

江汉平原江陵地区 9 ka 以来古气候演化的沉积记录*

王秋良¹, 李长安¹, 谢远云²

(1: 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

(2: 哈尔滨师范大学地理系, 哈尔滨 150080)

摘要:对江汉平原江陵剖面沉积物中的总有机碳(TOC)、总氮(TN)、有机碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值和粒度参数的分布特征与环境气候的关系进行了研究. 结果表明:沉积物中有机碳、总氮较高,有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负,沉积物的平均粒径较粗时,气候温暖湿润;反之,沉积物中有机碳、总氮较低,有机质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏正,沉积物的平均粒径较细时,气候温凉偏干. 结合 ^{14}C 测年,判别江汉平原江陵地区的古气候演化过程: 8900–6070 aBP, 为温湿时期; 6000–4600 aBP 为相对冷干时期; 4600–2500 aBP 为温暖湿润时期; 2500 aBP 以来为温凉偏干时期.

关键词:有机碳; 有机碳同位素; 粒度; 古气候; 江汉平原

Sedimentary records of paleoclimatic evolution in Jiangling, Jianghan Plain in the past 9 ka

WANG Qiuliang¹, LI Changan¹ & XIE Yuanyun²

(1: *Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, P. R. China*)

(2: *Geography Department, Harbin Normal University, Harbin 150080, P. R. China*)

Abstract: We analyzed the characteristics of organic matter TOC, TN and $\delta^{13}\text{C}$ value and sand sediment grain size from samples of Jianghan Plain and discussed its relationship with climatic circumstance. The results show that: the TOC and TN of the organic materials in sediments are higher, but the $\delta^{13}\text{C}$ are lower and grain sizes are coarser during warmer and wetter climatic episodes. On the other hand, during colder and dryer climatic episodes, the TOC and TN contents in sediments are lower. The $\delta^{13}\text{C}$ are lower and grain sizes are finer. With the results we reconstructed the evolution sequence of paleoclimate in Jianghan Plain region since 9000 aBP. It has four stages as follows: 8900–6070 aBP, warm and wet; 6070–4600 aBP, cold and dry; 4600–2500 aBP, warm and wet; 2500–500 aBP, cool and dry.

Keywords: Organic carbon; organic carbon isotope; grain size; paleoclimate; Jianghan Plain

湖泊沉积物因包涵丰富的气候与环境变化信息,通过代用指标的测试、分析与研究,为区域古气候环境重建提供可能. 近年来随着同位素测试技术的提高及古湖沼学的发展,利用湖泊沉积物中有机碳同位素恢复古气候的研究方面已有较多的探讨^[1-4]. 然而由于湖泊沉积物中有机质来源复杂,其碳同位素组成的影响因素较多,单一指标在气候解释上有较大的不确定性,故不同研究者在不同地区获得的结果往往有较大的出入,甚至相反^[1,5]. 因此,开展多环境指标的综合研究显得尤其重要. 本文通过江汉平原江陵剖面沉积物总有机碳、总氮、有机碳同位素和粒度参数的测试、多环境代用指标的分析 and 对比研究,结合 ^{14}C 测年和剖面年序建立,分析了江汉平原江陵地区近 9 ka 以来的古气候变化过程. 也为亚热带平原地区湖泊沉积物的有机碳、有机碳同位素、粒度与古气候环境间关系的研究提供依据.

1 样品采集与实验方法

江汉平原江陵剖面位于湖北省荆州市江陵县境内. 剖面点原为一面积较小的积水洼地,由人工挖泥烧

* 国家自然科学基金(40172061)和国家重大基础研究项目(2003CB41520)联合资助. 2005-06-20 收稿; 2005-09-12 收修改稿. 王秋良,男,1972年生,博士研究生; E-mail: wq10703@sohu.com.

砖而出露的河湖相沉积剖面. 剖面厚 594 cm, 未见底. 岩性由下而上为青灰色泥质粉砂(厚 111 cm)、青灰色粘土(厚 55 cm)、黑色淤泥(泥炭)与黄灰色粘土互层(厚 117 cm)、浅黄或灰褐色粉砂质粘土(厚 311 cm). 对江陵剖面进行 2 cm 间距的连续采样, 分别进行总有机碳(TOC)、总氮(TN)、有机碳同位素($\delta^{13}\text{C}$)及粒度分析. 其中 TOC 和 TN 采用美国 Leeman 公司 CE440 型元素分析仪测定; $\delta^{13}\text{C}$ 采用 MAT-252 型质谱仪测定;粒度分析采用英国 Malvern 公司的 Mastersize2000 激光粒度分析仪测定.

