

中全新世以来杭州湾古气候、环境变迁及对良渚文化的可能影响*

刘 演¹, 李茂田^{2**}, 孙千里², 陈中原²

(1: 华东师范大学地理系, 上海 200062)

(2: 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘 要: 利用在杭州湾西部良渚古城遗址附近获取的沉积物岩芯, 试图通过高精度加速器质谱(AMS)测年以及多气候、环境代用指标的分析来揭示中全新世以来良渚地区的气候、环境变迁历史, 进而讨论其与良渚文化消亡的可能联系。对沉积物的有孔虫分析显示: 在大约 7500—5200 cal a B. P. 期间, 研究区为富含孔虫的潮滩相沉积环境; 而约 5200 cal a B. P. 以来, 有孔虫逐渐消失, 反映了研究区逐渐脱离海水影响成陆的过程。孢粉记录显示: 研究区在约 5200—5000 cal a B. P. 期间以常绿、落叶阔叶植被为主, 伴有少量针叶植被, 气候总体上相对暖湿。而在大约 5000—4000 cal a B. P. 期间, 针叶植被的相对增加总体反映了趋于凉湿的气候。在约 4000—1500 cal a B. P. 期间, 虽然常绿阔叶植被重新占据相对优势, 但总体呈现逐渐减少的趋势, 同时落叶阔叶类植被增加, 表明了趋暖偏干的气候; 同时, 该段水生草本、蕨类植被和藻类的相对增加或许反映了研究区下垫面开始沼泽、湿地化的趋势。约 1500—400 cal a B. P. 期间, 木本植被整体呈减少趋势, 陆生草本植被则大量增加, 针叶植被进一步减少, 表明气候进一步趋干; 同时, 水生草本和藻类的急剧增加, 可能反映了湿地化加剧的状况。最近约 400 cal a B. P. 以来, 针叶植被急剧增加, 常绿阔叶植被减少, 可能反映了气候突然变冷的过程。岩芯下段禾本科孢粉(>40 μm)的出现与研究区脱海成陆的时间相吻合, 这表明良渚时期(大约 5000—4000 cal a B. P.)研究区水稻种植已有一定规模。但在大约 4000 cal a B. P. 前后的良渚文化末期, 禾本科孢粉浓度一度出现降低, 这可能反映了研究区人类活动强度的减弱, 其与良渚文明衰落的时间基本吻合。总体上看, 这一变化发生在趋干的气候背景以及沼泽化、湿地化加剧的下垫面条件下, 暗示了气候、环境因素对良渚文明的衰落可能具有重要影响。

关键词: 中全新世; 杭州湾; 古环境演变; 古气候; 孢粉; 良渚文化

Palaeoclimatic and environmental changes since the Mid-Holocene in the Hangzhou Bay and their possible impacts on the evolution of Liangzhu Culture

LIU Yan¹, LI Maotian², SUN Qianli² & CHEN Zhongyuan²

(1: *Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062, P. R. China*)

(2: *State Key Laboratory of Estuary and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, P. R. China*)

Abstract: A 3.20-m sediment core was obtained near the Ancient Liangzhu City, west of the Hangzhou Bay. AMS dating and multiple proxies were applied to reveal the climate and environmental changes since the mid-Holocene in Hangzhou Bay and their possible impacts on the Liangzhu Culture (ca. 5200—4000 cal a B. P.). It indicated that the enrichment of foraminifera during ca. 7500—5200 cal a B. P. demonstrated a tidal flat environment. While, the disappearance of foraminifera since ca. 5200 cal a B. P., suggested the initiation of freshwater environment. During ca. 5200—5000 cal a B. P., both evergreen and deciduous broad-leaved vegetation dominated, followed by few coniferous vegetation, indicating a relative warm-wet climate condition. During ca. 5000—4000 cal a B. P., an increase in coniferous trees showed a cool-wet climate setting. The evergreen broad-leaved vegetation prevailed during ca. 4000—1500 cal a B. P. as the coniferous vegetation declined, suggesting a warm and dry climate condition. Meanwhile, the increases in hydrophytic herb, fern and algae proportions exhibited a freshwater marsh environment. During 1500—400 cal a B. P., a magnificent decline in arboreal vegetation, *Pinus*, in particular, was witnessed as well as the increase in herbaceous vegetation, implying an enhanced dry climate condition. Meanwhile, the increases in hydrophytic herbs and ferns would re-

* 国家自然科学基金项目(41272194, 41271520)和河口海岸国家重点实验室创新团队项目(44105141)联合资助。
2013-06-05 收稿; 2013-09-03 收修改稿。刘演(1986~), 男, 博士研究生; E-mail: beckmiao@gmail.com.

** 通信作者; E-mail: mtli@sklec.ecnu.edu.cn.

flect the muddy environment. The recent 400 cal a B. P. witnessed a sharp increase in coniferous vegetation against the evergreen broadleaved vegetation, reflecting a period of climate cooling. The *Graminea* ($>40\ \mu\text{m}$) pollen had been found since the last 5000 cal a B. P. indicating consecutive rice cultivation in the west of Hangzhou Bay. However, concentration of *Graminea* decreased during the transition of Late Liangzhu (ca. 4000 cal a B. P.) to subsequent Maqiao Culture (ca. 3900–3200 cal a B. P.) when the climate became relatively cold-dry. The coincidence of cold-dry climate, expanded freshwater marsh land and depressed human activities implied by the fall of *Graminea* proportion after ca. 4000 cal a B. P. suggested the possible linkages of environment and climate change to the fall of Liangzhu Culture.

