

黄土炭屑分级统计方法及其在火演化研究中的意义*

李小强¹, 周新邳^{1,2}, 尚雪^{1,2}, John Dodson³

(1: 中国科学院地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075)

(2: 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3: Institute for Environment, Brunel University, UK)

摘要:在综合了炭屑筛选法和炭屑花粉流程分析法的基础上,设计了一套从黄土、古土壤和古文化层中提取不同粒径炭屑的新途径——黄土炭屑分级统计方法,对不同粒级的炭屑进行分析和统计. 筛选法提取、统计粒径在 125 μm 以上的炭屑颗粒,作为地方性火活动的替代指标;而用炭屑花粉流程分析方法获取粒径在 125 μm 以下的炭屑颗粒,作为区域性火活动的替代指标. 黄土炭屑分级统计方法提高了炭屑研究的精度,丰富了黄土火演化研究的内容,是建立黄土高原火演化历史,研究植被演替和生态特征的重要途径,在认识黄土高原气候变化,探讨人类活动及其环境效应等方面具有重要意义.

关键词:黄土;炭屑;分级统计方法;火演化

Different-(kPa/°C) size method of charcoal analysis in loess and its significance in the study of fire variation

LI Xiaoqiang¹, ZHOU Xinying^{1,2}, SHANG Xue^{1,2} & John Dodson³

(1: State Key Lab. of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, P. R. China)

(2: Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, P. R. China)

(3: Institute for Environment, Brunel University, UK)

Abstract: Based on two methods of Sieving and Pollen-slide, the author designed different size method of charcoal analysis to extract and count different fragment charcoal from loess, paleosol and culture layer. Sieving method is used to extract big fragment of charcoal (the size is over 125 μm) as the proxy of local fire regime; while Pollen-slide method can be used to get small fragment of charcoal (the size is lower 125 μm) as the proxy of regional fire regime. The different size method of charcoal improves the precision of the charcoal analysis and enriches the content on the study of fire history. The method provides a good way to reconstruct the fire variation and an important approach to study the vegetation history and ecological characteristic on the Loess plateau. Furthermore, the method can make great sense to understand the climatic variation and discuss human activity and their impaction to environment.

Keywords: Loess; charcoal; different size method; fire variation

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^[1,2]. 火作为人类的一个重要工具,人类火活动对陆地生态系统同样产生了重大的影响,自然火和人类火活动对所有全球变化的因子,尤其是气候变化和土地利用变更等方面均相当敏感^[3-8].

* 国家自然科学基金(40372077,40572108)、中国科学院创新方向项目(KZCX3-SW-146)、国家自然科学基金委员会创新群体项目(40121303)联合资助. 2005-11-05 收稿;2006-02-20 收修改稿. 李小强,男,1965年生,博士,研究员;E-mail:lxq@loess.llgg.ac.cn.

目前,地质历史时期火发生和火演化的研究越来越受到关注,澳大利亚、美国和欧洲的科学家开展了大量的有关炭屑分析方法和火演化方面的研究^[9-18],中国南海钻孔炭屑研究重建了南海地区 37 万年以来火演化历史^[19],东北勤得利剖面泥炭的炭屑研究,恢复了东北三江平原地区天然火的演化历史^[20]。鄂尔多斯东部的火研究,探讨了 4000 年来的人地关系^[21],运城盆地全新世冲积物的火研究讨论了野火与环境的关系^[22],炭屑显微结构研究复原了赤峰地区青铜时代的植被^[23],土壤中元素碳研究也取得了重要进展^[24]。但是,如何提取黄土-古土壤中的炭屑,在黄土高原地区开展高分辨的火演化研究,提高火记录在人类及其环境效应等研究中的运用开展较少。

炭屑总量不仅取决于火的强度,更与高频或高密度的火有关^[26,27]。空气和水流作为两种主要的传播媒介,把炭屑从产生地点带到沉积点上保存起来。大气中颗粒散播模式的研究显示,大于 1000 μm 的颗粒就近沉积,大于 500 μm 的炭屑颗粒也不会传播的很远;大于 125 μm 的炭屑绝大多数沉降在 7 km 以内的范围里,超过这个范围将极少有大粒炭屑沉降。同时距离火发生点 80m 以内的炭屑粒度分布相同,而微粒级的炭屑颗粒可能会被传送到几百或者几千公里的地方^[4]。因此,大粒炭屑 (> 125 μm) 代表地方性火活动事件,小粒炭屑则主要反映区域性火活动事件。由于黄土沉积主要是风力作用的结果,与流水作用环境下炭屑的沉积和保存均有所不同,寻求一种黄土炭屑提取的有效方法,区分不同粒级的炭屑并分别进行统计分析,对于判断炭屑来源,探讨火发生的特征和地区,开展高分辨率火演化研究具有重要意义。

