

# 近 2600 年神农架大九湖泥炭的气候变化记录

何报寅, 张 穗, 蔡述明

(中国科学院 测量与地球物理研究所, 武汉 430077)

**摘要:** 神农架大九湖沼泽泥炭柱状样提供了分辨率为 25 a 的约 2 600 a 来的气候变化记录。对样品进行了环境磁学参数测量、X 射线荧光分析(XRF)、孢粉鉴定和统计建模, 结果表明, 大九湖气温的变化曲线与竺可桢中国东部的物候温度曲线以及格陵兰氧同位素变化曲线大体一致, 与青藏高原东部希门错湖泊沉积物温度代用指标的变化曲线也十分相似。特别是 550—1300AD 间的相对温暖期, 与竺可桢首次提出来的中国东部隋唐温暖期(约 600—1000AD)和欧洲的中世纪暖期(930—1240AD)在时间跨度上大致对应。可划分为 4 个阶段: (1) 600BC—550AD, 气候相对冷湿; (2) 550—1300AD, 气候相对凉干; (3) 1300—1900AD, 气候又转变为冷湿, 其中最冷期 1400—1900AD 可与欧洲的小冰期对应; (4) 1900AD 至今, 气候又开始转向相对凉干。同时发现低频磁化率  $\chi_f$  与铁元素含量之比( $\chi_f/Fe$ )的变化曲线与利用孢粉分析数据恢复的大九湖气候变化曲线对应得很好, 特别是二者都清晰地显示了 500—1300AD 为一相对暖期。这预示着  $\chi_f/Fe$  可能是泥炭剖面的一个更好的气候记录代用指标。

**关键词:** 泥炭; 环境磁学; X 射线荧光分析; 孢粉; 神农架大九湖

**中图分类号:** P532      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0256-1492(2003)02-0109-07

泥炭在全球古气候古环境变化研究中有着十分重要的作用<sup>[1]</sup>。沼泽泥炭通常堆积连续性好, 时间分辨率较高, 并且包含丰富的环境气候信息, 是良好的古环境古气候记录体。同时泥炭分布广泛<sup>[2]</sup>, 在缺乏历史记载、冰心、树轮和珊瑚心等记录体的区域更体现出其特有的价值。泥炭往往含有丰富的植物孢粉, 故以往对泥炭气候变化记录的研究多集中在孢粉分析上。最近, 洪叶汤等提取了吉林金川泥炭纤维素近 5 000 a 的  $^{18}O$  记录, 达到 20 a 的分辨率<sup>[3]</sup>, 并可与太阳活动变化进行对比<sup>[4]</sup>。谢树成等研究了英格兰北部的 Bolton Fell 泥炭心 200 多年来的分子化石记录, 显示一些常见分子化石, 如酮/酯比值、 $C_{24}$  正构单烯烃/ $C_{24}$  正构烷烃比值, 很好地标志了苔藓植物与单子叶被子植物之间的取代关系, 来源于苔藓植物的  $C_{23}$  正构烷烃指示寒冷气候<sup>[5,6]</sup>。可见, 泥炭在全球古气候古环境变化研究中的作用还有巨大的潜力可控。

近年来, 环境磁学在黄土、海洋沉积和湖泊沉积的古气候记录研究中已取得很大进展<sup>[7]</sup>, 但在泥炭方面的应用进展不大, 一些研究者认为, 泥炭中的磁性颗粒可能存在溶解作用<sup>[8]</sup>。Frank Oldfield 在 20 世纪 80 年代初曾对英国各地的泥炭做过研究, 发现

泥炭普遍存在越往地表磁性越强的现象, 并认为是工业化革命以来矿物燃料燃烧量增加的结果, 磁性颗粒来源于矿物燃料燃烧产生的飘尘<sup>[9]</sup>。

神农架大九湖盆地位于神农架林区的最西端, 面积 16 km<sup>2</sup>, 海拔 1 700 m。晚更新世以来, 盆地经受了冰川<sup>[10]</sup>、岩溶和流水作用, 形成了一个独特的封闭的高山小盆地<sup>[11]</sup>。全新世以来形成了稳定连续的泥炭堆积, 泥炭厚度超过 2 m。由于山高路远, 人迹罕至, 很少受到人为的扰动, 泥炭中所保留的环境信息可以反映自然环境变化的本来面目, 这对于缺乏历史文献记载的神农架地区有着特别重要的意义。李文漪、刘会平曾先后在这里采过泥炭样进行孢粉分析和  $^{14}C$  测年<sup>[12-16]</sup>。本文在此基础上, 对采自大九湖的 DJ H3 沼泽泥炭柱状样品进行了环境磁学、XRF、孢粉等测试分析, 提供了近 2 600 a 来的气候环境变化记录, 时间分辨率约为 22 a。

## 1 样品及测试

DJ H3 柱状样采自神农架大九湖东南部沼泽地(图 1), 长 121 cm, 柱样无压缩, 连续切样, 顶部第一个样品厚 2 cm, 其余样品厚 1 cm, 共采得样品 120 个。柱样为棕黑色泥炭, 质地均一, 上部有未完全腐烂的草根。采集的样品密封在聚乙烯塑料袋中, 冰冻保存。在室内把每个样品分为 3 份, 分别用于环境磁学、XRF 和孢粉分析。

