

腾格里沙漠晚更新世孢粉植物群与气候环境演变*

马玉贞 张虎才 李吉均

(兰州大学地理科学系 兰州 730000)

Pachur HJ Wünnemann B

(Institute of Physical Geographical Sciences, Geomorphology Laboratory, FU Berlin, Altensteinstr. 19, 14195 Berlin, Germany)

摘要 根据腾格里沙漠断头梁人工开挖剖面距今约 42 000 ~ 23 000 a BP (晚更新世)的孢粉分析结果,可将该期植被和气候演化划分为 5 个阶段(组合带):阶段 I,约 42 000 ~ 38 000 a BP,此段孢粉组合特征显示出,在现今为戈壁荒漠的山地丘陵上,当时发育着针阔混交林,在古湖边缘上发育着杨柳林和草原,气候较温暖湿润;阶段 II,约 38 000 ~ 31 000 a BP,气候温暖湿润,地带性植被为以温带、暖温带阔叶林为主的针阔混交林,湖畔河边发育着草甸植被;阶段 III,约 31 000 ~ 30 000 a BP,为针叶林和寒温性高山柳丛大发展时期,气候寒温,为一冷期;阶段 IV,约 30 000 ~ 28 000 a BP,为冷期过后的升温期,也是湖面扩大期,孢粉组合中藻类含量高,为草甸和沼泽植被;阶段 V,28 000 ~ 23 000 a BP,孢粉组合显示出丘陵山地上发育温带柏和桦为主的针阔混交林,平原上生长着草原植被,湖畔、河边有柳林分布,气候较温暖湿润,但较阶段 I 略干。此剖面孢粉组合所反映的气候变化特征与古里雅及格陵兰冰芯 ^{18}O 所记录的同期气候变化特征具有良好的可比性。

关键词 孢粉,植被,气候,晚更新世,腾格里沙漠

ON THE EVOLUTION OF THE PALYNOFLORA AND CLIMATIC ENVIRONMENT DURING LATE PLEISTOCENE IN TENGER DESERT, CHINA*

MA Yu-Zhen ZHANG Hu-Cai LI Ji-Jun

(Department of Geographical Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Pachur HJ Wünnemann B

(Institute of Physical Geographical Sciences, Geomorphology Laboratory, FU Berlin, Altensteinstr. 19, 14195 Berlin, Germany)

Abstract Palynoflora studies on the Duantouliang section, located at 39°40' N, 103°55' E in Northwestern Tengger Desert, China showed that, based on the spore-pollen assemblages, the major vegetation and climatic environment between 42 000 to 23 000 a BP could be divided into the following different periods: I. From 42 000 to 38 000 a BP, the spore-pollen assemblages displayed that the mixed conifer/deciduous broad-leaved forests developed on the mountain and its foothill regions where the bare Gobi-desert are at present; At that time, *Populus* and *Salix* forests and grassland surrounded the Paleolake, the climate condition was much warmer and humid than today; II. From 38 000 to 37 000 a BP, the climate was warm and moist, it was the most suitable period for the plant growth, the studied area was dominated by the temperate and warm-temperate mixed broad-leaf deciduous and needleleaf forest, there was meadow spreaded on the river sides and lake beaches; III. From 31 000 to

* 国家自然科学基金(49371067)、国家教委专项基金及中德合作研究“中国西部古环境重建”资助。Supported by the National Natural Science Foundation of China, National Education Commission Foundation and “Reconstruction of Paleoenvironment in Western China” Item of China in Cooperation with Germany.

收稿日期:1997-02-24 接受日期:1997-08-18

30 000 a BP, the needleleaf forests and cold-temperate *Salix oritrepha* shrubs were flourishing, and the climate at that time was relatively cold; . From 30 000 to 28 000 a BP, the temperatures began increasing, the high lake levels was formed during this time, and the vegetations were meadows and swamps; . From 28 000 to 23 000 a BP, temperate Cupressaceae and *Betula* mixed conifer/deciduous forests grew on mountain and foothill region, grassland developed on plain areas, *Salix* was on lake and river sides. This indicates a warm and moist climate condition but it was drier than the earliest period.

