

# 中国典型泥炭区现代植物的碳、氧同位素组成 及在古环境研究中的意义

林庆华<sup>1</sup>, 洪业汤<sup>1</sup>, 朱咏煊<sup>1</sup>, 董丽敏<sup>1</sup>, 王羽<sup>1</sup>, 冷雪天<sup>2</sup>, 李汉鼎<sup>2</sup>

(1. 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 贵州 贵阳 550002 ;

2. 东北师范大学 城市与环境学院泥炭研究所, 吉林 长春 130026)

**摘 要** 本文测定了中国 3 个典型泥炭沼泽四川红原、吉林金川和哈尼的现代沼泽植物中的碳、氧同位素组成。吉林金川和哈尼的沼泽在相似的气候和环境条件下发育演化, 而四川红原的泥炭发育在截然不同的气候条件下。结果表明, 每个泥炭沼泽现代植物中的碳、氧同位素均有较大的离散度, 表现为不同营养状况下的成沼植物之间的同位素差异。从  $\delta^{13}\text{C}$  值来看, 三个沼泽中的植物均属 C3 植物; 红原与金川、哈尼有着明显不同的现代植物稳定氧同位素组成, 前者更富集  $^{18}\text{O}$ 。同一泥炭植物碳、氧同位素的不均一性要求在利用泥炭沉积物恢复过去气候变化方面一定要谨慎。非常有意义的是贫营养泥炭(高位泥炭)的成沼植物有着非常接近的同位素组成, 揭示贫营养型泥炭可能是更为理想的过去全球变化信息档案。

**关 键 词** 泥炭; 现代植物; 碳、氧同位素

中图分类号: Q946.91<sup>+</sup>4 P618.117(234, 274) 文献标识码: A 文章编号: 1007-280X(2001)02-0093-06

泥炭作为一种重要的地质档案, 与冰岩芯、树木年轮、海洋湖泊沉积物等一样记录了过去全球变化的重要信息。由于泥炭分布的广泛性和长时间尺度的沉积历史, 以及泥炭中纤维素在沉积历史中保存的稳定性<sup>[1]</sup>, 利用泥炭纤维素碳、氢、氧同位素重建高分辨率的过去环境变化是当前全球变化研究中的热点。Schiegl 等<sup>[2]</sup>、Breminkmeijer 等<sup>[3]</sup>、Oupont 等<sup>[4]</sup>、Sukumar 等<sup>[5]</sup>、White 等<sup>[6]</sup>、洪业汤等<sup>[7-10]</sup>在这方面均作了经典性的工作。由于泥炭沉积物是各种沼泽植物死亡后的混合堆积, 在不同的沉积历史时期, 随着气候和环境的变化, 泥炭沼泽中有着不同的植物组合。成沼植物有草本植物、木本植物、苔藓植物以及藻类植物等。在泥炭的不同发育阶段, 成沼植物群落更替演化。中国的沼泽植物群落主要包括苔草植物群落、芦苇植物群落、蒿草-苔草植物群落、泥炭藓植物群落等。不同沼泽植物的生理结构和光合作用机理, 必然反映在其同位素组成上。因此, 现代沼泽植物的同位素特征研究对于泥炭沉积记录与全球变化的研究具有指导性的意义。

## 1 采样和碳、氧同位素分析

选择国内 3 个典型泥炭地: 四川红原、吉林金川和哈尼。红原泥炭地处于中国最大的高原泥炭沼泽区——若尔盖泥炭积聚区内, 位于青藏高原东北边缘, 海拔高度 3 500 m, 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。采样在红原泥炭 I 号矿进行。该处泥炭属富营养型草本泥炭, 泥炭优势植物是藏蒿草和木里苔草, 无藓类植物。共采集 12 种现代植物进行同位素分析。吉林金川和哈尼泥炭地均处于长白山地西南部, 两处相距仅 18 km。属温带湿润性季风气候区, 年平均降雨量为 1 054 mm, 年平均气温为 2.5℃。两处泥炭地均属中营养型泥炭沼泽, 优势植物除苔草外, 还有较多的藓类植物。金川和哈尼分别采集 11 种和 18 种沼泽植物。

