

论泥炭纤维素碳同位素组成作为东亚季风强度变化代用指标的可行性:吉林3个临近发育的泥炭地泥炭剖面的横向比对

郭敏^{1,2}, 陶发祥^{1,*}

(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, 贵阳 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 降雨量通常与东亚季风强度成正比, 而植物纤维素碳同位素组成又与降雨量成反比, 因此泥炭纤维素碳同位素比值通常作为东亚季风强度变化的代用指标。由于季风影响的广泛性和区域性, 临近发育的泥炭地植物纤维素碳同位素序列应该高度相关。为了验证这种假设, 我们系统比较了吉林3处泥炭地3个泥炭剖面苔草纤维素2000年来的碳同位素序列。¹⁴C时标控制的3个序列不呈现有意义的相关关系。不同时段, 如过去500年、1000年、1500年和2000年来序列的长期趋势也不相关, 序列中包含的周期完全不同。这些事实说明3处剖面苔草纤维素碳同位素比值记录的是当地性的而不是区域性的气候或环境信号, 将泥炭纤维素碳同位素比值作为东亚季风强度变化的代用指标的合理性值得怀疑。

关键词: 泥炭; 纤维素; 碳同位素; 东亚季风; 中国东北

中图分类号: X142; P534.63 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2013)05-0469-06

东北地区广泛分布树轮、泥炭、湖泊沉积等自然档案, 这些自然档案所含无机或有机质的碳、氢、氧同位素组成含有当地的、区域的或全球的环境变化信息^[1-3]。泥炭是一种重要的能高分辨记录过去气候和环境变化的地质档案, 这是科学界已经达成的共识^[4-6]。因为泥炭地植物感知周围环境条件变化的器官是叶片和根, 所以泥炭地植物只能记录当地气候和环境条件的变化。这就是说, 生长在东北吉林的植物不可能感知几千千米以外的中国南海的气候变化。既然这样, 那么人们自然而然要问: 这种当地性的信号记录能否上升到区域尺度或全球尺度上与别的类似记录进行比对?

要回答这个问题, 其实只要弄清楚三点。其一, 成炭植物的物理、化学或生物指标具体响应何种气候指标的变化, 这需要现代观测完成; 其二, 泥炭地现代气候和环境条件的变化是否与区域性的气候和环境条件的变化高度关联, 并且这种高度关联具有

机制上的合理解释; 其三, 彼此邻近发育的几个泥炭地的气候和环境记录能否彼此吻合、高度相似? 只有同时满足这三个条件, 我们才能说泥炭地记录的气候、环境事件是区域性的或全球性的。第一个条件保证了泥炭地泥炭气候记录的科学性, 第二个条件保证了将当地泥炭气候记录上升为区域性气候记录的合理性, 第三个条件保证了临近发育的泥炭地的植物能够记录相似的气候信号。

我国的泥炭分布广泛、沉积厚度大, 主要的泥炭分布区又位于受东亚季风影响的东北区和受南亚季风影响的西南区^[7], 因而可能记录了季风强度的变化, 这对季风系统短尺度动力学模式的了解具有重要意义。

植物纤维素碳同位素组成通常与降雨量呈反相关^[8], 而降雨量通常与季风强度呈正相关^[9], 所以, 泥炭纤维素碳同位素比值常常被用来作为季风强度变化的代用指标, 偏负的碳同位素比值对应较强的

收稿日期: 2012-09-03; 改回日期: 2012-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41273147)资助。

第一作者简介: 郭敏(1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事环境同位素地球化学研究。E-mail: guomin06012106@126.com.

* 通讯作者: 陶发祥, 研究员。E-mail: taofaxiang@mails.gyig.ac.cn.

