

doi: 10.12029/gc20210422001

王丽鑫,代友旭,王利鹏,王庆同,阎琨,姜文钦. 2023. 新疆色帕巴依—柯坪地区中—晚更新世孢粉组合特征及其对古气候的指示[J]. 中国地质, 50(4): 1268–1276.

Wang Lixin, Dai Youxu, Wang Lipeng, Wang Qingtong, Yan Kun, Jiang Wenqin. 2023. Characteristics and indication on palaeoclimate of sporopollen assemblages of Mid-to Late-pleistocene in Sepabayi-Keping Area, Xinjiang[J]. Geology in China, 50(4): 1268–1276(in Chinese with English abstract).

新疆色帕巴依—柯坪地区中—晚更新世孢粉组合特征及其对古气候的指示

王丽鑫^{1,2}, 代友旭^{1,3}, 王利鹏¹, 王庆同¹, 阎琨^{1,2}, 姜文钦^{1,3}

(1. 中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 山东 烟台 264000; 2. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 3. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要:【研究目的】塔西北中—晚更新世古环境变化的研究相对薄弱, 西南天山作为亚洲气候环境变化的敏感区域, 其古环境的研究对于预测未来气候意义重大, 孢粉组合特征所指示的古植被演替规律已然成为该地区古气候研究亟待解决的重要问题。【研究方法】本文通过对新疆色帕巴依—柯坪地区河流阶地典型剖面样品孢粉鉴定和光释光定年测试, 探讨了该区中—晚更新世孢粉组合特征及其对古气候的指示意义。【研究结果】划分出中—晚更新世三个孢粉组合带: 第 I 孢粉组合带: *Quercus*(栎)—*Graminae*(禾本科)—*Chenopodiaceae*(藜科)孢粉组合带; 第 II 孢粉组合带: *Ephedra*(麻黄)—*Betula*(桦)—*Labiatae*(唇形科)孢粉组合带; 第 III 孢粉组合带: *Pinus*(松属)—*Ephedra*(麻黄)—*Chenopodiaceae*(藜科)孢粉组合带。【结论】孢粉组合指示西南天山中—晚更新世总体气候干旱, 呈干冷—暖湿—干冷的气候震荡趋势, 其中 65~16 ka 期间存在明显的降水丰富的潮湿气候阶段; 河流下切作用形成的阶地地貌受构造和气候双因素控制。

关键词: 中—晚更新世; 孢粉; 河流下切; 古环境; 干冷—温暖—干冷气候循环; 环境地质调查工程; 新疆

创 新 点: 丰富了西南天山中—晚更新世河流阶地孢粉组合资料; 在光释光年代框架下讨论了西南天山中—晚更新世孢粉组合对古气候的指示。

中图分类号: Q913.84; P532 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2023)04-1268-09

Characteristics and indication on palaeoclimate of sporopollen assemblages of Mid- to Late- Pleistocene in Sepabayi- Keping Area, Xinjiang

WANG Lixin^{1,2}, DAI Youxu^{1,3}, Wang Lipeng¹, WANG Qingtong¹, YAN Kun^{1,2}, JIANG Wenqin^{1,3}

(1. Yantai Geological Survey Center of Coastal Zone, China Geological Survey, Yantai 264000, Shandong, China; 2. China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China; 3. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

收稿日期: 2021-04-22; 改回日期: 2022-04-17

基金项目: 中国地质调查局项目“西北沿边及特殊地区地质矿产调查”(DD20160079)和“雷州半岛海岸带综合地质调查”(DD20208011)资助。

作者简介: 王丽鑫, 女, 1988年生, 主要从事环境科学研究和测试分析工作; E-mail: 674849466@qq.com。

通讯作者: 姜文钦, 男, 1990年生, 主要从事古生物学和沉积学研究工作; E-mail: 453050894@qq.com。

Abstract: This paper is the result of environmental geological survey engineering.

[Objective] The study of paleo-environmental changes of Mid-to Late-Pleistocene in northwest Tarim Basin is relatively weak. As a sensitive area to climate and environmental change in Asia, the paleoenvironment study of the Southwest Tianshan is of great significance for predicting future climate. The succession law of palaeo-vegetation indicated by the characteristics of palynological assemblage has become an important problem to be solved urgently in paleoclimate research in this area. **[Methods]** Based on palynological identification and photoluminescence dating of typical river terrace samples from Sepayi-Keping area, Xinjiang, the characteristics of palynological assemblages in the Mid-to Late-Pleistocene and their implications for paleoclimate were discussed in this paper. **[Results]** Three palynological assemblages of Mid-to Late-Pleistocene were divided. Palynological assemblage zone I: *Quercus-Graminae-Chenopodiaceae*; II: *Ephedra-Betula-Labiatae*; III: *Pinus-Ephedra-Chenopodiaceae*. **[Conclusions]** They indicate the arid climate of the Southwest Tianshan and the fluctuation trend (dry and cold-warm and wet-dry and cold) during Mid-to Late-Pleistocene. During 65-16 ka before present, there was an obvious humid climate stage with abundant precipitation. The terraces formed by river downcutting were controlled by both tectonic and climatic factors.

Key words: Mid-to Late-Pleistocene; sporopollen; down-cutting; paleoenvironment; dry cold-warm-dry cold climate cycle; environmental geological survey engineering; Xinjiang

Highlights: The data of palynological assemblages of river terraces from the Mid-to Late-Pleistocene in the Southwest Tianshan Mountains is enriched; Indication on the paleoclimate of the Mid-to Late-Pleistocene palynological assemblage in the Tianshan Mountains of southwest China is discussed under the optically luminescent chronology framework.

About the first author: WANG Lixin, born in 1988, female, mainly engaged in environmental science and test analysis; E-mail: 674849466@qq.com.

About the corresponding author: JIANG Wenqin, born in 1990, male, mainly engaged in paleontology and sedimentology; E-mail: 453050894@qq.com.

