

青海湖江西沟2号遗址炭屑浓度反映的环境变化与人类活动

姜莹莹^{1,2}, 鄂崇毅^{1,2}, 侯光良^{1,2}, 孙永娟³,
李凡^{1,2}, 赵亚娟^{1,2}, 杨龙^{1,2}

(1. 青海师范大学 青藏高原环境与资源教育部重点实验室, 西宁 810008;

2. 青海师范大学 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 西宁 810008;

3. 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008)

摘要: 通过对JXG2人类遗址的自然条件、人类活动和不同粒级的炭屑浓度变化分析, 研究了全新世炭屑颗粒大小与人类活动的关系。研究表明: (1) 全新世早期(10.4~9 ka BP), 细粒(10~50 μm)和中粒(125~50 μm)炭屑浓度逐渐增加; 而在全新世大暖期各个粒径的炭屑含量在整个全新世总体较低; 5 ka BP之后, 降水减少, 气温波动大, 随着气温的波动, 中粒炭屑浓度与之很好地对应。因此中粒(125~50 μm)炭屑浓度的变化能较好地与各个时段的自然条件相对应。(2) 全新世早期, 人类活动逐渐增加, 细粒(10~50 μm)和中粒(125~50 μm)炭屑浓度逐渐增加; 人类活动最为频繁的7~6 ka BP, 中粒和粗粒(>125 μm)的炭屑浓度增高; 4.5 ka BP前后新石器文化活跃期, 中粒炭屑浓度较为明显地反映了人类活动。

关键词: 全新世; 炭屑; 环境变化; 人类活动

中图分类号: P534.632 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2015)02-0098-08

Charcoal concentration reflect of environment change and human activities in Qinghai-Lake JXG2 relic

JIANG Ying-ying^{1,2}, E Chong-yi^{1,2}, HOU Guang-liang^{1,2}, SUN Yong-juan³,
LI Fan^{1,2}, ZHAO Ya-juan^{1,2}, YANG Long^{1,2}

(1. Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Environment and Resource, MOE, School of Life and Geographic Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

2. Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Processes of Qinghai Province, Qinghai Normal University, Xining 810008, China;

3. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: Through the analysis of natural conditions, human activities and the change of charcoal concentration in different size fractions, we investigated the relationship between charcoal size and human activities in Holocene. The results showed that: 1) Early Holocene (10.4~9 ka BP), the charcoal concentration in fine (10~50 μm) and medium-grained (125~50 μm) were increasing; each particle of charcoal concentration was lower in the Holocene Megathermal. After 5 ka BP, precipitation decreased and temperature fluctuated, with the fluctuation of temperature, it corresponded well with the medium-grained charcoal concentration. Thus, change of medium-grained charcoal concentration could better correspond to the natural conditions in each period in Holocene. 2) Early Holocene, with the increasing of human activities, the charcoal concentration of fine (10~50 μm) and medium-grained (125~50 μm) were also increasing;

收稿日期: 2015-01-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41361047); 青海省科技厅自然科学基金项目(2013-Z-914)

通讯作者: 鄂崇毅, E-mail: echongyi@163.com

during the time (7~6 ka BP) of most frequently human activities, charcoal concentration of medium-grained (125~50 μm) and coarse-grained (>125 μm) with a higher peak; at the active time of Neolithic, around 4.5 ka BP, charcoal concentration of medium-grained obviously reacted of human activities.

Key words: Holocene; charcoal; environment change; human activities

火作为一种独特且重要的生态环境因子,无论在过去还是现在,都对环境产生着重要影响。火演化记录不仅是研究植被与生态的重要依据,也是反映气候变化的重要指标之一(李小强等, 2006b)。炭屑作为植物有机体不完全燃烧的产物,常被风和流水从产生地带到土壤及其他沉积物中保存下来,通过炭屑的定量统计和形态分析等,可以恢复地质历史时期火的发生频率、强度及其变化(曹艳峰等, 2007)。而炭屑总量取决于火的强度,火的强度不仅与当时的气候条件有关,还与人类活动密切相关。现有研究多集中在以下几个方面:(1)炭屑的提取方法,例如:筛选法(Winkler, 1985; Millspaugh and Whitlock, 1995)、化学分析法(Rhodes, 1998; Whitlock and Larsen, 2001; 黄翡, 2002; 李春海等, 2009)和花粉流程法(Clark, 1984; Moore et al, 1991; 李永化等, 2003; 曹艳峰等, 2005; 李小强等, 2005; 谭志海等, 2005);而大颗粒炭屑一般采用过筛提取,并且多用于环境考古中(Atahan et al, 2008)。(2)炭屑种属的鉴定:炭屑的 L/W 值可以大致区分木本和草本(张健平和吕厚远, 2006)。(3)炭屑的统计方法:浓度法(曹艳峰等, 2007)和沉积通量法(黄翡, 2002; 罗运利等, 2006)。(4)炭屑在古环境研究中的应用(孙湘君等, 2000; 李宜垠等, 2009; 谭志海等, 2010; 李冰等, 2012)。在地域上,现有研究多集中在史前人类活动较为集中地,如黄土高原、东北和南海等地区,对于青藏高原地区早期的人类活动和炭屑粒径大小的关系鲜有研究。江西沟2是青藏高原上最早旧石器人类遗迹,本文在结合孢粉、磁化率等环境指标的基础上,探究该遗址炭屑粒径大小与人类活动的关系。

