



全球沙尘暴警世录

卢琦 杨有林 主编

声 明

鉴于技术原因，本网络版（PDF 格式）并非是印刷版的克隆。如有任何争议和差异则以印刷版为准。特此声明！

中国环境科学出版社

2001 年 8 月 北京

特	别	鸣	谢
ACKNOWLEDGEMENT			

中华人民共和国科学技术部
联合国教科文组织
《联合国防治荒漠化公约》秘书处
提供研究和出版资助

**THIS RESEARCH AND PUBLICATION IS FUNDED BY
MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY,
UNESCO BEIJING OFFICE,
AND THE SECRETARIAT OF UNCCD**

《全球沙尘暴警世录》编写人员

主 编： 卢 琦 杨有林

编写（译）人员（以姓氏笔画为序）

FADHIL A. H. AL-FARAJI LEAH ORLOVSKAYA NIKOLAI ORLOVSKY VICTOR R. SQUIRES

王 森	王式功	卢 琦	田裕钊
任国玉	吴 波	杨有林	杨根生
肖洪浪	陈惠忠	尚可政	拓万全
林光辉	赵爱云	贾晓霞	董光荣
慈龙骏	鞠洪波		

序 言

本书研究的对象——旱地，约占地球表面的 43%左右。其特征可用降雨稀少且变异明显，人类活动影响巨大来概括。正是基于上述原因，《联合国防治荒漠化公约》（以下简称《公约》）应运而生并有 120 多个国家、地区和区域性组织签署了该《公约》。《公约》的任务就是发现存在的问题并尽力遏制荒漠化的扩展。

在干旱、半干旱和亚湿润干旱地区，城镇所遭受沙尘暴袭击的普通经历已成为荒漠化表现的主要形式之一，并由此成为政府和公众采取治理行动的动因。

沙尘暴是广泛发生在世界各地，特别是亚热带地区的一种自然事件；在中纬度的旱地区域更是家常便饭。但更多情况下沙尘暴发生在受人类干扰严重的干旱地区。一旦长期干旱导致表土干化，大风一到沙尘暴必起无疑。

土地管理与沙尘暴密切相关。人类活动导致土地覆盖的减少同样可以通过植被重建和其它补救措施得以逆转。该书记述的许多事例就证明了这一点：沙尘暴的频率和强度通过良好的土地管理实践降到了可以忽略不计地最低限度，如美国和澳大利亚等国的事例。

这本重要著作中记录的许多事实源自中国科学家，这是由中国的沙情所决定的：中国作为受荒漠化严重影响的国家之一，58%的土地归属于干旱、半干旱类型，几乎 1/3 的国土遭受荒漠化影响；其影响形式包括耕地或草场遭到沙埋和侵蚀、森林生态系统遭到破坏，华北和西北地区大面积遭受沙尘暴侵袭等。荒漠化造成的经济损失每年在 65 亿美元以上，占全球经济损失的 16%。

50 年代以来，中国沙化面积扩展已经吞噬掉 70 万公顷农田、235 万公顷草牧场、640 万公顷林地。现有荒漠化土地超过 260 万平方公里，且仍以每年 2460 平方公里的速度扩展，同 70 年代的 1560 平方公里和 80 年代的 2100 平方公里相比，扩展速率明显加快。由于沙漠蔓延和风沙尘暴的威胁，为数不少的村庄（估计达 24000 个）受到流沙埋没，1400 公里的铁路线、3 万公里的公路、5 万公里的灌渠、引水渠等时常受到荒漠化的威胁。

风沙尘暴埋没了众多村社，袭击了城市，广大公民受害非浅。荒漠化不可避免地产生了生态环境破坏。由于人口的快速增长、非可持续的人类活动，诸如过度改变土地利用方向、过度放牧、乱砍滥伐、水资源利用不当等加剧了荒漠化发生和扩展的速度。

令人欣慰的是，在澳大利亚、美国和其他地区所做的一些实例研究表明，人类在防治荒漠化领域是可以有所作为的。

协助各国政府扭转荒漠化扩展的趋势正是《公约》的职责。本书的编辑出版恰恰适逢了秘书处希冀交流全球各地防治荒漠化经验的契机。

希望本书的出版不仅仅惠及全球的旱地居民，而且对旱地管理者和决策者也有所裨益。

哈玛·阿巴·迪亚洛 (Hama Arba Diallo)

《联合国防治荒漠化公约》常设秘书处执行秘书

2001 年 5 月于波恩

目 录

序 言		页码
引 言		
	第一篇 沙尘暴机理、过程研究	
第 1 章	全球沙尘暴研究进展评述	1
第 2 章	荒漠化与气候变化的相互作用	17
	第二篇 北美黑风暴：两个具有警示意义的故事	
第 3 章	美国 30 年代的黑风暴和 90 年代的沙尘暴	31
第 4 章	挑战沙尘暴：加拿大大草原地区的经历	41
	第三篇 澳洲、非洲的沙尘暴实例研究	
第 5 章	干旱大陆上最干旱省份—南澳洲的沙尘暴	71
第 6 章	非洲大陆萨赫勒地区的沙尘暴与人类活动	79
	第四篇 来自中亚的沙（盐）尘暴报告	
第 7 章	中亚地区六十年代的白色盐（沙）尘暴	105
第 8 章	伊拉克防沙止漠、减尘降暴的经历和举措	137
	第五篇 中国搏击风沙灾害及防尘减暴的战斗历程	
第 9 章	河西及阿拉善地区沙尘暴频发的原因与对策	145
第 10 章	中国西北地区 5·5 特大沙尘暴实例分析	157
第 11 章	2000 年环北京沙尘暴成因、过程及其影响分析	185
	第六篇 中国荒漠化发展的未来趋势与防治对策	
第 12 章	中国强沙尘暴灾害及其荒漠化的未来扩展趋势	199
第 13 章	中国风沙灾害加剧的成因与防沙止漠科技对策	207
附 录：		
	1、20 世纪下半叶中国西北地区主要沙尘暴事件纵览	235
	2、20 世纪 70~90 年代中国西北地区 5 次强沙尘暴天气状况及危害	244
	3、涉及沙尘暴和荒漠化的部分互联网资源（INTERNET WEB SITES）	245-275

引言

沙尘暴作为发生在沙漠及其邻近地区特有的一种灾害性天气，是沙暴(sand storm)和尘暴(dust storm)两者兼有的总称，是大量沙尘物质被强风吹到空中，致使空气浑浊(水平能见度小于1千米)的严重风沙天气现象。其中沙暴系指8级以上的大风把大量沙粒吹入近地面大气层所形成的携沙风暴；尘暴则是指大风把大量尘埃及其它细微颗粒物卷入高空所形成的风暴。

1993年5月5日，中国西北地区发生了有史以来罕见的特大沙尘暴（亦称黑风暴），席卷了甘肃、新疆、宁夏、内蒙古四个省、自治区的18个地（市）的72个县（旗）；直接影响面积约110万平方公里，农作物受灾面积达37.3万公顷，死亡和丢失牲畜12万头（只），受灾牲畜73万头（只）；区域内受影响人口1200万，其中伤亡380多人；仅甘肃、新疆两省、区的直接经济损失就高达4亿多元。

2000年的春天，一个不安份的沙季。黄沙翻滚，尘埃弥天。风起3·17，吹沙扬尘13场，覆盖了大半个中国；还飘洋过海，远走太平洋。

2001年的元旦，不甘寂寞的沙尘暴早早地就吹醒了尚在冰雪覆盖下冬眠的兰州大地，再次向世人警示它的存在。

1979年的早春，人民日报发表了一篇题为《风沙紧逼北京城》¹的记者来信，文中记述了北京春天的风沙肆虐：“在北京，大风一起，大街小巷尘土飞扬，扑面而来的风沙吹得人睁不开眼……白昼如同黄昏。”

20年后，人民日报再次刊发文章说《风沙依旧紧相逼》²：“我国北方地区又连续发生大风扬沙或沙尘暴天气，其中北京和天津等地先后遭受12次沙尘袭击，其发生的时间之早、频率之高、强度之大、影响范围之广，为近50年来所罕见。”

历史给我们开了一个不大不小的玩笑，着实幽了一个大黑默。

如果说20年在人类历史长河中仅是弹指一挥间，且仅仅中国的典例有以偏盖全之嫌的话，让我们回溯到20世纪100年的时间隧道，遍查世界四大洲的历史典籍，试看沙尘暴曾经“风”狂到了“极点”？

20世纪30年代，美国西部大平原。

1935年4月14日(黑色星期天)：“在数周沙尘暴发生之后（包括发生在3月底那场摧毁了500万英亩麦田的沙尘暴），人们终于感激地看到太阳出来了，纷纷外出打工、上教堂、出门野营，或是在蓝天下沐浴阳光。下午时分，气温骤然下降，鸟不安地啼鸣。突然，一股黑云出现在地平线上，急速翻滚涌来。路上的行人在沙尘中搏击着赶回家，有些人则不得不在半途中停下来，在废城旧址中寻找藏身之地。就这样在漆黑中静坐了4个多小时，时刻担心会窒息而死；之后，继续上路……”。

¹ 李一功、黄正根等，风沙紧逼北京城。人民日报，1979年3月6日

² 丁伟，风沙依旧紧相逼。人民日报，2000年6月19日

发生在这个“黑色星期天”的沙尘暴是美国历史上最严重的沙尘暴之一，以至于它造成的损害在过了很多年以后还不能完全估算出来。阿卫斯·卡尔森在他《新共和国》杂志的文章中写道：“就像用铁锹往脸上扬沙一样”。“人们在自家庭院赶上沙尘暴，都得摸着台阶进门。行进中的汽车必须停下，因为，世界上没有一只车灯可以照亮黝黑的沙尘漩涡……。这次沙尘暴是所有沙尘暴中最为可怕的一次梦魇，但是在偶然的晴朗白天和平常的阴沉天气，我们都无法摆脱沙尘恶魔的纠缠。我们整天与沙尘生活在一起，呼着灰气、吃着尘埃，天天看着沙尘剥夺我们的财产，使我们发财的希望变得渺茫、化为沙尽。诗情画意般的春天变成了古代传说中的幽灵，噩梦变成了现实。”

由于沙尘暴，几百万公顷的农田废弃，几十万人口流离失所。当看到旱灾和沙尘暴没有暂停的迹象，众多人口抛弃了他们的土地，其他滞留下来的人，在丧失了银行抵押土地的返还权时，也被强迫迁出家门。总计有 1/4 的人口，卷起所有行头，乘着各种大小机动车，向着西部的加利福尼亚州迁移，相当数量的地区几乎成了“荒芜人烟的空城”。

“黑风暴”引起的大量人口迁移在美国历史上是最大的一次人口移民，到了 1940 年，大平原几个州共有 250 万人口外迁，其中有 20 万涌入加利福尼亚州。正如 1935 年《矿工杂志》中所描写的那样，当这些“生态移民”来到边境时成了不受欢迎的人。一位开着破车的当地司机，挺直腰板歇斯底里地狂叫，就像一部失灵的机车上每一个铰链、轴承，连接部位都在发出刺耳的怪叫声一样：‘加利福尼亚的救济名单现在严重满员，再来已无济于事’，而几乎崩溃的逃难者却不管他在说什么，只管左顾右盼地照看着自己庞大的家庭成员，紧随其后。他们人挨人，几乎水泼不进，挤进去后再想挤丢都是不可能的事。实际上洛杉矶警察局长不得不动用 125 名警察，在州界充当人墙，劝阻‘这些不受欢迎的人’”。

20 世纪 50 年代，中亚哈萨克斯坦。

1955 年 4 月，伏尔加河下游发生了又一次密集强烈的白色盐（沙）尘暴，当年第一次盐（沙）尘暴于 4 月 10 日，发生在里海-咸海盆地整个地区。东风和东南风风速达到 15~20 米/秒，在 3000 米的高度，风速达 50~60 公里/小时，气流卷起地面的粉尘和盐尘，并搬移、漂浮到伏尔加河的中游、下游地区。好几个气象台站记录了 4 月 11 日和 12 日两天粉尘、盐尘弥漫的干旱阴霾天气。在卡尔梅克加盟共和国的埃利斯塔城，4 月 11 日上午 6 时出现了盐（沙）尘暴，下午 4 时达到最高峰，直至次日下午 5 时停止。迎风面地面物体和植被上落了 0.1 毫米厚的一层灰白色粉尘。经化学分析得出结果，47.4% 为可溶盐沉降物，52.6% 为不可溶残积物。总盐量中，硫酸盐高达 90.6%，氯化物 7.4%，重碳酸盐 2%。据初步估计，每一公顷土地沉降了 25 公斤的硫酸钠。1955 年 4 月 18~22 日，再次发生更强的风沙盐（沙）尘暴，根据强度与范围来看，这些盐粉沉降物属于罕见现象。4 月 18 日这一天，哈萨克斯坦西部风速达到 15~20 米/秒，有些地段高达 20~25 米/秒，几近飓风风力。风卷盐（沙）尘暴形成巨大的沙尘云团直袭哈萨克斯坦西北地区、北部地区和伏尔加河流域中上游地区；4 月 19 日，盐（沙）尘暴抵达高尔基市，形成阴霾天气，能见度 1000 米。

根据航空观测，盐（沙）尘云团高达 3000~4000 米，当干热盐（沙）尘暴出现在东南方向的刹那，地面、物体、植被以及牲畜身上覆盖了一层略苦味道的白色沉降物，沉降物厚度达 1~2 毫米，有些地段达到 2~4 毫米。化学分析结果显示，沉降物主要是硫酸钠、氯化钠、镁盐、石膏颗

粒和硅石颗粒物。如前所述，曾经发生过白色盐暴，但是，1955年4月18~22日的盐粉尘暴影响极大，危害范围达到50万平方公里。

20世纪30~80年代，加拿大。

1996年，哥雷用下面生动的语言描述了30年代发生在加拿大大草原地区的尘暴：“大风卷起表土，就像大雪般弥漫了艾伯塔的铁路，尘暴将萨克其万贫瘠地上的表土吹蚀、搬运、堆积到了万顷良田上。里贾纳、穆斯乔和斯威夫特卡伦特等三个城市里里外外都蒙上了一层厚厚的尘土。温尼伯金黄的外衣受到了沙尘的洗礼。冬季降雪使得道路无法通行，而夏季风沙尘暴使得道路又一次瘫痪。风沙流埋没了居民的院墙和篱笆，阻塞了防风林带，压埋了菜园、果园和花园。沙土漫过了鸡舍，撕裂窗户，家家室内灌满了尘土沙子，门前堆积了黄沙，使得人们出不了门，离不了村，走不了路。真可谓，风沙迷漫出门难，一场风沙毁家园”。

20世纪整个30年代，风蚀和干旱极为严重。就这一段时间来说，大草原地区的250个城市、700多万公顷土地受到了旱灾的影响。风蚀到底摧毁了多少农田，没有准确的记录。当时，土地表土被剥蚀的局面用“失控”形容一点不为过。20世纪30年代的这场大风和干旱也带来了蝗虫灾难。艾伯塔发生蝗虫的第一年，受到严重袭击的面积大约4100平方公里，到1939年，蝗虫袭击面积达到15.5万平方公里。萨克其万受到中度袭击的面积由1931年的4000平方公里，增加到26万多平方公里，超过全省国土面积的40%。

沙尘暴和干旱摧毁了城镇和粮田，给人们的财产和粮食生产带来了不可估量的损失。以1988年的沙尘暴和干旱为例，直接生产损失估计达到18亿加元。加拿大政府花在这次灾难中的保险和补助金达14亿加元。各省政府也由于沙尘暴和干旱等自然灾害，遭受了粮食损失的巨额费用。平均来算，萨克其万省损失最为惨重，每年超过1.3亿加元（按1995年不变价计算），马尼托巴的粮食损失费用每年大约在3000千万加元。据估计，大草原地区三省每年因风蚀花在农场上的开支大约为2.49亿加元。

加拿大沙尘暴/干旱最为严重的灾害及其费用（加元）

日期	灾害	地区	经济损失（按89年不变价计算）
1936年	尘暴、干旱、热浪	所有各省	小麦损失5.14亿元
1961年	沙尘暴、干旱	大草原三省	小麦损失6.68亿元
79~80年夏	沙尘暴、干旱	大草原三省	25亿元
1984年	尘暴、干旱、热浪	西部各省	10亿元
1988年夏	尘暴、干旱、热浪	大草原三省+安大略省	18亿元的产品损失、40亿元出口损失

20世纪70年代，非洲大陆。

60年代末和70年代初（1968~1973），发生在撒哈拉沙漠南部边界——苏丹-萨赫勒地区的干旱和荒漠化生态灾难，是除了20世纪两次世界大战之外，近百年人类史上最悲惨的灾难：损失了一半家畜和200万头游牧牲畜，600万以上的生态难民流离家园，造成了几十万人死亡。

英国牛津大学地质学院的研究记录表明，自1900年以来，英国共经历过17次撒哈拉沙漠降尘。一次降到英国的来自撒哈拉沙漠的降尘量可达1000万吨。这是一些直径仅有1%毫米的红色

尘埃，呈碱性，在空中飘移距离达 1200 英里。埃尔·巴兹认为，撒哈拉尘暴搬运的微细颗粒集中于大气层中 1.5~3.7 公里的高度上。每年有 2500~3700 万吨尘埃输送到赤道以北的大西洋地区，有的穿过西经 60° 线沉降。有人研究发现，海底沉积物中风吹来的沉降粉尘占 20~75%，陆地上有大面积的黄土及类似黄土的覆被层，证明干旱、半干旱的沙漠地区不仅是沙尘暴的形成地，也是粉尘、盐分向外输出的源产地。Duce (1983)、Martin & Gordon (1988) 和 Barrow (1991) 等人进一步确认，每年参与地球化学循环的 10^6 吨磷元素中有一半以上是从撒哈拉沙漠以浮尘传输形式输送到北大西洋的，而北太平洋 95% 的可用铁元素是通过大气环流过程从中国中部沙漠传输到海洋。

20 世纪 90 年代，澳大利亚。

澳大利亚中部和西部海岸地区沙尘暴的发生最为频繁，每年平均达 5 次以上。沙尘暴的发生还表现为鲜明的季节性，晚春（9 月或 10 月）和夏季（2~3 月）最为显著；在南澳旱农耕作区及其毗邻地区，冬雨降临之前的晚秋也会发生沙尘危害。沙尘暴的影响范围水平可达数百公里，垂直距离高达上千米。1993 和 1994 年发生在澳大利亚最严重的沙尘暴给东部沿海城市以及周围的城镇带来了毁灭性的破坏。1993 年，南澳东部的平原发生了一次大规模的沙尘暴。大量的土壤被大风吹蚀，降尘覆盖了澳大利亚东部和新西兰，绵延 1800 多公里。细小的土壤颗粒被卷入大气，导致尘土随着气流围绕地球环绕了三圈。1994 年也有类似现象发生。沙尘暴席卷了西澳、南澳和新南威尔士西部。据估算，这几个州的农业主产区大约损失了 1000 万到 1500 万吨表土，这些表土被大风席卷，以沙尘暴形式殃及澳洲大陆的大部分地区。南澳平均每年 8.5 天的沙尘天气，空气中的浮尘量足以引发哮喘病的爆发，据估计南澳 20% 的哮喘病问题与空气中的浮尘有关。

大量研究业已表明，沙尘暴与土地荒漠化密切相关，全世界四大沙尘暴多发区（即中亚、北美、中非和澳洲）无一不是荒漠化重灾区。中国的沙尘暴多发区属于中亚沙尘暴区域的一部分，主要位于北纬 35°~49° 度、东经 74°~119° 度的广大北方地区，东西绵延 4500 公里、南北跨越 600 公里。西北地区最大的强沙尘暴出现区域，一个是西起吐鲁番、哈密地区，东接绵延千余公里的甘肃河西走廊，北连内蒙古阿拉善盟，东扩外延到河套地区；另外一个北疆克拉玛依地区、南疆的和田地区及青海西北部地区的三个局地性沙尘暴区。

触目惊心的事实已经摆在我们面前。由此可见，人类可以跨越技术的束缚，但终将摆脱不了自身的羁绊。自人类社会出现以来，人类就不断地从自然界获得其生存所必需的物质资料，在整个自然界中与人类关系最为密切的是土地，人类的衣食住行都离不开土地。技术进步为人类开发资源提供了更大的空间，伴随着人类文明脚步，特别是人口的急剧增加，人类对土地的索取已大大超出了土地本身的承载能力，其结果必然是导致土地的退化，长此以往，人类文明的发展将最终毁灭人类自身。

历史学家曾一度悲观地断言：“文明人跨越地球表面，在他们的足迹所过之处留下的必将是一片片荒漠。”而人类的可悲之处恰恰在于被历史学家一次又一次不幸言中！

5000 年前的古埃及，这里土地肥沃，森林茂密，滔滔尼罗河滋润万物，人民世代在这里辛勤劳作，繁衍生息。然而仅仅 600 年的文明好景，换来的却是近 3000 年的无尽荒凉和贫穷，至今仍蹲在金字塔旁的司芬克斯面挂风尘和忧伤，那深陷的眼窝中闪烁着凄然的泪光，似乎在向过往的行人询问另外一个谜——“埃及文明的遗物究竟还能持续多久？”

在现今伊拉克的地方，曾经诞生过另一个古代文明——美索不达米亚文明。它与埃及文明交相辉映，共同开启了人类文明的曙光。正是这块土地曾经诞生过一个强盛的帝国——古巴比伦王国。苏美尔人世代在底格里斯河和幼发拉底河冲积平原上农耕劳作，几经沧桑，几度兴衰，最后留下的却只有两河流域的不毛之地——伊朗沙漠。那座曾为历史七大奇迹之一的巴比伦空中花园，最终默默地长眠在茫茫流沙的怀抱，成为留给考古学家研究的遗迹。

在中国的北部疆土，有一条脊背隆起，昂首欲跃的巨龙，是它的乳汁孕育了一个光辉灿烂的华夏文明。这就是中国的母亲河——黄河。上起殷商，下至北宋，长达 3000 年的时间跨度，黄河流域一直是中国政治、经济、文化中心。在这片黄土地上，先祖们向世界贡献了印刷、造纸、火药、指南针。四大发明“改变了整个世界的面貌和状态，以致没有任何帝国、任何派别、任何星球，能比这些技术发明对人类进步产生更大的动力和影响”（培根语）。正是那片黄土孕育了中华民族的灵气和睿智——早在四千年前这里就出现了农业，并一直是林木茂密、麦浪翻滚的富庶之乡。

然而，今天的黄土高原却是一片瘦骨嶙峋，黄沙肆虐，干涸贫瘠的疆土。昔日的茂林密草早已荡然无存，留下的只有那每年 16 亿吨向黄河输送的滚滚泥沙，其中 4 亿吨粗沙因太重而无法伴水入海，造成下游河道以每年 10 厘米的速度抬升，促使黄河长成了一条高挂半空的地上“悬河”。

再看看西北的楼兰、罗布泊、居延海...等一个个近代文明的沙埋和消亡，已经为世人立下了一座座历史明镜。

以古为鉴，可知兴替。历史的经验值得注意。

正是基于上述考虑和目的，我们邀请了世界四大洲对沙尘暴感兴趣的十几位同行，共同完成了这本记录地球自然灾害和人类奋斗历程的书稿。今天奉献在各位面前的就是集体智慧和辛勤劳动的结晶。继续关注沙尘暴，将是我们长久的使命，同时也希望有更多志同道合者加入到这一行列中来，为在地球上及早遏制并最终消灭沙尘暴而努力。

在本书即将付梓之际，请允许我们代表全体编写和翻译人员，借此机会向所有对沙尘暴研究和专著出版提供资助和支持的国内外机构和友好人士表示衷心的感谢：科学技术部农村与社会发展司，中国防治荒漠化研究与发展中心，中国林业科学研究院，联合国教科文组织（UNESCO）驻华代表处何贝尔（Axel Hebel）博士，联合国防治荒漠化公约（UNCCD）秘书处执行秘书哈玛·阿巴·迪亚洛（Hama Arba Diallo）先生、郑瑞先生。愿将感激之意化作奋进之心，惠存永远。

本书的出版仅属沙尘暴研究的部分阶段性成果，其中涉及的一些深层次问题尚待进一步探索和研究。时间仓促，错误和疏漏在所难免，恳切希望同行批评指正。

路漫漫其修远兮，吾将上下而求索。

卢琦 杨有林 谨识
辛巳年初夏于北京

第一章

世界沙尘暴研究进展

王式功¹ 董光荣² 陈惠忠² 尚可政¹

(1. 兰州大学资源环境学院大气科学系 甘肃 兰州 730000)