Fund support: Supported by the projects of China Geological Survey "Geological and mineral survey of northwest border and special area" (No. DD20160079) and Comprehensive geological survey of coastal Zone on Leizhou Peninsula (No. DD20208011).

1 引言

恢复古环境和古气候变化机理对于预测未来环境意义重大(Kutzbach et al., 1989; Li and Fang, 1999; Zheng et al., 2015),沉积物中孢粉的研究被应用于古环境恢复中取得良好成果(Tarasov et al., 1999; Nakagawa et al., 2002; Ortu et al., 2006)。新疆色帕巴依地区位于亚欧大陆中部,塔里木盆地西北缘(图1,姜文钦等, 2020)。新疆新生代年代格架的建立通常采用磁性地层学方法(Brook et al., 1996; Chen et al., 2002; 陈杰等, 2007; 王宁等, 2009),上更新统绝对年龄鲜有报道,一定程度上制约了对该区域晚更新世古环境变化的研究。研究区河流侵蚀、地貌演化、古环境变迁与全球气候变化和新构造运动之间的成因联系尚不明确(Lee et al., 2003; 吴珍汉等, 2005, 2006)。

色帕巴依-柯坪地区河流阶地孢粉研究几近空白。本文旨在对河流阶地上发育几近完整的土卡义剖面孢粉特征进行初步分析,试图探讨研究区古环

境类型,讨论河流侵蚀和地貌演化的主导因素。

2 地层

中-上更新统冲积物主要分布于色帕巴依幅北部托什干河两岸,呈条带状。高于现代河床20~80 m,厚度20~50 m,河床南岸的沉积厚度小于北岸的沉积厚度。现以土卡义剖面(图2,起点坐标 X: 300731, Y: 4540883)为例,结合柯坪地区不同阶地综合比对,对区内中-上更新统冲积物描述如下:

- | | |
|--|-------|
| 8 黄褐色砂土、亚砂土、黏土层 | 0.5 m |
| 7 含砾砂土层,砾石含量约45%,砾石以砂岩、灰岩为主,粒径5~10 cm,磨圆及分选均较好 | 1.5 m |
| 6 灰褐色含砂土砾石层,砂含量约20%。砾石成分以砂岩、灰岩为主,粒径5~10 cm。磨圆与分选均较好 | 2.2 m |
| 5 灰褐色砾石层,砾石成分为砂岩、灰岩。粒径多为10 cm左右。磨圆较好,分选一般 | 2 m |
| 4 灰褐色砾石层夹砂土层,砾石成分为砂岩、灰岩。粒径一般15~20 cm,最大可达30 cm。磨圆较好,分选性差。砾石ab轴呈叠瓦式排列,ab面产状245°∠17° | 4 m |
| 3 含砾砂土层,砾石含量约40%,砾石以砂岩为主,粒径 | |

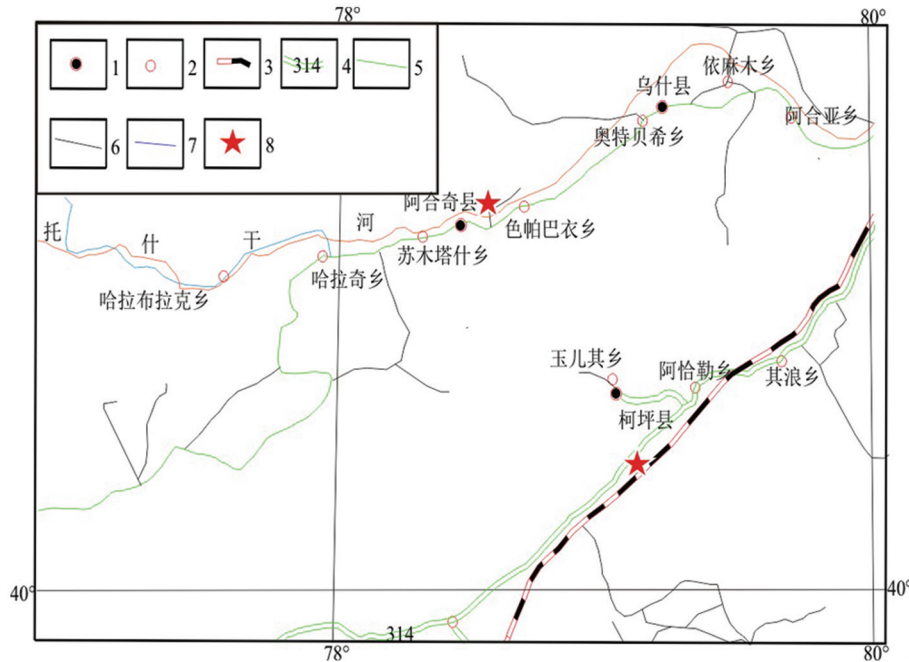


图1 研究区交通位置图

1—县级行政中心;2—乡级行政中心;3—铁路;4—国道代号;5—省级公路;6—县级以下公路;7—河流;8—研究剖面及采样位置

Fig.1 Location of the study area

1—County administrative center; 2—Township administrative center; 3—Railway; 4—National highway code; 5—Provincial highway; 6—Highway below county level; 7—River; 8—Study section and sampling location

5~10 cm, 磨圆度及分选性均较好 0.8 m

2 灰褐色含砂土砾石层, 砂含量约30%。砾石成分以砂岩、灰岩为主, 粒径5~10 cm, 最大可达15 cm。磨圆与分选均较好 2 m

1 灰褐色含砂砾石层偶夹薄砂土层, 砾石成分为砂岩、灰岩, 少量岩浆岩, 粒径一般5~15 cm, 最大可达20 cm。磨圆较好, 分选一般。接触式-孔隙胶结。砾石ab轴呈叠瓦式排列, ab面产状 $252^{\circ}\angle 20^{\circ}$ 3 m