1 剖面及年代

江西沟2号(36°35'25" N, 100°17'47" E, 3312 m)位于青海湖南岸的江西沟乡,拔湖约118 m,高原亚寒带半湿润气候(鄂崇毅等, 2013);现代植被类型为西北真茅、短花真茅;

地貌上江西沟2号遗迹(JXG2)见图1,在小河东侧较为开阔的山坡西麓,高出河面约2~3 m。通过野外观察和室内分析自地表至30 cm,为浅黄色黄土,含少量细石器;30~75 cm,灰色粉砂质黏土层,含较多细石器、碎骨和陶片等文化遗物;75~110 cm,灰黑色粉砂质黏土层,含较多细石器、碎骨等文化遗物(侯光良等, 2013)。前人对JXG2做了大量年代学工作(Rhode et al, 2007; 侯光良等, 2013),故本文直接引用已发表年代结果,见表1。环境指标对应年代通过绝对年代控制点线性内插和外延的方法获得。由于2 ka BP本遗址出土的人类遗迹较少,故选择的研究时段为10.4~2 ka BP。

2 研究方法

在详细的野外观察的基础上,从地表向下每2 cm连续采样,到深度110 cm深度,共采55个样品。待样品自然风干后进行磁化率、粒度、色度、孢粉、炭屑的测定和分析。磁化率测试过程:将样品碾压加入到圆柱体塑料容器中,用英国产Bartington MS 2B双频磁化率仪测量;粒度、色度的测定参见鄂崇毅等《青海湖江西沟黄土记录的环境演变》一文(鄂崇毅等, 2013);孢粉和炭屑的分析采用花粉流程法(李永化等, 2006a),此方法的主要优点主要体现在:(1)炭屑的提取与孢粉的提取同时进行;(2)在同一个玻片中对孢粉和炭屑进行鉴定;(3)可以与孢粉数据进行比对(李宜垠等, 2010)。炭屑的统计方法采用外加花粉法,将样品中加入石松孢子,石松孢子和炭屑同时统计,定量测定孢粉和炭屑的浓度。根据炭屑颗粒长轴将其分为3个粒级:粗颗粒(>125 μm)、中粒(125~50 μm)和细粒(10~50 μm)。炭屑浓度的换算方法为:

