

从沙尘暴变化趋势看全球气候变化

丰 华¹, 刘 植¹, 李平原¹, 刘秀铭^{2,1,3*}, 吕 镔¹,

赵国永¹, 马明明¹, 郭 晖¹, 陈 渠¹

(1. 兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000;

2. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007;

3. Macquarie 大学 环境与地理系, 澳大利亚 悉尼 NSW 2109)

摘要: 近年来人们对全球气候变化的问题尤为关注, 因为, 如今气候变化不仅仅是科学问题、环境问题, 还是一个国际政治问题、经济问题, 事关社会的长远发展. 本研究以沙尘暴为切入点, 在前人研究的基础上, 总结了近年来沙尘暴及沙尘天气发生频率的变化趋势及其地域性差异, 并进一步讨论了沙尘暴发生频率变化趋势与温度变化的响应机制, 认为沙尘暴发生频率变化与气温变化呈负相关关系. 近年来中国沙尘暴发生频率呈整体下降趋势, 表明近年来中国气温有整体升高的趋势, 这可能是全球变冷大趋势中的次级波动.

关键词: 沙尘暴; 气候变化; 环境问题; 次级波动

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1673-7105 (2012) 01-0076-07

Considering Global Climate Change from the Trend of Sandstorms in China

FENG Hua¹, LIU Zhi¹, LI Ping-yuan¹, LIU Xiu-ming^{2,1,3*}, LV Bin¹,

ZHAO Guo-yong¹, MA Ming-ming¹, GUO Hui¹, CHEN Qu¹

(1. Key Laboratory of Western China's Environmental System (Ministry of Education),

Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

3. Department of Environment and Geography, Macquarie University, Sydney NSW 2109, Australia)

Abstract: Receiving growing concerns in recent years, global climate change has grown from a scientific and environmental issue into an international political issue, which will be related to the long-term developments of international community. This paper summarizes trends and regional differences of dust storm frequency in recent China, and discusses responding mechanism of the frequency to global climate change. The study finds a negative correlation between the dust storm frequency in China and the change of global temperature. Overall, the frequency of dust storms in China decreases in recent years, going with an increasing trend of temperature in China, which is possibly one of the secondary fluctuations in the general trend of global cooling.

Key words: sandstorm; climate change; environmental issues; secondary fluctuations

全球气候变化与荒漠化、生物多样性一起构成当今世界与人类生存相关的三大科学前沿课题, 已受

收稿日期: 2012-01-07

基金项目: 国家自然科学基金资助 (41072124、40830105、40721061)

作者简介: 丰华 (1988—), 女, 山西朔州人, 硕士研究生, 主要从事黄土与环境磁学研究, (E-mail) fengh05@163.com.

* 通讯作者: 刘秀铭 (1956—), 男, 福建福州人, 博士生导师, 主要从事环境磁学与全球变化研究, (E-mail) xliu@fjnu.edu.cn.

