

# 塬堡黄土剖面末次间冰期古土壤有机质碳同位素记录的夏季风演化历史

何勇 秦大河 任贾文 李凤霞

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰芯室, 兰州 730000. E-mail: jxheyong@163.net)

**摘要** 对黄土高原西部地区甘肃临夏塬堡剖面的末次间冰期古土壤有机质碳同位素分析发现, 该地区在末次间冰期经历了 5 次夏季风增强事件, 这些事件在古土壤地层、孢粉记录、磁化率以及古土壤有机质碳同位素组成上都有相应的反映. 当夏季风增强时, 有机质的  $\delta^{13}\text{C}$  值和磁化率都相应增大. 由于夏季风的增强引起当时地表植被类型发生变化, 导致古土壤中有有机质  $\delta^{13}\text{C}$  值发生变化, 故古土壤中有有机质碳同位素组成是记录夏季风变化的良好指标. 在这 5 次夏季风增强事件当中, 第 1, 2, 5 次夏季风是以较平滑的方式到达其极盛期的, 而第 3, 4 次则是在到达极盛期之前经历了一个较小的寒冷事件. 这 5 个夏季风增强事件的形成机制并非都是一样的, 这说明了影响全球气候变化系统各种因素的复杂性.

**关键词** 黄土高原 古土壤 有机质 碳同位素 夏季风

中国的黄土-古土壤沉积记录了最近 2.5 Ma 的东亚季风演化历史<sup>[1]</sup>, 其良好的时间序列可与深海<sup>[2]</sup>、极地<sup>[3,4]</sup>以及青藏高原<sup>[5]</sup>所记录的气候变化进行对比. 黄土在沉积过程中不仅仅是简单的物理埋藏过程, 其成土作用过程中包含了丰富的埋藏时期古气候信息. 我国学者在黄土的古磁化率<sup>[6]</sup>、粒度<sup>[7]</sup>等方面的开创性工作对全球第四纪研究作出了重大贡献. 相对而言, 在黄土有机质碳同位素组成方面的研究工作还较少<sup>[8,9]</sup>, 由于黄土孢粉分析的困难性, 利用黄土-古土壤中有有机质碳同位素组成来探讨黄土记录的植被变化, 进而分析夏季风的演化历史无疑具有重要的科学意义. 对甘肃临夏地区的末次间冰期古土壤中的有机质碳同位素研究表明, 它不仅仅反映了当时地表植被的变化情况, 而且是东亚夏季风在黄土高原西缘演化的良好指标. 我们发现, 黄土高原西部边缘地带是夏季风变化的敏感区域, 所记录的夏季风变化信息要高于黄土高原的中心区域.

## 1 研究区域简介

临夏盆地西靠青藏高原, 东接黄土高原, 因黄河支流大夏河流经境内而得名(图 1). 地势西南高, 东北低, 四面环山, 河谷川地宽阔平坦, 平均海拔 1917 m. 该区属温带半干旱气候, 年均气温为 6.7℃, 年均降水量为 500 mm, 主要集中于 5~9 月. 塬堡剖面位于临夏市西北约 15 km 处, 基座为大夏河第 4 级阶地的砾石层, 黄土厚度 150 m, 发育了 8.5 m 厚的末次

间冰期(S<sub>1</sub>)古土壤序列, 该序列由 5 个古土壤亚层和 4 个黄土亚层组成. 由于该区特殊的自然地理环境, 黄土沉积速率较快, 对气候变化反映非常敏感, 许多学者对该地区第四纪黄土古气候有过深入研究<sup>[10~12]</sup>.

