

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2020102201

全新世以来福建宁德地区环境演变及人类活动的孢粉记录

李帅丽^{1,2}, 王继龙², 彭博², 武彬², 于俊杰², 戴璐¹

1. 宁波大学地理科学与旅游文化学院, 宁波 315211

2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016

摘要:分析了福建省宁德市东部海岸带地区 NDQK2 钻孔的 42 个孢粉样品。3 个光释光和 9 个¹⁴C 测年结果显示, 钻孔沉积物年代跨越了末次冰消期晚期和全新世阶段。本文试图通过孢粉分析来重建宁德地区全新世以来的古环境演化, 探讨古人类活动对天然植被演替的可能影响。本钻孔与该区域已发表的 NDGK2 和 NDQK5 孔的孢粉组合共同显示, 深海氧同位素 (MIS) 5a 阶段 (约 85 kaBP) 至早全新世, 周边陆地一直被亚热带常绿阔叶林和松林所覆盖, 然而, 约 7770~4970 aBP 期间以禾本科 (Poaceae) 为主的草本植物花粉和以芒萁属 (*Dicranopteris*) 为主的蕨类孢子含量剧增, 孢粉组合与 MIS5a 以来的其他时段明显不同, 类似于现代山地和海域表土孢粉组合。考虑到当地亚热带阔叶林被破坏后可形成以芒萁和禾本科为主的植被群落, 我们认为宁德地区在 7770~4970 aBP 前就存在人类活动, 并开始强烈影响森林组成, 古人类砍伐树木导致分布于林缘与荒地的芒萁和禾本科等次生植被迅速扩张。基于东南沿海考古证据的时空分布对比, 认为中、晚全新世本研究区周边古人类活动的出现可能与长江中下游古文明的迁移存在某种关联。

关键词: 孢粉; 人类活动; 全新世; 福建宁德

中图分类号: P532

文献标识码: A

Palynological evidence for palaeoenvironmental change and human activity in Ningde of Fujian Province during Holocene

LI Shuai^{1,2}, WANG Jilong², PENG Bo², WU Bin², YU Junjie², DAI Lu¹

1. Faculty of Geographical Science and Tourism Culture, Ningbo University, Ningbo 315211

2. Nanjing Center, China Geological Survey College of Earth Sciences, Nanjing 210016

Abstract: Analyzed by this paper are 42 pollen samples from the core of NDQK2, a 17.3 m long drilling core on the eastern coast of Ningde city, Fujian Province. Three optical stimulated luminescence (OSL) and nine AMS¹⁴C samples are dated. It is revealed that the core is made of with the deposits from Late Last Deglaciation and Holocene. Pollen are used as a major mean to reconstruct the Holocene palaeo-environment and to explore the possible impact of human activities on vegetation succession. Together with the published pollen data from adjacent cores of NDGK2 and NDQK5, it is found that subtropical evergreen broad-leaved forest and pine forest prevailed since marine isotope stage (MIS) 5a (~85 kaBP). However, Poaceae-dominated non-arboreal pollen component and *Dicranopteris*-dominated spores component increased sharply since 0.777~0.497 kaBP. The pollen assemblages are significantly different from other intervals of MIS5a, but similar to those in modern soils and marine sediments. If the expansion of *Dicranopteris dichotoma* and Poaceae plants is due to the destruction of subtropical broad-leaved forests by human activities, it suggests that human being had colonized in this region around 0.777~0.497 kaBP. The deforest by human being changed the natural forest composition, and resulted in the expansion of secondary plants such as *Dicranopteris dichotoma* and Poaceae distributed along the boarder of forest. The spatial and temporal distribution of archaeological evidence along southeast China indicates a possible link of human activities between the the study area and the migration of ancient culture from the lower Yangtze River during Mid-Late Holocene.

Key words: pollen; human activities; the Holocene; Ningde City of Fujian Province

资助项目: 中国地质调查局项目“宁德海岸带陆海统筹综合地质调查”(DD20189505)

作者简介: 李帅丽 (1993—), 女, 硕士研究生, 人文地理学专业, E-mail: 1811073011@nbu.edu.cn

通讯作者: 于俊杰 (1983—), 男, 高级工程师, 研究方向为海岸带与第四纪地质学, E-mail: 25320701@qq.com

戴璐 (1981—), 男, 副教授, 研究方向为第四纪孢粉学, E-mail: dailu@nbu.edu.cn

收稿日期: 2020-10-22; 改回日期: 2020-12-23. 文凤英编辑

探索古人类活动对自然环境的影响是预测未来全球气候变化与人类生存和发展间相互作用的基础。例如, 森林的滥砍滥伐导致复活节岛生态系统的崩溃和文明的消亡^[1]; 旧石器时代晚期的狩猎活动可能导致某些动物灭绝^[2]; 人类活动导致天然森林被破坏, 并打断了其自然的演替规律^[3]。今天人类世 (Anthropocene) 概念的引入更加强调了人类活动对保护生态环境的重要性^[4]。例如, 当前的火灾和森林砍伐 (例如亚马逊地区) 会大大增加气候变化的影响, 威胁世界生物多样性并造成局部荒漠化和水土流失^[5]; 持续燃烧近 8 个月的澳洲超级山火带来的温室效应^[6]等。植物对气候和环境变化的响应较为敏感, 而其产生的孢粉颗粒能够普遍保存在沉积物中, 是研究古人类活动与环境变迁关系的良好代用指标^[7]。

目前, 我国东南沿海古人类活动的证据分布表现为自北向南逐渐年轻的格局。例如, 福建沿海最早的新石器时代文化是闽东沿海 6500~5500 aBP 的“壳丘头文化”, 其特征是出现大量的海生贝壳^[8]。然而, 长江下游更老的上山遗址则出现在 11000~8600 aBP^[9]; 之后在长江中下游地区 9000~7500 aBP 出现了小黄山遗址, 这是该区新石器时代早、中期规模最大的古人类活动遗址^[10-11]。7000~5300 aBP 以宁绍平原为核心地带分布的“河姆渡文化”创造了海洋经济文化^[12]; 随后在约 7000 aBP 的环太湖流域出现以马家浜遗址为代表的“马家浜文化”, 该遗址中出土的陶器、石器和玉器等文物表明当地先民较早创造了比较先进的文化, 之后大约在 6000 aBP 前后发展为“崧泽文化”^[13]。

迄今为止, 已有大量的孢粉学研究集中于福建地区的古人类活动重建。例如, 乐远福等对闽江下游地层的孢粉研究显示, 在约 6000~5500 aBP 时期, 松属 (*Pinus*) 和禾本科 (*Poaceae*) 花粉含量的增加可能与福州盆地人类活动有关^[14]; 在闽江下游晚全新世海退之后 (1900 aBP), 孢粉组合以芒萁属 (*Dicranopteris*)、禾本科以及松属等为主, 木本花粉含量减少, 孢粉谱的这些变化在很大程度上指示了研究区人类活动的出现^[15]。此外, 在福建省宁德西部的 SZY 钻孔中也发现了类似的花粉组合^[16]; 马婷等人^[17]在福建省闽侯县庄边山的花粉记录中发现了高浓度的木炭, 表明 5000~4300 aBP 期间人类在此居住和当地森林砍伐的高峰; 赵琳等^[18]通过戴云山 DYS 泥炭剖面的孢粉记录发现, 在 3000 aBP 之前当地植被以亚热带常绿阔叶林为主, 之后孢粉组合中的蕨类孢子和以禾本科为主的草本花粉急剧增加, 该变化反映了人类活动对当地森林植被的强烈破坏。