3 孢粉分析

3.1 实验方法

河流阶地冲积物采用自然分层法采集样品, 阶地的顶部和底部均采集光释光样品和孢粉样品, 每块样品称取10 g干重样品室内分析处理孢粉, 在中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质国家重点实验室显微结构分室进行, 采用常规酸碱法及重液浮选法富集孢粉化石(徐增连等, 2021)。对孢粉的统计、鉴定工作在Olympus BX50生物显微镜下完成。测年样品采集与孢粉样品采集同步, 在河流阶地由底到顶系统采样, 光释光测年在中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室完成。

3.2 统计分析

第I孢粉组合带: *Quercus* (栎)–*Graminae* (禾本科)–*Chenopodiaceae* (藜科)孢粉组合带。

组合中以草本植物花粉为主, 占组合的51%~58.8%, 陆生草本植物花粉含量为49.9%~58.8%, 喜旱生草本植物花粉(如藜科、禾本科、蒿属和白刺属等)频繁出现, 在该类花粉中占主导地位; 水生植物花粉含量较低, 约占组合0~5.8%。

以木本植物花粉次之, 占组合的35.8%~44.1%, 其中针叶类植物花粉含量较少, 仅占5.9%~10.9%; 常绿阔叶植物花粉(如青冈栎、栲、枫香等)含量明显少于喜温凉的落叶阔叶类植物(如榆科、桦科、胡桃科等); 喜旱生的灌木麻黄含量较高, 为16.7%~22.8%。蕨类植物孢子含量占组合的4.3%~5.9%, 主要是鳞盖蕨、凤尾蕨, 水龙骨科的单缝类孢子经常出现。

本组合中孢粉类型较多, 木本阔叶类植物花粉含量占比较高, 出现少量的水生草本植物花粉。从组合面貌分析, 认为本组合代表一种半干旱气候类型, 其植被面貌为森林植被, 林下蕨类植物较多, 平坦开阔地带多以草本植物覆盖, 短期存在湖沼。

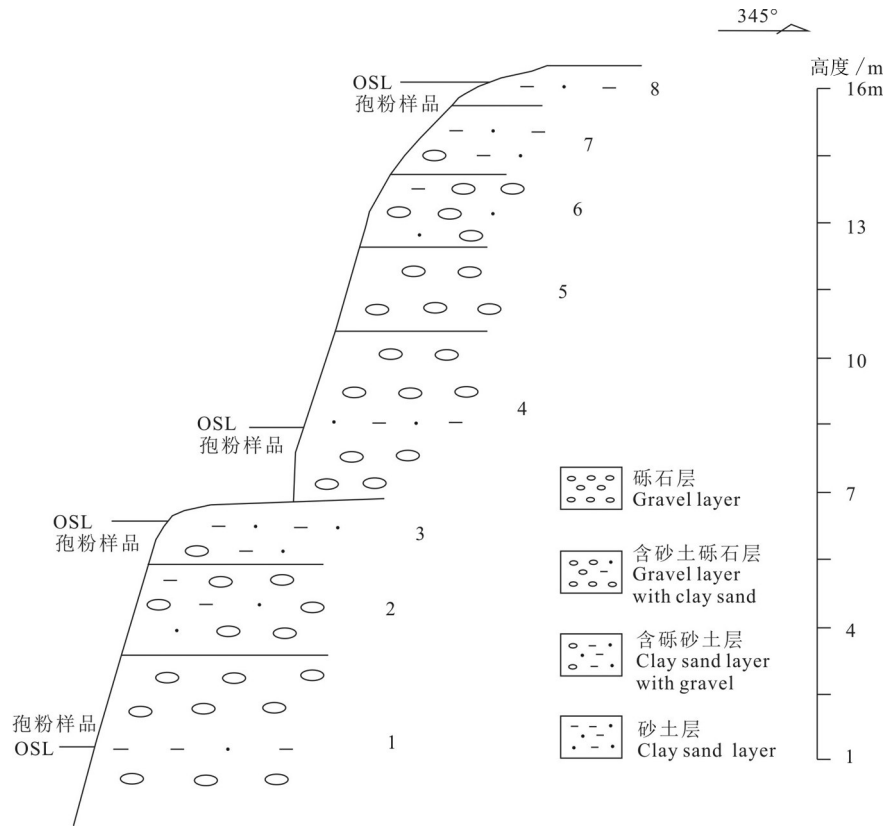


图2 新疆色帕巴依地区中-上更新统冲积物实测剖面图

Fig.2 The measured section of the Meso-Upper Pleistocene alluvial deposits in the Sepabayi area, Xinjiang

第Ⅱ孢粉组合带:*Ephedra*(麻黄)-*Betula*(桦)-*Labiatae*(唇形科)孢粉组合带(图3)。

组合中以木本植物花粉为主,占组合的41.3%~46.1%;其次是陆生草本植物花粉,占组合的28.1%~38.3%;蕨类植物孢子和水生草本植物含量分别为11.3%~20.2%和4.3%~8.8%。

木本植物中又以阔叶类植物较丰富,其主要成分是壳斗科的栎属和桦科的桦属植物花粉,它们分别占孢粉总数的7.7%~15.1%和1.9%~10.4%;榆属、枫杨属、榛属、胡桃属、槭树属和栗属等偏温植物花粉常见。针叶类植物中以松属为主,占组合的3.8%~6.8%,其次是杉科和柏科植物花粉、云杉、冷杉、雪松和油杉植物花粉也有出现。

陆生草本植物花粉占组合的28.2%~38.3%,含量较高的是喜早生、耐盐碱麻黄属,为7.0%~13.9%;其次是喜早生的藜科植物花粉,含量为6.1%~9.7%;其他类型如蒿属、毛茛属、菊科、十字花科、禾本科和唇形科植物花粉含量不高但频繁出现,而同样喜早生的白刺和怪柳零星出现。水生草本植物中仅出现

