

大九湖钻孔记录的神农架地区中更新世晚期以来的气候环境变化

郑秋凤, 张茂恒, 李吉均, 舒 强, 陈 晔, 萧家仪, 赵志军

(南京师范大学地理科学学院, 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京 210023)

摘要: 运用孢粉浓缩物 AMS ^{14}C 测年和氨基酸测年方法结合气候地层对比, 建立神农架地区大九湖盆地 DJH-2 孔的地层年代序列。依据孢粉分析结果并结合沉积环境, 将大九湖盆地中更新世晚期以来的植被演替和古气候演化划分为六个阶段: ① 275.0-188.0 ka, 寒冷偏干, 寒温带针叶林、高山草甸; ② 245.0-188.0 ka, 暖湿偏干, 常绿、落叶阔叶混交林; ③ 188.0-129.0 ka, 冷干, 寒温带针叶林为主, 过渡为高山草甸为主; ④ 129.0-71.8 ka, 暖湿, 暖温带落叶阔叶林; ⑤ 71.8-15 ka, 冷干, 寒温带针叶林与高山草甸间隔发育, 中间有喜暖种属增多的迹象; ⑥ 15.0-1.0 ka, 暖湿, 亚热带常绿、落叶阔叶林。孢粉组合特征及单种属特征所显示的盆地气候变化反映了良好的全球冰期、间冰期气候旋回。孢粉浓度特征反映大九湖盆地气候变化受北半球高纬冰量与低纬太阳辐射的双重控制。

关键词: 神农架大九湖盆地; 中更新世晚期; 气候变化; 孢粉分析

DOI: 10.11821/dlyj201406016

1 引言

神农架大九湖盆地作为受东亚冬、夏季风显著影响地区, 其气候变化历史对全面了解古季风气候环境变迁的一致性与差异性、更深入分析古季风环境变迁的效应和机制有着重要意义。中国学者通过对神农架地区的孢粉^[1-6]、泥炭^[7-9]和石笋^[10-18]的研究, 很好地揭示了该地区东亚季风的尺度演变特征。比较精细的研究主要集中在晚更新世和全新世, 以及短尺度所记录的气候事件。为此, 本文选择神农架大九湖盆地中心钻取底部穿过基岩的岩芯, 对此岩芯中更新世晚期以来的湖沼相沉积物进行孢粉学研究, 目的在于揭示季风区中更新世晚期以来气候演化的阶段性和突变性, 并探讨典型季风区域内山地气候与环境变化的时空变化特征及对全球变化的响应。

大九湖盆地是一封闭的岩溶盆地, 位于神农架林区的最西端 (图 1), 地理位置约在 $109^{\circ}56'\sim 110^{\circ}11'E$ 、 $31^{\circ}24'\sim 31^{\circ}33'N$ 之间^[19,20]。盆地地处中纬度北亚热带季风气候区, 盆地底部海拔 1750 m 左右, 盆地外围是海拔 2200~2400 m 的陡峭中山, 山顶高出盆地底部约 500~800 m, 气候冷湿。日照时间短, 气温较低, 年均温 7.4°C 年均降水 1560 mm, 主要降水出现在 4-10 月, 占全年的 85%。盆地所处的神农架林区山地植被垂直带谱的结构, 大体与秦岭南坡、大巴山北坡植被垂直带谱相似, 海拔由低到高分为不同的植被带, 大致情况为: ① 海拔 400~1800 m (南坡为 200~1800 m) 为常绿、落叶阔叶混交林带。

收稿日期: 2013-10-10; 修订日期: 2014-03-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40972112, 41072127); 江苏省高校优势学科建设项目

作者简介: 郑秋凤 (1987-), 女, 江苏常州人, 博士研究生, 从事气候变化研究。E-mail: zhengqf611@163.com

通讯作者: 赵志军 (1973-), 男, 副教授, 从事地貌学与第四纪地质学研究。E-mail: zhao1029@gmail.com



图1 神农架大九湖盆地位置示意图
Fig.1 The location of Dajiuhu Basin in Shennongjia area

② 海拔1800~2600 m为温性针叶林、落叶阔叶林带。③ 海拔2600~3105 m为寒温带针叶林带，以巴山冷杉组成原始森林^[21]。

2 材料来源与研究方法

本文研究的材料编号为DJH-2，地理位置为109°59'40"E、31°29'28"N，位于大九湖盆地的中心位置（图2）。整个钻孔钻进深度约为43.57 m。DJH-2孔岩芯连续、完整，采取率在95%以上，为一套湖沼相沉积，包含4个明显的泥炭—粘土—碎屑旋回和若干次级韵律。现场调查发现，大九湖湿地区域内有种子植物25科43属50种，主要是草本植物，但也分布着少量灌木。主要自然沼泽植物有红穗苔草（*Carex argyi*）、小灯心草（*Juncus bufonius*）、单穗苔草（*Carex capillacea*）、地榆（*Sanguisorba officinalis*）、耳翼蟹甲草（*Cacalia otopteryx*）、拂子茅（*Calamagrostis epigejos*）等^[22]。

