

文章编号: 0375-5444 (2000) 05-0513-09

# 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策

叶笃正<sup>1</sup>, 丑纪范<sup>2</sup>, 刘纪远<sup>3</sup>, 张增祥<sup>4</sup>, 王一谋<sup>5</sup>, 周自江<sup>6</sup>, 鞠洪波<sup>7</sup>, 黄 笠<sup>8</sup>

- (1. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 2. 北京气象学院, 北京 100081;  
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101;  
5. 中国科学院寒区旱区环境工程研究所, 兰州 730000; 6. 国家气象中心气候资料中心, 北京 100081;  
7. 中国林业科学院资源信息所, 北京 100091; 8. 国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘要:** 2000 年春季, 我国华北沙尘天气次数陡增, 影响广泛, 损失明显增加。利用长期气象观测数据, 结合遥感和 GIS 技术, 对今年华北沙尘天气的成因进行分析, 提出造成沙尘天气的原因在于: 北方地区大风日数的增减是气候周期性变化的反映, 今年强沙尘天气陡增是因为处于反厄尔尼诺事件的高峰期所致; 我国北方地表覆被状况局部改善、整体恶化也是今年强沙尘天气产生的另一重要原因。影响华北地区的沙尘天气主要发源于内蒙古中西部和河北西北部, 发源地及沿途地表粉尘是沙尘的主体, 城市扩展区域的地表裸土与建筑沙石则提供了就地扬沙的物质来源。对今后一个时期内沙尘天气的发展趋势进行分析, 认为: 在全球增暖和我国北方地表植被状况没有根本好转的情况下, 今后如再逢反厄尔尼诺事件等引起的强冬季风年, 甚至可能出现更严重的沙尘天气。为此提出建议: 做好科学的还林还草工作, 大范围地恢复自然植被, 为京津地区建立减轻和防止沙尘灾害的有效生态屏障。同时治理城市周边地区, 抑制就地起沙; 西部开发应重视生态环境建设, 把生态效益、经济效益、社会效益结合起来考虑; 建立和完善沙尘天气的动态监测和预警系统, 做好防灾减灾的科学研究工作。

**关键词:** 沙尘天气; 华北; 遥感和 GIS

**中图分类号:** P466      **文献标识码:** A

2000 年春天, 我国北方, 特别是华北地区, 出现沙尘天气时间之早、频率之高、范围之广、强度之大, 为历史同期所罕见, 给华北地区的交通运输、环境治理、人们的日常生活和工作带来了不利影响, 个别地方甚至造成了人员伤亡。由于强沙尘天气过程多次直接影响北京和天津等大城市, 对首都及周边地区造成直接危害, 因此更引起各界广泛关注。

在气象学中, 将沙尘天气分为浮尘、扬沙和沙尘暴 3 个等级。浮尘指在无风或风力较小的情况下, 尘土、细沙均匀地浮游在空中, 使水平能见度小于 10 km; 浮游的尘土和细沙多为远地沙尘经上层气流传播而来, 或为沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的沙尘。扬沙指由于风力较大, 将地面沙尘吹起, 使空气相当混浊, 水平能见度在 1~10 km。沙尘暴指强风把地面大量沙尘卷入空中, 使空气特别混浊, 水平能见度低于 1 km。强烈的沙尘暴(瞬时风速大于 25 m/s, 风力 10 级以上)可使地面水平能见度低于 50 m, 破坏力极大, 俗称“黑风”。

沙尘暴和扬沙天气的发生一般需要有两个条件: 足够强劲持久的风力; 地表丰富的松

收稿日期: 2000-07-07

作者简介: 叶笃正, 男, 中国科学院院士, 从事气候学与大气物理研究。

散干燥的沙尘。在强大气流驱动下,地面缺少植被覆盖时,气流携带大量地表粉尘,悬浮在空中形成沙尘,其高度达 1 000~ 2 500 m,严重时可达 2 500~ 3 200 m。

我国北方春季沙尘天气是特殊的地理环境和气象条件所致的自然现象。我国西北及华北大部分地区属中纬度干旱和半干旱地区,地面多为沙地、稀疏草地和旱作耕地,植被稀少,特别是春季地面回温暖解冻,地表裸露,多细沙尘土,狂风起时,沙尘弥漫,在本地及狂风经过地带形成沙尘天气。