到了广泛的关注. 很多学者利用黄土-古土壤、氧同位素、树木年轮、生物化石、孢粉等自然记录和历史统计年鉴相关记录, 对中国气候环境变化做了大量的研究工作. 每年入春以来, 中国北方的沙尘暴及沙尘天气就会频繁发生, 严重影响居民的日常生活, 甚至给国民经济造成损失. 沙尘暴会加速土地荒漠化, 同时土地荒漠化发展到一定程度又会促使沙尘暴频频发生. 沙尘暴是沙暴和尘暴两者兼有的总称. 《地面气象观测规范》^[1]有沙尘暴的具体定义, 指出沙尘天气发生时常常伴随有大风, 且风力较大, 卷带着地面沙尘而充斥在空气中, 使得大气浑浊, 水平能见度低且小于 1 km. 因此沙尘暴是干旱和沙漠化气候环境的产物, 而沙尘暴频频发生是生态环境恶化的标志之一. 国外从上世纪 20 年代起就开始了沙尘暴时空分布、成因与结构以及监测与对策方面的研究. 中国的沙尘暴主要分布在西北及华北地区, 从 20 世纪 70 年代开始很多学者对沙尘天气进行研究. 自 1993 年 5 月 5 日中国西北地区的特强沙尘暴天气发生后, 沙尘暴问题引起了中国政府和科学工作者们的高度重视. 为推动沙尘暴研究, 1993 年 9 月在兰州召开了“首届全国沙尘暴天气研讨会”. 特别是 2000 年春季以来, 由于沙尘暴发生次数的明显增多, 引起了全民的广泛关注. 因此, 对沙尘暴发生的气候、环境、成因机制及变化趋势的研究尤为重要. 周自江利用 1954—2000 年中国大陆 681 个站的观测资料, 分析了近 47 a 中国沙尘暴的时空分布特征, 指出沙尘暴发生频率在绝大多数地区呈整体下降趋势^[2]; 钱正安等利用 1952—2000 年间中国西北及华北的强及特强沙尘暴资料进行了分析, 指出沙尘暴在 20 世纪 60—70 年代波动上升, 80—90 年代明显减少, 但是 2000 年以来又急剧增加^[3]; 冯永忠等以中国西北地区 213 个气象台站 1951—2005 年沙尘暴监测资料为依据, 统计了沙尘暴发生的时空变化规律, 表明西北地区 55 a 来沙尘暴发生频次呈逐年上升趋势^[4]; 王宁练初步分析了冰芯记录和红碱淖湖泊记录中较长尺度的有关沙尘天气发生频率的指标变化, 揭示出中国北方 20 世纪沙尘天气的发生频率呈减少趋势, 并指出在青藏高原北部大气尘埃荷载变化与 $\delta^{18}\text{O}$ 值之间呈显著负相关^[5]; 张自银等依据冰芯、树木年轮等自然记录和历史文献记录, 在十年尺度及百年尺度上分析了中国北方不同地区近 2 000 a 的沙尘事件及其与气候变化的关系^[6]. 本研究对中国目前发表的有关沙尘暴变化规律的文章进行归纳整理, 从宏观角度上初步探讨了沙尘暴变化趋势所反映的气候变化, 并从中寻求中国气候的变化趋势.

1 数据分析

1.1 降尘与温度、降水的相关关系分析

中国沙尘暴一般发生在北方, 其影响范围却可以波及到很远的距离. 根据前人研究结果, 将沙尘(暴)频发区域划分为干旱区西部、干旱区东部及半干旱区^[6-8] (图 1).

王宁练在进行高原冰芯尘埃记录的研究中指出, 研究区域中冰芯阴阳离子记录和大气尘埃及沙尘有很好的相关关系, 可以用

来指示大气尘埃和沙尘的变化^[5]. 张自银等分析了干旱区西部近 2 000 a 来温度、降水和大气沙尘的变化情况^[6] (图 2). Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量变化可作为大气尘埃含量变化的替代指标^[10-11]. 近 2 000 a 以来沙

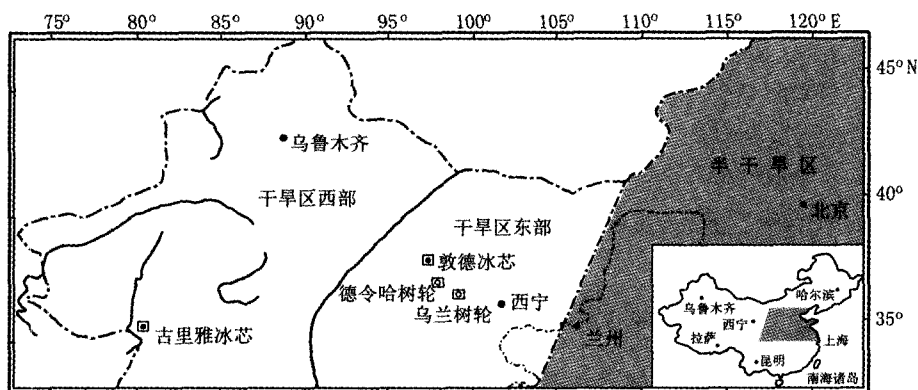


图 1 研究区域及代用资料点^[6] (右下角中国地图中阴影部分为史料记载的主要降尘地点范围^[9])

