

1997/12/15/10:07/000 P532

97, 964 若尔盖盆地 RH 孔有机碳同位素
284-294 序列指示的古气候事件诊断

吴敬禄 王苏民

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要 定量化是过去全球气候变化研究的必然趋势, 突变事件的诊断是古气候定量化研究中极其重要的过程. 本文运用 M-K 法和 t 检验法对 RH 孔有机碳同位素序列进行了气候突变诊断研究. 结果发现, 近 800kaBP 来该区气候存在明显的突变, 且突变开始于 470kaBP. 进一步的研究发现 470kaBP 开始的这一气候突变事件与青藏高原的构造隆升有密切的关系.

关键词 若尔盖盆地, 有机质碳同位素, 气候诊断

古气候, 碳同位素

古气候突变事件的诊断是古气候定量化研究中极其重要的过程, 为古气候模拟提供可靠的依据. 所谓气候突变是指气候从一种稳定态(或稳定持续变化趋势)跳跃式地转移到另一种稳定态的现象, 它表现为气候在时空上从一个统计特性到另一个统计特性的急剧变化. 关于气候突变现象及理论的研究是近代气候学一个新兴的研究领域, 这已为大量的观测事实所证实. 在短尺度方面, 如南亚季风爆发^[1]、副热带高压北跳及厄尔尼诺事件等^[2]; 在长时间尺度方面如冰期间冰期之间的转换、生物种群的灭绝等.

以往古气候研究中应用比较多的方法是直观诊断法, 例如利用岩性突变、各气候代用指标数值的大幅度波动等. 直观法由于凭直觉从图谱中发现其突变趋势, 不可能直接给出在哪点附近产生突变, 这未免带来主观性, 且缺乏可信度. 近年, 在短期气候变化中一些气象数据均值突变的诊断方法已有不少报道^[3,4]. 此种方法也渐渐地应用于古气候事件诊断^[5,6]. 本文简单地介绍了几种目前常用的古气候诊断的统计学方法, 并以青藏高原东部若尔盖盆地 RH 孔有机碳同位素反映的气候变化特征为例加以说明.

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隆升的相对下沉区, 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), 海拔高度 3400m, 位于四川省若尔盖县黑河牧场. 钻孔深 120.46m, 取芯率 91% 以上, 整个钻孔沉积连

• 国家自然科学基金重点基金(49131030)和攀登项目(85-029-02-01)联合资助
收稿日期: 1996-06-04; 收到修改稿日期: 1997-03-25.

作者简介: 吴敬禄, 男, 1965 年 10 月生, 助理研究员. 目前主要从事于第四纪环境地质学研究, 已发表有关论文多篇.

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826kaBP^[5].

2 RH孔沉积物的沉积年代序列

钻孔的年代学至关重要,关系到事件诊断精度,RH孔的年代序列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5ka的年龄序列.

表1 RH孔 ^{14}C 测年与极漂年代
Tab. 1 ^{14}C dating and paleomagnetic stratigraphy in core RH

| 深度(m) | 地层特征 | 极漂命名 | 年代(k, BP) |
|-----------|--------------|------------|--------------|
| 0.55 | 泥炭的底部 | | 5.830±0.11 |
| 4.8—5.0 | 黄棕色与青灰色砂层过渡 | Mono | 20—20.6 |
| 4.75 | 青灰色与黄棕色砂交界 | | 20.84±0.57 |
| 7.5 | 青灰色砂层 | Mungu | 21.95 |
| 7.75 | 青灰色粉细砂中泥夹层 | | 28.17±0.62 |
| 7.94 | 青灰色粉细砂中泥夹层 | | 29.54±0.57 |
| 10.1—10.6 | 青灰色粉细砂 | Lushamp | 38.9 |
| 12.0—12.2 | 青灰色粉细砂 | Lushamp | 45.0 |
| 26.2—26.8 | 灰色碳酸盐泥与粉砂薄互层 | Blake | 111.20—115.0 |
| 52.4 | 灰色碳酸盐泥与粉砂薄互层 | Biwa 1 | 160.6 |
| 35.0—35.3 | 灰色细砂层 | Jamaica | 180.6 |
| 39.2—39.4 | 灰色粉砂质泥 | 未见报道 | 212.9 |
| 40.6—40.8 | 灰色粉砂质泥 | 未见报道 | 214.3 |
| 45.5—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 | 3562.5—364.6 |
| 61.2 | 灰色泥质粉砂 | Emperor(?) | 374.6 |
| 88.1—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 |
| 120.48 | 泥炭,终孔 | | 826 |

