

西藏羊湖地区近 1.4 万年以来孢粉植物群 及古气候研究^①

¹ 喻建新 ² 刘爱民 ² 黄永忠 ² 卢定彪 ² 牟世勇 ² 岳 龙 ¹ 杨家禄

¹ (中国地质大学地球科学学院 武汉 430074)

² (贵州省地质调查院 贵阳 550005)

摘要 通过对西藏羊湖地区ZK₁和卡拉苏代牙剖面(IP₁₆)的孢粉分析和总有机碳(TOC)、元素含量分析等,建立了羊湖地区近1.4万年以来的孢粉组合带、重建当时的植被类型及古气候演变序列。结果显示:该时期经历了5次植被类型的更替,即草原型→疏林草原型→草原型→疏林草原型→草原型,与之相对应的气候经历了5次波动(2个半旋回),即11 220 a.B.P.左右的第一气候旋回:由干旱→半干旱半湿润转化;8 970a.B.P.左右的第二气候旋回,同样由干旱→半干旱半湿润转化,然后进入半个气候旋回,即干旱气候期,推测今后有可能进入半干旱半湿润气候期。

关键词 羊湖地区,晚更新世至全新世,孢粉植物群,古气候

Pollen-based Reconstructions of Late Pleistocene and Holocene Vegetation and Climatic Changes of Yang Lake Area, Tibet

¹ YU Jian-Xin ² LIU Ai-Min ² HUANG Yong-Zhong ² LU Ding-Biao ² MOU Shi-Yong
² YUE Long ¹ YANG Jia-Lu

(¹ Faculty of Earth Science, China University of Geoscience, Wuhan 430074)

(² Faculty of Regional Geological Survey, Guiyang 550005)

Abstract In order to research the late Quaternary palaeoclimate evolution in the Yang Lake area, northern Tibet, we drilled the shallow well and surveyed the profile sections (ZK₁ and IP₁₆) in the periphery of the lake and exposed its river facies sedimentary strata. Abundant sporopollen fossils were discovered in the 48 samples. According to sporopollen types and contents, from bottom to top, they were divided into five assemblages: (1) Chenopodiaceae high content assemblage. (2) *Ephedra-Quercus*—Chenopodiaceae-*Artemisia* assemblage. (3) *Ephedra*-Chenopodiaceae-*Artemisia* assemblage. (4) *Betulaceae-Quercus*-Chenopodiaceae assemblage. (5) *Ephedra*—Chenopodiaceae-*Artemisia* assemblage. The palaeovegetation reconstructed by a great amount of pollen records displays five changes: steppe → poor-forest grassland → steppe → poor-forest

①国家自然科学基金重点项目(40232025)和贵州省地质调查院“1:25 万羊湖幅(I45C001001)区域地质调查”项目资助。

作者简介:喻建新,女,讲师,1966年生,在职博士,现在中国地质大学(武汉)地史古生物教研室工作,主要从事中、新生代以来孢粉学、古气候学、古环境学教学和科学研究。先后完成或正在进行多项国家自然科学基金项目。¹⁴C和年代数据由中国地震局地质研究所测定;TOC和元素含量数据由中国地质局宜昌地质矿产研究所测定;孢粉鉴定及数据由湖北省地球表层系统开放实验室喻建新提供。

收稿日期:2002-11-07 接受日期:2003-07-04 责任编辑:白羽红

grassland → steppe. A synthesis of pollen records, total organic carbon and element content from ZK₁ and IP₁₆ showed the history of climate cycle changes during late Pleistocene and Holocene. During 11 220 a.B.P or so, the first climate cycle was characterized by warm and dry climate to semi-dry and semi-humid climate. During 8 970 a.B.P or so, the second climate cycle was characterized by warm and dry climate to semi-dry and semi-humid climate. The last climate cycle is symmetry to the fifth pollen assemblage, was characterized by warm and dry climate. By the climate cycle periodicity, we presume that the area climate would be semi-dry and semi-humid in the future.

Key words: Yang lake area, Late Pleistocene and Holocene, Sporopollen flora, Paleo climate

更新世-全新世气候特征的研究对人们普遍关心的未来气候变化预测具有重要意义(吴敬禄等, 1996)。因此更新世至全新世气候研究近年来受到地学界的极大关注。羊湖为西藏干旱区高原封闭湖泊, 这里极端的自然条件、沉积连续的剖面敏感地记录着环境的变化历史, 为开展古气候重建工作提供了良好的条件。刘爱民等(2001)曾经对羊湖周缘进行了野外工作研究。在此基础上, 本文选择代表性的钻孔和剖面进行了全方位分析, 包括年代测定、总有机碳(TOC)、元素含量分析及孢粉分析。综合上述诸方面信息, 尤其是孢粉资料重建该地区1.4万年以来的古气候演化序列, 以期预测该区未来环境气候变迁提供一定的科学依据。

