

文章编号: 1006-6616 (2013) 01-0014-12

云南元谋盆地距今 210—120 ka 间 干热气候变化重建

李华勇^{1,2}, 明庆忠^{1,2}, 张虎才^{1,2}, 苏怀^{1,2}, 张自强^{1,2}, 段立曾^{1,2}

(1. 云南师范大学旅游与地理科学学院高原湖泊生态与全球变化实验室, 昆明 650500;

2. 高原地理过程与环境云南省重点实验室, 昆明 650500)

摘要: 元谋盆地西侧浪巴铺湖相沉积物 (厚 27 m) ESR 年代测定结果显示, 浪巴铺古湖存在于距今 216 ± 20 ka 至 122 ± 10 ka, 经历了倒数第二次间冰期末期、倒数第二次冰期以及末次间冰期初期。结合粒度、磁化率和孢粉等数据, 重建了元谋地区距今 216 ± 20 ka 至 122 ± 10 ka 期间的气候变化历史: 距今 216 ~ 185 ka 期间, 孢粉平均浓度为全剖面最高, 出现了喜高温的苏铁科和栲属植物以及指示湿润环境的莎草科植被, 表明这段时期气候相对湿热, 对应倒数第二次间冰期晚期; 距今 185 ~ 150 ka 期间, 孢粉浓度迅速降低, 1050 cm 深处 (距今 160 ka) 孢粉浓度只有 8.67 粒/100 g, 对应倒数第二次冰期盛冰期; 距今 150 ~ 122 ka 期间出现数层砂砾石层, 草本植物比例增加, 气温回升, 降水减少, 湖泊面积缩小直至消失, 气候干热趋势显著。考虑到浪巴铺古湖沉积物样品平均孢粉浓度只有 34.35 粒/100 g, 认为至少在倒数第二次冰期之前, 元谋盆地气候的干旱特征已经十分显著, 植被稀疏, 末次间冰期以来, 气候的干热特征已与现代基本相同。

关键词: 元谋盆地; 倒数第二次冰期; 孢粉; 粒度; 气候变化; 干热河谷气候

中图分类号: P532, P534.63

文献标识码: A

0 引言

元谋盆地突出显示的巨厚河湖相沉积记录了丰富的构造运动、动植物演化和地貌发育史, 其中早更新世沉积被认为是中国西南地区突出显示的标准剖面。自 1965 年钱方等^[1]于元谋盆地上那蚌附近的河湖相地层中发现 2 颗原始人类牙齿化石 (古地磁测定距今 1.7 ± 0.1 Ma) 以来, 众多地学工作者陆续在元谋地区做了大量工作, 内容涉及古生物与古人类^[1~9]、第四纪地质^[1,7,10~17]、古气候^[15~21]、地貌与水系演化^[22~23]等诸多领域。但对于元谋盆地西侧山地中的平田盆地和新华盆地中的湖相沉积物研究相对较少, 由于地层时间跨度

收稿日期: 2012-11-30

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (U0933604, 40872118); 云南省科技发展计划 2009 年重点项目、教育部科学技术研究重点项目 (207102)

作者简介: 李华勇 (1986-), 男, 山东寿光人, 博士研究生, 研究方向为湖泊沉积与气候变化。E-mail: lihuayong2010@hotmail.com

通讯作者: 明庆忠 (1963-), 男, 湖北黄冈人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域地理环境与区域发展研究。E-mail: mingqingzhong01@163.com

较长、化石较少、测年手段限制很大，缺乏对地层系统考察和测年，地层对比困难。近年来，笔者对该地区地貌及沉积地层进行了系统野外考察，发现平田古湖和新华古湖的消亡可能与干热河谷气候的加剧相关联，是了解这个地区地貌过程、沉积特征、生物演化和区域气候变化的一个关键地区。

本文对位于元谋以西20 km的新华浪巴铺村附近的古湖沉积物进行研究，通过对剖面进行ESR年代、孢粉、粒度和磁化率等测试分析，重建了该地区倒数第二次冰期—间冰期旋回期间的气候变化，对进一步认识元谋乃至整个西南地区干热河谷气候变化过程提供了参考。

1 研究区自然地理概况

元谋盆地位于滇中高原北部，金沙江南岸，地理坐标 $101^{\circ}35'—102^{\circ}06' E$ ， $25^{\circ}23'—26^{\circ}06' N$ 。盆地海拔980~1400 m，南北长约46 km，东西宽2~10 km，呈长条状展布，系南北向大断裂发育的断陷盆地，形成于晚上新世、早更新世初期^[17]。盆地内及盆地西侧山地中的平田盆地（当地人称为坝子，海拔1200~1300 m）和新华盆地（海拔1500~1650 m）中，沉积了巨厚的新生代河湖相地层，岩性主要为棕红色、棕黄色砂质黏土、砂层和砂砾层^[24]。

元谋属低纬度高原季风气候，同时也是中国西南地区干热河谷气候的典型代表，浪巴铺海拔1600 m，位于干热河谷边缘地带，属中亚热带气候，年均温 $18.8^{\circ}C$ ，年降水 $738.5 mm$ ^[24]。

浪巴铺周边植被以草本为主，灌木稀少，有部分云南幼松、疏林出现。代表种有攀枝花、西果树、密油枝、霸王鞭、仙人掌、酸角树、小相子，扭黄茅、金合欢^[24]。

考察发现，由于新构造运动和过去流水的侧蚀，在浪巴铺有良好的地层出露。本文所研究的剖面位于元谋盆地西侧白草岭山脉中的新华坝子（见图1），属元谋县新华乡，地理坐标： $25^{\circ}41'5'' N$ ， $101^{\circ}42'2'' E$ ，海拔1630 m，距元谋县城直线距离20 km。

