错周边河流离子的平均含量在季风期前后的变化也显示阳离子中 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 的相对增加值最高,而阴离子中 HCO_3^- 的含量增加最多,这与河流中的离子组成主要是受岩石风化的影响有关。已有的研究显示纳木错周边河流离子组成主要受岩石风化影响,其中碳酸盐的风化最为重要^[21],季风期较高的温度以及较多的降水有利于流域内化学风化的发生,从而使更多的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 等风化产物进入河流,造成河流中这些离子含量的增加,从而也使湖水中这些离子含量较大幅度升高。河流中的 SO_4^{2-} 主要来源于蒸发岩的溶解,因而其含量的增加反映了流域内 $CaSO_4$ 和 $MgSO_4$ 等蒸发岩类矿物在季风期的溶解作用增强。

以上分析看出,季风期前后河水和湖水离子中含量升高部分主要源于流域内化学风化产物,蒸发作用对湖水离子含量升高有一定作用。

相反,河流中有些离子的平均含量表现为在季风期后的降低,如 F^- 、 Cl^- 和 NO_3^- ,其中 Cl^- 的降低幅度最大(表4)。天然水中 Cl^- 主要来源于 $NaCl$ 、 $MgCl_2$ 等岩盐的溶解^[31],纳木错地区降水离子组成中 Cl^- 浓度仅次于 HCO_3^- 离子,说明大气降水中的 Cl^- 是河水中 Cl^- 的重要来源^[32],其最终来源应该是区域内湖水蒸发作用与季风季节大气环流带来的海盐成分^[21]。纳木错河流中 Cl^- 含量普遍较低,5月中旬其平均值为1.55 mg/L,10月下旬平均值为1.11 mg/L(表3),可见虽然其相对变化值较高,但其绝对变化值都非常小。两次采样期都是非季风期,因而季风降水带来的 Cl^- 绝对值(总量)不能解释其在10月下旬离子含量的降低。

表4 纳木错周边16条河流主要离子含量变化(10月下旬相比于5月中旬)的统计量(%)

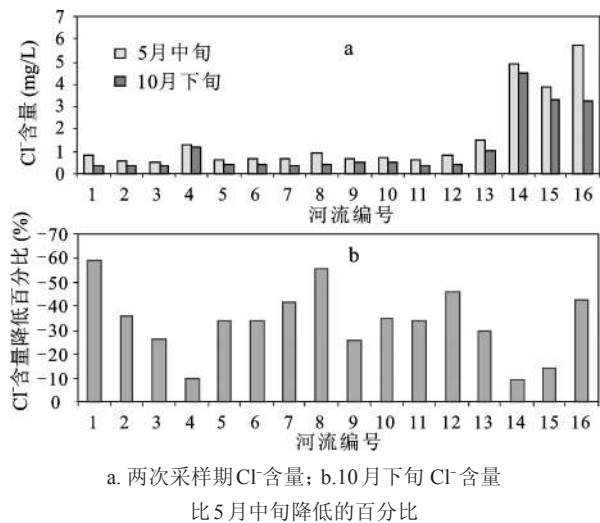
Table 4 Statistics of variation of major ions concentrations from the 16 rivers around Nam Co(%)
(data in late October compared to that of middle May)

统计量	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
最小值	-12.13	-30.90	10.57	9.05	-47.94	-59.09	-87.85	-0.86	6.07
平均值	22.30	2.75	42.56	35.60	-10.30	-33.30	-7.77	33.62	41.25
最大值	80.70	30.07	91.95	70.52	20.40	-9.33	57.04	86.35	82.72

从 Cl^- 含量及两次采样期含量变化的空间分布来看(图4),位于纳木错南部的大部分河流含量较低且差异较小,而位于西部的三条河流(编号14~16) Cl^- 含量显著高于其他河流(图4a)。纳木错南部多为念青唐古拉山上流下的短小河流,流域面积很小;而西部三条河流流程较长,流域面积大,这说明 Cl^- 含量受河流的补给情况影响较大。流域内接受的 Cl^- 沉降以及本地 $NaCl$ 、 $MgCl_2$ 等岩盐的溶解作用产生的 Cl^- 最终通过坡面径流或者雨水冲刷进入河流,从而造成采样点以上流域面积较大的河流具有较高的 Cl^- 含量。