(2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 沙尘暴是一种危害极大的灾害性天气。它的发生发展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。本文从沙尘暴的基本特征与危害, 沙尘暴形成原因分析与数值模拟研究, 沙尘输送及沙尘暴灾害防灾减灾对策研究等几方面, 对沙尘暴的有关研究成果进行了简要的回顾, 较系统地反映了沙尘暴研究的某些进展。

关键词: 沙尘暴; 研究进展

荒漠化作为一个全球性的重大环境问题, 已受到广泛关注, 它与全球气候变化、生物多样性一起构成当今世界三大科学前沿课题。众所周知, 荒漠化是由自然因素(主要是气候因素)和人为因素两方面共同作用的结果。其中沙尘暴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体现, 具有一定的指示意义。因此, 对沙尘暴进行全面、系统、深入的研究, 有助于搞清荒漠化过程中的某些动力学机制。

沙尘暴是发生在沙漠及其邻近地区特有的一种灾害性天气。国外从本世纪 20 和 30 年代就开始了沙尘暴时空分布、成因与结构以及监测与对策方面的研究。我国从 70 年代开始对沙尘暴天气进行研究, 自 1993 年 5 月 5 日我国西北地区的特强沙尘暴天气发生后, 引起了我国政府和科学工作者们的高度重视, 有力地推动了沙尘暴研究的广泛开展, 于 1993 年 9 月在兰州召开了“首届全国沙尘暴天气研讨会”。之后 1993 年 11 月 29 日国家科委又召开汇报会, 将沙尘暴研究正式列入“八五”攻关项目。1994 年以来, 国家自然科学基金委先后资助了多项沙尘暴方面的研究项目, 部分省、市的有关科技部门也立项支持对沙尘暴进行研究。特别是 2000 年春季以来, 由于沙尘暴发生次数的明显增多, 再一次向人们敲响了生态环境加快恶化的警钟, 唤起了全民的广泛关注。因此, 我国政府各有关部门(如科技部等)进一步加大对沙尘暴研究及其防治措施的支持力度, 沙尘暴研究与防治高潮迭起。

本文对国内外近期就沙尘暴的有关研究作一简要回顾, 旨在进一步提高对沙尘暴重要性的认识, 促进沙尘暴研究的深入开展, 拓宽沙尘暴防治对策研究的有效途径。

1. 沙尘暴的基本特征与危害

1.1 沙尘暴定义、命名与等级划分

沙尘暴(sand-dust storm)是沙暴(sand storm)和尘暴(dust storm)两者兼有的总称, 是大量沙尘物质被强风吹到空中, 使空气很浑浊(水平能见度小于 1 千米)的严重的风沙现象。其中沙暴系指 8 级以上的大风把大量沙粒吹入近地面气层所形成的携沙风暴; 尘暴则是指大风把大量尘埃及其它细粒物质卷入高空所形成的风暴(赵兴梁, 1993)。

关于沙尘暴不同的国家或地区有不同的命名, 如在印度西北部地区, 将季风到来之前的季节内出现的对流性沙尘暴, 称其为安德海(Andhi); 在非洲和阿拉伯地区称之为哈布 (Haboob)(Joseph et al., 1980); 另有的地区称之为“phantom”, 即“鬼怪”的意思(Wolfson et al., 1986)。

对沙尘暴强度的等级划分, 一般采用风速和能见度两个指标。如 Joseph 对发生在印度西北部的沙尘暴划分为三个等级: 即 4 级<风速≤6 级, 500m≤能见度<1000m, 称为弱沙尘暴; 当 6 级<风速≤8 级, 200m

≤能见度<500m 称为中等强度的沙尘暴；而风速 ≥ 9 级，能见度<200m,则称之为强沙尘暴。我国对沙尘暴的定义,与上述的定义大体相同,只是在强沙尘暴的等级范畴内,又划分出了强和特强沙尘暴,即 50m≤能见度<200m 时,称为强沙尘暴,当其达到最大强度(瞬时最大风速 $\geq 25\text{m/s}$,能见度<50m,甚至降到 0m)时,称为特强沙尘暴(或黑风暴,俗称“黑风”)(徐国昌等, 1979)。

1. 2 沙尘暴时空分布的统计特征

1. 2. 1 空间分布

与土地沙漠化区域相联系,全世界有四大沙尘暴多发区,分别位于中亚、北美、中非和澳大利亚(颜宏, 1993)。我国的沙尘暴区属于中亚沙尘暴区的一部分,主要发生在北方地区。总的特点是:西北多于东北地区,平原(或盆地)多于山区,沙漠及其边缘多于其它地区。且主要集中在两大区域:一个位于塔里木盆地的塔克拉玛干沙漠,在其西南部又有两个中心,即从麦盖提经巴楚至柯坪为一中心,平均年沙尘暴日数为 20.0-38.8 天;从莎车经和田到且末为另一个中心区,平均年沙尘暴日数为 25-35 天。从巴丹吉林沙漠东部,南至甘肃河西走廊,经腾格里沙漠、乌兰布和沙漠,至库布齐沙地和毛乌素沙地,是另一沙尘暴多发区,也是西北地区涉及范围最大的沙尘暴多发区,其中最大中心在腾格里沙漠边缘的民勤,年平均沙尘暴日数为 37.7 天;其次是库布齐沙地的杭锦旗和毛乌素沙地南部的定边分别为 27 天和 25.9 天(王式功等, 1995)。有关对西北地区强和特强沙尘暴个例谱的统计分析(贺慧霞等, 1993)表明:我国西北地区最大的强沙尘暴出现区域西起吐鲁番、哈密地区,东接蔓延达 1000 公里的甘肃河西走廊,北连内蒙古阿拉善盟,东去延伸到河套地区。另外在北疆克拉玛依地区、南疆的和田地区和青海西北部地区还有三个局地性沙尘暴区。

1. 2. 2 时间变化

据对深海岩心和冰盖沉积物的测定,早在白垩纪末(距今 7000 万年),就有风沙尘暴出现。据地方志记载,公元 351 年甘肃武威一带就有强沙尘暴发生,造成房屋倒塌和人员、牲畜伤亡。在漫长的地质历史时期,沙尘暴显示出周期性变化,它与地质时期气候变化和地面沙尘物质的消长有关。遇气候暖湿时期,地面植被生长茂密,生态环境条件好,沙尘暴发生频率低;反之,在冷干气候时期,则沙尘暴发生频率高(夏训诚等, 1996)。现代沙尘暴的详细记录是从新中国成立以后开始的。在我国西北地区,近半个世纪以来的变化特点是:50 年代沙尘暴发生日数最多;60 年代前期略有降低,60 年代后期的 67 和 68 年降到最低,即发生日数最少;之后的 70 年代略有增加,80 年代又处于相对偏少期,90 年代初以来又有一定增加,特别是 2000 年增加最为明显。不同干旱气候区又有一定的差别,其中极干旱区,中部干旱区和半干旱区与整个西北地区总体情况基本一致。但北疆干旱区却有明显的差别,即 50 年代后期到 70 年代前期一直处于负距平阶段,70 年代后期至 80 年代末,一直处于正距平阶段。我国沙尘暴的季节和月份变化特点是:春季最多,约占全年总数的一半(特别是强沙尘暴主要发生在春季),夏季次之,秋季(新疆地区为冬季)最少;按月份来看,4 月份发生频率最高,3 月和 5 月份次之,秋季的 9 月份(新疆为 12 月或 1 月份)最低(王式功等, 1996)。刘景涛等(1998)对内蒙古中西部地区的分析结果也表明,4 月份沙尘暴出现频率最高,春季(3~5 月)占全年的 73%。墨西哥城的沙尘暴是 3 月份发生频率最高,一般在连续三个月降水量小于 13mm 的 3 月份,容易出现沙尘暴。在秋季的 9 月份出现频率最低(Jauregui,1989)。在印度西北部的沙尘暴也主要发生在 4~6 月份,这与我国新疆境内沙尘暴的多发期相一致。

沙尘暴也具有明显的日变化特征,据王式功等(1995)对 1994 年 4 月上旬发生在我国西北地区沙尘暴发生频率日变化的研究表明:沙尘暴主要发生在午后到傍晚时段内,占总数的 65.4%,清晨到中午时段内,仅占 34.6%。在甘肃河西走廊中部地区,黑风暴大都出现在中午 12 时至晚上 22 时的时段内(付有智, 1994)。

1. 3 气象要素场演变特征

特强沙尘暴的风头象一道黑墙,一般自西向东(或自西北向东南)迅速推移。在其过境前后,气象要素变化十分剧烈,过境前温度很高,气压很低,天气晴好,风速很小;黑风暴一到,顿时狂风大作、沙尘飞扬,气压猛升、温度剧降。在 1977 年 4 月 22 日发生在甘肃河西走廊的黑风暴天气过程中,张掖站黑风暴过后 10 分钟内,气压猛升 2.8hpa,气温下降 6.8℃,风向由偏东转为西北偏西,平均风速猛增到 20m/s 以上,瞬时最大风速超过 30m/s(徐国昌等, 1979)。在 1993 年 5 月 5 日的黑风暴天气过程中,甘肃省的

金昌市, 10 分钟内气压涌升 3.1hpa, 永昌 3 分钟内气压涌升 2hpa, 并且气压曲线都出现涌升后又降的“气压鼻”现象(陈敏连等, 1993)。

Joseph(1980)对印度西北部“*Andhi*”型对流沙尘暴的研究结果表明:当强沙尘暴过境时, 能见度可由 3km 迅速降至 200m, 甚至近 100m; 风速可由 4m/s 猛增至近 20m/s, 增大 4 倍多; 气温降低 5℃左右, 相对湿度增加 10%以上。在 1976 年 5 月 20 日的一次沙尘暴过程中, 印度的德里机场在两分钟左右的时间内, 能见度由 4000 多米迅速降到 280m; 温度从 38℃迅速降到 25℃, 相对湿度从 31%快速上升到 70%, 风速达到 73-80km/hr, 有关对波斯湾和阿拉伯湾地区春季沙尘暴的研究结果(McNaughton, 1987)表明, 上述几种气象要素也有类似的变化特征。

1.4 卫星云图与光学特性

郑新江等(1995)对沙尘暴天气云图特征的研究结果表明:1993 年 5 月 5 日发生在我国西北地区的特强沙尘暴天气过程中, 在卫星(NOAA)拍摄的可见光云图上, 沙尘暴区是在云团与锋面云带之间的灰白色调区域, 其反照率特征是, 沙尘暴区顶部结构均匀, 顺着风向有纹理, 色调呈浅灰色, 有高云的暗影存在。沙尘暴区反照率与云团和地表的反照率有明显差别, 地表反照率最低, 达 15%左右; 沙尘暴顶部比地面高, 达 24%; 云团的反照率最高, 达到 51%。在红外卫星云图上, 沙尘暴、云团和地表的温度有明显的差异。其中, 云团的温度最低, 集中在-54℃附近; 沙尘暴区温度次之, 集中在-3℃附近; 地表温度最高处可达+39℃。根据其温度特征, 并配合探空资料, 可确定出 1993 年 5 月 5 日特强沙尘暴顶部高度为 2100m 左右。

徐希慧(1997)对沙漠地区(塔克拉玛干沙漠)沙尘暴的卫星云图特征的研究结果表明:在可见光卫星云图上, 陆地表面有水体、雨迹, 森林覆盖的地方反照率最小, 呈黑色; 有作物、牧草、荒漠草原覆盖的地区为深灰色或灰色; 在干旱气候区的沙漠, 由于植被稀少, 反照率较大, 呈现灰色或浅灰色; 云系和高山积雪则反照率最大, 为灰白色或白色; 而沙尘暴所形成的“沙尘羽”和低云相似, 呈灰白色, 两者的区别在于, 低云边界清楚, 外形呈现出一定的形状或因扰动而起伏不平; 沙尘暴则是边界不清楚, 呈比较均匀的羽毛状, 分布在云系的下面, 容易与云系区分。“沙尘羽”的分布受地形走向影响, 它的边缘往往和盆地边缘一致。杨东贞等(1991)对 1988 年 4 月份出现在北京地区上空的沙尘暴卫星云图特征的分析也表明, 沙尘暴区在可见光卫星云图上呈现浅灰色。

江吉喜等(1995, 1997)运用 1 小时间隔的 GMS-4 数字展宽红外资料分析了 1993 年 5 月 5 日下午到夜间发生在甘肃和宁夏等省(区)的特强沙尘暴的成因后指出, 通过卫星云图资料可以分析出此次特强沙尘暴过程中强冷锋前部的中尺度对流系统(MCS)及其伴随的爬线的卫星云图特征。由于气象卫星资料的时空分辨率高, 在一张云图上可以看到从行星尺度到天气尺度、中尺度以及风暴对流单体等各种不同时空尺度的天气系统, 并可展示出该系统中正在发生着的动力和热力过程。因此, 将卫星云图资料与常规资料相结合使用, 可以大大提高对沙尘暴天气系统发生、发展机理及结构特征的认识, 增强对它们的中、短期预报和警报能力。

沙尘暴, 尤其发展成黑风暴时, 具有独特的光学特性。如 1993 年 5 月 5 日发生在我国西北地区的黑风暴, 据当时金昌等气象站的目击者记述, 黑风暴临近前, 可看到 300-400m 高的“沙暴壁”, 形似原子弹爆炸后的蘑菇状烟云, 呈现上黄、中红、下黑三种颜色的旋转式沙尘团。王式功等(1993)对这一现象从光学角度给予了解释。他指出:太阳光是由赤、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种颜色的单色光组成的, 且它们的波长是依次递减的(0.75-0.4 μ m), 太阳光通过大气层时, 由于大气层最上层中的微粒直径最小, 它能散射掉一部分太阳光中的紫色光, 所以, 高层大气中天空是呈紫色的。太阳光再通过中低层大气时, 该层大气中的尘埃微粒直径因与蓝光波长相当, 故又把太阳光中的蓝色光散射掉一部分, 所以我们看到该层的天空是蔚蓝色的。在沙暴壁中, 由上升气流产生的上举力较大, 沙暴壁低层的沙尘粒径最大, 中层次之, 上层主要是浮尘。因浮尘微粒能把太阳光中的黄色光散射掉, 所以我们看到的是黄颜色。太阳光再通过沙暴壁中层时, 较大直径的微粒又将太阳光中红色光散射掉, 所以看到中层呈红色。因太阳光通过整个大气层, 再穿过沙暴壁的上层和中层时, 其七种颜色的光已被全部散射、反射或遮挡住了, 故沙暴壁最下层为黑色的。

邱金桓等(1994)采用激光雷达和光度计对 1988 年 4 月北京地区的三次沙尘暴天气过程进行了综合

测定, 结果表明:沙尘暴出现前, 北京大气柱气溶胶光学厚度在 0.11-0.25 之间变化,均值为 0.18。但沙尘暴出现以后, 光学厚度的均值高达 5.27,后者比前者偏大 20 多倍。在沙尘暴最强时段(11 日 08:00-11:00 时)天空发黄, 大气柱气溶胶云的光学厚度在 8 至 15 之间变化, 这一特性主要是由高空输入和地表刮起的沙尘粒子的大量增多所致。“黑河地区地气相互作用试验研究”期间野外实测沙尘气溶胶资料的分析结果也表明, 4 月份沙尘气溶胶消光系数或光学厚度比 10 月份大得多, 0.1-1.0 μm 的粒子是最主要的消光粒子。

1. 5 沙尘气溶胶的物理化学及辐射特性

沙尘暴天气过程中, 沙尘中各元素的浓度差异也很大。如杨东贞等对 1988 年 4 月 9-12 日出现在北京地区一次强沙尘暴的测定结果为:元素浓度>500ppm 的有 Al、Fe、K、Mg、S、P、Ti、Na; 浓度为 100-500ppm 的有 Mn、Ba、V; 浓度为 1-100ppm 的有 Zn、Ni、Pb、Cr、Co、Cd。杨东贞等(1995)对 1990 年 4 月发生的两次沙尘暴的分析结果表明:沙尘气溶胶中以地壳元素为主, 主要存在于大粒子($d>2.1\mu\text{m}$)中, 一些人为排放污染元素主要分布在小粒子($d<2.1\mu\text{m}$)中, 所以沙尘气溶胶中的元素主要来自于自然源。

沙尘元素的富集特征与元素的物理化学性质及其来源有着密切的联系。对上述 1988 年 4 月一次沙尘暴过程的测定, 其元素富集因子值(平均值)有下列几个特点:①同一元素的 $EF(\text{Ti})'$ 高于 $EF(\text{Fe})$; ② EF 值大于 10 的仅一个元素 S, 它的 $EF(\text{Ti})$ 和 $EF(\text{Fe})$ 分别为 39.45 和 15.52; ③其余元素的 EF 值都小于 10, 而且绝大多数接近 1。

Legrand, et al.(1988)对撒哈拉尘暴辐射特性的研究结果表明, 尘霾通过影响辐射过程, 降低了白天地面的加热作用和夜间近地面的冷却作用。

申绍华、陈受钧(1993)利用数值模式研究了沙尘爆发时, 沙尘的辐射效应对锋面系统的强迫作用。研究结果表明:白天沙尘辐射加热在大气低层导致锋生, 晚上沙尘辐射冷却导致锋消, 这与实际观测结果是一致的。他们通过对沙尘暴辐射强迫的锋生过程分析后指出:白天锋生主要是由非绝热加热和水平速度变形场共同产生的, 垂直速度场对锋生的影响较弱, 主要起锋消作用。晚上影响低层锋消的主要因子是非绝热加热项。水平温度梯度的平流对锋生(消)的影响都很小。当沙尘降低时, 沙尘辐射强迫的锋面强度和坡度都相应减小。

文军(1995)对沙尘气溶胶影响地面辐射收支的观测结果的分析研究表明:沙尘气溶胶对太阳辐射的削弱作用主要发生在 3.0km 以下的低层大气, 背景条件下削弱达到 $25.0\text{W}/\text{m}^2$ 至 $58.0\text{W}/\text{m}^2$, 沙尘暴爆发时削弱更大。沙尘气溶胶对 3.0km 以下的低层大气起到明显的辐射加热作用。10 月和 4 月份的最大加热率在最低层分别可达到 1.12k/d 和 2.27k/d。根据模式计算, 沙尘暴天气条件下, 在 0.5 μm 处光学厚度取 0.49、1.42 和 2.12 时, 沙尘气溶胶产生的最大加热率分别为 2.59k/d, 5.12k/d 和 11.30k/d。

Steven A. Ackerman and Hyosang Chung (1992)就空降尘埃对区域能量收支辐射效应的研究结果表明:在海洋上空, 尘的存在增加了晴空时大气层顶的短波辐射量约 $40-90\text{W}/\text{m}^2$; 相反, 却降低了大气层顶的长波辐射约 $5-20\text{W}/\text{m}^2$ 。沙尘对大气加热率和地面辐射能量的收支产生一定的影响。它作为沙漠地区的一种气溶胶, 是重要的区域气候变量。魏丽、沈志宝等(1998)通过对 1991 年 3--5 月在黑河实验区过境的 10 次 AVHRR 测量资料和同期大气浑浊度观测资料的分析结果表明, 大气沙尘会导致地气系统后向散射增大, 即增大了行星反照率, 对地气系统射出长波辐射的影响主要是通过影响地表温度而反映出的。

1. 6 沙尘暴的危害及其对环境的影响

沙尘暴, 特别是特强沙尘暴是一种危害极大的灾害性天气。当其形成之后, 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、或遭风蚀刮走沃土, 或者农作物受霜冻之害; 致使有的农作物绝收, 有的大幅度减产; 它能加剧土地沙漠化, 对大气环境造成严重污染, 对生态环境造成巨大破坏, 对交通和供电线路产生重要影响, 给人民生命财产造成严重损失。在非洲撒哈拉沙漠南缘的萨赫勒地区, 从 70 年代初至 80 年代中期, 由于连年大旱, 造成草原退化, 田地荒芜, 尘沙四起, 沙漠化土地蔓延, 沙尘暴灾害加剧, 使千百万非洲人民流离失所, 生活悲惨。我国也是受沙尘暴危害最严重的国家之一, 特别是西北地区尤为严重, 几乎每年都有强沙尘暴发生。仅 1993 年 5 月 5 日的一次特强沙尘暴天气过程就

造成直接经济损失 5.6 亿元。此次特强沙尘暴的影响范围总面积约 110 万 km²，占全国总面积的 11.5%，涉及西北四省(区)的 18 个地(市)的 72 个县(旗)，人口 1200 多万人。据统计，在这次特强沙尘暴的浩劫中，共死亡 85 人，失踪 31 人，伤 264，在死亡和失踪者中，少年儿童居多。死亡和丢失大小牲畜几十万头(只)，受灾农田和果林与幼林等均达几十万公顷，数以百计的塑料大棚被毁，草场、牧场和盐场的基础设施、公路、铁路和供电线路等破坏都十分严重。此外，这次特强沙尘暴通过沙埋、吹刮等，对西北地区的植被生态环境造成了严重的破坏，大大加快了该地区土地荒漠化的进程，其间接经济损失是难以估量的(王式功等，1995)。由于近几年强沙尘暴发生频数有逐年增加的趋势，加之土地资源超载的局面短期内难以改善，随着全球气候的变暖，水资源短缺的矛盾将日趋尖锐。因此，沙尘暴对人类的危害也将随之增大。

沙尘暴天气过程是一个流动的大污染源，它会使所经之处的大气颗粒物污染明显加重。据杨东贞(1995)对 1988 年 4 月 9-12 日出现在北京地区的一次强沙尘暴过程中沙尘的物理化学特性的测定结果表明:TSP(总悬浮微粒)的平均值为 5.118mg/m³比正常天气条件下要高 15.7 倍。长沙劳动保护研究所的科技人员对 1993 年 5 月 5 日的特强沙尘暴在甘肃金昌市的测定结果是，TSP 室外为 1016 mg/m³，室内为 80 mg/m³，均超过国家规定生活区内含尘量标准的 40 倍以上，造成了严重的空气污染。

另外，沙尘输送也会产生正面效应。据 Swap et al. (1992)的研究结果表明，撒哈拉的每一场沙尘暴平均能吹入亚马逊盆地东北部的沙尘有近 48 万吨，每年输送的沙尘量大约 1300 万吨，相当于该地区每年每公顷增加 190kg 沙尘等物质。伴随沙尘沉积下来的诸如磷酸盐之类的物质，其量为每年每公顷 1-4 kg。可以说，亚马逊热带雨林的生产率在一定程度上依赖于来自撒哈拉的沙尘中的磷等元素。亚马逊热带雨林产出及面积的增加或减少都与撒哈拉沙漠面积的扩张与缩减及其沙尘输送量有直接的关系。

此外，由于沙尘自身偏碱性，其输送过程中可以对所经之处的酸雨危害起到一定的抑制作用。据田中丰显(1974)的有关研究表明:来自中国西北地区的黄沙粒子到达日本后将作为日本上空过冷却云中凝结核的主要部分，对日本的降水起着重要作用。又加之黄沙冰晶核呈碱性，它对防止日本酸雨的产生起着积极的中和作用(瞿章，1994)。

2 沙尘暴成因分析

2.1 宏观条件

据有关研究(夏训诚等，1996；钱正安等，1997)表明，沙尘暴的形成有三个基本条件:一是大风，这是形成沙尘暴的动力条件。二是地面上的沙尘物质，它是沙尘暴的物质基础。如 30 年代美国西部大草原的过度开垦，荒漠化加剧，沙尘源扩大，造成沙尘暴肆虐。又如前苏联 50 年代在哈萨克和西伯利亚等地区盲目大量开垦荒地，使地表裸露的沙尘物质增多，导致强沙尘暴频繁发生，这都是明显的例证。三是不稳定的空气状态，这是重要的局地热力条件。沙尘暴多发生在午后至傍晚时段内，就充分说明了大气不稳定状态的重要性。

王式功等(1995)通过对沙尘暴形成的宏观天气气候条件和下垫面状况的系统分析，认为沙尘暴主要发生在春季和初夏季节有 5 方面的原因:①丰富沙尘源的下垫面和特殊的地形条件;②冬半年长时间的干燥和冻结，到春季解冻后地表土质变得很疏松;③春季高空急流轴所处位置是北方地区易吹大风的重要原因;④春季大气层结不稳定性增大，午后易产生对流，有利于高空动量下传;⑤春季是北方地区冷锋活动最频繁的季节，锋后大风也是产生沙尘暴最重要的因素之一。

2.2 主要环流形势和影响系统

沙尘暴是多种因素共同作用的产物。尤其是特强沙尘暴的发生发展，在具备宏观的气候和下垫面条件的前提下，还需有利的环流形势和天气系统相配合。

Brazel(1986)分析了美国亚利桑那州 1965--1980 年期间沙尘爆发时的各种天气特征后指出，4 种天气系统:①锋面系统，②雷暴与对流，③热带扰动和④上层切断低压易导致沙尘暴的产生。