## 1 观测事实

### 1.1 今春影响华北地区的沙尘天气主要发源于内蒙古中西部和河北西北部,发源地及沿途地表粉尘物质是沙尘的主体,城市扩展区域的地表裸土与建筑沙石则提供了就地扬沙的物质来源

2000 年(截至 4 月 25 日)我国华北地区已发生了 8 次沙尘天气。据卫星遥感探测,这 8 次沙尘天气影响到我国内蒙古、宁夏、甘肃、陕西、山西、河北、北京、天津、辽宁、吉林、山东、河南、湖北、江苏、安徽等省、市、自治区,总面积约 200 万  $\text{km}^2$  (图 1、2)。其中对北京地区造成重大影响的沙尘主要发源于内蒙古中西部和河北西北部,随着冷空气的移动向东南扩散,沿途起沙,不断增强。

上述沙尘途经地带,壤质和沙质土壤比例较高,共占 93.52%,细颗粒级物质较多,易于成为沙尘来源。该区域处于我国草原地带,土地利用以牧草地和旱作耕地为主。由于土

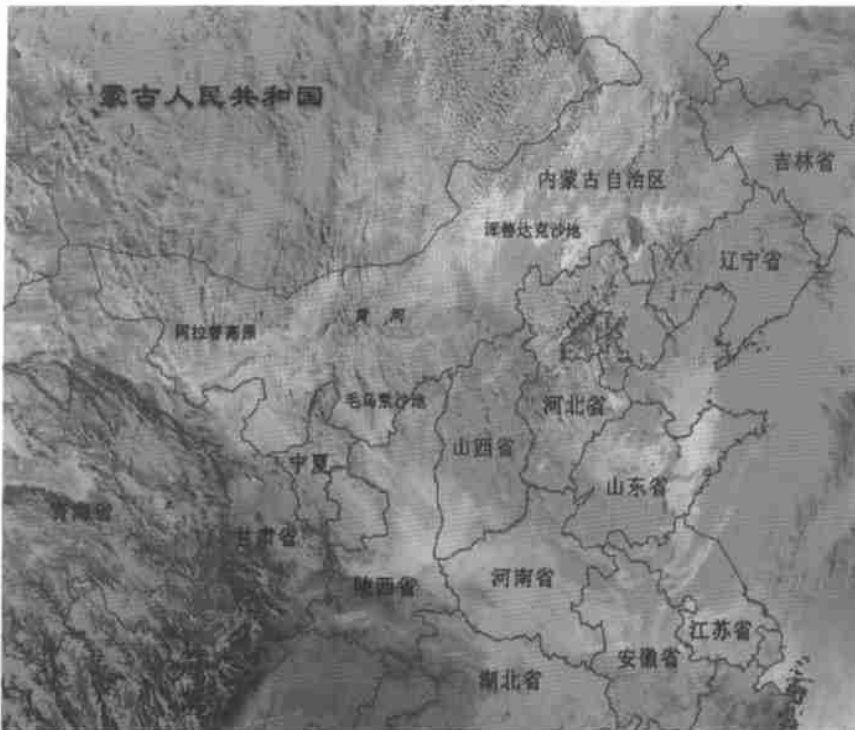


图 1 2000 年 3 月 27 日沙尘天气影响我国广大地区

Fig. 1 The NOAA AVHRR in age of Dust-storm on March 27th of 2000

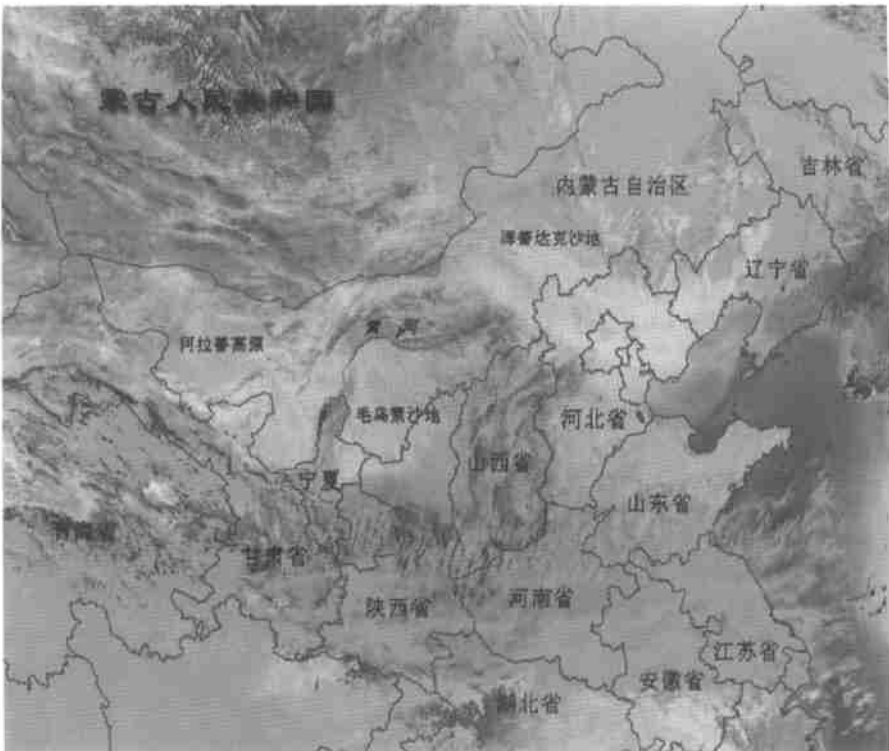


图2 2000年4月6日沙尘天气影响我国广大地区

Fig. 2 The NOAA AVHRR image of Dust-storm on April 6th of 2000