磁性测量在华东师范大学河口与海岸动力研究

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(40271119); 中国地质大学湖北省地层表层系统实验室测试基金项目

**作者简介:** 何报寅(1964—), 男, 副研究员, 博士, 从事全球变化记录和遥感应用研究。

**收稿日期:** 2002-08-13; **改回日期:** 2002-11-29. 文凤英编辑

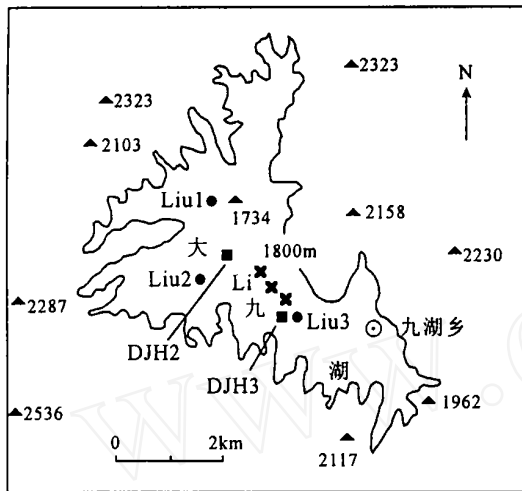


图1 大九湖采样点分布

DJH2和DJH3分别为作者1996年和2000年的采样点;Liu1、Liu2和Liu3为刘会平1996年采样点;Li为李文漪1993年采样点;数字为周围山峰的海拔高程(m)

Fig. 1 Locations of the sampling sites in the Dajiu Lake  
DJH2 and DJH3 are the sampling sites by the author in 1996 and 2000 respectively; Liu1, Liu2 and Liu3 are the sites of LIU Huirping in 1996; Li is the site of LI Wenyi in 1993; Numbers are altitudes above sea level for the peaks (the unit is m)

所国家开放实验室完成。测量遵循常规环境磁学方法。样品在低于40℃的烘箱内烘干,并轻轻碾成粉末状,用保鲜薄膜包裹,然后装入10 mL的圆柱状聚乙烯样品盒内,压实、固定后称重。所有样品均按顺序作系统的磁性测量,具体步骤如下:(1)低频(0.47 kHz)弱磁场中的磁化率( $\chi_{lf}$ );(2)非滞后剩磁 $\chi_{ARM}$ (交变磁场峰值为100 mT,直流磁场为0.04 mT);(3)样品在20和300 mT的磁场中磁化后所带的剩磁( $IRM_{20mT}$ ,  $IRM_{300mT}$ );(4)经1 T强度的磁场磁化后的饱和等温剩磁(SIRM);(5)带饱和等温剩磁的样品经不同强度反向磁场退磁后的剩磁( $IRM_{-20mT}$ ,  $IRM_{-40mT}$ ,  $IRM_{-100mT}$ ,  $IRM_{-300mT}$ )。磁化率测量用英国Bartington公司生产的MS2磁化率仪,剩磁测量用Molspin公司生产的交变退磁仪、脉冲磁化仪和旋转磁力仪。根据以上的测量结果,计算出单位质量的磁化率 $\chi_{lf}$ 、饱和等温剩磁(SIRM)、“软”剩磁(SOFT)、“硬”剩磁(HIRM)、非滞后剩磁 $\chi_{ARM}$ 以及比值参数 $\chi_{ARM}/SIRM$ 、 $\chi_{ARM}/\chi_{lf}$ 、 $SIRM/\chi_{lf}$ 、 $F_{xmT}\%$ 等。这次测量中,间隔抽测了部分样品的高频(4.7 kHz)磁化率( $\chi_{hf}$ ),发现它们的值与其低频磁化率( $\chi_{lf}$ )的值十分相近,其差值与该磁化率仪的测量误差接近。说明了这批样品的频率

相依性 $f_d(\%)$ 接近0。有关磁性参数的量纲、单位、计算方法以及其意义见文献[9,17]。

XRF元素分析和有机质烧失量(LOI)在英国利物浦大学地理系环境磁学实验室完成。仪器为Metorex的XMET920系统,计算用利物浦大学地理系John F Boyle博士新近开发出的一套分析计算程序,该程序大大提高了分析计算的精度和速度<sup>[18]</sup>。

DJH3柱样在江汉石油学院完成,但因每个样品孢粉统计数仅为100~120粒,难以建立精确模型。故本文在构建孢粉-气候模型时采用了距DJH3孔不到40 m的Liu3孔的孢粉分析数据<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 泥炭平均堆积速率

大九湖0~230 cm深度的泥炭的 $^{14}C$ 年龄与深度呈现良好的线性相关(表1、图2)。相关方程为: $Y = 0.0453X$ ,其中, $X$ 为 $^{14}C$ 年龄(aBP), $Y$ 为深度(cm),相关系数为0.9886。可见,大九湖泥炭的堆积速率十分稳定,平均堆积速率为0.0453 cm/a,因此,可利用有限的 $^{14}C$ 测年数据进行均匀的年龄内插,从而获得较高分辨率的序列样本。

