

甘青地区末次冰消期以来植被与气候演化的孢粉记录对比分析

魏海成^{1,2}, 马海州¹, 潘安定³, 山发寿¹

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 广州大学地理科学学院, 广东 广州 510006)

摘 要:选用甘青地区达连海、青海湖、苏家湾、大地湾 4 个典型高分辨率的钻孔资料进行对比分析, 阐明了该地区末次冰消期以来气候变化规律与主要气候事件, 初步探讨了该地区植被纬向时空演化规律。结果显示末次冰消期大致开始于 15.2~14.6 ka BP 之间, 冰消期期间该地区气候表现为冷暖波动频繁, 气候不稳定, 植被类型由东向西为草原—荒漠化草原。全新世早期阶段 10.4~8.2 ka BP 气候表现为温干, 植被类型由东向西为疏林草原—草原。全新世中期 8.2~4.3 ka BP 气候温暖湿润, 植被发育良好, 由东向西出现森林—森林草原植被。4.3 ka BP 以后该地区气候总体向凉干方向发展, 3.9~3.4 ka BP 期间陇中地区气候波动较显著, 植被类型草原—森林草原交替出现。晚全新世后期 2.3~0 ka BP 气候冷干, 从东到西发育草原—荒漠化草原植被。

关键词:甘青地区; 末次冰消期; 孢粉纪录; 环境变化; $\delta^{13}C$ 值
中图分类号: Q913.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-858X(2009)01-0013-06

1 引 言

甘青地区位于我国干旱半干旱地区过渡带, 对气候变化十分敏感, 因此成为地质、地理、植物、气候等专家学者共同关注的热点地区。该区主要由一系列北西南向和北北西向断裂控制的山脉及夹于其间的大型菱形盆地组成^[1] (如图 1)。

孢粉学是恢复古植被及古气候的重要手段之一, 在干旱半干旱地区开展地层孢粉学研究对于了解东亚季风强弱变化与古植被、古气候的演化特征具有十分灵敏的指示意义。在甘青地区各盆地前人开展的孢粉学方面的研究较多, 杜乃秋^[3]等 (1983 a) 在柴达木盆地察尔汗盐湖沉积区进行了钻孔孢粉学研究。江德昕、

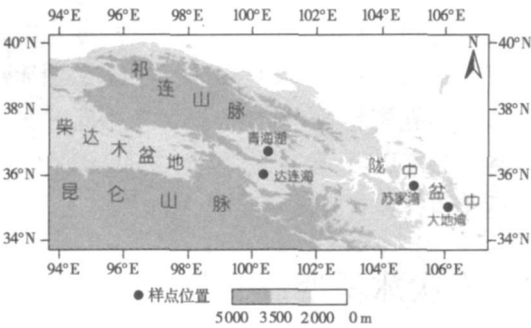


图 1 研究区及样点分布位置
Fig.1 Research area and sample locations

杨惠秋^[6] (2001 a) 对达布逊湖开展了 50 万年以来的植被与气候的演化研究。在青海湖地区杨惠秋等 (1965 a)、杜乃秋等 (1989 a)、刘兴起等 (2002 a) 先后开展了湖泊钻孔研究^[4-5]。Zhao 等人^[7] 对柴达木盆地 Hurleg 湖沉积物岩

心进行了高分辨率孢粉学分析,重建了全新世以来植被与气候演化历史。唐领余、汪世兰^[8] (1988 a)、施炜^[9] (2004 a)在共和盆地开展了早中更新世以来的植被与环境演化研究。程波^[10] (2006 a)对共和盆地达连海湖泊钻孔进行了孢粉学方面的博士论文研究工作。在陇中地区从不同时间尺度上也开展了较多的孢粉学研究工作^[11-15]。以上研究工作中对于末次冰消期以来高分辨率的植被与环境演化研究较少,区域内各盆地之间冰消期以来高分辨率孢粉组合及环境、植被演化的对比分析缺乏。本文在参考前人在本地区开展的工作成果基础上,选择区内 4 个具有典型区域代表性、分辨率高和年代控制较好的钻孔和剖面,对甘青地区各盆地末次冰消期以来的气候环境演化特征进行孢粉学对比分析,其目的在于探讨以下问题: 1. 末次冰消期以来该地区主要的气候事件与气候变化规律; 2. 区域内从东到西气候与植被的时空演化特征。