地退化, 这些牧草地植被稀疏, 沙化严重; 旱作耕地中, 由于土壤退化, 水源短缺, 表土裸露。该区域林地和灌木面积只占 13.14%; 草地面积占 31.50%, 其中退化草地面积比例大, 占 2/3 以上; 沙地、盐碱地、裸土等基本无植被覆盖的土地占 7.22%; 旱作耕地比例为 32.19% (图 3、4)。

观测表明, 产生沙尘的地表物质以粉尘为主, 其颗粒直径多在 0.063~0.002 mm 之间。今年影响华北地区的历次沙尘天气途经地带的地表物质组成中含有丰富的粉尘物质, 加之表土干燥疏松, 为沙尘天气提供了物质基础。这一事实与人们通常概念中沙尘物质主要来源于天然戈壁和沙漠完全不同。

在沙尘发生范围内, 大面积土地存在不同程度的沙化。其中沙化土地又可以划分为沙化发展区、潜在沙化区和非沙化区(含戈壁和天然沙漠)。其中沙化发展区是强度供尘区, 潜在沙化区和非沙化区是轻度供尘区, 供尘能力较弱。今年春季华北的历次沙尘天气过程的强度供尘区主要分布在内蒙古中西部和河北西北部近 25 万 km<sup>2</sup> 的沙化发展区, 与该区沙化草地、撂荒耕地及退化旱作耕地的分布相吻合(图 5)。

除悬浮于高空, 可被强风长距离搬运的细粒径粉尘之外, 低空短距离移动的较粗粒径沙尘则多为就地起沙。由于北京、天津等城市市区周边大面积城建扩展区内绿化较差, 疏松裸土分布较广, 加之大量建筑工地沙土遍地, 缺少防护设施, 致使在强风作用下较粗粒径沙尘就地扬起, 与长距离搬运的粉尘相互混合, 加大了沙尘的强度, 同时也加大了沙尘天气对城市的危害。

