维普资讯 http://www.cqvip.com

第9卷 第3期
1997年9月

湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES

Vol. 9, No. 3
Sep., 1997

211-216 P532

若尔盖盆地RH孔近80万年来 $\delta^{13}C_{org}$ 气候特征的频谱分析*

吴敬禄
(中国科学院南京地理与湖泊研究所,南京 210008)

提要 运用最大熵谱方法,对若尔盖深钻800kaB.P.以来的有机碳同位素序列进行了频谱分析.结果表明:1) 0—800kaB.P.,该地区存在有准80ka、60ka、41ka和20ka的周期,其中41ka和20ka的周期与米氏计算的地倾角及岁差周期较一致;2) 0—480kaB.P.,以100ka周期为主,其次为41ka和20ka,与米氏计算的各天文周期相一致;3) 480—800kaB.P.,出现有115ka、33ka、27ka和16ka各个周期;然而,准41ka和20ka周期消失.以上结果表明,在0—480kaB.P.,该地区气候主要受轨道驱动影响,而480—800kaB.P.,除了受轨道控制外还明显受构造作用影响.

关键词 若尔盖盆地, 天文周期, 有机质 $\delta^{13}C$, 最大谱分析 气候变化, 古气候

第四纪气候成因研究历来是全球气候变化的焦点问题.在各种成因假说中,以米氏冰期成因的天文理论为多数学者所接受[1].冰期天文理论把第四纪气候变化归因于三个地球轨道参数的变化.这三个地球轨道参数是:1) 地球轨道偏心率(a),具有95—136ka、平均约100ka的周期;2) 地倾角(b),变化周期约41ka;3) 岁差(c),具有19—23ka、平均约21ka的变化周期.米氏认为地球轨道三要素的变动造成全球各地所获得的太阳辐射量发生变化,从而引起第四纪冰期旋回气候.近几十年来,由于许多新技术、新方法(深海钻控技术、氧同位素测温法、绝对年龄测定技术及频谱分析方法)在第四纪古气候研究中的应用,使得米氏理论得到证实.最近在长序列的黄土-古土壤系列及冰芯等第四纪陆地堆积中也得到证实[2,3].

湖泊系统是地球各圈层相互作用的产物,它的形成、发展和消亡的过程实际上是环境变化的指示计。湖泊沉积具有连续性、分辨率高、敏感等特征,保存有丰富的古气候信息.所以轨道三要素驱动造成气候变化的遗迹也同样贮存于湖泊沉积记录中.本文通过青藏高原东部若尔盖盆地RH孔近800kaB.P.来有机碳同位素古气候频谱分析,对该区气候演化特征进行探讨。

1 盆地及RH孔概况

若尔盖盆地位于青藏高原东部,海拔3400m以上,区内发育现代草本泥炭沼泽,气候上属于高原亚寒带湿润季风气候区.若尔盖盆地是高原整体上升的相对下沉区,为断陷盆地,盆地四周均为海拔4000m以上的高山.在巨地形上为青藏高原向黄土高原的过渡带,是长江与黄河的分水区.已有的物探资料表明,松散沉积厚度超过300m、且该盆地被黄河切开年代较新.因此,是研究高原东部第四纪古环境演化的理想地区.

RH孔位于若尔盖盆地黑河下游南侧的一级阶地上(33°05′N,102°30′E),标高3400m,位

* 国家攀登项目(85-029-02-01).
收稿日期:1995-12-01;收到修改稿日期:1997-03-25.

维普资讯 http://www.cqvip.com

于四川省若尔盖县黑和牧场.钻孔深120.46m,取芯率91%以上,整个钻孔沉积连续,未见明显缺失.利用磁性地层学和^{14}C年代学方法建立了本钻孔的时间标尺,钻孔最底部年代为826kaB.P.[4].