有莎草科、眼子菜属、蓼属、浮萍属和狐尾藻属五种植物花粉,其中以莎草科和眼子菜植物花粉多见。

蕨类植物中水龙骨科和凤尾蕨属孢子多见,含量分别为3.5%~6.1%和1.7%~4.4%,其他的如海金沙、紫萁、凤丫蕨、七指蕨等也有零星出现。本孢粉组合在三个带中草本植物花粉含量占比最少,蕨类孢子数量占比最多,代表温带湿润气候的落叶阔叶栎属和桦属花粉及针叶植物松科为主,含有少量常绿阔叶树种,同时出现一定量的喜早生的草本类麻黄属和藜科植物等,其植被类型为阔叶林为主的森林草原植被,主体上反映当时气候趋于早化,属温暖半干旱半湿润但偏湿的气候特征。

第Ⅲ孢粉组合带:*Pinus*(松属)-*Ephedra*(麻黄)-*Chenopodiaceae*(藜科)孢粉组合带(图4)。

该孢粉组合带陆生草本植物花粉含量很大,大大超过木本植物花粉,占主导地位,而木本植物位退居第二,蕨类植物孢子和水生草本植物花粉含量极低。陆生草本植物花粉、木本植物、蕨类植物和水生草本植物四大类含量分别为56.3%~72.6%、

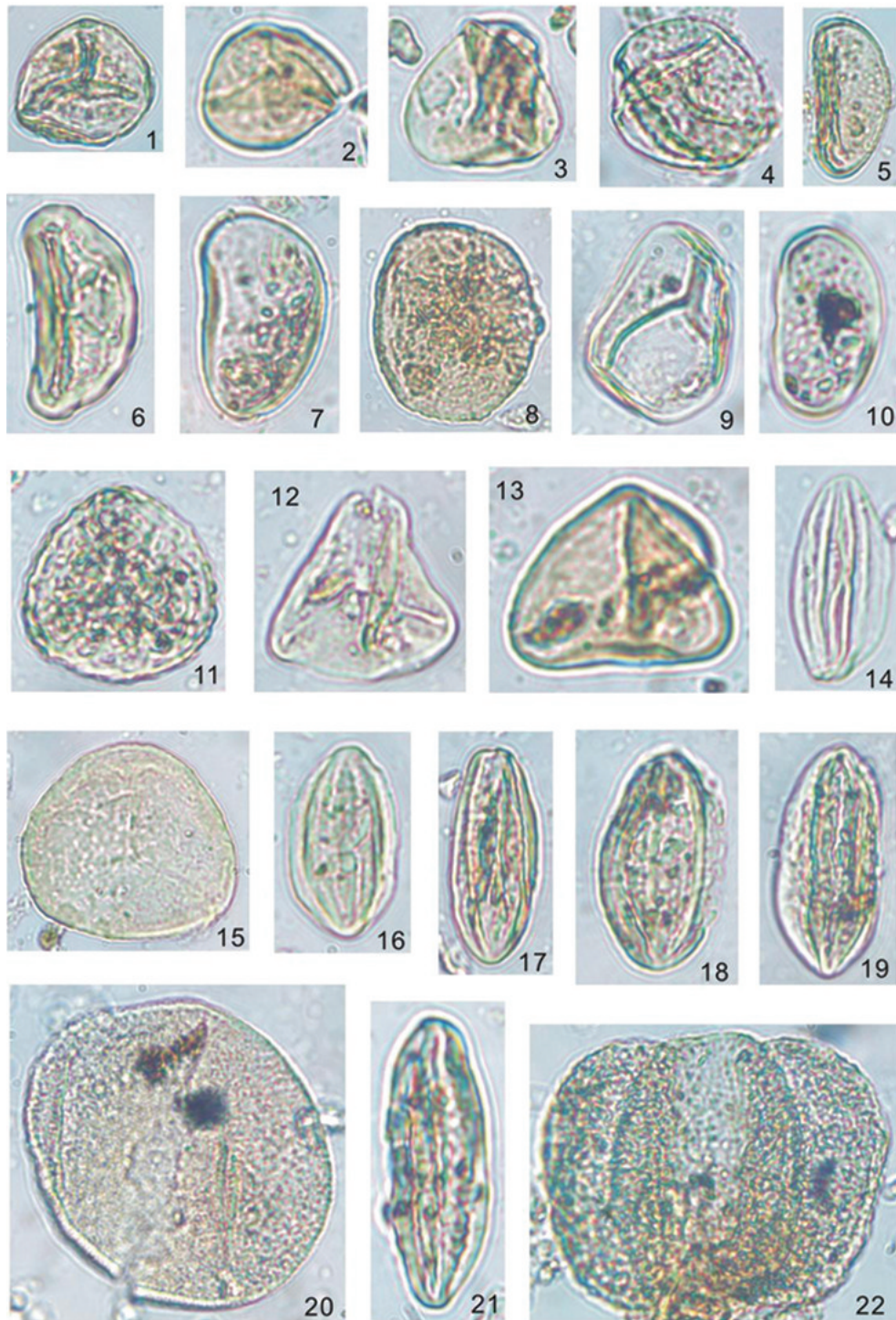


图3 新疆色帕巴依地区中—晚更新世孢粉(均放大800倍)
 1,4—膜蕨科;2,3,13—未定三缝孢;5~7,10—水龙骨科;8—紫萁属;9—七指蕨;10—水龙骨科;11—小叶海金沙;12—凤了蕨属;14,16—麻黄属;15—厚叶蕨属;17~19,21—麻黄属;20—云杉属;22—油杉属