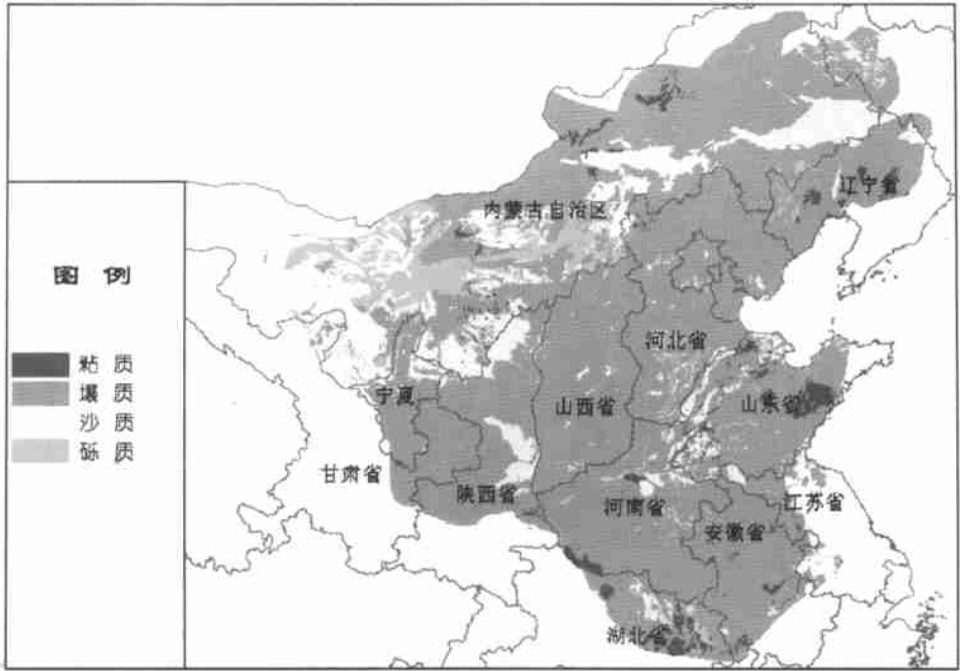


图 3 2000 年春季沙尘天气途经地区土壤质地

Fig. 3 The soil material covers Dust-storm area in the spring of 2000

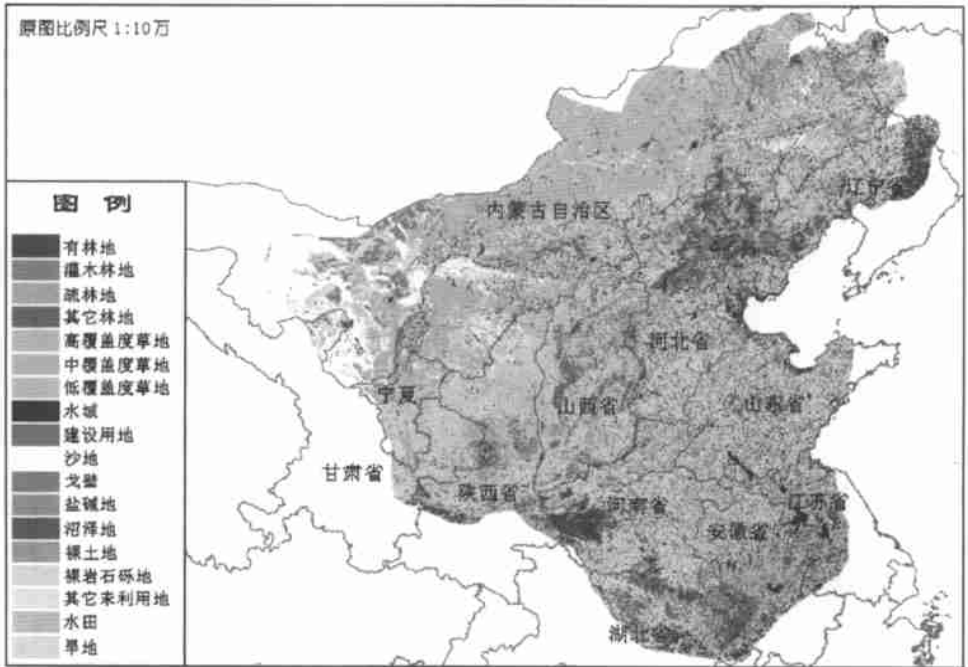


图 4 2000 年春季沙尘天气途经地区土地利用

Fig. 4 The land use of Dust-storm area in the spring of 2000

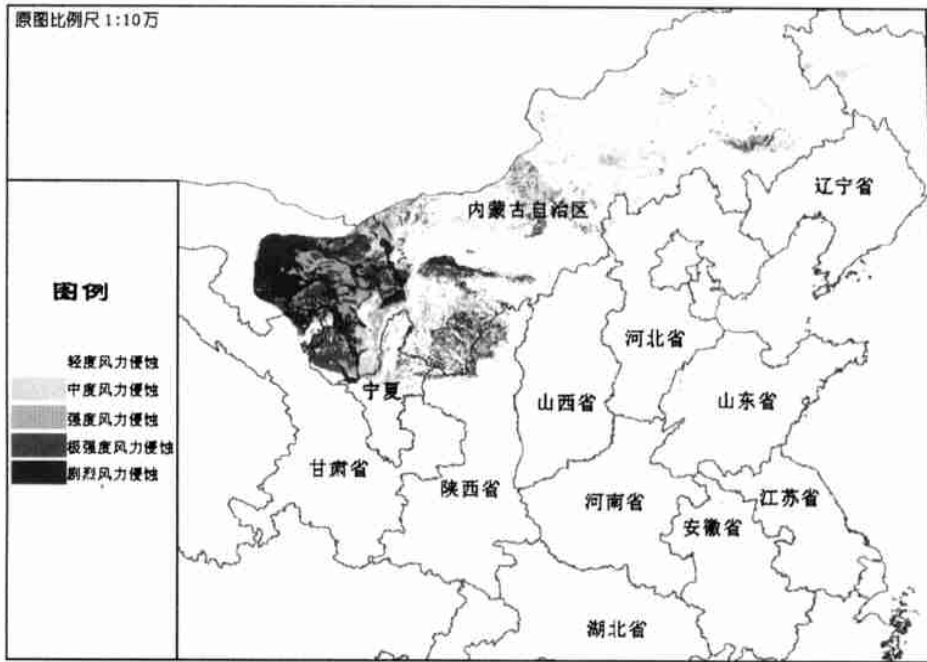


图 5 2000 年春季沙尘天气途经地区风蚀类型与强度

Fig. 5 The soil erosion by wind of Dust-storm area in the spring of 2000

## 1.2 近 40 年来, 我国华北地区沙尘天气发生的日数呈减少的趋势, 但今年的沙尘天气次数陡增, 其影响和损失明显增加

通过对华北气象台站网连续 40 多年观测数据的分析表明, 我国华北地区的沙尘日数在减少。例如, 北京 20 世纪 50 年代平均沙尘暴日数、扬沙日数和浮尘日数分别是 20 世纪 90 年代的 8 倍、14.5 倍和 3.2 倍。反映了 40 年来沙尘天气日数减少的总趋势。

2000 年入春以来, 华北地区的强沙尘次数为 8 次 (截至 4 月 25 日), 是 20 世纪 90 年代历年同期发生次数的 3 倍左右, 反映了今年华北地区天气活动的异常。

根据沙尘天气的分级, 这 8 次沙尘天气均未形成沙尘暴, 属扬沙天气, 但影响范围达到华北和华东地区共 200 万  $\text{km}^2$ , 对国民经济造成了重大的直接和间接损失。

## 2 原因分析

### 2.1 我国北方地区大风日数的增减是气候周期性变化的反映, 今年强沙尘天气陡增是因为处于反厄尔尼诺事件的高峰期所致

近 40 年来, 气象站的记录表明我国北方春季大风日数的增减与沙尘日数的增减是一致的。

大风日数的增减是气候周期性变化的反映。每年冬春季寒潮大风的出现与冬季风的强度有关。东亚季风有明显的 10~ 50 a 尺度的变化。亚洲冬季风与厄尔尼诺事件 (指赤道中东太平洋海表异常增温现象。当厄尔尼诺发生时, 整个赤道太平洋的大气状况都会改变。这种大范围的变化扰乱了正常的环流状况, 并通过大气环流的作用进一步影响到其他地区) 有