Figure 1 Study area and proxy data sites

尘指标（古里雅冰芯 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量）整体呈降低的趋势，而温度指标（古里雅冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 以及积累量）呈增加的趋势，即沙尘指标与温度指标有明显的负相关关系。在具体的分析过程中，分别在十年尺度（R1）及百年尺度（R2）上的温度与降水对沙尘事件发生的影响做了相关分析（表 1）。在干旱区西部，利用青藏高原古里雅冰芯的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量作为大气尘埃含量变化的代用指标，它与温度指标不论在十年还是百年

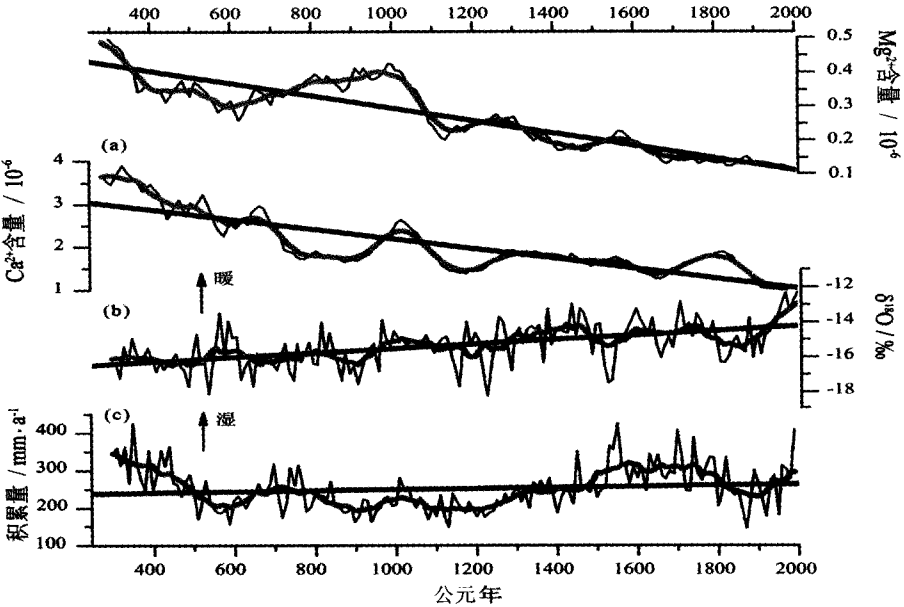


图 2 近 2 000 a 来古里雅冰芯 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量 (a)、 $\delta^{18}\text{O}$ (b) 以及积累量 (c) 记录 (粗实线为 11 点滑动平均, 直线为整体趋势线^[6])
Figure 2 Ca^{2+} and Mg^{2+} contents (a), $\delta^{18}\text{O}$ (b), and ice accumulation (c) recorded from Guliya ice core in the past 2 000 years

尺度上，都表现为显著的负相关，而与降水指标的相关性则很低；干旱区东部温度及降水和冰芯微粒含量沙尘指标的相关性与干旱区西部相似，但是百年尺度上的负相关关系较十年尺度上的相关性显著，且温度与冰心微粒含量的相关性要高于降水指标；在半干旱区，降水指标及温度指标与沙尘频数都表现为负相关关系，只是降水指标较温度指标更为显著。因此，降水和温度对沙尘暴的影响虽然存在区域性，但是温度对于沙尘暴的影响尤为显著，且呈负相关关系。

表 1 各区域温度、降水指标与沙尘指标的相关系数^[6]
Table 1 Regional correlation coefficients of temperature, precipitation and sand-dust indices

相关系数	沙尘指标			
	干旱区西部		干旱区东部	半干旱区
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	冰芯微粒含量	降水频数
温度指标 R1	-0.38**	-0.45**	-0.15**	-0.22**
R2	-0.60**	-0.72**	-0.51**	-0.28**
降水指标 R1	0.07	-0.18*	-0.08	-0.28**
R2	-0.07	-0.36*	-0.22*	-0.60**