样品用蒸馏水洗净后, 用 FZ102 型微型植物粉碎机粉碎至最细(粒径小于 1 mm)。用标准程序<sup>[11, 12]</sup>提取  $\alpha$  纤维素。草本和藓类植物以全样品粉

收稿日期: 2001-02-13 收到; 03-15 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49733130)

第一作者简介: 林庆华(1966—), 男, 助理研究员, 从事环境地球化学研究。

碎沼泽灌木选择枝干进行粉碎提取。

纤维素  $\delta^{13}\text{C}$  的测定采用玻璃管密闭燃烧法<sup>[31]</sup>, 玻璃管为硬质玻璃, 以铂丝为催化剂, 2g CuO 丝与 6 mg 纤维素在 550°C 下灼烧 1 h, 所得  $\text{CO}_2$  气体在真空系统上纯化后用 MAT-252 同位素比值质谱计测定  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比值。  $\delta^{13}\text{C}$  以 PDB 为标准。对加拿大 Waterloo 大学同位素实验室标准纤维素的  $\delta^{13}\text{C}$  进行 10 次测定, 标准差小于 0.1‰。随机对几个纤维素样品进行  $\delta^{13}\text{C}$  重复测定,  $\delta^{13}\text{C}$  测定的标准偏差也小于 0.1‰。

$\delta^{18}\text{O}$  的测定采用镍管高温裂解法<sup>[41]</sup>, 密封的镍管(8 mg 样品)在 950°C 高温下灼烧 20 min, 纤维素裂解为 C、CO、 $\text{CO}_2$ , CO 进一步和镍管壁反应生成羰基镍。在真空纯化系统下脱去羰基(350°C), 纯化  $\text{CO}_2$  后用质谱测定  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  以 V-SMOW 为标准。根据纤维素样品量, 每种植物进行 2~4 次测量。

以上分析测定工作均在环境地球化学国家重点实验室进行。

## 2 结果与讨论

三个泥炭地的碳、氧同位素测定结果见表 1。

三地的植物群落截然不同。红原的泥炭植物为藏嵩草-木里苔草群落; 泥炭为富营养型, 无喜好贫营养环境的苔藓类。由于泥炭地已经疏干, 不适合芦苇生长, 因此该区也没有在东北广泛出现的芦苇群落。藏嵩草、木里苔草约占泥炭沉积的 65%。金川和哈尼的泥炭植物以(瓣囊)苔草-芦苇-泥炭藓群落为主, 从植物构成上比红原复杂。

红原泥炭植物的  $\delta^{13}\text{C}$  为  $-27.92\text{‰} \sim -23.67\text{‰}$ , 以花萼驴蹄草最富集  $^{13}\text{C}$ , 藏嵩草最富集  $^{12}\text{C}$ 。金川和哈尼的  $\delta^{13}\text{C}$  分别为  $-28.58\text{‰} \sim -21.58\text{‰}$  和  $-27.55\text{‰} \sim -23.42\text{‰}$ 。金川  $\delta^{13}\text{C}$  最大的是芦苇, 最小的是稀孔泥炭藓; 在哈尼, 水木贼的碳同位素最重, 大湿原藓最轻。由上可知, 它们均属 C3 植物<sup>[5]</sup>。在 3 个泥炭地现代植物的  $\delta^{13}\text{C}$  均表现为一定程度的离散, 比较明显的特征是藓类植物的  $\delta^{13}\text{C}$  偏负, 这与泥炭藓高度的吸水和保水性有关。泥炭藓类的保水性可达自身重量的 19~31 倍, 以适应高湿环境<sup>[6]</sup>。