密切关系,在厄尔尼诺年东亚冬季风强度弱,而在反厄尔尼诺事件(指赤道中东太平洋海表异常降温现象。它同样会扰乱正常的环流状况,并进一步影响到其他地区)的发生年东亚冬季风势力强。在20世纪70年代,反厄尔尼诺事件占优势,我国北方由寒潮大风所引起的强沙尘天气出现很频繁;在20世纪80~90年代,厄尔尼诺事件占优势,由寒潮引起的强沙尘天气出现较少。2000年是处在20世纪最强的一次厄尔尼诺事件以后反厄尔尼诺事件的高峰期,这一大范围的海洋大气过程,其变化速度和强度超过以往,造成我国北方去冬今春强寒潮大风的频繁出现。加之2000年春天华北地区和西北地区东部气温显著偏高,为近40年以来所少见,同时又降水稀少,植被还未形成,且在每次大风到来之前均没有可以抑制扬沙的明显降水过程,致使解冻后大面积表层土壤干燥、疏松,因此引起多次强沙尘天气。

## 2.2 地表覆被状况局部改善而整体恶化是今年强沙尘天气产生的另一个重要原因

强沙尘天气的频发区和重灾区主要位于中纬度的干旱、半干旱区,即受荒漠化严重影响和危害的地区。这个地区对全球气候变化最为敏感。

在全球气候变化的影响下,我国北方地区干旱和暖冬现象日益加剧,加之不合理的人为活动的干扰,造成了大面积植被的破坏,加剧沙化、水土流失、土壤次生盐渍化和土壤物理性质的恶化。荒漠化正在加速蔓延和扩展是强沙尘暴灾害频繁发生的主要原因。

多年来我国对沙化土地既有治理,也有破坏,总体上破坏大于治理。遥感分析表明,我国北方地区地表覆被状况的变化,因地而异。有的地方由于控制土地利用强度,还林还草、积极治理或者因城市扩展将裸露土壤变为水泥地面和草坪等,地表状况有所改善。例如在内蒙古科尔沁左翼后旗和库伦旗所辖部分地区,1975年至1994年期间,由于注重人工林营造,林地面积增加109.4%;29%的退化草地得到恢复。与此同时,有的地方由于不合理的人为活动,滥垦、滥伐、滥樵、滥牧、滥用水资源,造成了大面积植被的破坏,加剧沙化、水土流失、土壤次生盐渍化和土壤物理性状的恶化,土地沙化过程在蔓延和扩展。通过大范围野外调查和利用遥感技术对沙化状况进行的研究表明,我国的沙化土地面积20世纪50~60年代平均每年扩展1560 km<sup>2</sup>,90年代每年扩展达2460 km<sup>2</sup>。在这种改善和破坏并存的情况下,我国地表覆被变化的基本状况是:建设与破坏相抵后,土地沙化面积仍在迅速增长,局部有改善,整体在恶化。这一状况为今年沙尘天气频发提供了物质来源。

影响我国北方地表覆被退化的不合理生产活动包括:

**滥垦:**对黑龙江、内蒙古、甘肃和新疆共53个县级单位的卫星遥感调查表明,1986和1996年10年来刨草毁林现象严重,共开垦面积为174万hm<sup>2</sup>,而保留耕地总面积只有88.4万hm<sup>2</sup>,占开垦总面积的50.8%。撂荒形成了大面积的沙化土地,扩大荒漠化,为沙尘暴形成提供丰富的沙尘物质。

**滥伐:**分布在沙漠、沙地周围的天然林是长期形成的自然平衡产物,与大面积栽植的各类人工林(包括灌木林)形成防护体系是维持荒漠化地区生态系统稳定的重要组成部分。西部地区由于滥伐林木,流沙四起,如河北坝上地区位于草原向森林的过渡地带,由于滥砍滥伐森林,使生态环境遭到严重破坏,根据陆地卫星影像分析:1987年至1996年9年间森林面积由36.35万hm<sup>2</sup>减少到22.24万hm<sup>2</sup>,减少了38.82%;流沙面积由6.8万hm<sup>2</sup>增加到12.91万hm<sup>2</sup>,增加了81%。

**滥牧:**过度放牧导致草场退化,内蒙古中部浑善达克沙地由于过度放牧,导致沙化,1989

年和 1996 年的 7 年间流沙面积增加了 93.3%; 草地面积由 1989 年的 60.25 万  $\text{hm}^2$  减少到 1996 年的 43.01 万  $\text{hm}^2$ , 减少了 28.6%。加之该地区畜群点和饮水点布局不合理, 使草场植被破坏严重, 风蚀加剧。