3 RH沉积物有机碳同位素的分布特征

近年的研究表明^[6-7],湖泊沉积物有机碳同位素是有效的环境代用指标之一,它直接或间接地指示了气候环境的变化,RH孔有机碳同位素变化幅度大(±10%),反映了湖泊沉积物有机碳同位素的组成特征,且较好地揭示了研究时期内若尔盖地区的环境演化过程^[8],笔者据此曾对该序列进行了频谱分析^[9],发现若尔盖盆地80万年来的有机碳同位素序列较好地记录了天文周期的轨迹,揭示了环境变化的规律性,但是同时也发现,在研究时期内的某些时段有机碳同位素序列也存在有较明显的突变性,因此,在本文中利用统计学方法对RH孔 $\delta^{13}\text{C}_{org}$ 序列作进一步的突变事件诊断研究.

4 气候突变诊断的统计学方法

从统计意义上说,当一个气候序列处于某种稳定状态时各个变量相互独立,且概率分布相同.若气候发生急剧变化时从原来的一种稳定态很快变到另一种稳定态,就造成气候序列变量的独立性和概率分布的不连续性.据此前提,由某种统计方法给出 0.05 或 0.01 信度水平的统计临界值,如果气候序列在某个时刻,变量的独立性和概率分布超过给定的临界值,就可以认为该时刻这个气候序列存在着突变.

应用统计判别法诊断气候突变在现代气候研究中应用较广,国内外都有许多成功的例子^[2-10].在古气候研究中,Maasb 等对七个分布于不同海域的长序列氧同位素记录进行统计诊断,发现 90 万年开始气候出现突变^[3].在国内此类研究还未见报道.下面就一些统计诊断方法作简单介绍.

(1) 滑动的 t -检验法^[11](Moving t -test technique)

对于一连续随机变量 X ,设 X_1 和 X_2 为它的两个子集, μ_i , S_i 和 n_i 分别代表 X_i 的平均值、方差和样本长度($i=1,2$),其中 n_i 可以根据需要任意调节.

原假设 $H_0: \mu_1 = \mu_2 = 0$. 定义一统计量:

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}}, \quad S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

其中, S_p^2 是联合样本方差, σ^2 为无偏估计 ($E[S_p^2] = \sigma^2$), 显然为 t_0 至 $t(n_1 + n_2 - 2)$ 分布, 给出信度 α , 得到临界值 t_α . 计算 t_0 后在 H_0 下比较 t_0 与 t_α , 当 $|t_0| \geq t_\alpha$ 时, 否定原假设 H_0 , 即说明存在显著性差异, 当 $|t_0| < t_\alpha$ 时, 则接受原假设 H_0 . 由于 n_i 的选择具有随机性, 因而在实际应用中, 往往通过不断地变动 n_i , 获得一组 t_0 值, 进行比较, 以增进检验结果的可靠性.

(2) Mann-Kendall 法^[12]

在原假设 H_0 : 研究序列没有变化的情况下, 设此序列为 $X_1, X_2, \dots, X_n, m_i$ 表示第 i 个样本 X_i ($1 \leq j \leq i$) 的累计数.