本文采用的孢粉资料为共和盆地达连海 (DLH) ($36^{\circ}14'50''\text{N}$, $100^{\circ}24'25''\text{E}$) 钻孔^[10]、青海湖 ($36^{\circ}33'\text{N}$, $100^{\circ}47'\text{E}$) 湖泊钻孔^[5]、陇中盆地大地湾 ($35^{\circ}00'\text{N}$, $105^{\circ}54'53.3''\text{E}$)、苏家湾剖面 ($35^{\circ}32'20''\text{N}$, $104^{\circ}31'32''\text{E}$)^[11] (如图 1)。将以上钻孔资料数字化,根据每个钻孔的测年年龄与深度资料,建立深度与年龄的函数关系,最后获得孢粉资料的对比图 (图 2)。

2 末次冰消期以来气候变化的主要特征

孢粉组合中木本花粉含量基本能反映气候的水热状况。郑卓^[2]等通过对中国表土花粉与建群植物地理分布的气候指示性对比发现,云杉对湿度的反应较为敏感,当云杉属花粉比例大于 5% 时,其反映的年降水量区间为 245~705 mm,与实测年降水量区间 210~905 mm 基本一致;松属花粉比例大于 50% 时,所反映的年均温区间的中位数为 10.8°C ,反映较暖的气候;榆、栎、桦等花粉比例大于 10% 时,也反映较好的热量条件。水热条件好说明影响该地区

的暖湿夏季风强盛,因此乔木花粉含量及成分变化能较好地反映温度与湿度的变化。对上述 4 个地区的乔木花粉结合其它孢粉资料进行对比分析,发现末次冰消期以来甘青地区气候演化明显有 4 个阶段:冰消期气候不稳定阶段;全新世早期升温阶段;全新世中期暖湿阶段;全新世后期凉干阶段 (如图 2)。

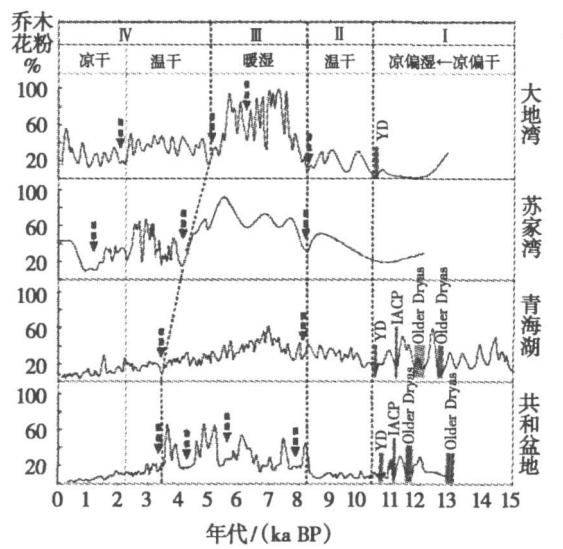


图 2 甘青地区 4 个样点末次冰消期以来的乔木花粉纪录对比及干旱气候事件

Fig.2 Comparison of the pollen record between four locations in Gansu-Qinghai area since the last deglaciation.

冰消期阶段。根据孢粉纪录,末次冰消期的时间大约在 $15.1\sim10.4\text{ ka BP}$ 之间。末次冰盛期结束后,气温逐渐回升,冰川开始消退,在此期间本地区孢粉组合特征为孢粉总浓度比较低,乔木花粉含量低,草本占绝对优势,气候以凉干为主。冰消期后期乔木花粉开始占一定比例。在末次冰消期阶段气候冷暖波动明显,博令-阿勒罗德 (Bölling-Allerød) 暖期、3 次仙女木事件以及阿勒罗德中期冷事件 (IACP) 在青海湖^[5]、共和盆地^[10]均有纪录。大地湾、苏家湾两地孢粉资料也显示此阶段孢粉组合以草本为主,乔木花粉含量很低,表现出凉干的特征。该阶段各地之间的孢粉纪录又有差异性,青海湖盆地末次冰消期发生的时间要略早于共和盆地和陇中地区,并且青海湖地区乔木花粉含量波动幅度较大、相对含量高。说明末次冰消期温度与湿度变化幅度青海湖地区较大,气候相

