

黄有良, 胡兴军, 董惟妙, 等. 新疆克亚克库都克唐代烽燧遗址粪化石脂质记录的动物利用 [J]. 地理科学, 2024, 44(11): 2051-2059. [Huang Youliang, Hu Xingjun, Dong Weimiao et al. Animal utilization revealed by lipid records of coprolites at Keyakekuduke Tang Dynasty Beacon Site, Xinjiang. Scientia Geographica Sinica, 2024, 44(11): 2051-2059.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.20221153; cstr: 32176.14.geoscience.20221153

新疆克亚克库都克唐代烽燧遗址 粪化石脂质记录的动物利用

黄有良¹, 胡兴军^{2,3}, 董惟妙⁴, 李志伦¹, 陈林¹, 杨瑞¹, 曹凯喻¹, 芦永秀¹, 周爱锋¹

(1. 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 新疆大学历史学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;
3. 新疆维吾尔自治区文物考古研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011;
4. 复旦大学文物与博物馆学系&科技考古研究院, 上海 200433)

摘要: 烽燧是中原王朝对边疆地区控制力的重要体现。位于新疆维吾尔自治区尉犁县的克亚克库都克唐代烽燧遗址曾是中国唐代以来边疆地区重要的军事据点, 对其出土遗物的研究为理解各时段军事组织形式、军事制度、军队生活等提供重要的证据。本研究采用气相色谱质谱联用仪(GC-MS)对遗址中发现的 9 块粪化石中甾类化合物进行了提取、检测及分析, 并结合已有研究及现代草食动物粪便中甾类化合物的含量和分布特征, 对粪化石的来源进行了探讨。研究结果显示遗址中存在草食性动物(马、羊)和杂食性动物(犬类), 其中马在遗址中可能担任了代步和运输等重要功能, 犬类在遗址内可能参与了军民的狩猎和护卫活动。本研究为了解唐代新疆地区军事据点的动物利用以及当时的军民生产生活提供了重要的参考。

关键词: 克亚克库都克烽燧遗址; 粪化石; 甾类生物标志物; 动物考古学

中图分类号: F129.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2024)11-2051-09

动物资源的开发及利用贯穿人类衣食住行^[1], 是研究人群生计形态的重要考察对象。根据遗址中发现的动物遗存的种类、年龄、性别组成、人工痕迹来研究当时人类开发利用周边动物资源的特征, 除了能够提供动物相关信息, 还能为判断当时的环境类型、生计形态及社会组织结构等提供重要参考。

新疆地处中亚干旱区内部, 干燥的自然条件有利于遗址中各类遗存的保存。大量的考古发现和研究证实该地区史前人类的生业模式存在显著的时空差异, 在山地地区形成以游牧为主、绿洲地区形成以农业-畜牧混合的经济模式^[2]。此外, 基于考古遗址发掘过程出土的粪便、奶酪、粘合剂以及化妆棒等遗存的研究发现, 新疆地区史前人类对动物的利用是多渠道的^[3-6]。然而过去的研究主要基于动物骨骼遗存恢复史前人群的畜牧业活动, 很少有研究基于有机指标重建遗址中动物资源利用过程, 仍需关

键的材料进行更为深入的补充和研究。

作为古代中国的边疆地区, 新疆历史上也一直 是多民族混居的地带。考古研究表明, 战争、暴力冲突威胁曾存在于新疆社会发展的进程中^[7-9]。特别是在强盛的唐朝时期, 中央政府开疆扩土的同时与西域各国交流密切, 在促进了丝绸之路沿线各地经济繁盛的同时修建了诸多烽燧^[10-11]。自 2019 年 11 月开始发掘并入选 2021 年中国十大考古新发现的新疆尉犁克亚克库都克唐代烽燧遗址, 是国内首次主动进行考古发掘的唐代烽燧。对该遗址出土的各类材料进行的研究除了能够揭示遗址本身的信息外, 还能为当时社会发展、军事组织形式等提供必要的实证, 是了解唐朝中央政府对西域管辖和治理的方法以及为安定丝绸之路所做贡献的有力证据。

粪化石也称考古粪便^[12], 但并非传统意义化石, 其内部含有很多物质, 包括骨头碎片、动物毛发、

收稿日期: 2023-06-12; 修订日期: 2023-10-20

基金项目: 国家社会科学基金项目(21VJXG010)资助。[Foundation: National Social Science Foundation of China (21VJXG010).]

作者简介: 黄有良(1999—), 男, 山东临沂人, 硕士, 主要从事环境变化、环境考古研究。E-mail: ylh Huang21@lzu.edu.cn

通信作者: 董惟妙。E-mail: dongwm@fudan.edu.cn

种子、根茎、植硅体、孢粉、肠道菌群等微生物、动物自身以及被捕食者的 DNA 以及特殊的脂类物质等^[13]。对粪化石中各类生物遗存进行研究可以了解相关动物的饮食习惯、消化过程、生存环境情况以及健康状况等^[13-19]。此外,粪化石在遗址中出土的位置也可以反映古代人类的卫生习惯^[20],其包含的古 DNA 信息可以验证动物考古研究结果^[21]。

近年来粪便生物标志物在古环境和考古研究中发展迅速且应用广泛^[22-28],但国内关于粪化石的相关研究较为薄弱,在考古工作中往往被忽略。因此,本研究的目的主要有:①对克亚克库都克烽燧遗址中发现的 9 个粪化石进行脂类提取,结合收集的国内现代动物粪便的结果,以期检验粪便脂类提取实验方法应用于考古样品的可靠性;②通过分析现代粪便样品甾类化合物组成及含量,为国内动物粪便的脂类分析研究提供数据补充;③根据现代粪便样品测试结果和已有研究推测粪化石的来源,进而明确唐代边防基层军事机构的动物利用情况,为古代军事管理制度及日常生活提供实物证据。

