

红原泥炭苔草的碳同位素组成与全新世季风变化

洪冰¹, 林庆华¹, 朱咏焯¹, 冷雪天², 王羽¹, 洪业汤¹

1. 中国科学院地球化学所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 东北师范大学地理系泥炭沼泽所, 吉林 长春 130026

摘要:从红原泥炭中挑选出的单一植物残体——苔草纤维素的¹³C时间序列是印度洋夏季风强度变化的敏感代用指标,它不仅清楚地指示了过去12000年印度洋夏季风数千年尺度上的变化历史,而且记录下了9次明显的季风突然减弱事件,它们可以与同时期北大西洋发生的冰川漂移碎屑沉积物事件——对比。红原泥炭混合纤维素¹³C时间序列也同样清楚地记录了过去12000年印度洋夏季风数千年尺度上的变化历史,对全球大范围的主要气候突然变化事件也有很好的响应。因此,泥炭混合纤维素¹³C时间序列乃是一种很有实用价值的古气候代用记录。

关键词:印度洋季风;泥炭;青藏高原;红原;全新世;新仙女木冷事件

中图分类号:P532 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2802(2003)02-0099-05

泥炭是部分腐烂和分解的沼泽植物与土壤相混合的堆积体在潮湿缺氧的沼泽洼地中堆积速度大于分解速度的环境下形成的。泥炭作为一种重要的地质档案,能提供过去气候变化的信息,有较为详细的文献记载可追溯到19世纪中期Blytt和20世纪初Serander对北欧斯堪的纳维亚半岛冰后期气候变化的研究。但直到20世纪70年代末80年代初,才从泥炭中提取到具有连续性气候代用的记录^[1,2]。这一时期的工作主要是从泥炭地层学和生态学角度进行的古气候重建。与此同时,随着对植物生理学研究的深入,对另一个重要的古气候信息载体——树轮纤维素同位素组成与古气候信息关系的研究也取得了创新性的进展^[3-6]。这为从泥炭中提取古气候变化信息开拓了一个新的思路。由于泥炭沉积具有分布广泛和时间跨度大(1~10 ka)等特点,在一定程度上弥补了树轮时间跨度相对较短(0.0 n~0. n ka)等缺点,欧洲各国研究人员对西北欧泥炭埋藏丰富地区的贫营养泥炭(或称为高位泥炭)进行了多方面的研究。这些研究总体来说依然局限于对泥炭地层本身及其组分分析和腐质化程度以及泥炭中孢粉等研究。1982年,Breninkmeijer等^[7]首次发表了泥炭混合植物纤维素的D和¹⁸O的结果。该研究的对象不是一个完整连续的泥炭剖面,得到的是距今3100~2400 a共约700 a的D和¹⁸O时间序列。研究指出,泥炭中不同种类植物的D和¹⁸O值相当分散,可能会

给泥炭混合纤维素的D和¹⁸O时间序列的气候信号带来很大影响,能否作为古气候代用记录还需进行更多的研究才能确定。国际学术界认为,该结论实际上是认为当前不可能从泥炭混合纤维素中提取到气候信号^[8]。因此,在其后18年中未见有关于泥炭混合植物纤维素的D和¹⁸O与气候变化关系的报道,直至2001年一个6000 a的中国金川泥炭纤维素¹⁸O时间序列的发表^[9],才突破了这一“禁区”。

泥炭纤维素组成远比单一的树轮纤维素复杂。迄今国内外所进行的利用泥炭中同位素组成变化反映古气候变化的研究,其研究对象都是泥炭中所有植物残体的纤维素,即混合纤维素,而非单一的植物残体纤维素。泥炭中单种植物纤维素与泥炭混合纤维素的同位素时间序列在对古气候变化的响应方面的研究目前在国内外尚未见有报道。本文首次以碳同位素为研究对象,报道泥炭中单种植物碳同位素时间序列与同一泥炭剖面混合纤维素碳同位素时间序列的比较结果。