**滥用水资源:** 西北干旱、半干旱地区水资源总量主要来源于降水、地表径流和地下水。多年来各地对水资源的利用缺乏科学管理, 浪费现象十分严重, 上游灌溉缺乏严格制度, 灌溉用水量过大。严重的水资源短缺和分配不均造成西北地区生态用水困难, 使大面积天然林死亡, 植被干枯。在经济建设事业不断发展, 水资源开发强度日益增加的情况下, 致使河流下游断水, 地下水开采过渡, 水土不平衡和沙化加剧。

草地退化速率每年以 2.6% 的速度在扩大。10 年来全国退化草地从 8 667 万  $\text{hm}^2$  增到 1.3 亿  $\text{hm}^2$ , 增加 4 333 万  $\text{hm}^2$ , 以每年 433.3 万  $\text{hm}^2$  的速度加速退化。草地退化的结果是沙化和盐渍化。

单独地表覆被状况恶化还不能构成强沙尘天气。在 20 世纪 80~90 年代厄尔尼诺事件占优势, 我国北方寒潮出现频率较低的气候背景下, 由于地表覆被状况恶化引起沙尘天气加重的现象并不明显。但是, 一旦出现今春这样的频繁寒潮大风天气, 再加上地表覆被状况恶化, 两个原因叠加, 就造成了强沙尘天气的连续出现。

### 3 未来变化趋势

观测资料的分析表明, 近几十年来, 我国北方地区的气候有明显的干旱化趋势, 地表湿润指数和土壤湿度明显变小, 这为沙尘暴的发生提供了气候背景。多个全球气候模式以及区域模式的分析结果指出, 未来几十年内, 在全球增暖的影响下, 北半球中纬度内陆地区, 降水量变化不大, 但温度显著升高, 地表蒸发加大, 土壤变干。这是有利于沙尘暴发生的不良气候背景, 再加上土地资源利用不合理的局面短期内难以根本扭转, 草地资源退化和减少的状况难以根本改变, 以及水资源短缺的矛盾日趋严重, 应当引起我们的重视。

在全球增暖和我国北方地表植被状况没有根本好转的情况下, 今后如果再逢反厄尔尼诺事件等引起的强冬季风年, 像今年这样甚至更严重的沙尘天气仍是可能出现的。

### 4 对策建议

#### 4.1 做好科学的还林还草工作, 大范围地恢复自然植被。近期内应突出重点, 集中力量减轻和防止强沙尘天气对京津地区的危害

减缓和治理沙尘至关重要的措施是实施以保护和发展林草植被为核心的治沙工程, 保护好现有沙区植被, 严禁乱砍滥伐、乱采滥挖和乱垦滥牧; 做好生态规划, 指导科学还林还草, 建立起遏制沙漠推进的生态屏障; 对已沙化的地区开展综合治理, 扩大林草植被。在干旱和半干旱地区种草植树时, 一定要考虑水资源的制约, 选择好合适的品种和合理的密度。

今年的观测事实表明, 对京津地区构成重大威胁的沙尘灾害源于可以治理的退化草地和耕地, 而不是难以治理的天然沙漠和戈壁。在沙尘天气涉及的 200 万  $\text{km}^2$  区域当中, 强度供尘区(沙化发展区)以内蒙古中部和河北省北部约 25 万  $\text{km}^2$  的退化草地、撂荒耕地及

旱作耕地为主,如能迅速采取措施,首先对这一部分土地进行治理,在退耕还林还草的同时,大幅度降低草地载畜量,并适当采取人工措施,恢复天然草原植被,就可以有效地抑制影响京津地区的主要沙尘来源,形成首都圈的绿色生态屏障。

除恢复内蒙古中部和河北省北部的林草植被,抑制沙尘来源外,对北京、天津等城市的市区周边城建扩展区和城乡结合部加紧绿化,同时对建筑工地就地起沙采取严格的控制措施,可有效降低沙尘强度,减轻沙尘天气对城市的危害。

