

doi:10.3799/dqkx.2015.025

内蒙古磴口河湖相沉积物正构烷烃分布特征及其环境意义

杨桂芳¹, 武法东¹, 陈正洪², 尹雪峰¹, 殷志刚³, 郭 斌³

1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083
2. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081
3. 内蒙古巴彦淖尔地质公园管理局, 内蒙古巴彦淖尔 015000

摘要: 为了探讨季风边缘区气候变化特征,对内蒙古磴口一个深 15 m 的钻孔沉积物中的正构烷烃进行了分析.结果显示,正构烷烃总体呈现出以高碳数为主的分布特征,表明其主要来源于陆生高等植物,多数样品以 nC_{27} 、 nC_{29} 为主峰,奇碳优势明显,局部样品以 nC_{25} 为主峰,显示了流域植被类型为木本植物和少量水生植物.但在钻孔上部短链正构烷烃相对丰度较高,主要以 nC_{18} 为主峰,无明显的奇偶优势,反映了低等藻类生物增加.正构烷烃的分布特征在沉积钻孔中表现出的多阶段变化,与岩性、有机碳同位素等变化相吻合,反映出研究区寒暖交替的气候条件.

关键词: 正构烷烃;分布特征;环境指示意义;古气候;气候变化.

中图分类号: P534.63

文章编号: 1000—2383(2015)02—0327—07

收稿日期: 2014—11—16

n-Alkane Distribution and Their Palaeoenvironmental Implications in Fluvial-Lacustrine Sediments in Dengkou, Inner Mongolia

Yang Guifang¹, Wu Fadong¹, Chen Zhenghong², Yin Xuefeng¹, Yin Zhigang³, Guo Bin³

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2. China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081, China
3. Inner Mongolia Banyannur Geopark Management Bureau, Bayannur 015000, China

Abstract: To characterize the palaeoclimatic variations in monsoon margin zone, *n*-alkane analyses are done on samples collected from one borehole of 15 m in depth in Dengkou, Inner Mongolia. The results indicate that most samples are dominated by high carbon, primarily nC_{27} and nC_{29} , presenting a significant odd-carbon advantage and terrestrial origin. Several samples with a main peak of nC_{25} show the organic origin of partial aquatic plants. However, in the upper part of the borehole, short chain *n*-alkanes are relatively abundant, mainly with nC_{18} as the main peak and without obvious odd-even predominance, reflecting the increased algal biomass. It is found that alternately cold and warm climatic conditions dominated the study area by various distributions of *n*-alkanes in sediments, in line with lithology and organic carbon isotope variations in this study.

Key words: *n*-alkane; distribution; environmental implication; palaeoclimate; climate change.

晚冰期以来的气候变化是全球变化中极其重要的一部分,高分辨率的古气候研究有助于探讨全球环境变化的驱动机制、变化规律和发展趋势,对指导

人类应对全球环境变化具有借鉴意义.位于河套地区的内蒙古磴口,恰处于季风/非季风的过渡带,地理位置特殊,对外部环境信息敏感,是研究过去全球

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos.41002036,41172167,41320003);中央高校基本科研业务费专项资金优秀教师项目(No.2652014058);内蒙古巴彦淖尔市国土资源局项目“河套地区(巴彦淖尔境内)近代高分辨率环境演化研究”;中国博士后特别资助项目(No.2014T70059).

作者简介: 杨桂芳(1975—),女,副教授,博士后,主要从事全球变化与地貌响应研究.E-mail: yangcugb@gmail.com

引用格式: 杨桂芳,武法东,陈正洪,等,2015.内蒙古磴口河湖相沉积物正构烷烃分布特征及其环境意义.地球科学——中国地质大学学报,40(2):327—333.

变化的理想地点.大量的研究表明该地区在黄河的形成、发展过程中,曾发育多个古湖,古湖的形成演化记录了区域气候环境、构造运动等变动,同时又与黄河演变密切相关(Yang *et al.*, 2010; 尹雪锋等, 2013).然而长久以来,由于植被稀疏、研究分辨率低等原因,目前磴口地区晚冰期以来的环境变化研究尚且薄弱,全景式重建季风边缘区晚冰期以来的气候变化亟待深入研究.

