

## 湖北太白湖孢粉记录揭示的近 1500 年以来长江中下游地区的气候变化与人类活动\*

仝秀芳<sup>1,2</sup>, 肖霞云<sup>2\*\*</sup>, 羊向东<sup>2</sup>, 王苏民<sup>2</sup>, 萧家仪<sup>1</sup>

(1: 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

(2: 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008)

**摘要:** 太白湖 TN1 孔总长 153cm 岩芯的孢粉组合与炭屑指标, 揭示了近 1500 年以来太白湖流域的植被经历了 7 个阶段的变化, 对引起植被发生这种变化的主导因素探讨认为, 520–1310AD 期间, 植被变化主要受气候变化的控制, 人类活动的影响相对较弱; 1310–1710AD 期间, 人类活动对植被的影响强度增加, 为以自然控制为主向人类活动驱动为主转化的过渡期; 1710AD 以来, 植被变化以人类活动驱动为主, 反映的气候信号相对较弱. 在孢粉组合所反映的气候变化中, 具有 520–720AD、1050–1310AD 和自 1950AD 以来的三个暖期和 720–1050AD、1310–1710AD 期间的两个冷期.

**关键词:** 孢粉; 炭屑; 气候变化; 人类活动; 太白湖

## Climatic changes and human activities revealed by pollen records in Lake Taibai, Hubei Province, the middle and lower reaches of the Yangtze River region over the past 1500 years

TONG Xiufang<sup>1,2</sup>, XIAO Xiayun<sup>2</sup>, YANG Xiangdong<sup>2</sup>, WANG Sumin<sup>2</sup> & XIAO Jiayi<sup>1</sup>

(1: *Department of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, P.R.China*)

(2: *State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P.R.China*)

**Abstract:** Pollen analysis and charcoal indices of a 153-cm-long lake sediment core from Lake Taibai (TN1 core) in Hubei Province disclosed seven stages of the vegetational changes in Lake Taibai drainage area over the past 1500 years. During 520–1310AD, the vegetational changes were mainly controlled by the climatic changes and the influence of human activities on vegetation was relatively weak. Stage of 1310–1710AD, the influencing intensity of human activities on vegetation gradually increased, and the stage was a transitional period of main factors from natural control to human activities drive. Since 1710AD, the vegetational changes were controlled by human activities and the climatic signal from the vegetational changes was relatively weak. According to the pollen assemblage, the climatic changes with three warm periods of 520–720AD, 1050–1310AD and since 1950AD and two cold periods of 720–1050AD and 1310–1710AD could be speculated.

**Keywords:** Pollen; charcoal; climatic changes; human activities; Lake Taibai

长江中下游是我国浅水湖泊最集中的地区, 自然环境优越, 资源丰富, 是人类活动最活跃的场所之一, 也是我国社会经济发展的命脉地区. 因此, 该区环境的优劣与气候变化决定了人们的生活方式与质量, 进而影响到整个社会的稳定与国家的经济发展. 目前, 长江中下游地区环境问题非常严重(湖泊水环境恶化、生物资源贫化、生态系统退化等), 科学的湖泊管理和资源的可持续利用, 迫切需要我们z从历史演化的角度研究湖泊生态环境由自然控制为主到人类活动驱动为主的过程, 确定导致生态系统退化和转

\* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-319)和国家自然科学基金项目(40702029)联合资助. 2008–12–01 收稿; 2009–02–05 收修改稿. 仝秀芳, 女, 1982 年生, 硕士研究生; E-mail: tonghong210@163.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: xyxiao@niglas.ac.cn.

化的主要因素与阈值范围, 为湖泊治理与生态修复提供参考目标. 同时, 近 2000 年来的气候演化规律是过去气候模拟与准确预测未来气候的基础. 从指标上来说, 湖泊沉积物中的孢粉是流域植被的表征, 根据孢粉组合特征的变化可恢复植被演替, 重建气候变化以及人类活动方式与强度变化的历史<sup>[1-5]</sup>. 炭屑作为火与植被作用的直接产物, 是重建古森林火历史的首要证据<sup>[6-7]</sup>, 火的发生受当时当地的气候环境与人类活动的共同影响, 因此炭屑也是重建古气候、探寻人类活动信息的重要指标. 历史时期, 长江中下游地区的环境演化受气候变化和人类活动的双重影响, 如何判识环境演化过程中人类活动的影响, 建立识别人类活动的指标, 一直是历史时期环境变化研究的重点与难点. 本文根据太白湖 TN1 孔沉积岩芯的高分辨率孢粉分析, 结合炭屑指标, 初步探讨了研究区环境变化由自然控制为主到人类活动驱动为主的过程, 并恢复了近 1500 年以来长江中下游地区的气候变化历史.

## 1 研究区概况

太白湖(29°56′–30°01′N, 115°46′–115°51′E)位于湖北省黄冈市东南部, 横跨武穴、黄梅两县, 北部为大别山南麓伸延的丘陵地带, 南部为广阔的长江泛滥平原, 流域面积607km<sup>2</sup>(图1). 20世纪30年代前后湖泊面积约69.2km<sup>2</sup><sup>[8-9]</sup>, 根据2002年遥感影像解译结果, 湖泊面积为28.98km<sup>2</sup><sup>[10]</sup>. 太白湖湖水依靠地表径流和湖面降水补给, 除接纳上游的荆竹河、考田河等来水外, 汛期还西承武山湖来水, 一般情况下湖水处于缓流状态, 多年平均水深3.2m. 太白湖无直接通江河流, 湖水大部分从南部的梅济港泄入龙感湖后排入长江<sup>[8]</sup>.

