

沙尘暴对西部发展的危害及其治理

徐宣斌¹ 彭珂珊¹ 胡普辉² 刘延风²

(1. 中国科学院 水利部水土保持研究所 陕西 杨凌 712100 2. 杨凌职业技术学院 陕西 杨凌 712100)

摘要 沙尘暴是一种危害性极大的灾害性天气现象。它的发生既是一种加速土地荒漠化的重要过程,又是土地荒漠化发展到一定程度的具体表现。本文根据我国西部地表植被向恶性方向发展 土地沙化面积逐年增长 沙尘暴日趋频繁的具体情况,分析了沙尘暴的成因、危害,因地制宜提出五条对策:实行综合治理,加强沙尘暴的科学的研究;建立健全法规,增加投资力度,提高思想认识。

关键词 沙尘暴 自然灾害 中国西部 治理对策

中图分类号 X43 文献标识码 A 文章编号 :1008-5831(2002)04-0001-08

The Damage of Sandstorm to Development of West China and Its Harnessing Countermeasures

XU Xuan-bin¹, PENG Ke-shan¹, HU Pu-hui², LIU Yan-feng²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, The Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;
2. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China)

Abstract: According to the conditions of the deterioration of vegetation and year-to-year increase of desertification in west China, this paper first analyzes the formation and damage of sandstorm. And then it proposes five countermeasures which including implementation of comprehensive remediation, strengthening the scientific research on sandstorm, improving the laws and regulations, increasing the investment, and improving the ideology of people.

Key words: sandstorm; natural disaster; west China; harnessing countermeasures

一、概况

沙尘暴是沙暴和尘暴两者兼有的总称,是指强风把地表大量沙尘卷入空中,使空气特别混浊,水平能见度低于1km的天气现象。这是沙漠化的主要过程之一,也是一种灾害性天气。公元300年以来,我国已有5次沙尘暴频发期,上一次频发期是1820—1890年。近半个世纪我国西部沙尘暴的变化特点是20世纪50年代沙尘暴发生日数多,60年代发生日数最少,70年代略有增加,80年代又处于逐渐减少的趋势,90年代有明显增加,21世纪初则上升到一个新阶段,为百年之罕见。2000—2001年我国西部连续出现30次沙尘暴天气,出现之早,发生频率之高,影响范围之大,为国内外少有。

根据国家沙尘暴监测预警服务业务系统通过气象基本观测站网和气象卫星观察获取的分析统计结果表明,2001年5月20日止,我国北方共出现18次沙尘天气过程,其中强沙

尘暴过程41天,占总日数的51%。从我国北方看,平均每2天就有1次明显的沙尘天气。2001年出现沙尘天气之早为历史上罕见,2000年12月31日从北疆、内蒙东西部发生,在2001年1月1日影响到我国北方大部分地区,北京出现扬沙、浮尘天气。从区域分布看,2001年春沙尘暴主要发生在西北地区,内蒙古中部受到17次沙尘天气影响,扬沙日数达到20-30天^[1]。其中2001年2月28日—3月6日,内蒙古6天之内遭受3次沙尘暴侵袭,2月28日,3月2日—3日出现两次沙尘天气,3月6日又出现扬尘天气,较前两次范围更大,沙尘密度和沙尘暴区域也更大,内蒙古锡林郭勒盟西部风速在17—28m/s,能见度只有100—300m。由于全球气候增暖,地表蒸发加大,土地利用不合理的格局不可能在短期内得到根本调整,沙尘暴只会加剧,短期内难以减轻。

二、西部沙尘暴的成因

* 收稿日期 2002-05-15

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G200001-86-05)

作者简介:徐宣斌(1971-),男,江苏东台人,中国科学院水利部水土保持研究所实验师,主要从事自然灾害和土壤物理等研究。

中国西部属于全球四大沙尘暴区之一的中亚沙尘区,为全球现代沙尘的高活动区之一^[2]。在地质时期和历史时期,这里一直是沙尘暴的主要成灾地区和“雨土”释放源地^[3]。近几十年来,由于人为破坏,宏观政策失误,造成沙尘暴灾害频繁发生。沙尘暴形成原因较多,但主要有以下几点。

(一)厄尔尼诺现象

厄尔尼诺是指赤道中东太平洋海表异常增温现象,厄尔尼诺发生时,整个赤道太平洋的大气状况都会改变,扰乱了正常状况,造成生态平衡破坏,并进一步影响其它地区,它的发生使东亚冬季风势力变强。2000年和2001年我国频发沙尘天气的主要原因是当年春季气候异常,表现为华北和西北地区气温显著偏高,部分地区气温偏高幅度为近50年少见,使土壤解冻时间比往年提早,加速了土壤水分蒸发,致使干燥疏松的沙土极易大风扬起。去冬今春,冷空气活动频繁,大风连续出现。在厄尔尼诺年,冬季东亚季风势力强,加上温带气旋在灾区一带强烈发展,导致风力显著增大,在全球

气候变暖的背景下,我国西北和华北气候也变暖,降水减少,这促使沙尘暴发生频数增加。据统计,在全球气候变暖及我国西部地区地表植被状况没有根本好转的情况下,沙尘暴灾害今后有可能进一步加剧。

(二)干旱频发

历史上我国西部有大面积的森林,生态系统处于良性循环,然而由于人为因素影响,使生态系统受损,许多茂密的森林遭到严重破坏,改变了当地小气候,多数冰川后退和变薄,造成雪线上移,高山涵养水源能力不断下降,导致河水干涸,出现严重的干旱现象,并使森林大面积死亡,加剧了干旱的发生。从公元206年到1949年的2000多年间,我国发生了1092次严重的大旱灾,平均每两年就发生一次。西部地区干旱面积逐步扩大,其发展趋势是越来越重(表1)。1949—2001年,西部干旱受灾面积占播种面积的33%,干旱在所有灾害中发生的面积为各项自然灾害之首,已成为危害工农业生产的元凶。