夏季风,反之亦反^[10-13]。也就是说,泥炭纤维素碳同位素比值是一个区域性事件的代用指标。由上可知,既然是区域性事件,那么,彼此临近发育的泥炭纤维素的碳同位素记录应该高度相似,那实际情况到底是不是这样呢?我们以吉林省3个泥炭地(鹿乡、金川、哈尼)的3个泥炭剖面说明它们的碳同位素比值序列并不相关,将该区泥炭纤维素碳同位素比值作为东亚季风强度变化的代用指标的合理性是值得进一步探讨的。国外的一些学者也认为东北地区泥炭纤维素碳同位素组成作为降雨量的代用指标还没有得到证实^[14]。

1 研究方法

1.1 研究区概况

3个泥炭剖面分别位于吉林省长春市双阳区鹿乡镇、辉南县金川镇、柳河县凉水河子镇的3处泥炭地(图1),均受东亚季风的影响^[15]。其地理坐标和年平均气候状况列于表1。

1.2 泥炭样品获取

半圆柱形(长40 cm、直径10 cm)的泥炭芯是用俄罗斯取样钻^[19]获取,每2 cm为一个样品,连续分割。在现场立刻将样品装入塑料袋密封,低温保存,尽快送回东北师范大学地理系冷藏以进一步处理。

1.3 植物残体鉴定分离

在正式进行泥炭植物残体的鉴定分离前,先将样品放在5%的NaOH溶液中煮沸3 min,用蒸馏水洗净,移去腐植酸类物质。再放在4%盐酸溶液中煮沸3 min,用蒸馏水洗净移去易水解的物质和果胶^[20]。然后在显微镜下依次移去木本类残体、泥炭藓残体和其它草本残体,保留苔草残体^[21]。

1.4 纤维素萃取

对于泥炭样品,有机溶剂的抽提是必不可少的,否则会导致纤维素碳同位素组成的人为分馏^[22],因此,苔草残体纤维素萃取依据严格的标准程序:有机溶剂抽提去类脂类物质-氯化去木质素-碱水解去半纤维素^[22,23]。

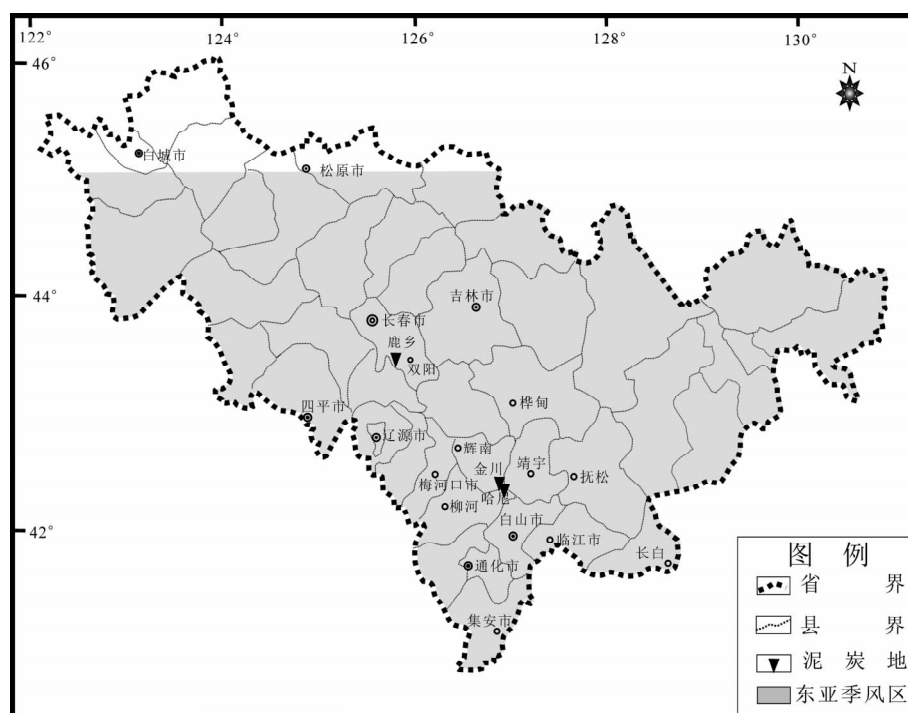


图1 中国东北吉林三个泥炭地的空间位置

Fig 1 Map showing the locations of three peatlands in Jilin, NE China

表1 3个泥炭地地理位置及其气候状况

Table 1 Geographical locations and mean climatic status for the three peatlands

名称	地理位置(经度、纬度、海拔高度)	年均温(°C)	降雨量(mm)	文献
鹿乡	125°32'48"E, 43°36'00"N, 217 m	4.8	619	[16]
金川	126°22'51"E, 42°20'56"N, 615 m	3.3	1053.9	[17]
哈尼	126°31'05"E, 42°12'50"N, 899 m	2.5~3.6	757~930	[18]

