

青藏高原纳木错流域夏、秋季大气降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与水汽来源及温度的关系

徐彦伟¹, 康世昌^{1,2}, 周石砦¹, 丛志远¹, 迟妍妍³, 张强弓¹

(1. 中国科学院纳木错圈层相互相用综合观测研究站 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100085; 2. 中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 根据2005年8~10月在纳木错收集的降水样和相关气象观测, 分析该地区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其与水汽来源关系, 揭示不同水汽来源降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度之间关系。观测期间水汽来源以西南季风和青藏高原本地气团输送为主。结果表明, 纳木错流域夏、秋季节历次降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化主导因素是水汽来源不同。远距离输送夏季风海洋性气团形成的降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值较低, 而局地大陆性气团降水 $\delta^{18}\text{O}$ 较高。对同源的降水事件, 气温和 $\delta^{18}\text{O}$ 值有一定正相关性, 因而可能是次一级的响因素。

关 键 词: 降水; $\delta^{18}\text{O}$; 水汽来源; 气温; 纳木错; 青藏高原

中图分类号: P343.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2007)05-0718-06

利用冰芯中的氢、氧稳定同位素记录来提取古气候变化的信息已经被广泛的应用, 不仅在极地冰芯研究中取得了极大的成功, 在中、低纬度的冰芯研究中也有很大的进展^[1~3]。为了更合理地解释青藏高原不同区域冰芯中稳定同位素与气候诸要素变化之间的关系, 从1991年开始对青藏高原各地区的现代大气降水稳定同位素和水汽循环进行了系统而连续的研究^[4~10], 认识了青藏高原降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的空间分布和季节变化特征, 即在高原北部降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与气温呈正相关关系^[4, 11, 12], 但在高原南部, 在夏季季风期间“降水量效应”明显^[6, 13, 14]。青藏高原自南向北降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的空间分布并不完全受控于气温, 而与降水的水汽来源关系密切^[15~23]。纵观国内外对青藏高原降水中稳定同位素的研究工作, 目前对青藏高原湖泊流域内降水稳定同位素研究相对较少。

位于青藏高原南部的念青唐古拉山脉夏季主要受西南季风的影响, 发育了大量的冰川, 目前在该地区已开展了冰芯研究工作^[24]。中国科学院组织的野外考察队于2005年夏、秋季对念青唐古拉山及其北麓的纳木错流域进行了一次大规模的科学考察活动, 其中包括在纳木错湖东南岸建立综合观测研究站。本文基于以上野外工作, 主要分析

2005年8月23日至10月30日纳木错流域降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的特征及其与水汽来源的关系, 并进一步探讨不同性质降水 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度的关系, 这将是认识该地区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 气候学意义的基础。

1 方法与资料

1.1 研究区域概况

纳木错(89°30'~91°25'E、30°00'~31°10'N,)位于青藏高原中部, 是青藏高原上第二大湖泊, 面积1920 km², 湖面海拔4718 m。其流域面积约10600 km²^[25], 北部和西北部是起伏较小的藏北高原丘陵, 南部和东南部属念青唐古拉山脉, 整个区域形成了一个相对封闭的盆地。由于该流域处于羌塘寒冷半干旱高原季风气候区和藏北高原草原区的东南边缘地带, 对区域气候变化极为敏感^[26], 每年6~9月受西南季风的影响, 相对温暖湿润, 是流域的雨季, 其他月份主要受西风环流的影响^[26]。

1.2 降水样品的收集和实验室分析

自2005年8月23日开始, 在纳木错湖东南岸的中国科学院纳木错综合观测研究站内(图1)进行大气降水稳定同位素观测, 收集每次降水的样品。8月23日至10月30日共采集到降水样品23

收稿日期: 2006-06-21; 修订日期: 2006-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(40401054, 40121101, 40671045), 中国科学院“百人计划”和院长基金项目、中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-339), “973”项目(2005CB422004)资助。