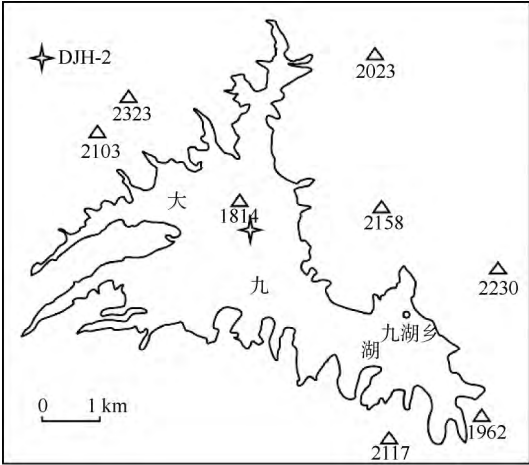


图2 DJH-2孔位置
Fig.2 The core location of DJH-2

大九湖DJH-2孔上部5.45 m采用孢粉浓缩物AMS ¹⁴C方法测年（表1），样品由美国加利福尼亚大学地球系统科学实验室进行制样，并在美国加利福尼亚大学地球系统科学实验室进行加速器质谱仪（AMS）测试。数据使用国际通用的校正程序CALIB 5.01版本进行日历年龄校正。下部采用氨基酸外消旋测年方法^[23-26]（表2），样品由南京师范大学生命科学学院色谱室测试。由已知的地球化学元素特征，结合年代控制点，以及气候地层层学方法，校正得出整段岩芯底部的最终年代，其底界年代为275.8 ka。

表 1 ¹⁴C 测年结果
Tab.1 The results of ¹⁴C dating method

深度(cm)	33	51	83	99	117	144	270	396	517	545
¹⁴ C 年龄 (a BP)	1115±37	1635±9	2600±20	3300±37	3865±53	7410±35	16650±80	23730±80	35790±300	39140±350

表 2 氨基酸测年法结果
Tab.2 The results of amino acid racemation dating method

深度(cm)	560	573.8	729.1	1030.1	3110.6
AA 年代 (a)	40935	83209	53441	75737	191005

孢粉室内取样间隔为 8~22 cm 不等,共分析样品 362 个,每个样品取碎好过筛(筛子孔径 0.5 cm)的干样品 1.3~5 g 不等,加入约 27637 粒石松孢子(用于计算孢粉浓度)后,进行盐酸→氢氟酸→盐酸处理,用筛选法将样品中的孢粉集中在试管中。

3 结果分析

通过显微镜下详细鉴定,大部分样品统计孢粉均在 300 粒以上,个别样品含孢粉较少。计算结果显示,该剖面从下至上孢粉浓度变化非常大,样品孢粉浓度最大为 1842465 粒/g,孢粉浓度最小仅有 27 粒/g。共鉴定出 126 个孢粉(科)属(种),其中大量出现的种属有乔、灌木花粉(Trees and Shrubs):冷杉属(*Abies*)、云杉属(*Picea*)、松属(*Pinus*)、槭属(*Acer*)、东方盐肤木(*Rhus orientalis*)、桦木属(*Betula*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、榛属(*Corylus*)、大戟属(*Euphorbia*)、乌柏属(*Sapium*)、水青冈属(*Fagus*)、栎属(*Deciduous Quercus*)、常绿栎属(*Evergreen Quercus*)、胡桃属(*Juglans*)、枫杨属(*Pterocarya*)、榆属(*Ulmus*);草本花粉(Herbs):泽泻属(*Alisma*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、菊科(*Compositae*)、蒿属(*Artemisia*)、莎草科(*Cyperaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、蓼属(*Polygonum*)、地榆属(*Sanguisorba*)、毛茛科(*Ranunculaceae*);蕨类孢子(Pteridophytes):剑蕨属(*Loxogramme*)、水龙骨科(*Polypodiaceae*)、阴石蕨属(*Humata*)等。

为了便于统计制图,本文将生态意义相近的云、冷杉归为一类,蒿属、藜科归为一类,然后选择在岩芯剖面中总的百分含量超过 5% 而且生态意义较大的科属绘制孢粉图谱。根据岩芯剖面的孢粉组合特征,参考聚类分析 Coniss 结果,将孢粉组合划分为 6 个孢粉带,其下又分成相应的孢粉亚带。孢粉总浓度为各孢粉带所有样品的孢粉个数;热带、亚热带阔叶植物主要是常绿栎属(*Evergreen Quercus*)、东方盐肤木(*Rhus orientalis*)、大戟属(*Euphorbia*)和乌柏属(*Sapium*);陆生草本包含地榆属(*Sanguisorba*)、禾本科(*Gramineae*)、蒿属(*Artemisia*)、蓼属(*Polygonum*)、菊科(*Compositae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)等;水生、湿生草本主要为莎草科(*Cyperaceae*)和香蒲属(*Typha*) + 狐尾藻属(*Myriophyllum*) + 眼子菜属(*Potamogeton*)。各带的孢粉组合特征按由老到新的顺序简述如下(图 3,图中 A+C 为 *Artemisia*+*Chenopodiaceae*; Sum 为 pollen concentrations,单位为千粒/g):

(1) 孢粉带 I: 43.57~37.20 m (约 275.8-245.0 ka),孢粉组合为莎草科—云杉属/冷杉属—常绿栎属—水青冈属(*Cyperaceae-Picea/Abies-Evergreen Quercus-Fagus*)。该带孢粉总浓度较小,平均为 760 粒/g。乔、灌木植物花粉占主导,平均含量为 52.78%,亚热带阔叶植物花粉较少。草本植物中,陆生草本花粉总体较多,平均含量为 19.60%,湿生

