

呼伦湖东露天矿剖面有机碳的总量 及其稳定碳同位素和古环境演化

薛滨 王苏民 沈吉 羊向东 马燕

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提要 湖泊沉积物中有机碳的总量(TOC)取决于湖泊的初始生产力及有机质沉积后的保存能力,而有有机碳的稳定同位素($\delta^{13}\text{C}$)值则反映了不同来源有机质的组成以及流域古植被状况。本文通过对内蒙呼伦湖东露天煤矿剖面 TOC 及 $\delta^{13}\text{C}$ 值的垂直分布的研究,结合剖面的沉积特征及孢粉、硅藻分析结果,讨论了呼伦湖地区末次冰期以来古气候古环境演化过程。结果表明有机碳的总量及其稳定碳同位素可作为分析古气候环境的一种有效的代用指标。

关键词 湖泊沉积物 有机碳总量 有机碳稳定同位素 古环境演化 呼伦湖

1 前言

长期以来,湖泊沉积物中有机质数量及类型的研究,一直被作为评价不同类型古湖盆油源岩生油能力的主要依据,湖泊油源岩环境的研究也是地球科学引人注目的领域之一,对于评价盆地油气资源和远景极为重要。随着全球变化研究热潮的兴起,越来越多的科学家应用沉积物中有机质含量的变化提取古生物量与古环境演变关系的信息。Pederson 在讨论太平洋深海钻孔有机质分布状况时^[1],提出“有机质地层学”;在湖泊沉积及环境领域内,则力图通过沉积有机质的数量和种类,湖泊初始生产力,生物死亡与埋藏、分解和沉积后的保存等方面,重建湖泊古地理环境的演化历史。

沉积物中有机碳是生物埋藏于沉积物内经过生物化学分解或成岩作用后遗留下来的产物,其含量多寡不仅取决于陆源有机质输入量及湖泊自身的初始生产力,而且一定程度上还反映了有机质沉积后的保存能力^[2],而有有机碳的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值则反映不同来源的有机质的组成以及流域古植被面貌^[3,4]。本文根据呼伦湖东露天矿剖面 TOC 及 $\delta^{13}\text{C}$ 的分析结果,结合孢粉、硅藻资料,讨论末次冰期以来呼伦湖地区古气候、古环境的演化过程。

