

·基础地质·

内蒙古盐湖与台湾湖泊沉积物之古气候记录

罗建育* 陈镇东

(台湾中山大学海洋地质及化学研究所)

陈延成

(化学工业部化学矿产地质研究院)

提 要 通过对位于干旱-半干旱区的内蒙古盐湖中沉积物提供的环境和气候条件之相关讯息,能解读出最近 23 kaB. P. 以来详细的气候变化:据今 20~23 kaB. P. 期间,气候呈温干特征;之后,气候变冷进入末次冰期的极盛期。在 14.5~20 kaB. P. 期间,降水量大幅度减小,夏季风萎缩,而冬季风更加强劲。自 14.5 kaB. P. 开始,全球进入冰消期。约在 11 kaB. P. 左右,出现异常降温的新仙女木(Younger Dryas)突变事件。自 2.3 kaB. P. 以来,夏季风乃处于衰退减弱之趋势,其中仍有明显的气候波动。台湾的撤退池和嘉明湖沉积物,则记录着最近数千年来的气候变动,其中的冷暖变化竟也大多与内蒙古盐湖的记录相对应。似能说明 20~23 kaB. P. 以来较大范围的气候变化。

关键词 内蒙古盐湖 台湾高山湖泊 盐类沉积物 古气候

湖泊沉积物之研究,除了可供地球化学方面的探讨之外,亦能提供水体所处环境之变化历史。最近国内学者对台湾地区过去数千年来之气候变化,已有相当的研究,发现与季风有密切之关系(陈镇东等,1993;刘平妹和黄奇瑜,1996)。而台湾地处冬季季风所能及之最南端,内蒙古则处于夏季季风所能及之最北端,两者皆为东亚季风区特别敏感的气候带,因此藉由台湾湖泊与内蒙古盐湖沉积物之比较,或能提供大范围季风变化之资讯。本论文即就此做一初步之探讨。

1 中国盐湖的分布特征及盐湖类型

盐湖的形成,必须具备三个条件:适宜的封闭或半封闭湖盆、有充足的盐类物质来源

* 作者简介:罗建育,男,34岁,沉积学及地球化学专业,博士后研究生。国家“九五”科技攻关项目(96-911-01-05)及化工部化学矿产地质研究院、台湾中山大学海洋地质及化学研究所、瑞士联邦高等理工大学地质研究所合作项目“内蒙古盐湖与台湾高山湖泊晚第四纪末次冰川以来古气候对比研究”课题组主要成员。台湾高雄,邮编 80424
收稿日期:1996-12-02

以及湖水蒸发量常大于补给量的干燥气候。其水中盐分达到饱和或过饱和状态,而开始在湖滨和湖底形成各种不同的盐类沉积。

通常湖水的含盐量大于 1g/L 而小于 35 g/L 者,为咸水湖;而含盐量大于 35 g/L 者,才称之为盐湖。中国的干旱与半干旱地区的面积分布很广,年降水量在 250 mm 以下的干旱地区占国土面积的 30.8%,而年降水量在 250~400 mm 以下的半干旱地区则占国土的 21.7%,两者即占国土的一半以上。这些干旱与半干旱地区,由于具备了适合的条件,故孕育了众多盐湖,也是世界上重要的产盐区之一。中国盐湖区大致分布在冈底斯山、念青唐古拉山、秦岭、吕梁山及大兴安岭以北的广大地区,介于北纬 30°~49°之间(图 1),盐湖总数约有 1000 多个,总面积达 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,其中藏北、青海、新疆和内蒙古盐湖数量最多,而甘肃、宁夏及黑龙江等省区数量较少。