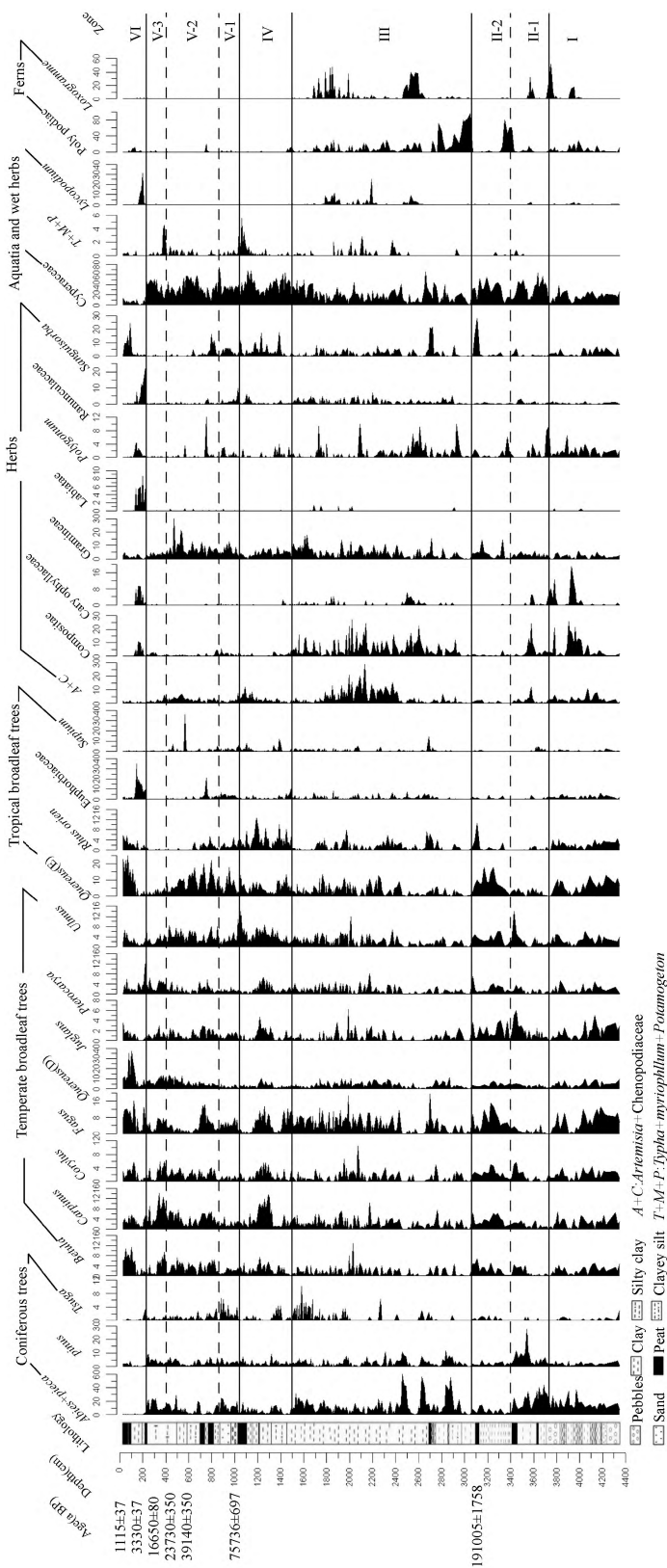


图 3 大九湖盆地 DJH-2 孔主要孢粉百分含量图

Fig.3 Diagram of selected pollen types from core DJH-2 of the Dajuhu Basin

草本莎草科花粉最多, 平均含量 16.53%, 地榆属、禾本科、蒿属、蓼属、毛茛科等花粉少量分布, 其他草本植物花粉少量或零星出现; 蕨类植物中, 水龙骨科孢子含量较多, 平均含量 6.03%。

(2) 孢粉带 II: 37.20~30.70 m (245.0-188.0 ka), 孢粉组合为莎草科—云杉属/冷杉属 (*Cyperaceae-Picea/Abies*)。该带孢粉浓度较孢粉带 I 大, 平均为 136690 粒/g。乔灌木植物花粉和湿生草本花粉占主导, 平均含量分别为 46.35% 和 31.62%。乔木中针叶植物花粉较多, 云杉属/冷杉属在本带从早期到晚期含量减少, 平均含量为 16.01%, 晚期水青冈属和常绿栎属花粉逐渐增多; 湿生草本莎草科在本带有两段含量减少, 平均含量为 31.55%; 根据孢粉百分含量变化特征, 本带可进一步划分为以下 2 个亚带:

① 亚带 II-1: 37.20~34.10 m, 本亚带孢粉总浓度波动较大, 由底部向上渐增, 喜冷的云杉属、冷杉属、松属和喜湿的草本莎草科花粉为主。

② 亚带 II-2, 34.10~30.70 m, 本亚带孢粉总浓度较大且波动也较大, 以温带阔叶植物花粉为主, 水青冈属、常绿栎属、鹅耳枥属和莎草科花粉较多; 蕨类孢子在 33.10~33.30 m 含量特别高, 达到 60%。

(3) 孢粉带 III: 30.70~15.00 m (188.0-129.0 ka), 孢粉组合为莎草科—云杉属/冷杉属—水龙骨科 (*Cyperaceae-Picea/Abies-Polypodiaceae*)。该带孢粉浓度比带 II 小, 平均为 13900 粒/g。本带以草本花粉为主, 平均含量为 39.46%。本带早期蕨类孢子为剖面最多, 平均含量 34.64%, 其次为喜冷的针叶植物花粉, 平均含量为 19.07%; 中期蒿属+藜科和菊科花粉含量增多, 平均含量分别为 7.95% 和 6.40%; 晚期莎草科和云杉属/冷杉属相对含量升高。

(4) 孢粉带 IV: 15.00~10.34 m (129.0-71.8 ka), 孢粉组合为莎草科—常绿栎属—水青冈属 (*Cyperaceae-Evergreen Quercus-Fagus*)。本带孢粉浓度比孢粉带 III 大, 平均含量为 169310 粒/g, 波动较大。水生、湿生草本和温带阔叶植物花粉占主导, 平均含量分别为 38.21% 和 25.11%; 针叶植物花粉较少, 平均含量为 8.42%; 草本植物花粉主要为莎草科, 莎草科平均含量为 37.74%。

(5) 孢粉带 V: 10.34~2.50 m (71.8-15.0 ka), 孢粉组合为莎草科—常绿栎属—栎属 (*Cyperaceae-Evergreen Quercus-Deciduous Quercus*)。本带孢粉浓度与带 IV 相当, 平均为 160380 粒/g。根据孢粉含量变化特征, 本带可进一步划分为以下 3 个亚带:

① 亚带 V-1: 10.34~8.48 m (71.8-60.0 ka), 本亚带孢粉总浓度较低, 且波动较大, 亚带内除 8.68~8.70 m 之间出现云杉属/冷杉属和莎草科含量峰值, 以及松属、水青冈属和常绿栎属的相对较高值外, 其他层位孢粉含量较稳定且浓度较低。

② 亚带 V-2: 8.48~3.93 m (60-26 ka), 本亚带孢粉总浓度较高, 由底部向上有减小趋势。本带中鹅耳枥属、水青冈属和榆属花粉出现峰值, 蒿属+藜科和禾本科花粉含量稳定且有一定数量。云杉属/冷杉属花粉含量相对较少。

③ 亚带 V-3: 3.93~2.50 m (26-15 ka), 本亚带孢粉浓度整体较低, 从底部向上突然减少。云杉属/冷杉属、松属、栎属和莎草科花粉含量相对较多, 桦木属、鹅耳枥属和枫杨属在约 3.4 m 向上突然减少。

(6) 孢粉带 VI: 2.50~0.3 m (15-1 ka), 孢粉组合为槭属—水青冈属—栎属—常绿栎属—大戟属 (*Acer-Fagus-Deciduous Quercus-Evergreen Quercus-Euphorbia*)。本带孢粉总浓度从底部向上由小渐大, 平均为 202760 粒/g, 主要为乔灌木植物花粉, 亚热带和温带阔叶花粉最多, 桦木属、栎属和草本植物花粉浓度达剖面峰值。云杉属/冷杉属花粉较少, 喜冷湿的草本植物花粉莎草科较少, 耐干旱的蒿属+藜科花粉少量出现。

4 古植被与古气候恢复

植物分布受多种因素的影响,但气候的水分条件和热量条件是决定性因素。由于水分条件的不同,植被由沿海向内陆发生经向变化,形成森林、草原、荒漠等不同植被景观;另一方面,由于热量条件的不同,形成了不同温度梯度上的植被变化,主要表现植被类型由赤道向两极的纬向变化。

山地植被垂直带谱的变化一般反映了区域性植被的纬向分异。尽管大九湖盆地DJH-2孔的化石孢粉包含了周围山地的垂直带谱的混合信息,但大九湖的孢粉组合仍能较为清楚地揭示大九湖盆地周围山地植被的演替特征,进而推测大九湖地区自中更新世晚期以来的古气候变化特征。本文采用植物单个属种生态特征为基础的典型属种法结合孢粉组合特征来分析大九湖地区的古植被演替情况。

根据大九湖孢粉组合变化情况,并结合典型属种法,推断大九湖剖面中更新世晚期以来的古植被演替特征为:43.50~37.20 m (275.8-245.0 ka)寒温带针叶林间隔发育山地草甸;37.20~30.70 m (245.0-188.0 ka)常绿阔叶林和常绿、落叶阔叶混交林;30.70~15.0 m (188.0-129.0 ka)寒温带针叶林过渡到山地草甸;15.0~10.34 m (129.0-71.8 ka)山地草甸过渡为暖温带阔叶林;10.34~2.50 m (71.8-15 ka)寒温带针叶林为主到山地草甸为主,中间也出现常绿、落叶阔叶混交林和亚热带常绿阔叶林;2.50~0.3 m (15-1 ka)常绿、落叶阔叶混交林过渡到亚热带常绿阔叶林。由现代神农架植被带可知^[26,27],在冰期阶段,盆地内主要植被垂直向下迁移约900 m;在间冰期阶段,植被带基本与现代相同,在特别温暖适宜的全新世,植被带垂直向上迁移约900 m。

孢粉带I:本带孢粉记录了相当于MIS 8晚期气候特征,没有覆盖完整的MIS 8。该阶段沉积夹有灰白色钙质、粉砂质团块的灰色泥砾层,砾石多角砾,无磨圆,沉积环境为洪积扇相。孢粉浓度为剖面最低值,孢粉组合中,以乔、灌木植物花粉和草本植物花粉为主,云杉属/冷杉属较多,喜湿的草本植物莎草科较多,耐干旱的蒿属和藜科少量出现。推测这段时期以温带气候为主,冷湿偏干发展为冷干环境。

孢粉带II:本带沉积以灰黄色黏土,深灰色、灰黑色有机质粘土为主,所处年代相当于倒数第二次间冰期。本带孢粉表现有阶段性特征,总体较孢粉带I浓度大,温带阔叶植物和水生、湿生草本植物花粉较多,反映本带所处气候温暖湿润;在31.10~31.30 m和33.20~33.40 m层段,孢粉浓度有所降低,主要为水龙骨科孢子急剧减少,中生植物禾本科花粉较多,此段时期气候表现为暖湿偏干。

孢粉带III:本带相当于倒数第二次冰期,对应于MIS 6阶段。倒数第二次冰期期间,大九湖盆地的气候环境变化总特点是以温凉偏干为主,沉积以灰黄色、褐色粘土,粉砂质含砾粘土为主。本带孢粉整体浓度较小,气候干冷。本带早期(30.70~24.10 m)喜冷的云杉属、冷杉属花粉较多,喜湿的莎草科花粉也较多,气候冷湿;中期(24.10~17.90 m)耐旱蒿属+藜科以及旱生菊科植物花粉占多数,气候温干;晚期(17.90~15.00 m)喜冷云杉属、冷杉属增多,喜湿的莎草科也较多,反映局地气候偏冷偏湿。

孢粉带IV:本带相当于末次间冰期,沉积深灰、灰褐色粉砂质粘土,沉积环境为洪积扇相,孢粉浓度达到剖面高值,孢粉组合中木本植物花粉含量相对较高,主要是水青冈属、栎属、榆属花粉;草本植物花粉主要是喜冷湿莎草科和香蒲属+狐尾藻属+眼子菜属含量较多,说明喜温喜湿的植物含量相对较多,揭示了本带温暖湿润的气候特征。