Swap, et al.(1992)的研究结果表明，来自撒哈拉的沙尘通过大尺度环流穿越热带大西洋到达亚马逊盆地。在亚马逊盆地中心与雨季主要降水系统配合,降雨系统的低压中心提供动力，使沙尘从垂直方向上扬起，造成突然爆发的沙尘暴。降雨一般由达几公里的水平尺度和几天的时间尺度的暴雨系统组成，沙尘伴随着这些主要的降雨系统断断续续地输送进来。因此，暴雨系统的发展可为沙尘暴的发生提供能量。

虽然不是所有的亚马逊盆地的降水过程都伴随沙尘出现,但我们观测到的所有沙尘事件都伴随有降水。

Patricia M. Pauley et al.(1996)对发生在美国加利福尼亚一谷地处的一次沙尘暴事件研究认为,高空急流、锋面次级环流和边界层过程均与沙尘暴关系密切,对流层上部向下大量输送动量,促使锋的形成,并导致动量在对流层低空的积聚,促进边界层过程发展,使地表风力增强,大的地表风速对沙尘暴的爆发有重要的作用。

江吉喜等(1997)通过对 7 次特强沙尘暴的研究认为,强沙尘暴天气的发生一般可分为 3 种方式:①锋前飚线引起的强沙尘暴,它是西北和华北北部地区最主要的一种强沙尘暴;②锋尾强对流云团引起的强沙尘暴,此种强沙尘暴的特点是强度特强,但影响范围相对较小;③锋前强对流云团引起的强沙尘暴,以这种方式形成的特强沙尘暴出现频率较小,但影响范围却较大。胡隐樵等(1996)研究了干飚线和强冷锋前干飚线发展同黑风暴爆发的关系后指出,由于强冷锋过境时冷锋前干飚线移至被强烈太阳辐射加热的地表以及条件不稳定大气层结地区,干飚线进一步发展致使黑风暴爆发。

通过对国内外,特别是我国西北地区几次大范围强和特强沙尘暴天气过程的综合分析,我们认为易产生沙尘暴的主要环流形势和天气系统有:

2. 2. 1 经纬向环流调整

我国西北地区大范围沙尘暴天气过程的发生发展,总伴随着一次大尺度环流调整,即经向环流向纬向环流调整时,位于西伯利亚的冷空气迅速向我国境内由西北向东南爆发,若此时处在春季,且前期久旱无雨,对流层低层处于强烈不稳定时,则易造成大范围的沙尘暴天气。

2. 2. 2 冷锋活动

春季是我国西北地区冷锋活动最频繁的季节。每次强冷锋过境后都会产生很强的变压梯度,由此可产生 20-30m/s 的瞬时变压风,此大风所经之地,常导致沙尘暴的产生。出现在阿拉伯半岛东北部,即伊拉克和科威特等地的沙尘暴主要发生在夏季的白天。冷锋过境,同时伴有大风,就会出现沙尘暴天气。这里的风速通常是白天增强,夜间减弱(Wolfson, N. et al.,1986)。

2. 2. 3 低空东风急流

沙尘暴天气出现前期,青藏高原东部低空常出现大幅度增温,促使高原东北部低涡(如柴达木低涡)发展,若蒙古高原东南部同时也有高压发展,则可导致高原北部河西走廊地区低空东风急流的形成。这是巴丹吉林和腾格里沙漠、甘肃河西走廊至河套西部地区发生大范围强沙尘暴的重要条件。

2. 2. 4 中尺度系统

从 80 年代和 90 年代初发生在我国西北地区的几次大范围强沙尘暴天气的分析结果看,与之相伴的特强沙尘暴中心区,总是与中尺度低压或中尺度飚线相联系,表明中尺度系统对局部强或特强沙尘暴的发生发展起着至关重要的作用。此外,瞿章等(1994)的研究结果表明:沙尘暴天气虽然一般都伴有 7 级以上的大风,但有些不伴有沙尘暴的大风,却比与沙尘暴相伴的风力还要大,而且年平均沙尘暴日数远小于大风日数的事实均表明对流层低层强烈的对流不稳定是“起沙成暴”的最重要条件之一。

Joseph(1980)对季风来临之前的季节内发生在印度西北部称之为安德海(Andhi)的对流性沙尘暴的研究结果表明,当地的沙尘暴多数也都与中尺度系统相联系,如 1973 年 5 月 13 日,在德里机场观测到的一个沙尘暴就与风速为 84km/hr 的中尺度飚线系统相联系。1976 年 5 月 20 日的沙尘暴同样是由风速为 73-80 km/hr 的强风暴系统造成的。发生在阿拉伯海湾的沙尘暴也常常由中尺度的雷暴系统所造成(McNaughton,1987)。因此,尽管地形、下垫面、大尺度环流背景和天气系统是产生沙尘暴的必不可少的条件,但在上述条件具备的情况下,中尺度天气系统对沙尘暴的产生却起着最直接的作用。此外,三月出现在波斯湾和阿拉伯湾地区的沙尘暴经常与雷暴活动相联系(McNaughton,1987)。

2. 3 甘肃河西沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关

尚可政等(1998)通过对甘肃河西沙尘暴与赤道中、东太平洋海温的遥相关分析结果表明:

(1) 春季河西沙尘暴次数与前二年秋、冬季海温因子负相关最好,时间过远或过近的因子相关性反而较差。这意味着,当某年秋、冬季太平洋中、东部海温偏高(低)时,两年后的春季,河西走廊沙尘暴发生次数偏少(多)。夏季河西沙尘暴次数与前二年春、夏季海温因子相关最好,即当某年春、夏季太平

洋东部海温偏高(低)时,两年后的夏季,河西沙尘暴次数偏少(多)。

(2) 就春季逐月而言,河西沙尘暴次数与前期海温因子之间的相关,3月份和整个春季大致相同;4月份仅与前二年9月海温因子负相关较好;5月份介于春、夏季之间。

(3) 利用前期赤道中、东太平洋海温距平和给出的相关预报方程,可以较好地预报出河西春季沙尘暴发生次数的多寡。

总之,强沙尘暴的发生、发展,是在特定的地形条件、沙尘源条件和各种不同尺度天气条件下共同作用的结果。

3. 沙尘暴的数值模拟与沙尘输送的研究

沙尘暴,尤其是特强沙尘暴是由大、中、小各种天气尺度及其特殊地形和下垫面条件共同作用的产物。为了研究其形成的物理机制,数值模拟是重要的手段之一。

Cautenet(1992)利用中尺度模式对西非尼日尔首都尼亚美上空来自撒哈拉沙尘暴的热力影响进行了数值模拟,获得了令人满意的结果,认为大气中的沙尘含量和辐射特征是最有意义的参数。

Slobdan (1996)对1985年7月发生在地中海西部的沙尘远程输送进行三维空间的数值模拟,首次将输送过程分为两个阶段:沙尘在地面的移动阶段和被湍流抬升阶段。模拟了沙尘在大气中剧烈得垂直混合、侧面扩散、水平和垂直移动及降尘过程,沙尘输送模拟结果与卫星观测非常一致。

申绍华、陈受钧(1993)分别利用二维和三维数值模式研究了沙尘暴爆发时,沙尘辐射强迫的锋生过程和孤立的沙尘暴辐射效应对锋面环流的影响,研究表明:沙尘暴爆发时,沙尘的辐射强迫对天气系统的影响是非常重要的。白天,沙尘辐射加热在大气低层导致锋生,产生很强的上升运动。由于沙尘的持续加热,使得大气中层出现不稳定,最终在大气中层形成一等熵混合层。沿锋面移动方向的水平速度表现出明显的辐合(散)特征。垂直于锋面方向的高空急流减弱,低空急流加强。晚上,沙尘的辐射冷却导致大气低层锋消,垂直速度场主要为下沉运动,水平速度场也发生相应的变化。

孤立的沙尘暴辐射加热(冷却)在盛行的大尺度风方向强迫出一个明显的垂直环流圈,它位于大约1km以上的高度。白天,这个垂直环流圈非常深厚,上升支较强,下沉支较弱。晚上,垂直环流圈反向、变薄。在沙尘区周围有明显的水平速度切变存在,它增加湍流的水平交换及辐合。水平风场对沙尘辐射的响应在不同高度上是不同的。程麟生(1996)等对我国西北“93.5”黑风暴发展成因与沙尘输送进行了中尺度数值模拟,结果表明:二维数值模式模拟出了沙尘的抬升及水平输送,三维数值模式模拟出了沙尘的水平分布和垂直分布,对冷锋前后的低压和高压脊的模拟效果也较好。程麟生等(1996)还利用改进的MM4和高分辨行星边界层(PBL)参数化及40km细网格控制试验能基本上模拟出“93.5”黑风暴的结构和演变。模拟结果表明,黑风暴发展时段,在PBL内与一个中尺度气旋性强涡旋相伴。在对流层内与一个垂直涡柱相伴,这个伸展至对流层顶的涡柱下(上)半部是与低(高)空强烈辐合(辐散)入(外)流相伴的气旋(反气旋)性涡柱。该黑风暴结构不同于一般锋面结构,其主要差别是:界面坡度陡, θ_e 水平梯度大,斜压性强,PBL内暖心明显。该暖心结构与下垫面剧烈热力强迫有关。不同PBL参数化和模式空间分辨率的对比试验结果指出,提高中尺度数值模式的空间分辨率和采用较好的PBL参数化方案对改进黑风暴发展结构及其演变的模拟是十分必要的。

宋振鑫等(1997)利用“93.5”黑风暴中尺度数值模拟资料,根据湿斜压大气的湿扰动能量方程,对“93.5”黑风暴发展过程中有效位能和湿扰动能源的贡献进行了数值诊断分析,结果表明,湿扰动有效位能在PBL内的巨量释放是该期间“93.5”黑风暴迅速发展主要能源。该能源的产生不仅与湿斜压大气中风的强垂直切变有关,而且也与PBL内下垫面的强烈加热增温及强对流不稳定有关,扰动湿有效位能源在PBL以上迅速减小;扰动动能源在黑风暴区基本为负,即为能汇。张小玲等(1997)使用具有高分辨PBL参数化的MM4模式对“93.5”黑风暴天气过程中中尺度涡旋发生发展的涡源进行了诊断分析。诊断结果表明:“93.5”黑风暴的发展与一个中尺度气旋性涡旋的发生和发展直接相关;总涡源的产生、发展及柱状垂直结构的形成和演变与黑风暴中尺度涡旋发展的涡度垂直结构和演变是一致的。该结果揭示,此类中尺度涡旋急剧发展的动力机制主要受控于总涡源;对大气总涡源的区分结果指出,与强波扰气流有关的扰动涡源对总涡源的贡献最大;大、中尺度系统间非线性相互作用涡源的贡献次之;与地形强迫有关的时间平均涡源的贡献最小。陈伟民等(1996)利用改进型PSU/NCAR中尺度数值模式(MM4标准版),

以常规观测资料作为初始场,较好地模拟出了 1994 年 4 月 5-11 日西北地区大范围的浮尘和沙尘暴天气过程中海平面气压的演变和分布,特别是张掖、柴达木盆地和敦煌附近的三个中尺度低压。同时,模拟出了张掖中低压与蒙古冷高压之间的甘肃河西东大风。敏感性试验表明,沙尘暴中低压的形成与发展主要是受大气中干物理过程制约,热力、动力过程及特殊地形的外源强迫等也起重要作用。

Genthon(1992)利用大气环流模式研究了沙漠沙尘和南极洲的海盐气溶胶的特征。研究表明:简单气溶胶参数化方案引入气候预报模式中已帮助解答了沙漠沙尘和南极洲海盐的观测值如何反映气候和气溶胶之间在过去和现在相互作用的问题。最引人注目的结果是气溶胶分布的垂直结构是数值模拟中特别重要的参数,边界层的稳定性对近地面气溶胶的垂直分布影响较大。

沙尘暴天气过程中所产生的沙尘气溶胶可随大气环流输送到较远的地方去,对那里的天气和气候产生影响。Iwasaka, et al.,(1979)对 1979 年 4 月 14-15 日发源于中国西北沙漠地区一次沙尘暴过程的研究表明:沙尘暴云的水平范围大约 $1.36 \times 10^6 \text{ km}^2$,总的沙尘粒子质量至少有 1.63×10^6 吨。雷达监测结果表明,沙尘暴云是由两层组成,一层高度约 6km,较低一层的高度约 2km。其轨迹分析结果显示:上层的沙尘云来自于中国的塔克拉玛干沙漠,下层的沙尘云来自于西北戈壁沙漠区和黄河流域。这些均表明,中国西北地区的沙尘暴天气过程,对日本的天气气候产生重要影响。

撒哈拉及其周围干旱区是全球四大沙暴区之一,其沙尘可由热带东风气流的携带,越过大西洋,输送到美洲大陆。据 Swap(1992)的研究结果表明,撒哈拉的沙尘可输送到巴西亚马逊平原,一次撒哈拉的强沙尘暴过程可有约 4.8×10^5 吨尘埃输送到亚马逊平原东北部,年输送沉降量达 1.3×10^7 吨,相当于每年每公顷沉降 190kg。Ellis, et al. (1995)通过对拉丁美洲巴巴多斯 $4 \mu \text{ m}$ 气溶胶中铝元素的分析结果表明,约 55%铝粒子样品来自于北非地区。Framzen, et al.(1995)对 1991 年 3 月在欧洲的中部和南部以及斯堪的纳维亚北部,来自于撒哈拉沙尘暴过程的分析结果表明:撒哈拉沙尘可输送沉降到德国北部地区,此次沙尘暴过程的涉及面积至少 $3.2 \times 10^5 \text{ km}^2$,仅在上述区域的降尘量估计接近 5.0×10^4 吨。

4. 沙尘暴灾害的防灾减灾对策研究及防治工程建设

沙尘暴,特别是当其发展成为黑风暴时,便成为一种危害极大的灾害性天气,给当地人民生命财产和工农业生产造成严重危害,并大大加速了相关地区的荒漠化进程。虽然我们现在还没有能力完全控制沙尘暴的发生发展,但只要我们深入研究,搞清其发生发展的客观规律,恰当地运用现代科学技术及广大科技工作者和劳动人民丰富的抵御和防治沙尘暴的宝贵实践经验,就一定能使沙尘暴特别是黑风暴所造成的损失减少到最低程度。近几年与此相关的研究(夏训诚等, 1996)主要有以下几方面。

4.1 人身生命财产应急保护措施的研究

由于沙尘暴特别是黑风暴来势凶猛,狂风呼啸,沙尘滚滚,遮天蔽日,具有明显的恐怖感,极易造成人员伤亡和生命财产损失。有关研究提出了防止少年儿童落水,避开残垣断壁以防墙壁倒塌致伤,保护家禽和畜群,防止牲畜失散或致死,及时切断电源防止电火花引起火灾等有效措施。

4.2 退耕还林还草等生态环境建设

为了实施西部大开发战略,加快中西部地区发展,从 2000 年起,国家将在西部地区新开工“十大工程”,其中之一是中西部退耕还林还草和生态环境建设。计划从 2000 年起,将在长江上游的云南、四川和黄河上中游地区的陕西、甘肃等 13 个省区开展退耕还林还草试点工程建设,计划退耕 515 万亩,同时安排宜林荒山荒地人工造林种草 648 万亩。这对遏制大范围沙尘暴的发生发展及危害将起重要作用。

4.3 建立绿洲防护林体系的研究

根据我国北方,特别是西北的实际情况,实施了:①绿洲边缘封沙育草育林,保护天然沙生植被,如 80 年代以来进行的“三北”防护林体系工程建设等;②封育和保护天然荒漠林,遏制沙尘暴的发生发展;③营造绿洲周边防风阻沙林带,控制和减弱沙尘暴特别是黑风暴对绿洲的危害;④采用工程技术措施,固定绿洲边缘地区的流动沙丘;⑤营造绿洲及其边缘地区的护田林网,既可以防止或减轻沙质耕地的风蚀起沙和沙尘暴对农田的危害,又能改善田间的局部小气候;⑥应用合理的农业耕作技术,防止或减轻风蚀沙埋危害,如采取先易后难开垦荒地,翻土改沙增强抗风蚀性以及合理选择和配置农作物等。

4.4 黄土高原北部干旱半干旱区的风沙防治

黄土高原北部干旱半干旱区由于有极其丰富的沙尘暴得以形成的沙尘物质,加之冬半年大部分地

表裸露，大风频繁，人为干扰突出，以致沙尘暴和风沙活动危害严重。针对此种状况，近几年采取了几方面的防治措施：

①对 50--70 年代由于违背自然规律和条件，在该地区滥垦的旱作农田，采用防风蚀技术，如作物留茬，留“风界子”和营造灌丛林带等。并初步开始了退耕还林等有效措施。

②对该区在严禁开荒、控制轮歇种植的情况下，采取适当封育保护牧场和适度放牧，加强放牧管理和围栏建设等一系列措施，使天然草场植被大有改善，区内植被覆盖度明显提高，防御和遏制风沙能力增强。

4.5 沙丘间低地造林固沙防护措施

采取在沙丘间低地造林，直接在流动沙丘上栽植固沙植物以及在人工沙障防护下栽植固沙植物和飞播植物固沙等措施，有效地防止了沙漠化扩展速度的加快，使部分流动沙丘初步变为固定沙丘。

4.6 工矿交通沙害的防治

我国西北地区的工矿、交通、新兴城镇及其它水利、电力、煤田和油气井等工程设施，均受到风沙危害或威胁，一旦出现沙尘暴或黑风暴，受害尤为严重。这些年来，特别是在铁路沿线地区做了一些卓有成效的科研和工程技术性工作，既保护了铁路运营的畅通，又抑制了沙尘暴在当地的发生发展，获得了经济效益和生态环境效益的双丰收。

6. 结语

关于沙尘暴的研究工作，虽然在近半个多世纪以来各国科技工作者从各方面做了大量卓有成效的研究工作，取得了一系列非常有价值的研究成果，为各国政府管理部门制定合理有效的防治措施提供了重要科学依据，并为今后进行更为深入的研究奠定了良好的基础。但是，随着世界人口的不断增加，全球变化的日益加剧，有限的资源(特别是水资源)和环境条件与人类需求量的迅速增长之间的矛盾日趋突出，如果不尽快采取切实有效的措施，某些地区的自然生态环境状况也将渐趋恶化。在全球各沙漠化区域及其相邻的干旱半干旱地区，沙尘暴的发生发展可能会更为频繁，强度有可能越来越大，影响范围也将越来越广，需要进一步研究的问题会越来越多，沙尘暴的研究仍然任重而道远。

参考文献

- Cautenet,G,et al .Thermal Impact of Saharan Dust over Land. Part I: Simulation. J.Appl.Meteor.1992,166-180.
- EllisJR,W.G. and J.T.Merrill, Trajectories for Saharan Dust Transported to Barbados Using Stokes's Law to Describe Gravitational Settling. Journal of Applied Meteorology, 1995,34: 1716-1726.
- Franzen,L.Get al ,The Saharan dust episode of South and Central Europe, and northern Scandinavia March.1991. Weather,1995,50(9): 313-318.
- Genthon,C., Simulations of desert dust and sea-salt aerosols in Antarctica with a general circulation model of the atmosphere . Tellus, 1992, 44B, 4: 371-389.
- Iwasaka,Y.et al ,The transport and spatial scale of Asian dust-storm Clouds: a case study of the dust-storm event of April 1979 . Tellus, 1983, 35B, 3: 189-196.
- Jauregui E.,The dust storms of Mexico City. Inter.J.Climatol.,1989,9(2): 169-180.
- Joseph,P.V.,Raipal,D.K.and Deka,S.N, “Andhi”, the convective dust storms of Northwest India. Mausam,1980,31,431-442.
- Legrand,M.et al Satellite Detection of Saharan Dust: Optimized Imaging during Nighttime. Journal of Climate,1988,1(3): 256-264.
- McNaughton,D.L. Possible connection between anomalous anticyclones and sandstorms. Weather,1987,42(1): 8-13.
- Patricia M. Pauley , Nancy L. Baker, and Edward H. Barker .An Observational Study of the “Interstate 5” Dust Storm Case, Bulletin of the American Meteorological Society,1996,77(4),693-720
- Slobldan N,Srdjan.A Model for Long-Range Transport of Desert Dust[c]. Monthly Weather Review, 1996, 2537-2544
- Steven A.Ackerman and Hyosang Chung. Radiative Effects of Airborne Dust on Regional Energy Budgets at the Top of the Atmosphere. J.Appl.Meteor.1992,223-233.

- Swap,R.et al, Saharan dust in the Amazon Basin. Tellus , 1992, 44B,2: 133-149.
- Wolfson,N. and Matson,M.,Satellite observations of a phantom in the desert. Weather,1986,41(2): 57-60.
- Yang Dongzhen et al.A case study on Sandstorm. ACTA METEOROLOGICA SINICA.1991,5(2): 150-155.
- 陈敏连,郭清台,徐建芬等.黑风暴天气的研究和探讨.甘肃气象, 1993, 11(3): 16-27
- 陈伟民, 王强, 牛志敏等.中国西北部 “4.5”沙尘暴过程中尺度低压的数值模拟.中国沙漠, 1996,16(2): 140-144.
- 程麟生,马艳.“93.5”黑风暴发展结构和不同模式分辨率的数值试验.应用气象学报, 1996, 7(4): 386-395
- 付有智, 刘坤训, 丁荣等.甘肃河西黑风成因及预报. 气象, 1994, 20(12): 50-53
- 贺慧霞, 钱正安, 瞿章.我国西北地区部分沙尘暴个例谱. 大气情报, 1993, 30(4): 14-18
- 胡隐樵,光田宇.强沙尘暴发展与干凅线——黑风暴形成的一个机理分析. 高原气象, 1996, 15(2): 178-185
- 江吉喜,项续康等. 以卫星云图资料为主的强沙尘暴超短期预报方法初探.中国沙尘暴研究. 气象出版社, 1997 年, 98-102
- 江吉喜. 一次特大沙尘暴成因的卫星云图分析. 应用气象学报, 1995, 6(2): 177-184
- 瞿章等.“930505”沙尘暴的若干启示. 干旱区地理, 1994, 17(1): 63-67
- 刘景涛, 郑明倩. 华北北部黑风暴的气候学特征. 气象, 1998, 24(2): 39-44
- 钱正安,贺慧霞,瞿章等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征.中国沙尘暴研究. 气象出版社,1997 年,1-10
- 邱金桓,孙金辉. 沙尘暴的光学遥感及分析. 大气科学, 1994, 18(1): 1-10
- 尚可政,孙黎辉,王式功等. 甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关分析. 中国沙漠,1998,18(3): 239-243
- 申绍华,陈受钧.沙尘辐射强迫的锋生过程分析. 气象学报, 1993,51(4): 425-433
- 申绍华,陈受钧.沙尘辐射强迫锋生过程的数值模拟. 气象学报, 1993,51(3): 283-294
- 宋振鑫,程麟生.“93.5”黑风暴扰动能源的诊断分析. 兰州大学学报(自然科学版), 1997, 33(4): 116-122
- 田中丰显, 云的冰晶化过程 冰晶核, 气象研究/-. , 1974, (122): 689-737.
- 王式功, 董光荣, 杨德保等.中国北方地区沙尘暴变化趋势初探. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 86-94
- 王式功, 杨德保, 金炯等.我国西北地区黑风暴的成因和对策. 中国沙漠, 1995, 15(1): 19-30
- 王式功, 杨德保, 周玉素等.我国西北地区 “94.4”沙尘暴成因探讨. 中国沙漠, 1995, 15(4): 332-338
- 王式功,杨德保, 孟梅芝等.甘肃河西 “5.5”黑风天气系统结构特征及其成因分析. 甘肃气象, 1993, 11(3): 28-31
- 王式功,杨德保,金炯等.我国西北地区沙尘暴时空分布及其成因分析. 中国科协第二届青年学术年会论文集(资源与环境科学分册). 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 364-370
- 魏丽,沈志宝.大气沙尘辐射特性的卫星观测. 高原气象, 1998, 17(4): 347-355
- 夏训诚, 杨根生等著.中国西北地区沙尘暴灾害及防治[M].北京: 中国环境科学出版社, 1996 年 10 月
- 徐国昌等.甘肃 “4.22”特大沙尘暴分析. 气象学报, 1979, 37(4): 26-35
- 徐希慧.塔里木盆地沙尘暴的卫星云图分析与研究.中国沙尘暴研究. 气象出版社, 1997 年, 88-91
- 颜宏.全国沙尘暴天气研讨会会议总结. 甘肃气象, 1993, 11(3): 6-11
- 杨东贞,王超等.1990 年春季两次沙尘暴特征分析. 应用气象学报, 1995, 6(1): 18-26
- 张小玲,程麟生.“93.5”黑风暴期间中尺度涡旋发生发展的涡源诊断. 兰州大学学报(自然科学版), 1997, 33(4): 123-131
- 赵兴梁.甘肃特大沙尘暴的危害与对策. 中国沙漠, 1993, 13(3): 1-7
- 郑新江,刘诚, 崔小平等.沙暴天气的云图特征分析. 气象, 1995, 21(2): 27-31