2 样品的采集及分析

呼伦湖(又名达赉湖),是我国第五大湖,位于内蒙古呼伦贝尔盟满州市南郊(图1),

• 国家自然科学基金项目(49172119)。
收稿日期:1993年9月24日,接受日期:1994年2月22日。

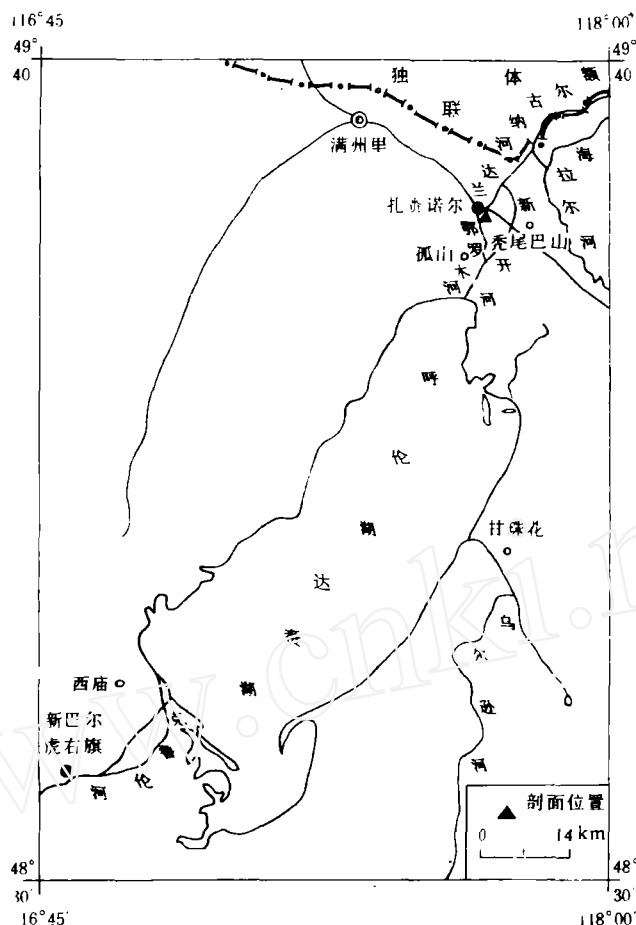


图1 呼伦湖地理位置图

Fig.1 Geographical position of Hulun Lake

也是我国纬度最高的湖泊(48°30'—49°20'N, 116°58'—117°48'E)。面积 2339km², 平均水深 5.7m, 最大水深 8m, 湖水矿化度 1.055g/L。湖区年均温度 0℃左右, 年降水量 247—319mm, 年蒸发量达 1400—1900mm。湖区属中温带大陆性气候, 植被区划上属半干旱草原地带。该湖处于中纬度西风带的东延边缘, 经向、纬向、季风环流交汇, 气候变化较为复杂。

扎赉诺尔东露天煤矿剖面位于呼伦湖北岸的湖滨平原上, 地面海拔 544m, 有两道砂砾堤将其与现代湖面分开。为了获取呼伦湖地区末次冰期以来较系统的连续演化资料, 我们对东露天矿人工开挖剖面(以下简称剖面)进行了采样。采样间距 10cm, 局部层段加密采样, 并进行了沉积学、古生物学、地球化学等一系列同步分析研究。

有机碳含量的测定采用土壤分析中的重铬酸钾(K₂Cr₂O₇)容量法—外加热法(Tyurin法)。为防止氯化物的干扰, 首先在样品中加入少量 Ag₂SO₄, 使氯根沉淀成 AgCl, 再加入过量的 0.4N K₂Cr₂O₇ 和 H₂SO₄ 混合液加热硝化, 最后用 0.2N 的 (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ 溶液在自动电位滴定仪上进行氧化还原滴定。有机碳的 δ¹³C 值的测定则采用“安瓶法”, 对稀 HCl 直接处理过的样品, 在 2×10⁻⁴Pa 的真空条件下, 通 O₂ 至 5×10⁴Pa, 900℃ 的温度条件下, 将样

品灼烧 15 分钟,用不同冷冻剂分离、净化产生的 CO_2 气体,收集于集气瓶中,最后在 MAT-251 质谱仪上测定其 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

3 分析结果与讨论

3.1 有机碳的总量(TOC)及其 $\delta^{13}\text{C}$ 值的垂直分布

对剖面 105 块样品进行了 TOC 分析,并选择其中 65 块样品测定了有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,结果如图 2。

整个剖面有机碳含量在 0.01%—6.24%之间,平均 1.64%,与新疆干旱区一些湖泊如柴窝堡湖(0.2%)^[5]、艾比湖(0.32%)^① 相比较,反映了半干旱区湖泊有机质沉积的特点。