与传统气候替代指标相比,正构烷烃具有分子结构组成简单,化学性质较为稳定的特性,在地质体中含量也相对丰富,可以反映出有机质的生物面貌,因此很早就受到研究学者们的广泛关注(谢树成等, 2003, 2013).特别是一些特殊类脂分子在冰芯、红土、石笋等特殊载体中的应用,充分显示了其在古植被恢复和古气候环境变迁等方面的重要潜质.本文拟对内蒙古磴口钻孔沉积物开展正构烷烃的分布特征进行研究,并讨论其环境意义,旨在为研究区晚冰期以来的气候波动研究提供一定的依据.

1 材料与方法

研究区位于巴彦淖尔境内磴口地区,年平均气温 7.5~8.5 ℃,由于地处内陆,位于干旱与半干旱,季风与非季风的过渡地带,年均降水量为 100~145 mm.沉积钻孔 T2 位于磴口境内太阳庙农场西南约 2 km 处,孔深 26.25 m,岩性为典型的河湖相沉积物,主要是褐色、红褐色、灰褐色的粘土、粉砂质粘土、粘土质粉砂等,并含有少量炭屑、钙质结核等.本文仅对上部 15 m 沉积物开展研究,以约 20 cm 为间隔取样 67 个,并送实验室冷冻干燥保存.沉积岩性柱特征和年代模式的建立,基于项目组之前的测试资料(尹雪锋等, 2013).计算表明,磴口地区晚冰期以来沉积较为稳定,可达 85 cm/ka,笔者根据沉积速率对整个钻孔沉积年代进行了推算,发现整个岩心为近 17 ka BP 以来的沉积,揭示了晚冰期以来的沉积历史.将保存样品用冷冻法干燥,粉碎至 80~100 目,置于恒温箱中.称取已粉碎样品 5 g,经过超声抽提、浓缩后,并用硅胶色谱柱进行组分分离,分别用正己烷、苯或无水甲醇作为冲洗剂,得到饱和烃、芳烃和非烃.用气相色谱仪(GC)对饱和烃进行测试分析.实验所用的气相色谱仪为 Trace GC 2000 (Finnigan, Thermo Electro),所用石英毛细管柱为 HP-1 毛细色谱柱(50 m×0.25 mm×0.17 μm, J&W),载气为 N₂,进样口和氢火焰离子检测器

(FID)温度均为 300 ℃,不分流方式进样,流速 1.2 mL/min,空气流速 400 mL/min,进样量为 2 μL.升温程序如下:始温 80 ℃,恒温 1 min,以 10 ℃/min 升至 200 ℃,再以 5 ℃/min 升至 270 ℃,然后以 2 ℃/min 升至 300 ℃,保持 5 min;最后以 5 ℃/min 升至 310 ℃,恒温 5 min.正构烷烃分子的鉴定主要依据 GC 分析的色谱图和已知混合标样进行比对,根据加入的内标进行定量.

2 正构烷烃的分布特征

GC 分析表明,所有样品均检测出了丰富的类脂物,包括 $nC_{15} \sim nC_{35}$ 正构烷烃、 $nC_{14} \sim nC_{30}$ 正构脂肪醇等,本文主要讨论正构烷烃的分布特征.大部分样品正构烷烃的碳数分布在 $nC_{15} \sim nC_{35}$ 之间,总体呈现出以高碳数正构烷烃为主的分布特征,在高碳数 $nC_{25} \sim nC_{33}$ 范围内呈现出显著的奇碳优势.在深度 6 m 以下, $nC_{23} \sim nC_{33}$ 的正构烷烃相对丰度较高,且具有明显的奇偶优势,多数样品以 nC_{27} 、 nC_{29} 为主峰,也有部分样品以 nC_{25} 为主峰(图 1).大约 6 m 以上层位样品中低于 nC_{21} 的短链正构烷烃相对丰度较高,主要以 nC_{18} 为主峰碳数,无明显的奇偶优势(图 1).