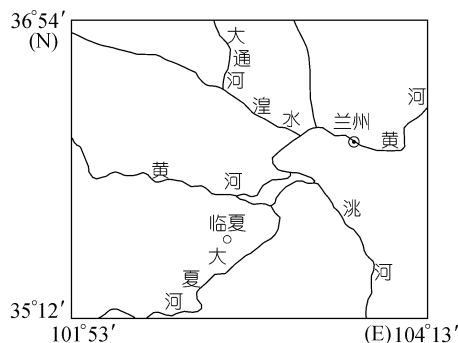


图 1 采样点的地理位置

## 2 样品采集与分析

在野外, 我们对塬堡末次间冰期剖面自下而上每间隔 2 cm 采样作有机质碳同位素分析, 其间避开了可见的虫孔和裂隙; 该剖面的磁化率用英国产 MS2 磁化率仪在野外进行测量. 在室内将样品自然风干, 用碾钵粉碎; 取 20 g 左右的粉末样用 1 mol/L 的盐酸浸泡 24 小时, 其间搅拌多次, 充分除去无机碳酸盐; 再用蒸馏水冲洗残余的样品多次, 直至上层溶液的 pH 值达到中性; 将样品低温烘干、粉碎. 取 1 g 左右的粉末样放入石英管内, 通纯 O<sub>2</sub> 加热燃烧样

品中的有机物,使其释放出 CO<sub>2</sub>; 收集所得的 CO<sub>2</sub>, 在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰芯室的 Delt-plus (Finnigan 公司)上测试 δ<sup>13</sup>C 值, 采用 PDB 标准, 样品的实验误差小于 0.05‰.

### 3 结果与讨论

黄土、古土壤中有有机质含量比较低. 在塬堡剖面, 末次间冰期的古土壤有机质的含量在 0.1% ~ 0.7% 之间<sup>[13]</sup>. 自然界中陆生植物就光合作用初级产物的差异可以划分为 3 种类型: C<sub>3</sub> 植物(Calvin)、C<sub>4</sub> 植物(Cranz)及 CAM 植物(Crassulacean Acid Metabolism)型, 其 δ<sup>13</sup>C 的平均值分别为 -27‰, -13‰ 及 -17‰<sup>[14]</sup>. 地表植物对周围环境变化反映敏感, 当气候变化时, 植物的构成(即 C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> 植物的组成)也要发生变化, 这种变化也可通过植物的 δ<sup>13</sup>C 值反映出来. 植物死亡后, 残体分解进入土壤中, 是土壤内有机质的主要来源, 因此土壤有机质中的 δ<sup>13</sup>C 值是当时植物生长环境的良好指示.

塬堡末次间冰期古土壤中有有机物碳同位素分析结果见图 2(b). δ<sup>13</sup>C 值变化范围在 -29.62‰ ~ -23.87‰

之间, 平均值为 -27.86‰. 从 δ<sup>13</sup>C 值的分析结果来看, 末次间冰期该地区植被主要是以 C<sub>3</sub> 植物为主, 但在 δ<sup>13</sup>C 值达到峰值阶段 C<sub>4</sub> 植物含量会有所增加. 林本海等人<sup>[8]</sup>发现西安附近的段家坡 S<sub>1</sub> 地层中有有机质 δ<sup>13</sup>C 值的范围在 -18‰ ~ -23‰ 之间, 平均值接近 -21.5‰, 与塬堡剖面的 δ<sup>13</sup>C 平均值相差 -6.3‰. 孢粉的分析表明<sup>[15-17]</sup>, 末次间冰期临夏地区的植被是以针叶林为主的森林草原, 而在关中地区植被为落叶阔叶林及落叶阔叶森林草原. 正是由于当时两地植被状况的不同引起了土壤中 δ<sup>13</sup>C 值的不同, 因此土壤中的 δ<sup>13</sup>C 值可以较好地反映一个地区的植被状况.

从塬堡剖面的磁化率来看(图 2(a)), 其变化范围在 93.0 × 10<sup>-8</sup> ~ 13.3 × 10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg 之间, 平均值为 29.7 × 10<sup>-8</sup> m<sup>3</sup>/kg, 表现出自下而上磁化率值逐渐减小的趋势. 在图 2 中, 我们可以看到, 古土壤有机质 δ<sup>13</sup>C 与磁化率表现出类似的变化趋势, 当 δ<sup>13</sup>C 为高值时, 磁化率也表现出高值, δ<sup>13</sup>C 值减小时, 磁化率的值也表现出下降的趋势, 两条曲线所反映的 I ~ V 这 4 次夏季风增强事件比较一致, 而 IV 次事件的磁化率峰

