

文章编号: 1006-6616 (2004) 04-0337-07

西藏纳木错晚更新世以来古降水量变化及其环境响应

邵兆刚¹, 孟宪刚¹, 朱大岗¹, 王 津¹
杨朝斌², 韩建恩¹, 余 佳¹, 孟庆伟¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 西藏自治区国土资源厅, 拉萨 850000)

摘要:通过对西藏面积最大(1940km²)和海拔最高(4718m)的大湖—纳木错的调查,发现纳木错周缘有大面积分布的湖相沉积。U系法和¹⁴C法测年结果表明,纳木错沿岸湖相沉积的时代为晚更新世和全新世。根据纳木错周缘不同时代湖相沉积物的范围分布的变化,探讨了湖泊演化,计算出纳木错流域古降水量。研究结果,本区自晚更新世以来气候环境由湿润转向干旱,自全新世以来降雨量呈下降趋势。

关键词:西藏纳木错;湖相沉积;同位素测年;晚更新世—全新世;古降水量

中图分类号:P534.63⁺¹, X141

文献标识码:A

青藏高原是中国湖泊分布最多的地区,藏北内流区则集中了西藏最多的湖泊和大湖。其中,位于藏北高原东南部的纳木错面积1940km²[1],海拔4718m,是我国第二大咸水湖。湖泊演化是高原环境演化的重要组成部分,对全球环境变化研究具有特殊意义,它已成为青藏高原古气候、古环境研究中的热点问题之一[2-3]。晚更新世以来,纳木错周缘发育有多期湖相沉积,湖泊变化明显,是研究藏北地区晚新生代地壳运动、气候变迁和环境变化的天然野外实验室。

通过在纳木错沿岸进行的详细野外地质调查和1:25万地质填图,对湖岸阶地、湖岸堤与湖相沉积剖面进行了水准仪测量与剖面采样。室内开展了同位素年龄测定和其他项目的分析测试,并陆续报道了有关湖泊演化、湖相地层划分与冰川作用等阶段性研究成果[4-6],现将有关纳木错晚更新世以来的古降水量变化及其环境响应进行初步总结归纳如下:

1 流域自然地理概况

纳木错流域处于藏北高原东南部,气候相对较为湿润,目前流域面积达10610km²,属半

收稿日期:2004-10-19

基金项目:国土资源大调查项目“西藏纳木错地区第四纪环境演变调查研究”(编号DKD2001006)和“西藏当雄幅1:25万区域地质调查”(编号DKD9901001)的阶段性研究成果。

作者简介:邵兆刚(1970-),男,博士,副研究员,从事区域地质、地球物理与古环境研究。电话:010-68422370。

湿润半干旱过渡地带。光、热、水资源充足,年日照达 3000 小时左右。湖泊周围地势较低,气温相对较高,又有广阔丰美的草地,是藏北居民经济生活的主要场所之一。纳木错主要靠众多的河流与湖面降雨补给,是西藏大、中型湖泊中最低的。出水只有湖面蒸发^[7],是一个封闭湖泊,流域内无城市,仅有少量自然村落(图 1)。湖泊周围存在古湖泊遗留的湖岸堤,是湖面存在较长稳定期所留下的古湖泊遗迹,为研究流域水文、气候变化提供了良好条件。

