



过去2000年中国东西部沙尘暴的不同演化模式及其驱动机制讨论

陈圣乾¹, 刘建宝^{2,3,1*}, 陈建徽¹, 陈发虎^{2,3,1}

1. 兰州大学资源环境学院西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000;

2. 中国科学院青藏高原研究所高寒生态重点实验室, 北京 100101;

3. 中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心, 北京 100101

* 通讯作者, E-mail: jbliu@itpcas.ac.cn

收稿日期: 2020-04-08; 收修改稿日期: 2020-05-12; 接受日期: 2020-05-14; 网络版发表日期: 2020-06-05

国家自然科学基金项目(批准号: 41790421、41722105)资助

亚洲内陆干旱半干旱区是北半球主要的粉尘源区, 其产生的沙尘暴活动严重威胁北半球空气质量、海洋生态系统以及北半球太阳辐射平衡, 因而受到广泛关注(Uno等, 2009; Tagliabue等, 2017). 然而, 内陆干旱半干旱区内部多年代际-百年尺度年均沙尘暴变化是否呈现不同的演化模式、不同控制因素在不同地区是否存在差别的研究仍然是空白.

沙尘暴是风蚀作用下地表物质释放到大气层并传输、沉降的过程, 受到自然条件(风速、降雨量)和人类活动的共同影响. 高降水量能够提高土壤湿度并促进植被的生长发育, 通过减少粉尘物源而限制沙尘暴活动; 而高风速、强人类活动干扰则为沙尘暴的频发分别提供动力条件和物质基础. 近期, Chen等(2020)基于中国黄土高原未受人类活动直接扰动的公海湖泊的高分辨率岩芯, 结合系统的现代过程研究, 重建了中国东部过去2000年沙尘暴活动的历史, 发现沙尘暴活动与东亚夏季风和人口数量有关, 而与风力强度没有显著的关联(图1e~1h). 在东亚夏季风增强时, 人口数量急剧增多, 沙尘暴活动同时增强, 如汉、唐、北宋以及明朝前期; 而在东亚夏季风减弱时, 人口数量减少,

沙尘暴也减弱, 如魏晋南北朝、五代十国、南宋以及明末(图1e~1h). 据此, Chen等(2020)提出夏季风的增强为朝代兴盛和人口向北方半干旱区迁移提供了基础, 粉尘源区人口的增加促使农业耕作面积扩张和地表环境破坏, 进而导致在夏季风增强的背景下频繁的沙尘暴活动. 而亚洲夏季风减弱时, 北方半干旱区的降水减少, 伴随着人口的南迁和土地荒废, 被开垦的土地又重新变为草原, 反而减弱了沙尘暴活动. 以上结果表明至少在2000年前, 人类活动就已经超过了自然气候, 成为控制中国东部沙尘暴的主导因素.

然而, 过去2000年青藏高原东北缘柴达木盆地内的沙尘暴活动却表现出与公海记录不同的演化特征. 例如, 苏干湖记录揭示出沙尘暴集中增加的时期出现在1500~1700C.E.(小冰期), 另外20世纪中期有一次显著增加的事件(图1b; Chen等, 2013). 其周边尕斯库勒湖重建的沙尘暴历史显示除了小冰期, 中世纪暖期后期的沙尘暴也较为频繁(图1a; He等, 2015). 多指标证据表明, 中国西北干旱区在中世纪暖期气候干旱、小冰期气候湿润(图1d; 陈建徽等, 2009). 虽然小冰期时湿度增加, 但当时频繁发生的沙尘暴活动无疑说明增强

中文引用格式: 陈圣乾, 刘建宝, 陈建徽, 陈发虎. 2020. 过去2000年中国东西部沙尘暴的不同演化模式及其驱动机制讨论. 中国科学: 地球科学, 50: 1316–1318, doi: 10.1360/SSTe-2020-0095

英文引用格式: Chen S, Liu J, Chen J, Chen F. 2020. Differences in the evolutionary pattern of dust storms over the past 2000 years between eastern and western China and the driving mechanisms. Science China Earth Sciences, 63: 1422–1424, <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9632-y>

