

文章编号: 1008-2786-(2017)5-742-11

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000274

柴达木盆地西部末次间冰期以来 植被特征及其环境变化

杨庆华¹, 侯献华^{2*}, 杨振京¹, 毛建业³

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050800;
2. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037;
3. 青海省柴达木综合地质矿产勘查院, 青海 格尔木 816000)

摘 要: 柴达木盆地干旱已久, 其西部深厚的湖相地层记录着环境演变的过程。本文通过对大浪滩 ZK06 钻孔沉积物孢粉分析, 结合铀系测年数据, 根据孢粉沉积运移总浓度变化、区域代表性针叶乔木植物与草本植物彼此消长的变化、蕨类植物孢子峰值出现等特征, 探讨了本区末次间冰期以来特征时期的植被演替及环境演变, 并对 MIS5 ~ MIS2 各阶段柴达木盆地西部的气候及环境变化进行了区域对比。初步得出柴达木盆地西部末次间冰期以来伴随青藏高原的阶段性隆升效应以及全球变化的影响下, 虽然区域总体植被类型更替不太明显, 但在湖水咸化的成盐期孢粉浓度很低, 反映出干旱的成盐期环境下植被稀少, 在湖水淡化的碎屑沉积期孢粉总浓度较高, 表明气候转为湿润, 盆地周边山地森林面积增加和盆地草原扩张。MIS5 阶段以来总体趋势为盐层厚度逐渐增加、碎屑淤泥层厚度逐渐减少、孢粉总浓度逐渐降低、草本植物花粉百分比逐渐减少、乔木植物花粉百分比逐渐增加。由于本区受冰川融水引起河流径流量的变化对湖水供给影响较大, 导致该区湖水水质咸化与淡化以及水位升降的变化因素较为复杂。进入 MIS1 阶段盆地西部大浪滩盐湖完全干涸, 中全新世大暖期并未出现湖泊水位上升和湖水淡化现象, 可能受区域构造运动的影响控制。

关键词: 孢粉分析; 植被特征; 末次间冰期; 气候特征; 柴达木盆地

中图分类号: Q913.84, P534.63

文献标志码: A

青藏高原的阶段性隆升对欧亚大陆气候与环境变化起着决定性作用^[1]。柴达木盆地的形成演化与青藏高原的形成发展关系密切, 是青藏高原上最大的、沉积记录最完整的湖相地层, 是研究第四纪地层及古环境演化的良好区域。孢粉分析长期以来被学者用作重建古植被、恢复古气候及环境变化的重要手段^[2]。根据盆地针叶乔木花粉变化可探讨与青藏高原阶段性隆升的关系^[3], A/C 比值也能反映出盆地干

旱荒漠化气候演变过程及与季风强弱^[4], 方小敏、江德昕、潘安定、叶传永等运用孢粉指标分别对鸭湖、尕斯库勒湖、达布逊湖、尕斯库勒湖的气候与环境演化规律进行了研究^[5-8], 也有学者运用孢粉组合中喜冷热、干湿分子的变化对盆地第四纪以来进行冷暖旋回的划分, 并与黄土层序及深海氧同位素旋回进行了较好的对比^[9-10], 此外, 还有学者利用盐类矿物^[11]、岩性色度^[12]、自然伽马曲线^[13] 指标分别在察尔汉、大浪

收稿日期 (Received date): 2016-10-22; **改回日期** (Accepted date): 2017-04-18

基金项目 (Foundation item): 中国地质科学院基本科研业务费专项经费 (YYWF201627); 中国地质调查项目 (DD20160054) [Basic Scientific Research Special Funds Project of Chinese Academy of Geological Sciences (YYWF201627); Project of China Geological Survey (DD20160054)]

作者简介 (Biography): 杨庆华 (1970-), 男, 江西瑞金人, 工程师, 主要从事第四纪地质与环境研究 [Yang Qinghua (1970-), male, born in Ruijing, Jiangxi province, research on quaternary geology and environment] E-mail: 376108021@qq.com

* **通讯作者** (Corresponding author): 侯献华, 副研究员, 主要从事盐类资源调查与古环境研究 [Hou Xianhua, male, associate professor, research on salt resources survey and paleoenvironment] E-mail: hxx2858@126.com

滩、达布逊湖地区进行第四纪古气候古环境研究等等。末次间冰期以来古里雅冰芯记录了西昆仑山冰期间冰期气候变化具全球性^[14],在其主控因素作用下,叠加青藏高原隆升效应^[15-16],在青藏高原发生了最晚的两次高湖面及 30 ka 前后的泛湖泄水事件^[17]。由于冰期间冰期温度与降水变化,冰川退缩与扩张以及融水引起河流径流量的变化影响较大^[18],对柴达木盆地西部植被与气候之间的响应关系仍有待于深入研究。本文以处于盆地西部最早的大浪滩成盐区中心位置为优势的 ZK06 钻孔,具较好的代表性,通过对其孢粉分析的综合研究,探讨了柴达木盆地西部末次间冰期以来植被特征与气候变化,为进一步探讨柴达木盆地—青藏高原—欧亚大陆的气候与环境演化规律增添新的依据。

1 区域概况

柴达木盆地位居欧亚大陆腹部,海拔 2600 ~ 2900 m,四面又被海拔 5000 m 以上的昆仑山、阿尔金山和祁连山所环绕,从而阻挡来自低空和高空湿润气流,使本区现今具有典型的大陆性荒漠气候特征。高空常年除受西风控制外,且受到蒙古高压反气旋的影响,昼夜温差大、寒冷干燥、冬长夏短、风大沙多、蒸发强烈、低压缺氧、日照长和辐射强等特点。年均降水量亦由东南向西北逐渐递减,致使研究区内的芒崖和冷湖的年降水量分别为 50.3 和 17.6 mm^[19]。

大浪滩干盐湖位于北纬 38°00' ~ 38°40', 东经 91°00' ~ 92°00' 之间,属柴达木盆地西部的一个次级盆地(图 1),第三纪褶皱带之间的第四纪盐湖相沉积区,呈北西向延伸,北缘为阿尔金山西段,山峰陡峻,冲沟发育,向南有广阔的洪积扇与大浪滩盐渍平原相连,南缘为第三系褶皱形成的一系列中低山,盆地内还有大风山、尖顶山、南翼山、小梁山等一系列第三系褶皱组成的中低山,这些中低山之间为第四系的盐沼及盐渍平原。大浪滩地处昆仑山西部—阿尔金山东南高寒荒漠小区,缺少乔木和中生湿生灌木及草本,植物区系成分极其贫乏。研究钻孔梁 ZK06 位于大浪滩的西南部,小梁山北面梁北洼地的南部(见图 1),地表现为无植被的盐壳所覆盖^[19]。

2 材料方法

本文对大浪滩梁北洼地东南面 ZK06 钻孔沉积物,根据铀系测年资料确定,选取了 89.90 m 以上孢粉样品进行分析,从岩芯揭示的岩性来看,主要为含粉砂的中粗粒石盐和含石膏粉砂的淤泥、粘土互层,韵律变化频繁。总体趋势是由下而上,碎屑层比例减少,石盐层比例增加,盐类/淤泥比为 1.6:1。我们对纯盐(石盐、石膏、芒硝以及白钠美矾等)岩层中分析过一些样品,其孢粉浓度极低(纯盐类样品浓度均在 2 粒/克以下),其孢粉组合特征不能反映当时区域植被面貌,所以只在碎屑淤泥层和少量含盐粉砂淤泥层中取样,共取了 22 个样品孢粉样品。