2 分析结果

2.1 沉积年代序列的建立

在剖面的不同深度采获有机碳年龄样品 7 块, 年龄测定如下: 594 cm, 8850 ± 100 aBP; 535 cm, 7345 ± 85 aBP; 461 cm, 5530 ± 80 aBP; 385 cm, 3416 ± 190 aBP; 325 cm, 2660 ± 160 aBP; 217 cm, 2110 ± 190 aBP; 71 cm, 1026 ± 100 aBP. 据此分别计算出各年代点之间的沉积速率, 然后进行线性年代内插和外推, 将剖面各深度转换成相应的时代, 经外推剖面顶部年龄为 500 aBP. 根据年代资料计算出全剖面平均沉积速率为 6.67 cm/100a. 每 2 cm 间隔样品代表的年龄在 20-30a, 故分辨率较高.

2.2 有机碳、有机碳同位素和粒度分布特征

总体上看, TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 值和粒度之间的高低变化有着良好的对应关系(图 1). 其中 TOC 和 TN 的变化呈好的正相关性, 其相关系数达 96.1%. 但 TOC、TN 与 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈较好的反相关关系.

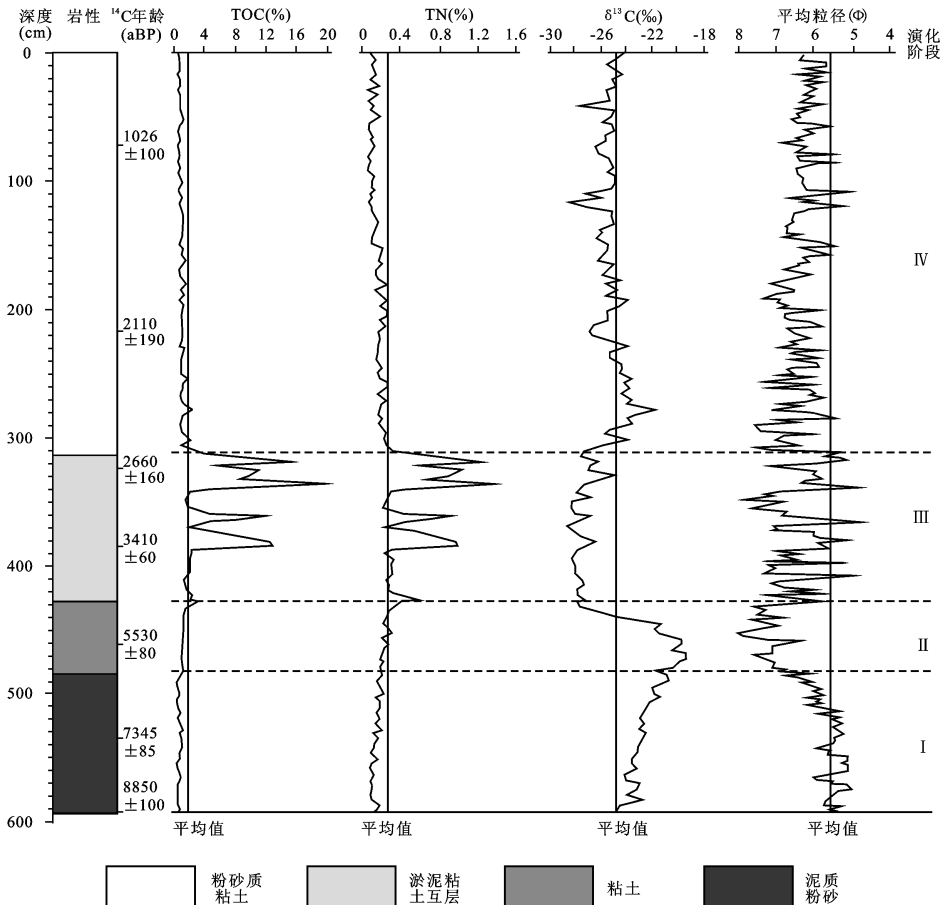


图 1 江陵剖面 TOC、TN 和 $\delta^{13}\text{C}$ 及粒度变化

Fig. 1 Changes of TOC, TN, $\delta^{13}\text{C}$ and grain size from Jiangling section