定义一统计量:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2 \leq k \leq N)$$

在原序列的随机独立等假设下, d_k 的均值、方差分别为:

$$E(d_k) = K(K-1)/4 \quad (2 \leq K \leq N)$$

$$\text{Var}[d_k] = K(K-1)(2K+5)/72$$

将 d_k 标准化:

$$U(d_k) = (d_k - E[d_k]) / \sqrt{\text{Var}[d_k]}$$

式中 $U(d_k)$ 为标准分布, 其概率 $\alpha_1 = \text{Prob}(|\mu| > |\mu(d_k)|)$ 可以计算或查表获得, 给定一显著性水平 α , 当 $\alpha_1 \geq \alpha$ 时, 接受原假设 H_0 ; 当 $\alpha_1 < \alpha$ 时, 则拒绝原假设, 它表示此序列将存在一个强的增长或减小趋势. 所有 $U(d_k)$ ($1 \leq k \leq N$) 将组成一条曲线 C_1 , 通过信度检验可知其是否有变化趋势. 此方法引用到反序列中, \bar{m}_i 表示第 i 个样本 X_i 大于 X_j ($i \leq j \leq N$) 的累计数, 当 $i = N-1-j$, 如果 $\bar{m}_i = m_i$, 则反序列的 $\bar{U}(d_i)$ 由下式给出:

$$\begin{cases} \bar{U}(d_i) = -U(d_i) \\ i' = N + 1 - i \end{cases} \quad (i, i' = 1, 2, \dots, N)$$

$\bar{U}(d_i)$ 在图中以 C_2 表示.

当曲线 C_1 超过信度线, 即表示存在明显的变化趋势. 如果曲线 C_1 和 C_2 的交叉点位于信度线之间, 这点便是突变的开始.

图 1 即为深海有孔虫氧同位素曲线的 t 检验和 M-K 法计算图^[1]. 这是一个应用统计诊断法进行古气候诊断的典型例子. 从曲线 C_1 可见, 900kaBP 前后, $\delta^{18}\text{O}$ 值发生明显变化. 根据 C_1 与 C_2 的交叉点位置, 确定出 $\delta^{18}\text{O}$ 值的这一变化为一种突变, 且它的起始时间发生在 900kaBP. t 检验结果也与此相似.

5 统计诊断方法的应用

图 2(a) 为 M-K 法统计检验结果, 图中曲线 C_1 和 C_2 的交点位于检验显著性范围内, 表明

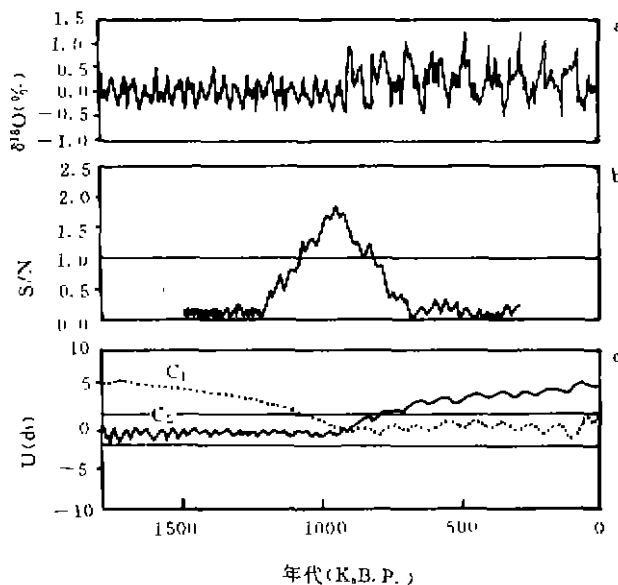


图 1 深海有孔虫氧同位素曲线的 t 检验(b)和 M-K 法(c)的诊断结果和

180 万年来深海氧同位素序列(DSDP502)(a)

Fig. 1 Statistical detection of $\delta^{18}\text{O}$ record in deep sea sediment by t -test(b) and M-K methods(c), $\delta^{18}\text{O}$ record since 1800kaBP(DSDP502)(a)

