

云南洱海盆地早期人类活动的花粉证据

羊向东 沈吉 R. T. Jones 王苏民 童国榜 张振克

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; Department of Geography, University of Exeter, Exeter EX4 4RJ, UK; 地质矿产部水文地质与工程地质研究所, 石家庄 050061; 南京大学城市与资源学系, 南京 210093. E-mail: xdyang@niglas.ac.cn)

摘要 云南洱海钻孔沉积物花粉提供了流域人类活动的证据。精确的 AMS ^{14}C 年代序列的建立使得花粉结果与考古、史料记载可以比较。早期人类毁林开始于约 5500 aBP(^{14}C), 以流域垂直植被带谱的退化和次生松林的形成标志。人类活动最初表现为对森林植被的选择性砍伐。毁林导致了流域地表径流的增加和侵蚀作用的加强。牧草、作物等草本花粉的出现和增加反映早期畜牧业和原始农业耕作的存在。有限的人类活动和适宜的气候使得次生松林得以迅速繁荣, 土壤侵蚀也随之降低。花粉浓度显示的严重的毁林时期出现在 2160 aBP(^{14}C)后, 与历史资料记录的人口快速膨胀、第 1 个县制建立的开始时间相一致。农业的发展使得耕作土壤侵蚀不断加强, 入湖细颗粒物质和营养物质增多。人类严重毁林引起的生态系统的脆弱性也更突出。花粉揭示的人类活动开始时间早于研究区最老的考古年代约 1500 年(^{14}C)。

关键词 花粉 植被 人类活动证据 洱海

湖泊沉积孢粉, 与考古和历史记录以及其他沉积物指标和数值分析手段结合, 已广泛用于史前和历史时期人类活动和湖泊流域生态响应的研究, 包括森林砍伐、土地利用、土壤侵蚀、人口迁徙和湖泊富营养化等^[1-5]。一些孢粉证据显示, 人类土地利用历史远早于考古档案的记录^[6]。在云南地区, 徐仁^[7]曾注意到在 4000 ka前洱海流域北部西湖沉积物中栎树花粉数量突然减少, 并认为与人类大量砍伐栎树和烧碳有关; 宋学良等人^[8]通过云南中部杞麓湖沉积物花粉分析, 得出 3600 aBP(^{14}C)后阔叶树花粉的减少可能是早期人类对森林树种选择性砍伐的结果; 张振克等人^[9]通过洱海沉积物指标的研究, 将近几千年环境指标的突变与原始农业耕作相联系。考古学的证据也表明云南的新石器至少出现在 4 kaBP(^{14}C)前, 青铜器大约出现在 3 kaBP(^{14}C)后^[10-13]。然而云南地区迄今为止只有少数比较完整的中晚全新世孢粉序列^[14], 主要用于对古植被和气候的解释, 人类孢粉学的证据只限于零星报道。而且在对环境解释的过程中, 测年的精度、沉积物的缺失可能是主要限制因素^[15]。本文主要通过洱海钻孔沉积物高分辨率孢粉分析, 在精确的年代序列建立基础上, 结合数理统计分析手段, 以及洱海地区考古、历史记录和沉积物粒度、磁化率环境指标, 提供洱海盆地详细的人类活动的信息, 探讨该区早期人类活动方式、不同时期流域和湖泊生态对人类活动的响应特点。

1 研究点概况

洱海(25°36'~25°58'N, 100°05'~100°18'E)位于云南高原西北部横断山区, 大理市东面。西岸点苍山通常在 2800~3300 m 的高度, 最高峰 4112 m, 东岸为丘陵地带, 山地自然植被的垂直分带较为明显^[16]。但由于人类的干扰, 部分地带自然植被已被破坏, 现山麓坡地森林中主要由云南松(*Pinus yunnanensis*)和落叶栎(*Quercus*)组成, 在冲积扇和湖滨地带均由耕作灌溉农业所取代。周围基岩以沉积岩和变质岩为主, 发育碳酸岩、片麻岩和硅质岩^[17], 地带性土壤为红壤。洱海属断陷湖盆, 湖泊外形呈 NNW~SSE 分布。湖泊水位 1973.7 m, 面积 149.8 km², 流域面积 2785 km², 流域面积与湖泊面积之比为 10.6。洱海最大水深 20.7 m, 平均水深 10.2 m(图 1)。湖水主要依靠大气降水和入湖径流补给, 入湖河流共 117 条, 但多为短小暂时性溪流, 如湖西苍山 18 溪。主要入湖河流为北部的弥苴河、罗时江和东南部的波罗江, 出流河仅西南端的西洱河, 并汇入漾濞江。由于洱海北部水底地形相对平坦, 且沉积物受入湖河流弥苴河三角洲的影响, 沉积速率相对较快, 因此研究点孔位选择在洱海北部中心部位, 喜洲村东面(图 1)。