1 研究区概况

羊湖位于西藏北部那曲地区申扎县境内, 地理坐标84°30'~84°45'E, 35°20'~35°30'N, 湖水面积约35 km², 海拔高度4 785 m, 降水量60~100 mm/a, 湖区正处在由咸化湖向盐湖转变时期。湖水主要靠卡拉苏代牙河补给, 属温带高寒大陆性干旱气候区。现生植物稀少, 多以垫状矮半灌木为主, 主要的种类有藜科、菊科、十字花科和豆科等植物。这种生态环境其体系脆弱, 对气候变化反应敏感, 是进行环境古气候研究的理想部位。本文选取的钻孔1(ZK₁)和卡拉苏代牙剖面(IP₁₆)即位于此地区(图1)。

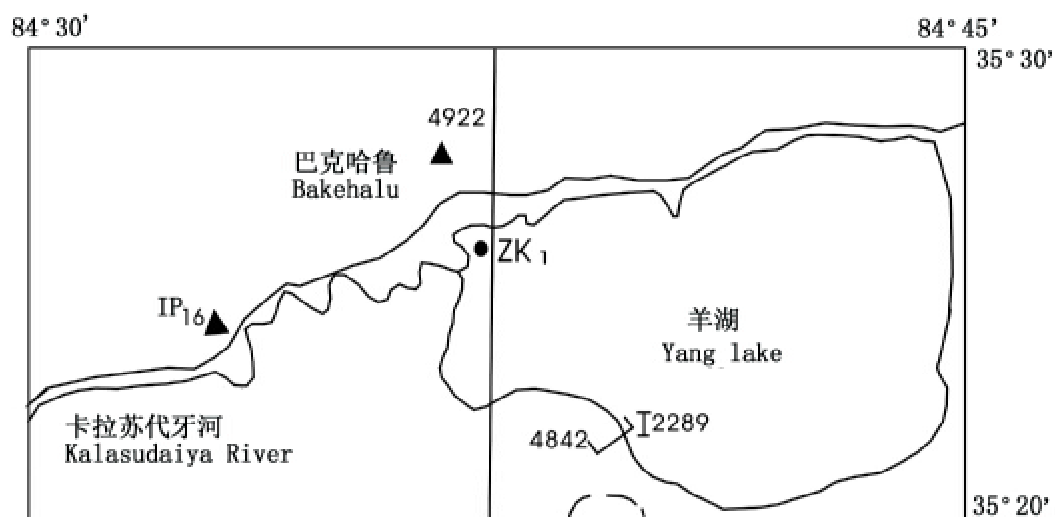


图1 羊湖地区孢粉样品采集点位置图

Fig.1 Index map of Yang lake area showing the pollen sampling localities, Tibet

2 样品采集与测定

2.1 样品采集

ZK₁ 地层厚度 4.84 m, 野外根据岩性特征共分 19 层 (图 2), 按照每层必采, 层厚大于 15 cm 加密采样的原则, 共采孢粉、TOC、元素含量样品各 26 块, ¹⁴C 测年样品 4 块。卡拉苏代牙剖面 (IP₁₆) 剖面地层厚度 9.54 m, 共分 22 层 (图 3), 按每层采集一块样品的原则, 共采孢粉、TOC、元素含量分析各 22 块, ¹⁴C 测年样品 2 块和热释光测年样品 1 块。室内对所采集样品进行系统的孢粉组合、TOC、元素含量等项目分析。ZK₁ 和 IP₁₆ 剖面的 ¹⁴C 和热释光测年结果见图 2 和图 3; TOC、元素含量分析结果见图 4。

2.2 分析方法

孢粉分析采用化学处理法, 即氢氟酸、碱处理法。每块样品取样 50 g, 放入 1 000 mL 塑料烧杯中, 加入盐酸 (除去围岩中钙质成分) 和氢氟酸 (除去围岩中泥质成分) 使其充分反应, 待反应停止后, 水洗至中性, 加入 10% 的 KOH, 使腐植质转化为水溶性物质。然后水洗至中性。分别用 2.1 和 1.95 的重液浮选两次; 将浮选上来的孢粉吸入盛有 5% 的冰乙酸溶液的玻璃烧杯中, 使重液溶解, 水洗至中性, 离心后即可进行鉴定。每块样品统计的孢粉数不等, 一般控制在 200 粒左右, ZK₁ 和卡拉苏代牙剖面各统计孢粉粒数 5 215 粒和 4 460 粒。

¹⁴C 年龄的测试是在孢粉鉴定的基础上选取有代表性样品即在孢粉组合面貌发生转型和岩性变化较大岩层样品进行测试工作。依据此原则, 我们对 ZK₁ 岩性柱取 3 块样品 (第 19 层底部、第 17 层顶部和第 14 层底部) 和卡拉苏代牙剖面 (IP₁₆) 选取 3 块样品 (第 1 层底部、第 8 层底部和第 21 层顶部) 进行 ¹⁴C 和热释光测年, 其测年结果依次如下: ZK₁ 为 12 230 ± 220 a.B.P.、11 220 ± 230 a.B.P.、8 970 ± 170 a.B.P.; 卡拉苏代牙剖面为 13 890 ± 210 a.B.P.、12 800 ± 220 a.B.P. 和 8 510 ± 660 a.B.P.。

