

西北地区气候与环境变化影响沙尘暴的研究进展

沈洁^{1,2}, 李耀辉², 朱晓炜^{3,2}

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 3. 南京信息工程大学大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要:中国西北地区生态环境极为脆弱, 由于常年水资源不足, 荒漠化成为该区域主要的生态环境问题。根据诸多学者对西北地区的研究, 总结了我国西北地区生态环境与气候变化的特征, 以及未来发展趋势。由于气候、环境变化及沙尘暴频次之间存在着一定的耦合关系, 在此基础上, 通过对影响沙尘暴频次的气候因子与其相关性研究的简要阐述, 并结合相关论点, 来探讨西北地区气候与环境变化如何影响沙尘暴的发生发展。相关研究表明, 西北地区的大风、降水、下垫面状况等都直接影响着沙尘暴的发生发展, 沙尘暴发生的频率和强度与沙尘源区的状况及其气候与生态环境变化都具有密切联系。其中, 在一定的下垫面条件下, 大风是影响较大的因子, 降水的增加对沙尘暴有一定的抑制作用, 气温通过大气环流的形式间接影响沙尘暴, 土壤湿度则是通过改变植被覆盖、地表状况来影响沙尘暴。

关键词:西北地区; 气候变化; 生态环境; 沙尘暴

中图分类号: P445⁺.4

文献标识码: A

引言

21 世纪以来, 全球气候变化已成为全世界所关心的重要环境问题。地处北半球中纬度的西北地区, 在全球环境系统中占有重要地位, 其气候、生态和环境问题一直是国内外科学家和政府关注的科学热点^[1]。西北地区地处欧亚大陆腹地, 青藏高原、东部季风区过渡带边缘, 气候要素分布很不均匀, 是地理环境变迁的敏感地带, 也是最为复杂的地区。地形多以山地居多, 黄土高原水土流失严重, 土地沙漠化、盐渍化加剧, 沙漠戈壁面积大, 有 50% 以上的土地已难以利用, 加之工业规模的不断扩大, 特别是矿产资源的大规模开发, 也带来了严重的环境问题。史培军等^[2]通过对西北的地理环境研究表明, 内陆盆地、干燥高原上异常活跃的风成过程, 对本来不利于人类建设的脆弱地理过程起到加速和诱导作用; 蒸发与降水的平衡失调, 促使内陆盆地产生强烈的自然盐渍化过程, 而人类长期的不合理灌溉, 又加速了这一过程的发展; 自然降水的不足, 使得依

赖于水分生存的绿色植被极其贫乏。西北地区受到自然, 尤其是人为因素的影响, 其生态环境的恶化已不是局部问题, 恶化程度随着地理位置的不同而不同, 严重的土壤侵蚀和频繁的干旱在同一地区每年交替发生, 人口增多的压力, 盲目开垦土地, 造成人为水土流失和土地贫瘠化, 还有干旱区水资源的长期缺乏等等一系列因素都促使了本来就脆弱的生态环境进一步恶化, 如今荒漠化已成为西北干旱区最为严重的生态环境问题。从近 50 a 气候变化事实来看, 中国西北地区上空水汽含量明显增加, 施雅风等^[3]研究发现, 西北部分地区的气候从暖干转向暖湿, 尤其是新疆天山西部地区, 出现了气候转向暖湿的强劲信号, 降水量、冰川消融量和径流量都呈现增加趋势。丁一汇等^[4]研究结果表明, 近 50 a 中国西北地区气温变化的总趋势是明显变暖, 尤其以冬季最为明显。虽然降水量的空间分布差异很大, 而且有不少地方降水增加, 但由于气温的升高, 蒸发潜力加大, 干燥指数总体增大, 水资源日益短缺, 天然植被退化, 土地荒漠化加剧, 干旱等气象灾害仍处于增

收稿日期: 2010-07-25; 改回日期: 2010-10-27

基金项目: 国家自然科学基金项目“西北沙尘暴关键区近地面起沙特征的观测与数值研究”(40645027); 973 计划前期研究专项课题“民勤的生态变化对(风蚀)起沙影响的特征观测与数值基础研究”共同资助

作者简介: 沈洁(1986-), 女, 陕西户县人, 硕士, 主要从事干旱气象与沙尘暴研究工作. E-mail: shenjiejie_9@126.com

多趋势。根据 IPCC 第 4 次评估报告结果分析显示^[5],到 2030 年我国西北地区年平均气温将升高 0.8~2.1℃,新疆大部和青藏高原中东部地区增温幅度较大,大部分地区的年降水量增加幅度在 8% 以下。预计到 2050 年,西北地区各地气温依旧呈现增温趋势,幅度在 1.93~2.77℃ 之间。西北地区中西部的降水有增加趋势,其中新疆北部的降水增加明显。那么在这种气候与环境发生变化的大背景下,对于沙尘暴有什么影响呢?