太白湖地处亚热带湿润季风气候, 四季变化明显, 年均温16.7℃, 多年平均降水量1273mm, 蒸发量1041mm, 最大年降水量1873mm(1952年). 在湖北植被区划中, 太白湖流域植被属湖北南部中亚热带常绿阔叶林地带–鄂东南低山丘陵植被区–江东丘陵平原植被小区. 目前, 由于受人类活动影响自然植被是以马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)林、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林、柏木(*Cupressus funebris*)疏林和以松(*Pinus*)、杉(*Taxodiaceae*)、栎类(*Quercus*)为主的针阔叶混交林. 栽培植被中, 粮食作物以水稻(*Oryza sativa*)为主, 还有小麦(*Triticum*)、豆类(*Leguminosae*)、红薯(*Ipomoea batatas* (L.) Lam), 经济作物有棉花(*Gossypium* spp.)、花生(*Arachis hypogaea*). 经济林有油桐(*Vernicia fordii*(Hemsl.))、茶(*Theaceae*)、油茶(*Camellia oleifera* Abel)、桑树(*Moraceae*)和乌桕(*Sapium sebiferum* (Linn.) Roxb.), 果木以桃(*Prunus persica*)、杏(*Prunus armeniaca*)、梨(*Pyrus pyrifolia*)、柑橘(*Citrus reticulata* Banco)为多<sup>[11]</sup>.

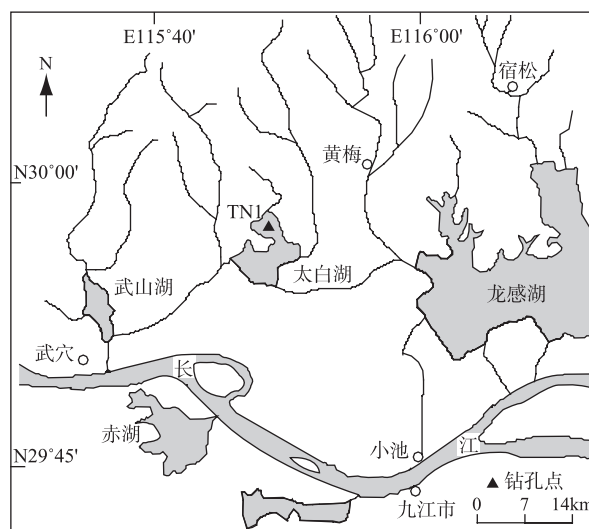


图 1 太白湖及采样点位置

Fig.1 Map of Lake Taibai and location of sampling site

## 2 样品采集与研究方法

2007年5月,利用奥地利产水上采样平台,在太白湖北部湖区采集了153cm长的柱状沉积岩芯(TN1孔),采样点位置为29°59'44.3"N, 115°48'26.5"E(图1),水深1.5m.沉积岩芯除上部约20cm岩性为灰黄色泥外,其余均为青灰色泥.岩芯以0.5cm间距分样,孢粉取样间距在上部103cm岩芯约为1cm,103cm以下岩芯取样间距为2cm,共取孢粉样品125个.

太白湖钻孔(TN1孔)的年代序列根据 $^{210}\text{Pb}$ 和AMS $^{14}\text{C}$ 年代建立. $^{210}\text{Pb}$ 测年在中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室完成,测试采用美国EG &G Ortec公司生产的高纯锗井型探测器与Ortec919四型谱控制器和IBM微机构成的16K多道分析器所组成的 $\gamma$ 谱分析系统.考虑到太白湖流域人类活动强度和降水量变化较大,沉积速率在近百年来的变化并不恒定,故采用CRS年代模式进行计算<sup>[12-13]</sup>,计算得沉积岩芯44.5cm处为1814年.AMS $^{14}\text{C}$ 测年在波兰的Poznań放射性 $^{14}\text{C}$ 测年实验室完成,其测年材料为植物大化石,获得2个AMS $^{14}\text{C}$ 测年数据,测年结果分别为104cm处的760±30BP和139cm处的1265±30BP,经CALIB 4.4程序<sup>[14]</sup>校正后的年代分别为1257±19AD和731±22AD.根据 $^{210}\text{Pb}$ 年代和两个AMS $^{14}\text{C}$ 测年进行线性内插和外推,获得沉积岩芯底部年代为520AD.

孢粉实验室前处理采用重液浮选法,并用1-2粒外加石松药片定量计算孢粉浓度,每粒药片约含石松孢子18583粒.炭屑的前处理与孢粉同步进行,仅在重液浮选前增加一步过125 $\mu\text{m}$ 的筛来获得>125 $\mu\text{m}$ 的炭屑,大炭屑与小炭屑的统计方法见文献[15].孢粉鉴定和统计在Leitz光学投射显微镜下完成的,各样品至少统计300粒,统计的孢粉分别用百分比和浓度表示.文中计算陆生植物(包括乔木、灌木、陆生草本)的花粉百分比时以陆生植物花粉总数为基数,水生草本、蕨类和藻类孢子的百分比以所有孢粉物种总数为基数.

## 3 孢粉分析结果

在研究的125个孢粉样品中,共鉴定出56987粒孢粉,分属119个孢粉类型(科、属、种).平均每个样品统计456粒,最多的统计了648粒.孢粉组合以乔木花粉和陆生草本花粉为主,其含量平均分别为48.1%和46.0%;灌木花粉含量较低,且在整个剖面中变化不大(2.3%-10.6%).乔木花粉主要有松属(*Pinus*)、落叶栎类(*Deciduous oaks*)、栲/石栎属(*Castanopsis/Lithorcarpus*)和常绿栎类(*Evergreen oaks*),其次是桦木属(*Betula*)、榆属(*Ulmus*)、栗属(*Castanea*)、胡桃属(*Juglans*)、枫香属(*Liquidambar*)、桤木属(*Alnus*)、杉/柏科(*Taxodiaceae/Cupressaceae*)、化香属(*Platycarya*)、悬铃木属(*Platanus*)等;灌木花粉主要是桑科(*Moraceae*)、柳属(*Salix*)和接骨木属(*Sambucus*);陆生草本以禾本科(*Gramineae*)、蒿属(*Artemisia*)、藜科(*Chenopodiaceae*)为主,其次有一定量的百合科(*Liliaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)、唇形科(*Labiatae*)等;水生草本主要是莎草科(*Cyperaceae*)和菱属(*Trapa*);蕨类孢子以铁线蕨属(*Adiantum*)和风丫蕨属(*Coniogramme*)为主;此外,还鉴定出了盘星藻(*Pediastrum*)和环纹藻(*Concentricystis*)两个藻类.