与此同时, 邱宏烈等^[19]也曾研究发现, 戴云山植被在 1200 aBP 左右发生了剧烈变化, 由先前的亚热带针阔混交林不断演变为以松为主的次生植被, 禾本科以及芒萁等次生植物孢粉含量迅速增加并持续高值, 反映了研究区的植被变化及与人类活动的关系。

上述研究表明, 在东南沿海地区最早的古人类活动记录有从北到南逐渐年轻的趋势。为了更好地研究东南沿海地区古人类的迁徙与周边古文明和自然环境变化间的关系, 本文试图基于福建省宁德市东部三沙湾内 NDQK2 钻孔的孢粉记录, 并结合高分辨率的测年以及与邻近长钻孔的对比, 从超越全新世的长时间尺度来确定该地区人类入侵的时间, 并评估人类活动对天然森林的干扰。

1 研究区概况

宁德市位于福建省东北部沿海区域, 北接浙江温州、南临福州、东面是东海 (图 1)。地形以丘陵山地为主, 地势西北高东南低, 冬暖夏热, 属中亚热带海洋性季风气候, 冬季以东北风为主, 夏季盛行西南风; 气候温暖湿润, 四季分明, 降水充沛, 热量充足, 自然条件优越^[20]。年平均气温 13.4℃~20.2℃, 最热月 (7 月) 平均气温为 28.7℃, 最冷月 (1 月) 平均气温为 9.6℃; 降水季节分配不均, 有较明显的干季和雨季, 年平均降雨量为 1600 mm, 降水量大部分地区为 1100~2000 mm, 主要集中在 5—10 月 (图 2)。



图 1 研究区域位置图

Fig.1 Location map of the studied area

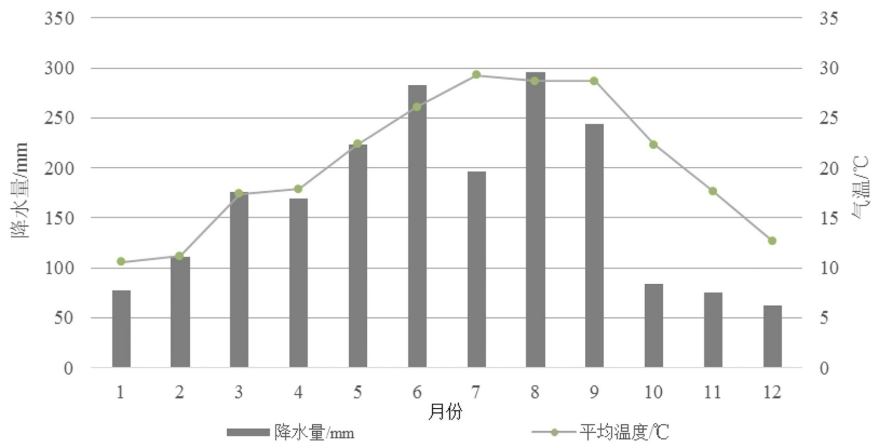


图2 宁德月降水量与月均温趋势图(1981—2010年)

气候数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn>)。

Fig.2 Monthly precipitation and temperature in Ningde (1981—2010)

Climatic data are from China Meteorological Data Service Center (CMDC) (<http://data.cma.cn>).

本区植被以三都澳湾为界有南北之分,典型的地带性植被类型北部中亚热带常绿阔叶林,南部零星分布南亚热带季风常绿阔叶林。植物群落主要由壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、山茶科(Theaceae)和杜英科(Elaeocarpaceae)等组成,还有少量以栓皮栎(*Quercus variabilis*)为代表的落叶阔叶植物分布。常见的主要阔叶树种有:甜槠(*Castanopsis eyrei*)、米槠(*Castanopsis carlesii*)、青钩栲(*Castanopsis kawakamii*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)、南岭栲(*Castanopsis fordii*)、青冈(*Quercus glauca*)、鹿角栲(*Castanopsis lamontii*);除此之外,其他乔木树种还有天竺桂(*Cinnamomum japonicum*)、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)、黄杞(*Engelhardia roxburghiana*)、蕈树(*Altingia chinensis*)、细柄蕈树(*Altingia gracilipes*)、多种榕树(*Ficus microcarpa*);灌木有黄瑞木(*Adi-nanramilletii*)、毛乌口树(*Tarena mollissima*)、多种柃木(*Eurya japonica*)、冬青(*Ilex chinensis*)、四季野海棠(*Begonia semperflorens*)等^[21-22]。在海拔1100 m以下广泛分布着马尾松(*Pinus massoniana*)、短尾越橘(*Vaccinium carlesii*)和白栎群落。在沿海的三沙湾地区,零散分布着由秋茄(*Kandelia candel*)所组成的红树林。长期的人类活动(毁林垦地、伐木取薪)对该研究区植被影响很大,大部分亚热带原始阔叶林遭到破坏。

2 材料与方法

2.1 样品采集

NDQK2 钻孔取自福建省宁德市东部三沙湾内

(图1),岩芯长度为17.3 m,本实验分析的样品长度为17.3 m,样品按照30~40 cm间距进行采集,共分析了42份孢粉样品,岩性主要为黏土(图3)。此外,为了更好地通过现代孢粉与植被关系指导地层孢粉数据分析,本研究一共选取了钻孔附近的3个不同海拔高度的表土苔藓样和3个海洋沉积物样品进行孢粉分析,采样时记录样点的经纬度和海拔(表1)。

2.2 样品处理

所有孢粉样品的实验处理均在宁波大学地理科学与旅游文化学院孢粉实验室进行。实验室处理采用超声波过筛法^[23]。首先将所有样品烘干称重,每个样品取10~35 g左右。将各样品粉碎放入塑料烧杯中,另外样品处理时加入一片石松孢子(27367±593粒/片)作为跟踪剂,用以计算孢粉浓度。然后,先加入浓度为15%的HCl,用来除去样品中含有的钙质杂质,放置沉淀1昼夜,经过几次水洗呈中性后离心脱水,再加入浓度为55%的HF,用于除去样品中的硅质杂质。同样放置1昼夜后,将样品换水3次以上直至呈中性。把化学处理后的样品残渣清洗后放入超声波振荡器中,用7μm尼龙筛振荡过滤去除杂质,使过滤后得到的孢粉富集于小烧杯中,最后放置沉淀后吸取表面水分,使孢粉转移至小试管中。加入甘油制片后,在光学显微镜下进行孢粉观察和鉴定。

孢粉鉴定过程参考《中国植物花粉形态》^[24]和《中国第四纪孢粉图鉴》^[25]。对于每个样品,至少统计200粒花粉和孢子。对于一些浓度极低的样品,尽管没有达到200粒的孢粉统计量,统计外加石松