1 研究区概况

克亚克库都克烽燧遗址(87°16'13"E, 41°5'31"N, 869 m)位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州尉犁县东南约 90 km 处的荒漠地带,是孔雀河古河道沿线烽燧群中的一座。遗址处于欧亚大陆内部,远离海洋,其北部为库鲁克塔格山,南靠塔克拉玛干沙漠(图 1)。该地区年平均气温约为 11.5℃,年降水量 25 mm 左右,年潜在蒸发量达 2906 mm,属

暖温带大陆性极端干旱荒漠型气候,地貌特征以盐碱滩地为主。遗址附近生长有胡杨(*Populus euphratica*)、红柳(*Tamarix chinensis*)、骆驼刺(*Alhagi camelorum*)等植被,黄羊(*Gazella subgutturosa*)、野兔(*Lepus sinensis*)等动物经常出没^[10-11, 28]。

克亚克库都克烽燧修筑于一处大型红柳沙堆上,是由烽燧本体、居住房屋等建筑构成的一处军事设施遗址。2019 年以来,累计发掘面积超过 1 100 m²,清理房屋、土埂、木栅栏、踏步各 1 处,灰堆(HD)5 处。其中 HD1 位于沙堆南坡处,为戍边将士倾倒生活垃圾与沙堆顶部坍塌形成,沿地势从上到下分为 A、B 两层,是出土文物最丰富的灰堆。A 层中出土有陶器、铜器、铁器、纺织品、大量纸文书、木牍、钱币等遗物,还出土了较多的生物遗存,包括:粪便、动物骨骼和大植物遗存等^[10-11]。自克亚克库都克烽燧开始发掘以来,对于遗址中出土文物的研究已迅速开展并取得了一定的研究成果^[28-30]。

2 材料与方法

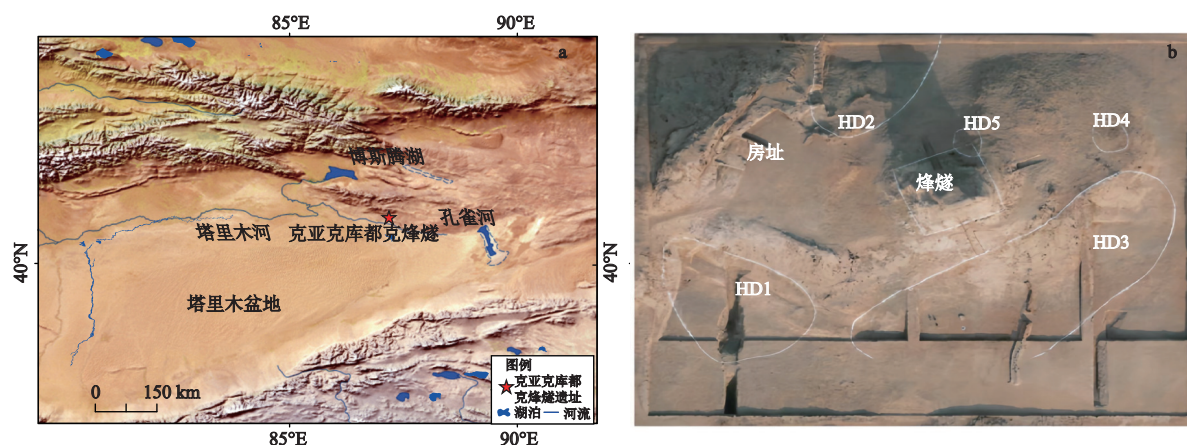
2.1 材料

2.1.1 现代材料

为了解粪便中甾类化合物的种类及分布特征,研究团队于 2021 年 8 月在内蒙古地区采集了 14 份现代动物(包括牛、羊和马)的粪便样品。经与牧民确认,其中家畜类动物的饲养方式为放养。样品采集后立即冷冻保存。

2.1.2 考古材料

本研究共采集到 9 例粪化石样品(图 2),这些



HD1~HD5 为灰堆

图 1 克亚克库都克烽燧遗址位置(a)及平面图(b)

Fig.1 Location (a) and plan (b) of the Keyakekuduke Beacon Site

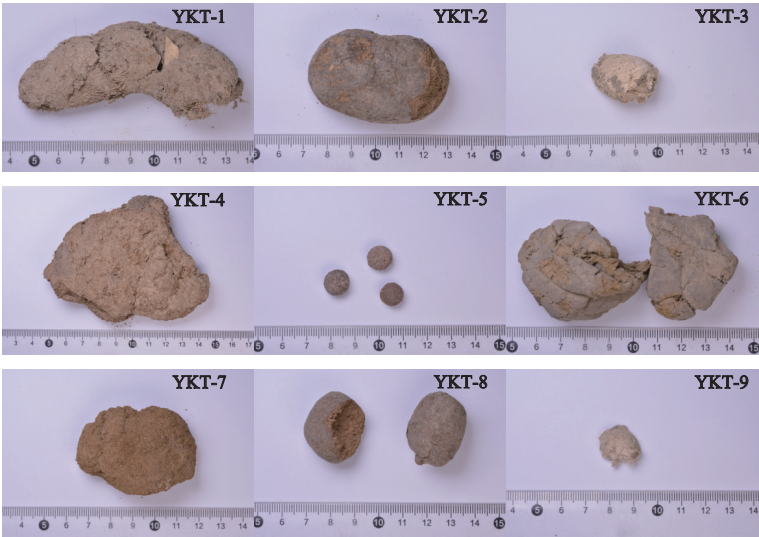


图 2 克亚克库都克烽燧遗址粪化石样品图
Fig.2 Coprolite samples diagram of Keyakekuduke Beacon Site

样品来自克亚克库都克烽燧南侧的灰堆中(HD1)。根据地层堆积状况及出土遗物,结合¹⁴C 测年分析,明确了克亚克库都克烽燧遗址为唐代遗址^[10-11,28],而粪化石样品均发现于文化层中,因此认为其为考古样品,具体样品信息见表 1。