表1 1960—2001年中国西部地区干旱灾害发展情况

年份	干旱主要情况
1960	黄河中上游1960—1962年连续三年大旱,是由于黄河流域汛期东亚纬向环流发展,经向环流偏弱,西太平洋副热带高压势力较强,脊线显著偏北,致使低纬度气流难以抵达黄河流域,使流域内普遍发生了中等以上的大旱。黄河中游地区从3月24日—7月17日干旱长达110天,降水仅为13mm,干土层深达1m多,0.14万hm ² 玉米全部旱死,干土抢墒下种的0.58万hm ² 水田也全部旱死,受旱面积达432万hm ² ,其中减产3—5成、5—8成和绝收的面积分别为152万hm ² 、80万hm ² 和59万hm ² ,因旱受灾人口1184万人,减产粮食为222万t。
1965	西北地区干旱期从1964年11月—1965年4月的171天内平均降水量只有26mm,冬小麦从出苗、越冬、返青至拔节、抽穗期,作物水分供需比仅为14%,5月份正当小麦拔节、抽穗、扬花和套种作物播种出苗的关键需水期,月降水量仅9mm,水分供需比1.5%—11.1%,6月冬小麦成熟期,降水量15.8mm,水分供需比平均9.1%,严重的干旱造成小麦歉收,部分甚至绝收。
1972	黄河流域受来自青藏高原干暖气流控制,并向东部运行中下沉增暖,空气干燥,而盛夏季节的台风,多在北太平洋洋面上徘徊打转,降水量偏少,从而形成黄河流域中上游大范围干旱,本年度全流域受旱面积437万hm ² ,其中减产3—5成、5—8成和绝收的面积分别为227万hm ² 、72.3万hm ² 、29.3万hm ² ,受灾人口1750万,减产粮食229万t。
1980	黄河流域由于长时间的水汽来源不足而干旱少雨,形成大范围的干旱形势,该年是建国以来因旱粮食减产最多的一年,减产粮食333.7万t,陕西从1979年9月—1980年5月连续“双百日”大旱,毒日炎炎,土地龟裂,塬区作物全部枯死,铜川1979年秋至1980年5月245天,降雨量只有70mm,比同期多年平均少67%,小麦每hm ² 单产仅为337.5kg,居历史最低。
1997	1997年大旱,全国受灾面积3351.4万hm ² ,成灾面积2025万hm ² ,此次干旱大部分发生在西部地区,大部分地方降雨只有50mm,较常年少3—8成,西北地区大部分降水量不足10mm,持续干旱不仅影响大秋作物的产量,而且还严重影响秋播,北方冬麦区10月播种的小麦有667万hm ² 受灾,缺苗缺垄,少雨干旱使北方河川径流量减少近20%,平原地区水位下降0.5—2.5m,地下水储量减少240亿m ³ ,大中型水库水量减少30%,由于高温少雨主要发生在沿黄各省区,黄河从2月7日—11月断流13次,累计时间达226天,断流长度为740km。
2001	全国遭受百年不遇的沙尘暴天气达18次,不仅如此,伴随沙尘暴接踵而来则是严重的干旱,入夏以来,我国西部地区降雨偏少,加上高温大风天气频繁,致使土壤失墒严重,旱情急剧发展。持续发展的严重旱灾发生在北方粮食主产区,在春播种夏粮形成的关键时期,给春耕生产和夏粮造成严重影响,地方人畜饮水困难,也给“三夏”造成严重威胁。6月上旬,我国北方受害面积2800万hm ² ,水田缺水面积140万hm ² ,农业受旱面积是90年代以来同期最大值,也是1949年以来仅次于1978年同期次高值,由于干旱,水源不足,造成城乡居民生活用水紧张,有2260万农村人口和1450万头大牲畜发生饮水困难,17个省份364座县以上城镇缺水,日缺水量1305万m ³ ,影响人口2198万。其中内蒙古在连续两年旱灾之后,又遭受数十年不遇的严重旱灾,全区116万hm ² 农田无法下种,3107万hm ² 草场未返青,400万hm ² 农作物、3329万头(只)牲畜面临严重威胁。

(三)气候干燥多风

沙尘暴是沙化的产物,沙尘暴频发期均对应于干旱期,在公元1060—1270年、1640—1720年、1810—1920年三段干旱期,同期也是沙尘暴高发期,近几年来我国西部冬季温差增大,强冷空气活动频繁,大风频发,为沙化土地扩展提供了动力条件,冬春季温差增幅大,使大气层结处于不稳定状态,遇

冷压冷风过境,极易形成大风天气。特强沙尘暴的风头像一道黑墙,一般自西向东(或自西北向东南)迅速推进,气象要素变化十分剧烈,沙尘暴一到,顿时狂风大作,沙尘飞扬,气压猛升,温度剧降。1993年5月5日14—20时,甘肃河西走廊酒泉、张掖等地自西向北东南相继出现了特大沙尘暴,从山丹向东演变成黑霾,沙尘暴风力高达9级,瞬间最大风速达12级(表2),平均风速达23.2m/s。

表2 甘肃河西地区沙尘暴风速统计表(1993年5月5日)

地 点	风速(m/s)
玉门镇	23
酒 泉	22
金 塔	19
鼎 新	20
托 勒	28
高 台	21
肃 南	19
临 泽	21
张掖	17
山 丹	23
民 乐	23
永 昌	28
金 昌	34
民 勤	25
蔡 旗	25
武 威	22
古 浪	25
乌勒岭	23
永 登	19
景 泰	21
白 银	29
靖 远	19
会 宁	28
总平均	23.2

(四)沙源面广

地表丰富的沙源是沙尘暴产生的基础。我国是亚洲沙质荒漠广泛发育的地区,沙漠和沙地广布于荒漠、半荒漠及草原地区,总面积达171万km²,占国土面积17.85%,90%以上分布在西北地区,形成一条西起柴达木盆地,东至松嫩平原西部,东西长4500km,南北宽600km的沙漠带。其中分布于南疆的塔克拉玛干沙漠面积33.76万km²,是我国最大也是世界著名的最大沙漠;北疆的古尔班通特沙漠面积4.88万km²,在全国位居第二;我国中东部沙区也是沙漠分布最多的地区,自东北向西南分布有呼伦贝尔、嘎亥俄立苏、科尔沁、浑善达克、库布齐、毛乌素、乌兰布和、腾格里、巴丹吉林、甘肃河西走廊绿洲外缘沙漠、青海柴达木等11处沙漠和沙地,面积达26.9万km²(表3),上述沙漠区受干旱气候和地表引力的影响,地表物质以物理风化为主,质地轻粗松散,沙源丰富,使丰富的沙源为沙尘暴形成创造了条件。

