

文章编号:1003-7578(2006)05-078-06

全球变暖背景下中国北方沙尘暴变化 及其对黄土高原成壤的影响研究^{*}

贾耀锋², 黄春长¹, 毛龙江²

(1. 陕西师范大学旅游与环境学院,陕西 710062;2. 南京大学城市与资源学系,南京 210093)

提要:黄土的风成说表明粉尘黄土沉积及其成壤与沙尘暴之间存在着密切的联系,作为粉尘搬运的典型,沙尘暴是一种在强冷空气条件下粉尘快速而大规模被搬运和沉降事件,而长时间尺度的沙尘暴事件受全球气候变化的控制和影响;同时,沙尘暴发生的频次和强度变化进而会影响黄土高原地区的黄土粉尘沉积及其成壤强度的变化。本文是在考察中国北方沙尘暴成因机制与黄土高原粉尘沉积和成壤之间关系的基础上,探讨了在全球持续变暖背景下中国北方沙尘暴的发生频次变化及其对黄土高原地区粉尘沉积和成壤强度的可能影响。主要结论是:在全球持续变暖的背景下,虽然粉尘沉积区的降水并没有显著增加,但粉尘源区气候趋于暖湿化,导致中国北方沙尘暴有逐年减少的趋势,使得黄土高原粉尘堆积的速率减小,因而,黄土高原地区将进入一个成壤相对强的时期。

关键词:中国北方;黄土高原;沙尘暴;黄土—古土壤

中图分类号:S155.5⁺⁷

文献标识码:A

第四纪以来,在黄土高原地区广泛发育的黄土—古土壤序列是古气候变化的连续完整记录^[1]。黄土是中亚及我国西北内陆干旱半干旱地区地表松散物质经近地面冬季风和高空西风气流吹扬、搬运、沉降和堆积以后,再经受不同程度生物地球化学风化的产物。由于其源区和沉降区气候条件的变化,致使粉尘搬运的动力条件和成壤条件也随之发生改变,导致在黄土高原地区广泛发育了完整的黄土—古土壤序列。刘东生等曾通过对现代尘暴的时空分布特征、尘暴活动的气候背景和典型尘暴事件的分析等揭示出,粉尘从沙漠区被搬运到黄土堆积区,西北冬季风和西风带的活动都起到了重要的作用。粉尘在黄土高原堆积以后,又受到风化成壤等过程的改造。因此,黄土—古土壤必然包含了有关黄土源区荒漠变化、搬运风力系统变化及黄土高原区风积物再改造等三个方面的信息。在粉尘堆积以后的风化成壤过程中,其中一部分原始特征将被改造,而一些较稳定的特征在黄土区的成壤条件下可以保存下来。这就是说黄土粉尘源区和堆积区是一个问题的两个方面,在考察黄土高原成壤机制时不仅要考虑到本区的气候环境因素,还要考虑到粉尘源区的气候环境变化;同时夏季风和冬季风变化在时空上的差异都是我们应深入研究的问题。

全球变暖已是不争的事实,那么在这种气候变化的背景条件下,中国北方沙尘暴发生了怎样的变化,这种变化将会对黄土高原粉尘堆积速率产生重要影响,并进而影响粉尘黄土的成壤强度。本文主要在考察全新世以来气候、沙尘暴、黄土三者之间关系的基础上,探讨了在全球持续变暖的背景下,中国北方沙尘暴和粉尘黄土沉积和成壤的可能变化。

1 黄土高原粉尘黄土堆积及其成壤的基本气候背景

1.1 2.58 Ma. B. P. 以来的中国内陆气候干冷化是其发生的基本背景

* 收稿日期:2005-04-30。

基金项目:国家社科基金项目(No. 04BZS022);国家自然基金项目(No. 40571154);教育部高校博士点基金(20050718008);陕西师范大学研究生培养创新基金资助。