两次采样期 Cl^- 含量的变化幅度与 Cl^- 含量无明显对应关系(图4b),其中降低幅度较大者如编号为1、7、8、12和16的河流 Cl^- 含量都降低了超过40%,野外考察表明这些河流的流量普遍较小,在采样期只有细小水流甚至接近干涸。而编号为4、14和15的河流 Cl^- 含量降低只有10%左右,这些河流具有较大的水量,说明 Cl^- 含量的降低受河流流量影响较大。2011年5月纳木错地区温度较低,纳木错于5月12日湖冰完全融化,解冻期比往年推

迟约两周。由于季风降水尚未开始,且温度较低导致冰雪融水较少,因而5月中旬大多数河流都只有很小的流量。在10月下旬采样期,虽然季风降水已基本结束,但是河流仍能接受较多的冰雪融



a. 两次采样期 Cl^- 含量; b. 10月下旬 Cl^- 含量比5月中旬降低的百分比

图4 纳木错周边16条河流 Cl^- 含量及变化:

Fig.4 The concentrations and change of Cl^- from the 16 rivers around Nam Co

水补给,因而河流普遍仍维持较多的水量,在 Cl^- 补给量由于降水量减小而降低的情况下,较多的河流量对 Cl^- 含量具有一定的稀释作用,从而造成其含量的降低,两个采样季相比,河水流量变化大的河流其 Cl^- 含量降低的更多;其他如 F^- 和 NO_3^- 的变化可能也具有类似的机制。然而,河流 Cl^- 动态变化的这种机制解释还是定性的推断,精确的研究还需要对不同季节河流流量进行监测,目前在纳木错流域还缺少类似的研究。

由此可见,纳木错河流离子含量在季风期前后的变化受多种因素影响,流域内来源较为丰富的离子如碳酸盐风化产物 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 等的含量在季风期之后显著增加,化学风化作用是影响这些离子含量的主要因素;而 Cl^- 含量的动态变化则主要受不同时期河流流量的影响,在流量较大的时期河流的 Cl^- 含量相对较低,这主要受控于流域降水量和冰雪融水对河流的补给作用。

4 结 论

通过对纳木错两个站点湖水和16条主要入湖河流河水在季风期前后的水化学组成进行对比研究,得出以下初步结论:

1) 10月下旬(季风期后)湖水的各离子含量都比5月中旬(季风期前)的含量高,在主要离子组成中,阳离子中的 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 含量增加最多, Mg^{2+} 在两个站点分别增加46.84%和46.95%,而 Ca^{2+} 则分别增加67.02%和75.11%, Na^+ 和 K^+ 含量增加较少;阴离子中 HCO_3^- 含量增加最多,在两个站点分别增加27.61%和25.02%。

2) 纳木错河水中,大部分离子含量的平均值都表现为季风期后比季风期前要高,而 F^- 、 Cl^- 和 NO_3^- 则为降低趋势;其中阳离子中 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 平均含量增加最多,分别为40.55%和33.20%;而阴离子中 HCO_3^- 的增加最多,为36.81%, SO_4^{2-} 平均含量也增加28.48%;相反, Cl^- 在16条河流中都表现出含量降低的特征,最大降低值为59.09%,最小降低值为9.33%,平均降低33.30%。

3) 分析结果显示,纳木错流域的风化作用是造成湖水所有离子和河水中大部分离子含量升高的主要因素,而蒸发作用对于湖水离子含量的升高也起一定作用; Cl^- 含量在季风期后普遍降低主要受河流流量变化直接影响,其最终控制因素是流域内的大气降水和冰川融水对河流的补给作用。