表 1 克亚克库都克烽燧遗址粪化石样品信息
Table 1 Coprolite samples information of Keyakekuduke Beacon Site

样品名称	实验室 编号	实验用量 (干重)/g	形态学 分析
2020YKFTN05E03②	YKT-1	1.24	人类粪便
19YKTN02E01	YKT-2	0.77	马粪便
房址西侧动物粪便	YKT-3	0.97	无法确认
2020YKTN05E03②	YKT-4	1.61	无法确认
2020YKTN05E03②	YKT-5	0.50	羊粪便
19YKTN02E01	YKT-6	0.87	草食动物粪便
2020YKFTN02E04②	YKT-7	0.73	草食动物粪便
三号垃圾堆	YKT-8	0.56	无法确认
2020YKFTN05E03②	YKT-9	0.47	无法确认

注: ②为考古遗址发掘现场的地层控制编号,表示第二层。

2.2 样品前处理方法

粪便样品的甾类化合物分析遵循前人的实验方法^[24,31-32],在实施过程中对样品的提取和分离进行了优化设计。首先取粪便样品 1 g 左右,用二氯甲烷/甲醇(DCM/MeOH = 9:1; v/v)超声萃取,离心倒出上清液并重复 4 次,最后一次将样品吹干。然后加入皂化液(6% KOH 的甲醇溶液)4 mL 后静置 12 h

以上。向皂化后的样品中加入 5%NaCl(aq)1 mL 终止皂化。用正己烷预处理填充有硅胶(40~60 μm)的硅胶柱(5 mm 直径)。含有甾类化合物的中性组分部分用正己烷转移到硅胶柱上,用正己烷/乙酸乙酯(HEX:EtOA=3:1; v/v)混合试剂洗脱并晾干。加入 50 μL BSTFA 和 40 μL 吡啶,放入烘箱在 70℃ 条件下加热 1 h 后,用 N₂ 吹干,加入 300 μL 正己烷定容后上机测试。

甾类化合物的测试采用气相色谱-质谱联用法(GC-MS; Agilent 8890-5977B),载气为 He,进样口温度为 250℃,柱温箱初始温度为 80℃(保持 1.5 min),先以 12℃/min 的速度升温至 265℃,接着以 0.6℃/min 的速度升温至 288℃,再以 10℃/min 的速度升温至 300℃,然后以 25℃/min 的速度升温至 340℃,保持 5 min。最后采用全扫描(Scan)和选择离子扫描(SIM)模式对甾类化合物进行定性及定量分析,MS 扫描范围设置在 m/z(质量/电荷)为 50~650,扫描速率为 0.2 Hz。

3 结果

现代粪便样本多来源于草食动物(牛、羊、马),各类动物样本中甾类化合物的构成和相对含量见图 3。由图 3 可知,现代粪便中常见的 9 种甾类化合物均被检测到,由于饮食结构相似,它们粪便中的甾类化合物主要以植物源甾醇(豆甾醇、β-谷甾醇、5β-豆甾烷醇及异构 5β-豆甾烷醇)为主,但各自所占比重并不相同。其中,牛粪便和羊粪便特征较为

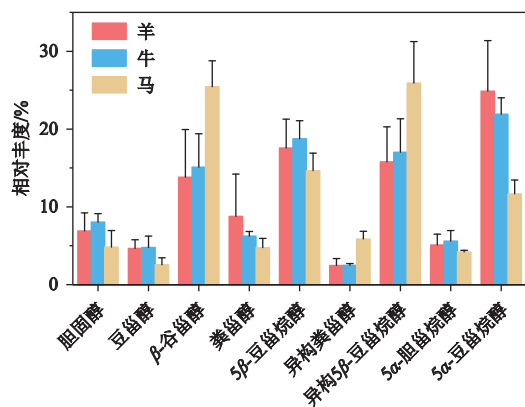


图3 现代粪便中甾类化合物含量分布

Fig.3 Distribution of steroid content in modern feces

相似,含量由高到低依次为 5α -豆甾醇、 5β -豆甾醇、异构 5β -豆甾醇和 β -谷甾醇,其他几类含量则较低。而马粪便中异构 5β -豆甾醇含量最高,其余含量较多的依次为 β -谷甾醇、 5β -豆甾醇及 5α -豆甾醇。

而9个粪化石甾类化合物的分布差异较大,具体构成见图4。其中YKT-1、YKT-4样品中粪甾醇的相对含量最高,分别为31.08%和28.36%, 5α -豆甾醇(16.07%和24.73%)和 5β -豆甾醇(10.52%和10.70%)的含量也相对较高,不同的是

YKT-1中含有较多的胆固醇(20.54%),而YKT-4中含有较高浓度的异构粪甾醇(20.53%)。YKT-2、YKT-5、YKT-7样品中 5β -豆甾醇及异构 5β -豆甾醇含量较高,二者总含量在30.98%~50.32%之间,同时 5α -豆甾醇的含量较高,分别为12.93%、28.31%及29.69%。YKT-6和YKT-8中 5α -豆甾醇占优势,相对含量分别为55.47%和72.75%,其次为 5β -豆甾醇,分别为16.38%、8.26%。YKT-3及YKT-9中胆固醇及 5α -胆甾醇的含量最高,二者总含量在51.61%~72.05%之间。