2 RH孔沉积物的沉积年龄序列

钻孔的年代至关重要,关系到谱分析的可靠性.RH孔的年代序列主要依赖于古地磁地层学和^{14}C年代学方法.表1列出了^{14}C的测年资料数据及各极漂事件的年代,据这些节点年龄,利用最小二乘法计算出任一测点处的年代,最后通过线性内插或外延获得间隔为2ka的年龄序列.

表1 RH孔^{14}C测年与极漂年代

Tab.1 Dating ages of the core RH

深度(m)	地层特征	极漂命名	年代(kaB.P.)
0.55	泥炭的底部		5.803±0.11
4.72	青灰色与黄棕色砂交界		20.34±0.55
7.73	青灰色粉细砂中泥夹层		28.17±0.62
8.04	青灰色粉细砂中泥夹层		29.54±0.57
26.2—26.8	灰色碳酸盐泥与粉砂薄互层	Blake	111.20—115.0
35.0—35.3	灰色细砂层	Jamaica	180.6
45.3—45.6	灰色粉砂	Biwa 2	252.3—254.6
59.6—59.9	灰色粉砂质泥与泥炭过渡	Biwa 3	362.3—364.6
88.4—88.7	灰色泥质粉砂	Mosty,Oka	583.8—586.1
108—116.0	粗砂细砾、泥炭	B/M转换带	730—791.5
120.46	泥炭,终孔		826

3 沉积物中有机碳同位素的分布特征

应用湖泊沉积物有机碳同位素指标获取必要的古气候信息,近十几年来已引起地学界的广泛兴趣.Stuiver[5]在讨论不同纬度湖泊晚更新世来有机碳同位素特征时指出有机碳同位素波动指示了气候的变化.Nakai[6]对日本琵琶湖深钻有机碳同位素的研究也提出了类似的结论.作者就湖泊沉积物有机碳同位素与古气候间的关系作了专门讨论,认为湖泊沉积有机碳同位素的垂向变化包含了丰富的古气候信息[7].

对RH孔有机碳同位素测试样品190块.结果显示,$^{13}C_{org}$最高值达到−20‰,最低峰值为−29.99‰,平均−25.1‰,较好地指示了气候的变化(图1).根据$^{13}C_{org}$垂向波动特征划分了23个古气候阶段,基本上代表了RH孔综合指标所揭示的古气候变化,并能够和深海氧同位素阶段相比[8],因而在本文中选择$^{13}C_{org}$作为进行频谱分析的代用指标.

4 频谱分析技术

在水文及气象要素的时间序列研究中,以连续功率谱及极大商谱法最为常见.而在连续功

维普资讯 http://www.cqvip.com

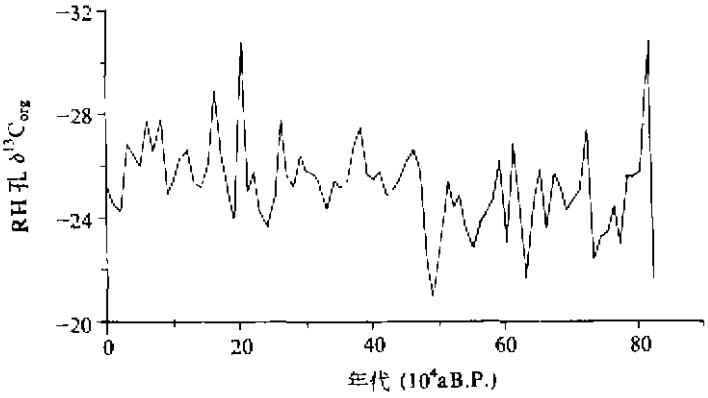

图1　RH孔800kaB.P.来沉积有机碳同位素特征曲线

Fig.1　Organic matter $\delta^{13}C_{org}$ in lake sediments of the core RH

率谱的估算中，自相关函数的估计是和样本的容量有关，这就常常带来对真正谱估计的误差. 近代的谱分析往往使用极大谱方法来克服上述不足. 极大谱分析估计具有分辨率高、峰值偏离小等优点，特别是资料序列较短时，也能够获得较为客观的频谱，故在时间序列的周期分析中得到较为广泛的应用. 下面就这一技术的一般原理及计算过程作一简单介绍[9].