致 谢: 中国科学院青藏高原研究所环境与过程实验室朱志勇工程师完成离子分析,张继峰、林永崇及部分后勤人员参加野外工作,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 张立成,董文江.我国东部河水的化学地理特征[J].地理研究,1990,9(2):67~75.
- [2] 陈静生,夏星辉.我国河流水化学研究进展[J].地理科学,1999,19(4):290~294.
- [3] 张利田,陈静生.我国河水主要离子组成与区域自然条件的关系[J].地理科学,2000,20(3):236~240.
- [4] 温煜华,王乃昂,朱锡芬,等.天水及其南北地区地热水水化学特征及起源[J].地理科学,2011,31(6):668~673.
- [5] Gibbs R J. Mechanisms controlling world water chemistry [J]. Science, 1970, 170: 1088-1090.
- [6] 李思悦,谭 香,许志方,等.湖北丹江口水库主要离子化学季节变化及离子来源分析[J].环境科学,2008,29(12):3353~3359.
- [7] 蒲 焘,何元庆,朱国锋,等.玉龙雪山周边典型河流雨季水化学特征分析[J].地理科学,2011,31(6):734~740.
- [8] 蒙海花,王腊春.喀斯特流域水体中离子时空变化特征[J].水资源保护,2007,23(5):1~5.
- [9] 武小波,李全莲,贺建桥,等.黑河上游夏半年河水化学组成及年内过程[J].中国沙漠,2008,28(6):1190~1196.
- [10] 张西营,马海州,高东林,等.西台吉乃尔盐湖矿区湖水水化学动态变化及其影响因素分析[J].水文地质工程地质,2009,(1):119~123.
- [11] 张晓宇,李忠勤,王飞腾,等.中亚天山托木尔峰地区青沙滩72号冰川雪坑化学特征及其环境指示意义[J].地理科学,2012,32(5):641~648.
- [12] 张明军,周 平,李忠勤,等.天山乌鲁木齐河源1号冰川大气气溶胶和新雪可溶性离子关系研究[J].地理科学,2010,30(1):141~148.
- [13] 董志文,李忠勤,张明军,等.天山奎屯河哈希勒根51号冰川雪坑化学特征及环境意义[J].地理科学,2010,30(1):149~156.
- [14] Kawashima M, Nishiyama T. Salt concentration and chemical types of lake, river, snow, and hot spring waters from the Tibetan Plateau [J]. Jpn J Limnol, 1989, 50: 93-104.
- [15] 李世杰,李万春,夏威夷,等.青藏高原现代湖泊变化与考察初步报告[J].湖泊科学,1998,10(4):95~96.
- [16] Mitamura O, Seike Y, Kondo K, et al. First investigation of ultra-oligotrophic alpine Lake Puma Yumco in the pre-Himalaya, China [J]. Limnology, 2003, 4: 167-175.
- [17] Murakami T, Terai H, Yoshiyama Y, et al. The second investigation of Lake Puma Yum Co located in the Southern Tibetan Plateau, China [J]. Limnology, 2007, 8: 331-335.
- [18] Zhu L P, Ju J T, Wang J B, et al. Further discussion about the features of Lake Puma Yum Co, South Tibet, China. Limnology, 2010, 11: 281-287.
- [19] 鞠建廷,朱立平,汪 勇,等.藏南普莫雍错流域水体离子组成与空间分布及其环境意义初步研究[J].湖泊科学,2008,20(5):591~599.