Keywords: Mid-Holocene; Hangzhou Bay; palaeoenvironmental change; palaeoclimate; pollen; Liangzhu Culture

孢粉作为重建区域植被、古气候状况与人类活动信息的重要手段在我国东部全新世气候重建和新石器考古研究中得到广泛利用. 众多学者利用孢粉记录恢复了全新世以来的气候的冷暖、干湿波动特征, 并且探讨了气候波动与新石器文化兴衰的联系^[1-7]. 良渚文化(约 5200–4000 cal a B. P.) 作为我国东部新石器文化末期的典型代表, 被认为是新石器文化社会成熟度的巅峰^[8,9], 其兴衰过程一直是考古学界关注的重要内容. 有关全新世气候变化、海陆环境演变对良渚文化的影响在国内古环境研究领域已有广泛的讨论^[10-13]. 本文通过对良渚地区沉积物钻孔的孢粉、有孔虫、粒度等气候、环境代用指标的分析, 试图恢复中全新世以来杭州湾西部的古气候、古环境状况, 在此基础上, 结合考古发现讨论良渚文化衰亡的可能原因.

1 自然地理概况

研究区地处我国亚热带季风区, 气候总温暖、湿润. 1 月平均气温为 5°C , 7 月平均气温为 29°C , 年均降水量约为 1100–1300 mm^[14]. 研究区内植被丰富, 在平原地区占相对优势的是以青冈栎 (*Quercus glanca*)、栲属 (*Castanopsis*)、冬青 (*Ilex*) 等为主的常绿阔叶植被, 以及以麻栎 (*Quercus acutissima*)、槲树 (*Quercus dentata*)、桑 (*Morus*)、榆 (*Ulmus*) 等为主的落叶阔叶植被. 在山地地区则分布有少量针叶植被, 主要为松 (*Pinus*) 和柏 (*Cupressaceae*). 草本植被以禾本科 (*Poaceae*) 为主, 并有少量的香蒲 (*Typha*)、眼子菜 (*Potamogeton*) 等水生植物^[2,3,15].

研究区位于长江三角洲南翼杭嘉湖平原的西南部, 杭州湾西北部. 地势总体西高东低, 三面环山, 一面临海(图 1). 良渚古城坐落于研究区内的冲积平原上, 其平均海拔为 3 m 左右. 区内平原河网密布, 水系发育. 本区最大的河流——苕溪, 从西部天目山流入本区后, 向东偏北沿着北部天目山余脉, 折向北后汇入太湖.

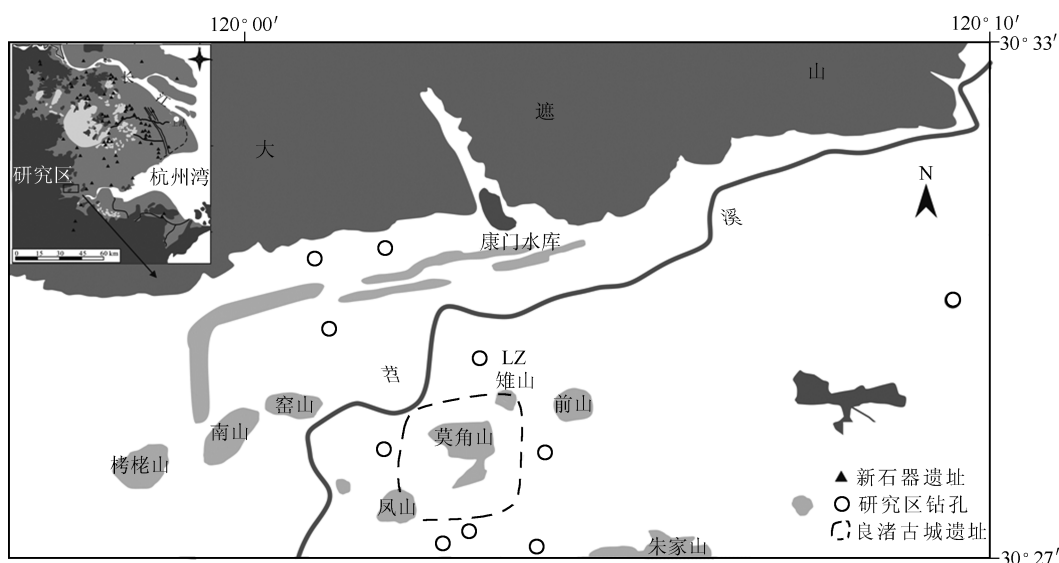


图 1 研究区概况及钻孔分布(根据文献[16]修改)

Fig. 1 Geographic setting of study area and location of sediment cores^[16]

2 材料与方法

2010年3月至2012年9月期间,在多次赴遗址区进行野外考察的基础上,在遗址区外围不同地点钻取了10个岩芯样品(图1)。本文选择沉积连续、取芯率较高的LZ钻孔作为研究对象。LZ钻孔具体位置在良渚古城北城墙的北侧,苕溪以南。岩芯从下至上岩性描述如下(图2):

- 3.20~2.55 m:青灰色的淤泥,夹杂少量黄灰色的粉砂;
- 2.55~2.35 m:青灰色的粉砂质黏土为主,含明显的黄色沙泥互层;
- 2.35~2.00 m:灰色均质泥为主,夹杂少量有机质,其中在2.35~2.27 m为含植物根系的有机质层;
- 2.00~1.60 m:灰色均质泥为主,偶见植物根茎;
- 1.60~1.10 m:黑色黏土为主,富含有机质;
- 1.10~0.86 m:深灰色均质泥,有机质含量较高;
- 0.86~0.60 m:黄色黏土,未见有机质和植物根茎;
- 0.60~0.44 m:棕黄色黏土,常见植物残体;
- 0.44~0.30 m:黄灰色杂斑土,偶见植物根茎。