3 孢粉分析结果

3.1 ZK₁ 孢粉组合

根据钻孔孢粉种类成分及其含量变化, 自下而上可分为 4 个孢粉组合带。

带 I (第 15~19 层) *Ephedra-Quercus-Chenopodiaceae-Artemisia* 孢粉组合带

本带草本植物花粉占优势, 含量为 42.9%~75.0%, 尤以陆生草本植物为主, 主要是藜科 (*Chenopodiaceae*) 花粉含量很高, 占组合的 30.8%~60.7%, 并有少量蒿属 (*Artemisia*), 含量为 3.4%~16.7%; 禾本科 (*Gramineae*) 花粉常见; 水生草本植物中香蒲属 (*Typha*)、浮萍属 (*Lemna*) 和狐尾藻属 (*Myriophyllum*) 等常见。木本植物花粉含量次之, 占组合的 23.2%~49.7%, 个别样品 (第 15 层, 8 970 ± 170 a.B.P.) 木本植物花粉含量超过草本植物花粉含量, 在整个钻孔中其含量最高、种类最多, 乔木中针叶树种花粉含量较少, 仅见有松属 (*Pinus*)、云杉属 (*Picea*)、冷杉属 (*Abies*) 和罗汉松属 (*Podocarpus*); 落叶阔叶、常绿阔叶树种花粉 (如 *Lithocarpus*) 含量较高, 主要是桦木科 (*Betulaceae*)、山毛榉科 (*Fagaceae*) 的栎属 (*Quercus*)、榆科 (*Ulmaceae*) 花粉, 其他还见有楝属 (*Melia*)、冬青属 (*Ilex*)、槭属 (*Acer*)、悬铃木属 (*Platanus*) 等; 灌木树种中以麻黄 (*Ephedra*) 为主, 含量为 5.9%~11.3%, 其他见有大戟属 (*Euphorbia*)、芸香属 (*Ruta*) 和白刺属 (*Nitraria*) 等。蕨类孢子含量极少, 仅占组合的 1.2%~7.4%, 以卷柏

(*Selaginella*)常见。

带 II（第 14 层）*Ephedra*-*Chenopodiaceae*-*Artemisia* 孢粉组合带

本带出现的种类较少，但优势属种明显。草本植物花粉占绝对优势，为 81.4%，主要是藜科花粉，占组合的 68.1%；其次是蒿属，含量为 9.5%。木本植物花粉次之，占组合的 14.3%，较上一组合含量明显下降，主要是乔木植物的栎属和灌木植物的麻黄属，含量分别为 7.7% 和 5.7%。水生草本植物极少。蕨类孢子仅见有卷柏 1 属，占组合的 4.3%。

带 III（第 12~13 层）*Betulaceae*-*Quercus*-*Chenopodiaceae* 孢粉组合带

本带与上一组合相比，木本植物花粉含量明显上升，但仍低于草本植物花粉，尤以喜温的针叶树种和桦木科花粉增加显著。草本植物花粉中仍以藜科花粉含量最高，为 42.9%，其次是蒿属，含量为 8.9%，鸡爪勒属(*Calathodes*)、禾本科和十字花科(*Cruciferae*)花粉常见；水生草本植物花粉中以香蒲属、浮萍属常见。木本植物花粉中乔木植物出现有松属(4.0%)、云杉属、雪松属(*Cedrus*)、冷杉属、胡桃科(*Juglandaceae*)、桦科(7.1%)、栎属(10.7%)和榆属

