



丝绸之路天山廊道中段晚全新世环境与古代文明协同演化

姚付龙, 苏展艺, 夏倩倩, 胡晓峰, 唐国乾

Coevolution of late Holocene environment and ancient civilization in the middle of the Tianshan Corridor of the Silk Road

YAO Fulong, SU Zhanyi, XIA Qianqian, HU Xiaofeng, and TANG Guoqian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16562/j.cnki.0256-1492.2023051901>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

全新世以来福建宁德地区环境演变及人类活动的孢粉记录

Palynological evidence for palaeoenvironmental change and human activity in Ningde of Fujian Province during Holocene

海洋地质与第四纪地质. 2021, 41(3): 170–181

中国西北地区中晚全新世火历史集成重建与气候演化

Integrated reconstruction of fire history and climatic changes in Northwest China since mid-late Holocene

海洋地质与第四纪地质. 2024, 44(1): 156–169

2.5 Ma以来中国陆地孢粉记录反映的古气候变化

Climate changes on Chinese continent since 2.5 Ma: Evidence from fossil pollen records

海洋地质与第四纪地质. 2020, 40(4): 175–191

福建琅岐岛表土孢粉与植硅体组合对农业活动的指示

Pollen and phytolith assemblages in topsoil as indicators of agricultural activities in Langqi Island, Fujian Province

海洋地质与第四纪地质. 2024, 44(1): 55–66

临汾盆地晚冰期至中全新世黄土-古土壤序列的风化特征及指示的气候意义

Characteristics of weathering of the loess-paleosol sequences in the Late Glacial Period to Middle Holocene in Linfen Basin and implication for climatic significance

海洋地质与第四纪地质. 2023, 43(2): 181–191

晋南地区全新世中期遗址时空分布与气候演化的关系

Relationship between temporal-spatial distribution of Mid-Holocene sites and climate evolution in southern Shanxi

海洋地质与第四纪地质. 2023, 43(3): 175–184



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

姚付龙, 苏展艺, 夏倩倩, 等. 丝绸之路天山廊道中段晚全新世环境与古代文明协同演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2024, 44(4): 180-189.
YAO Fulong, SU Zhanyi, XIA Qianqian, et al. Coevolution of late Holocene environment and ancient civilization in the middle of the Tianshan Corridor of the Silk Road[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2024, 44(4): 180-189.

丝绸之路天山廊道中段晚全新世环境与古代文明协同演化

姚付龙, 苏展艺, 夏倩倩, 胡晓峰, 唐国乾

伊犁师范大学资源与生态研究所/生物与地理科学学院, 新疆伊宁 835000

摘要: 天山廊道古环境变迁与古文明演进的耦合关系是丝绸之路人与自然生命共同体演化研究的重要问题之一。本文对巴音布鲁克湿地泥炭沉积剖面, 以花粉作为古气候代用指标, 结合花粉主成分分析结果、考古资料, 揭示了天山廊道中段晚全新世植被演替历史、环境变化和人类活动演化规律。结果表明: ① 青铜时期 (3877~2697 cal.aBP), 花粉组合以荒漠植被为主, PCA 轴1得分偏正, PCA 轴2得分偏负, 气候以冷干为主。人类活动集中于开都河、孔雀河流域。② 早期铁器时代至秦汉时期 (2697~1756 cal.aBP), 荒漠植被花粉含量下降, 桦木属 (*Betula*) 优势凸显, 禾本科 (*Poaceae*) 稳中有增, PCA 得分与青铜时期相反, 气候转变为暖湿。人工驯化类禾本科花粉频现, 早期种植业在沙漠边缘绿洲兴起, 人类活动中心向西移至轮台县一带。③ 三国两晋南北朝至隋唐五代十国时期 (1756~850 cal.aBP), 莎草科 (*Cyperaceae*)、禾本科、云杉属 (*Picea*) 花粉含量均增加并达到剖面峰值, 湿度变大, 进入冷湿期, 良好的自然条件使沙漠边缘发育了大片绿洲。人工驯化类禾本科花粉稳定增长, 农耕文明进一步发展, 为人类生产生活提供了稳定的物质资料, 人类活动中心转移至库车河、渭干河流域。

关键词: 花粉; 气候; 人类活动; 协同演化; 天山廊道

中图分类号: P534.63, P539

文献标识码: A

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2023051901

Coevolution of late Holocene environment and ancient civilization in the middle of the Tianshan Corridor of the Silk Road

YAO Fulong, SU Zhanyi, XIA Qianqian, HU Xiaofeng, TANG Guoqian

Institute of Resources and Ecology / College of Biological and Geographical Sciences, Yili Normal University, Yining 835000, China

Abstract: The relationship between paleoenvironment and ancient civilization evolution of the Tianshan Corridor is one of the important issues in the study of the community of life for human being and the nature of the Silk Road. Taking the peat sedimentary profile of the Bayanbulak basin as research material, using pollen as proxy index of paleoclimate, and combining the results of principal component analysis (PCA) and archaeological data, we revealed the vegetation succession history, environmental change, and human activity evolution in the middle of Tianshan Corridor during the late Holocene. Results show that: (1) during the Bronze Age (3877~2697 cal. aBP), the pollen was mainly composed of desert vegetation, with a positive score for PCA axis 1 and a negative score for PCA axis 2. The climate was characterized by cold and dry conditions. Human activities were concentrated in Kaidu and Kongque River basin. (2) From the early Iron Age to the Qin-Han Dynasties (2697~1756 cal. aBP), the pollen of desert vegetation decreased, *Betula* had a significant advantage, and the members of Family Poaceae increased. The PCA score was opposite to that of the Bronze Age, and the climate changed to warm and humid. Pollens of human-domesticated Poaceae species had occurred frequently, early cultivation emerged in desert edge oasis, and human activity centers moved westward to the area of Luntai County. (3) From the Three Kingdoms to Tang Dynasty (1756~850 cal. aBP), the percentage of the Cyperaceae, Poaceae, and *Picea* increased and reached the peak on the profile. The humidity increased and entered a cold-humid period. Good natural conditions favored the development of large oases at the edge of desert. The percentage of human planted crops had increased, and agricultural civilization further developed, providing stable material resources for human production and life. The focus of human activities had shifted to the Kuche River and Weigan River basins.

Key words: pollen; climate; human activity; coevolution; Tianshan Corridor

资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金“基于环境因素的史前新疆丝绸之路人与自然生命共同体形成演化机制”(2022D01C457); 伊犁师范大学高级别培育项目 (YSPY2022010); 国家自然科学基金“基于高分辨率泥炭记录的天山北坡全新世植被及其对气候变化的响应”(41961013); 伊犁哈萨克自治州科技计划项目 (YJC2023A05)

作者简介: 姚付龙 (1982—), 男, 副教授, 主要从事古地理、古气候、古生态方面的研究, E-mail: njuwolf@foxmail.com

收稿日期: 2023-05-19; **改回日期:** 2023-08-09. 文凤英编辑

丝绸之路是地理大发现前就已横贯亚欧大陆的商贸和文明传播大动脉,被视为东西方文化传播的纽带^[1],入选“世界遗产名录”的天山廊道在丝绸之路中具有举足轻重的地位,蕴含着无限的物质和精神财富,其贯通已2000余年,沿线人类活动的历史可追溯至青铜时代,甚至石器时代晚期^[2]。地理学关注天山廊道人与自然生命共同体的形成演化过程,天山两坡气候干旱、生态系统脆弱,数千年前的先民究竟生存于怎样的环境中?古文明演进与环境变迁之间呈何种关系?