气候变化与环境、环境变化及沙尘暴出现的频率之间存在着一定的耦合关系。近些年,国际上尝试利用风速、降水、温度等气候因子建立综合气候影响指数模型,分析气候因素对沙尘暴频率的影响,并取得了较大进展^[6-8]。西北干旱半干旱区不但是全球气候变化相应最敏感的地带,也是生态环境变化最脆弱的地区。如今,随着全球变暖,西北地区水资源日益缺乏,土地荒漠化作为自然因素和人为因素共同作用的结果,它的持续发展已致使生态环境进一步恶化。而沙尘暴既是一种加速土地荒漠化的重要过程,又是荒漠化发展到一定程度的具体表现^[9]。关于气候与环境变化如何影响沙尘暴发生发展的问题,许多学者通过影响沙尘暴频次的气候因子与其存在的相关性来进行研究。如全林生等^[10]指出沙尘天气频率与冬春季气温存在显著负相关,李耀辉等^[11]认为从时间演变的角度看,大风日数的减少造成沙尘暴频次的减少,赵景波等^[12]认为温度和降水对沙尘天气有重要影响。相关学者还给出了一些量化沙尘天气的气象指标,如贺大良等^[13]从风速出发,提出了表示风沙活动强度的指标,张冬斌等^[14]提出能见度和风速构造沙尘指数等等。本文主要利用文献,新闻报道,结合相关书籍等材料,综合分析气候与环境变化与沙尘暴发生频次的相关性。

1 气候与环境变化对沙尘暴的影响

沙尘暴是恶劣的自然环境与大气异常运动共同作用的结果,是一种危害性极强的灾害性天气。沙尘暴引起的一系列生态与环境问题,例如荒漠化、土壤肥力下降、空气污染、对人类生命财产安全的危害等等。与此同时,沙尘天气产生的悬浮于对流层的沙尘微粒是大气气溶胶的重要来源之一,并随着大气运动扩散到很远的地区,由于气溶胶所具有的辐射效应,导致辐射变化,进而引起区域乃至全球的气

候变化,可见气候与环境变化共同影响着沙尘暴的发生发展,沙尘暴的产生同样也会改变气候与环境。

西北地区的气候对沙尘暴的影响是多个气候因子综合作用的结果,已有结果表明,形成沙尘暴天气需要有大风、沙源及不稳定热力条件。地面大风是沙尘暴发生的根本原因的驱动力,而降水和温度会导致地表状况的变化,即影响沙源与热力条件。这些因素同时又使得环境发生变化,进而影响沙尘暴的发生发展。

1.1 气候变化对沙尘暴的影响

在地球上的干旱地带,尤其是沙漠及其毗邻地区,常发生沙尘天气,严重的则演变成沙尘暴。这种自然现象是特定的自然地理环境和气候条件使然。全世界只有欧洲未报导过发生沙尘暴,因为欧洲地区不怎么干旱,植被良好。亚洲、非洲、美洲和澳大利亚都有沙尘暴,且强度大小不一,这和气候的长期且有规律的和短期且较无规律的变化有关。干旱少雨、植被稀少是沙尘暴形成的前提条件。干旱气候的形成取决于降水和温度这 2 个指标性的气候因子,降水和温度也明显影响着沙尘暴的发生发展,特别是降水。西北大部分地区属于温带大陆性干旱与半干旱气候,所以要谈干旱气候对沙尘暴的影响,首先就要考虑降水、温度 2 个主要因素对沙尘暴形成的作用,而从目前相关研究的进展和所取得的成果来看,降水引起土壤湿度、地表覆盖的变化,进而影响沙尘暴的发生发展等方面的相关研究工作较多,研究结论也比较确定。温度对沙尘暴的影响则要复杂很多,可通过蒸发、干燥程度体现出来,但其并不像降水能直接抑制沙尘暴的发生。降水少,沙尘暴活动强,然而沙尘暴主要不是形成于降水最少的冬季,而是主要形成于降水量较少的春季,显然这种季节性气候的差异影响着沙尘暴的产生。

沙尘暴也容易发生在干旱时段。大量研究证明,沙尘暴频发时期一般对应降水偏少、温度偏低的气候干冷期。近百年来,除了澳大利亚、北非干旱区外,中国西北干旱区变干趋势明显。在几个易发沙尘暴的区域,干旱与否制约着沙尘暴次数的多与少。丁一汇等^[4]利用西北 5 站近百年(1900~1999 年)旱涝频数的变化得出结论,中国西北近百年有明显变暖趋势,并且还注意到西北部分地区有变干趋势。宋连春等^[15]分析近百年来平均降水量的变化情况,发现西北区近百年来降水量呈明显下降趋势。内蒙古 1965~1975 年间干旱少雨,1976~1996 年间

相对比较湿润,所以 20 世纪 60 年代发生特强沙尘暴 16 次,而且多数出现在 1965 年以后的少雨段,仅 1966 年就达 8 次^[16]。河西和南疆这 2 个沙尘暴多发区 20 世纪 80 年代后期至 90 年代沙尘暴偏少也与同期内降水偏多有关。最近 50 a,作为沙尘暴主要源区的西北地区降水量均呈现较明显增加趋势,这与其沙尘暴日数整体减少趋势是对应的^[17],温度则呈现持续增加态势。马小波等^[18]利用小波分析西北地区近代及历史时期气候变化发现,50 a 来西北地区多数区域包括新疆、河西走廊、青海,降水增加,其中新疆、河西增加幅度最大,达 20% ~ 50%,而西北地区东部降水变化不明显。张强等^[19]在分析近 50 a 西北地区气候变化新动态研究中表明,西北地区气温变化表现为一致的增温趋势,1961 ~ 2008 年西北地区的区域年平均气温每 10 a 升高了 0.33 °C。近 50 a 来温度持续增高,这种变暖差异会改变大气温压结构、平均西风环流特征,从而减弱温带气旋的锋生。北方特别是沙尘源区平均风速和大风日数的长期下降就是上述温压场和环流变化的直接反映。这个观点在温度与沙尘暴频次的相关性中会提到。