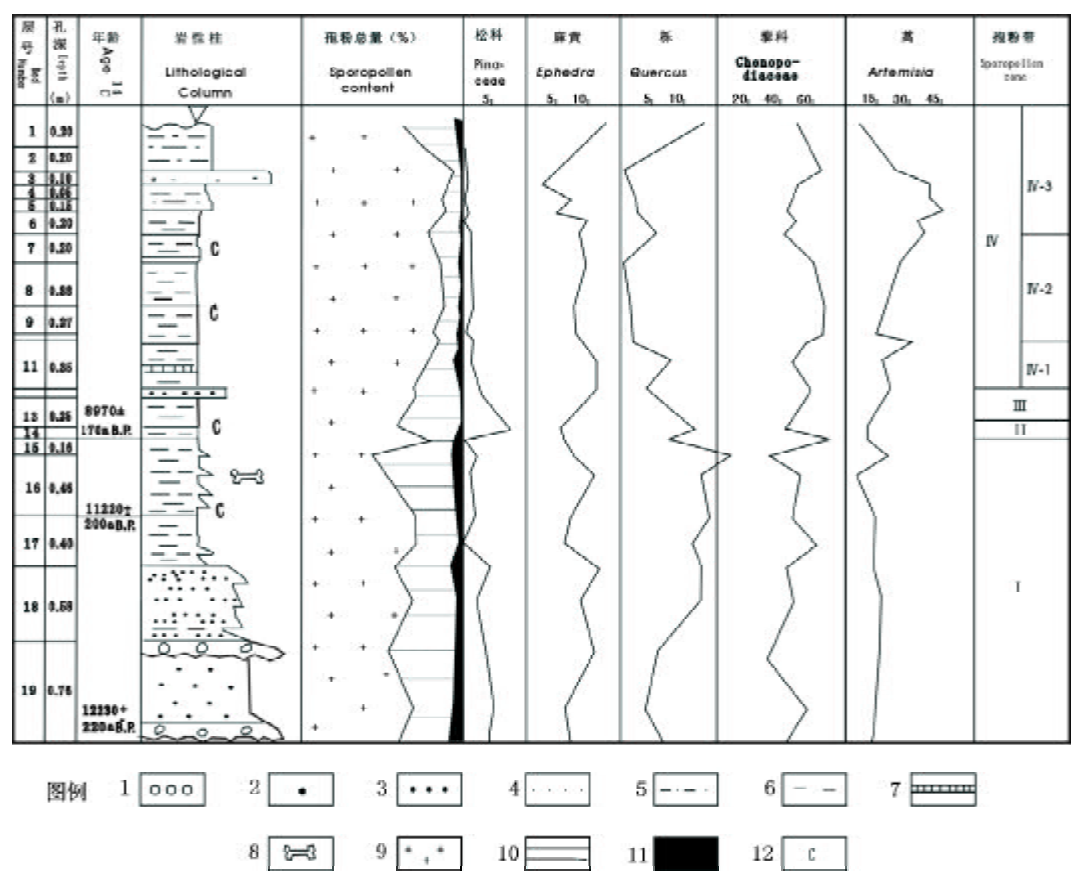


图 2 ZK₁ 孢粉含量图示

1 砾石层; 2 粗砂层; 3 细砂层; 4 粉砂层; 5 砂质粘土层; 6 粘土层; 7 石膏层; 8 脊椎动物肋骨;
9 草本植物; 10 木本植物; 11 蕨类植物; 12 含碳质有机质.

Fig.2 Sporo-pollen percentage diagram of ZK₁ in Yang lake area, Tibet

1 Gravel layer; 2 Crude-sand layer; 3 Fine-sand layer; 4 Silt layer; 5 Sand clay layer; 6 Clay layer;
7 Gypsum layer; 8 Vertebrate; 9 Herb; 10 Tree and shrub; 11 Pteridophyte; 12 Carbonic organ.

(*Ulmus*)等分子；灌木植物花粉以麻黄属为主，占组合的 5.4%，白刺属、芸香属可见。蕨类孢子含量较少。

带 IV (第 1~11 层) *Ephedra*-*Chenopodiaceae*-*Artemisia* 孢粉组合带

该带的显著特点是以灌木和陆生草本植物花粉为主，较前一组合乔木植物含量减少。可进一步细分为 3 个亚组合带。

第 1 亚组合带 (第 11 层)

该亚组合带特征是草本植物花粉占优势，含量为 68.6%~79.4%，以藜科花粉含量最高，为 45.7%~56.4%；其次是蒿属，含量为 17.6%~20.2%；禾本科、十字花科花粉常见。木本植物花粉含量为 18.3%~26.2%，有松属、云杉属、落叶松属(*Larix*)、栎属、榆属、槭属和桦木科。蕨类孢子含量最少，为 2.3%~5.2%，有卷柏、木贼(*Equisetum*)、凤尾蕨(*Pteris*)和水龙骨科(*Polypodiaceae*)的孢子。

第 2 亚组合带 (第 7~10 层)

该亚带与前一亚组合带比较，不同之处是乔木植物花粉进一步减少，达到整个钻孔的最低值。草本植物花粉含量明显增加，为 82.6%~89.0%，以蒿属、藜科花粉为主，分别为 14.2%~31.1%、54.4%~66.5%；禾本科、十字花科花粉常见。木本植物花粉含量为 11.0%~14.2%，其中灌木的麻黄属为 7.3%~9.2%；针叶树种仅见有松、云杉、雪松 3 属；乔木的阔叶树种仅见有栎、槭、紫树(*Nyssa*)和冬青 4 属。蕨类孢子含量极少，为 0~3.2%。

第 3 亚组合带 (第 1~6 层)

本亚带以草本植物花粉占优势，含量为 75.0%~93.1%，主要成分为藜科花粉 (41.2%~64.4%) 和蒿属 (12.5%~45.5%)；其他如禾本科、菊科(*Compositae*)等花粉零星见及。木本植物花粉除麻黄属 (2.4%~9.4%) 外，其他成分很少。蕨类孢子含量极少，为 0.4%~2.7%。它的显著特点是蒿属花粉含量明显增加，个别样品超过了藜科花粉。