4 讨论

4.1 甾类化合物指示的粪化石来源

甾类化合物广泛存在于植物、真菌、动物(包括人类)的组织 and 粪便残留物中,其中甾醇是环境和考古研究中最常用的生物标志物^[24]。甾类化合物结构稳定且水溶性较差,基本不会发生淋溶作用,因此可以在沉积物和土壤中保存数千年^[27]。一般来说,豆甾醇和 β -谷甾醇是植物体中含量最高、最典型的 Δ^5 -甾醇^[33-36],而胆固醇在动物、植物和真菌中均有发现^[37-39],但在动物细胞中含量较多。甾醇主要由 Δ^5 -甾醇经过微生物作用转化产生, 5α -甾醇(5α -豆甾醇、 5α -胆甾醇)是由谷甾醇和胆固醇

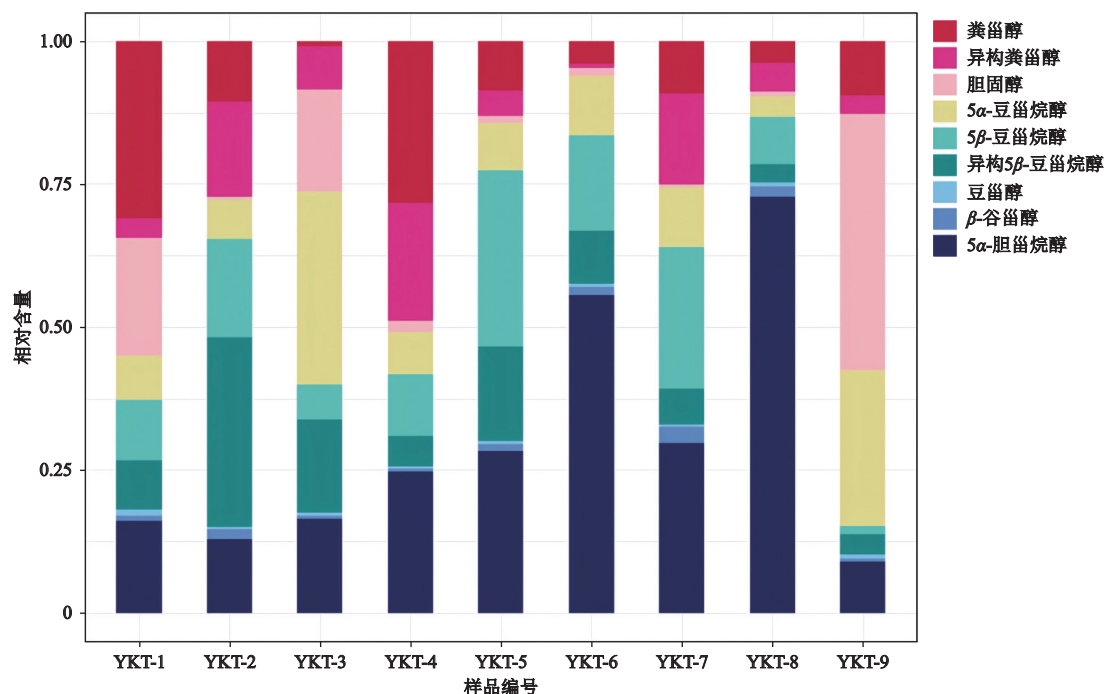


图4 粪化石样品中典型甾类化合物相对含量

Fig.4 Relative content of typical steroids in coprolite samples

在环境中经微生物降解产生^[40-42], 而 5β -甾烷醇(粪甾醇、 5β -豆甾烷醇)和异构 5β -甾烷醇(异构粪甾醇、异构 5β -豆甾烷醇)通常是胆固醇、豆甾醇和 β -谷甾醇经过高等哺乳动物肠道菌群氢化还原的产物^[39, 43-44]。由于饮食结构和消化系统中菌群的差异, 导致不同动物粪便中甾类化合物的特征不同, 因此可以根据粪便中甾类化合物种类及含量的不同判断粪便的来源^[24, 28-29, 45-46]。

如图 5 所示, 不同种生物之间以及同种生物的不同个体之间甾类化合物的含量差别较大^[22, 34, 47], 可能原因是现代粪便样品的采集较为随机, 处于不同地点的牲畜饲养方式可能不同, 受环境影响程度不同。但是, 现代粪便样品中甾类化合物的含量与前人研究结果整体较为一致, 表明不同地区动物粪便中脂类存在均质性, 结合甾类化合物结构稳定、可以在沉积物中保存数千年的特性, 证实了粪便脂类生物标志物在考古应用中的可行性。此外, 与新鲜粪便相比, 粪化石中 5α -甾烷醇的含量增多, 原因是

当粪便处于有氧环境中, 其中的 Δ^5 -甾醇会逐渐转化为 5α -甾烷醇^[14]。因此, 在利用甾类化合物识别粪化石类型时, 要考虑环境微生物的作用。

早在 1996 年, Leeming 等^[34] 就利用 5β -甾烷醇建立了比率 I 用以区分人类和草食动物粪便(人类>0.73; 草食动物<0.38)(表 2), 现代草食动物粪便样品的结果(表 3)均符合这一比率; Prost 等^[24] 发现马的粪便中异构 5β -豆甾烷醇的含量较高, 并提出比率 II 用于区分马类和其他草食动物, 现代草食动物粪便样品的结果显示该值均高于 1.2, 但马类粪便中该比率平均为 3.0997, 明显高于其他草食动物, 即马类粪便中含有更高含量的异构 5β -甾烷醇; 已有研究表明^[48-49] 犬类动物肠道内缺乏将 Δ^5 -甾醇转化为 5β -甾烷醇的菌群, 因此犬类粪便中的甾类化合物以胆固醇为主, 所以本文提出比率 III 用于区分犬类动物粪便(表 2)。