1 研究区域与方法

红原泥炭地位于青藏高原东缘四川省阿坝藏族自治州,地处中国最大的高原泥炭沼泽——若尔盖泥炭积聚区,属亚高山草甸草原带。区内年平均气温0.6~1.2,年平均降水量为560~860 mm。采样点位于红原县城西南3.1 km,白河上游南段的欧劣玛柯谷地,

收稿日期:2002-12-28收到,2003-03-19改回

基金项目:国家自然科学基金重点基金(40231007,49733130)和中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室前沿领域资助项目

第一作者简介:洪冰(1971—),男,助理研究员,主要从事环境地球化学研究。

白河一级阶地中后缘(32°46'53.0"N,102°30'58.2"E)的 号泥炭矿,海拔 3466 m,属草本泥炭。优势植物是木里苔草 (*Carex mulieensis*) 和藏嵩草 (*Kobresia tibetica*),无藓类植物。人工剖面总厚 4.95 m。0~27 cm 为黄褐和灰黑色草根层,27~448 cm 为黄褐色与黑褐色交互的草本泥炭层,448~495 cm 处发育了一层灰黑色的粘土质泥炭,其下部为一层灰白色的粘土和含泥炭有机质粘土。剖面上以 1 cm 间距采集大体积泥炭分样本。从分样中提取混合植物纤维素的同时,以 2 cm 间距从泥炭分样中挑选苔草植物残体。方法是先将泥炭样品用蒸馏水洗净,于蒸馏水中浸泡 24 h,过滤,再将泥炭浸泡于玻璃培养皿内,在 10×10 倍光学显微镜下挑选出木里苔草残体。此外,采集了 12 种红原泥炭地上生长的现代优势植物。

采用亚氯酸钠氧化法分别提取泥炭分样、挑选出的木里苔草残体样和现代优势植物样的 β -纤维素^[9,10]。同时选取 15 个层位的泥炭混合 β -纤维素样进行 ^{14}C 测年(图 1)。该工作利用日本国立环境研究所加速器质谱完成^[11],并利用 Stuiver 等^[12]的 Calib 4.3 年龄校正程序,将 ^{14}C 年龄校正成距今年(cal.BP)和日历年(BC/AD)。其余层位的样品年代用两个实测年龄间线性内插获得。

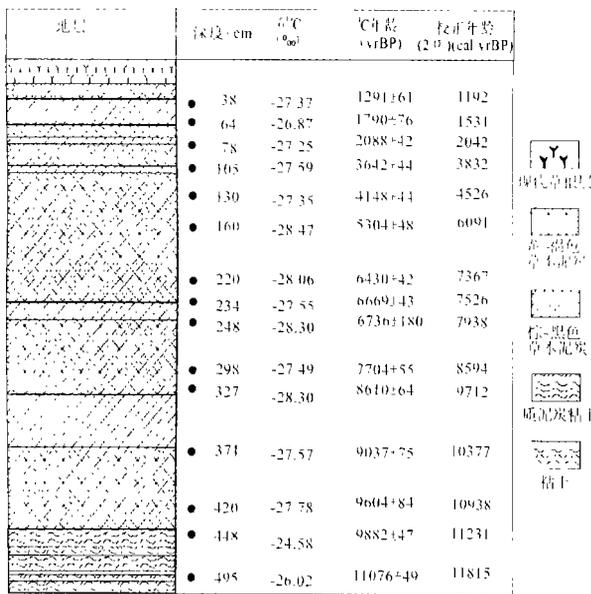


图 1 红原泥炭地层及年龄

Fig. 1 Stratigraphy and age of the Hongyuan peat bog

纤维素碳同位素测定采用玻璃管密闭燃烧法^[10]。称取 2 mg 纤维素样品与 2 g 氧化铜丝于硬质玻璃管内,以铂丝为催化剂,在真空系统中将玻管真空熔封。在马弗炉中 550 °C 灼烧 1 h,所得 CO_2 气体在真空系统中纯化后在 MAT-252 气体同位素质谱仪上测定 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 值。 ^{13}C 以 PDB 为标准。以国际原子能机构