钻孔沉积物的长链正构烷烃碳优势指数 *CPI*

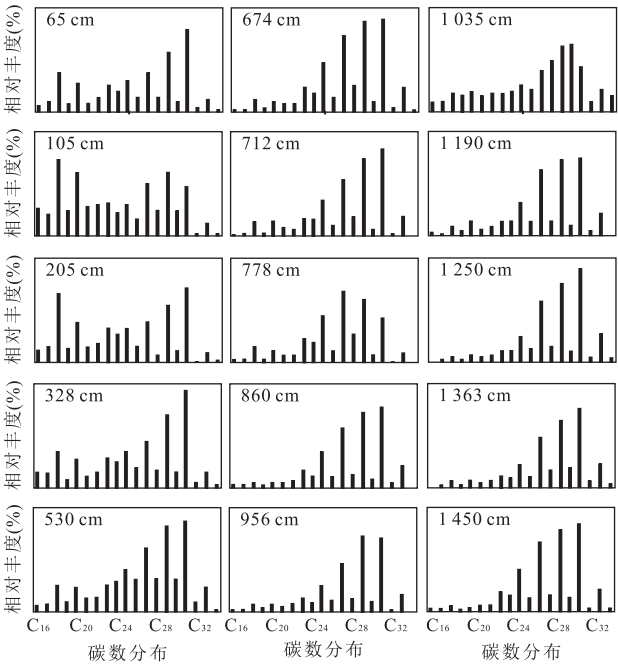


图 1 T2 钻孔部分样品正构烷烃分布特征

Fig.1 Distribution patterns of *n*-alkanes in typical samples from borehole T2

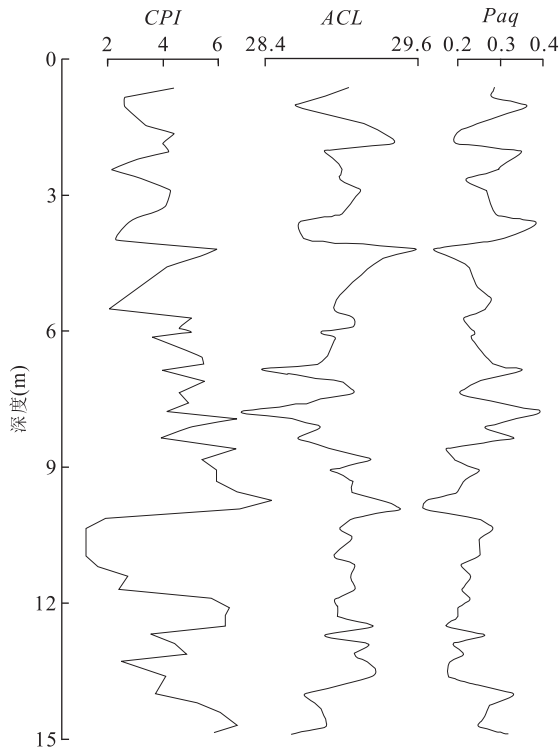


图 2 T2 钻孔正构烷烃比值参数曲线

Fig.2 The proxies of *n*-alkanes of borehole T2

值分布在 1.13~8.05 之间,均值为 4.26,沉积柱从下至上表现出低—高—低的变化趋势(图 2).其中下部层位(深度 15~10 m),*CPI* 值变化波动较大,其值分布在 6.83~1.13 之间,均值为 4.26;中间层位(深度 10~6 m),变化幅度较前一阶段明显增大,在 3.56~8.05 之间变化,均值为 5.48;上部层位(深度 6 m 以上),其值在 1.97~6.01 之间变化,均值为 3.55.平均链长 *ACL* 值(分布在 28.15~29.63 之间,均值为 28.99,从下至上表现出高一低—高的变化趋势.其中深度 15~10 m,其值分布在 28.57~29.29 之间,均值为 29.01;中间层位(深度 10~6 m),变化幅度较前一阶段明显增大,在 28.15~29.48 之间变化,均值为 28.89;上部层位(深度 6 m 以上),其值在 28.62~29.63 之间变化,均值为 29.03.*Paq* 指数的变化范围为 0.12~0.40 之间,均值为 0.25,沉积柱从下至上表现出低—高—低的变化趋势.

3 正构烷烃来源和气候指示意义

有机地球化学研究表明,沉积物中不同碳数正构烷烃来自不同的生物源.在湖泊沉积物的研究中,短链正构烷烃($nC_{15}+nC_{17}+nC_{19}$)被认为是低等生物来源,主要为藻类和光合细菌等;中等链长正构烷

烃($nC_{21}+nC_{23}+nC_{25}$)则被认为主要来源于大型水生植物,其含量变化能够用来反映湖泊水位的变化,从而间接反映区域降水量或者相对湿度的变化(Meyers and Ishiwatari,1993;Lin *et al.*,2008);而长链正构烷烃含量($nC_{27}+nC_{29}+nC_{31}$)则被认为主要来自于陆生高等植物,主要反映了区域降水量控制下的陆生高等植物总量的变化(Cranwell *et al.*,1987;Meyers and Ishiwatari,1993).