1.5 碳同位素比值测定

将约 1 mg 纤维素样品与已经 850°C 高温灼烧的 3 g 丝状氧化铜装入一端熔封的石英管中混合,接入高真空线,当真空达到 1 Pa 后熔封。再将真空熔封的石英管放入马弗炉中 850°C 恒温 5 h,此时氧化铜释放氧气,完全氧化石英管内任何部位的纤维素样品,生成二氧化碳和水^[22,23]。冷却后在高真空线上萃取、纯化生成的二氧化碳气体,在气体同位素比值质谱仪 MAT252 上测定碳同位素比值。比值以传统的“ δ ”定义^[24]相对于维也纳皮迪箭石即 VP-DB(Vienna Pee Dee Belemnite)表示,总精度和准确度为 $\pm 0.1\%$ 。这里只报道表层 2000 年来苔草残体纤维素的碳同位素比值。

1.6 ^{14}C 年龄测定

浮选法去除幼芽、砂砾,洗净后再加入 4% 盐酸,去无机碳。再洗净后加入 2% NaOH 溶液,去腐殖酸。将洗净干燥后的样品燃烧后制备成碳酸盐,镁法合成碳化锶(SrC_2),水解合成乙炔^[25],加硅铝催化剂合成苯^[26,27],用丁基-PBD 闪烁体配液,在 FJ-2101 型闪烁仪上测量 ^{14}C 活度。然后计算、校正 ^{14}C 年龄^[28]。

2 结果

2.1 ^{14}C 年龄

根据不同深度内的 ^{14}C 年龄数据进行内插,获得每个样品所对应的形成年代。3 个剖面 2000 年来深度、 ^{14}C 年龄范围即实测的 ^{14}C 年龄数据列于表 2。

表 2 3 个泥炭剖面 2000 年来的 ^{14}C 年龄和深度范围

Table 2 ^{14}C age and depth ranges over the past 2000 years for three peat profiles

名称	深度范围 (cm)	实测 ^{14}C 年龄 (cm/a BP)	^{14}C 年龄范围 (a BP)
鹿乡	0~148	35/499, 80/1413, 385/4095	14~1990
金川	0~172	35/501, 240/2754	14~1995
哈尼	0~210	30/527, 70/822, 250/2347	18~1991

2.2 碳同位素时间序列

2000 年来不同泥炭地苔草纤维素碳同位素组成变化显著,整体变化格局差异明显(图 2)。

这些时间序列的基本统计特征,如平均值、最大/最小值、标准偏差均不一致(表 3)。

3 讨论

3.1 时间序列的整体相关性

依据内插的 ^{14}C 年龄,对 3 个时间序列的同位素数据进行重新排列,以鹿乡序列为准,将年龄相近的(控制在 ± 10 年以内)点对应起来,超出该范围的点删除,对 3 个序列碳同位素数据进行两两相关分析,没有一个是具有意义的相关(表 4),说明整体上这

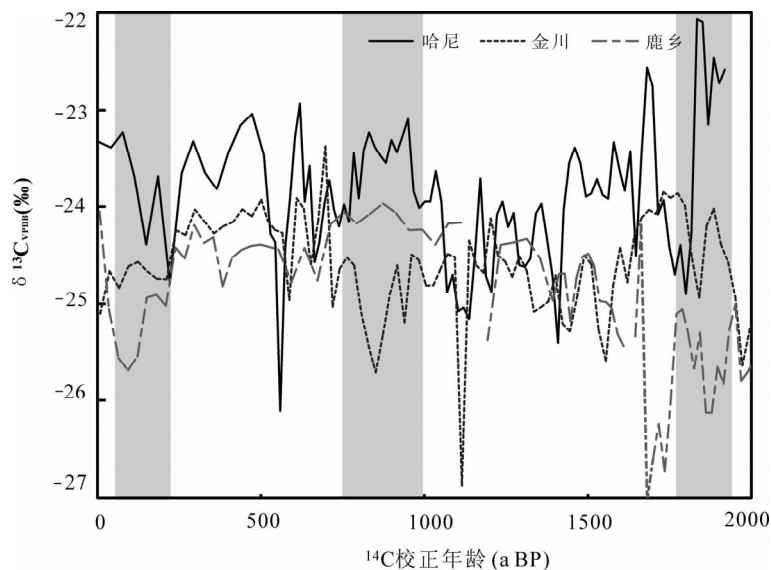


图 2 2000 年来 3 个泥炭剖面的碳同位素组成

Fig. 2 Carbon isotopic ratios of sedge cellulose extracted from three peat profiles for the past 2000 years