1 实验分析方法

沉积物中炭屑的分析方法主要有:筛选法、薄片法、化学分析法以及花粉流程法^[25-28]。化学分析法主要是用硝酸去除样品中的有机质,运用烧失量来计量沉积物中的炭含量,当样品中炭含量微小时,用此方法误差较大^[27,28]。这种方法也不能对沉积物中炭屑的大小、来源进行分析,因此,化学分析法所得炭含量所代表的具体信息仍然不太清楚。筛选法和薄片法更注重较大粒级炭屑的鉴别和统计,而目前国内较常用的花粉分析流程法提取炭屑,则主要针对细粒的炭屑进行统计。

针对黄土化学成分和矿物组成特征,结合了筛选法和花粉流程法两种分析方法的优点,特别设计的一套新的分析流程和方法,分别获取黄土中大颗粒和细颗粒的炭屑。筛选法对 125 μm 以上的大粒炭屑进行提取和统计,而花粉流程法则获取粒径在 125 μm 以下的细粒炭屑。

1.1 炭屑分析前处理流程

- (1) 取黄土样品 5ml 左右,振动量筒,使其中样品压实,记录准确体积 V 。
- (2) 加过量 10% HCL,除 CaCO_3 ,反应后转入离心管,离心 5 min(2000 转/min),去上清液。
- (3) 加 2-3 倍样品体积的 10% KOH,水浴加热 15 min,去有机质。
- (4) 将离心管内样品用孔径为 125 μm 的尼龙筛过滤,将留在筛网上样品放入培养皿内。
- (5) 将筛网下小于 125 μm 的样品,加入石松孢子药片,充分溶解后离心 5 min(以 2000 转/min),离心清洗 2 遍,去上清液。
- (6) 加入比重 2.2 的重液,离心 30 min(以 2500 转/min),将上部重液倒入烧杯,以 6 倍体积的蒸馏水稀释。
- (7) 向溶液中加入冰醋酸分解溶液中絮凝物质,静置 12 h 左右。
- (8) 将上部 2/3 的上清液倒出,底液转入离心管中,每次离心 5 min(以 2000 转/min),最后用蒸馏水清洗两次。

1.2 炭屑镜下分级统计

炭屑的镜下鉴定特征为不透明、有棱角、黑色或者棕色的块状物,炭屑镜下鉴定的一项首要任务是避免与一些矿物和样品处理过程中被氧化的植物残体混淆,保证炭屑鉴定的准确性。(1) 大粒炭屑鉴定:采用实体显微镜,统计计数炭屑。准备一张 $1 \times 1 \text{ cm}$ 规格的方格纸放置于培养皿下,将培养皿覆盖的整方格数记录为 N_1 ,依次将方格编号,将样品放入培养皿中,置于实体显微镜下计数。如样品中含炭屑量较少,可以直接对培养皿中全部炭屑计数,如果样品中炭屑含量大,如考古文化层中的炭屑层,可将该类样品加入 100 ml 蒸馏水,充分混合,搅拌均匀,抽取其中 10 ml 混合物重新置于培养皿内,继而用随机数字抽取编号的方格,

直到每一行都有方格被选中,记录所选的方格总量 N_2 ,然后对所选择的方格内炭屑的总量进行统计,利用这样的缩减法可以大大地提高工作效率.炭屑量的计算公式如下:

$$Y_1 = 10X_1N_1 / (N_2V) \text{ (个/cm}^3\text{)}$$

(2) 细粒炭屑样品:用玻璃棒取适量样品配以甘油制成玻片,置于光学显微镜下,在 40 倍物镜下鉴定,统计样品中炭屑的面积浓度 (cm^2/cm^3)^[11].选取玻片中不重合的 500 个视域范围,利用目镜测微尺上标明刻度(0-10)的 11 个坐标点,读取玻片中炭屑所覆盖的总坐标点数,同时对 500 个视域中的所有外加石松花粉记数,炭屑的面积浓度 (cm^2/cm^3) 的计算方法如下:

$$Y_2 = CL / (M \cdot l \cdot V)$$

其中, Y_2 为炭屑的面积浓度 (cm^2/cm^3); L 为外加石松花粉的浓度; l 为统计的石松花粉数; V 为样品的体积; C 为统计的炭屑点数; M 为已统计视域中的测微尺坐标点(一般为 5500 个).

