科学通报 2025 年 第 70 卷 第 10 期: 1397 ~ 1412
气候环境变化与人类活动专题 论 文
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

# 吐鲁番加依先民适应极端干旱环境的策略: 绿洲农业和季节性迁移放牧

张贵林[1], 王龙[2], 韩杏杏[3], 蒋刚[1], 蒋洪恩[4*]

1. 重庆师范大学考古文博学院, 重庆 401331
2. 吐鲁番学研究院, 吐鲁番 838000
3. 天津大学地球系统科学学院, 天津 300072
4. 中国科学院大学人文学院考古学与人类学系, 北京 100049
* 联系人, E-mail: jianghongen@ucas.ac.cn

2023-11-26 收稿, 2023-12-20 修回, 2024-01-15 接受, 2024-01-23 网络版发表
国家自然科学基金(42377443)和中央高校基本科研业务费重点项目(E2E40909X2)资助

**摘要** 吐鲁番盆地高温干旱, 是探讨人类适应边缘环境方式与策略的典型区域. 本文通过对吐鲁番苏贝希文化代表性考古遗址加依墓地的植物茎秆、叶片、种子、果实、木材进行系统研究, 来探索早期先民开发利用植物资源的方式、生计模式和适应策略. 结果显示, 加依墓地(2800~2300 cal a BP)保存用于食物、药用、致幻、编织、装饰、制作木器等功能的植物共28种, 体现出基于绿洲的多种植物采集和多样化利用策略. 发现数量很少的农作物青稞(*Hordeum vulgare* var. *coeleste*)和黍(*Panicum miliaceum*), 表明先民在盆地绿洲内发展小规模旱作农业. 结合多学科研究成果, 确定加依先民采用农牧兼营、以牧业为主的生计策略. 木材解剖切面鉴定结果发现仅可在天山山地生长的云杉(*Picea* sp.)和桦(*Betula* sp.). 根据这两个树种的地理分布和生境特征, 综合考古资料, 判断加依先民可能沿着天山(博格达山)垂直植被带进行季节性迁移放牧. 另外, 少数先民可能全年在荒漠绿洲中放牧骆驼, 并在晚秋和冬季时以黍及其副产品作为饲料来喂养. 这些动物管理策略有利于先民拓展绿洲生存空间, 充分利用山地与低地间多样化气候环境下的多种植物资源, 最大化牧业产出和收益. 多元化的生计方式是早期先民适应吐鲁番极端干旱环境最适宜的、富有弹性的策略, 是促进当地史前文明持续发展的重要动力.

**关键词** 新疆, 干旱区, 绿洲农业, 季节性迁移放牧, 人类适应

新疆位于我国西北地区, 地处欧亚大陆中心, 是全球典型干旱区. 旧石器时代以来在东西方人群迁徙和经济文化与技术交流背景下, 在适应山-盆地貌体系、区域多样化的气候条件和生态环境中, 逐渐形成丰富多彩的西域文明, 成为中华文明多元一体的重要组成部分. 新疆最早、最可靠的人类活动信号出现在阿尔泰山南部的通天洞遗址, 明确的文化层堆积清晰记录了约45000 cal a BP以来人类活动历史. 具有典型勒瓦娄哇-莫斯特风格的石器表明, 阿尔泰山与欧亚大陆西部旧石器时代中期文化联系紧密[1]. 新疆其他地区也发现了大量的石器, 但这些石器均为地表采集, 缺乏地层关系, 年代难以确定. 旧石器时代之后新疆经历长时间的考古发现空白期. 直到全新世中晚期, 人类活动才再次明显. 通天洞遗址是其中的代表, 5200 cal a BP不同驯化起源地的青稞、小麦和黍经过跨大陆长距离传播, 在阿尔泰山南部汇聚, 见证了新疆最早的东西方文

**引用格式:** 张贵林, 王龙, 韩杏杏, 等. 吐鲁番加依先民适应极端干旱环境的策略: 绿洲农业和季节性迁移放牧. 科学通报, 2025, 70: 1397–1412
Zhang G L, Wang L, Han X X, et al. Oasis agricultural practices and seasonal transhumance pastoralism: adaptive strategies of Jiayi inhabitants to a hyper-arid environment, Turpan, Xinjiang (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 1397–1412, doi: 10.1360/TB-2023-1212

© 2023《中国科学》杂志社

明交流史[2,3]. 该洞穴遗址中发现农作物和家养动物骨骼, 表明铜石并用时代新疆先民最早的经济生产方式是农牧兼营. 稍晚的阿依托汗(4900~4400 cal a BP)先民主要依靠动物蛋白, 同时消耗一定量基于粟黍的食物, 也证明放牧和农耕经济相结合[4]. 农牧业混合经营形成新疆生业经济的基调, 被先民普遍采用, 并延续数千年. 晚全新世以来, 水分条件改善使得天山两侧具有多样化资源基础和多种气候环境的垂直山地-草原生态过渡带, 即"亚洲内陆山地走廊"[5], 成为东西方经济文化交流的主要通道和人类活动中心.

青铜时代新疆先民适应方式存在两类重大变革和创新. 一是西天山伊犁河谷的沟口先民于3600 cal a BP最早开始使用新型能源烟煤, 同时开展大规模具有完整生产链条的青铜冶铸, 促使当地产生大的聚落中心[6]. 二是季节性转场放牧, 即游牧开始出现[7]. 近年来对天山高海拔地区发现的遗址进行民族考古学、景观考古学、聚落考古学研究[7~13], 同时结合生物考古(动植物遗存[14~18]、动物粪[19]、序列采样的人类和动物牙齿碳、氮、氧、锶等多种同位素分析)[20~22]、地质考古[23]、数字模型模拟[24]等多学科技术与方法, 相互补充和验证, 以季节性的时间尺度和月份分辨率确定家畜管理策略和放牧移动方式. 目前有两个关键的新认识: (1) 游牧群体有规律的在山地和低地季节性草场间进行垂直转场放牧, 有固定的转场路线和季节性循环使用的营地、居址, 如青铜时代早期西天山Tasbas[10]、Begash遗址[11]、阿敦乔鲁-胡斯塔遗址群[7,8,12]、晚期东天山岳公台-西黑沟遗址群[13]; (2) 青铜时代几乎所有游牧人群的生业模式都是农牧兼营, 游牧社会中存在农业是客观事实[10,14,16].

到青铜时代晚期和早期铁器时代, 马匹的广泛使用和马背骑乘技术盛行, 极大地拓展了人类活动的空间范围, 促进人类交通、移动、贸易交换、相互联系的彻底转变[25]. 游牧作为关键的催化剂推动草原环境下稳定的人类相互作用网络形成, 最终导致丝绸之路产生和全球化进程加速[24]. 天山山地季节性转场游牧快速发展并逐步强化, 开始形成以游牧生业为主的早期王国[26]. 而南疆盆地随着甘青地区人群的大量迁入, 人口增加, 同时开始使用水利灌溉技术[27], 农耕强化, 逐渐形成以绿洲农业为主的城邦王国[26]. 山-盆体系生业经济差异化明显[28,29].

新疆史前人类适应策略演变历史是基于局地小范围空间尺度内各个遗址的研究成果总结而来. 当前, 区域范围内不同微环境下人类适应的局地化、多样化、差异化研究备受关注. 吐鲁番盆地气候极端干旱, 是新疆干旱区的代表. 研究吐鲁番早期先民的生业经济, 对了解先民适应干旱环境的策略具有重要意义. 目前有可靠年代支撑的吐鲁番盆地人类活动最早可追溯至青铜时代晚期到早期铁器时代, 即苏贝希文化(3200~1800 cal a BP). 该文化早中期考古遗址经过系统研究的仅有洋海墓地, 相关成果见《新疆吐鲁番洋海先民的农业活动与植物利用》[30], 这是目前新疆第一本围绕先民适应策略研究撰写的重要专著. 基于大量植物遗存和考古材料, 确定洋海先民主要开展以放牧为主、同时种植少量农作物(青稞、小麦、黍)为补充的农牧兼营经济生产. 这与南疆大区域范围内低海拔绿洲通常发展以农业为主的认识不同, 显示了局地环境下人类的适应特征. 苏贝希文化晚期胜金店墓地发现大量小麦秸秆和多种农作物组合(粟、黍、小麦、大麦、青稞), 指示农业活动增多, 农业生产规模增大[31]. 同时, 多年生的、需要完全不同的传统生态知识体系的果树类枣和葡萄被引入吐鲁番种植, 外来品种导致农作物种类谱系扩大, 可利用性和多样性增加, 表明先民开始掌握更加复杂的农业系统.

除了洋海和胜金店墓地以外, 目前对吐鲁番早期先民生计模式、先民适应极端干旱环境的方式与策略等关键问题的研究较为有限, 尤其是对苏贝希文化中期阶段农牧业生产的科学认识还非常缺乏, 需要更多考古发现来提供多方面丰富的信息. 加依墓地是近年来经过系统发掘的苏贝希文化中期代表性遗址, 由于极端干旱的气候和干燥的埋藏环境, 遗址中大量植物遗存材料保存下来, 蕴含着丰富的早期人类活动信息. 本文选择这些植物材料, 通过野生植物资源利用、绿洲农业和季节性垂直迁移放牧的角度来回答吐鲁番早期先民如何适应极端干旱环境这一科学问题. 结合洋海墓地等已有研究成果, 可进一步补充和丰富苏贝希文化中期先民的生业经济、适应方式和策略, 深入了解新疆干旱区局地人类适应的表现与特点.