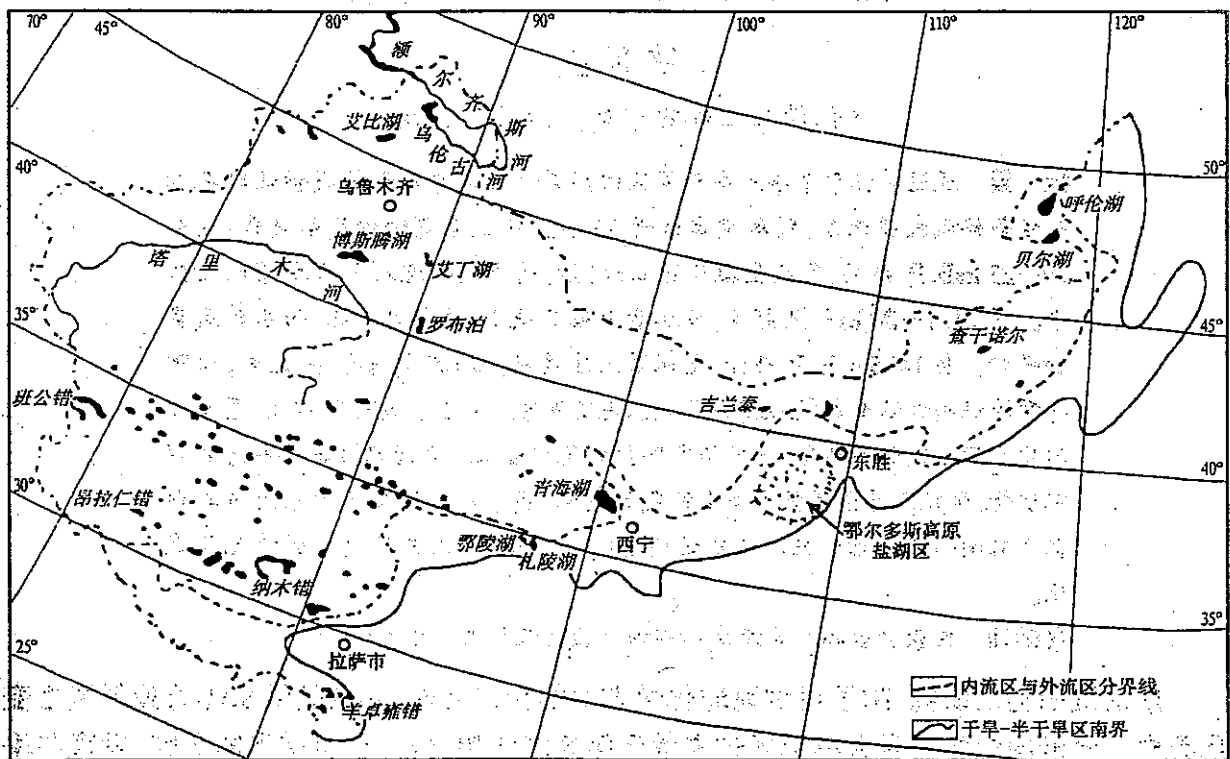


图 1 中国干旱-半干旱地区之盐湖分布图

Fig. 1. The salt lake's distribution map in the arid and semiarid area of china

青藏高原的隆起,特别是第四纪以来的强烈抬升,对中国主要盐湖的形成和分布,具有决定性的影响力。由于断裂或断块的差异升降运动,导致围绕青藏高原的地势呈阶梯状下降,使中国盐湖的高度分布范围大,并呈现多层次的特点(陈延成等,1992)。例如,藏北羌塘高原的盐湖海拔高度一般为 4200~4800 m;青海柴达木为 2700~3200 m;新疆为 200~1500 m;吐鲁番盆地的艾丁湖则在海面下 155 m。加上这些地区处在半干旱及干旱的气候环境,其年蒸发量远大于降水量,例如藏北的年蒸发量是降水量的 10~40 倍,内蒙古约 15~60 倍,青海约 70~120 倍,新疆约 25~250 倍,所以适合盐湖的发育。

盐湖卤水的含盐量受自然条件的影响很明显,特别是受干旱气候的影响最大。中国盐湖卤水的含盐量多数为 100~350 g/L,有的可达 550 g/L,即总盐量占单位体积卤水的

一半左右。内蒙古盐湖卤水含盐量平均为 283 g/L, 最高达 424 g/L, 最低也在 100 g/L 以上。中国大多数盐湖皆不深, 大多介于 0.3~2 m 之间, 少数达 30~50 m。盐湖卤水中约有 40 种化学成分, 其中 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 是卤水的主要成分。某些稀有元素, 如 B、Li、Br、Rb、Sr、Cs、U、Th 等, 其浓度高过海水的几十倍, 甚至数百或数千倍以上, 成为极重要的资源。