该序列存在突变, 且 C_1 和 C_2 的交点(470kaBP)则为突变的起始点. t 检验显示了在 380—540kaBP 时段内其统计值通过检验, 但无法确定突变点. 这是 t 检验的不足之处. 所以运用 M-K 法和 t 检验法对 RH 孔有机碳同位素诊断发现, 近 800kaBP 该区气候存在明显的突变, 且突变于 470kaBP. 青藏高原 80 万年前后存在明显的构造运动(昆黄运动), 若尔盖盆地随之进一步整体抬升, 随着海拔升高, 植被类型发生变化. 而湖泊沉积物有机质主要来源于陆生植物和湖泊水生植物, 依据光合作途径的差异, 陆生植物可分为 C3、C4 及 CAM 三类. 其中 CAM 植物不常见^[12]. 不同光合作途径的陆生植物具有不同的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值^[14]. 一般认为 C4 类植物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 值在 -9% 至 -19% 间波动, C3 类植物在 -24% 至 -37% 间波动. 因此, 湖泊沉积物有机质碳同位素变化显示了植被类型的演替. 研究区在 470kaBP 开始 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 出现明显的偏负, 表明若尔盖地

区随着高原海拔升高, 气候发生了明显变化, 因而 C4 类植物锐减, 以至消失. 470kaBP 以来, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 变化相对稳定, 表明以 C3 植物为主的高原植被类型开始形成. 所以, 470kaBP 前后 $\delta^{13}\text{C}$ 序列的突变揭示了若尔盖地区环境气候的突然变化.

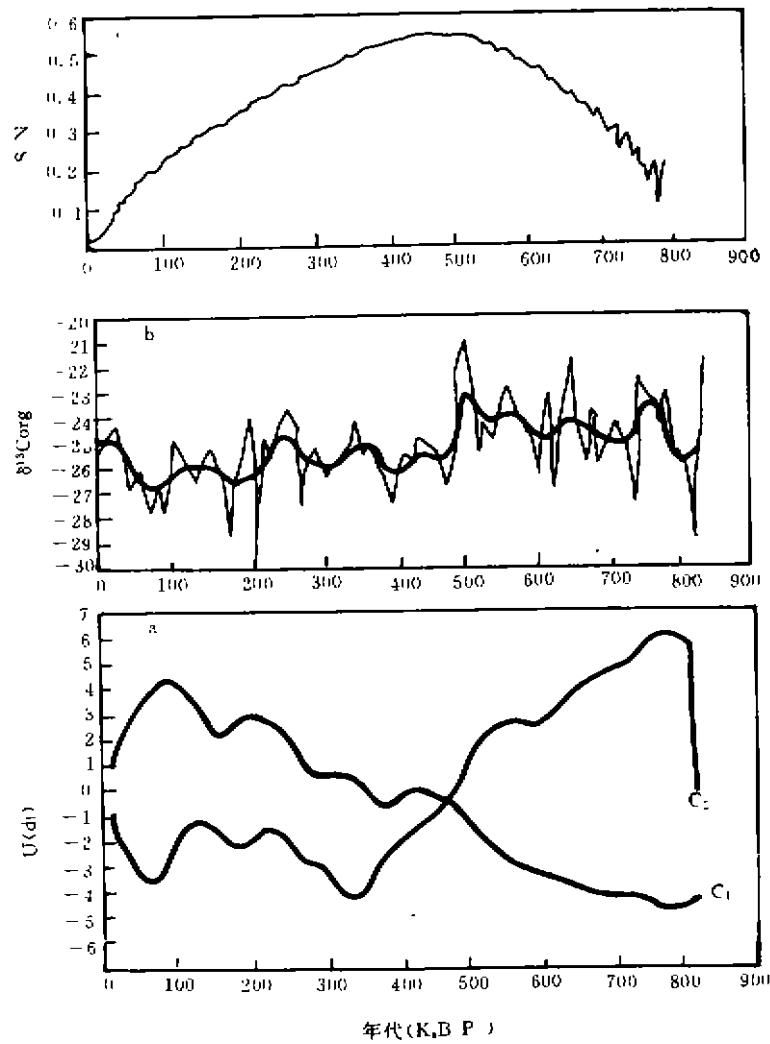


图2 RH孔800kaBP来有机同位素序列(实线为滑动平均曲线)的统计诊断(b),
M-K法诊断结果(a)和 t 检验结果(c)