新疆丝绸之路地处西风环流和东亚季风环流系统的过渡地带,两气候系统间此消彼长的动力过程使该区域古气候演变十分复杂。天山两坡的湖泊沉积是记录古气候演变过程的重要地质载体,博斯腾湖、巴里坤湖、赛里木湖、艾比湖等成为研究的热点区域。近年来,风成沉积物、古土壤、洞穴沉积物也被应用到研究中来^[3-4],学者们以孢粉、粒度、元素地球化学、烧失量等作为古气候代用指标已获得了重要进展^[5],但学术界对该区全新世以来的气候演变过程、水热组合方式等问题的认识仍存在分歧^[4]。而上述问题恰是探讨天山廊道历史时期人与自然生命共同体构建的关键,是破解人地关系问题的基础,继续报道更多高质量的环境演变序列对深入认识这些问题有重要意义。

新疆环境演变与人类活动两者间还没有建立有机联系,“两张皮”的现状亟待破解,天山廊道区位优势独特,随考古发掘材料日积月累,考古学文化的内涵、分区和谱系日渐明晰^[2],史前人类与自然生命共同体构建研究的时机已然成熟^[6]。本研究以天山南坡尤尔都斯盆地巴音布鲁克湿地泥炭沉积剖面为研究材料,以花粉为古气候代用指标,建立天山廊道中段晚全新世以来气候演变序列,结合考古数据,探讨古环境演变与人类活动的耦合关系,以期为天山两坡古环境演变研究提供新素材,为丝绸之路天山廊道人与自然生命共同体构建提供历史借鉴。

1 研究区概况

1.1 自然环境概况

天山西起乌兹别克斯坦克兹尔库姆沙漠,东至中国新疆星星峡戈壁,东西延绵2500 km,南北宽250~350 km,帕米尔高原以北可达800 km,震旦纪到二叠纪末,古天山孕育及褶皱隆起,三叠纪初到

古近纪末,山地经剥蚀夷平作用成为准平原,新近纪到第四纪,在内外营力共同作用下形成现代天山山体^[5]。中国境内部分称为“东天山”,山体由山地、山间盆地和谷地及山前平原组成,长1700 km左右,占新疆面积的34.5%^[7]。研究区河川径流以冰雪融水、地下水补给为主,开都河、渭干河夏季径流占全年径流量约50.0%^[8]。采样点尤尔都斯盆地年均温-4.7℃,1月平均气温-26.4℃,最低-48.1℃,7月平均气温7.2℃,最高28.1℃,年降水量284 mm^[9]。

天山廊道沿线气候干旱,物种多样性低,生态系统脆弱,但山区现代植被依然具带状分布特点,根据相关资料^[7],结合野外考察结果,综述如下:

天山南坡雪岭云杉林(*Picea schrenkiana*)呈斑点状镶嵌于亚高山带个别阴湿山谷中。草原植被极发育,以沙生针茅(*Stipa glareosa*)、短花针茅(*S. breviflora*)、长芒针茅(*S. breviflora*)和扁穗冰草(*Agropyrum cristatum*)为建群种,它们在中山带与多种蒿(*Artemisia frigida*、*A. kaschgaria*)构成干草原。荒漠植被以亚洲中部成分为主,膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、合头草(*Sympegma regelii*)、戈壁藜(*Iljinia regelii*)、圆叶盐爪爪(*Kalidium schrenkianum*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)等广泛分布。

尤尔都斯盆地是天山南坡的高位山间盆地,河滩发育由褐黄鳞藓草(*Carex vesicata*)、尖苞藓草(*C. microglochin*)、大看麦娘(*Alopecurus pratensis*)、发草(*Deschampsia cespitosa*)等组成的沼泽草甸植被。地势开阔的冲积洪积扇上,寒生草原发达,主要为座花针茅(*Stipa subsessiliflora*)、紫花针茅(*S. purpurea*)等组成的各个群系。海拔2300~2600 m的盆地底部为针茅(*Stipa capillata*)草原,海拔2600~2800 m为狐茅(*Festuca kryloviana*、*F. sulcata*)草原,海拔2900~3400 m的高山带为以嵩草(*Cobresia capilliformis*、*C. pamiroalaica*)为优势种的荒漠草原。

1.2 古代人类活动概况

研究区人类活动历史可追溯至青铜时代,早期人类活动集中于河流尾间湖泊边缘,小河墓地、古墓沟墓地、铁板河墓地、罗布泊地区最早的古人类活动遗址,新塔拉类型遗存是博斯腾湖流域古人类活动早期代表,年代晚于罗布泊地区,它们共同构成了研究区青铜时代人类遗存。研究区早期铁器时代以察吾呼文化影响最大,大型文化遗址10余处^[2],至汉唐时期成为天山廊道人类活动最密集的区域之一^[10]。

2 材料与方法

采样点(42°26'N、84°43'E')位于盆地出口河漫滩(图 1a), 命名为巴音布鲁克剖面, 根据岩芯物质组成及颜色变化, 将其分为 4 层, 各层岩性特征描述如下: 152~122 cm 为黑褐色泥炭, 夹杂有细砂; 122~60 cm 为灰黑色淤泥, 有机质含量高, 水分大; 60~35 cm 为棕色泥炭; 35 cm 以上为灰色淤泥, 现代植物根系含量高。因此, 选择 152~35 cm 部分为研究材料(图 2)。

根据地层岩性变化(图 2), 在黑褐色泥炭层和棕色泥炭层的顶部与底部各筛选 1 个样品送北京大学考古文博学院考古与文物保护实验室进行 AMS¹⁴C 年代测试, 地层中未发现合适的陆生植物残体, 故而选用全有机质作为测年材料。年代测试

结果使用 Calib 7.0.2 程序校正。

花粉提取采用酸碱法^[21], 鉴定时以公开出版的图版^[22-24]、实验室样片等作为参考, 400 倍蔡司光学显微镜下, 每个样品自 4~6 个载玻片中至少鉴定出 300 粒陆生植物花粉。陆生植物花粉含量以陆生植物花粉数量为基数计算, 湿生/水生植物花粉含量以全部花粉数量为基数。花粉图谱在 Tilia 软件中绘制, 使用其自带的 Coniss 程序进行聚类分析, 此结果作为划分花粉组合带的重要依据。降趋势对应分析第 1 轴的长度为 1.193(<2.0), 表明花粉组合与环境之间呈线性关系, 选择至少 5 个样品中含量大于 2.0% 的花粉类型在 Canoco 4.5 软件中进行主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)排序。