表3 3个泥炭剖面碳同位素时间序列的统计学特征

Table 3 Statistical descriptions for carbon isotopic time series of three peat profiles

名称	均值(‰)	范围(‰)	样品数(n)
鹿乡	-24.9 ± 0.7	-27.0 ~ -24.0	72
金川	-24.6 ± 0.5	-26.9 ~ -23.4	86
哈尼	-23.9 ± 0.7	-26.1 ~ -22.1	105

表4 碳同位素序列的相关性

Table 4 Correlations between carbon isotopic time series

序列对	关系式	R ²	样本数(n)
鹿乡-金川	$y = -0.0759x - 26.5$	0.013	67
鹿乡-哈尼	$y = -0.1937x - 28.6$	0.046	68
金川-哈尼	$y = 0.1076x - 21.2$	0.008	69

些序列的变化不同步、不相关。实际上,碳同位素比值的峰值点代表的¹⁴C年龄差值超出¹⁴C测年的误差范围(图2),也说明3个剖面记录的气候信号的差异性。

3.2 时间序列的长期趋势

对过去500年、1000年、1500年和2000年来碳同位素组成的趋势分析表明,在这些时段内,3个剖面均呈不一致的变化(表5)。例如,遥远的鹿乡和金川剖面过去500年来具有相同的上升趋势,但临近金川的哈尼剖面却没有呈现特定的趋势。类似的情况表现在过去1000年来、1500年来和2000年来的时段,表明这些序列的长期趋势也不相同。

3.3 时间序列的周期性波动

如果3个时间序列记录了相似的气候信号,那么,序列所记录的气候变化的周期应该相似。3个剖面的时间分辨率是不一样的、同一剖面不同时间段的分辨率也是不一样的,也就是说所获得的样品是不等时段获得的,对这样的序列进行周期分析,需要

消除不等时段取样法的影响,REDFIT程序适用于从这样的时间序列中提取有意义的周期^[29]。从3个时间序列中提取到的周期情况列于表6。

由于金川剖面最低时间分辨率为14年,时间长度为2000年,那么56年以上、500年以下的周期才能视为有效周期,因此,金川剖面中666.7年的周期不是有效周期。同理,哈尼剖面的最低时间分辨率为18年,时间长度为2000年,72年以上、500年以下的周期才是有效周期。从这一点出发,金川和哈尼剖面的有效周期应视为是完全不同的(表6)。这就是说,这3个剖面记录的周期信号也是不一样的。

4 结论

如果东亚季风的变化反映在降雨量的变化上,降雨量的变化又影响泥炭纤维素碳同位素比值,那么由于季风影响的广泛性,彼此临近发育的泥炭地植物纤维素碳同位素比值必能记录相同的降雨量信号。基于这样的原则,我们首次对吉林省的3处泥炭地,即鹿乡、金川、哈尼泥炭苔草纤维素2000年来的碳同位素序列进行了空间上的比对。这种比对是建立在两种模式上,即¹⁴C时标控制法和非¹⁴C时标控制法,后者包括两个方面,即长期趋势分析和周期分析。

¹⁴C时标控制法表明3个序列按相同¹⁴C年龄排列后完全不相关,表明苔草纤维素碳同位素比值不具有同步变化的特性。由于¹⁴C测年的误差,同时又不可能测定每个样品的¹⁴C年龄,人们有理由认为这种方法的说服力不是最强的。幸运的是,非¹⁴C时标控制法提供了一个独立的证明碳同位素比值变化不具有同步性的补充方法。非¹⁴C时标控制法表明不同时段碳同位素序列的长期趋势、碳同位素序列的周期无论是邻近的金川和哈尼、还是相距较远的鹿乡和哈尼或鹿乡和金川均完全不同,进一步表明碳同位素比值的变化的不是区域性事件。

