

文章编号: 1000-0550(2001)01-0101-06

青海达布逊湖 50 万年以来气候变化的孢粉学证据^①

江德昕 杨惠秋

(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

摘要 基于青海柴达木盆地达布逊湖达 1 井岩芯样品孢粉分析结果,将孢粉谱划分为 Q₂、Q₃ 和 Q₄ 三个孢粉带,并根据孢粉组合特征讨论了过去 50 万年中研究区植被演化和古气候变化问题。达 1 井沉积剖面年龄根据古地磁测定。研究表明,柴达木盆地中更新世中、晚期(500~130 ka BP)气候可能为暖温带半潮湿型,晚更新世(130~10 ka BP)气候为温带半干燥型,全新世(10~0 ka BP)气候为寒温带干燥型。晚更新世气候变化与青藏高原古里雅冰芯所记录的冷暖事件演变基本一致。

关键词 孢粉植物群 古气候 古地磁年龄 第四纪 柴达木盆地

第一作者简介 江德昕 女 1933 年出生 研究员 孢粉学

中图分类号 Q944.571 Q142.2 **文献标识码** A

柴达木盆地察尔汗盐滩南部达布逊湖是青藏高原的一个著名盐湖。由于它具有特殊的地质、地理和气候条件,历来为地质和地理学家所关注。达布逊湖 1 号井厚 528 m 的湖相沉积,经古地磁测定发现与哥德堡事件、莫纳事件、布拉克事件一致以及与琵琶湖事件 I、II、III 相当的布容期已知六个磁性倒转事件,其形成年代约 50 万年^[1]。这样连续的磁性记录,不仅在国内,而且在世界上也是独一无二的^[2,3],对研究高原盐湖形成环境、青藏高原隆升演化乃至全球环境变化无疑都有重要价值。笔者有幸获得达 1 井已知古地磁年龄的岩芯样品,试图通过系统的孢粉分析,追溯 50 万年以来高原盆地植被和气候演变的规律。本文根据达 1 井 56 个岩芯样品孢粉分析结果,探讨了 50 万年中研究区植被演进和气候变化的一般规律。样品经氢氧化钾、盐酸和氢氟酸处理后用碘化镉—碘化钾重液浮选孢粉化石。

1 自然概况

柴达木盆地位于青海省西北部,是青藏高原最大的山间盆地,面积约 12 万 km²。周围山系陡峻,南缘昆仑山和北缘阿尔金山及祁连山海拔均在 4 500~5 000 m 以上;盆地海拔约 2670~3600 m,西北部地势较高,东南部较低。喜马拉雅构造运动使盆地沉积中心向东南转移,位于盆地东南部的达布逊湖正处于第四系沉积中心。达 1 井位于达布逊湖东南岸(图 1),揭示的湖相沉积厚达 528 m,岩性主要为灰黄和灰绿

色粘土、粉砂、粉砂质粘土和粘土质粉砂,下部和中部夹有数层泥炭和淤泥,顶部为石膏、石盐和膏泥层。古地磁测定结果表明,这套厚达 528 m 的第四系沉积层均属于布容期,记录了布容期全部六个反向事件,其形成年代约 50 万年^[1-3]。

现今柴达木盆地的气候以寒冷干燥为特征,属极端大陆性气候。以盆地东南角的都兰为例,年平均温度为 4.7℃,最高月平均温度 18℃,最低月平均温度 -9℃,年降雨量平均 106 mm,相对湿度约 40%。在达布逊湖区年降雨量仅有 24~40 mm,年蒸发量达 3 250 mm,干旱程度是世界上罕见的^[4]。戈壁、沙漠、盐湖、盐滩和风蚀地形构成盆地独特的地貌景观。在戈壁地带干燥土壤上稀疏分布着柴达木桧(*Juniperus zaidamensis*)、普氏麻黄(*Ephedra przewalskii*)、柴达木沙拐枣(*Calligonum zaidamense*)、中亚紫菀木(*Asterothamnus centralasiaticus*)、优若藜(*Eurotia ceratoides*)、琐琐(*Haloxylon ammodendron*)、柽柳(*Tamarix laxa*)等灌木和亚灌木;在干旱山谷漠钙土上散生着黄花匙叶草(*Limonium aureum*)、普氏裸果草(*Gymnocarpos przewalskii*)、盐生草(*Halogeton arachnoides*)等耐盐草本植物。盐湖周边有盐角草(*Salicornia herbacea*)和盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)丛生,在地下水露出地段有沼针蔺(*Eleocharis intersita*)等沼生植物,外围盐地草甸土上有芦苇(*Phragmites communis*)、海乳草(*Glaux maritima*)、盐生凤毛菊(*Saussurea salsa*)混生。在粘土质盐滩上有盐爪爪(*Kalidium gracile*)、红虱(*Hololachne soongarica*)等