### 2.2 DJH3孔泥炭的环境磁学参数

DJH3孔泥炭的磁性测量结果见图3。泥炭样品总体上具有较低的低频磁化率( $\chi_{lf}$ )、饱和等温剩磁(SIRM)和非磁滞剩磁( $\chi_{ARM}$ )值, $\chi_{lf}$ (2~9) $\times 10^{-8} m^3 \cdot kg^{-1}$ , SIRM(20~60) $\times 10^{-8} A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$ ,  $\chi_{ARM}$ (10~50) $\times 10^{-8} m^3 \cdot kg^{-1}$ ,说明其磁性矿物的富集程度较低。这是因为泥炭含大量的腐殖质和有机物,稀释作用降低了磁性矿物的相对浓度。其有机质烧失量(LOI)达到80%以上也说明了这一点。该柱样的磁化率频率系数( $f_d\%$ )接近0,同时大部分样品的磁化参数 $S_{300mT}\%$ 和 $S_{-100mT}\%$ 都接近-100%,表明细颗粒铁磁性矿物主导了该泥炭的磁性特征,而且是低矫顽力的铁磁性矿物(如磁铁矿、磁赤铁矿、钛磁铁矿和黄铁矿等)。由于 $SIRM/\chi_{lf} < 40 \times 10^3 A \cdot m^{-1}$ ,表明黄铁矿并不占主导地位。根据磁化参数 $S_{-20mT}\%$ 、 $S_{-40mT}\%$ 、 $S_{-100mT}\%$ 值的分布情况,可确定这些磁性颗粒的粒径主要分布在1.0~0.25  $\mu m$ 之间,即主要为单畴(SD)和假单畴(PSD)颗粒,而超顺磁(SP)颗粒相对很少或没有。

表 1 大九湖泥炭<sup>14</sup>C 年龄(据参考文献[7—11])

Table 1. <sup>14</sup>C ages of peat in the Dajiu Lake (according to [7—11])

样品	深度/cm	<sup>14</sup> C/aBP	年龄误差/aBP
	0	0	0
Liu1	120	2 170	150
	210	4 320	210
	0	0	0
Liu2	100	1 950	100
	120	2 520	190
	180	4 000	210
	200	4 500	180
	0	0	0
Liu3	102	2 300	150
	198	4 800	180
	225	5 100	210
	0	0	0
Li	6	115	42
	9	125	40
	50	1 068	33

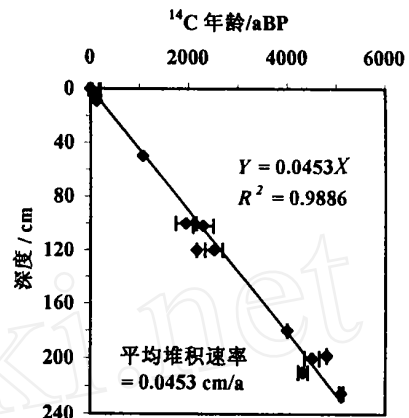


图 2 大九湖泥炭平均堆积速率

Fig. 2 The average accumulation rate of peat in the Dajiu Lake

综合分析 DJ H3 孔磁性参数的变化特点,可把剖面从下到上分为 5 段:(1) 121 ~ 73 cm (660BC—410AD),与(2)段相似,具有剖面中最低的 SIRM、 $\chi_{ARM}$ 、SIRM/ $\chi_{IF}$ 、 $\chi_{ARM}/\chi_{IF}$ 值,同时  $\chi_{IF}$ 和 SOFT 值也很低;(2) 72 ~ 31 cm (410—1300AD),具有剖面中最高

$\chi_{ARM}/\chi_{IF}$ 值与(3)段相比相对要低,说明该段磁性矿物相对富集,而且以细颗粒的软磁矿物为主;(3) 30 ~ 9 cm (1300—1824AD),具有较高的 SIRM、 $\chi_{ARM}$ 、SIRM/ $\chi_{ARM}$ 和 SIRM/ $\chi_{IF}$ 、 $\chi_{ARM}/\chi_{IF}$ 值,SOFT 值也很高,而  $\chi_{IF}$ 值和 HARD % 值相对较低;(4) 8 ~ 3 cm (1823—1955AD),具有较低的  $\chi_{IF}$ 、SIRM、 $\chi_{ARM}$ 、SOFT