## 1 研究区概况

### 1.1 自然环境背景

吐鲁番为天然的地堑盆地, 海拔最低点为艾丁湖(–154 m). 北部博格达山和南部库鲁克塔格山环绕盆地. 东西向低山火焰山位于盆地东北部(图1). 低洼封




**图 1** 博格达山南北两侧苏贝希文化主要遗址点和加依墓地出土器物. (a) 典型遗址或墓地: 1. 加依; 2. 洋海; 3. 苏贝希; 4. 胜金店; 5. 鱼儿沟; 6. 大龙口; 7. 半截沟; 8. 四道沟; (b) 加依墓地全景平面图; (c) 木床和芦苇草枕, 木床由竖立的粗圆木和上铺的细木棍用草绳连接组成; (d) 芦苇杆组成的纺织工具构件; (e) 芦苇发饰; (f) 芦苇草编绳; (g) 木齿和木耙体嵌合形成的木耙具; (h)~(k) 彩陶; (l), (m) 木弓箭; (n) 木纺轮

**Figure 1** Primary sites of Subeixi culture located in southern and northern flanks of Bogda Mountains and funeral objects excavated from Jiayi cemetery. (a) Typical sites and cemeteries: 1. Jiayi; 2. Yanghai; 3. Subeixi; 4. Shengjindian; 5. Yuergou; 6. Dalongkou; 7. Banjiegou; 8. Sidaogou; (b) general view of Jiayi cemetery; (c) wooden bed and reed pillow, showing the bed consisting of erect thick logs and upper slender timber branches tied by using reed ropes; (d) an element of weaving tool made of reeds; (e) hair ornament derived from stems; (f) reed ropes; (g) rake assembled by using tooth-like timbers and wooden body; (h)–(k) painted potteries; (l), (m) sets of wooden bows and arrow; (n) wooden spinning wheel

闭的地形导致盆地内暖季升温快, 散热慢, 夏季温度高. 吐鲁番气象站记录1981~2010年6~8月平均气温为30.5~32.5°C, 7月平均最高气温为39.8°C(国家气象科学数据中心http://data.cma.cn/data/weatherBk.html). 受焚风效应影响, 大于40°C的极端高温天气经常连续发生. 高温导致年蒸发量可达3000 mm以上. 同时, 由于吐鲁番盆地位于博格达山南部, 湿润水汽很少到达, 导致该地区降水稀少, 1981~2010年平均年降水量为15.3 mm

(国家气象科学数据中心). 因此吐鲁番是我国夏季最炎热、最干旱的地区之一.

当地人群生存的水源来自盆地北部博格达山高海拔地区冰雪融水和山地降水. 高山河流到达山前冲积扇时多转变为地下潜水, 在含水层较浅的区域, 地下水溢出地表形成泉水和极少数季节性的地表径流. 在这些水资源滋养下, 冲积扇边缘和盆地内形成众多绿洲, 是人类生存的生态环境基础, 绿洲内植物资源较为丰富, 绿洲外为广袤的砾质荒漠, 几乎无植被覆盖, 偶见麻黄、沙拐枣、花花柴等超强耐旱、耐盐碱的植物分布.

盆地北部博格达山气候环境多样, 储备丰富的植物资源. 受海拔、温度和降水影响, 该山地具有明显的垂直植被带分布. 博格达山南侧, 海拔400 m以下平原区为戈壁、温带灌木和半灌木荒漠、禾草、杂草类盐生草甸; 400~1000 m是风化的戈壁砾石带, 几乎无植被生长; 1000~1800 m中低山河谷处可见杨、桦、柳等乔木, 其他地区为荒漠干草原, 植被覆盖度低; 1800~2500 m多为温带禾草草原, 以冰草、针茅草、丛生禾草、亚菊群系为主, 阴坡有斑块状天山云杉林零星分布; 2500~3500 m为高山亚高山高寒蒿草、杂类草草甸, 植被覆盖度约为40%; 3500~4000 m仅有稀疏的高山植被风毛菊、红景天、垂头菊群系分布; 4000 m以上为冰渍带, 分布有冰川和积雪[30,32]. 博格达山北侧为迎风坡, 降水较多, 总体上中低山草本植物更为繁茂, 植被覆盖度更高. 与南坡植被带最大的差异在于1500~2700 m海拔阴坡分布着宽广的天山云杉针叶林带.

### 1.2 考古背景

加依墓地位于吐鲁番市南部亚尔乡加依村, 处于盆地绿洲中北部(图1). 2011、2013、2014年, 由新疆文物考古研究所、吐鲁番学研究院联合抢救性发掘墓葬244座[33,34]. 墓葬形制多为长方形或椭圆形竖穴土坑墓(图1), 葬式主要是单人仰身屈肢葬, 葬具包括木床、草席、草垫等(图1). 墓室内填充有杂草和芦苇杆, 墓口偶见草垫遮盖, 少数墓葬有地面建筑土坯和石堆痕迹. 出土器物主要包括数量较多的陶器和木器, 以及少量的铜器、石器、骨器、纺织品、料珠、金饰、海贝等, 未发现铁器(图1). 陶器以彩陶为主, 单耳罐数量最多. 木器主要包含木桶、木盘、木勺、木梳、木纺轮等日用器具以及木弓箭(图1). 加依墓地考古发现与洋海墓地中期非常相似, 其文化属性可归入苏贝希文化, 发掘者判断其相对年代约为3000~2200 cal a BP[33]. 人类骨骼考古学研究表明, 加依人群体质特征与欧罗巴人种地中海东支类型相似, 同时又包含蒙古人种特征[35].

## 2 材料与方法

加依墓地全部植物材料由吐鲁番学研究院提供, 植物茎秆、叶片、种子/果实、花序等样品在木床上铺设的杂草层或墓室内填充的杂草中随机采集. 另外, 我们系统采集了11个陶罐和3个陶杯内的堆积物, 使用0.2 mm孔径筛网筛选植物遗存. 在实验室内根据植物标本大小, 分别使用体视显微镜Nikon SMZ1000和Nikon D7000电子数码相机拍照. 根据中国植物志(http://www.iplant.cn/frps)、吐鲁番洋海古代植物标本[30]、吐鲁番现生植物标本, 分类鉴定提取的植物样品.

木材样品随机采集自墓葬中的木床和多种木器的小碎块, 共41个. 将小木块放入烧杯中水浴加热48 h去除杂质, 将水煮后的样品置于聚乙二醇1000中, 在高温干燥箱中以60°C包埋24 h, 常温冷却后放入冷冻切片机Leica CM3050S中切片, 分别切出横、径、弦3个切面, 每个切面厚约10~15 μm, 将切片在1%浓度番红溶液中染色, 置于生物显微镜Leica DM2500下放大200倍观察, 使用Nikon COOLPIX4500拍照记录. 参考《中国木材志》[36]、《中国裸子植物木材志》[37]、The Inside Wood Database数据库(https://insidewood.lib.ncsu.edu/)、吐鲁番洋海、胜金店、鱼儿沟古代木材解剖切面鉴定图谱等[30,31,38], 鉴定木材种属, 并使用相关术语描述3个切面的木材解剖特征.

加依墓地已有的测年数据多来自人骨、兽骨、大麻、野生杂草等, 缺乏农作物直接测年结果. 本文选择青稞和黍各2个样品, 交由Beta Analytic实验室测年. 测定的$^{14}$C年代在牛津大学OxCal系统中使用IntCal 20大气曲线校正为日历年龄[39,40].

## 3 结果

### 3.1 测年结果

本次4个农作物样品的测年结果见表1, 黍年代约2900~2500 cal a BP, 青稞年代约2800~2500 cal a BP, 与该遗址已有的测年结果接近[41]. 综合所有样品19个测年结果来看, 加依墓地更加精确的年代跨度为

**表 1** 加依墓地生物材料测年结果

**Table 1** Radiocarbon dating results of biological materials in Jiayi cemetery

| 序号[a)] | 实验室编号 | 材料来源 | 测年材料 | $^{14}$C年代(a BP) | 日历年代(a BP)95.4%概率 | 中值(a BP) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | BA142064 | M49 | 芦苇秆 | 2515 ± 30 | 2735~2492 | 2588 |
| 2 | BA142073 | M57 | 人骨 | 2295 ± 25 | 2353~2180 | 2329 |
| 3 | BA142072 | M65 | 人骨 | 2585 ± 25 | 2759~2624 | 2736 |
| 4 | BA142075 | M66 | 人骨 | 2350 ± 20 | 2415~2335 | 2351 |
| 5 | BA142074 | M84 | 人骨 | 2460 ± 20 | 2704~2369 | 2588 |
| 6 | BA142065 | M109 | 香蒲叶 | 2510 ± 30 | 2735~2490 | 2586 |
| 7 | BA142066 | M125 | 芦苇秆 | 2505 ± 30 | 2729~2489 | 2586 |
| 8 | BA142067 | M148 | 芦苇秆 | 2635 ± 25 | 2778~2728 | 2753 |
| 9 | BA142068 | M156 | 大麻果实 | 2650 ± 25 | 2844~2737 | 2759 |
| 10 | BA142069 | M157 | 大麻果实 | 2600 ± 30 | 2767~2709 | 2741 |
| 11 | BA142070 | M230 | 人骨 | 2610 ± 25 | 2760~2723 | 2745 |
| 12 | BA141328 | M231 | 大麻秆 | 2510 ± 30 | 2735~2490 | 2586 |
| 13 | BA150020 | M231 | 芦苇秆 | 2510 ± 30 | 2735~2490 | 2586 |
| 14 | BA142071 | M231 | 人骨 | 2545 ± 25 | 2745~2500 | 2637 |
| 15 | BA142076 | M237 | 人骨 | 2395 ± 20 | 2489~2349 | 2403 |
| 16 | Beta-571398 | M150: 3 | 黍小花 | 2660 ± 30 | 2848~2739 | 2766 |
| 17 | Beta-569191 | M2 | 黍小花 | 2520 ± 30 | 2738~2493 | 2590 |
| 18 | Beta-567407 | M231: 13 | 青稞花序 | 2520 ± 30 | 2738~2493 | 2590 |
| 19 | Beta-567402 | M231: 9 | 青稞花序 | 2560 ± 30 | 2754~2512 | 2716 |

a) 1~15为已有测年结果[41], 16~19为本研究新测定年代

2800~2300 cal a BP(中值年代), 处于之前推测的相对年代3000~2200 cal a BP范围内, 与苏贝希文化中期相对应, 属于青铜时代晚期和早期铁器时代.