作者简介:贾耀锋(1968—)男,博士研究生,资源开发与环境变化专业。E-mail: jiayf7779@yahoo.com.cn

黄土高原的黄土—古土壤序列反映了过去亚洲冬季风和夏季风的环境效应突出气候期相互交替的历史^[1,2]。黄土高原粉尘大量堆积可以说是季风气候的产物,而第四纪以来中国环境发生的重要转变表现为季风的形成及其强度的变化和气候波动周期的改变。新生代以来,全球环境最显著的变化是两极冰盖的起源和发展^[2,3],从而导致全球海—气系统从根本上的重新组合;同时,一系列的构造运动亦对全球环境产生了重要影响,如青藏高原的隆升被认为是晚新生代全球变冷的重要驱动因素。在早第三纪,气候带大致呈行星风系控制下的东西走向格局;渐新世在中国东南部地区开始湿润化,显示了东南季风的雏形,可称为雏形季风阶段;中新世中期中国东南和西南部显著湿润化,标志着东南和西南季风的形成,可称为成型季风阶段;中新世末和上新世形成的“红粘土”是冬季风形成和中国北方与中亚干旱化的重要标志。研究表明^[4],来源于亚洲内陆广大区域的黄土粉尘与上部陆壳相比明显地经受过Na,Ca,Sr等化学风化的组成特点,且2.58Ma以来的黄土源区的化学风化呈逐步减弱的趋势,并与同一时期全球冰量逐步增长的趋势相吻合。由此说明黄土高原大量粉尘堆积是第四纪以来新构造运动和两极冰盖共同作用下促动形成的东亚季风气候的产物。在冷干气候条件下发育的沙漠粉尘是黄土高原风成黄土的物质源,而粉尘在间冰期气候条件下的传输受控于正常的大气搬运过程,期间也发生有阶段性的尘暴过程,在冰期黄土堆积过程中尘暴的影响明显增强。

在上述重大气候背景条件下,第四纪以来在黄土高原广泛发育了黄土—古土壤序列,其厚度通常大于100m,且不同地区的地层在空间上可以相互对比,并在黄土—古土壤地层序列中良好地记录了第四纪以来发生的重大气候变化^[3]。黄土地层记录的第四纪第一个重大变化是2.58MaB.P.气候转型,这次气候转型的基本特点是更大面积典型黄土堆积的出现,黄土堆积的加剧无疑标志着一个更为强大的冬季风系统的形成和中国西北及中亚地区较高的大陆干燥度。与第三纪“红粘土”相比,2.58MaB.P.以来的风成堆积物表现为黄土与古土壤的交替,指示了气候波动幅度的增大;黄土记录的第2个重大变化是0.85MaB.P.(松山/布容期)前后中国北部气候变化的幅度和频率的转变。此前,气候波动呈现为相对较弱的冰期与间冰期气候的反差,表现为黄土层的显著风化和古土壤层较弱程度的发育。这种相对较均质的沉积物反映了成壤期粉尘的加积速率相当大,以至于剖面来不及形成明显的层次即被不断加积的粉尘所覆盖。0.85MaB.P.以后,冰期—间冰期的反差显著增大,表现为黄土风化程度较低,古土壤发育程度显著增强,表明此时冬夏季风强度均显著增强;第三个明显的转变大约发生在0.15MaB.P.末次气候旋回中,在黄土地层中,全新世土壤的成壤特征与阶段5e的土壤特征大为不同。因此,第四纪以来亚洲内陆地区的干旱化现象是全球气候变化的区域响应,也是黄土粉尘源区粉沙物质产生和在黄土高原大面积堆积的基本气候背景。同时,第四纪以来气候的波动变化也是黄土高原地区黄土—古土壤序列形成的基本气候条件。

1.2 中国北方沙尘暴发生的天气气候条件

中国沙尘暴是发生于北方干旱半干旱地区沙漠化土地上的一种自然灾害,其形成机制是气候干冷、土地基质稳定性差、起沙大风多、地表植被覆盖度低和人类不合理生产生活活动所致。在较寒冷的气候背景条件下冷空气活动频繁,容易具备足以扬起沙尘的强风力条件,这是对冷时段沙尘暴日数多于暖时段的合理解释,而干旱和很低的植被覆盖度又为沙尘暴的发生提供了充足的沙源。