据中国气象局兰州干旱气象研究所对统计数据表明,沙尘暴发生的日数具有显著的年际变化特征,20 世纪 60 ~ 70 年代,每年春季中国的平均沙尘日数较多;1980 年代中期以后,沙尘暴发生日数减少的趋势更加明显,自 1985 年以后,一直处于平均线以下。即使在沙尘天气过程最为频繁的 2001 年和 2006 年,其总体强度依然不超过多年平均值。结合以上西北地区气候变化特征的分析,我们不难看出,随着西北地区温度的升高,且部分区域处于暖干型向暖湿型转变,降水量的增多等,这些气候变化对沙尘暴的发生都具有一定的弱化作用。

1.2 气候因子与沙尘暴发生频次的相关性

1.2.1 大风

除了干旱气候外,大风是形成沙尘天气的动力原因。风与气旋活动密不可分,气旋活动强度越强,形成的风的强度就越强。强风不仅可以对陆地表面造成风蚀引起风沙流,还可能造成沙尘暴。Qian WeiHong 等^[20]通过分析 NCEP/NCAR 的 850 hPa 逐日地形场和 1 000 hPa 的气温资料得出,强气旋活动的高发期在 4 ~ 5 月,这与沙尘天气的高发期时段相符合,并计算出气旋频次与沙尘天气的相关系数为 0.415,同样通过对比相关数据发现,沙尘天气发生

的高频期与气旋活动相一致。自大风成为沙尘传输和扩散的主导因素以来,风速与沙尘暴发生的相关性被完整的记录。Liu Xiaodong 等^[21]研究结果表明,中国北部春季沙尘暴频次与地面风速存在很强的正相关性,这一结论与之前的研究相符合,同样对春季沙尘暴频次和冬季前期、初夏台风中的风场数据相关性作了检验,却并没有发现任何有意义的关联。李耀辉等^[22]分析了西北地区代表站近 40 多 a 大风和沙尘暴年平均日数变化,从时间演变来看,西北地区沙尘暴总体上与其大风演变趋势是一致的,大风减少决定了沙尘暴出现频次的减少。李耀辉等^[11]分析西北地区大风日数的时空分布特征上得出,大风多发区并不一定是沙尘暴的多发区,这两者在空间上并不完全重合,换句话说,如果在下垫面状况不变或变化不大的情况下,沙尘暴的发生与大风密切相关。例如,塔克拉玛干沙漠及其周边地区,在相同的大风条件下,较巴丹吉林沙漠更容易引起沙尘天气,而发生同样强度的沙尘暴,巴丹吉林沙漠地区需要的风力相对塔克拉玛干地区要更强劲。除此之外,李智勇^[23]在前人的沙尘天气模型基础上,利用水分均衡计算的干燥指数,结合大风日数和风速计算的风速影响指数建立新的沙尘暴气候影响指数模型,对西北地区气候因素对沙尘暴的影响进行分析,结果表明气候影响指数 D 和沙尘暴日数 S 之间具有良好的相关性,甘肃和宁夏呈线性关系,而新疆、青海、内蒙古和陕西呈非线性关系。

通过以上分析,表明大风是产生沙尘暴的一个很重要的因素。有沙尘暴的时候必然伴随着大风天气的出现,但大风天气的出现并不一定会有沙尘暴的发生。沙尘暴的产生还受地表状况和不稳定大气影响,因此虽然在时间上沙尘暴总体与大风日数一致,但空间上并不完全重合。

1.2.2 降水和相对湿度

干旱少雨气候是形成沙尘天气的背景场。我国沙尘暴多发区平均年降水量仅为 198.47 mm,北方大部分地区沙尘暴发生频数与当地的降水量和相对湿度之间存在相关性。Qian Weihong 等^[20]计算出中国地区年降水量与沙尘天气频次的相关系数为 -0.141。Liu Xiaodong^[21]在沙尘暴频次的时间序列下,分析季节性降水率与年降水率的相关性,结果表明在大多数的研究区域中,春季沙尘暴的频次与同季和前季降水率存在负相关性。全林生等^[6]根据中国大陆 1954 ~ 1998 年 338 站沙尘天气日数资料

结合月降水和气温资料分析,年沙尘日数与年降水量的相关性在新疆的部分地区能达到 -0.30 以下,通过了 0.05 的信度检验,显著负相关说明降水减少对沙尘频次的增加有明显作用。张莉等^[24] 在分析北方沙尘暴频数演变与气候特征成因中,也得出我国北方绝大多数地区沙尘暴发生日数随着本地降水和相对湿度的增加而减少,统计结果也显示了春季和前冬沙尘源区降水的多少对沙尘暴的发生有着重要的影响。例如,20 世纪 60 年代的内蒙古处于少雨时期,发生沙尘暴的次数较多雨期偏多。20 世纪 80 年代后期到 90 年代河西和南疆 2 个沙尘暴多发区,发生沙尘暴的次数偏少也与同时期当地的降水量多寡有关。我国西北地区近 50 a 来部分地区气候呈现暖湿迹象,我们知道,降水的增加会有效抑制沙尘暴的发生。有研究表明^[25],除了个别地区如浑善达克西部的沙尘暴是波动增加趋势,我国沙尘暴的发生呈减少趋势。