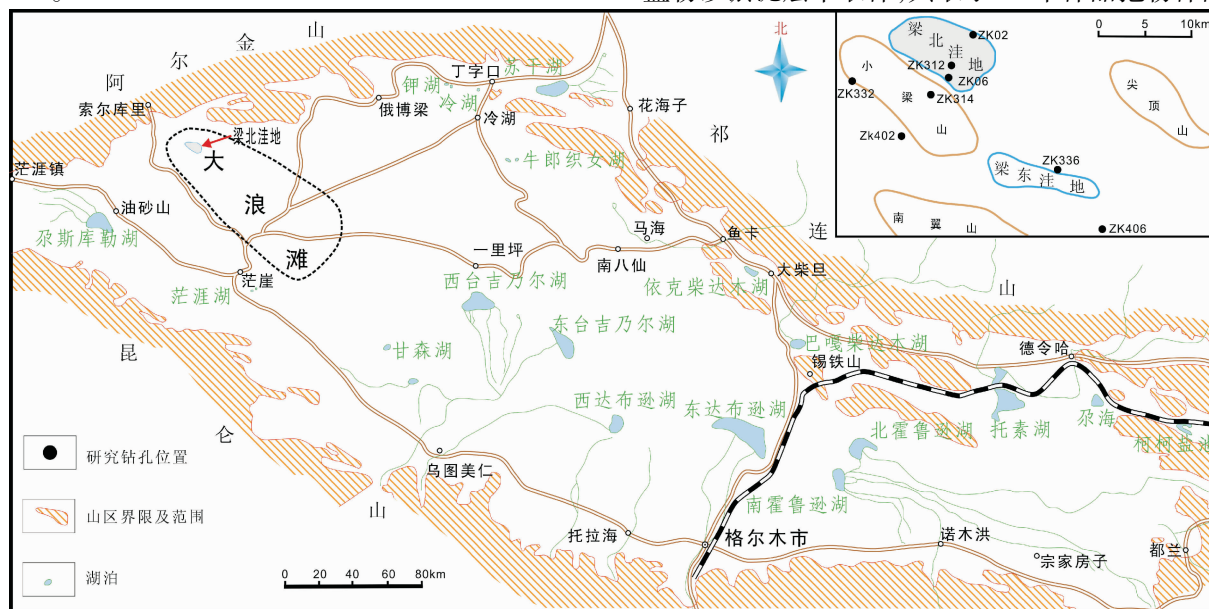


图 1 柴达木盆地大浪滩 ZK06 孔地理位置示意图

Fig. 1 Location schematic map of drilling core ZK06 in Dalangtan of Qaidam basin

为了使样品中的孢粉能获得更好的净化和富集效果,孢粉分析方法采用了氢氟酸加重液浮选^[1]处理过程:称重下样—加入石松孢子—盐酸处理—氢氟酸处理—盐酸处理—过筛—重液浮选—制管。在镜下鉴定统计孢粉种属数量的同时统计出外加石松孢子数量,然后运用公式:孢粉浓度系数=加入的指示性孢粉总数/(已鉴定到的指示性孢粉数量×分析所用样品重量),孢粉浓度=孢粉浓度系数×已鉴定到的样品孢粉数量^[20]。

该钻孔年龄通过同一地貌单元、具相同的水循环模式、相距 6 km 的 ZK02 孔(见图 1,2)进行严格详细地芒硝层和淤泥层对比后,确定 ZK06 孔的铀系年龄,相对可靠^[21],通过对每个分段不同沉积速率插值计算,求得底部 85.9 米深度对应年龄为 126.7 ka. B. P.,顶部样品 0.37 米年龄为 14.9 ka. B. P.,地表年龄约为 14.5 ka. B. P.。

3 孢粉分析结果

大浪滩钻 ZK06 孔 85.9 米以上剖面分析了孢粉样品 22 块,鉴定统计了 6428 粒孢粉,平均每个

样品 292 粒,孢粉较丰富,孢粉总浓度平均为 569 粒/克。经镜下孢粉鉴定统计出 40 个科属的孢粉类型,其中乔木植物花粉有 8 个科属:松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)、冷杉属(*Abies*)、桦属(*Betula*)、槭树属(*Acer*)、胡桃属(*Juglans*)、栎属(*Querus*)、榆属(*Ulmus*);灌木植物花粉 8 个科属:麻黄属(*Ephedra*)、柳属(*Salix*)、榛属(*Corylus*)、怪柳科(*Tamaricaceae*)、蒺藜科(*Zygophyllaceae*)、白刺属(*Nitraria*)、忍冬科(*Caprifoliaceae*)、木犀科(*Oleaceae*);草本植物花粉 24 个科属:藜科(*Chenopodiaceae*)、菊科(*Compositae*)、蒿属(*Artemisia*)、禾本科(*Gramineae*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、石竹科(*Caryophyllaceae*)、唇形科(*Labiatae*)、伞形科(*Umbelliferae*)、十字花科(*Cruciferae*)、百合科(*Liliaceae*)、唐松草属(*Thalictrum*)、茄科(*Solanaceae*)、忍冬科(*Caprifoliaceae*)、胡颓子属(*Elaeagnus*)、蓼属(*Polygonum*)、蔷薇科(*Rosaceae*)、茜草科(*Rubiaceae*)、律草属(*Humulus*)、龙胆科(*Gentianaceae*)、蓼科(*Polygonaceae*)、豆科(*Leguminosae*)、莎草科(*Cyperaceae*)、黑三棱属