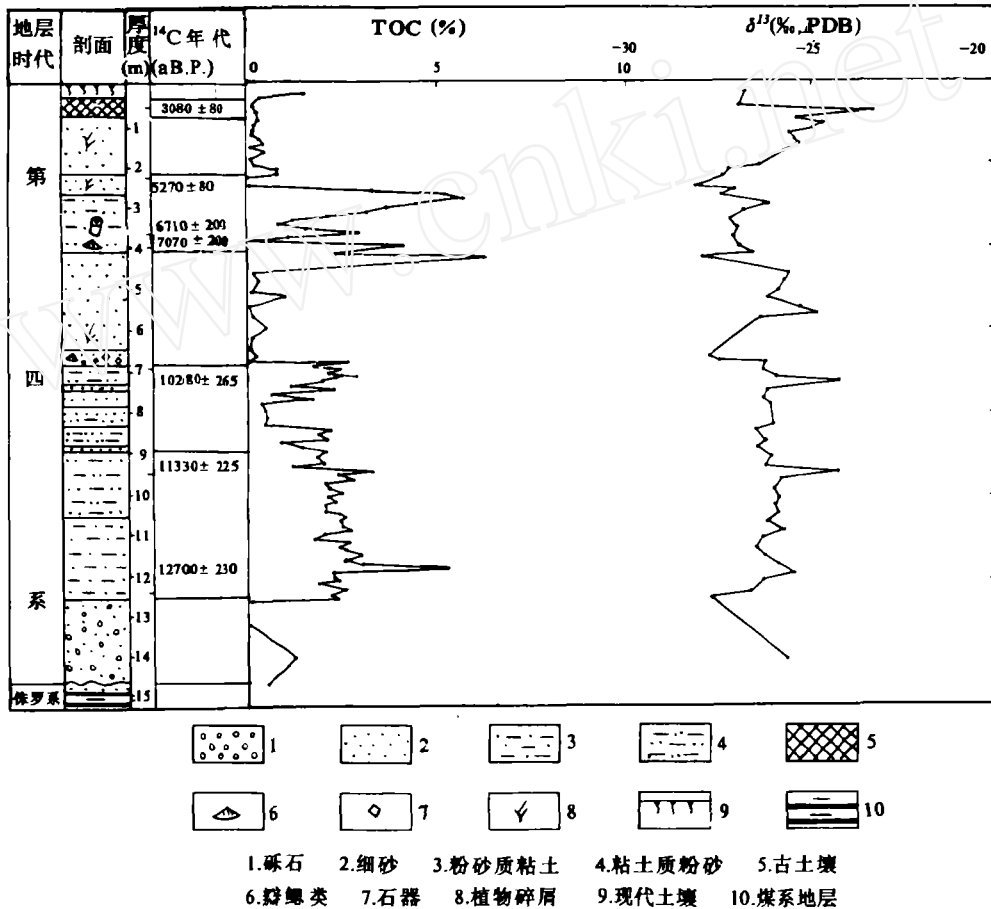


图 2 剖面 TOC 及 $\delta^{13}\text{C}$ 垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of TOC and $\delta^{13}\text{C}$ of the profile

① 李国胜. 中国西部干旱半干旱地区四万年来的古气候环境演变——序列模式及机制研究. 南京大学博士论文, 1991.

总的来说,该剖面沉积物有机碳含量变幅大,平均含量较低,表明该剖面所在部位环境变化较大,且以弱氧化环境为主,不利于有机质的保存。同时该剖面所在部位沉积速率较大,有机质由于陆源物质的稀释而相对偏低。纵观整个剖面分布曲线,除个别异常值外,TOC与岩性对应关系良好,即暗色细颗粒沉积物中TOC值高,浅色粗颗粒沉积物则相对较低,前者约是后者的3—4倍。这种现象可能说明两种不同的沉积环境:当前者堆积时,由于气候相对湿润,流域植被生长茂盛,植被覆盖度高,减少粗碎屑物质供给,相应增大了有机质比例;同时湖水条件适合各种藻类等水生生物生长,它们死亡后遗体堆积下来,造成有机质含量偏高;而后者堆积时,气候偏干,不利于植物的生长,水生生物贫乏,致使沉积物中TOC值偏低。另外从有机质保存条件看,暗色细颗粒物质堆积时,代表还原或弱还原环境,湖盆水深较大,底水相对缺氧,有机质沉积后,保存条件较好,未遭到后期氧化分解,故TOC值较高;而粗颗粒物质堆积时,代表氧化或弱氧化环境,气候干燥,湖水退缩,湖水中溶解氧较高,不利于有机质保存,故TOC值较低。TOC这种环境意义相应在呼伦湖表层沉积物分析中得到佐证:浅水区沉积物中TOC值明显低于深水区。

尽管剖面环境变化剧烈,但 $\delta^{13}\text{C}$ 值始终在 -26% 附近变化,接近陆源高等植物的平均值,体现了呼伦湖半开口湖的特点,湖泊沉积物中有机质主要来源于陆源高等植物碎屑的输入。研究剖面6.88m处有一明显的侵蚀面,其下以暗色水下沉积为主,故有机碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值的高低反映了不同来源有机质组成,如陆源植物与藻类比例不同;侵蚀面以上以浅色调陆上沉积物为主, $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化较大程度上取决于沙生植物或陆源植物的直接参与程度。由于上述原因,导致剖面有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值产生相应的变化。

根据剖面TOC及 $\delta^{13}\text{C}$ 值的垂直变化,大致可分出如下八个层段:

(1) 14.54—12.45m TOC值平均0.43%,岩性为河流相砂砾,反映气候干冷,植被覆盖极差,而且多为干旱区植物,相应 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高(-25.6%)。结合 ^{14}C 测年及邻区资料,本段相当于末次冰盛期的沉积。

(2) 12.45—10.55m 本段底部12.5m处 ^{14}C 测年 $12700\pm 230\text{a B.P.}$,TOC值平均为2.42%,远高于剖面均值。岩性为深灰色粉砂质淤泥,水深较大,沉积环境稳定,有利于有机质的保存,同时流域植被覆盖度高,一方面阻止大量碎屑物质输入湖盆对有机质的稀释,另一方面增大了陆源有机质的比例,这从 $\delta^{13}\text{C}$ 值上也得到反映。该段 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对偏低,平均为 -26.33% ,并且从下往上递增。反映开始时湖侵迅速,湖相泥直接覆盖在砂砾层上,相应 $\delta^{13}\text{C}$ 为一明显负值,表明地表径流加大,带来较多有机质。其后随湖泊进一步扩张,藻类等水生生物开始繁衍, $\delta^{13}\text{C}$ 逐渐增加。在12m附近,TOC及 $\delta^{13}\text{C}$ 均为一明显峰值,反映气候条件适宜,湖面首次达到最大时期。一般藻类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高,为 $-12\%\sim -23\%$,而高等植物的变化范围为 $-24\%\sim -34\%$ 。

(3) 10.55—9.34m 该层段TOC值基本接近前段。岩性为深灰色泥质粉砂,沉积环境有利于有机质的保存, $\delta^{13}\text{C}$ 值较前段升高,到该段顶部两者均为峰值。该段 $\delta^{13}\text{C}$ 平均 -25.67% ,表明该时段光合作用或浮游植物转化的有机沉积物比例增加^[3],稳定的大湖环境有利于藻类的大量繁衍,硅藻的浓度已大于 9×10^6 (粒/克)。

(4) 9.34—6.88m 该段底部9.4m处 ^{14}C 测年 $11330\pm 225\text{a B.P.}$,TOC值较前段明显下降,接近剖面均值,并且波动频繁。尤其8m附近TOC为一明显谷值,反映气候转干,湖面

开始下降,植被覆盖率降低,水生生物贫乏,沉积环境不利于有机质的保存; $\delta^{13}\text{C}$ 值总体较前段下降,平均为 -26.1% ,有机质中藻类的成分降低,相应陆源有机质的成分增加。但在该段上部7.7—6.9m处,TOC略有增加, $\delta^{13}\text{C}$ 为显著峰值,明显对应于硅藻浓度在整个剖面中达到最大。

(5) 6.88—4.28m 相当于全新世早期的堆积,TOC值较前段进一步剧降,平均仅0.22%,岩性主要为浅灰黄色与青灰色细砂互层,表明该层下部为滨岸沉积,向上滨后砂丘沉积的成分逐渐增加。这种沉积特征表明气候趋干,湖面下降,氧化环境不利于有机质的保存。该段 $\delta^{13}\text{C}$ 值较前段略有下降,反映陆源有机碎屑组分进一步增加,平均为 -26.47% ;且由下往上递增,表明在该段后期,随着湖面的进一步的下降,气候更为干旱,风沙作用明显,生长了一些沙生、盐碱生等干旱区 C_4 植物。这类植物较 C_3 植物需较高的温度和较多的日照时间,其 $\delta^{13}\text{C}$ 值也较高,变化范围在 $-6\% \sim -19\%$,正是由于沙生植物的直接参与,使得 $\delta^{13}\text{C}$ 值略有增加,但总的来说有机质中 C_4 组分仍然很少,故这种变化小于 -2% 。

(6) 4.28—2.08m 本段TOC值出现又一峰值段,平均2.4%,顶部渐减少,丰富的有机质反映该时期气候湿润,植被生长茂盛;而该段 $\delta^{13}\text{C}$ 值再次降低至一谷值段,平均 -27.1% ,为全剖面的最低值。这种碳同位素组成中 ^{12}C 的明显富集显然和沼泽环境一致,丰富的陆源高等植物碎屑导致较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。本段下部4m处 ^{14}C 测年为 $7070 \pm 200\text{a B. P.}$,这一暖湿时期相当于全新世中期(7000—5000a B. P.)。