(IAEA) 标准纤维素为实验控制标准,对纤维素 ^{13}C 进行 10 次测定,标准偏差小于 0.1 ‰。每批样品均随机设置两个平行样,标准偏差也小于 0.1 ‰。

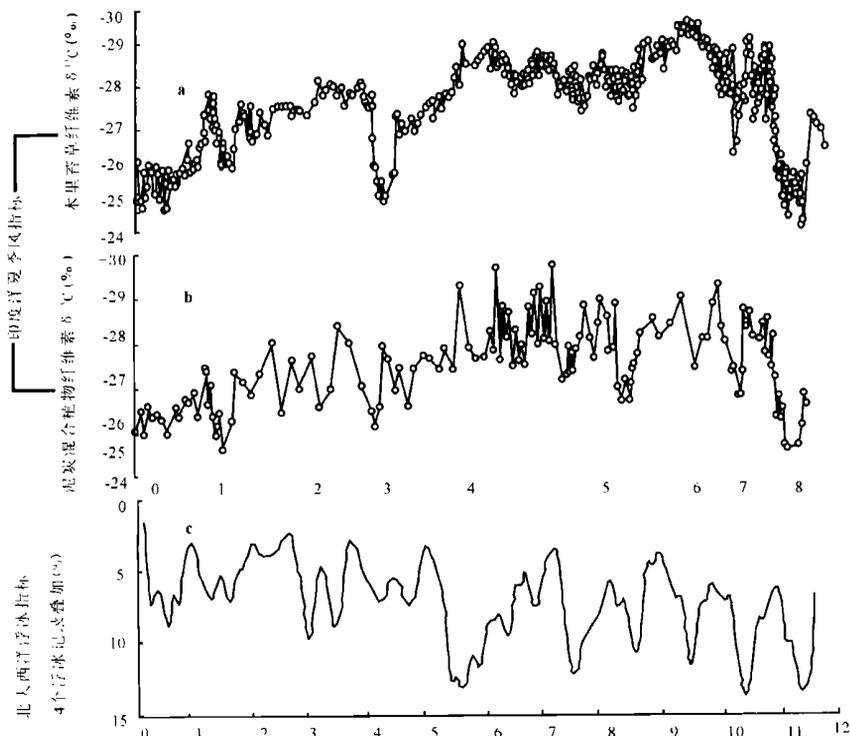
2 研究结果与讨论

(1) 红原泥炭植物的碳同位素组成特征:陆生植物依据三种不同的光合作用,即 C3 (Calvin 循环)、C4 (Hatch-Slack 循环) 和 CAM (景天酸代谢),可分为所谓 C3 植物、C4 植物和 CAM 植物。CAM 植物与普通的 C3 植物的差异在于它在夜间吸收 CO_2 后,先合成含 4 个碳原子的苹果酸,再通过脱羧基作用产生 CO_2 与 CO_2 途径一样合成有机质^[13~15]。C3 植物 ^{13}C 值为 -28 ‰~ -26 ‰,最低 -30 ‰,最高为 -20 ‰^[13]。泥炭中木里苔草残体纤维素 ^{13}C 为 -29.45 ‰~ -24.25 ‰,据此,我们认为它们为 C3 植物。红原泥炭地 12 种现代优势植物纤维素和泥炭混合纤维素的 ^{13}C 值分别为 -23.67 ‰~ -27.92 ‰和 -24.35 ‰~ -29.30 ‰(表 1,图 2),全部落在 C3 植物的 ^{13}C 值变化范围内,因此可以认为红原泥炭系由 C3 植物组成。