为了获取岩芯的年代学框架,在岩芯的不同深度挑选了7个有机质、植物残体和炭屑样品,送往Beta实验室进行高精度加速器质谱(AMS^{14}C)测年,并利用CalibRev 6.1.1校正程序进行了年代学校正^[17]。

LZ钻孔的孢粉分析按2 cm间距,选取65个样品。样品前处理采用30%的盐酸去除钙质,再用40%的氢氟酸去除硅质后获取孢粉残留物^[18]。为了使鉴定结果具有统计意义,大多数样品鉴定的孢粉颗粒数超过300粒,个别样品也不少于200粒。沉积物孢粉的浓度通过外加石松孢子的方法获得。本研究中,鉴于栎属(*Quercus*)可分为常绿栎(主要是青冈栎(*Quercus glauca*))和落叶栎(主要是麻栎(*Quercus acutissima*)和槲树(*Quercus dentata*))两类,其代表不同的气候学意义,文中对栎属做了区分。前人在杭州湾地区的研究工作认为沉积物中大于40 μm 的禾本科孢粉变化很好地指示了驯化水稻的信息,而小于40 μm 的禾本科孢粉变化则更多地代表了野生水稻的状况^[19-21]。在本文中,孢粉的百分比图谱基于陆生植物孢粉总量绘制而成,用于讨论研究区的古气候变化,而通过水生类孢粉和蕨类植物的相对含量变化讨论下垫面环境的变化。

沉积物粒度分析的具体步骤为:从充分混合的样品中取0.1~0.2 g加入烧杯,加入10%的双氧水,再加入10%的盐酸,摇匀后烧杯内加满水,静置一夜。将水吸出,加入配制好的0.5 mol/L的六偏磷酸钠溶液,在超声波振荡仪内分散5 min,然后用LS13320激光粒度分析仪进行粒度分析。

同时,为了正确划分沉积相的变化,在岩芯的3.20~0.30 m段选取了12个样品进行有孔虫种属的鉴定。

3 研究结果

3.1 岩芯年代学

7个加速器质谱(AMS^{14}C)测年数据显示,LZ钻孔大约涵盖了过去7500 a以来的沉积(图2和表1)。钻孔2.30~1.83 m深度3个植物残体的测年结果介于7500—7400 cal a B. P.之间。岩芯1.53 m和1.42 m植物残体和炭屑的年龄分别为5200和5000 cal a B. P.。上部1.31 m以上测年材料均为有机质泥,并出现明显的年代学倒置。鉴于沉积物中有机质常常由于来源不同,测年结果会产生较大的不确定性,而镜下挑选的陆源植物残体,则是理想的测年材料,更为可信,因此,本文中沉积物岩芯的年代学框架主要基于陆生植物残体以及炭屑的测年结果确定。鉴于岩芯1.10 m以上多个测年样品未能获得结果(主要是孢粉浓缩物在测年前处理过程中未能获得制样),其年龄采用与相邻钻孔岩性对比的方式获得。本区良渚文化层普遍以青灰色淤泥为主,而其上覆地层则过渡到棕黄色黏土或黏土质粉砂,因此本文LZ钻孔在0.96 m处的岩性过渡与史辰羲等在良渚北获得的钻孔岩性变化相一致,可能代表了良渚文化层的结束(约4000 a B. P.)。类似的,LZ钻孔1.10~0.86 m的岩性由灰黑色淤泥层过渡为棕黄色的黏土层,这与史辰羲等在良渚西部获得的钻孔在相同层位的岩性变化也吻合^[22],因此,其年龄(3070 \pm 150 a)作为LZ钻孔该层的年龄是合理的。此外,根据Stanley等对长江三角洲地区大量钻孔年代学数据的研究,过去大约5000 cal a B. P.以来,长江三角洲

地区沉积物地层的年代与深度变化呈现出良好的线性关系^[23]. 因此, LZ 钻孔 0.86 m 以上岩芯年代框架采用线性内插的方法获得也同样具有合理性.