注：* 显著性水平为 0.05，** 显著性水平为 0.01，均为双尾检验。

图 3 是近 50 a 来马兰冰芯中污化层厚度比率变化（图 3a，5 a 平均值）与南疆春季沙尘天气发生频率变化（图 3b）及全国沙尘暴发生频率变化（图 3c）特征，表现为在波动中逐渐降低的趋势。器测资料显示，最近 50 a 中国北方呈增温的趋势，揭示出温度的升高可能抑制了沙尘暴的发生，这与张自银所选用的沙尘代用指标 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 离子所反映的变化趋势一致。

1.2 沙尘记录的年际变化

沙尘暴的研究主要以其出现日数作为定量表征指标，依规定^[1]，日界为 20:00 时，当某一次扬沙或沙尘暴过程跨越 20:00 时，按 2 个出现日计算；当某一日扬沙或沙尘暴过程出现 2 次或以上时，按

一个出现日计算.

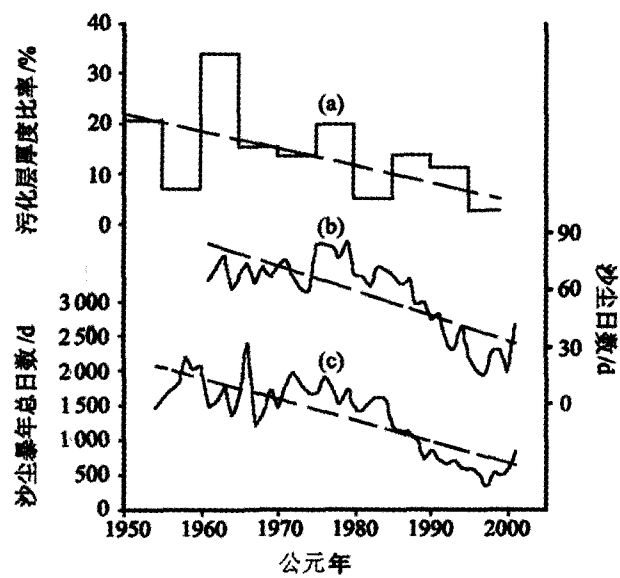


图3 近50 a来马兰冰芯中污化层厚度比率变化 ((a) 5 a平均值) 与南疆春季沙尘天气发生频率变化 (b) 及全国沙尘暴发生频率变化 (c) (资料来自《中国沙尘暴网》) 的比较^[5]

Figure 3 Variations in dust ratio (5-year mean) in the Malan ice core (a); Frequency of spring dust events (including dust storms, blowing sand and floating dust) occurred in southern Xinjiang (b); Dust storm frequency in China in the past 50 years (c) (He and others, 2003) (tha data of (c) comes from [www. duststorm. com. cn](http://www.duststorm.com.cn))

从表2和图4可以看出,近45 a中国北方大部分地区扬沙和沙尘暴日数虽然区域是增加的,但是北方大部分地区是以减少为主的,这与中国近年来北方温度呈增加的趋势相一致.对于区域沙尘暴日数呈现增加趋势的地区所占面积较小,这可能受局地地形及气候条件的控制.

表2 北京等12个代表站不同年代的平均年总扬沙/沙尘暴日数^[2]
Table 2 Annual number of days with blowing-sand or sandstorms at 12 representative stations

代表站	1954—1960 年	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—1998 年	1954—1998 年
北 京	52.1/4.1	20.8/4.6	22.3/1.4	12.3/0.7	3.6/0.5	15.9/1.9
朱日和	9.0/2.9	14.4/8.0	18.1/8.9	18.1/8.3	18.9/6.9	16.6/7.8
呼和浩特	41.4/13.9	25.3/7.8	16.1/4.8	7.6/1.1	7.5/1.3	15.2/3.9
赤 峰	56.9/12.4	42.5/5.4	43.6/4.4	11.1/0.7	3.1/0.9	27.7/3.0
银 川	54.1/16.1	34.2/2.8	37.1/7.0	34.1/6.7	15.9/1.3	31.9/5.1
西 宁	46.9/12.6	31.1/6.5	51.8/6.2	7.2/0.2	2.5/0.3	25.1/3.7
兴 海	10.0/7.0	5.9/2.0	9.9/2.5	20.1/13.8	30.5/19.4	15.7/8.8
兰 州	47.7/8.6	16.7/3.2	21.4/3.2	16.1/0.6	4.1/0.1	15.7/1.5
张 掖	60.3/18.6	55.1/21.6	57.8/20.3	37.3/10.8	25.8/4.1	45.3/15.0
民 勤	132.7/44.3	87.2/30.5	90.9/39.3	68.0/30.7	38.1/11.8	75.7/29.6
乌鲁木齐	14.6/3.9	18.0/4.8	25.6/6.4	12.1/1.9	2.3/0.4	14.8/3.4
和 田	49.9/36.1	81.9/32.5	67.5/31.0	62.8/26.0	48.3/15.6	65.3/27.5