从表 1 可以看到, 红原现代沼泽植物的氧同位素与其它两个泥炭地相比, 普遍偏重。除了花萼驴蹄草(*Caltha scaposa*)外,  $\delta^{18}\text{O}$  集中在  $24.25\text{‰} \sim 26.8\text{‰}$ 。在金川和哈尼, 由于植物群落更为复杂, 不同的植物  $\delta^{18}\text{O}$  值有更大的离散空间, 分别从  $19.77\text{‰} \sim 25.32\text{‰}$  和  $19.4\text{‰} \sim 26.49\text{‰}$ 。值得注意的是, 在金川和哈尼, 尽管总体上植物同位素分布有较大的离散, 但贫营养型泥炭植物有非常集中的氧同位素组成。泥炭藓类植物和狭叶杜香(*Ledum angustum*)、笃斯越桔(*Vaccinium*)、落叶松(*Larix*)是泥炭贫营养发育的典型植物, 芦苇、苔草类是富营养或中营养状况下沼泽的典型成沼植物。金川贫营养泥炭植物的  $\delta^{18}\text{O}$   $19.77\text{‰} \sim 20.99\text{‰}$ , 哈尼则为  $19.73\text{‰} \sim 21.37\text{‰}$ , 氧同位素值非常集中, 比其他植物约轻  $1\text{‰} \sim 5\text{‰}$ 。从金川和哈尼的现代植物种类来看, 哈尼有更多的贫营养型植物, 显示金川泥炭地主要处于中营养泥炭发展阶段, 而哈尼泥炭地开始具有贫

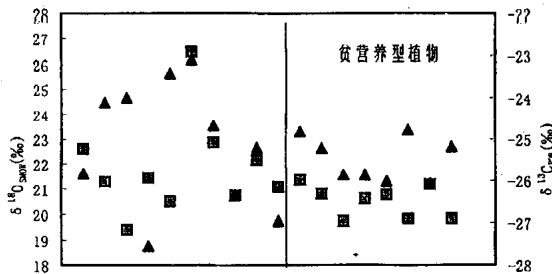


图 1 哈尼泥炭地现代植物碳和氧同位素分布

Fig. 1 Carbon and oxygen isotopic values of modern plants from Hani peat bog

块符号表示氧同位素值, 三角形符号表示碳同位素值; 中、富营养型植物包括 HNP1, HNP2, HNP4, HNP10, HNP12, HNP14, HNP15, HNP16, HNP17, HNP18; 其余为贫营养植物