为了更好地描述不同碳链长的正构烷烃分子的相对丰度关系及其整体组合特征,学者定义了一些参数来进行定量描述,如主峰碳数(具有最高相对丰度的正构烷烃分子)、碳优势指数 *CPI* (用来表示一定链长范围内正构烷烃分子之间的奇偶优势或者偶奇优势)(Eglinton and Eglinton,2008)、长链正构烷烃平均链长 *ACL* (用来表示平均链长的变化)(Dodd and Afzal-Rafii,2000;Dodd and Poveda,2003)、*Paq* 指数(Ficken *et al.*,2000).具体公式如下:

$$CPI = \frac{nC_{25} + nC_{27} + nC_{29} + nC_{31} + nC_{33}}{2 \times (nC_{24} + nC_{26} + nC_{28} + nC_{30} + nC_{32})} + \frac{nC_{25} + nC_{27} + nC_{29} + nC_{31} + nC_{33}}{2 \times (nC_{26} + nC_{28} + nC_{30} + nC_{32} + nC_{34})}, \quad (1)$$

$$ACL = \frac{nC_{25} \times 25 + nC_{27} \times 27 + nC_{29} \times 29 + nC_{31} \times 31 + nC_{33} \times 33}{nC_{25} + nC_{27} + nC_{29} + nC_{31} + nC_{33}}, \quad (2)$$

$$Paq = \frac{nC_{23} + nC_{25}}{nC_{23} + nC_{25} + nC_{29} + nC_{31}}, \quad (3)$$

一般而言,*CPI* 值越大表明奇偶优势越明显.*CPI* 值在暖湿的气候条件下较小,而在冷干的气候条件下相对较大(Yamada and Ishiwatari,1999).正构烷烃平均链长 *ACL* 值的变化反映的是其平均链长的变化,其气候指示意义已有较多的探讨,目前仍没有比较统一的认识.但从植物本身结构组成上讲,植物表皮蜡质组分最主要的功能就是维持植物用水平衡,其平均碳链长度随着外界环境条件(如温度、干旱、盐度等)的变化而变化(Dodd and Poveda,2003;王素萍等,2011;尹雪峰等,2013).在干旱、极干旱气候区,降雨量的变化是影响陆生植被生长的主要因子,植物会产生较长碳链的叶蜡物质以发挥其锁水功能.因此,河套河湖相沉积物正构烷烃碳链长度的变化应当反映的主要是该区域降雨量或者有效湿度的变化.*ACL* 较长指示区域有效湿度小,干旱少雨,蒸发较强,而 *ACL* 较短指示区域降雨量增多,蒸发减弱.

Paq 指数是指大型水生植物来源的正构烷烃($nC_{23}+nC_{25}$)相对于水生大型植物和陆生高等植物来源的正构烷烃($nC_{23}+nC_{25}+nC_{29}+nC_{31}$)对湖泊沉积物中正构烷烃的相对贡献比例.Nichols *et al.* (2006)通过对美国密歇根泥炭剖面的研究指出 *Paq* 指数可有效指示泥炭水位的变化.柴达木盆地湖泊沉积物的 *Paq* 高值也指示了大型水生植物的贡献增大,湖泊水位变高,气候较为湿润(王素萍等, 2011).且磴口地区湖泊沉积物的孢粉分析结果也显示,在湿润时期主要以一些大型水生植物为主.综上所述,*Paq* 高值代表了大型水生植物比例较高,区域气候相对湿润;反之,*Paq* 指数数值越小,代表大型水生植物比例越低,湖泊水位较低,区域气候相对干旱(Ficken *et al.*, 2000).

T2 钻孔沉积物长链正构烷烃的平均链长 *ACL* 值与 *Paq* 指数具有显著的负相关关系($n=67, R=0.852$)(图 3a),说明内蒙古磴口地区 T2 钻孔河湖相沉积物正构烷烃参数 *ACL* 值与 *Paq* 值指示了相似的区域气候变化,这是可以解释的.因为 *Paq* 高值指示湖泊水位较高,气候相对湿润,而 *ACL* 低值也显示有效湿度高,气候环境湿润,因此 *Paq* 高值对应于长链正构烷烃 *ACL* 低值,指示大型水生植物比例较高,湖泊水位高,区域气候湿润;反之,*Paq* 低值对应于 *ACL* 高值,指示大型水生植物比例较低,湖泊低水位以及干旱的区域气候条件.但是参数 *CPI* 和 *ACL* 的相关性随着曲线的变化而不同:钻孔中部(深度 10~6 m)和上部(深度<6 m)之间有较好的正相关性(图 3b);而在下部层位(深度 15~10 m),*CPI* 值和 *ACL* 值的相关性不大,出现了稍微的负相关,这可能与河湖相沉积复杂的沉积环境

有关,其具体机制有待进一步深入研究.