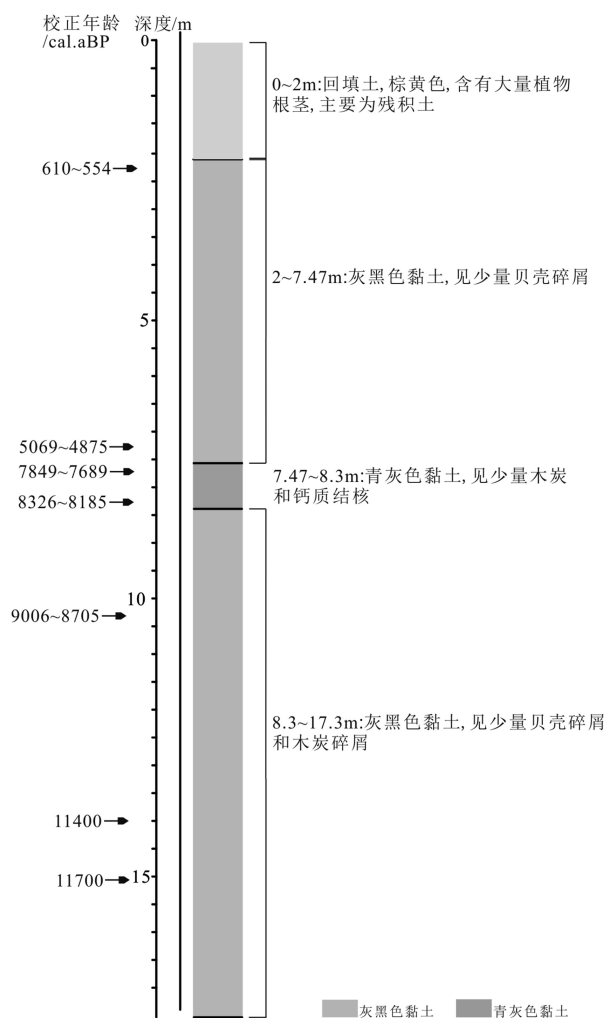


图 3 NDQK2 钻孔的地层和年代

Fig.3 Stratigraphy and ages of core NDQK2

表 1 钻孔和现代表土采样点点位及样品类型描述

Table 1 Description of modern topsoil sampling points and sample types

样品编号	海拔/m	纬度(N)	经度(E)	样品类型
NDQK2钻孔	-2.6	26°38'09.79"	119°33'04.28"	黏土
1号	823.5	26°38'24.61"	119°30'14.12"	苔藓
12号	572	26°38'39.60"	119°30'04.15"	苔藓
15号	456	26°38'32.02"	119°30'45.29"	苔藓
64号	-7.3	26°41'54.02"	119°39'52.01"	泥
65号	-8.6	26°42'00.79"	119°42'21.89"	泥质砂
55号	-52.6	26°37'34.89"	119°44'24.37"	泥质砂

孢子数量至少达到 500 粒。花粉鉴定使用奥林巴斯 BX53 光学显微镜,放大倍率为 400~1000 倍。使用 TILIA2.0.29 软件建立花粉百分比和浓度图,孢粉百分比以乔木、灌木和草本植物花粉为基数,蕨类孢子的百分比以全部孢粉为基数。孢粉浓度计算

采用“外加标志法”^[26],即将已知浓度的现代石松孢子(Lycopodium)(27637 粒/片)作为标记物添加到每一份样品中,再依据鉴定和统计结果进行浓度计算。浓度计算公式为:

$$\text{孢粉浓度(粒/g)} = \frac{\text{统计到的孢粉数量(粒)} \times 27637 / \text{样品质量(g)}}{\text{统计到的外加石松孢子数量(粒)}}$$

2.3 地层年代

对于年代框架的建立,我们使用 OSL 和 AMS¹⁴C 测年的方法。OSL 样品的测试分析在南京师范大学进行,共分析 3 个样品。OSL 测年样品在取样时应避免曝光,通常采用长 16 cm、直径 5 cm 的厚壁不锈钢管,一端用厚度超过 1.5 cm 的泡沫板塞满,然后将该端垂直砸入采样部位新鲜面,待样品充分装满管后将管取出,两端用铝箔纸及胶带密封,在管上将样品编号写好。AMS¹⁴C 测年工作分别在北京大学第四纪测年实验室和美国 Beta Analytic 公司进行,共分析 9 个样品。AMS¹⁴C 测年材料包括植物残体、碳化碎屑、螺、贝壳等。AMS¹⁴C 部分测年材料在体式显微镜下完成样品挑选以及孢粉预处理工作后送至 Beta Analytic 公司进行测年。我们使用 IntCal13 atmospheric curve 树轮校正曲线对获得的测年数据进行校正,得到距今的日历年^[27],校正后的日历年龄往往存在一个或多个年龄分布区间,通常选取在 2σ 置信区间下相对概率最大的校正年龄区间。

3 研究结果

3.1 测年结果

NDQK2 钻孔 OSL 测年结果显示底部 15.00~15.10 m 的年龄为 11700 aBP 左右(表 2)。该钻孔 AMS¹⁴C 测年结果显示顶部 2.2 m 处的年代为 610~554 cal.aBP(表 3)。从下至上,绝大多数测年样品表现了较好的由老至新的年代序列,只有 8.2 和 13.3 m 两个深度的年龄出现了略微的倒转,这可能是因为河口及滨海地区的水动力较强,侵蚀再沉积造成的。考虑到总体上测年是连续的,在进行地层划分时排除个别倒转的年龄值。

3.2 NDQK2 钻孔的孢粉组合特征

NDQK2 钻孔中鉴定了 42 个样品,总浓度为 520~8827 粒/g,平均浓度为 2733 粒/g,1 个样品无任何孢粉与藻类。最高孢粉浓度出现在 4.6 m 处,

表2 NDQK2 钻孔的 OSL 测年结果

Table 2 OSL dated ages of core NDQK2

实验室编号	深度/m	Th/($\mu\text{g/g}$)	误差/ 10^{-6}	U/($\mu\text{g/g}$)	误差/ 10^{-6}	年龄/ka	误差/ka	粒径/ μm
NDQK2-OSL-1	13.90~14.00	0.15	0.15	0.15	0.15	11.4	0.9	38~63
NDQK2-OSL-2	15.00~15.10	3.85	2.61	3.16	3.54	11.7	0.9	38~63
NDQK2-OSL-3	17.35~17.45	0.15	0.15	0.15	0.15			38~63

表3 NDQK2 钻孔的 AMS¹⁴C 测年结果Table 3 AMS¹⁴C dating ages of core NDQK2

实验室编号	深度/m	测年材料	测试年龄/aBP	校正年龄(2 σ)/aBP	平均值/aBP
NDQK2 ¹⁴ C-1	2.2	螺	625±20	610~554	582
NDQK2 ¹⁴ C-2	5.9	贝壳	465±20	531~500	515.5
NDQK2 ¹⁴ C-3	7.1	贝壳	505±20	543~510	526.5
Beta-567975	7.3	植物残体	4430±30	5069~4875	4972
Beta-552207	7.6	植物残体	6950±30	7849~7689	7769
NDQK2 ¹⁴ C-4	8.2	贝壳	7425±25	8326~8185	8255.5
NDQK2 ¹⁴ C-4-2	8.2	木炭	7055±30	7955~7835	7895
Beta-552202	10.3	植物残体	7990±40	9006~8705	8855.5
Beta-552203	13.3	植物残体	7970±30	8993~8704	8848.5

达到 8827 粒/g。除个别样品外,对每份样品所统计的孢粉量均在 200 粒以上,共鉴定出 75 种科属类别。木本植物主要有松属、常绿类栎属 *Quercus*(E)、水青冈属(*Fagus*)、枫香树属(*Liquidambar*)、铁杉属(*Tsuga*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、榆属(*Ulmus*)、杜鹃花科(*Ericaceae*)、大戟科(*Euphorbiaceae*)等;草本植物主要是以禾本科、藜科(*Chenopodiaceae*)、菊科(*Asteraceae*)为主;蕨类植物较为丰富,主要有水龙骨科(*Polypodiaceae*)、芒萁属、凤尾蕨属(*Pteris*)等;藻类植物以海相沟鞭藻和环纹藻(*Concentricystes*)为主,沟鞭藻不仅含量高而且在整个钻孔皆有分布,且种类也较为丰富。松属花粉由于带有两个气囊易于随风远距离飘移且易浮水面并受水流携带而相对富集^[28],因此,该花粉在整个钻孔中基本都有分布,且含量相对较大。表 4 列出了本钻孔中出现的孢粉类型。

根据各科属孢粉百分含量的变化,选择钻孔中孢粉百分比含量较大的孢粉属种,应用 Tilia 软件建立孢粉百分比图谱。花粉百分比以乔木、灌木和草本花粉为基数,蕨类孢子的百分比以全部孢粉为基数。根据不同科属孢粉百分比含量变化、沟鞭藻浓度的变化以及 CONISS 聚类分析^[29]结果,NDQK2 钻孔自下而上可划分 2 个孢粉组合带(图 4)。