表 1 泥炭沼泽现代植物碳、氧同位素组成

Table 1 Carbon and oxygen isotopic values of modern plants from peat bog

编号	名称	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}$ 标准差 <sup>①</sup>	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}$ 标准差
HY-P1	花葶驴蹄草( <i>Caltha scaposa</i> )	-23.7		22.4	0.01
HY-P2	木里苔草( <i>Carex muliensis</i> )	-27.1	0.04	25.6	0.1
HY-P3	发草( <i>Deschampsia caespitosa</i> )	-25.4		25.6	0.18
HY-P4	矮泽芹( <i>Chamaesium paradoxum</i> )	-24.7		26.8	0.09
HY-P5	乌拉苔草( <i>Carex meyeriana</i> )	-25.7		25.8	0.07
HY-P6	葱状灯心草( <i>Juncus concinnus</i> )	-26.1		24.5	0.3
HY-P7	藏嵩草( <i>Kobresia tibetica</i> )	-27.9		24.4	0.14
HY-P8	细叶毛茛( <i>Ranunculus reptans</i> )	-25.3		26.6	0.12
HY-P9	华扁穗草( <i>Blysmus sinocompressus</i> )	-26.6		24.3	0.18
HY-P10	翻白萎陵菜( <i>Potentilla ensenina</i> )	-26.1		25.9	0.28
HY-P11	小唐松草( <i>Thalictrum alpinum</i> )	-25.6		26.1	0.22
HY-P12	条叶垂头菊( <i>Cremanthodium Lineare</i> )	-25.5		26.8	0.12
JC-P1	红皮云杉( <i>Picea koyamai</i> )	-24.9		20.7	0.01
JC-P2	毛果苔草( <i>Carex lasiocarpa</i> )	-25.5		24.6	0.07
JC-P3	东北马先蒿( <i>Pedicularis manshurica</i> )	-24.3		21.9	0.13
JC-P4	瓣囊苔草( <i>Carex schmidtii</i> )	-23.4		24.6	0.09
JC-P5	稀孔泥炭藓( <i>Sphagnum oligoporum</i> )	-28.6		19.8	0.17
JC-P6	柴桦( <i>Betula fruticosa</i> )	-25.6		21.0	0.08
JC-P7	芦苇( <i>Phragmites communis</i> )	-21.6	0.10	25.3	0.25
JC-P8	尖叶泥炭藓( <i>Sphagnum acutifolium</i> )	-26.2		20.9	0.04
JC-P9	宽叶香蒲( <i>Typha latifolia</i> )	-23.8		21.4	0.23
JC-P10	弯叶扁灰藓( <i>Breidleria arcuata</i> )	-26.7		21.3	0.17
JC-P11	赤茎藓( <i>Pleuzium schreberi</i> )	-26.3		20.1	0.28
HN-P1	东北沼萎陵菜( <i>Comarum palustre</i> )	-25.8		22.6	0.07
HN-P2	宽叶香蒲( <i>Typha latifolia</i> )	-24.1		21.3	0.06
HN-P3	黄花落叶松( <i>Larix olgensis</i> )	-24.8		21.4	0.22
HN-P4	油桦( <i>Betula ovalifolia</i> )	-24.0		19.4	0.24
HN-P5	尖叶泥炭藓( <i>Sphagnum acutifolium</i> )	-25.2		20.8	0.2
HN-P6	甸杜( <i>Chamaedape calyculata</i> )	-25.9		19.7	0.2
HN-P7	宽叶杜香( <i>Ledum palustre var. dilatatum</i> )	-25.9		20.6	0.12
HN-P8	细叶杜香( <i>Ledum palustre var. angustum</i> )	-26.0		20.8	0.32
HN-P9	沼泥炭藓( <i>Sphagnum palustre</i> )	-24.8		19.8	0.2
HN-P10	大湿原藓( <i>Calliergonella cuspidate</i> )	-27.6		21.4	0.16
HN-P11	中位泥炭藓( <i>Sphagnum mogellanicum</i> )	-26.1	0.07	21.2	0.06
HN-P12	水木贼( <i>Equisetum heleocharis</i> )	-23.4		20.5	0.03
HN-P13	笃斯越桔( <i>Vaccinium uliginosum</i> )	-25.2		19.8	0.15
HN-P14	瓣囊苔草( <i>Carex schmidtii</i> )	-23.1		26.5	0.18
HN-P15	棉花莎草( <i>Eriophorum vaginatum</i> )	-24.7		22.9	0.24
HN-P16	细花苔草( <i>Carex tenuiflora</i> )	-26.3		20.7	0.09
HN-P17	芦苇( <i>Phragmites communis</i> )	-25.2	0.09	22.2	0.11
HN-P18	大金发藓( <i>Polytrichum commune</i> )	-26.9		21.1	0.14

注 除了几个样品,植物 $\delta^{13}\text{C}$ 分析测定一次。Waterloo大学标准纤维素的 $\delta^{13}\text{C}$ 测定的标准差 $<0.1\text{‰}$ ;HY-P为红泥炭样品;JC-P和HN-P分别为金川与哈尼的样品

营养泥炭的发育特征。图 1 是哈尼现代植物碳、氧同位素分布图。图中显示了哈尼大量贫营养型植物较为集中的碳氧同位素组成。Brenninkmeijer 等<sup>[3]</sup>研究了具有维管束(例如苔草)和非维管束(泥炭藓类)植物的碳、氢同位素,发现前者更为富集重氧同位素。这是因为两类植物有不同的吸水机理。维管束植物的水输送是通过植物根茎,由于根部和叶部水的垂直混合速度比水向上的输送速度慢,所以植物叶部富集重氧和氢同位素。与此相反,非维管束植物水的输送是通过毛细管作用,水的垂直混合速度大于维管束植物,因此,植物顶部和水细胞中的重碳、氢同位素富集程度小于维管束植物。这可以很好的解释金川和哈尼两类泥炭植物的同位素差异。