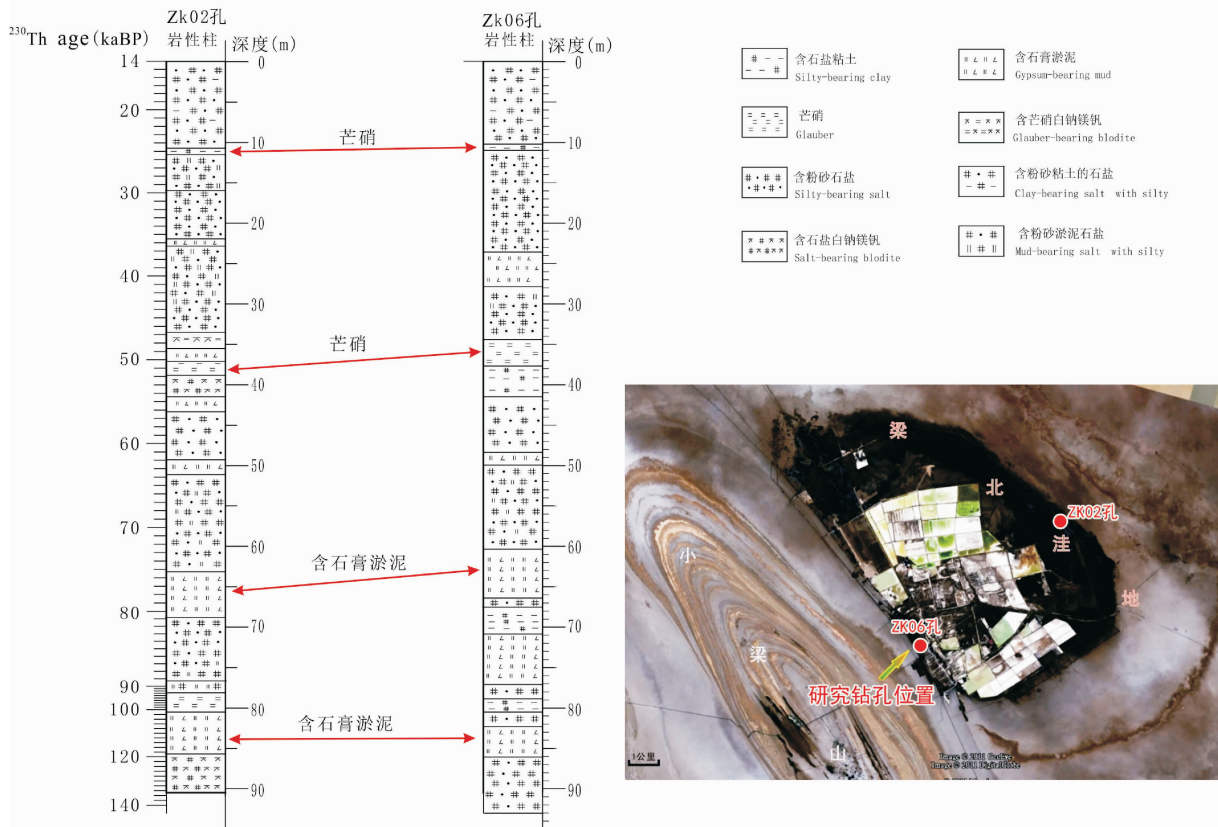


图2 大浪滩 ZK06 孔与 ZK02 孔位置及其地层对比图^[21]

Fig. 2 Location of drilling holes ZK06 and ZK02 in Dalangtan, and their stratigraphic correlation diagram

(*Sparganium*)、香蒲属(*Typha*);蕨类植物孢子 2 个科属:水龙骨科(*Polypodiaceae*)和卷柏属(*Sellaginella*)。

运用孢粉学专业作图 Tilia 软件,依据孢粉分析数据结果,参照植物气候特性,综合选取含量较高或具代表性强的孢粉科属和经过归纳运算所得的孢粉浓度、乔木植物、灌木植物、草本植物、蕨类植物、蒿/藜(A/C)等数值指标,进行 Coniss 聚类分析并作出孢粉百分比含量图(单位:粒/克),结合岩性特征及铀系测年数据,将整个钻孔自下而上划分为 4 个孢粉组合带(图 3),其各带主要特征分述如下:

第 I 带 井深(85.9 ~ 63.7 m),年龄(126.7 ~ 75.6 ka. B. P.):此期孢粉比较丰富,孢粉总浓度(Concentration)平均为 916 粒/克。孢粉组合中以耐盐耐旱的藜科、蒿属、禾本科、菊科为主的草本植物占绝对优势,平均达 89.6%,其次是以耐旱的麻黄属、蒺藜科、白刺属为代表的灌木植物花粉平均占 5.8%,乔木植物花粉含量较低,仅平均占 4.5%,且主要以耐寒针叶乔木云杉和部分耐寒冷的松为主,蕨类植物孢子含量稀少,蒿/藜(A/C)平均为 2.5。

第 II 带:井深(63.7 ~ 39.6 m),年龄(75.6 ~ 58.1 ka. B. P.)。此期孢粉总浓度平均为 494 粒/

克,较第 I 带明显下降。孢粉组合中仍以草本植物花粉(平均 87.6%)占绝对优势,较前期略有减少,乔木植物花粉(平均 6.9%)稍有增多,灌木植物花粉(平均 5.4%)变化不大,蕨类植物孢子仍然稀少。A/C(平均为 3.4)较第 I 带略增大。孢粉带内论述的百分比值都为带内多个样品的平均值,以下类同。

第 III 带:井深(39.6 ~ 14.7 m),年龄(58.1 ~ 31.0 ka. B. P)。此期孢粉总浓度较第 I、II 带又继续下降,平均为 257 粒/克。孢粉组合中草本植物花粉(83.1%)仍占优势,但百分比含量继续减少,乔木植物花粉(13.2%)明显上升,灌木植物花粉下降为 3.0%,蕨类植物孢子占 0.60%。反映出植被面貌出现了较大变化。A/C(3.1)继续增大。

第 IV 带 井深(14.7 ~ 0.38 m),年龄(31.0 ~ 14.9 ka. B. P)。此期孢粉总浓度平均 299 粒/克,但不同样品浓度反差极大,低值的两个样品仅为 4 粒/克和 13 粒/克,最大值却为 1017 粒/克。孢粉组合中草本植物花粉(78.0%)较第 III 带下降仍占绝对优势,乔木植物花粉(10.8%)减少,灌木植物花粉占 6.5% 增加,蕨类植物孢子(4.7%)突然增多,最高峰值达 15.7%。A/C 下降为 1.3,其中 2.0 米以上的两个样品平均为值 0.93,小于 1.0。

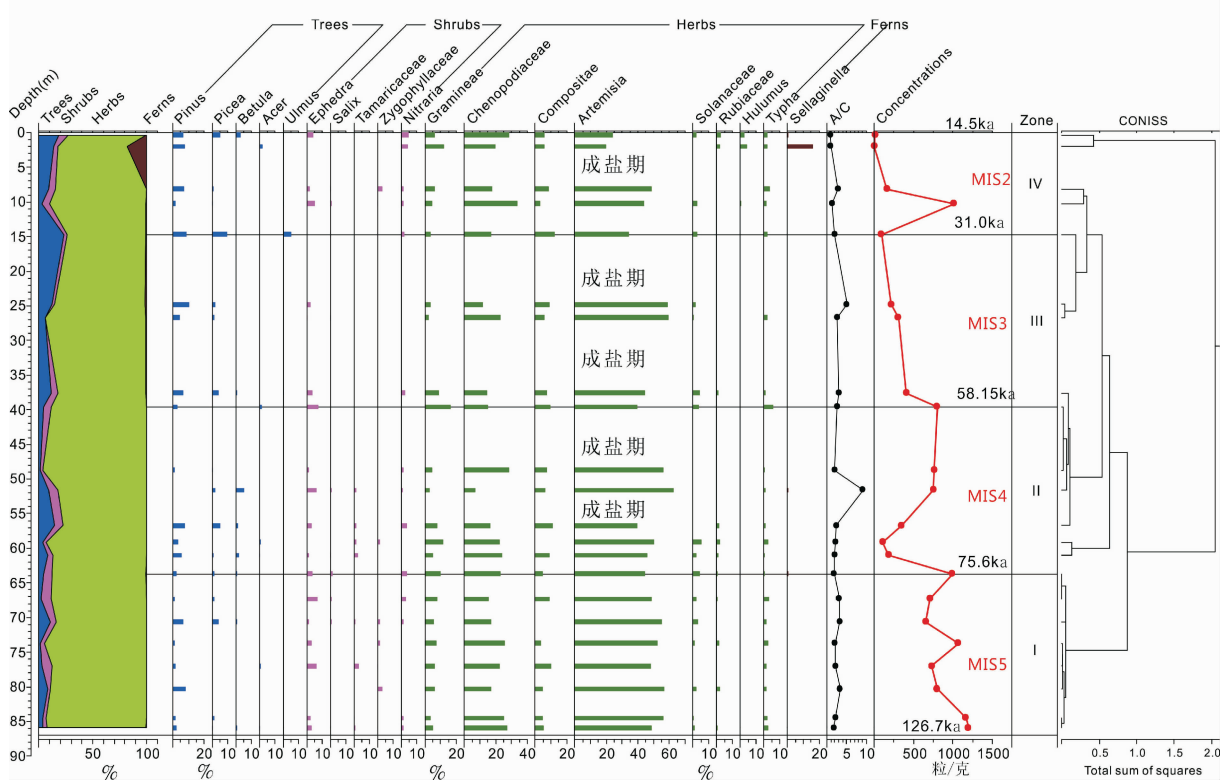


图 3 大浪滩 ZK06 孔孢粉百分比图式

Fig. 3 Sporopollen percentages of drilling core zk06 in Dalangtan

每个孢分带中都包含了成盐期,均为盐类矿物,孢粉浓度极低,我们分析纯盐类样品浓度均在 2 粒/克以下,仅见少量的藜科、蒿属、松属植物花粉,其孢粉组合特征难以反映当时区域植被面貌,因此未做深入讨论。