对于形成沙尘暴的天气系统,国内外学者已做过大量的工作^[5~7],其中东亚大槽引发的强冷空气爆发是易形成沙尘暴的主要行星尺度天气系统之一;而我国北方春季强沙尘暴天气主要与蒙古气旋的发展移动有关,气旋冷锋后的大风是强沙尘暴天气发生的主要动力因子,另外,我国北方春季的连续干旱、气温偏高也是强沙尘暴天气形成的重要气候背景。大量的研究结果表明,易发生大范围沙尘暴的天气系统主要有:(1)冷锋天气。冷锋是我国北方春季出现较频繁的一种天气系统,冷锋过境时因锋前后的冷暖气团之间有较大的气压梯度,在锋后有大风产生,风掠过沙地时,会导致沙尘暴的发生。(2)气旋。气旋是地面上有锋面相伴随的低气压系统,这种系统容易在锋面附近产生大风天气。而生成局地沙尘暴的中尺度系统有:(1)飑线。气象上将气温急降、相对湿度大幅下降、气压涌升和风向突变的强烈阵风叫做飑,当许多雷暴单体侧向排列成线时叫做飑线,一般发生在冷锋前或暖锋后的暖气团中。由于飑线附近有大风和强烈的大气不稳定,极易产生强沙尘暴。(2)副冷锋。副冷锋是冷涡后部的偏北气流中,东北气流和西北气流形成的气旋性弯曲和正涡度平流在高纬度新鲜的冷空气与变性的冷空气之间构成的中尺度锋面。

2 气候持续变暖下北方沙尘暴变化趋势及与黄土高原成壤之间的联系

2.1 气候持续变暖下北方沙尘暴的变化趋势

根据主要粉尘源区和尘暴多发地区近 40 多年来的沙尘暴年际变化的统计资料分析表明(图 1, 图 2, 图 3 和表 1^[8]), 中国北方沙尘暴发生日数在 1954—2001 年呈波动下降的趋势。尤其是在 1980 年代中期以后减少趋势更加明显, 无论是沙尘暴多发地区(如新疆、甘肃、内蒙古、宁夏、陕西等地区)还是中国总体水平均在减少。由 1954—2001 年逐年全国沙尘暴日数变化可以看出, 20 世纪 60—70 年代沙尘暴最多, 80 年代中期以后降至平均水平以下, 以至于沙尘暴发生的日子数在 1980 年代中期减为 1950—1970 年代的约一半水平, 距平年际变化在 1980 年代中期降为持续的负距平, 1997 年仅为平均水平的 $1/3$, 以后有所回升, 但回升地区主要在中国北方的东部。在区域表现上粉尘源区要比远离粉尘源区的减小幅度更大, 比如新疆等地区。

沙尘暴发生的频数与气候背景关系非常密切, 尤其是沙尘源区的气候要素对北方沙尘暴发生日数具有明显的影响。张德二^[7,9]对我国历史时期和现代与沙尘暴有关的降尘事件发生频次的统计分析显示: 降尘频繁时段对应于干冷的气候背景, 表现为中国北方大部分地区冷时段沙尘暴日数多于暖时段。

中国第四纪以来气候变化的研究揭示了暖时段一般对应于相对湿润时期。中国西北地区古气候资料表明, 历史上延续百年至千年以上的暖期均是气候比较湿润时期, 相反, 冷期对应于干旱时期^[10~13]。如据古里雅冰芯纪录, 公元

270a 以前是距今 2000a 以来温度较高时期, 平均温度高出 20 世纪 0.47°C 左右, 此时罗布泊附近楼兰曾种植石榴, 由此可推断当时气温比今高 2°C , 降水也明显增加。再如全新世大暖期的鼎盛阶段, 即 7.2—6kaB. P. 前后, 中国西北和华北地区温度比现代高 3°C 左右, 降水量也有大幅度增加, 内陆湖区均呈现高湖面, 湖水淡化, 沙漠面积缩小。又如 40—30kaB. P. 的暖湿气候位于末次盛冰期前的间冰阶, 古里雅冰芯记录显示温度高出现在 4°C 左右, 降水也相应增加, 当时新疆的玛纳斯河、艾丁湖、罗布泊, 内蒙古的故居沿海、白碱湖, 柴达木的察尔汗盐湖均为淡水湖。

表 1 沙尘暴和扬沙年平均日数的年代际变化及相对变率

Tab. 1 Decadal change of sand-dust storm or blowing dust days and their irrelative variability

项目	50 年代		60 年代		70 年代		80 年代		90 年代		平 均	
	年平均	年平均	相对变率	年平均	相对变率	年平均	相对变率	年平均	相对变率	年平均	相对变率	
	日数/d	日数/d	%	日数/d	%	日数/d	%	日数/d	%	日数/d	%	
尘暴	6.27	3.86	-38.4	4.07	5.4	3.00	-26.3	1.48	-50.7	3.74	-27.5	
扬沙	15.72	13.78	-23.6	17.64	17.5	11.37	-32.4	6.78	-43.6	13.06	-15.1	