2 材料与方法

于 2001 年 4 月, 在水深 10.8 m 处用采样平台和活塞采样器(PVC 管内径 60 mm, 长度 2 m)采得一长

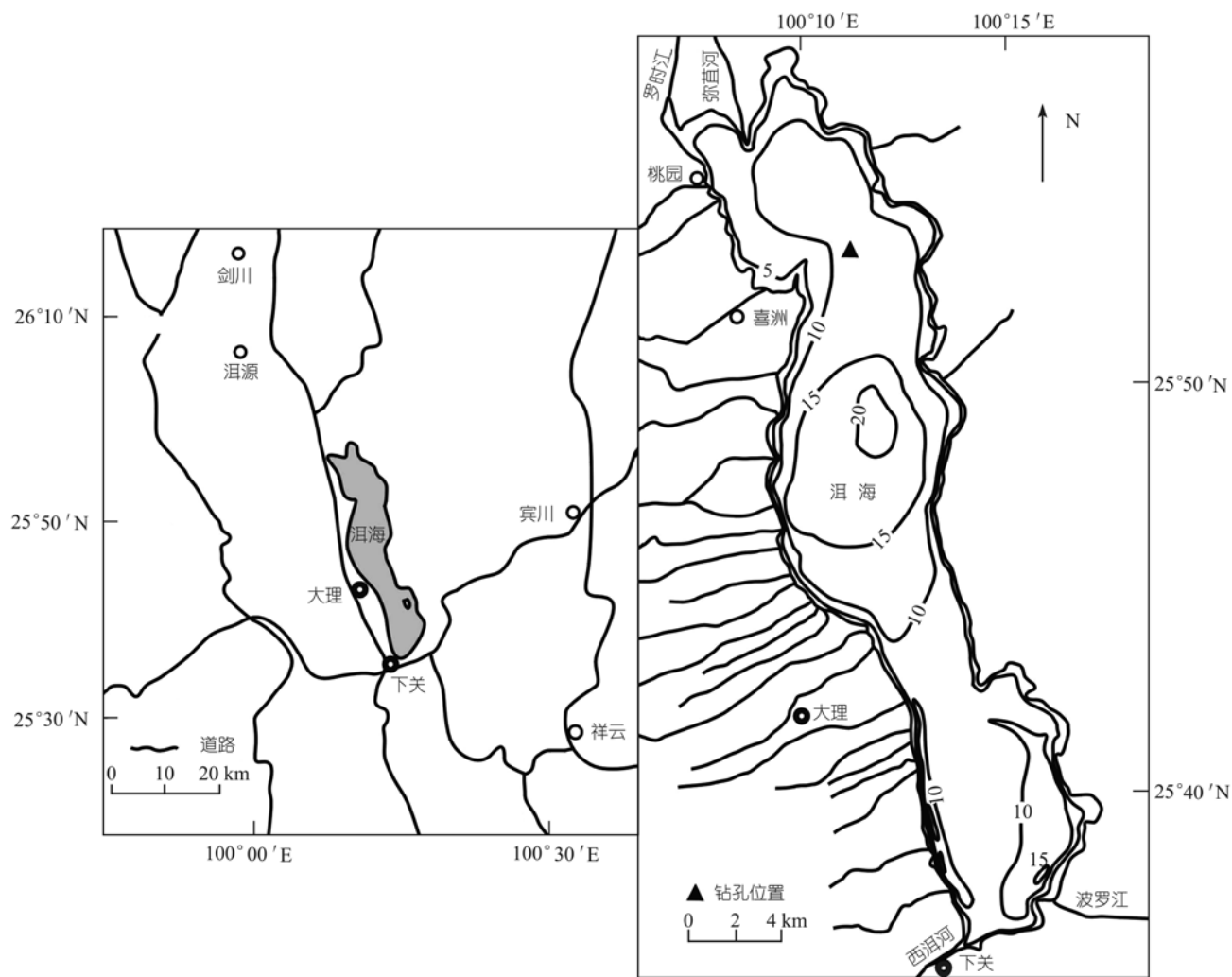


图 1 洱海沉积钻孔位置图

6.62 m 的沉积柱, 野外现场对钻孔沉积物进行分样。由于上部沉积物较软, 1.45 m 以上样品用顶芯杆提取, 1.45 m 以下将岩芯管破开进行采样。所有样品的野外采集间距均为 1cm。为研究需要, 本文重点对 480 cm 以上的沉积物指标进行叙述。

实验室取 3~5 g 亚样进行孢粉分析, 共分析 178 个样品。孢粉采用传统的实验方法, 即依次用 10% 盐酸、15% 氢氧化钠和重液进行提取。所有样品中孢粉保存很好, 且数量很多。每个样品孢粉统计在 400~650 粒之间, 用于计算花粉含量的总数至少有 300 粒, 不包括莎草科(Cyperaceae)、水生植物花粉和蕨类孢子, 后三者表示为占总孢粉的百分比。花粉浓度用外加石松孢子(*Lycopodium*)法进行计算。降维对应分析(Detrended correspondence analysis, DCA)用于

对花粉含量数据的处理, 通过样品点在DCA排序轴上的分布特征, 揭示影响植被发育的潜在影响因子^[18]。DCA分析用CANOCO 4.0 执行^[19]。

其他指标包括粒度和磁化率。粒度样品 0.5 g 经 10% 的 H_2O_2 和 5% 的 HCl 预处理后, 用英国 Malvern Instruments Ltd. 生产的 Master Sizer 2000 型激光粒度分析仪测试, 挑选粒级 $<8\ \mu\text{m}$ 和 $>65\ \mu\text{m}$ 的粒度指标和中值粒径用于分析; 磁化率用英国 Bartington 公司生产的 MS2 型磁化率仪测定, 选用频率磁化率指标。钻孔 480 cm 以上沉积物年代样品 5 个, 共测得 8 个有机质 AMS ^{14}C 年龄数据 (表 1), 其中 3 个层位样品进行了重复测试。所有年代均在日本东京大学放射性碳素年代测定室完成。 ^{14}C 年龄依据 Stuiver 等人^[20]发表的 INTCAL 98 软件进行年代校正。