(7) 2.08—0.68m 本段TOC平均0.3%,反映气候干旱,植被覆盖条件极差, $\delta^{13}\text{C}$ 值较前段明显升高,平均 -25.6% ,反映沉积物有机质中来源于沙生植物的有机碳组分略有增加,气候向干旱方向发展。

(8) 0.68—0.14m 该古土壤层 ^{14}C 测年为 $3080 \pm 80\text{a B. P.}$,TOC值由下往上升高,反映它是在砂质母质基础上发育起来的特点,平均0.62%,表明气候条件略有改善;该层 $\delta^{13}\text{C}$ 值再次降低,平均为 -26.9% ,反映湿度条件改善,风沙作用暂时停止,来源于沙生植物的有机碳成分减少。

3.2 末次冰期以来呼伦湖古气候古环境的演化

根据上述分析,结合剖面孢粉、硅藻结果(图3)及环湖露头考察情况,可以看出末次冰期以来呼伦湖地区环境变化相当剧烈,下面就不同阶段的特点及其演化过程加以叙述。

3.2.1 末次冰盛期 剖面中仅检出极少量云杉属(*Picea*)和蒿属(*Artemisia*)花粉,且多为破碎个体。TOC值较低,反映干冷条件下低的初始生产力和生物量。 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏正,表明荒漠、半荒漠的植被景观,硅藻浓度低,几乎没有真性浮游的小环藻(*Cyclotella* spp.)检出。根据东露天煤矿密井网的揭示,以及周边露头的考察,这套砂砾层的分布范围较广泛,以冲、洪积粗碎屑沉积为优势,表明末次冰期呼伦湖尚未形成,至少剖面所在地尚未被浸及。

3.2.2 晚冰期 一般认为始于16ka B. P.,但剖面环境最明显的变化出现在12.7ka B. P.,沉积岩性上表现为暗色湖相淤泥直接盖在砂砾层之上,相应地,TOC急剧增加, $\delta^{13}\text{C}$ 值逐渐增大,反映为湖面逐渐上升的大湖时期,气候条件明显改善。硅藻由脆杆藻(*Fragularia* spp.)—直链藻(*Melosira* spp.)组合(砂砾层顶)变为真性浮游和半浮游占优势的直链藻—小环藻—脆杆藻组合。孢粉组合反映出以桦属(*Betula*)为王含云杉的针阔混交林—蒿草草原植被面貌,与下伏的半荒漠的藜蒿草形成巨大的反差。这一转暖的湿润时期一直可以延续到