4 植被演替与环境变迁

孢粉分析结果表明,本区自末次间冰期时期以来,每个分带均以温性中生/旱生草本植物占主导地位,寒温性针叶乔木、旱生灌木次之,喜温阔叶落叶乔木含量较低但变化较大,蕨类植物含量稀少种类单调,缺乏典型的热带/亚热带植物成分。云杉在本地层孢粉组合中较为常见,最高含量达 9.2%。是山地垂直带谱中亚高山寒温性暗针叶林带的主要成分,明显受山地地形高度控制^[22],目前主要分布在柴达木盆地德令哈-诺木洪一线以东的昆仑山和祁连山东段的山地,分布高度为 3400~4000 米^[23],在云杉分布区及边缘,云杉花粉含量大于 20%~80%,云杉林区的边界处,占 10%左右,当云杉花粉小于 1%~5%时,不能说明当地和附近有云杉林的存在,是来自远距离传播^[24,25]。以桦、榛、胡桃、榆等为代表的阔叶乔木所占含量虽低,因其要求气候比针叶乔木更为温暖湿润,不少学者用阔/针比值来衡量气候冷暖^[26]。蒿属和藜科具有超代表性,当花粉组合中出现少量的蒿属和藜科时,应视为外来花粉,而当它们含量占 30%时,应该说当地存在蒿属和藜科。当蒿属和藜科在花粉组合中含量超过 50%时^[27],蒿属/藜科(A/C)花粉含量的比值有指示旱生植被的意义,一般认为荒漠区的 A/C 值在 0.5~1.2,草原区大于 1.0^[28]。水生植物的分布与水深及水底状况关系密切,水生和沼生植物花粉的明显增加则表明湖水面积扩大、盐湖淡化或由冲洪积环境向湖积环境转变,气候应向潮湿方向转化^[26]。

由于地层中的孢粉是通过风力、水力等途径将一定范围内的各种植物孢粉搬运传播而到沉积区的,各类植物孢粉的传播距离是各不相同的,象云杉、松等具气囊的针叶植物花粉,传播距离可达数百公里。故地层中的孢粉组合所代表的古植被是地区性或区域性的,所划分的古植被类型,均各自概括了研究区植被垂直带谱中各个植被带,而以其优势带对其命名,由于山地海拔高度的变化,引起的气温高

低、太阳辐射的强弱、降水量的多少及土壤类型的变化,使植被的垂直分布呈现明显的差异^[26]。由此根据本钻孔 ZK06 中上述代表性植物花粉分布情况及其与气候的对应关系,来定性恢复本区域孢粉植物群特征与古环境变化。柴达木盆地 ZK06 钻孔孢粉组合系列的纵向变化,反映了本区自末次间冰期以来植被和古环境的 4 个演替阶段。

第一阶段(126.7~75.6 ka. B. P.):此期孢粉最为丰富,孢粉总浓度最高峰值达 1196 粒/克最低值为 656 粒/克,平均浓度为本剖面最高阶段,淤泥沉积层间隔的盐类沉积厚度较薄,总体上反映出此阶段多数时段湖水处于淡化期。从孢粉组合特征可推测出当时的区域性植被已呈现出明显的垂直地带性,在柴达木盆地周围山地曾分布着以云杉为代表的喜冷湿的寒温性针叶林,相对水热条件稍好的局部山地零星出现桦树和云杉组成的针阔混交林,林下阴湿之地偶有一些水龙骨科和卷柏等蕨类植物,而在广阔的柴达木盆地西部则分布着由蒿属、藜、禾本科、菊科等中旱生草本植物等组成温性草原,在干旱石质沙地中生长着耐旱的灌木植物麻黄,滨湖和浅湖地带长有一些香蒲等水生草本植物,反映的植被面貌为疏林-灌丛-草原,总体气候相对湿润。该时段可对应为 MIS5 阶段,其间又出现了多次气候波动。其中在 85.9~84.5 米(12.67~117.0 ka. B. P.)、73.7 米(94.7 ka. B. P.)、63.7 米(75.6 ka. B. P.)三个时期孢粉总浓度出现较高的峰值,孢粉总浓度分别为 1170 粒/克、1069 粒/克、994 粒/克,可对应于 MIS5e、MIS5c、MIS5a 三个高值期。间隔的两个相对低值期位于 83.0~77.0 米(109.4~101.8 ka. B. P.)、70.6~63.7 米(87.1~78.8 ka. B. P.),孢粉总浓度下降为 733 粒/克、656 粒/克。对应于 MIS5d、MIS5b 低值期。由于湖泊沉积物的物质来源主要来自于入湖河流以及湖周的面流携带所致,陆生植物的孢粉也伴随沉积物带入湖中沉积下来,因此,在一定的植被环境条件下,孢粉浓度的高低可反映水流携带能力的大小;在相同的水动力条件下,植被类型相似的情况下,植被的丰富与贫乏可与孢粉总浓度高低相对应,孢粉总浓度的增加可推测植被较为繁盛,反映气候相对湿润、湖泊水质淡化水位上升。江德昕等研究柴达木盆地达布逊湖孢粉谱所得出晚更新世气候冷暖变化与古里雅冰芯记录的冷暖事件一致,在距今 13 万年至 3 万年间,喜暖乔木、蕨类和水生植物比较茂盛,存在四

个气候相对暖湿期。在距今 10.5 万年时,淡水生盘星藻再度繁生,反映当时湿度较大^[6]。郑绵平等对青藏高原泛湖高湖面(溢流面)形成时间研究得出,高原第四纪泛湖高湖面在 MIS5 阶段的 132 ~ 112 ka; 110 ~ 95 ka; 91 ~ 72 /83 ~ 75 ka 三个时期出现^[29]。

第二阶段(75.6 ~ 58.1 ka. B. P.):本阶段出现了两个较厚的盐层段,气候较为干旱。较第一阶段孢粉总浓度迅速下降至平均 494 粒/克,代表性植物类型变化不大,在早期 61.0 ~ 56.7 米(73.4 ~ 70.53 ka. B. P.)孢粉总浓度平均为 216 粒/克,最低值仅为 112 粒/克,草本植物花粉百分比含量略有减少,乔木植物云杉、松属花粉相对增加,从其所占百分含量小于 10% 可视为远距离传播而来的花粉,推测气候变干草原退缩,荒漠化加剧。中期主要为成盐期,在两个成盐段中间出现一个淤泥碎屑层,孢粉总浓度急剧增大恢复到平均 758 粒/克,表明出现过一次明显的湿润淡化期气候波动,晚期孢粉总浓度增加至 801 粒/克。本阶段总体看来孢粉总浓度较低、成盐期长、淡化淤泥期短、波动明显,该时段可对应为 MIS4 阶段。