以上的讨论引发了一个至关重要的问题:用泥炭的连续沉积作为过去全球变化的地质档案合适吗?或者说,如何从泥炭沉积物中提取有价值的过去气候信息?中国广泛分布的泥炭沼泽大多是低位的(富营养)或过渡型(中度营养)的泥炭地,例如若尔盖地区和长白山地区的泥炭地,由于泥炭沉积厚,保存完整,曾作过许多研究。泥炭作为一种不同时期不同植物群落植物残体的混合堆积,各种植物的同位素都记录了沉积历史上生长环境和气候的变化,但不同植物不同信号的叠加,给环境和气候信息的准确提取带来困难。两类不同类型的成沼植物(泥炭藓和苔草)同位素的差异,使连续泥炭剖面的同位素时间序列可能产生较大的“噪声”,而且在不同阶段,由于植物残体组合不同,“噪声”的强度也不一样。因此,精细的工作要求从泥炭沉积物中挑选单种植物或单类植物进行同位素研究。虽然这项工作是不可能的,但工作量非常大,原因在于泥炭植物残体在埋藏历史中都有不同程度的分解。我国的泥炭藓泥炭分解度是 10%~15%,草本泥炭和木本泥炭分别高达 20%~45%和 30%~50%,因此在高分解的部分层位,这项工作几乎难以进行。当然,对于某种或某类成沼植物占绝对优势的泥炭沉积区,也可以通过现代沼泽植物的同位素研究,再经连续沉积物同位素序列的校正或某种近似处理,还是可以

用作古环境和古气候<sup>[7]</sup>研究的。

泥炭同位素研究工作的另一个必须考虑的问题,是泥炭沼泽植物在生长过程中的水补给方式。我国绝大多数泥炭由于处于富营养和过渡阶段,沼泽植物的水补给除了降雨,还可能有地表水和地下水补给,这取决于泥炭沉积环境和植物根的伸展深度。通过泥炭同位素恢复古气候和环境的工作建立在成沼植物完全靠雨水补给生长的基础上,否则不能建立氧同位素与过去气温变化的联立方程。因此在除降雨外还有其他形式水补给的泥炭区,并不是理想的工作区。Brenninkmeijer 等<sup>[3]</sup>的研究中,并没有发现研究区现代植物的  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta\text{D}$  间的线性关系,他们将其归因于不同植物之间不同的同位素分馏机理。我们认为,这也许可归因于工作区泥炭植物水补给的多种方式。我们下一步的工作将研究泥炭区现代植物  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta\text{D}$  的关系。

通过上述研究,我们发现高位泥炭(贫营养型泥炭)是同位素和古气候研究的理想对象。一般的泥炭发育经历三大阶段:低位泥炭沼泽阶段(富营养阶段)—过渡阶段(中营养阶段)—高位泥炭沼泽阶段(贫营养阶段)。在低位和中位泥炭发育阶段,影响其生境的条件和因素错综复杂。高位泥炭是泥炭发育的最高阶段。这个阶段泥炭有如下特点:1)水源靠大气降水补给;2)矿物质养分主要来源于大气中的灰尘和鸟兽的粪便,无机盐很少;3)沼泽中贫营养植物生长发育,其中泥炭藓占绝对优势,并形成藓丘;4)沼泽体呈微突起缓丘状,中心部位往往高于周围地面。贫营养泥炭的主要植物残体组成为泥炭藓(*Sphagnum*),其次为落叶松(*Larix*)、狭叶杜香(*Ledum angustum*)、笃斯越桔(*Vaccinium*)和刺子莞(*Rhynchospora chinensis*)及少量的米典苔草(*Carex middendor*)。泥炭藓泥炭是高位沼泽的典型产物,它所反映的生境与当时的古温度和古降水密切相关。从表 1、图 1 和上述分析看到,金川和哈尼的贫营养泥炭的代表植物。同位素呈现非常一致的特征;泥炭到了高位发展阶段,水源完全靠大气降水补给,因此是过去全球变化研究非常好的信息载体。