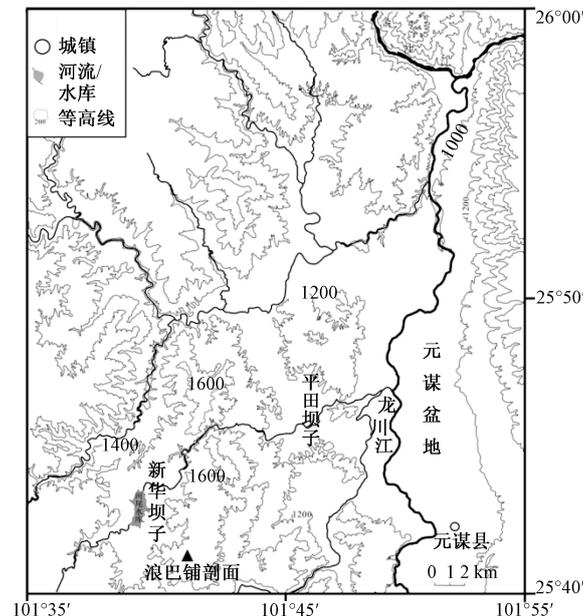


图1 研究区地理位置与采样点

Fig. 1 Location of the research area and sampling points

2 样品采集与分析测试

浪巴铺剖面厚 2700 cm, 其中底部为砂岩、泥岩, 与下伏地层呈不整合接触。剖面沉积物主体部分是一套黄白色、黄色、紫红色粉砂和细砂, 顶部 20 cm 为弱风化层, 280 ~ 400 cm、550 ~ 600 cm、730 ~ 810 cm 等 3 处为砂砾石层, 磨圆度较高, 最大粒径 2 cm。除去剖面表层风化物, 从距顶部 20 cm 开始按 10 cm 间距取样, 共取得样品 268 个, 在距顶部 20 cm、150 cm、400 cm、550 cm、900 cm、1050 cm、1250 cm、1750 cm、2000 cm、2250 cm、2550 cm 处共采集了 11 个孢粉样品, 同时在距顶部 23 cm、300 cm、2000 cm、2500 cm、2700 cm 处避光采集了 5 个 ESR 测年样品 (见图 2)。

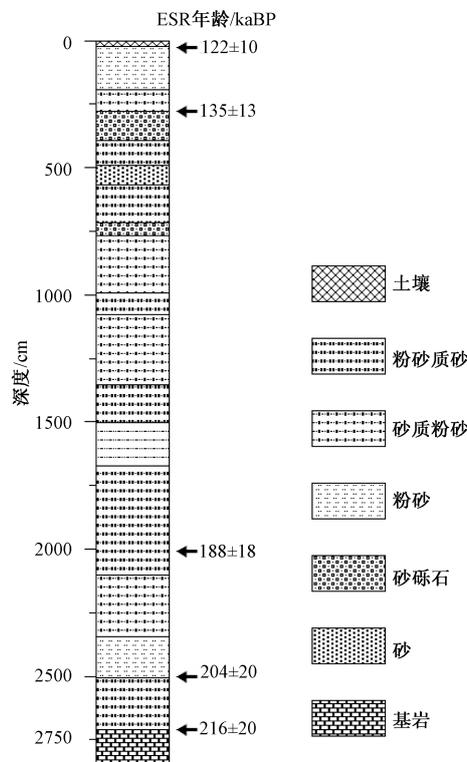


图 2 浪巴铺剖面岩性与年代图

Fig. 2 Lithologic column and ages of the Langbapu Profile

粒度测量在广州大学地理科学学院粒度实验室完成, 采用英国产 Mastersize-2000 型激光粒度仪, 粒度测量范围 0.02 ~ 2000.00 μm , 平均粒度的重复测量误差小于 2%。290 cm、310 ~ 320 cm、360 ~ 400 cm、580 cm、730 ~ 790 cm 等 16 个样品为砂砾石, 无法使用激光粒度仪测量。分析结果用沉积学中普遍采用的中值粒径 (M_d)、砂 (粒径 $> 63 \mu\text{m}$) 含量和黏土 (粒径 $< 2 \mu\text{m}$) 含量表示。

磁化率测量在高原地理过程与环境变化云南省重点实验室完成, 使用英国 Bartington 公司生产的 MS2 型便携式磁化率仪, 测量全部样品的低频质量磁化率。

孢粉样品的前处理和鉴定在广州大学孢粉实验室完成, 孢粉提取采用重液浮选法, 鉴定

采用尼康 E-200 型光学生物显微镜。

3 结果分析

3.1 沉积年代确定及沉积速率估算

ESR 样品年代测定由成都理工大学应用核技术研究所完成，测量结果见表 1。从表 1 可以看出，浪巴铺古湖存在于距今 216 ± 20 ka 至 122 ± 10 ka 期间，经历了倒数第二次间冰期末期、倒数第二次冰期以及末次间冰期初期 3 个阶段。根据 ESR 年龄求得浪巴铺古湖的平均沉积速率为 0.28 mm/a。

表 1 ESR 样品采集层位与测量结果

Table 1 Sampling positions and ESR ages

样品编号	取样深度/m	ESR 年龄/kaBP	测试方法	古剂量/Gy	年剂量/mGy	测试材料
LBP05	0.23	122 ± 10	ESR	568.9	4.648	石英
LBP01	3.00	135 ± 13	ESR	647.5	4.784	石英
LBP02	20.00	188 ± 18	ESR	816.3	4.337	石英
LBP03	25.00	204 ± 20	ESR	585.3	2.867	石英
LBP04	27.00	216 ± 20	ESR	867.6	4.017	石英

3.2 粒度

粒度是利用湖泊沉积物恢复古气候（干湿状况）的常用指标^[25~38]。中值粒径大小和粒度组分构成既受当时湖泊水动力条件、沉积物来源等因素控制，又受现代采样点选择的影响。因此，在多因素综合作用下，部分湖泊沉积物中的细颗粒组分增加指示湿润气候下的湖泊扩张^[29~35]，而另一些湖泊中则截然相反^[36~38]；同时有研究发现粒度在个别湖泊中的环境指示意义更加复杂^[25~28,34]。浪巴铺古湖面积较小，从周围地貌来看，湖泊深度和汇水面积都十分有限，因此湖泊水位易受降水影响，发生较大幅度变化。在本文中，细颗粒沉积物指示湖面上升的湿润时期，粗颗粒沉积物指示水位下降的干旱时期。