综上,T2 钻孔样品正构烷烃总含量有先增大后减小的变化趋势(图 1),下部层位(深度 15~10 m)样品的正构烷烃总含量相对较低,变化趋势主要与中长链烷烃变化趋势一致,说明沉积物中有机质来源的主要贡献者是水生浮游生物和少量陆生植物.中间层位(深度 10~6 m)样品的正构烷烃总含量达到了最高值,变化趋势主要与长链及中链烷烃变化趋势相同,反映了此阶段沉积物正构烷烃主要为外源的陆生植物和水生的挺水植物等;上部层位 6 m 以上,样品的正构烷烃总含量逐渐降低,变化趋势主要与短链烷烃变化趋势相同,显示了沉积物正构烷烃可能主要来源于细菌、藻类等为代表的水生生物.由此可见,正构烷烃总量变化与短、中、长链正构烷烃含量的变化特征一致.代表低等生物来源的正构烷烃含量在总含量中所占的比例最小,而中长链正构烷烃含量所占比例较大,说明该湖相沉积物中高等植物(包括大型水生植物和陆生植物)输入的有机质相对比较丰富.

4 研究区古气候演化特征

根据磴口河湖相沉积物 T2 钻孔的 *CPI*、*ACL* 和 *Paq* 值在钻孔中的分布特征,现可将末次冰期以来的气候波动阶段和影响因素分析如下(图 4):

(1)17.0~12.8 ka BP(深度 15~10 m),*CPI* 值变化波动较大,出现逐渐降低的趋势;*ACL* 值波动不大,其值分布在 28.57~29.29 之间,均值为 29.01,且和 *CPI* 值负相关,这可能是因为此阶段生物来源复杂所致;*Paq* 值分布在 0.17~0.33 之间,均值为

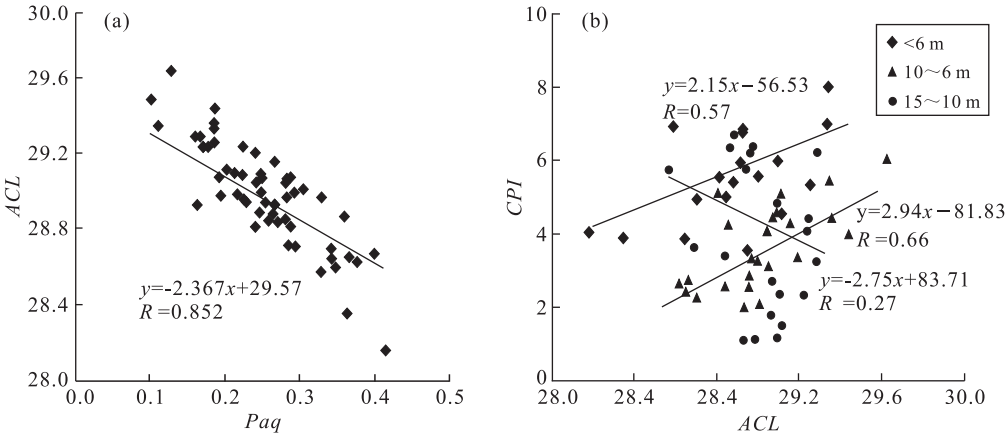


图 3 T2 钻孔正构烷烃 *ACL* 与 *Paq*(a)、*CPI*(b)的相关性

Fig.3 Correlation between parameters *ACL*, *Paq* (a) and *CPI* (b) in borehole T2