研究剖面总有机碳含量在 0.33% - 19.9% 之间, 平均值为 1.91%; TN 值介于 0.05% - 1.37% 之间, 平均值为 0.23%。TOC、TN 的高值出现在 311 - 428 cm 间的泥炭层段, 峰值出现在剖面 319 cm、337 cm、361 cm 和 381 cm 处。在该高值段的上、下部, TOC、TN 均表现为低值且变化幅度较小, 其中 428 cm - 594 cm 段自下而上 TOC、TN 趋于增加, 而 0 - 311 cm 段自下而上 TOC、TN 则逐渐减小。

江陵剖面有机碳同位素的变化幅度不大, 最低值为 -28.57‰, 最高值为 -19.29‰, 平均 -25.11‰。从底部到 483 cm 左右, $\delta^{13}\text{C}$ 值比较偏正, 在 -20.63‰至 -24.73‰之间波动。483 - 428 cm 为全剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 值的最高段, 平均 -22.04‰, 其中 473 cm 处达最大值(-19.29‰); 428 - 311 cm 之间, $\delta^{13}\text{C}$ 值偏负, 介于 -24.86‰至 -28.57‰之间, 平均值 -27.45‰, 为剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 的低值段; 311 cm 到剖面顶部, $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -21.64‰至 -28.5‰, 平均 -25.2‰, 接近均值。整个剖面的平均粒径在 4.822 ϕ - 7.988 ϕ 间, 平均值为 6.31 ϕ 。其平均粒径在剖面的中部 311 - 483 cm 间变化幅度较大, 其中 428 - 483 cm 间平均粒径值为剖面最低段。剖面的上部 0 - 311 cm 和下部 483 - 594 cm 间变化幅度较小。

2.3 环境指标的古气候意义探讨

湖泊沉积物中的总有机碳含量取决于湖泊有机生产力高低、外源输入量和保存条件的综合影响效应, 是判别湖泊环境的重要指标, 并得到了广泛的应用。已有研究表明, 当区域有较高的有效湿度时, 温度常成为沉积物有机碳含量的主要影响因素, 故沉积物中 TOC 含量多与温度成正相关关系, 即沉积物中总有机碳高值对应暖期, 低值对应冷期^[6,7]。因研究剖面的岩性偏细且变化不大, 故控制有机碳含量的主要因素应为湖泊有机生产力和陆源有机质的输入量。当气候温暖时, 陆生植物和水生生物较为繁盛, 从而导致了有机碳含量增大; 而在冷期, 陆生植物减少, 湖泊原始生产力降低, 有机碳含量下降。

湖泊有机质的来源包括外源的陆生植物和内源的湖泊生物两个部分。不同的有机质来源影响湖泊沉积物有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 变化其波动范围达 -7‰至 -38‰, 变幅接近 30‰^[8]。从江陵剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化显示, $\delta^{13}\text{C}$ 值与陆地 C3 类植物、湖泊的漂浮植物和挺水植物相近, 表明这些组分对沉积物中有机碳同位素的贡献较大。图 1 显示, $\delta^{13}\text{C}$ 的最大偏负值段在层位上对应 311 - 428 cm 间的泥炭层, 即 $\delta^{13}\text{C}$ 的偏负值对应总有机碳和总氮的高值, $\delta^{13}\text{C}$ 值与 TOC 成反相关关系。究其原因分析: 当气温较高时, 以挺水植物和浮游植物为主的湖泊水生植物大量繁盛。同时, 暖湿气候条件下, 湖泊流域内植物繁茂, 陆源高等植物(多属 C3 植物)繁茂, 降雨增多, 地表径流有可能携带更多的陆源植物残体入湖, 而造成沉积物有机碳同位素偏负。而且, 由于暖期湖水的硬度往往降低, 水体中 HCO_3^- 浓度下降, 水生植物更多利用大气 CO_2 作为光合作用的碳源, 故也会造成 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对偏负。相反, 当气温降低时, 一方面湖泊中的挺水植物和浮游植物等有机生产力降低; 另一方面陆源有机物质的输入量相对减少, 从而使 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏正。同时, 冷期时湖水硬度的增加也导致水体中 HCO_3^- 含量增加, 水生生物更多利用水中的 HCO_3^- 作为固 C 的碳源, 也使沉积物 $\delta^{13}\text{C}$ 值的相对正偏。