1 带: 松属-栎属(常绿)-枫香树属-水龙骨科

组合(17.3~7.3 m)(约 11700~4970 cal. aBP)

该带的花粉和孢子浓度低于钻孔上部,孢粉组合以木本花粉为主(平均含量为 89%),其中松属花粉是最主要的成分(52.8%),次要成分是常绿栎属(20.2%),其他木本成分零星出现。陆生草本花粉含量低(7.6%),主要成分是禾本科(3.2%)。蕨类孢子含量较高(45.9%)。该带出现的海相沟鞭藻囊孢是非常丰富的,平均为 201 粒/g,主要以刺甲藻属(*Spiniferites*)为主。

2 带: 松属-禾本科-芒萁孢子组合(7.3~2.2 m)(4970~582 cal. aBP)

该带的花粉和孢子浓度高于钻孔下部,孢粉组合以木本花粉为主(平均含量为 85%),其中松属花粉是最主要的成分(78%),其他木本成分零星出现。草本花粉含量较 1 带急剧增加并占主导(16.28%),主要成分是禾本科(13%)。蕨类孢子含量较 1 带大幅度增加,主要成分是以芒萁属为主的三缝孢(46.9%)。与 1 带相比,沟鞭藻浓度下降,平均为 75 粒/g,仍以刺甲藻属为主。

3.3 表土孢粉组合特征

表土孢粉总体特征是以松属花粉占主要优势(54%),陆生草本花粉的含量较为丰富(21.7%),其中禾本科花粉是最主要的成分(14.1%)。蕨类孢子

表 4 NDQK2 钻孔的孢粉和藻类类型及生态学划分^[22]
Table 4 Pollen and algae taxa and ecological groups in core NDQK2^[22]

类型	主要成分	主要属种
孢粉	热带、亚热带针叶林成分	<i>Podocarpus</i> 罗汉松属、Cupressaceae 柏科、 <i>Keteleeria</i> 油杉属、Taxodiaceae 杉科、 <i>Pinus</i> 松属
	高海拔针叶成分	<i>Abies</i> 冷杉属、 <i>Picea</i> 云杉属、 <i>Tsuga</i> 铁杉属
	热带、亚热带阔叶成分	<i>Quercus-evergreen</i> 常绿栎属、 <i>Castanopsis/Castanea</i> 栲属/栗属、 <i>Phyllanthus</i> 叶下珠属、Moraceae 桑科、 <i>Myrica</i> 杨梅属、Acanthaceae 爵床科、Theaceae 山茶科、Rubiaceae 茜草科、Sapindaceae 无患子科、Hamamelidaceae 金缕梅科、 <i>Liquidambar</i> 枫香树属、Verbenaceae 马鞭草科、 <i>Ilex</i> 冬青属、Euphorbiaceae 大戟科、 <i>Fagus</i> 水青冈属、Oleaceae 木犀科、Rutaceae 芸香科、 <i>Randia</i> 山黄皮属、Magnoliaceae 木兰科
	温带落叶成分	<i>Quercus-deciduous</i> 落叶栎属、 <i>Alnus</i> 桤木属、 <i>Ulmus</i> 榆属、 <i>Betula</i> 桦木属、 <i>Pterocarya</i> 枫杨属、 <i>Carpinus</i> 鹅耳枥属、 <i>Corylus</i> 榛属、 <i>Juglans</i> 胡桃属、 <i>Tilia</i> 椴属、 <i>Celtis</i> 朴属、Ericaceae 杜鹃花科
蕨类	草本植物	<i>Artemisia</i> 蒿属、Chenopodiaceae 藜科、Poaceae 禾本科、Brassicaceae 十字花科、Cyperaceae 莎草科、Asteraceae 菊科、 <i>Thalictrum</i> 唐松草属、Polygonaceae 蓼科、 <i>Myriophyllum</i> 狐尾藻属、 <i>Typha</i> 香蒲属
	蕨类孢子	Polypodiaceae 水龙骨科、 <i>Dicranopteris</i> 芒萁属、 <i>Pteris</i> 凤尾蕨属、 <i>Selaginella</i> 卷柏属、 <i>Hicriopteris</i> 里白属
藻类	淡水藻类	<i>Concentricyestes</i> 环纹藻、 <i>Pediastrum</i> 盘星藻属
	沟鞭藻囊孢	<i>Operculodinium</i> 、 <i>Selenopemphix</i> 、 <i>Spiniferites</i> 、 <i>Tuberculodinium</i>

含量较高, 主要成分是芒萁孢子(39.6%)。另外存在一些以常绿栎(13.8%)为主的常绿阔叶成分, 还有水青冈属、茜草科(Rubiaceae)、芸香科(Rutaceae)、杨梅属(*Myrica*)、桑科(Moraceae)、山矾科(Symplocaceae)和大戟科等常绿木本植物, 并混有少量的桤木属(*Alnus*)、鹅耳枥属、榆属、枫杨属(*Pterocarya*)、胡桃属(*Juglans*)和杜鹃花科等温带阔叶成分。除樟科花粉因自身特点不易保存外, 森林植被中常见的科属类型大多在花粉组合中占有一定的含量(图 5)。

4 讨论

4.1 现代孢粉组合与周边森林植被的关系

本文通过野外植被调查记录了研究区的现代植被群落主要是由樟科、山矾科、杉科(Taxodiaceae)和杜英科等组成, 并散生着少量的马尾松。然而, 在表土孢粉组合中松属花粉占绝对优势(平均含量 54%), 可能是因为其产量大、带有气囊、密度小, 易受风和海流携带, 能够广泛地散布(图 5)。因此, 孢粉组合中出现的较高含量松花粉不足以指示周边有大量松林的存在。在现代表土孢粉组合中, 以常绿栎为主的常绿阔叶成分和零星出现的茜草科、芸香科、水青冈属、桑科、山矾科和大戟科等常绿木本成分, 基本反映了除樟科外的当地亚热带常绿阔叶林植被面貌和特征。在该区域的现代表土和海洋沉积物中, 蕨类孢子含量远超除松属外的其他花粉, 其中芒萁孢子占据绝对优势(平均含量 40%)。基于福建南亚热带常绿阔叶林的演替规律, 天然森

林在遭到人类破坏后, 首先演替的植物包括芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等, 随后生长的植物包括马尾松和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等^[21]。蕨类孢子芒萁在海洋和陆地表土孢粉组合中都占有较高比例, 这与区域实际分布有大量芒萁等次生植被相吻合。

与人类活动有关的孢粉记录主要体现在孢粉组合中先锋植物花粉、栽培作物和杂草等伴人植物花粉大量出现^[30]。郑卓等^[31-32]的研究表明, 在亚热带和热带地区孢粉组合中松属花粉和某些蕨类孢子含量的逐步增高可能反映人类活动对自然植被的强烈破坏。蕨类植物芒萁广泛分布在我国热带、亚热带地区, 通常被认为是在毁林开荒或森林大火严重破坏植被后发展起来的先锋植物物种, 主要生长在丘陵荒坡或林下土壤中^[33]。在中国南方地区, 地层中高含量的芒萁孢子被广泛地认为与人类活动对森林的破坏活动有关^[34-36]。因此, 考虑到当地森林长期受到人类活动的干扰, 我们认为含有丰富芒萁孢子的现代孢粉组合与人类活动紧密相关。