1.2.3 温度

温度对沙尘暴的影响主要体现在其变化引起大气环流变化,而不稳定的大气环流是形成沙尘暴的必要热力条件。有关研究表明^[26]:5 种天气类型极易产生沙尘暴,即冷空气翻山下沉型、冷空气东灌型、冷空气西方侵入型、翻山和东灌结合型及抽气筒效应型。张莉等^[27] 通过对中国北方沙尘暴频数与气候要素相关关系的统计分析后发现,温度变化与沙尘暴频次呈反相关性。与此同时,张莉等^[24] 分析了中国北方 1954 ~ 2001 年的沙尘暴日数演变规律及其与气温的相关关系同样也发现,通过沙尘暴发生日数与平均气温系列的比较可看出,沙尘暴日数与平均气温的变化趋势基本相反。Qian Weihong 等^[10] 利用 1954 ~ 1998 年的 NCEP/NCAR 资料计算出年温度与年沙尘暴天气频率的相关系数为 -0.667 。陈玉福等^[28] 对首都圈沙尘暴的变化趋势及其与气温关系的研究表明,针对研究区域多数站点的沙尘暴日数与气温之间的相关性并不突出,只有少数站点呈负相关,究其原因,气温对沙尘暴的发生存在正反两方面,其一从地面沙尘源状况的影响作用看,温度升高会导致土壤水分因蒸发而降低,造成地表干燥,有利于沙尘暴的发生;其二,从沙尘暴发生的天气特征来看,由于沙尘暴多伴随冷空气活动^[29-30],造成降温而成为沙尘暴产生的有力条件。

以上研究结论显示,我国西北大部分地区表现出沙尘暴日数与气温存在负相关性,但是从沙尘源

的角度看,温度与沙尘暴频次反而呈正比关系。查阅相关文献^[20,31-32],发现温度的升高会引起其对沙尘暴的一种间接影响。这种变暖差异的后果之一是改变了中纬度大气的温压结构和对流层中上层平均西风环流特征,减弱了温带气旋锋生作用,另一明显后果是冬春季寒潮势力减弱,这和冬季地面西伯利亚高压平均强度减弱及春季温带气旋数量下降是一致的。也就是说,这种由温度引起的温压场和环流变化的作用,体现在沙尘源区平均风速和大风日数的下降,减弱产生沙尘暴的驱动力。张莉等^[24] 认为西北较明显的升温导致地面气压梯度减小,从而使平均风速和大风日数减少,沙尘暴频率也降低。我们可看出,温度对于沙尘暴来说,不完全是一个绝对的控制因子,从不同的角度可以得出不同的结果,所以还有待进一步细致的研究和定性。

1.2.4 土壤湿度

对于沙尘暴与气象要素关系的研究中,许多文献^[33-34] 都考虑了同期下垫面土壤湿度的影响。特别是土壤体积含水百分率,作为衡量地表干湿状况的重要指标,其与沙尘暴发生日数之间存在着负相关性^[35]。在相同的气象条件下,沙尘暴途径区域下垫面的土壤质地及其湿度状况直接影响着沙尘暴的形成。李宁等^[36] 以 2001 年 4 月至 2003 年 6 月内蒙古中西部地区逐时观测的土壤体积含水百分率资料为基础,分析得出沙尘暴的发生在土壤体积含水百分率上有明显的阈值反应,其值为 19.5% ,不同地区的阈值上限存在差异。土壤湿度对于植被覆盖率有很重要的作用和影响,它是保证植物生长的基础。当地表有相对较多的植被覆盖时,植物可以有效的对地面沙尘起到固定作用,增加地表粗糙度,与此同时增大地面对气流的摩擦阻力。特别是西北干旱半干旱地区尤为重要,如果入冬后的气温偏高,降水偏少,则土壤湿度降低,导致来年春季植被稀少,不能有效固定住地表土层,最后的结果使得来年的沙尘暴增多。杜子璇等^[37] 利用内蒙古自治区中部二连浩特 2001 年 4 月至 2004 年 4 月土壤湿度的逐时观测资料,结合相应地面气象资料,探讨土壤湿度与沙尘天气之间的关系,由于大风是沙尘暴发生的必备条件之一,所以加以考虑风速的关系,结果表明风速在一定程度上也会影响到土壤湿度。对沙尘暴发生时风速和土壤湿度进行统计分析发现,风速和土壤湿度之间存在负相关,其值为 -0.302 ,风速越大,土壤湿度越小,更有利于沙尘暴的发生。詹科杰

等^[41]研究民勤荒漠区、绿洲边缘和绿洲内部3种不同下垫面近地面50 m沙尘暴风速特征与环境因子中发现,由于地表粗糙度的不同,造成绿洲内部地表粗糙度最大为2.121 cm,绿洲边缘次之为0.082 cm,荒漠区最小仅为0.023 cm,地表粗糙度越大对气流的阻力越大,风速降低的越多。宋阳等^[42]利用中国北方5种不同性质下垫面的15个气象站点40 a的大风与沙尘暴频次气象数据进行研究,通过分析初步得到:下垫面对沙尘暴有重要的影响,不同下垫面的沙尘暴日数存在着较大的差异,其中农田、沙地的沙尘暴日数明显增多,甚至许多年份中数值多于大风日数。这一点同样也能说明沙尘暴与大风日数在空间上的不完全重合性。土壤含水量与降水是密不可分的,当有降水时,土壤含水量增加,水分会土壤粒子表面吸附成膜,并在土壤粒子间形成水楔,这样会使得土壤粒子所受重力增大,同时也增加粒子间的毛细管力。如果降水少,土壤含水量下降,沙尘粒子重量和粒子间的毛细管力减小,干燥土壤的临界摩擦速度减小,这时若有不稳定的大气环流发生,伴随着大风的出现,沙尘粒子很容易被吹起形成沙尘暴。