作者简介: 徐彦伟(1978-), 男, 湖南耒阳人, 博士研究生, 主要研究方向为环境同位素水文。E-mail: yanweixu@itpcas.ac.cn

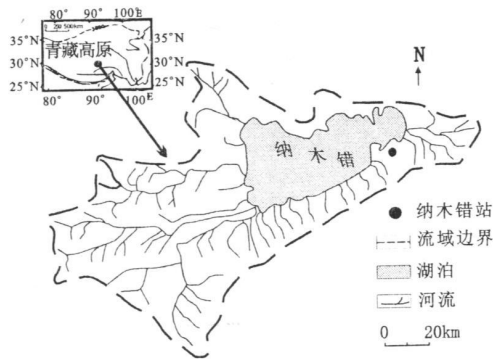


图 1 纳木错流域及降水采集点示意图

Fig. 1 Map of the Nam Co Basin and precipitation sampling site

个。降水样品由 SYC-2 型降雨采样器采集, 该采样器由样品采集器、感雨器和压盖驱动 (电机、轴承和压盖) 组成, 样品采集器设有降雨采集桶和降尘采集桶, 通过感雨器感知天气状况, 当降雨开始时, 降雨采集桶被打开, 压盖压在降尘采集桶上, 采集降雨样品, 仪器自动记录降雨日期及降雨起止时间, 当降雨停止时, 压盖会自动翻转到降水采集桶上, 完成一次降雨纪录。降水结束后, 样品被收集

到 20 ml 高密度聚乙烯塑料瓶中, 随后保存在 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰柜中。所有样品在运输、保存过程中始终处于冷冻状态, 直到实验之前在室温下自然融化。所有样品氧同位素比率的测定均在中国科学院寒区旱区工程研究所冰芯与寒区环境联合重点实验室由 MAT-252 气体质谱仪进行测定, 测量精度为 $\pm 0.2\text{ }_{\text{‰}}$ 。测定结果列于表 1 中。

1.3 相关气象资料

表 1 中降水时气温 (降水开始到结束时段内的平均气温) 和降水量分别由纳木错站设置的自动气象站和雨量筒获得。另外, 利用 NOAA 所提供 HYSPLIT 气团轨迹模型结合 GDAS 历史气象数据库 (<http://www.arl.noaa.gov/ready/open/hysplit4.html>), 计算了纳木错站观测期间每次降水前 5 ~10 日内的降水气团轨迹 (气团高度分为地面以上 500、2 000、3 500 m 共三层), 该轨迹包括气团水平和垂直方向的运移路径。所有的计算结果由气团轨迹图表示, 由于有些降水事件的气团轨迹图非常类似, 本文中只列出 6 次典型降水事件的气团轨迹图。

表 1 纳木错站 2005 年 8 月 23 日至 10 月 30 日降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 测定结果

Table 1 $\delta^{18}\text{O}$ values in precipitation at Nam Co Station from August 23 to October 30, 2005

降水事件编号	降水日期	降水起止时间	降水量 (mm)	降水时气温 ($^{\circ}\text{C}$)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
1	2005-08-23	04:15~10:00	1.2	6.50	-16.95
2	2005-08-24	07:10~11:15	6.8	6.10	-23.06
3	2005-08-24	22:40~次日 10:08	6.8	3.50	-26.91
4	2005-08-26	03:30~05:50	23.4	6.25	-25.17
5	2005-08-26	09:00~10:00	5.2	6.58	-21.13
6	2005-08-27	04:50~07:40	10.0	3.23	-19.70
7	2005-08-28	10:00~11:00	0.2	7.04	-16.94
8	2005-08-30	21:40~22:00	3.6	9.20	-8.79
9	2005-09-01	14:00~19:05	4.6	6.40	-6.67
10	2005-09-02	08:00~11:00	0.4	5.68	-11.39
11	2005-09-02	17:30~18:30	0.2	11.42	-14.70
12	2005-09-03	04:00~11:00	0.2	5.74	-14.59
13	2005-09-04	01:00~04:00	0.4	5.10	-11.47
14	2005-09-12	00:35~08:30	0.5	3.31	-7.00
15	2005-09-15	17:30~18:40	0.4	5.43	-19.30
16	2005-09-17	02:50~06:00	4.4	2.61	-25.92
17	2005-09-24	20:30~21:00	0.2	9.70	-17.90
18	2005-10-04	18:20~19:40	4.6	0.66	-23.60
19	2005-10-09	12:44~13:08	0.5	1.40	-13.71
20	2005-10-09	22:00~次日 08:20	2.4	0.63	-13.54
21	2005-10-22	21:00~次日 09:00	1.4	-2.15	-30.28
22	2005-10-24	14:00~16:00	2.0	-3.34	-28.67
23	2005-10-30	16:00~次日 10:00	2.4	-7.32	-16.19