盐湖的蒸发岩类(包括碳酸盐、硫酸盐和氯化物等)沉积为湖泊演化到成盐阶段的主要湖相沉积。在盐湖的演化过程中, 不同阶段的湖水有不同成分, 所以盐湖中所形成的盐类, 取决于盐湖卤水类型和其形成演化阶段。干燥地带的现代湖泊成盐作用中, 所形成的特征矿物包括芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、无水芒硝(Na_2SO_4)、白钠镁矾($\text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、钙芒硝($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$)、单斜钠钙石(或称针碳钠钙石, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)和苏打(或称泡碱, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)等这些矿物在海相含盐地层中很少或不存在, 并且盐湖所生成的盐矿物中, 也很少有海相盐类所特有的含钾、镁盐类矿物(郑喜玉等, 1992)。

直至目前, 尚无证据证明中国的盐湖与海水有直接的关系, 即盐湖中的盐类物质不是直接来自海水。盐湖卤水中的盐类物质最主要来源, 乃是由湖盆四周的古老含盐地层侵蚀而来, 因此不同岩石成分的侵蚀区, 会形成不同成分的卤水。另外, 热泉也会提供丰富的盐类物质, 特别是受到强烈的新构造运动作用、断裂相当发达的青藏高原, 地表水经断层下渗流入深部, 经增温后, 以热水方式返回地面, 同时也将盐分携带出来。其它如大气降水和风尘所提供的盐分, 也是不容忽视的, 显现中国盐湖的多源性特征。依照盐湖生成的盐类矿物组合, 可将盐湖划分为三种类型^[4]:

(1)“碳酸盐湖”或称“苏打湖”, 当湖水含盐量达 100g/L 以上时, 乃是淡水湖转化成盐湖的第一阶段, 湖水含有重碳酸钠(NaHCO_3)和少量钾、镁和钙的碳酸盐。其特征是低含盐量时, 含大量的白云石 [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], 有时还含有菱镁矿(MgCO_3)和水镁石 [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] 沉积, 常伴随较多的碎屑物堆积; 当盐度增大时, 开始析出单斜钙钠石, 有时它与硫酸钠结合在一起; 而盐度最大时, 苏打混杂着芒硝或无水芒硝和石盐在一起形成。这类盐湖在内蒙古、黑龙江和吉林都有分布。

(2)“硫酸盐湖”或称“苦湖”, 其湖水含盐量可达 300 g/L, 水中的硫酸盐浓度达饱和, 有大量石膏、钙芒硝、芒硝、无水芒硝、白钠镁矾等矿物析出, 几乎完全排除了碳酸盐矿物, 且湖中的碎屑沉积较少。新疆和青海都有此类盐湖分布。

(3)“氯化物湖”或称“盐湖”, 乃湖水进一步浓缩, 其含盐量达 500 g/L 以上时湖水中析出大量的氯化物, 如钠盐(NaCl)、钾盐(KCl)和光卤石($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)等, 通常为盐湖沉积的最后阶段。此类盐湖分布于青海柴达木盆地、新疆和西藏等地。

虽然把盐湖类型、成盐阶段和盐类沉积联系在一起, 可用以阐明盐湖在不同的演化过程中盐类矿物析出的顺序, 但仍无法完全描述中国的盐湖。中国的某些盐湖, 乃处在钾盐或钾镁盐的沉积阶段, 如青藏高原的察尔汗盐湖就是一个典型的内陆钾镁盐湖; 有些盐湖则产出可观的硼盐和锂盐。