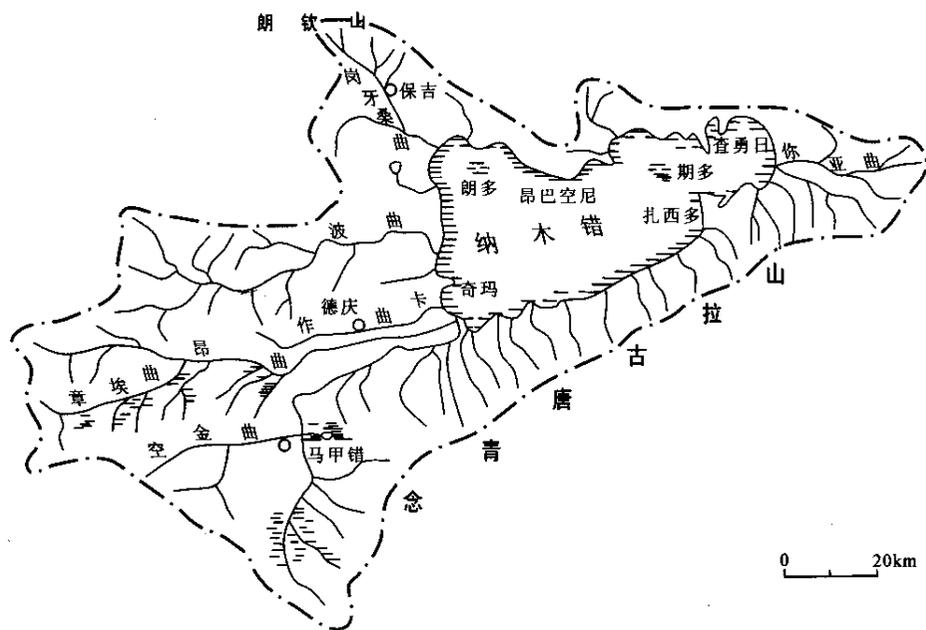


图 1 纳木错流域简图^[7]

Fig. 1 Sketch map of the Nam Co drainage area

2 纳木错沿岸湖泊沉积、同位素测年及其湖泊演化

2.1 全新统湖相地层 (Q_4)

分布于纳木错周缘湖滨前部,与上更新统湖相地层以 I 级滨岸砂砾堤为界,湖相地层由环湖断续出露的 $T_1 \sim T_2$ 湖积阶地组成^[4]。在湖滨东段和南东段湖相地层出露连续,西段和北段断续出露。其中,湖滨西南段由于冲洪积的覆盖,界线比较模糊。经计算,区内全新统湖相地层出露宽度一般为 450m~1600m;以白马朗木错、测曲河口、昂崩地段出露较宽,分别为 2440m、2600m 和 2100m;出露总面积为 166.48km²^[8]。

2.2 上更新统湖相地层 (Q_3)

分布于纳木错周缘湖滨后部,以 II 级滨岸砂砾堤为界,或与中更新统冰碛及冰水沉积相邻,或被同期洪积覆盖,出露状况与全新统湖相地层相似,由环湖断续出露的 $T_3 \sim T_6$ 湖积阶地及高位湖相沉积组成^[4]。以晚更新世晚期湖积为主,在扎弄淌、昂崩、干玛弄等地有少量晚更新世早、中期湖积出露。经计算,区内上更新统湖相地层出露宽度一般为 530m~1750m,以白马朗木错、昂曲和波曲河口三角洲、同错地段出露较宽,分别为 2940m、3180m、3320m 和 2620m;出露总面积为 203.94km²^[8]。

2.3 湖相沉积的同位素测年

2.3.1 ^{14}C 法年龄测定

^{14}C 法测年样品，均为湖相细砂、粉砂或粘土中的水草层、螺壳或淤泥。全部样品均采自纳木错沿岸，分别为西北岸班戈县德庆乡扎弄淌、波曲河口，当雄县纳木错乡干玛弄、丁曲怕等地的 T_1 和 T_2 阶地（表 1）。根据纳木错湖相沉积 ^{14}C 法年代学的初步研究， $T_1 \sim T_2$ 阶地湖相地层中的水草层 ^{14}C 测年结果为 2350 ~ 10390aB. P.， $T_1 \sim T_2$ 阶地中的螺壳 ^{14}C 测年结果为 5290 ~ 9030aB. P.， T_1 阶地中的淤泥 ^{14}C 法测年结果为 13820aB. P.，可以确定环纳木错的第一和第二级湖积阶地的形成时代均属全新世以来^{4]}。

2.3.2 铀系法测年

根据铀系等时线年龄研究结果确定，纳木错沿岸的高位湖相沉积形成于 $115.9 \pm 12.1 \sim 71.8 \pm 8.5\text{kaB. P.}$ 晚更新世早中期；高阶地（第六至第三级湖积阶地）分别形成于 $53.7 \pm 4.2\text{kaB. P.}$ 、 $41.2 \pm 4.7 \sim 39.5 \pm 3.0\text{kaB. P.}$ 、 $36.1 \pm 2.2 \sim 35.2 \pm 3.0\text{kaB. P.}$ 和 $32.3 \pm 4.4\text{kaB. P.}$ ，相当于晚更新世中晚期；低阶地（第二与第一级阶地）分别形成于 $28.2 \pm 2.8\text{kaB. P.}$ 之后和 $11.2 \pm 2.0\text{kaB. P.}$ 前后，大致相当于晚更新世末期和全新世早期^{5]}。