人类活动遗址数据来源于文物地图集^[10]等各类资料, 筛选整理天山廊道中段材料, 集成得到本研究数据。

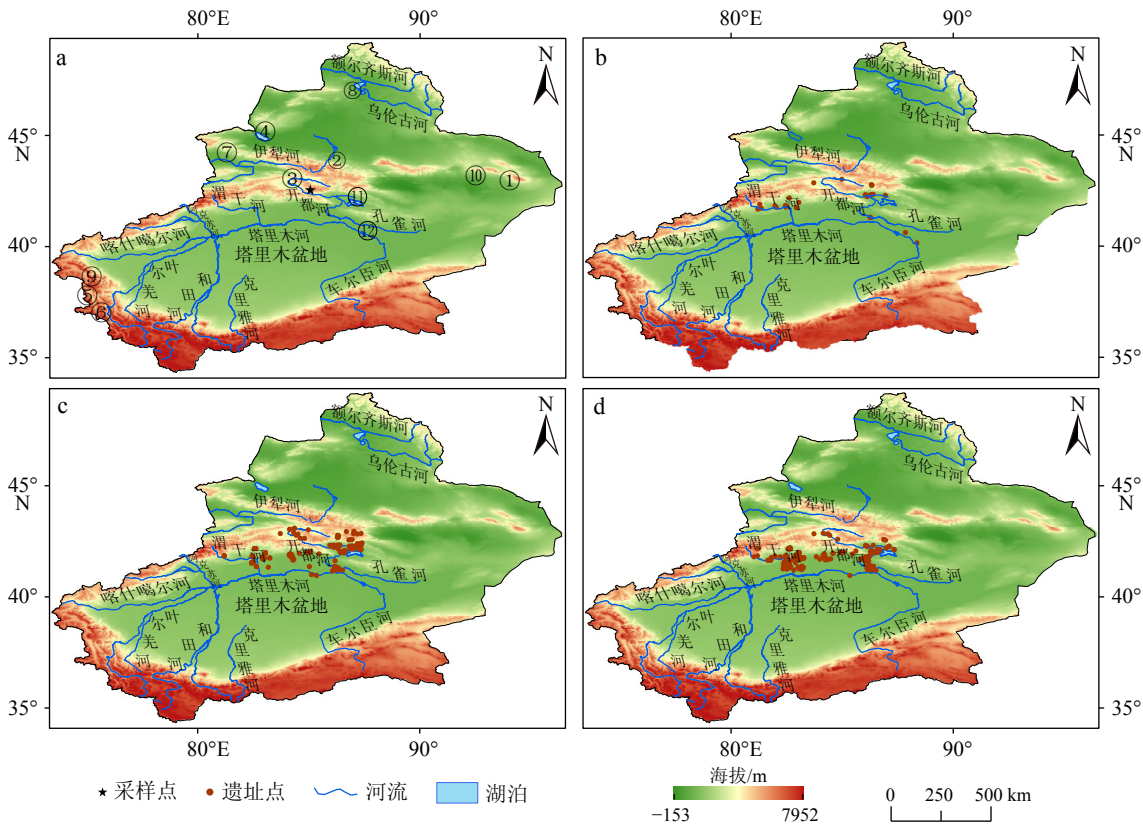


图 1 丝绸之路天山廊道采样点及不同时期遗址点分布位置示意图

a: ①托勒库勒湖^[11], ②草滩湖^[12], ③天鹅湖^[9], ④艾比湖^[13], ⑤卡拉库里湖^[14], ⑥塔合曼湿地^[15], ⑦赛里木湖^[4], ⑧乌伦古湖^[16], ⑨乌帕尔^[17], ⑩巴里坤湖^[18], ⑪博斯腾湖^[19], ⑫孔雀河^[20]; b: 青铜时期研究区遗址点分布图; c: 早期铁器时代至秦汉时期研究区遗址点分布图; d: 三国至隋唐时期研究区遗址点分布图。

Fig.1 The sampling location and sites distribution in different periods in the middle of the Tianshan Corridor of the Silk Road

a: ① Tuolekule Lake^[11], ② Caotan Lake^[12], ③ Swan Lake^[9], ④ Ebinur Lake^[13], ⑤ Kala-kule Lake^[14], ⑥ Taheman wetland^[15], ⑦ Sayram^[4], ⑧ Wulungu Lake^[16], ⑨ Wupaer^[17], ⑩ Balikun Lake^[18], ⑪ Bosten Lake^[19], ⑫ Kongque River^[20]; b: the archaeological sites of the Bronze Age in study area; c: the archaeological sites from the Early Iron Age to the Han Dynasties in study area; d: the archaeological sites from the Three Kingdoms to the Tang Dynasties in study area.

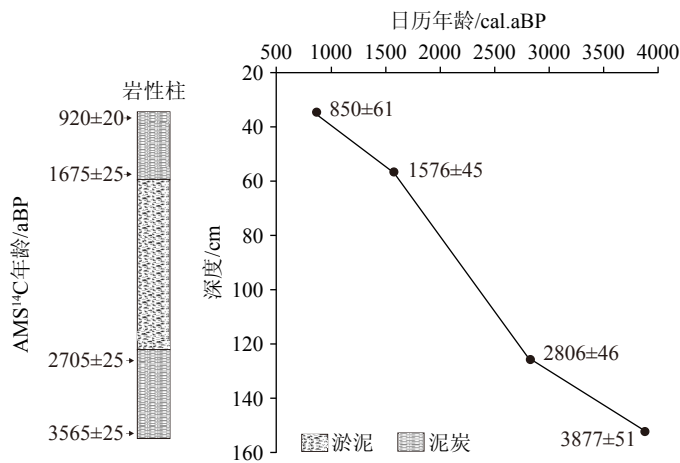


图 2 巴音布鲁克剖面岩性及年代-深度关系图

Fig.2 Lithology, AMS¹⁴C, and calibrated ages versus the depth in the Bayanbulak section

3 结果

3.1 年代测试结果

年代测试结果如表 1 所示, 年代与深度关系如图 2 所示。剖面底部校正后日历年龄为 3877±51 cal.aBP, 顶部为 850±61 cal.aBP。不同层位沉积速率存在差异, 假定两个相邻测年样品间沉积速率恒定, 153~126、126~58、58~35 cm 深度的 3 个层位的沉积速率分别为 0.25、0.55、0.31 mm/a。

3.2 花粉鉴定结果

巴音布鲁克剖面 118 个样品共鉴定花粉 53266 粒, 陆生植物花粉 36037 粒, 湿生/水生植物花粉 17229 粒, 平均每个样品 451 粒, 涵盖 64 个科/属类型。乔、灌木花粉 6902 粒 21 个科/属类型, 含量为 19.2%, 以桦木属 (*Betula*)、云杉属 (*Picea*)、麻黄属 (*Ephedra*) 为主, 含量分别为 5.1%、4.5%、2.2%。陆生草本植物花粉 29135 粒 39 个科/属类型, 含量为

80.8%, 藜科 (*Chenopodiaceae*)、蒿属 (*Artemisia*)、禾本科 (*Poaceae*) 位列前三, 含量分别为 28.7%、26.7%、16.2%。湿生/水生植物花粉 17229 粒 4 个科/属类型, 含量为 32.3%, 莎草科 (*Cyperaceae*) 具有绝对优势, 含量高达 29.8%。

根据巴音布鲁克剖面花粉组合变化情况, 参考花粉聚类分析结果, 其图谱自下而上可划分为 3 个组合带 (图 3), 各层位花粉鉴定结果按地层由老到新的序列描述如下:

带 I (152~119 cm, 3877~2697 cal.aBP), 乔、灌木花粉含量 11.9%, 麻黄属 (5.1%) 除外, 其他类型的花粉最高含量不超过 1.5%, 零星出现于地层样品中。陆生草本植物花粉含量 88.1%, 藜科高达 42.4%, 蒿属紧随其后, 为 29.6%, 禾本科以 10.3% 的含量居第三, 菊科紫菀型 (*Aster type*)、蒲公英型 (*Taraxacum type*) 常见。剖面中湿生/水生植物花粉含量最低值仅为 22.5%, 莎草科优势明显, 为 20.3%。