Fig.3 Palynological map of the Mid- Late Pleistocene in Sepabayi, Xinjiang (All are amplified by 800 times)
 1, 4-Hymenophyllaceae spores; 2,3,13-Indet. Triletes spora; 5-7,10-Polypodiaceae simple-type spores; 8-*Osmunda*;
 9-*Helminthostachys zeylanica*; 10-Polypodiaceae verrucos-type spora; 11-*Lygodium microphyllum*; 12-*Coniogramme salwinensis*;
 14,16-Ephedra type 1; 15-*Cephalomanes*; 17-19,21-Ephedra type 2; 20-*Piceae*; 22-*Keteleeria*

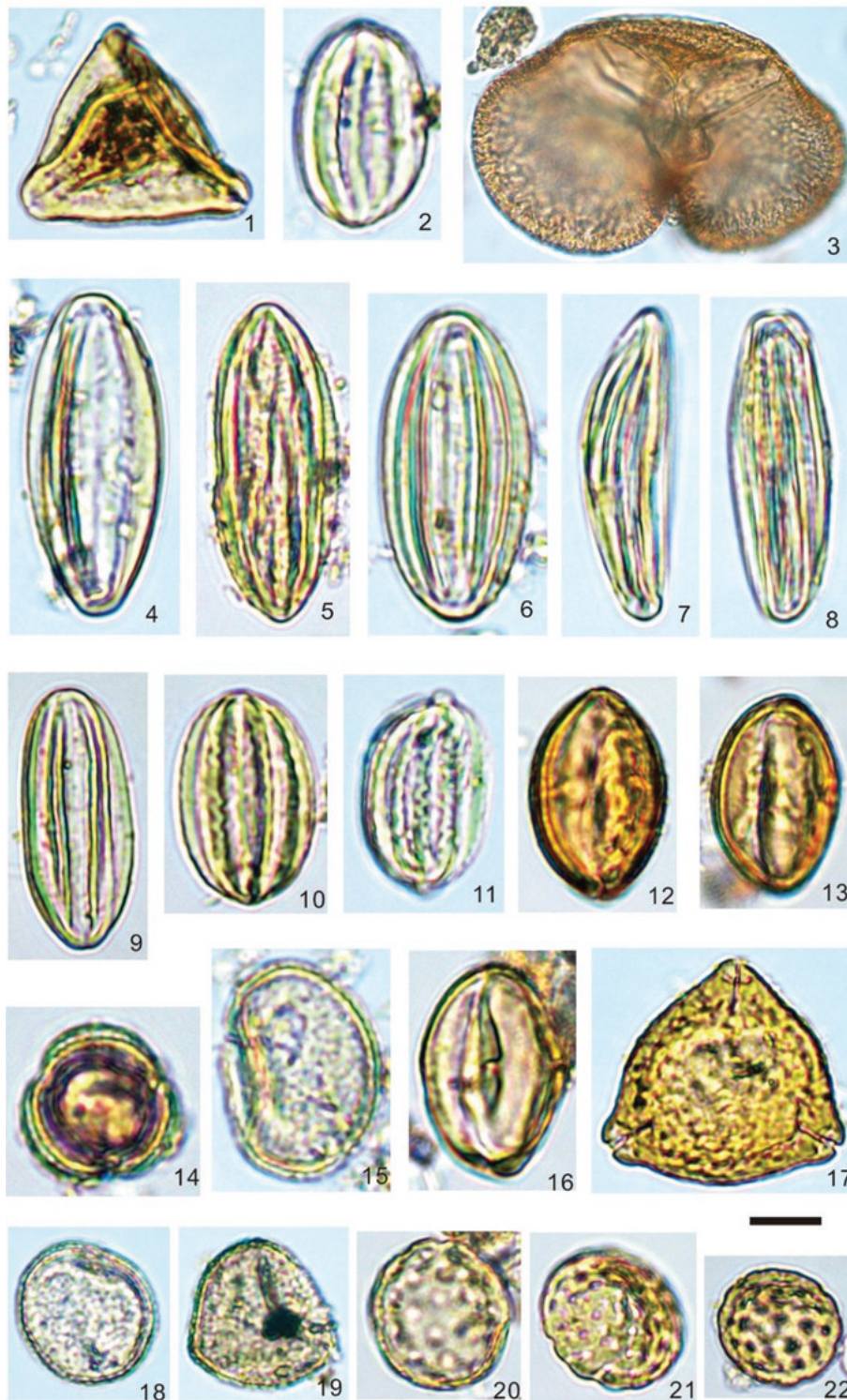


图4 新疆柯坪地区中-晚更新世孢粉(所有化石均保存于中国地质大学地球生物系,图中比例尺代表20 μm)
 1—无患子;2,10,11—麻黄属;3—松属;4~9—麻黄属;12,13—白刺属;14—蒿属;15—水龙骨科;16—楝属;17—蓝果树属;18,19—香蒲属;
 20—石竹科;21,22—藜科

Fig.4 Palynological map of the Mid-Late Pleistocene in Keping, Xinjiang(All fossils are preserved in the Department of Earth Biology, China University of Geosciences. The scale in the map represents 20 μm)

1—*Sapindus*; 2,10,11—*Ephedra* type1; 3—*Pinus*; 4~9—*Ephedra* type2; 12,13—*Nitraria*; 14—*Artemisia*; 15—Polypodiaceae; 16—*Melia*;
 17—*Nyssa*; 18, 19—*Typha*; 20—Caryophyllaceae; 21, 22—Chenopodiaceae

24.5%~37.5%、2.0%~3.3%、0~3.3%。

当前组合的显著特点是在陆生草本植物花粉中,喜盐碱的草本植物麻黄含量最高,为19.1%~31.1%,而成为优势种群;其次是喜早生的藜科植物花粉,含量为10.6%~18.3%,禾本科植物花粉含量居第三位,为2.1%~8.5%;喜早生的蒿属含量一般,为4.7%~5.3%,其他陆生草本植物也多以旱生植物为主。木本植物花粉中阔叶类花粉含量高于针叶类,以阔叶类的栎属花粉含量较高为特征,为5.7%~8.7%;木本针叶类植物花粉中以松属花粉为主,占组合的2.9%~3.8%。蕨类植物孢子和水生草本植物花粉含量极低。