浪巴铺剖面沉积物中值粒径（ ϕ ）变化范围为 $1.45 \sim 7.24$ ，平均中值粒径为 4.67 ；砂含量 $2.58\% \sim 100\%$ ，平均含量 42.86% ；黏土含量 $0 \sim 17.80\%$ ，平均含量 7.82% （见图 3）。砂和粉砂的平均含量高达 90% 以上，平均沉积速率达到 0.28 mm/a，表明当时湖区植被覆盖度低，土壤侵蚀严重，大量粗颗粒物质随地表径流进入浪巴铺古湖。

3.3 磁化率

湖泊沉积物磁化率高低受源区母岩类型、植被覆盖演替、土壤发育及侵蚀特征、搬运和沉积作用等多重因素控制。在沉积物来源区母岩特征不变的前提下，磁化率大小主要受植被覆盖变化、土壤发育及侵蚀特征、搬运和沉积作用等影响，而这几种因素又直接或间接受控于气候条件。因此磁性矿物在这些过程中充当环境信息载体，可以作为重建古气候的代用指标^[39~42]。

由于控制磁性矿物富集的因素具有多样性，因此磁化率对古气候的解释亦具有多解性^[39~42]。本文中低频质量磁化率与黏土含量呈正相关关系（见图 3），磁化率变化范围为 $0.51 \times 10^{-8} \sim 36.55 \times 10^{-8}$ m³/kg，平均值为 5.37×10^{-8} m³/kg。深度 $1100 \sim 2700$ cm，磁化率平均值为 5.05×10^{-8} m³/kg，其中在 1250 cm、 1660 cm、 1920 cm、 2170 cm、 2420 cm 等 5 处出现峰值；深度 $400 \sim 1100$ cm，磁化率处于全剖面最低值，平均值为 2.45×10^{-8} m³/kg；深

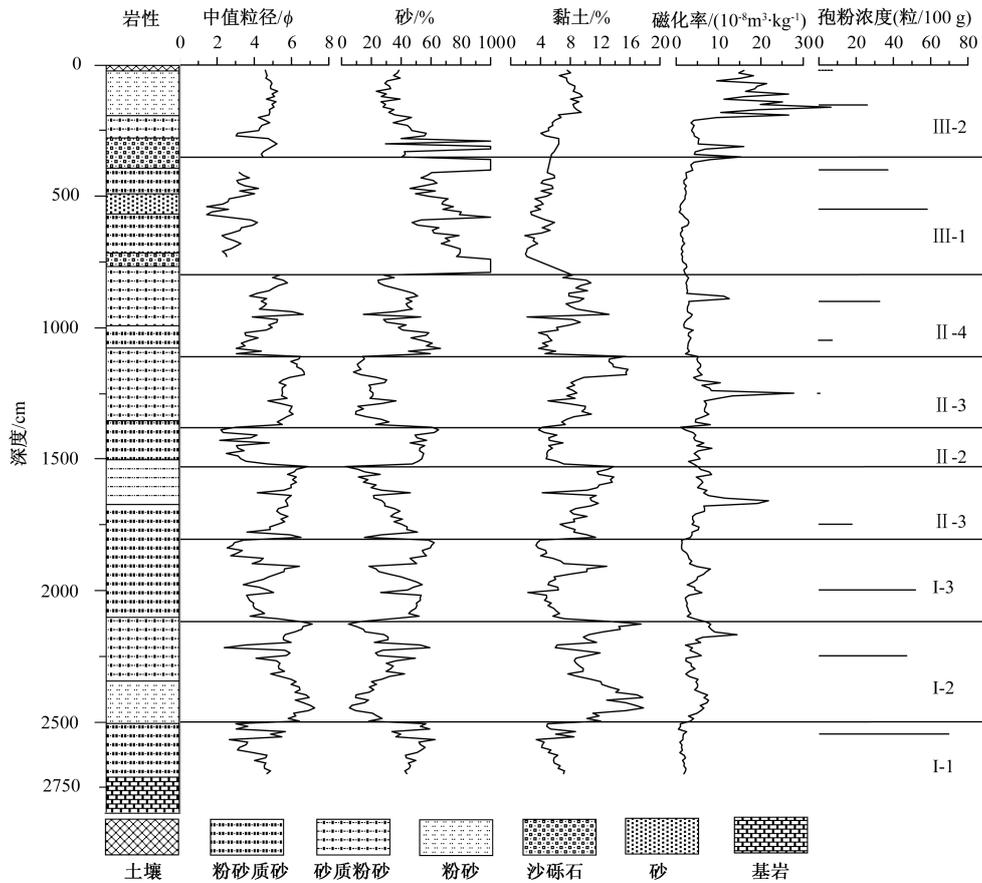


图3 浪巴铺剖面粒度参数、磁化率及孢粉曲线

Fig.3 Results of grain size, magnetic susceptibility and pollen of Langbapu Profile

度 20~400 cm, 平均磁化率全剖面最高, 为 $12.36 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 本段磁化率变化波动大, 尤其是 20~200 cm 深度内, 磁化率为全剖面最高且波动剧烈 (见图 3)。

3.4 孢粉

孢粉被认为是湖泊沉积物中能够较为准确地反映研究区植被和气候信息的指标之一^[35,43-50]。浪巴铺剖面共鉴定出孢粉种类 34 个科 (属), 以乔木和草本为主, 灌木和蕨类种类相对单一。其中松属、桦木科、杉科、禾本科等科 (属) 的含量最为丰富, 其余种属含量多较低。11 个样品共鉴定出孢粉 564 粒, 平均含量为 34.35 粒/100 g。本文选用孢粉浓度来反映该区域的植被演化。浪巴铺剖面孢粉浓度变化呈现降低—增加—降低的特征。底部最高, 为 72 粒/100 g, 1250 cm 处浓度只有 2.14 粒/100 g, 550 cm 处上升到 60 粒/100 g, 表层孢粉浓度又下降到 8.67 粒/100 g (见图 3)。

4 古气候变化重建

综合分析浪巴铺古湖沉积物的孢粉、粒度和磁化率等气候代用指标, 可将元谋干热河谷边缘地区距今 $216 \pm 20 \text{ ka}$ 至 $122 \pm 10 \text{ ka}$ 期间的气候演化序列划分为 3 个阶段。