4.2 全新世以来福建宁德地区的古环境与人类活动

4.2.1 早、中全新世阶段的古环境重建

早全新世阶段对应于 NDQK2 钻孔的带 1 (约 11700~4970 cal.aBP)(图 4)。孢粉组合以木本花粉为主(平均含量 89%), 较为丰富的热带、亚热带阔叶植物花粉(平均含量 31.86%)显示研究区及周边陆地以常绿栎、枫香树属、水青冈属、冬青属和大戟科等为主的森林所覆盖, 指示了较为温暖的环境。地层中的松属花粉与现代表土中松属花粉平均含量相当, 指示了周边零星的松属植物的存

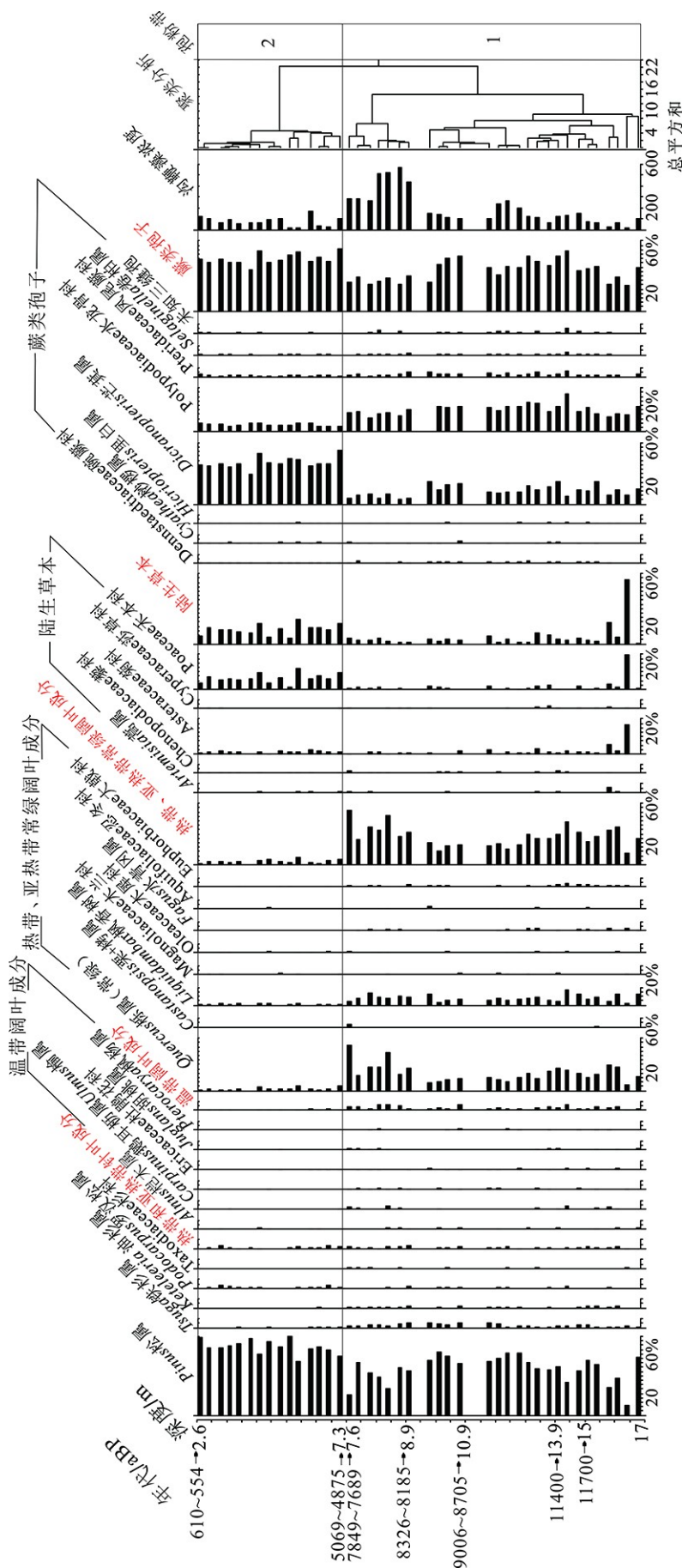


图 4 NDQK2 钻孔主要花粉类型百分比及沟鞭藻浓度图
花粉百分比基于总花粉数量,孢子百分比基于花粉和孢子总数。

Fig.4 Percentage of major pollen taxa and concentration of marine dinocysts in core NDQK2

The percentage of pollen is based on the total number of pollen, and the percentage of spores is based on the total number of pollen and spores. The unit of the bottom number is %.

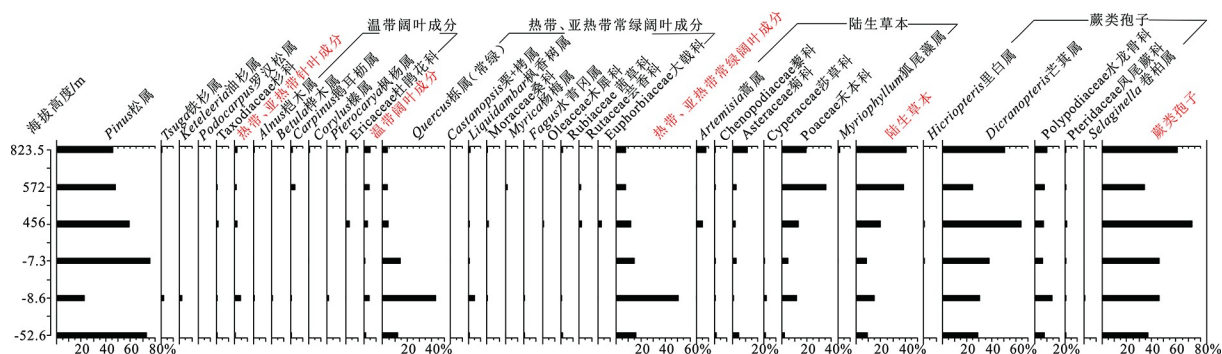


图 5 宁德表土花粉百分比图谱

花粉百分比基于总花粉数量, 孢子百分比基于花粉和孢子总数。

Fig.5 Pollen percentage of surface samples in Ningde

The percentage of pollen is based on the total number of pollen, and the percentage of spores is based on the total number of pollen and spores.

The unit of the bottom number is %.

在。高含量的水龙骨孢子以及低含量的草本花粉进一步证明了周边茂密的常绿阔叶林环境。较高浓度的海相沟鞭藻指示了海相沉积环境。

4.2.2 中、晚全新世阶段的古环境重建

中、晚全新世阶段对应于 NDQK2 钻孔的带 2 (4970~582 cal.aBP) (图 4)。在大约 4970 aBP 以后, 孢粉带 2 与带 1 相比出现明显变化, 主要体现在木本花粉中松属花粉(78%)含量增高, 而以常绿栎和枫香树属为主的热带、亚热带阔叶成分(平均含量 3.7%)出现大幅度减少, 反映了作为地带性植被的常绿阔叶林的分布开始减少。与此同时, 在 7770~4970 aBP 期间, 以芒萁为主的蕨类孢子(46.9%)和以禾本科为主的草本花粉(16.28%)含量急剧增加。从这一时期开始, 草本植物花粉占比很大程度地超过除松属以外的其他类型花粉, 这种变化和福州盆地已有的孢粉记录非常相似^[15]。

考虑到大约 4970 aBP 以后以芒萁和松属为主的孢粉组合(孢粉带 2)与现代表土孢粉组合极其相似(图 4 和 5), 我们认为 7770~4970 aBP 时期 NDQK2 孔中孢粉谱的巨大变化并不是由于气候突变导致的, 而是由于人类活动所引起的, 也就是说人类活动破坏了天然森林植被从而导致次生植被的迅速扩张。