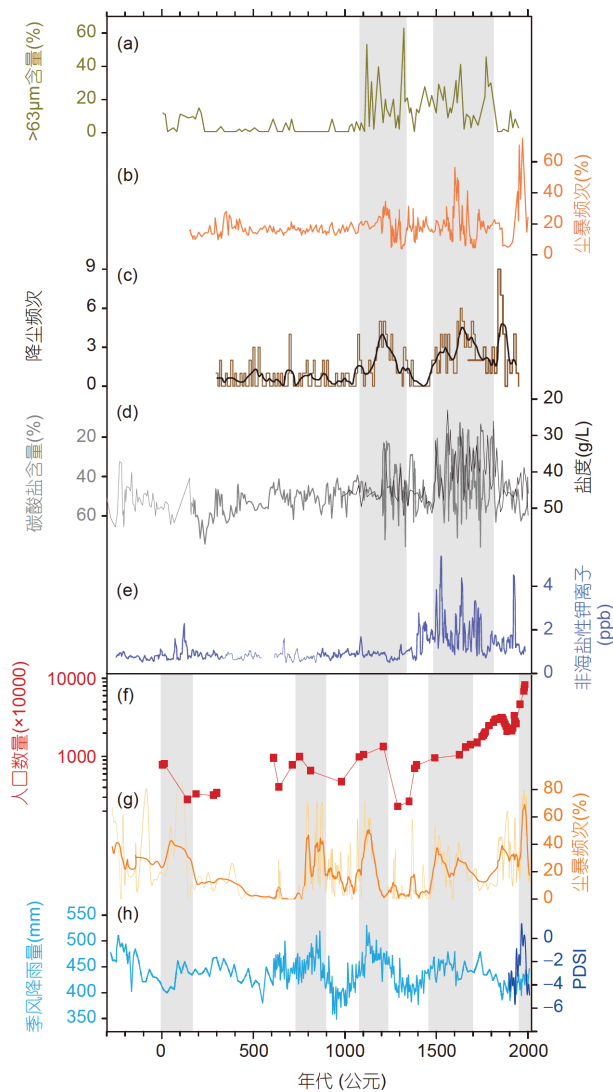


图1 过去2000年中国东西部沙尘暴变化及其与其他记录对比

(a) 柴达木盆地尕斯库勒湖重建的沙尘暴变化(He等, 2015); (b) 柴达木盆地苏干湖重建的沙尘暴变化(Chen等, 2013); (c) 历史文献重建的降尘频率变化(张德二, 1984); (d) 柴达木盆地湿度变化, 浅灰色曲线为苏干湖碳酸盐含量变化, 深灰色曲线为苏干湖摇蚊重建的盐度变化(陈建徽等, 2009); (e) 格陵兰冰芯(GISP2)内非海盐性钾离子指示的西伯利亚高压强度(Mayewski和Maasch, 2006), $1\text{ppb}=1\text{ng/g}$; (f)~(h) 中国东部沙尘暴历史(g)及其与粉尘源区人口记录(f)以及公海湖泊孢粉重建的东亚夏季风记录(h)对比(据Chen等, 2020)。为了强调多年代际-百年尺度上沙尘暴和气候变化、人类活动的关系, 图1(h)中的季风降雨量是去除了500年以上长趋势信号的结果

的西伯利亚高压导致的风力强度增加起到了主导作用(图1e)。风力的主导作用可能和柴达木盆地的干旱气候有关, 苏干湖区域是一个极端干旱的环境(年平均降

雨量 15.8mm), 降雨量的变化不足以根本改变植被覆盖情况, 因此粉尘释放对干湿气候变化响应不敏感; 而在降雨量较高的尕斯库勒湖区域(年平均降雨量 160mm), 中世纪暖期时的干旱气候则导致了沙尘暴频发(He等, 2015)。另外, 在西伯利亚高压和区域降水量变化不显著的情况下, 20世纪中期苏干湖记录的沙尘暴活动急剧增加(图1b), 这可能与当时在柴达木盆地进行的大规模石油开采有关(Chen等, 2013)。尽管如此, 青藏高原东北缘苏干湖和尕斯库勒湖的记录无疑表明自然气候是控制该区域过去2000年沙尘暴活动的主导因素。

公海、苏干湖和尕斯库勒湖的沙尘暴重建均是基于湖泊沉积物中的粗颗粒组分, 由于其一般以短距离跃移的方式传输, 因此三个湖泊的粉尘主要来自上风向近源的沙地和沙漠。例如, 公海湖泊的粉尘物源区主要是黄土高原北侧的毛乌素沙地(Chen等, 2020), 而苏干湖和尕斯库勒湖的粉尘来源于柴达木盆地内的戈壁和沙漠(Chen等, 2013; He等, 2015)。在中国东部地区, 2000年前人口就达到了6000万, 农业开垦面积也达到了38万平方公里之多。强人类活动已经永久性改变了原有的自然地表环境, 加速了土壤侵蚀和沙漠化(杨小平等, 2019), 进而在2000年之前就成为控制中国东部地区沙尘暴强度变化的主导因素。相反, 在青藏高原东北缘的柴达木盆地, 气候条件严酷, 历史时期人口数量稀少, 人类活动的影响有限, 自然气候控制下的风速和物源供应是沙尘暴的主导因素, 直到近现代才出现大规模人类活动导致的沙尘暴增加的信号。因此, 控制机制和粉尘源区的不同导致过去2000年中国东西部沙尘暴活动历史的差异。