第 I 阶段: 2700~1810 cm (距今 216.0~182.1 ka), 平均孢粉浓度为全剖面最大, 气

温相对较高, 对应倒数第二次间冰期后期。该阶段可进一步细分为3个亚段。I-1: 2700 ~ 2510 cm (距今216.0 ~ 204.6 ka), 为浪巴铺古湖形成初期, 中值粒径平均值4.12, 砂平均含量接近50%, 黏土平均含量只有5.81%, 磁化率平均值为 $1.57 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 。前期(2700 ~ 2560 cm, 216.0 ~ 207.6 ka)黏土含量呈下降趋势, 中值粒径和砂含量逐渐增大, 反映气候干化下湖泊面积收缩, 水动力条件加强, 沉积物以砂和粉砂为主; 后期(2560 ~ 2510 cm, 207.6 ~ 204.6 ka)黏土含量突然增大, 中值粒径和砂含量相应快速减小, 孢粉浓度达到72粒/100g, 反映降水增加, 湖泊面积增大, 植被覆盖情况改善。I-2: 2510 ~ 2120 cm (距今204.6 ~ 191.8 ka), 砂平均含量下降到24.11%, 黏土含量增加一倍, 平均中值粒径5.89, 磁化率随黏土含量值增加而上升到 $5.33 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 显示该时期气候总体比较湿润, 湖泊面积扩大, 沉积物中细颗粒组分增加。该层段孢粉含量仍然相对较高, 同时出现了指示高温的苏铁科和莎草科植物, 反映这段时期气候以热为主。I-3: 2120 ~ 1810 cm (距今191.8 ~ 182.1 ka), 平均中值粒径4.12, 黏土平均含量由11.91%降低到5.87%, 砂含量升高到46.62%, 反映降水减少下的湖泊收缩; 同时, 孢粉数据显示该段草本植物百分比由原来的10%上升到20%, 而乔木百分比则由84%下降到63%, 反映气候变冷, 乔木减少, 灌丛和草本植物增加, 植被群落开始退化。

第II阶段: 1810 ~ 800 cm (距今182.1 ~ 150.6 ka), 孢粉平均浓度只有16.67粒/100g, 其中1250 cm (距今164.6 ka)处孢粉浓度降到全剖面最低, 仅为2.14粒/100g, 且只鉴定到杉科和松科落叶松属2种花粉, 表明当时气候寒冷, 植被覆盖率极低, 对应倒数第二次冰盛期。根据粒度和磁化率指标, 本期可细分为4个亚段。II-1: 1810 ~ 1530 cm (距今182.1 ~ 173.3 ka), 平均中值粒径5.65, 砂平均含量下降到27.96%, 黏土平均含量上升到10.34%, 磁化率随黏土含量的上升增加到 $6.80 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 孢粉浓度为20.56粒/100g, 其中草本占43.24%, 反映该时期气温降低, 降水增多, 植被群落退化, 湖面扩张, 气候以冷湿为主。II-2: 1530 ~ 1380 cm (距今173.3 ~ 168.7 ka), 平均中值粒径和砂含量迅速增大, 黏土含量则相应降低到之前的一半水平, 该阶段大约有4.6ka, 是浪巴铺沉积历史时期较为干旱的时期之一。II-3: 1380 ~ 1110 cm (距今168.7 ~ 160.3 ka), 1250 cm处孢粉浓度只有2.14粒/100g, 且只含有杉科和松科落叶松属2种, 反映当时气候寒冷, 对应倒数第二次冰期最盛期, 植被稀少且以耐寒种为主; 考虑到当时气温较低, 因此蒸发量比较少, 湖泊面积稳定, 地表径流动力不大, 进入湖泊的砂平均含量为全剖面最低(18.70%), 平均黏土含量则上升到10.20%, 磁化率上升到 $7.46 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$, 反映这段时期气候寒冷干燥, 植被稀疏, 地表径流和湖泊动力不大, 进入湖盆中的砂含量明显降低, 黏土含量增加^[34]。II-4: 1110 ~ 800 cm (距今160.3 ~ 150.6 ka), 孢粉浓度由8.8粒/100g (1050 cm, 距今158.4 ka)上升到35.2粒/100g (900 cm, 距今153.7 ka), 并且出现了指示温暖气候的苏铁科植物, 反映本阶段气温回升, 对应倒数第二次冰盛期后期; 1100 cm (距今159.9 ka)处黏土平均含量突然由15.43%下降到4.62%, 砂平均含量由14.23%上升到59.57%, 中值粒径(ϕ)由6.49增大到3.05, 反映浪巴铺古湖迅速收缩, 采样点位置水动力增强, 沉积物中粗颗粒组分增加, 可能是由干旱引起的; 后期(1020 ~ 800 cm, 157.4 ~ 150.6 ka)中值粒径逐渐减小(3.05 ~ 5.38), 黏土含量相应升高(4.62% ~ 8.31%), 砂含量由59.57%下降到28.32%, 反映湖面逐渐扩张的过程。

第III阶段: 800 ~ 20 cm (距今150.6 ~ 122.0 ka), 孢粉浓度由60.0粒/100g降低到8.67粒/100g, 以乔木和草本为主, 灌木和蕨类逐渐减少直至消失, 同时出现数层滨湖相砂

砾石层,反映浪巴铺地区在末次间冰期初期气候干热特征比较明显,植被稀疏,降水少而蒸发量大,浪巴铺古湖在湖盆填充和湖水大量蒸发的双重作用下消亡。本段可细分为2个亚段。Ⅲ-1:800~290 cm(距今150.6~134.5 ka),平均砂含量达到73.53%,黏土含量多在6%以下,且在290~320 cm、360~400 cm、740~790 cm出现了3层砂砾石层,最大直径2 cm,另外也出现了数层薄层粗砂层,反映该时期湖泊面积变化剧烈,在湖盆被填充的前提下,湖水变浅,干旱事件使浪巴铺古湖极易发生较大的收缩;本段孢粉平均浓度为49.5粒/100 g,蕨类百分比占5.28%,反映这段时期降水不稳定,具有湿润和干旱期快速转换的特征。Ⅲ-2:290~20 cm(距今134.5~122.0 ka),平均中值粒径4.64,砂和黏土的平均含量分别为36.79%和7.30%,平均磁化率值达到全剖面最高($14.21 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$);孢粉浓度呈下降趋势,沉积物顶端孢粉浓度只有8.67粒/100 g,以松属、禾本科和藜科为主,反映浪巴铺古湖消失时气候干热,与现代干热河谷气候类似。