3 结果

3.1 岩性与年代

钻孔沉积物顶部 10 cm 为棕红色黏土, 与洱海周围耕作红壤类似. 10 cm 以下为棕黄色黏土, 60~480 cm 为暗灰色黏土质粉砂. 表 1 中, 同一个样品的两个年龄值相差很小, 故用平均值表示该样品层位的年龄. 对于 ^{14}C 年龄校正值, 同样用平均值表示. 洱海钻孔样品的 ^{14}C 年代显示出沉积物年龄随深度而增加. 尽管云南一些湖泊沉积物中有机碳可能存在硬水的影响^[21], 但在洱海钻孔中这种误差可以忽略, 因为花粉揭示的一些重要毁林事件与历史记载的人为事件在时间上有很好的-一致性(见讨论部分). 连续的 ^{14}C 年代和校正年代的地层序列通过相邻年代的内插建立. 总体上, 钻孔 480 cm 以上, ^{14}C 年代计算的平均沉积速率为 0.54 mm/a, 每 cm 的年代分辨大约为 18 年左右.

3.2 花粉组合特征

洱海钻孔沉积物中花粉主要以木本为主. 针叶树花粉以松(*Pinus*)和铁杉(*Tsuga*)占绝对优势; 阔叶树花粉以山毛榉科(Fagaceae)为主, 常伴有其他落叶阔叶属种如桦(*Betula*)、胡桃(*Juglans*)、枫杨(*Pterocarya*)等, 桑(*Morus*)、木犀榄(*Olea*)等在个别层位中有少量出现.

由于云南山地山毛榉科的常绿阔叶种类复杂, 光学显微镜下属级花粉类型形态区分相对比较困难, 其中青冈栎(*Cyclobalanopsis*)与栎属中的常绿硬叶类型花粉形态基本一致^[22], 因此在钻孔沉积物中, 为便于讨论, 将以上花粉类型暂归为青冈栎和栎的组合类型(*Cyclobalanopsis/Quercus*); 此外, 石栎(*Lithocarpus*)与栲(*Castanopsis*)的花粉形态也很难分辨,

考虑到它们的生境特点比较接近, 因此用栲来表示两者的总含量. 灌木花粉在钻孔剖面中丰度较低, 以蔷薇(*Rosa*)、杜鹃(*Rhododendron*)、忍冬(*Lonicera*)、绣线菊(*Spiraea*)、接骨木(*Sambucus*)叶下株(*Phyllanthus*)等花粉为常见; 草本花粉种类很多, 除蒿(*Artemisia*)、禾本科(Gramineae)以外, 其他种类含量都很低, 其中藜科(*Chenopodiaceae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、唇形科(*Labiatae*)、玄参科(*Scrophulariaceae*)、车前(*Plantago*)、马鞭草科(*Verbenaceae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、血水草(*Eomecon*)等在地层中比较普遍. 水生植物花粉以狐尾藻(*Myriophyllum*)占优势.

花粉含量的变化显示(图 2), 250 cm 左右是一个显著的界限, 据此划分为 2 个花粉组合带. 在花粉带 (480~250 cm, 8840~5589 aBP(^{14}C), 9930~6370 aBP(cal)), 木本和灌木花粉(AP)含量在 75%~90%之间, 其浓度为剖面峰值段, 以铁杉、青冈栎/栎、栲为组合特征, 尽管青冈栎/栎和栲的含量有小的波动, 但由于它们组成的常绿阔叶属种的总含量保持相对稳定. 草本中血水草、马鞭草科有一定含量, 与带 相比, 蒿、禾本科含量偏少.

花粉带 (250 cm 以上) 以松的含量的增加、铁杉和常绿阔叶树类型含量的降低为特色. 从花粉浓度、草本和松的含量变化上又可细分为 3 个组合亚带.

亚带 -1(250~160 cm, 约 5590~3640 aBP(^{14}C), 6370~3950 aBP(cal)) 木本含量有所明显降低, 松的含量呈增加趋势. 本亚带草本花粉含量有所增高, 禾本科、蒿和水生花粉狐尾藻含量第 1 次出现较大幅度的上升. 一些花粉类型如木犀榄、忍冬、英迷(*Viburnum*)、藜科、车前、唇形科和玄参科等, 在本带开始频繁出现, 尽管含量很低. 值得注意的是, 从

表 1 洱海沉积钻孔 ^{14}C 年代和校正值

实验室编号	深度/cm	^{14}C 年代/aBP	^{14}C 平均值/aBP)	$^{13}\text{C}/^{14}\text{C}$ (比值)	校正年代/aBP(cal)	平均校正值/aBP(cal)
Tka-12195	60	1940±70 1890±70	1915	-26.1	1878	1845
Tka-12217					1812	
Tka-12196	120	2590±80 2690±80	2640	-26.7	2650	2728
Tka-12218					2806	
Tka-12197	230	5360±130 5370±110	5365	-27.7	6148	6133
Tka-12001					6118	
Tka-12198	360	6860±80		-28.3	7682	7682
Tka-12199	480	8840±90		-26.4	9930	9930