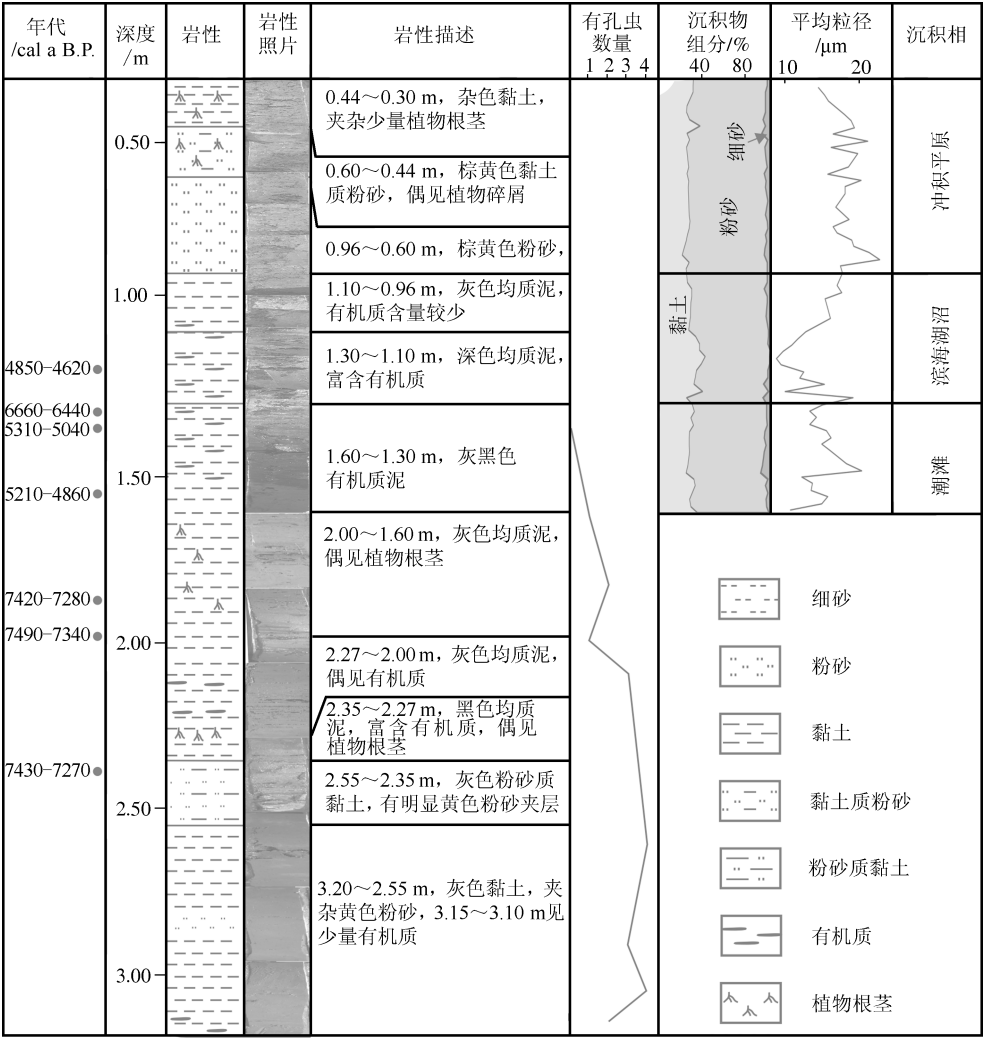


图 2 LZ 钻孔综合信息图

Fig. 2 General information of Core LZ

表 1 LZ 钻孔加速器质谱¹⁴C 测年结果

Tab. 1 Results of AMS ¹⁴C dating in Core LZ

| 实验室编号 | 样号 | 深度/m | 测年材料 | $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ | ¹⁴ C 年龄/a B. P. | 校正年龄 2 σ /cal a B. P. |
|-------------|------|------|------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Beta-291180 | LZ-2 | 1.12 | 有机质 | -23.1 | 4180 \pm 40 | 4850—4620 |
| Beta-291181 | LZ-3 | 1.31 | 有机质 | -26.5 | 5770 \pm 40 | 6660—6440 |
| Beta-291182 | LZ-4 | 1.42 | 碳屑 | -25.7 | 4530 \pm 40 | 5310—5040 |
| Beta-291183 | LZ-5 | 1.53 | 植物残体 | -24.3 | 4380 \pm 40 | 5210—4860 |
| Beta-291184 | LZ-6 | 1.83 | 植物残体 | -27.6 | 6480 \pm 40 | 7420—7280 |
| Beta-291185 | LZ-7 | 1.94 | 植物残体 | -27.8 | 6570 \pm 40 | 7490—7340 |
| Beta-291186 | LZ-8 | 2.30 | 植物残体 | -26.7 | 6470 \pm 40 | 7430—7270 |

3.2 粒度结果

粒度分析的结果表明,岩芯 1.60 m 之上的沉积物经历了先细化再粗化的过程. 如:1.60 ~ 1.40 m 岩芯段沉积物的平均粒径约为 14.5 μm ,其中黏土($<4\ \mu\text{m}$)的平均含量为 33.7%,粉砂(4 ~ 63 μm)的含量为 62.8%,砂($>63\ \mu\text{m}$)的含量为 3.5%(图 2). 1.40 ~ 0.96 m 段沉积物平均粒径最低只有 9.1 μm ,平均值为 12.2 μm ,黏土含量呈现先增后减趋势. 0.96 ~ 0.30 m 段沉积物平均粒径为 17.5 μm ,明显粗化,黏土平均含量约为 32.1%,粉砂含量约为 65.2%,砂含量约为 2.7%.

3.3 有孔虫结果

LZ 钻孔共鉴定到 6 个不同的有孔虫种属,分别是:毕克卷转虫(*Ammonia beccarii*)、毕克卷转虫变种(*Ammonia beccarii* vars.)、缝裂希望虫(*Elphidium magellanicum*)、抱球虫(*Globigerina* spp.)、九字虫(*Cribrodonion*)和异地希望虫(*Elphidium advenum*). 钻孔中有孔虫的数量总体较少,仅在孔深 3.20 ~ 1.40 m 处发现,且数量向上逐渐减少,岩芯 1.40 m 以上则未见有孔虫(图 2).