荒漠化与气候变化的相互作用

卢琦¹

荒漠化对气候的影响是通过干扰干旱地区的地—空能量交换平衡机制而产生效力；在对流臭氧层中，来自全球生物量燃烧的气体约占38%，就旱地对全球温室气体的贡献率而言，估计在5~10%左右，其中旱地退化的贡献率小于5%；温室气体的积累将导致21世纪全球升温1~5℃。利用NOAA—AVHRR卫星影像监测到沿Sahara半干旱边缘的植被变化与年降雨变率有关；在1980~1990的十年间，Sahara地区200mm年降雨量的南界有较大的波动；其中1980~1984干旱年间，推断的200mm等雨量线整整南移了240km，平均每年南移60km，1983~1986年间，沙漠北移了143km。

一、气候变化的证据

1、全球变暖

Jones (1993)认为，十九世纪后期以来，全球温度已经增加了0.5℃，若从十九世纪中期算起，增温范围在0.3~0.6℃之间。其依据如下：1850年人类对气象知识有了较为详尽的认识；1851年1月开始，人类有了月气温的记录；1873年的维也纳气象大会（Vienna Meteorological Congress）促进许多国家建立了气象数据记录，到20世纪20年代，除了非洲、南美、亚洲的一些内陆区域和北冰洋海岸及南极大陆尚未安装气象设备以外，陆地上基本形成了气象观测网络。

Jones, et al. (1985; 1986a; b; c)采用10×5的经纬度栅格把全球气象站定位，并把有史以来的气象数据全部与1951~70年间的的历史数据平差，缺少部分实行内插。通过对3300多个站点的分析，过去130年间，有0.6℃的变暖趋势。从空间和时间尺度来看，全球变温的总体趋势是大部分区域变暖，极小区域变冷，且南北半球存在差异；其中南半球稳定性持续变暖，北半球40年代为暖期，然后经历了一个30年左右的冷期，70年代再次变暖。有史以来的10个最暖年份中，有7个发生在20世纪80年代(1980~1990年间)，北半球尤为明显。从变温的空间分布来看，最大温度变化区域在极地，北半球变温较南半球为大，而南北半球的中纬度地区变温最大。从变温的时间上来看，一年中春季变温最大，一天中晚间增温最大；其中最低温度的升温速度较最高温度大3倍(1950~1990)。

IPCC (Jones, 1990a; b; 1986d)对南欧和土耳其(35~50°N; 10°W~45°E)地区的专门研究表明，到2030年，该区域冬季将升温2℃，夏季升温2~3℃；降水在冬季有微量增加，夏季则减少5~15%且土壤湿度减低15~25%。

关于潜在蒸发散(PET)的计算，一直是一件较为头痛的事。Penman(1948)的方法过于复杂，Thornthwaite(1948)和Blaney & Criddle (1950)等人的方法，不是低估，就是高估，逼得后人多在上述模型的基础上进行区域性修正。Palutikof, et al.. (1994)通过对上述模型比较发现，对地中海地区而言，Penman方法不可取，Thornthwaite方法低估，而经Doorenbos & Pruitt (1977)修正的Blaney & Criddle 方法较为适合。修正后的作物蒸散方程如下(按月计算，mm/day)：

$$E_t = c[p(0.46t + 8)]$$

c= 随最小相对湿度、日照时间、白天风速而变化的调节因子，其值可从温度记录估算得到(Palutikof, et al.. 1994)；p= 月光照时数占年总光照时数的平均百分比；t= 平均温度。

1) 中国防治荒漠化研究中心、中国林业科学研究院，北京 100091；
E-mail: Luqi@mail.forestry.ac.cn

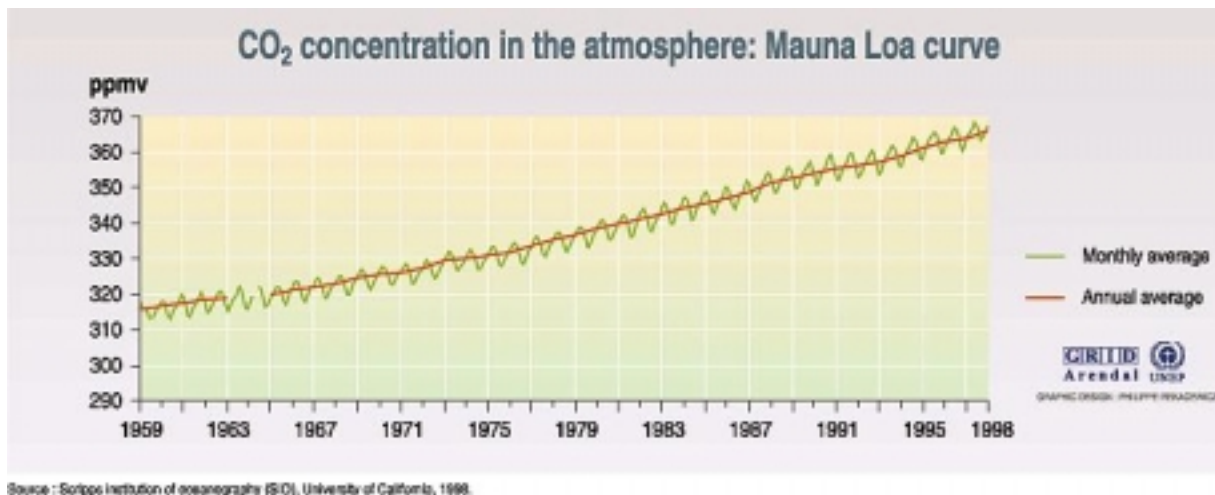


图2-1 20世纪60年代以来大气CO₂浓度稳步升高

2、温室气体增加

可吸收10 μm (8~14 μm)波长辐射的红外光谱被认为是地球向空间释放热量的热源。主要温室气体包括对流层的CO₂ (Carbon dioxide)、CH₄(methane)、N₂O(Nitrous oxide)、O₃(Ozone)等气体，及CFC-11、CFC-12和CFC-113等氯氟碳化合物（表2-1）。

表2-1 不同温室气体对全球变暖的贡献

气体	百年的相对贡献		浓度	增长率	目前的衰减时间		相对贡献	
	perKg/per Mole		ppm	%/yr	yrs	%	perKg/perMole	
CO ₂	1	1	355 × 10 ³	0.5	150-500	1	1	1
CH ₄	70	25	1.7 × 10 ³	1	7-10	15-30	15-30	5-10
N ₂ O	200	200	310	0.2	150	5	300	300
O ₃	1800/2000		10-50	0.5	0.01	8	3	4
CFC-11	4000/12000		0.28	4	65	4	4000/11000	
CFC-12	6000/15000		0.48	4	120	8	8000/20000	

(引自: Rodhe,1990)

(1) 全球CO₂估算

早期CO₂含量的估计是通过测定格陵兰和极地的冰帽样品得到的：在40000年前的最后一个冰期（the last Ice Age），大气中的CO₂浓度只有180ppm（Chappellaz, et al., 1990）；350~500年前估计为271ppm（Neftel, et al., 1982）；1860年以后逐渐增长为275ppm、280~290ppm（Liss & Crane, 1983）。1957年，Revelle, R.& H. Suess (1957)率先提出CO₂增加可能对未来气候变化产生影响的假说，并指出：“人类正在进行一次前所未有的大尺度地球物理学试验，且将来也不会重复”。40年后，这一试验仍在如火如荼的进行之中（Lin Guanghui, 1999）。

1958年，世界上第一个CO₂测站在Hawaii岛海拔11200英尺的Mauna Loa山上建成，测定的1958年的CO₂含量为315ppm，1991年为335ppm，年增长率为1.78ppm；依据每年测定结果绘制的CO₂变化曲线成了日后研究全球变化的经典范式（图2-1）；同期建立的南极测站也给出了几乎相似的数据。后来又建立了北半球高纬度地区的Point Barrow, Alaska和the Northwest Pacific Ocean等测站。

(2) 大气中CO₂的消长对农业的影响

CO₂升降对农业的影响问题，实质上集中在“CO₂增肥效应(Fertilizer Effect)”这一假设是否成立？本世纪CO₂倍增花费了10~15年，预测的下一次倍增(从330ppm增至660ppm)需要20~50年，主要依据人类消费的化石燃料及环保措施。据此假设的真/伪对世界主要粮食产量的影响幅

度为：小麦11%~ -13%；水稻2%~ -5%；玉米-15%~ -24%；大豆16%~ -33%。(Rosenzweig & Parry, 1993)。

目前有关CO₂倍增对农作物、森林、草原等不同类型植被影响的研究，已经成为全球气候变化研究的热点和焦点，一些大型多学科跨国研究项目陆续展开，包括样地研究，长期生态定位研究以及典型生物群区大气圈—生物圈相互作用的田间测量。

1987~1989年期间在美国堪萨斯（KANSAS）州KONZA草原进行的多学科田间试验，即第一国际卫星地表气候学田间实验（First ISLSCP Field Experiment, ISLSCP--International Satellite Land Surface Climatology Project, 即FIFE），是大气圈—生物圈相互作用研究的最早项目。随后，非洲荒漠能量水文大气辅助实验（Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX)--Sahara Desert, 即HAPEX-SAHEL）和北半球北方森林生态系统—大气圈研究（Boreal-Ecosystem-Atmosphere Study, 即BOREAS）相继启动，为了解这些典型陆地生态系统和全球变化的相互作用做出了很大的贡献。最近，这方面的研究也扩展到温带森林（如美国哈佛森林（Harvard Forest）开展的CO₂流量田间测定，杜克森林（Duke Forest）生态系统进行的自由CO₂增浓实验（Free Air CO₂ Enrichment Experiment, 或FACE）等）（参见图2-3、2-4）、热带森林（如巴西大规模生物圈—大气圈实验，即LBA——Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia）和美国西南部的半干旱荒漠（如半干旱地区土地—植被—大气圈项目，即SALSA——Semi-Arid Land-Surface-Atmosphere Program），北方森林生态系统—大气圈研究（即BOREAS）等均属于多学科的田间实验，旨在弄清楚世界森林在全球变化中所扮演的角色（Lin Guanghui, 1999）。

3、全球气候模型

（1）GCMs（Global Climate Models, General Circulation Models）

把地球分成5×5度的经纬栅格(有些模型用2.5×4度)，然后再把每个栅格从地面到大气垂直分成无数层面，仅全球大气层的计算就需要25920个栅格。每个栅格的属性，如土壤、植被、冰雪、水分、山脉、河流、海洋、云层、经度、纬度等，都在模型中有所表述。实质上是利用上述参数对全球CO₂、温度、降水三者之间两两进行预测。

（2）GCMs对气候变化的预测

A、巨大的同温层变冷（Angell,1986）。过去25年间，对流顶层(地表上9~16公里)和低同温层（16~20公里）一直在变冷且温度变化的速度随纬度增加而加速。低同温层的冷相在南半球较北半球明显，且雷达和卫星数据均显示出在北半球中高纬度的中间平流层（30公里）有一明显的冷锋。

B、全球平均表面温度升高。CO₂加倍，全球气温将升高1.5~4.5℃，很可能是3℃，增速在每10年0.3℃的范围内；但预测模型中不确定的因素是大气—海洋—陆地系统的反馈作用是否将削弱这种增温趋势。利用全球2亿个温度记录的分析表明，全球年平均气温呈稳定升高的趋势，自1860年至今已升高了0.6℃。尽管北半球曾经历过间歇性冷期(1945~1975)，南半球则从未出现过明显的冷势。在1980~1990的十年间，出现了7个最暖的记录。另据Strong(1989)利用卫星数据对海平面温度的预测，1982~1988年，海平面温度每年升高0.1℃，来自船舶的数据为0.05℃。这里不排除时间尺度的局限性。

C、其它几种预测

Kar, et al. (1991) 预测可能夜间变暖；而其他则人则认为更有可能发生极地表面冬季变暖（Angell, 1986; Hare & Ogallo, 1993）。其它预测结果包括：海冰减少（Washington & Meehl, 1989），全球平均降水增加（Manabe & Wetherald, 1987），夏季大陆明显暖干化（Manabe & Wetherald, 1987; Bradley, et al. 1987; Diaz, 1983），全球平均海平面将升高2-5cm（Wigley & Raper, 1987; Peltier & Tushingham, 1989; Zwally, 1989），按每10年升高24mm 计算，到2050年海平面将升高33cm，并最终导致海岸线急剧上涌向大陆推进30m（Bakun, 1990）。

二、气候对荒漠化的影响

荒漠化（Desertification）系指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化。这里所指的干旱地区是指年雨量与潜在蒸发散之比在0.05~0.65之间的大陆地区，但不包括极区和副极区（UNEP, 1994）。荒漠化的发展将加速土壤风蚀和水蚀，降低陆地植被覆盖度与生物量，增加土壤盐渍化，减少土壤水分，增加表面径流，干扰大气环流和水文循环、导致气候变化等。

气候对荒漠化的影响是一个缓慢而渐进的过程，主要是通过其对旱地土壤、植被、水文循环,加之人类对土地的不合理利用而改变了全世界40%的旱地景观（UNEP,1992;1997）。有别于湿润地区富含有机质的良田沃土，旱地土壤多数贫瘠且盐碱化，这便决定了旱地易受风、水侵蚀的自然特征。表2-2列出了不同旱地土壤水蚀、风蚀及盐渍化程度的野外观测结果，并尝试性探寻这些观测值与实际发生的和潜在的脆弱性之间的关系，这里暂不考虑实际的应用；对潜在荒漠化的危害分级也仅限于定性范围。

随着GIS和卫星影像的广泛应用，为准确评估旱地植被对降水变异和生物量燃烧的季节性变化提供了有力的技术手段。在考虑气候对旱地植被类型、生物量和多样性有强烈影响的同时，也不得不修正当地或区域性地势、地貌、岩性、坡向、土壤类型等因素的反馈效应。

从长远来看，环境干扰对维护热带和旱地生态系统的生物多样性和适应性具有重要作用，并对生态系统的功能发挥和恢复具有负效应；但需要对干扰的强度和频度、时间与空间尺度有准确的把握。以往有关对旱地生态系统处理气候变异、周期性干旱和洪水等自然灾害能力的质疑困惑，大多是由于对生态系统的时间尺度和空间尺度界定不清造成的。

旱地生态系统对付恶劣环境（少雨高温、土壤贫瘠或盐渍化、周期性或季节性极端气候等）的策略多种多样，特别是对周期性洪水和干旱有高度的恢复力，植物和动物更是如此（Stafford-Smith & Morton, 1990）。生物量间的年际差异可看作是对降雨变异的一种反应，而不应该同人为的荒漠化过程混为一谈。

野外观测和遥感数据业已确认，旱地植物的密度和生物量，除了随季节和年际雨量变化而存在着时间波动以外，还存在着同等重要的空间变异。旱地植被的这种时间和空间变异，早已为牧场主们所熟知，

表2-2 旱地土壤退化的范围及严重性（按大陆划分， $\times 10^6 \text{ hm}^2$ ）(UNEP, 1992; 1997)

大陆分区	干旱分区	荒漠化程度		荒漠化面积 小计	占旱地%
		轻度和中度	强度和极度		
非洲	亚湿润干旱区	25.2	12.1	37.3	0.7
	半干旱区	69.9	39.6	109.5	2.1
	干旱区	150.2	22.3	172.5	3.3
亚洲	亚湿润干旱区	70.6	7.7	78.3	1.5
	半干旱区	124.2	17.2	141.4	2.7
	干旱区	131.9	18.8	150.7	2.9
澳洲	亚湿润干旱区	4.2	0.6	4.8	0.1
	半干旱区	32.9	1.0	33.9	0.7
	干旱区	48.9	0.0	48.9	0.9
欧洲	亚湿润干旱区	59.0	2.3	61.3	1.2
	半干旱区	30.8	2.6	33.4	0.6
	干旱区	4.8	0.0	4.8	0.1
北美洲	亚湿润干旱区	15.0	3.2	18.2	0.4
	半干旱区	50.9	2.3	53.2	1.0
	干旱区	6.3	1.6	7.9	0.2
南美洲	亚湿润干旱区	21.4	2.3	23.7	0.5
	半干旱区	43.9	4.0	47.9	0.9
	干旱区	7.5	0.0	7.5	0.1
合 计		897.6	137.6	1 035.2	
旱地总面积 (5 200)		17.3	2.6	19.9	19.9

表2-3 旱地土壤的荒漠化状况（FAO, 1990）

土壤母质	土 群	自然侵蚀状况	荒漠化程度
未风化岩 或风化岩	雏形土	A1	A2, B1
	薄层土	A1	A2
	松岩性土	A1	A2
风化岩	铁铝土	A1, B1	A2
石灰岩	钙质土	A1	A2
沙片岩	砂 土	C1	A1, B1, C3
冲积层	冲积土	A1, B1	A2, B1, D3
	淋溶土	A1, B1	A2, B2, C2, D3
粘 土	变性土	A1, B1	B2, D2
	粘磐土	A1, B1	A2, B3, C1, D2
	盐 土	A2, B1, D1	A2, B2, D3
	碱 土	A2, B1	A3, B3, D3

注解：A：片蚀，B：沟蚀，C：风蚀，D：盐渍化
1：轻度，2：中度，3：严重

并把这看成是旱地植被对限制性环境因子（水分、土壤营养）的保护性反应。Dregne & Tucker（1988）利用NOAA AVHRR 卫星影像，监测到沿Sahara半干旱边缘的植被变化与年降雨变率有关。Tucker, et al.（1991）后来的研究佐证了早期的发现并证实：植被对生长季节降水的反应及荒漠边缘植被的扩张和收缩，与年复一年的降雨变率高度一致。

在1980~1990的十年间，Sahara地区200mm年降雨量的南界（按公认的Sahara南界）有较大的波动（图2-2），且同一经度的不同地区间存在着显著差异，一些地区表现出高度变异性，而其它地区则变异极小。降水分界线是根据平均植被指数确定的；即利用红外、近红外波段的卫星光谱数据推断而得，并通过对整个生长季生物量的加权平均得出初级总产量。

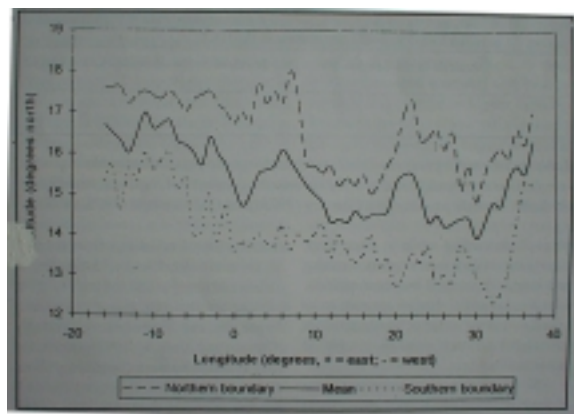


图2-2 1980~1990十年间Sahara200mm年降雨线的变化趋势
(估价误差为: $\pm 15\text{km}$, $\pm 0.14^\circ$; 引自Tucker, et al., 1991)

1984年是本世纪以来Sahel最干旱的一年, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 显示出与年平均降雨量的显著相关性(十年中的最低值), 且Sahel与Sahara的分界线较前几年进一步南移。在1980~1984干旱年间, 推断的200mm等雨量线整整南移了240km, 平均每年南移60km。在1983~1986年间, 沙漠北移了143km。Tucker, et al. (1991) 得出的最后结论是: 需要进行几十年的定位研究, 以进一步确认Sahara沙漠扩展和收缩的长期性。

近半个世纪以来, 随着人类对干旱、半干旱区土地资源的大规模开发, 出现了人们始料未及的世界范围的荒漠化问题; 荒漠化已成为全球最严重的环境问题之一。现实使人们清醒地认识到: 防治荒漠化不仅是实现社会、资源、环境和经济可持续发展的重要保障, 而且是发展中国家消除贫困、走向富裕的必由之路。

目前, 全球2/3的国家和地区, 约9亿人口, 全球陆地面积的1/4受到不同程度荒漠化的危害, 而且仍以每年5~7万 km^2 的速度扩大; 由此造成的经济损失, 估计每年为423亿美元。荒漠化已直接和间接对全世界10亿人的生计构成威胁。过去25年间, 荒漠化在亚湿润干旱地区(湿润指数在0.5~0.65之间) 呈明显增长的势头, 且旱地的大多数居民目前生活在这一区域。全世界70%的农用地已有不同程度的退化, 总面积约为35亿 hm^2 , 100多个国家正在遭受旱地退化对社会经济的不利影响(UNEP, 1992; 1994)。

目前, 对荒漠化与气候间的相互作用给予综合评价, 以寻求对二者之间的互作有一个定量的理解; 其最大的障碍就是缺乏荒漠化范围、状况及其走势的准确数据, 且急迫需要建立一整套全世界统一的总括旱地退化的基准数据, 以规范现存的方法和标准。关于气候变化对中国荒漠化进程的影响, 已有专论(慈龙骏, 1994), 在此不多赘述。

尽管与荒漠化有关的数据间存在着明显的差异, 毕竟这些半定量化的信息为我们窥视人类活动对各种旱地土壤和大气的影 响提供了一种可能。气候变化与荒漠化二者的关系和相互作用, 无论何种尺度来看, 都仍然是一个尚未全知的复杂灰色系统。为了简单明了地阐述二者的互作关系, 这里首先谈及气候对导致荒漠化的几个主要过程的影响; 而后再简述荒漠化过程对当地及区域性气候的反馈效应; 进而论及荒漠化在全球气候变化中的地位和作用。

三、荒漠化对气候的响应

人类活动对于干旱地区的景观特征及其大气组分产生根本性的影响的机制, 就是通过干扰干旱地区的地—空能量交换平衡而产生效力; 具体表现在对地表反射率、地表粗糙度、土壤水分、大气粒子含量、水分交换及地—空能量平衡的扰乱, 从而对中、小尺度的区域性气候产生影响(Otterman, 1974; Charney et al., 1975)。尽管这些复杂的数量化模型及大量野外观测对理解气候变化及其对旱地人类活动的影响多有帮助, 但仍然没能从根本上解决问题。在有些地区, 荒漠化似乎有导致大气变冷的趋势, 而另外一些地区则得出了大气变暖、潜在蒸散增加的相反结果。若把降水因子也考虑在内的话, 这一问题势必更加复杂化; 且人类活动对降雨量的影响一直是有争议的论题。

热带、亚热带地区的生物量燃烧已成为普遍现象；旱地大火则是烟雾和痕量气体的主要释放源；稀树草原的燃烧，除了对全球N、C和臭氧层的影响以外，主要释放物质则是烟尘。据估计，同化石燃料燃烧的烟雾释放量（ $22.5\sim 24\times 10^{12}\text{g/yr}$ ）相比，热带生物量燃烧的烟雾释放量约为 $25\sim 80\times 10^{12}\text{g/yr}$ 。在对流臭氧层中，来自全球生物量燃烧的气体约占38%；而在燃烧过程中，生物量中几乎有一半的N是以 N_2 的形式浪费掉，仅此一项，就导致热带生态系统的固氮损失达 $10\sim 20\times 10^{12}\text{g/yr}$ ；稀树草原燃烧释放的C、N贡献率分别占30%和20%。如果认定总的生物量燃烧贡献了全球气体总量40%的话（Crutzen, et al.,1990; Cachier,1992），那么旱地燃烧的贡献率保守估计也在10%上下。

干旱和半干旱地区一致被视为大气搬运浮尘的源地。大气尘埃对地—空能量平衡的影响过程相当复杂，且受控于多种因素，象尘埃的大小和分布，尘源的强度，尘埃的下沉速率、消光性、旋光性、吸光性，单粒散射—反射率、不均匀性等等（d'Almeida, 1989）。现已查明，暖相一般发生在尘埃层，而冷相多发生在尘埃层下部的近地表层；大气的温度升速约每日 2°C ，而地表的降温速率为每日 $10\sim 15^\circ\text{C}$ 。因此，在吸收性尘埃层存在的情况下，地表能量平衡的变化集中表现在对短波辐射接收的急剧减少；一个重要的次级变化则是近地表层增温并增加了大气的稳定性。