Fig. 2 Statistical detection of $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ record in core RH over the past 800ka(b)
(solid line for the moving average of $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ values);
(a) testing by M-K method; (c) testing by t -test method

参 考 文 献

- 1 叶笃正,陶诗言,李麦村. 在6月和10月大气环流的突变现象. 气象学报, 1958, 29(3): 249—263
- 2 符淙斌,王强. 南亚夏季风长期变化中的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性. 中国科学(B辑), 1991, 6: 606—672
- 3 Maash K. A statistical detection of the mid-pleistocene transition. *Climate Dynamics*, 1988, 2: 133—143
- 4 Guossens Chr and Berger A. How to recognize an abrupt climate change? *Abrupt climate change*. D Reidel Pub

- Company, 1987, 31—34
- 5 陈发虎,王苏民. 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
 - 6 Stahler M. Climate versus changes in ^{13}C content of the organic component of lake sediments during the late glacial. *Quat Res*, 1975, 5: 251—262
 - 7 Nakai N. Carbon isotopic variation and the paleoclimate of sediment from Lake Biwa. *Proc Pan Acad*, 1972, 48: 510—521
 - 8 张平中,王先彬. 青藏高原若尔盖盆地 RH 孔沉积有机质的 ^{13}C 值和氢指数记录. 中国科学(B辑), 1995, 25(3): 631—638
 - 9 吴敬群. 若尔盖盆地 RH 孔近 80 万年来 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 气候特征的频谱分析. 湖泊科学, 1997, 9(3): 209—216
 - 10 Gussens C H, Bergeret A. Annual and seasonal climate variations over the Northern Hemisphere and Europe during the last century. *Ann Geophys*, 1986, (4), 385—400
 - 11 Karl T R, Riebsime W E. The identification of 10- to 20-year temperature and precipitation fluctuations in the contiguous United States. *J Climate Appl Meteor*, 1987, 23: 950—966
 - 12 Mann H B. Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 1945, 13: 245—259
 - 13 中国科学院北京植物研究所植物生理生化研究室. 植物生理生化译丛(第二集). 北京: 科学出版社, 1976: 57—72
 - 14 Smith B N and Epstein S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology*, 1971, 47: 380—384

STATISTICAL DETECTION OF THE ORGANIC MATTER $\delta^{13}\text{C}$ RECORDED IN CORE RH IN ZOIGE BASIN

Wu Jinglu Wang Sumin

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

Abstract

By using statistical methods (*t*-test and M-K methods), the features of transition of the organic matter $\delta^{13}\text{C}$ in the core RH in the Zoige basin have been studied. The result showed that there existed an apparently rapid transition in climate at 470kaBP. After 470kaBP, the climate became colder and drier. Further studies depicted that the abrupt event had a close relation to the uplift of Tibet Plateau.

By analyzing the sequences of the organic matter $\delta^{13}\text{C}$ in core RH, it is found that the values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ at 470kaBP became low abruptly, indicating that the climate changed rapidly and caused the disappearance of C4 plants with higher $\delta^{13}\text{C}$ value. After 470kaBP, the values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ were relatively stable, showing that the vegetation types in the region which were mainly dominated by C3 plants with lower $\delta^{13}\text{C}$ value were formatted. Therefore, the fluctuation of $\delta^{13}\text{C}$ values reflects the close relation between the variations of climate and the uplift of Tibet Plateau.

Key Words Zoige basin, organic matter $\delta^{13}\text{C}$, climatic detection