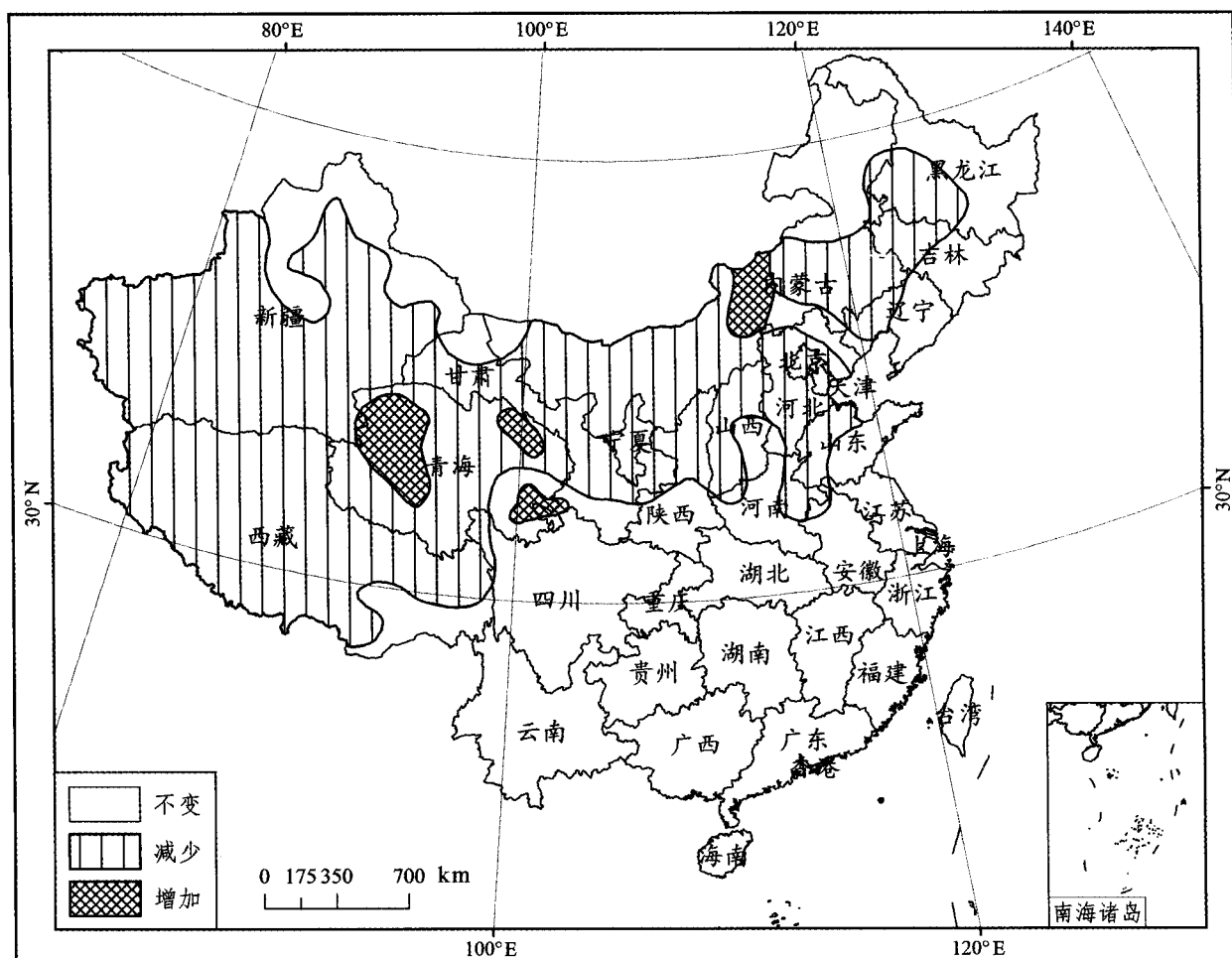
图4 1954—1998年全国沙尘暴日数变化趋势^[2]