Key words Palynoflora, Vegetation, Climate, Late Pleistocene, Tengger Desert

中国西部内陆干旱区面积约 306 万 km², 占国土总面积 32%。然而恶劣的自然条件和极其脆弱的生态环境严重地限制了人类生存发展的空间, 不合理的开发导致了严重的环境后果并将引起更严重的问题。为了揭示干旱区近期生态环境变迁过程及其机理, 为社会可持续发展提供科学依据, 不少科学工作者相继对这一地区开展研究获得部分资料, 但对位于东亚季风边缘的干旱、半干旱区的腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠古气候、古环境记录的研究较少。腾格里和巴丹吉林沙漠中的湖泊是该区内陆水系的终结点, 其变化过程敏感地反应了东亚季风和西风急流气旋所引起的降水变化, 而古湖泊存在的地貌证据和古湖相沉积的连续剖面能真实地记录西北干旱区气候变迁与生态环境的变化历史^[1,2], 且具有较高的分辨率。故从 1991 年起, 兰州大学与德国柏林自由大学合作, 对腾格里和巴丹吉林沙漠, 先后多次进行野外考察, 对天然剖面进行了描述和系统采样, 同时, 人工开挖十几条剖面, 为区域对比打下了基础, 并在腾格里沙漠白碱湖和古居延河流域分别获深 70 m 和 230 m 的连续钻孔岩芯, 研究成果将陆续发表。本文是此项研究的主要成果之一, 报道腾格里沙漠西北部断头梁剖面的孢粉学研究结果。

1 研究区自然概况

研究区位于祁连山以北, 贺兰山以西, 地理坐标为北纬 37°30' ~ 42°30'、东经 100° ~ 106°, 包括甘肃省西北部和内蒙古西部。区内海拔多在 1 000 ~ 1 500 m; 古老基岩形成起伏变化于 100 ~ 250 m 的干燥剥蚀低山丘陵, 并把本区分割为许多大小不等的内陆盆地。本区南部海拔 1 800 ~ 2 600 m 的合黎山、龙首山与祁连山之间东西狭长的山前倾斜平原为河西走廊; 位于中部的雅布赖山沿北东向延展, 海拔 1 600 ~ 2 200 m, 将本区分割为西部的巴丹吉林沙漠和东部的腾格里沙漠。沙漠大部分为流动或半固定沙丘, 沙漠中湖盆星罗棋布。区内水系不太发育, 仅有发源于祁连山脉 4 900 ~ 5 500 m 高山的石羊河、黑河和疏勒河的水量较大, 且依靠祁连山冰雪融水补给。此外, 还有许多自南向北穿过河西走廊的河流, 但仅在 7、8 月份水量大时, 下游才有流水, 形成典型的季节性河流。

研究区属温带干旱荒漠区, 冬季受蒙古高压的强烈影响, 气候干旱, 年平均温度 < 10℃, 积温可达 3 000℃左右; 夏季其东南部可受到太平洋季风的影响, 形成夏季降水。年降水量 50 ~ 150 mm, 且集中于 7 ~ 9 月份, 在空间分布上具有自东向西逐渐减少的趋势; 终年有大风, 形成风大沙多的特点。由于冬春雨雪甚少, 因此, 几乎完全缺乏春雨性的短生植物, 夏雨型一年生荒漠草本在群落中比较发育。总体来讲, 本区及邻近地区植物种类单调, 植被南北差异大, 南部祁连山区主要是高山灌丛和森林及一些草原植被; 中部走廊

区是荒漠河岸林和人工林;北部高原区主要是荒漠植被。在不同地形所引起的不同环境中,主要生长着以下植被类型:

1.1 森林植被

分布在祁连山中、东段的中山带及荒漠河流沿岸。在祁连山山地海拔 2 600 ~ 3 400 m 的阴坡和半阴坡分布着寒温性青海云杉(*Picea crassifolia*)林,林下灌木有毛枝山居柳(*Salix oritrepha*)、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)等,阳坡或半阳坡分布着寒温性祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)林,林下草本植物较多;在海拔 2 400 ~ 2 900 m 区间,温带落叶阔叶山杨(*Populus davidiana*)林和温性油松(*Pinus tabulaeformis*)常绿针叶林发育。林下灌木有金露梅(*Dasiphora fruticosa*)、忍冬属(*Lonicera*)、小檗属(*Berberis*)、栒子属(*Cotoneaster*)、卫茅属(*Euonymus*)等。温带落叶阔叶胡杨(*Populus euphratica*)林呈带状或片状分布于荒漠地区的河流沿岸。

1.2 灌丛植被

广泛分布于山区和平原。常绿革叶寒温性杜鹃属(*Rhododendron*)灌丛主要分布于祁连山东部石羊河流域上游的亚高山阴坡和半阴坡,伴生有高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、鬼箭锦鸡儿、毛枝山居柳、金露梅等。落叶阔叶寒温性高山柳(*Salix oritrepha*)灌丛分布于祁连山中部和西部高山地带的阴坡和半阴坡。灌木层下草本植物丰富,主要为莎草科、禾本科和蔷薇科等。寒温性金露梅阔叶灌丛的生态适应性广,主要分布在海拔 2 800 ~ 3 500 m 的山坡及冲沟、河谷地段上。怪柳属(*Tamarix*)灌丛适宜于冲积扇缘、湖盆及河漫滩的盐化生境中。白刺属(*Nitraria*)灌丛主要在沙丘或盐碱土分布区发育。