为了便于统计与研究,我们选择在剖面中最高百分含量超过1%且生态意义较大的孢粉类型,结合孢粉总浓度和炭屑指标,用Tilia软件绘制孢粉百分比图(图2).根据剖面孢粉组合特征与炭屑含量的变化,参考聚类分析CONISS结果,可将整个剖面划分为7个孢粉组合带.各带的变化特征按由老到新的顺序简述如下:

孢粉组合带 I, 153-140cm(520-720AD).带内阔叶乔木花粉含量相对较高(24.3%-29.2%),以常绿阔叶乔木占优势(13.2%-19.6%),主要是栲/石栎(7.1%-11.6%)和常绿栎类(5.2%-8.5%);落叶阔叶乔木相对较低(9.6%-13.6%),以落叶栎类(1.8%-5.7%)为主,另有一定量榆属、桦属、栗属、胡桃属、枫香属等;针叶乔木松属含量相对较低(12.9%-22.2%).陆生草本蒿属含量相对较高(19.2%-27.6%);藻类有一定含量(0.6%-2.0%).孢粉总浓度(指所有孢粉的总浓度,下同)相对较高,平均为 $6.6 \times 10^5$ 粒/ $\text{cm}^3$ .直径>125 $\mu\text{m}$ 的大炭屑浓度也相对较高,平均为56粒/ $\text{cm}^3$ ;直径<125 $\mu\text{m}$ 的小炭屑浓度非常低,平均仅为2.1 $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ .

孢粉组合带 II, 140-118cm(720-1050AD).与上带相比,本带阔叶乔木花粉含量有所降低(17.5%-28.2%),这主要由栲/石栎属含量降低引起(3.0%-6.2%),常绿栎类和落叶栎类花粉含量与上带相差不多,阔叶乔木中仍以常绿阔叶乔木稍多;松属花粉含量明显增加(19.7%-40.2%),并超过阔叶乔木花

粉的含量. 陆生草本花粉含量稍有减少. 孢粉总浓度有所增加, 平均为  $7.7 \times 10^5$  粒/cm<sup>3</sup>. 大炭屑浓度增加明显, 达整个剖面的最高值, 平均为 97 粒/cm<sup>3</sup>; 小炭屑浓度有所增加, 与孢粉总浓度同时在 131cm (850AD)附近出现峰值.

孢粉组合带 III, 118–98.5cm(1050–1310AD). 本带阔叶乔木花粉含量是整个剖面最高的(25.8%–41.2%), 这归因于阔叶乔木各属种花粉含量或多或少有所增加, 增加幅度较大的主要属种是落叶栎类、枫香属、栲/石栎属和常绿栎类, 其含量分别增加至 3.6%–11.8%、1.1%–2.7%、4.6%–7.1%和 8.1%–13.8%; 阔叶乔木中常绿与落叶含量相差不多. 松属花粉含量减少较多, 为 16.9%–23.8%. 陆生草本蒿属含量有所降低(11.4%–24.9%). 孢粉总浓度增加到整个剖面的最高值, 平均  $9.8 \times 10^5$  粒/cm<sup>3</sup>. 大炭屑浓度相对上带稍有降低, 但仍是高浓度阶段, 平均为 85 粒/cm<sup>3</sup>; 小炭屑浓度仍相对较低且波动不大.