(2) 红原泥炭纤维素碳同位素组成与印度洋夏季风变化:研究表明,有许多因素影响 C3 植物的 ^{13}C 值,Francey 等^[16] 用一个经验公式描述气候环境因素的影响;其中气候因素对 C3 植物 ^{13}C 值的影响被认为是主要的:空气湿度调节植物叶片气孔的开合,影响了植物的 ^{13}C 值。空气的相对湿度愈大,C3 植物的 ^{13}C 值愈小,反之亦然。近来的实验研究^[17] 证明,温度对 C3 植物的 ^{13}C 值也有影响。在固定的相对湿度条件下,温度升高将使 C3 植物的 ^{13}C 值变小,反之亦然。这些研究表明,相对湿度增大,或温度升高,或愈温暖,都可引起 C3 植物的 ^{13}C 值变小;而相对湿度的减小,或温度降低,或愈干冷,则使 ^{13}C 值增大。

这些成果为将泥炭纤维素 ^{13}C 值用作气候变化的代用指标奠定了基础。近年来的观测、模拟及气象卫星云图的研究确认,整个青藏高原水汽主要来源于印度洋,印度洋季风对整个青藏高原的气候和生态有重要影响^[18]。强的印度洋夏季风使该区处于湿润而温暖的气流影响之下,全年降雨量的约 80 %集中在 6~8 月,使该区 C3 植物的 ^{13}C 值变小;相反,在弱的印度洋夏季风活动时期,气候相对变干冷,C3 植物的 ^{13}C 值增大。由于该区气候环境高寒,植物生长期短,集中在春夏季,植物的碳同位素组成灵敏地反映着印度洋夏季风强度的变化,可以作为后者的代用指标。泥炭纤维素的 ^{13}C 变化信息可用于重建古印度洋夏季风的活动历史。

(3) 红原泥炭苔草与泥炭混合植物纤维素 ^{13}C



为红原泥炭木里苔草纤维素的 ^{13}C 时间序列; b 为红原泥炭混合植物纤维素的 ^{13}C 时间序列; c 为北大西洋 MC52-V29191 和 MC21-GG2 钻孔的 4 个浮冰记录的叠加

图 2 全新世印度洋夏季风的红原泥炭代用记录与北大西洋浮冰记录比较

Fig. 2 Comparison of the Hongyuan peat bog records for the Indian Ocean summer monsoon with those of the North Atlantic ocean ice-rafted debris events in the Holocene

表 1 红原泥炭沼泽现代植物 ^{13}C 测定结果

Table 1 ^{13}C values of modern plants of the Hongyuan peat bog			
序号	名称	$^{13}\text{C}_{\text{VDB}}$ (‰)	标准偏差 (‰)
1	花萼驴蹄草 (<i>Caltha scaposa</i>)	- 23.666	0.02
2	木里苔草 (<i>Carex mulieensis</i>)	- 27.093	0.005
3	发草 (<i>Deschampsia caespitosa</i>)	- 25.401	0.013
4	矮泽芹 (<i>Chamaesium paradoxum</i>)	- 24.727	0.007
5	乌拉苔草 (<i>Carex meyeriana</i>)	- 25.668	0.008
6	葱状灯心草 (<i>Juncus concinnus</i>)	- 26.047	0.035
7	藏嵩草 (<i>Kobresia tibetica</i>)	- 27.919	0.006
8	细叶毛茛 (<i>Ranunculus reptans</i>)	- 25.339	0.025
9	华扁穗草 (<i>Blysmua sinocompressus</i>)	- 26.638	0.008
10	翻白菱陵菜 (<i>Potentilla enserrina</i>)	- 26.104	0.004
11	小唐松草 (<i>Thalctrum alpinum</i>)	- 25.601	0.008
12	条叶垂头菊 (<i>Cremanthodium Lineare</i>)	- 25.482	0.012

