

文章编号:1000-694X(2006)01-0137-05

宁夏沙尘暴天气研究进展

李艳春¹, 赵光平¹, 陈楠², 郑广芬², 纳丽², 杨建玲¹

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象台, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 概括地分析了宁夏沙尘暴天气的地理分布与时空演变特征、形成机理与成灾规律, 以及沙尘暴与生态环境等方面的研究成果。总结性地分析了宁夏中北部沙尘暴多发区生态退化、土地荒漠化与强沙尘暴间的相互关系等, 取得了阶段性进展; 同时也介绍了利用多源资料及相关科研成果, 建立适合宁夏中北部地区气候特征的沙尘暴发生频率定量化模型等, 以期对以后沙尘暴的更深入研究有所借鉴和帮助。

关键词: 宁夏; 沙尘暴天气; 研究进展

中图分类号: P445.4 **文献标识码:** A

宁夏地处黄土高原西北部边缘, 境内地势南高北低, 地表侵蚀严重。其上游甘肃河西、内蒙古一带沙漠纵横。西部有腾格里沙漠, 西北部有巴丹吉林和乌兰布和沙漠, 加上特殊的地理、地貌条件, 每逢春季几乎都会有较强沙尘暴天气影响本区^[1] (图1)。风沙是春季严重的灾害性天气之一, 由于沙尘暴天气来势迅猛、影响范围大, 尤其对农林业、畜牧业、电力、通讯有着极大危害。如1993年5月5日横扫我国西北地区110万km²、72个市县、1200万人口的一次强沙尘暴天气, 仅宁夏就有100多人员伤亡, 2万多头牲畜死亡、丢失, 3.73万hm²农作物

受灾, 8万多株树木被折断或连根拔起, 1300多根电线杆被刮倒或刮断, 2.7亿元财产顷刻间化为乌有, 受灾人口达70多万 (据政府有关部门统计结果)^[2]。从气象资料分析中得出, 类似1993年“5.5”强沙尘暴天气过程, 20世纪80年代宁夏出现过3次, 而随着西北地区生态环境的进一步恶化和干旱的加重, 进入90年代后期, 沙尘暴天气的发生频率也有增加的趋势。截至2004年4月6日, 出现沙尘天气就有9次之多。根据我国的发展战略目标, 开发西部将是重要的组成部分, 随着宁夏经济实力的增强, 同样强度的一次强沙尘暴天气带来的经济损失绝对值将会大大增加。同时, 它的频繁发生也极大地影响了我国西部多民族地区的社会安定与经济发展^[3]。

近年来, 宁夏在沙尘暴天气研究过程中取得了一定的进展。先后利用宁夏及周边地区的沙尘暴资料、北极海冰、极涡强度和面积指数、西风环流指数、海温等资料开展了强沙尘暴天气气候背景、主要影响系统发生演变、移动路径及与之对应的风暴时空分布特征以及不同下垫面、天气条件下的强沙尘暴成灾规律和机理的研究^[4,5]; 开展了沙尘暴发生过程中主要气象要素变化特征及其成因的分析研究; 对中部沙尘暴多发区和关键区盐池、同心、中宁、中卫、银川、陶乐、惠农等地生态退化、土地荒漠化与强沙尘暴间的相互关系及其时空特征进行了研究, 取得了阶段性进展^[6~8]。在前期研究的基础上, 利用多源资料及相关科研成果, 建立了适合中北部地区气候特征的沙尘暴发生频率定量化模型; 开展了沙尘暴短期气候趋势预测方法研究及预报业务系统建立工作。

图1 宁夏周边沙漠分布

Fig. 1 Desert distribution around Ningxia

(图中数据为1961—2000年各代表站沙尘暴天气总次数)

收稿日期: 2004-07-26; 改回日期: 2004-10-21

基金项目: 国家“十五”重大科技攻关项目(2002BA517A); 科技部项目(2004DIBJ121)资助

作者简介: 李艳春(1965—), 女(汉族), 高级工程师, 主要从事气候分析及研究工作。E-mail: nxlyc@163.com

1 沙尘暴天气的时空分布及演变趋势

1.1 空间分布

宁夏沙尘暴分布范围广,影响面积大。各站由于地形地貌的差异,沙尘暴发生次数具有不同的分布特点(图 2)。中北部地区发生机率较大,南部六盘山区发生机率相对较小。两个沙尘暴多发区,分别位于中部的盐池、同心、海原一带和北部引黄灌区。其中,位于干旱半干旱荒漠化草原地带的盐池县,其地表以细微颗粒沙质土为主,是沙尘暴年发生次数最多的区域(18.5 d);其次是处于沙漠化狭管内的同心县,年均出现沙尘暴 11.5 d;第三是位于贺兰山及桌子山风口西南方的陶乐县,其东北方向是