1.3 草原植被

主要分布在中低山带、中山带和高山带,植被主要由针茅属(*Stipa*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、冰草属(*Agropyron*)和芨芨草属(*Achnatherum*)等组成。

1.4 荒漠植被

广泛分布在巴丹吉林和腾格里沙漠的沙丘上,主要为白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)和小片的梭梭(*Haloxylon ammodendron*)荒漠,沙丘间盐土上有盐爪爪(*Kalidium foliatum*)和白刺盐漠。在腾格里沙漠的风蚀洼地和比较固定的沙地上,蒿属植物占有广大面积,伴生有蒺藜科、豆科、菊科及藜科等植物。

1.5 草甸植被

这种非地带性的植被在本区各地相当发育,在某些地区,如腾格里的湖盆、居延海附近和许多大河下游两岸,为植被中的主要类型,植物主要属于禾本科、豆科、菊科、藜科、莎草科等。植被主要为芨芨草和芦苇草甸。

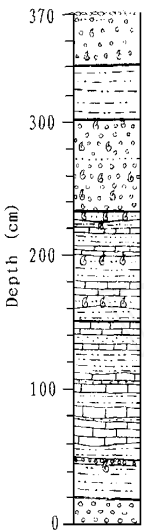
1.6 沼泽植被

分布于浅水湖盆、积水沼泽和土壤过湿环境中,由香蒲属(*Typha*)、草属(*Scirpus*)、苔草属(*Carex*)、灯心草(*Juncus effusus*)、海韭菜(*Triglochin maritima*)、海乳草(*Glaux maritima*)、水葱(*Scirpus tabernaemontani*)、泽泻(*Alisma orientale*)、眼子菜属(*Potamogeton*)和荸荠属(*Eleocharis*)等组成,并经常有轮藻(*Chara fragilis*)或狸藻(*Utricularia japonica*)作为下层层片出现。

2 剖面岩性、时代和样品分析方法

2.1 剖面岩性及时代

掘深 370 cm 的断头梁剖面位于腾格里沙漠的西北缘,雅布赖山山前冲积盆地,地理坐标为北纬 39°37'21"、东经 103°55'13",海拔 1 266 m。该剖面岩性分层及其特征自上而下为(图 1):



345 ~ 370 cm,红褐色砂砾石层,含大量软体动物化石。其中 360 ~ 365 cm 处¹⁴C 测年值为(19 410 ±340) a BP。

301 ~ 345 cm,杂色粘土质粉砂层,层理发育。其中 320 ~ 325 cm 处¹⁴C 测年值为(21 640 ±410) a BP。

235 ~ 301 cm,砂砾层,含少量的碳酸盐和大量的软体动物化石。其中 282 ~ 287 cm 处¹⁴C 测年值为(22 760 ±420) a BP。

150 ~ 235 cm,粘土与粉砂质粘土互层,富含碳酸盐,在粉砂质粘土层中含有大量软体动物化石。其中 215 ~ 220 cm 处¹⁴C 测年为(26 749 ±164) a BP。

17 ~ 150 cm,浅褐黄色、灰白色粘土夹褐色粉砂质粘土,富含碳酸盐。其中 50 ~ 60 cm 处 IRSL 测年值为 38 000 ± a BP,52 ~ 57 cm 处¹⁴C 测年值为(36 180 ±1 930) a BP,95 ~ 100 cm 处¹⁴C 测年值为(35 020 ±810) a BP。

0 ~ 17 cm,红褐色、褐黄色砂砾。

剖面其它层位年龄数据通过线性内插获得。

1 断头梁剖面柱状图

Fig. 1 The columnar section of Duantouliang

Sandy gravel;
Clay with interbedded silty clay; Clay and silty clay; Sandy gravel; Clayey silt; Sandy gravel.

2.2 孢粉分析方法

孢粉样品的实验室处理采用德国哥廷根大学孢粉研究所和中国兰州大学地理系孢粉的分析法,即先用 HCl 处理,再用 HF 除硅质成分后,用超声波清洗器过筛清洗,尔后用小管净化,最后用甘油保存制活动片鉴定统计。孢粉鉴定采用与正式出版的孢粉图版和保存在中国兰州大学地理系和德国哥廷根大学孢粉研究所的现代花粉玻片进行对比鉴定。

3 孢粉分析结果

根据孢粉序列变化,在该剖面自下(早)而上(晚)可划分出 5 个孢粉组合带(图 2):