$$W=A/B \times C/G$$

其中:W为炭屑浓度(粒/g),A为统计的炭屑粒数(粒),B为统计的外加花粉数(粒),C为样品中的外加花粉数(27600粒),G为所取土样的重量(10 g)。

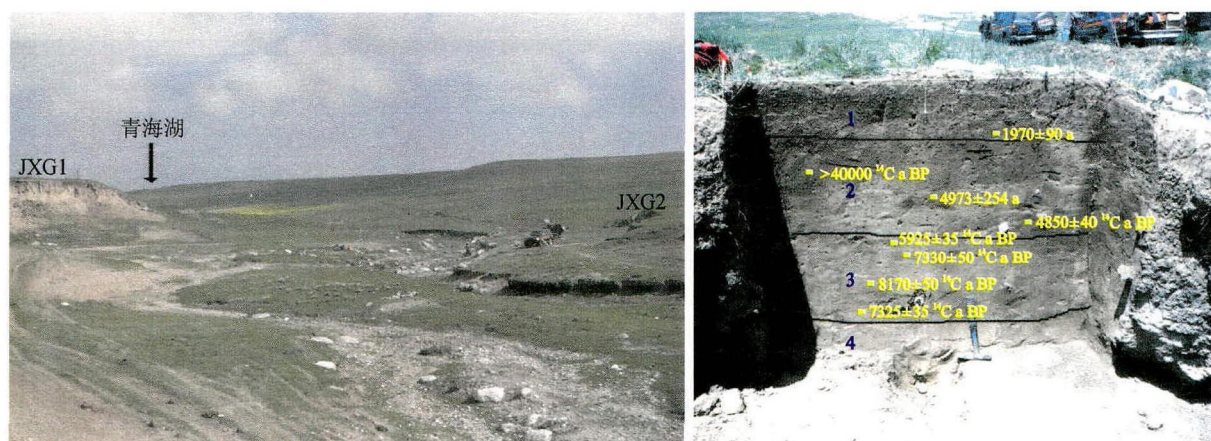


图1 JXG2 剖面年代
Fig.1 The section of JXG2

表1 青海湖 JXG2 剖面年代结果
Table 1 Dating results in JXG2 section

剖面	底层深度 (cm)	材料	年代学方法	年代结果 (cal.a BP)	引自文献
JXG2	25	陶片	TL	1970±90	Rhode et al, 2007
JXG2	54	陶片	TL	4973±254	Rhode et al, 2007
JXG2	65	炭屑	AMS ^{14}C	5591±32	Rhode et al, 2007
JXG2	75	炭屑	AMS ^{14}C	6739±42	侯光良等, 2013
JXG2	81	炭屑	AMS ^{14}C	8147±58	Rhode et al, 2007
JXG2	95	炭屑	AMS ^{14}C	9102±75	Rhode et al, 2007

3 结果

3.1 自然条件

在前人对色度 (何柳等, 2010; Sun et al, 2011; 石培宏等, 2012)、粒度 (鹿化煜和安芷生, 1998)、磁化率 (刘青松和邓成龙, 2009) 等环境指标研究的基础上, 结合青藏高原集成的降水和气温, 分析 JXG2 剖面记录的自然条件 (见图 2)。

(1) 9 ka BP 之前的早全新世: 青藏高原气温整体较低; 降水比现在多, 且有明显增加趋势; 粒度、磁化率和色度结合表明此期的成壤作用逐渐减弱, 到 9 ka BP 成壤作用最小。(2) 9~5 ka BP: 青藏高原气温迅速转暖, 并在 7 ka BP 前后达到峰值; 降水在 9 ka BP 前后达到峰值, 9~5 ka BP 虽有下降趋势, 但整体降水量高于现代, 6 ka BP 之后降水迅速下降。总体来说, 9~5 ka BP 水热组合达到最佳状态, 是高原全新世暖期盛期; 同时, 粒度、磁化率和色度均表明此期的成壤作用较强。(3) 5~2 ka BP: 青藏高原的气温波动较大、冷暖交替频繁, 5~4 ka BP 温度迅速降低, 4~3 ka BP 先迅速增大, 到 3.5 ka BP

达到极大值, 而后又迅速降低, 3~2 ka BP 迅速增大, 4 ka BP 和 3 ka BP 的温度均低于现代温度值; 降水较为平稳, 年降水量在 350 mm 左右; 环境指标指示, 成壤作用减弱。

3.2 炭屑及人类活动

从 JXG2 样方中筛出细石叶、细石片、细石核、刮削器、打制石料和烧火石等石器以及动物碎骨还有少量陶片。本文以石器总数、骨头总数以及陶片数量为人类活动指标 (见图 3), 在年代学框架的基础上, 结合侯光良等 (侯光良等, 2013) 对本遗址的研究, 发现: 在 10.4 ka BP, 从石器总数来看, 人类已经在 JXG2 活动, 10 ka BP 人类活动已经较为频繁。从石器和骨头数量来看, 9 ka BP 以前的早全新世, 数量还较少, 但逐渐增长, 暗示人类活动逐渐加强, 并已初具规模; 9 ka BP 之后, 细石器和骨头迅速增加, 并在 7~6 ka BP 达到较多, 指示全新世的 9~6 ka BP 人类活动迅速增强, 并达到鼎盛; 6 ka BP 之后, 石器数量和骨头数量大幅度减少, 呈现显著的衰退趋势。