① 中国科学院兰州地质研究所所长基金资助项目(编号: E97-07-01)

盐生灌木稀疏分布,在沙质盐滩上则有唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)丛生。在戈壁与沼泽间有荒漠草原分布,植物群落主要由赖草(*Aneurolepidium dasystachys*)等耐干旱和轻度盐碱的禾草组成。柴达木盆地的植被属于蒙新荒漠区与青藏寒漠区之间的过渡类型^[5]。

2 孢粉分析结果

根据达 1 井岩芯剖面系统孢粉分析结果,可将孢粉谱划分为 Q_2 、 Q_3 和 Q_4 三个孢粉带(图 2)现将各带的组成分述如下:

Q_2 带:深 520 ~ 220 m (500 ~ 130 ka BP)

该带由 65 属 72 种孢子花粉所组成,其中乔木花粉约占 20% ~ 60%,灌木和草本花粉占 14% ~ 70%,水生植物花粉含量小于 20%,蕨类孢子含量小于 10%。乔木主要有松(*Pinus*)、云杉(*Picea*)、铁杉(*Tsuga*)、油杉(*Keteleeria*)、雪松(*Cedrus*)、冷杉(*Abies*)、胡桃(*Juglans*)、山核桃(*Carya*)、栎(*Quercus*)、栗(*Castanea*)、桦木(*Betula*)、桤木(*Alnus*)、榛(*Corylus*)、鹅耳枥(*Carpinus*)、槭(*Acer*)、椴(*Tilia*)、榆(*Ulmus*)、漆树(*Rhus*)等属;灌木和草本主要有麻黄(*Ephedra*)、怪柳(*Tamarix*)、白刺(*Nitraria*)、枸杞(*Lycium*)、柳(*Salix*)、蔷薇(*Rosa*)、蓼(*Polygonum*)、藜(*Chenopodium*)、地肤(*Kochia*)、蒿(*Artemisia*)、紫菀(*Aster*)、大丁草(*Gerbera*)、泥胡菜(*Hemistepta*)、苦苣菜(*Ixeris*)、火绒草(*Leontopodium*)、一枝黄花(*Solidago*)、苍耳(*Xanthium*)、庭荠(*Alyssum*)、地笋(*Lycopus*)、石芥宁(*Mosla*)、糙苏(*Phlomis*)、香科科(*Teucrium*)、葱(*Allium*)、百合(*Lili-*

um)唐松草(*Thalictrum*)等属;水生和泽生草本主要有香蒲(*Typha*)、眼子菜(*Potamogeton*)、泽泻(*Alisma*)、苔(*Carex*)、黑三棱(*Sparganium*)、芦苇(*Phragmites*)等属;蕨类有卷柏(*Selaginella*)、紫萁(*Osmunda*)、凤尾蕨(*Pteris*)、铁线蕨(*Adiantum*)、水龙骨(*Polypodium*)、冷蕨(*Cystopteris*)、旱蕨(*Pellaea*)等属(图版 I)。此外,在井深 370 m 处(298 ka BP)有丰富的盘星藻(*Pediastrum*)出现。

Q_3 带:深 220 ~ 25 m (130 ~ 10 ka BP)