根据不同生物粪便中甾类化合物种类与含量的不同(图 4), 结合粪化石的形态以及前人据此得出的经验公式(表 4), 对粪化石样品的生物来源进行了推断: YKT-1 和 YKT-4 粪便中粪甾醇含量占主要优势, 同时其比率 I 接近或>0.73, 因此, 推测其为人类的粪便。YKT-2 粪化石中异构 5β -豆甾烷醇占优势, 比率 I 值为 0.3806, 符合马类粪便的甾类化合物特征, 且粪化石的形状呈元宝状, 推测其为马的粪便。YKT-3、YKT-9 粪化石样品中 Δ^5 -甾醇含量最多, 同时其比率 III 值低于其他粪化石样品, 据此推测其为犬类动物粪便。YKT-5、YKT-6、YKT-7、YKT-8 粪化石样品中植物源甾醇占主要优势, 比率 I 的值均小于 0.38, 同时粪化石样品中含有一些食物残渣, 据此可以推测其均为草食动物粪便。结合形态学分析, 推测 YKT-5 为羊粪。

4.2 甾类化合物指示的人类、动物食性及动物利用

人类粪化石样品(YKT-1、YKT-4)甾类化合物构成中各类甾醇含量均较高, 这与人类的杂食性有

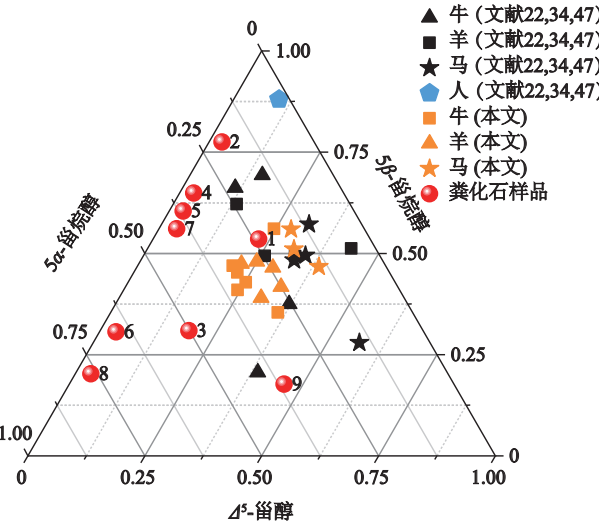


图 5 动物粪便中甾类化合物含量分布关系
Fig.5 Steroid content in animal feces

表 2 用于检测和识别粪化石的甾类化合物比率
Table 2 Steroid ratios used to detect and identify coprolite samples

编号	比率	指示意义	参考文献
I	粪甾醇/(粪甾醇+ 5β -豆甾烷醇)	<0.38为草食动物粪便; >0.73为人类粪便	[49]
II	异构 5β -豆甾烷醇/ 5β -豆甾烷醇+异构粪甾醇/粪甾醇	>1.2 为马类粪便; <0.8 非马类粪便	[37]
III	(粪甾醇+异构粪甾醇)/(胆固醇+ 5α -胆甾烷醇)	值较低, 可能为犬类粪便	[49]
IV	(5β -豆甾烷醇+异构 5β -豆甾烷醇+豆甾醇+谷甾醇+ 5α -豆甾烷醇)/ (粪甾醇+异构粪甾醇+胆固醇+ 5α -胆甾烷醇)	植物/动物源甾醇比率	[49]

表 3 现代粪便样品的甾类化合物比率值

Table 3 Steroid ratio values for modern feaces

编号	羊(<i>n</i> =6)	牛(<i>n</i> =5)	马(<i>n</i> =3)
I	0.3162 (SD=0.0730)	0.2517(SD=0.0269)	0.2471(SD=0.0548)
II	1.2641 (SD=0.4242)	1.3233 (SD=0.2828)	3.0997 (SD=0.6758)
III	0.9211 (SD=0.2864)	0.6413(SD=0.0317)	1.2084 (SD=0.1958)
IV	3.7144 (SD=1.2405)	3.4893(SD= 0.3232)	4.1625(SD=0.7054)

表 4 粪化石样品的甾类化合物比率值

Table 4 Steroid ratio values for coprolite samples

编号	YKT-1	YKT-2	YKT-3	YKT-4	YKT-5	YKT-6	YKT-7	YKT-8	YKT-9
I	0.7471	0.3806	0.1401	0.7262	0.2199	0.1925	0.2689	0.3159	0.8677
II	0.9238	3.4904	10.4042	1.2220	1.0469	0.7305	2.0067	1.6989	2.7142
III	1.6849	2.4592	0.4168	3.4792	0.9911	1.6879	1.2942	1.5497	0.1332
IV	0.5932	1.8924	0.6634	0.7143	3.4129	5.0611	1.7759	6.4796	0.1789

关。犬类粪化石(YKT-3、YKT-9)样品中甾类化合物的结果则存在一定的差异,其中 YKT-3 样品中植物源甾醇的含量较高;而 YKT-9 样品中甾类化合物基本为动物源甾醇(粪甾醇、异构粪甾醇、胆固醇、5 α -胆甾烷醇),植物源甾醇的含量较低(图 4)。这一方面与犬类的杂食性特征相符,另一方面可能暗示不同个体或同一个体不同时期摄入了差异明显的食物。值得注意的是,犬类粪化石中含有含量较低的 5 β -甾烷醇,而在犬类的肠道中不含有将 Δ^5 -甾醇转化为 5 β -甾烷醇的菌群,所以在犬类粪便中本不该含有粪甾醇及 5 β -甾烷醇,多以胆固醇为主,有研究者将这种现象解释为犬类食用了人类的粪便^[27]。因此可以推测克亚克库都克烽燧遗址出土的犬类同样可能食用了人类的粪便。犬类动物食粪是十分常见的现象^[49],通过这种行为它们可以获得其肠道中缺少的菌群,同时可以再吸收粪便中未消化完全的营养物质。烽燧遗址中发掘出大量野生动物的骨骼,说明屯戍将士在无法自足的情况下进行了狩猎活动^[11]。结合遗址中出土的犬类粪便化石,推测犬类在戍边将士日常生活中扮演了较为重要的角色,可能参与了日常的守备及狩猎活动。