### 3.2 植物茎秆、叶片、花序、种子/果实等鉴定结果

全部植物遗存以干燥形式保存, 保留原有的颜色、尺寸和细致的纹饰. 鉴定21类植物种属(表S1, 图2~4), 包括青稞(*Hordeum vulgare* var. *coeleste*)、黍(*Panicum miliaceum*)、刺山柑(*Capparis spinosa*)、大麻(*Cannabis sativa*)、香蒲属(*Typha* sp.)、芦苇(*Phragmites australis*)、稗子(*Echinochloa crusgalli*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、小獐毛(*Aeluropus pungens*)、涩荠(*Malcolmia africana*)、苍耳(*Xanthium strumarium*)、虎尾草(*Saxifraga stolonifera*)、球果群心菜(*Lepidium chalepensis*)、骆驼刺(*Alhagi camelorum*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)、芨芨草属(*Neotrinia* sp.)、蒿属(*Artemisia* sp.)、蓼属(*Polygonum* sp.)、蔷薇属(*Rosa* sp.). 大部分植物种属发现于墓室内填充的杂草中和木床上铺草层. 陶罐堆积物中筛选出的植物种类共10种(表S1, 序号1~10), 发现数量最多的是刺山柑种子、大麻果实、骆驼粪和羊粪.

### 3.3 木材解剖切面树种鉴定结果

41个木材样品共鉴定为7类树种, 包括柳属(*Salix* sp.)(21个样品)、柽柳属(*Tamarix* sp.)(6个)、忍冬属(*Lonicera* sp.)(5个)、杨属(*Populus* sp.)(4个)、沙棘属(*Hippophae* sp.)(3个)、云杉属(*Picea* sp.)(1个)、桦属(*Betula* sp.)(1个), 具体结果见表S2和图5. 木材样品切面显微结构特征描述如下.

柽柳属: 半环孔材. 单管孔为主, 单穿孔, 管间纹孔式互列, 导管-射线间纹孔式类似管间纹孔式. 轴向薄壁组织环管束状. 射线组织非叠生, 同形单列、多列及异形Ⅱ型(图5).

桦属: 单管孔及径列复管孔, 复穿孔, 管间纹孔式互列, 导管-射线间纹孔式类似管间纹孔式. 轴向薄壁组织轮界状. 射线组织非叠生, 同形单列及多列(图5).

柳属: 径列复管孔为主, 单穿孔, 管间纹孔式互列,




**图 2** 农作物和药用植物遗存. (a)~(g) 青稞: (a)~(c) 花序, 标尺=1 cm; (d)~(g) 颖果, 示2粒颖果的腹面和背面, 标尺=1 mm. (h), (i) 黍小花, 标尺=1 mm. (j), (k) 彩陶M243: 6骆驼粪中挑出的黍小花, 示背面和腹面, 标尺=1 mm. (l), (m) M150: 3 骆驼粪中发现的黍小花和颖果, 标尺=1 mm. (n)~(z), (a1)~(d1) 大麻遗存, 标尺=1 mm: (n)~(p) 花萼; (q) 花托; (r), (s) 花被片; (t), (u) 叶片; (v) 枝条带叶片、苞片、果实; (w), (x) 带苞片的果实; (y), (z), (a1), (b1) 果实; (c1) 复叶; (d1) 果序轴; (e1)~(j1) 刺山柑: (e1), (f1) 种子团, 标尺=5 mm; (g1), (h1) 带种皮种子, 标尺=1 mm; (i1), (j1) 不带种皮种子, 标尺=1 mm

**Figure 2** Cereal crops and medicinal plants. (a)–(g) Naked barley: (a)–(c) Inflorescences, scale bar=1 cm; (d)–(g) showing ventral and dorsal sides of two caryopses, scale bar=1 mm. (h), (i) Florets of broomcorn millet, scale bar=1 mm. (j), (k) Broomcorn millet floret dicovered from camel dungs in painted pottery (M243: 6), showing dorsal and ventral sides of the same floret, scale bar=1 mm. (l), (m) Common millet floret and caryopsis picked out from camel dungs in pottery (M150: 3), scale bar=1 mm. (n)–(z), (a1)–(d1) Hemp remains, scale bar=1 mm: (n)–(p) Calyxes; (q) receptacle; (r), (s) perianths; (t), (u) leaves; (v) branches with leaves, bracts, and fruits; (w), (x) fruits with bracts; (y), (z), (a1), (b1) fruits; (c1) compound leaves; (d1) infructescences; (e1)–(j1) *Capparis spinosa* seeds; (e1), (f1) seed cluster, scale bar=5 mm; (g1), (h1) seeds with episperm, scale bar=1 mm; (i1), (j1) seeds without episperm, scale bar=1 mm




**图 3** 杂草和野生植物; (a)~(e) 芦苇, 标尺=2 cm: (a), (b) 花序; (c) 叶片; (d) 用于制作纺织构件的芦苇杆; (e) 茎秆. (f) 香蒲叶片, 标尺=2 cm. (g), (h) 蒿属茎秆和花序, 标尺=2 cm. (i), (j) 小獐毛花序和茎秆, 标尺=1 cm. (k) 涩荠长角果, 标尺=6 mm. (l) 球果群心菜短角果, 标尺=2 mm. (m) 骆驼刺, 标尺=1 cm. (n) 黑果枸杞枝条, 标尺=2 cm. (o), (p) 狗尾草植株和花序, 标尺=2 cm. (q) 芨芨草属茎秆, 标尺=3 cm. (r), (s) 胀果甘草叶片, 标尺=1 cm

**Figure 3** Weeds and wild plants. (a)–(e) Reed; scale bar=2 cm: (a), (b) Spikes; (c) leaves; (d) element of weaving tool made of reed stems; (e) stems. (f) *Typha* sp. leaves; scale bar=2 cm. (g), (h) *Artemisia* sp. stems and inflorescences; scale bar=2 cm. (i), (j) Stems and inflorescences of *Aeluropus pungens*; scale bar=1 cm; (k) *Malcolmia africana* silique; scale bar=6 mm. (l) *Lepidium chalepensis* silicles; scale bar=2 mm. (m) *Alhagi camelorum* thorns; scale bar=1 cm. (n) *Lycium ruthenicum* branches; scale bar=2 cm. (o), (p) Plant and inflorescence of *Setaria viridis*; scale bar=2 cm. (q) *Neotrinia* sp. stem; scale bar=3 cm. (r), (s) *Glycyrrhiza inflata* leaves, scale bar=1 cm

导管-射线间纹孔式大圆形. 轴向薄壁组织轮界状. 射线组织非叠生, 异形单列(图5).

忍冬属: 单管孔为主, 单穿孔, 管间纹孔式互列, 导管具螺纹加厚, 导管-射线间纹孔式类似管间纹孔式. 轴向薄壁组织星散及星散-聚合状. 射线组织非叠生, 异形 Ⅰ 型及 Ⅱ 型(图5).