2 内蒙古盐湖的演化历史

内蒙古盐湖的数量虽然很多, 但分布不均匀, 具有明显的区域性和条带性分布特点。

这些特点与气候的分带及湖盆的成因,有密切的关系。内蒙古盐湖湖盆的成因,大致分为构造盆地和剥蚀凹地两种类型。

构造盆地型盐湖,多由中新生代的大型沉积盆地演化而来,如吉兰泰盐湖;或属于第四纪形成的断陷湖盆,如查干诺尔等,其面积较大,湖水较深,但数量少。此类多属于硫酸盐型,富含S、Cl和Na等元素,其附近出露的岩层则大多是富含石膏的第三纪红色砂页岩。而剥蚀凹地型的盐湖通常很浅,其面积小,数量多,为内蒙古盐湖湖盆的主要类型,乃是由风力剥蚀作用造成的。这种类型的盐湖,在鄂尔多斯盆地北部分布广泛,周围都被沙漠环绕,附近无断层或断裂带。湖盆外围及湖盆基底出露的岩石,多为白垩纪的灰绿色钙质砂岩,所以孕育出的盐湖也大多属于碳酸盐型,成盐元素以C和Na的含量较高为主要特征。湖底基岩与岸边露头之间的高差不大,仅10~20m。湖盆内的沉积物厚度通常较薄,其分布受地形条件所控制,而且在湖相沉积物的底部,常有风成沙存在。另外,构造盆地型盐湖的沉积物结构,也和剥蚀凹地型明显不同;前者有较厚的沉积物,从湖底基岩到表层的盐层数目亦较多,一般是2~4层,最多可见9层,而盐层的累积厚度为4~6m,最厚可达11m;但后者只含单层盐,而且盐层厚度大多为1~2m,少数达6m。

内蒙古盐湖是在漫长岁月中经特殊地质和气候条件造就而成。早在第三纪,尤其是渐新世和上新世,内蒙古高原上即有一些水域辽阔的大型湖盆,但湖水不深。在干旱气候影响下,这些湖盆已经具备了成盐的自然条件,甚至在某些湖盆的周缘偶有石膏和天青石等盐类沉积出现。由于当时受到区域性气候之控制,物质供应量很少,成盐作用的范围较窄,局部湖盆虽然已具备成盐的环境,但就全区而言,还难以形成大规模的盐类沉积。直到第四纪早-中更新世,构造运动使得区域地势的变化加大,高原东部和东北部以张裂凹陷为主,而西南部则以不均匀隆起占优势。因为当时的气候温暖潮湿,降水多,地面水量充沛,内陆湖泊分布广,是湖群广布的大湖水时期。但由于湖水含盐量低,尚未具备成盐的自然条件,湖中的沉积物大多是砾石、砂、泥和粘土,没有蒸发岩沉积。至晚更新世,该区域气候趋向干旱,降水量减少,与当时全球气候型态一致。当地的湖盆明显收缩,并且湖泊的沉积物由原来的粗碎屑逐渐变为细碎屑。晚更新世后期,区域性气候持续干旱,水源明显减少,除少数湖盆(如海拉尔盆地、吉兰泰盆地等)有地表迳流补给湖水外,其它地区(如鄂尔多斯盆地)乃处于隆起阶段而遭受剥蚀。由于干旱气候的强烈影响,大湖盆开始收缩,湖水含盐量明显增加,甚至在9~15kaB.P.之间,砂岩、泥岩沉积之后开始出现碳酸盐类(方解石、白云石、针碳钠钙石、天然碱、泡碱等)和硫酸盐类(石膏、芒硝、无水芒硝等)沉积,此乃内蒙古地区的第一次成盐期。此时湖泊已演化到成盐阶段,且开始形成蒸发岩类沉积,但分布并不广泛,仅限于一些大型的构造盆地。全新世,尤其是全新世后期以来,干旱气候遍布全区。这时气温升高,蒸发量明显增加,同时降水量减少,出现广泛的干旱地区,使许多湖盆水位下降,大幅度提高湖水的盐度,盐类沉积(包括碳酸盐、硫酸盐和石盐等)遍布全区,成为内蒙古高原最广泛最重要的成盐期。