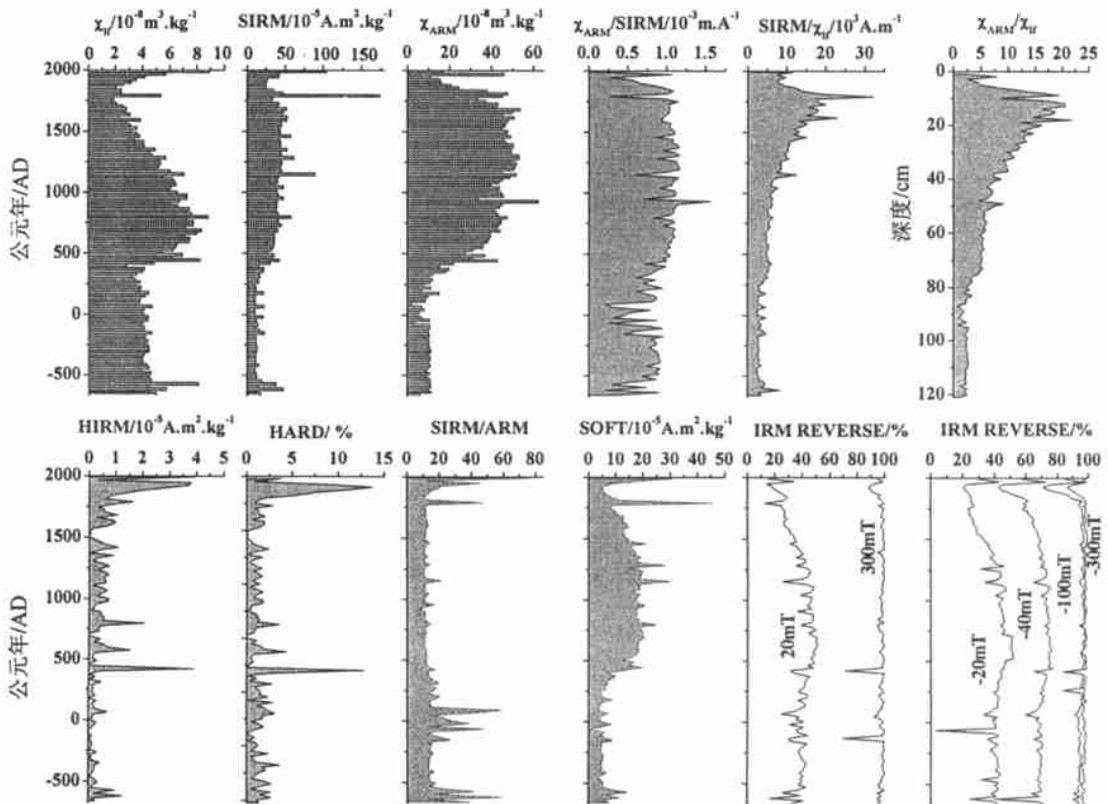


图 3 大九湖 DJ H3 孔泥炭磁性参数

Fig. 3 Magnetic parameters for the peat from DJ H3 core in the Dajiu Lake

和  $SIRM/ARM$  值,同时  $SIRM/If$ 、 $ARM/If$  值也很低,而  $HARD\%$  值在剖面中最高。说明该段有较高矫顽力的铁磁性矿物,如赤铁矿;(5) 2~0 cm (1956—2000AD),具有较高的  $If$ 、 $SIRM$ 、 $ARM$ 、 $SOFT$  和  $SIRM/ARM$  值,而  $SIRM/If$ 、 $ARM/If$  和  $HARD\%$  值相对较低。

此外,在剖面中,  $If$ 、 $SIRM$ 、 $ARM$  和  $SOFT$  都显示出若干峰值和谷值。其中,在 9.5 cm 处的峰值尤其明显,该处  $SIRM$  值高达  $174.1 \times 10^{-5} A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$ ,为背景值的 3~4 倍。 $If$ 、 $ARM$ 、 $SIRM/If$ 、 $SOFT$  也表现为峰值,而  $ARM/SIRM$  和  $ARM/If$  出现谷值。

### 2.3 DJH3 孔的 XRF 元素分析

图 4 给出了 DJH3 孔 Si、Al、Ti、Ca、K、Fe、Mn、S、Pb、Zr、Sr 和 Nb 等元素的 XRF 分析结果。图中的结果已通过把有机质烧失量(LOI)代入计算程序进行过校正。

从整个剖面来看, Si、Al、Ti、K、Fe、S、Zr 等元素的变化相当平滑,呈现十分相似的趋势, Sr 的变化趋势也十分相似,只是其波动较大,可能有测量误差的干扰。根据这些元素含量的变化趋势可将剖面划分为

4 个阶段:第 1 阶段为 121~85 cm, Si、Al、Ti、K、Fe、S、Zr 等元素的含量保持相对较高的值,波动不大;第 2 阶段为 85~70 cm, Si、Al、Ti、K、Fe、S、Zr、Sr 等元素的含量突然降低到最小值,然后又上升;第 3 阶段为 70~9 cm, Si、Al、Ti、K、S、Zr、Sr 等元素的含量呈稳定上升, Fe 的含量则继续保持整体下降的趋势;第 4 阶段为 9~0 cm, Si、Al、Ti、K、Fe、Zr、Sr 等元素的含量突然上升至最大值,但在 2 cm 处突然下降至平均水平,然后又上升, S 元素则下降至平均水平后保持不变。Ca 含量的变化则比较特别,其变化大致可分为 3 个阶段:第 1 阶段为 121~82 cm,除了在深度 117 cm 处出现一个峰值外,基本维持在  $3 mg \cdot g^{-1}$  左右;第 2 阶段为 85~9 cm, 82 cm 之后突然升至  $3.5 mg \cdot g^{-1}$  左右,并总体维持在该水平上,其间也有波动;第 3 阶段为 9~0 cm, 9 cm 之后突然从  $3.5 mg \cdot g^{-1}$  下降至  $3.1 mg \cdot g^{-1}$ ,但在 3 cm 处又突然从  $3.1 mg \cdot g^{-1}$  上升至最大值  $3.8 mg \cdot g^{-1}$ 。