综上所述,元谋干热河谷边缘地带倒数第二次冰期—间冰期旋回期间的气候可划分为3大阶段9个亚段(见表2)。

表2 浪巴铺古湖区距今216~122 ka期间气候演化阶段

Table 2 Climate evolutionary phase in the Langbapu paleo-lake area during 216~122 kaBP

层段	距今时间/ka	湖泊发育状况	气候特征
Ⅲ-2	134.5~122.0	湖泊消失	干热特征进一步加剧
Ⅲ-1	150.6~134.5	湖泊面积变化剧烈,有至少3次面积剧烈收缩事件	气候干热
Ⅱ-4	160.3~150.6	湖泊迅速收缩	气温回升,降水较少,气候温干
Ⅱ-3	168.7~160.3	面积稳定,蒸发较小,水动力小	寒冷干燥
Ⅱ-2	173.3~168.7	面积减小,水深变浅	气候冷干,浪巴铺沉积历史上较干旱时期之一
Ⅱ-1	182.1~173.3	湖泊面积有所扩张	气温继续降低,降水增多
I-3	191.8~182.1	湖泊收缩	气候转为干冷
I-2	204.6~191.8	湖泊面积进一步扩张	气候以热为主要特征,降水相对较多
I-1	216.0~204.6	湖泊形成,并逐渐由浅变深	气温较高,降水由少变多

5 结论

浪巴铺古湖代表的元谋盆地边缘地区,气候变化对于全球冰期—间冰期的响应十分敏感。距今216~185 ka时期,气候相对湿热,孢粉平均浓度为全剖面最高,出现了喜高温的苏铁科和栲属植物以及指示湿润环境的莎草科植被;距今185~150 ka时期,气候寒冷,干旱和湿润期交替出现,孢粉浓度迅速降低,对应倒数第二次冰期盛冰期;距今150~122 ka,气温回升,降水减少,浪巴铺古湖在湖盆填充和湖水大量蒸发的双重作用下趋于消亡。浪巴铺湖相沉积物磁性矿物富集于细颗粒组分中,与黏土含量成正比。元谋干热河谷边缘地区在距今200 ka以前,气候就具有明显的干热特征,末次间冰期以来,这种特征变得尤其显著,与现代气候基本相同。

致谢 感谢广州大学潘安定教授、中科院南海研究所罗传秀博士后、中山大学陈碧珊博士、南京大学李冰博士和广州大学杨艺萍硕士在实验室中的协助和帮助。

参 考 文 献

- [1] 浦庆余,钱方.对元谋人化石地层——元谋组的研究[J].地质学报,1977,(1):89~100.

- PU Qing-yu, QIAN Fang. Study on the fossil human strata: The Yuanmou Formation [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1977, (1): 89 ~ 100.
- [2] 尹济云, 梁其中, 江能人. 元谋盆地晚新生代古地磁地层年代学及其古生物意义 [J]. *云南地质*, 1994, 13 (3): 306 ~ 311.
- YIN Ji-yun, LIANG Qi-zhong, JIANG Neng-ren. The late Cenozoic palaeomagnetic chronostratigraphy of Yuanmou Basin and its paleontologic significance [J]. *Yunnan Institute of Geological Sciences*, 1994, 13 (3): 306 ~ 311.
- [3] 邱铸鼎. 云南禄丰、元谋晚中新世古猿地点始鼠科化石 [J]. *古脊椎动物学报*, 2006, 44 (4): 307 ~ 319.
- QIU Zhu-ding. Eomyids (Mammalia; Rodentia) from the Late Miocene Lufeng and Yuanmou hominoid localities, Yunnan [J]. *Vertebrata Palasiatica*, 2006, 44 (4): 307 ~ 319.
- [4] 张云翔, 邱占祥, 郑良, 等. 云南元谋小河盆地含古猿化石地层的沉积特点与对比 [J]. *沉积学报*, 2001, 19 (1): 85 ~ 89.
- ZHANG Yun-xiang, QIU Zhan-xiang, ZHENG Liang, et al. Sedimentary feature and correlation of Hominoid fossil stratigraphy of Xiaohu Basin, Yuanmou, Yunnan [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19 (1): 85 ~ 89.
- [5] 张云翔, 郑良, 吉学平, 等. 云南元谋古猿动物群化石埋藏学 [J]. *地质学报*, 2002, 76 (1): 45 ~ 49.
- ZHANG Yun-xiang, ZHENG Liang, JI Xue-ping, et al. Taphonomy of the Hominoid Fauna in the Yuanmou Basin Yunnan [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2002, 76 (1): 45 ~ 49.
- [6] 刘东生, 丁梦林. 关于元谋人化石地质时代的讨论 [J]. *人类学学报*, 1983, 2 (1): 40 ~ 48.
- LIU Dong-sheng, DING Meng-lin. Discussion on the age of "Yuanmou Man" [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 1983, 2 (1), 40 ~ 48.
- [7] 刘泽纯, 李庆辰. 关于元谋盆地的沉积特征与地层划分 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1988, 8 (4): 66 ~ 77.
- LIU Ze-chun, LI Qing-chen. On the stratigraphical classification of the deposits in the Yuanmou sedimentary basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1988, 8 (4): 66 ~ 77.
- [8] Zhu Ri-xiang, An Zhi-sheng, Richard Potts, et al. Magnetostratigraphic dating of humans in China [J]. *Earth-Science Reviews*, 2003, 61: 341 ~ 359.
- [9] Masayuki Hyodo, Hideo Nakaya, Atsushi Urabe, et al. Paleomagnetic dates of hominid remains from Yuanmou, China, and other Asian sites [J]. *Journal of Human Evolution*, 2002, 43: 27 ~ 41.
- [10] Atsushi Urabe, Hideo Nakaya, Tetsuji Muto, et al. Lithostratigraphy and depositional history of the Late Cenozoic hominid-bearing successions in the Yuanmou Basin, southwest China [J]. *Quaternary Science Review*, 2001, (20): 1671 ~ 1681.
- [11] Chang Zhi-gang, Xiao Ju-le, Lv Liang-qing, et al. Abrupt shift in the Indian monsoon during the Pliocene marked by high-resolution terrestrial records from the Yuanmou Basin in southwest China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, (37): 166 ~ 175.
- [12] Zhu R X, Potts R, Pan Y X, et al. Paleomagnetism of the Yuanmou Basin near the southeastern margin of the Tibetan Plateau and its constraints on late Neogene sedimentation and tectonic rotation [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 272 (1-2): 97 ~ 104.
- [13] 张虎才, 钱方, 陈怀录. 元谋盆地元谋组地层的裂变径迹年代数据 [J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1994, 30 (1): 147 ~ 148.
- ZHAN GHu-cai, QIAN Fang, CHEN Huailu. Fission track of Yuanmou Formation in Yuanmou Basin dates [J]. *Journal of Lanzhou university (nature sciences)*, 1994, 30 (1): 147 ~ 148.
- [14] 张宗祜, 刘平贵, 钱方, 等. 元谋盆地晚新生代地质研究的新进展 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1994, 14 (2): 1 ~ 18.
- ZHANG Zong-hu, LIU Ping-gui, QIAN Fang, et al. New development in research of late cenozoic stratigraphy in Yuanmou Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1994, 14 (12): 1 ~ 18.
- [15] 闵隆瑞, 尹占国, 张金起. 龙街粉砂层形成时代及其古环境 [J]. *第四纪研究*, 1990, (4): 354 ~ 362.
- MIN Long-rui, YIN Zhan-guo, ZHANG Jin-qi. The formation time and paleoenvironment of the Longjie silt bed [J]. *Quaternary Sciences*, 1990, (4): 354 ~ 362.
- [16] 吕金福, 曹家欣. 云南龙街盆地第四纪沉积及环境演化 [J]. *第四纪研究*, 1992, (8): 216 ~ 223.