序列指示的气候变化比较:图 2a 和 2b 分别是红原泥炭苔草纤维素 12 000 a 的 ^{13}C 时间序列和泥炭混合纤维素 ^{13}C 时间序列。由图可见,在 1~10 ka 时间尺度上,两条曲线的变化趋势很相近,表明它们对过去 12 000 a 的印度洋夏季风变化有相同的响应,或指示了相同的气候变化。例如,在 11 800~11 200 a BP(^{14}C 年龄约 10 176~9882 a BP)期间,不论苔草

纤维素还是混合纤维素的 ^{13}C 记录都处于最低值,表明当时该区很干很冷,印度洋夏季风可能很弱。这种恶劣的气候限制了植物的生长,影响了泥炭的发育,致使相应层位上只发育了一层植物残体很少的灰黑色粘土质泥炭层(图 1),其下部出现不是泥炭的灰白色粘土层。它们及其下的含有机质粘土层可能是在总体很干很冷的气候背景下的产物,反映了气候的波动变化。因此,尽管剖面底部年龄只记录到 11 815 a BP(^{14}C 年龄约 10 176 a BP),但不论沉积学证据还是两种泥炭纤维素碳同位素气候证据都表明,11 800~11 200 a BP(^{14}C 年龄约 10 176~9882 a BP)时期应属新仙女木变冷期(或新仙女木晚期),与中德合作在中国南海 17940 钻孔上用 AMS 测年得到的高分辨率氧同位素记录上所辨识出的新仙女木冷事件发生时期(^{14}C 年龄约 11 280~9870 a BP)很好吻合^[19],也与北美大湖区沉积物柱上用 AMS 测年所得到高分辨率多种代用记录(花粉、植物化石、腹足类动物化石、元素和稳定同位素)中所辨识的新仙女木冷事件发生时期(^{14}C 年龄约 10 920~10 000 a BP)很好吻合^[20]。

图 2 还表明,两种代用记录都十分一致地标示全新世印度洋夏季风强度变化可分为三个明显的阶段。在 11 200~10 800 a BP 期间,两个代用记录都显示 ^{13}C 值迅速而持续地减小,在约 400 a 间, ^{13}C 值减小 4‰~5‰,表明新仙女木干冷事件

后,红原地区气候重新迅速变湿变暖。大约在同一时期,青海湖的水位也持续升高^[21],青藏高原西部松西错湖泊沉积记录也指示了同样的变化^[22]。因此,青藏高原全新世早期阶段是以印度洋夏季风活动迅速、持续的增强为特征。在约 10 800~5500 a BP 期间,两个泥炭 ^{13}C 代用记录总的来说都保持在约

- 28%的低水平,指示中全新世阶段红原地区气候湿润而温暖,印度洋夏季风总的来说很强盛。这一时期对应于所谓全球大暖期,尽管在东亚大陆不同代用记录和考古资料所指示的大暖期起止时间稍有不同。从约 5500 a BP 起红原地区气候进入一个新的阶段,即晚全新世阶段。两个泥炭 ^{13}C 代用指标都逐渐增大,指示这时印度洋夏季风强度减弱,以明显的干冷化为特征。

图 2 还表明,印度洋夏季风除有上述数千年尺度的变化外,还有一些百年至千年尺度的变化,它们叠加在总的变化趋势上。地球绕太阳运行的轨道因素被认为是数千年至万年尺度季风变化的原因,但对百年尺度的季风变化,原因尚不甚清楚。最近的研究认为,全新世太阳本身能量输出的变化,导致地球北部高纬度区域大气变冷,触发北大西洋浮冰增加,并可能引发低纬度区域降水减少^[23]。我们把印度洋夏季风代用记录与北大西洋浮冰记录进行对比发现(图 2c),在过去 12 000 a 间,北大西洋沉积物中记录到 9 次大的冰川漂移碎屑沉积物事件(IRD 事件),即 9 次气候突然变冷事件。相应地红原泥炭苔草纤维素 ^{13}C 记录上(图 2a),也出现 9 次 ^{13}C 值明显增大,即印度洋夏季风强度的明显减弱,两者之间有几乎一一对应的关系。但是,在红原泥炭混合纤维素 ^{13}C 记录上(图 2b),在过去 12 000 a 只有 6 次印度洋夏季风强度的明显减弱记录,在对应于 IRD 事件 6、4 和 2 时,泥炭混合纤维素 ^{13}C 记录似乎没有明显的响应。