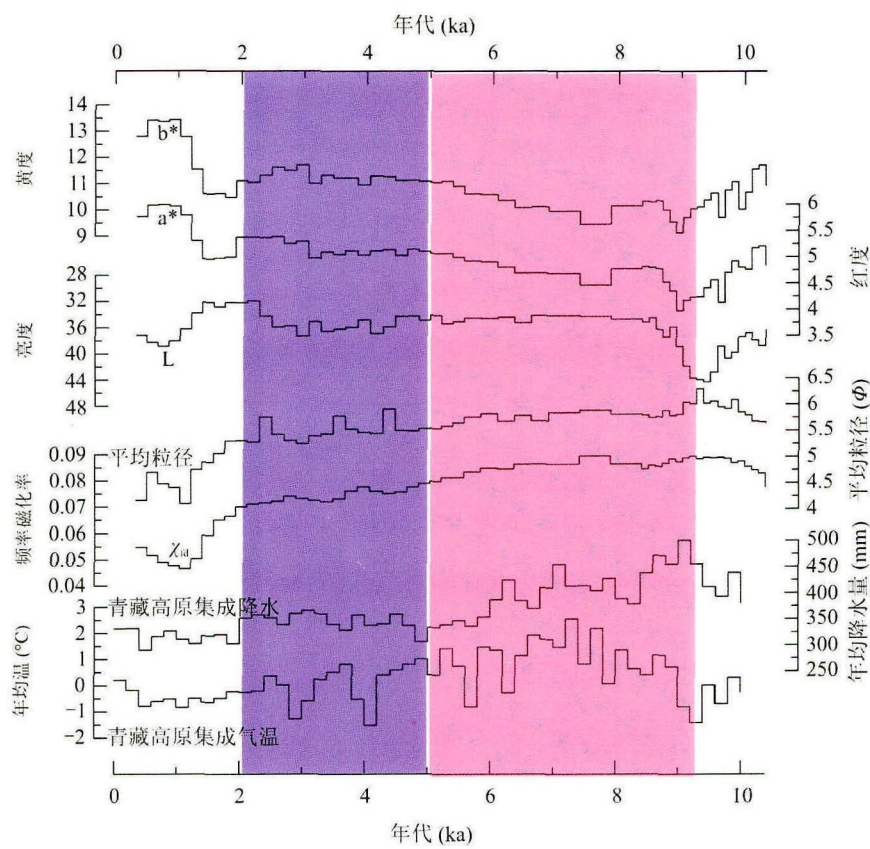


图 2 JXG2 各环境指标反映的环境演变
Fig.2 The environmental indicators reflect the environmental evolvement of JXG2

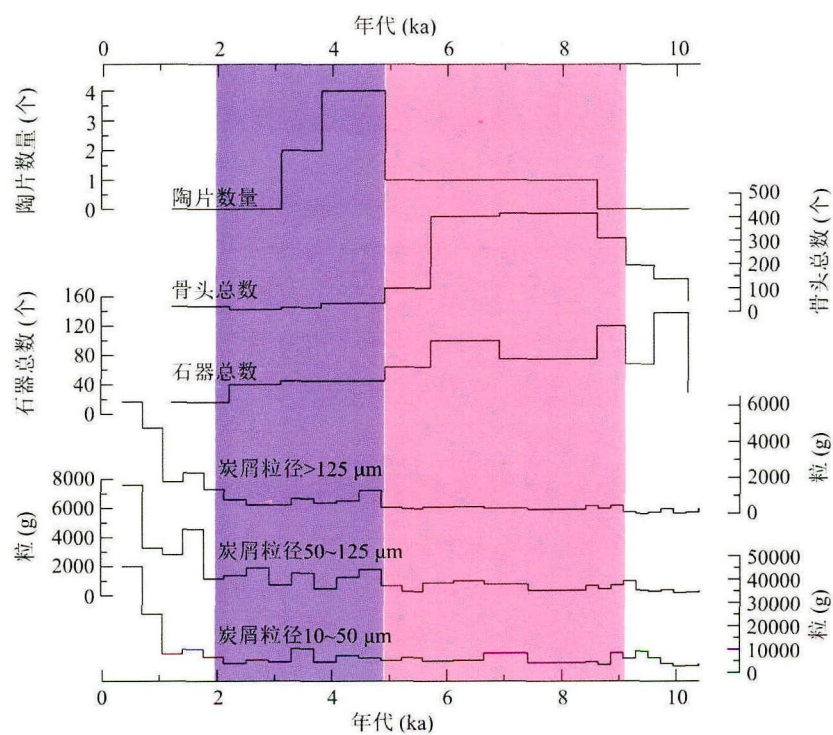


图 3 不同粒级的炭屑浓度变化及人类活动
Fig.3 Change of concentration in different sizefraction of charcoal