孢粉带V:本带相当于末次冰期阶段。处于末次冰期早期和晚期的阶段,孢粉浓度都较小,反映冰期环境不利于植物生长,而且沉积灰色泥沙和泥砾层,更不利于孢粉的

保存。末次冰期间冰段(8.20~4.30 m),大九湖DJH-2孔记录到MIS 3时期出现比末次冰期早、晚阶段更暖湿的气候特征,与全球众多记录一致,温带阔叶植物和喜湿草本植物花粉浓度较大,由于沉积环境为沼泽相过渡为浅水湖泊,孢粉总浓度达到剖面的最大值,反映此阶段气候转变为较温暖湿润,同时也反映了沉积环境对孢粉浓度的影响。

孢粉带VI:孢粉浓度波动较大,反映冰消期以来较复杂的冷暖气候变化。该阶段早期(15-13 ka)处于沼泽沉积环境,降水丰沛,植物生长茂盛,同时较低的温度有利于有机质的保存,气候温和湿润;此后(13-11 ka)地下水位降低,沉积环境转为漫滩相,降水较少,气候转冷变干。文中大九湖盆地进入末次冰消期阶段,孢粉浓度显著增大,喜暖种属水青冈属和大戟属占主要;在约11 ka经历YD事件,孢粉浓度迅速降低;经过11-9 ka的增温增湿渐变期,9 ka以后大九湖地区的气候已经变得非常暖湿,DJH-2孔处于稳定的浅湖沉积环境中,降水丰沛,温度较高,这与马春梅等^[8]研究发现的全新世初期大九湖为湖泊沉积而无累积泥炭条件的结果一致;在4 ka,沉积岩性为粘土,含较多有机质,出现孢粉浓度的较大值,但是温带植物如落叶栎属、水青冈属等百分含量有所增加,判定DJH-2孔记录到一次突然的降温过程。

5 讨论

系统研究大九湖盆地不同部位沉积环境的演变有助于理解和认识钻孔沉积物的环境指示意义。从盆地边缘向沼泽中心,地下水位逐渐升高,沉积环境由坡积—洪积向沼泽再向湖泊转变;在盆地的同一沉积点,当气候条件发生变化时,尤其是降水的变化会造成沉积环境出现相应的改变,因此大九湖盆地沉积类型的变化可以作为降水变化的敏感指标。孢粉在湖泊沉积中保存最好,沼泽湿地为花粉的收集器。由整个岩芯剖面来看,对应于孢粉带I、III、V,都发育有洪积扇相沉积,表明当时该层段降水相对较少,植被类型发生变化,且沉积环境不适宜孢粉的保存,而且从孢粉浓度统计来看,这三段孢粉浓度较低。孢粉带III和孢粉带V也发育了湖相和湖沼相沉积,表明这些层段对应的冰期环境并不稳定,也存在利于植被发育的温暖适宜期。

DJH-2孔孢粉带V记录了末次冰期大九湖盆地的气候与植被状况。从孢粉所分亚带来看,大九湖盆地也经历了三期不同的气候变化。亚带V-2对应于末次冰期间冰阶(MIS 3),这一时期气候总体特征为温和湿润。由李杰等^[37]的研究表明神农架山地末次冰期莎草科属于山地—草甸组分,本带中莎草科百分含量可超过40%,莎草科的较高含量指示了寒冷气候条件下草地—草甸植被发育;本带中常绿栎属花粉含量较冰期早、晚冰阶高,平均为8.68%;云杉属、冷杉属花粉含量在间冰阶比早晚冰阶低(图4),从而表明此段气候总体偏温暖。地处同一地区三宝洞石笋氧同位素的数据显示^[12,13],MIS 3阶段夏季风强度总体比末次冰期早晚时期有明显增强,与全新世大暖期相比强度要低,但是比全新世晚期略高。在温度条件上,MIS 3阶段与冰消期中的暖期及全新世晚期都有利于泥炭沼泽发育的偏凉气候,而全新世大暖期要更温暖,所以不利于有机物质的保存,因此泥炭的发育受到限制。全球众多气候记录都发现MIS 3是一个气候相对温湿的时段,包括深海记录^[31]、冰芯记录^[32,33]和各种陆上记录^[34-36]。这一系列的气候记录表明,末次冰期出现的MIS 3气候相对温湿的时段具有全球性,而大九湖DJH-2孔记录到MIS 3时期出现比末次冰期早晚阶段更暖湿的气候特征,这与全球众多记录一致,是对这一全球气候变化的响应。