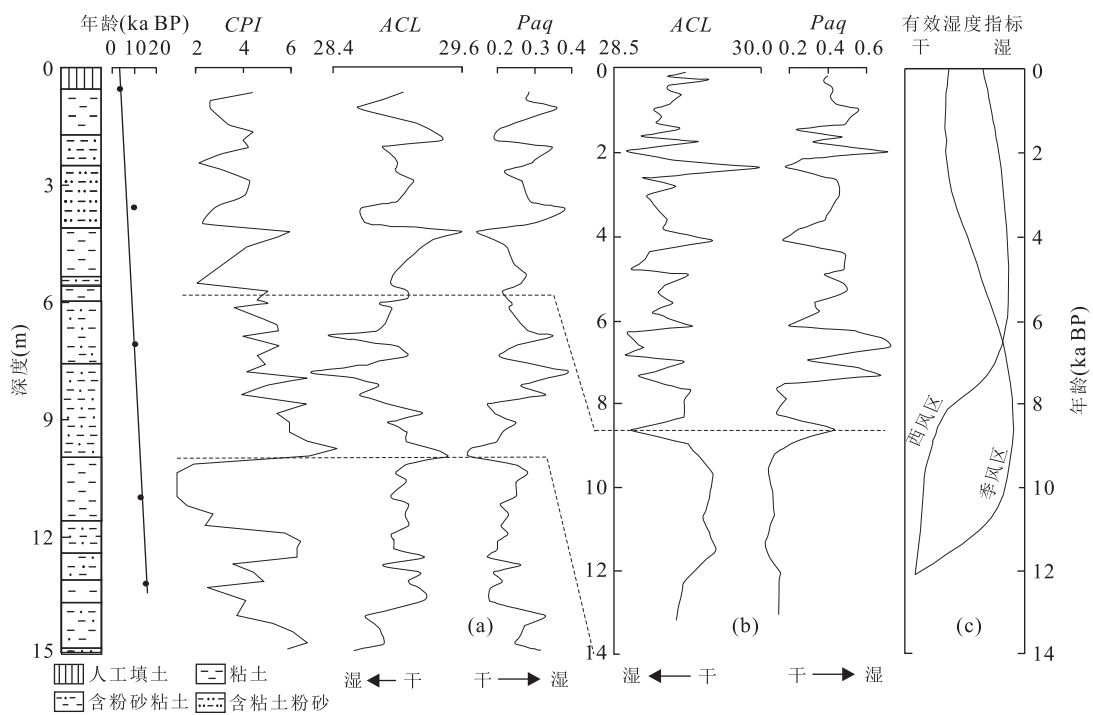


图 4 T2 钻孔正构烷烃气候变化曲线及区域对比

Fig.4 Climatic variations of T2 in comparison with neighbouring areas

a. T2 钻孔; b. 克鲁克湖相沉积物(据王素萍, 2011); c. 中亚西风区和季风区有效湿度指标(据 Chen *et al.*, 2008)

0.23, 和 ACL 值呈现很好的正相关性. 又由前面分析此阶段以中长链正构烷烃为主要有机质来源可知, 此阶段气候较为冷干, 低等生物藻类等生长较少. 以往研究也显示研究区在冰期后期气候转干, 有机碳同位素和 pH 值均呈现高值(尹雪峰等, 2013).

(2) 12.8~10.0 ka BP (深度 10~6 m), CPI 值波动较小, 但为整个沉积柱的最大值; ACL 值为此阶段的最小值, 和 CPI 值有较好的正相关, 说明此时气候较为湿润; Paq 变化幅度增大, 为沉积柱最大值. 综合指标表明此阶段有机质来源主要为长链正构烷烃, 冷期之后气候转暖转湿, 湖泊周围出现了大量植被, 湖中大型水生生物大量繁殖. 已有成果均显示该阶段 TOC 含量、C/N 较前一阶段明显升高, 沉积物中夹有大量炭屑, 环境条件处于比较适宜的阶段(尹雪峰等, 2013).

(3) 10.0 ka BP 以来 (深度 6 m 以上), CPI、ACL 和 Paq 值都出现较大的变化波动, 沉积物样品中低于 nC_{21} 的短链正构烷烃相对丰度较高, 主要以 nC_{18} 为主峰碳数可知, 此阶段主要有机质来源为低等生物藻类等, 但 Paq 较前一段总体波动较大, 说明水生植物等逐渐减少, 湖泊水位不断下降, 由此可推断气候变得温暖干旱, 湖泊逐渐向富营养化变化, 大量浮游生物和藻类繁殖, 湖泊周围的陆生植被

稀疏, 随着气候的进一步恶化, 湖泊逐渐消失.

为了更加准确地分析正构烷烃 Paq 和 ACL 指数等对古气候环境的响应, 选取了柴达木盆地克鲁克湖相沉积物的正构烷烃分子记录(王素萍等, 2011)进行了对比. 同时选取了中亚西风区和季风区的有效湿度指标(Chen *et al.*, 2008)进行对比分析(图 4).