表5 碳同位素序列的长期趋势

Table 5 Long-term trends of carbon isotopic time series

剖面	500年来	1000年来	1500年来	2000年来
鹿乡	$y = 0.0025x - 25.5$ $R^2 = 0.605, n = 17$	$y = 0.0012x - 25.2$ $R^2 = 0.579, n = 29$	$y = 0.0002x - 24.7$ $R^2 = 0.040, n = 50$	$y = -0.0006x - 24.3$ $R^2 = 0.247, n = 74$
金川	$y = 0.002x - 24.9$ $R^2 = 0.810, n = 18$	$y = -0.0004x - 24.3$ $R^2 = 0.051, n = 41$	$y = 0.0004x - 24.3$ $R^2 = 0.091, n = 64$	$y = -0.0009x - 24.5$ $R^2 = 0.010, n = 89$
哈尼	$y = 0.00006x - 23.8$ $R^2 = 0.040, n = 15$	$y = 0.00003x - 23.8$ $R^2 = 0.000, n = 47$	$y = -0.0005x - 23.6$ $R^2 = 0.091, n = 79$	$y = 0.0001x - 24.0$ $R^2 = 0.010, n = 108$

表6 从3个时间序列提取到的周期情况
Table 6 Cycles extracted from three time series

剖面	周期(年)
鹿乡	无周期
金川	66.7/74.1/64.5
哈尼	104.8/83.3

综合以上分析,我们认为将东北泥炭纤维素碳同位素比值作为东亚季风强度变化的代用指标的合理性需要进一步论证。

致谢:吉林省长春市东北师范大学地理系冷雪天教授和王升忠教授完成泥炭样品的预处理和植物残体的鉴定分离工作!冷雪天教授完成泥炭样品¹⁴C年龄测定!东北师范大学地理系李汉鼎教授、冷雪天教授、王升忠教授、王树生教授共同完成野外采样工作!东北师范大学地理系柴岫教授、郎惠卿教授、吕金福教授和许林书教授对本工作给予很多有益指导!

参 考 文 献

- [1] Aucour A M, Tao F X, Sheppard S M F, *et al.* Climatic and monsoon isotopic signals (δD , $\delta^{13}C$) of northeastern China tree rings. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(D9), ACL 1-1-ACL 1-8.
- [2] 龙良平,陶发祥. 树轮氢同位素气候学:现状与方向[J]. *地球与环境*, 2006, 34(4), 84-92.
- [3] 游海涛,刘强,刘嘉麒,等. 东北四海龙湾玛珥湖年纹层的研究方法及初步成果[J]. *地球与环境*, 2006, 34(2), 71-76.
- [4] Blackford J. Paleoclimatic records from peat bogs[J]. *TREE*, 2000, 15(5): 193-198.
- [5] Chambers F M, Booth R K, De Vleeschouwer F, *et al.* Development and refinement of proxy-climate indicators from peats[J]. *Quaternary International*, 2012, 268 (3 August): 21-33.
- [6] De Jones R, Blaauw M, Chambers F M, *et al.* Climate and peatlands[A]. In *Changing Climates, Earth Systems and Society*[M]. Dodson J. Springer Science+Business Media BV. 2010: 85-121.
- [7] 柴岫. 中国泥炭的形成与分布规律的初步探讨[J]. *地理学报*, 1981, 36(3): 237-252.
- [8] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of $^{13}C/^{12}C$ variations in tree rings[J]. *Nature*, 1982, 297: 28-31.
- [9] 刘长征,王会军,姜大膀. 东亚季风区夏季风强度和降水的配置关系[J]. *大气科学*, 2004, 28(5): 700-712.
- [10] Hong Y T, Wang Z G, Jiang H B, *et al.* A 6000-year record of changes in drought and precipitation in northeastern China based on a $\delta^{13}C$ time series from peat cellulose[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 185(1-2): 111-119.
- [11] Hong Y T, Hong B, Lin Q H, *et al.* Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during the Holocene[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 211(3-4): 371-380.
- [12] Hong Y T, Hong B, Lin Q H, *et al.* Inverse phase oscillations between the East Asian and Indian Ocean summer monsoons during the last 12000 years and paleo-El Niño[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 231(3-4): 337-346.
- [13] Hong B, Hong Y T, Lin Q H, *et al.* Anti-phase oscillation of Asian monsoons during the Younger Dryas period: Evidence from peat cellulose $\delta^{13}C$ of Hani, Northeast China[J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2010, 297(1): 214-222.
- [14] Stebich M, Mingram J, Moschen R, *et al.* Comments on "Anti-phase oscillation of Asian monsoons during the Younger Dryas period: Evidence from peat cellulose $\delta^{13}C$ of Hani, Northeast China" by Hong B, Hong T, Lin Q H, *et al.* [*Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297 (2010) 214-222][J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2011, 310(3-4): 464-470.
- [15] Wang B, Clemens S C, Liu P. Contrasting the Indian and East Asian monsoons: implications on geological timescales [J]. *Marine Geology*, 2003, 201(1): 5-21.
- [17] 吉林省气象局. 吉林省长春地区气候资料基本总结 1951-1980[R]. 内部研究报告, 1981.
- [18] 刘聚涛,王升忠,高俊峰,等. 泥炭沼泽不同植物群落中地表糙度变化及其影响机制[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(6): 819-824.
- [19] 乔石英. 长白山西麓哈尼泥炭沼泽初探[J]. *地理科学*, 1993, 13(3): 279-287.
- [20] Jowsey P C. An improved peat sampler[J]. *New Phytologist*, 1966, 65(2): 245-248.