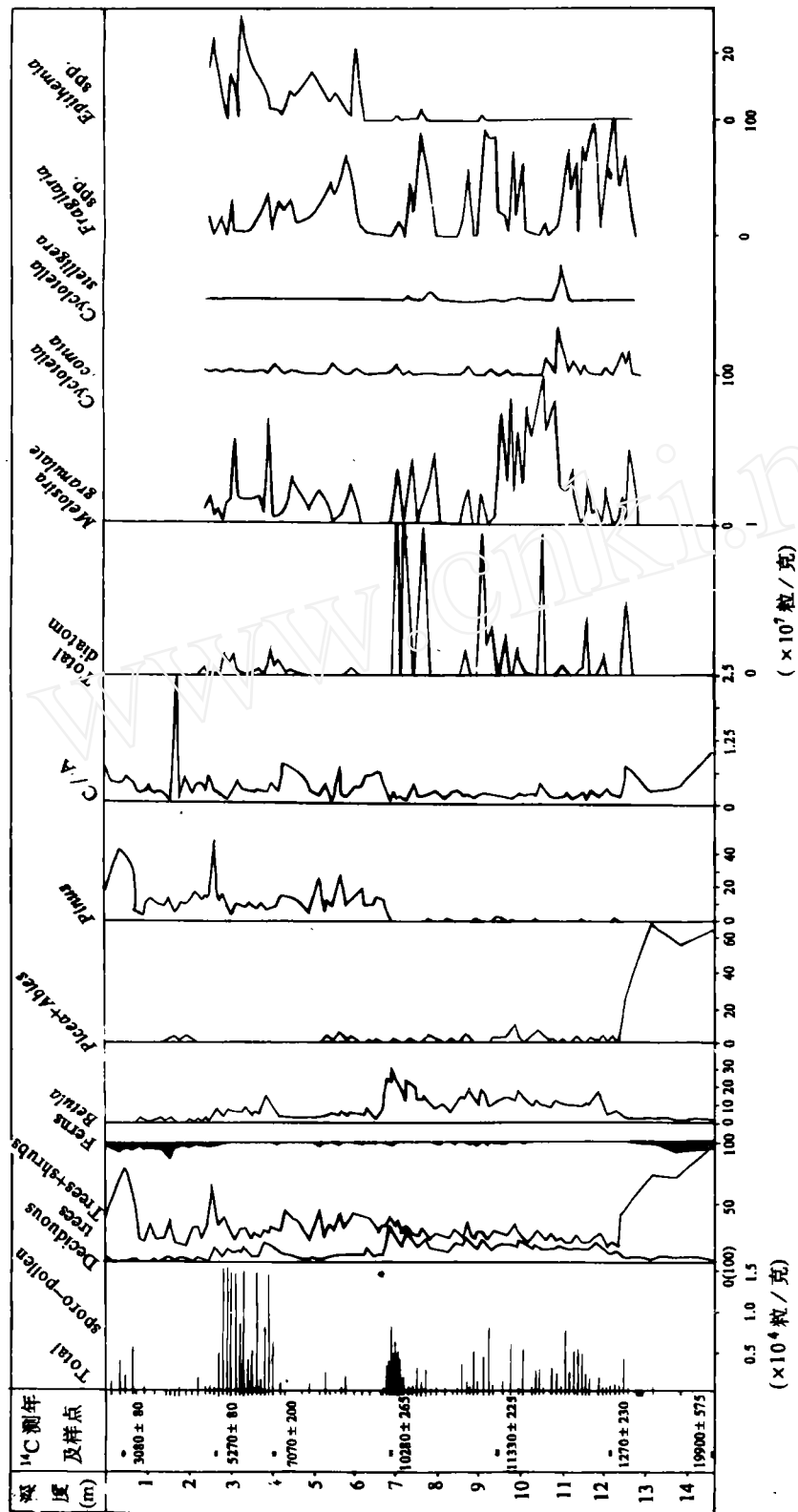


图 3 剖面孢粉与硅藻图式

Fig. 3 Sporo-pollen and diatom diagram of the profile

11300a B. P., 该时期内尽管某些指标(如硅藻组合的成分)似乎还有次一级的波动,总的来说环境是稳定的,始终保持大湖的沉积面貌,就暖湿的程度看,后期更甚于前期。

11300—10900a B. P. 为暖期结束后向冷期的过渡段,相当于剖面 9.74—8.35m 的沉积段。暗色粘土质粉砂中开始出现薄的细砂层,沉积特征表明浅湖(半深湖)泥质粉砂—湖滨砂(三角洲前缘砂)的沉积层序,和前期相比,有机碳的含量波动下降, $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负。反映湖面下降,气候开始转干,可能是孢粉组合的滞后性,仍然保持原有种属组成,桦属占优势;硅藻则明显地再次以脆杆藻为优势种,但硅藻浓度已大大下降,细砂夹层中硅藻很少甚至缺失。

10900—10600a B. P. (据沉积速率推算)为一强烈的冷期,相应地沉积了一层浅灰色细砂(8.35—7.71m),该细砂层只含有极少有机质,构成明显的低谷,无硅藻检出,生物量贫乏;孢粉中木本花粉减少,尤以落叶阔叶树种为明显,藜(*Chenopodiaceae*)的比重超过蒿,出现较多沙生莎草科植物,这些特征均表征了一个较恶劣的冷干时期。

从研究剖面晚冰期后半段的环境波动可以发现,13000—11300a B. P. 的暖湿时期大致相当于布林—阿洛罗德暖期,也是呼伦湖急速成湖的扩张期。其中 11.5m 左右出现 TOC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的小低谷,以及硅藻组合反映冷水环境,是否代表中仙女木波动,还需要进一步深入工作。晚冰期结束前 10900—10600a B. P. 的冷波动,即新仙女木事件,剖面中的反映是清楚的,具体表现为冷干的气候特点,湖泊大幅度收缩。