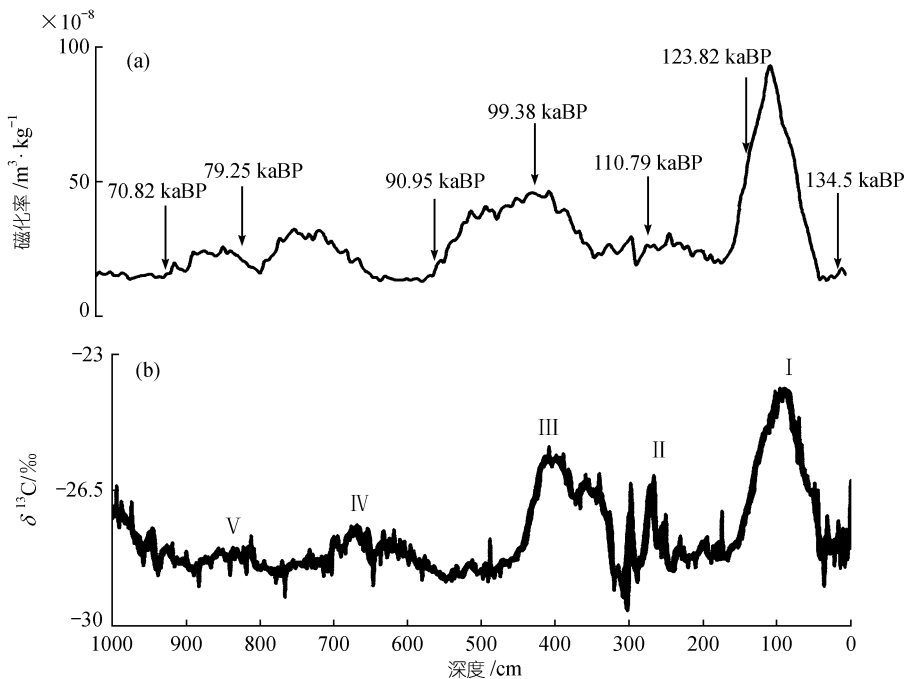


图 2 塬堡剖面末次间冰期古土壤磁化率(a)、有机质碳同位素记录(b)  
(b) 图中细线为实测值, 粗线为趋势线

值要比古土壤中有有机质  $\delta^{13}\text{C}$  峰值滞后一些, 可能表明地表植被对气候的反映要比磁化率灵敏. 该剖面孢粉分析表明<sup>[15]</sup>, 在古土壤的堆积亚层中(磁化率及  $\delta^{13}\text{C}$  值较高), 孢粉组合主要为一些喜暖、湿的植物; 而在黄土亚层中(磁化率及  $\delta^{13}\text{C}$  值较低), 则是一些耐寒、旱的植物. 我们认为, 由于夏季风的增强, 所带来的温度升高和降水增多引起地表植被类型发生了变化, 导致了土壤中  $\delta^{13}\text{C}$  值增大, 而夏季风减弱时  $\delta^{13}\text{C}$  值则减小. 因此古土壤中有有机质的碳同位素组成可反映该地区夏季风变化情况.