3.2 卡拉苏代牙剖面 (IP₁₆) 孢粉组合

根据剖面孢粉种类及其含量变化，自下而上可分为 3 个孢粉组合带，4 个亚带，下面就各孢粉组合带特征进行叙述。

带 I (第 1~3 层)：Chenopodiaceae 高含量组合带

本带属种单调，以陆生草本植物花粉中藜科花粉占绝对优势，含量达 95.1%，蒿属含量为 3.1%，其他的木本植物花粉如麻黄、松属、桦木属、栎属、榆属等极少。

带 II (第 4~16 层)：Betulaceae-*Quercus*-Chenopodiaceae 孢粉组合带

本带可进一步细分为 4 个亚组合带。

第 1 亚组合带 (第 4~8 层)

本亚带木本植物花粉略超过草本植物花粉含量，木本植物花粉为 42.1%~58.8%、草本植物花粉为 35.6%~55.4%。木本植物中针叶树种有松属、罗汉松、云杉、雪松、冷杉属等，落叶阔叶、常绿阔叶树种中以胡桃科、桦木科、山毛榉科的栎属(*Quercus*)、榆属含量较高，其他还见有楝属、冬青属、槭属、悬铃木属等；灌木树种中以麻黄为主，含量为 3.5%~6.9%，还见有白刺属等。草本植物中藜科花粉含量较高，为 21.8%~39.6%，其次是蒿属，占组合的 10.9%~13.9%，禾本科、十字花科、菊科和伞形科(*Umbelliferae*)等花粉也有见及。蕨类孢子含量极少，仅占组合的 2.5%~5.0%，以卷柏属常见。