4.3 早全新世以来的孢粉组合与深海氧同位素 (MIS) 5a 阶段以来的孢粉组合的对比

与本钻孔同处于福建省宁德市东部三沙湾内的 NDGK2 和 NDQK5 孔的孢粉记录共同显示, 在 7770~4970 aBP 阶段孢粉组合发生了显著的变化, 其中, 最突出的变化就是以芒萁为主的蕨类孢子和以禾本科为主的草本花粉突然剧烈增加, 并且成为

孢粉谱中的主要成分, 而热带、亚热带常绿阔叶成分的百分含量则明显下降(图 6)。这种孢粉谱的变化完全不同于相对高海平面的 MIS3 早期和 MIS5a 阶段, 而与现代的孢粉组合较为类似(图 5 和 6)。我们推测在中全新世前至少 8.5 万年的时间段内, 该地区热带、亚热带阔叶林是稳定存在的, 在 7770~4970 aBP 左右, 人类活动开始对当地天然森林造成强烈的干扰和破坏。与此同时, 全新世人类活动打破了自然植被演替规律的孢粉证据也同步出现在南海北部的记录中^[3]。

4.4 7770~4970 aBP 左右出现的人类活动与周边遗址的可能联系

为了探讨本地区人类活动与其他文明间的时空联系, 本文搜集了中国东南沿海地区新石器时代(10000 aBP 以来)的考古资料, 试图从人类活动的时间和空间上的分布来揭示古人类的迁徙与环境变化等因素间的交互关系(表 5)。

在约 11000~9000 aBP, 位于浙江省中部的浦阳江流域发育了“上山文化”, 该文化遗址群是长江下游地区迄今发现的最早的新石器时代遗址, 也是我国目前发现的分布最为集中的新石器时代早期遗址群^[9]。7000~6500 aBP 期间, 在杭州湾沿岸地区发现了“马家浜文化”和“河姆渡文化”。“河姆渡文化”起初发展繁荣, 但随着人口不断增长, 人们对于资源的需求也随之增加, 其文化开始向外传播并逐渐走向衰落^[41]。前人研究认为河姆渡文化的衰落是海侵、水患、气候等多方面因素共同作用的结果, 后期因姚江改道引发咸潮和洪水内涝, 造成河姆渡赖以生存的姚江谷地环境恶化, 河姆渡文化大规模南迁并走向衰落, 最终在大约 5000 aBP 消失

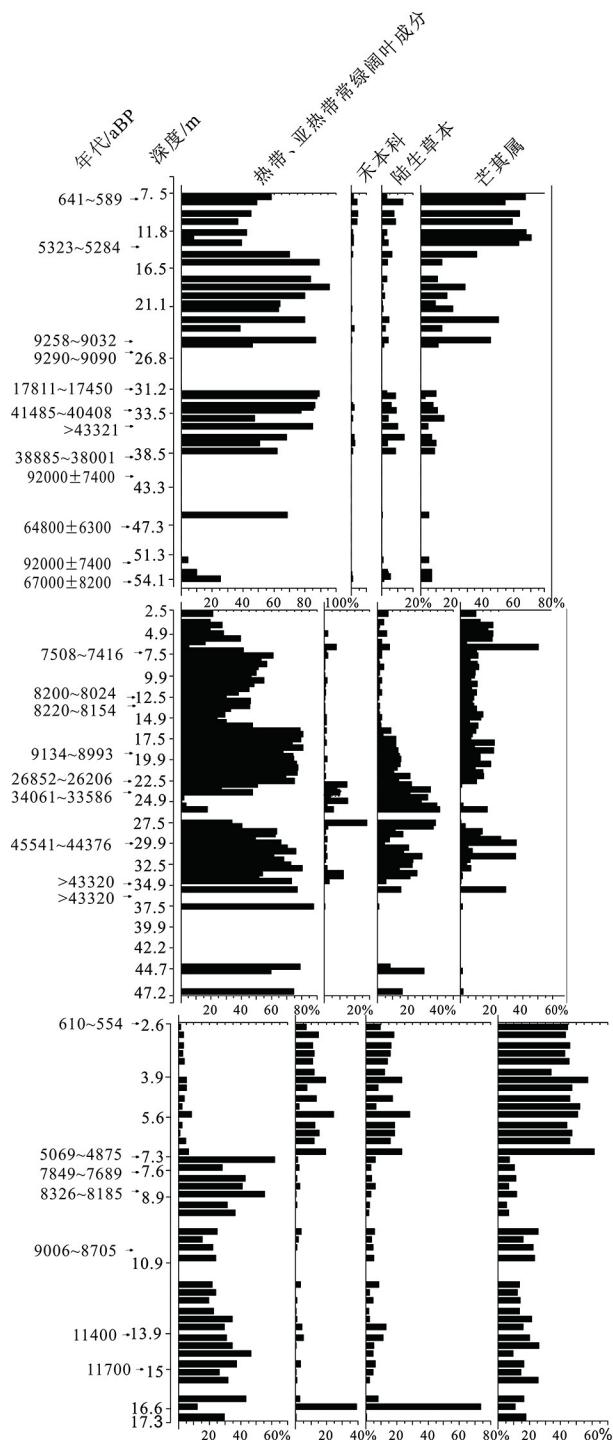


图6 NDGK2、NDQK5和NDQK2孔中主要孢粉组的百分比对比图

花粉百分比基于总花粉数量,孢子百分比基于花粉和孢子总数。底部数字单位为%。NDGK2和NDQK5钻孔的孢粉数据来自文献[37]。

Fig.6 Comparison of percentages of pollen group in cores NDGK2, NDQK5 and NDQK2

The percentage of pollen is based on the total number of pollen, and the percentage of spores is based on the total number of pollen and spores. The unit of the bottom number is %. Pollen data from cores NDGK2 and NDQK5 are derived from ref.[37].

于宁绍平原。因此,河姆渡文明的最终消失与浙江沿海古环境演化以及全新世海面波动有密切关系^[42-43]。在这之后,我国东南沿海地区的考古遗址数量明显增加,空间分布更加广阔,这可能表明当时人类活动范围的扩张。6500~5500 aBP间,福建沿海出现了以壳丘头遗址、富国墩遗址和金龟山遗址等为代表的贝丘遗址,这些贝丘遗址是目前福建沿海新石器时代最早的人类文明遗迹^[44]。一般而言,某一考古学文化只要与其他文化发生接触,必然会相互影响,如壳丘头遗址中的石镞形态、陶器特征和玉玦形状,都与晚期的“河姆渡文化”(6000~5000 aBP)具有很强的共性和可比性^[12],且其年代恰处于“河姆渡文化”沿海岸向南扩张的时期。

根据对我国东南沿海地区130处文化遗址的时空对比分析发现(图7),在10000 aBP以来我国东南沿海地区遗址经历了先集聚后逐渐沿海岸向南扩散的空间过程,遗址分布整体上呈现从北向南逐渐年轻趋势。现有资料表明,福建沿海地区目前最古老的遗址是6500~5500 aBP的“壳丘头文化”和“富国墩文化”,但它集中分布在福建省东部和南部,少数零星分布在中部。本研究首次证明在7770~4970 aBP左右福建宁德地区就已经有人类活动存在,这是福建省东北部目前出现的已知最早的人类活动时间。

6000 aBP前后河姆渡文化盛极而衰,并开始向外迁徙,其古人类的迁移方向一直被广泛讨论。王海明等^[12]的研究发现6000 aBP前后“河姆渡文化”已渡海到达舟山群岛,而福建宁德地区最为接近长江中下游,其初始的人类活动证据刚好位于“河姆渡文明”消亡之后。结合图7展示的考古遗址的时空分布,我们可以假设福建古人类的来源可能与长江中下游的“河姆渡文明”存在某种联系,也就是说他们可能由长江中下游地区迁徙而来。