表3 中国八大沙漠和四大沙地情况表

沙漠(地)名称	沙漠(地)地址	沙漠(地)
		面积(万 km ²)
塔克拉玛	新疆塔里木盆地	33.76
古尔班通古特	新疆准噶尔盆地	4.88
库姆塔格	新疆东南部	1.95
柴达木	青海柴达木盆地	3.49
巴丹吉林	内蒙古高原西部	4.43
腾格里	内蒙古西部	4.27
乌兰布和	内蒙古河套平原西部	1.15
库布齐	内蒙古鄂尔多斯高原北部	1.86
浑善达克	内蒙古锡林郭勒	4.23
科尔沁	西辽河中下游	5.06
毛乌素	内蒙古鄂尔多斯高原	3.21
呼伦贝尔	内蒙古东北部呼伦贝尔草原	1.0

(五)地表植被破坏严重

历史上西部生态环境优越,森林密布,但由于人们肆意毁坏,许多沙漠绿洲和天然植被被滥垦、过牧、樵采等,自然资源被盲目无限开采和不合理利用。(1)开垦。垦荒即是对森林、草原植被的破坏,又是对地表土层的破坏,造成地下粉层出露,产生风沙活动和流沙堆积。50~70年代片面强调“以粮为纲”,甚至提出“牧民不吃亏心粮”,导致有组织大面积开垦,内蒙鄂尔多斯开垦了66.7万hm²,造成120万hm²草原沙化。内蒙、甘肃、新疆等省(区)1986~1996年开垦194万hm²,竟有98.6万hm²撂荒,近代形成的沙漠化土地中,因农垦所致占25%。由于生产上采取传统的倒山种田,广种薄收,大面积毁林开荒、滥垦滥种,逐步形成沙漠化土地。(2)过牧。草场的生物资源和牧草的再生能力有限,过多的牲畜集中在有限的草场上放牧就会影响草场的正常生长而引起退化。人们为了增加收入,盲目发展畜牧业,滥牧现象严重。河西地区草场理论值为460万个羊单位,现在实际已达700万只,超载率达52%^[4]。草场长期处于超载,这种现象造成畜草矛盾突出,适口性好的草地逐渐减少,草地受到破坏,致使地表裸露,经牧畜践踏而引起表面沙化。(3)滥采。乱砍、滥伐、滥樵、滥采而破坏了植被,因人们无组织和无计划地乱砍,使西部整片的胡杨变成片片死去的怪树桩,内蒙古额济纳地区1999年统计,胡杨林已从1949年的4.67万hm²下降到1999年的2万hm²。

(六)水资源短缺

我国沙化地区以自产可利用地表水资源平均每人2497.2万m³,而667m²耕地只有618.3m³,比全国人均占有、亩均占有少4%—65%,故沙化地区水资源贫乏成为限制农业生产发展与自然资源开发的主要因素。在西部地区,河流的水源是经济建设和生命系统的命脉。如西北水资源总量2254亿m³,只占全国的8%,由于历史原因,许多山川的森林急剧减少,雪线上移,高山涵养水源下降,造成雨季洪水泛滥,冬季无水供给,河流干枯现象突出,塔里木河是沿河绿洲及罗布泊湖的水源,由于沿河开荒面积已超过13万hm²,再加上在下游干流修建了库容1.8亿m³的大西海水库,使下游340km河道断流,罗布泊湖干涸^[5]。河流上游的过度用水,使下游无水,造成河流两岸森林大片死亡。甘肃河西祁连山在近20年水流急剧减少,致使祁连山供水的石羊河、黑河、疏勒河3大灌溉河流水量大减,时有断流。50年代石羊河给民勤县提供5.46亿m³的水,80年代仅能提供2亿m³,到90年代末只有1亿m³,为补不足,人们普遍超采地下水,使大面积人工林和天然林死亡达9800hm²,由于林地水分平衡失调,已出现不同程度的衰败退化。

三、西部沙尘暴的危害

沙尘暴是天气恶劣的突出表现,其根本原因是水土资源的不合理利用,导致大量土地沙化,严重影响西部地区资源开发、环境保护和可持续发展。一旦沙尘暴天气形成之后,会以排山倒海之势滚滚向前移动,携带砂粒的强劲气流所经

表4 我国西部沙尘暴灾害的典型案例(1949—2000年)