带 II (119~67 cm, 2697~1756 cal.aBP), 乔、灌木花粉含量升至 22.2%, 花粉组合随之变化, 桦木属、云杉属、绣线菊属 (*Spiraea*)、蔷薇科 (*Rosaceae*) 均有不同程度增加, 分别为 8.9%、3.4%、2.8%、1.9%, 桦木属优势明显、增幅大, 麻黄属含量降至 1.2%。陆生草本植物花粉含量降至 77.8%, 藜科仅 24.9%, 降幅达 17.5%, 蒿属 (29.1%) 维持带 I 的含量, 禾本科增至 14.9%, 人工驯化类禾本科 (*Poaceae* (>37 μm)) 开始在该层位出现, 平均含量不高, 但实现了一定程度的突破, 个别样品中数量可观。湿生/水生植物花粉含量增加, 达到 31.4%, 莎草科含量为 29.1%。

带 III (67~35 cm, 1756~850 cal.aBP), 乔、灌木花粉含量为 21.9%, 云杉属最高, 达到 10.2%, 桦木属降至 3.2%, 含量降低的还有绣线菊属, 不足 1.0%。

表 1 巴音布鲁克剖面年代测试结果			
Table 1 AMS ¹⁴ C dates and calibrated age in the Bayanbulak section			
编号	深度/cm	¹⁴ C 年龄/ aBP	日历年龄/ cal.aBP
BA193057	35~36	920±20	850±61
BA212558	57~58	1675±25	1576±45
BA212559	125~126	2705±25	2806±46
BA212567	152~153	3565±25	3877±51

注: 测年材料为全有机质。

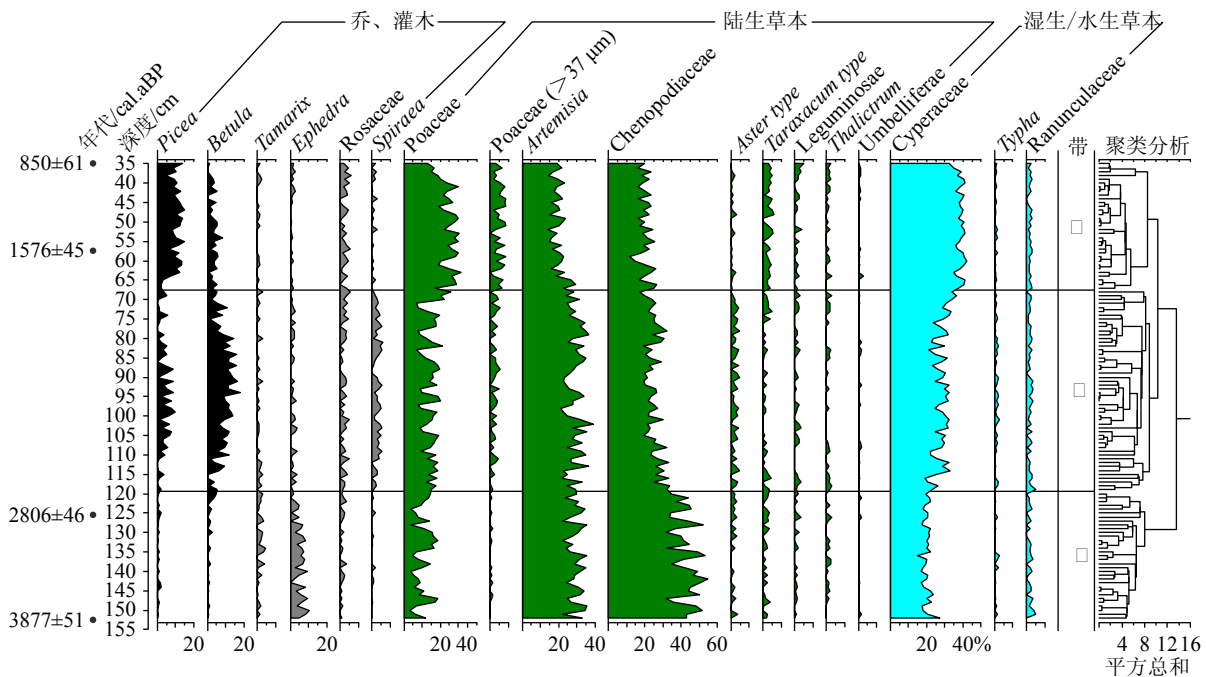


图3 巴音布鲁克剖面花粉百分比图谱及聚类分析

Fig.3 Profile of pollen distribution and cluster analysis of the Bayanbulak section

陆生草本植物花粉含量为 78.1%, 藜科、蒿属分别为 20.3%、19.9%, 下降了 4.6%、9.2%, 与之有着相反变化趋势的是禾本科, 增至 24.3%, 增幅达 9.4%, 人工驯化类禾本科含量进一步增加, 为 4.9%。湿生/水生植物花粉含量达到峰值 41.2%, 主要为莎草科含量 (38.8%) 增加所致。

3.3 花粉主成分分析结果

主成分分析前 4 轴的特征值分别为 0.758、0.100、0.045、0.031, 累积解释量为 93.4%, 前 2 轴累积解释量为 85.8%。轴 1 将早生的蒿属、藜科、麻黄属、柽柳属 (*Tamarix*) 与需水量大的莎草科、云杉属、禾本科分开, 推测该轴花粉组合指示湿度变化, 正轴湿度小, 负轴湿度大。轴 2 将喜暖的桦木属、绣线菊属与耐寒的莎草科、蒲公英属、禾本科分开, 该轴花粉组合可能反映温度高低, 正轴温度高, 负轴温度低 (图 4)。

4 讨论

巴音布鲁克剖面地层花粉谱中莎草科、藜科、蒿属、禾本科、云杉属、桦木属、麻黄属含量高、变幅大, 本研究主要以上述花粉类型组合作为探讨气候变化的依据, 结合古人类活动数据, 揭示气候变化与人类活动耦合关系。

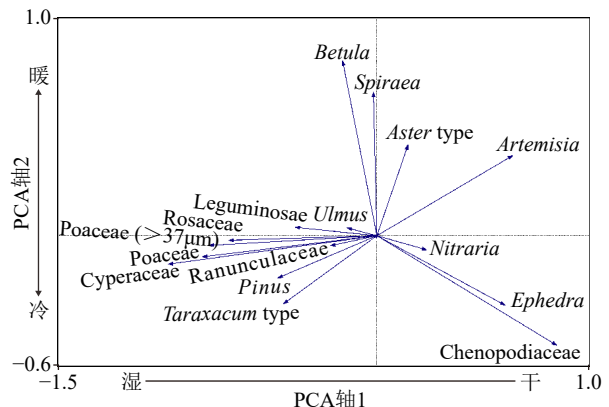


图4 巴音布鲁克剖面花粉主成分分析

Fig.4 Principal component analysis (PCA) of the fossil pollen from the Bayanbulak section