注: 根据丁瑞强等的分析数据
万方数据

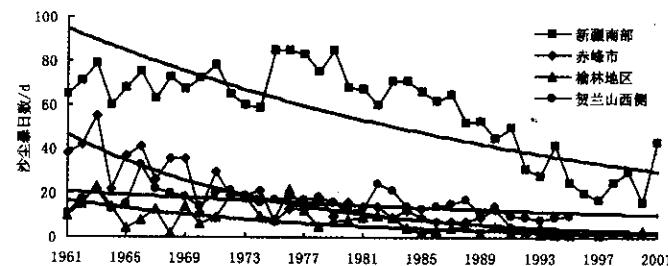


图 1 近 40 年来北方主要地区沙尘暴发生的年际变化

Fig. 1 The annual variation of sand-dust storm days in main areas of northern China in recent 45 years

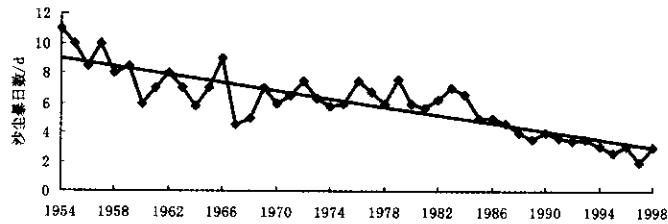


图 2 中国近 45 年来沙尘暴日数年际变化

Fig. 2 The annual variation of sand-dust storm days in China in recent 45 years

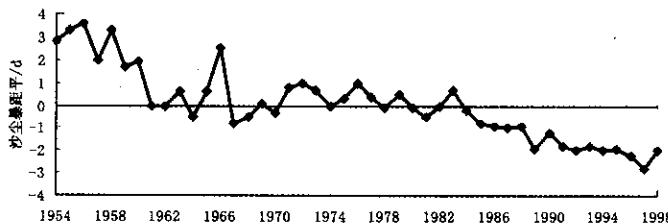


图 3 中国近 45 年来沙尘暴距平年际变化

Fig. 3 The annual departure variation of sand-dust storm days in China in recent 45 years

近年来,中国北方的气候观测资料显示有由暖干向暖湿变化的趋势^[14~23],尤其在主要粉尘源区这种暖湿化趋势更为明显。气候和水文记录显示新疆近50年来气温上升,20世纪80年代以来降水和径流量明显增加,导致蒸发量和干旱指数的变化总体呈下降趋势^[14~16]。以1987—2000年的平均年降水量与1961—1986年的平均值比较,新疆北部降水增加了22%,为36mm,新疆南部增加了33%,为17.4mm(图4)。再如我国北方农牧交错区气候1990年代与1960年代相比,年平均气温升高0.5~1.2℃,年平均降水量增加50~70mm,而年蒸发量下降16.7%,气候呈现暖湿化趋势^[17,18]。近40年来,在江河源区的青海和西藏气候变化的总趋势也是气温升高、降水增加、蒸发减少和风速减小的趋势^[19~21]。中国西北除东部的秋季和西部的夏季外,其他季节均存在变湿的趋势,20世纪80—90年代,我国西北地区主要是西部和中部降水量显著增加^[22,23](图5)。由以上中国北方大部地区的气候和水文的观测资料显示出这些地区在1980年代中期前后发生了明显的气候转型,即向暖湿化方向发展。可能原因是:(1)空中水汽含量的增加和有利的天气形势。利用美国NCEP/NCAR公布的1985—2000年分析资料表明,60年代和70年代西北大部分地区水汽呈减少趋势,80年代水汽显著增加,90年代进一步增加,特别是西北西部地区最为明显。而水汽输送主要来自南面的印度洋,部分来自大西洋和北冰洋的西、北方向,这更有利于以新疆为主地区的降水增加。(2)全球显著变暖驱动水循环过程加快。中国西北西、中部气候向暖湿的转型,不是孤立的现象,而可能是20世纪80—90年代全球显著变暖的驱动水循环加快、降水增加的部分结果。如印度洋表层海水升温,1998年热带印度洋水温比正常年高出3~5℃,必然导致水汽蒸发旺盛,从阿拉伯海向中国西北部输送的水汽增加是其必然结果。