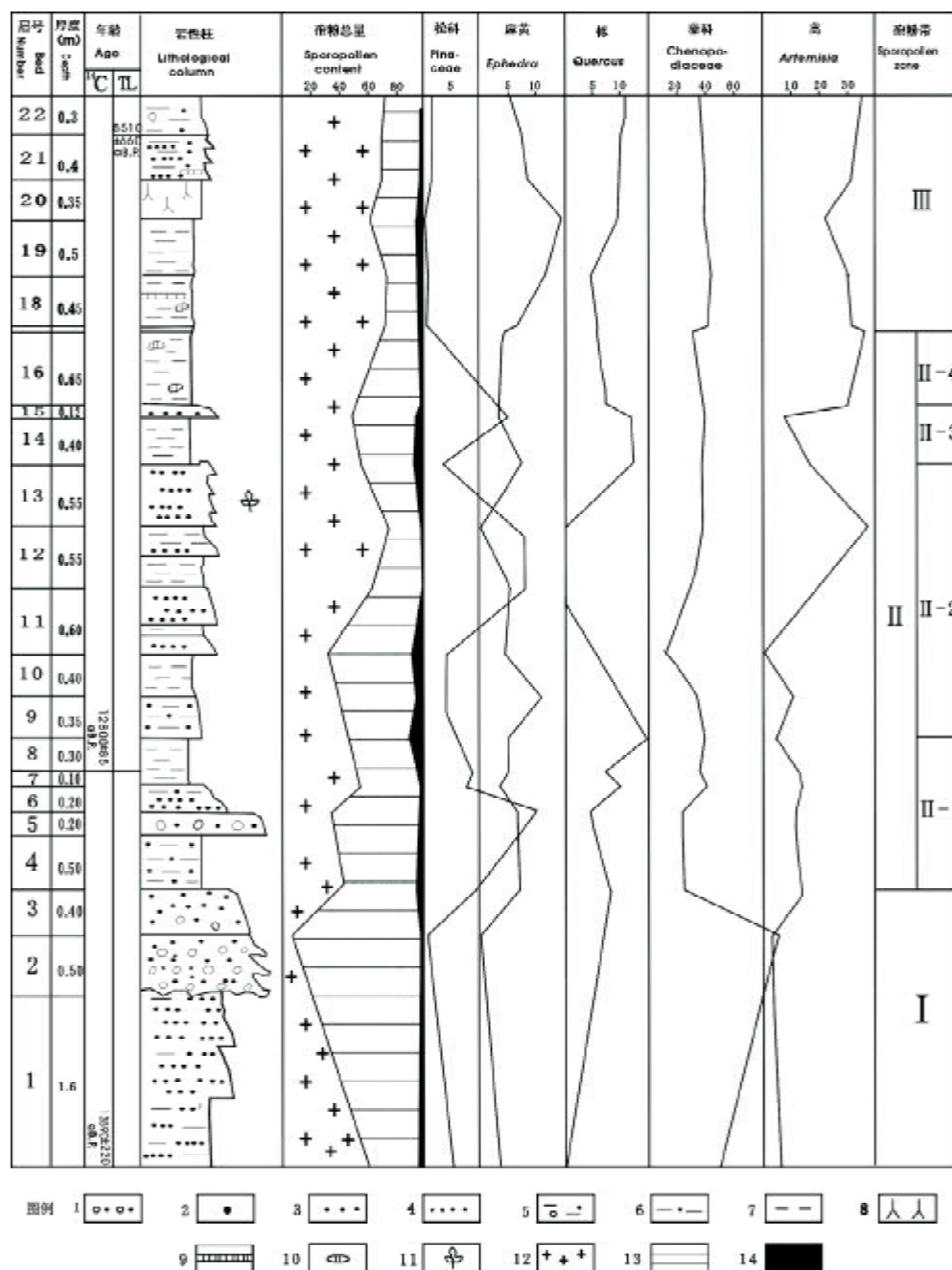


图3 卡拉苏代牙剖面 (IP₁₆) 孢粉含量图示

1 含砾砂层; 2 粗砂层; 3 细砂层; 4 粉砂层; 5 含砾砂质粘土层; 6 砂质粘土层; 7 粘土层; 8 古土壤;
9 石膏层; 10 石膏包体; 11 植物碎片; 12 草本植物; 13 木本植物; 14 蕨类植物。

Fig.3 Sporo-pollen percentage diagram of IP₁₆ profile in Yang lake area, Tibet

1 Gravel sand layer; 2 Crude-sand layer; 3 Fine-sand layer; 4 Silt layer; 5 Gravel and sand clay layer;
6 Sand clay layer; 7 Clay layer; 8 Palaeosol; 9 Gypsum layer; 10 Gypsum inclusion; 11 Plant fragment;
12 Herb; 13 Tree and shrub; 14 Pteridophyte.

第 2 亚组合带 (第 9~13 层)：化石贫乏带

这段地层化石较少，仅见有一些代表干燥气候条件下的花粉，如藜科、蒿属和白刺属等。

第 3 亚组合带 (第 14~15 层) *Pinus-Quercus-Chenopodiaceae-Artemisia* 孢粉亚组合带

本亚带草本植物花粉略超过木本植物花粉含量，草本植物花粉为 48.9%~56.5%，木本植物花粉 36.9%~46.6%。木本植物中针叶树种有松属 (1.2%~9.1%)、罗汉松属、云杉属 (0.6%~3.6%)、雪松属和冷杉属 (1.2%~1.4%) 等，落叶阔叶、常绿阔叶树种中有胡桃科、桦木科、山毛榉属 (*Fagus*)、榆科、楝属、冬青属、槭属、悬铃木属等；还见有第三纪子遗分子，如罗汉松、铁杉 (*Tsuga*) 和银杏属 (*Ginkgo*)；灌木树种中以麻黄为主，含量为 3.2%~7.1%，还见有白刺属等。草本植物中以藜科花粉为主，占组合的 36.9%~38.0%，其次是蒿属，含量为 7.7%~16.1%，其他还见有禾本科、菊科和香蒲等。蕨类孢子含量较少，占组合的 4.5%~6.5%，以卷柏、水龙骨科较常见。

第 4 亚组合带 (第 16 层)：化石贫乏带

这段地层含化石较少，仅见有一些代表干燥气候条件下的花粉，如藜科、菊科、蒿属和白刺属等。

带 III (第 17~22 层)：*Ephedra-Chenopodiaceae-Artemisia* 孢粉组合带

本带以草本植物花粉占优势，含量为 62.5%~73.7%，木本植物花粉次之，占组合的 23.4%~32.8%，蕨类植物孢子极少，仅占 1.8%~4.7%。草本植物中仍以藜科花粉为主，占组合的 29.2%~43.1%，蒿属含量较前一组明显增加，个别样品还超过藜科花粉，含量为 21.9%~35.7%，禾本科、菊科、十字花科的花粉均有见及。木本植物中针叶树种较前一组明显减少，仅见有松属、云杉属、罗汉松属。落叶阔叶、常绿阔叶树种含量有所下降，以桦木科、栎属、榆属常见。灌木中麻黄属较前一组含量增加，为 4.2%~14.1%。该组合带总体上是向干热的气候条件下植被面貌发展。

3.3 羊湖地区 1.4 万年以来综合孢粉组合带

根据 ZK₁ 和 IP₁₆ 的孢粉组合特征及 ¹⁴C 和热释光测年，不难看出该地区晚更新世至全新世的不同时间段对应着不同的孢粉组合。综合分析，选取有代表性的层段孢粉组合作为该时期该时期的综合孢粉组合，据此该时期大致可划分 5 个孢粉组合带 (图 4)，其各带孢粉组合特征参见上述 3.1、3.2 节。