带 1 0 ~ 63 cm (42 000 ~ 38 000 a BP),柏科-刺柏属(*Juniperus*)-桦木属(*Betula*)组合带。孢粉组合中乔木含量很高,其中针叶树种占 33.3% ~ 47.2%,阔叶树种占 23.6% ~ 41.7%;灌木和旱、盐生小灌木含量较低,分别为 9.7% ~ 16.7%和 8.3% ~ 12.7%。乔木主要为柏科(16.7% ~ 27.8%)、刺柏属(8.3% ~ 17.7%)和桦木属(11.1% ~ 33.3%),伴有松属(2.5% ~ 8.3%)、栎属(*Quercus*)(3.8% ~ 8.3%)、柳属(0 ~ 7.6%)和杨属(0 ~ 3.8%)等。灌木和小灌木为蔷薇属(*Rosa*)(0 ~ 8.3%)、豆科(1.4% ~ 8.3%)、蒿属(0 ~ 8.3%)和藜科(4.2% ~ 8.3%)等。草本植物主要为禾本科(0 ~ 5.6%)。

带 2 63 ~ 150 cm (38 000 ~ 31 000 a BP), 柏科-桦木属-蒿属组合带。在孢粉组合中, 针叶树和阔叶树含量基本相等, 分别占 15.8% ~ 38.3% 和 26.9% ~ 39.6%。针叶树主要为柏科 (7.0% ~ 22.4%) 和刺柏属 (4.4% ~ 9.7%) 及一定量的松属 (2.3% ~ 8.3%) ; 阔叶树种类较多, 主要为桦木属 (11.4% ~ 19.4%)、栎属 (0.9% ~ 11.4%)、柳属 (4.6% ~ 12.1%) , 还有一定的胡桃属 (*Juglans*)、槭属 (*Acer*)、榛属 (*Corylus*)、杨属和榆属 (*Ulmus*) 等。灌木和小灌木含量较低, 主要为蒿属 (4.5% ~ 14.3%)、蔷薇属 (2.3% ~ 8.4%)、豆科 (0.9% ~ 5.3%)、沙棘属 (*Hippophae*) (0 ~ 5.3%) 及藜科等。草本植物主要为禾本科 (3.5% ~ 4.9%) 及莎草科。

带 3 150 ~ 172 cm (31 000 ~ 30 000 a BP), 柏科-刺柏属组合带。针叶树发育, 占主导地位 (35.8% ~ 52.5%) , 主要为柏科 (15.1% ~ 37.3%)、刺柏属 (8.5% ~ 15.1%) 及一定量的松属 (1.9% ~ 5.9%) 和铁杉属 (*Tsuga*)。阔叶树次之且种类减少, 占 18.6% ~ 20.8% , 主要为桦木属 (1.9% ~ 7.6%)、栎属 (6.8% ~ 7.5%)、柳属 (1.7% ~ 5.7%) 及胡桃属, 中生灌木和草本各占 11.9% ~ 15.8% 和 10.2% ~ 13.2% , 主要为蔷薇属 (2.3% ~ 5.9%)、禾本科 (4.2% ~ 9.4%) 及沙棘属、豆科和莎草科等。旱生、半旱生小灌木含量较低, 占 6.8% ~ 15.1% , 主要为蒿属 (4.2% ~ 13.2%) 及藜科。

带 4 172 ~ 181 cm (30 000 ~ 28 000 a BP), 短棘盘星藻 (*Pediastrum boryanum*)-毛茛科-蒿属组合带。孢粉组合中, 针叶树猛减, 仅占 8.6% , 阔叶树也有所减少, 占 12.6% ; 中生草本和