沙漠地带,年均出现沙尘暴次数为 11.2 d;而年均大风天气发生次数最多、风力强劲的惠农站(年均 52.6 d),其上游以砾质戈壁为主,沙尘暴天气却相对较少,年均 6.8 d。通过其他相关分析,沙尘暴出现较少的是固原南部山区,贺兰山和六盘山出现次数最少。春季 3~5 月中,盐池县出现日数最多,平均每年 10.7 d,其次是同心县,平均每年 6 d,再次是陶乐,平均每年 5.7 d;六盘山区的泾源和隆德站出现日数最少,平均每年仅为 0.7 d 和 0.4 d。

1.2 季节分布

宁夏一年四季均会出现沙尘暴。1960—2000 年出现全区性或局地性沙尘暴天气共计 4 608 站次,其中春季(3~5 月)发生次数最多,占总次数的 56%,冬季(12 月至翌年 2 月)次之,达 25%,夏季(9~11 月)较少,为 14%,秋季最少,仅占 5%。全年沙尘暴天气以春季 4 月最多,占总次数的 24%,秋季的 9 月、10 月最少,分别为 0.8% 和 1%。

1.3 年际和年代际变化

将宁夏 18 个站 1960—2000 年的沙尘暴发生次数进行标准化处理后分别按春季 3~5 月和全年求和,从图 3 可以看到,近 41 a 春季和全年沙尘暴发生次数总体都呈下降趋势。沙尘暴天气主要发生在 20 世纪 60 年代至 80 年代中期,1984 年之前大部分年份沙尘暴发生次数大于 41 a 的平均值,而 1984 年以后,全部小于平均值。春季和全年沙尘暴的年际变化非常一致,相关系数高达 0.90。春季沙尘暴发生次数 41 a 的平均值为 73 次,1984 之前平均为 95 次,1984 年之后仅为 38 次,前者是后者的 2.5 倍。5 a 滑动平均线更明确的表示了这种年代际变化特点。

图 2 宁夏春季沙尘暴日数分布等值线

Fig. 2 Isogram of spring sandstorm days in Ningxia

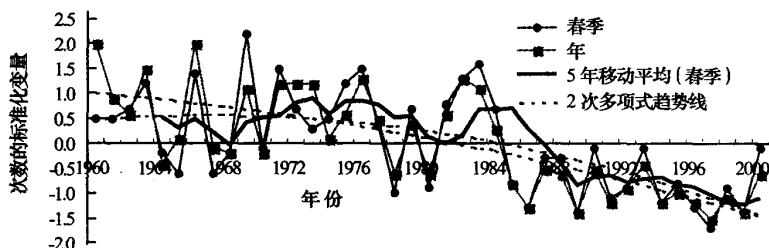


图 3 1960—2000 年宁夏春季、年沙尘暴发生次数(经标准化处理)的年际变化及其趋势

Fig. 3 Yearly change and the trend of standard annual frequency of sandstorm in spring and the whole year

1.4 周期及突变

采用最大熵谱对宁夏春季沙尘暴出现日数的周期特征进行分析^[9],得出春季沙尘暴有 3.8 a 的周

期变化。同时,通过对沙尘暴年际变化序列的突变分析可知,春季和全年沙尘暴发生次数均在 1984 年左右发生了明显的突变,1984 年之前是多发时期,1984 年之后处于少发时期。

2 沙尘暴天气环流类型、主要影响系统和移动路径

通过对近 30 a 沙尘暴天气过程个例分析表明。

(1) 产生宁夏沙尘暴的天气形势背景分 3 种类型：一为槽脊东移型，是产生沙尘暴天气的主要环流型，即强冷空气东移型，占总个例的 54.5%，且区域性强沙尘暴天气多在此型下发生；二为西北气流型；三为涡型，后两种类型分别占总个例的 36.4% 和 9.1%，一般只产生局地性较弱沙尘暴天气^[10]。