2.4 湖泊演化

依据湖成阶地上沉积物测年资料及分布特征，纳木错自晚更新世—全新世以来，气候逐级变干，湖泊逐渐退缩，其湖滨出露的湖相地层分布范围及其同位素年代测定表明，纳木错周缘的湖相沉积形成的时间介于 $115.9\text{kaB. P.} \sim 2350\text{aB. P.}$ 之间，因此纳木错可能始于中更新世末，晚更新世中期湖泊面积最大。晚更新世晚期以来，湖泊范围在不断波动中逐渐收缩，晚更新世晚期湖泊面积为 2354.76km^2 。至全新世初期湖泊的面积约为 2150.83km^2 ，到 20 世纪 70 年代初湖泊面积约为 1920km^2 。在此期间，湖泊范围曾经有过短暂的扩展阶段^{8]}。

表 1 纳木错湖泊沉积的 ^{14}C 法测年结果

Table 1 ^{14}C dating of lacustrine sediments of Nam Co

样品编号	采样部位	样品物质	距今年代 (a. B. . P.)	树轮校正 (Cal. a. B. P.)
06-24-01-5	扎弄淌 T_1	水草	4220 ± 85	4830 ± 120
06-24-01-103	扎弄淌 T_1	水草	4350 ± 85	4870 ± 100
06-25-01-4	扎弄淌 T_2	螺壳	8060 ± 100	9010 ± 170
06-24-01-45	扎弄淌 T_1	水草	2380 ± 60	2350 ± 60
06-25-01-32	扎弄淌 T_2	水草	7780 ± 80	8560 ± 90
06-27-08-2	波曲河口 T_1	淤泥	11805 ± 100	13820 ± 240
06-27-08-49	波曲河口 T_1	螺壳	4540 ± 65	5290 ± 130
06-28-01-2	波曲河口 T_2	螺壳	8130 ± 90	9030 ± 125
06-07-03-8	干玛弄 T_1	水草	2610 ± 70	2750 ± 25
06-02-01-55	丁曲怕 T_1	水草	9230 ± 95	10390 ± 145

注：中国地震局地质研究所碳十四实验室测定。

3 晚更新世晚期以来湖面稳定期降雨量重建

晚更新世以来，纳木错流域均为封闭流域，因此可采用封闭流域全流域水量平衡原理，

即全流域降水量和全流域蒸发量与湖泊水位升降之间的平衡,重建各湖面稳定时期的古降雨量^[8]。

3.1 降雨量参数的确定

本文在气候和水文参数的设定时主要考虑以下因素:

(1) 天文参数:晴天天文辐射量(理论值) G_0 (W/m^2)的现代值由中国气候总论^[11]查得。该文给出了我国不同纬度(每隔 5°)的多年平均辐射总量,其中 $30^\circ N$ 现代多年平均辐射总量为 $374.29 W/m^2$ 。地质时期天文辐射量可根据 Berger (1978)^[12]的天文计算。 $30 \sim 40 kaBP$ 夏季天文辐射量最大值时(持续约2000年左右)不同纬度冬、夏季太阳辐射与现代(1950A. D.)差值, $30^\circ N$ 夏季太阳辐射高 $26 W/m^2$,冬季比现代低 $23 W/m^2$ 。放射性碳年龄 $24 kaB. P.$ 时的天文辐射量比现代多 $6 W/m^2$ 。放射性碳年龄 $6 kaB. P.$ 时的天文辐射量 $30^\circ N$ 比现代多 $11 W/m^2$ 。

(2) 古地温(T):目前绝大多数地区的古地温尚属空白,本区古地温参考已有的古气候学成果,采用内插的方法估计湖泊的古地温状况。青藏高原区域 $30 kaB. P.$ 的温度状况约高出现今 $0 \sim 2^\circ C$ ^[13];全新世中期 $6 kaB. P.$ 青藏高原南部高 $3 \sim 5^\circ C$ ^[14],由于湖泊水体温度往往比流域陆地温度要高,古湖泊温度用陆地温度加 $1 \sim 2^\circ C$ 来计算。