对比分析发现, 磴口 T2 钻孔河湖相沉积物长链正构烷烃 ACL 值与 Paq 指数与柴达木盆地克鲁克湖相沉积物的正构烷烃分子记录具有显著的相似性; 即 Paq 高值对应于长链正构烷烃 ACL 低值, 对应的气候湿润; Paq 低值对应于 ACL 高值, 气候较为干旱. 说明内蒙古磴口地区 T2 钻孔河湖相沉积物正构烷烃参数 ACL 值与 Paq 值与柴达木盆地克鲁克湖相沉积物的正构烷烃分子记录指示了相似的气候变化特征, 但不同地区反应的气候环境干湿程度不同. 从图 4 可看出亚洲内陆有效湿度指数的变化为: 以全新世相对于末次冰期而言, 在季风区气候逐渐变为干旱; 而西风区气候逐渐由干旱变为更为湿润. 柴达木盆地的克鲁克湖位于西风区, 有效湿度指数的变化与正构烷烃 Paq、ACL 参数记录的环境变化趋势一致: 即进入全新世以后, 区域气候逐渐变为湿润, 2 ka BP 之后气候由湿润逐渐转为干旱, 但干

旱程度较弱。而内蒙古磴口 T2 钻孔位于季风/非季风区的过渡地带,环境变化较为复杂,从有效湿度指数的变化曲线与正构烷烃 *Paq*、*ACL* 参数记录的环境信息变化来看,既有西风区的环境变化特征,也有季风区环境变化的特征,但总体与季风区的变化更为接近。

5 结论

(1)磴口河湖相沉积物中保存了大量的古气候信息。样品正构烷烃的分布特征表明,碳数分布在 $nC_{15} \sim nC_{35}$ 之间,总体呈现出以高碳数正构烷烃为主的分布特征,且在高碳数 $nC_{25} \sim nC_{33}$ 范围内呈现出显著的奇碳优势。在深度 6 m 以上层位样品中短链正构烷烃丰度相对较高,无明显的奇偶优势;6 m 以下层位 $nC_{23} \sim nC_{33}$ 的正构烷烃丰度相对较高,且具有明显的奇偶优势,多数样品以 nC_{27} 、 nC_{29} 为主峰。*CPI*、*ACL* 和 *Paq* 等参数综合指示了 T2 钻孔沉积物有机质的来源主要为 C_3 植物、水生植物和浮游生物(藻类),且自下而上水生浮游植物和少量陆生 C_3 植物减少,来自细菌、藻类等为代表的低等生物逐渐增多。

(2)根据沉积物正构烷烃分布特征,区域气候变化可初步划分为 3 个阶段:17.0~12.8 ka BP 气候冷干;12.8~10.0 ka BP 转暖转湿,降雨增加,陆生植物所占比重增加,湖面水位增高,湖中大型水生植物也大量繁殖;10.0 ka BP 以来,区域气候变干变暖,湖泊周围的陆生植被稀疏,随着环境的进一步恶化,湖泊消失。

(3)区域对比分析表明,不同地区正构烷烃分子记录指示了相似的气候变化,但其反应的气候环境干湿程度不同。内蒙古磴口 T2 钻孔位于季风/非季风区的过渡地带,正构烷烃的分布特征揭示了季风边缘区独特的植被组成与环境变化之间的关系,且与季风区气候环境有相似性。