3 内蒙古盐湖沉积物之古气候记录

内蒙古鄂尔多斯高原上一些盐湖中,沉积着岩屑颗粒和盐类,构成最近数万年来完

整地层剖面。不同的沉积产物,分别代表不同的沉积环境和气候条件,特别是对气候十分敏感的盐类沉积物,更能反映气候的变化。除了盐类成分之外,沉积物中有机质和微量元素的含量、孢粉和微体古生物的组成,也可用以指示气候的冷、暖、干、湿的变化。综合这些环境指标因子,乃能读出当地最近 23 kaB. P. 以来详细的气候变化。鄂尔多斯高原湖群大约形成于 23 kaB. P. 左右(许靖华等, 1994),这可能与青藏高原最后隆起的时间相当,当时皆为淡水湖泊。由于新构造运动的影响,高原局部抬升,湖泊接受了含砾石的碎屑物沉积。在 20~23 kaB. P., 气候呈温干特征,之后变冷,进入末次冰期的极盛期。在 14.5~20 kaB. P. 期间,当地粉尘的堆积速率加大,植物稀疏,耐干旱的草本植物占优势;降水量大幅度减小,夏季风萎缩,而冬季风强劲。从 14.5 kaB. P. 开始,全球进入冰消期,特别是 10~12 kaB. P. 期间,气候转暖,水体微生物繁衍,局部形成咸水湖,沉积了单斜钠钙石,形成黑色粘土或含单斜钠钙石粘土,标志着末次冰期晚期夏季风一度占上风。然而暖期持续不久,约在 11 kaB. P., 粉尘大量堆积,中细砂代替了粘土,出现异常降温的新仙女木(Younger Dryas)突变事件,迫使东亚季风再度快速短暂退却。在 2.3~8.6 kaB. P. 期间,属于夏季风强盛的温暖期,但此暖期当中,仍存在短暂的冷期,例如发生于 7.3 kaB. P. 的新冰期,夏季风在局部退却。自 2.3 kaB. P. 以来,夏季风乃处于衰退减弱之趋势,其中仍有明显的气候波动。其中 1.5~2.2 kaB. P., 以及 0.75 kaB. P. 以来,则是特别寒冷的两段时期。

藉由内蒙古盐湖沉积之研究,不但能了解过去 23 ka 期间该地区所经历的 17 次明显气候波动,更可以预测未来全球的长周期(1 ka 以上)演变趋势乃以渐冷为主。

4 内蒙古盐湖与台湾高山湖沉积物之对比

台湾湖泊的含盐量很低,皆属于淡水湖。由于湖底沉积物的有机质含量可高达数十个百分点,较内蒙古盐湖高出数十倍以上。因此,有机质含量及成分在探讨台湾湖泊之气候记录方面,乃是相当重要的古气候指标。例如,当气候较温暖潮湿时,湖水位较高,陆上植物生长较旺盛而能提供较多的有机质,同时沉积物的颗粒较细。因含有较多的陆生植物碎屑,所以 C/N 值也较高;但当气候较干冷、湖水位较低时,沉积物颗粒较粗,有机质较少且陆生植物碎屑含量相对较低,C/N 值也较低。

撤退池是位于台湾北部的高山湖(海拔 2430 m),其一支 170 cm 的岩心显示:在 40~130 cm(4.8~8.5 kaB. P.) 的沉积物较黑,不但有较高的含水量、TOC 含量和 C/N 值,以及较低的磁感率(图 2),且与其上、下段之淡黄色沉积物截然不同,可能指示沉积时的气候较温暖。由 ^{210}Pb 活性的分布可以判定岩心上部 10 cm 属于稳定沉积,沉积速率为 $0.73 \pm 0.1 \text{ mm/a}$, 以此推算 40 cm 处的年代约是 0.55 kaB. P., 与 ^{14}C 定年所得的 4.8 kaB. P. 相差很大,显然 10~40 cm 之间存在着侵蚀面或沉积间断。但 40 cm 以下的沉积物年代则相当连续,所以在 130 cm 附近的沉积物性质之变化,似乎指示气候由 8.5 kaB. P. 以前的干冷环境急速转变为暖湿,因而 8.5 kaB. P. 可作为台湾的全新世大暖期(Magathermal)开始之参考(罗建育, 1996),并且暖期至少持续到 4.8 kaB. P.。此与内蒙古盐湖所指示的暖期开始于 8.6 kaB. P. 很相近。