年份	地域范围	沙尘暴灾害情况
1949	新疆哈密	3月18日晨8时,哈密城风云突变,狂风四起,飞沙走石,天昏地暗,至夜12日稍息,死3人。
1952	甘肃河西23县	4月9日酒泉、敦煌、临泽、张掖、山丹、永昌、武威、环县等23个县发生强沙尘暴,仅永昌县沙埋农田400多hm ² 。据张掖气象站记载4月9日15时至10日晨发生强沙暴,天空变黑,飞沙走石,能见度0级,风力9级,15时32分后风力渐减,天空变为黄色,17时后风力仍有6级,能见度仍很低。
1961	新疆吐鲁番	5月31日—6月1日大风,风力12级以上,盆地内兰新铁路多处被沙埋,造成91次列车脱轨的严重事故,10多节车厢翻倒路边,其中一节被抛起摔坏,刮断电杆几百根,交通中断36h,下马崖等地有40多孔坎儿井被沙埋,死伤20多人。
1979	新疆中部地区	4月10日兰新线哈密至乌鲁木齐,风力达12级以上。兰新线运输中断37h47min,南疆线中断167h。房屋损坏2.1万m ² ,门窗玻璃损坏800m ² ,小学生死3人。波及部队仓库,毁1698.4万元物资,死2名战士。4月10日—11日吐鲁番刮12级大风18h,受灾作物3万hm ² ,折树5758株,沙埋坎儿井108道,大小渠道402条,吹失麦草62.5t,化肥2.5t,倒房屋16间,26户着火,死10人,伤40人,通讯中断,总计损失143.9万元。
1983	新疆吐鲁番、托克逊、岳普湖、英吉沙、焉耆等地	4月25日—28日先后受8级以上大风危害。据不完全统计,2.4万多hm ² 农作物被损失,毁坏树木5.1万株,填平渠道9.2km,死亡牲畜843头(只),倒塌或火灾烧毁房屋242间,4人死亡。在4月26日风暴中,吐鲁番地区4800多hm ² 农作物受灾,1400hm ² 葡萄受损,刮倒树木近万株,供电、通讯线杆数百根被刮倒。90道坎儿井填塞,倒房108间,9处起火,18户受灾,死7人,死牲畜155头(只),铁路运输设施受到不同程度破坏,运行中的69次客车和沿线车站门窗玻璃被风沙击碎600多块。
1983	内蒙古中、西部地区 陕西榆林地区	4月27日—29日大风,风力一般8—9级,瞬时最大风速在38m/s,为历年所罕见,在伊盟伴有沙尘暴天气,能见度小于200m。据不完全统计,在这次灾害中内蒙古死33人,伤46人,死牲畜9.8万头(只),牧区部分草场棚圈被沙压埋,鄂托克旗流沙埋没水井78眼,压塌棚圈15处。榆林地区死25人,死亡、丢失牲畜6.2万头(只)。
1986	甘肃安西、敦煌	5月18日—20日沙暴持续17h,能见度0级。据气象站介绍,能见度之低,持续时间之长,为1938年有气象记载以来的第一次。在风沙灾害中,1.49万hm ² 农作物全受害,其中毁灭性灾害2020hm ² ,重灾1200hm ² 。蔬菜全毁140hm ² ,掉果23.5万株,毁果树嫁接苗1.64万株,摧树2.5万株,死亡、失踪大家畜14头,羊659只,决塘坝2座,沙埋水渠29.4km,毁电线24.5km,引起火灾3次,刮倒房屋57间,畜圈105个,围墙384m,吹失煤炭1800多t,芒硝1.5t,造成经济损失1200多万元。
1986	新疆和田地区	5月18日—19日出现强沙尘暴天气,使小麦减产2.5万t,棉花减产6万—7.5万kg,玉米、果树、葡萄、瓜菜受灾严重。风暴中死亡10人,失踪9人,丢失、死亡牲畜率4128头(只),倒房屋218间,棚圈125个,刮倒电杆736根,直接经济损失为5000万元以上。
1993	新疆吐鲁番、哈密、 甘肃河西地区,宁夏中卫,内蒙古西部	5月5日14—19时出现黑风暴天气,死85人,伤264人,失踪264人。在死亡和失踪中,少年儿童居多。表土层风蚀达10—30cm,农作物受灾面积37.3万hm ² 。死亡与丢失牲畜12万头。沙埋水渠1000多km,刮倒电杆6012根。兰新线中断37h。毁房4412间。降尘量每km ² 高达161—256t。直接经济损失5.6亿。此次特强沙尘暴的影响范围达110万km ² ,占全国总面积的11.5%,涉及西北四省区18个地(市)的72个县(旗),人口1200万人。这次强沙尘暴通过沙埋,吹刮对西北地区的植被生态环境造成严重破坏,大大加快了该地区土地荒漠化进程。
1995	宁夏、内蒙古西部、新疆阿克苏等地	5月16日,宁夏、内蒙古西部地区遭受强沙尘暴袭击,沙尘暴所经之处黄沙滚滚,天昏地暗,阵风达10—11级,能见度在10m以下,宁夏有1333.3万hm ² 农作物受灾,5000多座塑料大棚受损,人员亦有伤亡,内蒙古阿盟有0.2万hm ² 小麦、玉米被打死,0.27万hm ² 农作物被流沙掩埋,阿左旗丢失牲畜10多万头(只),死亡6000多头(只)。5月17日—18日,新疆阿克苏、巴州、喀什有11个县遭受沙尘暴,最大风力10级,山口风力达12级,4万hm ² 棉花、小麦受害。
1996	甘肃河西走廊	5月29日,在甘肃河西走廊出现一次强沙尘暴天气。这次强沙尘暴于5月29日19时37分首次出现在河西走廊最西端的敦煌市,在酒泉地区持续时间长达22.5h,风向转为西风,瞬间最大风力达11级,能见度5m,沙尘暴前峰于30日10时08分在金昌出现,持续时间15时10分,最大风速18m/s,在民勤县持续9时10分,风速达17m/s,最大风速27m/s,能见度不足80m,在安西县大风刮倒房屋72间,畜棚106间,在敦煌市造成5人死亡,民勤县种植籽瓜1.4万hm ² ,受害80%的达0.67万hm ² 。
1998	西北12个地州	4月17日—19日,遭受沙尘暴袭击,3.07万hm ² 农作物受灾,11.09万头牲畜死亡,156万人受灾,直接经济损失8亿元。
1999	宁甘东南部、陕北、内蒙古中西部	1月24日,宁夏、甘肃东南部、陕北、内蒙古中西部、山西中部等地出现了沙尘暴或扬尘等恶劣天气,为历年最早,4月至5月中下旬,西北地区、华北北部等地又先后出现沙尘暴天气,一些地区出现大风降温过程,部分地区的畜牧业、林果业和瓜果遭受的直接经济损失约亿元。
2000	西北地区5个省区	据中国荒漠化监测中心提供的数据,2000年3月26日,受冷峰云系影响,我国甘肃中部、宁夏北部、内蒙古自治区西部的部分地区出现了大范围的扬沙天气,部分地区有沙尘暴发生。此次沙尘暴与扬尘影响范围约为174161km ² ,受影响人约2498.31万,耕地约为523万hm ² ,牧草地约404万hm ² 。受此次沙尘暴影响,北京发生浮降尘现象,并造成华北地区大范围的环境污染,使农牧业、工交运输等受到不同程度的影响,直接经济损失约0.5—1.0亿元人民币。4月6日,北京遭受近10年来最大的一次沙尘天气,黄沙蔽日。4月25日,沙尘天气再袭北京,黄土弥漫,行人呼吸困难,这已是北京遭受的第8次沙尘天气,截止到5月中旬,我国西北、华北地区竟连续发生了12次扬沙、沙尘暴天气,影响到我国内蒙古自治区、陕西、甘肃、宁夏、山西、河北、北京、天津、吉林、山东、河南、湖北、江苏、安徽等省,总面积占国土面积的1/4。

之处 通过沙埋、风蚀沙割、狂风袭击、降温霜冻和污染大气等作用方式 ,使大片农田或受沙埋 ,或受风蚀刮走沃土 ,或者农作物受霜冻之害而颗粒无收 ,它能加剧土地沙化 ,发展速度加快 ,导致生态环境恶化 ,人民的生存条件恶化 ,加重贫困程度 ,并对交通和供电线路产生重要影响 ,给人民的生命财产造成严重损失(表 4)。由于近几年强沙尘暴频率有逐年增加趋势 ,加之工业建设和土地资源超载局面难以改善 ,沙尘暴造成的危害越来越大 ,构成严重压力。阿拉善百年前水草丰美 ,曾是大清皇家的牧场 ,阿拉善 27 万 km² 土地只有 17 万人 ,然而由于生态环境破坏 ,自然承载力逐年下降 ,从 1960—1990 年的 30 年间 ,全盟牧畜总头数由 200 万头降至 130 万头 ,大面积草场无草可供采食 ,盘羊、野驴、野骆驼等珍贵野生动物纷纷消失绝迹 ,一批又一批农牧民不得不背井离乡举家搬迁 ,在阿拉善盟 17 万人总人口中失去家园的生态难民多达 2 万余人^[6]。1 km² 已不能养活 1 个人 ,进一步激化区内人口、资源、环境与社会经济发展的矛盾^[7-8]。