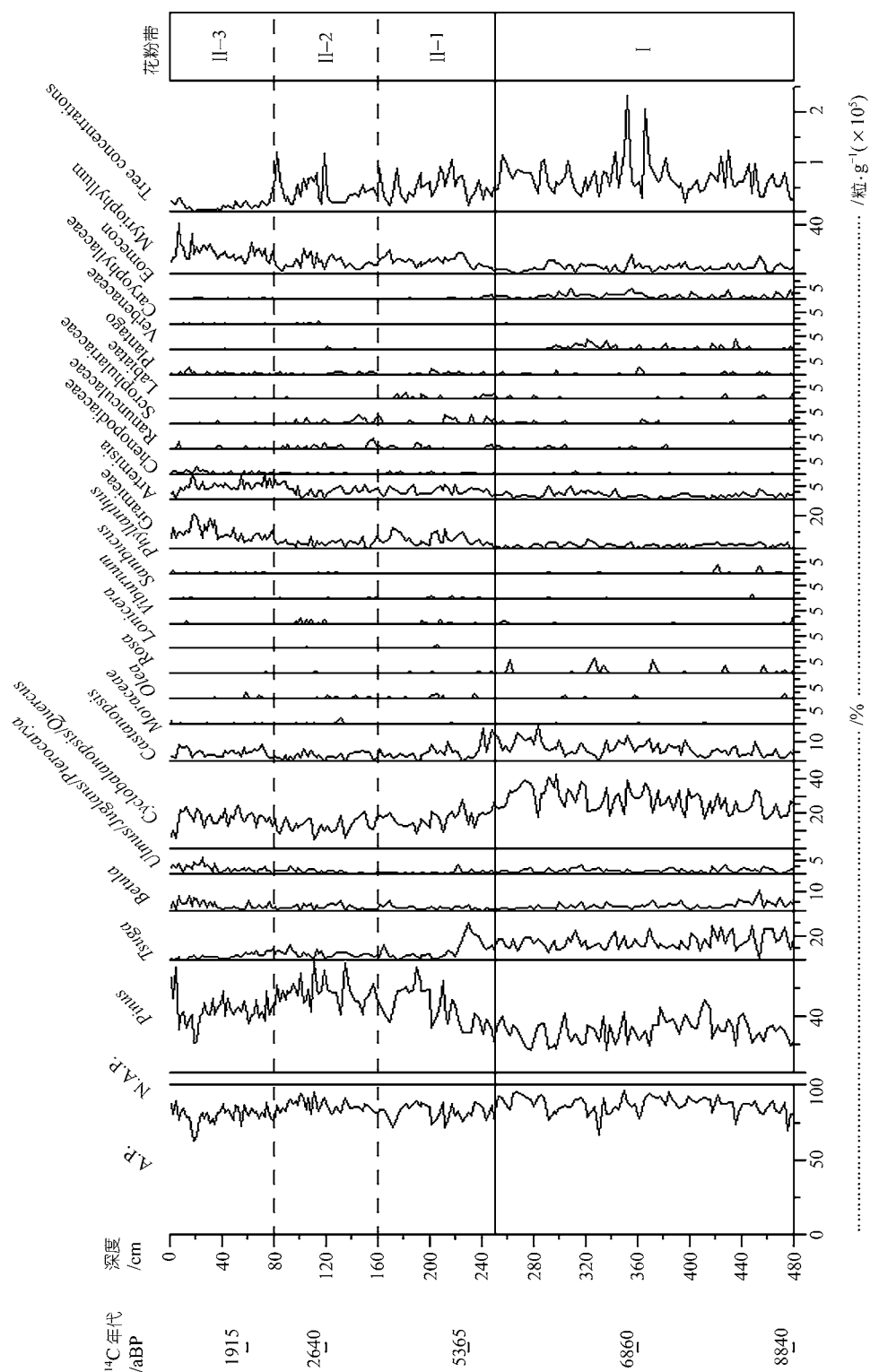


图 2 洱海沉积钻孔主要花粉含量和木本总浓度图式

本亚带开始,青冈栎/栎含量快速减少,栲的含量在维持较短暂的高值后,于240 cm 以上也随之降低,铁杉含量的大幅度降低则出现在226 cm 后,松的迅速增加也就是在该层位以上。

亚带 -2 中 (160~80 cm, 约 3640~2160 aBP(^{14}C), 3950~2140 aBP(cal)), 松含量占绝对优势(50~80%), 常绿阔叶树类型含量在本带保持微弱下降趋势,为剖面低谷值段。草本中禾本科和蒿的含量有所减少。除木犀榄、一些灌木类型和毛茛科、玄参科外,其他草本种类如藜科、唇形科等出现的频率和含量较前一亚带有明显减少。落叶阔叶树种如桦、胡桃、枫杨等在中上部开始增多。此外,桑科在该亚带开始零星出现。