沙尘暴的发生由特殊的地理环境和气象条件所致。土壤湿度作为衡量下垫面状况的一个因子,对起沙有重要影响,土壤湿度减小,土壤表面的水黏膜力减小,引起风对土壤的风蚀,土壤被风蚀的最终结果就是使得土地沙漠化,这又会进一步促使沙尘暴的发生。

1.2 环境变化对沙尘暴的影响

沙尘暴的成因虽有各种不同的说法,但下垫面生态环境的破坏和恶化,却是公认的事实。下垫面自然性质被破坏的直接结果,是气候变干旱、土地沙漠化加剧、沙尘暴增多。干燥的下垫面产生的热力不稳定和特殊的地形产生的气流加速抬升作用,对局地沙尘暴的形成和强沙尘暴的触发有重要作用。我们已经知道,沙尘暴天气需要有大风、沙源及不稳定热力条件,但人类不合理的经济活动对环境的改变无疑也加剧了沙尘暴天气的强度和频率。有关统计资料显示,自1950年代以来,由于干旱、半干旱地区人们不合理的经济活动,使荒漠化土地面积不断扩展,1950年代至1970年代中期,全国沙质荒漠化土地每年增加1 560 km²,1970年代中期至1980年代中期年增长率为2 100 km²,而1980年代中期至1990年代末年增长率达到2 460 km²。张克存等^[38]

对民勤县耕地变化与沙尘暴的研究中发现,自20世纪50年代起至70年代,民勤县的耕地面积在减少,大片的土地弃耕,特别是在1960年代初,刚好与这一时期沙尘暴达到峰值对应很好。何金梅等^[39]对民勤地区沙尘天气的研究中发现,特殊的地理位置形成的气候背景和人为的生态环境破坏是这一地区产生沙尘的主要原因。一方面干旱少雨,水资源匮乏,上游来水锐减,加剧了土地荒漠化、盐碱化;另一方面人类对生态环境的破坏,又加剧了土地的沙化、盐碱化、荒漠化,使自然条件进一步恶化,水土流失更为严重。近年来沙尘暴的频繁发生与土地荒漠化的发展关系密切,从沙尘暴发生的频率来看,从1950年代到1970年代末,随着土地荒漠化的发展,沙尘暴发生的频率也越来越增加。显而易见,荒漠化的危害是多方面的,近10 a来,北方地区沙尘暴的频繁发生与荒漠化的快速发展有关^[40]。姚宗国等^[41]研究中发现,随着宁夏陶乐县植树面积的增加和沙地面积的减少,沙尘暴次数呈逐年减少趋势,这也说明增加地表覆盖率,改善生态环境可以有效抑制当地沙尘暴的出现。此外,特殊的地形地貌同样对沙尘暴有影响,如沙尘暴气流翻越贺兰山时,由于焚风效应,空气干绝热下沉,也会增加空气的不稳定性,促进沙尘暴的发展^[42];民勤地处雅布赖山和龙首山形成的山口下方,特殊的地形和丰富的沙源,使其上游沙尘暴经过此处时,往往强度会明显加强。

近些年在全球变暖的大背景下,考虑到西北地区温度的不断升高,使得沙尘源区地表状况的改变,土壤湿度下降,蒸发量高,人为破坏下垫面状况,植被覆盖面积减少,土地盐碱化、荒漠化加剧等。虽然之前探讨过近些年西北地区的气候变化对沙尘暴有一定的弱化作用,但是自然环境,尤其是生态环境的破坏同样会导致沙尘暴的发生发展,且强度大。如2010年4月24日发生在民勤县的特大黑风暴,这是民勤有气象记录以来最强一次特强沙尘暴天气过程,能见度达到0 m。如果我们不能有效的改善生态环境来抑制沙尘暴的产生,一旦民勤绿洲消失,那么中国北方将会造成生态灾难。

2 沙尘暴对气候与生态环境的影响

任何事物都具有两面性,有利则有弊,看问题不能单一性,对于沙尘暴亦是如此。Andrew S. Goudie^[43]对近期沙尘暴的发展作了论述,其中提出沙尘暴对环境的影响主要表现为以下几个方面:沙尘暴