沉积物颗粒的粗细受多项因素的控制。其中水动力的强弱、入湖水量大小在一定程度上反映了湖面的扩张和收缩的变化, 是经常被用于指示气候干湿变迁的依据^[9,10]。然而, 对于一个平原湖泊, 水位变化相对较小湖水物理能量或湖泊水位变化对沉积物粒度分异的影响可能退居次要地位。据陈敬安等人研究^[11], 沉积物粒径的变化也可反映湖区降雨量的变化: 粒径大指示降水较多的湿润气候, 粒径小指示降水较少的干旱气候。江汉平原上众多的河间洼地积水后便成为湖泊或沼泽, 这些积水洼地多为面积小、水体浅、湖底平坦、岸线不稳的潜水湖。水源补给主要为降水和洪水, 丰水期可与其它湖泊、洼地连成一片, 枯水期则被周围出露的滩地所环绕, 成为积水洼地。江汉平原河间洼地湖沼的上述特征, 使其有利于地表径流将周边高地冲刷而下的陆源粗颗粒物在这些湖沼洼地内沉积下来。因此控制地表径流发育程度的湖盆流域降水量的变化可能成为控制江陵剖面积水洼地湖沼沉积物粒度变化的主要因素。又对比江陵剖面沉积物的粒度、TOC 和 $\delta^{13}\text{C}$ 三者的变化关系, 判别江陵剖面沉积物粒度与气候的关系是: 粗颗粒对应气候的湿润时期, 而细颗粒则对应气候的干旱时期。

2.4 江汉平原江陵地区近 9000a 以来气候环境变化与区域对比

根据 TOC、TN、 $\delta^{13}\text{C}$ 值和粒度的变化特点以及变化机理解释, 可将江陵地区的气候环境变化过程分为 4 个主要阶段, 其变化过程与国内大量的研究资料及世界其他一些地区具有一致性。

阶段 I: 8900 - 6070 aBP (594 - 483 cm)。沉积物中有机碳同位素从底部的偏负逐渐向上偏正变化,

$\delta^{13}\text{C}$ 值平均 -22.88% 为偏正段; TOC、TN 含量虽低, 但处于增高趋势, 沉积物粒度较粗, 孢粉资料显示^[12], 阔叶类植物含量及喜暖湿生境的水蕨含量较高, 反映该时期为温暖较湿润气候. 但剖面自下而上粗碎屑沉积物的降低也反映降水量趋于减少. 该期相当于全新世第一个暖湿期, 这和徐馨^[13]、施雅风^[14]、羊向东^[15]等人的研究相一致. 该时期剖面记录有 4 次较为明显的降温事件, 分别发生在 579 cm (8500 aBP)、564 cm (8100 aBP)、541 cm (7500 aBP) 和 493 cm (6300 aBP), 阔叶类植物大量减少^[12], 砂含量明显降低. 吻合于洞庭湖和江汉地区的孢粉资料^[16] 显示在 8500–8300 aBP 为冷期, 岱海孢粉资料^[17] 记录的 8600 aBP 干冷事件以及新疆艾比湖^[18] 的 8600 aBP 冷湿事件等. 8100 aBP 左右的降温事件是全新世最显著的气候事件, 北大西洋 V28–298 孔沉积物中的染色赤铁矿碎屑颗粒含量在 8100 aBP 处为高值^[19], 格陵兰 GISP2 和 GRIP 冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 显示 8200 aBP 的强降温事件是全新世降温幅度最大的一次^[20], 敦德冰芯^[14] 的记录中也显示在 8.1 kaBP 左右出现了冷谷. 古里雅冰芯^[21] 在 7600 aBP 左右有一次降温, 江苏建湖地区^[22] 在 7700–7500 aBP 出现一次最大降幅为 1.4°C 的降温期. 格陵兰冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ ^[20] 记录 6300–6000 aBP 有一次显著降温事件, 敦德冰芯^[14]、古里雅冰芯^[21]、江苏建湖庆丰剖面^[22] 及红原泥炭^[23] 在距今 6 ka 为一个显著降温, 与之对应.