### 2.4 利用孢粉资料重建古气候

神农架有极明显的山地垂直气候带,各气候带内有特定的植被。那么,根据各气候带现代代表土的花粉资料以及气象观测数据,就可以构建现代花粉-

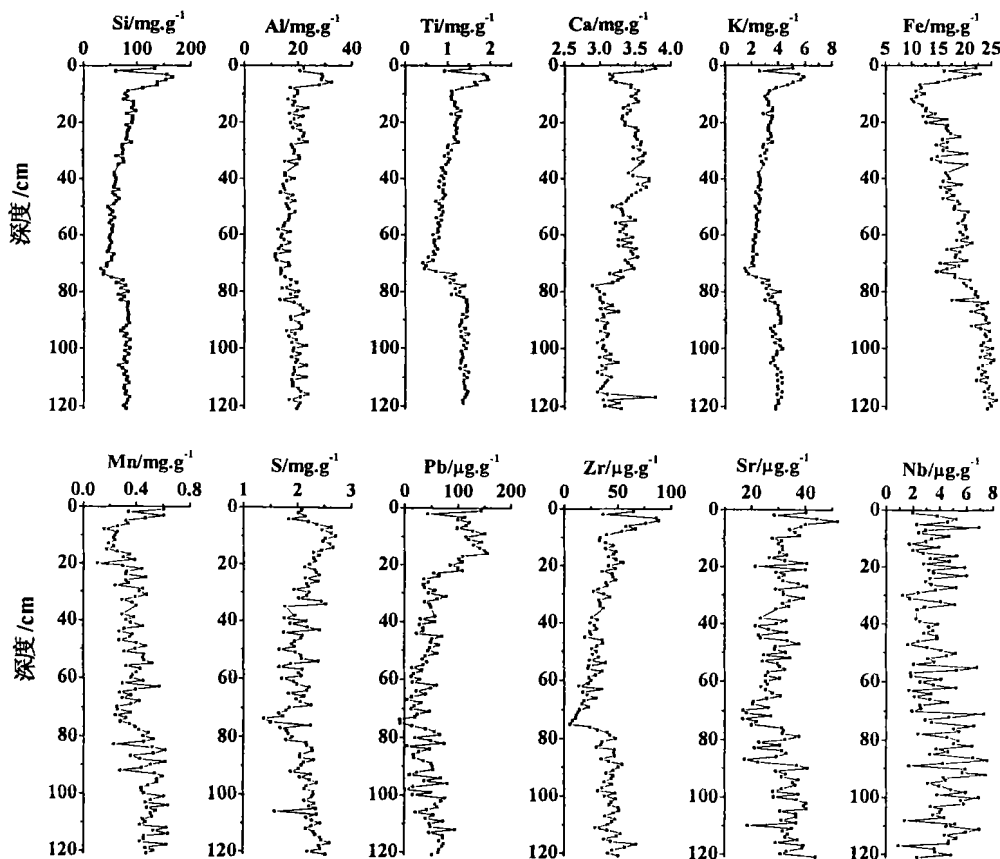


图 4 大九湖 DJH3 孔元素 XRF 分析结果

Fig. 4 Results of XRF analysis for DJH3 core in the Dajiu Lake

气候转换函数。根据“将今论古”的思想,如获得了某一区域不同时期的花粉资料,就能够恢复这一地区各个时期的古气候。花粉-气候函数采用多元线性回归分析方法。其数学模型可表述为:

$$C = C_0 + \sum_{k=1}^i P_k + E \quad (1)$$

其中,  $C$  是某个气候变量的现代观测值,这里指年平均气温、年降水量;  $P$  是花粉变量;  $E$  是误差项;  $k$  是回归系数。根据几个样点的气候变量观测值和花粉变量的统计数据,极小化  $\sum_{i=1}^n [(C - C_0 - \sum_{k=1}^i P_k)^2]$ ,就可获得回归系数。

花粉变量选取木本花粉。选择标准为:(1)花粉平均百分含量  $> 1\%$ ;(2)虽然平均百分含量小于  $1\%$ ,但最大值  $> 5\%$ ;(3)平均百分含量基本随高度单调变化。据此可筛选出 13 个花粉变量,分别是松属(*Pinus*)、云杉+冷杉(*Picea + Abies*)、常绿栎(*Quercus*)、栲(*Castanopsis*)、落叶栎(*Quercus*)、桦(*Betula*)、枫香+胡桃(*Liquidambar + Juglans*)、栗(*Castanes*)、山核桃+桃金娘(*Carya + Myrtus*)、鹅耳枥+榛+桤木(*Carpinus + Corylus + Alnus*)、榆+柳(*Ulmus + Salix*)、槭+槲(*Acer + Tilia*)、山毛榉(*Fagus*)。设其分别为  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{13}$ 。