(一) 耕地质退量减

我国沙化地区现有耕地 1 697.8 万 hm² ,占全国耕地面积 12.7% ,耕地退化面积 772.6 万 hm² ,占沙化地耕地面积 45.5% ,其中中度以上已退化面积 401.4 万 hm² ,占退化耕地面积的 52.0%。以平均每 hm² 年产粮食 750kg 计算 ,总共损失粮食 30 多亿 kg ,相当于 750 万人一年口粮。由于覆盖度的减

少 ,沙化强度加大 ,流沙占土地的面积也随之增加 ,根据沙漠化分类原则及指标 ,民勤县包括三种土地沙漠化类型(表 5)。耕地沙化 ,导致耕作层变薄 ,土质粗化 ,肥力下降 ,耕地生产力水平明显降低。如在原来肥沃的北大荒黑土地带农垦多年后 ,土壤中的有机质已从原来的 5%—8% 下降到 1%—2% ,氮肥用量与日俱增 ,土壤的质量必然越来越差 ;又如在我国北方沙漠化地区土壤有机质和养分的年损失量达 1 亿 t 以上 ,相当于 5 亿 t 以上的各类肥料。气候干旱、土质疏松是耕地沙化的自然原因 ,而人类对土地不合理的开发利用是造成耕地沙化的基本原因。人口增长失控是耕地沙化发生和发展的原动力 随着人口剧增 ,使有些地方形成“人增—耕进—林草退—耕地沙化—生产力下降—弃耕撂荒”的恶性循环。在沙漠化的发展过程中 ,现代沙漠化问题应引起高度重视。因为它不仅直接危害农林牧业生产 ,而且严重威胁人类和其他生物的生存和发展。以内蒙古伊克昭盟鄂尔多斯中部草原地区为例。原来是“风吹草低见牛羊”的大草原 ,如今变成了荒无人烟的沙漠。据统计 ,沙漠化土地已从 53.3% 扩大到 65.3% ,在形成现代沙漠化土地的因素中 ,以草原农垦、草原过牧和樵柴破坏植被所引起的荒漠化最为显著 ,三者相加占 85.10% ,当然 ,水资源的利用不当 ,工矿交通城市建设、破坏植被等也能引起荒漠化的发展 ,各种成因类型的比例详见表 6。

表 5 甘肃省民勤县土地沙漠化描述

类型	程度等级	指标或分布范围		综合景观特征
		植被覆盖度(%)	流沙占土地面积(%)	
风蚀沙漠化	I 潜在	> 60	< 5	绝大部分土地未出现流沙、大面积的植被(灌丛)衰退。
	II 轻度	30—60	5—25	出现小片流沙、沙滩和风蚀坑,部分植被已死亡。
	III 中度	10—30	25—50	流沙大面积分布,风蚀强烈,一般植被已被沙丘掩埋。
	IV 强度	< 10	> 50	戈壁或密集流动沙丘占绝对优势,很少见到植被。
水蚀沙漠化	干河床、河漫、滩、冲击洪积扇			分布有少量的碎块砾石,洪水冲积物,植被稀疏,长势一般。

表 6 不同成因类型导致沙漠化土地的比例

成因类型	百分比(%)
过度农垦所形成的沙漠化土地	23.3
过度放牧所形成的沙漠化土地	29.4
过度樵采活动所形成的沙漠化土地	32.4
水资源利用不当所造成的沙漠化土地	8.6
工矿、交通、城市建设所引起的沙漠化土地	0.8
风力作用下沙丘的前移入侵	5.5

(二) 造成草场退化

我国草场面积 3.9 亿 hm² ,占国土面积的 40% ,90% 的草地在退化 ,中度退化草原达 1.33 亿 hm²。沙化地区草地退化面积 1.1 亿 hm² ,占该地区草场面积的 70.7% ,在退化草地中 ,如果按每公顷鲜草损失 750kg 折算 ,每年总计少养活 5 000 多只绵羊。草场是主要的陆地生态系统 ,是保护人类生存环境的主要因素 ,在调节气候、防风固沙、保持水土等方面起着重要作用 ,但目前草场日益恶化 ,每年退化的速度高达 133 万 hm² ,过度放牧和盲目开荒已使草原地区多次出现“黑风暴” ,

这种“农田吃草原 ,风沙吃农田”的恶性循环应该扭转。1947 年内蒙古有牲畜 773.7 万头 ,到 1993 年 ,牲畜达到 4 713 万头 ,其中乌兰察布盟和锡林郭勒盟有牲畜 803 万头 ,每只牲畜占有草场面积由 8.82 hm² 降至 2 hm² ,目前内蒙古天然草场载畜量只相当于 50 年代的 75% 、60 年代的 80% ,有的草场由于风蚀沙化完全丧失生产力 ,草原牧草平均高度由 70 年代 70cm 下降到目前 25cm。50 年来全国有 260.3 万 hm² 草地变成流沙 ,平均每年减少 5.2 万 hm² ,畜产品产量随牧草产量和质量的降低而降低 ,内蒙古乌审旗 ,绵羊平均体重由 50 年代的 25kg 降至 80 年代的约 15kg。新疆大风和盐尘对牧业生产有很大危害 ,大风过后 ,草木和农作物的茎秆叶上积满了盐霜土 ,最厚达 5mm ,牲畜吃了拉肚子 ,造成春季牲畜死亡率高 ,每年死亡率在 8%—10%。

(三) 影响植被建设

由于无节制的滥垦滥伐和广种薄收的粗放经营方式 ,使天然植被遭到长期持续不断的毁坏。在沙尘暴地区 ,森林主要以胡杨、红柳、沙枣为主 ,这些树木属于原生的天然植被 ,