2 结果与讨论

2.1 降水中 $\delta^8\text{O}$ 时间变化特征及其与水汽来源的关系

已有的研究表明^[19], 降水中稳定同位素的变化不仅与局地气象要素(如温度、降水量等)存在相关关系, 而且还与大气水汽来源和输送过程联系紧密。从水汽循环的角度来说, 影响降水中 $\delta^8\text{O}$ 的因素主要有两类: 一类是与形成降水时大气水汽中本身的 $\delta^8\text{O}$ 含量有关, 包括水汽的来源和水汽在输送过程中 $\delta^8\text{O}$ 所发生的变化; 另一类是降水发生时的气象条件, 即降水时的天气状况(气温、降水强度、相对湿度等)。青藏高原不同区域由于受以上两个因素影响的程度存在差异, 导致了各地控制降水中 $\delta^8\text{O}$ 变化的主导因子的差别, 如果水汽的来源和输送过程对一个地区降水中 $\delta^8\text{O}$ 的影响较大, 则该地区降水中 $\delta^8\text{O}$ 受降水时天气状况因素的影响就较弱^[4]。因此, 研究降水中 $\delta^8\text{O}$ 需要考虑上述两个影响因素的主次关系。

观测期间纳木错站降水中 $\delta^8\text{O}$ 变化幅度较大(表1, 图2), 其值介于 $-30.28\text{‰} \sim 6.67\text{‰}$ 之间, 平均为 -17.98‰ 。其最低值为10月22日降雪的 -30.28‰ , 最高为9月1日降水的 -6.67‰ , 二者相差达 23.61‰ 。

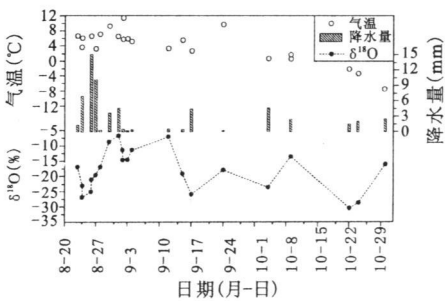
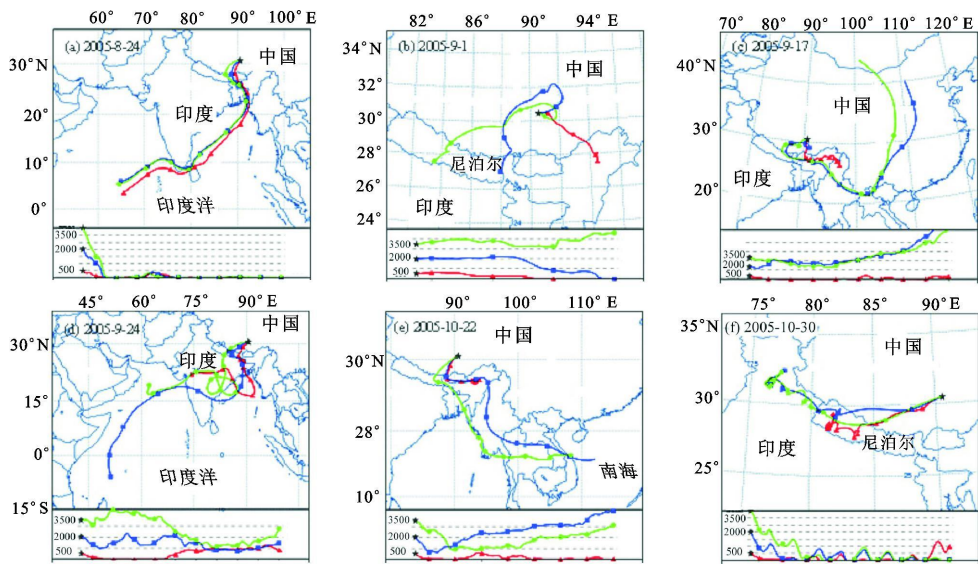


图2 2005年8月23日至10月30日纳木错站降水中 $\delta^8\text{O}$ 、降水量和气温随时间的变化

Fig. 2 Variations of $\delta^8\text{O}$ in precipitation, air temperature and precipitation at Nam Co Station from August 23 to October 30, 2005