此组合与上一组合相比,面貌有所不同。该组合带蕨类孢子含量明显降低,草本植物花粉明显增多,木本植物花粉为三个带中占比最少的(图5)。认为该孢粉组合代表一种干旱气候条件下荒漠-疏林草原植被,气候温干。

3.3 讨论

研究区河流下切作用形成河流阶地,导致河漫滩相对位置升高(Burbank and Anderson, 2001),可

能受控于环境气候变化(Starkel et al., 2003;胡小飞等,2013)和区域构造活动等多种因素(杨景春和李有利,2001)。塔里木盆地位于欧亚大陆中部,气候干旱,第四系地貌和堆积物的发育多与气候干湿交替有密切联系。塔西北地区更新世晚期以来经历了末次冰期,期间可识别出小气候波动段,冷暖交替(刘光锈等,1995;姚檀栋,1999)。气候干冷期,物理风化强烈,谷中堆积大量碎屑。暖湿期河流动能显著增大,强烈下切沉积物,河谷发育阶地。剖面底部砂土光释光测年结果为(65.4±2.8) ka,上部砂土光释光测年数据为(16.3±0.7) ka,高差约95 m,则在晚更新世该时限内,河流下切速率为1.94 mm/a,大于西南天山(1.24±0.2) mm/a的地壳抬升速率(吴传勇,2016),说明色帕巴依-柯坪地区河流下切主要有构造控制,可能与南天山复活隆升有关(张子亚等,2013)。

帕米尔高原的阻挡改变了西风环流的方向(张飏等,2016),奠定了塔里木盆地中更新世以来气候干旱的基础。研究区孢粉组合带 I 和 III 指示的植被面貌不同,但都是干旱气候区的典型生态特点。

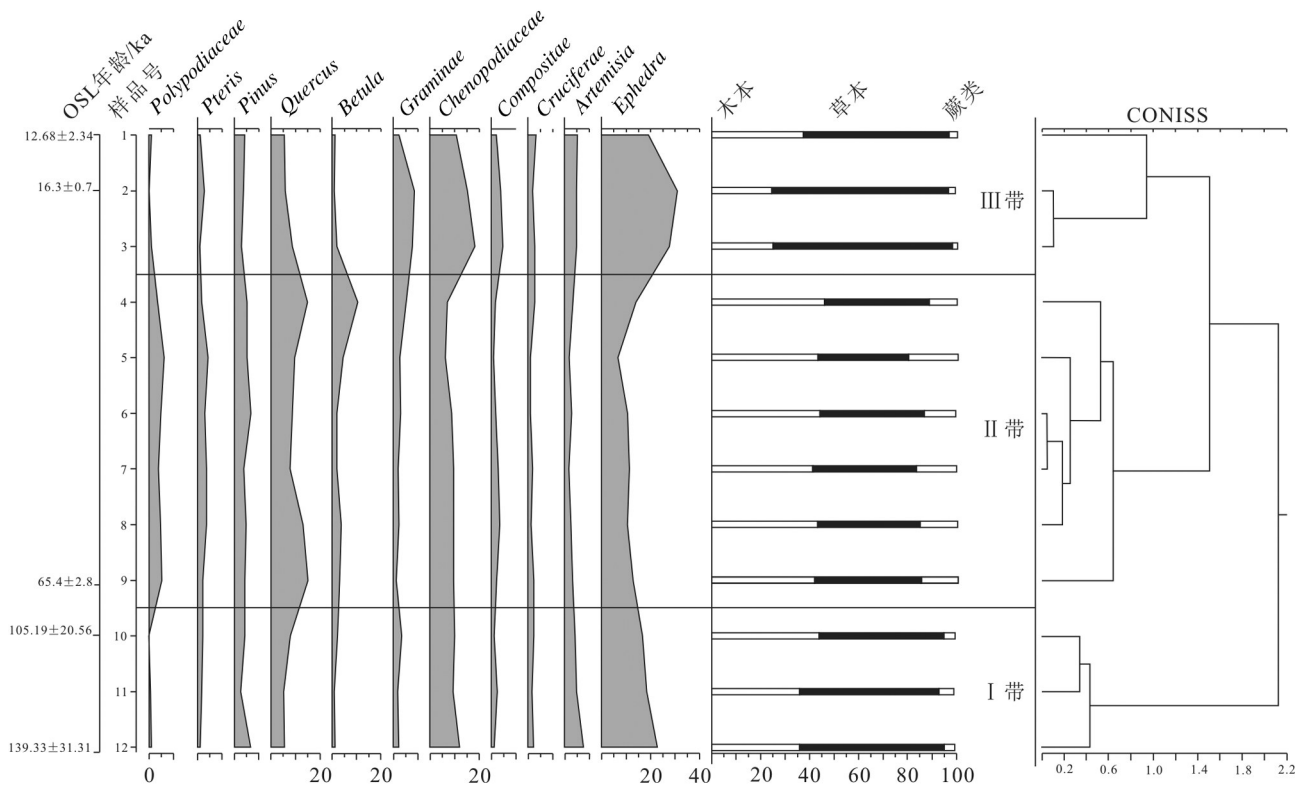


图5 新疆色帕巴依-柯坪地区中-晚更新世孢粉图谱
Fig.5 Palynological map of the Middle-Late Pleistocene in the Sepabayi-Keping area, Xinjiang