阶段 II: 6070–4600 aBP (483–428 cm). 沉积物中 TOC、TN 含量低, $\delta^{13}\text{C}$ 值为剖面的最高值, 粒度明显变细为剖面的较低值 (均值为 7.09Φ), 孢粉资料中^[12], 孢粉浓度较低但趋向于增大, 针叶类植物含量较高而阔叶类植物含量较低, 代表干旱半干旱生境的藜科花粉含量以及藜/蒿比值较高, 显示该阶段环境状况较差, 为温度较低的偏干旱环境. 这一时期相当于全新世第一个暖湿期后的干早期, 夏季风减弱, 气候相对冷干. 洞庭湖和江汉地区^[16] 显示该期为环境较差阶段; 敦德冰芯^[14] 记录 6–5 kaBP 为温度波动频繁而整体偏凉; 施雅风等^[14] 将此期称为气候波动剧烈、环境较差的阶段, 同时发现该期长江、黄河流域古文化遗址个数记录较前期少, 也进一步证实该期气温比较寒冷.

阶段 III: 4600–2500 aBP (428–311 cm). 研究区为湖沼相泥炭沉积, TOC、TN 含量为剖面的最高, 有机碳同位素值明显偏负 (均值为 -27.44%), 沉积物粒度增大, 波动幅度大, 孢粉资料显示^[12], 孢粉浓度大幅度增加, 350 cm 左右处达极高值 (47000 粒/g), 常绿栎和栗/栲等常绿阔叶类植物含量较高, 湿生或水生草本植物花粉占有相当比例, 主要有禾本科、莎草科、狐尾藻、藨属等. 另外还有大量淡水藻类孢子, 如双星藻和环纹藻等. 反映该时期江陵地区气温高, 降水量丰沛, 气候以温暖湿润为主. 流域植被繁茂, 湖沼生物量和有机生产力高, 但较不稳定, 出现多次大幅度的气候波动. 此期是全新世第二个暖湿期, 鄱阳湖湖口地区^[24] 的孢粉资料指示 4500–2350 aBP 为气候暖湿期; 长江中下游地区^[16] 的资料显示该区 4900–2900 aBP 为气候波动和缓的亚稳定暖湿期; 在敦德冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录中, 4900–2900 aBP 为温度波动和缓而整体偏暖阶段^[14]; 长江、黄河流域古文化遗址数量较前猛增, 内蒙、青海、西藏湖泊显示为高湖面^[14]; 在中国 5000 年气候曲线上, 5000–3000 aBP 属于仰韶暖期^[25].

阶段 IV: 2500–500 aBP (311–0 cm). 沉积物 TOC、TN 含量急剧下降, 有机碳同位素值接近均值, 粒度偏细, 波动较小, 孢粉资料中^[12], 阔叶类植物较前一阶段有较大幅度的下降, 藜科和藜/蒿比值达到最高, 表明气候在经历了上述暖湿期后, 迅速转凉, 降水减少, 但仍存在多次微弱的冷暖波动. 由此可见, 2500 aBP 可能代表江陵地区全新世大暖期的结束, 较施雅风等人^[14] 认定的 3000 aBP 及敦德冰芯记录的 2.9 kaBP 要晚些.

3 结论

由上述分析表明, 近 9 ka 以来, 江汉平原江陵地区的气候环境经历了温湿—相对冷干—温暖湿润—温凉偏干的气候演化过程, 可以从有机碳、有机碳同位素和粒度的记录清楚地判识出来. 由此看出, 高分辨率多环境指标的对比研究是古气候环境变迁研究的一种有效手段.

通过与邻区对比, 江陵地区的近 9 ka 气候环境变化与其他气候记录具有一致性, 全球性气候事件如全新世变暖事件等多次气候突变事件在时间和数量都可以和其他地区很好地对应, 说明这些事件受控于某种全球性的因素, 因而具有与其他地区的趋同性. 但由于区域的特殊性, 江陵气候环境变化的幅度和时段与其他地区存在一定的差异, 具有明显的区域性特征.