经过自然选择 具有很强的抗旱性 ,沙化的入侵使原来森林中的河流湖泊很快走向干涸并消失。由于水源减少 ,使生长在河两岸的胡杨等优势树种面积逐步缩小 ,随着树木的大量死亡 ,裸露的地表又出现风蚀。塔里木河下游 ,是胡杨密布 ,水草丰美的地区 20世纪 60—70年代由于沙侵 ,大片森林被毁 80年代已成为塔克拉玛干沙漠的一部分。由于气候干燥和沙侵 ,使新疆的森林覆盖率只有 1.68% ,被沙漠包围 ,分割成上千个孤岛 ,绿洲只占新疆的 4.2%。塔里木河两岸大片胡杨林干枯死亡 ,分布在塔里木河流域的 35hm² 胡杨林是世界上最大的原始胡杨林 ,它的根可扎入地下 10米深 ,一年饱灌一次水就可存活 ,人们称其“ 生而千年不死 ,死而千年不朽 ” 和它伴生的梭梭、甘草、杨柳等沙生植物 ,护卫着塔里木河流域 44 万 km² 内的 5 个州和 780 万各族人民。可是由于沙漠入侵 ,致使塔里木 300 公里河道长期断流 ,导致地下水位下降 16 米 ,使 87% 的胡杨死亡 0.67 万 hm²(10 万亩) 胡杨成为沙漠上的“ 木乃伊 ” ,胡杨林衰退锐减加速了土地沙化进程 ,又进一步导致气候变劣 ,风尘日、浮尘日增多。沙漠与绿洲是一种此长彼消 ,此消彼长的对应关系 ,绿洲扩大了、沙漠就缩小 ,绿洲缩小了 ,沙漠就要扩大。沙化破坏森林生长之后 ,使许多森林物种灭绝和濒危 ,严重影响了森林的结构与数量 ,不利于森林的生长与发展。

(四) 驱使灾害频发

我国属于世界上沙尘暴危害严重的国家。近半个世纪 ,我国西部地区沙尘暴逐年增多 ,沙尘暴危害使雨量减少 ,旱性加重。1993 年 5 月 5 日 ,新疆东部、甘肃河西走廊、内蒙古阿拉善盟、宁夏中北部 4 省 18 个地市 72 县(市) 200 万人受到的沙尘暴袭击成为 1927 年有气象记录以来最强的一次 ,此次特强沙尘暴的影响范围总面积 110 万 km² ,占全国总面积的 11.5% ,沙尘暴过境时形成原子弹爆炸后的蘑菇状烟云。宁夏中部风速达 12 级 ,能见度降至零 ,这次沙尘暴造成 85 人死亡、264 人受伤、31 人失踪、12 万头(只)牲畜死亡 ,农作物受灾面积达 38 万 hm² ,直接经济损失 5.6 亿元。1995 年 5 月 15 日 ,甘肃省一场特大沙尘暴使降尘量高达 1 243 万 t ,相当于省内最大的水泥厂 15 年产量。1998 年 4 月 ,西北 12 个地州遭受沙尘袭击 3.07 万 hm² 农田受灾 ,直接经济损失 8 亿元 ,这场沙尘暴影响到北京、济南、南京、杭州。风暴之后 ,大地满目疮痍 ,惨不忍睹 ,北京虽然只下了一场泥雨 ,却使鲜花盛开的大街小巷一夜之间蓬头垢面 ,汽车、电车有如出土文物。农牧区降雨量比解放初期减少了 2% ,宁夏盐池雨日和降雨量分别减少了 4.8% 和 4.1% ,干旱年次数率由解放初的 25% 增加为 80% 以上 ,夏旱年次数率由解放初的 33% 增加为 60% 以上 ,给农、林、牧、副、渔业生产都带来很大的不利影响。

(五) 威胁城市安全

陕西西部重镇榆林城在原始社会曾是草原辽阔、森林茂密的地区 ,人们过着渔猎游牧生活 ,生态环境十分优美 ,秦汉时期自然景观仍然如昔 ,然而好景不长 ,直至隋唐初期 ,由于突厥几番大举南下榆林长城关口 ,致使当地的森林生态遭到

严重破坏 ,沙化日趋严重。到北宋年间 ,数次战乱使榆林森林草原继续遭受严重破坏 ,最后到了清朝 ,榆林地区所剩草地仅十之二、三”。长期大量滥垦、滥伐、滥牧林草植被 ,严重破坏了生态平衡 ,从此“ 水草丰美 ” 的大草原演变为秃山秃岭和一望无际的沙漠 ,榆林城被沦为干旱、风沙、霜冻、冰雹等各种自然灾害十分频繁的风沙之城 ,被迫几次迁城。首都北京也年年遭受沙害侵袭。2000 年 4 月 6 日 ,北京城继 3 月 23 日、27 日、28 日前三次沙尘暴之后再度遭沙尘袭击 ,沙尘暴来时 ,冰沙走石、黄风蔽日 ,吹断了树枝 ,吹倒了广告牌 ,人们均掩面行路 ,能见度只有几米 ,交通事故叠起 ,症结何在 ? 原因在于内蒙古出现大面积沙尘暴 ,沙尘暴中心地区位于锡林郭勒盟西部 ,沙尘暴最高时速达每秒 22m ,风暴中心的锡林郭勒盟大部分地区能见度为零。永定河在军都山北曾有数条支流 ,由于森林破坏使 2 万 hm² 沙化土地入侵 ,导致山泉干涸 ,因长年断流 ,站在卢沟桥上可见干涸的河道 ,而这些干涸的河道成为沙源 ,当沙尘越过军都山 ,飘浮京城上空 ,造成北京地区可吸入颗粒居高不下。

(六) 制约经济发展

风沙危害和沙尘暴破坏交通、水利、工矿等生产设施 ,制约国民经济的发展 ,导致生活贫困。我国通过沙漠化地区的铁路长度 3 254km ,发生沙害地段 1 367km ,占 42% ,其中严重地段 1 082.5km 。受沙尘暴危害的公路总长 30 000km ,交通线路因沙害而阻塞、中断、停运、改点的事故时有发生。1979 年 4 月 10 日一次沙尘暴使新疆铁路路基风蚀 25 处 ,沙埋 67 处 ,经济损失 144 万元。在沙尘暴地区的许多流域 ,因林草覆盖率降低 ,风蚀危害加剧 ,严重影响了水利设施的正常运行和使用以及河道的排污能力。陕西北部自 1981 年以来 ,因泥沙淤积废除的 4 型小水库 29 座 ,淤积库容总计 6 200 万 m³ 。沙尘暴地区储存全国最大的石油、天然气、露天煤矿和盐碱湖矿 ,每年因荒漠化危害造成停工和机器进沙磨损损失巨大。内蒙古 8 个开采盐湖中已有 6 个受到风沙埋压 ,察汗淖尔盐湖 50 年代初产盐面积 15km² ,现仅剩 4km² 。全国受风沙危害的村庄 2.4 万个 ,部分地区沙进入退 ,被迫迁居。内蒙古鄂托克旗 1949—1977 年间 ,流沙埋压水井 1 138 眼 ,埋压房屋 2 203 间和棚圈 3 312 间 ,有 698 户居民被迫搬迁。沙尘暴地区有 101 个县 1 500 万人处于国定贫困线以下 ,拉大了与东部的距离。由于沙尘暴地区多属老少边贫地区 ,受沙尘暴和贫困长期困扰 ,以及与发达地区差距过大 ,都有可能转化为敏感的政治问题 ,影响民族团结、社会发展和巩固国防的大局 ,制约国民经济发展和西部大开发战略的实施。