(2) 造成沙尘暴的主要影响系统有冷锋过境大风、动量下传大风和热低压梯度大风 3 种类型。但 3~5 月出现强沙尘暴天气时往往同时存在这 3 种因素共同作用。近 30 a，宁夏区域性较强沙尘暴过程的主要影响系统基本均为东移冷锋。这说明造成较强沙尘暴天气的主导天气系统是冷锋。而穿越锋面的次级环流是促使锋前气流强烈上升、锋后动量下传加大的主要中尺度系统，它是产生近地层梯度偏差风、动量下传大风的主导因素之一，同时也是区别一般强度沙尘暴和特强沙尘暴天气的主要天气系统。

(3) 造成沙尘暴天气的冷空气路径有 4 条：第一条为西北偏北，冷空气偏北移到 29 区后，转向东南下，经蒙古人民共和国西部，甘肃河西东部然后影响宁夏。第二条为西方路径，冷空气主力经巴尔喀什湖，我国新疆、甘肃，自西向东影响宁夏。第三条为西北路径，冷空气到西伯利亚后，经我国新疆、内蒙古西部、甘肃河西影响宁夏。第四条为北方路径，冷空气自贝加尔湖向西南，然后经蒙古从我国河套一带南下侵入宁夏。其中，影响宁夏沙尘暴天气冷空气路径最多的是西北路径，占总个例的 63.6%；其次是西北偏北路径，占 22.7%；北方路径占 9.1%；最少的是西方路径仅占 4.6%；分析得出影响宁夏的特大强沙尘暴和强沙尘暴天气的强冷空气主要取道于乌鲁木齐-哈密-野马街-酒泉-贺兰山

西侧这一沙漠通道上，而当强冷空气急行东南下时，地面冷高压不断发展、加强，锋区附近压、温梯度持续加大和整体东移是产生特大强沙尘暴和强沙尘暴天气的必要条件。

3 春季沙尘暴与北极海冰之间的遥相关分析

根据宁夏沙尘暴发生次数资料、北极海冰密度资料和 NCAR/NCEP 再分析 500 hPa、850 hPa 高度场、风场资料，得出了春季沙尘暴发生次数的变化规律及其与北极海冰面积之间的年代际和年际相关关系，发现春季沙尘暴发生次数与欧亚大陆北部的喀拉海、巴伦支海和格陵兰海冰面积之间存在较显著的年代际、年际相关关系。通过合成和相关分析，发现春季沙尘暴偏多、偏少状况有明显不同的环流背景场，秋季格陵兰海冰异常变化通过影响其后一段时间的大气环流背景场，从而对宁夏沙尘暴产生影响。初步得出当格陵兰海秋季海冰面积增大(减小)，次年春季蒙古至西伯利亚一带 500 hPa、850 hPa 高压场降低(升高)，风场有明显的气旋性(反气旋性)特点，在宁夏至新疆一带有明显的西风偏强(偏弱)，说明冷空气活动次数偏多(少)，对应宁夏春季沙尘暴发生次数偏多(少)。通过海冰变化影响沙尘暴，将全球气候变暖 and 我国北方沙尘暴总减少趋势联系起来，初次提出在环境总体恶化的情况下，我国沙尘暴发生次数总体趋于减少，很可能是全球气候变暖所致。

4 气候因素对沙尘暴频率的影响

通过对局地气候因素与沙尘暴关系的研究表明：宁夏中北部地区风向对沙尘暴天气的发生具有重要影响，从西到北之间的五个风向下发生沙尘暴天气的次数占沙尘暴天气总次数的 70% 以上(图 4)；在同一沙尘暴天气过程中最大风速对沙

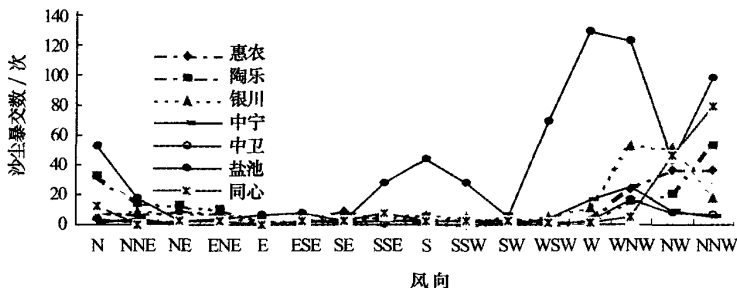


图 4 各代表站不同风向下沙尘暴天气发生次数分布

Fig. 4 Sandstorm times of the typical stations under different wind directions

沙尘暴天气过程中,不同代表站沙尘暴天气的持续时间与地形、地貌及地理环境的关系最密切,其次是与最大风速的关系;但同一代表站在不同的沙气的持续时间影响最大。

从沙尘暴发生期间风速与强度间的关系可看出:特强沙尘暴一般是在大尺度天气过程中出现的比例较大,属西北气流型,影响区域广泛,起沙源地多,空中沙尘粒子浓度较高;而强沙尘暴虽然系统性过程比例也较多,但中尺度强锋线型也占一定比例,这种天气虽然风速最大,但起沙源地比前者少,空中沙尘粒子浓度较前者低,造成沙尘暴强度不及前者。其次,从沙尘暴持续时间可以看出,特强沙尘暴平均持续 14 h,强沙尘暴可持续 12 h,中沙尘暴平均持续 9.5 h,而弱沙尘暴仅持续 3.5 h。