沙棘属: 半环孔材. 单管孔为主, 单穿孔, 晚材导管具螺纹加厚, 导管-射线间纹孔式类似管间纹孔式. 轴向

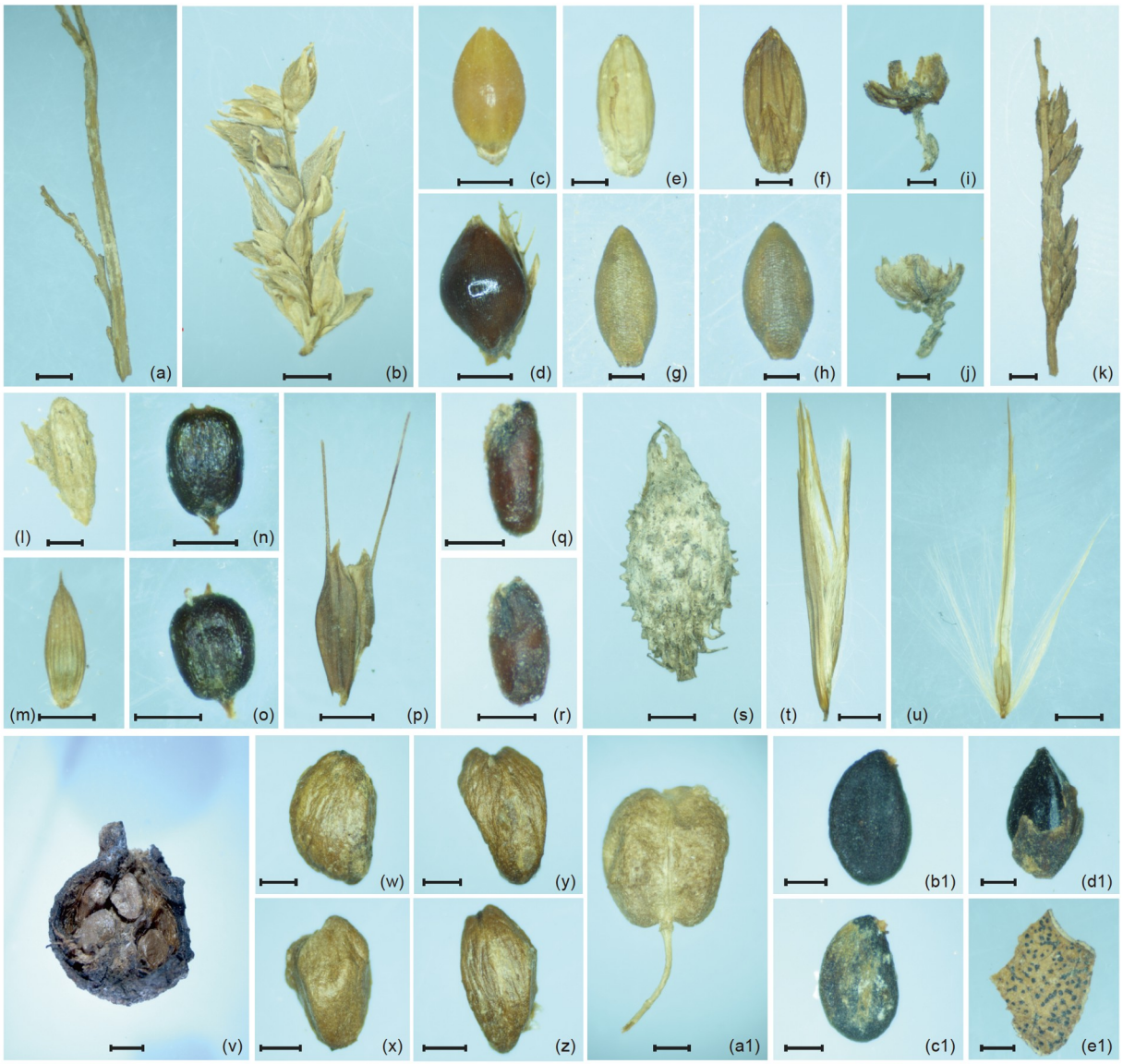



**图 4** 其他杂草和野生植物. (a) 狗牙根枝条, 标尺=1 mm. (b)~(d) 稗子遗存: (b) 花序, 标尺=2 mm; (c), (d) 小花, 标尺=1 mm. (e)~(h) 狗尾草小穗和小花, 标尺=0.5 mm. (i), (j) 蒿属花托和花萼, 标尺=0.5 mm. (k)~(o) 小獐毛: (k) 花序, 标尺=1 mm; (l), (m) 小穗, (l)中的小穗从M122: 2陶罐骆驼粪中挑出, 标尺=0.5 mm; (n)~(o) 种子, 标尺=0.5 mm. (p) 虎尾草小穗, 标尺=1 mm. (q), (r) 涩荠种子, 标尺=0.5 mm. (s) 苍耳总苞, 标尺=2 mm. (t), (u) 芦苇小穗和带冠毛种子, 标尺=2 mm. (v)~(z) 蔷薇属果实(标尺=2 mm)和种子(标尺=1 mm). (a1)~(c1) 球果群心菜角果(标尺=1 mm)和种子(标尺=0.5 mm). (d1) 蓼属种子, 标尺=0.5 mm. (e1) 胀果甘草叶片, 示褐色腺点, 标尺=1 mm

**Figure 4** Other weed and wild plant species. (a) *Cynodon dactylon* branches, scale bar=1 mm. (b)–(d) *Echinochloa crusgalli* remains: (b) Inflorescences, scale bar=2 mm; (c), (d) florets, scale bar=1 mm. (e)–(h) Spikelets and florets of *Setaria viridis*, scale bar=0.5 mm. (i), (j) *Artemisia* sp. receptacles and calyxes, scale bar=0.5 mm. (k)–(o) *Aeluropus pungens*: (k) Inflorescences, scale bar=1 mm; (l), (m) spikelets, the spikelet in (l) was found from camel dungs in pottery M122: 2, scale bar=0.5 mm; (n)–(o) seeds, scale bar=0.5 mm. (p) *Chloris virgata* spikelets, scale bar=1 mm. (q), (r) *Malcolmia africana* seeds, scale bar=0.5 mm. (s) *Xanthium strumarium* burrs, scale bar=2 mm. (t), (u) Reed spikelets and seeds with pappus, scale bar =2 mm. (v)–(z) *Rosa* sp. fruits (scale bar=2 mm) and seeds (scale bar=1 mm). (a1)–(c1) *Lepidium chalepensis* silicles (scale bar=1 mm) and seeds (scale bar=0.5 mm). (d1) *Polygonum* sp. seed, scale bar=0.5 mm. (e1) *Glycyrrhiza inflata* leaf, showing brown glandular punctate feature, scale bar=1 mm

薄壁组织星散. 射线组织部分叠生, 异形单列及异形Ⅲ型(图5).

杨属: 径列复管孔为主, 单穿孔. 管间纹孔式互列, 导管-射线间纹孔式大圆形. 轴向薄壁组织轮界状. 射线组织非叠生, 同形单列(图5).

云杉属: 生长轮明显, 早晚材渐变. 轴向管胞径壁

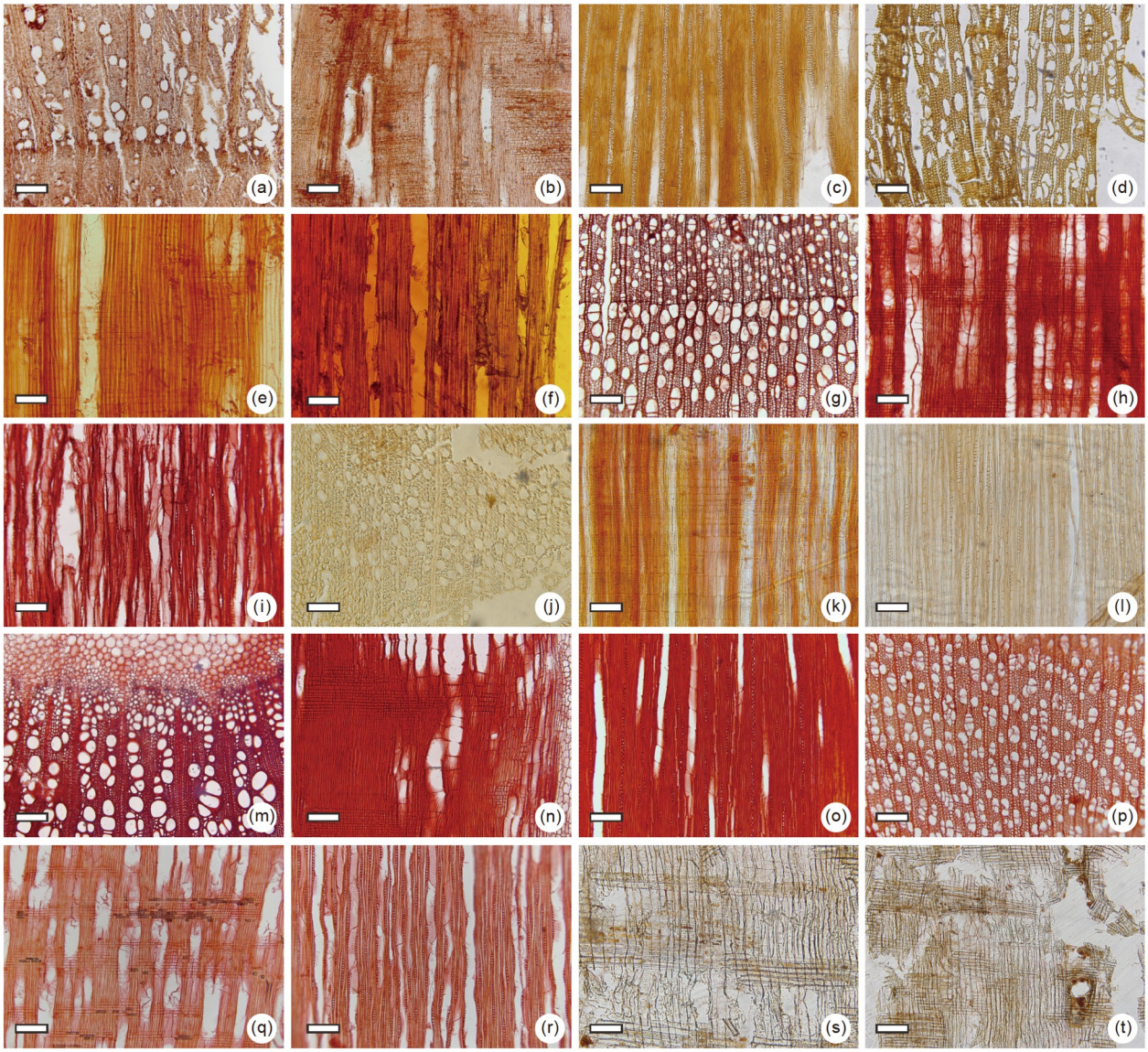



**图 5** 木器木材三切面解剖结构特征. (e), (j), (k), (s) 标尺=100 μm, 其余标尺=200 μm. (a)~(c) 柽柳横、径、弦切面; (d)~(f) 桦木横、径、弦切面; (g)~(i) 柳木横、径、弦切面; (j)~(l) 忍冬横、径、弦切面; (m)~(o) 沙棘横、径、弦切面; (p)~(r) 杨木横、径、弦切面; (s), (t) 云杉径切面

**Figure 5** Three sections of anatomy structure of woodenwares. Scale bars=100 μm in (e), (j), (k), and (s); scale bar=200 μm in other subgraphs. (a)−(c) Transverse, radical, and tangential section of *Tamarix* sp.; (d)−(f) transverse, radical, and tangential section of *Betula* sp.; (g)−(i) transverse, radical, and tangential section of *Salix* sp.; (j)−(l) transverse, radical, and tangential section of *Lonicera* sp.; (m)−(o) transverse, radical, and tangential section of *Hippophae* sp.; (p)−(r) transverse, radical, and tangential section of *Populus* sp.; (s), (t) radical sections of *Picea* sp.