亚带 -3(80~0 cm, 2160 aBP(^{14}C)至现代)以木本花粉浓度的迅速降低和草本花粉含量的逐渐增高为主要特征。松的含量开始减少,草本又一次增加。阔叶树种胡桃、桦等含量持续上升,至39 cm 以上进一步增加。常绿阔叶树种从本阶段开始也有所增多。禾本科、蒿、车前、狐尾藻的含量变化与上述阔叶树种的变化大体一致。顶部6 cm, 松的含量与浓度又有所回升。

3.3 DCA 排序结果

图3是根据选择的39个常见花粉类型和所有178个样品数据的DCA样品排序情况。DCA统计结果显示前两个轴的特征值分别为0.143和0.055,解释了29.5%的属种数据的信息。第1轴特征值远大于第2轴,表明花粉数据和样品点排列主要受第1轴环境因子的控制^[18]。沿第1轴方向,两个样品组被确定。A组包括了钻孔226 cm以下的所有样品(花粉带 和亚带 -1 底部),B组包括花粉带 的样品。亚带 -1 底部的6个样品很难从A组中分离出来,主要是由于它们有较高的铁杉和栲含量,但DCA样品点在第1轴的排列情况很好地反映了从带 到带 植被生态系统明显变化的重要信息。

3.4 粒度和频率磁化率

沉积物各粒级含量在248 cm 以下相对稳定,中值粒径除个别样品外,均在18~21 μm 范围内波动。248~208 cm 段,粗颗粒物含量一度增多,且变幅大,相应地黏土含量有明显减少,与花粉带 早期常绿阔叶树种和铁杉的减少以及松的开始增多对应;208 cm 以上粗颗粒含量大体呈减少趋势。至70 cm 以上

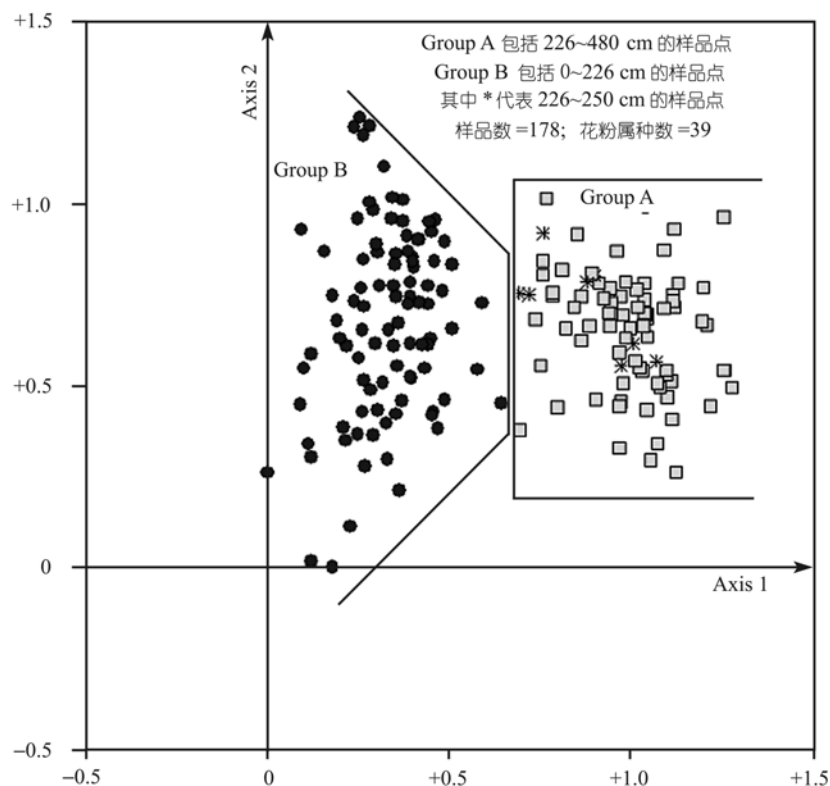


图3 花粉样品点的DCA排序结果(坐标值为样点得分)

黏土含量急剧增高,为剖面峰值段.值得注意的是,中值粒径从 248 μm 开始出现频繁波动,135 μm 以上变幅有所降低,但 69 μm 以上,其脉动的频率和变幅明显增大,尽管粒径表现总体变细趋势.频率磁化率值在 69 μm 以下很低(除个别层位出现异常值外),但 69 μm 以上急剧上升,与黏土含量的增高和花粉浓度的快速下降相对应.粒度含量和磁化率的变化界限接近花粉带的划分,但有明显滞后现象.可能指示流域景观的快速人为破坏,超前湖泊环境的响应.

4 讨论和结论

钻孔花粉组合的变化提供了洱海流域全新世早中期以来森林植被变化的历史.约 8840~5589 aBP(^{14}C)(相当于花粉带),铁杉和常绿阔叶属种组合反映了当时洱海流域山地垂直植被带特征.山地上部以铁杉林发育为主,并混有少量云冷杉、松、落叶阔叶树桦、榆和胡桃等,其植被类型相当于目前云南中部地区海拔 2800~3200 m 的山地针阔叶混交林自然植被类型^[16,23],山地下部坡地和盆地周围以青冈栎、硬叶栎、栲和石栎等为主,代表了常绿阔叶林类型.约 5590 aBP(^{14}C)后(花粉带 开始),随着早期青冈栎、栲、铁杉等树种的相继大幅度减少,针叶松林迅速占据了整个流域的大部分地区.与松的增

加相对应,一些草本和水生植物类型如禾本科、蒿、藜、车前和水生狐尾藻等也开始出现并增多.2160 aBP(^{14}C)后(花粉亚带 -3),花粉浓度的急剧下降指示流域内森林覆盖度明显降低.从钻孔顶部花粉浓度和松的增加推断,近几十年来,松林面积在一定程度上有所扩大,但与 2160 aBP(^{14}C)前相比,其覆盖度仍较低.