土壤湿润度对沙尘暴频率的影响。一年中土壤湿润度与沙尘暴频率的月际变化基本上是反位相的,夏秋季节(8月、9月)土壤湿润度最大,对应沙尘暴的发生频率最低;冬春季节(12月至翌年5月)是一年土壤湿润度最低的时期,对应春季沙尘暴频率最高,冬季尽管土壤湿润度低,但由于冬季温度较低,从前一年12月至翌年2月各站月平均气温均在一3~—9℃之间。由于气温偏低往往造成地表土壤冻结,从而使风蚀和沙尘暴发生的可能性大为降低。因此是否可以说,温度的变化也是造成沙尘暴频率月际变化的一个重要原因。

地面温差与沙尘暴频率的月际变化规律基本上是一致的,在地面温差为正值的月份,沙尘暴频率相对较高;地面温差为负值的月份,沙尘暴频率相对较低。从2月份开始地面温差为正值,此时地面开冻融化,随着地表温度上升速度的加快,地面极易形成强烈的热力不稳定条件,在降水极少,的情况下,使得裸露的沙土结构逐渐变得松散,当地面风速达到一定程度,就很容易引起沙尘暴,这种状况一直延续到4月份,温差达到最大对应的沙尘暴频率也达到最大。5月以后随着地表温差的下降,地面的热力不稳定也有所缓和,对应的沙尘暴频率也明显下降。秋季10月份沙尘暴频率最小,地面温差11月份最低,两者之间有1个月的位相落后关系。因此我们认为,月平均地面温差是决定地表热力状况及沙尘暴频率的又一重要因素。

综合考虑气候因素对沙尘暴频率月际变化的影响。宁夏中北部地区秋季以后降水量急剧减少,土壤湿润度12月至翌年1月达到最小,春季3~5月份降水量仍相对较少,干旱频繁,气温回升快,地面

温差大,这一时期植物一般尚未开始萌发生长,地表覆盖率低下,无法为土壤提供有效保护,同时也正是春季开始耕种的季节,土地耕种清除了地表仅存的植被,并破坏土壤覆被结构,将深层细微土壤颗粒暴露于地表;另外,从大的环流形势来看,春季正处于环流调整时期,平均风速及大风日数均为一年中最多^[11]。所有这一切因素,决定了春季往往是宁夏中北部地区沙尘暴发生最为频繁的季节,尤其在4~5月份,同时也说明最小土壤湿润度对最大沙尘暴频率的影响可以持续3~4个月,而最大平均风速和地面温差对沙尘暴频率的影响是同步的;进入夏季以后,随着降水的增多,土壤湿润程度不断提高,同时风力减弱,植被覆盖率增大,沙尘暴的发生频率也随之降低,往往在9~10月份降至最低,此时平均风速及地面温差比较小,对沙尘暴频率的影响也较小。进入冬季后,降水渐少,植被覆盖率也逐渐降低,沙尘暴频率略有增加,由于冰冻温度对地表的冻结作用,在一定程度上减少了沙尘暴的发生。

5 中部干旱带生态变迁与沙尘暴演变趋势

利用 TM 遥感资料,结合 8 大类土地详查资料,研究了位于宁夏中部干旱带具有代表性的沙尘暴高发区盐池县 20 世纪 90 年代生态年际变迁量化特征。结果表明,盐池县 90 年代初期的生态状况明显好于末期。气候干旱是导致生态变化的主要原因,但人为活动如大量开垦耕地、过牧及滥挖甘草等也是重要因子。结合近 40 a 大风、沙尘暴时空分布特点得出,虽然 1970—1990 年 3 个年代际冷空气发生频数下降、平均强度降低、沙尘暴出现频数也在震荡中处于减少态势,但在能见度基本无变化的前提下,同期的沙尘暴平均持续时间却显著延长,增加大约 2 小时 24 分,也即在同等或略差的气象条件下(动力条件降低),随着生态环境的退化或恶化,近 10 a 来沙尘暴天气的强度在显著增强,其灾害影响也相应加大;同样,在能见度变化不大的前提下,受生态环境的退化或恶化影响,近 30 a 来可致沙尘暴的起暴阈值也已明显下降,可致暴 10 min 平均风速从 70 年代的约 $5.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 下降到 90 年代的约 $3.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,也即 90 年代的起暴阈值仅相当于 60 年代起暴阈值的 65%,近 10 a 来沙尘暴在宁夏的中部干旱地区发生机率在显著地提高,这与盐池县近 10 a 来牧草地面积不断萎缩,且草场质量显著下降,耕地面积不断扩大,土地逐年沙化的结果是一致的。