- [20] 高坛光,康世昌,张强弓,等.青藏高原纳木错流域河水主要离子化学特征及来源[J].环境科学,2008,29(11):3009~3016.
- [21] 王君波,朱立平,鞠建廷,等.西藏纳木错东部湖水及入湖河流水化学特征初步研究[J].地理科学,2009,29(2):288~293.
- [22] Wang J B,Zhu L P,Wang Y,et al.Comparisons between the chemical compositions of lake water, inflowing river water,and the lake sediment in Nam Co,central Tibetan Plateau, China and their controlling mechanisms[J].Journal of Great Lakes Research,2010,36:587-595.
- [23] Zhang Q G,Kang S C,Wang F Y,et al.Major ion geochemistry of Nam Co lake and its sources,Tibetan Plateau[J].Aquatic Geochemistry,2008,14:321-336.
- [24] 关志华,陈传友,区裕雄,等.西藏河流与湖泊[M].北京:科学出版社,1984:1~238.
- [25] 朱大岗,孟宪刚,赵希涛,等.西藏纳木错地区第四纪环境演变[M].北京:地质出版社,2004:116~156.
- [26] 朱大岗,孟宪刚,赵希涛,等.纳木错湖相沉积与藏北高原古大湖[J].地球学报,2001,22(2):149~155.
- [27] 王君波,朱立平,Gerhard Daut,等.西藏纳木错水深分布及现代湖沼学特征初步分析[J].湖泊科学,2009,21(1):129~135.
- [28] Wang J B,Zhu L P,Daut G,et al.Investigation of bathymetry and water quality of Lake Nam Co, the largest lake on the central Tibetan Plateau, China[J].Limnology,2009,10:149-158.
- [29] 钱维宏,丁 婷,汤帅奇.亚洲季风季节进程的若干认识[J].热带气象学报,2010,26(1):111~116.
- [30] 林 祥,钱维宏.全球季风和季风边缘研究[J].地球科学进展,2012,27(1):26~34.
- [31] 沈照理,朱宛华,钟佐荣.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社,1993:62~93.
- [32] Li C L,Kang S C,Zhang Q G,et al.Major ionic composition of precipitation in the Nam Co region,central Tibetan Plateau[J].Atmospheric Research,2007,85:351-360.

Water Chemistry Variations of Lake and Inflowing Rivers Between Pre- and Post-monsoon Season in Nam Co,Tibet

WANG Jun-bo, JU Jian-ting, ZHU Li-ping

(Key Laboratory of Tibetan Environment Changes and Land Surface Processes, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101,China)

Abstract: In mid-May (pre-monsoon season) and late October (post-monsoon season), water samples were taken from 2 sites in Nam Co Lake and 16 rivers around the lake for dynamic changes study of water chemical composition in different seasons. Water chemistry analysis and comparative studies have been conducted to illustrate the dynamic changes of ions concentrations between the two seasons. The results indicated that all ions showed higher concentrations in post-monsoon than that in pre-monsoon season for lake water. Among them, Mg^{2+} increased by 46.84% and 46.95% on average in two sites, while Ca^{2+} increased by 67.02% and 75.11% on average, respectively. Na^+ and K^+ showed relatively less increase in concentration. As for anions, HCO_3^- showed the largest increase of 27.61% and 25.02% in two sites, respectively. Meanwhile, most ions in river water also showed the similar trends, Mg^{2+} and Ca^{2+} increased by 40.55% and 33.20% on average in all rivers. HCO_3^- and SO_4^{2-} increased 36.81% and 28.48%. However, F^- , Cl^- and NO_3^- showed opposite patterns, i.e., the concentrations were lower in post-monsoon season. Cl^- was the most remarkable decreasing ion, averagely decreased 28.43% in all rivers. It is indicated that the ion concentrations dynamic changes of Nam Co Lake and river water were mainly influenced by weathering in the drainage area. Weathering production such as Mg^{2+} , Ca^{2+} and HCO_3^- were the main source of increased ions, resulting from the weathering of carbonate in the catchment. On the other hand, lake evaporation has also slightly contributed to ion concentrations increase of lake water. The river Cl^- decrease in post-monsoon season was mainly influenced by individual river flux, more changes in river flux between two seasons led more decrease of Cl^- concentration and the ultimate controlling factors should be water supply from precipitation and glacier melting water within the catchment.

Key words: lake water chemistry; river water chemistry; dynamic change; pre- and post-monsoon season; Nam Co