根据概率理论，n 个随机事件在概率为 P_i 时的熵为：

$$H = -\sum_{i=1}^{n} P_i \ln P_i \tag{1}$$

熵与功率的关系可表达成：

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} \ln S(W) dW \tag{2}$$

根据信息理论，在随机变量的一组现实值 $X_1, X_2, X_3 \cdots X_n$（设时间间隔 $\Delta t = 1$ 个单位）的情况下，如果它们的熵值达到最大值时输出功率也最大，这样的功率谱就是最大熵谱，记为 $S_E(W)$，它的表达式为：

$$S_E(W) = \frac{\sigma_{k_0}^2}{\left| 1 - \sum_{k=1}^{k_0} b_k^{(k_0)} e^{-iwk} \right|^2} \tag{3}$$

式中，$W = 2\pi f$，f 为频率（$f = 1/T$），T 为周期长度，$b_k^{(k_0)}$ 为过滤系数，k_0 为阶数，$\sigma_{k_0}^2$ 为对应于截止阶 k_0 的预报误差的方差，分母为一复数取模后的平方、事实上最大熵谱的估计过程就是对已知时间序列用落后相关或自相关回归的方法以最大熵为原则估计其功率的. 具体计算过程中用下列公式求值：

$$S_E(l) = \frac{\sigma_{k_0}^2}{[1 - \sum_{k=1}^{k_0} b_k^{(k_0)} \cos(\frac{kl\pi}{m})]^2 + [\sum_{k=1}^{k_0} b_k^{(k_0)} \sin(\frac{kl\pi}{m})]^2} \tag{4}$$

式中 $\sigma_{k_0}^2$ 及 $b_k^{(k_0)}$ 同(3)式，k_0 为最佳阶数，m 为选取的最大落后步长. 通常选 m 为 $(\frac{1}{3} - \frac{1}{10})n$，最大熵谱值是否明显与 m 取值有关，可通过调整 m 值获得真实周期. l 取 1，2，3…，n，n 为样本容量，$S_E(l)$ 为不同采样点对应的最大熵.

维普资讯 http://www.cqvip.com

5 数据处理与计算

本文应用极大熵谱法对RH孔有机碳同位素资料进行了周期分析，在计算前，为了满足谱分析的要求，对有机质碳同位素作了如下处理：

1）有机质$^{13}C_{org}$数据内插：由于谱分析要求时间序列有相等的时间间隔，而用采样间隔的时间计算的年代数据不同，因此，将有机质$^{13}C_{org}$通过线性内插法得到时间间隔为2ka. 2）滑动平均：为了提取所需的频率分量，必须滤去或消弱不必要的频率分量，求得准确的周期，因此需要滤波处理，本文采用五点三次平滑方法. 3）零值化：谱分析的前提条件是在数学期望为零时计算的，因此本文最大熵谱是用同位素的距平序列来计算的. 4）根据公式(4)计算最大熵谱及对应的年代数值. 5）用五点三次平滑滑动计算出的极大熵谱，找出主周期. 6）利用白噪音检验周期的明显性.