4.1 各时期气候特点及区域对比

带 I (152~119 cm, 3877~2697 cal. aBP), 乔、灌木花粉种类少, 含量低, 仅麻黄属具统计学意义, 陆生草本植物花粉含量则不然, 藜科、蒿属含量颇丰。PCA 轴 1 得分偏正, PCA 轴 2 得分偏负 (图 5a、i)。麻黄属、藜科、蒿属皆为典型 (超) 旱生植被, 尤其是麻黄属, 可适于更严酷复杂的生境, 轮台、焉耆盆地及周围区域广泛分布由膜果麻黄与超旱生灌木琵琶柴 (*Reaumuria songonica*)、合头草、泡泡刺 (*Nitraria sphaerocarpa*) 等形成的荒漠群落^[9]。综合

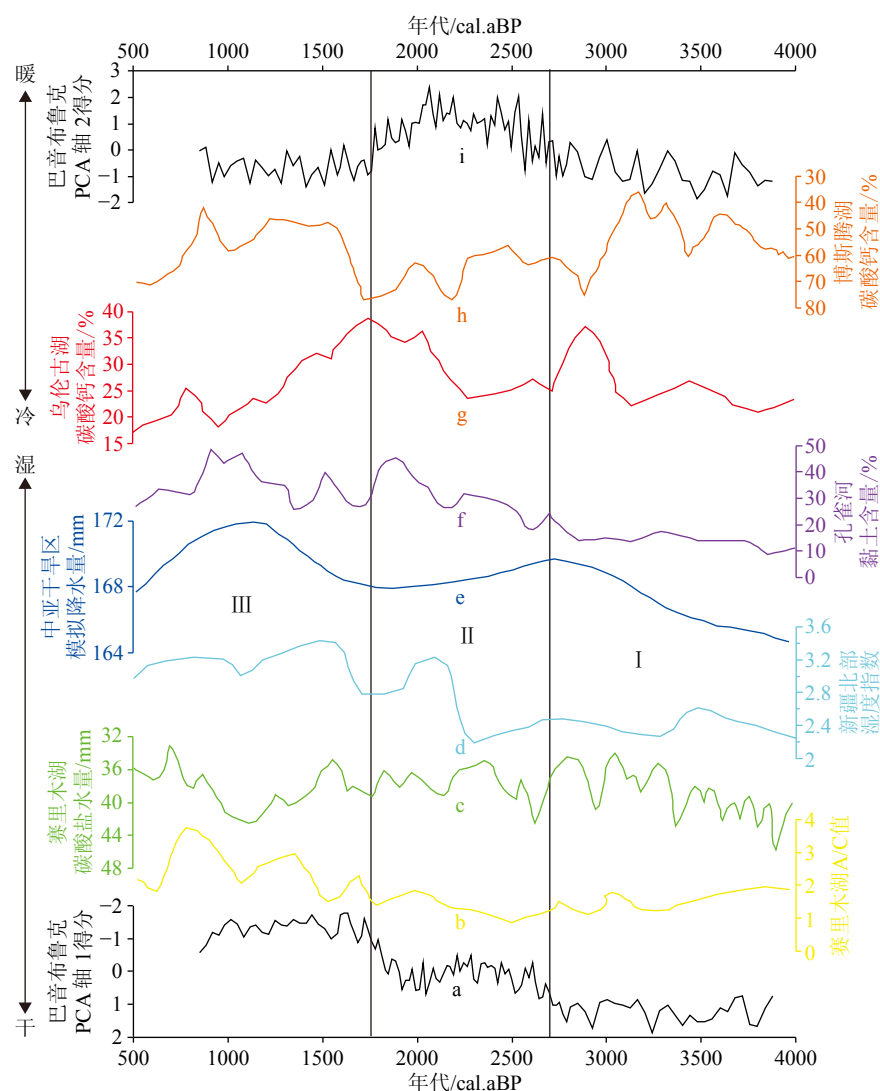


图 5 巴音布鲁克剖面气候演变序列及其与大区域古气候记录对比

a: 巴音布鲁克 PCA 轴 1 (本文), b: 赛里木湖 A/C 值^[27], c: 赛里木湖碳酸盐含量^[4], d: 新疆北部湿度指数^[26], e: 中亚干旱区模拟降水量^[28], f: 孔雀河黏土含量^[20], g: 乌伦古湖碳酸盐含量^[16], h: 博斯腾湖碳酸盐含量^[19], i: 巴音布鲁克 PCA 轴 2 (本文)。

Fig.5 The climate evolution sequence of the Bayanbulak section and their comparison with other regional paleoclimate records

a: PCA axis 1 of the Bayanbulak section (this study), b: the *Artemisia*/*Chenopodiaceae* ratios of the Sayram Lake^[27], c: the carbonate content of Sayram Lake^[4], d: moisture index of the northern Xinjiang^[26], e: precipitation changes in arid central Asia^[28], f: clay content in the Kongque River^[20], g: the carbonate content of the Wulungu Lake^[16], h: the carbonate content of the Bosten Lake^[19], i: PCA axis 2 of the Bayanbulak section (this study).

花粉组合生态指示意义及主成分分析结果, 该时段气候以冷干为主。下游博斯腾湖碳酸钙含量、孔雀河流域黏土含量对此有积极响应(图 5f、h), 基于此气候环境背景, 研究区古人类以游牧/畜牧为主要生存方式, 罗布泊先民日常饮食习惯中保持着较大比例肉食类食物摄入, 小麦、黍、粟等培育的粮食作物比例较低^[25]。4.2 ka 事件在天山东部托勒库勒湖花粉谱中有显著记录, 植被由草原演替为荒漠^[11], 草滩湖、天鹅湖也捕捉到这一信息, 禾本科、蒿属、桦木属含量明显下降, 之后湿度缓慢恢复^[9, 12], 新疆北部及中亚地区此时温度、湿度均处于晚全新世以

来较低的时段^[26-28]。巴音布鲁克剖面该层位处的后 4.2 ka 事件时期, 温度、湿度逐渐恢复。艾比湖湿地此时是以藜科、蒿属为主的荒漠景观, 湿度低^[13]。帕米尔高原卡拉库里湖沉积物揭示该时段存在周期性低温^[14], 同区域塔合曼湿地泥炭记录的温度特征亦是如此^[15]。天山两坡沉积剖面的代用指标记录了该区冷干气候突变事件后的恢复期仍以冷干为特征(图 5c-e)。东亚季风区中北部多个湖泊沉积物的花粉都记录了较一致的特征, 普遍经历了一次干旱化过程, 此时北半球太阳辐射逐渐减弱, 特别是西太平洋温度下降, 东亚夏季风被削弱, 降水随

之减少,气候变干^[29]。然而,西风环流控制下的地中海东部、黑海、里海一线暖湿植被类型花粉含量居高不下,气候湿度大^[30]。研究区该时段较好地响应了天山两坡地区及东亚季风区气候变化。