具缘纹孔1列. 单列及纺锤形射线, 具射线管胞, 内壁齿状加厚. 交叉场纹孔云杉型. 具轴向及径向树脂道(图5).

## 4 讨论

### 4.1 基于绿洲的多样化植物资源利用

加依墓地中发现丰富的大麻遗存, 尤其是M231中墓主人身上覆盖着13株保存接近完整的大麻植株[41]. 陶罐内经常盛放完整或破碎的大麻小枝条、叶片、果序、苞片、果实等(图2). 这些发现表明大麻为加依先民本地采集并经过初步加工. 大麻茎秆韧皮纤维是优良的纺织原料, 其果实富含脂类和淀粉, 可以榨油和食用, 而叶片、花序、苞片上腺毛树脂中富含四氢大麻酚等生物活性成分, 可用作麻醉类药物或影响精神状态的致幻剂[42]. 从整个新疆史前考古发现来看, 目前还没有使用大麻纤维的报道. 同时由于加依大麻植株矮

小, 种子尺寸很小, 因此不一定是先民青睐的纤维、谷物或油料作物. 同时期帕米尔高原吉尔赞喀勒先民(2500 cal a BP)对大麻独特的使用方法, 为解读本研究中大麻的功用提供了重要启示. 该遗址多个木制火坛中的残留物分析表明, 先民祭祀时在火坛内燃烧大麻, 通过释放的烟雾作用于先民的精神世界, 产生致幻作用[43]. 洋海墓地M90(2700 cal a BP)随葬品较多, 在皮篓和木盆中发现大麻果实、小枝条和叶片. 该墓主被认为是萨满, 因为发现吐鲁番同时期墓地中很少见的乐器箜篌[30]. 加依墓地埋藏的大麻遗存与洋海墓地相似, 特别是M231墓主被摆放整齐的大麻植株覆盖, 推测其身份很可能也为萨满. 加依萨满掌握大麻资源, 在举行宗教仪式和祭祀时, 可能将大麻作为一种作用于精神状态的致幻植物. 加依和洋海大麻遗存表明苏贝希文化早中期吐鲁番先民熟悉大麻的致幻功能, 并普遍将大麻用在宗教祭祀活动中.

在清理陶罐内堆积物时, 发现大量呈团簇状组合以及少量零散的刺山柑种子(图2). 团块边缘的种子多破损. 这种特殊埋藏现象表明刺山柑在先民日常生活中有重要作用. 刺山柑是新疆干旱区常见的野生植物, 其果实对风湿、关节炎等有显著疗效. 人类骨骼考古学研究表明加依先民生存压力大, 采集刺山柑作为药材, 可以提高身体健康状态, 促进先民更好地适应当地艰苦的生存条件. 洋海墓地中刺山柑与大麻在陶罐中同时存放, 这也从侧面说明先民可能开发刺山柑较高的药用价值[30,44].

芦苇是加依墓地中最常见的植物种类, 由于其茎秆具有柔韧的纤维, 常用来作为编织的原材料, 如编织草席作为葬具(M13、M38、M53), 拧成草绳来加固木床(M231)(图1), 制成草垫来遮盖墓口(M64). 在M56中发现由两横三竖芦苇杆组合制成的初始纺织工具构件(图1)[33]. M150: 9中出土由两根芦苇杆弯曲盘绕而成的发饰(图1)[33], 表明先民生活中对美的追求. 芦苇杆常铺于木床上, 有时还铺设芦苇上部的松软花序[33]. 另外, 芦苇杆和狗尾草还混合制成草枕(图1和3). 可见芦苇的用途广泛. 香蒲叶片细长(图3), 是另一种良好的纤维植物, 加依先民常使用香蒲叶片来编织草绳. 木床上也放置有香蒲叶片. 在浅水环境中生存的香蒲植物证明先民生活在绿洲湿地边缘或河流附近. 绿洲中黑果枸杞果实(图3)可能作为食物补充来丰富营养成分, 被加依先民采集利用.

加依先民砍伐多种木材来制作木器, 其中由柳属木材加工制成的木器最多, 包括木床底部支撑柱和上部铺设的木棍、弓箭、木盘、纺轮、木钵、木梳、木桶、木撑杆等(图1), 占全部木器样品的51.22%. 其次为柽柳, 占14.63%, 其中独特的发现为将柽柳加工成较短的竖立的木齿, 与柳木制成的耙体, 共同组成一个木耙具(图1). 忍冬属木材材质坚硬, 用来制作弓箭、木梳、纺轮杆等, 占比为12.19%. 杨属木材制作的木器占9.76%, 用来加工雕刻成木桶等, 或放在墓口作为棚木. 另外, 还有少量沙棘、云杉和桦木制作的木器. 加工制作弓箭时使用的树种最多, 采集的原材料较为宽泛, 包括柳、柽柳、沙棘、忍冬、桦木. 基于最省力和最短路径原则[45], 先民通常就地取材或就近取材, 遗址周围6 km内的木本植物资源往往被优先选择[46]. 从制作木器的树种所占比例来看, 柳属可能为加依墓地周围分布最多的木本植物, 属于当地乔木中的优势种. 柳属植物不耐旱, 生长需水量较高, 在新疆干旱区通常沿河流湖泊分布, 揭示加依先民生存环境背景可能为河流沿岸绿洲. 柽柳、忍冬、沙棘、杨属等在遗址周围绿洲中分布, 与柳属共同构成当地主要木本植被群落. 先民不仅就地取材, 同时还远距离采集在盆地北部博格达山山地中分布的桦木和云杉, 表现出广阔的植物资源利用空间和多样化的木材利用策略.

### 4.2 低地绿洲农业

在加依墓地中系统提取的陶罐土样和铺草层中发现的农作物较少, 包括青稞花序9个、颖果4粒、黍小花55个、颖果2粒. 同时发现大量农田杂草, 表明当时对农田投入的劳动力较少, 田间管理水平较低, 先民在遗址周围绿洲内发展小规模粗放型农业. 青稞和黍的优良品质使其成为加依先民优先选择种植的农作物种类. 青稞具有生态多功能性, 抗干旱, 抗霜冻, 耐贫瘠, 需水量较少, 易于脱壳, 可以在含盐、营养少的土壤中、高温干旱或海拔较高、生长季较短和气候冷凉的多种环境下种植, 具有广泛的生态位. 青铜时代中晚期青稞已经非常流行, 广泛出现在新疆天山南北两侧不同生态环境下的多个考古遗址中. 黍喜温, 抗逆性也很强, 耐干旱胁迫能力在所有禾本科种子农作物中尤为突出, 对水资源需求低, 可以在很少劳动力投入的基础上, 保证有一定收成, 是干旱区水资源缺乏、低海拔热量充足地区广泛种植的农作物类型. 吐鲁番盆地长期极端干旱, 春夏季气温最高, 而该时间段正值作物生长关键期, 先民选择青稞和黍这两种耐胁迫性强的先锋

农作物在绿洲中种植，是适应当地特有边缘环境的有效策略.

加依先民种植的青稞可能为春播型. 青稞最早起源于西南亚地区，在向东传播过程中，为适应较高纬度、山地高海拔复杂多样的环境，光周期基因*Ppd-H1*发生突变，导致开花时间改变，产生春播型变种[47]. 历史文献记载西汉早期中原地区先民可能已经在种植春播型青稞[47]. 在春季种植青稞，可以避开吐鲁番严寒的冬季，同时夏季为植株生长期，避免先民在最为炎热、平均温度超30°C的夏季进行收割. 夏季加依先民的主要劳动力可能在远离绿洲的山地草场中放牧. 因此，春播型青稞品种可能可以更好地解决季节性农业和牧业劳动力需求之间的矛盾问题. 黍的种植时间灵活，可以在晚春种植，秋季收割，同样其生长期为夏季. 春播型青稞和黍的组合可以充分利用有限的土地资源产出更高的粮食产量，有效避免单一农作物生产的不稳定性，增强干旱区谷物供给的韧性.

青稞和黍是加依先民重要的植物性食物来源. 牙釉质碳同位素分析结果显示，加依先民幼年时食物结构以肉类和$C_3$类作物(青稞)为主，$C_4$类作物(黍)为补充[48]. 洋海墓地中发现由青稞和小麦磨成面粉后制成的未经发酵的条块状小面包[30,49]. 在同时期的苏贝希遗址(2500~2300 cal a BP)中发现干粥、面条和饼状点心，其中粥由黍颖果直接煮制，面条和点心是由黍研磨成面粉后制作，而且分别经过蒸煮和烤制烹饪技术处理[50]. 另外，在彩陶罐(M150：3)骆驼粪中挑出破碎变形的黍小花31个和颖果1粒(图2)，陶罐M122：2骆驼粪中发现野生植物小獐毛小穗25个(图4)，表明黍和小獐毛是骆驼的食物来源成分. 先民收割黍后在居址附近完成加工，可能使用未完全脱粒的黍花序、茎秆、叶片等次级产品或直接使用黍种子来喂养骆驼. 黍作为家养动物饲料的现象在较晚的胜金店墓地中也有体现，殉葬马的肠胃中保存大量未被消化的完整黍小花，表明黍小花被直接用作马的饲料[31]. 吐鲁番盆地黍最晚收割时间在10月下旬，加依骆驼粪中黍小花和颖果的出现，指示先民喂养骆驼的行为可能发生在晚秋和冬季. 这时干旱区畜群缺乏草料，以饲料来补充和喂养是管理畜群、确保畜群过冬的关键策略. 另外一个墓葬陶罐(M243：6)内骆驼粪中也包含黍小花1粒(图2)，小花与其他组成粪球的植物碎片黏合，两个年代不一致的墓葬有相似的发现，揭示先民用黍来喂养家畜不是短期或偶然的行为，而是长期的生产传统.