第三阶段(58.1 ~ 31.0 ka. B. P.):此期孢粉总浓度较前期继续下降,平均 259 粒/克,成盐厚度较第二阶段明显加大,夹在两个成盐段中间时段,孢粉组合反映的植被面貌稍有变化。伴随草本植物迅速增多,乔木植物花粉云杉增加,麻黄含量减少。表明西部山地分布的喜冷湿的寒温性针叶林随着气温增大林线上升,且在局部山地里出现由云杉和桦等组成的针阔混交林,山地较低的沟谷中长有少量的由栎树和榆树等组成的阔叶林,可能当时植物生长所需的温度、湿度和土壤条件有了明显改善,草原植物繁盛,推断此期气温上升,降水量增多,湖水水体淡化且面积范围扩张,植被面貌为疏林-灌丛-草原,气候变得温略湿。该时段对应 MIS3 阶段,郑绵平等对青藏高原湖泊研究得出末次泛湖期在 40 ~ 30 ka /35 ka 期间青藏高原气候异常湿润,其降水量大致较现代高原高 2 ~ 5 倍,气温高 2℃ ~ 4℃^[31,32],代表着一次特别强的夏季风事件。季风形成正值 40 ~ 30 ka 的 20 ka 左右岁差周期的太阳高辐射阶段,高原接受的辐射增强加大了高原与印度洋的热力对比^[33]。但是可能由于 H4 事件(35.5 ka)影响,在高原北部柴达木出现短暂湖水咸化^[16],羌南泛湖每也出现 T₅ 湖相阶地下切的水位下降变化^[34],说明该

高温降水事件具不稳定性特点^[29]。约 40 ~ 30 ka 高原被巨大泛湖系所覆盖,成为规模宏大的“东亚古水塔”,随着约 30 ka 高原强烈构造运动兴起,在短时间内巨量冰冷泛湖水冲破堤岸,顺江汇入海洋和北部低洼盆地,称之为“泛湖倾泄事件”,其对气候环境影响程度还待进一步查明^[29]。

第四阶段(31.0 ~ 14.9 ka. B. P.):此期为孢粉贫乏带,孢粉总浓度总体较低,除一个样品浓度较高外,其余样品平均浓度为 59 粒/克,有两个样品孢粉总浓度仅为 4 粒/克和 13 粒/克,较上一阶段急剧下降。在最上层孢粉浓度低样品中,出现了榆、胡桃、桦、栎等阔叶乔木大量增加,蕨类孢子最高值达 15.7%。推测当时大浪滩湖盆接近干涸,地下水位下降,湿地减少,环境极度干旱荒漠化,盆地由湖相水成沉积转变为陆相风成堆积,虽气温升高促使喜暖阔叶乔木种类及数量的增加,可能是山地河谷及冲沟中局部环境的植被响应,2.0 米(16.7 ka. B. P.)以上的两个样品 A/C 平均值为 0.93,小于 1.0,反映的植被面貌为荒漠-草原,气候特征为温干。在 26.0 ka. B. P. 左右出现孢粉总浓度的突然急剧增加,推测可能出现过湖水淡化以及湖面升高事件。该时段可对应为 MIS2 阶段,江德昕等研究柴达木盆地达布逊湖孢粉谱所得出在距今 3 万年时,喜暖湿植物全面衰退,植被开始向荒漠草原发展,反映气候急剧趋于寒冷干燥^[6]。3 万年左右,柴达木盆地达布逊湖生物突然大灭绝和开始析出盐类^[26,35]。万和文等对柴达木盆地察尔汗古贝壳堤剖面的沉积物进行孢粉分析结果显示,在 31.2 ~ 27.6 ka. B. P. 期间,松属、云杉属、桦属等为主的木本植物的含量增加,周围山地森林发育,表明气候温暖,降水量增多。但由于蒸发量大,有效湿度下降,荒漠成分桉柳属等增加,盘星藻在 30 ka. B. P. 以后消失,反映湖泊盐度增大;27.6 ~ 23.3 ka. B. P. 期间,植被中荒漠成分显著增加,周围山地森林萎缩,气候趋向相对寒冷干旱,湖面积缩小;23.3 ~ 18.0 ka. B. P.,孢粉浓度很低,藜科、藜科等荒漠成分明显增加,植被稀疏,已趋向荒漠化草原,反映气候寒冷干旱^[30]。

本钻孔表层年龄约为 14.5 ka. B. P.,表明柴达木盆地西部大浪滩盐湖完全干涸,对应 MIS1 阶段该区域变得极为干旱。江德昕等研究达布逊湖孢粉谱所得出达布逊湖在距今约 2 万年时,虽有盘星藻出现,但数量很少,仅反映一次小的湿度变化^[6]。

进入全新世(10 ka. B. P. 至现今)达布逊湖这一阶段植被以荒漠草原为特征,乔木和蕨类消声匿迹,水生植物和淡水藻类也未出现,以往的森林草原已被荒漠草原所代替。旱生和盐生灌木、亚灌木和草本植物构成这一时期的植物群落,反映寒温带干燥型气候^[6],与本区现今气候特征相近。

总之,ZK06 孔末次间冰期以来孢粉总浓度呈现阶段式下降趋势,在第一阶段平均值最高,出现了 3 个明显的峰值,第二阶段早期浓度明显下降,后期浓度又恢复到中等水平,但较第一阶段明显减少,第三阶段孢粉总浓度继续下降,在第四阶段早期,正值 MIS2 出现过一次高峰值,之后孢粉浓度迅速减少,推测 MIS5 阶段湖泊水位总体相对较高,MIS4 阶段水位比 MIS3 阶段略高,MIS2 阶段出现过一次高水位,表明冰盛期该区出现过冷湿的气候特征。青藏高原青海湖和苟鲁错湖泊沉积两千年来气候高分辨率研究记录显示,近千年来气候演替类型为冷湿与暖干的组合特征,西昆仑山红山湖也记录了 19 世纪下半叶的冷湿^[37,39,41]。1960 以来的强烈暖干化以及 70 年代中期到 80 年代末期的短暂冷湿过程;90 年代以来,暖干趋势更为强烈^[38,42]。柴达木盆地达布逊湖 CK06 孔介形分析研究表明更新世以来多个时段出现指示淡水低温玻璃虫亚科种类,气候为冷湿、湖水淡化^[43]。我国西部湖泊从末次冰期间冰阶晚期以来至中全新世均为高湖面,可能对应于相对较湿润的环境状况,冰期内的湿润条件可能与西风带的降水以及低温低蒸发密切相关^[44]。由于柴达木盆地四面高山围绕,入湖河水主要来自冰川融水,气候变暖对新疆降水和径流影响分析,对比冰川加速消融和降水量增加对本区地表径流增大的贡献研究,表明引起局部地区地表径流显著增加的主要原因是冰川加速消融,^[18]青藏高原东南部过去 300 年来年代际尺度上的积雪覆盖的变化树轮研究,发现区域积雪状况通过影响土壤干湿条件来影响,树木的生长在年代际尺度上积雪融水对干湿变化的影响超过了气温和降水的影响^[45],由此可推测柴达木盆地西部气候特征可能存在冷干—冷湿—暖干—暖湿四种模式,冰盛期累积的冰川在间冰期消融为湖泊增加了地表径流量,导致影响该区湖水水质咸化与淡化以及水位升降的变化因素较为复杂,湖泊水位高、低与气候冷期、暖期可能存在超前或滞后的位移,进入 MIS1 阶段盆地西部大浪滩盐湖完全干涸,与典型季风区的水平衡形式不同。区域地形可能对