这个结果是否表明泥炭混合纤维素 ^{13}C 代用指标对气候变化的敏感性就低于泥炭苔草纤维素 ^{13}C 代用指标,需进一步调查相应于 IRD 事件 6、4 和 2 时段泥炭剖面上植物残体组成的情况。值得注意的是,对那些在过去 12 000 a 间全球大范围发生的、并已进行过详细研究的突然变冷事件,如 IRD 事件 8、7、5、3、0,泥炭混合纤维素 ^{13}C 代用指标都有明显的响应。例如,除了新仙女木冷事件外(IRD 事件 8),相应地,不论泥炭混合纤维素还是苔草纤维素 ^{13}C 代用记录上都表明印度洋夏季风明显减弱。特别是发生在约 4500 aBP 前后的降温事件(IRD 事件 3):北大西洋气候明显变冷,格陵兰冰芯 ^{18}O 大幅度下降。同一时期的东亚大陆,红原泥炭 ^{18}O 记录^[24]、河北太师庄泥炭 ^{18}O 记录^[25]、吉林金川泥炭 ^{18}O 记录^[9],以及其它多种代用记录和文献考古资料,都表明存在大幅度的降温事件。而在红原泥炭混合纤维素 ^{13}C 代用记录曲线上,更表现为一突出的峰值,指示当时气候很干很冷,印度洋夏季风的活动很弱。有证据表明,这一时期季风活动的衰弱不仅限于青藏高原地区,低纬度的非洲北部季风活动也明显衰弱。因此不仅在青藏高原的东部(红原地区)、西部(松西湖地区)出现严重干旱,在印度河流

域和阿拉伯地区也出现了严重的干旱,严重地阻碍了古文明的发展;寒冷干燥的气候不仅导致美索不达米亚北部定居点被遗弃,南部 Akkadian 帝国的崩溃也被认为与之相关^[26]。也正是在这一时期,撒哈拉的淡水湖全部干涸,植被衰退,发生了撒哈拉的沙漠化——地球陆地覆盖最大的变化。另外,在“小冰期”(IRD 事件 0)时,泥炭混合纤维素和苔草纤维素 ^{13}C 代用记录都指示气候干冷,印度洋夏季风活动减弱。这些结果表明,对目前经过较详细研究的全球大范围的气候突然变化事件,泥炭混合纤维素 ^{13}C 代用记录与苔草纤维素 ^{13}C 代用记录一样,都有敏感的响应,都可以指示研究区气候的相应变化。

3 结 论

(1) 苔草是青藏高原东部红原泥炭中主要的植物残体之一,在剖面中连续沉积,分解度较低,植物残体保存较好,有利于从泥炭中分离提取。

(2) 红原泥炭苔草纤维素的 ^{13}C 时间序列是印度洋夏季风强度变化的敏感代用指标,不仅清楚地指示了过去 12 000 a 印度洋夏季风数千年尺度上的变化历史,而且记录了 9 次明显的季风突然减弱事件,它们可以和同时期北大西洋发生的冰川漂移碎屑沉积物事件一一对比。

(3) 红原泥炭混合纤维素 ^{13}C 时间序列同样清楚地记录了过去 12 000 a 印度洋夏季风数千年尺度上的变化历史,同时与苔草纤维素的 ^{13}C 时间序列一样,对全球大范围的主要气候突然变化事件也有很好的响应。由于泥炭混合纤维素 ^{13}C 的测定技术相对简捷,因此,泥炭混合纤维素 ^{13}C 时间序列乃是一种很有实用价值的古气候代用记录。