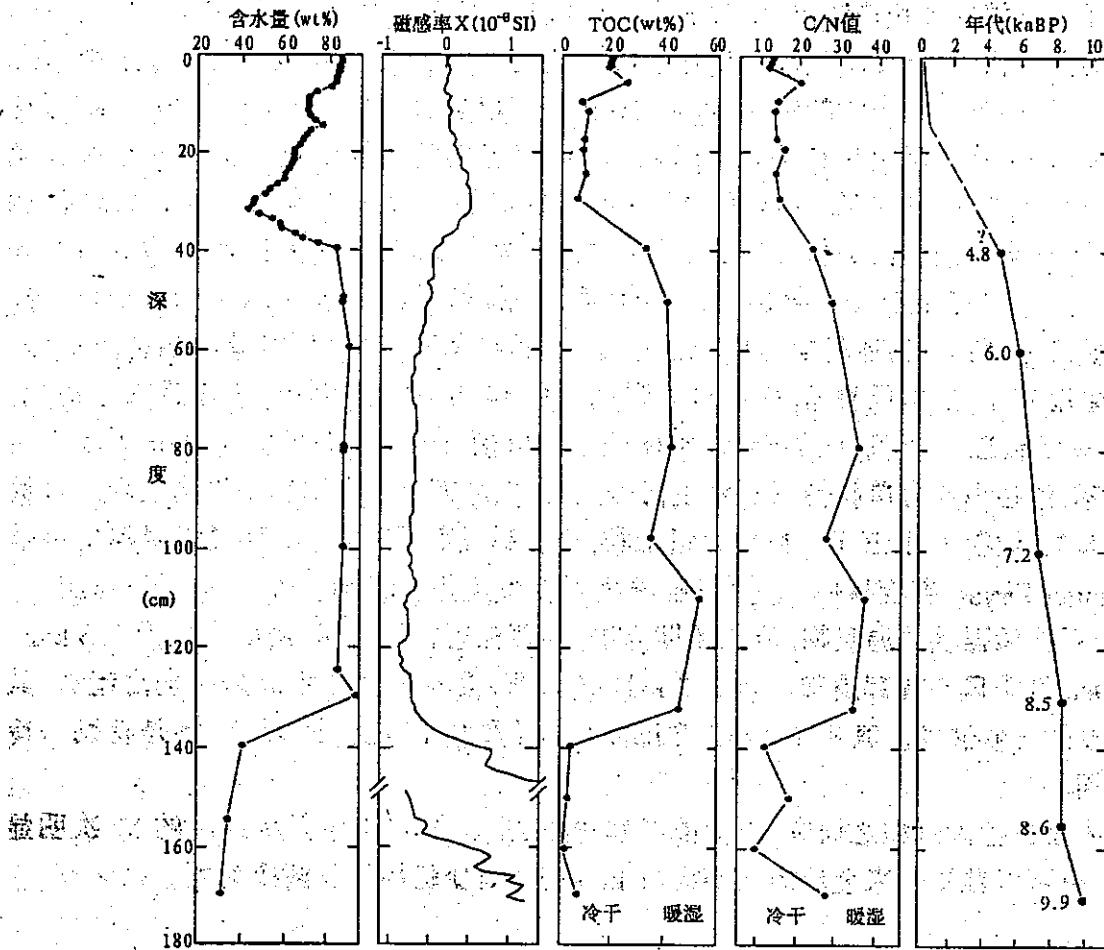


图2 撤退池岩心之含水量、磁感率、总有机碳(TOC)、C/N值和定年资料之垂直分布

Fig. 2 The vertical distribution map of moisture content, magnetic susceptibility,