#### 4.2 实施西部开发战略应重视生态环境建设,要把生态效益、经济效益、社会效益结合起来考虑

西部开发战略的实施,将会加快西部地区的交通建设、城市建设、工业建设的步伐,使水资源紧缺问题更为突出,从而对生态环境形成更大的压力。

由于西北地区生态环境十分脆弱,因此在开发过程中,应把生态环境治理与恢复放在首位,加强生态环境管理体系的建设。另外,在制定西部开发战略时,应以我国西部地区水资源状况和生态环境条件为主要制约因素,加以科学布局,保证西部地区的可持续发展。

#### 4.3 建立和完善沙尘天气的动态监测、预警系统,做好防灾减灾的科学研究工作

对全球天气变化趋势的把握需较长时间的科学积累和能力建设,而大面积恢复林草植被也需较长时间的努力。因此目前的当务之急是建设和完善沙尘天气监测系统,以降低强沙尘天气造成的损失。为此,必须针对我国沙尘天气的特点,研究沙尘天气动态监测方法,利用卫星遥感、雷达和探空等手段,对沙尘天气的形成、发展和扩散进行跟踪观测,形成一个实时的沙尘天气监测、预警系统,并及时发布信息,以利于提前安排好生产、交通和群众生活,尽可能减少损失。

与此同时,加强对沙尘源区环境与沙尘运移规律的研究,分析人类活动对于沙尘灾害的影响,特别是沙尘来源区形成的规律。研究气候条件对沙化、沙尘天气相互作用的机理,分析历史上气候变迁与沙化及沙尘天气的对应关系,开展未来中国北方地区气候变化状况的研究。在此基础上评估人类活动和气候变化对沙化和沙尘暴的影响,为我国西部大开发提供科学依据。

本文是中国科学院地学部向国务院提交的咨询报告,经徐冠华、孙鸿烈、陈运泰、李廷栋等院士审阅并提供宝贵意见。提供数据并参与此项工作的还有陶诗言、符淙斌、董超华、郑新江、孟辉、刘勇卫、周全彬、刘斌、张国平、赵晓丽、王思远、王磊、杨存建等。



## Causes of Sand-stormy Weather in Northern China and Control Measures

YE Du-zheng<sup>1</sup>, CHOU Ji-fan<sup>2</sup>, LU Ji-yuan<sup>3</sup>, ZHANG Zeng-xiang<sup>4</sup>,  
WANG Yi-mou<sup>5</sup>, ZHOU Zi-jiang<sup>6</sup>, JU Hong-bo<sup>7</sup>, HUANG Hong-qian<sup>8</sup>

(1. Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China; 2. Beijing Institute of Meteorology, Beijing 100081, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 4. Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China; 5. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China; 6. Center of Climatic Material, National Meteorological Center, Beijing 100081, China; 7. Institute of Resources and Information, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 8. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In northern China, the number of days with sand-stormy weather has been decreasing in the past 40 years, but in the spring of 2000, an unprecedented heavy sand-stormy weather with high frequency took place, which exerts adverse effect on traffic, environmental management and people's daily life and work. Especially, it brought direct damage to Beijing, Tianjin and their neighbouring areas, which has aroused even more extensive concern of personages of various circles. Therefore, the reasons and the rational suggestions are proposed in this paper. The sand-stormy weather is the result of the special geographic environment and weather conditions. Changes in the number of days of strong wind are the reflections of the periodical change in climate. Why the strong sand-stormy weather took place is that the anti-El Niño case is at top, and the land cover deteriorates in the whole area but with part area improving. The dust weather mainly originated from mid-west Inner Mongolia and northwest of Hebei Province. The dust is mainly consisted of soil dust from the origination area and the trace. The ground bare soil and sandy dust from construction site in urban extension areas also supplied materials for the local dust. In order to alleviate and control the dust damage, some suggestions were proposed as following:

Firstly, the natural vegetation must be restored through planting tree or grasses in cultivated land instead of planting crops. Especially effective ecological protective shield must be established for Beijing and Tianjin city. The bare land of urban marginal areas must be treated in order to control local dust. Secondly, eco-environmental construction must be paid more attention to during implementing Western Development Plan. Ecological benefits must be combined with economic and social benefits. Finally, the system for monitoring and predicting the sand-stormy weather must be established and improved. Study on controlling and alleviating the dust disaster also need to be done.

**Key words:** sand-stormy weather; North China; remote sensing and GIS