带Ⅱ(119~67 cm, 2697~1756 cal.aBP), 陆生植物花粉麻黄属减少, 桦木属、云杉属优势渐显, 绣线菊属、蔷薇科变化趋势与之类似, 其他类型花粉含量不突出。PCA轴1、PCA轴2得分与带Ⅰ相反。桦木属为阔叶乔木, 指示相对温暖的环境, 气温升高, 桦木林扩大, 绣线菊属为喜温湿气候的灌木, 其含量增加表明气候暖湿化^[27]。花粉组合指示天山廊道中段气候转向暖湿。该层位湿生/水生植物花粉含量增加, 岩性柱湿度大, 下游博斯腾湖盘星藻指示湖泊水位深^[31], 碳酸钙含量明显增加(图5h), 推测巴音布鲁克盆地相对温暖湿润, 同样处于河湖不分、水位最高的状态, 形成湖沼相沉积物。暖湿气候促使天山廊道中段广泛分布的察吾呼文化向农牧社会过渡, 遗址出土陶器内残存的食物表明, 先民们此时已开始以山前绿洲或草原为生存基地, 在居住地附近适宜农耕地带种植大麦、小麦、粟等农作物, 至秦汉时期种植农业所占比例进一步增加, 农牧相结合的社会经济结构与天山南麓此时的自然环境特征是一致的^[2]。天山两坡迎来温度、湿度相对适宜期, 赛里木湖^[4]、乌伦古湖流域(图5g)陆源物质随径流入湖, 沉积物中TOC、TN、碳酸盐含量增加^[16], 气候条件改善。草滩湖呈现湿地景观, 芦苇、香蒲、黑三棱等挺水植物花粉具高含量^[12]。天鹅湖周围发育了大面积的高山草甸^[9]。综合各地貌单元古气候代用指标模拟后发现, 中亚干旱区湿度快速增加, 可能与北大西洋、欧洲地区温度下降导致西风环流南移并增强有关^[20, 29], 此现象导致地中海、黑海、里海、天山等地降水增加。研究区此阶段气候变化过程与东亚季风区相悖, 我国东部季风区降水存在时空差异, 北方地区温度缓慢增加^[32], 夏季降水增多, 南方地区则偏少, 可能源于轨道强迫下的南亚夏季风-东北夏季风遥相关, 造成了东亚季风区南北两侧气压异常的反相变化^[33]。青藏高原东北边缘气候与东部季风区较一致, 高原内部基本为南北向梯度变化^[29]。天山廊道沿线响应了西风环流系统控制下的中亚干旱区气候变化, 湿度大。

带Ⅲ(67~35 cm, 1756~850 cal.aBP), 蒿属、藜科含量明显下降。云杉属持续增加, 成为乔、灌木中含量最高的类型, 禾本科稳定增加, 湿生/水生植物花粉亦是如此, 莎草科增幅显著。PCA轴1得分维持负值, PCA轴2得分转负。云杉属为针叶乔

木, 天山北坡分布于降水最丰富的中山带, 南坡因湿度低而呈斑点状分布于部分山谷中^[34]。天山两坡禾本科多为中旱生类型, 耐寒, 莎草科系高寒草甸的重要物种, 尤尔都斯盆地尤为发育, 指示湿生/水生环境^[9]。花粉组合特征表明此时气温降低, 湿度加大, 气候冷湿。湿润的气候带来了农牧业大发展, 经历代中央政府经略, 研究区成为天山两坡人类活动中心区之一。塔里木盆地西部乌帕尔地区花粉浓度明显增加, 藜科花粉含量下降, 环境湿化趋势得到延续^[17], 天山南坡山区大龙池剖面高分辨率乔木花粉含量记录的气候变化出现了较明显波动^[35]。巴里坤湖花粉种类丰富, 莎草科含量达到峰值, 蒿属花粉骤增, 蒿属/藜科值迅速增加^[18]。赛里木湖花粉、地球化学指标揭示湿度在波动中增加(图5b、c)。2000 aBP以来的气候演变之所以成为学术研究的热点, 文字与自然记录并存是重要原因之一, 根据历史文献记载、树轮、石笋、冰芯及湖泊沉积等记录集成重建的温度变化、旱涝等级序列表明, 中国东部多地捕捉到“中世纪暖期”的信息, 冷暖振动频繁, 总体偏凉, 寒冷时段的旱涝格局自东向西带状分布, 西干东湿^[36], 温度则存在周期性波动, 以冷为主, 同时存在“中世纪暖期”的记录^[37]。此阶段新疆的湿度达到晚全新世以来峰值(图5d), 其气候特征与中亚地区记录相吻合(图5e), 表明这些区域具有相似的变化模式。

4.2 气候变化与人类活动耦合关系探讨

天山两坡考古学文化空间分布与气候环境关系密切, 同一地貌单元的文化面貌间存在较多的一致性, 文化形成和发展对气候环境依赖性强, 史前时期小而分散的城郭就是新疆地区特殊气候景观的产物, 气候环境适宜或恶化都会间接或直接造成文化的扩散^[38]。

天山廊道巴音布鲁克剖面地层绝对年龄为3877~850 cal.aBP, 各层位与人类历史时期吻合较好, 152~119 cm(3877~2697 cal.aBP)、119~67 cm(2697~1756 cal.aBP)、67~35 cm(1756~850 cal.aBP)分别对应青铜时代、早期铁器时代至秦汉时期、三国两晋南北朝至隋唐五代十国时期。

天山廊道中段最早的人类活动始于青铜时代, 沿线共发现36处遗址(表2), 主要分布于开都河、孔雀河流域(图1b), 先后经历了小河文化、哈拉墩早期遗存新塔拉类型两个古文化序列^[2]。小河文化时期孔雀河源头博斯腾湖处于高水位时期^[20], 丰富的水源为古人类生存创造了基本条件, 尽管气候较

表 2 天山廊道中段不同时期人类活动遗址数量					
Table 2 Number of human activity sites in different periods in the middle section of the Tianshan Corridor					
	青铜时代	早期铁器时代	秦汉	三国两晋南北朝	隋唐五代十国
塔里木盆地东北缘 ^①	26	19	74	16	50
塔里木盆地北缘 ^②	10	10	47	54	105

注: ①包括库尔勒市、焉耆回族自治县、和静县、和硕县、博湖县、尉犁县、罗布泊地区, ②包括轮台县、库车县、拜城县、新和县、沙雅县。

为冷干,但开都河依然有充足冰雪融水补给下游河流和湖泊,小河墓地、古墓沟墓地即为典型代表,两地均为沙漠中河流尾间湖泊区。博斯腾湖周围绿洲最典型的为哈拉墩早期遗存新塔拉类型^[39]。

早期铁器时代至秦汉时期天山廊道中段由冷转暖,由干变湿,生态环境向好,表征人类活动强弱的禾本科含量初据统计意义,驯化物种开始种植^[40],人类活动遗址数量和范围都明显增加,特别是秦汉时期。塔里木盆地东北缘人类活动集中于焉耆盆地绿洲、博斯腾湖流域,孔雀河流域几近消失(图 1c),2800 cal.aBP 后博斯腾湖处低水位时期^[41],出湖水量不足,孔雀河流域不再适合人类生存。气候暖湿化最直接的影响是出山口径流增加,塔里木盆地北缘形成更多绿洲,人类活动中心转移至此。另外,政治因素对人类活动也起到了一定影响,西汉统一西域前,天山与昆仑山之间的山谷和绿洲中分布着数个大小不一的聚落,汉王朝经略该区后,在轮台设立“西域都护府”,并向该区域委派官员、册封地方首领及驻兵屯田,这些措施一定程度上也增大了该区人类活动的强度。

三国两晋南北朝至隋唐五代十国时期天山廊道中段温度低于前期,蒸发减小,湿度增加,孕育了更多适于人类生存的山前绿洲,人工驯化类禾本科花粉含量持续增加,提供了更加丰富的生产生活资料,人口承载力提高,人类活动中心向塔里木盆地北缘转移,库车河流域、渭干河流域成为新的人类活动中心,塔里木盆地北缘强度减弱(图 1d)。良好的自然条件是古人类活动加强的基础^[42-43],在此期间历朝历代政府对塔里木盆地北缘的管辖同样产生了深远影响,唐朝时在今库车设置“安西都护府”,以此为中心,向周围辐射,设立了众多的驿馆、烽燧,确保东西方交流通道畅通。另外,唐朝在西域的屯田规模进一步扩大,这些措施所产生的人类活动集聚效应不可忽视。