TOC, C/N value and ^{14}C dating from Chetuichi lake core

另外,位于台湾南部高山上的嘉明湖(北纬 $23^{\circ}17'42''$,东经 $121^{\circ}01'34''$),标高3310 m,湖形如蛋,长、宽分别约120 m与80 m(图3),湖水最深处仅8 m。集水区的地形相当单纯而封闭,坡度约 $13^{\circ}\sim 17^{\circ}$,占地 $25.7\times 10^4\text{ m}^2$,大约是湖面积($0.9\times 10^4\text{ m}^2$)的30倍。由于湖水的主要来源为雨水及集水区的表面逕流,因此当地的降雨及蒸发作用是控制湖水水位起落的重要因子。全年降水量约3270 mm,多集中在夏、秋两季。年均气温为 9.6°C ,元月为 2°C ,昼夜温差大,对植物生长而言,这是相当严苛的环境;由于嘉明湖的海拔高度已超过目前的树木生长线,所以附近不见乔木,仅有玉山箭竹等禾本科及莎草科植物生长。水中的营养盐与矿物质含量皆低,生物种类及数量也少,属于贫养湖。水中浮游植物以绿藻类及矽藻类为主,而浮游动物则以水蚤与剑水蚤为主,并无含钙质外壳的生物存在。附近岩层主要为板岩、千枚岩夹石英砂岩。

由于嘉明湖小而浅,其水位极易感应气候的波动,加上湖盆终年不涸的优点,不但能保持完整的沉积层序,其沉积物更可以提供高灵敏度的古环境讯息。嘉明湖沉积物记录着最近4 kaB. P. 来的气候变动:2.2 kaB. P. 可能是台湾高山全新世大暖期的结束,在2.2 kaB. P. 之后则属于降温期(Katathermal)。降温期中,有一段较温暖的时期(630~1130 aB. P. 或820~1320 A. D., 相当于中世纪暖期, Medieval Warm Period),而在630 aB. P. (1320 AD)之后,则进入小冰期(Little Ice Age, 罗建育和陈镇东,1996),其中2.2 kaB. P.

与 630 aB.P. 由暖转冷的气候变化,也能与内蒙古盐湖的记录相对应(图 4)。

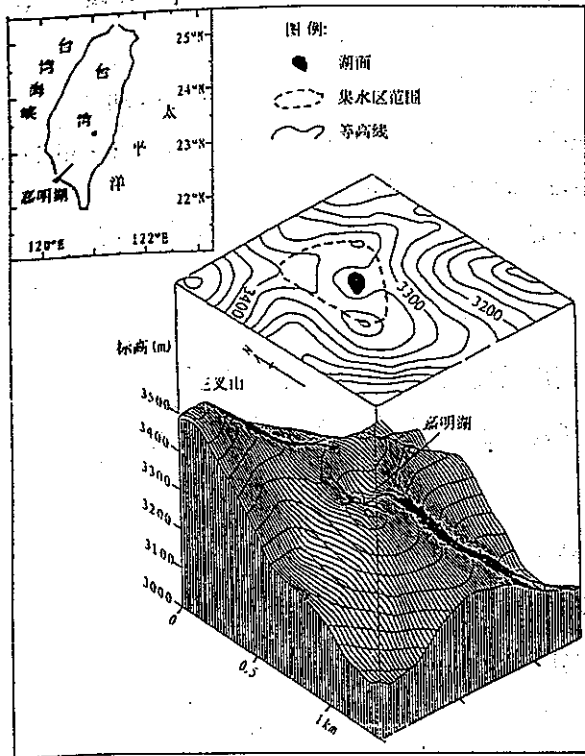


图3 嘉明湖附近之地形图

Fig. 3 Topographic map nearby Chia-min Lake

注:湖面标高为 3310 m, 等高线间距为 33 m

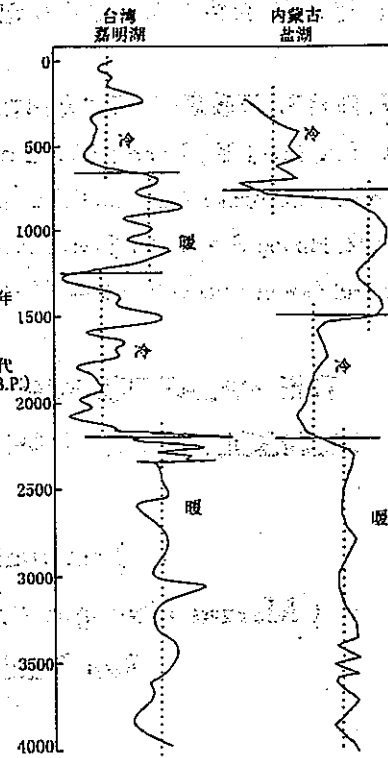


图4 台湾嘉明湖与内蒙古盐湖气候记录的比较

Fig. 4: The Climatic record from Chia-min lake in Taiwan correlates with one from salt lakes in Inner Mongolia