对于共和盆地冷湿。其原因可能是: 1) 共和盆地海拔较高, 生态环境较差, 周围山地相对高度不高, 植被的垂直地带性没有青海湖明显, 木本植物覆盖度相对较低, 因此在气温与降水变化时, 在孢粉组合中能指示气候湿度与温度变化的乔木花粉其含量变化没有青海湖明显; 2) 青海湖周围山脉海拔高, 汇水面积较大。根据研究现代冰川面积仅为 13 km², 而在末次盛冰期流域内冰川面积可达 3 024 km²^[19]。末次冰消期气候变暖, 大量冰川开始融化, 青海湖湖面很高^[5], 盆地内湿度增加, 植被覆盖度较高, 青海湖钻孔孢粉资料显示在冰消期期间云杉花粉含量较高, 含量波动明显。表明此阶段青海湖盆地地区有效湿度加大, 气候不稳定。

全新世早期升温阶段 10.4~8.2 ka BP。4 个研究地点孢粉组合整体表现为花粉浓度波动上升, 木本花粉含量增加, 但总体比例偏低, 气候整体表现为温干。共和盆地该阶段蒿属含量明显上升, A/C 值稳定在 0.5 以上。青海湖盆地乔木花粉含量小幅增加, 草本植物莎草科明显增加, 旱生白刺含量相对减少, 植被逐渐向森林草原过渡, 气候向暖湿方向发展。陇中盆地地区乔木植物开始增加, 尤其是松属比例增加, 落叶阔叶树种零星出现。草本植物以蒿属, 禾本科, 菊科为主, 指示气温上升, 气候总体暖偏干。

全新世中期暖湿阶段 8.2~4.3 ka BP。花粉浓度显著提高, 乔木花粉含量明显增加。大地湾、苏家湾两地乔木花粉含量多在 50% 以上, 榆、桦、栎等喜暖阔叶乔木花粉占有较大比例, 反映气候温暖湿润。共和盆地、青海湖地区木本花粉含量多在 30% 以上, 以云杉、冷杉、松为代表的针叶乔木花粉含量迅速增加, 桦、栎等阔叶乔木花粉从零星出现到占有一定比例, 表明气候暖湿, 环境适宜。全新世暖期的结束时间在 4 地点孢粉记录中并不一致, 大地湾地区大约在 5.0 ka BP 乔木花粉出现大幅度下降, 乔木、灌木花粉含量由 80% 下降至 30% 左右; 苏家湾大约在 4.2 ka BP 乔木花粉含量下降, 比例逐渐降至 30% 以下; 共和盆地、青海湖地区大致在 3.5 ka BP 前后, 乔木花粉含量降至 20% 以下, 气候逐渐向凉干方向发展。

全新世后期凉干阶段。全新世暖期结束后 4 地孢粉记录显示乔木花粉含量总体较低, 草本、灌木花粉逐渐占优势。根据乔木花粉含量变化, 本阶段明显有两个亚阶段: 1) 温干阶段。大地湾在 5.1~2.3 ka BP 期间, 木本花粉含量在 30%~40% 之间; 苏家湾 4.0~2.3 ka BP 期间, 乔木花粉含量波动幅度较大, 在 25%~65% 之间变化; 较全新世中期草本、灌木花粉逐渐上升。青海湖、共和盆地两地 3.5~2.3 ka BP 期间乔木花粉含量基本在 20% 以下。孢粉记录说明全新世暖期结束后该地区气候整体表现为温干。但有所不同的是陇中地区植被发生多次交替变化, 气候干湿波动明显; 而在青海湖、共和盆地气候已趋于干旱, 这可能与夏季风的强弱变化有关。2) 凉干阶段。2.3 ka BP 以后 4 地点乔木花粉含量进一步降低, 草本均占优势。气候逐渐趋于冷干。乔木植被的退缩也和人类生活与生产活动有关。