孢粉带IV记录了大九湖盆地末次间冰期的植被和气候特征。已有研究表明,末次间

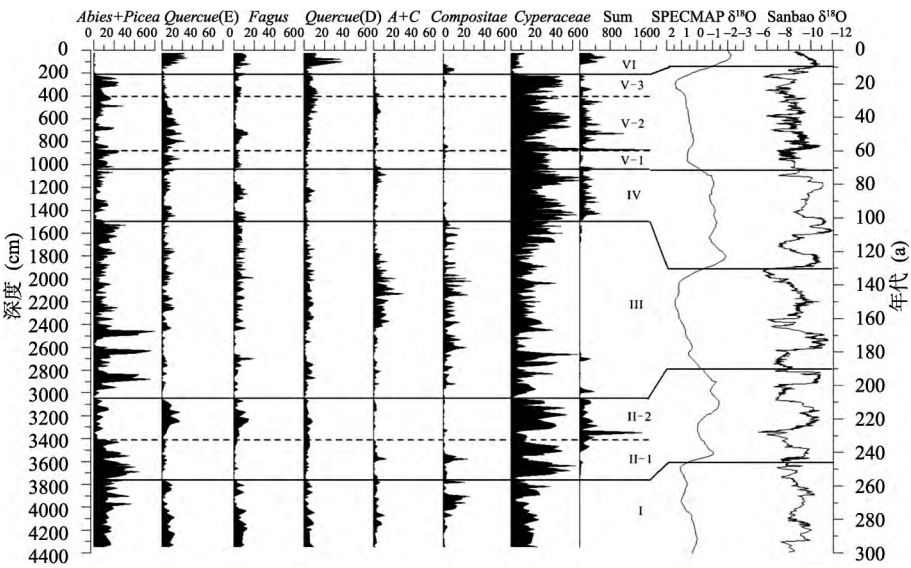


图4 DJH-2孔孢粉百分含量、总浓度与深海氧同位素^[31]、山宝洞石笋氧同位素^[12,13]对比
Fig.4 Comparison of late Middle Pleistocene pollen record from core DJH-2 with $\delta^{18}\text{O}$ records from SPECMAP and Cave Shanbao stalagmite

冰期是近 150 ka 以来全球最暖时期，整体气候条件与目前的全新世相似^[29]，对南方地区石笋的古气候研究也表明，末次间冰期早期阶段（MIS 5e）是整个末次间冰期中最暖湿，全球冰量最少，海面最高，森林茂盛，夏季风最强的阶段^[30]。本段沉积环境以沼泽相为主，间隔发育浅水湖泊，有利于孢粉的富集和保存。本带孢粉浓度较大，反映气候温暖湿润，但与同一地区山宝洞石笋氧同位素对比，又有不同特征。云杉属、冷杉属，水青冈属，鹅耳枥属和常绿栎属花粉百分含量都表现为两峰两谷的特征（图4），与石笋和深海氧同位素相比，间冰期最后一阶段增暖不明显，可能植被在响应气候转变时反应滞后，也可能为年龄不够准确。孢粉组合特征反映了区域或局地气候的整体演变，而石笋氧同位素更多受季风降水的影响，两者可以相互验证该区域的气候演变特征，石笋高分辨率同位素的研究更好地补充了孢粉研究的缺陷，在短时间尺度的研究中优势更明显。

从全孔孢粉总的浓度统计来看，整个剖面从下至上，有两个大的温暖气候期和两个大的寒冷气候期，整体特征与北半球高纬冰量 100 ka 周期相似，说明大九湖盆地在长时间尺度上气候变化，受北半球高纬冰量变化影响较大。孢粉带 IV 的特征，也较能反映与太阳辐射 20 ka 周期相类似特征，要更精确地证明这种关系，还有待下一步孢粉分析与年代的精确测定。

6 结论

（1）大九湖盆地 DJH-2 孔中更新世晚期以来的孢粉组合揭示出周围山地的植被类型在约 275.8 ka 至 1 ka 之间经历了寒温性针叶林、山地草甸、温性针叶林、落叶阔叶林和常绿落叶阔叶混交林等的多次植被演替。

（2）孢粉组合特征与 SPECMAP 深海氧同位素曲线及神农架石笋氧同位素记录对比，气候变化具有一致性，尤其是在末次冰期和末次间冰期冷暖变化趋势的反应上，说明大九湖盆地气候变化响应了全球环境变化趋势，特别是对东亚季风变迁的响应，同时

也显示出亚高山湿地的区域特征。

(3) 大九湖盆地DJH-2孔孢粉浓度特征显示该区域经历两次气候冷暖旋回, 孢粉带内的种属特征与石笋氧同位素的岁差周期较相似, 反映大九湖盆地气候变化受北半球高纬冰量与低纬太阳辐射的双重控制。

参考文献(References)