5 结论

(1)天山廊道中段晚全新世气候演化经历了

3 个阶段:3877~2697 cal.aBP 期间,乔、灌木花粉种类少,麻黄属相对丰富,陆生草本植物中藜科、蒿属含量高且稳定,气候以冷干为特征,主成分分析进一步证实了该认识。2697~1756 cal.aBP 期间,桦木属和云杉属含量增加,麻黄属、藜科下降,水热组合方式转变为暖湿。1756~850 cal.aBP 期间,云杉属含量持续增加,禾本科、莎草科达到剖面峰值,蒿属、藜科不同程度下降,主成分分析得分等表明气候以冷湿为特征。

(2)天山廊道中段人类活动变迁与气候环境变化具有显著相关性。青铜时代处于后 4.2 ka 事件时期,气候在冷干中恢复,人类活动集中于博斯腾湖流域及孔雀河尾间区的绿洲中。早期铁器时代至秦汉时期气候已转变为暖湿,人类活动中心西移。三国两晋南北朝至隋唐五代十国时期的冷湿气候孕育了更多绿洲,人类活动中心继续向西转移至库车河流域、渭干河流域。湿润气候为人类在此区域的生产生活提供了物质基础,各时代中央政府的经略政策对该区人地关系也产生了一定集聚效应。

参考文献 (References)

[1] Tan L C, Dong G H, An Z S, et al. Megadrought and cultural exchange along the proto-silk road[J]. *Science Bulletin*, 2021, 66(6): 603-611.

[2] 郭物. 新疆史前晚期社会的考古学研究 [M]. 上海: 上海古籍出版社, 2012: 419-431. [GUO Wu. Archaeological Research on the Societies of the Late Prehistoric Xinjiang[M]. Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 2012: 419-431.]

[3] Yao F L, Ma C M, Zhu C, et al. Holocene climate change in the western part of Taihu Lake region, East China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2017, 485: 963-973.

[4] Lan J H, Zhang J, Cheng P, et al. Late Holocene hydroclimatic variation in central Asia and its response to mid-latitude Westerlies and solar irradiance[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2020, 238: 106330.

[5] 姚付龙, 朱诚, 夏倩倩, 等. 高分辨率泥炭孢粉记录的天山北坡 2400 cal. a BP 以来植被演替及其对气候变化的响应 [J]. 地层学杂志, 2020, 44(1): 104-112. [YAO Fulong, ZHU Cheng, XIA Qianqian, et al. Vegetation succession and its response to climate changes since 2400 cal yr B. P. by pollen record from a high resolution peat profile in

- the northern slope of Tianshan, China[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2020, 44(1): 104-112.]
- [6] 安成邦, 王伟, 刘依, 等. 新疆全新世环境变迁与史前文化交流 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2020, 50(5): 677-687. [AN Chengbang, WANG Wei, LIU Yi, et al. The Holocene environmental change in Xinjiang and its impact on prehistoric cultural exchange[J]. *Scientia Sinica Terrae*, 2020, 50(5): 677-687.]
- [7] 熊嘉武. 新疆天山东部山地综合科学考察 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2015: 86-94. [XIONG Jiawu. Comprehensive Scientific Investigation of the Eastern Tianshan Mountains in Xinjiang[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2015: 86-94.]
- [8] 陈曦. 中国干旱区自然地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 163-170. [CHEN Xi. Physical Geography of Arid Land in China[M]. Beijing: Science Press, 2010: 163-170.]
- [9] Huang X Z, Chen C Z, Jia W N, et al. Vegetation and climate history reconstructed from an alpine lake in central Tianshan Mountains since 8.5 kaBP[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2015, 432: 36-48.
- [10] 国家文物局. 中国文物地图集·新疆维吾尔自治区分册 [M]. 北京: 文物出版社, 2012: 142-172. [State Administration Cultural Heritage. An Atlas of Chinese culture relics in Xinjiang Province[M]. Beijing: Cultural Relics Press, 2012:142-172.]
- [11] 陶士臣, 安成邦, 陈发虎, 等. 新疆托勒库勒湖孢粉记录的 4.2 kaBP 气候事件 [J]. *古生物学报*, 2013, 52(2): 234-242. [TAO Shichen, AN Chengbang, CHEN Fahu, et al. An abrupt climatic event around 4.2 cal. kaBP documented by fossil pollen of Tuolekule lake in the eastern Xinjiang Uyghur autonomous region[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2013, 52(2): 234-242.]
- [12] Zhang Y, Kong Z C, Ni J, et al. Late Holocene palaeoenvironment change in central Tianshan of Xinjiang, northwest China[J]. *Grana*, 2007, 46(3): 197-213.
- [13] 延琪瑶, 王力, 张芸, 等. 新疆艾比湖小叶桦湿地 3900 年以来的植被及环境演变 [J]. *应用生态学报*, 2021, 32(2): 486-494. [YAN Qiyao, WANG Li, ZHANG Yun, et al. Changes in vegetation and environment in the *Betula microphylla* wetland of Ebinur Lake in Xinjiang, China since 3900 cal. aBP[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(2): 486-494.]
- [14] Aichner B, Feakins S J, Lee J E, et al. High-resolution leaf wax carbon and hydrogen isotopic record of the Late Holocene paleoclimate in arid Central Asia[J]. *Climate of the Past*, 2015, 11(4): 619-633.
- [15] 王馨, 冉敏, 杨运鹏, 等. 泥炭记录的帕米尔高原晚全新世温度变化研究 [J]. *地理科学进展*, 2022, 41(8): 1467-1477. [WANG Xin, RAN Min, YANG Yunpeng, et al. Peat $\delta^{13}\text{C}_{\alpha\text{-cellulose}}$ -based Late Holocene temperature reconstruction in Pamir, China[J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(8): 1467-1477.]
- [16] Liu X Q, Herzschuh U, Shen J, et al. Holocene environmental and climatic changes inferred from Wulungu Lake in northern Xinjiang, China[J]. *Quaternary Research*, 2008, 70(3): 412-415.
- [17] Zhao K L, Li X Q, Dodson J, et al. Climatic variations over the last 4000 cal yr BP in the western margin of the Tarim Basin, Xinjiang, reconstructed from pollen data[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, 321-322: 16-23.
- [18] 陶士臣, 安成邦, 陈发虎, 等. 孢粉记录的新疆巴里坤湖 16.7 cal. kaBP 以来的植被与环境 [J]. *科学通报*, 2010, 55(11): 1026-1035. [TAO Shichen, AN Chengbang, CHEN Fahu, et al. Pollen-inferred vegetation and environmental changes since 16.7 kaBP at Balikun Lake, Xinjiang[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(22): 2449-2457.]
- [19] Wünnemann B, Mischke S, Chen F H. A Holocene sedimentary record from Bosten Lake, China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 234(2-4): 223-238.
- [20] Zhang Y F, Mo D W, Hu K, et al. Holocene environmental changes around Xiaohu Cemetery and its effects on human occupation, Xinjiang, China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(6): 752-768.
- [21] Faegri K, Kaland P E, Krzywinski K. Textbook of Pollen Analysis[M]. 4th ed. London: John Wiley & Sons Inc., 1989.
- [22] 席以珍, 宁建长. 中国干旱半干旱地区花粉形态研究 [J]. *玉山生物学报*, 1994, 11: 119-191. [XI Yizhen, NING Jianchang. Study on pollen morphology of plants from dry and semidry area in China[J]. *Yushania*, 1994, 11: 119-191.]
- [23] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 等. 中国植物花粉形态 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 1995: 1-461. [WANG Fuxiong, QIAN Nanfen, ZHANG Yulong, et al. Pollen Flora of China[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 1995: 1-461.]
- [24] 唐领余, 毛礼米, 舒军武, 等. 中国第四纪孢粉图鉴 [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 1-556. [TANG Lingyu, MAO Limi, SHU Junwu, et al. An Illustrated Handbook of Quaternary Pollen and Spores in China[M]. Beijing: Science Press, 2016: 1-556.]
- [25] 张全超, 朱泓. 新疆古墓沟墓地人骨的稳定同位素分析: 早期罗布泊先民饮食结构初探 [J]. *西域研究*, 2011(3): 91-96, 142. [ZHANG Quanchao, ZHU Hong. Carbon and nitrogen stable isotope analysis of the human bones from the Gumugou Cemetery in Xinjiang: A preliminary exploration of the early population dietary in Lop Nur[J]. *The Western Regions Studies*, 2011(3): 91-96, 142.]
- [26] Wang W, Feng Z D, Ran M, et al. Holocene climate and vegetation changes inferred from pollen records of Lake Aibi, northern Xinjiang, China: A potential contribution to understanding of Holocene climate pattern in East-central Asia[J]. *Quaternary International*, 2013, 311: 54-62.
- [27] Jiang Q F, Ji J F, Shen J, et al. Holocene vegetational and climatic variation in westerly-dominated areas of Central Asia inferred from the Sayram Lake in northern Xinjiang, China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2013, 56(3): 339-353.
- [28] Zhang X J, Jin L Y, Chen J, et al. Detecting the relationship between moisture changes in arid central Asia and East Asia during the Holocene by model-proxy comparison[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2017, 176: 36-50.
- [29] 郭超, 马玉贞, 李金凤. 中国及周边地区中晚全新世湿度演化及其可能机制 [J]. *第四纪研究*, 2022, 42(4): 1058-1077. [GUO Chao, MA Yuzhen, LI Jinfeng. Mid-to Late Holocene moisture evolution in China and surroundings: Spatial patterns and possible mechanisms[J]. *Quaternary Sciences*, 2022, 42(4): 1058-1077.]
- [30] Yang Y P, Feng Z D, Ran M, et al. Holocene vegetation and hydrology variations and their associations with climate changes: a multi-proxy analysis of a sediment core from an alpine basin in the middle