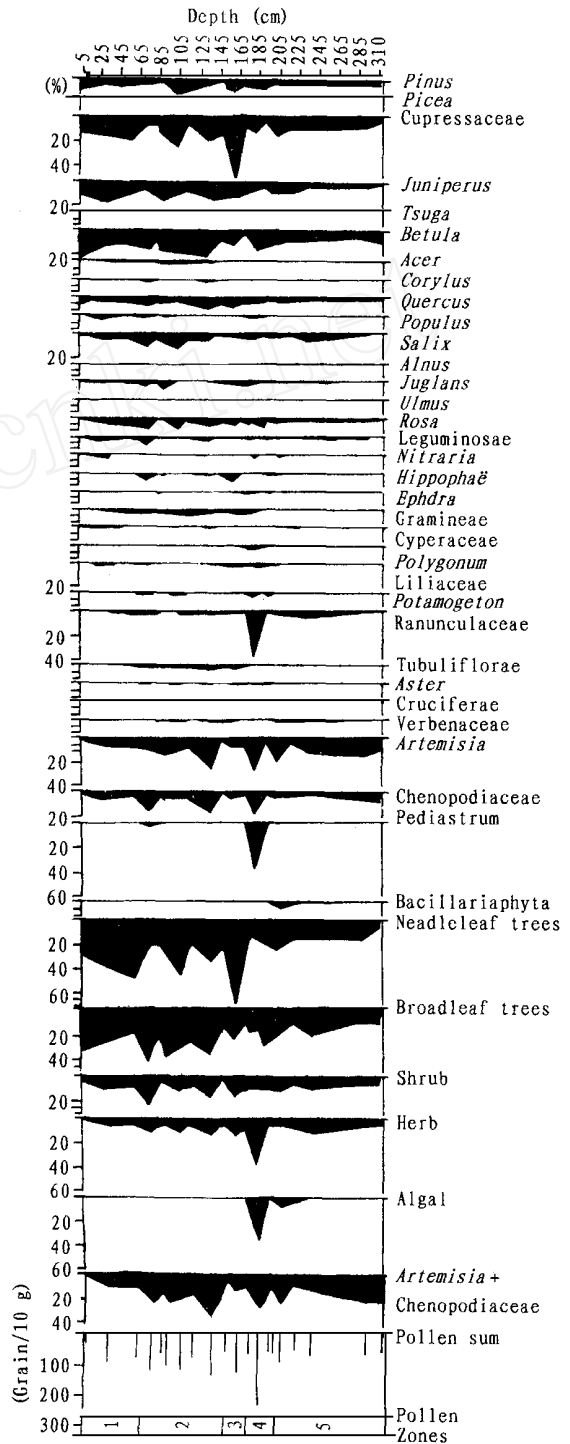


图 2 断头梁剖面主要孢粉属种图式
Fig. 2 Sporo-pollen taxa diagram of Duantouliang section

灌丛含量增加,分别为 26.6%和 25.7%,其中盐、旱生小灌木增加,达到 22.1%。本组合中出现大量的短棘盘星藻,含量达 31.5%,其它主要分子为毛茛科(15.8%)、百合科(7.2%)、蒿属(15.3%)、桦木属(6.3%)、柏科(5.4%),还含有一定量的眼子菜属(*Potamogeton*)、禾本科、蓼属(*Polygonum*)、栎属、柳属、杨属、胡桃属、刺柏属、蔷薇属和藜科等。

带 5 181~310 cm (28 000~23 000 a BP), 桦木属-蒿属-柏科组合带。针叶树和阔叶树含量较前带回升,分别占 12.8%~40.5%和 13.0%~38.3%;中生草本和灌木含量有所下降,分别为 6.2%~15.8%和 7.1%~21.3%;旱生、半旱生小灌木有所增长,占 14.3%~41.3%。此期植物群的主要分子为桦木属(5.4%~27.7%)、蒿属(6.4%~29.6%)和柏科(2.1%~19.0%),次为刺柏属(0~16.7%)、松属(2.5%~10.6%)、栎属(2.1%~6.5%)、柳属(0~10.5%)、蔷薇属(4.1%~17.0%)及豆科、沙棘属、禾本科、毛茛科和藜科等。

4 古植被与古气候演变

花粉图式解释的基本假设是:某特定层位中的花粉谱以某种方式代表了当时提供花粉雨的母体植物区系,而母体植物区系,即植被类型又以某种方式反映其生存环境。但是,影响花粉分布数量的因素是复杂而多方面的,如产量、群落的组成和结构、地形和气流等。所以,怎样才能科学准确地解释孢粉谱,建立合理的植被类型,从而推测当时的生态环境,这可能是许多孢粉工作者要解决的基础理论问题。目前从吴玉书^[3]、孙湘君等^[4]、阎顺等^[5]、袁绍敏等^[6]和李文漪等^[7-9]等所做的现代植被与其所产生的花粉数量之间的关系(R 值)看,一些常见属种的 R 值具有一定的规律,如松属花粉产量大且可以随气流搬运到较远的距离,孢粉组合中出现 25%~30%以下的松属时,都有可能处于无松林地带;桦木属花粉的产量也较高,可能具有超代表性,即 $R > 1$,至少在含量为 3%~5%时,才能考虑附近是否有林地;栎属也可能具有超代表性,当其花粉含量小于 5%左右时,为外来花粉,随着花粉含量的逐渐增高,植被覆盖率与花粉含量逐渐吻合,即 $R = 1$;柳属花粉产量一般小且主要降落在植株附近;杨属的花粉壁薄,在地层中难以保存,所以为表现不足,即 $R < 1$;禾本科的表现也不足,即使在现代植被中做为建群种和优势种出现时,平均也仅占 3.0%~6.0%;蒿属和藜科的代表性也高, R 值很大,这与藜科和蒿属花粉产量高、易保存、传播能力强有很大关系。所以,当孢粉组合中出现少量的藜科和蒿属花粉时,应视为外来花粉^[3,4,8]。

根据上述现代表土花粉与植被的关系,结合剖面所在地区的现代植被概况、地形、水文和气流等,对断头梁剖面的孢粉资料进行分析,表明该区 42 000~23 000 a BP 之间的植被和环境变化经历了 5 个发展阶段,其特征如下:

阶段 (约 42 000~38 000 a BP) 在带 1 孢粉组合中,松、蒿属、藜科都可能是外来花粉,杨、柳、禾本科、蔷薇科、豆科应是当地植物群落的主要建群种,栎和桦的含量说明当地附近的丘陵山地上有桦和栎林存在。在本带孢粉中含量较高的柏科和刺柏属的近亲圆柏,目前在祁连山主要生长在中、东段中山带 2 600~3 400 m 的阳坡或半阳坡。所以,推测当时当地的植被状况可能是在平原低地或湖盆周围生长着温带落叶杨柳林和一些中生

草本,在附近的丘陵山地上生长有针阔叶混交林,林下发育着一些灌丛;气候则比现代要温暖湿润,其湿润度也许与现代祁连山中、东段海拔 2 600 m 上下的中山带相似。

阶段 (约 38 000 ~ 31 000 a BP) 带 2 孢粉组合中,阔叶树含量增高且种类繁多,桦、栎和柳的含量表明附近发育着温带、暖温带阔叶林,且伴生有胡桃、槭、榛、杨和榆等,林下发育着灌丛蔷薇、豆科和沙棘等。针叶树含量降低,较耐寒的松和刺柏可能是外来花粉,柏可能发育在附近较高的山地上,也许就发育在雅布赖山上。当时的植被可能是在湖畔发育着以禾本科和豆科为主、伴生有莎草科和蒿属的草甸植被,在平原和丘陵上生长有温带、暖温带阔叶林,在山地发育有柏林。气候温暖湿润,湖盆较前期有进一步的扩大。

阶段 (约 31 000 ~ 30 000 a BP) 带 3 孢粉组合中,针叶树含量增高,柏和刺柏的含量显示在当地生长着柏和刺柏林;阔叶树含量降低且种类减少,桦和栎的含量都不足以说明它们在当地生长,而柳、蔷薇及禾本科等的含量则表明当地有这些植物生长发育。正如前述,在现代祁连山中部和西部高山地带的阴坡和半阴坡,发育有落叶寒温性高山柳灌丛,灌木层下草本植物丰富,主要为莎草科、禾本科和蔷薇科等。带 3 孢粉组合中的灌木和草本结构与其相似,故推测当时当地的植被是寒温性柏木林和高山柳灌丛下限下移到盆地平原,气候寒温,但较湿润。

阶段 (约 30 000 ~ 28 000 a BP) 带 4 孢粉组合中,针叶树和阔叶树含量不高,可能均为外来分子,但出现了大量的藻类分子和中生水生草本植物。藻类分子主要为短棘盘星藻,盘星藻属属于绿藻门绿球藻目的小网藻科;此属目前全为淡水产,为淡水湖泊中很重要的藻类,是淡水湖泊环境的指示生物^[10]。草本植物主要由毛茛科、百合科、禾本科、蒿属、蓼科、莎草科及眼子菜组成,这与现代该区浅水湖盆边的草甸植被和沼泽植被的结构组成相似。另外,笔者近期做了巴丹吉林沙漠部分浅水小湖盆的表土花粉,其组合特征与带 4 相似。据此推测,当时湖盆范围扩大,该区为淡水湖泊沼泽环境,气温较阶段 升高。

阶段 (约 28 000 ~ 23 000 a BP) 带 5 孢粉组合中,针叶树和阔叶树含量较前期有所增加,其中松和栎可能是外来分子;旱生、半旱生小灌木也较前期发育,其中蒿粉属在当地发育,蓼科可能为外来分子。据孢粉组合分析,当时,附近的丘陵山地上可能生长着温带柏和桦针阔混交林,平原和近湖区生长着柳林和由豆科、禾本科和蒿等组成的草原植被,气候较温暖湿润,与阶段 相比略干燥些。

5 对比与讨论

从上述断头梁剖面中由植物群所记录的距今约 42 000 ~ 23 000 a BP 间的气候变化看,该区气候在总体上较现在要温暖湿润,反映出这一时期北半球气候变化的一般规律,可与格陵兰冰芯 ¹⁸O 记录 3 阶段^[11]相对比,并可与相邻近的昆仑山古里雅冰芯中 ¹⁸O 所记录的气候演变信息(图 3)^[12]进行较详细的对比。断头梁植被群反映的最温暖湿润期为 38 000 ~ 31 000 a BP,即阶段 ,古里雅冰芯温度曲线在此期也恰为最高峰值区;在 42 000 a BP 前后和 30 000 ~ 23 000 a BP 时间段,断头梁植物群反映出较温暖湿润的气候特征,且前者较后者更为温湿,古里雅冰芯在这两个时期也恰好有两个峰值区,且前者高于后者。在古里雅冰芯第三阶段中,主要冷期出现的时间是 31 000 a BP,这与断头梁的最冷期基本一致。