由于以上气候条件的变化,本地区植被覆盖有增加的迹象,通过卫星监测数据显示出1981—2001年西北地区植被有56%处于退化状态,31%比较稳定,13%显著改善,主要改善地区为新疆西部、北部及南部和田附近,甘肃河西走廊及兰州附近,宁夏银川平原和陕北榆林附近。在粉尘源区降水增加、植被改善的同时,我国北方尤其是西北地区的年蒸发量和干旱指数的变化总体也呈下降趋势,还有中国几乎全部地区的风速都在显著减小^[24,25],冬、春季和西北西部最明显,该区90年代的年平均风速比50年代减少约29%,风速大幅减小主要是由于亚洲冬、夏季风减弱的结果。所以,在过去的近50a内,造成中国北方沙尘暴频率显著下降趋势的直接自然原因是:主要沙尘源区降水量特别是春季和前冬降水量的增加、以及由于源区降水增加引起的大气和土壤湿润程度以及植被的改善、沙尘源区和发生区平均风速和大风日数的减少等。

我国北方大部分地区呈现的1988—1997年气候暖时段的沙尘暴日数明显减少的特点^[7],就与该时段黄土粉尘源区的降水量增加有很大关系,同时全国降水量总体水平也在缓慢增加(图6)。由于全球显著变暖和水循环的加快,使得黄土的粉尘源区西北尤其是新疆地区于1987年气候发生突变,随着温度上升,降水量、冰川消融量和径流量连续多年增加,内陆湖泊水位显著上升,洪水灾害也迅速增加,同时,植被有所改善,沙尘暴日数锐减,从而改变了19世纪末至20世纪70年代的变暖变干趋势,中国西北气候由暖干向暖湿

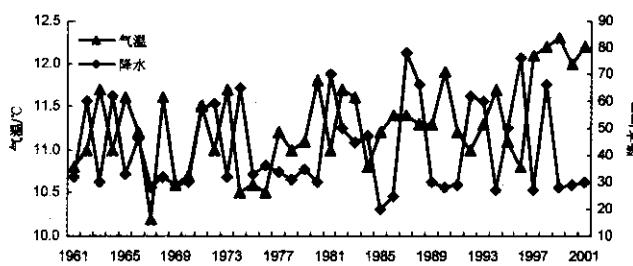


图4 新疆近40年来气温与降水的年际变化

Fig. 4 The annual variation of temperature and precipitation in Xinjiang province in recent 40 years

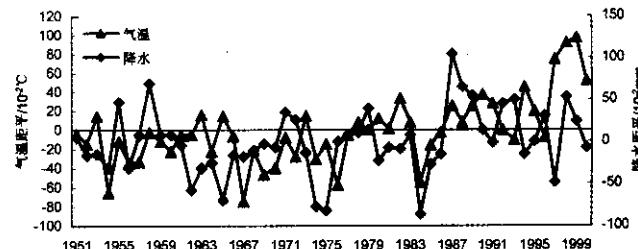


图5 西北地区近50年气温与降水距平年际变化

Fig. 5 The annual departure variation of temperature and precipitation in northwestern China in recent 50 years

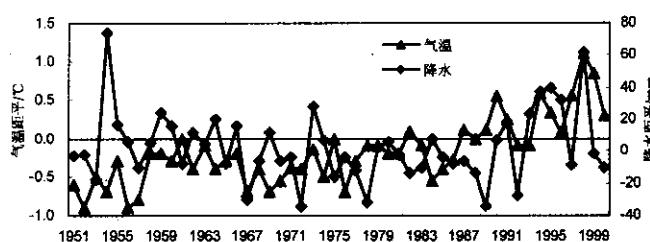


图6 中国近50年来气温与降水距平年际变化

Fig. 6 The annual departure variation of temperature and precipitation in China in recent 50 years

气候转型。由此我们可以推断,由于全球的持续增温引发的水循环增强将首先会给黄土的粉尘源区带来更多的降水,沙尘发生的频率和强度将会进一步降低,黄土高原因粉尘加积的速率减慢而进入一次明显的成壤期。当然我们不能排除沙尘暴在特殊年份的特定时段因天气条件的异常而在强度和频率增强的可能。