- LÜ Jin-fu, CAO Jia-xin. Quaternary sediments and environmental evolution of the Longjie basin, Yunnan province [J]. *Quaternary Sciences*, 1992, (8): 216 ~ 223.
- [17] 张宗祜. 川滇南北构造带中段晚新生代地质研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 1 ~ 258.
ZHANG Zong-hu. Research on the late Cenozoic geological in the middle of Sichuan-Yunnan north-south tectonic belt [M]. Bei jing: Petroleum Industry Press, 1994: 1 ~ 258.
- [18] CHENG Ye-ming, LI Cheng-sen, JIANG Xiao-mei, et al. A new species of Lagerstroemioxylon (Lythraceae) from the Pliocene of Yuanmou, Yunnan, China [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2007, 45 (3): 315 ~ 320.
- [19] 程业明, 王宇飞, 李承森, 等. 云南元谋上新统秋枫化石木的首次发现及古环境意义 [J]. *古地理学报*, 2005, 7 (1): 107 ~ 112.
CHENG Ye-ming, WANG Yu-fei, LI Cheng-sen, et al. Fossil woods of bischofia javanica Bl. from the Pliocene and palaeoenvironmental implication in Yuanmou Basin, Yunnan Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7 (1): 107 ~ 112.
- [20] 刘耕武, 李代芸, 黄翡, 等. 云南元谋盆地上新世甘棠组植物和孢粉组合及其古气候意义 [J]. *古生物学报*, 2002, 41 (1): 1 ~ 9.
LIU Geng-wu, LI Dai-yun, HUANG Fei, et al. A Pliocene flora from the gantang formation of Yuanmou Basin, Yunnan Province, southwestern China and its paleoclimate significance [J]. *Acta palaeontologica sinica*, 2002, 41 (1): 1 ~ 9.
- [21] 黄成敏, 王成善, 何毓蓉, 等. 元谋盆地古红土的土壤发生学特征及古环境意义 [J]. *土壤通报*, 2004, 35 (3): 251 ~ 256.
HUANG Cheng-min, WANG Cheng-shan, HE Yu-rong, et al. Pedogenetic properties and paleo-environmental implication of Paleo- Krasnosems in the Yuanmou Basin [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35 (3): 251 ~ 256.
- [22] 张叶春, 李吉均, 朱俊杰, 等. 晚新生代元谋盆地演化与河谷发育研究 [J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 1999, 35 (1): 199 ~ 205.
ZHANG Ye-chun, LI Ji-jun, ZHU Jun-jie, et al. Studies on development of Yuanmou Basin and valley during Late Cenozoic [J]. *Journal of Lanzhou University: Nature Sciences*, 1999, 35 (1): 199 ~ 205.
- [23] 李华勇, 明庆忠. 金沙江石鼓—宜宾段河谷—水系演化研究综述与讨论 [J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27 (2): 50 ~ 55.
LI Hua-yong, MING Qing-zhong. Summary and prospects for the valley & drainage evolution of the Shigu-Yibin Section of the Jinsha River [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2011, 27 (2): 50 ~ 55.
- [24] 云南省元谋县志编纂委员会. 元谋县志 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1993: 30 ~ 62.
Compiling Committee of Yunnan Yuanmou County Annals. *Yuanmou County Annals* [M]. Kunming: Yunnan People's Press, 1993: 30 ~ 62.
- [25] 陈敬安, 万国江, 张峰, 等. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录——以沉积物粒度为例 [J]. *中国科学: D 辑*, 2003, 33 (6): 563 ~ 568.
CHEN Jing-an, WAN Guo-jiang, ZHANG Feng, et al. Environmental records of lacustrine sediments in different time scales: Sediment grain size as an example [J]. *Science in China: Series D*, 2003, 33 (6): 536 ~ 568.
- [26] 王君波, 朱立平. 藏南沉错沉积物的粒度特征及其古环境意义 [J]. *地理科学进展*, 2002, 21 (5): 459 ~ 467.
WANG Jun-bo, ZHU Li-ping. Grain-size characteristics and their paleo-environmental significance of ChenCo Lake Sediments in Southern Tibet [J]. *Progress in Geography*, 2002, 21 (5): 459 ~ 467.
- [27] 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21 (1): 93 ~ 95.
SUN Qian-li, ZHOU Jie, XIAO Ju-le. Grain-size characteristics of lake Daihai sediments and its paleoenvironment significance [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21 (1): 93 ~ 95.
- [28] 刘兴起, 王苏民, 沈吉. 青海湖QH-2000 钻孔沉积物粒度组成的古气候古环境意义 [J]. *湖泊科学*, 2003, 15 (2): 112 ~ 117.
LIU Xing-qi, WANG Su-min, SHEN Ji. The grain size of the core QH-2000 in Qinghai Lake and its implication for paleoclimate and paleoenvironment [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2003, 15 (2): 112 ~ 117.
- [29] 雷国良, 张虎才, 张文翔, 等. 柴达木盆地察尔汗古湖贝壳堤剖面粒度特征及其沉积环境 [J]. *沉积学报*,