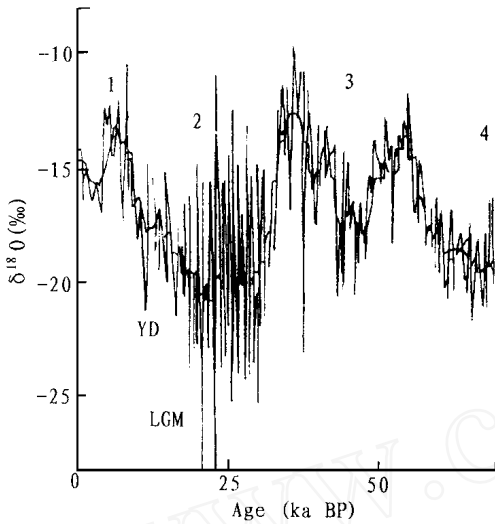


图3 古里雅冰芯中 ^{18}O 所反映的温度变化
Fig. 3 Temperature fluctuation reflected by ^{18}O
in the Guliya ice core (Record of Yao Tan-Dong *et al.*, 1996)

1~4. Oxygen isotopic stage; YD. Younger dryas;
LGM. Late glacial maximum.

由此可知,本区在 42 000 ~ 23 000 a BP 时间段中植物茂盛,总体为温暖湿润气候,湖泊发育,是中国西部“泛湖期”^[12]的构成部分。其最适宜期为 38 000 ~ 31 000 a BP 期间,地带性植被为温带、暖温带阔叶树为主的针阔混交林,湖畔为草甸植被;次适宜期在 40 000 a BP 前后和 30 000 ~ 23 000 a BP 期间,在丘陵山地上发育针阔混交林,在平原上发育杨柳林和草原,且在 40 000 a BP 左右较湿润。31 000 ~ 30 000 a BP 为寒温期,该期地带性植被为针叶林和高山柳灌丛。这种环境演变特征在我国同期沉积物孢粉中,大都有所反映。如在 53 000 ~ 36 000 a BP 期间,甘肃临夏塬堡出现针阔叶混交林,林相华丽,结构较复杂^[13];在山西阳高许家窑表现为松栎针阔叶混交林及草原^[14],在东北周家油坊和哈尔滨均以桦木林为代表,是末次冰期中最温暖的一个时期^[15];内蒙萨拉乌苏地区在当时形成了巨大的“萨拉乌苏湖”,在湖滨丘陵上覆盖

着以松、桦和蒿为主的森林草原^[16]。气候均表现为温暖湿润。在 32 000 a BP 前后,普遍为一冷期:临夏塬堡孢粉浓度低、植物缺乏,主要由山地针叶树与旱生植物组成;萨拉乌苏为沙地柳和蒿灌丛;东北和山西阳高为草原或疏林草原;中国东部则广布着以云杉、冷杉、松和落叶松为主的暗针叶林^[13~16]。约在 31 000 ~ 23 000 a BP,临夏塬堡孢粉浓度较高,乔木占优势,由云/冷杉、柏科、栎、桦和蒿、菊等组成以针叶树为主的森林草原;哈尔滨荒山、陕西渭南、长江中下游和华北平原植被也均表现为针阔叶混交林或以针叶林为主的针阔混交林,气候较温暖湿润^[13,14,17]。断头梁地区在 30 000 ~ 26 000 a BP 时间段,即冷期刚刚过后的升温期,湖面再次扩大,这可能是由于祁连山水源区的冰融水量因气温升高而冰融水量增加。另一方面,因当时温度相对还较低而导致相对湿度增加,可能趋近饱和水汽压,而地表径流和湖面的蒸发量并未加大。以上各因素共同作用的结果,使入湖有效水量增加并导致湖面相应增大,这反映了内陆湖泊与气候环境演变之间的关系。

断头梁剖面孢粉组合所反映的气候变化特征与邻区古里雅冰芯所记录的气候信息具有高度地对比性,并可和相距很远的格陵兰冰芯同期 ^{18}O 记录的第三阶段相对比,还可和中国大范围内同期不同沉积环境中的孢粉资料进行对比(尽管在细节或起止时间上还有所差异)。这表明,湖相沉积所含孢粉反映了较大范围的环境特征,在气候演变信息上更可记录区域性演变和全球性的宏观特征。更应指出的是,伴随着全球温度的变化,现今腾格里等中国西部干旱区在 40 000 ~ 23 000 a BP 期间降水量增加,形成一个相当于温暖半湿润森林-草原的生物气候环境,构成湖泊广布、湖畔植被发育、附近山地有森林存在的自然景观。