细石器炭屑数据表明：人类活动已经较为频繁的 10 ka BP，中、粗粒炭屑均出现一个小的峰值；人类活动迅速增强的 9 ka BP 前后，中粒炭屑的浓度也迅速增大，并在此时段达到极大值；9 ~ 5 ka BP 人类活动最为频繁的时期，中粒炭屑的浓度也呈一个高值；5 ~ 2 ka BP，“细石器文化”（侯光良等，2013）薄弱时期可分为三个小时期：5 ~ 4 ka BP，粗粒和中粒的炭屑浓度逐渐减小，4 ka BP 前后均达到较低水平，4 ~ 3 ka BP，3.5 ka

BP 前后中、粗粒级的炭屑浓度均有一个峰值，但中粒炭屑浓度的峰值更明显，3 ka BP 中粒炭屑浓度又达到一个低值，3 ~ 2 ka BP，2.5 ka BP 前后中炭屑浓度出现一个峰值。

4 讨论

炭屑浓度作为火活动的直接记录，揭示了地质时期火活动的频率、强度及其变化（曹艳峰等，2007）。本文结合孢粉数据（见图 4）进行探讨。

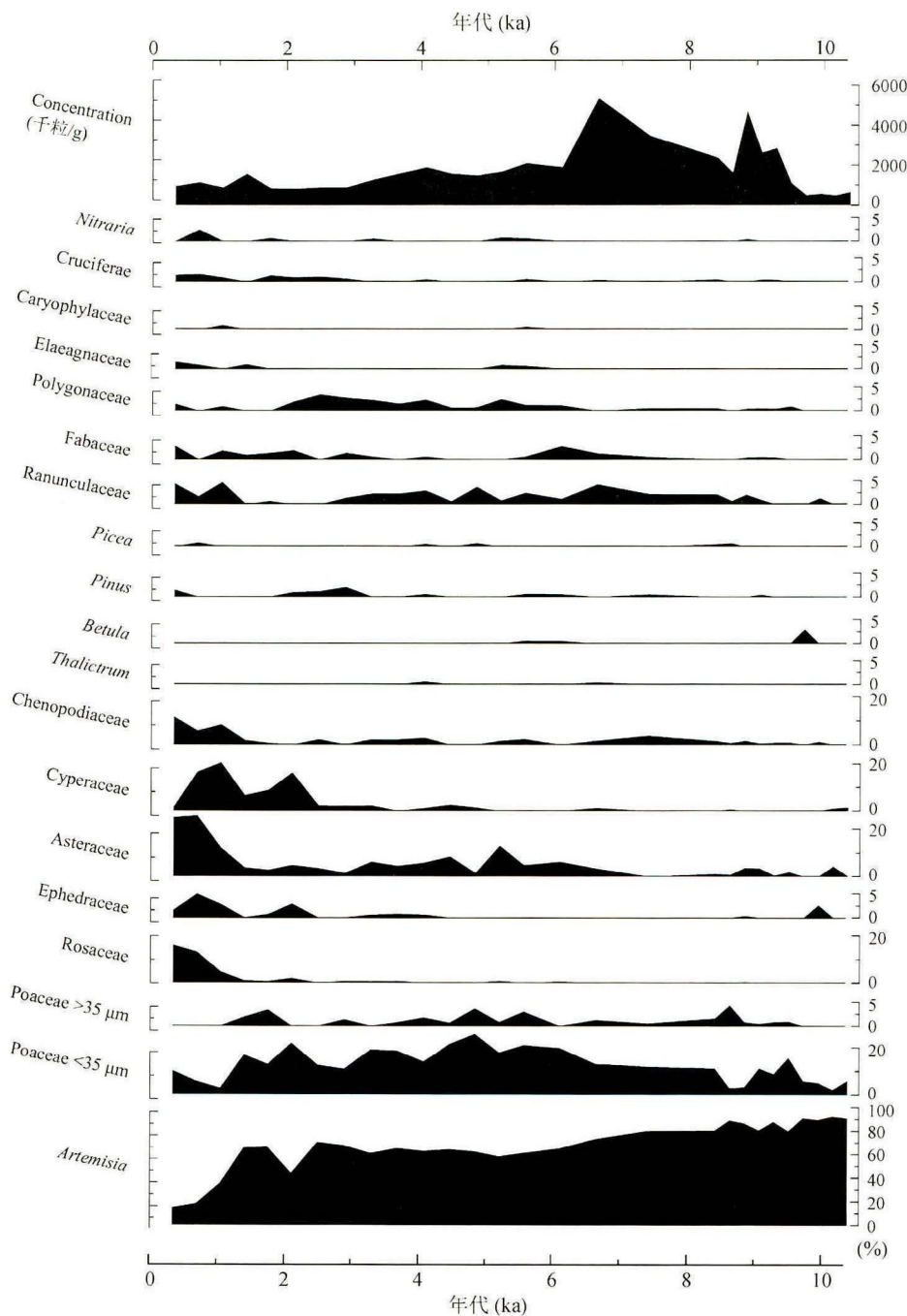


图 4 JXG2 孢粉百分比图（改绘自侯光良等，2013）
Fig.4 The spore-pollen percentage of JXG2 (correcting from Hou et al, 2013)