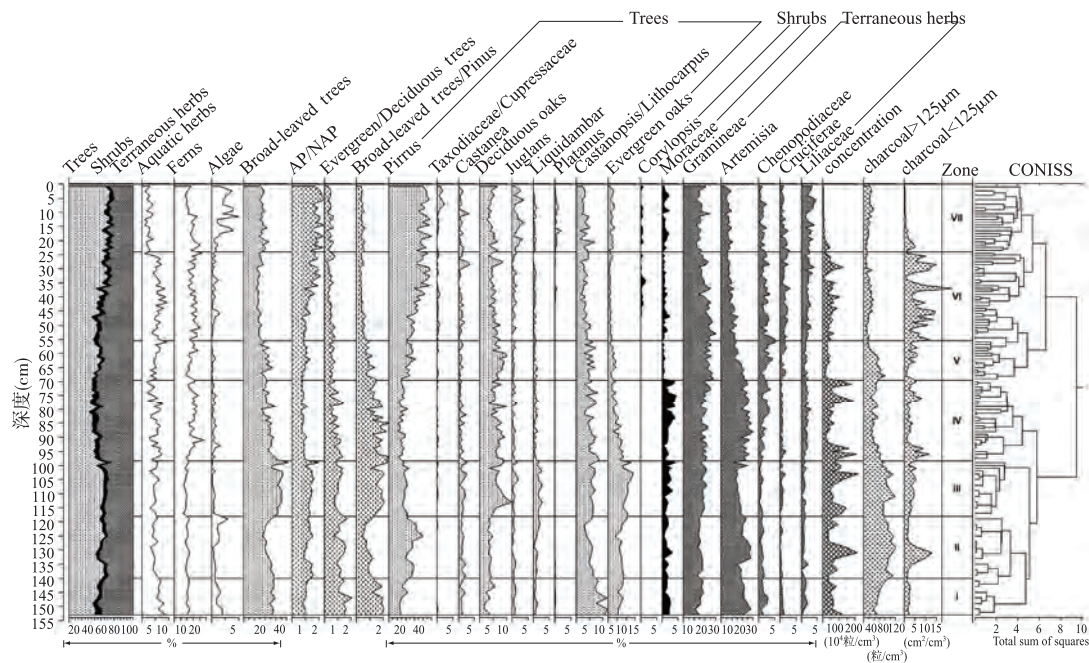


图 2 太白湖孢粉百分比图

Fig.2 Pollen percentage diagram in Lake Taibai

孢粉组合带 IV, 98.5–69.5cm(1310–1580AD). 阔叶乔木花粉含量相对上带逐渐降低(16.3%–31.4%), 常绿阔叶乔木比落叶阔叶乔木降低幅度更大, 以至落叶阔叶乔木含量稍多于常绿阔叶乔木; 常绿阔叶乔木中以常绿栎类含量降低最多(1.8%–8.4%), 栲/石栎属也稍有降低(3.0%–8.4%); 落叶阔叶乔木的降低主要表现为落叶栎类和枫香属含量的略有降低. 松属含量在上带基础上进一步降低, 为 10.6%–22.4%, 是整个剖面的最低值. 受阔叶乔木和松属含量同时降低的影响, 乔木花粉含量降低至整个剖面的最低值(31.6%–47.0%). 灌木花粉桑科含量增加到剖面的最高值, 平均为 2.4%. 陆生草本花粉含量增加(47.4%–60.5%), 主要表现在蒿属花粉含量明显增加, 达到 19.2%–29.7%. 以铁线蕨和凤丫蕨为主的蕨类孢子含量也相对较高, 达 9.4%–23.1%. 孢粉总浓度相对上带有所降低, 平均  $7.6 \times 10^5$  粒/cm<sup>3</sup>. 大炭屑浓度明显减少, 处于相对较低值, 平均为 42 粒/cm<sup>3</sup>; 小炭屑平均浓度变化不大, 但在本带下部和上部各有两个和孢粉总浓度相对应的峰值.

孢粉组合带 V, 69.5–55.5cm(1580–1710AD). 阔叶乔木花粉含量由于常绿阔叶乔木花粉含量进一步降低而稍有减少(15.3%–26.6%); 常绿阔叶乔木降低至 4.2%–10.8%, 仍以常绿栎类降低最明显(0.8%–4.2%); 落叶阔叶乔木花粉含量无明显变化. 松属花粉含量相对上带有所增加, 为 14.9%–31.4%. 灌木花粉桑科

含量降低至仅少量出现; 陆生草本花粉含量减少, 蒿属含量明显下降, 为 12.5%–21.4%; 禾本科花粉增加至整个剖面的最大值(18.8%–28.0%); 从此带开始十字花科花粉含量增加. 孢粉总浓度显著降低, 平均为  $2.7 \times 10^5$  粒/cm<sup>3</sup>. 大炭屑浓度比上带稍高(46 粒/cm<sup>3</sup>), 并具前期较高后期较低的特点; 小炭屑浓度稍有减少.

孢粉组合带 VI, 55.5–24cm(1710–1950AD). 本带落叶和常绿阔叶乔木花粉含量都是整个剖面最低的, 分别为 8.0%–14.3%和 2.2%–6.8%; 而松属花粉含量进一步增加, 为 21.0%–48.3%; 带内首次出现少量灌木花粉蜡瓣花属. 陆生草本花粉含量继续减少, 主要仍表现为蒿属含量的进一步降低(4.8%–15.8%); 十字花科和百合科有一定含量. 孢粉总浓度相对上带又明显增加, 平均为  $5.0 \times 10^5$  粒/cm<sup>3</sup>. 大炭屑浓度非常低, 平均仅 19 粒/cm<sup>3</sup>; 小炭屑浓度是整个剖面最高的, 平均为  $7.6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ , 但其波动较大.

孢粉组合带 VII, 24cm 以上(1950AD 至今). 落叶和常绿阔叶乔木花粉含量都稍有回升, 分别为 9.6%–14.8%和 2.6%–9.5%; 落叶阔叶乔木花粉含量增加主要是由于出现较多含量的胡桃属(0.6%–3.8%)和一定量悬铃木属(0%–1.9%); 常绿阔叶乔木花粉含量增加是其主要成分栲/石栎属和常绿栎类都稍有增加. 松属含量增加到剖面的最高值, 为 32.7%–50.0%; 出现一定量杉/柏科. 受松属花粉含量的影响, 本带的乔木花粉含量也是整个剖面最高的, 为 50.8%–66.2%, 大于陆生草本花粉含量. 灌木花粉仍有少量蜡瓣花属, 桑科、百合科含量稍有增加. 水生草本花粉含量首次明显降低(1.0%–4.0%); 而以盘星藻为主的藻类明显增多, 达剖面的最高值(0.5%–5.1%). 孢粉总浓度迅速降低至剖面的最低值  $9.9 \times 10^4$  粒/cm<sup>3</sup>. 大炭屑浓度与上带相差不多, 仍处于低值; 小炭屑迅速降低至剖面的最低值( $1.2 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ ).

#### 4 近 1500 年以来的植被变化、气候与人类活动

历史时期, 太白湖流域的植被一直受到人类活动的影响, 主要表现在森林砍伐与人类用火. 不同时期人类活动对植被的影响程度不同, 由于森林是可再生资源, 适度的砍伐不会导致森林破坏和引起森林类型的改变, 只有当进行大规模的森林砍伐或大面积的森林焚烧时, 才会使森林破坏. 火导致的森林面积减少会在湖泊沉积物中留下高浓度炭屑的证据, 因此根据孢粉组合的变化, 结合炭屑指标, 可以区分植被变化的主因是气候变化还是人类活动.

根据上述孢粉组合特征的变化, 推测太白湖流域近 1500 年以来的植被经历了 7 个较明显的演化阶段, 结合炭屑指标, 进一步探讨了植被变化与气候、人类活动的关系, 区分了不同阶段植被变化的主导因素.