众多观察发现，荒漠化对地—空能量平衡的另一个根本性的影响导源于对水文循环的破坏。多数情况下，植被的减少或消失，升高了地表和近地表的温度，提高了近地表的风速，降低了近地表的湿度，进而导致了地表径流和潜在蒸散的增加；上述结果将直接减少土壤水分，加速了用于蒸发和蒸腾的能量递减速度。当能量方程中的潜热项（LE）减小之时，便意味着有更多的能量被用于地表升温或空气升温；此时的Bowen比率（定义为 H/LE ）在荒漠化地区明显升高（Bryant, et al.,1990）。这些与水文循环有关的能量平衡的变化常常能削弱对大气反射率、表面粗糙度及大气尘埃造成的影响。Phillips（1993）总结了这一现象并提出假设：旱地的土壤水分直接与植被覆盖度、降雨量和水蚀成正相关，而与反射率、温度和风蚀成负相关。

人为活动通过对地—空能量平衡的影响而引起的旱地地表和大气组分的变化肯定会对区域性气候和小气候产生影响，且已经被众多数量化模型所模拟，并被大量野外试验所证实。气候在荒漠化地区有变暖和变冷趋势，而降水的增加或减少尚难以确定；目前有足够的证据表明，增加植被可能有利于旱地降水，植被减少则可能对当地降水不利。而现在的关键问题是，如果把大气环流、水文循环、地—空能量平衡等因素全盘考虑的话，多种模型的预测结果便会出现相互冲突之处；现存模型的不修正、有限的解释力和准确性、时间和空间尺度的局限性等，都使得对旱地的气候（诸如温度、降水）模拟过程处于两难的境地；同时也增加了对控制和了解气候变化与荒漠化之间相互作用的难度。

四、荒漠化与全球气候变化的相互作用

本世纪以来，干旱地区正在变暖的走势已成定局。美国西北、南美洲南部、南部非洲和澳大利亚的干旱地区，气候变暖十分明显；同样的情况也发生在东部中东地区和西半壁亚洲沙漠地区。令人疑惑的是，亚洲沙漠的区域性变冷也时有发生。

就气象资料统计来看，旱地的降雨水平没有发生显著变化，且北美的西南部和澳大利亚的西部沙漠还表现出变湿的走向。目前为止，在所有旱地中降水变化最显著的地区首推Sahel；该地区自50年代中期以来，降雨量急剧下降，甚至带来了人员和经济的惨重损失（Hare & Ogallo, 1993）。为了探究Sahel地区降水减少的真正原因，气候学家提出了多种成因机制：海平面温度（包括厄尔尼诺—南方涛动）（Bate,1990）、地表状况、大气环流模式、各种温室气体的累积等。上述因素的任一变化，都会或多或少对降水产生影响（Ayoade, 1977; Druyan, 1989; Nicholson, 1989; Lamb & Peppler, 1991）。尽管一些模型预测到——温室气体升高将导致降水减少——这一结论与实际的降水记录基本一致；但与温度因子不同，降水及其过程受控于多种大气环境因素（包括温度因子），很难推断温室气体对降水变化的准确贡献率。因此，气候学家普遍认为，如果工业的发展和燃料使用的结构不变，到2030年（或2050年）大气中 CO_2 及其它温室气体的含量将相当于工业化前 CO_2 含量的2倍（慈龙骏,1994），至少可以断定温室气体

的积累将导致21世纪全球升温1~5℃；只是有些模型预测：所有旱地均有四季升温的趋势，而另有模型预测：只在中、高纬度地区有明显升温。对降水变化及其变幅的预测，各模型间和地区间的预测结果大相径庭，且预测的可信度较温度的预测不可同日而语。就旱地对全球温室气体的贡献率而言，估计在5~10%左右，其中旱地退化的贡献率小于5%。这一比率在全球尺度上并不起眼，但在地区或国家尺度就显得举足轻重了。多数旱地国家的人为CO₂排放量较小，因此，这一地区的CO₂排放量同其植被同化量已达稳态。上个世纪，大气中的CO₂约增加了40%，温度和干旱的趋势与数量模拟结果基本一致（Williams & Balling, 1994）。

总之，目前对荒漠化和气候变化相互作用进行定量评价的重要障碍源于所用数据的不一致性及其数据特征的差异。迄今仍然缺乏能以较大精确度来显示各不同地区的变化和速率的精确数据。因此，要求人们进一步研究以确定人类应对此过程负责的程度和采取紧急有效的行动去控制全球正在发生的灾难。荒漠化致使风蚀、水蚀加速；旱地土壤盐分积累增加；土壤结皮和地表径流增加，导致土壤结构稳定性减弱、土壤通透性和持水力下降；森林植被逐渐演替为稀树草原或杂木灌丛；干旱地区的河流水量变幅加大，导致淡水湖泊、湿地、溪流等水体的盐分含量递增；旱地生态系统的物种多样性及其生物量减少等等。造成上述结果的原因并不能全部归结于人类活动，也包括短期的气候变异、长期的气候干燥及突发性严重干旱和洪水等；另外旱地退化的多种过程也不是同一时间、同一地点同时发生的。因此，要定量评价荒漠化发生、发展的因果关系，就必须在时间-空间尺度上牢牢把握引起荒漠化的各个过程及其动态，否则就只能观其果（荒漠化现象）而不知其因（造成荒漠化的本质）。

大气环流模型表明，若ITCZ (Intertropical Convergence Zone) 北部的反射率由14%增加到35%的话，将导致ITCZ南移几度；Sahel地区的雨季降雨量将减少40%。如果认定总的生物量燃烧贡献了全球气体总量40%的话，那么旱地燃烧的贡献率保守估计也在10%上下。

荒漠化对气候的影响是通过干扰干旱地区的地-空能量交换平衡机制而产生效力，另一个根本性的影响则源于对水文循环的破坏。由人为活动对地-空能量平衡的影响而引起的旱地地表和大气组分的变化肯定会对区域性气候产生影响，且已经被众多数量化模型所模拟，并被大量野外试验所证实。气候在荒漠化地区有变暖和变冷趋势，而降水的增加或减少尚难以确定；目前有足够的证据表明，增加植被可能有利于旱地降水，植被减少则可能对当地降水不利。

参考文献

- 慈龙骏, 1994. 全球变化对我国荒漠化的影响. 自然资源学报, 9(4): 289~303.
- Angell, 1986. Annual and seasonal global temperature changes in the troposphere and low stratosphere, 1960~1985. *USDA Monthly Weather Review* 114: 1922-1930
- Ayoade, J.O., 1977. Perspectives on the recent drought in the Sudano-Sahelian region of West Africa. *Geophysik und Bioklimatologie (Series B)* 25: 67-77.
- Bakun, 1990. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science* 247:198-201
- Bate, A.K. 1990. *Climate in Crisis: The Greenhouse Effect and What Can Do*. The Book Publishing Company, USA.
- Blaney, H.F. & Criddle, W.D. 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. *USDA (ARS) Technical Bulletin*, 1275, 59pp.
- Bradley et al, 1987. Precipitation fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-nineteenth century. *Science* 237:171-175
- Bryant, N.A., et al, 1990. Measuring the effect of overgrazing in the Sonoran Desert. *Climate Change*, 17: 243-264.
- Cachier, H., 1992. Biomass burning sources, in, W.A. Nierenberg (ed), *Encyclopedia of Earth Science Systems*. San Diego, Academic Press: 121-189
- Chappellaz et al. 1990. *Nature* 345:127-131
- Charney, J.G. et al, 1975. Drought in Sahara, A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 187: 434-435.
- Crutzen, P.J. & M.O. Andreae, 1990. Biomass burning in the tropic: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250: 1669-1677.
- d'Almeida, G.A., 1989. Desert aerosol: Characteristics and effects on climate. Netherlands, Kulwer Academic Publishers, 311-338.
- Diaz, 1983. Drought in the US: some aspects of major dry and wet periods in the contiguous US, 1895-1981. *J. Climatol. Appl. Meteorol.* 22:3-16
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 24, 144pp.
- Dregne, H.E. & C.J. Tucker, 1988. Desert encroachment. *Desertification Control Bulletin*. 16: 16-19.

- Druyan, L.M., 1989. Advances in the study of sub-Saharan drought. *International Journal of Climatology*. 9: 77-90.
- FAO, 1991. *World Soil Resources: An Explanatory Note on the FAO World Soil Resources Map at 1:25 000 000 scale*. World Soil Resources Reports 66, Rome, FAO.
- Hansen & Lebedeff 1987. Global trends of measured surface air temperatures. *J.Geophys.Res.*92:13345-13372
- Hare, F. K. & L. A. J. Ogallo, 1993. *Climate Variations, Drought and Desertification*. WMO-No.653
- Jones, P.D. et al. 1985. A grid point surface air temperature. Date set for the northern hemisphere. US Dept. Of Energy, CO2 Research Division, Technical report TR022
- Jones, P.D. 1986a. A grid point surface air temperature. Date set for the southern hemisphere, 1851-1984. US Dept. Of Energy, CO2 Research Division, Technical report TR027
- Jones, P.D. 1986b. Northern hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984. *J of climate & applied meteorology* 25:161-79
- Jones, P.D. 1986c. Southern hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984. *J of climate & applied meteorology* 25:1213-1230
- Jones, P.D. 1986d. Global temperature variations, 1861-1984. *Nature* 322:430-434
- Jones, P.D. 1990a. Global warming trends. *Scientific American* 263:84-91
- Jones, P.D. 1990b. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. *Nature* 347:169-72
- Jones, P.D. 1991. Marine and land temperature data sets: A comparison and a look at recent trends. In: *Greenhouse-gas-induced Climate Change: A Critical Appraisal of Simulations and Observations*, eds. M.E.Schlesinger, 153-72. Elsevier Scientific Publishers, New York
- Jones, P.D. 1992. Climate variation in the longest instrumental records. In: *Climate Since A.D. 1500*, eds. R.S.Bradley & P.D.Jones, 246-68. Routledge, London
- Jones P.D. 1993. Is climate change occurring? Evidence from the instrumental record. In: *Agricultural dimensions of global climate change*.eds. H.M.Kaiser et al. Chapter 5. St. Lucie Press: Florida
- Kar at al 1991. Global warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change. *Geophys. Res. Lett.* 18:2253-2256
- Lamb, P.J. & Peppler, R.A., 1991. *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*. Cambridge Press.
- Lin, Guanghui. 1999. Interactions between terrestrial ecosystems and global change. In: *"Perspectives of Global Ecology"* (eds. J. Fang and J. Lin)
- Liss & Crane. 1983. *Man-made co2 & Climate change*. GEO Books, Norwich, England
- Manabe & Wetherald 1987. Large scale changes in soil wetness induced by an increase in co2. *J. Atmos.Sci.* 44:1211-1235
- Neftel et al. 1982. *Nature* 295:220-223
- Nicholson, S.E., 1989. Long-term changes in African rainfall. *Weather*, 44: 46-56.
- Otterman, J., 1974. Baring high-albedo soils by overgrazing: A hypothesized desertification mechanism. *Science*, 186: 531-533
- Palutikof, J.P. et al. 1994: Seasonal scenarios of the change in Potential Evapotranspiration due to the enhanced greenhouse effect in the Mediterranean Basin. *International J. Of Climatology*,14,853~869
- Peltier & Tushingham 1989. Global sea level rise and the greenhouse effect: might they be connected? *Science* 244: 806-810
- Penman, H.L. 1948: Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal society of London*, 193,120~145
- Phillips, J.D., 1993. Biophysical feedbacks and risks of desertification. *Annals of the Association of American Geographers*. 83: 630-640
- Revelle, R. & H. Suess, 1957. Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO2 during the past decades. *Tellus*.9:18-28
- Rodhe, 1990. A comparison of the contribution of various gases to greenhouse effect. *Science* 248:1217-1219
- Rosenzweig & Parry, 1993. Potential impacts of climate change on world food supply: a summary of a recent international study. by Cynthia Rosenzwing & Martin L. Parry, In: *Agricultural dimensions of global climate change*.eds. H.M.Kaiser et al. Chapter 5. St. Lucie Press: Florida
- Stafford-Smith, D.M. & Morton, S.R., 1990. A framework for the ecology of arid Australia, *Journal of Arid Environments*. 18: 255-278
- Strong. 1989. Creator global warming revealed by satellite derived sea-surface temperature trends. *Nature* 338:642-645
- Thornthwaite, C.W. 1948: An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38,55~94
- Tucker, C.J., Dregne, H.E. & Morton, S.R., 1991. Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, 253: 299-301
- UNEP, 1992. Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification. Report of the Executive Director, Nairobi, United Nations Environment Programme.
- UNEP, 1994. United States Convention to Combat Desertification in Those Counties Experiencing Serious Drought and / or Desertification, particularly in Africa. UNEP, Geneva and Nairobi
- UNEP, 1997. *World Atlas of Desertification (2nd Edition)*. Editorial commentary by N.Middleton & D.S.G.Thomas, London, Edward Arnold
- Washington & Meehl 1989. Climate sensitivity due to increased co2: experiments with a coupled atmosphere and ocean GCM. *Clim.Dynam.* 4:1-38
- Wigley & Raper 1987. Thermal expansion of sea water associated with global warming. *Nature* 247:127-131
- Williams, M.A.J. & Balling, R.C.Jr., 1994. *Interaction of Desertification and Climate*. WMO/ UNEP, Geneva and Nairobi
- Zwally 1989. Growth of Greenland Ice sheet: interpretation. *Science* 246:1589-1591

美国 30 年代的黑风暴和 90 年代的沙尘暴¹

林光辉² 博士

提 要: 本文旨在向各位读者详细介绍和分析 20 世纪 30 年代以及最近 1999 年发生在美国的黑风暴、沙尘暴和尘暴及其带来的严重危害。美国南部高原地区是尘暴最为严重的地区之一，虽然发生在 20 世纪 30 年代的黑风暴臭名昭著，但是，1999 年在德州西部和新墨西哥州东南部又爆发了几次影响很大的沙尘暴和尘暴。伴随着飓风，这些沙尘暴和尘暴穿越南部高原地区，搬运漂移数百公里，甚至数千公里，在下风向地区沉降，形成降尘天气，造成严重的经济和生态灾害。

极端的旱灾和土地利用不当都是 30 年造成黑风暴的主要原因，而南部高原的尘暴漂移物几乎都是尘暴干扰地区无植被保护地表土壤直接受到大风吹蚀的产物。1930 年代，美国政府采取了一系列补救措施，如“新政补救措施”，对减缓沙尘暴和尘暴发生频率十分有效。最近以来，强烈的埃尔尼诺现象与完善的土地管理措施和土壤保持项目，使得大平原地区的尘暴发生的频率，较往年沙尘暴年代大为减少。

关键词: 气候变化，荒漠化，黑风暴，沙尘暴，美国

引 言

20 世纪的最后两年，中国北方连遭多次强沙尘暴袭击，连首都北京也在劫难逃。沙尘暴“给整个民族敲响了警钟”（朱镕基语）。

什么原因导致了如此频繁的沙尘暴？人们普遍认为，久旱、过牧、乱砍滥伐以及草地开垦、河岸地耕作、坡耕地种植等，都是导致中国北方特强沙尘暴发生的根本原因（后面章节有详述）。人口增长与工业开发消耗了大量地表水和地下水资源，致使地下水位补给远远赶不上人为因素引起的地下水位下降，城建废土废渣四溢，农村人口饮水不足，灌溉用水短缺。所有这些，严重地威胁着中国自己养活自己的能力，也是工业发展的一个严重障碍。中国 1/4 的国土面积为沙漠、沙地和沙荒地，几乎每年有 2500 平方公里的土地面积沦为荒漠化土地，这些面积大都是那些仅能种植玉米、仅够少许家畜和山羊生存的贫困地区，当地居民基本上是“面朝黄土背朝天”和“靠天吃饭”（朱震达和陈广庭，1994；Wang, 1996；Ci, 1997）。

然而，沙尘暴不仅限于在像中国这样的发展中国家发生。在美国，不仅在 20 世纪的 30 年代，由于严重的旱灾和土地利用不当，在大平原的广大地区发生“黑风暴”（Gill et al., 1981; Howarth, 1984; Lee et al., 1999），就是最近几年也时有发生（Gill et al., 2000）。尽管这一地区 1999 年所报道的沙尘暴发生总日数（大约 40 天）比以前要少（大约 60 天），在德克萨斯州西部和新墨西哥州东南部还是

¹ 致谢：作者特别感谢杨有林和卢琦对本文初稿提出的建设性意见。本工作得到中国国家自然科学基金杰出青年基金资助（项目批准号：30028001）。

² 通信地址：Biosphere 2 Center/Columbia University, 32540 S. Biosphere Road, Oracle, Arizona 86737, USA
PPHONE: 001-520-8966478; FAX: 8965016; E-MAIL: glin@bio2.edu

爆发了几次影响极大的沙尘暴，1999年1月和9月其他地区也发生了沙尘暴。这些沙尘暴都造成了严重的人员和财产损失（Gill et al., 2000）。

作者在本章详细描述和分析了美国30年代和1999年发生的几次大的沙尘暴和尘暴，期望本章内容能对更好认识中国北方沙尘暴灾害提供一些参考，并为探讨有效预防和治理上述生态与经济灾害措施，达到“抛砖引玉”的目的。

20世纪30年代发生在美国的“黑风暴”

20世纪30年代发生在美国西南大平原的那场“黑风暴”是一场危及人类的生态灾难（Bennefield, 1979; Hurt, 1981; Howarth, 1984; Lee et al., 1999），“黑风暴”得名于1935年4月14日这个“黑色星期日”（见后述）。这场“黑风暴”持续了整整十年，受影响的主要地区是南部大平原，北方受影响的程度较轻（图1）。但是，因“黑风暴”造成的农业荒废延长了美国的经济萧条，其影响在世界各地都能略见一斑。

图1 20世纪30年代美国臭名昭著的“尘窝”位置（图中阴影部分）



正如约翰·斯坦因贝克 (John Steinbeck) 在他1939年的小说《愤怒的葡萄》(The Grapes of Wrath) 中写道：“当时，无依无靠者被从堪萨斯、俄克拉何马、得克萨斯、新墨西哥驱逐到西部。从内华达到阿坎萨斯，无数的家庭和部落，被沙尘暴“扫地出门”，无数的人们被拖拽着流落他乡，有坐汽车的，有乘马车的，无家可归，饥寒交迫；两万、五万、十万、二十万逃难者翻山越岭，像慌慌张张的蚂蚁群，跑来跑去，到处在寻找工作，串上串下，出出进进，左刨右刨，东采西樵，地上任何东西、背上的任何包袱，都是果腹的食物。孩子们在饥饿中挣扎，没有家，没有地方栖身。就像蚂蚁那样，仓皇奔跑，艰辛觅食，几乎所有的人为有一片土地奔波”。

1935 年的 4 月 14 日 (黑色星期日): “在数周沙尘暴发生之后 (包括发生在三月底那场摧毁了 500 万英亩小麦田的沙尘暴), 人们终于感激地看到太阳出来了, 纷纷出去打零工, 上教堂祈祷, 出门野营, 或是在蓝天下沐浴阳光。下午时分, 气温骤然下降, 鸟不安地啼鸣。突然, 一股黑云出现在地平线上, 急速翻滚涌来。路上的行人在沙尘中搏击着赶回家, 有些人则不得不在半途中停下来, 在废城旧址中寻找藏身之地。就这样在漆黑中静坐了四个多小时, 时时担心会窒息而死; 之后, 继续上路……”。

发生在这个 “黑色星期日” 的沙尘暴是 30 年代最严重的沙尘暴之一, 它造成的损害过了很久还不能估算出来 (图 2)。紧接在沙尘暴季节之后, 发生在 4 月 14 日的这一沙尘暴比其他时候发生的沙尘暴影响更大。阿卫斯 D 卡尔森在他 “新共和国” 杂志的文章中写道: “就像用铁锹往脸上扬沙一样”。“人们在自家庭院赶上沙尘暴, 都得摸着台阶进门。行进中的汽车必须停下, 因为, 世界上没有一只车灯可以照亮黝黑沙尘漩涡……。这次沙尘暴是所有沙尘暴中最为可怕的一次梦魇, 但是在偶然的晴朗白天和平常的阴沉天气, 我们都无法摆脱沙尘恶魔的纠缠。我们成天与沙尘生活在一起, 吃着尘埃, 睡在沙尘之中, 天天看着沙尘剥夺我们的财产, 使我们财产的希望变的渺茫, 这已越来越变的不可抗拒。诗情画意般的春季精神变成过去了传说中的幽灵, 噩梦变成了现实”。

由于沙尘暴, 几百万公顷的农田废弃, 几十万人口流离失所 (Howarth, 1984, Lee et al., 1999)。当看到旱灾和沙尘暴没有暂停的迹象, 众多人口抛弃了他们的土地, 其他滞留下来的人, 在丧失银行抵押土地赎回权时, 也被强迫迁出家门。总计有四分之一的人口, 卷起所有行头, 乘着各种大小机动车, 向着西部的加利福尼亚州迁移。尽管有四分之三的农民还流在他们的土地上, 也有相当数量的地区几乎成了 “荒芜人烟的空城” (Howarth, 1979, Svolida, 1986)。

“黑风暴” 引起的大量人口迁移在美国历史上是最大的一次人口移民 (Bonfield, 1979), 到了 1940 年, 大平原几个州共有 250 万人口外迁, 其中有 20 万涌入加利福尼亚州。正如 1935 年 “矿工杂志” 中所描写的那样, 这些 “生态移民” 当他们来到边境时是不受欢迎的人。有一当地人驾驶着一辆破车的司机, 挺直且呆板地演讲, 歇斯底里地狂叫, 就像一部失灵的机车上每一个铰链、轴承、连接部位都在发出刺耳的怪叫声一样: ‘加利福尼亚的救济名单现在严重满员, 再来已无济于事’, 而几乎崩溃的逃难者却不管他在说什么, 只左顾右盼地照管着自己庞大的家庭成员, 紧随其后。他们人挨人, 几乎水泼不进, 挤进去后再想挤丢都是不可能的事。实际上洛杉矶警察局长不得不带着 125 名警察, 在州界充当人墙, 劝阻 ‘这些不受欢迎的人’ ”。

近年来发生在美国的风沙尘暴记录

近年来, 美国沙尘暴发生的频率不是很高, 但也时有发生, 例如, 1999 年 4 月上旬, 在美国中南部发生了明显的沙尘暴事件。1999 年 4 月 9 日, 又在科罗拉多州和堪萨斯州发生了一次强烈的尘暴, 时隔一周, 4 月 14 日, 又一次强沙尘暴发生在得克萨斯西部和新墨西哥州东南部 (Gill et al., 2000)。根据 Gill 等(2000)的相关表述, 作者就发生在 1999 年的几次尘暴和沙暴做些介绍和分析。

1999 年 1 月 21 日

1999 年 1 月 21 日，出现在墨西哥州北部、亚利桑那州/新墨西哥州的南部和德克萨斯州西南部的高大滚动沙尘到处可见。这些半干旱荒漠地区残留的几个干涸盐湖湖床，都是这次形成沙尘暴的沙尘源。德克萨斯州西南地区还分布了将有大风和扬沙的警报（有些山口地区阵风达到 110-130 公里/小时）。风力达 65-80 公里/小时，地面自动报告系统还记录地面能见度降低于 1600 米（图 3）。当日，国家海洋与大气局的大风轮廓图资料显示：落基山脉南部宽槽带形成了一个黑色尘柱，新墨西哥州白沙滩 8,000-10,000 米的高空出现了旋风涡（风力大于 50 米/秒），当日内逐渐形成了强大风暴。

1999 年 4 月 8 日

1999 年 4 月 8 日下午早些时候，科罗拉多州和堪萨斯州发生一次强沙尘暴（图 4）。国家海洋大气局的专家是这样描述这次沙尘暴的：“4 月 8 日夜间发生在内布拉斯加东部上空的强大沙尘暴，给衣阿华州和密苏里州带来了大暴雨，沙尘暴一个晚上向东移动，并在伊利诺伊州和俄亥俄州形成旋风夹带着暴雨，注意到，科罗拉多州西部天空一片黄色，穿越堪萨斯州，进入沙尘暴循环圈。这是一次大气尘暴漂移，由大风自高原地区搬运到了沙尘暴中心地带。大风逆向狂吹，盘旋在低压地带，并成螺旋状向沙尘暴中心旋转。很明显，1999 年 4 月 8 日当天，科罗拉多州和堪萨斯州地面突然爆发强风，沙尘暴前锋移动速度超过 50 米/秒”。