3.2.3 全新世 全新世初期 10500—10000a B. P. 相当于剖面 7.71—6.88m 的沉积。为一套灰色泥质粉砂,局部有厘米级的薄层细砂,TOC 明显增加, $\delta^{13}\text{C}$ 出现一显著峰值,表明气候条件改善,湖面再次升高,但其中仍有若干次小的波动,硅藻为脆杆藻—直链藻—小环藻组合,其浓度为全剖面最大值,再次出现以桦为主的森林草原植被,表明温湿条件均有明显改善。

10000—7200a B. P. 时期,沉积了一套灰黄色与青灰间互的细砂(6.88—4.0m),沉积特征反映为湖滨砂丘的沉积环境;本层底部以侵蚀不整合面与下伏地层接触,侵蚀面上含大量的石器、陶片、贝壳和细砾,代表滨岸的环境,上部以黄色砂为主,风蚀注槽明显,属滨后砂丘沉积。总体上该层 TOC 极低,形成明显的低值段,孢粉组合中桦急剧减少,开始出现松(*Pinus*),并成为木本花粉的主体。藜蒿比为一峰值段,硅藻虽有脆杆藻、直链藻和少量窗纹藻(*Ephemia* spp.)、圆筛藻(*Coscinodiscus Lacustrine*)检出,但其浓度很低, $\delta^{13}\text{C}$ 值下部明显偏负,代表陆源有机质的影响增大,上部 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高,可能与沙生植物的参与有关。综合这些特征表明环境条件变差,尤其是水汽减少,湖泊退缩,大片湖滩出露,使得风沙活动加强。

全新世中期(7200—5000a B. P.),在浅灰黄色风成砂之上叠覆了一套沼泽相泥质粉砂,含丰富的贝壳和植物残体,顶部色变黄,砂性重。该层 TOC 为全剖面的最高峰段。这和沼泽环境下保存大量植物残体有关,相应 $\delta^{13}\text{C}$ 也呈最显著的负值。孢粉浓度为全剖面的峰值段,并且孢粉中再次出现松与桦为主的针阔混交森林草原植被面貌,气候温暖湿润,硅藻浓度较大,为窗纹藻—舟形藻(*Narantula* spp.)—直链藻组合。在本层顶部温湿条件开始变差,桦等阔叶树迅速减少,藜的含量增大,代表生物量的有机碳含量也显著减少。

5000—3000a B. P. 时期,在研究剖面中该时期湖沼完全消失,代之以风沙沉积。分析结果表明 TOC 极低,仅 0.2%, $\delta^{13}\text{C}$ 值明显偏正,可能与来源于沙生植物的有机碎屑组分增加有关;无硅藻检出,孢粉中阔叶树种几乎缺失,为半荒漠草原景观,反映气候向干旱方向发展

展。但在大的干旱趋势中,仍有小的湿润波动,对应风沙作用的间歇期。

3000a B. P. 前后,剖面中表现为厚约 50cm 的灰色古土壤层,TOC 向上显著增加, $\delta^{13}\text{C}$ 由偏正变为偏负,孢粉中出现松的峰值,草本花粉量减少,为针叶疏林-半荒漠草原环境。值得指出在少数样品中检出硅藻,不能排斥曾有局部积水的草甸环境存在。总的来说,该时期环境条件稍有改善,但从其粒度较粗,质地偏硬,TOC 较低来看,其土壤发育程度较低,发育时间偏短,气候仍然偏凉干。

关于全新世晚期本地区环境演化的资料,目前还未掌握。原想借助湖中重力岩心加以弥补,但由于呼伦湖上世纪末几乎干涸,现今湖底大面积分布砂砾,底质过硬,即使西岸深水区也只能采集数十厘米的样品,这有待今后进一步补充研究。

4 结 语

(1) 根据上述分析,有机碳总量 TOC 的变化一定程度上能反映湖泊环境的古生物量,结合岩性及其它一些代用指标,能大致恢复古气候、古环境的演化过程。值得注意的是:在呼伦湖这种半干旱区淡水-半咸水半封闭湖中,湿润条件对应有机质丰度的提高,与干旱区湖泊相比,后者 TOC 的峰值有时会对应偏干的气候时期,这种 TOC 对环境的指示特色应加以注意与区分,其原因涉及湖泊的密度或化学的分层,造成极稳定滞水环境,有利于有机质的保存。