- [21] Brenninkmeijer C A M, Vangeel 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 and Planetary Science Letters*, 1982, 61(2): 283–290.
- [22] 郎惠卿, 金树仁, 陈淑云. 泥炭的鉴别与利用[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [23] Tao F X, Liu Y, An N. On the necessity of organic solvent extraction for carbon isotopic analysis of α -cellulose: Implications for environmental reconstructions[J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2010, 90(8): 605–619.
- [24] Tao F X, Aucour A M, Sheppard S M F, *et al.* Evaluation of the sealed-tube low-temperature combustion method for $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^2\text{H}/^1\text{H}$ ratio determinations of cellulose nitrate. *Chinese Journal of Chemistry*, 2001, 19(11): 1089–1096.
- [25] Craig H. The geochemistry of stable carbon isotopes[J]. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 1953, 3(2): 53–92.
- [26] Suess H E. Natural radiocarbon measurements by acetylene counting[J]. *Science*, 1954, 120(3105): 5–7.
- [27] Tamers M A. Carbon-14 dating with the liquid scintillation counter: Total synthesis of the benzene solvent[J]. *Science*, 1960, 132(3428): 668–669.
- [28] Ikeda S, Tamaki A. Synthesis of benzene- $^{14}\text{C}_6$ and benzene- $^2\text{H}_6$ using a Ziegler-catalyst[J]. *Radioisotopes*, 1963, 12(4): 368–372.
- [29] Stuiver M, Reimer P J. Extended ^{14}C data base and revised CALIB 3.0 ^{14}C age calibration program[J]. *Radiocarbon*, 1993, 35(1): 215–230.
- [30] Schulz M, Mudelsee M. REDFIT: estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series [J]. *Computers & Geosciences*, 2002, 28(3): 421–426.

On the Reasonability of Using Carbon Isotopic Composition of Peat Cellulose as a Proxy for the East Asian Monsoon Intensity: A Comparison of Three Peat Profiles in Three Peatlands Formed Contiguously in Jilin, NE China

GUO Min^{1,2}, TAO Fa-xiang^{1,*}

- (1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Precipitation is generally positively correlated with the East Asian monsoon intensity while the carbon isotopic composition of plant cellulose is negatively related with rainfall amount. Hence, the carbon isotopic ratios of peat cellulose have been used as a proxy for the East Asian monsoon changes. Due to the universality and regionality of monsoon influence, carbon isotopic series from different peatlands formed contiguously should be highly correlated. To test this hypothesis, we have made a comparison of three time series in carbon isotope ratios of sedge cellulose extracted from three peat profiles obtained in three different sites in Jilin, NE China. These series covered past 2000 years by ^{14}C dating. There is no significant correlation between any two of the three series on the ^{14}C time scale. No common cycles are present in these three series. Moreover, the long-term trends of these time series are quite different for the periods of past 500 years, 1000 years, 1500 years and 2000 years. These facts suggest that the carbon isotopic ratios of peat cellulose could probably record only local, but not regional climatic or environmental signals. Thus, it should be still open to discussion whether or not the carbon isotopic ratios of peat cellulose could be used as a proxy for the East Asian monsoon intensity.

Key words: peat; cellulose; carbon isotope; East Asian Monsoon; NE China