花粉植物群演替表明了该流域植被在 5589 aBP(^{14}C)前后出现一次重大的转变.8840~5589 aBP(^{14}C)期间,自然垂直植被带谱发育,常绿阔叶林面积的持续扩大和铁杉林的稳定发育指示了全新世早中期温度的不断上升和西南季风的增强,夏季降水增多^[24].但 5590 aBP(^{14}C)后,山地不同海拔的垂直植被带谱在极短的时间内被次生松林所取代,标志着洱海盆地周围自然植被带谱的退化,并一直维持到现在.花粉数据的 DCA 分析结果同样清楚地显示了植被在 5590 aBP(^{14}C)后这种大的转变.尽管 5500 aBP 前后中国和世界其他地区均记录了一次明显的冷事件^[25~29],但植被垂直带谱的永久退化很难完全用气候的突变的原因来解释.气候变冷事件可以引起植被的自然演替,在某一具体的山地垂直带谱中主要表现为上部寒温性针叶林海拔高度的下移

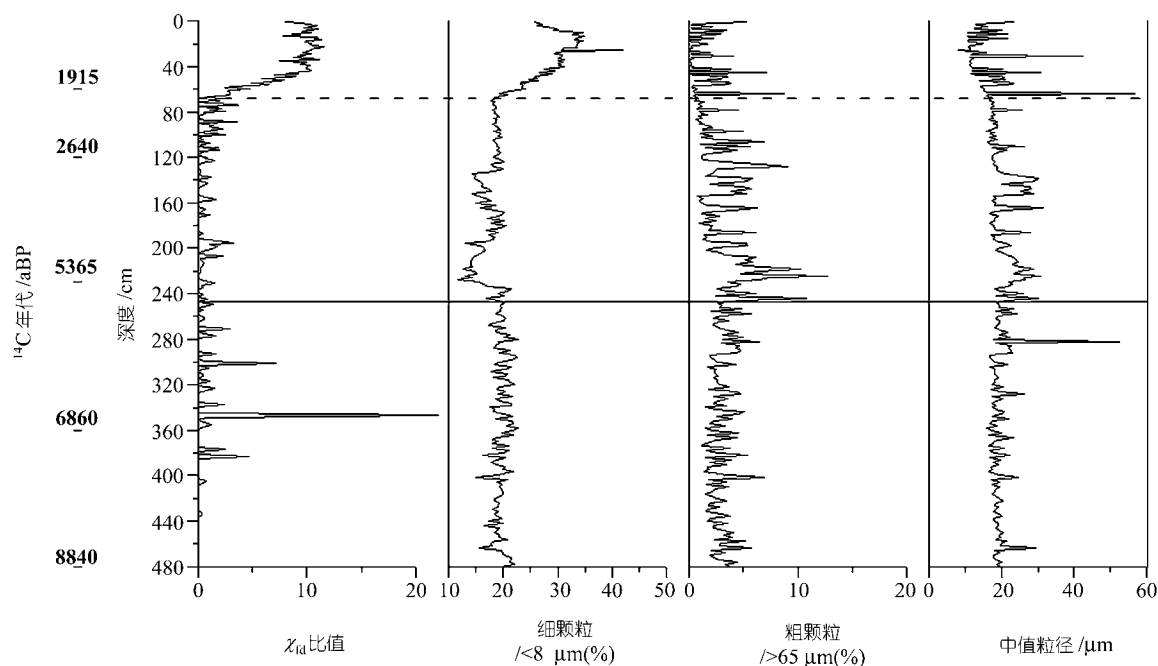


图 4 洱海钻孔磁化率和粒度变化

和面积的扩大、以及下部常绿阔叶林范围的缩小,但不可能造成更长时期范围内山地自然植被分带的消失。5590 aBP(^{14}C)后禾本科、车前等人为指示花粉的出现和增多与松的增加的一致性证据表明,人类活动而非气候是引起森林垂直带谱退化的主要驱动因素。

由此可见,早期人类活动已经对流域植被产生了深刻的影响,花粉的记录模糊了自然变化的信息。花粉组合带 开始常绿阔叶树青冈栎/硬叶栎、栲/石栎和针叶树铁杉的相继下降反映了早期人类对山地森林植被由下至上的选择性砍伐。禾本科、蒿、藜科、车前草和唇形科等含量的增加标志着洱海沿岸原始农业的开始和定居点的出现,同时也指示了畜牧业的存在^[1,2,6,30]。

洱海周围许多新石器遗址中发掘的各种陶器、地窖、谷物、动物骨骼等遗存也反映当时的人类活动是以农业兼狩猎的社会经济^[10,31],但在时间上,花粉记录的人类活动要早于考古推测的年代(约4000 aBP左右),对应于东部长江下游太湖流域崧泽-良渚文化期(5300~3700 aBP期间)^[32]。花粉图式还显示这个时期草本含量增加并不高,且松林覆盖度较高,反映人类影响程度相对较低。由于云南气候适宜,降水充沛,人类毁林后次生松林得以迅速繁衍。