8月23~28日6天内降水次数比较多且总降水量大, 降水事件主要发生在00:00~12:00这一局地对流相对较弱的时段, 降水中 $\delta^8\text{O}$ 值都较低。由于8月23、24日的连续3次降水, 云中水汽的氧稳定同位素分馏程度较高, 因而出现8月24日降水中 $\delta^8\text{O}$ 的一个极低值 -26.91‰ 。从该次降水前10日内的气团轨迹图(图3a)可以看出, 降水气团来源于南部的印度洋而且经过了长距离的传输。另外该时段其他几次降水的气团轨迹与8月24日的非常类似。由此, 这一时段降水为西南季风带来的印度洋水汽形成的海洋性气团降水。



五角星位置为纳木错站; 红色、蓝色、绿色曲线分别代表地面上500、2000和3500 m高度气团轨迹; 上部曲线表示气团水平路径; 下部曲线表示垂直方向气团轨迹

图3 纳木错站2005年8~10月不同时间气团轨迹图

Fig. 3 Air mass backward trajectories at Nam Co Station from August to October of 2005

8月30日降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值升高到 -8.79‰ , 接着连续4天中发生的5场次降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值均较高且总降水量较小, 而且还出现了9月1日的最高值 -6.67‰ 。9月1日降水时气温较高, 且发生于14:00~19:05, 该时段是高原上每天局地对流活动特别强烈的时段^[27], 且此值同我们观测的纳木错2005年8~10月湖水中 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值 -7.56‰ 非常接近, 同时图3b所示降水气团为来自青藏高原的局地气团, 据此推断该次降水很可能是一次高原内部湖水、河水等水体蒸发后通过局地对流形成的降水^[4]。根据这一时段降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的高值以及类似的降水前5日内气团轨迹图(图3b), 可以判断8月30日至9月12日期间的降水水汽来自高原局地的水体蒸发, 为大陆性气团降水。

已有的研究^[28, 29]表明, 9月中、下旬处于西南季风消退和西风环流在高原建立的时期, 仅根据 $\delta^{18}\text{O}$ 值不能准确判断出降水水汽的来源。9月15日和17日降水前10日内气团轨迹图类似(图3c), 该图所示这两次降水的气团都来自于中国的北方, 降水应归类为大陆性气团形成的降水, 但由于长距离传输导致水汽中的 ^{18}O 不断贫化, 所以这两次降水 $\delta^{18}\text{O}$ 值比较低。而9月24日降水的前10日内气团轨迹图(图3d)又显示该事件为西南季风带来的海洋性降水。

10月份以后纳木错流域气温降低到 0℃ 以下, 西风环流逐渐控制了该流域^[26], 湖泊等的蒸发和降水减少, 大气降水形式大部分为降雪, 但该月降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值并未随着温度的降低而降低, 反而出现了较大的波动。通过气团轨迹图(降水气团轨迹类似8月24日的, 参考图3a)可以得出10月4日降水气团仍然来自印度洋, 故该次降水 $\delta^{18}\text{O}$ 为低值。本月出现了10月22日降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 最低值 -30.28‰ , 由降水前10日内气团轨迹图(图3e)可以判断, 形成本次降水的气团来自东南亚并且经过长距离的传输, 而且降水时气温较低为 -2.15℃ 所以造成了降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的极低值, 该次降水仍为海洋性降水。可见尽管10月下旬高原已经处于西风环流的控制之下, 但偶然还有南部海洋性气团给高原带来降水。降水前5日内气团轨迹(图3f)显示, 10月9日的两次降水、10月24日和30日的降水来自西风环流带来的水汽气团。

综上所述, 纳木错流域的夏、秋季节降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化幅度较大, 不同的水汽来源是决定降水中

$\delta^{18}\text{O}$ 的变化的主要因素。这一结果不但与姚檀栋等^[15]在高原中部唐古拉山垭口的观测结果一致, 也与高原南部希夏邦马峰地区得出的结论相同^[28~30]。