该带由 73 属 86 种孢子花粉所组成,其中乔木花粉约占 5% ~ 42%,灌木和草本花粉占 40% ~ 95%,水生植物花粉含量小于 14%,蕨类孢子含量小于 8%。乔木主要有松、云杉、雪松、冷杉、落叶松(*Larix*)、胡桃、山核桃、栎、栗、桦木、桤木、榛、槭、椴、榆、杨(*Populus*)等属;灌木和草本主要有麻黄、怪柳、白刺、枸杞、柳、蔷薇、蓼、藜、地肤、蒿、紫菀、大丁草、泥胡菜、苦苣菜、火绒草、一枝黄花、苍耳、项羽菊(*Acroptilon*)、牛蒡(*Arctium*)、短星菊(*Brachyactis*)、兔儿伞(*Cacalia*)、蓟(*Cirsium*)、蒲公英(*Taraxacum*)、芥(*Capsella*)、诸葛菜(*Orychophragmus*)、地笋、糙苏、香科科、香薷(*Elsholtzia*)、鼬瓣花(*Galeopsis*)、葱、百合、知母(*Anemarrhena*)、驴蹄草(*Caltha*)等属;水生和泽生草本植物有香蒲、眼子菜、泽泻、苔、芦苇等属;蕨类有卷柏、紫萁、水龙骨、冷蕨、旱蕨等属(图版 I)。此外,在井深 160 m 处(105 ka BP)再次出现丰富的盘星藻;在井深 60 m 处(20 ka BP)也见到盘星藻,但数量急剧减少。

Q_4 带:深 25 ~ 0 m (10 ka BP 以来)

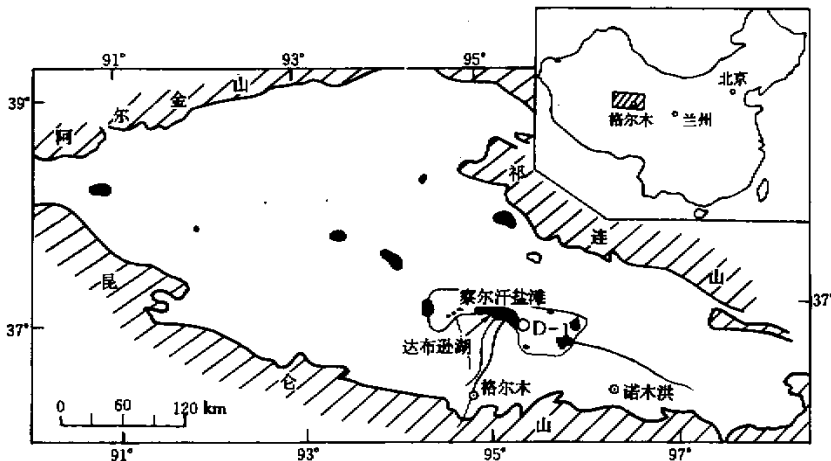


图 1 柴达木盆地达布逊湖达 1 井位置图

Fig. 1 Location of the Corehole D-1 from the Dabuxun Lake in the Qaidam Basin

该带全部由旱生和盐生灌木和草本植物花粉所组成，缺乏乔木花粉和蕨类孢子。主要成分有麻黄、怪柳、白刺、枸杞、蓼、藜、滨藜 (*Atriplex*)、蒿、紫菀、泥胡菜、苦苣菜、一枝黄花、苍耳、项羽菊、菊 (*Chrysanthemum*)、葱、百合、芦苇等 (图版 I)。未见盘星藻。

达 1 井剖面古地磁测定发现的反向事件中，哥德堡和莫纳两个事件得到 C^{14} 年龄数据的验证；布拉克、琵琶湖 I、琵琶湖 II 等事件得到铀系年龄数据的验证^[1]。根据古地磁测年，上述 Q_2 带年龄为距今 50 万年至 13 万年，相当于中更新世中、晚期； Q_3 带年龄为距今 13 万年至 1 万年，相当于晚更新世； Q_4 带年龄为距今 1 万年至现今，相当于全新世^[1-3]。

3 植被更替与气候演变

根据孢粉分析结果，达布逊湖区 50 万年以来植被发展和气候演变可分为以下三个阶段：

第一阶段：中更新世中、晚期 (500 ~ 130 ka BP)