### 4.3 山地与低地之间的季节性垂直迁移放牧

与较少的农作物种类和数量形成鲜明对比，加依墓地中普遍发现家养动物遗存，主要包括羊的颅骨、肢骨、肩胛骨等，还有牛角和马的头骨. 另外还发现整个陶罐中盛装的骆驼粪，说明骆驼也是当地畜群的重要组成部分. 多个陶罐中也放置有羊粪. 墓地中还出土较多皮、毛织品. 加依先民偏重的臼齿前部磨耗和偏低的齲齿个体出现率表明先民食物结构以肉类为主，碳水化合物含量高的谷物不是主要食物来源[51]，这与先民牙釉质同位素分析结果相似[48]. 这些信息说明牧业在加依先民生业经济中占有主导地位，而农业经济处于次要地位. 这些结果与同时期经过系统采样的洋海墓地的研究结果非常相似. 骨骼碳氮稳定同位素结果表明，洋海先民在近千年的时间里一直是以$C_3$类动物性食物为主，粮食作物作为补充，指示古洋海人主要从事牧业，兼营小规模农业的生计策略[52]. 洋海墓地中零星出土了少量的青稞、小麦、黍，发现了目前我国境内最早的栽培葡萄，表明当时农业和园艺种植活动在吐鲁番是流行的，其产品是食物的重要补充[30,53]. 以上信息均表明在青铜时代晚期和早期铁器时代，农牧兼营是吐鲁番盆地先民的生存基础，牧业是当地更为重要的经济类型，支撑史前社会和文明的持续发展.

木材切面显微结构显示，云杉和桦是先民制作木盘和箭杆的材料(图5). 在同时期的洋海墓地中发现，云杉被用作横梁来搭建墓室顶部、制作箭杆和钻木取火器，桦木在加工后被制成日常生活用具——木勺[30]. 胜金店墓地中也发现有云杉和桦制成的箭杆[54]. 鱼儿沟遗址(2400~2100 cal a BP)陶罐中保存有炭化的云杉木材，说明云杉可能被用作燃料[38]. 由此可见，苏贝希文化不同时间段先民都在持续采伐利用云杉. 云杉在新疆高海拔山地广泛分布，包括阿尔泰山地区生长的新疆云杉(*Picea obovata*)和天山沿线生长的天山云杉(*Picea schrenkiana*). 因此，根据云杉的地理分布，吐鲁番加依墓地中发现的云杉可以被进一步鉴定到种，为天山云杉. 该树种是山地针叶林的建群种，大多数分布在天山北坡1500~2700 m海拔之间，形成沿天山绵延上千公里长、最宽约1.2 km的亚高山森林带[55]. 天山南坡只有水分较好的高海拔山地有少量斑块状云杉林分布. 桦木也适宜在冷凉的气候中生长，通常分布在山地丘陵或较高海拔山间河谷内. 云杉和桦木这两类性喜冷凉的树种没有在干热的吐鲁番盆地生长和分布，基

于劳动成本考虑, 推测加依先民不是专门到达远离吐鲁番盆地数十到上百公里的高山中采集少量的云杉和桦. 另外, 洋海墓地中还发现由小花紫草果实以钝三角形形状装饰的木桶, 这类植物仅在天山北坡生长[30]. 只能在夏季采伐的高山树种天山云杉、桦和仅分布在天山北坡的装饰性植物小花紫草, 暗示吐鲁番盆地先民可能进行季节性迁移放牧, 这些植物可能是先民在沿着海拔梯度垂直迁移放牧过程中顺带采集的.

不仅是典型植物的地理分布和生境特征, 吐鲁番盆地遗址的其他考古发现也从侧面证明季节性垂直迁移放牧可能存在. 加依墓地中普遍随葬羊骨, 说明当地畜群以羊为主. 马骨有专门的祭祀坑, 表明马对先民的重要性. 马和羊的畜群组合使得远距离迁移放牧成为可能. 洋海墓地中发现多种驾驭马的工具组合, 如马镳、马衔、马辔、马嚼、颊革、马鞭等, 以及可以提升马背骑乘舒适度、更有利于长距离骑行的裤子和马鞍[56,57]. 马的畜力和骑马术的广泛使用, 使得牧民移动性更强, 可以更好地管理畜群, 进行更大范围的迁移放牧. 可能正是吐鲁番先民的季节性垂直迁移放牧, 才进一步将博格达山南北两侧人群紧密联系起来, 形成非常相似的文化面貌. 从考古资料来看, 苏贝希文化核心分布区包含博格达山南坡的吐鲁番盆地, 也覆盖博格达山北侧的阜康、奇台、吉木萨尔、木垒等山前地带和山谷地区, 典型遗址为大龙口墓地、小西沟、四道沟、半截沟遗址等[58]. 尤其是木垒四道沟遗址上层(2700~2400 cal a BP)最具代表性, 其中发现的彩陶与吐鲁番盆地苏贝希文化中期的彩陶非常相似, 被认为是强盛的苏贝希文化通过一些南北向山地沟谷向北扩张后形成的地方类型[26]. 吉木萨尔县大龙口墓地位于大龙口沟边缘, 沿着这条沟谷可以翻越博格达山, 到达吐鲁番盆地, M5出土的彩陶罐也证明博格达山南北在苏贝希文化时是互通的, 有着密切的交流[26]. 季节性垂直迁移放牧形成的南-北向固定路线, 可能是这些文化交流的重要山地通道, 汉代时成为连接吐鲁番车师前国和博格达山北坡车师后国的关键交通线, 称车师古道. 《西州图经》记载, 唐代时有6条古道, 可以从吐鲁番盆地翻过博格达山到达北庭都护府管辖区域[59].

山地与低地间的季节性迁移游牧, 可以利用多样化的气候条件, 最大化开发海拔梯度的垂直植被带资源, 极大拓展先民和畜群的生存空间与土地利用范围. 尤其是性喜凉的羊群可以在夏季躲避吐鲁番盆地持续的极端高温天气, 到达亚高山、高山草原和草甸植被量充足的夏季牧场, 在凉爽的环境下充分采食当地生长茂盛的优质牧草. 以此促进春季出生的小羊生长, 稳固并扩大畜群, 同时羊群可抓膘提高体重, 以利于更好地度过食物缺乏的冬季, 增强羊群生存机率. 而且向山地迁移放牧, 拓宽牧草食用范围, 可以最大程度使盆地绿洲内可食植物资源保留和恢复. 晚秋、冬季畜群返回低海拔盆地先民居址点附近, 可以躲避严寒、远离强风, 采食绿洲内有限的牧草或者农田秋收后遗留的杂草、麦茬、秸秆和农作物加工后的副产品等. 畜群在农田中采食时产生的动物粪还可直接作为农田肥料. 由此来看, 先民季节性迁移充分利用博格达山不同海拔气候多样性和垂直植被带丰富的草场资源, 保证畜群的食物、规模和产量, 是一种对牧业整体优化、有季节性资源储备安排的适应策略. 直到现在, 尽管有现代化农业支撑, 但是吐鲁番依然有牧民在夏季沿着古道, 翻越达坂, 到博格达山北侧放牧, 重复着两千多年前当地先民季节性迁移放牧的传统.

吐鲁番苏贝希文化中发现已生长6年的栽培型葡萄藤, 该果树需要埋土过冬、经常浇水和精心管理, 另外还有枣以及大量农作物本地种植的信息, 均表明一部分先民可能过着全年定居的生活[30,31,38]. 加依墓地中多个陶罐内发现骆驼粪, 而且有整罐盛放骆驼粪的现象, 说明骆驼是非常重要的家畜. 骆驼耐高温、耐干旱, 对戈壁荒漠景观有耐受力, 适合在地形较平缓的荒漠绿洲中生存, 不能圈养[60], 指示先民在吐鲁番盆地绿洲草场内基于居址全年发展牧业, 不是迁徙全部家畜开展季节性垂直迁移放牧. 骆驼粪中包含的黍小花和颖果还揭示先民的饲养行为. 骆驼是新疆干旱区代表性畜力动物, 骆驼的出现表明汉代丝路开通前天山沿线绿洲联系更加紧密.

## 5 结论

加依先民在青铜时代晚期和早期铁器时代广泛开发利用低地绿洲和高山植被景观资源, 采集多种野生植物, 以从事牧业为主, 包括沿不同海拔草场季节性迁移游牧、盆地绿洲内全年放牧, 同时兼营小规模农业, 与以往对于天山南麓低海拔盆地绿洲以发展农业为主的认识不同. 这种农牧兼营、以牧业为主的经济模式和扩展绿洲生存空间等方式是加依先民适应吐鲁番极端高温和干旱等气候环境的关键策略, 为了解新疆局地范围内边缘环境下早期人类生存模式和适应策略提供了新的认识.