5 结论

(1) 在11700至7770~4970 aBP时期,福建省宁德地区的天然植被类型以亚热带常绿阔叶林和松林为主,极少量的温带成分花粉和相对丰富的热带、亚热带阔叶花粉证明了在该时段研究区为温暖的亚热带气候。

(2) 在7770~4970 aBP左右,蕨类植物芒萁的分布范围出现了快速的扩张,与此同时,以禾本科为主的草本植物也明显增多,木本植物数量明显减少,这可能指示了中全新世开始人类活动强烈干扰

表 5 我国东南沿海各期文化遗址信息
Table 5 Information of cultural relics in various stages along the southeast coast of China

遗址类型	上山文化	跨湖桥文化	马家浜文化	河姆渡文化	壳丘头文化/富国墩文化	崧泽文化	昙石山文化/大帽山文化
时间/kaBP	11~8	8~7	7~6	7~5	6.5~5.5	6~5.3	5~4.3
遗址数量/个	18	6	31	11	7/2	44	6/5
纬度 (N)	29° 27' 36"	30° 8' 39"	30° 42' 19"	29° 57' 45"	25° 37' 25"/24° 26' 28"	31° 8' 46"	26° 9' 1"/23° 43' 13"

考古资料和数据来自于《中国文物地图集浙江分册》(国家文物局, 2009)^[38]、《中国文物地图集福建分册》(国家文物局, 2007)^[39]及《长江下游考古时代的环境研究》^[40]。

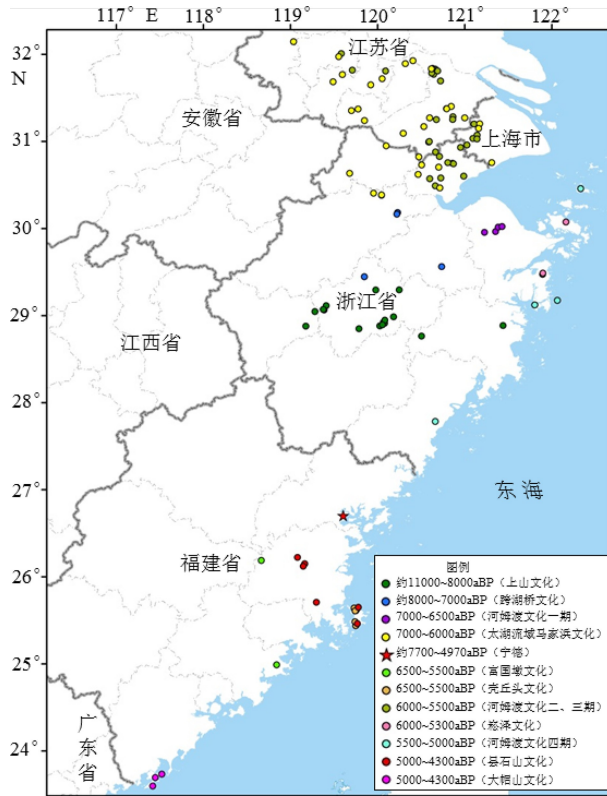


图 7 东南沿海 11 000~4 300 aBP 遗址时空分布图
Fig.7 Temporal and spatial distributions of archaeological sites between 11 000 and 4 300 aBP in the southeast coast of China

了福建宁德地区的天然植被。

(3)结合孢粉证据所揭示的古环境变化及东南沿海的考古证据,推断宁德周边地区 7770~4970 aBP 突然出现的古人类活动可能与长江中下游地区较早的古人类文明具有一定的联系。

参考文献 (References)

[1] Flenley J R, King S M. Late Quaternary pollen records from Easter Island [J]. *Nature*, 1984, 307(5946): 47-50.
 [2] Diamond J M. The present, past and future of human-caused extinctions [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 1989, 325(1228): 469-477.
 [3] Cheng ZJ, Weng CY, Steinke S, et al. Anthropogenic modification of

vegetated landscapes in southern China from 6,000 years ago [J]. *Nature Geoscience*, 2018, 11(12): 939-943.
 [4] 刘东生. 开展“人类世”环境研究,做新时代地学的开拓者:纪念黄汲清先生的地学创新精神[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(4): 369-378. [LIU Dongsheng. Demand of anthropocene study in the new stage of geoscience: in honor of late geologist Huang Jiqing for his innovative spirit [J]. *Quaternary Sciences*, 2004, 24(4): 369-378.]
 [5] Peng W X, Sonne C, Lam S S, et al. The ongoing cut-down of the Amazon rainforest threatens the climate and requires global tree planting projects: A short review [J]. *Environmental Research*, 2020, 181: 108887.
 [6] 白夜, 武达, 石宽, 等. 澳洲山火肆虐引发的思考[J]. *中国应急管理*, 2020(1): 62-63. [BAI Ye, WU Da, SHI Kuan, et al. Reflections on the Raging bushfires in Australia [J]. *China Emergency Management*, 2020(1): 62-63.]
 [7] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1982: 62-67. [WANG Kaifa, WANG Xianzeng. *Introduction to Palynology*[M]. Beijing: Peking University Press, 1982: 62-67.]
 [8] 焦天龙. 东南沿海的史前文化与南岛语族的扩散[J]. *中原文物*, 2002(2): 13-16. [JIAO Tianlong. Prehistoric culture in southeastern china and diffusion of Austronesian subgroups [J]. *Cultural Relics of Central China*, 2002(2): 13-16.]
 [9] 徐怡婷, 林舟, 蒋乐平. 上山文化遗址分布与地理环境的关系[J]. *南方文物*, 2016(3): 131-138. [XU Yiting, LIN Zhou, JIANG Leping. The relationship between the distribution of Shangshan Culture Site and the geographical environment [J]. *Cultural Relics in Southern China*, 2016(3): 131-138.]
 [10] 王心喜. 长江下游原始文明新源头: 浙江嵊州小黄山新石器时代早期遗存的考古学研讨[J]. *文博*, 2006(4): 72-77. [WANG Xixi. A New source of primitive civilization in the lower reaches of the Yangtze River: Archaeological research on the early Neolithic relics in Xiao Huangshan in Shengzhou, Zhejiang [J]. *Relics and Museology*, 2006(4): 72-77.]
 [11] Zong Y, Chen Z, Innes J B, et al. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China [J]. *Nature*, 2007, 449(7161): 459-462.
 [12] 王海明, 刘淑华. 河姆渡文化的扩散与传播[J]. *南方文物*, 2005(3): 114-118, 113. [WANG Haiming, LIU Shuhua. The spreading and propagation for Hemudu culture [J]. *Cultural Relics in Southern China*, 2005(3): 114-118, 113.]
 [13] 王斌. 马家浜文化研究[D]. 上海大学博士学位论文, 2019. [WANG Bin. *The comprehensive research of Majiabang culture*[D]. Doctor