草食动物粪化石甾类化合物中以植物源甾醇为主。遗址中出土了大量牛、羊、马以及各类野生动物的骨骼,这些野生动物及牲畜可能是烽燧周边生活的军民的主要肉食来源。根据遗址中出土的木炭,研究认为当时的地表景观为沿河绿洲^[28],在烽燧遗址中发现木栅栏一道,根据周围牲畜粪便的堆积情况,推测木栅栏可能为牲畜圈,据此推测先民

在烽燧周围进行了圈养活动。烽燧作为唐朝政府稳定西域局势、抵御外敌入侵的前沿阵地之一,是重要的军事基地,在唐朝西域军防中起到了重要作用。因此马类在平时的通信及战时都具有十分重要的作用,而牛、羊等牲畜发挥了肉食来源或运输工具的作用。

5 结论

本研究对 14 个现代牲畜(草场放牧的牛、羊、马)粪便样品及 9 个出土于新疆克亚克库都克烽燧遗址的粪化石样品进行了甾类化合物分析,识别了粪化石的来源,结论如下。

1)现代粪便样品中脂质种类和含量与国外的研究较为一致,即不同地区动物粪便中脂类存在均质性,证实了粪便脂类生物标志物在考古应用中的可行性。

2)现代粪便样品与粪化石甾类化合物分析结果有一定差异,表明粪便在环境中的暴露以及粪化石的埋藏过程均会导致甾类化合物的降解和转化。根据不同动物粪便中甾类化合物种类与含量的不同,以及前人据此得出的经验公式,本文推断了粪化石样品的生物来源。结果表明:样品编号 YKT-1、YKT-4 为人类粪便,YKT-3、YKT-9 为犬类粪便,YKT-2 为马类粪便,YKT-5 为羊类粪便,YKT-6、YKT-7、YKT-8 为草食动物粪便(暂时无法确定种属)。

3)烽燧作为古代边防系统中传递军情的重要机构,本研究选取的克亚克库都克烽燧出土的粪化

石中生物标志物表明烽燧周边长期生活一定数量的家畜, 包括杂食性犬类和羊、马等草食动物, 这些牲畜维持并丰富了官兵的日常生活。研究学者目前已经利用粪化石、遗址剖面中的甾类化合物对遗址中动物利用进行了分析, 在动物骨骼缺少的遗址, 甾类化合物分析对于识别动物种类以及指示人类活动具有较大的潜力, 值得进一步的研究。

参考文献(References):

- [1] Larson G, Piperno D R, Allnby R G et al. Current perspectives and the future of domestication studies[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, 111(17): 6139-6146.
- [2] 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: 677-687. [An Cheng-bang, Wang Wei, Liu Yi et al. The Holocene environmental change in Xinjiang and its impact on prehistoric cultural exchange. *Science China Earth Sciences*, 2020, 50: 677-687.]
- [3] Qiu Z, Yang Y, Shang X et al. Paleo-environment and paleo-diet inferred from Early Bronze Age cow dung at Xiaohe Cemetery, Xinjiang, N W China[J]. *Quaternary International*, 2014, 349: 167-177.
- [4] Mai H, Yang Y, Abuduresule I et al. Characterization of cosmetic sticks at Xiaohe Cemetery in early Bronze Age Xinjiang, China[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 18939.
- [5] Rao H, Yang Y, Abuduresule I et al. Proteomic identification of adhesive on a bone sculpture-in laid wooden artifact from the Xiaohe Cemetery, Xinjiang, China[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2015, 53: 148-155.
- [6] Yang Y, Shevchenko A, Knaust A et al. Proteomics evidence for kefir dairy in Early Bronze Age China[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2014, 45: 178-186.
- [7] 魏东. 青铜时代至早期铁器时代新疆哈密地区古代人群的变迁与交流模式研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2017. [Wei Dong. Study on the changes and communication patterns of ancient populations in Hami area of Xinjiang from the Bronze Age to the Early Iron Age. Beijing: Science Press, 2017.]
- [8] 田小红, 吴勇, 多斯江, 等. 新疆奇台石城子遗址 2016 年发掘简报 [J]. 文物, 2018, 744(5): 4-25. [Tian Xiaohong, Wu Yong, Duo Sijiang et al. The 2016 excavation of the Shichengzi site in Qitai County, Xinjiang. *Cultural Relics*, 2018, 744(5): 4-25.]
- [9] 王永强, 王晓丹, 王艳朋. 新疆巴里坤县清代军事遗址调查及初步认识 [J]. 文博, 2018(6): 42-53. [Wang Yongqiang, Wang Xiaodan, Wang Yanpeng. The survey and preliminary analysis of the military remains of the Qing Dynasty in Balikun County, Xinjiang. *Relics*, 2018(6): 42-53.]
- [10] 胡兴军, 艾尼·亚森, 徐佑成, 等. 新疆尉犁县克亚克库都克烽燧遗址考古发掘收获 [J]. 文物天地, 2021(7): 98-103. [Hu Xingjun, Aini-Yasen, Xu Youcheng et al. Archaeological excavation harvest of the Tang Dynasty Watchtower Site of Keyakekuduke, Yuli County, Xinjiang. *Cultural Relics World*, 2021(7): 98-103.]
- [11] 胡兴军, 阿里甫·江, 蔡浩强, 等. 新疆尉犁县克亚克库都克唐代烽燧遗址 [J]. 考古, 2021(8): 23-44. [Hu Xingjun, Alifu Jiang, Cai Haoqiang et al. The Tang Dynasty Watchtower Site of Keyakekuduke, Yuli County, Xinjiang. *Archaeology*, 2021(8): 23-44.]
- [12] Buckland W. On the discovery of coprolites, or fossil faeces, in the Lias at Lyme Regis, and in other formations[J]. *Transactions of the Geological Society of London*. 1829, s2-3(1): 223-236.
- [13] 殷亚飞, 罗茂, 黄金元. 粪化石在古生态研究中的应用综述 [J]. 古生物学报, 2022, 61(1): 107-122. [Yin Yafei, Luo Mao, Huang Jinyuan. Application of bromalites in palaeoecological research: A review. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2022, 61(1): 107-122.]
- [14] Shillitol M, Blong J C, Greene J et al. The what, how and why of archaeological coprolite analysis[J]. *Earth-Science Reviews*, 2020, 207: 103196.
- [15] Ferreira L F, Araujo A, Duarte A N et al. Nematode larvae in fossilized animal coprolites from lower and middle pleistocene sites, central Italy[J]. *Journal of Parasitology*, 1993, 79(3): 440.
- [16] Appelt S, Armougom F, Le Bailly M et al. Polyphasic analysis of a middle ages coprolite microbiota, Belgium[J]. *Plos One*. 2014, 9(2): e88376.
- [17] 王文娟, 吴妍, 李占扬, 等. 灵井许昌人遗址鬣狗粪化石的孢粉和真菌孢子研究 [J]. 科学通报, 2013, 58(增刊 I): 1-6. [Wang Wenjuan, Wu Yan, Li Zhanyang et al. Pollen and fungi spore analysis on Hyaenid coprolite from the Xuchang Man Site, Central China. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(Sup I): 1-6.]
- [18] Zhang Y, Sun G, Zhang D et al. Different human-dog interactions in early agricultural societies of China, revealed by coprolite[J]. *Frontiers in Earth Science*, 2021, 8: 633724.
- [19] Zhang Y, Zhang D, Yang Y et al. Pollen and lipid analysis of coprolites from Yuhuicun and Houtieying, China: Implications for human habitats and diets[J]. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2020, 29: 102135.
- [20] Bull I D, Elhmmalim M, Roberts D J et al. The application of steroidal biomarkers to track the abandonment of a Roman Wastewater Course at the Agora (Athens, Greece)[J]. *Archaeometry*, 2003, 45(1): 149-161.
- [21] Jenkins D L, Davis L G, Stafford T W et al. Clovis age western stemmed projectile points and human coprolites at the paisley caves[J]. *Science*, 2012, 337(6091): 223-228.
- [22] Baeten J, Marinova E, De Laet V et al. Faecal biomarker and archaeobotanical analyses of sediments from a public latrine shed new light on ruralisation in Sagalassos, Turkey[J]. *Journal of Archaeological Science*, 2012; 39(4): 1143-1159.
- [23] Evershed R P, Bethell P H, Reynolds P J et al. 5 β -Stigmastanol and related 5 β -stanols as biomarkers of manuring: Analysis of modern experimental material and assessment of the Archaeological Potential[J]. *Journal of Archaeological Science*, 1997, 24:

- 485-495.
- [24] Prost K, Birk J J, Lehdorff E et al. Steroid biomarkers revisited-improved source identification of faecal remains in archaeological soil material[J]. *Plos One*, 2017, 12(1): e0164882.
- [25] Lind S, Connoor W E, Napton L K et al. The steroids of 2000-year-old human coprolites[J]. *Journal of Lipid Research*, 1978, 19(2): 215-221.
- [26] Gill F L, Crump M P, Schouten R et al. Lipid analysis of a ground sloth coprolite[J]. *Quaternary Research*, 2009, 72(2): 284-288.
- [27] Shillito L-M, Whelton H L, Blong J C et al. Pre-Clovis occupation of the Americas identified by human fecal biomarkers in coprolites from Paisley Caves, Oregon[J]. *Science Advances*, 2020, 6(29): eaba6404.
- [28] 农旷远, 胡兴军, 王树芝, 等. 新疆克亚克库都克唐代烽燧遗址木炭记录的薪材利用和植被生态 [J]. 第四纪研究, 2022, 42(1): 181-191. [Nong Kuangyuan, Hu Xingjun, Wang Shuzhi et al. Fuel wood utilization and vegetation ecology at the Keyakekuduke watchtower site of Tang Dynasty in Yuli County, Xinjiang — Inferred from charcoal records. *Quaternary Sciences*, 2022, 42(1): 181-191.]
- [29] 关明, 康晓静, 魏乐, 等. 新疆尉犁县克亚克库都克烽燧遗址出土的纺织品染料科学分析 [J]. 西部皮革, 2021, 43(13): 36-39. [Guan Ming, Kang Xiaojing, Wei Le et al. Scientific analysis of textile dyes unearthed from Keyakekuduke Beacon Tower Site in Yuli, Xinjiang. *West Leather*, 2021, 43(13): 36-39.]
- [30] 胡兴军. 新疆尉犁县克亚克库都克烽燧遗址出土《韩朋赋》释析 [J]. 西域研究, 2021(2): 99-104. [Hu Xingjun. Analysis of the *Han Peng Fu* (A Story of Han Peng) unearthed from the Keyakekuduke Beacon Site in Yuli County, Xinjiang. *The Western Regions Studies*, 2021(2): 99-104.]
- [31] Birk J J, Dippold M, Wiesenberger G L B et al. Combined quantification of faecal sterols, stanols, stanones and bile acids in soils and terrestrial sediments by gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Journal of Chromatography A*, 2012, 1242: 1-10.
- [32] Bull I D, Simpson I A, Van Bergen P F et al. Muck 'n' molecules: Organic geochemical methods for detecting ancient manuring[J]. *Antiquity*, 1999, 73(279): 86-96.
- [33] Weete J D. Structure and function of sterols in fungi[J]. *Advances in Lipid Research*, 1989, 23(1): 115-167.
- [34] Leeming R, Ball A, Ashbolt N et al. Using faecal sterols from humans and animals to distinguish faecal pollution in receiving waters[J]. *Water Research*, 1996, 30(12): 2893-2900.
- [35] Volkman J K, Barrett S M, Blackburn S I et al. Microalgal biomarkers: A review of recent research developments[J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(5-7): 1163-1179.
- [36] Duan L, Song J, Yuan H et al. The use of sterols combined with isotope analyses as a tool to identify the origin of organic matter in the East China Sea[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 83: 144-157.
- [37] Albro P W, Schroeder J L, Corbeet J T. Lipids of the earthworm *Lumbricus terrestris*[J]. *Lipids*, 1992, 27(2): 136-143.
- [38] Weete J D, Abril M, Blackwell M. Phylogenetic distribution of fungal sterols[J]. *Plos one*, 2010, 5(5): e10899.
- [39] Martins C C, Seyffert B H, Braun J A F et al. Input of organic matter in a large south American tropical estuary (Paranaguá Estuarine System, Brazil) indicated by sedimentary sterols and multivariate statistical approach[J]. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2011, 22(8): 1585-1594.
- [40] D'anjou R M, Bradley R S, Balascio N L et al. Climate impacts on human settlement and agricultural activities in northern Norway revealed through sediment biogeochemistry[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109(50): 20332-20337.
- [41] Bull I D, Lockheart M J, Elhmmali M M et al. The origin of faeces by means of biomarker detection[J]. *Environment International*, 2002, 27(8): 647-654.
- [42] Nash D, Leeming R, Clemow L et al. Quantitative determination of sterols and other alcohols in overland flow from grazing land and possible source materials[J]. *Water Reserch*, 2005, 39(13): 2964-2978.
- [43] Schroeter N, Lauterbach S, Stebich M et al. Biomolecular evidence of early human occupation of a high-altitude site in western central Asia during the Holocene[J]. *Frontiers in Earth Science*, 2020, 8: 20.
- [44] Gérard P, Béguet F, Lepercq P et al. Gnotobiotic rats harboring human intestinal microbiota as a model for studying cholesterol-to-coprostanol conversion[J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2004, 47: 337-343.
- [45] 李秀美, 刘苏涛, 侯居峙, 等. 青藏高原阿里地区不同物种粪便中甾醇分布特征及指示意义 [J]. 地理科学, 2024, 44(7): 1123-1132. [Li Xiumei, Liu Sutao, Hou Juzhi et al. Distribution characteristics and indicative significance of fecal sterols in different species in Nagri Prefecture of Qinghai-Xizang Plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2024, 44(7): 1123-1132.]
- [46] Björkhem I, Wrange Ö, Gustafsson J. Microbial transformation of cholesterol into coprostanol[J]. *European Journal of Biochemistry*, 1973, 21: 428-432.
- [47] Gill F L, Dewhurst R J, Dungait J A J et al. Archaeol—A biomarker for foregut fermentation in modern and ancient herbivorous mammals[J]. *Organic Geochemistry*, 2010, 41(5): 467-472.
- [48] Livingston T R, Gipson P S, Ballard W B et al. Scat removal: A source of bias in feces-related studies[J]. *Wildlife Society Bulletin*, 2005, 33(1): 172-178.
- [49] Harrault L, Milek K, Jarde E et al. Faecal biomarkers can distinguish specific mammalian species in modern and past environments[J]. *Plos One*, 2019, 14(2): e0211119.