## 参考文献:

- [1] Yapp C J, Epstein S. Climatic implications of D/H ratios of meteoric water over north America (9500—22,000 B. P.) as inferred from ancient wood cellulose C-H hydrogen [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1977, 34: 333—350.
- [2] Schiegl W E. Deuterium content of peat as a paleoclimatic recorder [J]. *Science*, 1972, 175: 512.
- [3] Brenninkmeijer C A M, Geel B van, 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 and Planetary Science Letters*, 1982, 61: 283—290.
- [4] Oupont L M, Mook W G. Paleoclimate analysis of  $^2\text{H}/^1\text{H}$  ratios in peat sequences with variable plant composition [J]. *Chemical Geology (Iso. Geoscience Section)*, 1987, 66: 323—333.
- [5] Sukumar R, Ramesh R, Pant R K, *et al.* A  $\delta^{13}\text{C}$  record of late Quaternary climate change from tropical peats in southern India [J]. *Nature*, 1993, 364: 703—705.
- [6] White J W C, Clais P, Figge R A, *et al.* A high resolution record of atmospheric  $\text{CO}_2$  content from carbon isotopes in peat [J]. *Nature*, 1994, 367: 153—156.
- [7] 洪业汤, 姜洪波, 朱咏焯, 等. 近 5 ka 温度的金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  记录 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1997, 27: 525—530.
- [8] 洪业汤, 姜洪波, 洪冰, 等. 近 5 000 年的气候波动与太阳变化 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1998, 28: 491—497.
- [9] 洪业汤, 刘东生, 姜洪波, 等. 太阳辐射驱动气候变化的泥炭氧同位素证据 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1999, 29: 527—531.
- [10] Hong Y T, Jiang H B, Liu T S, *et al.* Response of climate to solar forcing recorded in a 6 000 year  $\delta^{18}\text{O}$  time series of Chinese peat cellulose [J]. *The Holocene*, 2000, 10: 1—7.
- [11] 陶发祥, 刘广生. 地质档案中纤维素的提取 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1995, 4: 245—246.
- [12] DeNiro M J, Epstein S. Isotopic composition of cellulose from aquatic organisms [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1981, 45: 1885—1894.
- [13] Boutton T W, Wong W W, Hachey D L, *et al.* Comparison of quartz and Pyrex tubes for combustion of organic samples for stable carbon isotope analysis [J]. *Anal. Chem.*, 1983, 55: 1832—1833.
- [14] Edwards T W D, Buhay W M, Elgood R T, *et al.* An improved nickel tube pyrolysis method for oxygen isotope analysis of organic matter and water [J]. *Chemical Geology*, 1994, 114: 179—183.
- [15] Smith B N, Epstein S. Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants [J]. *Plant Physiol.*, 1971, 47: 380—384.
- [16] 柴岫. *泥炭地学* [M]. 北京: 地质出版社, 1990.

## The Carbon and Oxygen Isotope Composition of Modern Plants from Typical Peat Bogs in China and Its Significance on the Palaeoclimatic Study

LIN Qing-hua<sup>1</sup>, HONG Ye-tang<sup>1</sup>, ZHU Yong-xuan<sup>1</sup>, DONG Li-min<sup>1</sup>,  
WANG Yu<sup>1</sup>, LENG Xue-tian<sup>2</sup>, LI Han-ding<sup>2</sup>

(1. State Key Lab of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guizhou, Guizhou 550002, China;  
2. Institute of Peat, Urban and Environmental Department, Northeast Normal University, Jilin, Changchun 130026, China)

**Abstract:** The Carbon and oxygen isotope compositions of the modern plants from Hongyuan, Jinchuan and Hani were analyzed. The Jinchuan and Hani peat bogs were developed in similar climate and environment, and the Hongyuan peat bog was formed in a different condition. The Carbon and oxygen isotopic values show big difference among various plants in each peat bog and all plants are of C3 plants. The plants from Hongyuan are enriched in  $^{18}\text{O}$  against those from Jinchuan and Hani, indicating the isotopic difference in various developing environments. The disparity of isotopic composition requires much caution in palaeoclimatic reconstruction with peat. It is very interesting that various oligotrophic plants have identical isotopic values, revealing that the oligotrophic peat may be as an ideal archive for resolving paleoclimatic signals.

**Key words:** peat; modern plants; Carbon and oxygen isotope