2.2 降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度的关系

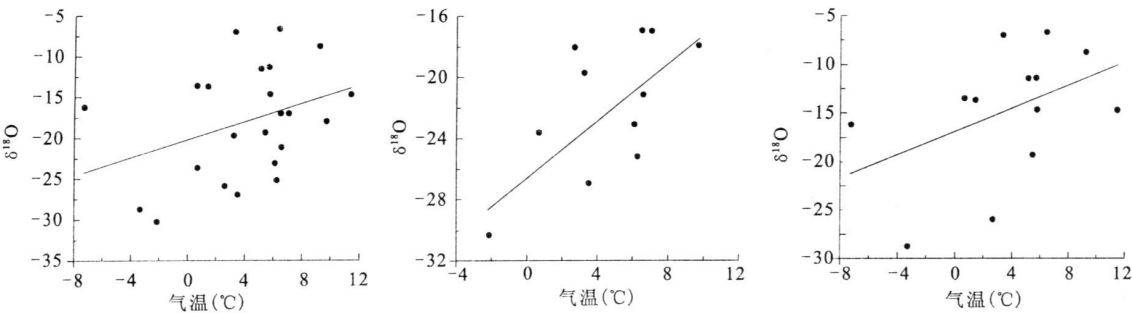
如前述, 尽管夏、秋季节降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 主要受水汽来源的影响, 为了进一步认识气温对降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的影响, 我们对具有相同来源的降水事件进行讨论。根据上节对每次降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化和水汽来源分析, 可以把观测期间的23次降水大致分为海洋性降水和大陆性降水两个类别, 即由夏季风带来的海洋水汽形成的降水划分为海洋性降水, 源自青藏高原内部或由西风环流输送的水汽形成的降水归类为大陆性降水。海洋性降水包括降水事件1~7、17~18和21, 大陆性降水包括降水事件8~16、19~20, 22~23(表1)。

图4a中, $\delta^{18}\text{O}$ 和气温之间具有一定的正相关性, 回归方程可以表示为: $\delta^{18}\text{O} = 0.55T - 20.23$ ($r=0.35, p<0.05$)。如果把该阶段历次海洋性降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水时气温的相关性进行分析(图4b), $\delta^{18}\text{O}$ 和气温之间的正相关性显著提高, 回归方程为: $\delta^{18}\text{O} = 0.94T - 26.64$ ($r=0.73, p<0.01$); 同时, 该阶段大陆性降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水时气温也有一定的正相关性(图4c), 回归方程为: $\delta^{18}\text{O} = 0.59T - 16.9$ ($r=0.44, p<0.05$)。因此, 除了水汽来源是决定纳木错流域夏、秋季节降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化的主要因素以外, 降水时气温很可能是影响纳木错流域降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的次一级因素。

2.3 降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与降水量的关系

根据已有研究^[6, 9, 11], 拉萨降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的季节变化和年际变化受到“降水量效应”的控制, 据此推断, 位于拉萨以北210 km且同样处于西南季风区的纳木错流域降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 可能在季节变化上同样受“降水量效应”的控制, 但目前我们仅仅根据8月23日至10月30日的降水资料, 还不能验证季节尺度上降水量对降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化的影响。

青藏高原南部喜马拉雅山脉中段冰芯研究记录表明^[31], 冰芯中 $\delta^{18}\text{O}$ 在季节和年际变化上主要受降水量影响, 但在10年及更长时间尺度上, 冰芯中的 $\delta^{18}\text{O}$ 反映与温度的正相关关系。由于目前我们对纳木错流域降水的观测时间只是3个月, 数据较少, 需要通过长期观测的数据来进一步认识影响降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的各种气候因素, 从而为该流域冰芯记录的研究奠定基础。



a. 所有降水事件; b. 海洋性降水事件; c. 大陆性降水事件

图4 纳木错站 2005 年 8 月 23 日至 10 月 30 日降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与气温分布的散点图

Fig. 4 Plots of $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation vs. air temperature at Nam Co Station from August 23 to October 30, 2005

3 结 论

通过对纳木错夏、秋季降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与水汽来源的分析以及同降水时气温的对比, 可以得出以下结论:

1) 在纳木错流域, 夏、秋季降水的 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅较大, 降水气团轨迹的分析表明, 该阶段降水水汽来源以西南季风、高原局地气团和西风环流输送为主, 不同的水汽来源是决定降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化的主要因素。