Animal utilization revealed by lipid records of coprolites at Keyakekuduke Tang Dynasty Beacon Site, Xinjiang

Huang Youliang¹, Hu Xingjun^{2,3}, Dong Weimiao⁴, Li Zhilun¹, Chen Lin¹,
Yang Rui¹, Cao Kaiyu¹, Lu Yongxiu¹, Zhou Aifeng¹

(1. Key Laboratory of Western Environment, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. School of History, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China; 3. Institute of Cultural Relics and Archaeology of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 4. Department of Cultural Relics and Museum Studies & Institute of Scientific and Technological Archaeology, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Beacons, also known as “Fengsui”, represent a key manifestation of the central Chinese dynasties’ ability to exert control over frontier regions. The Keyakekuduke Beacon Site, located in Yuli County, Xinjiang, was an important military outpost in the border areas of China during Tang Dynasty. Excavations at this site have provided valuable artifacts, which offer significant insights into the military organization, institutional frameworks, and daily life of soldiers during various historical periods. These artifacts are crucial for reconstructing how the Tang Dynasty administered and defended its frontier regions. In this study, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was employed to analyze sterol compounds extracted from 9 coprolite samples discovered at the Keyakekuduke Beacon Site. Sterols, as lipid biomarkers, are useful indicators for identifying the presence and types of animals in archaeological contexts. The analysis of these sterols can reveal the diet, species, and potentially the role of animals in historical human activities. By comparing the sterol profiles obtained from the coprolites with modern herbivore fecal sterol compositions, the origins of the coprolites were examined in detail. The analytical results indicate the presence of sterol markers consistent with herbivores, specifically horses and sheep, as well as omnivores such as canines. This suggests that various animals played distinct and significant roles in the daily life and military operations at the site. Horses, given their mobility and endurance, likely served crucial roles in transportation and logistics, possibly carrying both personnel and supplies across the challenging terrain of the frontier. Their presence is consistent with the known military practices of the Tang Dynasty, where cavalry units were a vital component of military strategy, especially in remote border regions such as Xinjiang. Canines, on the other hand, were likely involved in security-related tasks. This study confirms that for sites with poorly preserved skeletal remains, using coprolite lipid records to determine the types of animals present in the site can help understand human utilization of animal resources. While for sites with well preserved skeletal remains, the conclusions drawn by the two independent methods can also be mutually confirmed.

Key words: Keyakekuduke Beacon Site; coprolite; steroid biomarkers; Zooarchaeology