3.4 孢粉结果

LZ 沉积物钻孔 1.60 m 以下基本为受到海洋影响的潮滩相环境,故本文孢粉的分析仅对上部 1.60 ~ 0.30 m 的陆相沉积地层进行,用以揭示其反映的区域气候特征. 本文一共鉴定出 63 个不同的孢粉和藻类属种,主要包括了松属(*Pinus*)、青冈栎、麻栎、胡桃(*Juglans*)、枫香(*Liquidambar*)、槭树(*Acer*)、榆(*Ulmus*)、禾本科(*Gramineae*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)、香蒲(*Typha*)、水龙骨科(*Polypodiaceae*)、水蕨科(*Parkeriaceae*)、环纹藻(*Concentricystes*)和双星藻(*Zygnema*)等(图 3). 利用 Tilia 1.0.1 和 CONISS 软件对孢粉属种的百分比含量进行相关性分析后,划分了 3 个主要的孢粉—气候分带. 总体上看,木本孢粉中代表针叶植被的孢粉百分比含量呈现由低到高再降低的趋势,相对应的常绿阔叶植被与落叶阔叶植被则呈现出由高到低再增高的趋势. 草本孢粉中一直以禾本科($<40\ \mu\text{m}$)占相对优势,而禾本科($>40\ \mu\text{m}$)在大约 5000 cal a B. P. 前后才开始出现;蕨类和藻类百分比含量始终比较稳定,只有在岩芯上段出现增高的趋势.

3.4.1 分带 I (约 5200—5000 cal a B. P.) 从陆生孢粉的组成比例来看,木本孢粉占据绝大多数,均值接近 70%. 其中青冈栎占相对优势(约为 30%),其次是松属(接近 15%),再次为落叶类栎属(主要是 *Quercus acutissima* 和 *Quercus dentata*)(约占 10%),其它主要为枫香(约占 8%)和胡桃(约占 3%). 陆生草本孢粉以禾本科($<40\ \mu\text{m}$)为主(约占 20%),另有少量的藜科(*Chenopodiaceae*)和蒿属(*Artemisia*)(约占 2%)(图 3). 水生草本孢粉以香蒲和水蓼为主,蕨类孢子和藻类的含量不高,偶见水龙骨科和水蕨科(图 3). 本段孢粉浓度的均值 >50000 颗/g,为全孔的最高值,各类孢粉浓度的最大值都出现在本段(图 4).

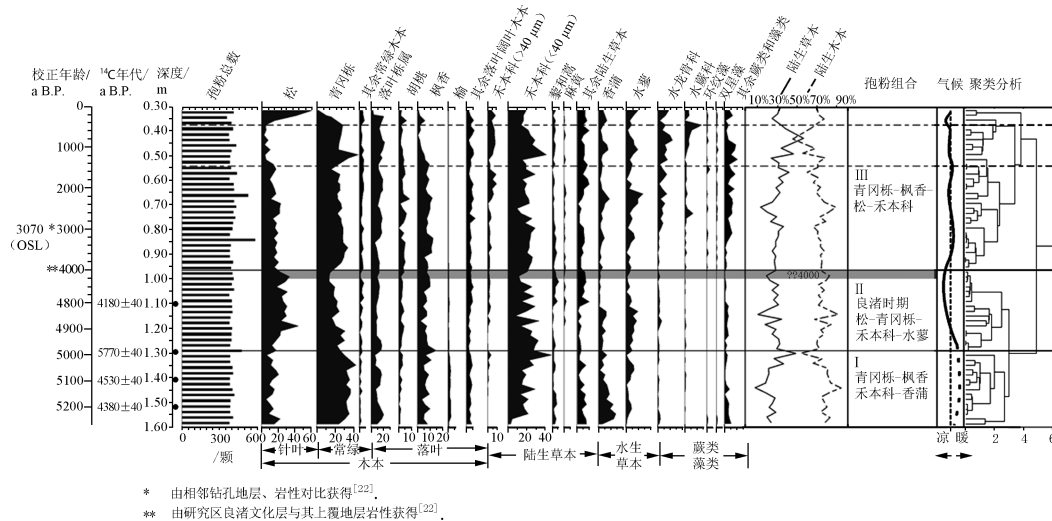


图 3 LZ 钻孔孢粉百分比图谱
Fig. 3 Pollen percentages of Core LZ

3.4.2 分带Ⅱ(约 5000—4000 cal a B. P.) 木本孢粉含量呈现略微上升,并以松属占相对优势(30%) (图 3). 青冈栎大约占 20%,同时落叶阔叶栎属的孢粉含量明显增加(占约 15%),枫香(<10%)和胡桃(5%)也表现为小幅增加(图 3). 陆生草本孢粉总体上呈轻微的下降趋势,禾本科仍占优势. 需要注意的是,香蒲和水蓼在本带的上段急剧减少(<2%),同时出现了麻黄(*Ephedra*)、藜科等喜干草本孢粉. 在约 4000 cal a B. P. 前后,松属孢粉含量出现明显降低,禾本科孢粉含量也出现降低. 从浓度上看,本段孢粉的浓度均值约为 20000 颗/g,较分带Ⅰ出现大幅的降低,且除松属孢粉含量保持相对稳定外,而其他属种向上都呈现递减的趋势(图 4).

3.4.3 分带Ⅲ(约 4000 cal a B. P. 以来) 从陆生孢粉的组成来看,青冈栎重新占据主导地位(30%~35%),落叶阔叶类也较分带Ⅱ有所增加,松属则呈现递减的趋势,但是在本带最上段(大约 400 cal a B. P. 以来)却出现大幅增加(为 60%左右),同时青冈栎的比例急剧减少(为 3%左右). 陆生草本在本带仍以禾本科为主,且呈增加趋势. 本分带中,水生草本类孢粉含量波动较大,但以水龙骨科和水蕨科为代表的蕨类孢粉含量则大幅增加. 以环纹藻和双星藻为代表的藻类,在本带也有少量出现(图 3). 本分带孢粉浓度均值约为 17000 颗/g. 大多数属种孢粉的浓度在本分带呈向上递减趋势,但是在分带的最上段略有回升,其中以松属的表现最为显著. 禾本科孢粉浓度在距今约 1000 a 来呈显著增加,类似的还有水龙骨科、环纹藻和双星藻等水生属种(图 4).