参考文献(Reference):

- [1] Barber K E. History of vegetation[A]. Chapman S B, ed. Methods in plant ecology[M]. Oxford: Blackwell Scientific, 1976. 5 - 83.
- [2] Barber K E. Peat-bog stratigraphy as a proxy climate record[A]. Harding A F, ed. Climate change in later prehistory[M]. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1982. 103 - 33.
- [3] Epstein S, Yapp C J, Hall J H. The determination of the D/H ratio of non-exchangeable hydrogen in cellulose extracted from aquatic and land plants[A]. Earth Planet. Sci. Lett., 1976, 30: 241.
- [4] Epstein S, Yapp C J. Climate implications of the D/H ratio of hydrogen in C-H groups in tree cellulose[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1976, 30: 252.
- [5] Burk R L, Stuiver M. Oxygen isotope ratios in trees reflect mean annual temperature and humidity[J]. Science, 1981, 211, 1417.
- [6] Gray J, Thompson P. Climatic information from $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of cellulose in tree rings[J]. Nature, 1976, 262: 481.
- [7] Brenninkmeijer C A M, Van Geel B, Mook W G. Variations in the D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios in cellulose extracted from a peat bog core[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1982, 61: 283 - 290.

- [8] Jeff Blackford. Palaeoclimatic records from peat bogs[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2000, 15(5) : 193 - 197.
- [9] Hong Y T, Jiang H B, Liu T S, Zhou L P, Beer J, Li H D, Leng X T, Hong B, Qin X G. Response of climate to solar forcing recorded in a 6000-year ¹⁸O time series of Chinese peat cellulose[J]. The Holocene, 2000, 10(1) : 1 - 7.
- [10] Hong Y T, Wang Z G, Jiang H B, Lin Q H, Hong B, Zhu Y X, Wang Y, Xu L S, Leng X T, Li H D. A 6000-year record of changes in drought and precipitation in northeast China based on time series from peat cellulose[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 2001, 111 - 119.
- [11] Hiroshi Kume, Yasuyuki Shibata, Atsushi Tanaka, Minoru Yoneda, Yuchiro Kumamoto, Takashi Uehiro, Masatoshi Morita. The AMS facility at the National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 1997, B 123 : 31 - 33.
- [12] Stuiver M, Reimer PJ, Bard E, Beck J W, Burr GS, Hughen KA, Kromer B, McCormac F G, Plicht J V D, Spurk M. Radiocarbon calibration program rev 4.3[J]. Radiocarbon, 1998, 40: 1041 - 1083.
- [13] Schleser G H. Parameters determining carbon isotope ratios in plants [A]. Frenzel B, Stauffer B, Weiss M M, eds. Pflanzklimaforschung 15[Z], Strasbourg, 1995. 71 - 96.
- [14] Osmond C B, Winter K, Ziegler H. Functional significance of different pathways of CO₂ fixation in photosynthesis[A]. Lange O L, Nobel P S, Osmond C B, Ziegler H, eds. Physiological Plant Ecology [M]. Berlin : Springer, 1982. 481 - 499.
- [15] Sternberg L O, DeNiro MJ, Johnson H B. Isotope ratios of cellulose from plants having different photosynthetic pathways[J]. Plant Physiol., 1984, 74: 557 - 561.
- [16] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of ¹³C/¹²C variations in tree rings[J]. Nature, 1982, 297 : 28 - 31.
- [17] Edwards T W D, Graf W, Trumborn P, Stichler W, Lipp J, Payer H D. ¹³C response surface resolves humidity and temperature signals in trees[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64: 161 - 167.
- [18] 孙鸿烈. 青藏高原的形成演化[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1996.
- Sun H L. Formation and Evolution of Qinghai-Xizang Plateau [M]. Shanghai : Shanghai Sci. & Tech. Press, 1996. 101 - 146. (in Chinese)
- [19] 赵泉红, 汪品先. 南海第四纪古海洋学研究进展[J]. 第四纪研究, 1999, 6: 481 - 501.
- Zhao Q H, Wang P X. Progress in quaternary paleoceanography of the south China sea: A review[J]. Quaternary Sciences 1999, 6: 481 - 501. (in Chinese with English abstract)
- [20] Zicheng Yu. Ecosystem response to Lateglacial and early Holocene climate oscillations in the Great Lakes region of North America[J]. Quaternary Science Reviews, 2000, 19: 1723 - 1747.
- [21] Lister G S, Kelts K, Chen K Z, Yu J Q, Nessen F. Lake Qinghai; China: closed-basin lake levels and oxygen isotope record for ostracode since the latest Pleistocene[J]. Paleogeog. Paleocli. Paleoecol., 1991, 84: 141 - 162.
- [22] Gasse F, Arnold M, Fontes J C, Fort M, Gbert E, Huc A, Li B Y, Li Y F, Liu Q, Méhéris F, Van Campo E, Wang F B, Zhang Q S. A 13000-year climate record from western Tibet[J]. Nature, 1991, 353: 742 - 745.
- [23] Bond G, Kromer B, Beer J, Muscheler R, Evans M N, Showers W, Hoffmann S, Lottli-Bond R, Hajdas I, Bonani G. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene[J]. Science, 2001, 294: 2130 - 2136.
- [24] 徐海, 洪业汤, 林庆华, 洪冰, 姜洪波, 朱咏煊. 红原泥炭纤维素氧同位素指示的距今 6 ka 温度变化[J]. 科学通报, 2002, 47(15) : 1181 - 1186.
- Xu H, Hong Y T, Lin Q H, Hong B, Jiang H B, Zhu Y X. Temperature variation in the past 6000 years inferred from ¹⁸O of peat cellulose from Hongyuan, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(15) : 1181 - 1186. (in Chinese)
- [25] 靳桂云, 刘东生. 华北中部全新世降温事件与古文化变迁[J]. 科学通报, 2001, 46(20) : 1725 - 1730.
- Jin G Y, Liu T S. Climate events and ancient civilizations in mid-Holocene in north China[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(20) : 1725 - 1730. (in Chinese)
- [26] Weiss H, Courty M A, Wetterstrom W, Guichard F, Senior L, Meadow R, Curnow A. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization[J]. Science, 1993, 261: 995 - 1004.