台湾和内蒙古纬度虽然相隔达 20°, 但湖泊的气候记录却能彼此相对应, 似乎能表现较大范围的气候变化。彼此偶有的时间上之偏移, 可能牵涉到沉积物的定年准确性, 或沉积物对气候变化的敏感程度, 以及局部地理差异等因素的影响。

全球环境变化对人类的生存及社会的发展有重大的影响, 而气候的变化则是环境变化的重要控制因素。特别是第四纪晚期以来的全球气候变化, 对现代环境和气候的影响, 日益重要。因此建立过去气候变化的模式, 来预测未来百年乃至千年之气候变化趋势, 已是当前迫切需要研究的课题。内蒙古盐湖与台湾高山湖的沉积物, 皆保存良好的古气候记录, 而且大多可以相互对比, 代表两者都能反映大范围的气候变动。将来若取得两地更完整的古气候资料, 经过审慎的对比和研判, 滤除地区性的干扰, 而解析出大范围的气候变化周期, 则能掌握未来气候的演变趋势。

参 考 文 献

- 1 陈克造. 中国盐湖的基本特征. 第四纪研究, 1992(3): 193~202.
- 2 陈延成, 王鉴津, 魏东岩, 等. 内蒙伊盟盐湖晚第四纪碳氧同位素记录及古气候研究. 见: 国家“八五”攻关古气候及气象科学论文集. 北京: 中国气象出版社, 1992: 1~134.
- 3 郑喜玉, 张明刚, 董继和, 等. 内蒙古盐湖. 北京: 科学出版社, 1992: 295.
- 4 罗建育. 台湾高山湖泊沉积物之元素分布与古气候. [博士论文]. 台湾高雄: 中山大学海洋地质研究

所, 1996: 194.

- 5 罗建育, 陈镇东. 台湾高山湖泊沉积记录指示的近 4000 年气候与环境变化. 中国科学(D 辑), 1996 (6).
- 6 罗建育, 陈镇东, 万政康. 台湾大鬼湖之古气候研究. 中国科学(D 辑), 1996, 26(5): 474-480.
- 7 Chen C T A, Lou J Y, Wann J K. Preliminary paleoclimatological records from high mountain lakes in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 1993, 4(3): 321-329.
- 8 Liew P M, Huang S Y. A 5000-year pollen record from Chitsai Lake, Central Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*. 1994, 5(3): 411-420.

THE PALAEOCLIMATIC RECORDS BETWEEN THE INNER MONGOLIA SALT LAKE' AND TAIWAN LAKES' SEDIMENTS

Luo Jianyu Chen Zhendong

(*Marine Geological and Chemical Institute the National Sun Yixian University, Taiwan*)

Chen Yancheng

(*MCI Geological Institute for Chemical Minerals*)

Abstract

According to the relative information from the circumstance and climatic condition, which have been given by salt lakes' sediments in Inner Mongolia of the arid and semiarid area, detail climatic changes could have been explained since recent 23 kaB. P. Climate offered as a temperate dry character during 20 ka - 23 kaB. P. After then the climate changed cold and it was maximum cold period of the last glacial scale and the summer monsoon retreated, but the winter one became much stronger. Globe went into a glacial melting epoch since 14.5 kaB. P. and an abnormal sudden variation lower temperature event — Younger Dryas presented at some 11 kaB. P. Since 2.3 kaB. P. the summer monsoon retreated and reduced continuously, but there were some obvious climatic fluctuations. The sediments collected from Chetquichi and Chia-min lakes in Taiwan have recorded the climatic fluctuations since recent thousands. Climatic cold and warm variations of above lakes correlated mostly with ones from salt lakes in Inner Mongolia providing large scale climatic changes since 20 - 23 kaB. P.

Key words salt lake in Inner Mongolia, alpine lake in Taiwan, salt type sediment, palaeoclimite