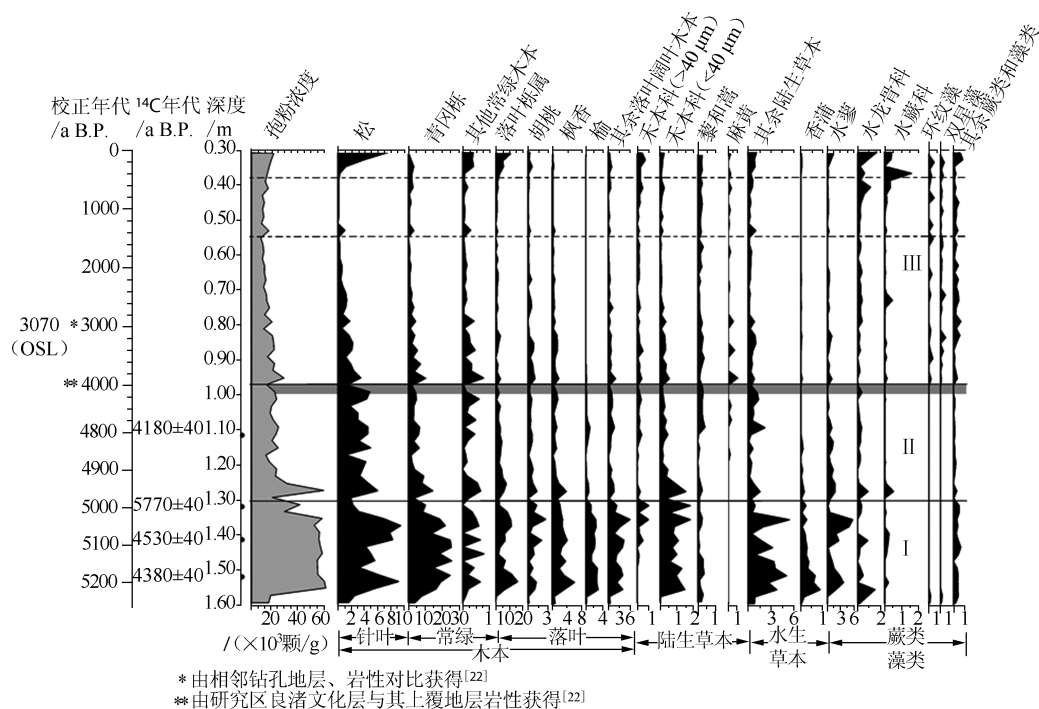


图 4 LZ 钻孔孢粉浓度图谱

Fig. 4 Pollen concentration of Core LZ

4 讨论

4.1 微体古生物记录反映良渚地区中全新世晚期以来沉积环境的演变

LZ 钻孔的有孔虫记录显示,在岩芯的 3.20~1.60 m 段(约 7500—5000 cal a B. P.) 出现了毕克卷转虫、缝裂希望虫等有孔虫属种,且沉积物粒度较粗,这些有孔虫现代常见于潮滩相的沉积环境^[24],因而本段岩芯可能反映当时 LZ 钻孔所处为海陆交互的潮滩相环境. 在岩芯 1.60~1.40 m 段(约 5200—5000 cal a B. P.)

有孔虫逐渐消失,则指示了研究区逐渐摆脱海水影响,进一步向陆相环境演变,推测是成陆阶段初期的潮滩相向滨海湖沼相过渡的环境(图2)。同时,从沉积物岩性上看,为灰黑色的细粉砂,且富含有机质,属于湖沼相沉积特征。因处于相对的静水环境,孢粉不易被搬运^[25],因此孢粉浓度在分带I之内出现了整个岩芯的最高值(图4)。在大约4800—4000 cal a B. P. 期间(岩芯约1.10~0.98 m),香蒲和水蓼等水生草本孢粉含量急剧下降,伴随出现的是麻黄、藜科等喜干草本,沉积物中也未发现有孔虫,总体指示了研究区成陆后相对趋干的下垫面环境(图3和图4)。而约4000—1500 cal a B. P. 期间,沉积物粒径重新粗化,显示研究区水动力较强,同时包括环纹藻和双星藻等在内的淡水藻类开始出现,水龙骨科和水蕨科等蕨类也呈明显增加,表明湿地化特征在研究区开始显现。在孔深0.50 m(约1500 cal a B. P.)以上,麻黄等喜干草本逐渐消失,而香蒲和水蓼等湿生草本和一些淡水藻类则大量出现,沉积环境与现今基本相似。总体上看,钻孔深度1.60 m以上的有孔虫和孢粉记录反映了研究区逐步成陆,并且逐步淡水化、湿地化的过程(图3和图4)。

4.2 中全新世以来气候、环境变化

LZ 钻孔1.40 m以下岩芯因是受到海水影响的潮滩相环境,其孢粉来源复杂,很难代表本地的植被组合,不适合用来讨论研究区的气候特征。本区其它相关研究表明,研究区在约7500—5000 cal a B. P. 期间以常绿和落叶阔叶植被为主,气候总体上相对温暖湿润^[6,14]。而岩芯1.40 m以上(约5000 cal a B. P.)为成陆后沉积,其孢粉主要来源于研究区周边的陆生植被,因而可以反映研究区的气候变化过程。孢粉分析结果表明研究区成陆后伴随着常绿阔叶和落叶阔叶植被的大量出现(图2)以及以松为代表的针叶植被的减少。水生草本孢粉的特征显示研究区成陆以来一直是湿地化环境。上述这些,总体上指示了研究区成陆后相对偏干的气候以及偏湿的下垫面特征(图3和图4)。