Carbon Isotopic Composition of the *Carex Muliensis* Remain of the Hongyuan Peat Bog in the Eastern Tibetan Plateau and the Indian Ocean Summer Monsoon Variation in the Holocene

HONG Bing¹, LIN Qing-hua¹, ZHU Yong-xuan¹, LENG Xue-tian², WANG Yu¹, HONG Ye-tang¹

1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guizhou, Guiyang 550002, China; 2. Institute of Peatmire, Northeast Normal University, Jilin, Changchun 130024, China

Abstract: The ¹³C time series of the mono-species plant, the *Carex muliensis* cellulose, selected from the Hongyuan peat bog has been considered as a sensitive proxy indicator for the strength of the Indian Ocean summer monsoon. It not only clearly shows the variation history of the monsoon on the several millennial time scales during the last 12 000 years, but also records 9 abrupt variation events of the monsoon that are strongly corresponding to the 9 ice-rafted debris events occurred in the North Atlantic Ocean during the same period. The ¹³C time series of the total or mixed plant cellulose in the Hongyuan peat bog also clearly shows the same variation history of the monsoon in the last 12 000 years. It also records several abrupt climate change events, all of which occurred in the widespread area in the world, through it does not show clearly response to a few climate change events. The ¹³C time series of the mixed plant cellulose can be considered as a practical proxy climate indicator.

Key words: Indian Ocean summer monsoon; peat; the Tibetan Plateau; Holocene; younger dryas events