根据神农架不同海拔高程 43 个表土样点的 13 个花粉变量百分比(某种花粉所占 13 个花粉变量总数的百分比)和气候变量观测值<sup>[9]</sup>进行多元线性逐步回归分析,可得到各个气候变量与花粉变量的回归方程。回归系数的  $t$  检验,  $Prob > |t|$  时, 0.25。

年均气温的回归方程为:

$$T_y = 9.149 - 0.103 X_1 + 0.253 X_3 - 0.305 X_6 + 0.173 X_8 + 0.200 X_9 - 0.075 X_{11} - 0.081 X_{12} + 0.157 X_{13} \quad (r^2 = 0.989) \quad (3)$$

年降水量的回归方程为:

$$P_y = 1473.86 + 3.61 X_1 - 8.19 X_3 + 10.16 X_6 - 5.98 X_8 - 5.07 X_9 + 2.27 X_{11} + 4.07 X_{12} - 5.94 X_{13} \quad (r^2 = 0.987) \quad (4)$$

根据回归方程(3)、(4)和大九湖泥炭 Liu3 孔的花粉变量百分比<sup>[9]</sup>,就可恢复过去的气候变量值。图 5 的(b)和(e)分别为重建的年平均气温和年降水量相邻 3 点滑动平均值。

### 3 讨论

图 5 显示,大九湖 DJH3 孔泥炭的磁化率与铁

元素含量之比( $\chi_{f/Fe}$ )的变化特征与 Liu3 孔上部花粉重建的气温变化特征极为相似,而与降水的变化正好相反。特别是在隋唐暖期, $\chi_{f/Fe}$  峰值与气温的峰值或降水的低谷值出现的时间跨度几乎一致,都在 500—1300AD 之间。

综合分析大九湖 DJH3 孔的  $\chi_{f/Fe}$  曲线和据 Liu3 孔上部花粉重建的气候变化曲线,可把 2600 a 来大九湖的气候变化从过去到现在划分为 4 个阶段:第 1 阶段为 700BC—550AD,气候相对冷湿;第 2 阶段为 550—1300AD,气候相对凉干;第 3 阶段为 1300—1900AD,气候又转变为冷湿,最冷期 1400—1900AD 可与欧洲的小冰期对应;第 4 阶段为 1900AD 至今,气候又开始转向相对凉干,这一时期的气候变化可能有自然变化的趋势,而更多的可能是人类活动引起的温室效应所造成。

总体来看,大九湖气温的变化曲线与竺可桢中国东部的物候温度曲线<sup>[19]</sup>以及格陵兰氧同位素变化曲线<sup>[20]</sup>大体一致。特别是 550—1300AD 的相对温暖期,与竺可桢首次提出来的中国东部隋唐温暖期约 600—1000AD 和欧洲的中世纪暖期(930—1240AD)在时间跨度上大致对应。最近,吴宏岐等<sup>[21]</sup>通过史料分析,研究动植物分布及雪线、海平面等证据,推测隋唐时气温比现今高  $1^\circ\text{C}$  左右,气候带的纬度亦北移  $1^\circ$  左右,且时期为 550—1050AD,长达 500 a,比竺可桢的隋唐温暖期多一个世纪。

同时,大九湖气温变化曲线与青藏高原东部希门错湖泊沉积物温度代用指标的变化曲线也十分相似。在希门错,约 480—1460AD 是近 2000 多年来的一个非常显著的温暖期,这一时期,湖泊沉积物的磁化率为明显的高值段,反映冰川强烈退缩,大量磁性矿物颗粒的入湖导致沉积物磁化率的升高;色素含量尤其是颤藻黄素(Osc)和蓝藻叶黄素(Myx)同为一显著的高值段,暗示温度条件适宜、湖泊初级生产力较高;有机碳同位素  $^{13}\text{C}_{\text{org}}$  值略偏低,也对应一偏暖的时期<sup>[22]</sup>。

### 4 结论

神农架大九湖沼泽泥炭柱状样提供了分辨率为 25 a 的约 2600 a 来的气候变化记录。对样品进行的环境磁学参数测量、X 射线荧光元素分析(XRF)以及孢粉鉴定和统计建模的结果表明,大九湖气温的变化曲线与竺可桢中国东部的物候温度曲线以及格陵兰氧同位素变化曲线大体一致,与青藏高原东部希门错湖泊沉积物温度代用指标的变化曲线也十