通过其对太阳辐射的吸收和散射来改变空气温度从而影响云量、对流活动;通过物理吸附或多相反应来影响大气中的 SO_2 含量;影响海洋主要产物,由此影响大气中 CO_2 含量。研究还发现,在最大冰期据观测,大量沙尘载入会通过其对辐射收支的影响来增强冷却效应程度;另一方面,形成于冰表面大量的沙尘降很可能会导致负面反馈效应,降低冰雪反照率,加速冰雪融化。李耀辉等^[25]描述沙尘暴特征与干旱关系的研究中,总结出沙尘暴对干旱气候的影响表现在2方面:沙尘暴释放到大气中的沙尘气溶胶所具有的气候效应;沙尘暴必然伴随土壤风蚀,其累积效应就是地表状况的改变,影响地—气间的能量交换,导致气候的变化。丁一汇等^[4]通过近10 a来的事实以及全球气候模式和区域模式的分析结果表明,在全球变暖的大背景下,北半球中纬度地区降水量变化不大,但温度显著升高,地表蒸散加大,土壤变干,这些因素都成为产生沙尘暴的有利背景条件,而环境持续恶化的局面很难在短时期内得到有效的改善,加之沙尘暴天气的强度增加会加剧土地荒漠化,于此同时,土地荒漠化又有利于强沙尘暴天气的发生。

源于干旱半干旱地区沙尘暴释放到大气中的沙尘气溶胶是对流层大气气溶胶的主要构成成分。气溶胶有明显的气候效应^[44],它主要通过3种途径影响气候发生变化:一是通过吸收和散射太阳辐射及地面和云层长波辐射来影响地球辐射收支和能量平衡(直接辐射效应);二是作为云滴中的云凝结核改变云的光学特性和生命周期;三是气溶胶可以改变大气化学过程,抵消人类排放温室气体导致气温变暖的效应。通过阅读相关文献发现,每当沙尘暴来临前,该区域都处于高温晴热,空气干燥状况下,一旦沙尘暴过境后,该区域温度急剧下降,往往还伴随着降水。如果大气非常纯净没有杂质,则由水汽分子凝聚自发生成云雾微滴及冰晶是极为困难的,这些气溶胶粒子起着凝结核、冰核、凝冻核、凝华核等作用,它们是云雾滴能够产生并且生长大的基础,可以简单的说,如果大气中没有气溶胶粒子,成云致雨过程几乎是不可能发生的^[45]。过去10多a的研究得出的大量重要证据表明,沙尘气溶胶对地球的平衡冷却减少了温室气体变暖的作用,而气溶胶对大气的冷却作用会部分减缓由于气候变暖造成的极端天气和干旱灾害的频率。而最新研究证明,沙尘暴形成的气溶胶在高空有全球循环的演变特点。撒

哈拉荒漠尘埃伴随大风上升气流能飘到7 000 km以外的大西洋和南美洲的亚马逊地区,中亚等影响中国的沙尘暴,能够影响到朝鲜半岛、日本以及1.0万 km外的夏威夷。澳大利亚中部地区的尘埃可输送降落到3 500 km外的新加坡。但是谁会知道,正是由于撒哈拉沙漠富含养分的尘土入侵亚马逊河流域,才使它形成了广阔富饶的热带雨林。中亚沙尘暴所提供的尘埃,形成了夏威夷与阿拉斯加之间极其丰富的渔业资源。这些尘埃中含有大量的铁,有助于浮游生物的生长,促进了大量鱼类的繁衍。大气中大量含有沙尘微粒不但能缓解下游地区酸雨危害程度,还能保护地球生态环境;因大气凝结核的增多使下游地区降水量增加,而且铁、钙等沙尘对海洋的生物链也有良好的促进作用。日本科学家观测研究认为,黄沙作为日本过冷却云的冻结核,对形成降水起到重要作用。目前,有关沙尘在大气中长时间停留并在大范围内输送和沉降,对全球气候的影响和海洋沉积物的贡献越来越引起世界各国政府和科学家的关注。我们能够发现,沙尘暴与气候、生态环境之间是互为因果,因此危害严重的强沙尘暴天气的发生及对生态环境、气候的影响问题,我们应给予高度重视。

3 西北地区未来沙尘天气的预测

Andrew S. Goudie^[43]对未来沙尘暴的活动也提出了见解,认为未来自然沙尘活动依赖于3个主要因素:①沙漠表面的人为修改;②自然气候环境,如厄尔尼诺—南方涛动或大西洋北部涛动;③全球变暖大背景下引起的气候变化。李栋梁等^[46]分析中国北方沙尘暴成因,建立了预测的概念模型,即太阳活动减弱(SCL变长)/增强(SCL变短)→气候变冷/变暖→青藏高原地面加热场强度减弱/增强→西风急流轴偏南/偏北→蒙古气旋加强/减弱→沙尘暴增加/减少。根据以上西北地区气候与环境变化特征,结合这种概念模型,对西北未来沙尘天气进行简要分析。我国西北地区近50 a来明显变暖导致的后果之一就是改变中纬度大气的稳压结构和对流层中上层平均西风环流特征,减弱温带气旋锋生及冬春季寒潮势力,进而导致西北沙尘暴天气生成所必需的起沙动力条件弱化。如今,西北部分地区由原先的暖干型逐渐向暖湿型转变,同时降水量也呈现增加趋势,尤其以新疆部分地区为主,这也会有效抑制沙尘暴的产生。根据专家对沙尘暴的年际变化规

律可看出,从1980年代中后期起,我国沙尘暴的减少趋势明显。如今国家对西北投入大量资源加大植被覆盖率,改善土壤状况等保护沙源区生态环境的一些列措施,同样也会抑制沙尘暴的产生。以上观点还需进行理论与实践验证。