此外, 沙尘活动在中国历史文献中也有记录。张德二(1984)根据史料中的降尘记载, 恢复了中国东部过去1700年降尘频率历史(图1c)。需要注意的是, 历史文献重建的降尘或“雨土”虽然有沙尘暴现象, 但主要是细粒尘土为主的浮尘天气(张德二, 1984)。中国东部细粒尘土通常是来源于广大内陆干旱区的远源粉尘(Sun等, 2004), 输送通道为高空西风环流(Sun等, 2004), 实际上代表西部干旱区远源粉尘的模式。历史降尘频率和柴达木盆地沙尘暴活动的相似性也印证了这一点(图1a~1c), 柴达木盆地里的沙尘暴活动将粉尘扬起后, 细颗粒粉尘在西风的携带下沉降到中国东部, 这可能是二者的动力关联。降尘频率在小冰期时的增加一方

面受当时增强的风力影响(图1e), 另外也和西北干旱区小冰期时的气候不稳定性有关(陈建徽等, 2009). 由于不同粒径的粉尘物质具有不同的物源地和传输方式, 这可能会导致历史降尘记录和公海近源粗粒组分重建的沙尘暴历史不一致.

过去2000年中国东西部沙尘暴记录的对比揭示出中国北方存在两种沙尘暴演化模式, 人类活动在2000年前就成为了中国东部地区沙尘暴的主控因素(Chen等, 2020); 而西部地区的沙尘暴则主要受控于自然气候的变化, 人类活动的影响直到近代才表现出来(Chen等, 2013). 这表明不同区域人类活动开始控制地表环境演化进程的时间不尽相同, 而人类对地表环境的主导作用是人类世划分的重要标志. 从这一点出发, 中国东部进入人类世的时间较早, 人类世的划分或许并不存在一个统一确定的时间.

需要注意的是, 不同粉尘源区的沙尘暴对人类活动和自然气候变化存在差异化响应, 未来应加强使用数值模拟手段进行定量化的粉尘释放和归因分析研究, 有助于因地制宜地开展沙尘暴的防治工作.

致谢 感谢张旭和两位审稿人对文章的建设性意见.

参考文献

陈建徽, 陈发虎, 张恩楼, Brooks S J, 周爱锋, 张家武. 2009. 柴达木盆地苏干湖年纹层岩芯摇蚊记录的去1000年干旱区湿度变化及

其意义. 科学通报, 54: 3127–3135

杨小平, 梁鹏, 张德国, 李鸿威, Rioual P, 王旭龙, 许冰, 马志邦, 刘倩倩, 任孝宗, 胡凡根, 何毓新, 饶刚, 陈宁华. 2019. 中国东部沙漠/沙地全新世地层序列及其古环境. 中国科学: 地球科学, 49: 1293–1307

张德二. 1984. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析. 中国科学B辑, 14: 278–288

Chen F, Qiang M, Zhou A, Xiao S, Chen J, Sun D. 2013. A 2000-year dust storm record from Lake Sugan in the dust source area of arid China. *J Geophys Res-Atmos*, 118: 2149–2160

Chen F, Chen S, Zhang X, Chen J, Wang X, Gowan E J, Qiang M, Dong G, Wang Z, Li Y, Xu Q, Xu Y, Smol J P, Liu J. 2020. Asian dust-storm activity dominated by Chinese dynasty changes since 2000 BP. *Nat Commun*, 11: 992

He Y, Zhao C, Song M, Liu W, Chen F, Zhang D, Liu Z. 2015. Onset of frequent dust storms in northern China at ~AD 1100. *Sci Rep*, 5: 17111

Mayewski P A, Maasch K A. 2006. Recent warming inconsistent with natural association between temperature and atmospheric circulation over the last 2000 years. *Clim Past Discuss*, 2: 327–355

Sun D, Bloemendal J, Rea D K, An Z, Vandenberghe J, Lu H, Su R, Liu T. 2004. Bimodal grain-size distribution of Chinese loess, and its palaeoclimatic implications. *Catena*, 55: 325–340

Tagliabue A, Bowie A R, Boyd P W, Buck K N, Johnson K S, Saito M A. 2017. The integral role of iron in ocean biogeochemistry. *Nature*, 543: 51–59

Uno I, Eguchi K, Yumimoto K, Takemura T, Shimizu A, Uematsu M, Liu Z, Wang Z, Hara Y, Sugimoto N. 2009. Asian dust transported one full circuit around the globe. *Nat Geosci*, 2: 557–560

(责任编辑: 王会军)