6 沙尘暴灾害区划

根据宁夏各地沙尘暴发生次数,并结合沙尘暴成灾规律及不同区域的灾害主要表现形式,对沙尘暴灾害进行区划,共分为四个区(图5):一区包括银川以北灌区,为严重风灾区。该区为宁夏出现沙尘暴天气的两大高值中心之一,沙尘暴发生频率虽不是最高,但风速较大,同时该区为宁夏主要工业区,因此沙尘暴天气伴随的强风对工农业生产造成极大经济损失;二区位于宁夏中部地区,为流动性沙灾、风蚀灾害及低能见度下的复合性灾害的重灾区。该区主要以农牧业为主,气候干旱,土壤沙化严重,为宁夏沙尘

暴发生频率最高的地区,因此沙尘暴对人民生命财产造成很大危害;三区包括银川以南至中宁北部灌区,为风冻灾区,该区为宁夏主要经济果树林种植区,沙尘暴伴随的强风及降温往往对农作物及果树,造成很大经济损失。四区为沙尘暴轻灾区,包括固原市大部。此区为宁夏最湿润地带,大风天气少,植被覆盖度大,土壤多为草甸土及黑垆土,地表土质粘性较大,沙尘暴发生次数少,强度弱,造成的灾害较小。

参考文献(References):

- [1] 李艳春,赵光平,胡文东.宁夏中北部地区沙尘暴天气发生过程中主要气象要素变化特征及成因分析[J].高原气象,2005,24(2):212-217.
- [2] 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.
- [3] 李耀辉.近年来我国沙尘暴研究的新进展[J].中国沙漠,2004,24(5):616-622.
- [4] 彭维耿,陈楠.宁夏多、少沙尘暴年4月平均环流特征的对比分析[J].高原气象,2002,21(6):599-603.
- [5] 赵光平,陈楠,杨建玲,等.环流及冷空气类型与宁夏沙尘暴落区的对应关系[J].中国沙漠,2003,23(6):642-645.
- [6] 杨建玲,何金海,赵光平.宁夏春季沙尘暴与北极海冰之间的遥相关关系[J].南京气象学院学报,2003,26(3):296-307.
- [7] 赵光平,陈楠,杨建玲,等.宁夏中部干旱带生态变迁与沙尘暴演变趋势[J].应用气象学报,2004,15(4):477-484.
- [8] 马力文,赵光平,陈楠,等.宁夏盐池地区沙尘暴发生特征的统计分析[J].中国沙漠,2004,24(2):218-222.
- [9] 纳丽,郑广芬,王卫东.近40年宁夏春季沙尘暴分析[J].宁夏气象,2003,(4):27-31.
- [10] 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):377-379.
- [11] 赵红岩,陈旭辉,王锡稳,等.西北地区春季沙尘暴气候分析及预测方法研究[J].中国沙漠,2004,24(5):638-641.

图5 宁夏沙尘暴灾害区划

Fig.5 Zoning of sandstorm disaster in Ningxia

Advance on Sandstorm Research in Ningxia

LI Yan-chun¹, ZHAO Guang-ping¹, CHEN Nan², ZHENG Guang-fen²,
NA Li², YANG Jian-ling¹

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan 750002, China; 2. Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Advance on sandstorm study in Ningxia in recent years was reviewed in this paper. The features of geographic distribution, temporal and spatial evolvement, mechanism, disaster characteristics, and the relationships between sandstorm and ecological environment, relation between ecology degeneration, land desertification and sandstorm were analyzed briefly, phase accomplishments were achieved. The quantitative model for frequency forecast of sandstorm in mid and northern part of Ningxia was established by using multi-resource data and relative research achievements, which aims to provide reference and guidance to further study on sandstorm.

Key words: Ningxia, sandstorm, research advance