第 1 阶段, 520–720AD: 本阶段阔叶乔木花粉含量相对较高, 以主要是栲/石栎属和常绿栎类的常绿阔叶乔木占优势, 落叶阔叶乔木含量相对较低, 针叶乔木松属含量也处于相对较低值, 孢粉总浓度相对较高. 推测此期研究区的植被类型为以栲/石栎和常绿栎类树种占优势的常绿阔叶林, 反映研究区气候相对温暖湿润.

已有研究表明<sup>[16-17]</sup>, 直径 $>125 \mu\text{m}$ 的炭屑绝大多数沉降在离火发生地 $<7 \text{ km}$ 的范围内, 超过这个距离很少有炭屑沉降; 而直径 $<125 \mu\text{m}$ 的炭屑可能会被传送到几百甚至几千公里的地方. 说明大炭屑(直径 $>125 \mu\text{m}$ )的浓度代表地方性火情况, 小炭屑(直径 $<125 \mu\text{m}$ )则主要反映区域性火活动事件. 本阶段大炭屑浓度相对较高, 小炭屑浓度非常低, 指示此阶段很少发生区域性的火, 仅湖泊周围约  $7 \text{ km}$  范围内常有火发生. 说明此期人类仍然主要聚居在湖滨和周围岗地, 人类的刀耕火种主要发生在居住地附近的山区, 以至在人类活动的作用下湖泊周围常产生规模较小的火; 而从整个区域来说, 离人类聚居地较远的山区很少受到人类活动的干扰, 植被以自然森林景观为主.

第 2 阶段, 720–1050AD: 阔叶乔木花粉由于受栲/石栎属含量降低的影响含量有所降低, 但常绿阔叶乔木花粉含量仍稍多于落叶阔叶乔木花粉, 松属含量明显增加并超过阔叶乔木花粉的含量, 陆生草本花粉含量稍有减少, 孢粉总浓度有所增加. 推测研究区植被类型为常绿、落叶针阔混交林. 此期植被类型的变化应仍然是受控于气候变化, 即相对上阶段本阶段气温有所下降、湿度减小, 因为如果是由于人类活动导致阔叶乔木减少、植被类型发生变化, 那此时人类活动的强度已超出森林的可再生能力范围, 在人类活动对森林的破坏强度持续增加的情况下, 森林面积只会更少, 不会再有恢复到之前森林植被繁茂的能力, 而随后第 3 阶段孢粉组合反映的森林植被比第 1 阶段更繁盛正说明了这一点. 同时大炭屑和小炭屑含量变化指示的此期人类聚居的湖泊周围地方性火频发, 而区域性火较上阶段发生的强度或频率可能

稍有增加, 也说明虽然人类活动的范围可能有所扩大, 强度有所增加, 但仍主要是在居住地周围的平原、丘陵进行农业种植, 在周围山地进行砍伐和刀耕火种, 其活动的强度还不至于使区域性的植被类型发生改变. 小炭屑含量指示在 850AD 前后研究区发生了一次大的区域性火, 这次火的发生可能与此时生物量高、气候相对较干旱有关.

第 3 阶段, 1050–1310AD: 本阶段落叶栎类、枫香属和常绿栎类的含量是整个剖面最高的, 以至落叶和常绿阔叶乔木花粉含量也是整个剖面最高的(两者含量相差不多), 松属花粉含量减少较多, 陆生草本中禾本科含量稍有增加, 而蒿属和藜科含量有所降低, 孢粉总浓度也增加到整个剖面的最高值. 推测太白湖流域的植被又恢复为含有较多落叶栎类和枫香树种的常绿阔叶林, 并且森林植被比第 1 阶段更繁盛. 说明此阶段及之前人类活动对研究区的区域性植被干扰较少, 当气候条件有利于阔叶乔木生长时, 森林植被又恢复成地带性植被. 植被类型的变化反映此期气候较第 1 阶段更加温暖湿润. 炭屑指标指示此阶段火情况与上阶段相差不多, 仍是区域性火较少发生, 而湖泊周围的地方性火发生较频繁. 说明此期人类活动仍主要发生在居住地附近的平原、丘陵及山区, 对离居住地较远的森林影响较少, 区域性的天然火也较少发生, 这与气候湿润相对应.

第 4 阶段, 1310–1580AD: 孢粉组合反映此期研究区的生物量虽然仍然比较丰富, 但原始森林面积明显减少, 并以常绿阔叶乔木和松树减少为主, 林中以落叶阔叶乔木占优势. 本研究区全新世以来气候变冷的幅度仅会导致针叶乔木与阔叶乔木相互更替<sup>[18]</sup>, 此阶段松树与阔叶乔木花粉含量同时减少指示了人类对松树的砍伐作用加强, 这与明朝时大量砍伐杉、松巨木相应<sup>[19]</sup>, 常绿阔叶乔木花粉含量明显减少指示了气温降低、降水减少. 大炭屑含量处于相对较低值, 小炭屑含量仍不高, 指示此期地方性和区域性火发生率相对较低, 进而说明人类刀耕火种的强度不比前几个阶段大, 人类活动的范围也应仍在居住地周围及近山地区. 由此我们可以认为, 此期原始森林面积的明显减少虽然与人类大规模的森林砍伐有密切关系, 但气温降低、降水减少的气候变化也起了不可忽视的作用.

第 5 阶段, 1580–1710AD: 常绿阔叶乔木因常绿栎类含量明显减少而进一步降低, 落叶阔叶乔木花粉含量无明显变化, 松属花粉含量相对上阶段有所增加, 并超过阔叶乔木花粉含量, 孢粉总浓度处于较低值. 说明此期常绿阔叶乔木继续减少, 生物量大大降低, 但次生松林开始恢复, 植被类型为以落叶栎类、次生松为主的针阔混交林. 禾本科与十字花科花粉含量增加, 可能指示了人类耕作活动加强<sup>[20]</sup>. 大炭屑含量稍有增加, 小炭屑含量稍有减少, 指示湖泊周围的地方性火发生频率增加, 区域性火仍较少发生. 说明虽然在居住地附近的人类活动强度可能有所增强, 但其活动范围与此前各阶段相似, 主要仍集中在近山地区, 山区腹地林木应保存较好. 这与史立人<sup>[19]</sup>根据历史记载得出自宋代至明代的六百多年间, 长江流域山丘开发力度加大, 水土流失初露端倪并有所发展, 但由于人类活动造成的长江流域的水土流失主要还集中在近山地区的结论相一致. 在这种人类活动强度的影响下, 森林砍伐和刀耕火种应不至于使此期的原始森林面积迅速减少、生物量大大降低, 气候变冷应加速了这一结果的形成.