柴达木盆地的湿度变化起着重要作用,即当夏季风强盛时,青藏高原主体上升气流强,而低陷的柴达木盆地则盛行下沉气流,导致气候干旱;当夏季风减弱时,这一上升—下沉气流机制变弱,气候相对较湿润^[46]。青藏高原隆升与亚洲内陆干旱化的海气耦合模式模拟研究表明,随着高原高度的增加,导致近地层气温下降,进而大气含水量减小,同时地形的阻挡效应导致纬向和经向的环流减弱,造成内陆地区水汽输送的减弱、西风强度显著减弱、中纬度干旱面积增加^[47]。也可能受青藏高原的最后一次隆升造成盆地西北向东南方向倾斜,使盆地水流汇集中心移向了东南部。

5 结论

(1) 研究结果可以看出大浪滩地区自末次间冰期以来,区域性植被已呈现出明显的垂直地带性,盆地西北部山地分布着喜冷湿的寒温带针叶林,盆地低处分布着由蒿属、藜、禾本科、菊科等旱生草本植物等组成温性草原,在气候相对温湿时期(对应本钻孔第一、第三阶段),局部山地零星出现栎树、柳树、桦树和云杉组成的针阔混交林或阔叶林,林下阴湿之地长有一些卷柏和水龙骨科等蕨类植物。在寒冷干旱时期表现为植被衰退,水生植物减少,A/C 减小;温暖湿润期植被繁盛,水生植物增多,A/C 增大。植被面貌定为疏林—灌丛—草原,是概括了研究区植被垂直带谱中各个植被带,伴随气温和湿度变化只表现为林线上升与下降、草原面积扩张与收缩、水生植物增减对应湖面扩张与收缩,而植被垂直带谱总体特征不变,第四阶段变为荒漠—草原可能与特殊构造事件相关。MIS5 阶段以来总体趋势为盐层厚度逐渐增加、碎屑淤泥层厚度逐渐减少、孢粉总浓度逐渐降低、草本植物花粉百分比逐渐减少、乔木植物花粉百分比逐渐增加。冷暖干湿频繁交替,总体趋势为逐渐变得寒冷干旱。

(2) 从本钻孔孢粉指标所划分出的 4 个大的气候演变阶段特征来看,其阶段性变化特征同古土壤、氧同位素、湖相盐类指标表现的冷暖特征有较好的同步性及方向性,说明此区植被与环境的演变主要受控于全球变化因影响。时间上存在少量相位超前或滞后,可能是由于不同沉积地区的岩性及沉积速率差异造成年龄相差。由于本区受冰川融水引起河流径流量的变化对湖水供给影响较大,导致该区湖

水水质咸化与淡化以及水位升降的变化因素较为复杂,冰盛期累积的冰川在间冰期消融为湖泊增加了地表径流量,其气候特征可能存在冷干—冷湿—暖干—暖湿四种模式。

(3)根据已有的研究资料对比分析可知,本区末次间冰期以来的植被演替规律与我国东部地区同期植被存在的水平地带性明显差异,表明其植被演替除受控于全球变化控制外,又明显具有盆地局部环境演化的典型特色,进一步说明青藏高原在晚更新世初期已经隆升到一定的高度并导致季风环流格局的变化,致使盆地逐步演化成寒冷干旱,区域植被变得极其贫乏。造成目前盆地内东南部地区较西北部地区植被相对较为发育的原因,其一可能是由于构造运动使盆地周围山地抬升后,使西南/东南夏季风只能少量从东南方向吹向西北方向带来暖湿气流形成的差异;其二可能是青藏高原的最后一次隆升造成盆地西北向东南方向倾斜,使盆地水流汇集中心移向了东南部。

参考文献 (References)

- [1] 郑度,姚檀栋. 青藏高原隆升及其环境效应[J]. 地球科学进展, 2006, **21**(15): 451–458 [ZHENG Du, YAO Tandong. Up lifting of Tibetan Plateau with its environmental effects [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, **21**(15): 451–458]
- [2] 许清海,李月丛,阳小兰,等. 北方草原区主要群落类型表土花粉分析[J]. 地理研究, 2005, **24**(3): 395–402 [XU Qinghai, LI Yuecong, YANG Xiaolan, et al. Study on surface pollen of major steppe communities in Northern China [J]. *Geographical Research*, 2005, **24**(3): 395–402]
- [3] 朱筱敏,康安,韩德馨,等. 柴达木盆地第四纪环境演变、构造变形与青藏高原隆升的关系等[J]. 地质科学, 2003, **38**(3): 367–376 [ZHU Xiaomin, KANG An, HAN Dexin, et al. Relation among quaternary environmental evolution, tectonic deformation in the Qaidam basin and uplifting of the Qinghai–Tibet plateau [J]. *Chinese Journal Of Geology*, 2003, **38**(3): 367–376]
- [4] 孙非非,张苑漪,巩俊成,等. 柴达木盆地上新世晚期以来古气候演变的孢粉环境指标重建[J]. 地质评论, 2010, **56**(5): 621–628 [SUN Feifei, ZHANG Wanyi, GONG Juncheng, et al. The palaeoenvironmental reconstruction on pollen proxy in the Qaidam basin since late Pliocene [J]. *Geological Review*, 2003, **38**(3): 367–376]
- [5] 方小敏,吴福莉,韩文霞,等. 上新世–第四纪亚洲内陆干旱化过程—柴达木中部鸭湖剖面孢粉和盐类化学指标证据[J]. 第四纪研究, 2008, **28**(5): 874–882 [FANG Xiaomin, WU Fuli, HAN Wenxia, et al. Plio-pleistocene drying process of asian inland-Sporopollen and salinity records from Yahu section in the central Qaidam basin [J]. *Quaternary Research*, 2008, **28**(5): 874–882]
- [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 [JIANG Dexin, YANG Huiqiu. Palynological evidence for climatic changes in Dabuxun lake of Qinghai province during the past 500,000 years [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, **19**(1): 101–106]
- [7] 潘安定,陈碧珊. 柴达木盆地尕斯库勒湖晚第四纪古环境[M]. 北京: 气象出版社. 2010: 1–10 [PAN Anding, CHENG Bishan. *Paleoenvironment of late Quaternary in the Gahai lake Qaidam Basin* [M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 2010: 1–10]
- [8] 叶传永,王志明,赵世勤,等. 青海尕斯库勒盐湖沉积物孢粉组合特征与铀分布关系初探[J]. 地质论评, **59**(3): 479–488 [YE Chuanyong, WANG Zhiming, ZHAO Shiqing, et al. Preliminary study of the relationship between pollen assemblages and Uranium distribution in Gasikule salt lake's sediments, Qaidam basin [J]. *Geological Review*, **59**(3): 479–488]
- [9] 沈振枢,童国榜,张俊牌,等. 青海柴达木盆地西部上新世以来的地质环境与成盐期[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1990, **10**(4): 89–99 [SHENG Zhenshu, TONG Guobang, ZHANG Junpai, et al. Geological environments since Pliocene and accumulation process of saline deposit in west Qaidam basin Qinhai china [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1990, **10**(4): 89–99]
- [10] 康安,朱筱敏,韩德馨,等. 柴达木盆地第四纪孢粉组合及古气候波动[J]. 地质通报, 2003, **22**(1): 12–15 [Kang An, Zhu Xiaomin, Han Dexin, et al. Quaternary sporopollen assemblages and paleoclimatic fluctuation in the Qaidam basin [J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, **22**(1): 12–15]
- [11] 张彭熹,张保珍. 柴达木地区近三百万年来古气候环境演化的初步研究[J]. 地理学报, 1991, **46**(3): 327–335 [ZHANG Pengxi, ZHANG Baozhen. Preliminary study on paleoclimate and paleoenvironment of the Qaidum region since three million years ago [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991, **46**(3): 327–335]
- [12] 王永贵,李义民,陈宗颜,等. 柴达木盆地第四纪沉积环境演化[J]. 水文地质工程地质, 2009, **1**: 128–132 [WANG Yonggui, LI Yimin, CHEN Zongyan, et al. Evolution of the sedimentary environment in the Qaidam basin over the quaternary period [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2009, **1**: 128–132]
- [13] 陈晔,袁林旺,周春林,等. 柴达木盆地第四纪古气候变化在自然伽马测井曲线上的记录[J]. 古地理学报, 2001, **3**(2): 29–37 [CHENG Ye, YUAN Linwang, ZHOU Chunlin, et al. Quaternary palaeoclimate changes recorded by natural gamma logging curve in Qaidam basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, **3**(2): 29–37.]
- [14] 姚檀栋, Thompson LG, 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, **27**(5): 447–452 [YAO Tandong, Thompson LG, SHI Yafeng, et al. Since the last interglacial climatechange in the ice core record study [J]. *Chinese Science D*, **27**(5): 447–452]
- [15] 李吉均,方小敏,潘保田等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响[J]. 第四纪研究, 2001, **21**(5): 381–391 [LI Jijun, FANG Xiaomin, PAN Baotian, et al. Late cenozoic intensive uplift of Qinghai-xizang plateau and its impacts on environments in surrounding area [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, **21**(5): 381–391.]