2.1 Ma以来,印度板块向北挤压的远程效应导致帕米尔高原向北位移与天山连接,关闭了阿莱依谷地,焚风效应使湿润的西风难以进入塔里木盆地(张志高等,2017),输送层较大的垂直跨度为上层携带的水体发育成为冰川提供条件(秦大河等,1984),岁差周期中低纬度地区太阳辐射增强(杨保和施雅风,2003),40~30 ka B.P.整个西北地区受西风环流和夏季风影响降水量剧增,气候显著湿润(杨保和施雅风,2003),研究区第Ⅱ孢粉带降水量增强,温度升高,冰川消融,河流流量加大,下切作用加强,与深海氧同位素第三阶段(MIS3)对应良好(Brook et al., 1996)。

4 结 论

(1)研究区中一晚更新世孢粉可以分为三个孢粉组合带,第Ⅰ孢粉组合带:*Quercus*(栎)-*Graminae*(禾本科)-*Chenopodiaceae*(藜科)孢粉组合带,第Ⅱ孢粉组合带:*Ephedra*(麻黄)-*Betula*(桦)-*Labiatae*(唇形科)孢粉组合带,第Ⅲ孢粉组合带:*Pinus*(松属)-*Ephedra*(麻黄)-*Chenopodiaceae*(藜科)孢粉组合带。

(2)西南天山中一晚更新世总体气候干旱,呈干冷-暖湿-干冷的气候震荡趋势。65~16 ka存在明显的降水丰富的潮湿气候阶段,河流水量丰富。

(3)研究剖面中一晚更新世河流下切速率约为1.94 mm/a,研究区河流下切作用同时受构造-气候双因素决定,构造因素起主导作用。

致谢: 成文过程中得到中国地质大学(北京)高金汉老师,中国地质调查局青岛海洋地质研究所杨士雄博士很多指导和帮助,卡克一色帕巴依项目和柯坪项目组成员参与野外采样,自然资源综合调查指挥中心有关专家为稿件提供支持,在此表示感谢!

References

Brook E J, Sowers T, Orchardo J. 1996. Rapid variations in atmospheric methane concentration during the past 110,000 years[J]. *Science*, 273(5278): 1087-1091.

Burbank D W, Anderson R S. 2001. *Tectonic Geomorphology*[M]. London: Blackwell Publishing, 131-158.

Chen J, Burbank D W, Scharer K M, Sobel E, Yin Jinhui, Rubin C, Zhao R B. 2002. Magnetochronology of the Upper Cenozoic strata in the Southwestern Chinese Tian Shan: Rates of Pleistocene folding and thrusting[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(1/

2): 113-130.

Chen Jie, Heermance R V, Burbank D W, Scharer K M, Wang Changsheng. 2007. Magnetochronology and its implications of the Xiyu conglomerate in the southwestern Chinese Tianshan foreland[J]. *Quaternary Sciences*, 27(4): 576-587(in Chinese with English abstract).

Hu Xiaofei, Pan Baotian, Gao Hongshan, Hu Zhenbo, Cao Bo, Li Qingyang, Geng Haopeng. 2013. Development of Holocene fluvial terraces in the eastern Qilianshan Mountain and its relationship with climate changes[J]. *Quaternary Sciences*, 33(4): 723-736(in Chinese with English abstract).

Jiang Wenqin, Zhao Zhigang, Wang Qingtong, Dai Youxu. 2020. The carbonate microfacies and paleoenvironment of the Upper Carboniferous Biegantawu Formation in Kake Area, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 53(3): 66-75(in Chinese with English abstract).

Kutzbach J E, Guetter P J, Ruddiman W F, Prell W L. 1989. Sensitivity of climate to Late Cenozoic uplift in Southern Asia and the American West: Numerical experiments[J]. *Journal of Geophysical Research*, 94(D15): 18393-18407.

Lee H Y, Chung S L, Wang J R, Wen D J, Lo C H, Yang T F, Zhang Y Q, Xie Y W, Lee T Y, Wu G Y, Ji J Q. 2003. Miocene Jiali faulting and its implications for Tibetan tectonic evolution[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 205(3/4): 185-194.

Li J J, Fang X M. 1999. Uplift of Tibetan Plateau and environmental changes[J]. *Chinese Science Bulletin*, 44(23): 2117-2124.

Liu Guangxiu, Shen Yongping, Wang Rui, Wang Sumin. 1995. The vegetation and climatic changes in Zoige during the last 20000 years determined by pollen records[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 17(2): 132-137(in Chinese with English abstract).

Nakagawa T, Tarasov P E, Nishida K, Gotanda K, Yasuda Y. 2002. Quantitative pollen-based climate reconstruction in central Japan: Application to surface and Late Quaternary spectra[J]. *Quaternary Science Review*, 21(18/19): 2099-2113.

Ortu E, Brewer S, Peyron O. 2006. Pollen-inferred palaeoclimate reconstructions in mountain areas: Problems and perspectives[J]. *Journal of Quaternary Science*, 21(6): 615-627.

Qin Dahe, Feng Zhaodong, Li Jijun. 1984. Discussion on the fluctuation and the environment since main Würm Glaciation in the headwater of Urumqi River Tianshan[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 6(3): 51-62(in Chinese with English abstract).

Starkel L. 2003. Climatically controlled terraces in uplifting mountain areas[J]. *Quaternary Science Reviews*, 22(20): 2189-2198.

Tarasov P E, Peyron O, Guiot J, Brewer S, Volkova V S, Bezusko L G, Dorofeyuk N I, Kvavadze E V, Osipova I M, Panova N K. 1999. Last Glacial Maximum climate of the Former Soviet Union and Mongolia reconstructed from pollen and plant macrofossil data[J]. *Climate Dynamics*, 15(3): 227-240.

Wang Ning, Liu Weiguo, Chang Hong, An Zhisheng. 2009.