第 6 阶段, 1710–1950AD: 本阶段落叶和常绿阔叶乔木花粉含量都是整个剖面最低的, 松属花粉含量逐渐增加到较高值, 陆生草本花粉含量继续减少, 孢粉总浓度相对上阶段又明显增加. 推测此期森林中阔叶乔木所占比例为近 1500 年以来最小的, 相对上阶段森林面积有所增加, 但属于次生林的面貌, 植被类型为以次生松为主的针阔混交林. 大炭屑含量非常低, 小炭屑含量是整个剖面最高的, 指示湖泊周围的地方性火很少发生, 而区域性火是近 1500 年以来发生最频繁的, 而且火的强度也大. 这可能是湖泊周围人类聚居地附近的森林已砍伐殆尽, 在经过前期的刀耕火种后, 居住地周围的平原、丘陵和低山区都已开发成农田, 并对其进行精耕细作, 以至此期湖泊沉积物中的大炭屑含量非常低. 人类在将居住地周围山地的森林砍伐殆尽后, 为了继续生存和经济发展的需要, 必然会进入离居住地更远的深山砍伐, 而且随着清代以来长江流域人口的迅速增长, 必然要求增加土地面积, 扩大种植范围, 这导致人类不得不进入深山进行垦荒, 使地广人稀的深山区成为此期人口压力的缓冲区, 但该区土地瘠薄, 以旱地为主, 多“刀耕火种”<sup>[21]</sup>, 这与明代后期北方移民引入玉米、马铃薯及红薯等耐旱高产作物并得到广泛推广相一致<sup>[22]</sup>. 深山区的开发、山地和坡地旱作农业的发展造成水土流失倍增, 这在磁化率和元素指标中表现为从此期开始迅速增加(另有文章发表). 从清代太白湖流域的人口与耕地(据邹怡等, 资料未发表)数据可以



清楚地看出, 在清代的 200 多年间, 太白湖流域人口由清初不到 60 万人, 骤然增长到清朝盛期的 140 万人以上; 耕地面积由清初不到 150 万亩迅速增长为清朝盛期的 185 万余亩. 至此, 人类活动已遍及长江中下游整个区域, 已是“深山邃谷到处有人, 寸地皆耕”. 这与史立人<sup>[19]</sup>认为“清初, 特别是清代中叶以来, 长江流域人口急增, 进入深山垦殖、烧炭、伐木, 规模空前”一致. 此阶段人类活动非常强烈、活动范围扩大到整个区域的深山, 为区域火的频繁发生提供了条件, 以至小炭屑含量是整个剖面最高的. 孢粉组合是人类活动强烈影响的结果, 反映的气候信号较弱, 但从此期生物量有所增加, 次生松林恢复较好, 似乎仍可推测气温可能稍有回升, 只是仍处于较寒冷的时期.

第 7 阶段, 1950AD 以来: 落叶和常绿阔叶乔木花粉含量都稍有回升, 松属含量增加到剖面的最高值, 以至乔木花粉含量占绝对优势, 孢粉总浓度迅速降低至剖面的最低值. 推测此期研究区生物量非常低, 植被类型与现在基本相同, 为以次生松、栎类为主的针阔混交林. 出现较多含量的胡桃属、一定量的杉/柏科和悬铃木属花粉, 桑科和百合科花粉含量也稍有增加, 指示了人类活动方式发生了一定改变, 开始进行一定规模的经济作物和景观植物的栽培. 水生草本花粉含量首次明显降低, 以盘星藻为主的藻类明显增加, 说明湖泊中营养物质增多, 湖泊发生了富营养化. 这与董旭辉等<sup>[23]</sup>通过硅藻记录定量重建太白湖 400 多年来总磷变化的研究中, 认为从 20 世纪 50 年代开始总磷出现快速增加, 湖泊开始富营养化的结论是一致的. 这可能是自新中国成立以来, 大规模农业灌溉系统建设、湖泊专业养殖和湖滨地带大面积土地围垦, 以及 70 年代以来该地区农业 N、P、K 化肥的大量使用有关, 流域内工业废水污染物排放等原因导致的. 非常低的生物量应是该区滥伐林木、过度樵薪、超载度牧等短期行为<sup>[19]</sup>的后果. 炭屑指标反映研究区周围及整个流域的火灾发生少, 这与本期人类活动方式发生明显改变, 即由原始的刀耕火种改为现代化的农业种耕, 如化学肥料的使用等密切相关. 虽然强烈的人类活动使孢粉组合指示的气候信息相对较弱, 但根据此期落叶和常绿阔叶乔木有所恢复, 次生松林生长较好, 以及多种经济作物与观赏植物的栽培, 可以认为研究区的气候应该相对较适宜, 结合其他研究<sup>[24-27]</sup>认为此期气候相对温暖湿润.

## 5 讨论与结论

太白湖 TN1 孔总长 153cm 岩芯的孢粉组合与炭屑指标, 揭示了近 1500 年以来太白湖流域的植被经历了 7 个阶段的变化, 对引起植被发生这种变化的主导因素探讨认为人类活动的方式与强度对植被的影响总的来说可以以 1310AD 和 1710AD 为界分成影响相对较弱、影响逐渐增强和影响非常强烈的 3 个时段.