对北大西洋深海沉积物的研究证实了全新世气候多次变冷事件的存在^[22], 在本研究区全新世孢粉组合也敏感地记录到了此类冷干事件。对全新世冷干事件 4 个地点孢粉记录时间比较一致的是 8 ka BP 事件, 事件大致发生在 8.3~7.9 ka BP (图 2)。孢粉组合中表现为乔木花粉含量突然下降, 出现喜冷干的草本植物迅速占优势。除此之外, 在全新世出现多次气候冷干事件, 苏家湾、大地湾两地在全新世期间出现 7 次干旱事件^[11]。青海湖孢粉记录中也有若干次冷干事件^[5], 表现为乔木含量快速减少, 出现大量喜冷干的草本植物。程波等在对共和盆地达连海钻孔研究中也发现了此类事件^[10], 从孢粉组合变化来看, 全新世期间 4 个地区均出现多次乔木花粉含量大幅度突然下降现象 (如图 2 箭头所示), 表明夏季风减弱, 森林退缩。但发生的时间、频率和幅度在 4 地区并不完全一致。笔者认为其原因可能是由于以上 4 地植被组成成分有差异, 对反映此类事件的敏感程度上存在差别; 另外, 上述钻孔或剖面在测年手段上的差异可能导致年代上存在一定的偏差。对于全新世北大西洋冷事件在全球各地的响应程度、持续时间、变化幅度及触发传递机制目前尚有诸多不同见解^[23], 需要在今后做

更深入的工作加以认识。

3 植被重建及其对比

冰消期:大地湾、苏家湾两地以草本植物为主,主要是蒿属、禾本科、菊科,乔木花粉含量很低,花粉总浓度低。孢粉组合表明此阶段发育干草原、荒漠草原植被。青海湖、共和盆地孢粉组合中草本花粉占优势,主要为蒿属、麻黄属、藜科、禾本科,木本花粉浓度很低。该阶段两地区云杉花粉含量较高,波动明显,可能指示冰消期期间冰川融化,湖区周边山地云杉林带有所扩张。盆地周围植被以草原化荒漠—荒漠化草原为主。

全新世早期:大地湾、苏家湾两地乔木花粉含量有所增加,草本花粉含量有所减少,但总体仍然较高,植被类型为疏林草原。青海湖地区乔木花粉含量小幅增加,莎草科增加,旱生白刺含量相对减少,植被逐渐向森林草原过渡。共和盆地草本、灌木含量依旧很高,乔木花粉比例较低。A/C值小幅度增加,约为 0.5 左右,莎草科含量有所增加,地表植被为荒漠草原—干草原。

全新世中期阶段:大地湾、苏家湾两地花粉浓度显著升高,木本植物花粉含量不断增加,榆、桦、栎等喜暖阔叶乔木花粉占有较大比例,木本花粉含量稳定在 50% 以上。植被类型为森林草原→针叶林→落叶阔叶林→森林草原,气候温暖湿润,降水量较大,植被生长茂盛。在青海湖、共和盆地以云杉、冷杉、松为代表的针叶乔木花粉含量迅速增加,桦、栎等阔叶乔木花粉从零星出现到有一定的比例。青海湖地区植被为疏林草原→针阔混交林→疏林草原,气候温暖潮湿,植被覆盖度很高。在共和盆地植被类型为典型草原→疏林草原→针叶林→疏林草原,水热条件好,植被覆盖率高。

全新世后期阶段:4地孢粉纪录表现为乔木花粉含量整体下降,草本、灌木花粉逐渐占优势。该阶段早期大地湾在 5.1~2.3 ka BP 期间落叶阔叶林比例下降,木本花粉平均含量降至 30%~40% 之间,草本植物含量上升。木本与草本花粉含量呈波动性变化,指示森林草原与

典型草原交替出现。苏家湾在 4.0~2.3 ka BP 期间,乔木花粉含量在 25%~65% 之间变化,波动幅度较大,同样也指示森林草原与典型草原交替出现。青海湖、共和盆地两地 3.5 ka BP 以后乔木花粉含量基本降至 20% 以下,植被逐渐演化为典型草原—干草原。2.3 ka BP 以后 4 地区木本花粉含量都很低,植被都演化为草原—荒漠化草原。