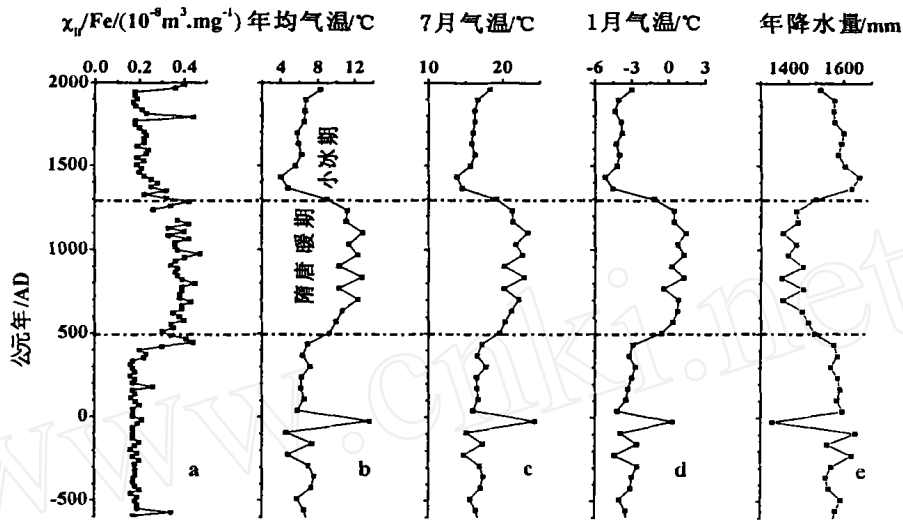


图 5 大九湖 DJH3 孔参数  $\chi_{if}/Fe$  的变化与 Liu3 孔孢粉分析重建的气候变化的比较

(a)  $\chi_{if}$  单位:  $10^{-8} m^3 kg^{-1}$ ; Fe 单位:  $mg \cdot kg^{-1}$ ; (b)、(c)、(d) 分别为孢粉分析重建的年平均温度、7 月平均温度、1 月平均温度和年降水量

Fig. 5 Comparison between  $\chi_{if}/Fe$  of DJH3 core and the reconstructed climate of Liu3 core by pollen analysis

(a) Unit of  $\chi_{if}$  is  $10^{-8} m^3 kg^{-1}$  and that of Fe is  $mg \cdot kg^{-1}$ ; (b), (c), (d), and (e) are average annual temperature, average temperature in July, average temperature in January and annual precipitation reconstructed by pollen analysis

分相似。特别是 550—1300AD 的相对温暖期,与竺可桢首次提出来的中国东部隋唐温暖期约 600—1000AD 和欧洲的中世纪暖期(930—1240AD)在时间跨度上大致对应。可划分为 4 个阶段:(1) 600BC—550AD,气候相对冷湿;(2) 550—1300AD,气候相对凉干;(3) 1300—1900AD,气候又转变为冷湿,其中最冷期 1400—1900AD 可与欧洲的小冰期对应;(4) 1900AD 至今。同时发现,神农架大九湖盆地泥炭剖面的低频磁化率  $\chi_{if}$  与铁元素含量之比  $\chi_{if}/Fe$  的变化曲线与利用孢粉分析数据恢复的大九湖气候变化曲线对应得很好,二者都清晰地显示了 500—1300AD 为一相对暖期,二者之间以某种目前还不能确定的机制与气候波动联系着,可能与沼泽地中生长的  $C_3$  植物和  $C_4$  植物的比例有关。鉴于磁性测量和 XRF 分析都具有方便、快速、经济、精确、可靠和不破坏样品等优点<sup>[23—26]</sup>,参数  $\chi_{if}/Fe$  可作为泥炭剖面良好的气候变化代用指标。

致谢:磁性测量在华东师范大学国家开放实验室完成,得到了俞立中教授、张卫国副教授的大力支持;XRF 元素分析在英国利物浦大学地理系环境磁学实验室完成,并得到了 John F Boyle 博士的指导和杜耘博士的协助;吴宜进博士等协助野外采样;刘会平博士提供了  $^{14}C$  测年和孢粉分析数据,在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 施雅风. 2000 年记录与全球变化研究[J]. 第四纪研究, 1997 (1): 37—39.
- [2] 黄锡畴. 试论沼泽的分布和发育规律[A]. 中国沼泽研究[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 1—8.
- [3] 洪叶汤, 姜洪波, 洪冰, 等. 近 5 ka 的金川泥炭  $^{18}O$  记录[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27(6): 525—530.
- [4] 洪叶汤, 姜洪波, 陶发祥, 等. 近 5 000 a 的气候波动与太阳变化[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(6): 491—497.
- [5] 谢树成, Evershed R P. 泥炭分子化石记录气候变迁和生物演替的信息[J]. 科学通报, 2001, 46(10): 863—866.
- [6] Xie S, Nott C, Avsejs L A, et al. Palaeoclimate records in compound-specific  $\delta D$  values of a lipid biomarker in ombrotrophic peat[J]. Organic Geochemistry, 2000, 31: 1 053—1 057.
- [7] 邓成龙, 袁宝印, 胡守云, 等. 环境磁学某些研究进展评述[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(2): 93—101.
- [8] Williams M. Evidence for the dissolution of magnetite in recent Scottish Peat[J]. Quaternary Research, 1992, 37: 171—183.
- [9] Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism[M]. London: George Allen and Unwin, 1986.
- [10] 景才瑞, 傅爱民. 神农架大九湖地区更新世冰川遗迹的初步研究[J]. 华中师范大学学报, 1986, 20(3): 345—356.
- [11] 湖北省神农架林区地方志编纂委员会. 神农架志[M]. 湖北科学技术出版社, 1996. 1—79.
- [12] 李文漪. 中国第四纪植被与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 133—141.
- [13] 周明明, 李文漪. 神农架大九湖全新世植被与环境[A]. 中国北中亚热带晚第四纪植被与环境研究[C]. 北京: 海洋出版