2) 根据降水气团的不同, 可以把纳木错流域夏、秋季降水事件划分为海洋性降水和大陆性降水, 两种降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化分别与气温有一定的正相关关系, 降水时的气温可能是降水 $\delta^{18}\text{O}$ 变化的次一级影响因素。

致谢: 中国科学院纳木错综合观测研究站工作人员参与野外采样, 中国科学院冰冻圈与环境联合重点实验室实验分析人员分析了所有样品, 特此感谢。

参考文献:

[1] Yao T D, Lonnie G T, Mosley Thompson E, et al. Climatological significance of delta O - 18 in north Tibetan ice cores [J]. Journal of Geophysical Research, 1996, **101** (D23): 29531 - 29537.

[2] 杨 保, 施雅风. 近 2000 年古里雅冰芯气候变化的子波分析 [J]. 地理科学, 2001, **21** (6): 488 - 492.

[3] 冯 松, 张拥军, 朱德琴, 等. 近 2000 年古里雅冰芯净积累量与南疆盆地南沿的干湿变化 [J]. 地理科学, 2005, **25** (2): 221 - 225.

[4] 章新平, 施雅风, 姚檀栋. 青藏高原东北部降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化特征 [J]. 中国科学 (B 辑), 1995, **25** (5): 540 - 547.

[5] 田立德, 姚檀栋, 杨志红. 青藏高原降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 的空间分布特征及影响因素 [A]. 青藏项目专家委员会 (编). 青藏高原

形成演化、环境变迁与生态系统研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1995. 243 - 250.

[6] 田立德, 姚檀栋, 蒲健辰, 等. 拉萨夏季降水中氧稳定同位素变化特征 [J]. 冰川冻土, 1997, **19** (4): 295 - 301.

[7] 杨梅学, 姚檀栋, 田立德, 等. 藏北高原夏季降水的水汽来源分析 [J]. 地理科学, 2004, **24** (4): 426 - 431.

[8] 章新平, 田立德, 刘晶淼, 等. 沿三条水汽输送路径的降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征 [J]. 地理科学, 2005, **25** (2): 190 - 196.

[9] Tian L D, Yao T D, Schuster P F, et al. Oxygen - 18 concentrations in recent precipitation and ice cores on the Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, **108** (D9): 4293 - 4303.

[10] 杨梅学, 姚檀栋, 何元庆, 等. 藏北高原地气之间的水分循环 [J]. 地理科学, 2002, **22** (1): 29 - 33.

[11] Tian L D, Yao T D, Yang Z H, et al. A 4 - years study of stable isotope in precipitation on the Tibetan Plateau [J]. Cryosphere, 1997, **3**: 32 - 36.

[12] 章新平, 姚檀栋. 我国降水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 分布特点 [J]. 地理科学, 1998, **18** (4): 354 - 358.

[13] 章新平, 姚檀栋. 青藏高原降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 与温度和降水量的关系 [J]. 地理科学, 1995, **15** (1): 1 - 7.

[14] Tian L D, Yao T D, Numaguti A, et al. Relation between stable isotope in monsoon precipitation in southern Tibetan Plateau and moisture transport history [J]. Science in China, Ser D, 2001, **44** (Supp): 267 - 274.

[15] 姚檀栋, 丁良福, 蒲建辰, 等. 青藏高原唐古拉山地区降雪中 $\delta^{18}\text{O}$ 特征及其与水汽来源的关系 [J]. 科学通报, 1991, **36** (20): 1570 - 1573.

[16] Tian L D, Yao T D, Yang Z H. $\delta^{18}\text{O}$ in precipitation and moisture sources upon the Tibetan Plateau [J]. Cryosphere, 1996, **2**: 33 - 39.

[17] Zhang X P. Variational features of precipitation $\delta^{18}\text{O}$ in the Qinghai - Xizang Plateau [J]. Chinese Geographical Science, 1997, **7** (4): 339 - 346.

[18] 田立德, 姚檀栋, 孙维贞, 等. 青藏高原南北降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 关系及水汽循环 [J]. 中国科学 (D 辑), 2001, **31** (3): 214 - 220.

[19] 余武生, 姚檀栋, 田立德, 等. 慕士塔格地区夏季降水中 $\delta^8\text{O}$ 与温度及水汽输送的关系 [J]. 中国科学 (D 辑), 2006, 36 (1): 23 ~30.