520-1310AD 期间, 植被变化主要受气候变化的控制, 人类活动的影响相对较弱. 人类主要在平原和丘陵区进行农业种植, 在周围低山区进行森林砍伐, 对离居住地较远的森林影响较少. 此期孢粉组合反映气候具有两个暖期一个冷期. 即 520-720AD 期间, 气候相对温暖湿润, 这一温暖期在时间上相应于隋唐暖期. 虽然隋唐是否存在暖期, 迄今仍有争论<sup>[28-31]</sup>, 但从我们的研究可以看出, 隋唐时期的温暖气候是存在的, 只是它没有贯穿整个隋唐时期, 即仅在 520-720AD 期间的隋至盛唐时段较温暖, 而在 720-1050AD 期间的唐朝后期则是一个相对较寒冷的时期, 这个寒冷期相当于张平中等认为的唐朝末年弱季风期(the Late Tang Weak Monsoon Period, 850-940AD)<sup>[32]</sup>. 隋唐时期的这种气候变化与葛全胜等<sup>[24-25, 33-34]</sup>、吴宏歧等<sup>[31]</sup>的研究结果也基本一致. 1050-1310AD 期间, 是近 1500 年以来气候最温暖湿润的时期, 在时间上与“中世纪暖期”基本相当.“中世纪暖期”是指 900-1300AD 出现在欧洲及北大西洋临近地区的相对温暖气候阶段, 当时这些地区的温度与 20 世纪后期相当或略高一些<sup>[35]</sup>. 而在我们的研究中, 此期的温暖程度比隋唐暖期更高, 在葛全胜等<sup>[25]</sup>的研究中也有与之相似的结论.

1310-1710AD 期间, 人类活动影响强度增加, 不同用途的森林砍伐和刀耕火种范围扩大, 但仍主要集中在近山地区, 山区腹地林木保存较好, 对植被的影响为以自然控制为主向人类活动驱动为主转化的过渡期. 孢粉组合反映的气候在 1310-1580AD 期间, 气温降低、降水减少. 此期的降温相应于万象洞石笋氧同位素反映的元朝末年弱季风期(the Late Yuan Weak Monsoon Period, 1350-1380AD)<sup>[32]</sup>. 1580-1710AD 期间, 为近 1500 年以来最寒冷的时期, 这与武都万象洞石笋的氧同位素最高值期一致, 即为明朝末年弱季风期(the Late Ming Weak Monsoon Period, 1580-1640AD)<sup>[32]</sup>. 这个阶段包含了葛全胜等<sup>[33]</sup>

根据历史文献重建的过去 2000 年以来的最冷期与刘健等<sup>[36]</sup>模拟的 1000 年以来的温度最低期。

1710AD 以来, 植被变化以人类活动驱动为主, 反映的气候信号相对较弱。在 1710–1950AD 期间, 由于人口激增与旱作农业发展, 使得人类活动非常强烈, 商业砍伐与刀耕火种的范围扩展到区域的深山老林。在气候变化方面, 孢粉组合似乎仍能反映此期气温稍有回升, 但仍处于较寒冷的时期。1950AD 以来, 人类活动的生产方式发生了明显的改变, 由原始的刀耕火种改为现代化的农业种耕, 如化学肥料的使用等, 同时进行了一定规模的经济作物和景观植物的栽培。根据孢粉组合的变化, 参考其他研究结果<sup>[24-27]</sup>认为此期气候相对温暖湿润。

1310–1950AD 期间三个连续的冷期在时间上大致相当于小冰期, “小冰期”一般指 16–19 世纪中期欧洲山地冰川前进及气候相对寒冷的阶段, 但若将小冰期理解或定义为大尺度的气候寒冷事件, 其起迄时间应为 15–19 世纪<sup>[37]</sup>。而中国对“小冰期”气候的研究极为丰富, 对此寒冷阶段出现的起迄时间, 不同研究者的结论并不完全一致<sup>[38-41]</sup>。本研究中小冰期的起始时间与葛全胜等<sup>[24-25, 33-34]</sup>认为中国的小冰期寒冷气候应起于 14 世纪早期(1320s), 以及刘健等<sup>[36]</sup>模拟的起始时间为 1300 年存在非常好的一致性。本文把 1950AD 定为距今最近的冷期的结束时间, 与刘健等<sup>[36]</sup>模拟的小冰期止于 1850 年相差较多, 与葛全胜等<sup>[24-25, 33-34]</sup>认为小冰期止于 20 世纪初(1910s)的结论也有一定出入, 这可能是由于自 1710 年以来研究区强烈的人类活动对区域植被破坏非常大, 植被变化的主导因素由气候变化转为人类活动, 以至植被无法对气候好转做出及时响应原因。

致谢: 中国科学院南京地理与湖泊研究所吴艳宏研究员、吴敬禄研究员、薛滨研究员、潘红玺高级工程师、张思楼副研究员和刘恩峰副研究员等参加了野外采样, 夏威夷高级工程师提供了 <sup>210</sup>Pb 测年数据, 在此一并感谢!