结合年代分析, 在塬堡地区, 末次间冰期的持续时间大约在 134~72 kaBP, S<sub>1</sub> 古土壤的堆积中发育了 5 个古土壤亚层, 在磁化率以及碳同位素曲线上都能够得到反映, 说明了夏季风在该地区的 5 次增强事件, 其极盛时所对应的时间分别是 126, 114, 102, 84 和 78 kaBP. 在这 5 个夏季风的增强事件中, 以 126 kaBP 事件的夏季风最强, 古土壤中有有机质碳同位素值达到 -23.87‰, 这也是末次间冰期有机质碳同位素的极大值. 该事件所对应地层的孢粉分析显示<sup>[15]</sup>, 期间植被非常发育, 且种类繁多, 有柳、桦、栎、榆、胡桃等, 并有一定量的栗、椴等热带、亚热带植物, 旱生植物也很多, 如蒿、藜、白刺和菊科等. 这表明由于气候的变化, 导致了地表植被的种类也发生了变化, C<sub>4</sub> 植物的比例在该时期达到最大. 在这 5 个夏季风增强事件的过程中, 我们还可发现它们达到极盛时的方式是不一样的, I, II, V 次事件是以平滑的方式直接到达了夏季风的极盛期, 而 III, IV 次事件则是在到达极盛期之前经历了一个较小的寒冷事件(这在碳同位素曲线的趋势线上能更好地表现出来). 一般认为夏季风增强的主要原因是由于与地球轨道要素有关的太阳辐射量的增加和冰期旋回中下垫面状况的变化引起海、陆热容量的差异增大而产生的<sup>[18]</sup>, 我们的研究结果说明了驱动末次间冰期各个夏季风事件增强的机制并非完全相同, 这对深入探讨古季风的形成机制有着重要的意义.

**致谢** 本工作受国家重点基础研究发展计划项目(G1999043401)和中国科学院知识创新重大项目(KZCX-Y-05)资助.

## 参 考 文 献

1 刘东生. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985. 44

- 2 Porter S C, An Z S. Correlation between climates events in the North Atlantic and China during the Last Glaciation. *Nature*, 1995, 375(6529): 305~308
- 3 Grip members. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature*, 1993, 364(6434): 203~207
- 4 Lorius C, Jouzel J, Ritz C, et al. A 150 000-year climatic record from Antarctic. *Nature*, 1985, 316: 591~596
- 5 姚檀栋, Tompson L G, 施雅风, 等. 古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究. *中国科学, D 辑*, 1997, 27(5): 1~6
- 6 An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of Central China during the last 130 000 years. *Quaternary Research*, 1991, 36(1): 29~36
- 7 An Z S, Kukla G, Porter S C, et al. Late Quaternary dust flow on the Chinese Plateau. *Catena*, 1991, 18: 125~132
- 8 林本海, 刘荣谟. 最近 800 ka 黄土高原季风变迁的稳定同位素证据. *科学通报*, 1992, 37(2): 178~180
- 9 Wang H, Follmer L R. Proxy of monsoon seasonality in carbon isotopes from paleosols of the southern Chinese Loess Plateau. *Geology*, 1998, 26 (11): 987~990
- 10 李吉均. 中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式. *第四纪研究*, 1990, 3: 197~222
- 11 Chen Fahu, Feng Zhaodong, Zhang Jiawu. Loess particle size data indicative of stable winter monsoons during the last interglacial in the western part of the Chinese Loess Plateau. *Catena*, 2000, 39: 233~244
- 12 方小敏, 李吉均, 朱俊杰, 等. 甘肃临夏盆地新生代地层绝对年代测定与划分. *科学通报*, 1997, 42(14): 1457~1471
- 13 曹继秀, 张宇田, 王建民, 等. 塬堡黄土剖面 15 万年以来磁化率气候记录及黄土磁化率时空特征. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1997, 33(1): 124~132
- 14 Deines P. The isotopic composition of reduced organic carbon. In: Fritz P, Fontes J Ch, eds. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry I, The Terrestrial Environment*. Amsterdam: Elsevier, 1980. 329 ~ 406
- 15 马玉贞, 曹继秀, 李吉均. 甘肃临夏塬堡黄土剖面 15 万年以来孢粉植物发展及气候变化. 见: 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1995. 103~112
- 16 柯曼红, 孙建中, 赵景波. 富县地区末次间冰期以来古气候环境的演变. *西安地质学院学报*, 1993, 15(4): 172 ~ 177
- 17 孙建中, 柯曼红, 魏明健, 等. 黄土高原晚更新世的植被与气候环境. *西安工程学院学报*, 1998, 20(2): 39~48
- 18 Prell W L, Kuzbach J E. Monsoon variability over the past 150000 years. *J Geophys Res*, 1987, 92(D7): 8411~ 8452

(2001-12-30 收稿)