- 2007, 25 (2): 274 ~ 282.
- LEI Guo-liang, ZHANG Hu-cai, ZHANG Wen-xiang, et al. Characteristics of grain-size and sedimentation of Shell Bar Section in salt lake Qarhan, Qaidam Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25 (2): 274 ~ 282.
- [30] 陈碧珊, 潘安定, 张元芳. 柴达木盆地尕斯库勒湖沉积物粒度特征及其古气候意义 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, 30 (2): 111 ~ 119.
- CHEN Bi-shan, PAN An-ding, ZHANG Yuan-fang. Grain-size characteristics and their environmental significance of Gahai lake sediments in Qaidam Basin [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2010, 30 (2): 111 ~ 119.
- [31] 陈敬安, 万国江, 徐经意. 洱海沉积物粒度记录与气候干湿变迁 [J]. *沉积学报*, 2000, 18 (3): 341 ~ 345.
- CHEN Jing-an, WAN Guo-jiang, XU Jing-yi. Sediment particle sizes and the dry-humid transformation of the regional climate in Erhai Lake [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18 (3): 341 ~ 345.
- [32] 王永波, 刘兴起, 羊向东, 等. 可可西里库塞湖揭示的青藏高原东北部近 4000 年来的干湿变化 [J]. *湖泊科学*, 2008, 20 (5): 605 ~ 612.
- WANG Yong-bo, LIU Xing-qi, YANG Xiang-dong, et al. A 4000-year moisture evolution recorded by sediments of Lake Kusai in the Hoh Xil area, northern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20 (5): 605 ~ 612.
- [33] 朱立平, 王君波, 林晓, 等. 西藏纳木错深水湖芯反映的 8.4 ka 以来气候环境变化 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27 (4): 588 ~ 597.
- ZHU Li-ping, WANG Jun-bo, LIN Xiao, et al. Environmental changes reflected by core sediments since 8.4 ka in Namco, central Tibet of China [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27 (4): 588 ~ 597.
- [34] 吴健, 沈吉. 兴凯湖沉积物粒度特征揭示的 27.7 kaBP 以来区域古气候演化 [J]. *湖泊科学*, 2010, 22 (1): 110 ~ 118.
- WU Jian, SHEN Ji. Paleoclimate evolution since 27.7 kaBP reflected by grain size variation of a sediment core from lake Xingkai, northeastern Asia [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22 (1): 110 ~ 118.
- [35] 明庆忠, 苏怀, 史正涛, 等. 云南小中甸盆地湖相沉积记录的最近 5 次 Heinrich 事件 [J]. *地理学报*, 66 (1): 123 ~ 130.
- MING Qing-zhong, SU Huai, SHI Zheng-tao, et al. Last five heinrich events revealed by lacustrine sediments from Xiaozhongdian Basin in Yunnan Province [J]. *Acta Geographica Sinica*, 66 (1): 123 ~ 130.
- [36] 朱立平, 鞠建廷, 王君波, 等. 湖芯沉积物揭示的末次冰消期开始时期普莫雍错湖区环境变化 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26 (5): 772 ~ 780.
- ZHU Li-ping, JU Jian-ting, WANG Jun-bo, et al. Environmental changes recorded in core sediments from the Pumoyum Co Lake of the Tibetan Plateau during the initial stage of the last deglacial period [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26 (5): 772 ~ 780.
- [37] 蒋庆丰, 刘兴起, 沈吉. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义 [J]. *沉积学报*, 2006, 24 (6): 877 ~ 882.
- JIANG Qing-feng, LIU Xing-qi, SHEN Ji. Grain-size characteristics of Wulungu lake sediments and its palaeo climate and palaeoenvironment implication [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24 (6): 877 ~ 882.
- [38] 黄小忠, 陈发虎, 肖舜, 等. 新疆博斯腾湖沉积物粒度的古环境意义初探 [J]. *湖泊科学*, 2008, 20 (3): 291 ~ 297.
- HUANG Xiao-zhong, CHEN Fa-hu, XIAO shun, et al. Primary study on the environmental significances of grain-size changes of the Lake Bosten sediments [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20 (3): 291 ~ 297.
- [39] 王心源, 吴立, 张广胜, 等. 安徽巢湖全新世湖泊沉积物磁化率与粒度组合的变化特征及其环境意义 [J]. *地理科学*, 2008, 28 (4): 548 ~ 553.
- WANG Xin-yuan, WU Li, ZHANG Guang-sheng, et al. Characteristics and environmental significance of magnetic susceptibility and grain size of lake sediments since Holocene in Chaohu Lake, Anhui Province [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28 (4): 548 ~ 553.
- [40] 张振克, 吴瑞金, 王苏民. 岱海湖泊沉积物频率磁化率对历史时期环境变化的反映 [J]. *地理研究*, 1998, 17 (3): 297 ~ 302.
- ZHANG Zhen-ke, WU Rui-jin, WANG Su-min. Implication of magnetic frequency dependent susceptibility on