Figure 4 Spatial distribution of sandstorm days during 1954 and 1998

1.3 长时间序列的风尘通量变化

上文分析可知短时间序列内沙尘暴频率变化、沙尘指标与温度变化呈负相关关系，而长时间序列的黄土沉积风尘通量变化与温度变化也呈现很好的负相关。黄土粒度分布中的中值粒度的变化曲线与风尘通量变化有很好的正相关关系（图5a）。中值粒度指示了搬运粉尘的风场的强度，中值愈大，风力愈强；而风尘通量主要反映粉尘源区的干燥度，与源区和沉降区尘暴及降尘的频次密切相关。在较温暖的间冰期，风场较弱，风尘粒度较小，与此对应的风尘通量小；而在寒冷的冰期，风场较强，风尘粒度大，风尘通量也相应的增加。黄土的粒度分布和风尘通量间接指示了控制风场变化的冰期和间冰期的气候旋回，即风尘通量变化与全球气温变化有较好的负相关关系，这与上述观点相同。黄土记录的灵台剖面的风尘通量自60万年以来总趋势呈增加的趋势（图5b），V21-146孔位于距亚洲内陆粉尘源区约3500 km的西北太平洋，其风尘通量可以反映亚洲内陆风尘源区对西北太平洋的粉尘输入，与灵台剖面风尘通量的变化趋势大致相同，而ODP677孔氧同位素为全球冰量记录（图5b），海陆风尘通量高值对应于全球冰量高值；而海陆风尘通量的低值对应于全球冰量低值，即间冰期时，海陆风尘通量的值都较低。如图5b所示，自60万年以来全球冰量有逐渐增加的趋势，即全球气温呈变冷的总趋势，并进一步表明长时间尺度上，风尘通量变化与全球气温变化有较好的负相关关系。