早期人类活动的干扰同样反映在其它沉积指标变化上。粒度分析结果显示,5590 aBP(^{14}C)前,各粒级含量和中值粒径很稳定,反映了自然环境背景下的粒度组合特点。5590 aBP(^{14}C)后,随着人类活动初期的选择性毁林,沉积物粒度出现快速响应,粗颗粒含量迅速增加,中值粒径波动频繁,反映森林土壤的稳定性降低。毁林导致了流域地表径流的增加和侵蚀作用的加强^[33]。水生植被狐尾藻的大量增多指示了湖泊水生植被产量有所提高,与侵蚀引起的入湖营养盐的增高有关。此外,次生松林的恢复使得随后的侵蚀强度又开始降低。

约3590 aBP(^{14}C)后(相当于花粉亚带-2),花粉显示禾本科和杂草类花粉种类或含量减少,而一定数量的牧草类花粉车前等,以及胡桃、桑科、木犀榄等落叶阔叶木本的略有增多,暗示当时人类活动可能限于山坡地带,营牧业兼少量经济木本的种植,但仍保留少量农业种植。该时段洱海流域人类活动缺乏历史记载的考证,人类活动的减弱可能与3000

aBP(^{14}C)前后气候降温事件有关。洱海周围零星的考古学证据显示^[13],该时期为云南地区青铜器出现的早期过渡阶段。对比中国东部太湖平原的考古研究,马桥文化和良渚文化间的间断同样与这个时期的降温事件有关^[34]。

根据花粉浓度,洱海周围大面积的毁林始于约2150 aBP(^{14}C)前后,并一直延续到最后一个世纪。花粉含量显示该阶段早期(2150~1100 aBP(^{14}C)期间)禾本科含量有适度增加。约1100 aBP(^{14}C)后,禾本科含量成倍上升,指示了湖周农田耕作范围的进一步扩大。阔叶树种和杂草花粉的增多与定居点的扩大,阔叶林在定居点周围普遍种植有关。

花粉浓度反映的强烈毁林开始时间与历史记载的人口第1次大量迁入云南以及洱海地区第1个行政区(叶榆县)设立的时间相接近^[31,35]。根据资料记载,叶榆县位于现今洱海西岸喜洲村,当时的居民点附近栽培有许多阔叶树种^[31],与花粉推导的结果相印证。流域内发掘的该时期大量青铜制品也暗示了该时段早期人类活动的加强^[11,31]。最后1 ka禾本科指示的耕作农业的进一步扩大与唐朝末期以来(900 AD)该流域人口的又一次增加和农田灌溉技术的普及相对应^[9,35,36]。

水生植被的茂盛反映了入湖营养负荷的成倍增加。剖面顶部松的增多表明,近几十年来洱海盆地森林覆盖率的提高与该区森林恢复和林业管理措施的实施有关。

该时段人类活动的信息同时反映在频率磁化率和粒度变化上。沉积物中频率磁化率和细颗粒含量的快速增高与耕作土壤侵蚀加强有关^[37]。农田耕作的不断扩大和灌溉业的发展引起了沉积物中细铁磁性矿物总量和黏土成分的增加。与人类活动初期相比,该时期开始大面积的毁林并没有引起粗粒度的增多,这与黏粒含量相对增加有关。但中值粒径的变幅较前两个亚带增大,暗示人类活动导致的流域生态系统的脆弱性更为突出,可能的灾难性洪水事件明显增多。

致谢 夏威夷、吴艳宏副研究员协助野外样品采集,英国利物浦大学 John Dearing 教授参与了钻孔资料的讨论,并提出宝贵的建议,作者在此深表感谢。本工作受大陆钻探项目(KZCX2-SW-118)、国家重点自然科学基金项目(批准号:40331003)资助。在研究过程中还得到中国科学院和英