- [1] 刘光琇. 神农架大九湖地区表土孢粉分析. 西北植物学报, 1990, 10(3): 170-175. [Liu Guangxiu. Pollen analysis of surface samples from Dajiuhu area, Hubei. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1990, 10(3): 170-175.]
- [2] 刘会平, 谢玲娣. 神农架南坡常见花粉的R值研究. 华中师范大学学报: 自然科学版, 1998, 32(4): 495-497. [Liu Huiping, Xie Lingdi. A study on the representation of some main pollens in Shennongjia Region. Journal of Central China Normal University: Natural Science, 1998, 32(4): 495-497.]
- [3] 周明明, 李文漪. 神农架大九湖全新世植被与环境. 见: 李文漪. 中国北中亚热带晚第四纪植被与环境研究. 北京: 海洋出版社, 1993: 33-45. [Zhou Mingming, Li Wenyi. The Holocene vegetation and environment in Dajiuhu Basin of Shennongjia Area. In: Li Wenyi. The Late Quaternary Vegetation and Environment Study in Central and Northern Chinese subtropics. Beijing: Maritime Press, 1993: 33-45.]
- [4] 伍维周. 神农架距今25000-12000年前的孢粉组合及其意义. 湖北大学学报: 自然科学版, 1996, 18(3): 306-308. [Wu Weizhou. The sporo-pollen assemblages from 25000 to 12000 years before present in Shennongjia Mountain and their significance. Journal of Hubei University: Natural Science, 1996, 18(3): 306-308.]
- [5] 刘会平, 唐晓春, 孙东怀, 等. 神农架大九湖12.5 ka BP以来的孢粉与植被序列. 微体古生物学报, 2001, 18(1): 101-109. [Liu Hui ping, Tang Xiaochun, Sun Donghuai, et al. Palynofloras of the Dajiuhu Basin in Shennongjia Mountain during the last 12.5 ka. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2001, 18(1): 101-109.]
- [6] 朱诚, 马春梅, 张文卿, 等. 神农架大九湖15.753 ka BP以来的孢粉记录和环境演变. 第四纪研究, 2006, 26(5): 814-826. [Zhu Cheng, Ma Chunmei, Zhang Wenqin, et al. Pollen record from Dajiuhu Basin of Shennongjia and environmental changes since 15.753 ka B. P. Quaternary Science, 2006, 26(5): 814-826.]
- [7] 何报寅, 张穗, 蔡述明. 近2600年神农架大九湖泥炭的气候变化记录. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(2): 109-115. [He Baoyin, Zhang Sui, Cai Suming. Climatic changes recorded in peat from the Dajiu Lake Basin in Shennongjia since the last 2600 years. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 23(2): 109-115.]
- [8] 马春梅, 朱诚, 郑朝贵, 等. 中国东部山地泥炭高分辨率腐殖化度记录的晚冰期以来气候变化. 中国科学: D辑, 2008, 38(9): 1078-1091. [Ma Chunmei, Zhu Cheng, Zheng Chaogui, et al. Climate changes in East China since the Late-glacial inferred from high-resolution mountain peat humification records. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009, 52(1): 118-131.]
- [9] 马春梅, 朱诚, 郑朝贵, 等. 晚冰期以来神农架大九湖泥炭高分辨率气候变化的地球化学记录研究. 科学通报, 2008, 53(增刊1): 26-37. [Ma Chunmei, Zhu Cheng, Zheng Chaogui, et al. High-resolution geochemistry records of climate changes since late-glacial from Dajiuhu peat in Shennongjia Mountain, Central China. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(Suppl.1): 28-41.]
- [10] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China. Science, 2001, 294(5550): 2345-2348.
- [11] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. The holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate. Science, 2005, 308 (5723): 854-857.
- [12] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224000 years. Nature, 2008, 451(7182): 1090-1093.
- [13] Cheng H, Edwards R L, Broecker W S, et al. Ice age terminations. Science, 2009, 326: 248-251.
- [14] 刘殿兵, 汪永进, 陈仕涛. 神农架天鹅洞石笋76-58 ka BP时段DO事件. 沉积学报, 2007, 25(1): 132-138. [Liu Dianbin, Wang Yongjin, Chen Shitao. DO Events during 76-58 ka B. P. From a stalagmite in Tian'e Cave, Shennongjia Area. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 132-138.]
- [15] 董进国, 孔兴功, 汪永进. 神农架全新世东亚季风演化及其热带辐合带控制. 第四纪研究, 2006, 26(5): 827-834. [Dong Jinguo, Kong Xingong, Wang Yongjin. The East Asian Monsoon climate changes ATMT. Shennongjia and its relation to shift of intertropical convergence zone during the Holocene. Quaternary Sciences, 2006, 26(5): 827-834.]
- [16] 姜修洋, 汪永进, 孔兴功, 等. 神农架140-124 Ka BP百年尺度东亚季风降水的石笋记录. 海洋地质与第四纪地质,

- 2006, 26(3): 39-44. [Jiang Xiuyang, Wang Yongjin, Kong Xingong, et al. Centennial-scale East Asian Monsoon precipitation record over 140-124 ka BP from a stalagmite in Shengningjia. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2006, 26(3): 39-44.]
- [17] 童凯, 汪永进, 程海, 等. 57-48 万年前东亚夏季风的神农架石笋记录. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27(4): 111-116. [Tong Kai, Wang Yongjin, Cheng Hai, et al. East Asian Summer Monsoon record over 571-476 ka BP from a stalagmite in Shennongjia. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2007, 27(4): 111-116.]
- [18] 陈仕涛, 汪永进, 孔兴功等. 倒数第三次冰消期亚洲季风气候可能的类 Younger Dryas 事件. *中国科学: D 辑*, 2006, 36(5): 445-452. [Chen Shitao, Wang Yongjin, Kong Xingong, et al. A possible Younger Dryas-type event during Asian monsoon Termination 3. *Science in China: Earth Sciences*, 2006, 49(9): 982-990.]
- [19] 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. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 1986, 20(3): 345-356. [Jin Cairui, Fu Aiming. A preliminary study on pleistocene glacial remnants in Dajiuhu region of Shennongjia. *Journal of Central China Normal University: Natural Science*, 1986, 20(3): 345-356.]
- [20] 湖北神农架林区地方志编纂委员会. 神农架志. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1996: 1-79. [Editorial Committee of Local Chronicle in Shennongjia Forest, Hubei. *Shennongjia Records*. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1996.]
- [21] 班继德, 漆根深. 鄂西植被研究. 武汉: 华中理工大学出版社, 1995: 7. [Ban Jide, Qi Genshen. *The Vegetation Study of Western Hubei*. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1995: 7.]
- [22] 朱芸. 神农架大九湖盆地 61 ka BP 以来的环境与气候变化. 南京: 南京师范大学博士学位论文, 2009: 19-20. [Zhu Yun. *The environment and climate change in Dajiuhu Basin of Shennongjia Area since 61 ka*. Nanjing: Doctoral Dissertation of Nanjing Normal University, 2009: 19-20.]
- [23] Kaufman D S, Manley W F. A new procedure for determining DL amino acid ratios in fossils using reverse phase liquid chromatography. *Quaternary Geochronology*, 1998, 17: 987-1000.
- [24] Goodfriend G A. Patterns of racemization and epimerization of amino acids in land snail shells over the course of the holocene. *Geochemical and Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 292-302.
- [25] 王将克, 洪华华, 钟月明, 等. 氨基酸地质年代学. 北京: 海洋出版社, 1986: 59-60. [Wang Jiangke, Hong Huahua, Zhong Yueming, et al. *Geochronology Amino Acids*. Beijing: China Ocean Press, 1986: 59-60.]
- [26] 周义华. 地质年代学第十一讲: 氨基酸外消旋法地质年龄测定. *地质地球化学*, 1982, (11): 61-64. [Zhou Yihua. *Racemic Amino Acid Method of Geological Age Determination*. *Geology and Geochemistry*, 1982, (11): 61-64.]
- [27] 中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980: 279-356, 844-847. [Editorial Committee of Chinese Vegetation. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1980: 279-356, 844-847.]
- [28] 赵常明, 陈伟烈. 神农架植被及其生物多样性基本特征. 见: 陈宜瑜. 生物多样性保护与区域可持续发展: 第四届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 武汉: 中国林业出版社, 2002: 269-279. [Zhao Changming, Chen Weilie. Biodiversity conservation and regional sustainable development. In: Chen Yiyu. *Fourth National Conference on the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity Symposium*. Wuhan: China Forestry Publishing House, 2002: 269-279.]
- [29] Linsley B K. Oxygen-isotope record of sea level and climatic variations in the Sulu Sea over the past 150, 000 years. *Nature*, 1996, 380: 234-237.
- [30] 覃嘉铭, 袁道先, 林玉石, 等. 黔桂地区最近 16 万年高分辨率石笋记录的气候事件. *地学前缘*, 2001, 8(1): 99-105. [Qin Jiaming, Yuan Daoxian, Lin Yushi. Records of high-resolution climate events from stalagmites since 160000 a B.P. In Guangxi and Guizhou Provinces, China. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(1): 99-105.]
- [31] Imbrie J, Hays J D, Martinson D G, et al. The orbital theory of Pleistocene climate: Support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record. *Milankovitch and climate*, Part, 1984, 1: 269-305.
- [32] Jouzel J, Lorius C, Petit J R, et al. Vostok ice core: A continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160, 000 years). *Nature*, 1987, 329(6138): 403-408.
- [33] Grootes P M, Stuiver M, White J W C, et al. Comparison of Oxygen-isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland Ice Cores. *Nature*, 1993, 366(6455): 552-554.
- [34] 鹿化煜, 马海州, 谭红兵, 等. 西宁黄土堆积记录的最近 13 万年高原季风气候变化. *第四纪研究*, 2001, 21(5): 416-426. [Lu Huayu, Ma Haizhou, Tan Hongbin, et al. Plateau monsoon variations during the past 0.13 Ma indicated by Loess deposit at Xining, Northeast Qinghai, China. *Quaternary Science*, 2001, 21(5): 416-426.]
- [35] 施雅风, 贾玉连, 于革, 等. 40-30 ka BP 青藏高原及邻区高温大降水事件的特征、影响及原因探讨. *湖泊科学*, 2002, 14(1): 1-11. [Shi Yafeng, Jia Yyulian, Yu Ge, et al. Features, impacts and causes of the high temperature and large precipitation event in the Tibetan Plateau and its adjacent area during 40-30 ka BP. *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(1): 1-