大约5000—4000 cal a B. P. 期间,以松为代表的针叶植被占据相对优势,而以青冈栎为代表的常绿植被则相对减少,反映了相对凉湿的气候。大约4000—1500 cal a B. P. 期间,以青冈栎为代表的常绿阔叶植被重新占优,针叶植被相对减少,表明了总体上气候趋暖偏干。在该段,淡水藻类开始出现,水生草本和蕨类植物也相应增加,指示下垫面环境的沼泽、湿地化。1500—400 cal a B. P. 前后,陆生草本大量增加,并伴随着木本植被的大量减少,尤其是以松为代表的针叶植被显著减少(图3和图4),反映了气候进一步趋干。同时藻类和蕨类的增加则反映出研究区进一步沼泽化、湿地化趋势。最近大约400 cal a B. P. 前后,针叶植被的显著增加则可能反映了研究区短暂的气候趋冷(图3和图4)。

在崧泽文化末期(约5300 cal a B. P.)向良渚文化过渡期间,研究区地层中存在大量的青冈栎以及枫香、胡桃等喜暖植物的孢粉,反映了本区的植被主要是常绿和落叶阔叶混交林,为全新世大西洋期相对暖湿的气候^[2,5]。Yi等研究发现在大约4800—3860 cal a B. P. 期间,本区的常绿植被大量减少,而以松为代表的针叶类植被被迅速增加,反映气候转凉^[26]。Chen等在青浦ZX孔的孢粉记录中也有类似的发现,即在大约5000—4000 cal a B. P. 期间气候呈转凉的特征^[11]。而在大约4000—1500 a B. P. 期间,一些学者在研究区对孢粉研究发现常绿阔叶植被逐渐增加,针叶植被逐渐减少,反映出气候偏暖干的趋势^[22,27]。大约1500 a B. P. 以来,喜暖的植被占据优势,反映气候转暖的趋势^[15,28-30]。本文LZ钻孔孢粉记录所反映的气候特征与上述研究结果基本吻合。

4.3 气候变化和人类活动响应

约5200 cal a B. P.,研究区完成了从潮滩相环境向陆相环境的过渡。良渚文化早期(约5200—4800 cal a B. P.)以淡水湿地化环境为主^[22,31-32],与此相对应的是研究区内开始出现早期稻作农业种植^[8]。由此可见,研究区逐渐脱离海洋的影响,趋于沼泽、湿地化的环境是良渚先民在此定居和发展的物质基础。在良渚中期(约4800—4300 cal a B. P.),研究区进一步成陆使得可供良渚先民居住与耕种的土地大幅增加。沉积物中指示驯化水稻信息的禾本科(>40 μm)出现明显的增加,也恰说明良渚先民很好地利用了自然环境改变来从事规模化的水稻种植。良渚遗址中出土的大量陶器和玉器,以及耕种水稻所需的耒耜、石犁等器具也大多出现在这一时期,这些都代表了良渚时期发达的农业文明^[8]。

良渚文明在4000 cal a B. P. 前后走向衰落,LZ 钻孔沉积物中禾本科孢粉浓度的减少也反映了研究区稻作农业种植活动减弱的事实。前人大量研究也揭示,4000 cal a B. P. 前后,太湖流域地区水域面积扩大,沼泽、湿地化加剧,使得大片土地不再适合良渚先民居住^[11,33],这也与本研究揭示的水生植被的增多,沼泽、湿

地化加剧的地表环境特征相符。因此, 本区 4000 cal a B. P. 前后气候条件和地表下垫面环境的改变, 有可能迫使良渚先民选择其它更适合居住的地区^[30,34-37]。至此, 研究区良渚文明渐渐衰落。

5 结论

良渚地区的沉积环境自约 5200 cal a B. P. 以来经历了由海向陆演变的过程, 随后沼泽、湿地化环境逐渐形成。本区气候在成陆后经历了由暖湿—凉偏湿—暖偏干的转变。良渚文明恰是以成陆初期的沼泽、湿地化环境和相对暖湿的气候背景为基础而发展起来的, 并且在良渚中期成陆范围进一步扩大后达到了顶峰。但是良渚文明的衰落, 虽然发生在气候趋干的背景下, 但也极可能受到了下垫面水环境恶化的影响, 如沼泽、湿地化加剧造成的排水不畅、水患频发等。