以 Q_2 孢粉带所反映的植物群为代表，第一阶段植被以针叶阔叶混交林为主，同时有草原分布。森林主要由松、云杉、雪松等常绿针叶树种和桦木、桤木、胡

桃、山核桃、栎、榆等喜暖阔叶乔木组成；喜热的铁杉、油杉、漆树等也占有一定比例，林下有凤尾蕨、铁线蕨、紫萁等喜湿热蕨类植物生长。草原由耐旱灌木、亚灌木和草本植物组成，以麻黄属、藜科和蒿属为主，其次为菊科、十字花科、唇形科、百合科、毛茛科等。在池沼则有香蒲、眼子菜、泽泻等水生草本植物生长。当时的植被景观反映一种暖温带半潮湿型气候，与现今甘肃东南部气候相近。从达 1 井孢粉谱看来，这一时期存在六次相对冷暖、干湿的气候交替 (图 2)。在距今 36.7 万年时，喜暖喜湿乔木、蕨类和水生植物繁茂，是气候最佳期。在距今 29.8 万年时，淡水生盘星藻繁生，水生植物也茂盛，反映雨量充沛，湖水淡化，气候相当潮湿。

第二阶段：晚更新世 (130 ~ 10 ka BP)

以 Q_3 孢粉带所反映的植物群为代表，第二阶段植被以针叶阔叶混交林渐次退化和草原逐渐发展为特征。森林中除松、云杉外，耐寒针叶树种如冷杉、雪松、落叶松等占有一定比例，喜暖阔叶乔木如胡桃、山核桃、栎、榆等含量较前减少，喜热乔木如铁杉、油杉、漆树等完全消失，林下蕨类主要为卷柏、冷蕨、旱蕨等，未

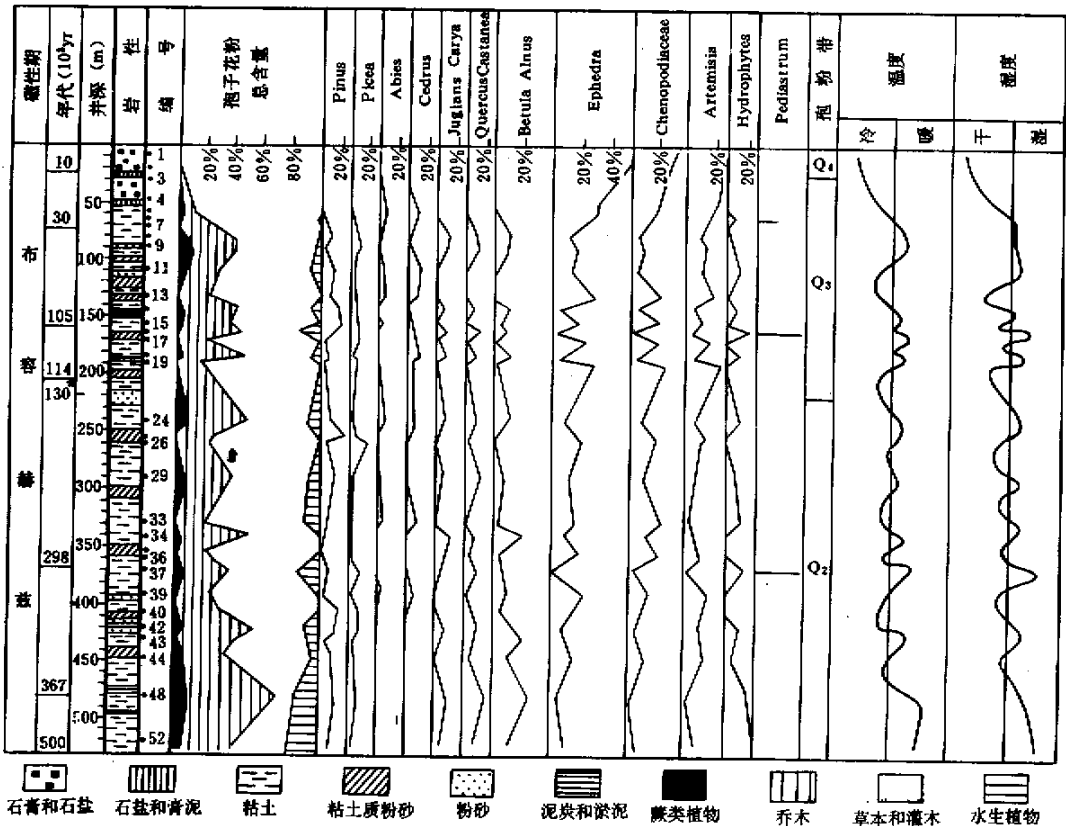


图 2 柴达木盆地达布逊湖达 1 井孢粉谱

Fig. 2 Sporo-pollen diagram of the Corehole D-1 from the Dabuxun lake in the Qaidam Basin