2 讨论与结论

气候变化对沙尘的作用具有区域性，在不同的区域其对沙尘的作用是不同的。温度、降水和下垫面

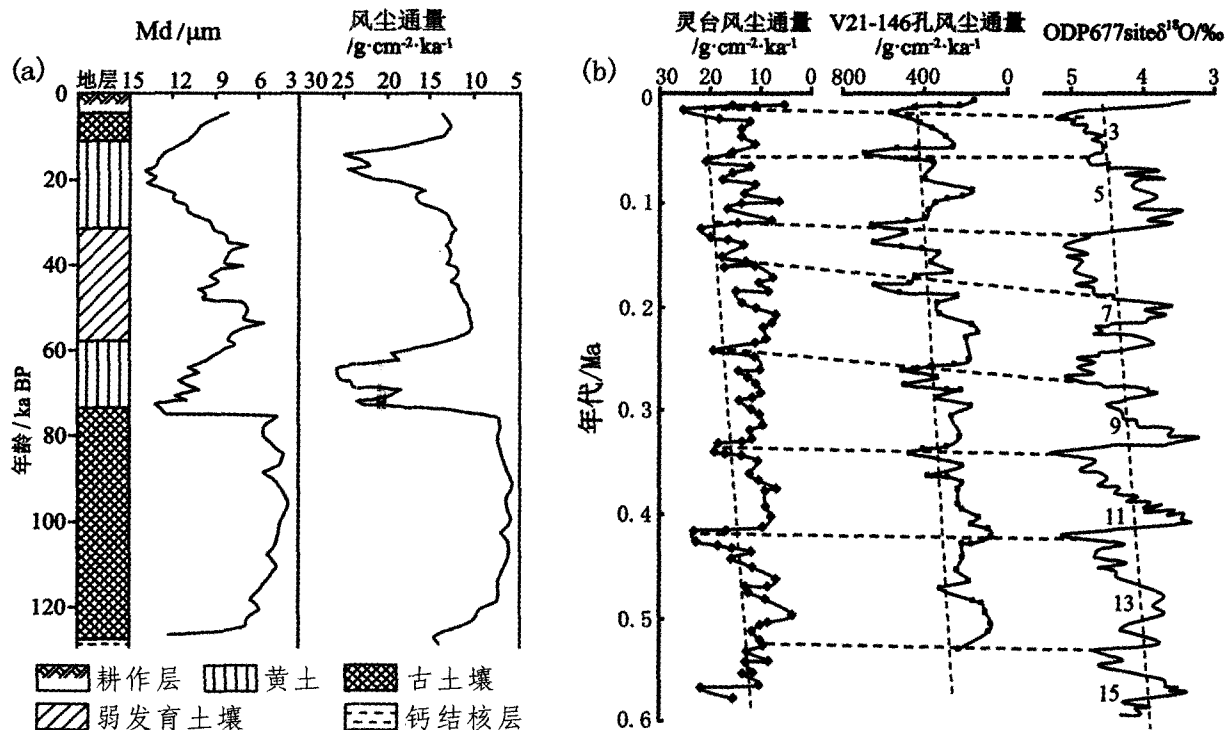


图5 (a) 为最近13万年洛川黄土-古土壤序列记录的风尘通量与粒度对比^[12];

(b) 为最近0.6 Ma黄土高原和西北太平洋风尘通量变化与全球冰量变化对比^[13]

Figure 5 The comparison of dust flux and particle size of Luochuan loess-paleosol record for the last 130 000 years; the comparison of dust flux of the Loess Plateau and the Northwest Pacific and global ice volume variation for the last 600 000 years

状况是制约干旱区沙尘暴次数的决定因素,干旱区本身地面植被稀少、降水量不足。降温过程所伴随的强冷空气的入侵往往会导致沙尘事件的发生。这也从另一个侧面反映了温度与沙尘暴发生事件呈负相关关系。半干旱区情况较干旱区稍好,但其生态环境稳定性较差,对外界环境的变化较为敏感,遭遇干旱季节则生态环境容易破坏而导致地表裸露增多,增加了沙尘暴发生的可能性;相反,若遇上降水增多较为湿润的时期,则沙尘暴发生的可能性将会减少。因此,当温度和降水呈“冷干”组合时就会增加沙尘暴的发生,而呈“暖湿”时,便会抑制沙尘暴的发生。

从代用指标的相关性分析得知,温度变化与沙尘事件发生频率呈负相关关系,而中国的大部分地区近年来沙尘暴发生频率呈整体下降的趋势,只有个别地区受局地地理及气候因素的影响,表现为增加的趋势,因此可以间接说明近年来气温变化可能呈整体上升的趋势。

长时间序列的证据表明中国自60万年以来,温度呈下降趋势,而长序列地质记录,如黄土^[12-13],石笋^[14]和南极冰芯^[15]研究表明,现在正处于全新世以来变冷大趋势过程中,这个全球变冷总趋势符合太阳辐射量减弱^[14-16]。因此,中国近年来温度呈增加趋势,这可能是全球变冷大趋势中的次级波动。

致谢:

福建师范大学雷国良老师对文章提出了建设性意见与指导,在此表示感谢。

参考文献 (References):

- [1] China Meteorological Administration. *Meteorological Observation Standards on the Ground* [M]. Beijing: Meteorological Press, 1979: 21-27. [中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 1979: 21-27.]
- [2] Zhou Zi-jiang. Blowing-sand and sandstorm in China in recent 45 years [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21 (1): 9-17. [周自江. 近45年中国扬沙和沙尘暴天气 [J]. 第四纪研究, 2001, 21 (1): 9-17.]