[20] Zhang X P, Yao T D, Nakawo M, et al. Oxygen - 18 in present - day precipitation on the Tibetan Plateau [J]. Science in China, Ser. E, 2001, 44 (Supp): 40 ~47.

[21] 尤卫红, 何大明, 郭志荣. 澜沧江径流量变化与云南降水量场变化的相关性特征 [J]. 地理科学, 2005, 25 (4): 420 ~426.

[22] 李国平, 肖 杰. 青藏高原西部地面反射率的日变化以及若干气象因子的关系 [J]. 地理科学, 2007, 27 (1): 63 ~74.

[23] 吴江滢, 邵晓华, 汪永进. 南京年纹层石笋 $\delta^8\text{O}$ 记录的冰期气候事件特征 [J]. 地理科学, 2007, 27 (1): 75 ~80.

[24] 康世昌, 秦大河, 任贾文, 等. 青藏高原南部冰芯记录与大气环流的关系 [J]. 第四纪研究, 2006, 26 (2): 153 ~164.

[25] 宗 浩, 王成善, 黄川友, 等. 纳木错流域自然生态特征与生物资源保护研究 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 2004, 31 (5): 551 ~558.

[26] 吴中海, 赵希涛, 吴珍汉, 等. 西藏纳木错末次盛冰期以来的古植被、古气候和湖面变化 [J]. 地质通报, 2003, 22 (11): 928 ~935.

[27] 杨梅学, 姚檀栋, Ken 'ichi U. 青藏高原唐古拉山北坡夏季风降水特征的初步分析 [J]. 冰川冻土, 1999, 21 (3): 233 ~236.

[28] 秦 翔, 姚檀栋, 林 舒, 等. 希夏邦马峰达索普冰川区降雪中 $\delta^8\text{O}$ 特征及其与水汽来源的关系 [J]. 冰川冻土, 1999, 21 (3): 237 ~241.

[29] Cameron W, Michle S. Amount effect and oxygen isotope ratios recorded in Himalayan Snow [A]. In: Paleoclimate and Environmental Variability in Austral - Asian Transect during the Past 2000 Years (Proceedings of the 1995 Nagoya IGBP - PAGES/PEP Symposium) [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 236 ~ 241.

[30] 康世昌, 秦大河, 姚檀栋, 等. 希夏邦马峰达索普冰川高海拔区夏季风期间大气降水的 $\delta^8\text{O}$ 特征 [J]. 山地学报, 2000, 18 (1): 1 ~6.

[31] Thompson L G, Yao T D, Mosley Thompson E, et al. A high resolution millennial record of the south Asian monsoon from Himalayan ice cores [J]. Science, 2000, 289: 1916 ~ 1919.

Variations of $\delta^8\text{O}$ in Summer and Autumn Precipitation and Their Relationships with Moisture Source and Air Temperature in Nam Lake Basin, Tibet Plateau

XU Yan-Wei¹, KANG Shi-Chang^{1,2}, ZHOU Shi-Qiao¹,
CONG Zhi-Yuan¹, CHI Yan-Yan³, ZHANG Qiang-Gong¹

(1. Nam Co Comprehensive Observation and Research Station, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085; 2. Joint Key Laboratory of Cryosphere and Environment, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012)

Abstract: Precipitation samples were collected at Nam Co Comprehensive Observation and Research Station, Tibet Plateau, during August to October of 2005. Relationships between $\delta^8\text{O}$ in precipitation and moisture source are analyzed by using air mass backward trajectories. Difference of moisture source is the primary factor which influences variations of $\delta^8\text{O}$. While more negative $\delta^8\text{O}$ values occur in precipitation which is caused by moisture originating mainly from Indian Ocean and transported by summer Southwest Monsoon, less negative $\delta^8\text{O}$ values are associated with precipitation by local moistures and westerlies. According to the air mass backward trajectories, precipitation events are divided into two types: continental and marine precipitation. Positive correlations exist between $\delta^8\text{O}$ and air temperature for both types of precipitation events, suggesting secondary affects of temperature on precipitation $\delta^8\text{O}$.

Key words: precipitation; $\delta^8\text{O}$; moisture sources; air temperature; Nam Co; Tibet Plateau