## 参考文献


1 Yu J J, Wang Y P, He J N, et al. Tongtian Cave site in Jimunai county of Xinjiang (in Chinese). Archaelogy, 2018, 7: 3–14 [于建军, 王幼平, 何嘉宁, 等. 新疆吉木乃县通天洞遗址. 考古, 2018, 7: 3–14]

2 Zhou X, Yu J, Spengler R N, et al. 5200-Year-old cereal grains from the eastern Altai Mountains redate the trans-Eurasian crop exchange. Nat Plants, 2020, 6: 78–87

3 Yu J J. Archaeological excavation discoveries of Tongtian Cave in Jimunai county of Xinjiang revealing cultural development in tens of thousands of years (in Chinese). Cult Relics World, 2021, 7: 8–14 [于建军. 文脉流传数万年——新疆吉木乃县通天洞遗址考古发掘收获. 文物天地, 2021, 7: 8–14]

4 Qu Y T, Hu X J, Wang T T, et al. Early interaction of agropastoralism in Eurasia: New evidence from millet-based food consumption of Afanasyevo humans in the southern Altai Mountains, Xinjiang, China. Archaeol Anthropol Sci, 2020, 12: 1–11

5 Frachetti M D. Multiregional emergence of mobile pastoralism and nonuniform institutional complexity across Eurasia. Curr Anthropol, 2012, 53: 2–38

6 Qiu M H, Liu R L, Li X Y, et al. Earliest systematic coal exploitation for fuel extended to ~3600 B.P. Sci Adv, 2023, 9: eadh0549

7 Peter Jia W M, Caspari G, Betts A, et al. Seasonal movements of Bronze Age transhumant pastoralists in western Xinjiang. PLoS One, 2020, 15: e0240739

8 Cong D X, Jia W M. Evaluation on the research of prehistoric mobile pastoralist archaeology among the Eurasian Steppe (in Chinese). West Reg Stud, 2020, 4: 59–78 [丛德新, 贾伟明. 欧亚草原史前游牧考古研究述评——以史前生业模式为视角. 西域研究, 2020, 4: 59–78]

9 Chang C, Ivanov S S, Spengler Iii R N, et al. Montane ecoclines in ancient Central Asia: A preliminary study of agropastoral economies in Juuku, Kyrgyzstan. Land, 2023, 12: 1406

10 Doumani P N, Frachetti M D, Beardmore R, et al. Burial ritual, agriculture, and craft production among Bronze Age pastoralists at Tasbas (Kazakhstan). Archaeol Res Asia, 2015, 1-2: 17–32

11 Frachetti M D, Mar'yashev A N. Long-term occupation and seasonal settlement of eastern Eurasian pastoralists at Begash, Kazakhstan. J Field Archaeol, 2007, 32: 221–242

12 Jia W M. An archaeological survey on prehistoric nomadic pastoralism: An analysis of prehistoric settlements in western Tianshan of Xinjiang (in Chinese). West Reg Stud, 2018, 3: 63–75 [贾伟明. 史前游牧生业的考古学观察——新疆西天山史前聚落分析. 西域研究, 2018, 3: 63–75]

13 Wang J X, Deng C, Wan X. Reconsideration of the origins of the pastoral nomadic economy in the Eurasian Steppe. Sci China Earth Sci, 2022, 65: 2057–2067

14 Frachetti M D, Spengler R N, Fritz G J, et al. Earliest direct evidence for broomcorn millet and wheat in the central Eurasian steppe region. Antiquity, 2010, 84: 993–1010

15 Motuzaite Matuzeviciute G, Mir-Makhamad B, Tabaldiev K. The first comprehensive archaeobotanical analysis of prehistoric agriculture in Kyrgyzstan. Veget Hist Archaeobot, 2021, 30: 743–758

16 Spengler III R N. Agriculture in the Central Asian Bronze Age. J World Prehist, 2015, 28: 215–253

17 Tian D, Festa M, Cong D, et al. New evidence for supplementary crop production, foddering and fuel use by Bronze Age transhumant pastoralists in the Tianshan Mountains. Sci Rep, 2021, 11: 13718

18 Zhang J P, Lu H Y, Peter Jia W M, et al. Cultivation strategies at the ancient Luanzagangzi settlement on the easternmost Eurasian steppe during the late Bronze Age. Veg Hist Archaeobot, 2017, 26: 505–512

19 Shao K L, Zhang J P, Cong D X, et al. Analysis of plant microfossils reveals the ancient survival strategy of the Adunqiaolu site in Xinjiang, China (in Chinese). Quat Sci, 2019, 39: 37–47 [邵孔兰, 张健平, 丛德新, 等. 植物微体化石分析揭示阿敦乔鲁遗址古人生存策略. 第四纪研究, 2019, 39: 37–47]

20 Miller A R V, Haruda A, Varfolomeev V, et al. Close management of sheep in ancient Central Asia: Evidence for foddering, transhumance, and extended lambing seasons during the Bronze and Iron Ages. STAR: Sci Technol of Archaeol Res, 2020, 6: 41–60

21 Ananyevskaya E, Akhatov G, Loman V, et al. The effect of animal herding practices on the diversity of human stable isotope values in North Central Asia. J Archaeol Sci Rep, 2020, 34: 102615

22 Hermes T R, Schmid C, Tabaldiev K, et al. Carbon and oxygen stable isotopic evidence for diverse sheep and goat husbandry strategies amid a Final Bronze Age farming milieu in the Kyrgyz Tian Shan. Intl J Osteoarchaeol, 2022, 32: 792–803

23 Spate M, Leipe C, Motuzaite Matuzeviciute G. Reviewing the palaeoenvironmental record to better understand long-term human-environment interaction in Inner Asia during the Late Holocene. Front Ecol Evol, 2022, 10: 939374

24 Frachetti M D, Smith C E, Traub C M, et al. Nomadic ecology shaped the highland geography of Asia's Silk Roads. Nature, 2017, 543: 193–198

25 Li Y, Zhang C, Taylor W T T, et al. Early evidence for mounted horseback riding in northwest China. Proc Natl Acad Sci USA, 2020, 117: 29569–

29576
26 Guo W. Archaeological Research on the Societies of Late Prehistoric Xinjiang: From Pastoral Agricultural Societies to Walled, Nation States and Nomadic States (in Chinese). Shanghai: Shanghai Classics Publishing House, 2012 [郭物. 新疆史前晚期社会的考古学研究: 从畜牧-农耕社会到草原行国和绿洲城郭国家. 上海: 上海古籍出版社, 2012]
27 Yang Q, Zhou X, Spengler R N, et al. Prehistoric agriculture and social structure in the southwestern Tarim Basin: Multiproxy analyses at Wupaer. Sci Rep, 2020, 10: 14235
28 An C B, Zhang M, Wang W, et al. The pattern of Xinjiang physical geography and its relationship with the temporal-spatial distribution of agriculture and husbandry (in Chinese). Sci Sin Terrae, 2020, 50: 295–304 [安成邦, 张曼, 王伟, 等. 新疆地理环境特征以及农牧格局的形成. 中国科学: 地球科学, 2020, 50: 295–304]
29 Wang W, Liu Y, Duan F, et al. A comprehensive investigation of Bronze Age human dietary strategies from different altitudinal environments in the Inner Asian Mountain Corridor. J Archaeol Sci, 2020, 121: 105201
30 Jiang H E. Agricultural Activities and Plant Utilization of the Ancient Yanghai People, Turpan of Xinjiang, China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2022 [蒋洪恩. 新疆吐鲁番洋海先民的农业活动与植物利用. 北京: 科学出版社, 2022]
31 Jiang H, Zhang Y, Lü E, et al. Archaeobotanical evidence of plant utilization in the ancient Turpan of Xinjiang, China: A case study at the Shengjindian cemetery. Veget Hist Archaeobot, 2015, 24: 165–177
32 Zhang X S. Vegetation Map of the People's Republic of China (1:1000000) (in Chinese). Beijing: Geology Press, 2007 [张新时. 中华人民共和国植被图(1:1000000). 北京: 地质出版社, 2007]
33 Wang L, Xiao G Q, Liu Z J, et al. Brief report on excavation of Jiayi cemeteries in Turpan, Xinjiang (in Chinese). Turfanol Res, 2014, 1: 1–19 [王龙, 肖国强, 刘志佳, 等. 吐鲁番加依墓地发掘简报. 吐鲁番学研究, 2014, 1: 1–19]
34 Xiao G Q. The review and study of Jia Yi cemetery in Turfan, Xinjiang (in Chinese). Master Dissertation. Xi'an: Northwest University, 2018 [肖国强. 新疆吐鲁番加依墓地的发现与研究. 硕士学位论文. 西安: 西北大学, 2018]
35 Wang A Q. A research on the Bronze-Early Iron Age human skeletal remains from Jiayi cemetery in Turpan, Xinjiang (in Chinese). Doctor Dissertation. Changchun: Jilin University, 2022 [王安琦. 新疆吐鲁番加依墓地青铜-早期铁器时代人骨研究. 博士学位论文. 长春: 吉林大学, 2022]
36 Cheng J Q, Yang J J, Liu P. Wood Atlas of China (in Chinese). Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 1992 [成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志. 北京: 中国林业出版社, 1992]
37 Jiang X M, Cheng Y M, Yin Y F. Atlas of Gymnosperms Woods of China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2010 [姜笑梅, 程业明, 殷亚方. 中国裸子植物木材志. 北京: 科学出版社, 2010]
38 Jiang H, Wu Y, Wang H, et al. Ancient plant use at the site of Yuergou, Xinjiang, China: Implications from desiccated and charred plant remains. Veget Hist Archaeobot, 2013, 22: 129–140
39 Ramsey C B. OxCal v4.4. 2021, https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html
40 Reimer P J, Austin W E N, Bard E, et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon, 2020, 62: 725–757
41 Jiang H, Wang L, Merlin M D, et al. Ancient *Cannabis* burial shroud in a central Eurasian cemetery. Econ Bot, 2016, 70: 213–221
42 Liu Y, Gu M, Chen T, et al. The recognition and utilization of *Cannabis sativa* in ancient Xinjiang viewed from plant remains (in Chinese). J Univ Chin Acad Sci, 2022, 39: 567–576 [刘妍, 顾漫, 陈涛, 等. 从植物遗存看古代新疆大麻的认识和利用. 中国科学院大学学报, 2022, 39: 567–576]
43 Ren M, Tang Z, Wu X, et al. The origins of cannabis smoking: Chemical residue evidence from the first millennium BCE in the Pamirs. Sci Adv, 2019, 5: eaaw1391
44 Jiang H E, Li X, Ferguson D K, et al. The discovery of *Capparis spinosa* L. (Capparidaceae) in the Yanghai Tombs (2800 years b.p.), NW China, and its medicinal implications. J Ethnopharmacol, 2007, 113: 409–420
45 Shackleton C M, Prins F. Charcoal analysis and the "Principle of least effort"—A conceptual model. J Archaeol Sci, 1992, 19: 631–637
46 Rodrıguez M ı F. Woody plant resources in the Southern Argentine Puna: Punta de la Peña 9 archaeological site. J Archaeol Sci, 2004, 31: 1361–1372
47 Liu X Y, Lister D L, Zhao Z J, et al. Journey to the east: Diverse routes and variable flowering times for wheat and barley *en route* to prehistoric China. PLoS One, 2017, 12: e0187405
48 Wu X T, Zhang X X, Li Y, et al. Analysis on human migration and dietary structure of the Jiayi cemetery in Turpan, Xinjiang (in Chinese). West Reg Stud, 2021, 3: 83–92 [吴晓桐, 张兴香, 李雍, 等. 新疆吐鲁番加依墓地人类迁徙与饮食结构分析. 西域研究, 2021, 3: 83–92]
49 Zheng H P, Jiang H E, Zhang Y B, et al. Early processed Triticeae food remains in The Yanghai Tombs, Xinjiang, China. Archaeometry, 2015, 57: 378–391
50 Gong Y, Yang Y, Ferguson D K, et al. Investigation of ancient noodles, cakes, and millet at the Subeixi Site, Xinjiang, China. J Archaeol Sci, 2011,