国皇家学会给予的合作研究资助。

参 考 文 献

- 1 Noël H, Garbolino E, Braner A, et al. Human impact and soil erosion during the last 5000 yrs as recorded in lacustrine sedimentary organic matter at Lac d' Annecy, the French ALPS. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25: 229~244 [\[DOI\]](#)
- 2 Vermoere M, Bottema S, Vanhecke L, et al. Palynological evidence for late- Holocene human occupation recorded in two wetlands in SW Turkey. *The Holocene*, 2002, 12 (5): 569~584 [\[DOI\]](#)
- 3 Higuera-Gundy A, Brenner M. A 10300¹⁴C yr record of climate and vegetation change from Haiti. *Quaternary Research*, 1999, 52: 159~170 [\[DOI\]](#)
- 4 Lagerås P. Farming and forest dynamics in an agriculturally marginal area of southern Sweden, 5000 BC to present: a palynological study of Lake Avegöl in the Småland Uplands. *The Holocene*, 1996, 6: 301~314
- 5 羊向东, 王苏民, 沈吉, 等. 近 0.3ka 来龙感湖流域人类活动的湖泊环境响应. *中国科学, D 辑*, 2001, 30(12): 1031~1038 [\[摘要\]](#) [\[PDF\]](#)
- 6 Risberg J, Karlsson S, Hansson A M, et al. Environmental changes and human impact as recorded in a sediment sequence offshore from a Viking Age town, Birka, southeastern Sweden. *The Holocene*, 2002, 12 (4): 445~458 [\[DOI\]](#)
- 7 徐仁. 中国云南中部与西南部晚更新世-全新世花粉分析. 见: 中国科学院中澳第四纪合作研究组编. 中国-澳大利亚第四纪学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1987. 11~20
- 8 宋学良, 吴遇安, 蒋志文, 等. 云南中部石灰岩地区高原湖泊古湖沼学研究. 昆明: 云南科学技术出版社, 1994. 97~98
- 9 张振克, 吴瑞金, 朱育新, 等. 云南洱海流域人类活动的湖泊沉积记录分析. *地理学报*, 2000, 55(1): 66~74
- 10 云南省博物馆. 云南宾川白羊村遗址. *考古学报*, 1981, 3: 349~368
- 11 云南省考古研究所. 剑川鳌凤山古墓发掘报告. *考古学报*, 1990, 2: 239~265
- 12 范勇. 我国西南地区的青铜斧钺. *考古学报*, 1989, 2: 161~185
- 13 童恩正. 近年来中国西南民族地区战国秦汉时代的考古发现及其研究. *考古学报*, 1980, 4: 417~442
- 14 Sun X, Wu Y, Qiao Y, et al. Late Pleistocene and Holocene vegetation history at Kunming, Yunnan Province, southwest China. *Journal of Biogeography*, 1986, 13: 441~476
- 15 Lin X, Qiao Y, Walker D. Late Pleistocene and Holocene vegetation history at Xi Hu, Er Yuan, Yunnan Province, southwest China. *Journal of Biogeography*, 1986, 13: 419~440
- 16 吴征镒, 朱彦丞, 姜汉桥. 云南植被. 北京: 科学出版社, 1987. 193~786
- 17 陈敬安, 万国江, 陈振楼, 等. 洱海沉积物化学元素与古气候演化. *地球化学*, 1999, 28 (6): 562~570
- 18 Hill M O, Gauch H G. Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio*, 1980, 42: 47~58 [\[DOI\]](#)
- 19 ter Braak C J F, Smilauer P. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows (version 4). New York: Centre for Biometry Wageningen, 1998
- 20 Stuiver M, Reimer P J, Bard E, et al. INTCAL 98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal. BP. *Radiocarbon*, 1998, 40: 1041~1083
- 21 Hodel D, Brenner M, Kanfoush S L, et al. Paleoclimate of southwestern China for the past 50000 yr inferred from lake sediment records. *Quaternary Research*, 1999, 52: 369~380 [\[DOI\]](#)
- 22 王萍莉, 张金谈. 中国青冈栎花粉形态及其与栎属的关系. *植物分类学报*, 1988, 26: 282~289
- 23 Li X, Walker D. The plant geography of Yunnan Province, southwest China. *Journal of Biogeography*, 1986, 13: 376~397
- 24 Jarvis D I. Pollen evidence of Changing Holocene monsoon climate in Sichuan Province, China. *Quaternary Research*, 1993, 39 (3): 325~337 [\[DOI\]](#)
- 25 刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 青海湖 16000 年以来的花粉记录及其古气候古环境演化. *科学通报*, 2002, 47(17): 1351~1355 [\[摘要\]](#) [\[PDF\]](#)
- 26 王绍武, 龚道溢. 全新世几个特征时期的中国气温. *自然科学进展*, 2000, 10 (4): 325~332
- 27 王宁练, 姚檀栋, Thompson L G, 等. 全新世早期强降温事件的古里雅冰芯记录证据. *科学通报*, 2002, 47 (11): 818~823 [\[摘要\]](#) [\[PDF\]](#)
- 28 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, 22(12): 1300~1308
- 29 Bond G, Shower W, Cheseby M, et al. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 1997, 278: 1257~1266 [\[DOI\]](#)
- 30 Yasuda Y, Kitagawa H, Nakagawa T. The earliest record of major anthropogenic deforestation in the Ghab Valley, northwest Syria: a palynological study. *Quaternary International*, 2000, 73/74: 127~136 [\[DOI\]](#)
- 31 张增祺. 从古遗址、墓葬的分布看洱海区域地震和现代构造运动的关系. *云南文物 (简报)*, 1977, 7: 33~41
- 32 张之恒. 中国新石器时代文化. 南京: 南京大学出版社, 1988. 1~187
- 33 Kim J G, Rejmánková E. The paleoecological record of human disturbance in wetlands of the Tahoe basin. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25: 437~454 [\[DOI\]](#)
- 34 吴文祥, 刘东生. 4000 aBP 前后降温事件与中华文明的诞生. *第四纪研究*, 2001, 21 (5): 443~450
- 35 邹启宇, 苗文俊. 中国人口 (云南分册). 北京: 中国财政经济出版社, 1989. 10~58
- 36 Elvin M, Crook D, Shen J, et al. The impact of clearance and irrigation on the environment in the Lake Erhai catchment from the ninth to the nineteenth century. *East Asian History*, 2002, 23: 1~60
- 37 Oldfield F, Wu R. The magnetic properties of the recent sediments of Brothers Water, NW England. *Journal of Paleolimnology*, 2000, 23: 165~174 [\[DOI\]](#)

(2004-06-01, 2004-09-10 收修改稿)