1999 年 4 月 14 日

1999 年 4 月 14 日，又一场强沙尘暴发生在德克萨斯州西部和新墨西哥州东南部（图 5）。起初，尘暴从白沙滩开始向西移动，但是，逐渐形成尘柱西移，遮挡了圣安地尔斯山脉的视野，穿越盆地。1999 年 4 月 14 日当天，一股强大的低压带穿越德克萨斯州狭长走廊进入澳克拉荷马州。上午稍后，由于极端的强压影响，飓风后侧的逆向强风开始形成，并整天保持很高风速。德克萨斯州西北的拉伯克市经受了连续六个小时风速达 60 公里/小时的大风的袭击，沙尘暴前锋风速高达 100 公里/小时，得克萨斯技术大学气象站下午 4:57 的大风记录达到 105 公里/小时，得克萨斯州的拉伯克和西部其他城市遭受的沙尘暴范围较大，但危害相对较小。

据报道，4 月 14 日夜间，得克萨斯州西部、中部以及新墨西哥州的东南部许多地方出现扬尘天气。据气象台站报道，大致在新墨西哥州的霍布斯，得克萨斯州的章克申，克莱尔，阿比林，柴尔德里斯，拉伯克等范围内出现“扬尘天气”或者“阴霾天气”。这一多边地区的北部和西部许多地方普遍遭受了“泥雨”的洗礼，尘暴源大概距拉伯克最近。由于天空无云，卫片上沙尘暴清晰可见。

1999 年 5 月 4-5 日

1999年5月4-5日发生的沙尘暴，是过去10年或更长时间，发生在得克萨斯州西部最大的突发性沙尘暴。源自得克萨斯州西部和新墨西哥州的沙尘暴，沉降地点最近的也到了衣阿华州和伊利诺伊州境内（图7-6）。1999年5月4日下午时分，一个非常巨大的低压圈正在自澳克拉荷马向东北方向移动，这里曾在本次尘暴发生前的5月3日，发生过北美历史上破坏性最大的突发性旋风。当天上午晚些时候，在得克萨斯西部和新墨西哥东部，大风在飓风后侧逆向狂吹，由于强压影响，且全天风速不减，风速大体在64公里/小时或更高，得克萨斯州西部和新墨西哥州东部大部分地区，从下午直到前半夜，阵风超过80.5公里/小时。

土壤细颗粒被大风卷入不稳定的大气层，使得得克萨斯州和俄克拉何马州上空，阴霾天气夹带着大量沙尘，能见度急剧下降。下午晚些时候，拉伯克城里的能见度几乎为零，且空气中沙尘吹扬。地面观测站记录的沙尘搬运到了俄克拉何马州锡尔堡以东更远的地区。卫片上看到两条分离的尘埃带（肉眼和红外线均可看到），其中一条穿越墨西哥的奇瓦瓦沙漠北部、新墨西哥州南部，向德明以南和以东延伸，穿过埃尔帕索得克萨斯州的佩尔缅盆地，到达爱德华高原东部边缘的最东段。另一条沙尘源大致从新墨西哥州的霍布斯和克洛维斯起始，穿越南部高原，向着得克萨斯州的拉伯克和柴尔德里斯移动，呈弧形进入俄克拉何马州的东北部。

这次沙尘暴远距离搬运的沙尘埃数量巨大，达拉斯沃思堡地区空气质量恶劣，夹杂着大量来自南部高原的细颗粒和微粒沙尘物质，致使5月4日夜间到5月5日，达拉斯地区的汽车一夜之间涂上了一层尘埃。据电台报道，5月6日，衣阿华东南地区露天汽车蒙上了一层浅褐色粉尘尘埃，密芝安东北地区也有沙尘沉降。5月6日下午，拉伯克国际机场阵风达到20米/秒，得克萨斯技术大学达到27米/秒，再次发生了土壤吹蚀，原来的沉降尘埃再次被吹起，悬浮在高空。

1999年9月25日

1999年9月25日，由于大风接近冷锋，上午10:25刮起了沙尘暴，这次沙尘暴在俄勒冈州导致发生了一些连锁反应，致使十多人死亡，几十人送往医院抢救。一场让人迷失方向的风沙尘暴（图7-7），导致了周末（六）高速公路连环撞车的最新记录，造成俄勒冈州一连串的车祸伤亡。例如，赫米斯顿和彭德尔顿之间的84号州际公路4英里的地段内，至少有三起事故，造成50辆汽车报废，6人死亡，23人重伤。俄勒冈东部和华盛顿的三条高速公路上，发生多起多层车辆连环相撞，几十人被送进医院，当时阵风达136公里/小时，大风袭击干燥的麦田和“山艾树荒漠”，整整肆虐了一天。另外一次明显的连锁反应是发生在84号州际公路198英里路标中段向东车道内，一共有5辆大卡车和11辆其他车辆相撞，导致4人死亡和多人重伤。

美国沙尘暴的成因

引起沙尘暴的因素诸多，在美国，主要包括土地利用不当、持续干旱以及大平原地区的土壤特殊性质。

土地利用不当

“黑风暴”主要是落后的农业生产和多年的连续干旱所致。尽管美国大平原地区的旱魔是不可避免的，大约每 25 年循环发生一次（Warrick et al., 1975; Warrick 1980），但干旱与土地利用不当，二者吻合产生了“黑风暴”年份难以置信的蹂躏。南部平原土地上原来草本植物固定着地表细物质，后来定居者用农作技术开垦，并拓建家园（Hurt, 1981; Svolida, 1986）。第一次世界大战期间小麦粮食需求巨增，致使表土损失遗尽。大量饲养牛羊，使草场放牧过度，西部平原地表植被覆盖过度啃食，干旱来临，地表遭受大风剥蚀。大平原草地深耕后种植小麦，降水充足年份，粮食高产丰产。在 30 年早期干旱加剧之后，农民仍然从事耕种业，却颗粒无收。地表失去了植被的保护，大风席卷旱田扬起沙尘巨浪，直冲天空。一连数日，天空一片黑暗，甚至封闭良好的房子里的家具上也都积有厚厚的一层尘埃。有些地区地面上的沙尘，就像雪片一样随风滚动，掩埋农田。

持续干旱

干旱是引起 30 年代“黑风暴”的另一主要因素（图 8）。干旱首先在 1930 年袭击了美国东部地区，1931 年向西部转移。1934 年，将整个大平原地区沦为荒漠。堪萨斯的记者艾尼尔·湃勒 1936 年在描写俄克拉何马州界北部时写道：“如果想让自己心肺撕裂，就来这里，准能做到”。“这是一个沙尘暴的世界，是我毕生见过的最为悲惨的土地”。

在 20 世纪，降雨和沙尘暴记录表明干旱发生大概每 20 年循环一次，单数的十年为干旱沙尘暴频发年，双数十年则为湿润且沙尘暴频率较低（Warrick et al., 1975; Warrick, 1980）。进入 90 年，这种循环不再出现。厄尔尼诺现象、改进后的土地管理措施以及水土保持项目，使得美国南部高原沙尘暴整体状况与早期沙尘暴比较，发生频率减少，危害减弱（Gill et al., 2000）。

最新的一项研究表明，北美整个大平原地区过去两千年的气候，可能经历了许多像 30 年折磨北美的“黑风暴”干旱年份（Laird et al., 1996）一样的时期。这一地区遭受了周期性较长的干旱和比 30 年代“黑风暴”更为强烈的沙尘暴时期。公元 1200 年前，频繁发生比导致 20 世纪 30 年代“黑风暴”更为严重的旱灾。另一方面，大气中二氧化碳浓度的不断增加很可能增加旱灾的严重程度与发生频率，因此 1200 年以前发生的气候变异，很可能在北美大平原地区重演，导致毁灭性恶果。所以，随着大气二氧化碳的不断增长，我们将有可能会看到风沙尘暴更频繁发生。

土壤性质

在美国大平原地区，自然过程和当地特殊条件的结合使得这里的地表极易受到大风的侵蚀，并伴随发生沙尘暴。罕见洪涝冲积的沉积物，加上缺乏植被覆盖和季节性大风，给沙尘暴的发生带来了便利条件。几千年来，这些风成沙尘物质从荒漠地区搬运到千公里之外，在周边荒漠土壤上沉降沉积。在气候变化和人为干扰的情况下，植被消失，保护和固定荒漠的表土被毁，荒漠土地沉降的风成沉积物，则更易遭受大风侵蚀。

例如，美国新墨西哥州白沙地区频繁发生沙尘暴，直接影响了位于白沙东南方的阿拉莫戈多市（Gill et al., 2000）。较大一些的沙尘暴将盆地内地面风化物风成物吹蚀、搬运，携带至东北地区。白沙地区是石膏沙（硫酸钙）沉淀物堆积很厚的一个特殊地区，厚厚的白沙覆盖着美国新墨西哥州中南部萨克拉曼多和圣安第尔斯山脉之间图拉罗萨盆地中以前的卢塞罗湖泊。有人认为，这是地球上石膏风化物沉积沙丘地最大的沙地，茫茫白沙是挑选卫片时最易辨认的陆标。白沙国家纪念园内分布有天然形成的无数形态的沙丘。大风可以引起白沙细沙颗粒移动，是形成细沙粉尘风成物的巨大沙尘源。

美国预防、治理沙尘暴的措施

在 30 年代早期，大平原南部地区旱灾和沙尘暴引起的危害程度，没有得到除此以外地区的注意。在新选举的罗斯福总统领导下，全国上下齐心协力，力争从大萧条中找到出路。因次，那些通常比较富裕的农户的困境，并没有受到一般民众的及时关注。

但是，罗斯福当局一些官员认识到，美国普通老百姓与受“黑风暴”危害的农民有着密切的联系。众所周知的美国“土壤保持之父”贝纳特（Hugh Hammond Bennett），在罗斯福就任总统之前，就领导了“积极保持土壤，改善农作措施”的运动。30 年代中期，“黑风暴”受害农民无所顾及，对于贝纳特“美国人已经变成了世界上不管是野蛮的或者文明的种族或者人类土地的最大破坏者”的忠告无动于衷。后来，他又号召“唤醒全民，采取行动，改善农业”。除口头演说外，贝纳特还对“黑风暴”受害农民面临的艰辛与苦难深表同感。而且，贝纳特还鼓动推广一套新的耕作措施，以避免今后发生类似的大灾难。

1935 年 4 月，当贝纳特着手准备向国会委员会会议听证材料时获知了发生在西部平原的沙尘暴。最终，他通过使用大量的实际证据，揭露了目光短浅的农业耕作制度所能带来的恶果。贝纳特大声疾呼：沙尘暴的幽灵，侵吞了国家的资本，遮盖了白昼天日，“先生们，这就是我要向诸位讲的内容”。国会对贝纳特意见做出了反应，于 1935 年通过了“水土保持法”。其后，罗斯福当局竭尽政府权威与所能，着手改善农业与农作技术。

说服农民善待土地，需要巨大的付出，甚至不惜使用过去那种古老的笼络行为。联邦政府对农民们从事的那些目的在于保持土壤的种植、耕作活动给予每英亩一个美元的补贴。1933 年，在农业调整管理局名下，政府开始实施减少过剩粮食

（如小麦）补贴政策。虽然傲慢自大，但大多数农民还是接受了政府的提议。1933年到1937年，政府的这项补贴是众多受“黑风暴”影响的农民唯一的收入来源。

一组新政计划和组织相继成立，解决“黑风暴”受灾定居者的需求：联邦紧急救济局、联邦 额外救济署、劳动发展局、民间保护团以及抗旱救济局等，购买了穷困农民大批的牛群，这些牛群大都是骨瘦如柴、矮小多病，几乎全是岌岌可危的病牛。大多数遭受“黑风暴”危害的民众非常感激罗斯福及其新政计划。对于大多数农民来说，只有联邦的援助才使得他们有可能度过旱灾和沙尘暴灾害年景。30年代即将结束之际，他们终于等来了降雨。南部大平原再次迎来了高产丰收，农民和联邦政府之间的关系得以维持下来。自此以后，一个系统的，但有时候又是争论不休的价格支持和补贴制度随即诞生，形成了联邦政府农业政策的支柱。

1935年初，美国设立了联邦保护计划，通过改变大平原地区基本耕作方法，实行种草计划，推行轮作制度，提倡等高线耕作，发展条带状种植，营造“防风林带”等来防止“黑风暴”所造成的破坏。当外人批评农民的农作方法时，他们总是有抵触心理。只有当他们拿到补偿后，才会在其农业生产中推广新的耕作技术。他们每一英亩得到的一美元补偿常常使他们能够多呆一段时间而不是即刻放弃自己的土地。

在罗斯福新政计划中，劳动发展局最为有名，因为它影响了众多人口的生活水准。罗斯福劳动-救济计划的先见之明在于，为 850 多万人提供了就业，人均月工资达到 41.57 美元。劳动发展局安排就业人员去建桥、修路、建设公共建筑、公园以及机场。民间保护团也是新政计划中另外一个最为成功的计划，它帮助失业者解决最为迫切的问题，把那些 17-23 岁的年轻单身派往国家林区工作，居住在林区的帐篷里，开沟挖渠，修建水库，植树造林。这些单身青年全部都是志愿者，每月报酬 30 美元。

以上这些新政计划，大大改善了农作方式，增加了土地植被覆盖，降低了土壤流失。因为这些，美国大平原地区沙尘暴发生的频率和强度后来开始逐渐降低下来。

结论

从以上的介绍中，我们可以得出结论：

一、美国南部沙尘暴也十分严重，特别是在 20 世纪的 30 年代有为突出。这些沙尘暴给美国人民带来了严重的经济和生态损失。

二、不合理的土地利用（破坏性农作、过牧等）、持续干旱以及南方大平原地区的土壤特性都是美国沙尘暴的主要成因。

三、有效的补救措施，如合理的农作方法、大规模的营造防护林以及在危机时刻政府的补助措施等，都有效地降低了 30 年代沙尘暴发生的频率。尤其是最近，强烈的埃尔 尼诺现象与完善的土地管理措施和土壤保持项目，使得大平原地区的沙尘暴发生的频率，较几十年以前大为减少。

（杨有林译，赵爱云校）

参考文献

Bonnefield, P. 1979. "The Dust Bowl: Men, Dirt, and Depression." University of New Mexico Press.

Ci, L. J. 1997. Land Evaluation and Expert System for Combating Desertification. China Forestry Publishing House, Beijing. 201pp.

Gill, T.E., Westphal, D.L., Stephens, G., and Peterson, R.E., 2000. Integrated assessment of regional dust transport from west Texas and New Mexico, spring 1999. Preprints of the 11th Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology with the Air and Waste Management Association, American Meteorological Society, Boston, MA, pp. 370- 375.

Howarth, W. 1984. "The Okies: Beyond the Dust Bowl." National Geographic 166.

Hurt, R. D. 1981. "The Dust Bowl: An Agricultural and Social History." Nelson-Hall, Inc.

Laird, K. R., et al., 1996. Nature. 384:552-554.

Lee, J.A., Gill, T.E., and Mulligan, K.R., 1999. The 1930s Dust Bowl: The Relative Roles of People and the Physical Environment. Geological Society of America Abstracts and Programs 31(1): A11.

Rosenzweig, C. and Hillel, D. 1993. The Dust Bowl of the 1930s: analogue of greenhouse effect in the Great Plains? Journal of Environmental Quality, 22: 9-22.

Svobida, L. 1986. "Farming the Dust Bowl: A First-Hand Account from Kansas." University Press of Kansas.

Wang, L. X. 1994. Combating desertification in China. China Forestry Publishing House, Beijing, pp. 408.

Warrick, R. A. 1980. Drought in the Great Plains: A Case Study of Research on Climate and Society in the USA. in IIASA Proceedings Series: Climate Constraints and Human Activities, ed. Jesse Ausubel and Asit K. Biswas. Pergamon Press: New York.

Warrick, R. A., Trainer, R. B., Baker, E. J., and Brinkman B. 1975. Drought Hazard in the United States: A Research Assessment. Program on Technology, Environment and Man Monograph #NSF-RA-E-75-004, the University of Colorado.

Worster, Donald. "Dust Bowl: The Southern Plains in the 1930's." Oxford University Press, 1979.

朱震达、陈广庭等. 1994. 中国土地沙质荒漠化. 北京: 科学出版社, pp.250.

第 4 章

挑战沙尘暴：加拿大大草原地区的经历

王 森¹ 博士 森林经济学
加拿大林务局太平洋林业中心

摘 要：加拿大虽然只有 26000 平方公里的沙丘，只占国土面积的 0.3%，但沙尘暴和旱灾的危害不断，特别是马尼托巴、萨克其万 和艾伯塔几个以草原为主的省份，产生沙尘暴的主要因素包括：地形、气候、植被覆盖度、土壤类型等，平均每年发生五次沙尘暴。四月为高峰期，八月次之。加拿大草原地区自 19 世纪开发以来，农业生产和民居发展较快，粗放的农作生产导致土壤退化。因而，沙尘暴和旱灾对草原地区的经济、当地居民的生活以及生态系统带来非常明显的影响。由于风蚀，每年至少损失 1.61 亿吨表土，每年风蚀对于几个草原省份农牧场造成的损失高达 2.49 亿加元。

受本世纪 30 年代美国大平原地区风沙尘暴的影响，加拿大联邦政府为了保护土壤，专门成立了草原地区农牧场恢复管理局，专职实施水土保持的项目和规划。80 年代的严重干旱，使得政府进一步明确设立了一些控制土壤侵蚀的工程项目。本文旨在提出以下三个目的，第一，阐述发生在加拿大几个草原省区风沙尘暴整体情况及其带来的危害；第二，分析、评价政府过去几十年来确定的项目和规划，简要介绍这些项目在减轻风沙尘暴危害以及治理土壤风蚀的成效；第三，讨论几个与气候变化有关的迫在眉睫的沙尘暴和旱灾问题，提出本地区未来研究的方向。

关键词：沙丘、旱灾、土壤侵蚀、土地退化、气候变化

一、导言

加拿大是世界上的第二大国，领土面积大约 1000 万平方公里，仅次于俄罗斯联邦。加拿大有 10 个省份，根据气候条件和土壤类型分为四个大区：即大西洋区（纽芬兰省，爱德华王子岛省，新斯科舍省和新不伦瑞克省）、中部区（魁北克和安大略省）、草原区（马尼托巴，萨克其万省和艾伯塔）和太平洋区（不列颠哥伦比亚省）。另外，北部尚有三块领地：努纳瓦克地区、西北地区和育空地区。

图 1 加拿大地图

¹ 联系地址：506 West Burnside Road, Victoria, B.C., Canada V8Z 1M5

电话: (250) 363-0726; 传真: (250) 363-0775; 电子邮箱: senwang@pfc.forestry.ca

加拿大的地理、气候、土壤差别很大，是一个奇特的国土，地形地貌各式各样，包括极地动土地带、巨大的山系和余脉、森林、广大的平原和大草原、海洋和内陆流域以及其他生态系统。加拿大的气候有如其地形一般不同。由西向东的气流通常在冬季受北极干冷气流的干扰，而在夏季，受东南而来的暖流、热带气流干扰。另外，还有山系、平原以及庞大水系等因素的影响。因此，气温和降水各地有别，沙尘暴和旱灾等形式的自然灾害发生的频率很高，大草原地区有为突出。由于北部气候恶劣，尽有 12% 的土地适宜发展农业，为此，3000 万加拿大人只有靠与美国接壤的南部边境大西洋和太平洋之间的 300 公里狭长地带内生存（见加拿大信息局 2000 年资料）。

表 1：加拿大概况

省/领地	土地 (平方公里)	淡水 (平方公里)	总面积 (平方公里)	人口 (千)
新芬兰	373 872	31 340	405 212	538.8
爱德华王子岛	5 660	-	5 660	138.9
新斯科舍	53 338	1 946	55 284	941.0
新不伦瑞克	71 450	1 458	72 908	756.6
魁北克	1 365 128	176 928	1 542 056	7 372.4
安大略	917 741	158 654	1 076 395	11 669.3
马尼托巴	553 556	94 241	647 797	1 147.9
萨克其万	591 670	59 366	651 036	1 023.6
艾伯塔	642 317	19 531	661 848	2 997.2
不列颠哥伦比亚	925 186	19 549	944 735	4 063.8
育空地区	474 391	8 052	482 443	30.7
西北领地	1 183 085	163 021	1 346 106	42.1
努纳瓦克	1 936 113	157 077	2 093 190	27.7
加拿大全国	9 093 507	891 163	9 984 670	30 750.1

资料来源：加拿大统计局（2000），人口资料为 2000 年数据。

严格来讲，加拿大没有真正的沙漠，虽然沙丘面积达 2.6 万平方公里，占国土面积的 0.3%（大尉，1979 年）。加拿大是一个自然灾害频繁的国家，灾害形式多种，其中，自 19 世纪后期农业开发以来，风沙尘暴灾害在大草原地区经常发生。本文第一部分简要介绍加拿大在治理风沙尘暴和旱灾危害问题方面的经验，重点是大草原地区；第二部分阐述沙尘暴发生过程、成因、后果；第三部分评价加拿大政府过去几十年治理沙尘暴的一些规划和主要项目；第四部分简单探讨 21 世纪加拿大面临的挑战。

二、加拿大大草原地区的沙尘暴

加拿大大草原地区由艾伯塔，萨克其万和马尼托巴三个省组成，总面积约 1.96 亿公顷，占国土总面积的 19.6%。西南部的艾伯塔海拔最高，超过 1500 米，哈得孙湾的马尼托巴沿海地带与海平行。

加拿大大草原位于北美大平原北缘，坐落在由落基山到红河流域的一个大半圆圈内，包括了上述三个草原省份的南部地区，生态系统和地形差异较大。整个地区的气候、地形、植被、土壤生产力等千变万化。典型的地形包括平坦宽阔的大平原和平缓起伏的高原、连绵不断的丘陵地带、峡谷、流动沙丘、大型水库、苍翠繁茂的湿地、密集的河谷流域森林、裸露的基岩和砂岩露头。

大草原地区地下为更新世沉积岩。现代地形是 12000 年以前末代冰川时期形成的。冰川退缩以后，随着干旱的增加，冰川后期的森林慢慢枯萎、消失。一些根系深且发达的植物群落和耐旱植被出现，形成大草原地区的建群优势植被。除了草本草以外，还有大量的灌木。在潮湿地区有高等灌木和乔木生存。在大草原边缘地带，草地和杨树(*Populus tremuloides*)林地混交分布。大草原地区的土壤主要为冰渍物和河湖相沉积物(赫灵敦 等，1997)。

由于受西部落基山脉屏障的影响，大草原地区远离海洋，这就使得该地区成为一个具有大陆性气候的草原地区。夏季炎热，冬季严酷，气温变率最高达摄氏 40 度，最低达摄氏零下 40 度。降水量较低，年平均降水（含降雪）在 250~750 毫米之间，是一个属于干旱 和半干旱地区。湿度较大的马尼托巴红河流域每年的降水大致在 500 毫米左右。强风也是大草原地区特有的一种天气，大风吹干了土壤，吹枯了植物，在南部更为严重。上风向和盛行风向地段没有大的水体，旱灾频繁，干旱季节沙尘暴经常发生（阿兰，1973 年；拉道其和安内特，1982 年）。

一）大草原地区是加拿大的粮袋子、定居地和大开垦

发达的农业占地 3770 万公顷，大草原三省占加拿大农业基地的 80%，农业是这里的支柱产业，是加拿大小麦主产区。事实上，大草原三省是世界上谷物产量最高的地区之一。因此，得到了“世界粮仓”的美誉(姆瑞，1980 年，第四页)。

1690 年，哈得孙湾公司的亨利 凯瑟是第一个发现加拿大大草原的欧洲人。在他的描述里，大草原地区是一个“茫茫荒原”。他的这一印象给后人留下了深远的影响，人们惯称这里为“西部荒原”（阿兰，1973 年, 18 页）。

1818 年，加拿大和美国边界线确定之后 50 年内，加拿大根据“英国北美法案”于 1867 年正式行使主权。加盟英联邦之后不久，加拿大便以强大的力量西扩，昔日被人们认为无任何价值的数千平方英里的领土，被开发为定居地区。但是，直到 1880~1881，西部平原仍属无人居住区(姆瑞，1980 年)。

加拿大的“西扩”导致了欧洲移民潮的发生，然而，新移民对这里荒凉凄惨的景观并没有影响。对于大多数欧洲移民来说，生疏的大草原使得他们有个全新的对比，表面上来看，这里比他们的家乡更为热情。这里的农业发展，受早期人们对它“广袤无垠的美洲荒漠”传说的严重制约。在 19 世纪下半叶开始建设定居区之后，在 1860~1862、1870~1873、1886~1889、和 1893~1895 期间发生了旱灾，并伴随着出现霜冻，作物受到严重损失，导致发生了定居者“移居他乡”的局面。就在这同时，各种旱作农业措施被一些农民接受并采用，开发了早熟小麦品种。在 19 世纪末，旱地农作方法得到改善，由此引发了定居和开发大草原地区的二次移民浪潮（(斯万森， 1970 年)。