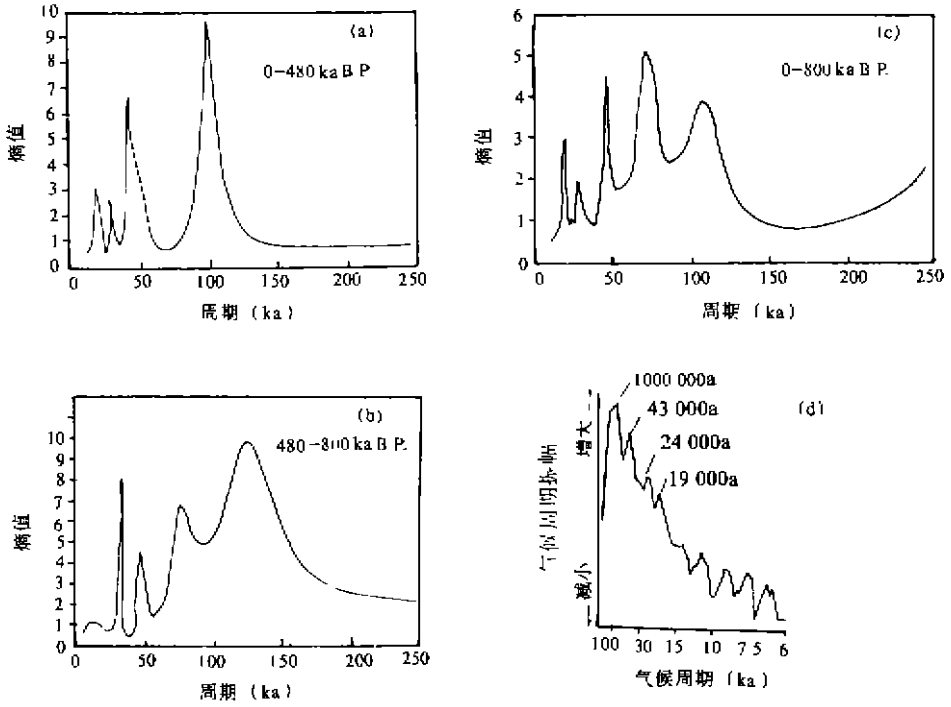

图2 RH孔800kaB.P.年来有机碳同位素频谱值与深海熵谱比较
Fig. 2 Frequency rhythms in the $^{13}C_{org}$ of the sediments in the core RH and those in the deep sea record

6 结果与讨论

对0－480kaB.P.的数据进行最大熵谱分析，检出了准100ka、43ka、及20ka周期成分，其中100ka的周期谱十分突出(图2a). 各周期分量中100ka和43ka通过$\alpha=0.01$的置信度白噪音检验，准20ka周期通过$\alpha=0.10$的白噪音检验，该时段同位素序列的谱特征与深海记录相

维普资讯 http://www.cqvip.com

一致[1]（图 2d）. 对 0－800kaB. P. 数据作谱分析，图谱中显现了 110ka、71ka、45ka、20ka 的准周期（图 2b）. 分析 480－800kaB. P. 段谱特征，发现准 100ka 和 41ka 周期消失，代之以准 120ka、77ka、50ka、34ka、20ka 几个周期（图 2c），结合 RH 孔沉积环境分析，在该期一些层位出现灰泥、螺壳砂层和陆上沉积，气候上具有暖期不暖、冷期加强的特点. 所从该时段高原气候不仅受轨道驱动的影响，而且构造运动也占有相当的比重. 本段时序的周期分量具有明显的区域性，而 0－800kaB. P. 段 100ka 周期不显著也与此有关.

表 2　RH 孔 $^{13}C_{org}$ 序列频谱周期与其它一些记录的谱周期[1,3-4]及天文周期[1]间的比较

Tab. 2　Comparison of frequency rhythms from the record of core RH and other records and orbital-frequency rhythms

若尔盖 ^{13}C 记录 (ka)			兰州黄土记录 (ka)	深海记录 (ka)	冰芯记录 (ka)	天文周期 (ka)
0－480	0－800	470－480				
100 (a)	110	120	100 (a)	106 (a)	107.5 (a)	105 (a)
43 (b)	71	77	41 (b)	43 (b)	45.7 (b)	41.1 (b)
20 (c)	45	50	24 (c1)	24 (c1)	25.3 (c1)	23.1 (c1)
	20	34 及 20	18 (c2)	19.5 (c2)		18.8 (c2)

RH 孔有机碳同位素谱分析结果与其它一些记录的周期比较发现（表 2），该孔同位素指标较好地记录了天文周期的轨迹（地球轨道偏心率(a)，地倾角(b)，岁差(c)）. 尤其是 480kaB. P. 以来，存在着准 100ka、41ka 及 20ka 周期分量，它们分别对应于各轨道周期. 所以若尔盖古湖沉积记录中同样也保存有较好的轨道变化遗迹，从而为冰期的天文成因提供了有力的证据.