(2) 湖泊沉积物有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值是区分不同类型植物比例的有效指标,本文研究表明,有机碳稳定同位素分析结果与孢粉、硅藻吻合较好。

(3) 近年来,科学家们开始应用湖泊高分辨连续剖面的分析来重建陆地气候序列,而古生物量研究则是湖泊沉积研究中不可缺少的一个综合的环境代用指标,它是认识陆地各圈层相互作用中生物特性的重要途径。由本文研究可知,TOC 的提取和分析是一种混合信息,其复杂性使其并不能非常准确地反映古生产力的大小。因此,目前较多的科学家开始结合其它一些代用指标,如有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 、硅藻、色素^[7]的综合研究,来分析提取湖泊沉积物中的古生物量信息,并研究古生物量与环境之间的关系,探讨古生物量、大气 CO_2 循环以及大陆气候事件之间的内在联系,以有效地避免单个代用指标对环境解析的片面性。

致谢 吉磊、董本凤为本文提供了部分资料,野外工作得到了扎赉诺尔矿务局王正一高工的大力帮助,在此一并表示谢意。

参 考 文 献

- 1 Pederson, T. F., Increased productivity in the eastern equatorial Pacific during the last glacial maximum. *Geology*, 1983, 11(3):16-19.
- 2 Kelts, K., Environments of deposition of lacustrine petroleum source rocks: an introduction. *Lacustrine Petroleum Source Rocks*, 1988, (40):3-26.

- 3 A. 莱尔曼(王苏民等译)。湖泊的化学地质学和物理学。北京:地质出版社,1989:347—349。
- 4 林本海、安芷生、刘荣谟。最近60万年中国黄土高原季风变迁的稳定同位素证据。见:刘东生等编,黄土·第四纪地质·全球变化,第3集。北京:科学出版社,1992:51—54。
- 5 施雅风、文启忠、曲耀光。新疆柴窝堡盆地第四纪气候环境变迁和水文地质条件。北京:海洋出版社,1990:128—131。
- 6 慕兴国。内蒙古扎赉诺尔东露天矿晚更新世地层年代学的初步研究。见:第一次全国 ^{14}C 学术会议文集。北京:科学出版社,1984:136—140。
- 7 韩晓钟、沈瀚、王苏民、余源盛。青海湖沉积物的色素含量及其环境意义。见:刘东生等编,黄土·第四纪地质·全球变化,第3集。北京:科学出版社,1992:116—121。

TOTAL ORGANIC CARBON AND ITS STABLE CARBON ISOTOPE AND PALEOENVIRONMENTAL EVOLUTION OF DONGLUTIAN COALFIELD PROFILE OF HULUN LAKE

Xue Bin Wang Sumin Shen Ji Yang Xiangdong Ma Yan

(Nanjing Institute of Geography and Linnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

Total organic carbon (TOC) in lake sediments depends on the input of organic matter, the primary production of lake itself and its preservation potency while the stable isotope value ($\delta^{13}\text{C}$) of organic carbon reflects the combination of different sources of organic matter and the paleovegetation in the drainage area. According to the vertical distribution of TOC and $\delta^{13}\text{C}$, combined with the sedimentary characteristics, spore-pollen and diatom from Donglutian coalfield of Hulun Lake, Inner Mongolia, the paleoenvironmental evolution of this region since last Glaciation has been reconstructed as follows: the lake pioneering period of LGM or a bit later, cold and dry; the highest lake level period of the second half of Post Glacial (13000—10900 a B. P.), temperate and wet; Younger Dryas Period (10900—10600a B. P.), cold and dry; the higher lake level period at the beginning of Holocene (10600—10000a B. P.), temperate and wet; the intermediate-low lake level in the Early Holocene (10000—7200a B. P.), temperate and dry; the higher lake level of Middle Holocene (7200—5000a B. P.), warm and wet; the strong shrinkage period in the late Middle Holocene (5000—3000a B. P.), temperate and dry.

Key Words Lake sediments, total organic carbon, stable isotope of organic carbon, paleoenvironmental evolution, Hulun Lake