(1)~9 ka BP,气温整体较低;降水比现在多,且有明显增加趋势,植被稀疏,在自然状态下细中粗三个粒径炭屑浓度低,在9 ka BP前后人类活动增加,125~50 μm 中粒炭屑浓度增加。加之黄土的沉积速率较快,保存的炭屑量相对较多。

(2)9~5 ka BP,是全新世最为温暖湿润的时期。一方面,虽然植被盖度增高,但由于降水丰富,可燃物的可燃性减小,因此发生火的概率降低,因而炭屑浓度总体较低;另一方面,古土壤沉积速率较黄土低,因而保存在土壤中的炭屑量少。但在人类活动最为频繁的6~7 ka BP中细粒径的炭屑浓度比这个时段的水平高,6.5 ka BP前后禾本科含量超过草原群落的平均水平,暗示在此生活的古人类可能开始尝试种植作物,同时在此层位发现类似渭河流域仰韶文化的陶片,也指示以陶片为代表的农业成分在不断增加。

(3)5~2 ka BP,降水减少,气候向着干旱化发展,气温变动较大,植被退化。由于降水减少,可燃物的可燃性提高,因此在气候不稳定且相对干旱的时期火发生频率提高。分布在青藏高原东北缘的新石器文化开始兴起,包括马家窑和宗日文化,宗日文化(活动年代在5.6~4.0 ka BP(陈洪海等,1998))是青藏高原较为成熟、时间较早、且具有土著特点的新石器文化(侯光良等,2013),此期出土较多的陶片和一定数量的石器,说明古人类在此地生存模式以狩猎和农业兼具。4.5 ka BP前后各个粒径的炭屑浓度具有一个峰值,恰好与宗日文化日期相吻合。而3.5 ka BP和2.5 ka BP,较为明显的中粒炭屑浓度的峰值对应的气候条件为降水少、温度高的时期,火发生概率大大提高。在干旱的气候背景下,人类活动加速了火的发生频率和活动强度。

5 结论

(1)全新世早期气温低、降水比现在多,细粒(10~50 μm)和中粒(125~50 μm)炭屑浓度逐渐增加;而在全新世大暖期各个粒径的炭屑含量在整个全新世总体较低;5 ka BP之后,降水减少,气温波动大,随着气温的波动,中粒炭屑浓度与之很好地对应。因此中粒(125~50 μm)炭屑的浓度变化能较好地与各个时段的自然条件相对应。

(2)全新世早期,人类活动逐渐增加,细粒(10~50 μm)和中粒(125~50 μm)炭屑浓度逐

渐增加;炭屑浓度在人类活动最为频繁的7~6 ka BP,中粒和粗粒(>125 μm)的炭屑浓度与之有较好的对应;4.5 ka BP前后宗日文化活跃期,中粒炭屑浓度较为明显地反映了人类活动。

参考文献

- 曹艳峰,黄春长,韩军青,等.2007.黄土高原东西部全新世剖面炭屑记录的火环境变化[J].*地理与地理信息科学*,23(1):92-96.[Cao Y F, Huang C C, Han J Q, et al. 2007. Changes of fire environment recorded by charcoal hided in Holocene profiles in the eastern and western Loess Plateau [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 23(1): 92-96.]
- 曹艳峰,黄春长,庞奖励.2005.运城盆地洪积扇全新世时期的野火与环境变化的初步探讨[J].*植物生态学报*,29(4):692-696.[Cao Y F, Huang C C, Pang J L. 2005. Preliminary studies of wild fire frequency and environmental changes during the Holocene on the alluvial plain of the Yuncheng Basin [J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 29(4): 692-696.]
- 陈洪海,格桑本,李国林.1998.试论宗日遗址的文化性质[J].*考古*,19(5):15-26.[Chen H H, Ge S B, Li G L. 1998. Administration of Cultural Relics of Qinghai Province. Excavation on Zongri site, Tongde, Qinghai province [J]. *Archaeology*, 19(5): 15-26.]
- 鄂崇毅,曹广超,侯光良,等.2013.青海湖江西沟黄土记录的环境演变[J].*海洋地质与第四纪地质*,33(4):193-200.[E C Y, Cao G C, Hou G L. 2013. The environmental change recorded in Jiangxigou loess sections in Qinghai Lake region [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 33(4): 193-200.]
- 何柳,孙有斌,安芷生.2010.中国黄土颜色变化的控制因素和古气候意义[J].*地球化学*,39(5):447-455.[He L, Sun Y B, An Z S. 2010. Changing color of Chinese loess: Controlling factors and paleoclimatic significances [J]. *Geochemistry*, 39(5): 447-455.]
- 侯光良,魏海成,鄂崇毅,等.2013.青藏高原东北缘全新世人类活动与环境变化——以青海湖江西沟2号遗迹为例[J].*地理学报*,68(3):380-388.[Hou G L, Wei H C, E C Y, et al. 2013. Human activities and environmental change in Holoence in the northeastern margin of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica*, 68(3): 380-388.]