致谢　本文承蒙王苏民研究员指导和帮助，在此深表感谢.

参 考 文 献

1 Berger A and Imbrie J, *et al*. Milankovitkh and climate (Part B). Holland: D Reidel Publishing Company, 1984

2 陈发虎，郝秀书等. 兰州黄土记录与万年尺度气候变化周期. 科学通报，1987，**33**(24)：2263－2265

3 Hays J and Shackleton N. Variations in the earths orbit, pacemaker of the ice ages. *Science*, 1976, **194**(4270): 1121－1132

4 陈发虎，王苏民等. 青藏高原若尔盖湖芯磁性地层研究. 中国科学(B 辑)，1995，**25**(5)：272－277

5 Stuiver M. Climate versus changes in C content of the organic component of lake sediments during the late quaternary. *Quat Res*, 1975, (5): 251－262

6 Nakai N. Carbon isotopic variation and paleoclimate of sediment from Lake Biwa. *Proc Pao Acad*, 1972, **48**: 516－521

7 吴敬禄，范　吉等. 湖泊沉积有机碳同位素形成条件——兼论若尔盖古湖 ^{13}C 所示的古气候演化特征. 见：青藏高原专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统的研究学术论文（1994）. 北京：科学出版社，1995. 137－141

8 张平中，王先彬等. 青藏高原若尔盖盆地 RH 孔沉积有机质的 C 值和氢指数记录. 中国科学（B 辑），1995，**25**（6）：631－638

9 杜金观，项静恬等编著. 时间序列分析——建模与预报. 合肥：安徽科学技术出版社，1991. 274－346

维普资讯 http://www.cqvip.com

FREQUENCY RHYTHMS OF THE ORGANIC MATTER $\delta^{13}C$ RECORD IN THE CORE RH OVER THE PAST 800KA

Wu Jinglu
(Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008)

Abstract

A 120-m-long core(33°54′N; 102°33′E; altitude 3 400m)has been drilled at the center of Zoige Basin of the northeastern Tibetan Plateau. The sediment core RH reaches back to 826kaB. P. according to ^{14}C ages and paleomaganetic stratigraghy. By analyzing environmental proxies for spore—pollen, ostrode, diatom, fossil pigments, hydrogen index, the $\delta^{13}C$ values of organic matter and so on, the sequences of climatic evolution in this region over the past 820ka have been rebuilt. Compared organic matter $\delta^{13}C$ with other proxies from the core RH, we found that the changes in $\delta^{13}C$ of organic matter correspond well with that of other climatic proxies in the core RH, and can be mainly relative with the record from the deep-sea oxygen isotope, suggesting that the organic matter $\delta^{13}C$ in the core RH is a sensitive environmental proxy. By using maximum entropy method, in this paper, we present the results of the frequency rhythms recorded in the $\delta^{13}C$ proxy in the sediment core RH over the past 800ka. The results showed that:

(1) 0—800ka, existing quisc-periods of 80ka, 60ka, 41ka and 20ka, in which the periods of 41ka and 20ka are very close to those predicted by the Milankovitch theory.

(2) 0—480ka, power spectra showed a dominant peak near 100ka and smaller peaks at the orbital periodicities of 41ka and 20ka;

(3) 480—800kaB. P., discovering the dominant periods of 115ka, 33ka and 16ka, while the periods of 100ka, 41ka predicted by the Millankovitch theory vanished.

All the results demonstrated that during 0—480kaB. P. the climatic changes in the region were controlled by orbital forcing, and for the past 480—800kaB. P. the periodicities had greatly regional characteristics affected by the regional constructal actions. Therefore, in this period, the climatic changes are not only influenced by orbital forcing but strongly controlled by the constructal actions.

Key Words Orbital-frequency rhythms, organic matter $\delta^{13}C$, maximum entropy method, Zoige Basin