2.2 沙尘暴减弱对黄土高原成壤强度的可能影响

由偏北低空气流携带的粉尘在黄土高原沉降以后,经历了不同程度的风化成壤改造作用,主要表现为:在相对适宜的气候条件下不稳定矿物的化学风化和次生粘土矿物的形成。全新世粉尘堆积仍在继续,只是在东南季风占优势的温暖湿润时期,粉尘堆积速率减弱,成壤作用加强,因而形成了古土壤层 S_o ,而在西北季风占优势的寒冷干旱时期,粉尘堆积作用旺盛,形成了黄土层 L_o 。

中国粉尘源区气候与堆积区的气候变化是否具有同步性是我们思考沙尘暴与黄土高原成壤强度之间联系的一个基本前提。如果变化是同步的,那么二者对黄土高原地区成壤强度的影响是一致的,即在沙尘暴多发的时期,粉尘源区和堆积区的气候均向干旱化方向发展,其结果是:一方面粉尘的加速堆积减弱了风积物生物化学风化的强度,另一方面,粉尘源区和堆积区的生物化学风化强度也大大减弱,二者对风积物成壤强度的影响方向是一致的,因而在黄土高原普遍发育的是成土微弱的黄土层;而在沙尘暴较少发生的时期情况则相反,在黄土高原普遍发育的是成土较强的古土壤层。如果粉尘源区和堆积区的气候变化不是同步的,情况将会是怎么样的呢?

中国黄土粉尘源区降水主要是受南亚季风系统和西风带的影响和控制,而堆积区气候主要是受东亚季风系统的影响和控制的,这两种性质不同的季风系统启动动力的差异导致了两个地区气候变化的不同步性。受全球增温的影响,属于热带季风的南亚季风系统在水循环强度方面可能强于属于温带和亚热带的东亚季风系统,而且对气温升高变化的响应更加敏感,从而影响到黄土粉尘源区和堆积区降水变化的不同步性,进而影响黄土高原风成黄土的成壤强度。如近几十年的气象资料表明,主要受来自印度洋,部分来自大西洋和北冰洋西、北方向水汽影响的黄土粉尘源区降水有明显增加的趋势,而主要受来自太平洋水汽影响的典型粉尘堆积区—黄土高原的降水增加并不是很明显,这说明黄土粉尘源区和堆积区气候变化的不同步性是存在的。虽然这种气候变化的不同步性会对黄土高原成壤强度起到一定的削弱作用,但在粉尘源区气候趋于湿润和堆积区气候没有明显干旱的情况下,由于尘暴减少,粉尘在黄土高原的堆积速率将会减小,因此黄土高原地区因粉尘堆积速率的减小就会改善其成壤条件,成壤强度可能会增强。同时同一气候区气温和降水变化的不同步性也是考察成壤强度变化的因素之一。据古里雅冰芯记录揭示的气候变化可知降水变化一般滞后于气温的变化,这种情况在气候趋于暖湿化的时期表现更为显著,降水增加一般滞后于升温变化约 50~100a^[12]。古里雅冰芯记录的近 2000a 的气候变化可能反映了主要受南亚季风和西风带控制的中国西部地区的气候变化,在全球变暖的条件下粉尘源区的中国西部地区的降水已经开始显著增加,那么这种变化是否同样也出现在主要受东亚季风影响的黄土粉尘堆积区呢?在全球不断增温的情况下,作为东亚季风系统夏季风源的太平洋副热带海区水温会逐渐升高,水循环加快,为黄土堆积区带来较多降水。如果具有这样的变化,即东亚季风系统在全球持续变暖的情况下,对黄土高原降水的影响也会逐渐凸现出来的话,那么黄土粉尘堆积区的气候随全球变暖也将向湿润化的趋势发展,考虑到粉尘堆积速率的减慢,我们可以推测黄土高原地区将进入一个相对较强的成壤时期。如近几年来黄土高原地区降水就有明显的增加趋势,尤其是 2003 年降水更是突破了历史纪录,这能否给我们一个关于黄土高原地区已进入一个明显的成壤期的信号还有待于作进一步的观察和研究。