- Dissertation of Shanghai University, 2019.]
- [14] Yue Y F, Zheng Z, Rolett B V, et al. Holocene vegetation, environment and anthropogenic influence in the Fuzhou Basin, southeast China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 99: 85-94.
- [15] 乐远福, 郑卓, ROLETT B V, et al. 闽江下游全新世孢粉记录的植被与环境变化[J]. *热带地理*, 2016, 36(3): 417-426. [YUE Yuanfu, ZHENG Zhuo, ROLETT B V, et al. Vegetation and environmental changes inferred from a Holocene pollen spectrum in the Lower Reaches of Min River [J]. *Tropical Geography*, 2016, 36(3): 417-426.]
- [16] Yue Y F, Zheng Z, Huang K Y, et al. A continuous record of vegetation and climate change over the past 50, 000 years in the Fujian Province of eastern subtropical China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, 365-366: 115-123.
- [17] Ma T, Zheng Z, Rolett B V, et al. New evidence for Neolithic rice cultivation and Holocene environmental change in the Fuzhou Basin, southeast China [J]. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2016, 25(4): 375-386.
- [18] Zhao L, Ma C M, Leipe C, et al. Holocene vegetation dynamics in response to climate change and human activities derived from pollen and charcoal records from southeastern China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2017, 485: 644-660.
- [19] 邱宏烈. 中国福建省亚热带山地4000年来植被变化的孢粉记录[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2006, 1(3): 11-23. [QIU Honglie. A 4000-Year pollen record of vegetation change from the subtropical mountains of Fujian Province, China [J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2006, 1(3): 11-23.]
- [20] 吴少元. 中全新世以来福建东北地区植被与环境变化[J]. *微体古生物学报*, 2019, 36(2): 181-189. [WU Shaoyuan. Reconstructing climate change and human activities based on pollen and spore data in northeast Fujian province since the middle Holocene [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2019, 36(2): 181-189.]
- [21] 林鹏, 丘喜昭, 吴志强, 等. 福建植被[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1990: 91-116. [LIN Peng, QIU Xizhao, WU Zhiqiang, et al. *Vegetation in Fujian*[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press, 1990: 91-116.]
- [22] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 1-1375. [WU Zhengyi. *Chinese Vegetation*[M]. Beijing: Science Press, 1980: 1-1375.]
- [23] Brown C A. *Palynological Techniques*[M]. 2nd ed. Dallas: AASP Foundation, 2008.
- [24] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态[M]. 北京: 科学出版社, 1995. [WANG Fuxiong, QIAN Nanfen, ZHANG Yulong, et al. *Pollen Flora of China*[M]. Beijing: Science Press, 1995.]
- [25] 唐领余, 毛礼米, 舒军武, 等. 中国第四纪孢粉图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 1-620. [TANG Lingyu, MAO Limi, SHU Junwu, et al. *An Illustrated Handbook of Quaternary Pollen and Spores in China*[M]. Beijing: Science Press, 2016: 1-620.]
- [26] Maher L J Jr. Statistics for microfossil concentration measurements employing samples spiked with marker grains [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1981, 32(2-3): 153-191.
- [27] Reimer P J, Bard E, Bayliss A, et al. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50, 000 years cal BP [J]. *Radiocarbon*, 2013, 55(4): 1869-1887.
- [28] 陈金霞, 张德玉, 张文卿, 等. 末次冰期以来冲绳海槽北部古气候变化的孢粉记录[J]. *海洋学报*, 2006, 28(1): 85-91. [CHEN Jinxia, ZHANG Deyu, ZHANG Wenqing, et al. The paleoclimatic change since the last glaciation in the north of Okinawa Trough based on the spore-pollen records [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28(1): 85-91.]
- [29] Grimm E C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares [J]. *Computers & Geoscience*, 1987, 13(1): 13-35.
- [30] 李宜垠, 周力平, 崔海亭. 人类活动的孢粉指示体[J]. *科学通报*, 2008, 53(9): 991-1002. [LI Yiyin, ZHOU Liping, CUI Haiting. Palynological indicators of human activity [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(9): 991-1002.]
- [31] 郑卓. 近几千年华南沿海地区植被的人为干扰[J]. *生态科学*, 1998, 17(2): 29-36. [ZHENG Zhuo. Study of human disturbance to the vegetation in recent thousands of years in the coastal areas of southeast China [J]. *Ecologic Science*, 1998, 17(2): 29-36.]
- [32] 郑卓, 邓韞, 张华, 等. 华南沿海热带-亚热带地区全新世环境变化与人类活动的关系[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(4): 387-393. [ZHENG Zhuo, DENG Yun, ZHANG Hua, et al. Holocene environmental changes in the tropical and subtropical areas of the South China and the relation to human activities [J]. *Quaternary Research*, 2004, 24(4): 387-393.]
- [33] Ma T, Rolett B V, Zheng Z, et al. Holocene coastal evolution preceded the expansion of paddy field rice farming [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(39): 24138-24143.
- [34] 陈焯新, 邓韞, 郑卓, 等. 香港—大亚湾近岸海域表层沉积物的孢粉分布规律[J]. *热带海洋学报*, 2004, 23(2): 75-81. [CHEN Zhixin, DENG Yun, ZHENG Zhuo, et al. Distribution characteristics of pollen and spore in surface sediments of nearshore waters between Hongkong and Daya Bay [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2004, 23(2): 75-81.]
- [35] Huang K Y, Zheng Z, Liao W B, et al. Reconstructing late Holocene vegetation and fire histories in monsoonal region of southeastern China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2014, 393: 102-110.
- [36] 罗传秀, 陈木宏, 刘建国, 等. 广东沿海及海南岛东南部海底表层孢粉分布及其环境意义[J]. *热带海洋学报*, 2012, 31(2): 55-61. [LUO Chuanxiu, CHEN Muhong, LIU Jianguo, et al. Pollen distribution in marine surface sediments of Guangdong coast and southeast Hainan Island and its environmental significance [J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2012, 31(2): 55-61.]
- [37] 于俊杰, 彭博, 兰佑, 等. 孢粉证据揭示MIS 5a以来福建东北沿海地区人类活动、海平面及气候变化[J]. *地球科学*, 2019: 1-23. [YU Junjie, PENG Bo, LAN You, et al. Palynological record revealed anthropogenic deforestation, sea level and climate changes since marine isotope stage 5a in the northeastern coast of Fujian Province [J]. *Earth Sciences*, 2019: 1-23.]
- [38] 国家文物局. 中国文物地图集: 浙江分册[M]. 北京: 文物出版社, 2009. [State Administration of Cultural Heritage. *Atlas of Chinese*

- Cultural Relics: Zhejiang Province[M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 2009.]
- [39] 国家文物局. 中国文物地图集: 福建分册[M]. 北京: 文物出版社, 2007. [State Administration of Cultural Heritage. Atlas of Chinese Cultural Relics: Fujian Province[M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 2007.]
- [40] 高蒙河. 长江下游考古时代的环境研究: 文明化进程中的生态系统与人地关系[D]. 复旦大学博士学位论文, 2003. [GAO Menghe. An environmental study on the Lower Reaches of the Yangtse River based on Archaeological Sequence: the ecological system and the relationship between human and environment in the process of civilization[D]. Doctor Dissertation of Fudan University, 2003.]
- [41] 邵九华. 河姆渡原始部落村[M]. 北京: 大众文艺出版社, 2008. [SHAO Jiuhua. Hemudu Primitive Tribal Village[M]. Beijing: Popular Literature and Art Press, 2008.]
- [42] 周宗尧, 余国春, 董学发, 等. 河姆渡早期文化发展间断原因新考[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 550-558. [ZHOU Zongyao, YU Guochun, DONG Xuefa, et al. New study of the reasons for the interruption of the earliest Hemudu Culture [J]. *Geology in China*, 2012, 39(2): 550-558.]
- [43] 连琳琳, 张丽萍, 张妙仙, 等. 浙江沿海15226~5550 cal. aBP的古环境与海平面变化及其对河姆渡文化的影响[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014, 34(4): 11-19. [LIAN Linlin, ZHANG Liping, ZHANG Miaoxian, et al. Sporo-pollen Records of 15226~5550 cal. aBP on Zhejiang coast and implications for sea-level change [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2014, 34(4): 11-19.]
- [44] 蔡保全. 从贝丘遗址看福建沿海先民的居住环境与资源开发[J]. 厦门大学学报: 哲社版, 1998(3): 106-111. [CAI Baoquan. A study of the living environment and resource development of the ancestors in coastal Fujian province from the Ruins of Beichu [J]. *Journal of Xiamen University: Philosophy and Social Sciences Edition*, 1998(3): 106-111.]