见喜热喜湿的凤尾蕨和铁线蕨。草原仍由旱生灌木、亚灌木和草本植物组成,但属种和含量较前显著增加,主要成分有麻黄、柽柳、白刺、藜、蓼、蒿、紫菀、顶羽菊、牛蒡、短星菊、泥胡菜、苦苣菜、一枝黄花、葱等。香蒲、眼子菜等水生植物较前减退,在沼泽湿地仍有苔草和芦苇等泽生草本植物滋生。当时的植被景观反映一种温带半干燥型气候,与现今甘肃北部和青海南部气候相近。从孢粉谱看来,这一时期存在四次相对冷暖、干湿的气候交替(图 2)。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。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。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。

第三阶段:全新世(10 ka BP 至今)

以 Q_4 带孢粉植物群为代表,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,主要成分除麻黄、藜、蒿外还有白刺、柽柳、枸杞、滨藜、紫菀、菊、蓼、葱、芦苇等。全新世的植被景观反映寒温带干燥型气候,与本区现今气候特征相似。

4 对比与讨论

察尔汗盐滩西部别勒滩干盐湖 CK 2022 井深 101 m 岩芯 C^{14} 年龄约 3 万年,孢粉植物群以麻黄、蒿、白刺、藜科等旱生、盐生植物占优势,属荒漠草原植被;在距今 2.4 万年时湖水淡化,短棘盘星藻大量繁殖,在距今 2.3 万年时湖泊开始干涸,盘星藻绝迹^[6]。CK 2022 井孢粉分析结果说明 3 万年以来别勒滩干盐湖总的气候特征是寒冷干燥,但也有相对湿润时期。达 1 井 3 万年以来的孢粉植物群与 CK 2022 井孢粉植物群基本一致,也是属于由麻黄、藜、蒿、白刺等旱生、盐生灌木、亚灌木和草本组成的荒漠草原植被,反映寒冷干燥气候。3 万年来达布逊湖和别勒滩两地植被和气候特征一致,可以说明在柴达木盆地大环境中这一时期的大气候是寒冷干燥。此外,达布逊湖在距今 2 万年时尚有盘星藻出现,可能说明达布逊盐湖形成时间比别勒滩盐湖略为滞后。稳定同位素分析结果认为达布逊湖在距今 1.9 万年时气候从相对湿润转为干寒^[7],这与该区盘星藻消亡时间是一致的,反映当时湖水已经咸化。因此,推测达布逊盐湖形成时间比别勒滩盐湖晚约 4 千年。

近年来中美合作在青藏高原西昆仑山古里雅冰帽

进行冰芯钻取和研究,取得了卓有成效的进展,对末次间冰期以来气候变化已获得完整的记录^[8]。特别有趣的是,达布逊湖达 1 井孢粉谱所反映的晚更新世气候冷暖变化与古里雅冰芯所记录的 2 阶段至 5 阶段冷暖事件可以一一对比。古里雅冰芯 $\delta^{18}O$ 研究结果,在 5 阶段即末次间冰期(75 ~ 125 ka BP)存在 5a、5c、5e 三个暖峰,气温分别比现代高出 3 °C、0.9 °C、5 °C;在 4 阶段即末次冰期早冰阶(58 ~ 75 ka BP)为一冷谷,温度下降 12 °C;在 3 阶段即末次冰期间冰阶(32 ~ 58 ka BP)出现异常高温,为暖期;在 2 阶段即末次冰期晚冰阶(15 ~ 32 ka BP)为又一冷谷,比现今温度低约 10 °C^[9]。达 1 井孢粉谱(图 2)在距今约 7.5 万年至 12.5 万年间(古里雅 5 阶段)出现三个暖峰,可以与古里雅冰芯记录的末次间冰期 5a、5c、5e 三个暖峰对比;在距今约 1.5 万年至 7.5 万年间(古里雅 2 ~ 4 阶段)有两个冷谷和其间的一个暖峰,分别相当于古里雅冰芯记录的末次冰期晚冰阶(2 阶段)、早冰阶(4 阶段)和间冰阶(3 阶段)。因此,达布逊湖孢粉谱所反映的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。古里雅冰帽是极地型冰帽,古里雅冰芯记录与北极格陵兰冰芯和南极 Vostok 冰芯的对比研究表明,三极地区冰芯所记录的大的冷暖事件是一致的,不同的只是古里雅冰芯所反映的冷暖事件变化幅度大于北极和南极^[8~10]。这说明大的气候冷暖事件在全球具有一致性,而青藏高原对气候变化的反应比北极和南极地区更为灵敏。因此,青藏高原气候变化研究对于认识全球气候变化规律无疑具有重要价值。