四、西部地区沙尘暴防治基本战略

沙尘暴是目前制约我国西部经济振兴和生态环境改善的巨大障碍 ,特别是西部地区具有的独特自然环境 ,丰富的自然资源 ,重要的国防地位 ,特殊的民族区域 ,在我国的生态、资源、环境、国民经济和社会发展等方面具有极为重要的地位和作用 ,使得其沙尘暴的防治对全国具有极为重要的现实意义 ,目前国家西部大开发战略的实施为西部开展沙尘暴

防治及工程建设提供了前所未有的历史机遇。因此应从以下几个方面入手,解决好沙尘暴这一困扰西部国民经济与社会发展的重大问题。

(一)实施综合治理

防治沙尘暴灾害,其主要手段就是保护国土资源,防止土壤风蚀沙化,必须从西部的自然条件、区域生态特征及其现有经济水平的客观条件出发,按照客观规律办事,战胜沙尘暴。首先是在林业建设上,建议国家在沙区实施退牧还林还草工程,这是防治沙尘暴的必然选择,大力实施封沙育草育林,采用在沙丘低地造林,直接在流沙上栽植固沙植物,并在人工沙障防护下栽植固沙植物和飞播植物固沙措施,有效防治沙化扩展。飞播造林是一种造林面积广、速度快、成本低的现代高科技术,每公顷投入600元就能很好地完成治理和恢复植被。随着飞播技术的日趋成熟,应加大飞播造林的力度^[9]。发展薪炭林,增加生物燃料的供应量,建立完善的防护林体系,以灌木为主,实行灌、乔、草、带、片、网相结合,防护、饲料、薪炭、经济等多种林相结合,增加地表覆盖度,削弱风力,减少沙源,减弱和避免风力对沙质地表的作用。第二是草业建设上,要人工种草与封沙封丘育草相结合,迅速恢复草场植被,防止草原进一步沙化、退化和碱化,视草原不同情况,可采取翻耙压自然更新或在翻耙压后人工补播种草。并实行合理分区轮牧轮放,加强放牧管理和围栏建设,逐步实行草原打井灌溉,增施肥料,以提高牧草产量,使天然草场得到改善,覆盖率明显提高,防御风沙能力明显增强。第三是在农业措施上,必须坚持耕作制度改革,坚持用地养地相结合的原则,促进耕作制度与土壤肥力的不断发展,要大力推广以深松为基础,少耕为原则,垄作为主体的耕作方法和大搞以增肥改土为中心的农田基本建设。引进先进技术,以提高单产为中心。第四在工程措施上,主要是应用于路堤、路堑的边坡保护,其方法有:粘土泥浆抹面;压沙;挖筑积沙沟堤,沙障。在与主害风相垂直人工设置沙障是防止风蚀进一步发展的有效措施,沙障分土沙障、草沙障和柴草沙障,草沙障和柴草沙障简便易行,在风蚀严重的风蚀槽上以及流动沙丘的前方,为防止风流沙的活动和侵蚀农田,可就地取材利用秸秆、树枝人工设置柴草沙障,待风蚀和流沙得到控制趋于稳定后,马上造林种草。第五在水利措施上,主要是保护天然植被,利用好天然降水,搞好引水拉沙,提高土壤温度,防止沙尘暴发生,由于工程建设具有长期性,应分阶段分步骤进行,具体应全面规划,分步实施,突出重点,先易后难,先行试点,稳步推进。

(二)加强沙尘暴科研

连续几年的沙尘暴危害已引起各界人士的重视,许多有识之士在分析总结国内外正反两方面经验后,要求人们在更高层次上,重新认识沙尘暴科研工作。(1)搞好规划。在沙尘暴频发区进行各项措施的规划,必须在土地利用规划的基础上进行,按照当地实际确定农、林、牧、副、渔、草、路的比例,达到既发展生产,又促进生态平衡。目前应结合50多年

防风蚀经验,很有必要对防治沙尘暴规划重新加以研究,对原有的防灾标准作必要调整,并在此基础上,纳入经济建设计划之中,以适应频发的沙尘暴防灾标准。(2)进行沙尘暴形成条件和机理研究。沙尘暴天气的研究是一个复杂课题,应加强研究沙尘暴天气形成和发展过程与机理,揭示沙尘暴生成背景与长距离输送的天气气候特征与条件,将传统的天气学方法和现代数值预报方法有效结合,探索新的沙尘暴中短期预报和治理方法,可从以下几方面入手:历史时期和近期沙尘暴记载的统计与整理;沙尘暴发生的源地、移动路线和沉降范围;沙尘暴典型案例和沙尘气候变化特征研究;沙尘天气溶胶物理化学及辐射特征研究;沙尘暴发生地退耕还林(草)生态建设与植被恢复研究;沙尘暴遥感监测、预报、沙化逆转过程及整治研究;人们的生命财产应急保护措施;沙尘暴数的模拟与输送研究,等等。沙尘暴已成为我国风沙灾害的重要组成部分,强和特强沙尘暴灾害逐年加剧,以后对这方面研究应加大与国外同行的合作,以解决我国防治工程建设规划与实施所出现的问题。(3)加强基础性研究。沙尘暴资料是一项非常重要的基础资料,它是防灾减灾的主要依据,并且是计划、统计、国土、水利、农业、林业、畜牧、工业、环保、交通、邮电、能源、保险等部门必不可少的资料,由于在实际工作中凭主观判断估计的数字现象普遍,因此,应加快研究和拟定出沙尘暴评价指标体系,开发和利用遥感技术和地理信息系统,建立快速和科学资料收集和核实手段,达到科学、简便、实用的要求。(4)开展气候变化对沙尘暴演进的影响研究。研究气候条件与沙漠化、沙尘暴相互作用的机理,分析历史上气候变迁与沙漠化和沙尘暴对应关系,预测未来15年和50年中国西部气候变化情景,在此基础上评估气候变化对沙漠化和沙尘暴的进一步影响,为我国西部大开发提供未来气候变化,尤其在极端气候事件发生频繁和强度的可能影响程度的评估。(5)实施动态监测。沙尘暴监测是掌握其发展趋势的重要手段,通过现代遥感和自动化处理技术,进行信息管理,对不同类型沙尘暴进行监测,及时预报沙尘暴的动态变化,在现有气象观察预警系统的基础上,建立现代化的沙尘暴天气及北方灾害性天气的监测、预报、警报服务系统^[10]。利用气象卫星、雷达、自动气象站等高科技手段,定期进行沙尘暴发展、势态的评估,制定整治计划,进一步在沙漠化地区的资源环境和高效农业的研究与实践方面利用“3S”等高新技术,建立资源环境信息系统,形成一个实时的国家级沙尘暴监测、预警和对策服务系统。