有两个因素推动了大草原地区的定居和开发。第一，1872 年，议会通过了“土地主权法”，该法保护了定居者的田产。为了鼓励定居，主权政府于 1871 年签署了开展大规模土地普查令。明确宣布，每一个村镇的大小，不能小于由 36 块地块组成的面积为 640 英亩的街区，这样，每个村镇又划分成四片每片约 160 英亩土地的街区。偶数编号的地块归移民建家园，奇数编号的地块由政府保留。任何一位年满 18 岁以及以上年龄的定居者，都有资格在预付 10 元注册费之后，申请一片地块。定居者连续三年，每年定居六个月以上，并已盖房建仓，且 40 英亩的土地已经耕用之后，可以得到土地所有权(姆瑞，1980 年)。

第二个因素就是加拿大太平洋铁路的建设。这条连接蒙特利尔和温哥华的铁路建设完成之后，主权政府进行了声势浩大的宣传运动，并对对定居者实行特别运输价格(姆瑞，1980 年)。这样，对于那些新定居者来说，具有很大的冒险诱惑，同时，也给予了保证成功的承诺。有铁路运输线的支持，数以千计的加拿大东部和世界其他国家定居者纷纷涌入大草原地区，在这里建设他们的家园。

历史学家把 1860~1930 年代这一时期看着是加拿大大规模农业定居的新纪元(马克·艾万，1952 年；富列森，1984 年；唐普森，1998 年)。起初，大草原地区是加拿大西北领地的一部分，1870 年成为一个省，但是其他两个省一直到 1905 尚未建省。

自 1880 年以来，最大的变化莫过于将加拿大大草原地区从原来的天然草场开垦为农业耕作区。大量的天然植被毁，为了解决人口吃粮和牲畜饲料需求，把原来富饶的表土垦为农田种植作物。除此而外，20 世纪初，大草原地区开垦的速度，由于人为因素进一步加大，很多人对开垦南部草地的发展农业的做法提出许多质疑，因为早期的自耕农并没有认识到他们在毁坏草场的同时，也制造了水土流失(威瑟，1996 年)。然而，哥雷(1996 年)则争辩说，作为一个国家，加拿大如果没有大草原地区的定居和农业开发，就不可能存在到今天。

二) 沙丘、帕理塞三角带和区域气候

除了没有真正的沙漠，加拿大很大一部分国土初在世界干旱、半干旱地带(托马斯，1997 年)。由于缺少植被，长期处于强风吹蚀状态，加拿大北极的一些地区出现类似荒漠景观。爱德华王子群岛上的沙质土壤和这里的恒风形成一对最佳因子，使该岛成为大西洋加拿大风蚀最具危害的地方。安大略省南部也存在极大的风蚀隐患，特别是沙质土壤地区(博得和拉宝特，1986 年)。不列颠哥伦比亚南部干旱生物带的奥素岭被戏称为加拿大的小沙漠，目前，已开辟为国家教学研究公用的唯一一处“沙漠中心”。

沙丘总面积仅有 2.6 万平方公里，但几乎各省和各领地沿海都有分布。根据大尉(大卫，1979 年)的资料，加拿大将近一半的沙丘集中分布在艾伯塔省，该地理查德森河谷沙山普遍认为是加拿大最大的单个沙丘。萨克其万和 马尼托巴的沙丘面积分别占全国沙丘总面积的 36%和 10%。

沙丘是沙土和气候因素，如大风和地表径流，相互作用的产物(拉谱和阿古斯 1982 年)。加拿大的沙丘几乎安全可以划分为“湿润沙丘”(大卫, 1977 年, 1979 年, 1981 年), 沙丘湿润系数为 4~8%(勒蒙等, 1998 年)。沙丘的大小一般在几十平方公里到 1200 平方公里不等。在位于萨克其万西北和艾伯塔 临近地区阿萨巴斯卡地区, 有高大沙丘存在。加拿大最大的两个流动沙丘就坐落在阿萨巴斯卡湖南岸。占地面积 385 平方公里, 沙丘高度达 30 米, 这是世界上沙丘分布位置最北端的地区(加拿大资料局, 2000 年数据)。该地区下覆物质为砂岩, 是就地起沙和碎石的沙源(拉谱和阿古斯, 1982 年)。然而, 由于该地人口较少, 这些沙丘没有引起重视。1980 年, 联邦政府-省府合作完成了一项研究项目(麦肯齐流域, 1981 年), 该项目没有对当地生态系统自然和生物之间的相互作用进行细致的研究。

另外一个发现沙丘群的地区就是萨克其万的南部、艾伯塔的东南部和马尼托巴的西南部。这一地区也被称之为帕理塞三角带, 是以约翰·帕理塞名字命名的(1807~1887 年)。约翰·帕理塞是 19 世纪英国探险队队长。正是约翰·帕理塞本人于 1857 年发现了这一地区发展农业的潜力(勒蒙等, 1998 年; 丽斯, 1988 年; 阿兰, 1973 年)。未加任何犹豫, 帕理塞宣布这一地区为无法居住区和不宜农业开发区, 理由很简单, 这里实在过于干旱(哥雷, 1996 年; 莫马提吾科和伊斯特考特, 1991 年)。帕理塞的报告为解释后来的加拿大大草原地区的自然地理奠定了一个基本的概念框架。事实上, 这个地区十分干旱, 以致于连接萨克其万西南、艾伯塔东南的隅角被寓为“尘埃之都”(琼斯, 1987 年)。

表 2: 加拿大大草原地区部分地段季节性降水和降雪记录

季节	天气参数	莱斯布里奇	萨克其万	温尼伯
冬季	降雨 (毫米)	1.2	1.5	2.3
	降雪 (毫米)	69.4	53.8	59.8
春季	降雨 (毫米)	63.5	54.1	90.1
	降雪 (毫米)	49.4	27.5	30.6
夏季	降雨 (毫米)	148.9	158.2	231.1
	降雪 (毫米)	0.2	0.0	0.0
秋季	降雨 (毫米)	46.9	39.9	80.8
	降雪 (毫米)	31.1	24.2	24.3
全年	降雨 (毫米)	260.5	253.7	404.3
	降雪 (毫米)	150.1	105.5	114.7

资料来源: 引自赫灵敦等(1997), 第十五页的表 8 (1961~1991 年数据)。

一直沿着加拿大-美国边界, 帕理塞三角带延伸 20 万平方公里。勒蒙等人(1998 年)发现, 该地带有 3400 平方公里的沙丘, 绝大部分目前固定, 只有零星流动沙丘(不到整个沙丘面积的 0.5%)。大草原这片朝南的地块具有极强的风成活动, 降水较低, 年降水在 250~300 毫米之间, 因此, 带状植被保护的地面呈裸露状态, 受到大风吹蚀。

航片显示, 尽管风成活动自 1940~1980 年代当气候湿润时有所减少, 单在 1980 年代的干旱年份, 有些地方沙丘表面迅速出现流动状态(勒蒙等人, 1998 年)。降雪占了大草原地区河流水流的 80%, 甚至是一些小溪的唯一水源。强烈的水分

亏缺形成了很少径流的地方性气候特点，但在具有渗透较差的地形和地质地带，也有突发性、高强度暴雨发生而产生洪流的时候。关于诸如沙尘大风、沙丘以及沉积过程等内容的更多理论问题，可参照考斯塔舒科 (2000 年)，贝尔勒和史密斯 (1998 年)，伟拉德和考斯塔舒科 (1998 年)，范斯 (1997 年)，浩格 (1994 年，1997 年)，吉尔 (1996 年)，儒滋和阿拉德 (1995 年)的研究成果。

三) 沙尘暴—严重的自然灾害

干旱土地经常受制约于风成活动，其中大风是吹蚀的重要因子 (托马斯，1997 年)。自农垦开始，风蚀就是加拿大西部一个由来已久的问题 (大草原地区农场复垦管理局，2000 年)。大草原最南端的地区，盛行风为西风，包括西南风和西北风。盛行风携带着太平洋暖湿气流，向东越过山系，空气变冷，湿润气流以降水或降雪的形式漂泊而下。气流越往东移动，湿气则多以降雪的形式落下。这里山系呈北-南走向，所以，自北而来的北极寒流没有任何屏障阻挡，寒冬弥漫整个大草原地区。同样，来自美洲西南向北推进的暖干气团也没有任何障碍。因此，大气颠簸、云层深厚、强风四起，降水猛增 (艾里亚斯，1999 年)。当春季大风盛行，夏季大雨瓢泼的时候有时候伴随着狂风。这时候，干旱、疏松的地表，没有植被覆盖的田间地块，极易受到风蚀。沙尘暴也就在此时迅速发生，强风卷起的沙尘黑浪几英里之外都可看到 (亨克和伊塔尼 1999 年)。尘暴像一堵黑墙，翻滚着压向地面。当地戏称其为老天的“灯火管制” (莫马提吾科和伊斯特考特，1991 年，第 115 页)。

严重的尘暴有时候也称之为沙暴或“尘魔”，因为它们听起来更为生动。但是，二者之间差距甚大，尘暴往往是大风将地面粉状物质卷起带入空中，高度较高，而沙暴则不一样 (布朗，1963 年)，“尘魔”是一种较小的大气旋涡，滚动的尘埃云团中夹杂着尘土或灰土杂质肉眼可以看见。根据长期发生的频率来看，萨克其万部分地区严格意义上的尘暴每年发生的次数大约五次，但是，夹带尘埃的强风则影响的地区更广 (威敦和查克拉瓦提，1990 年)。

大草原地区随处可以看到类似荒漠的景观。例如，在艾伯塔的红鹿河流域，过度的水蚀和风蚀，在当地的砂岩上雕刻出了各种奇形怪状的形态，当地称之为“不祥物”，土壤侵蚀也随之引起了流动沙丘。艾伯塔东南和萨克其万西南的土地极易受到风蚀的影响。虽然没有明确的资料，但发生在 20 世纪 30 年代的“黑风暴”期间，整个地面表土被强风“一扫而光”，每公顷损失 2000 吨表土，致使大草原地区各省的几乎 20% 的良田在黑风暴期间，受到侵蚀 (博得和拉宝特 1986 年)。

历史学家记录了当地居民长期遭受尘暴危害的情况 (见琼斯 1986 年，1987 年的资料)，农民经常被尘暴迷眼，摸着路离开田间回家。莫马提吾科和伊斯特考特 (1991) 做过这样的描述，老百姓用衬衣裹着头，或将头缩入外衣，想以此挡住沙尘进口入鼻，当地年长的居民对 30 年代的“恶尘”记忆犹新，当时人们确实经历了一场可怕的灾难。各种能够想得到的灾难都发生了，沙尘暴、无情的旱灾、炽热的高温等等。更有甚者，人们不得不将菜盘反扣在桌子上，否则，餐具里全是沙尘物质，无法进食。

哥雷 (1996 年) 对于 30 年代发生在加拿大大草原地区的尘暴，用下面这些生动

的语言作了描述：

“大风卷起表土，就像大雪般弥漫了艾伯塔的铁路，尘暴将萨克其万贫瘠地上的表土吹蚀、搬运、堆积到了良田上。（里贾纳、穆斯乔、斯威夫特卡伦特）三地里里外外都涂上了一层厚厚的尘土。温尼伯金黄的外衣受到了沙尘的洗礼。冬季降雪使得道路无法通行，而夏季风沙尘暴使得道路又一次瘫痪。风沙流埋没了居民的院墙和篱笆，阻塞了防风林带，压埋了菜园、果园和花园。沙土漫过了鸡舍，撕裂窗户，家家室内灌满了尘土沙子，门前堆积了黄沙，使得人们出不了门，离不了村，走不了路。真可谓，风沙迷漫出门难，一场风沙毁家园”。

但是，事实上，1980 年底以前，对加拿大大草原地区发生过的风沙尘暴没有做过科学的分析，斯帕洛 1984 年论证，风蚀和水蚀每年造成土壤流失总量的 58% 是由于风蚀引起的，保守地估计，每年大约损失表土 1.61 亿吨。威敦和查克拉瓦提于 1987 年，利用他们对于萨克其万沙尘暴时空以及气候因子的研究，首次做了开拓性的工作。他们的这项研究，在有关沙尘暴文献中提出了简要的评论之后，提出了一个定义“……尘暴是一种强风、大风，夹带者土壤颗粒，对大气造成的一种紊乱现象，水平线能见度在 1 公里以下或更低。

我们理解的中强度大风是指离地面 10 米高度每小时速度达到 20~49 公里。威敦和查克拉瓦提 1990 年，利用对尘暴和土壤侵蚀相关风险的时空和气候特点的实验，拓宽了他们以前对于整个大草原地区的分析范围。他们的研究成果非常重要，因为，他们的研究成果在很大程度上帮助人们认识和了解加拿大沙尘暴及其对于土壤的影响起到了重要作用。很显然，到目前为止，他们的研究工作仍然是对加拿大大草原地区沙尘暴最为权威的全面分析。

根据威敦和查克拉瓦提的 1990 年的资料，由于包括地形、气候、天然植被和土壤条件等因素的综合作用，大草原各省的南部，即帕理塞三角带，经常受到大风和尘暴的袭击。特别是那些日均风速达 10~35 公里/小时的每年平均大风日数的袭击。年降水在 250~450 毫米之间，其中 2/3 分布在夏季（5~8 月）。这些自然因素与当地不合理的土地利用类型共同作用，形成了一个理想的发生尘暴的环境条件。

加拿大的气象台站不直接报告尘暴。但是，加拿大的环境部门，根据能见度情况，观察和报道风沙和尘埃。所以，威敦和查克拉瓦提（1987 年，1990 年），根据他们的定义，利用对相关沙尘暴和能见度低于 1 公里以下天气报告的分析，得出了尘暴发生频率。图 2 反映了 1977~1985 年间大草原各省风沙尘暴发生的频率。值得注意，图中的风沙尘暴日数是一个地区的年平均数。换言之，平均日数是概括所有气象台站记录的发生沙尘天气的日数，然后除以气象台站个数，而后得出的全年尘暴天气总数计算而来的。这种计算方法保证了该地区沙尘暴总日数在空间上的平均，避免重复计算的问题，因为，往往两个或几个气象台站可能同时报告同一次沙尘暴。

图 2 中有两点非常明显，第一，实验期间，同一地方年尘暴平均天数高峰期发生在 1981 年，其他两个次高峰期分别发生在 1977 年和 1984 年。图 2 明确表出了各年间的频率变化。但是，这个频率变化必须慎重解释，需要更多的资料验证。根据其他地区的尘暴分析，古迪和密豆敦 1992 年发现，循环式尘暴天气是常有

的，尘暴发生的频率往往受自然过程的牵制，如总降水量、复雪厚度、大风强度等等。

第二，从空间方面来看，萨克其万和马尼托巴发生尘暴的频率比艾伯塔要高，特别是，萨克其万中部的里贾纳气象站记录了 1981 年的 19 天沙尘天气，这是整个大草原地区这一时期沙尘暴年总日数最多的一年。第二个高峰期 1981 年又发生在萨克其万南部的穆斯乔，记录日数为 14 天。很明显，萨克其万省中部的里贾纳、穆斯乔和萨肆卡通等周遍地区是加拿大平均年尘暴日数记录最高，每年发生沙尘暴日数超过 5 天。艾伯塔南部的沙尘暴日数记录每年 2~4 天，马尼托巴南部为 4~5 天。

图 2： 大草原地区各省 1977~1985 年期间沙尘暴发生的年频率

威敦和查克拉瓦提用大量详实的分析了尘暴问题的时间特征。例如，一次相关的沙尘暴每月的频率的实验显示出，沙尘暴有明显的季节性类型。同时说明，沙尘暴一般集中出现在两个时期，主要高峰期在四月，次要高峰期在八月。焦点集中在萨克其万，威敦和查克拉瓦提 1990 年提出，认为春季是沙尘暴主要高峰期的几条主要理由如下：

- 1) 加拿大大草原地区大部分地区春季风蚀较高；
- 2) 春季也是地表植被覆盖极为稀少的季节；
- 3) 降水一般在六月，这个季节也是土壤最为干枯的季节。

但是，与萨克其万和马尼托巴比较，艾伯塔春季发生沙尘暴的高峰期明显要少。

众所周知，发生旱灾和持续干旱的季节期间，大气中含尘量要比降雨正常期间的含尘量高。以往的经验 and 证据说明，大气含尘的多少，确实与旱灾的程度和干旱时间的长短有着相互的关系勒蒙等 1998 年；拉道尔奇和阿乃特 1982 年)。旱灾影响了作物的生长，导致低产和植被覆盖度的减少，旱灾同时引起了土壤水分的损失，使得土壤极易受到风蚀。在大草原各省，常常在极端气候条件下，侵蚀一年中任何时候都可发生，如强风特别是持续干旱的年份。1988 年的大旱，是近几十年来最为严重的旱灾。因此，沙尘暴次数相当于或超过了大草原各省两个气象台站以前的最高记录，也超过了其他台站的平均数（威敦等，1992 年）。很明显，有必要急需开展气候因子与沙尘暴之间联系，以及与其他环境因素，如植被覆盖度、土地利用类型、作物茬、秸秆等关系的进一步调查研究（威敦等，1992 年；威敦和查克拉瓦提 1990 年）。

为了全面了解，附件 1 列出了发生重大沙尘暴的年代。因为干旱在大草原地区是最为明显的气候特征，附件中也列出了重大旱灾的年分。值得注意的是，虽然早在 19 世纪 70 年代和 19 世纪 80 年代（如 1872 年在温尼伯和 1883 年在里贾纳就在一些选择的气象台站开展了观察工作，但是直到 1948 年，全国性的系统的气候记录尚未建立（加拿大环境 2000 年版，“加拿大气候趋势与变化公报”，赫灵顿等，1997 年）。因此，19 世纪后期和 20 世纪早期的沙尘暴资料，可能有一些由于其信息来源五花八门，不免有些带有一定的夸张成分，要慎重解释。

四）沙尘暴的危害后果

由于大风、洪水和耕作制度的影响，风蚀导致了地面土壤的重新分布（勒蒙等，1998 年）。加拿大大草原几乎所有地区都受到上述三项因素的影响。事实上，早在 19 世纪 80 年代的马尼托巴，风蚀就被界定为威胁农业生产的灾害（琼斯，1987 年）。19 世纪的 90 年代的萨克其万（马克 艾万，1952）和 20 世纪的 10 年代的艾伯塔（哥雷，1966 年）也持同样的认识观点。截止现在，最具灾难性的沙尘暴和干旱当属发生在“30 年代的恶尘”，使大草原地区三个省全部受难。1933~1937 年期间，这一地区的降水几乎减少一半。因此，小麦、玉米产量分别减少 32%和 50%，20 万个农场破产，30 万人口移居他乡，5 万农民依赖政府救济生活（赫灵顿等，1997 年）。在帕理塞三角地带一处，10 万户家庭被迫弃耕，男人们肩扛着简单的行囊，扒乘铁路货车，远离大草原地区（哥雷，1996 年）。1931 年 8 月 1 日，由于加拿大红十字会为连续三年绝收而遭受寒冷与饥饿的 12.5 万贫困农户发起了一场捐粮捐衣的活动，这才唤醒了全国上下对沙尘暴和干旱灾害严重性的关注（哥雷，1996 年）。

20 世纪整个 30 年代，风蚀和干旱极为严重。就这一段时间来说，大草原地区的 250 个城市、700 多万公顷土地受到了旱灾的影响。风蚀到底摧毁了农田，没有准确的记录。当时，土地表土被剥蚀的局面用“失控”形容一点不为过。哥雷（1996 年）把建围栏流杂草称作是能够保土固沙的有效措施。这一措施绝对必要，因为，仅一年，有刺铁丝护栏完全被风沙流携带的沙土物质埋没。20 世纪 30 年代的这场风干旱也带来了蝗虫灾难。艾伯塔发生蝗虫的第一年，受到严重袭击的面积大约 4100 平方公里，到 1939 年，蝗虫袭击面积达到 15.5 万平方公里。萨克其万受到中度袭击的面积由 1931 年的 4000 平方公里，增加到 26 万多平方公里，占了全省国土底数的 40%多（哥雷，1996 年）。

在大草原地区的土地上生存真是一场生死搏斗。农民们失去他们劳动成果，几乎颗粒无收的例子比比皆是（牡瑞，1980 年）。沙尘暴和干旱摧毁了城镇和农民的粮田，给人们的财产和粮食生产带来了不可估量的损失。以 1988 年的沙尘暴和干旱为例，直接生产损失估计达到 18 亿加元（威敦等，1992 年）。加拿大政府花在这次灾难中的保险和补助金达 14 亿加元（艾特金，1997 年）。各省政府也由于沙尘暴和干旱等自然灾害，遭受了粮食损失的巨额费用。平均来算，萨克其万省损失最为惨重，每年超过 1.3 亿加元（1995 年以不动加元计算），马尼托巴的粮食损失费用每年大约在 3000 千万加元。据估计，大草原地区三省每年因风蚀花在农场上的开支大约为 2.49 亿加元（威敦和查克拉瓦提，1990 年。表 3 列出了加拿大与沙尘暴/干旱有关的最为严重的灾害及其费用。

表 3：加拿大沙尘暴/干旱最为严重的灾害及其费用（加元）

日期	灾害	地区	经济损失（89 年不动加元）
1936 年	尘暴、干旱、热浪	所有各省	小麦损失 5.14 亿元
1961 年	沙尘暴、干旱	大草原三省	小麦损失 6.68 亿元
79~80 年夏	沙尘暴、干旱	大草原三省	25 亿元
1984 年	尘暴、干旱、热浪	西部各省	10 亿元
88 年夏	尘暴、干旱、热浪	大草原三省加 安大略省	18 亿元的产品损失 40 亿元出口损失

沙尘暴和干旱引发了土地能力遗失殆尽，以至无法耕种，导致土壤变异，粮食产量减少，水质、空气质量下降。风蚀搬走了作物赖以生长的土层中可利用的养分和细物质，导致有机质的损失。严重的土壤损失，减小了植物的根系，进而耗尽了有效的养分、水分。

根据博德和拉宝特 1986 年的资料，加拿大土壤形成的年比率为 250~1000 公斤/公顷。相反，年风蚀比率为 20~25 吨/公顷，且相当普遍。斯帕洛 1984 年做了一个保守的估计，由于风蚀和水蚀每年产生的土壤损失达 2.77 亿吨，其中 585 为风蚀所致。风沙尘暴对于粮食产量和土壤生产能力带来得影响相当巨大。据估计，加拿大大草原地区每年一季作物种植地的 50%以上裸露在大风侵蚀之下（大草原地区农场复垦管理局，2000 年版杂志）。为了认识伴随风蚀而生的其他严重问题，加拿大政府采取了一些行动。下面的文字简单介绍政府的有关计划与项目。

三、治理风沙尘暴：计划与项目

就机构而言，加拿大治理风沙尘暴和干旱的斗争，随着 1886 年 6 月 2 日主权实验农场体系的建设而开始。这一体系为后来雄心勃勃的农业框架奠定了重要的基础，铺平了道路（哥雷，1996 年）。20 世纪 30 年代的严重沙尘暴和干旱迫使人们重新认识加拿大西部的农业。为了解决严重的生态问题，大规模地采取了一系列措施，挽救大草原地区，以免沦为沙丘密布、风蚀肆虐的荒凉土地。最为著名的就是“大草原地区农场复垦管理局”，这在当时是一个新欣的专门机构。

一） 专门机构框架

如果说 30 年代的黑风暴促使人们有意识地吸收了对于干旱问题的新思考，刺激了政府部门建立了土壤保护机构，那么大草原地区农场复垦管理局就是加拿大在此领域的最大成就。为了应付 30 年代频繁的沙尘暴、普遍的干旱和弃耕问题，1935 年，根据国会的一项法规，成立了大草原地区农场复垦管理局。起先的目的比较单一，只是为了控制土壤流失，但是，后来的职责范围得到了迅速的扩大：“保障马尼托巴省、萨克其万省和艾伯塔省干旱与沙尘暴影响地区的复垦，并在上述地区开发、创办农场行业、林场、水源、土地利用以及国土政治等那些能够尽可能保证经济安全的体系”（卫瑟等，1996 年）。大草原地区农场复垦管理局不仅是一个领导机构，同时也为应付早期沙尘暴战役提供了大量的人力和设备（哥雷，1996 年；威特劳佛和布兰德，1992 年）。大草原地区农场复垦管理局的有关历史及成就见专栏