11.]

- [36] 张茂恒, 夏应菲, 孟景闻, 等. 下蜀黄土中记录的氧同位素3阶段(MIS 3)特殊暖湿现象. 土壤学报, 2008, 45(1): 9-15. [Zhang Maoheng, Xia Yinfei, Meng Jingwen, et al. The especially warm and wet during MIS 3 recorded by Xiashu Loess. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(1): 9-15]
- [37] 李杰, 郑卓, Rachid Cheddadi, 等. 神农架大九湖四万年以来的植被与气候变化. 地理学报, 2013, 68(1): 69-81. [Li Jie, Zheng Zhuo, Cheddadi R, et al. Pollen-based environmental reconstruction around Dajiu Lake, Shennongjia Mountains since 40 ka BP. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(1): 69-81.]

The climate and environment change of Shennongjia area recorded in the core of Dajiu Lake Basin since the late Middle Pleistocene

ZHENG Qiufeng, ZHANG Maoheng, LI Jijun, SHU Qiang, CHEN Ye, XIAO Jiayi,
ZHAO Zhijun

(College of Geography Science, Nanjing Normal University, Key Laboratory of Environmental Evolution and Ecological Construct of Jiangsu Province, Nanjing 210023, China)

Abstract: We have established the stratigraphic sequence of DJH-2 core, Dajiu Lake Basin in Shennongjia Mountain. AMS dating and amino acid dating methods are applied to determine the age. Combined with climate stratigraphic correlation, the age of the core bottom is about 275.8 ka. According to the results of pollen analysis and sedimentary lithology, we have divided the vegetation succession and paleoclimate evolution into six stages since the late Middle Pleistocene. Stage one (275.8-245.0 ka): It was cold and dry, and coniferous forests and alpine meadows developed. Stage two (245.0-188.0 ka): It covered with temperate evergreen and deciduous broad-leaved forests. And it was warmer than stage one. Stage three (188.0-129.0 ka): The paleoclimate condition was similar to stage one, and its major vegetation shifted from coniferous forests to mountain meadow. Stage four (129.0-71.8 ka): The paleoclimate was warm and humid. And it was suitable for temperate broadleaf forests. Stage five (71.8-15.0 ka): The middle pollen subzone had the most of pollen concentration. The pollen belt reflected unstable climate but totally cold and wet. Stage six (15.0-1.0 ka): It was warm and humid to fit for the subtropical evergreen and deciduous broad-leaved forests. In comparison with oxygen isotope sequences of stalagmites (Sanbao caves) in East Asia and marine sediments (SPECMAP), the results show that the past vegetation changes of Shennongjia area responded sensitively to the climate changes. The variation of palynological assemblages followed climate changes, especially some species. The change of rhythm was similar to the global glacial-interglacial climate cycle. The climate change was induced by the ice volume from the high latitudes of the northern hemisphere. And it was also affected by solar radiation at low latitudes. The two factors played an important part in pollen concentration variation.

Key words: Dajiu Lake Basin of Shennongjia area; late Middle Pleistocene; climate change; pollen analysis