中国科学院兰州地质研究所罗斌杰教授提供样品,实验师杜金娥和伍平分析样品,笔者谨致谢忱。

参 考 文 献

- 1 德比希尔 E 绍 J,王靖泰. 柴达木盆地达布逊湖 1 号孔古地磁年代 [J]. 冰川冻土, 1985, 7: 227 ~ 232
- 2 王靖泰,德比希尔 E,张勇,绍 J. 柴达木盆地第四纪研究的新进展 [J]. 科学通报, 1985, 12: 936 ~ 940
- 3 Wang J, Zhang Y, Derbyshire E, Shaw J. Recent progress in study of the Quaternary of Qaidam Basin, Qinghai [J]. *Kexue Tongbao*, 1986, 31: 252 ~ 256
- 4 陈克造, Bowler J M. 柴达木盆地察尔汗盐湖沉积特征及其古气候演化的初步研究 [J]. 中国科学(B 辑), 1985, 5: 463 ~ 472
- 5 耿伯介. 中国植物地理区域 [M]. 上海: 新知识出版社, 1958, 1: 1 ~ 128
- 6 杜乃秋, 孔昭宸. 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的意义 [J]. 植物学报, 1983, 25: 275 ~ 282
- 7 Yang W, Spencer R J, Krouse H R, Lowenstein T K, Casas E. Stable isotopes of lake and fluid inclusion brines, Dabusun Lake, Qaidam Basin, western China: Hydrology and paleoclimatology in arid environments [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1995, 117: 279 ~ 290

- 8 姚檀栋, Thompson L G, 施雅风, 秦大河, 焦克勤, 杨志红, 田立德, Mosley-Thompson E. 古里雅 309 m 深孔冰芯中末次间冰期以来气候变化研究. 冰芯与寒区环境实验室年报 [J], 1996, 2: 47 ~ 59
- 9 姚檀栋, Thompson L G, 施雅风, 秦大河, 焦克勤, 杨志红, 田立德, Mosley-Thompson E. 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: 447 ~ 452
- 10 GRIP members. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core [J]. *Nature*, 1993, 364: 203 ~ 207

Palynological Evidence for Climatic Changes in Dabuxun Lake of Qinghai Province during the Past 500,000 Years