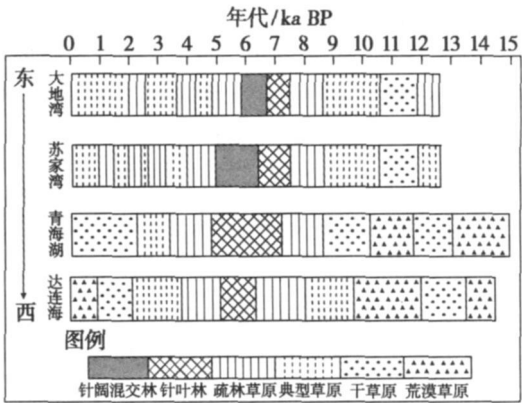


图 3 甘青地区末次冰消期以来的植被演化与对比
Fig.3 The vegetation changes and comparisons in the Gansu Qinghai area since the last deglaciation.

4 结 论

通过对甘青地区代表性较强的 4 个地点高分辨率孢粉资料对比分析得到以下一些认识:

1)该地区末次冰消期以来气候演化主要有 4 个阶段,冰消期、全新世早期升温阶段、全新世中期暖湿阶段、全新世后期凉干阶段。气候特征为凉偏干→凉偏湿→温干→暖湿→温干→凉干。

2)冰消期大致开始于 15.2~14.6 ka BP 之间,冰消期期间该地区气候表现为冷暖波动较强,气候不稳定。三次仙女木冷事件及博令—阿勒罗德暖期在青海湖、共和两盆地孢粉记录中均有较为清晰的反映,说明该事件的全球性及陆地植被对气候事件响应的敏感性。

3)全新世大暖期大约开始于 8.2 ka BP,起始时间在 4 个地点孢粉纪录中较为一致。该地区全新世出现多次气候冷干事件,在孢粉记录中表现为木本花粉含量突然下降、孢粉总浓度

降低。表明夏季风减弱,森林退缩。

4)全新世暖期结束后,5~2.3 ka BP期间大地湾、苏家湾两地气候显著波动,植被表现为森林草原—草原多次交替变化,可能指示夏季风的变化。

致谢:中山大学郑卓教授在本论文撰写中给予了悉心指导,在此深表谢意。

参考文献:

[1] 方小敏,宋春晖,戴霜,等.青藏高原东北部阶段性变形隆升:西宁、贵德盆地高精度磁性地层和盆地演化记录[J].地学前缘,2007,14(1):230—242.

[2] 郑卓,黄康有,许清海,等.中国表土花粉与建群植物地理分布的气候指示性对比[J].中国科学 D辑,2008,38(6):701—714.

[3] 杜乃秋,孔昭宸,山发寿.青海柴达木盆地察尔汗盐湖的孢粉组合及其在地理和植物学上的意义[J].植物学报,1983,25(3):275—282.

[4] 杜乃秋,孔昭宸,山发寿.青海湖 QH85—C14 钻孔分析及古气候古环境的初步探讨[J].植物学报,1989,31(10):803—814.

[5] 刘兴起,沈吉,王苏民,等.青海湖 16 ka 以来的花粉记录以及古气候古环境演化[J].科学通报,2002,47(17):1351—1355.

[6] 江德昕,杨惠秋.青海达布逊湖 50 万年以来气候变化的孢粉学证据[J].沉积学报,2001,19(1):101—106.

[7] Zhao Y, Yu Z C, Chen F H, et al Holocene vegetation and climate history at Hurleg Lake in the Qaidam Basin, north-west China [J]. Review of Palaeobotany and Palynology 2007, 145(34): 275—288.

[8] 唐领余,汪世兰.青海共和盆地共和组孢粉植物群[J].古生物学报,1988,27(5):583—606.

[9] 施炜,马寅生,吴满路,等.共和盆地剖面第四纪孢粉组合特征及环境演化[J].地质力学学报,2004,10(4):311—318.

[10] 程波.青藏高原共和盆地末次冰消期以来植被和环境

变化研究[D].兰州:兰州大学,2006.

[11] 唐领余,安成邦.陇中黄土高原全新世植被变化及干旱事件的孢粉记录[J].自然科学进展,2007,17(10):1371—1382.