带 1：以 IP₁₆ 剖面第 1 层至第 3 层为代表，总厚度 2.45 m。

Chenopodiaceae 高含量组合带。

带 2：以 ZK₁ 的第 15~19 层为代表，总厚度 2.4 m。

Ephedra-Quercus-Chenopodiaceae-Artemisia 孢粉组合带

带 3：以 IP₁₆ 剖面第 17~22 层为代表，总厚度 2.05 m。

Ephedra-Chenopodiaceae-Artemisia 孢粉组合带

带 4：以 ZK₁ 第 12~13 层为代表，总厚度 0.3 m。

Betulaceae-Quercus-Chenopodiaceae 孢粉组合带

带 5：以 ZK₁ 第 1~11 层为代表，总厚度 2.05 m。

Ephedra-Chenopodiaceae-Artemisia 孢粉组合带

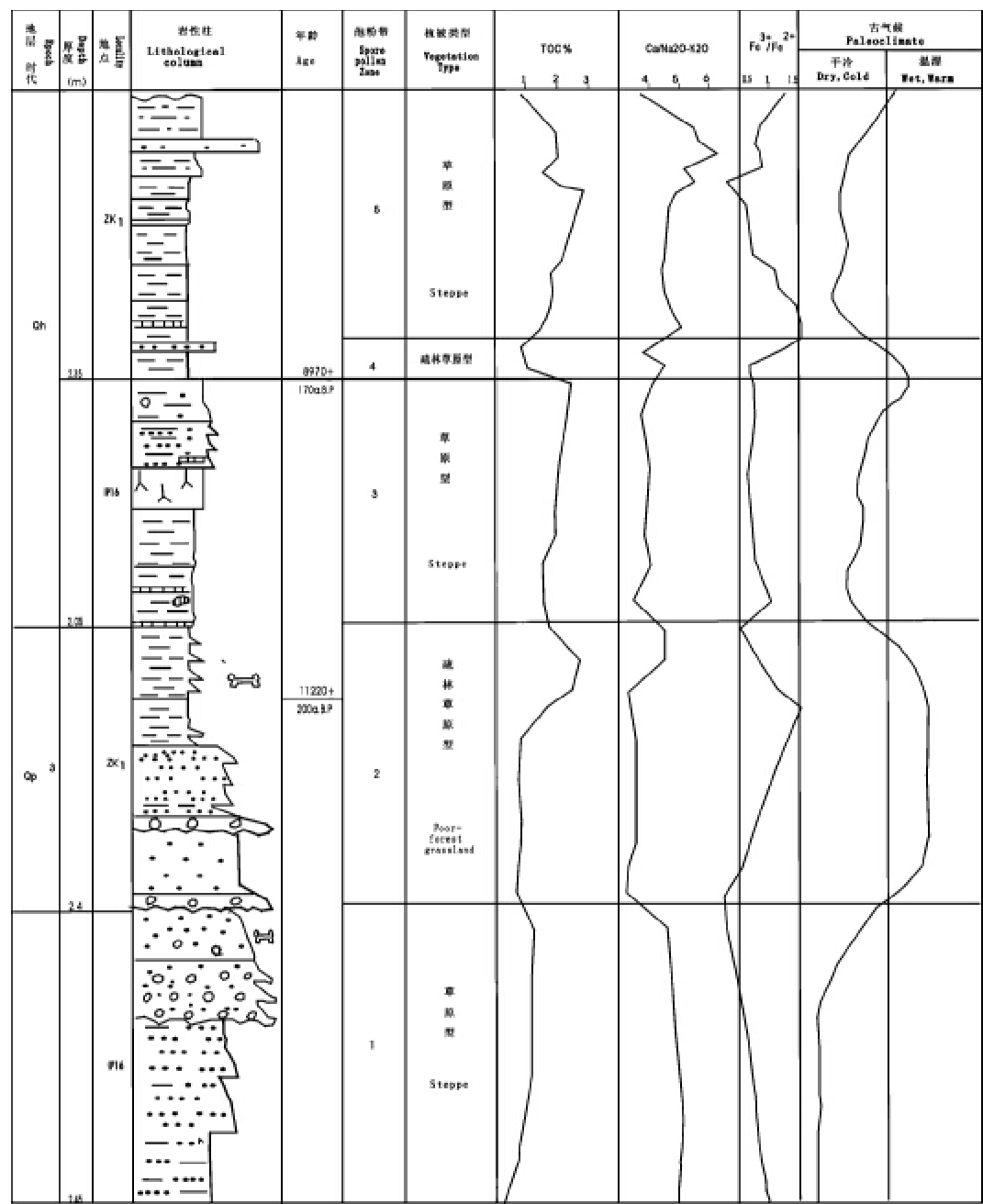


图 4 羊湖地区 1.4 万年以来古植被、古气候综合分析图
Fig.4 Analysis of paleovegetation and paleoclimate in Yang lake area, Tibet

4 羊湖地区1.4万年以来古植被及古气候重建

4.1 古植被的恢复

从上节孢粉组合特征的分析,可以看出,1.4 万年以来羊湖地区其植物群大体属两种植被类型,即疏林草原型和草原型;共有 5 次植被的更替(图 4),其间也不乏存在小的植被面貌的变化,现分述如下。

4.1.1 草原型 (以孢粉组合带 1、3 和 5 为代表) 草原型植被主要成分是藜科、蒿属和禾本科,还参与一定量的灌木麻黄属成分。木本植物很少,它们主要生长在周围山地,而盆地中均为耐干旱的草本植物。另外,从孢粉组合中出现的几个主要成分来说:藜科在孢粉组合中含量较高,此科是以地中海为起源中心(唐领余和汪世兰,1988),在荒漠区有很大的建群作用;禾本科主要在山地草原中建群作用显著;蒿属是荒漠的建群属。孢粉组合中还出现一些灌木或半灌木成分,如麻黄属、白刺属,有时麻黄属数量还较多,这在一定程度上反映了干旱、荒漠或盐湖沉积环境。由此可见,该植物群反映当时的气候干旱。