(3) 古植被和地表反射率(a):根据地表植被情况推算地表反照率,这里忽略土壤湿度、冰雪覆盖等下垫面条件均可能对参数的影响。地表反照率湖泊约0.06,在青藏高原中西部现代陆地为 $0.3 \sim 0.4$ ^[11]。地质时期地表反照率只能参考当时植被覆盖,土壤湿度状况及可能的冰雪覆盖范围,冰面的反照率较强,可达0.5,甚至0.6以上,湖泊表面反照率一般为0.06,咸水0.1,灌木森林沼泽约0.18,荒漠草原约 0.30 ^[15]。

(4) 云量覆盖率(c):云量的增加,引起地表吸收太阳辐射量的减少及地表有效长波辐射的减少,前者产生的效果常常大于后者,所以,云量提高的净效果就是减少了净辐射和所需的蒸发量,按照水热平衡方程计算的降水量通常会偏小。青藏高原东南云量覆盖率达0.7,藏北高原云量覆盖率 $0.5 \sim 0.6$ ^[11]。地质时期的云量用同一地理单元与当时环境相当区域的云量值来代替。

(5) 地表散射系数(ϵ):地表散射系数变化范围较小,温性草原与沼泽为0.93,荒漠草原为0.90,湖泊取 0.96 ^[16]。

3.2 晚更新世以来的降雨量

古降雨量的计算结果:全新世以来本区降雨量呈下降趋势,其中20世纪70年代的降雨量计算结果为 $409 mm/a$,与现今实际测量降雨量 $410 mm/a$ 大体相同,而晚更新世晚期、全新世初期的历史降水量,则有很大的变化,分别比现今降雨量多 $95 mm/a$ 、 $60 mm/a$ 。总之,本区的降水量随时代变新,呈逐渐下降的趋势(表2,图2)。由波恩比的变化同样反映出,本区自晚更新世以来气候由湿润向干旱环境转变。

4 孢粉分析显示的气候变化信息

纳木错流域自晚更新世以来降水量的变化将对全流域范围内的植被、环境等带来深远的影响。由于湖岸堤的产生通常代表一定阶段湖面相对稳定的情况,以此通过对湖岸堤之间阶地的孢粉分析可以了解降雨量变化前后环境的总体变化特征及变化的过程。

表 2 历史降水量变化结果

Table 2 Variation of precipitations in history in the Nam Co area

参数	符号	单位	晚更新世晚期		全新世初		70 年代初	
			湖区	流域陆地	湖区	流域陆地	湖区	流域陆地
天文辐射	I	W/m ²	380.29	380.29	385.29	385.29	374.29	374.29
大气透明系数	K		0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
晴天总辐射	G ₀	W/m ²	311.84	311.84	315.94	315.94	306.92	306.92
云量覆盖率	C		0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52
反射率	a		0.06	0.26	0.06	0.28	0.06	0.30
净短波辐射	G	W/m ²	129.83	113.58	129.83	103.58	129.83	103.58
地表长波散射率	e		0.96	0.90	0.96	0.91	0.96	0.92
温度	T	K	276.00	275.00	277.00	276.00	275.00	274.00
表面水汽压	e	Mb	7.26	4.70	7.26	4.70	7.26	4.70
Angstrom 系数	A		0.21	0.23	0.21	0.23	0.21	0.23
有效辐射	LW	W/m ²	64.78	65.00	64.78	66.52	65.50	68.24
净辐射	R	W/m ²	69.49	39.54	72.71	37.99	72.98	34.88
波恩比	B		0.20	0.25	0.20	0.31	0.20	0.40
蒸发量	E	mm/a	752.06	410.82	786.92	376.66	789.82	323.57
降水量		mm/a	505		470		409	