参 考 文 献

- [1] 刘东生等. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] 安芷生, 王苏民, 吴锡浩等. 中国黄土高原的风积证据: 晚新生代北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动[J]. 中国科学, 1998, 28(6): 482—489.
- [3] 刘东生, 郑绵平, 郭正堂. 亚洲季风系统的起源和发展及其与两极冰盖和区域构造运动的时代耦合性[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 194—202.
- [4] 陈骏, 安芷生, 刘连文等. 最近 2.5Ma 以来黄土高原风尘化学组成的变化与亚洲内陆的化学风化[J]. 中国科学, 2001, 31(2): 136—145.
- [5] 王炜, 方宗义. 2002 年和 2003 年春季中国沙尘暴形成和输送的对比分析[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(1): 155—165.
- [6] 钱正安, 贺惠霞, 翟章等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征[A]. 见方宗义, 朱福康, 江吉喜等编. 中国沙尘暴研究[C]. 北京: 气象出版社, 1997, 1—9.
- [7] 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, 1984, (3): 278—288.
- [8] 丁瑞强, 王式功, 高可政等. 近 45a 我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 306—310.

- [9] 张德二, 陆风. 我国北方的冬季沙尘暴[J]. 第四纪研究, 1999, (5): 441—447.
- [10] 施雅风, 姚檀栋, 杨保. 近 2000a 古里雅冰芯 10a 尺度的气候变化及其与中国东部文献记录的比较[J]. 中国科学(D辑), 1999, 29(增刊): 79—86.
- [11] 李江风. 新疆气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991, 287.
- [12] 施雅风, 孔昭寰, 王苏民等. 中国全新世大暖气气候与环境的基本特征[A]. 见: 丁一汇主编. 中国西部环境变化预测[C]. 北京: 科学出版社, 2002, 16—46.
- [13] 姚檀东, Thompson L G, 施雅风, 等. 古里雅冰芯末次冰期以来气候变化记录研究[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(5): 447—452.
- [14] 姜逢清, 胡汝骥. 近 50 年来新疆气候变化与洪、旱灾害扩大化[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 35—40.
- [15] 何清, 杨青, 李红军. 新疆 40a 来气温、降水和沙尘天气变化[J]. 冰川冻土, 2003, 25(4): 423—427.
- [16] 苏宏超, 魏文寿, 韩萍. 新疆近 50a 来的气温和蒸发变化[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 174—178.
- [17] 赵哈林, 张铜会, 崔建垣等. 近 40a 我国北方农牧交错区气候变化及其与土地沙漠化的关系——以科尔沁沙地为例[J]. 中国沙漠, 2000, 20(增刊): 1—6.
- [18] 尤莉, 沈建国, 裴浩. 内蒙古近 50 年气候变化及未来 10~20 年趋势展望[J]. 内蒙古气象, 2002, (4): 14—18.
- [19] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3—11.
- [20] 王艳姣, 周晓兰, 倪绍祥等. 近 40a 来青海湖地区的气候变化分析[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(2): 228—235.
- [21] 王根绪, 李琪, 程国栋等. 40a 来江河源区的气候变化特征及其生态环境效应[J]. 冰川冻土, 2001, 23(4): 346—352.
- [22] 施雅风, 沈永平, 李东亮等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152—162.
- [23] 马柱国, 符淙斌. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析[J]. 气象学报, 2001, 59(6): 737—746.
- [24] 张莉, 任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析[J]. 气象学报, 2003, 61(6): 744—750.
- [25] 王遵娅, 丁一汇, 何金海等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 229—236.

Study on Variation of Sand-dust Storms in Northern China and Its Influence on Soil Formation of the Loess Plateau under the Global Warming

JIA Yao-feng¹, HUANG Chun-chang¹, Mao Long-jiang²

(1. College of Tourism and Environmental Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062;

2. The Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract

The viewpoint of aeolian loess shows that loess deposit and its soil forming intimately related to sand-dust storm. As a classic case of transportation by wind, sand-dust storm is a case that dust be quickly and massively transported and deposited. Sand-dust storm of long-time scale is controlled and affected by the global climate change. The frequency and intensity of sand-dust storm will influence the dust deposition and the intensity of soil forming in the loess plateau. Based on investigation of origin mechanism of sand-dust storm and relation with the dust deposition and soil forming in the loess plateau, the paper mainly explore variation of sand-dust storm in northern China and its possible influence on soil forming of the loess plateau under the global warming. The main conclusions were: although precipitation didn't increase evidently in dust deposit area under the global warming in several decadal years lately, climate of source region of sand-dust had a trend going humid because of increased precipitation in this region, as a result, the dust accumulation rate was decreased in the loess plateau, and consequently, the loess plateau would turn into a period of relatively stronger soil forming.

Key words: northern China; the loess plateau; sand-dust storm; loess-paleosoil