- 黄 翥. 2002. 南海北部 0.36—1.02 Ma 高分辨率碳屑记录及天然火 [J]. *微体古生物学报*, 19(3): 76–82. [Huang F. 2002. Charcoal record and natural fire history during 0.36—1.02 Ma in northern south China sea [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 19(3): 76–82.]
- 李 冰, 潘安定, 李大地, 等. 2012. 重庆忠县甘蔗丘遗址商周时期以来环境考古研究 [J]. *古生物学报*, 51(2): 238–247. [Li B, Pan A D, Li D D, et al. 2012. Environmental archaeology of Ganzhe Hill site in Zhong county of Chongqing [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 51(2): 238–247.]
- 李春海, 唐领余, 万和文, 等. 2009. 晚更新世以来浙江余姚地区植被变化及人类活动 [J]. *微体古生物学报*, 26(1): 48–56. [Li C H, Tang L Y, Wan H W, et al. 2009. Vegetation and human activity in Yuyao (Zhejiang Province) inferred from the sporo-pollen record since the late Pleistocene [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 26(1): 48–56.]
- 李小强, 尚 雪, 周新郢, 等. 2006a. 黄土花粉分析的筛析——重液综合法 [J]. *干旱区地理*, 29(5): 663–667. [Li X Q, Shang X, Zhou X Y, et al. 2006a. Integrative method of sieving and heavy liquid in pollen analysis of loess [J]. *Arid Land Geography*, 29(5): 663–667.]
- 李小强, 赵宏丽, 闫敏华, 等. 2005. 东北三江平原全新世火演化及其与植被和气候的关系 [J]. *地理科学*, 25(2): 177–182. [Li X Q, Zhao H L, Yan M H, et al. 2005. Fire variations and relationship among fire and vegetation and climate during Holocene at Sanjing Plain, northeast China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 25(2): 177–182.]
- 李小强, 周新郢, 尚 雪, 等. 2006b. 黄土炭屑分级统计方法及其在火演化研究中的意义 [J]. *湖泊科学*, 18(5): 540–544. [Li X Q, Zhou X Y, Shang X et al. 2006b. Different size method of charcoal analysis in loess and its significance in the study of fire variation [J]. *Journal of Lake Sciences*, 18(5): 540–544.]
- 李宜垠, 侯树芳, 莫多闻. 2009. 湖北屈家岭遗址孢粉、炭屑记录与古文明发展 [J]. *古地学报*, 11(6): 702–710. [Li Y Y, Hou S F, Mo D W. 2009. Records for pollen and charcoal from Qujialing archaeological site of Hubei and ancient civilization development [J]. *Journal of Palaeogeography*, 11(6): 702–710.]
- 李宜垠, 侯树芳, 赵鹏飞. 2010. 微炭屑的几种统计方法比较及其对人类活动的指示意义 [J]. *第四纪研究*, 30(2): 356–363. [Li Y Y, Hou S F, Zhao P F. 2010. Comparison of different quantification methods for microfossil charcoal concentration and the implication for human activities [J]. *Quaternary Sciences*, 30(2): 356–363.]
- 李永化, 尹怀宁, 张小咏, 等. 2003. 5000 a BP 以来辽西地区环境灾害事件与人地关系演变 [J]. *冰川冻土*, 25(1): 19–26. [Li Y H, Yin H N, Zhang X Y, et al. 2003. The environment disaster events and the relation evolution of man-land in the west Liaoning during 5000 a BP [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 25(1): 19–26.]
- 刘青松, 邓成龙. 2009. 磁化率及其环境意义 [J]. *地球物理学报*, 52(4): 1041–1048. [Liu Q S, Deng C L. 2009. Magnetic susceptibility and its environmental significance [J]. *China Journal Geophysics*, 52(4): 1041–1048.]
- 鹿化煜, 安芷生. 1998. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义 [J]. *中国科学(D 辑)*, 28(3): 278–283. [Lu H Y, An Z S. 1998. The ancient climate significance of grain size distribution in loess plateau [J]. *Science in China (Series D)*, 28(3): 278–283.]
- 罗运利, 孙湘君, 陈怀成. 2006. 南海北部地区百万年以来的天然火与气候: ODP1144 孔深海沉积中的炭屑记录 [J]. *科学通报*, 51(8): 942–950. [Luo Y L, Sun X J, Chen H C. 2006. Natural fire and poleocliamte since million years in northern south China sea: Charcoal record in the deep ocean sedimentation of ODP1144 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 51(8): 942–950.]
- 谭志海, 黄春长, 庞奖励, 等. 2005. 周原全新世土壤剖面木炭屑与野火活动的关系研究 [J]. *中国生态农业学报*, 13(2): 31–33. [Tan Z H, Huang C H, Pang J L, et al. 2005. Relationship between soil charcoal in Holocene and wildfire in the Zhouyuan region [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 13(2): 31–33.]
- 谭志海, 黄春长, 庞奖励, 等. 2010. 渭河流域全新世土壤剖面木炭屑记录及其古环境意义 [J]. *中国生态农业学报*, 18(1): 25–30. [Tan Z H, Huang C H, Pang J L, et al. 2010. Charcoal records of Holocene loess-soil sequences and its palaeoenvironmental significance in Weihe River Drainage [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 18(1): 25–30.]
- 石培宏, 杨太保, 田庆春, 等. 2012. 靖远黄土—古土壤色度