- Tianshan Mountains[J]. *Climate Dynamics*, 2021, 56(11): 3835-3852.
- [31] 陈发虎, 黄小忠, 杨美临, 等. 亚洲中部干旱区全新世气候变化的西风模式: 以新疆博斯腾湖记录为例 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26(6): 881-887. [CHEN Fahu, HUANG Xiaozhong, YANG Meilin, et al. Westerly dominated Holocene climate model in arid central Asia: case study on Bosten lake, Xinjiang, China[J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(6): 881-887.]
- [32] Hong Y T, Hong B, Lin Q H, et al. Inverse phase oscillations between the East Asian and Indian Ocean Summer monsoons during the last 12000 years and paleo-El Niño[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 231(3-4): 337-346.
- [33] 吴鹏飞, 刘征宇, 程军, 等. 中全新世以来东亚夏季降水时空演变不一致性的模拟研究 [J]. *第四纪研究*, 2013, 33(6): 1138-1147. [WU Pengfei, LIU Zhengyu, CHENG Jun, et al. A simulation study on spatio-temporal asynchronism of East Asian summer's precipitation variation since the mid-Holocene[J]. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(6): 1138-1147.]
- [34] 姚付龙, 马春梅, 朱诚, 等. 中国西天山北坡表土花粉与区域植被关系 [J]. *古生物学报*, 2021, 60(3): 471-482. [YAO Fulong, MA Chunmei, ZHU Cheng, et al. Relationship between surface pollen and vegetation on the northern slope of West Tianshan Mountains, China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2021, 60(3): 471-482.]
- [35] Feng S N, Liu X Q, Mao X. Vegetation dynamics in arid central Asia over the past two millennia linked to NAO variability and solar forcing[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2023, 310: 108134.
- [36] 郑景云, 郝志新, 张学珍, 等. 中国东部过去 2000 年百年冷暖的旱涝格局 [J]. *科学通报*, 2014, 59(30): 2964-2971. [ZHENG Jingyun, HAO Zhixin, ZHANG Xuezheng, et al. Drought/flood spatial patterns in centennial cold and warm periods of the past 2000 years over eastern China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59(30): 2964-2971.]
- [37] 方修琦, 苏筠, 郑景云, 等. 历史气候变化对中国社会经济的影响 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 34-38. [FANG Xiuqi, SU Jun, ZHENG Jingyun, et al. The Impacts of Climate on the Society and Economic of China During Historical Times[M]. Beijing: Science Press, 2019: 34-38.]
- [38] 邵会秋. 新疆史前时期文化格局的演进及其与周邻文化的关系 [M]. 北京: 科学出版社, 2018. [SHAO Huiqiu. The Development of the Pre-historic Cultures in Xinjiang and the Interaction with Neighbor Cultures[M]. Beijing: Science Press, 2018.]
- [39] Zhao K L, Li X Q, Zhou X Y, et al. Impact of agriculture on an oasis landscape during the Late Holocene: Palynological evidence from the Xintala site in Xinjiang, NW China[J]. *Quaternary International*, 2013, 311: 81-86.
- [40] Tarasov P E, Demske D, Leipe C, et al. An 8500-year palynological record of vegetation, climate change and human activity in the Bosten Lake region of Northwest China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2019, 516: 166-178.
- [41] 张成君, 郑绵平, Prokopenko A, 等. 博斯腾湖碳酸盐和同位素组成的全新世古环境演变高分辨记录及与冰川活动的响应 [J]. *地质学报*, 2007, 81(12): 1658-1671. [ZHANG Chengjun, ZHENG Mianping, Prokopenko A, et al. The palaeoenvironmental variation from the high-resolution record of the Holocene sediment carbonate and isotopic composition in Bosten Lake and responding to glacial activity[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(12): 1658-1671.]
- [42] 李帅丽, 王继龙, 彭博, 等. 全新世以来福建宁德地区环境演变及人类活动的孢粉记录 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2021, 41(3): 170-181. [LI Shuaili, WANG Jilong, PENG Bo, et al. Palynological evidence for palaeoenvironmental change and human activity in Ningde of Fujian province during Holocene[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2021, 41(3): 170-181.]
- [43] 段晓红, 张芸, 杨振京, 等. 新疆石河子蘑菇湖湿地 4800 年以来的环境演变 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2018, 38(4): 203-211. [DUAN Xiaohong, ZHANG Yun, YANG Zhenjing, et al. Environmental evolution of the Moguhu Wetland of Shihezi City in Xinjiang since 4800 cal. aBP[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2018, 38(4): 203-211.]