参 考 文 献

- 1 Pachur H J, Wünnemann B, Zhang Hucai. Lake evolution in the Tengger Desert, Northwestern China, during the last 40 000 Years. *Quat Res*, 1995, **44**:171 ~ 180
- 2 Zhang Hu Cai (张虎才), Wünnemann B. Preliminary study on the chronology of lacustrine deposits and determination of high palaeo-lake level in Tengger Desert since late Pleistocene. *J Lanzhou Univ* (兰州大学学报), 1997, **33**:87 ~ 91 (in Chinese)
- 3 Wu Yu-Shu (吴玉书), Sun Xiang-Jun (孙湘君). A preliminary study on the relationship between the pollen percentages in forest surface samples and surrounding vegetation on west mountain of Kunming, Yunnan. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1987, **29**:204 ~ 211 (in Chinese)
- 4 Sun Xiang-Jun (孙湘君), Wu Yu-Shu (吴玉书). Modern pollen rain of mixed conifer forest in Changbai M T, Northeast China. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1988, **30**:549 ~ 557 (in Chinese)
- 5 Yan Shun (阎顺), Xu Ying-Qin (许英勤). Spore-pollen association in surface soil in Altay, Xinjiang. *Arid Land Study* (干旱区研究), 1989, (1):26 ~ 33 (in Chinese)
- 6 Yuan Shao-Min (袁绍敏), Sun Xiang-Jun (孙湘君). The vegetation and environmental history at the west foot of Changbai mountain, Northeast China during the last 10,000 years. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1990, **32**:558 ~ 567 (in Chinese)
- 7 Li Wen-Yi (李文漪), Yan Shun (阎顺). The Study on Quaternary Palynology in Chaiwopu Basin. Quaternary Climatic and Environmental Changes, and Hydrogeologic Condition in Chaiwopu Basin, Xinjiang. Beijing: Ocean Publishing House, 1990. 46 ~ 74 (in Chinese)
- 8 Li Wen-Yi (李文漪), Yao Zu-Ju (姚祖驹). A study on the quantitative relationship between *Pinus* pollen in surface sample and *pinus* vegetation. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1990, **32**:943 ~ 950 (in Chinese)
- 9 Li Wen-Yi (李文漪). The relationship between *Abies fargesii* forest pollen and vegetation, and forest vegetation succession in the Shennongjia. *Acta Geog Sin* (地理学报), 1991, **46**:186 ~ 193 (in Chinese)
- 10 Greenland Ice-Core Project (GRIP) Members. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature*, 1993, **364**:203 ~ 207
- 11 Yao Tan-Dong (姚檀栋), Lonnie G Thompson, Shi Ya-Feng (施雅风). A study on the climatic change recorded in the 309 m Guliya Ice Core since the Last Interglacial Period. Annual report of Ice Core & Cold Regions Environment (LIC-CRE), 1996, **2**:47 ~ 58 (in Chinese)
- 12 Ma Yu-Zhen (马玉贞), Cao Ji-Xiu (曹继秀), Li Ji-Jun (李吉均). The development of palynoflora and climatic changes in Yuanbu Loess section, Linxia, Gansu since 150 ka BP. In: Research on Formation evolution and Environment Changes of Qinghai-Xizang Plateau, and Ecosystem. Beijing: Science Press, 1994. 103 ~ 113 (in Chinese)
- 13 Sun Jian-Zhong (孙建中), Zhao Jing-Bo (赵景波), Ke Man-Hong (柯曼红), Wei Ming-Jian (魏明建), Sun Xiu-Ying (孙秀英), Li Xing-Guo (黎兴国), Liu Shu-Fang (刘淑芳), Chang Pi-Xing (常丕兴). Quaternary of Loess Plateau. Beijing: Science Press, 1991. 158 ~ 184 (in Chinese)
- 14 Sun Jian-Zhong (孙建中), Wang Shu-Ying (王淑英), Wang Yu-Zhuo (王雨灼), Zhou Ya-Jie (周亚杰), Lin Ze-Rong (林泽蓉), Zhang Qing-Yun (张庆云), Chen Shu-Han (陈树汉). Palaeoenvironment of the Last Glacial Stage in Northeast China. *Quat Sci*, 1985, **6**(1):82 ~ 88 (in Chinese)
- 15 Ke Man-Hong (柯曼红), Sun Jian-Zhong (孙建中), Wei Ming-Jian (魏明建). Palaeoclimate and palaeoenvironment of the last glacial stage in Salawusu area of Nei Monggol, China. *Acta Bot Sin* (植物学报), 1992, **34**:717 ~ 719 (in Chinese)
- 16 Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Ministry of Petroleum and Chemistry Industry, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica. On the Paleocene Dinoflagellates and Acritarchs from the Coastal Region of Bohai. Beijing: Science Press, 1978. 32
- 17 Liu Min-Hou (刘敏厚), Wu Shi-Ying (吴世迎), Wang Yong-Ji (王永吉). Late Quaternary Sediments in Huanghai. Beijing: Ocean Publishing House, 1987. 219 ~ 251 (in Chinese)