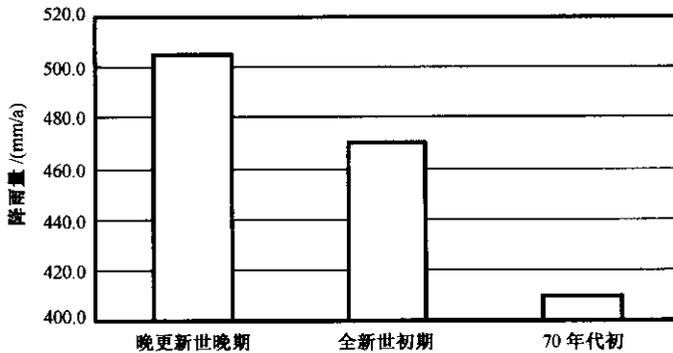


图 2 古降水量计算结果

Fig.2 Calculation results of the paleo-precipitation in the Nam Co area

纳木错沿岸 T₂、T₁ 阶地的孢粉样品采自扎弄淌。在 T₂ 剖面中共采集 22 个样品，孢粉总数为 4652 粒，共发现 51 个科、属，计乔木植物花粉、灌木与草本植物花粉和藻类与蕨类孢子分别为 18、24 和 9 个科、属。在各样品中，以乔木和灌木与草本植物花粉居多数，其含量后者大于前者，分别占孢粉总数的 59.93%，和 38.5%，而藻类与蕨类孢子很少，仅占总数的 1.6%（见表 3）。

孢粉资料显示 T₂ 阶地的古植被为以蒿为主的草原，但松的含量在下部与上部较多，古植被与古气候可进一步划分为：早期为以蒿、松为主，含桦与少量冷杉的疏林草原（草甸）或稀树草原（草甸），气候偏干，气温相对较低；中期为以蒿为主的草原或含松与少量桦的稀树草原，植被覆盖率较高，气温与湿度略有回升；晚期为以松、蒿为主，含桦和少量冷

杉、胡桃和椴的森林—草原或森林，气候温和轻湿。

表3 纳木错湖岸 T₁、T₂ 阶地孢粉分析结果

Table 3 Sporopollen analysis of terraces T₁ and T₂ of Zanongtang of the Nam Co

采样位置	样品数	孢粉总数	乔木数量	乔木含量 (%)	灌木和草本数量	灌木和草本含量 (%)	藻类和蕨类数量	藻类和蕨类含量 (%)
扎弄淌 T ₂	22	4652	1791	38.5	2787	59.9	74	1.6
扎弄淌 T ₁	25	3946	2098	54.1	1753	44.4	95	2.4

T₁ 剖面有 25 个样品，孢粉总数 3946 粒，共发现 56 个科、属，计乔木植物花粉、灌木与草本植物花粉和藻类与蕨类孢子分别为 19、25 和 12 个科、属。在各样品中，以乔木和灌木与草本植物花粉居多数，其含量大体相当，分别占孢粉总数的 54.1% 和 44.4%，与 T₂ 剖面相比乔木植物有较大幅度的提高，灌木与草本植物花粉出现，而藻类与蕨类孢子很少，仅占总数的 2.46%，略高于 T₂ 剖面。在剖面中，它们的含量与种类同样存在有明显变化的：早期为以蒿、莎草和松、桦为主的疏林草原（草甸）或稀树草原（草甸），气候相对暖湿；中期为以松、桦为主，含少量冷杉和椴等针、阔叶树种所组成的针阔混交林，气候较温暖湿润，相当于全新世大暖期气候；晚期为以松为主，但含桦与少量冷杉与椴等针、阔叶植物所组成的针叶林，气温与湿度均较前期下降^[17]。

5 结论

(1) 纳木错湖滨出露的湖相地层时代及分布范围表明，自晚更新世—全新世以来，该区气候变干，湖泊逐渐退缩。纳木错始于中更新世末，晚更新世中期末形成统一的大湖。晚更新世晚期以来，湖泊的范围在不断波动中逐渐收缩。

(2) 本区古降水场计算结果表明，自晚更新世以来本区降雨量呈下降趋势，其中 20 世纪 70 年代降雨量计算结果与现今实际测量降雨量大致相同；而晚更新世晚期、全新世初期的历史降水量，则有很大的变化，表明本区自晚更新世以来气候环境由湿润转向干旱。

(3) 孢粉分析结果与全流域内降雨量变化相对应；本区气候变化由温暖湿润逐渐变干，阶地之间的孢粉变化反映出在该变化趋势上还有多次干湿波动出现的特点，直至成为目前的半湿润与半干旱过渡地带。