致谢: 感谢王张华教授对本研究的野外工作设计提出的许多宝贵意见和建议。

6 参考文献

- [1] 杨蕉文, 陈学林. 浙南沿海地区全新世孢粉组合及其意义. 华东师范大学学报: 自然科学版, 1982, **3**: 71-79.
- [2] 王开发, 张玉兰, 蒋 辉等. 崧泽遗址的孢粉分析研究. 考古学报, 1980, (1): 59-67.
- [3] 王开发, 张玉兰, 蒋 辉等. 长江三角洲全新世孢粉组合及其地质意义. 海洋地质与第四纪地质, 1984, **4**(3): 69-89.
- [4] 刘会平, 王开发. 沪杭苏地区若干文化遗址的孢粉—气候对应分析. 地理科学, 1998, **18**(4): 368-374.
- [5] 于世永, 朱 诚, 曲维正. 太湖东岸平原中全新世气候转型事件与新石器文化中断. 地理科学, 1999, **19**(6): 549-555.
- [6] 张玉兰. 上海东部地区全新世孢粉组合及古植被和古气候. 古地理学报, 2006, **8**(1): 35-41.
- [7] 张玉兰. 从孢粉、藻类分析探究良渚文化突然消亡的原因. 同济大学学报, 2008, **36**(3): 402-405.
- [8] 浙江文物考古研究所. 良渚遗址群考古报告之三良渚遗址群. 北京: 文物出版社, 2005: 493.
- [9] 刘 斌. 杭州市余杭区良渚古城遗址 2006—2007 年的发掘. 考古, 2008, **7**: 3-12.
- [10] Wu WX, Liu TS. Possible role of the ‘Holocene Event 3’ on the collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain of China. *Quaternary International*, 2004, **117**: 153-166.
- [11] Chen ZY, Wang ZH, Schneiderman J *et al.* Holocene climate fluctuations in the Yangtze delta of eastern China and the Neolithic response. *The Holocene*, 2005, **15**(6): 915-924.
- [12] 张 强, 刘春玲, 朱 诚等. 长江三角洲地区全新世以来环境变迁对人类活动的影响. 海洋地质与第四纪地质, 2004, **24**(4): 9-16.
- [13] 刘恒武, 王立军. 良渚文化的聚落级差及城市萌芽. 东南文化, 2007, **197**(3): 12-16.
- [14] 张敏斌, 张玉兰, 姜立征等. 从孢粉推测上海地区晚第四纪以来的植被、环境演变. 同济大学学报, 2002, **30**(3): 286-291.
- [15] 张玉兰. 淀山湖地区晚第四纪孢粉及古环境研究. 同济大学学报, 2005, **33**(2): 245-250.
- [16] 费国平, 陈欢乐. 余杭彭公大坝的调查报告. 东方博物, 2011, **3**: 60-66.
- [17] Stuiver M, Reimer PJ. Extended ¹⁴C database and revised CALIB radiocarbon dating program. *Radiocarbon*, 1993, **35**: 215-231.
- [18] Moore PD, Webb JA, Collinson ME. Pollen analysis; 2nd edition. Oxford: Blackwell Science, 1991: 216.
- [19] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙等. 中国植物花粉形态: 第 2 版. 北京: 科学出版社, 1997: 446.
- [20] Chaturvedi M, Datta K, Nair PKK. Pollen morphology of *Oryza* (Poaceae). *Grana*, 1998, **37**: 79-86.
- [21] Zong Y, Chen Z, Innes JB *et al.* Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. *Nature*, 2007, **449**: 459-463.
- [22] 史辰羲, 莫多闻, 李春海等. 浙江良渚遗址群环境演变与人类活动的关系. 地学前缘, 2011, **18**(3): 347-356.
- [23] Stanley DJ, Chen ZY. Radiocarbon dates in China's Holocene Yangtze Delta: Record of sediment storage and reworking, not timing of deposition. *Journal of Coastal Research*, 2000, **16**(4): 1126-1132.
- [24] 吴标云, 李从先. 长江三角洲第四纪地质. 北京: 海洋出版社, 1987: 166.
- [25] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论. 北京: 北京大学出版社, 1983: 83.
- [26] Yi S, Saito Y, Yang DY. Palynological evidence for Holocene environmental change in the Changjiang (Yangtze River)

- Delta, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, **241**:103-117.
- [27] 蔡永立, 陈中原, 王张华等. 上海青浦 8.5kaB. P. 以来植被演变与气候波动. *生态学报*, 2001, **21**(1):51-60.
- [28] 张玉兰. 长江三角洲东缘地区全新世孢粉与古环境研究. *上海地质*, 2005, **3**:1-6.
- [29] Yi S, Saito Y, Zhao Q *et al.* Vegetation and climate changes in the Changjiang (Yangtze River) Delta, China, during the past 13,000 years inferred from pollen records. *Quaternary Science Reviews*, 2003, **22**:1501-1519.
- [30] Yi S, Kim JY, Yang DY *et al.* Mid- and Late-Holocene palynofloral and environmental change of Korean central region. *Quaternary International*, 2008, **176/177**:112-120.
- [31] Qin JG, Taylor D, Atahan P *et al.* Neolithic agriculture, freshwater resources and rapid environmental changes on the lower Yangtze, China. *Quaternary Research*, 2011, **75**:55-65.
- [32] Zong YQ, Wang ZH, Innes JB *et al.* Holocene environmental change and Neolithic rice agriculture in the lower Yangtze region of China: A review. *The Holocene*, 2012, **22**(6):623-635.
- [33] Zhang Q, Zhu C, Liu CL *et al.* Environmental change and its impacts on human settlement in the Yangtze Delta, P. R. China. *Catena*, 2005, **60**:267-277.
- [34] 张明华. 良渚文化突然消亡的原因是洪水泛滥. *江汉考古*, 1998, (1):62-65.
- [35] Yu SY, Zhu C, Song J *et al.* Role of climate in the rise and fall of Neolithic cultures on the Yangtze Delta. *Boreas*, 2000, **29**:157-165.
- [36] 朱丽东, 冯义雄, 叶 玮等. 良渚时期文化发展与海平面变化. *地理科学进展*, 2011, **30**(1):121-128.
- [37] 彭亚君, 孙千里, 陈 静等. 中国 4.0 ka BP 前后气候的空间分布特征及其对史前文明变迁的影响. *地质论评*, 2013, **9**(2):248-266.