(三)健全执法体系

保护沙区天然林草资源,停止破坏是防止沙尘暴最为重要的基础工作,要通过立法强制推行对沙区天然林草的保护,真正做到人人珍惜和爱护沙区天然林草资源。(1)加强法规体系建设。《防沙治沙法》、《草原法》、《森林法》作为防治沙尘暴频发的大法,但内容比较概略,有些规定比较原则,一些委任性和平等性条款还需制定配套的专项法律和行政法规,地方上也需因地制宜制定更为具体的实施办法、细则。

和规章,以逐步完善法规体系。全国人大应尽快颁布《防治沙尘暴法》,以适应经济发展形势之需要。(2)加强行政执法。《防沙治沙法》、《森林法》和《草原法》等的颁布实施,只是法制建设的起点,真正做到依法治沙,依法管沙,依法用沙,必须坚持不懈进行法制建设。但由于管理薄弱,执法不力,沙区工程设施受到破坏,沙化有增无减,已严重影响国土安全,要自上而下建立行政执法体系。(3)修改不适合当前形势的法律条款。实践证明《草原法》、《森林法》是两部好的法律,同样受到当时认识的局限性和条件的限制,两法律颁布不久,我国经济进入高速发展和经济体制转轨时期,在执行中出现一些新问题,当前立法的重点抓紧修改《草原法》、《森林法》,完善配套法规,同时,结合“十五”计划,加快《防治沙尘暴法》立法力度,在制定这部大法的时候,应将沙漠化纳入《防治沙尘暴法》之中。

(四)增加资金投入

为使防治沙尘暴适应国民经济发展要求,切实把西部生态环境建设好,中央和地方财政安排国家预算内拨款基本建设投资用于防治沙尘暴的比例要适当增加,在国家财政收入逐年增长的同时,相应增加资金投入力度,除国家投入增加外,实行国家、集体、个人多元化、多层次、多渠道投资,群众投劳也是一种办法,也可采用租赁、承包、股份、合作、荒沙拍卖使用权、独资、合资等形式,吸收各方面资金,形成国有资本、集体资本、私营资本、国外资本和混合资本共同参与的多极投入机制,并通过政策上的倾斜与扶持,保证投资者利益。西部沙尘暴防治需要全面规划,统筹安排,综合平衡,充分协调,否则不仅不能达到工程的预期效益,而且会产生严重后果。根据保护天然林工程、退耕还林(草)工程、封山禁牧、舍饲养羊、禁止滥采野生植物和加快西部自然保护区建设等要求,应合理用好现有资金,扩大治理绿化范围,彻底解决沙化速度大于治理速度的矛盾。建立健全生态效益补偿机制,总结典型经验,先行试点,条件成熟,逐步推开,为实现山川秀美奠定坚实基础,使有效投入发挥出最佳效益。

(五)提高思想认识

提高思想认识不是权宜之计,而是防治沙尘暴工作的一项重要而经常性的基本任务,平时也要居安思危,克服麻痹思想。(1)以可持续发展的观点为指导,正确处理近期利益和长远利益、经济利益和生态利益的矛盾,从维护国家长治

久安、民族振兴,保持社会经济可持续发展的战略高度来认识防治沙风暴的重要性。(2)利用各种宣传手段和新闻媒体,在广大干部和群众中大力宣传沙尘暴的严重危害,以期政府把它放在同经济发展的同等重要位置,使之与西部大开发有机结合,并纳入经济发展战略中考虑。(3)强化政府行为,协调好农、林、牧、水、沙之间的关系,坚决杜绝滥垦、滥伐、滥牧、滥采的违法行为,保护好现有植被,合理利用土地资源和水资源,发展经济,加快脱贫致富步伐,遏止住荒漠化加剧的局面。(4)根据气候生态区域提出植树造林、退耕还林还草、控制超载放牧、草场退化、兴修水利等生态环境建设与保护方案,开发气候—生态综合评估模型,分析生态环境建设对治理沙尘暴的作用和效益。(5)提高农民素质。建议把沙尘暴作为主要国情写入中小学课本,使我国农民从少年儿童时期就对沙尘暴有一定了解。(6)制定优惠政策,积极创造条件,推广节柴改灶,逐步实行以煤代柴,有效保护植被。(7)改善沙尘暴频发区基础设施,促进工农业生产发展。(8)妥善安排好灾民生活,尽量做到灾民有吃、有穿、有住,伤病者得到及时救济和治疗,使生活与社会安定。

参考文献:

- [1]王学健.我国沙尘暴可能进入频发期[N].科学时报,2001-05-27.
- [2]王武功.沙尘暴研究进展[J].中国沙漠,2000,20(4):349-356.
- [3]Pyke K. Aeolian dust and dust deposit[M]. London: Academic Press Inc. Ltd, 1987. 113-126.
- [4]史培军,严平,高尚玉.我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J].自然灾害学报,2000,9(3):71-77.
- [5]吕文.三北地区沙漠化成因及其防治对策[J].防护林科技,2001,(1):28-31.
- [6]刘树坤.我国西部大开发中的灾害与生态环境问题[J].水利水电科技进展,2000,20(5):2-5.
- [7]沈孝辉.追溯沙尘暴之源[J].森林与人类,2000,(12):4-11.
- [8]董玉祥.我国西部大开发中沙漠化灾害防治研究[J].灾害学,2000,(4):19-23.
- [9]刘运河,唐德富.水土保持[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1988.464-505.
- [10]张强,赵雪,赵哈林.中国沙区草地[M].北京:气象出版社,1998.1-33.