[12] 李春海,唐领余,冯兆东,等.甘肃静宁地区晚更新世晚期高分辨率的孢粉记录及其反映的气候变化[J].中国科学 D辑,2006,36(5):453—460.

[13] 潘安定.青藏高原东北边缘第四纪孢粉及其环境[J].冰川冻土,1998,20(2):78—84.

[14] 朱艳,陈发虎,唐领余,等.干旱区石羊河终端湖泊孢粉组合中云杉圆柏属环境指示意义探讨[J].中国沙漠,2001,21(2):141—146.

[15] 陈发虎,朱艳,李吉均.民勤盆地湖泊沉积记录的全新世千百年夏季风快速变化[J].科学通报,2001,46(17):1414—1419.

[16] TANG L Y. Temporal-spatial distribution of vegetation in the Qinghai-Xizang plateau During the past 12 ka BP [J]. Acta Botanica Sinica 2002, 44 (7): 872—877.

[17] 刘耕武.青藏高原东部地区晚新生代孢粉组合特征及其古地理意义[J].微体古生物学报,1996,13(4):363—372.

[18] 王富葆,韩辉友,阎革,等.青藏高原东北部 30 ka 以来的古植被与古气候演变序列[J].中国科学 D辑,1996,26(2):111—117.

[19] 施雅风,白重瑗.中国西部高山冰川形成的地貌、气候条件和雪线分布,中国冰川概论[M].北京:科学出版社,1988:11—28.

[20] 姚檀栋, Thompson 施雅风,等.古里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究[J].中国科学 D辑,1997,27(5):447—452.

[21] 陈忠,马海州,曹广超,等.尕斯库勒湖地区晚冰期以来沉积记录的气候环境演变[J].海洋地质与第四纪地质,2007,27(1):131—138.

[22] Bond G, Showers W, Cheseby M, et al A pervasive millennial-scale cycle in the North Atlantic Holocene and glacial climates [J]. Science 1997, 278(5341): 1257—1266.

[23] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al The Holocene Asian Monsoon: Links to Solar Changes and North Atlantic Climate [J]. Science 2005, 308(5723): 854—857.

Vegetation and Climate Changes Based on the Pollen Records in Gansu-Qinghai Area since the Last Deglaciation

WEI Hai-cheng¹, MA Hai-zhou¹, PAN An-ding³, SHAN Fa-shou¹

(1. Qinghai Institute of salt lake Chinese Academy of sciences Xining 810008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100039, China;

3. College of geographical science Guangzhou University Guangzhou 510006, China)

Abstract The paper analyses the high resolution pollen records of Dalianhai lake Qinghai lake Sujiawan and Dadiwan sediment in Gansu-Qinghai area since the last deglaciation. And discusses the climate change cold-dry climate incidents and vegetation distribution from east to west in this area. It is shown that the late glacial began between 15.2~14.6 ka BP, the climate was cold and humid during the early period, cold and dry during the late period, and totally unstable meadows-desert steppe vegetation developed from east to west. In early Holocene the climate was temperate and dry, shrub meadows meadow appeared in this area. During the middle Holocene climate was warm and wet, conifer and broad-leaved deciduous mixed forest developed. Climate became cold and dry since 3.9~3.4 ka BP. In early period climate was relatively warm and wet, meadows-shrub meadow vegetation developed in east of the area; in late period (2.3~0 ka BP) climate was dry and cold, vegetation involved to meadows-desert steppe.

Key words Gansu-Qinghai area; Last deglaciation; Pollen record; Environmental change; A/C ratio

(上接第 40 页)

Study on Thermodynamics of NaCl in Mixed Solution of Water and 1, 2-Propanediol

WANG Wei-dong LI Jin-yan

(College of Chemistry and Environmental Engineering Hubei Normal University

Huangshi 435002, China)

Abstract The activity coefficient of NaCl in mixed solution of water and 1, 2-propanediol were measured using conductivity method, and the relationship between activity coefficient and concentration of mixed solution were discussed. The relative partial molar free energy of NaCl in mixed solution were calculated and change law of relative partial molar properties were discussed preliminarily.

Key words Conductivity method; Activity coefficient; Relative partial molar energy; Mixed solvent; NaCl