- [16] 施雅风,李吉均,李炳元,等.晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J].地理学报.1998,**54**(1):10-12 [SHI Yafeng, LI Jijun, LI Bingyuan, et al. Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau and east asia environmental change during late Cenozoic [J]. Acta Geographica Sinica, 1998, **54**(1):10-12]
- [17] 郑绵平,袁鹤然,赵希涛,等.青藏高原第四纪泛湖期与古气候[J].地质学报.2006,**80**(2):169-180 [ZHENG Mianping, YUAN Heran, ZHAO Xitao, et al. The quaternary pan-lake (overflow) period and paleoclimate on the Qinghai-Tibet plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2006,**80**(2):169-180.]
- [18] 柳葳,许有鹏,黄云.气候变暖对新疆降水和径流影响分析[J].干旱区地理,2005,**28**(5):597-602 [LIU Wei, XU Youpeng, HUANG Yun. Effects of global warming on precipitation and runoff volume in Xingjiang [J]. Arid Land Geography, 2005, **28**(5):597-602]
- [19] 杜庆,孙世洲著.柴达木地区植被及其利用[M].北京:科学出版社,1990:3-10 [DU Qing, SUN Shizhou. Vegetation in the Qaidam Basin region and its utilization [M]. Beijing: Science Press, 1990:3-10]
- [20] Peng T H, Goddard J G, Broecker W S. A direct comparison of ^{14}C and ^{230}Th ages at Searles Lake, California [J]. Quaternary Research, 1978, **9**(3):319-329.
- [21] 候献华,郑绵平,张成君,等.柴达木盆地西部大浪滩 140Ka 以来沉积特征与古环境[J].地质学报,2010,**84**(11):1623-1630 [HOU Xianhua, ZHENG Mianping, ZHANG Chengjun, et al. Sedimentary characteristics and paleoenvironmental of Dalangtan Saltlake in Westen in Qaidam Basin since 140kaBP [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, **84**(11):1623-1630]
- [22] 郑亚惠.吉隆盆地沃马组孢粉组合.西藏第四纪地质[M].北京:科学出版社,1983:38-41 [Zheng Yahui. Spore-pollen assemblages in Woma formation from Jilong Basin. In: The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau, Academia Sinica ed. Tibetan Quaternary Geology [M]. Beijing: Science Press, 1983:38-41]
- [23] 周慕林等.中国第四系[M].北京:地质出版社,1988:5-20 [Zhou Mulin et al. Quaternary in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988:5-20]
- [24] 李文漪,姚祖驹.表土中松属花粉与植物间数量关系的研究[J].植物学报(英文版),1990,**32**(12):943-950 [LI Wenyi, YAO Zuju. A study on the quantitative relationship between pinus pollen in surface sample and pinus vegetation [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1990,**32**(12):943-950]
- [25] 阎顺.新疆表土松科花粉分布的探讨[J].干旱区地理,1993,**16**(3):1-9 [YAN Shun. The discussion on the pollen of pine family in surface soil in Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 1993,**16**(3):1-9]
- [26] 沈振枢,程果,乐昌硕.柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境[M].北京:地质出版社,1993:30-61 [SHEN Zhenshu, CHENG Guo, LE Changshuo. The Division and Sedimentary Environment of Quaternary Salt-Bearing Strata in Qaidam Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:30-61]
- [27] 孙湘君,杜乃秋,翁成郁.新疆玛纳斯湖盆周围近 14000 年以来的古植被古环境[J].第四纪研究,1994,**8**(3):239-248 [SUN Xiangjun, DU Naiqiu, WENG Chengyu, et al. Paleovegetation and paleoenvironment of Manasi lake Xinjiang N. W. China during the last 14,000 years [J]. Quaternary Research, **8**(3):239-248.]
- [28] 唐领余,沈才明,李春海,等.花粉记录的青藏高原中部中全新世以来植被与环境[J].中国科学(D辑:地球),2009,**39**(5):615-625 [TANG Lingyu, SHENG Chaiming, LI Chunhai, et al. Pollen record of vegetation and environment in the central tibetan plateau since the Holocene [J]. Science in China (series D: Earth sciences), 2009, **39**(5):615-625.]
- [29] 郑绵平,袁鹤然,赵希涛,等.青藏高原第四纪泛湖期与古气候[J].地质学报,2006,**80**(2):169-180. [ZHENG Mianping, YUAN Heran, et al. The quaternary Pan-lake (overflow) period and paleoclimate on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2006,**80**(2):169-180.]
- [30] 万和文,唐领余,张虎才,等.柴达木盆地东部 36~18 kaB.P. 期间的孢粉记录及其气候环境[J].第四纪研究,2008,**28**(1):112-121 [WAN Hewen, TANG Lingyu, ZHANG Hucai, et al. Pollen Record reflects climate changes in Eastern Qaidam basin during 36-18 ka. B. P. [J]. Quaternary Sciences, 2008,**28**(1):112-121]
- [31] 贾玉连,施雅风,曹建廷,等.40-30 ka B. P. 期间高湖面稳定存在时青藏高原西南部封闭流域的古水降水量研究[J].地球科学研究,2001,**16**(3):346-351 [JIA Yulian, SHI Yafeng, CAO Jianting, et al. The precipitation of the interior lakes in the southwestern Tibetan plateau at 40~30 ka B. P. [J]. Advance in Earth Sciences, 2001,**16**(3):346-351]
- [32] 齐文,郑绵平.西藏扎布耶盐湖 30 ka B. P. 以来水位与古降水量变化[J].地球学报,2005,**26**(1):53-60 [QI Wen, ZHENG Mianping. Precipitation fluctuation since 30.0 ka B. P. at Chabyer Caka, Western Tibet [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2005,**26**(1):53-60]
- [33] 施雅风,李吉均,李炳元,等.晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化[J].地理学报.1998,**54**(1):10-12 [SHI Yafeng, LI Jijun, LI Bingyuan, et al. Uplift of the Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau and east asia environmental change during late Cenozoic [J]. Acta Geographica Sinica, 1998, **54**(1):10-12]
- [34] ZHU Dagang, MENG Xiangang, ZHAO Xitao, et al. Evolution of an ancient large lake in the southeast of the Northern Tibetan Plateau [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2004,**79**(4):982-992
- [35] 景民昌,孙镇城,杨革联,等.柴达木盆地达布逊湖地区 3 万年来气候演化的微古生物记录[J].海洋地质与第四纪地质,2001,**21**(2):55-58. [JING Minchang, SUN Zhengcheng, YANG Gelian, et al. climate evolution micro paleontological record in Dabushun lake in Qaidam basin Since 30 ka B. P. [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2001,**21**(2):55-58]
- [36] 于守兵,李世杰,刘吉峰.青藏高原湖泊沉积研究及其进展[J].山地学报,2006,**24**(4):480-488. [YU Shoubing, LI Shijie, LIU Jifeng. Researches on Lacustrine Sediments in Tibetan