References

- Chen, F. H., Yu, Z. C., Yang, M. L., et al., 2008. Holocene Moisture Evolution in Arid Central Asia and Its Out-of-Phase Relationship with Asian Monsoon History. *Quaternary Science Reviews*, 27(3-4): 351-364. doi: 10.1016/j.quascirev.2007.10.017
- Cranwell, P. A., Eglinton, G., Robinson, N., 1987. Lipids of Aquatic Organisms as Potential Contributors to Lacustrine Sediments-II. *Organic Geochemistry*, 11(6): 513-527. doi: 10.1016/0146-6380(87)90007-6
- Dodd, R. S., Afzal-Rafii, Z., 2000. Habitat-Related Adaptive Properties of Plant Cuticular Lipids. *Evolution*, 54: 1438-1444. doi: 10.1554/0014-3820(2000)054[1438: HRAPOP]2.0.CO;2
- Dodd, R. S., Poveda, M. M., 2003. Environmental Gradients and Population Divergence Contribute to Variation in Cuticular Wax Composition in *Juniperus Communis*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31(11): 1257-1270. doi: 10.1016/S0305-1978(03)00031-0
- Eglinton, T. I., Eglinton, G., 2008. Molecular Proxies for Paleoclimatology. *Earth and Planetary Science Letters*, 275(1-2): 1-16. doi: 10.1016/j.epsl.2008.07.012
- Ficken, K. J., Li, B., Swain, D. L., et al., 2000. An *n*-Alkane Proxy for the Sedimentary Input of Submerged/Floating Freshwater Aquatic Macrophytes. *Organic Geochemistry*, 31(7-8): 745-749. doi: 10.1016/S0146-6380(00)00081-4
- Lin, X., Zhu, L. P., Wang, Y., et al., 2008. Environmental Changes Reflected by *n*-Alkanes of Lake Core in Nam Co on the Tibetan Plateau since 8.4 ka BP. *Chinese Science Bulletin*, 53(19): 3051-3057. doi: 10.1007/s11434-008-0313-6
- Meyers, P. A., Ishiwatari, R., 1993. Lacustrine Organic Geochemistry—An Overview of Indicators of Organic Matter Sources and Diagenesis in Lake Sediments. *Organic Geochemistry*, 20(7): 867-900. doi: 10.1016/0146-6380(93)90100-P
- Nichols, J. E., Booth, R. K., Jackson, S. T., et al., 2006. Paleohydrologic Reconstruction Based on *n*-Alkane Distributions in Ombrotrophic Peat. *Organic Geochemistry*, 37(11): 1505-1513. doi: 10.1016/j.orggeochem.2006.06.020
- Wang, S. P., Jia, G. D., Zhao, Y., et al., 2011. Plant Wax *n*-Alkanes Record of the Holocene Paleoclimatic Changes from a Core Sediment of Hurleg Lake in the Qaidam Basin. *Quaternary Sciences*, 30(6): 1097-1104 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S. C., Huang, X. Y., Yang, H., et al., 2013. An Overview on Microbial Proxies for the Reconstruction of Past Global Environmental Change. *Quaternary Sciences*, 33(1): 1-18 (in Chinese with English abstract).
- Xie, S. C., Liang, B., Guo, J. Q., 2003. Biomarkers and the Related Global Change. *Quaternary Sciences*, 23(5): 521-528 (in Chinese with English abstract).
- Yamada, K., Ishiwatari, R., 1999. Carbon Isotopic Compositions of Long-Chain *n*-Alkanes in the Japan Sea Sediments: Implication for Paleoenvironmental Changes

over the Past 85 kyr. *Organic Geochemistry*, 30(5): 367–377. doi:10.1016/S0146–6380(99)00012–1

Yang, G. F., Wu, F. D., Ge, Z. L., et al., 2010. Paleoclimate Variations Inferred from Organic Carbon Isotopic Composition in Hetao Plain in North China since Late Glacial Period. *Journal of Earth Science*, 21 (Suppl. 1): 274–276. doi:10.1007/s12583–010–0234–6

Yin, X. F., Yang, G. F., Wu, F. D., et al., 2013. Organic Isotopic Variations in Fluvial-Lacustrine Sediments from Dengkou, Inner Mongolia and Their Palaeoclimatic Evolution. *Geological Review*, 59(Suppl.1): 206–207 (in Chinese).

附中文参考文献

王素萍, 贾国东, 赵艳, 等, 2011. 柴达木盆地克鲁克湖全新世气候变化的正构烷烃分子记录. *第四纪研究*, 30(6): 1097–1104.

谢树成, 黄咸雨, 杨欢, 等, 2013. 示踪全球环境变化的微生物代用指标. *第四纪研究*, 33(1): 1–18.

谢树成, 梁斌, 郭建秋, 等, 2003. 生物标志化合物与相关的全球变化. *第四纪研究*, 23(5): 521–528.

尹雪锋, 杨桂芳, 武法东, 等, 2013. 内蒙古磴口河湖相沉积有机碳同位素特征及其古气候演化. *地质论评*, 59(增刊 1): 206–207.

《地球科学》中、英文版再获殊荣

近日, 第五届湖北十大名刊、第九届湖北省优秀期刊评选揭晓, 《地球科学》(中文版) 自上届获得“湖北十大名刊成就奖”后本届继续享有该称号, 《Journal of Earth Science》则荣获了“湖北省优秀精品期刊奖”. 这是两刊继 2014 年荣获教育部科技司“中国高校精品科技期刊奖”后获得的又一殊荣.

此次评选活动由湖北省新闻出版广电局、湖北省期刊协会举办, 经过申报阶段、推荐初评阶段、质量抽查阶段, 最后聘请有关专家组成评委会进行评审, 共评出湖北十大名刊成就奖 1 种、湖北十大名刊奖 10 种、十大名刊提名奖 4 种、湖北精品期刊奖 30 种、湖北优秀期刊奖 100 种、“特色栏目”期刊奖 61 种.