2 实验分析结果

选择甘肃天水文化层和陕西渭南黄土-古土壤剖面中的 4 个样品,采用分级统计方法进行分析. TS002、TS003、BZ004 均采自陕西渭南全新世自然剖面, TS001 采自甘肃天水文化层中. TS002 和 TS003 样品有一个相对高的大粒炭屑浓度和相对低的炭屑面积浓度,显示可能有较强的地方火发生,而区域火活动的强度则较低. BZ004 样品显示出大粒炭屑个数很少,而有一定的炭屑面积浓度,表明几乎没有地方火事件发生,但区域内可能有火发生.

表 1 甘肃天水和陕西渭南黄土样品的炭屑分级统计

Tab. 1 Statistics on charcoals by different size method in Tianshui, Gansu Province and Weinan, Shaanxi Province

编号	采样点	性状	炭屑个数(Y_1) (个/ cm^3)	炭屑面积浓度(Y_2) (cm^2/cm^3)
TS001	甘肃天水	文化层中黄土状土	105.7	1.03
TS002	陕西渭南	栗色黄土	9.6	0.27
TS003	陕西渭南	棕色黄土	7.4	0.03
BZ004	陕西渭南	棕色黄土	0.8	0.96

TS001 号样品采自文化层中的黄土状土,该样品的大粒炭屑浓度很高,炭屑面积浓度并不高.由于样品采自文化层内,大粒炭屑的主要来源应该是古人类在居住区内火活动的产物,这一时期频繁的人类火活动,在居住地周围产生了大量的炭屑沉积在地层中,而浓度不高的炭屑面积浓度,进一步验证了炭屑的高值主要来源于周边的人类火活动,区域火活动的强度表现的并不明显.

从以上几个样品的分析可以看出,黄土炭屑的分级统计法可以比较准确地提取地方和区域火活动信号,敏感地分辨出地方和区域火活动特征.在受到人类活动影响的地区,炭屑分级统计法也能很好地提取人类火活动信号.

3 黄土炭屑分级法在火演化研究中的意义

黄土炭屑的分级统计法为我们提供了一套从黄土-古土壤和古文化层中提取不同粒径炭屑的新途径、新方法,具有以下特点:(1)样品需要量少,一般仅需 6 g 左右,化学药品的消耗少;(2)分析流程短,12 个样品一个流程仅需 2-3 d;(3)减少了花粉流程法在分析过程中对大粒炭屑的破碎,增强了分级统计大粒炭屑和细粒炭屑分析的精度;(4)分级统计法可以帮助区分地方火和区域火,提取人类火活动信号,提高了黄土炭屑分析的精度,丰富了火演化研究的内容.

黄土-古土壤序列及其古环境记录研究,在过去全球变化研究中有着不可替代的重要作用,是过去全球变化研究的重要支柱之一^[29-31].采用黄土炭屑的分级统计法,开展黄土-古土壤高分辨率炭屑研究,重建黄土-古土壤火演化序列,有助于我们进一步揭示天然火的演变规律及其在生态和气候变化中的作用,比较全面的了解黄土高原历史时期的火活动特征(如地方性火活动周期、区域性火活动强度等).同时,黄

土炭屑分级统计法也为我们研究黄土高原植被演替和生态环境特征,认识黄土高原地区冬、夏季气候变化特征提供了一条重要途径.

黄土高原在史前时期是我国人类活动最强烈的地区之一,而火是人类活动对自然环境影响的重要方式和途径. 由于人类使用火的频次很高,所产生的炭屑量也大,古文化层中大粒炭屑的高峰值,主要是人类火活动的结果. 炭屑分级统计法能更好地提取大粒炭屑,更好地获取人类火活动信号,对于研究人类火活动特征,反演人类活动强度及其对周边环境的影响等方面,具有重要意义.