致谢 TOC、 $\delta^{13}\text{C}$ 、粒度及 ^{14}C 测年分别在中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室、

中国地质大学(武汉)测试中心、南京师范大学海岸与第四纪研究所粒度分析实验室和兰州大学放射性碳同位素测年实验室完成,在此一并表示感谢。

4 参考文献

- [1] Nakai N. Carbon isotopic variation and the pale climate of sediments from Lake Biwa. *Proc Jap Acad*, 1972, **48**:516 – 521.
- [2] Stuiver M. Climate versus change in ^{13}C content of the organic component of lake sediments during the Late Quaternary. *Quaternary Research*, 1975, **5**:251 – 262.
- [3] 吴敬禄,王苏民. 湖泊沉积物中有机质碳同位素特征及其古气候. 海洋地质与第四纪地质, 1996, **16**(2):103 – 109.
- [4] 沈吉,王苏民,羊向东. 湖泊沉积物中有机碳稳定同位素测定及其古气候环境意义. 海洋与湖沼, 1996, **27**(4):400 – 404.
- [5] Pearson FJ, Coplen TB. Stable isotope studies of lake. In: Lerman A (ed.), *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. New York; Springer verlag, 1978: 235 – 236.
- [6] 黄麒,孟昭强,刘海玲. 柴达木盆地查尔汗湖区古气候波动模式的初步研究. 中国科学(B辑), 1990, **6**:652 – 663.
- [7] 张平中,王先彬,陈践发等. 青藏高原 RH 孔沉积有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 和氢指数记录. 中国科学(B辑), 1995, **25**(6):450 – 463.
- [8] Bowen R. *Isotopes and Climates*. London: Elsevier Applied Science, 1991. 128 – 131.
- [9] Wang H, Liu H, Cui H, *et al.* Terminal Pleistocene/Holocene palaeoenvironmental changes revealed by mineral-magnetism measurements of lake sediments for Dali Nor area, southeastern Inner Mongolia Plateau, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, **170**: 115 – 132.
- [10] 孙千里,周杰,肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 2001, **21**(1): 93 – 95.
- [11] 陈敬安,万国江,张峰等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录——以沉积物粒度为例. 中国科学(D辑), 2003, **33**(6):563 – 568.
- [12] 王秋良. 江汉平原 9 kaBP 以来古气候变化的沉积学记录[硕士学位论文]. 中国地质大学(武汉), 2004.
- [13] 徐馨. 二万年来长江中下游自然环境变迁及其发展趋向探讨. 火山地质与矿产, 1992, **13**(1):1 – 11.
- [14] 施雅风,孔昭宸,王苏民等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件. 中国科学(B辑), 1992, **12**: 1300 – 1308.
- [15] 羊向东,朱育新,蒋雪中等. 沔阳地区一万多年来孢粉记录的环境演变. 湖泊科学, 1998, **10**(2):23 – 29.
- [16] 张丕远主编. 中国历史气候变化. 济南:山东科学技术出版社, 1996. 1 – 440.
- [17] 许清海,肖举乐,中村俊夫等. 孢粉资料定量重建全新世以来岱海盆地的古气候. 海洋地质与第四纪地质, 2003, **23**(4):99 – 108.
- [18] 吴敬禄,沈吉,王苏民等. 新疆艾比湖地区湖泊沉积记录的早全新世气候环境特征. 中国科学(D辑), 2003, **33**(6):569 – 575.
- [19] Bond G, Showers W, Cheseby M, *et al.* A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 1997, **278**:1257 – 1266
- [20] Stuiver M, Grootes P M, Braziunas T F. The GISP2 ^{18}O climate record of the past 16500 years and the role of the sun, ocean and volcanoes. *Quaternary Research*, 1995, **44**:341 – 345.
- [21] 姚檀栋, Thompson 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): 447 – 452.
- [22] 赵希涛,唐领余,沈才明等. 江苏建湖庆丰剖面全新世气候变迁和海面变化. 海洋学报, 1994, **16**(1):78 – 88.
- [23] 徐海,洪业汤,林庆华等. 红原泥炭纤维素氧同位素指示的距今 6 ka 温度变化. 科学通报, 2002, **47**(15):1181 – 1186.
- [24] 吴艳宏,羊向东,朱海虹. 鄱阳湖湖口地区 4500 年来孢粉组合及古气候变化. 湖泊科学, 1997, **9**(1):29 – 34.
- [25] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究. 中国科学, 1973, (2):168 – 189.