4 讨 论

我国西北地区近50 a来气候正在发生由暖干向暖湿转型的趋势,但是未来是否会持续或扩大仍具有很大的不确定性,并且考虑到人为因素的影响,温室气体的排放量等,未来西北地区气候变化趋势仍值得进一步研究。本文阐述了许多研究者对气候因子影响沙尘暴频次的观点。风速、降水、温度、土壤湿度都会影响沙尘暴的发生发展,但影响程度各不相同。在沙尘暴的研究中,大风和下垫面的土壤湿度是影响沙尘暴发生的2个重要因子^[47-49]。驱动沙尘暴产生的大风对于沙尘源的控制因子土壤湿度,在不同地区,不同地貌的自然条件下,风速和土壤湿度对沙尘暴的贡献相差甚远,如内蒙古的乌拉特中旗和二连浩特地区风速的贡献大于土壤湿度的影响,而对于乌海来说,土壤湿度的贡献大于风速的影响。但是我国北方沙尘暴发生频次与北方大风日数的分布在空间上并不完全一致,沙尘暴的发生频次受区域特征条件影响较大^[11]。北方沙尘暴发生频次年际呈减少趋势与北方温度持续升高,夏季降水有所增加的趋势有较好的一致性。降水、温度和土壤湿度总的来说都是通过改变地表植被、土壤等特征来影响沙尘暴的发生程度。当土壤湿度较大时,有利于增加大气中的含水量,使大气稳定度降低,有利于降水的发生,反之,降水的发生有利于增加土壤含水量,使土壤湿度增大,这种反馈过程的存在,又将对沙尘暴的抑制产生积极的影响。

所以我们很难具体说哪一种影响因子对沙尘暴发生频次的作用最大,最主要。这些影响因子相互之间都是存在着一定的联系,且有着相互反馈的现象。无论它们其中哪一种因子发生了变化,都会对其余因子产生一定的影响,进而最终影响沙尘暴的发生发展。随着社会的进步,经济的发展,加之科技的创新和引进,今后对沙尘暴成因的研究更加深入,沙尘模式也逐步得到强化,这对沙尘暴的研究会更加具体化,如沙尘源是本土还是外源;大风与沙尘暴在空间上是否一致;在全球变暖的背景下,西北地区气候如何变化,涉及地形地貌条件,气候因子对沙尘

暴如何影响等等。总体考虑的因素多,综合性也更强,为揭示沙尘暴形成成因提供有利条件。

参考文献:

- [1] 钱正安,吴统文,宋敏红,等. 干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题[J]. 地球科学进展,2001,16(1):28-35.
- [2] 史培军,廖赤眉. 大西北的地理环境特点与四大环境问题[J]. 干旱区地理,1988,11(2):7-10.
- [3] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土,2002,21(3):219-226.
- [4] 丁一汇,王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论[M]. 北京:气象出版社,2001.47-51.
- [5] Ying Xu, Xuejie Gao, Filippo Giorgi. Upgrades to the REA method for producing probabilistic climate change projections[J]. Climate Research(in press).
- [6] McTainsh G H, Lynch A W, Tews E K. Climatic controls upon dust storm occurrence in eastern Australia[J]. Journal of Arid Environment,1998,39:457-466.
- [7] McTainsh G H, Burgess R C, Pitblado J R. Aridity drought and dust storms in Australia (1960-1984) [J]. Journal of Arid Environments,1989,16:11-22.
- [8] McTainsh G H, Lynch A W, Burgess R C. Wind erosion in eastern Australia[J]. Journal of Soil Research,1990,28:323-339.
- [9] 魏文寿,高卫东,史光玉,等. 新疆地区气候与环境变化对沙尘暴的影响研究[J]. 干旱区地理,2004,27(2):137-142.
- [10] 全林生,时少英,朱亚芬,等. 中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因[J]. 地理学报,2001,56(4):477-485.
- [11] 李耀辉,张存杰,高学杰. 西北地区大风日数的时空分布特征[J]. 中国沙漠,2004,24(6):715-723.
- [12] 赵景波,杜娟,黄春长. 沙尘暴发生的条件和影响因素[J]. 干旱区研究,2002,19(1):58-62.
- [13] 贺大良,陈广庭. 北京地区风沙活动的现状[J]. 地理研究,1991,10(4):59-67.
- [14] 张冬斌,尚可政,王武功,等. 沙尘天气的量化指数及其应用[J]. 干旱气象,2003,21(3):58-62.
- [15] 宋连春,李春虎,张强,等. 干旱地区气象研究[M]. 北京:气象出版社,2003.69-75.
- [16] 刘景涛,郑明倩. 华北北部特强沙尘暴的气候特征[J]. 气象,1988,24(2):39-44.
- [17] 张莉,任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候特征成因分析[J]. 气象学报,2003,61(6):744-750.
- [18] 马小波,施雅风,沈永平,等. 西北地区近代及历史时期气候变化趋势分析[J]. 冰川冻土,2003,25(6):672-675.
- [19] 张强,张存杰,白虎志,等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J]. 干旱气象,2010,28(1):1-7.
- [20] WeiHong Qian, LingShen Quan, ShaoYin Shi. Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control[J]. Journal of Climate, 2001,15:1216-1229.
- [21] Xiaodong Liu, Zhi YongYin, Xiaoye Zhang, et al. Analyses of the spring dust storm frequency of northern China in relation to antecedent and concurrent wind, precipitation, vegetation, and soil moisture conditions[J]. Journal of geophysical research, 2004,