- 社,1993.33—45.
- [14] 刘会平.神农架晚第四纪孢粉组合与环境[D]. 博士学位论文,1998.
- [15] 刘会平,谢玲娣.神农架南坡常见花粉 R 值研究[J]. 华中师范大学学报,1998,32(4):395—397.
- [16] 刘会平,唐晓春,孙东怀,等.神农架大九湖 12.5 kaBP 以来的孢粉与植被序列[J]. 微体古生物学报,2001,18(1):101—109.
- [17] Walden J, Oldfield F, Smith J P. Environmental magnetism: a practical guide[A]. Technical Guide (No. 6) of Quaternary Research Association[C]. London, 1999.
- [18] Boyle J F. Isotope source, energy-dispersive XRF analysis of geological materials using gas-filled proportional counters: signal deconvolution using simulated peak shapes[J]. X-Ray Spectrum, 1999,28:178—182.
- [19] 竺可桢. 中国过去 5000 年来气候波动的初步研究[J]. 中国科学,1973,16(2):226.
- [20] Dansgaard W. One thousand centuries of climatic record from Camp Century on the Greenland ice sheets[J]. Science, 1969, 165: 561—578.
- [21] 吴宏歧,党安荣. 隋唐时期气候冷暖特征与气候波动[J]. 第四纪研究,1998,25(1):31—38.
- [22] 王苏民,等. 希门错 2000 多年来气候变化的湖泊记录[J]. 第四纪研究,1997,24(1):62—67.
- [23] Verosub K L, Roberts A P. Environmental magnetism: past, present, and future[J]. J. Geophys. Res., 1995, 100 (B2): 2 175—2 192.
- [24] 杨汉东,何报寅,蔡述明,等. 江汉平原长湖近代沉积物磁性测量及其气候意义[J]. 地理科学,1998,18(2):135—138.
- [25] 俞立中,许羽,许世远,郑长苏. 太湖沉积物的磁性特征及其环境意义[J]. 湖泊科学,1995,7(2):142—150.
- [26] YANG H, HE B, CAI S, et al. Environmental implications of magnetic measurements on recent sediments from lake Donghu, Wuhan[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1997, 98:187—195.

## CLIMATIC CHANGES RECORDED IN PEAT FROM THE DAJIU LAKE BASIN IN SHENONGJIA SINCE THE LAST 2 600 YEARS

HE Bao-yin, ZHANG Sui, CAI Shu-ming

(Institute of Geodesy & Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China)

**Abstract:** Peat column from the Dajiu Lake basin provides 25-a-resolution records showing climatic changes since the last 2 600 years. By means of multiple regression analyses, a model for pollen-climate is established and a high-resolution record of the climate and environment is constructed. The record is compared with the results from magnetism and XRF measurement and with the environmental change records from other areas in the same period. From these, we know that climate change of the Dajiu Lake basin since the last 2 600 years run roughly consistent with the ZHU Ke-zhen's temperature curve and the Greenland isotopic curve, and also with the curve of substitute indices for the lacustrine sediments in the east of the Qinghai-Tibet Plateau. Attention should be specially paid to the relatively warm period of 550—1300AD, whose time span is nearly the same as the Sui-Tang Dynasty warm period (600—1000AD) in the east of China first proposed by ZHU Ke-zhen and as the medieval warm period in Europe (930—1240AD). The whole climatic record can be divided into four periods: relatively cold-wet period of 600BC—550AD; relatively cool-dry period of 550—1300AD; cold-wet period of 1300—1900AD, with the coldest time (1400—1900AD) corresponding to the "Little Ice Age"; climate turning to relatively cool-dry again (from 1900AD to present). The peat core (DJ H3) has quite low values of magnetism parameters such as  $\chi_{if}$ , SIRM and  $\chi_{ARM}$ , indicating that concentrations of magnetic minerals in the peat are low due to the dilution of humus and other organic materials. In the core, the  $\chi_{fd}$  % values of all samples are near zero, and the values of  $S_{300mT}$  % and  $S_{100mT}$  % for most of the samples are near 100 percent, implying that magnetism of the peat core is dominated by fine ferromagnetic minerals. There is a good correspondence between the fluctuating curve of  $\chi_{if}/Fe$  (the ratio of susceptibility and Fe content) in the DJ H3 core and that of the reconstructed climate in the top section of the Liu3 core. This suggests that there must be a close relation among susceptibility, Fe content and climate change. The parameter  $\chi_{if}/Fe$  may be used as a good substitute indicator of paleoclimate records in the peat profiles.

**Key words:** peat; paleoclimate; pollen; environment magnetism; XRF; Shennongjia