4.1.2 疏林草原型 (以孢粉组合带 2 和 4 为代表) 由于气候的转暖,针叶林、阔叶林成分增加,代表干旱气候条件下的藜科、蒿属含量相对减少,但仍为主要成分,耐干旱的麻黄有一定含量。总体来说,该植被面貌表现为林地稀疏,较高山地可能发育有小片的森林,草原广布,以藜科和蒿属为建群种,气候温和偏干。

4.2 古气候的重建

通过对羊湖地区 ZK₁ 和 IP₁₆ 的地层分析,年代序列建立、元素含量分析、TOC 及孢粉分析,重建羊湖地区气候变化过程(图 4)如下。

1.4 万年以来,大致经历了 5 次气候波动(2 个半气候旋回)。

第 1 气候旋回 (13 890~8 970 a.B.P.): 对应于孢粉组合带 1 和 2,与孙湘君报道的新疆玛纳斯湖盆周围 1.05 万年以前的古植被古环境相近(孙湘君等,1994;Sun *et al*, 2000)。

该时期气候由早期的极干冷到早、中期温干,最后演化为半干旱半湿润气候,这一点从孢粉植物群面貌分析可以得出:早期(12 230 a.B.P.前后)孢粉植物极少,种类极单调,说明当时的环境极为恶劣,与欧洲的新仙女期相当;到中期(11 220 a.B.P.前后)孢粉植物群种类增加,但出现的属种多为喜干旱的藜科、蒿属、麻黄属、白刺属等,它们均为干旱荒漠地区的建群属。TOC 平均值小于 0.7%, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 平均比值为 0.5, $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 平均比值为 5.2,反映的是一种大陆性干旱气候。晚期(8970 a.B.P.前后)孢粉植物群更加繁盛,出现较多的乔木植物,如山毛榉科、榆科、桦木科和胡桃科等落叶阔叶、常绿阔叶植物,前期喜干旱植物退居第二。TOC 平均值小于 2.0%, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 平均比值为 1.1, $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 平均比值为 3.8。由此推测当时气候向温湿转化。

第 2 气候旋回(大约在 8970 a.B.P 以后): 对应于孢粉组合带 3 和 4,与孙湘君报道的新疆玛纳斯湖盆周围 0.9 万年左右的古植被古环境相近(孙湘君等,1994;Sun *et al*, 2000)。

该时期气候同样经历了早期的干旱到晚期温和偏干气候,其机制与第 1 气候旋回大致相同,在此不再赘述。孢粉组合带 III 的 TOC 平均值小于 2.0%, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 平均比值为 0.75, $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 平均比值为 4.0。孢粉组合带 IV 的 TOC 平均值小于 1.8%, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 平均比值为 1.0, $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 平均比值为 4.5。

半个气候旋回：对应于孢粉组合带 5，其植被为草原型，TOC 平均值小于 2.0， $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 平均比值为 1.0%， $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 平均比值为 6.0。反映的是一种干旱气候。

5 结 论

羊湖地区 ZK_1 和卡拉苏代牙剖面 (IP_{16})，经 ^{14}C 、热释光测年推测其地质时代属晚更新世至全新世。又通过孢粉分析，建立该地区近 1.4 万年来的孢粉组合带 5 个，利用孢粉组合，恢复了当时的植被面貌，大致经历了由草原型→疏林草原型→草原型→疏林草原型→草原型的转型。同时借助 TOC 及元素含量对气候分析理论（吴敬禄等，1996；张虎才等，1998），进一步推导出该时期气候从干旱→半干旱半湿润→干旱→半干旱半湿润→干旱的变化规律。根据两个半气候旋回规律，可以预测未来羊湖地区将进入一个半干旱半湿润的气候期，并为人类认识自然提供预见性依据，以期探索人与自然的和谐统一的生存方式。

参 考 文 献

- 孙湘君，杜乃秋，翁成郁，林瑞芬，卫克勤，1994. 新疆玛纳斯湖盆周围近 14000 年以来的古植被古环境. 第四纪研究，14：239~247
- 吴敬禄，王苏民，王洪道，1996. 新疆艾比湖全新世以来的环境变迁与古气候. 海洋与湖沼，27：524~529
- 张虎才，马玉贞，李吉均，Wuennemann B，1998. 腾格里沙漠南缘全新世古气候变化初步研究. 科学通报，43：1252~1257
- 唐领余，汪世兰，1988. 青海共和盆地共和组孢粉植物群. 古生物学报，27：583~606
- Sun X J，Chen Y S，2000. Palynological records of the last 11000 years in China. *Quaternary Science Reviews*，20：537~544