- 109:1-16.
- [22] 李耀辉,张书余.我国沙尘暴特征及其与干旱关系的研究进展[J].地球科学进展,2007,22(11):1169-1176.
- [23] 李智勇.西北地区气候因素对沙尘暴影响的模型研究[J].中国沙漠,2009,29(3):415-421.
- [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] 王革丽,吕达仁,尤莉.浑善达克沙地沙尘暴气候特征分析[J].气候与环境研究,2002,7(4):434-439.
- [26] 张立功,薛万孝,许霞.西北沙尘暴的成因探讨和防止对策[J].资源环境与发展,2007(1):14-17.
- [27] 周自江,章国材,艾婉秀,等.中国北方春季起沙活动时间序列及其与气候要素的关系[J].中国沙漠,2006,26(6):935-941.
- [28] 陈玉福,唐海萍.近50年首都圈沙尘暴的变化趋势及其与气温、降水和风的关系[J].环境科学,2005,26(1):32-37.
- [29] 王式功,董光荣,陈惠忠,等.沙尘暴研究的进展[J].中国沙漠,2000,20(4):349-356.
- [30] Zhou Xiuji, Xu Xiangde, Yan Peng, et al. Dynamic characteristics of spring sandstorms in 2000[J]. Science in China(Series D), 2002, 45(10):921-930.
- [31] 龚道溢,王绍武.西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究[J].地理学报,1999,54(2):125-130.
- [32] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2001,55(5):513-522.
- [33] 王涛,陈广庭,钱正安,等.中国北方沙尘暴现状及对策[J].中国沙漠,2001,21(4):322-327.
- [34] 顾卫,蔡雪鹏,谢峰,等.植被覆盖与沙尘暴日数分布关系的探讨-以内蒙古中西部地区为例[J].地球科学进展,2002,17(2):273-277.
- [35] 柏晶瑜,施小英,于淑秋.西北地区东部春季土壤体积含水百分率变化的初步研究[J].气象科技,2003,31(4):226-230.
- [36] 李宁,顾卫,谢锋,等.土壤水分对沙尘暴的阈值反应-以内蒙古中西部地区为例[J].自然灾害学报,2004,13(1):44-49.
- [37] 杜子璇,李宁,顾卫,等.二连浩特地区土壤湿度变化特征及其与沙尘暴关系的初步研究[J].干旱区地理,2005,28(4):501-505.
- [38] 张克存,屈建军,马中华.近50a来民勤沙尘暴的环境特征[J].中国沙漠,2004,24(3):257-260.
- [39] 何金梅,张杰,王勇.甘肃民勤春季沙尘天气的气候特征[J].干旱气象,2008,26(3):39-43.
- [40] 林年丰,汤洁.中国干旱半干旱区的环境演变与荒漠化的成因[J].地理科学,2001,21(1):24-29.
- [41] 姚宗国,赵光平,陈晓光,等.宁夏北部自然环境对沙尘暴天气的影响分析[J].中国沙漠,2006,26(3):375-379.
- [42] 赵光平,郑广芬,王卫东.宁夏特强沙尘暴气候背景及其成灾规律研究[J].中国沙漠,2003,23(4):420-427.
- [43] Andrew S. Goudie. Dust storm: Recent developments[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90:89-94.
- [44] 王玉洁,黄建平,王天河.一次沙尘暴过程中沙尘气溶胶对云物理量和辐射强迫的影响[J].干旱气象,2006,24(3):14-18.
- [45] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等.大气物理学[M].北京:北京大学出版社,2003.28-29.
- [46] 李栋梁,王涛,钟海玲.中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测[J].中国沙漠,2004.24(3):376-379.
- [47] 张瑞军,何清,孔丹,等.近几年国内沙尘暴研究的初步评述[J].干旱气象,2007,25(3):88-94.
- [48] 王遂缠,王鹏祥,王志宇.西北地区沙尘暴天气监测预警服务业务系统[J].干旱气象,2005,23(4):83-87.
- [49] 李宁,杜子璇,许英军,等.土壤湿度与风速对沙尘暴发生的贡献程度分析[J].自然灾害学报,2007,16(4):1-5.

Influence of Climate and Environment Change on Dust Storm in Northwest China

SHEN Jie^{1,2}, LI Yaohui², ZHU Xiaowei^{2,3}

(1. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Arid Meteorology, Key (Open) Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of (CMA) Gansu Province, Lanzhou 730020, China; 3. College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: According to many scholars' studies on the Northwest China, this article summed up the ecological environment, climate change features and trends in the Northwest China. Due to some coupling relationship existing between climate, environmental change and sandstorm frequency, the paper briefly described some climatic factors influencing dust storm frequency, and combined with the relevant arguments to explore the climate and environment changes how to impact on occurrence and development of sandstorm in Northwest China. Many researches show that the development of dust storms is directly affected by the wind, precipitation and status of underlying surface, etc. The frequency and intensity of dust storms are closely related to the natural conditions and climate of sandstorm sources, and gale is a bigger influence factor under certain underlying surface condition. The increase of precipitation has a certain inhibitory effect on sandstorm, the temperature has the indirect effect through atmospheric circulation on duststorm, and soil moisture's influence on sandstorm by changing the vegetation cover, surface condition.

Key words: Northwest China; climate change; ecological environment; dust storm