- Plateau and Their Progress [J]. Journal of Mountain Science, 2006, **24**(4): 480–488]
- [37] 沈吉, 张恩楼, 夏威夷. 青海湖近千年来气候环境变化的湖泊沉积记录[J]. 第四纪研究, 2001, **21**(6): 508–513 [SHEN Ji, ZHANG Enlou, XIA Weilan. Qinghai lake in nearly one thousand years of climate change lake sedimentary records [J]. Quaternary Sciences, 2001, **21**(6): 508–513]
- [38] 李世杰, 王小天, 夏威夷, 等. 青藏高原原鲁错湖泊沉积记录的小冰期气候变化[J]. 第四纪研究, 2004, **24**(5): 578–584. [LI Shijie, WANG Xiaotian, XIA Weilan. The little ice age climate fluctuations derived from lake sediments of Goulucuo [J]. Quaternary Sciences, 2004, **24**(5): 578–584]
- [39] 王小天, 李世杰. 青藏高原原鲁错近几十年环境变化的湖泊沉积记录[J]. 湖泊科学, 2002, **14**(3): 217–222 [WANG Xiaotian, LI Shijie. Environment changes revealed by modern lake sediment in Coulu Co, Tibetan Plateau [J]. Journal of Lake Sciences, 2002, **14**(3): 217–222]
- [40] 羊向东, 王苏民, Kamenik C, 等. 藏南沉错钻孔硅藻组合与湖水古盐度定量恢复[J]. 中国科学 D 辑, 2003, **33**(2): 163–169. [YANG Xiangdong, WANG Sumin, Kamenik C, et al. Diatom compositions in the core from ChenCo Lake at southern Tibet and quantitative reconstruction of of palaeotem perature of lake vater [J]. Science in China (Series D), 2003, **33**(2): 163–169]
- [41] 朱立平, 陈玲, 张平中, 等. 环境磁学反映的藏南沉错地区 1300 年来冷暖变化[J]. 第四纪研究. 2001, **21**(6): 520–527 [ZHU Liping, CHEN Ling, ZHANG Pingzhong. Cokd/warm fluctuations of the last 1300 years reflectde by environmental in the Chen Co area, southern Tibet [J] Quaternary Sciences, 2001, **21**(6): 520–527.]
- [42] 朱立平, 陈玲, 李炳元, 等. 西昆仑山南红山湖沉积反映的过去 150 年湖区环境变化[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2001, **31**(7): 601–607 [ZHU Liping, CHEN Ling, LI Bingyuan, et. al. Environmental changes reflected by the lake sediments of the South Hongshan Lake Northwest Tibet [J]. Science in China (Series D), 2001, **31**(7): 601–607.]
- [43] 黄麒, 韩凤清. 柴达木盆地盐湖演化与古气候波动[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 125–127 [HUANG Qi, HAN Fengqing. Evolution of Salt Lakes and Palaeoclimate fluctuation in Qaidam Basin [M]. Beijing: Science Press, 2007: 125–127]
- [44] 张凤菊, 薛滨, 于革. 晚第四纪中国湖泊水量变化及其古环境意义[J]. 第四纪研究. 2016, **36**(3): 598–611 [ZHANG Fengjiu, XIE Bin, YU Ge. The lake status change of China since the late quaternary and its significance for palaeoenvironment. [J] Quaternary Sciences, 2016, **36**(3): 598–611]
- [45] 方克艳, 刘秀铭, 李颖俊, 等. 树轮记录的过去 300 年来青藏高原东南部积雪覆盖的变化[J]. 第四纪研究. 2016, **36**(4): 993–1001 [FANG Keyan, LIU Xiuming, LI Yingjun, et al. Interdecadal variations of the snow cover in the southeastern Tibetan Plateau recorde in tree rings [J]. Quaternary Sciences, 2016, **36**(4): 993–1001]
- [46] 赵艳. 柴达木盆地湖泊孢粉记录的生态与气候解释: 不同海拔地区的湿度变化差异[J]. 第四纪研究. 2010, **30**(6): 1088–2010 [ZHAO Yan. Ecological and climatic interpretations of pollen records from lakes in the Qaidam basin: moisture difference at different altitudes [J]. Quaternary Sciences, 2010, **30**(6): 1088–2010]
- [47] 苏宝煌, 姜大膀. 青藏高原隆升与亚洲内陆干旱化的海气耦合模式模拟研究[J]. 第四纪研究. 2016, **36**(4): 935–944 [SU Baohuang, JIANG Dabang. The Tibetan plateau uplift and Asian inland aridification simulated by a coupled atmosphere ocean model [J]. Quaternary Sciences, 2016, **36**(4): 935–944]

Vegetation Characteristics and Environmental Changes since the Last Interglacial Period in Western Qaidam Basin

YANG Qinghua¹, HOU Xianhua^{2*}, YANG Zhenjing¹, MAO Jianye³

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Key Laboratory of Resources and Environment of Saline Lake, Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, China;

3. Qaidam Comprehensive Geology and Mineral Resources Exploration Institute of Qinghai Province, Golmud 816000, Qinghai, China)

Abstract: The Qaidam Basin has undergone drought for a quite long time, and the deep lacustrine facies in the western Qaidam Basin records the process of environmental evolution. Based on the analysis of spore-pollen in the sediments from Drilling core ZK06 in Dalangtan and total concentration change of pollen deposition as well as migration, mutual growth and decline change of regional representative coniferous tree plants and herbaceous plants

and peak features of fern spore, in combination with the U-series dating data, vegetation succession and environmental evolution since the last interglacial period in study area were discussed and the climate and environment in various stages of MIS5-MIS2 in the western Qaidam Basin were compared. It is concluded that along with the phased uplift of the Tibetan Plateau and under the influence of global climate change, although the overall regional vegetation alteration is not obvious, yet the pollen concentration was very low in the salinization period of lake water, reflecting that the vegetation was sparse under dry salinization environment. The total pollen concentration was higher in clastic sedimentary period of lake water desalination, indicating that the climate turned humid, the area of montane forest around the basin increased and basin grassland expanded. Since MIS5 stage, the overall trend was that the thickness of salt gradually increased, the thickness of mud debris layer gradually decreased, the total pollen concentration gradually decreased, herb pollen percentage gradually decreased and tree pollen percentage gradually increased. Because the changes of river flows induced by the glacial meltwater in the study area greatly affected water supply to the lake, the factors affecting salinization and desalinization of lake water and the change of lake water level were more complex. In the MIS1 stage Dalangtan Saline Lake in western basin completely dried up, in the Holocene megathermal period the rise of lake water and desalinization did not appear, perhaps resulting from the control by the regional tectonic movement effect.

Key words: Sporo-pollen analysis; vegetation characteristics; last interglacial; climatic characteristics; western Qaidam Basin