总之，纳木错晚更新世以来湖泊演化与古降水量变化的研究，对于该区第四纪古地理与古环境的重建，沉积矿床尤其是盐类矿床的成因与物质来源，以及高原的隆升过程与新构造运动等研究，都具有一定的实践意义。

参 考 文 献

- [1] 西藏自治区测绘局, 西藏自治区地图册 [M]. 北京: 中国地图出版社, 1996. 27~29.
- [2] 李炳元. 湖泊演化, 见: 施雅风、李吉均、李炳元主编, 青藏高原晚新生代隆升与环境变化 [C]. 广州: 广东科技出版社, 1998. 331~347.
- [3] Shi Yafeng, Yu G, Liu X D, et al. Reconstruction of 30~40kaBP enhanced Indian monsoon climate based on geological records from the Tibetan Plateau [J]. Palaeogeography, Palaeoclimate, Palaeoecology, 2001, 169 (1-2): 69~83.
- [4] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错第四纪湖相地层划分及纳木错群的建立 [J]. 地质通报, 2002, 21 (11): 708~716.

- [5] 马志邦, 赵希涛, 朱大岗, 等. 西藏纳木错湖相沉积的铀系年代学研究 [J]. 地球学报, 2002, 23 (4): 311 ~ 316.
- [6] 赵希涛, 吴中海, 朱大岗, 等. 念青唐古拉山脉西段第四纪冰川作用 [J]. 第四纪研究, 2002, 22 (5): 424 ~ 433.
- [7] 金相灿. 中国湖泊环境 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [8] 朱大岗, 孟宪刚, 等. 西藏纳错地区第四纪环境演变 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [9] ZHU Dagang, MENG Xiangang, ZHAO Xitao et al, Evolution of an Ancient Large lake in the Southeast of the Northern Tibetan Plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78 (4): 982 ~ 992.
- [10] 施雅风, 黄茂恒, 任炳辉. 中国冰川概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [11] 盛承禹. 中国气候总论 [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [12] Berger A L. Long-term variations of caloric insolation resulting from the earth's orbital elements [J]. Quaternary Research, 1979, 9 : 139 ~ 167.
- [13] 施雅风, 李吉均, 李炳元. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化 [M]. 广州: 广州科技出版社, 1998.
- [14] 施雅风, 孔昭宸. 中国全新世暖期气候与环境 [M]. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [15] 于革, 薛滨, 刘健, 等. 中国湖泊演变与古气候动力学研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [16] Swain A W, Kutzbach J E, Hastenrath S. Estimates Holocene precipitation for Rajasthan, India, based on pollen and lake-level data [J]. Quaternary Research, 1989, 19 : 1 ~ 17.
- [17] 赵西涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化 [J]. 第四纪研究, 2003, 23 (1): 41 ~ 52.

VARIATION OF PRECIPITATION IN NAM CO , TIBET , SINCE THE LATE PLEISTOCENE AND ITS ENVIRONMENTAL RESPONSE

SHAO Zhao-gang¹ , MENG Xian-gang¹ , ZHU Da-gang¹ , WANG Jin¹ ,
YANG Chao-bin² , HAN Jia-nen¹ , YU Jia¹ , MENG Qing-wei¹

(1. Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 ;

2. Bureau of Land and Resources of the Xizang (Tibet) Autonomous Region , Lhasa 850000 , Tibet)

Abstract : Field surveys of the Nam Co—a large lake with the biggest area (1940 km²) and highest elevation above sea level (4718 m) in Tibet show that there are extensive lacustrine sediment around the Nam Co. Uranium-series and ¹⁴C dating indicate that the lacustrine sediments along the shores of the Nam Co are late Pleistocene and Holocene in age. The lake evolution was studied according to the change in distribution of lacustrine sediments of different ages around the Nam Co and the paleo-precipitation in the Nam Co drainage area was calculated. The study indicates that the climate in the study area turned from wet to dry since the late Pleistocene and that the precipitation has had a tendency of decrease since the Holocene.

Key words : Nam Co , Tibet ; lacustrine sediments ; isotopic age determination ; late Pleistocene-Holocene ; paleo-precipitation