## 6 参考文献

- [1] 安成邦, 陈发虎, 冯兆东. 甘青地区中晚全新世植被变化与人类活动. 干旱区地理, 2002, **25**(2): 160-164.
- [2] 许清海, 杨振京, 崔之久等. 赤峰地区孢粉分析与先人生活环境初探. 地理科学, 2002, **22**(4): 453-457.
- [3] 沈吉, 杨丽原, 羊向东等. 全新世以来云南洱海流域气候变化与人类活动的湖泊沉积记录. 中国科学(D 辑), 2004, **34**(2): 130-138.
- [4] 羊向东, 沈吉, Jones RT 等. 云南洱海盆地早期人类活动的花粉证据. 科学通报, 2005, **50**(3): 238-245.
- [5] Lupo LC, Bianchi MM, Aráoz E *et al.* Climate and human impact during the past 2000 years as recorded in the Lagunas de Yala, Jujuy, northwestern Argentina. *Quaternary International*, 2006, **158**: 30-43.
- [6] Patterson WA, Edwards KJ, Maguire DJ. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Review*, 1987, **6**(1): 3-23.
- [7] Millspaugh SH, Whitlock C. A 750yr fire history based on lake sediment records in central Yellowstone National Park. *The Holocene*, 1995, **5**: 283-292.
- [8] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998: 107-236.
- [9] 黄冈地区水利志编纂委员会、湖北省黄冈市水利局. 黄冈地区水利志. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [10] 刘恩峰, 羊向东, 沈吉等. 近百年来湖北太白湖沉积通量变化与流域降水量和人类活动的关系. 湖泊科学, 2007, **19**(4): 407-412.
- [11] 王映明. 湖北植被区划(下). 武汉植物学研究, 1985, **38**(2): 165-176.
- [12] Appleby PG, Oldfield F. The calculation of <sup>210</sup>Pb dates assuming a constant rate of supply unsupported <sup>210</sup>Pb to the sediment. *Catena*, 1978, **5**: 1-8.
- [13] William ML, John PS. Tracking environment change using lake sediment, Volumn 1: basin analysis, coring, and chronological techniques. Kluwer Academic Publishers, 2004: 186-188.
- [14] Stuiver M, Reimer PJ. Extended <sup>14</sup>C data base and revised 3.0 <sup>14</sup>C age calibration program. *Radiocarbon*, 1993, **35**: 215-230.
- [15] 李小强, 周新鄂, 尚雪等. 黄土炭屑分级统计方法及其在火演化研究中的意义. 湖泊科学, 2006, **18**(5): 540-544.
- [16] Whitlock C, Millspaugh SH. Testing assumptions of fire history studies: an examination of modern charcoal accumulation in



- Yellowstone National Park. *The Holocene*. 1996, **6**: 7-15.
- [17] Smol JP, Birks HJB, Last WM eds. Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators. The Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001: 75-97.
- [18] 刘金陵, Chang WYB. 根据孢粉资料推论长江三角洲地区 12 000 年以来的环境变迁. 古生物学报, 1996, **35**(2): 136-154.
- [19] 史立人. 长江流域水土流失的历史演变与发展趋势探讨. [http://www.swcc.org.cn/page2\\_view.asp?id=6852](http://www.swcc.org.cn/page2_view.asp?id=6852).
- [20] 李宜垠. 人类活动的孢粉指示体. 科学通报, 2008, **53**(9): 991-1002.
- [21] 龚胜生. 清代两湖地区人口压力下的生态环境恶化及其对策. 中国历史地理论丛, 1993, **1**: 69-94.
- [22] 张建民. 明清长江流域山区资源开发与环境演变. 武汉: 武汉大学出版社, 2007: 302-309.
- [23] 董旭辉, 羊向东, 刘恩峰. 湖北太白湖 400 多年来沉积硅藻记录及湖水总磷的定量重建. 湖泊科学, 2006, **18**(6): 597-604.
- [24] 郑景云, 葛全胜, 方修琦. 从中国过去 2000 年温度变化看 20 世纪增暖. 地理学报, 2002, **57**(6): 631-638.
- [25] 葛全胜, 郑景云, 满志敏等. 过去 2000 年中国温度变化研究的几个问题. 自然科学进展, 2004, **14**(4): 449-455.
- [26] Bradley RS. Instrumental Records of past global change. In: Bradley RS ed. Global change of the past. Boulder, Colorado: UCAR/Office for Interdisciplinary Earth Studies, 1989, **1**: 103-116.
- [27] Jones PD, Mann ME. Climate over past millennia. *Reviews of Geophysics*, 2004, **42**: 1-42.
- [28] 竺可桢. 中国近五千年气候变迁的初步研究. 中国科学, 1973, (2): 168-189.
- [29] 姚檀栋, Thompson LG. 敦德冰芯记录与过去 5 ka 温度变化. 中国科学(B 辑), 1992, **10**: 1089-1093.
- [30] 满志敏. 关于唐代气候冷暖问题的讨论. 第四纪研究, 1998, **25**(1): 20-30.
- [31] 吴宏岐, 党安荣. 隋唐时期气候冷暖特征与气候波动. 第四纪研究, 1998, **25**(1): 31-38.
- [32] Zhang PZ, Cheng H, Edwards RL *et al*. A test of climate, sun, and culture relationships from an 1810-year chinese cave record. *Science*, 2008, **322**: 940-942.
- [33] 葛全胜, 郑景云, 方修琦等. 过去 2000 年中国东部冬半年温度变化. 第四纪研究, 2002, **22**(2): 166-173.
- [34] 郑景云, 王绍武. 中国过去 2000 年气候变化评估. 地理学报, 2005, **60**(1): 21-31.
- [35] Mann ME. Medieval Climatic Optimum. In: MacCracken MC *et al* eds. Encyclopedia of Global Environmental Change, Volume 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2002: 504.
- [36] 刘 健, Storch H, 陈 星等. 千年气候模拟与中国东部温度重建序列的比较研究. 科学通报, 2005, **50**(20): 2251-2255.
- [37] Mann ME. Little Ice Age. In: MacCracken MC *et al* eds. Encyclopedia of global environmental change, Volume 1, The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2002: 504.
- [38] 洪业汤, 姜洪波, 李汉鼎等. 近 5ka 以来的金川泥炭  $\delta^{18}\text{O}$  记录. 中国科学(D 辑), 1997, **27**(6): 525-530.
- [39] 罗建育, 陈镇东. 台湾高山湖泊沉积记录指示的近 4000 年气候与环境变化. 中国科学(D 辑), 1997, **27**(4): 336-372.
- [40] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 中国小冰期的气候. 第四纪研究, 1998, (1): 54-62.
- [41] 王苏民, 刘 健, 周 静. 我国小冰期盛期的气候环境. 湖泊科学, 2003, **15**(4): 369-376.