- [3] Qian Zheng-an, Song Min-hong, Li Wan-yuan. Analysis on distributive variation and forecast of sand-dust storms in recent 50 years in North China [J]. *Journal of Desert Research*, 2002, 22 (2): 106-111. [钱正安, 宋敏红, 李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析 [J]. 中国沙漠, 2002, 22 (2): 106-111.]
- [4] Feng Yong-zhong, Liu Qiang, Li Yong-ping, et al. Spatial-temporal distribution characteristics of sandstorm weather in Northwest China in recent 55 years [J]. *Journal of Northwest A&F University*, 2010, 38 (5): 188-192. [冯永忠, 刘强, 李永平, 等. 近55年来中国西北地区沙尘暴发生时空特征分析 [J]. 西北农林科技大学学报, 2010, 38 (5): 188-192.]
- [5] Wang Ning-lian. Strong negative correlation between dust event frequency and air temperature over the northern Tibetan Plateau reflected by the Malan ice-core record [J]. *Science in China*, 2006, 6 (51): 724-729. [王宁练. 青藏高原北部马兰冰芯记录所揭示的近200年来沙尘天气发生频率变化趋势 [J]. 中国科学, 2006, 6 (51): 724-729.]
- [6] Zhang Zi-yin, Yang Bao. Dust storm events and their relation to climate changes in northern China during the past 2 000 years [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26 (6): 905-914. [张自银, 杨保. 中国北方过去2 000年沙尘暴事件与气候变化 [J]. 第四纪研究, 2006, 26 (6): 905-914.]
- [7] Xu Guo-chang, Yao Hui, Dong An-xiang, et al. *Climate Change in Arid and Semiarid Regions of China* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1997: 1-9. [徐国昌, 姚辉, 董安祥, 等. 中国干旱半干旱气候变化 [M]. 北京: 气象出版社, 1997: 1-9.]
- [8] Wang Tao, Yang Bao, Braeuning A, et al. Decadal-scale precipitation variations in arid and semiarid zones of northern China during the last 500 years [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49 (9): 883-887. [王涛, 杨保, Braeuning A, 等. 近0.5 ka来中国北方干旱半干旱地区的降水变化分析 [J]. 科学通报, 2004, 49 (9): 883-887.]
- [9] Zhang De-er. The preliminary meteorological analysis of the dust deposition in historical period in China [J]. *Science in China (Series B)*, 1984, (3): 278-288. [张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析 [J]. 中国科学 (B辑), 1984, (3): 278-288.]
- [10] Thompson E M, Thompson L G, Dai J, et al. Climate of the last 500 years: High resolution ice core records [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1993, 12: 419-430.
- [11] Thompson E M. 911 Years of Microparticle Deposition at the South Pole: A Climatological Interpretation [R]. Ohio State University Research Foundation, Institute of Polar Studies, Report 73, 1980: 134.
- [12] An Zhi-sheng, Xiao Ju-le. A real example about the study of dust sedimentary flux in the Loess Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1990, 35 (2): 220-223. [安芷生, 肖举乐. 黄土高原风尘沉积通量研究的一个实例 [J]. 科学通报, 1990, 35 (2): 220-223.]
- [13] Sun You-bin, An Zhi-sheng. History of Asian inland aridification as recorded by dust flux in the Loess Plateau in the past 7 Ma and its variation (In Chinese) [J]. *Science in China (Series D)*, 2001, 31 (9): 769-776. [孙有斌, 安芷生. 最近7 Ma黄土高原风尘通量记录的亚洲内陆干旱化的历史和变率 [J]. 中国科学, 2001, 31 (9): 769-776.]
- [14] Wang Yong-jin, Cheng Hai, Edwards R L, et al. The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate [J]. *Science*, 2005, 308 (5723): 854-857.
- [15] Pepit J R, Jouzel J, Raynaud D, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica [J]. *Nature*, 1999, 399: 429-436.
- [16] Berger A L, Loutre M F, Kaspar F, et al. *Insolation During Interglacials* [M] // Sirocko F, Litt T, Claussen M, et al. *The Climate of Past Interglacials*. Developments in Quaternary Sciences, Elsevier, 2007, Volume 7, Chapter 4: 13-27.