- Evolutionary process of the climate of Lop Nur region of Xinjiang since Mid-Pleistocene[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 29(2): 131–137(in Chinese with English abstract).
- Wu Chuanyong. 2016. Late Quaternary Activity of The East-Northeastern Trending Faults in The Southwestern Tianshan and Their Role in The Tectonic Deformation of the Tianshan Mountains[D]. Beijing: Institute of Geology, China Earthquake Administrator, 1–122(in Chinese with English abstract).
- Wu Zhenhan, Hu Daogong, Wu Zhonghai, Liu Qisheng. 2006. Pressure ridges and their ages of the Xidatan strike-slip fault in South Kunlun Mts[J]. *Geological Review*, 52(1): 15–24(in Chinese with English abstract).
- Wu Zhenhan, Hu Daogong, Wu Zhonghai, Zhao Xitao, Wang Wei, Liu Qisheng, Ye Peisheng, Wang Lianjie, Peng Hua, Zhou Chunjing. 2005. Active Faults and Geological Hazards in the Middle Part of Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–141(in Chinese).
- Xu Zenglian, Li Jianguo, Zhu Qiang, Li Hongliang, Zeng Hui, Wei Jialin, Zhang Bo, Cao Minqiang, Hong Bo. 2021. Early Cretaceous spore and pollen assemblage from the Yixian Formation in the Qianjiadian Depression of Kailu Basin and its paleoclimate evolution[J]. *Geology in China*, 48(6): 1924–1934 (in Chinese with English abstract).
- Yang Bao, Shi Yafeng. 2003. Warm-humid climate in northwest China during the period of 40–30 ka B. P.: Geological records and origin[J]. *Quaternary Sciences*, 23(1): 60–68(in Chinese with English abstract).
- Yang Jingchun, Li Youli. 2001. The Principles of Geomorphology[M]. Beijing: Peking University Press, 47–58(in Chinese).
- Yao Tandong. 1999. Abrupt climate change in Qinghai-Tibet Plateau during the Last Glacial period: A comparative study of Guliya ice core and GRIP ice core in Greenland[J]. *Scientia Sinica(Terrae)*, 29(2): 175–184(in Chinese).
- Zhang Biao, Li Leyi, Liu Xiangdong, He Ningqiang, Du Biao, Song Yuanli, Chang Hong. 2016. Link between development of the northeast Pamir Plateau and climate changes in the Tarim Basin[J]. *Journal of Earth Environment*, 7(4): 346–356(in Chinese with English abstract).
- Zheng H, Wei X, Tada R, Clift P D, Wang B, Jourdan F, Wang P, He M. 2015. Late Oligocene-early Miocene birth of the Taklimakan Desert[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(25): 1–6.
- Zhang Ziya, Liu Dongdong, Zhu Bei, Guo Zhaojie. 2013. The Kinematic features and regional geological significances of the Late Cenozoic Ingan Fault, Northwestern Tarim Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 37(2): 184–193(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈杰, Heermance R V, Burbank D W, Scharer K M, 王昌盛. 2007. 中国西南天山西域砾岩的磁性地层年代与地质意义[J]. *第四纪研究*, 27(4): 576–587.
- 胡小飞, 潘保田, 高红山, 胡振波, 曹泊, 李清洋, 耿豪鹏. 2013. 祁连山东段全新世河流阶地发育及其与气候变化的关系研究[J]. *第四纪研究*, 33(4): 723–736.
- 姜文钦, 赵志刚, 王庆同, 代友旭. 2020. 新疆卡克地区上石炭统别根他乌组碳酸盐岩微相及古环境分析[J]. *西北地质*, 53(3): 66–75.
- 刘光锈, 沈永平, 王睿, 王苏民. 1995. 孢粉记录揭示的2万年以来若尔盖地区的气候变化[J]. *冰川冻土*, 17(2): 132–137.
- 秦大河, 冯兆东, 李吉均. 1984. 天山乌鲁木齐河源地区主玉木冰期以来冰川变化和发育环境的研究[J]. *冰川冻土*, 6(3): 51–62.
- 王宁, 刘卫国, 常宏, 安芷生. 2009. 中更新世以来新疆罗布泊地区气候演化过程[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 29(2): 131–137.
- 吴传勇. 2016. 西南天山北东东走向断裂的晚第四纪活动特征及在天山构造变形中的作用[D]. 北京: 中国地震局地质研究所, 1–122.
- 吴珍汉, 胡道功, 吴中海, 刘琦胜. 2006. 东昆仑南部西大滩断裂的地震鼓包及形成时代[J]. *地质评论*, 52(1): 15–24.
- 吴珍汉, 胡道功, 吴中海, 赵希涛, 王薇, 刘琦胜, 叶培盛, 王连捷, 彭华, 周春景. 2005. 青藏高原中段活动断层及诱发地质灾害[M]. 北京: 地质出版社, 1–385.
- 徐增连, 李建国, 朱强, 里宏亮, 曾辉, 魏佳林, 张博, 曹民强, 洪波. 2021. 开鲁盆地钱家店凹陷早白垩世义县组孢粉组合及其古气候演变[J]. *中国地质*, 48(6): 1924–1934.
- 杨保, 施雅风. 2003. 40–30 ka B.P. 中国西北地区暖湿气候的地质记录及成因探讨[J]. *第四纪研究*, 23(1): 60–68.
- 杨景春, 李有利. 2001. 地貌学原理[M]. 北京: 北京大学出版社, 47–58.
- 姚檀栋. 1999. 末次冰期青藏高原的气候突变: 古里雅冰芯与格陵兰 GRIP 冰芯对比研究[J]. *中国科学D辑:地球科学*, 29(2): 175–184.
- 张飏, 李乐意, 刘向东, 贺宁强, 杜彪, 宋院利, 常宏. 2016. 晚中新世以来帕米尔高原生长过程及其与塔里木盆地气候变化可能的联系[J]. *地球环境学报*, 7(4): 346–356.
- 张子亚, 刘冬冬, 朱贝, 郭召杰. 2013. 塔里木盆地西北缘晚新生代印干断层的运动学特征及其区域构造意义[J]. *大地构造与成矿学*, 37(2): 184–193.