4 参考文献

- [1] Bird M. A million-year record of fire in sub-Saharan Africa. *Nature*, 1998, **394**(6695):767-769.
- [2] Filion L. A relationship between dunes, fire and climate recorded in the Holocene deposits of Quebec. *Nature*, 1984, **309**(5968):543-546.
- [3] Dodson J R, Intoh M. Prehistory and palaeoecology of Yap, federated states of Micronesia. *Quaternary International*, 1999, **59**:17-26.
- [4] Clark J S. Particle motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling. *Quat Res*, 1988, **30**:67-80.
- [5] Burchard I. Anthropogenic impact on the climate since man began to hunt. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, **139**(1):1-14.
- [6] Burney D A, DeCandido R V, Burney L P, et al. A Holocene record of climate change, fire ecology and human activity from montane Flat Top Bog, Maui. *Journal of Paleolimnology*, 1995, **13**(3):209-217.
- [7] Maenza-Gmelch T E. Vegetation, climate, and fire during the late-glacial Holocene transition at Spruce Pond, Hudson Highlands, southeastern New York, USA. *Journal of Quaternary Research*, 1997, **12**(1):15-24.
- [8] Behling H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history from the tropical mountain region of Morro de Itapeva, SE Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1997, **129**(4):407-422.
- [9] Iversen J. Origin of the flora of western Greenland in the light of pollen analysis. *Oikos*, 1952, **4**:85-103.
- [10] Clark K L. Point count estimation of charcoal in pollen preparations and thin sections of sediments. *Pollen et Spores*, 1982, **24**(3-4):523-535.
- [11] Clark R L. Pollen and charcoal evidence for the effects of Aboriginal burning on the vegetation of Australia. *Archaeol Ocean*, 1983, **18**:32-37.
- [12] Saladarriaga J G, West D C. Holocene fires in the northern Amazon basin. *Quaternary Research*, 1986, **26**:358-366.
- [13] Smith DM, Griffin J J, Goldberg E D. Elemental carbon in marine sediments: a baseline for burning. *Nature*, 1973, **241**:268-270.
- [14] Bird M I. Fire, prehistoric humanity and the environment. *Interdiscipline Science Review*, 1995, **20**:131-154.
- [15] Bird M I, Cali J A. A million-year record of fire in sub-saharan Africa. *Nature*, 1998, **394**:767-769.
- [16] Hutchinson GE, Goulden CE. The history of Laguna de Petenxil: the plant microfossils. *Memoirs of the Connecticut Academy of Arts and Science*, 1966, **17**:67-73.
- [17] Dodson J R, Mcrae V M, Molloy K, et al. Late Holocene human impact on two coastal environments in new south Wales, Australia: a comparison of aboriginal and European impacts. *Veget hist Archaeobot*, 1993, **2**:89-100.
- [18] Swain A M. A history of fire and vegetation in northeastern Minnesota as recorded in lake sediments. *Quaternary Research*, 1973, **3**:383-396.
- [19] 孙湘君,李 逊,陈怀成.南海北部最近 37 ka 以来天然火与气候. *中国科学(D 辑)*, 2000, **30**(2):163-168.

- [20] 李小强,赵宏丽,阎敏华,王升忠. 东北三江平原全新世火演化及其与植被和气候的关系. 地理科学, 2005, **2**(25):177 - 182.
- [21] 许清海,孔昭宸,陈旭东等. 鄂尔多斯东部 4000 余年来的环境与人地关系的初步探讨. 第四纪研究, 2002, **22**(2):105 - 113.
- [22] 曹艳峰,黄春长,庞奖励. 运城盆地洪积扇全新世的野火与环境变化的初步探讨. 植物生态学报, 2005, **29**(4):692 - 695.
- [23] 崔海亭,胡金明. 利用炭屑显微结构复原青铜的时代的植被. 科学通报, 2002, **47**(19): 1504 - 1507.
- [24] 周 斌,沈承德. 土壤中元素碳的测定与研究. 土壤与环境, 2002, **11**(2):133 - 135.
- [25] Winkler M G. Charcoal analysis for paleoenvironmental interpretation: a chemical assay. *Quaternary Research*, 1985, **23**:313 - 326.
- [26] Whitlock C, Larsen C. Charcoal as a fire proxy. In: Smol J P, Birks H J B, Last W M, ed. Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. 2001, **3**:43 - 67.
- [27] Patterson W A, Edwards K J, Maguire D J. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews*, 1987, **6**: 3 - 23.
- [28] Clark J S, Robinson J. Paleocology of fire. In: Crutzen P J, Goldammer J G, ed. Fire in the environment: the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. New York: Wiley, 1993, **2**:32 - 41.
- [29] Novakov T, Cachier H, Clark J S, *et al.* Characterization of particulate products of biomass combustion. In: Clark J S, Cachier H, Goldammer J G, ed. Sediment records of biomass burning and global change. NATO ASI Series I: Global Environmental Change. New York:Springer, 1997, **3**:117 - 143.
- [30] Rhodes A N. A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terrestrial and lacustrine sediment cores. *The Holocene*, 1998, **8**(1): 113 - 117.
- [31] An Z S, Porber S C. Millennial-scale climatic oscillations during the last interglation in central China. *Geology*, 1997, **25**:603 - 606.