38: 470–479
51 Zhang Q C, Zhang W X, Wang L, et al. The tooth wear of the Bronze-Iron Age's population from Jiayi cemetery in Turpan depression, Xinjiang Province (in Chinese). Acta Anthropol Sin, 2017, 4: 438–456 [张全超, 张雯欣, 王龙, 等. 新疆吐鲁番加依墓地青铜——早期铁器时代居民牙齿的磨耗. 人类学学报, 2017, 4: 438–456]
52 Si Y, Lü E G, Li X, et al. Exploration of human diets and populations from the Yanghai Tombs, Xinjiang (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 1422–1429 [司艺, 吕恩国, 李肖, 等. 新疆洋海墓地先民的食物结构及人群组成探索. 科学通报, 2013, 58: 1422–1429]
53 Jiang H E, Zhang Y B, Li X, et al. Evidence for early viticulture in China: Proof of a grapevine (*Vitis vinifera* L., Vitaceae) in the Yanghai Tombs, Xinjiang. J Archaeol Sci, 2009, 36: 1458–1465
54 Nong K, Zhang G, Wang L, et al. Prehistoric wooden bows and arrows in the Turpan Basin, Northwest China: Wood selection and utilization in a mosaic landscape. Archaeometry, 2023, 65: 881–896
55 Wang S Z, Cong D X. Ecological environment and wood use indicated by the wood from Adunqiaolu site in Xinjiang, China during early Bronze Age (in Chinese). Quat Sci, 2022, 42: 1723–1736 [王树芝, 丛德新. 青铜时代早期新疆温泉阿敦乔鲁遗址木材指示的环境和先民木材利用策略. 第四纪研究, 2022, 42: 1723–1736]
56 Beck U, Wagner M, Li X, et al. The invention of trousers and its likely affiliation with horseback riding and mobility: A case study of late 2nd millennium BC finds from Turfan in eastern Central Asia. Quat Int, 2014, 348: 224–235
57 Wertmann P, Yibulayinmu M, Wagner M, et al. The earliest directly dated saddle for horse-riding from a mid-1st millennium BCE female burial in Northwest China. Archaeol Res Asia, 2023, 35: 100451
58 Shao H Q. Research on the Subeixi culture in Xinjiang (in Chinese). Res China's Front Archaeol, 2012, 2: 193–220 [邵会秋. 新疆苏贝希文化研究. 边疆考古研究, 2012, 2: 193–220]
59 Wu X H. Reinvestigation and Research on the Ancient Roads of Turpan in Eastern Tianshan Mountains (in Chinese). Guilin: Guangxi Normal University Press, 2022 [巫新华. 重走天山路——东天山吐鲁番古道考察与研究. 桂林: 广西师范大学出版社, 2022]
60 You Y, Wang J X, Zhao X, et al. A zooarchaeological research on Bactrian camel bones in the Shirenzigou site, Xinjiang (in Chinese). Quat Sci, 2014, 34: 173–186 [尤悦, 王建新, 赵欣, 等. 新疆石人子沟遗址出土双峰驼的动物考古学研究. 第四纪研究, 2014, 34: 173–186]

## 补充材料

**表S1** 植物遗存来源、种属鉴定结果和用途
**表S2** 木材树种鉴定结果

本文以上补充材料见网络版csb.scichina.com. 补充材料为作者提供的原始数据, 作者对其学术质量和内容负责.

Summary for “吐鲁番加依先民适应极端干旱环境的策略: 绿洲农业和季节性迁移放牧”

# Oasis agricultural practices and seasonal transhumance pastoralism: adaptive strategies of Jiayi inhabitants to a hyper-arid environment, Turpan, Xinjiang

Guilin Zhang[1], Long Wang[2], Xingxing Han[3], Gang Jiang[1] & Hongen Jiang[4*]

[1] *School of Archaeology and Museology, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China*
[2] *Turpania Academia, Turpan 838000, China*
[3] *School of Earth System Science, Tianjin University, Tianjin 300072, China*
[4] *Department of Archaeology and Anthropology, School of Humanities, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*
* Corresponding author, E-mail: jianghongen@ucas.ac.cn

Climate of the Turpan Basin is hot and hyper-arid, a typical and ideal region for exploring the methods and strategies of ancient humans that had to adapt to marginal environmental conditions. Although stone artifacts have been previously discovered in the basin, most were collected at surface of sites. The strata of these artifacts was absent and their chronology was vague. The earliest archaeological findings with reliable dates from the basin emanated from Subeixi culture, 3200–1800 cal a BP, during the late Bronze and early Iron Ages. Plants recovered from Yanghai cemetery, a typical Subeixi cultural site, revealed that Yanghai community cultivated a small quantity of wheat, barley, and broomcorn millet. Livestock bones with related leather and fur products were commonly discovered in the cemetery. It has been speculated that local people were mainly engaged in livestock herding and concurrently developed small scale agriculture. Agropastoralism was adopted as a prominent pattern of economic production. A large number of wheat straws from late Subeixi culture were excavated from Shengjindian cemetery, indicating that scale of crop cultivation was expanded and agricultural production was intensified. In addition, remnants of fruits, like grapes and Chinese dates, appeared in the basin. Horticulture became an important component of the local economy. Despite archaeobotanical research at Yanghai, Shengjindian, and Yuergou sites, scientific recognition of a subsistence economy and adaptive strategies in reaction to the extreme arid climate of the basin practiced by prehistoric inhabitants, especially in the middle time period of the Subeixi culture, is lacking. New archaeological artifacts and discoveries are essential to fill informational gaps. In this present study, plant stems, leaves, seeds, fruits, and wood were first collected from Jiayi cemetery, a representative site of middle phase of Subeixi culture in Turpan and then systematically analyzed to determine patterns of botanical resource usage, subsistence economy, and adaptative strategies of local inhabitants. Results show that in total 28 plant species were preserved in Jiayi cemetery (2800−2300 cal a BP) and utilized for cereal, medicines, psychoactive agents, fibrous materials, decorative objects, and woodware-making tools, offering evidence of an abundant and varied collection of oasis-based plants and evidence of diverse utilization strategies and practices. Very few cereal crops, including naked barley (*Hordeum vulgare* var. *celeste*) and broomcorn millet (*Panicum miliaceum*), were recovered, indicating that dryland farming on a small scale was developed in the oases of the basin. In combination with results of multidisciplinary research, it proves that agropastoralism was practiced by Jiayi inhabitants, in which herding played a dominant role in their mixed subsistence economy. Wood composition results identified spruce (*Picea* sp.) and birch (*Betula* sp.) plants, which only grow in the higher altitudes of the Tianshan Mountains. Based on the geographical distribution and habitat niche of these two tree varieties and integration of archaeological findings, it is speculated that seasonal transhumance herding along with vertical vegetation zones of the Tianshan Mountains (Bogda Mountain) were simultaneously practiced by indigenous peoples of the Turpan Basin. Apart from this, camels in desert oases were herded year-round by few inhabitants and fed with broomcorn millet and its by-products after having been processed in the cold, late autumn and winter. Such animal management strategies contributed significantly to extending the survival space of oases, to sufficiently utilizing different plant resources under diverse upland and lowland climatic and environmental conditions, and to maximizing pastoral products and profits. Engaging in diversified subsistence patterns was an optimal and resilient strategy of early inhabitants of the Turpan Basin in order to better adapt to the extremely arid environment. It was a key driving force for promoting continuous development of the local prehistoric civilization.

**Xinjiang, arid lands, oases agriculture, transhumance pastoralism, human adaptation**

doi: 10.1360/TB-2023-1212