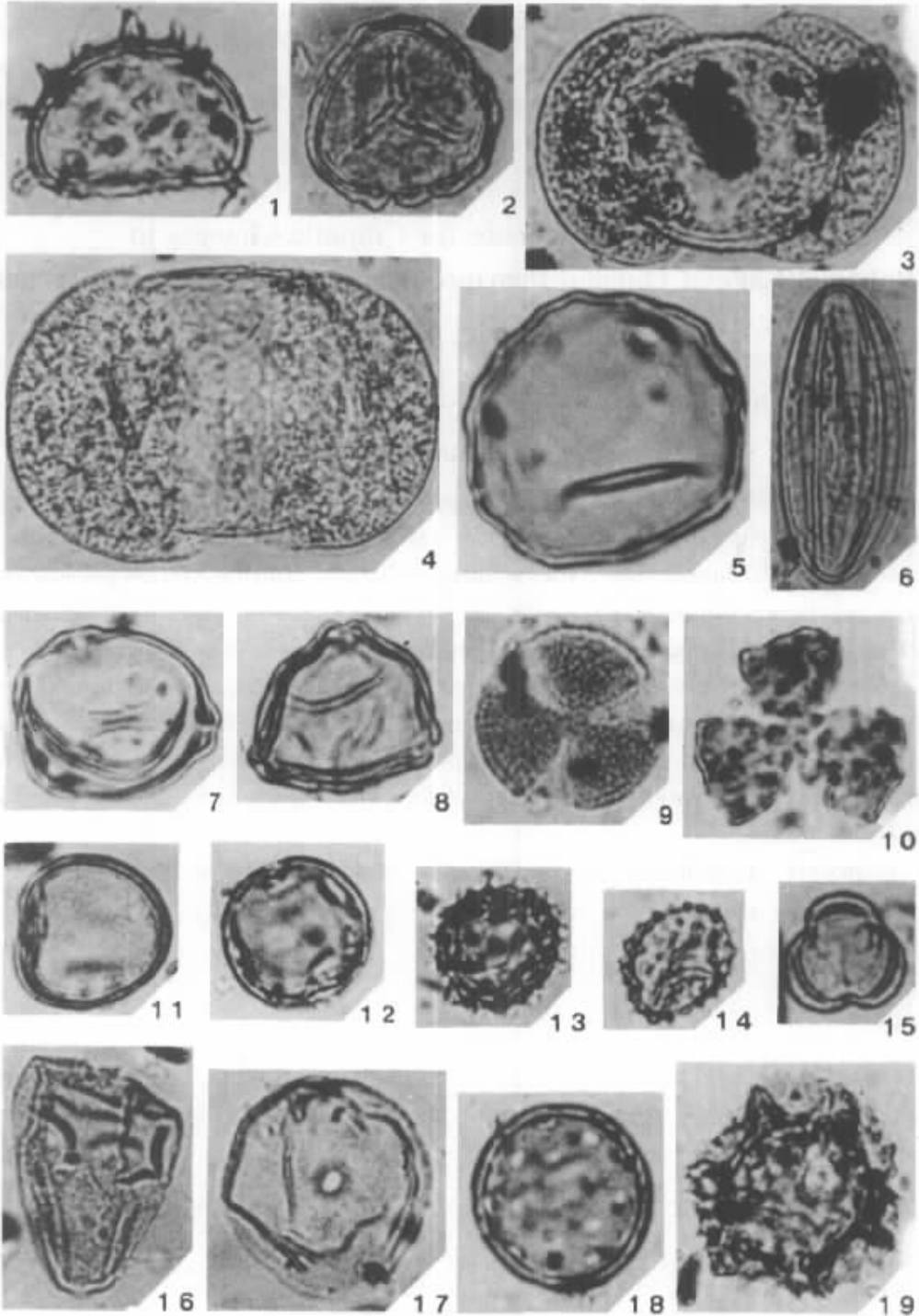
JIANG De-xin YANG Hui-qiu

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

Based on the spore-pollen analyses of the core samples of Corehole D-1 from the Dabuxun Lake in the Qaidam Basin of the Qinghai Province, the spore-pollen diagram may be divided into three palynofloral zones, i. e. Zone Q₂, Zone Q₃, and Zone Q₄. In accordance with the characteristics of the palynofloras, the problems on the vegetational evolution and the paleoclimatic changes in the past 500 ka were discussed. Ages of the sedimentary section of Corehole D-1 are based on paleomagnetic dating. The results of this study indicate that the middle to late Middle Pleistocene (500 ~ 130 ka BP) paleoclimate might be a semi-wet type of the warm-temperate zone, the Late Pleistocene (130 ~ 10 ka BP) paleoclimate might be a semi-arid type of the temperate zone, and the Holocene (10 ~ 0 ka BP) paleoclimate might be a arid type of the cool-temperate zone in the Qaidam Basin. The Late Pleistocene climatic changes coincide essentially with the evolution of cool and warm events recorded by the Guliya ice core from the Qinghai-Tibetan Plateau.

Key words palynoflora paleoclimate paleomagnetic age Quaternary Qaidam Basin



Explanation of Plate I ($\times 800$) 1. *Cystopteris* sp. 2. *Selaginella* sp. 3. *Pinus* sp. 4. *Picea* sp. 5. *Juglans* sp. 6. *Ephedra* sp. ; 7. *Betula* sp. ; 8. *Carpinus* sp. 9. *Acer* sp. ; 10. *Teucrium* sp. ; 11. *Potamogeton* sp. ; 12. *Alisma* sp. ; 13. *Solidago* sp. ; 14. *Brachyactis* sp. ; 15. *Artemisia* sp. ; 16. *Carex* sp. ; 17. *Phragmites* sp. ; 18. *Chenopodium* sp. ; 19. *Ixeris* sp.