- 变化特征分析及古气候意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 48(2): 15–23. [Shi P H, Yang T B, Tian Q C, et al. 2012. Chroma characteristics in the loess-paleosol at Jingyuan section and its signification to paleoclimate [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 48(2): 15–23.]
- 孙湘君, 李 逊, 陈怀成. 2000. 南海北部最近 37 ka 以来天然火与气候[J]. *中国科学(D)*, 30(2): 163–168. [Sun X J, Li X, Chen H C. 2000. Natural fire and cliamte since nearly 37 ka years in northern south China sea [J]. *Science in China (Series D)*, 30(2): 163–168.]
- 张健平, 吕厚远. 2006. 现代植物炭屑形态的初步分析及其古环境意义[J]. *第四纪研究*, 26(5): 857–863. [Zhang J P, Lv H Y. 2006. Preliminary study of charcoal morphology and its environmental significance [J]. *Quaternary Sciences*, 26(5): 857–863.]
- Atahan P, Itzstein-Davey F, Taylor D, et al. 2008. Holocene-aged sedimentary records of environmental changes and early agriculture in the lower Yangtze, China [J]. *Quaternary Science Review*, 27: 556–570.
- Clark R L. 1984. Effects of charcoal on pollen preparation procedures [J]. *Pollenet spots*, 26: 559–579.
- Millspaugh S H, Whitlock C. 1995. A 750-year fire history based on lake sediment records in the Central Yellowstone-national-park, USA [J]. *The Holocene*, 5(3): 283–292.
- Moore P D, Weeb J A, Collinson M E. 1991. Pollen Analysis (2nd) [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 39–61.
- Rhodes A N. 1998. A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terrestrial and lacustrine sediment cores [J]. *The Holocene*, 8(1): 113–117.
- Rhode D, Zhang Haiying, Madsen D B, et al. 2007. Epipaleolithic/early Neolithic settlements at Qinghai Lake, western China [J]. *Journal of Archaeological Science*, 34(5): 600–612.
- Sun Y B, He L, Liang L J, et al. 2011. Changing color of Chinese loess: Geochemical constraint and paleoclimatic significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40: 1131–1138.
- Winkler M G. 1985. Charcoal analysis for palaeoenvironmental interpretation : A chemical assay [J]. *Quaternary Research*, 23: 313–326.
- Whitlock C, Larsen C. 2001. Charcoal as a fire proxy [M]// Smol J P, Birks H J B, Last W M. Tracking environmental change using lake sediments (Volume 3), Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators. London: Kluwer Academic Publishers, 75–98.