- environmental variation from lacustrine sediment in Daihai Lake [J]. *Geographical Research*, 1998, 17 (3): 297 ~ 302.
- [41] 舒强, 李才林, 赵志军, 等. 苏北盆地浅钻沉积物磁化率与粒度记录的末次冰消期以来的环境变化 [J]. *沉积学报*, 2009, 27 (1): 111 ~ 117.
- SHU Qiang, LICai-lin, ZHAO Zhi-jun, et al. The records of mass susceptibility and grain size for climate changes in Subei Basin during the Last Deglaciation [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27 (1): 111 ~ 117.
- [42] 殷勇, 方念乔, 王倩, 等. 云南中甸纳帕海湖泊沉积物的磁化率及环境意义 [J]. *地理科学*, 2002, 22 (4): 413 ~ 419.
- YIN Yong, FANGNian-qiao, WANG Qian, et al. Magnetic susceptibility of lacustrine sediments and its environmental significance: Evidence from Napahai Lake, northwestern Yunnan, China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22 (4): 413 ~ 419.
- [43] Xiao Xiayun, Shen Ji, Wang Sumin. Spatial variation of modern pollen from surface lake sediments in Yunnan and southwestern Sichuan Province, China [J]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2011, 165 (3-4): 224 ~ 234.
- [44] Kataoka H, Miyoshi N, Hase Y, et al. Pollen analysis of a sediment core (BDP96-1) from Lake Baikal [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 41 (4): 534 ~ 538.
- [45] Norio FUJI. Palaeovegetation and palaeoclimate during the Quaternary period based on the long cores from lake Biwa, central Japan, and global correlation of the palaeoclimate records [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 42 (1): 138 ~ 147.
- [46] 于革. 高分辨湖泊沉积和孢粉记录对气候、水文变化的响应 [J]. *沉积学报*, 2011, 29 (1): 118 ~ 124.
- YU Ge. High-resolution records of lacustrine sedimentology and palynology responding to changes in climate and hydrology [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29 (1): 118 ~ 124.
- [47] 吕厚远, 刘嘉麒, 储国强, 等. 末次冰期以来湛江湖光岩玛珥湖孢粉记录及古环境变化 [J]. *古生物学报*, 2003, 42 (2): 284 ~ 291.
- LÜHou-yuan, LIU Jia-qi, CHU Guo-qiang, et al. A study of pollen and environment in the Huguangyan Maar Lake since the Last Glaciation [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2003, 42 (2): 284 ~ 291.
- [48] 羊向东, 王苏民, 童国榜, 等. 云南鹤庆古湖晚更新世的孢粉记录及其古气候学意义 [J]. *第四纪研究*, 1998, (4): 335 ~ 343.
- YANG Xiang-dong, WANG Su-min, TONG Guo-bang, et al. The late pleistocene pollen record in the lake sediments from ancient Heqing lake and its significance for palaeoclimate [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, (4): 335 ~ 343.
- [49] 肖霞云, 沈吉, 肖海丰, 等. 云南鹤庆盆地中更新世以来的孢粉记录及其植被与气候变化 [J]. *湖泊科学*, 2006, 18 (4): 369 ~ 376.
- XIAO Xia-yun, SHEN Ji, XIAO Hai-feng, et al. Pollen records and vegetation and climate changes in Heqing Basin, Yunnan Province since middle Pleistocene [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18 (4): 369 ~ 376.
- [50] 许哲平, 陈建强, 肖景义. 云南昆明盆地中更新世晚期以来的孢粉记录及古气候演化 [J]. *地质学报*, 2009, 83 (1): 65 ~ 77.
- XU Zhe-ping, CHEN Jian-qiang, XIAO Jing-yi. Pollen records since late Middle Pleistocene in the Kunming Basin, Yunnan Province and paleoclimate evolution [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83 (1): 65 ~ 77.

DRY-HOT CLIMATE CHANGES FROM 210 TO 120 kaBP BY LACUSTRINE SEDIMENTS IN YUANMOU BASIN, YUNNAN

LI Hua-yong^{1,2}, MING Qing-zhong^{1,2}, ZHANG Hu-cai^{1,2}, SU Huai^{1,2},
ZHANG Zi-qiang^{1,2}, DUAN Li-zeng^{1,2}

(1. *Laboratory of Plateau Lake Ecology and Global Change, Key Laboratory of Plateau Geographic
Process and Environment Changes, Kunming 650500, China;*

2. *College of Tourism & Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China*)

Abstract: Langbapu Palaeolake is located in the west of Yuanmou Basin. A complete lacustrine sediments stratum (27m-thick) was preserved and the ESR dating was accomplished in this paper. The research results showed that Langbapu Lake existed from 216 ± 20 to 121 ± 10 kaBP, which covered the end of the penultimate interglacial, the penultimate glaciation as well as the beginning of the last interglacial. Based on the analysis of grain size, magnetic susceptibility and pollen, the palaeoclimatic changes during 216 ± 20 and 121 ± 10 kaBP of Yuanmou Basin has been reconstructed. During $216 \sim 185$ kaBP, the mean pollen concentration was the highest and Cycadaceae and Cyperaceae, as well as Sedge vegetation appeared, which indicated that the climate was relatively hygothermal. During $185 \sim 150$ kaBP, the pollen concentration decreased rapidly. In the 160 kaBP, the pollen concentration was only 8.67 grain/100 g, which was corresponding to the glacial maximum of penultimate glaciation. During $150 \sim 122$ kaBP, several sandy gravel layers appeared. The proportion of herb increased. The palaeoclimate became warmer but drier, which was very similar to today's climate. The Langbapu Lake shrank and disappeared at last. The mean pollen concentration of lake sediments was only 34.35 grain/100 g, so we thought that dry-hot climate was already significantly before the penultimate interglacial. The characteristics of dry-hot climate were very similar to modern status after the last interglacial.

Key words: Yuanmou Basin; penultimate glaciations; pollen; grain size; climate change; dry-hot valley