专栏一：大草原地区农场复垦管理局（PFRA）大事记

1935 年 4 月 17 日，通过 PFRA 法案，托管权限为 5 年。许多控制土壤流失的措施开始启动，农业改良协会成立并开始示范新的耕作方法。

1936 年，在萨克其万西南地区，建立或修复水库和灌溉设施，农民在项目区内或附近地区定居耕作。

1937 年，PFRA 修正案增加了土地利用和国土整治的条款。PFRA 顾问委员会于 1937 年 5 月 6 日成立，专门负责里贾纳的事务；社区牧场项目在同年启动，16 个社区牧场于 12 月开始围栏播种，并在 1938 年开始放牧。

1938-39 年，春季暴雨成灾，一些新建的土坝被洪水毁坏，其他水坝用沙袋进行堤坝保护；1939 年，PFRA 的托管权限在预定 5 年的基础上得到无限期延长；

1941 年，首届牧场主大会召开，当年有 43 座牧场运营、另有 11 座在建。

1946 年，控制土壤流失的预算划拨出来，重点转向水利和牧场等“建设”项目。

1948 年，PFRA 获得专项基金援助，用于不列颠哥伦比亚省的排灌设施建设，大部分工程在该省省内进行。

1961 年，通过了农业复垦与开发法（简称农发法）；PFRA 为起草加拿大西部法提供了行政管理和技术支持；

1964 年，第一次在印第安保护区建立公共牧场，与当地牧师分派牧业收入；

1965 年，根据 PFRA 的常用程序，由水文工作者编写了第一个计算机程序，并在里贾纳租赁的计算机上使用；

1968 年，PFRA 从农业部划出，隶属林业与农村部管理；

1969 年，PFRA 成为新成立的地区经济发展部隶属单位；

1975 年，40 周年大庆。截止到 4 月，PFRA 已经建设了 95,999 座桥梁，10,516 眼水井，11,260 座蓄水库，6,037 个灌溉工程；

1983 年，PFRA 重新划归加拿大农业部管辖；

1984 年，PFRA 与联邦-省属共同管理“大草原地区牲畜抗旱项目”；

1985 年，PFRA 成为联邦“作物抗旱项目”主管部门；

1988 年，PFRA 向联邦政府呈递了“牲畜、青饲料以及水源紧急抗旱”项目书；

1989 年，联邦政府和省政府签署了国家水保项目协定；大草原地区宣布有了永久性保护项目，在过度地带从事作物耕作的农民得到种子饲料的付款；

1997 年，国家水土保持项目开始实施；

1998 年，PFRA 设立了“大草原地区农业景观项目”，专门研究土地资源及其支撑农业生产和加工能力。

资料来源：农场复垦管理局简史。

加拿大农业及农业粮食网页：<http://aceis.agr.ca/pfra/pfhiste.htm>。

其他的机构设置同样也发挥了重要的作用，例如，马尼托巴作物繁育中心（简称作物中心）就是其中之一。该中心是一个集工业协会、马尼托巴园艺生产力促进中心（简称园艺中心）和加拿大、马尼托巴省政府等三级领导部门合办的机构。作物中心的主要目标是既有经济价值且有益环境的作物的可持续生产的调研和示范，包括作物繁育、集约农业技术实践、促进马尼托巴省粮食附加加工价值的开发。根据适当的专业意见，集思广益，提供适当的土地和设备，完成上述任务。

作物中心的的活动包括：现行灌溉技术的测试和示范，灌溉和旱地条件下，作物表现的田间测试。作物中心同时还从事 NICHE 作物特性、作物价值变化、市场潜力以及附加值的评价和示范工作。计划交付机制由田间示范、公布数据和材料、发表报告、培训讲座、学术研讨组成，当然，这些都要与联邦政府、省政府和工业 部门的计划紧密结合。作物中心的其他更多方面的工作，是与国外机构、集团以及个企的合作。该中心向国内外提供多种形式的从事研究和示范的援助，包括技术支持、场地和试验田等设备的支持。

二) 计划与项目

加拿大大草原地区的沙尘暴和干旱，除了它对农业和农村生活的负面影响以外，它还有正面影响。例如，20 世纪 30 年代的黑风暴，促使加拿大国会通过了负担多项控制风沙危害的巨额基金拨款，譬如，1937 年的年度费用高达 1000 万加元，国会批准的总投资高达 5 亿加元（哥雷，1996 年）。

自 20 世纪 30 年代开始，联邦政府和省政府都启动了大批项目，大部分计划和项目都是通过农场复垦管理局实施的。1983 年，农场复垦管理局出版了一份题为“加拿大大草原地区土地退化和土壤保持问题”的报告。报告认为，大草原地区面临的最大的威胁就是风蚀、水蚀、盐碱化和土壤养分损失等问题。这项评价为该地区后来的大批土壤保持项目奠定了基础。非政府组织和其他集团为此也做出了巨大贡献。20 世纪 80 年代，由于野生动物锐减的问题，加拿大世界野生动物基金发起了一个“西部野生计划”（戴森，1996 年），从此，根据主流思想和可持续农业生态系统的原理，开始了一个新的农业生产体系。新的农业生产体系为综合各类农业生产活动的环境、经济和社会影响，提出了一个概念框架。

最近，加拿大宣布，国家水土保持计划（简称水保计划）的实施取得成功。水保计划是联邦政府的一项为期两年的计划，2000 年 3 月 31 日结束。除了传统的一些土壤方面的问题以外，该计划着重强调与水问题有关的各种环境问题。由于下列四项战略方向，该项目得到了资金保证：即，1) 管理；2) 技术（研究和开发）；3) 市场；和 4) 增强意识。水保计划强调，要开发所需措施和资料，与合伙单位合作，搞好解决当地特殊问题的能力建设。加拿大全国，已拨出 1000 万加元，研究农业土地利用对于水质的影响，并提出扩大环境可持续性项目可行性。政府公布，从 1995 年联邦预算中拨给加拿大改革与农村发展基金的 6000 万加元中，划出经费支持水保计划。正式提交的这项计划，目的在于支持加拿大的可持续农业开发。大草原地区通过农场复垦管理局，已经向合格机构拨出 300 万加元，实施水土保持项目，重点是水质问题。艾伯塔省已投入 120 万加元，解决农家肥管理和河岸阶地的管理等一些基础性问题。

三) 方法与措施

在加拿大，农业实践各地相差甚远。有争议说，沙尘暴和干旱教会了加拿大大草原地区的农民使用新的耕作方法和技术。下面的文字重点阐述加拿大大草原地区采用的几项重要方法与措施

1. 优化管理方法

由于农业活动，出现环境问题的可能性都有完整的记录。有一些实用措施可以保证，在不牺牲经济生产利益的情况下，可以把对环境的危害降到最低水平。这些预防污染的农作方法就是众所周知的“优化管理方法”。根据希拉德和立德科（2000年）的研究，有三种普通的“优化管理方法”。第一类强调，在防止污染的过程中，减少投入。农业生产中使用潜在的有害物质越少，对环境的其他部分产生的影响就越轻，这里所指的就是化肥、农家肥和杀虫剂。养分管理，是根据作物能够吸收的实际需要，准确使用化肥、农家肥用量的一种方法。超过实际需求的肥料用量，将有可能渗入地表水和地下水。除草剂和杀虫剂的使用，可以通过“虫害综合管理”降至最低程度。说起管理策略，应包括对虫害的认识，以及结合自然的、化学的、生物的和文化的综合治理措施。

第二类“优化管理方法”直接涉及侵蚀和径流管理。带状耕作、防护林带、作物秸秆的利用等，有效地防止了侵蚀，减少了农田养分转移和杀虫剂的使用量。免耕流茬和连续性种植，业已证明有效防止了侵蚀，但其方法可能需要更高的化肥和除草剂使用量。

第三种类型包括扎设栅栏、围栏等阻拦和截流农田物质外流。在大多数情况下，条带状植被可以减缓径流的流速，使径流夹带的土壤物质滞留沉淀下来，也使径流水渗入地下，其中的养分被植物吸收。在种植一茬作物的耕地上，可以使用很多方法，如渠边种草、条带状植被、田埂等都是拦土蓄泥、截水防蚀的好办法。河流或湖泊周围的拦水截洪带，通常被认为是河岸坝或河岸护堤。只有植被方可使得洪水泥沙沉积、养分沉淀、固定河岸、保护河堤，免受侵蚀。

合理的管理方法是保持水土的有力措施。在大草原地区各省，农民使用风能抽取地下深层水，或者在人工水池中蓄水（亥考特，1983年）。但是，农民自己解决不了水质的问题，大草原地区影响水质的自然因素很多。“优化管理方法”是土壤保持和提高水质过程需要做的第一步。利用“优化管理方法”可大大减少耕作的很多负面影响。有些情况下，采用“优化管理方法”知识一个简单的常识问题，不需要增加任何或者额外的投入，例如有害物质的适当处理等。另外，还可免去大量的间接投入，如建设围栏、护堤等保护水质的工程投资很大。以下几段文字重点介绍几种实践方法。

与农业有关的环境变化随着耕作方法的不同而千变万化。根据博得和拉宝特1986年的资料，宽行作物（包括玉米、大豆、葵花、旱地豌豆、大田豆角、土豆和蔬菜）一般使用化肥和杀虫剂的量较大，对于土壤引起侵蚀的风险也大。窄行作物（包括小麦、燕麦、大麦、混种谷物、亚麻子、canola、芥菜子和裸麦）常常出现土壤有机质物质和养分减少，特别是灌溉地发生盐碱化。饲料作物（包括苜蓿和其他饲料作物）能够保养土壤，但是，有时集中牲畜放牧，地表径流会就地污染水体。

夏季休耕法及其下降的趋势

大草原地区一种独特的耕作方法叫做“夏季休耕法”。这种耕作方法就是在一些地块上，从春到秋的生长季节里，不种任何作物，为的是保护土壤水分和恢复营

养补给（卫瑟等，1996 年）。按照耕作传统，许多加拿大农民认为“夏季休耕法”是干旱土地作物生产必需的措施。但是，研究结果表明，经常为了铲除杂草需要进行耕地翻土，故“夏季休耕法”对于土地并不特别“仁慈”（大草原地区农场复垦管理局，1999 年报告）。事实上，这种方法被确认是造成土壤侵蚀增加、有机质减少、盐碱化频发的一个关键因素。博得和拉宝特 1986 年的报告写道，在大草原各省，“夏季休耕法”土地上每公顷土壤侵蚀量是小麦休闲地土壤侵蚀量的两倍多，是与燕麦、大麦和秣草等 5 年倒茬的小麦地块土壤侵蚀量的 40 倍。因此，如表 4 所示，“夏季休耕法”自 20 世纪 80 年代以来，持续减少。近年来，一些公认的保护性休闲地新技术较为流行。其中一种叫做“化学休闲法”，主要使用喷洒除草剂来减少翻耕土地，保留地面秸秆，冬季积雪，减少水分蒸发损失。

其他方法包括“零耕法”，或称作“免耕法”。“零耕法”就是将种子和化肥直接撒在苗床上，不用翻耕或犁耙土壤，把犁沟用秸秆盖住，或者直接在地面上覆盖秸秆，这样可以防止风蚀。“零耕法”的撒种方式，既有利于减慢消耗有机质，又能避免降雨以径流的形式流失，有利于雨水渗漏地下。有一项称作“作物秸秆管理”的项目，实质上，因为它减少了表土裸露受大风和暴雨侵蚀的时间，所以，大大降低了风蚀的风险。加拿大大草原地区的农民深信，这种直接撒种的办法能够保护幼苗，在早期生长阶段免受高温和大风的影响（农场复垦管理局，1999 年报告）。初步研究显示，这种保护性休闲方法具有良好的经济效益。例如，这种方法不用拖拉机，所以节省了耕作投资（农场复垦管理局，1999 年 1 号、1999 年 3 号报告）。

表 4：加拿大大草原地区农田利用变化（平方公里）

地区	农场总面积	作物耕地	播种草场	夏季休闲地
马尼托巴				
1981	76 159.3	44 203.7	3 525.1	5 983.4
1986	77 402.3	45 193.4	2 749.4	5 092.1
1991	77 249.9	47 610.5	3 412.9	2 970.0
1996	77 321.4	46 991.5	3 562.4	3 236.5
萨克其万省				
1981	259 470.9	117 408.6	9 753.6	67 044.6
1986	265 993.6	133 258.1	8 787.3	56 582.5
1991	268 654.9	134 589.2	10 756.6	57 128.3
1996	265 690.6	143 986.5	12 333.1	44 314.5
艾伯塔				
1981	191 085.1	84 412.4	15 814.4	22 054.7
1986	206 553.4	91 625.2	13 768.1	21 270.1
1991	208 110.0	92 920.4	17 424.8	17 714.0
1996	210 292.3	95 465.5	19 146.0	14 367.4
加拿大				
1981	658 889.2	309 658.1	44 047.3	97 019.1
1986	678 257.6	331 812.4	35 592.2	84 990.2
1991	677 537.0	335 077.8	41 412.2	79 209.5
1996	680 549.6	349 187.3	43 491.4	62 607.3

资料来源：加拿大统计（2000 年）。

据估计，加拿大大草原地区 60%以上的农民正在采用一些保护性耕作方法，随着更多的农民掌握这些方法以后，这一数字还会上升。在多种特别保护性耕作方法中，带状耕作被认为是最有效的方法。

控制风蚀的条带状耕作法

也称作“条带状种植法”或者“等线种植法”。“条带状耕作法”是代替“夏季休耕法”条状种植的一种作物（比恰姆和不路尼奥，1985年）。它的思路就是减少土壤表面的风速和缩短大风吹越裸露休闲地的距离。另一优点则是增加雪融后土壤的水分。过去10年间，农场复垦管理局（1999年4号报告）在田间推广条带状方法发挥了巨大的作用。最常用的办法就是把地块分成较为理想宽度的条带状，进行轮作。在典型的两年休耕轮作时，每隔一行在“夏季休闲”地块上撒种。农民和研究人员都发现，要成功治理土壤流动，就要根据土壤类型、土层厚度、黏土多少、沙土多寡确定条带状种植带的宽度。此外，要最大限度地防止侵蚀，就要多实行北向和南向条带状种植带，因为加拿大大草原地区的盛行风是西北风或西风。研究结果显示，条带状种植方法可以用田间防护林带完善（印度领袖农业研究基金2000年）。

加拿大大草原地区80年代经历的干旱不仅是一次新的干旱循环，而且也是一次新的全球环境变化的一次波动。为了应付这些挑战，联邦政府和省政府加强合作，启动了一些项目。较为理想的项目包括：80年代中期签署了“经济与区域发展协议”，1989年编制了“国家土壤保持计划”（见卫瑟等，1996年）与其他计划一起，这些项目带来了农业耕作上的变革。“永久保护计划”是一项特殊项目，主要目的是减轻过度地带强风蚀影响下的农耕地的土壤退化强度。

“永久保护计划”

“永久保护计划”是1989年专为大草原地区各省颁布的一项三年计划。根据卫瑟等人（1996年）的资料，根据加拿大土地分类，属于过度地带4级、5级、6级的土地被确定为选择利用的土地。“永久保护计划”的独到之处在于，它有一套激励机制，和它所建立的报帐制度，已经纳入计划设计之中。特别需要提及的是，大草原地区的任何一户农民，如果他们选择长期的合同，改变每年种植作物的土地利用方式，进行多年饲草种植或造林经营，他们都有资格申请财政支持。起步阶段，每公顷支付50~125美元不定，这要看农民签定的是10年还是21年的种草还是造林合同。待人工草场或人工林地植被建立以后，根据市场同类土地的标价，所有款项一次付清。允许农民继续使用合同承包的土地放牧或打草。“永久保护计划”证明了它深受广大农民的欢迎，并及时得到扩大，现已扩大到包括不列颠哥伦比亚部分地区在内的其他地区。合计起来，“永久保护计划”已经成功签定了1.5万分合同，其中64%属于21年的长期合同，共有521,998公顷过度地带的季节性粮食生产地已经转换成多年生产的饲料基地或其他用途（见表5）。

表 5：加拿大的“永久保护计划”：合同与面积（公顷）

合同类型	纯饲料基地	10 年合同	21 年合同	总数
不列颠哥伦比亚	0	1 265	3 567	4 832
艾伯塔	54 039	65 962	100 704	220 705
萨克其万	0	58 374	150 701	209 075
马尼托巴	20 877	22 519	43 990	87 386
合计	74 916	148 120	298 962	521 998

资料来源：根据卫瑟等人 1996 年的表 2 编制。

尽管“永久保护计划”让加拿大政府花费 7400 万加元，但该计划的效益远远超过原有投资。除了政府获得一定的效益而外，社会得到的效益规模更大。卫瑟等人 1996 年估计，该项目 1993 年一年带来得收益是 1180 万加元，相当于政府粮食保险、农民固定基金及其他费用的总数，其他的效益如减少了土壤退化，提高水质，增加了野生动物栖息地，节约了地方政府用于清理公路导洪、排水系统的风积、洪积泥沙的费用。无须质疑，广大的农民最终会从这一项目的实施获取巨大的收益。政府认识到，农民参与类似项目，就是看激励机制是否适当可行，所以，所有合同中都有一款“例外条款”，允许那些他们自己认为有必要终止合同的农民，根据现行的偿还条例，撤回合同。决策者们完全明白，有必要监督项目的实施，以保证农民确实在其土地上发展人工草场或者开展人工造林。

在过去的一个世纪中，加拿大大草原地区的农民，由于有了灌溉农业，所以已经适应气候变化。发展灌溉农业，过去十分具有吸引力，而今，由于水资源越来越贫乏，灌溉农业已失去昔日的魅力。与此同时，发展耐旱作物已成为时髦策略。譬如，许多农民早已开始种植名、优、特作物，像芥菜子、旱地豌豆、扁豆等（赫灵敦等，1997 年）。

2. 营造防护林

连同草本植被一起，森林被认为是防止土壤流失的最佳措施。营造防护林长期以来作为减少土壤侵蚀的有效措施（农场复垦管理局，1996 年 2 号报告）。在加拿大大草原地区，政府在农田防护林、四旁植树、各种林带等方面做了巨大努力。

农田防护林

农田防护林由数行乔木组成，栽植在农田四周，保护农作物和土壤，阻挡大风和拦截降雪，改善作物的小气候。在加拿大大草原地区，减少土壤风蚀是营造农田防护林的主要目的。在土壤易受吹蚀和植被较少的地方乔灌结合营造林带。最新的研究显示，农田防护林带可以降低林带自身 20~30 倍距离内的风速，可以大幅度提高作物产量（印度领袖农业研究基金，2000 年）。其他效益包括，增加野生动物栖息地，改善地面景观（农场复垦管理局 1999 年 2 号报告）。萨克其万、马尼托巴以及美国部分地区的研究显示，成行林带保护下的小麦产量比一般地块的产量高 3.5%（农场复垦管理局防护林研究中心，2000 年）。

我们相信，加拿大大草原地区的由高大、长寿乔木构成的比较理想的农田防护林带，既不会对周围作物造成威胁，也不会占很多土地（农场复垦管理局防护林研究中心，2000 年）。但是，人们认识到，株距太大会大大减低防护效果。树种必须耐旱、耐寒、抗病、防病虫害，适应除草剂，在风蚀季节，即春秋两季，要有 30~50% 的孔隙。常绿灌木(*Fraxinus pennsylvanica*) 和 柠条 (*Caragana arborescens*)，由于其许多理想的优点，被选为营造农田防护林的较好树种。特别需要指出，常绿灌木是一种高大、长寿、耐严酷条件的树种，又不排斥其他树种，形状较好。这种树种主要的缺点是春季长叶较晚，其时恰逢大风吹蚀季节。柠条也是一样，长寿、适应性强，耐严酷条件，抗虫害，主要缺点是，树高偏小（最高不到 6 米），防护的距离较小，空隙度不大。大草原地区农场复垦管理局防护林研究中心研究人员评价过的替代树种还有西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*)，苏格兰松(*Pinus sylvestris*)（根据拉丁名似乎应为樟子松）、乌苏里梨树(*Pinus sylvestris*)，和芒刺橡树(*Quercus macrocarpa*)。另外，紫丁(*Syringa villosa*)、choke 樱桃(*Prunus virginiana* var. *Melanocarpa*)等树种也作为较好灌木单独种植或与常绿灌木(*Fraxinus pennsylvanica*)混种。

除了上述减低风蚀、保护农庄、农田常年遭受大风侵害、增加野生动物栖息地的作用以外，这些乔灌木种尚能提供薪柴、木材、纸浆、各种水果。水果生产和加工是大草原地区许多农民创收的途径之一，只要管理得当，水果质量上乘。根据当地气候，因地制宜地选择适宜树种，就能取得成功。草莓果类(*Shepherdia argentea*)、沙棘类(*Hippophae rhamnoides*)、樱桃类都是农田防护林、农家庭院以及野生动物栖息地常用的树种。蒙古樱桃(*Prunus fruticosa*)、南京樱桃(*Prunus tomentosa*)、高灌酸果(*Viburnum trilobum*)等都是竞争力较弱、需要常锄杂草和细心管护的经济林树种。大草原地区水果生产的主要限制因素是无霜期较短、温差较大、降水偏少、风力较强。但是，大草原地区的气候也有优越的一面，日照丰富，利于水果成熟，湿度较低，病害不多。附件 2 例举了加拿大大草原地区营造防护林的主要树种。

四旁植树

无须质疑，只要规划得当，防护林对农户产生的效益将非常之大，能够防风、挡雪、护畜、遮阴、围栏。北边和西边的林带要达到五行以上，方可挡住较强的大风。东边和南边的林带通常设计 2~3 行，效果明显。一般来说，农庄或居家四旁植树，要求树木高大、速生、长寿、密集。林带外圈一行树木通常挡雪，所以多用诸如柠条、紫丁、樱桃类灌木树种。第二行为速生树种，如柳树(*Salix spp.*)、或者马尼托巴枫树(*Acer negundo*)。第三行种植长寿常绿灌木树种。第四、第五行离庭院房舍最近，要选一些高大、密集、长寿的树种。诸如白云松(*Picea glauca*)、苏格兰松等针叶树，都是较为适宜的树种，因为，外圈的几行树已经有效地起到了保护作用（农场复垦管理局防护林研究中心，2000 年）。另外，杨树(*Populus spp.*)也是常用树种（姆瑞，1980 年）。有趣的是，为了有助于野生动物生存，近年来农民考虑在防护林外圈种植一些野果灌木，如樱桃、草莓果和沙棘。

林带

根据定义，林带就是由至少 3 行乔木或灌木组成的田间防护林，林带所起的作用与农田防护林一样，但是林带间的空间不大，树冠紧密。典型的林带设计是中间为高大乔木，外围是较矮树种。效益包括以下五项：

- 1) 林带既能防止土壤风蚀，阻拦风雪，与常规防护林比较，它们密度较大，株距较小，更有效于增加作物产量；
- 2) 增加生物多样性。林带容易招虫、引鸟，也是哺乳动物喜欢栖息的地方，林带中野花、蘑菇较多，野生动物栖息、繁育后代；
- 3) 降低全球变暖进程。林带在降低碳含量方面比普通防护林更有效；
- 4) 产生直接经济效益。林带直接带给农民收获果实、纸浆、木材、枫蜜等机会；
- 5) 由于树种较多，生长周期长，有长期防护的功能，净化环境、美化景观。

3. 河岸地改造与草场改良

如上所述，加拿大在大草原地区实施了一个从 1998 到 2000 年的三年项目，就是国家水土保持计划。这项联邦政府和省政府共同实施的项目，重点涉及河岸地改造和草场改良两大目标。为了保护人畜、野生动物、以及灌溉水源，首要的问题就是制定最佳的土壤保持和河岸地管理方案。为此，在河岸地地区开展了多项以涉及维护或改善水质为目的的牲畜和耕作管理等内容的一系列活动（大草原地区农场复垦管理局，2000 年 2 号报告）。

特别要提及的是，加拿大大草原地区农场复垦管理局负责提供技术资料，提供与河岸地管理及水质保护有关项目的支持，并为城镇当局和当地非政府组织提供资金支持。大部分项目都与生产者、土地使用者以及社区直接合伙实施，鼓励合作伙伴优先考虑未来水土保持项目，支持他们优先开展河岸改造项目。

大草原地区最佳草场管理包括：调整旱季牲畜数量，采用计划放牧制度，实行牧场轮休制，围栏封育草场，定期浇灌制度等，以此保护河岸地，所有牧场建设永久植被保护。“公共牧场计划”现阶段是农场复垦管理局在大草原地区实施的最大的计划，也是实施期限最长的土壤保持项目。整体来说，过去几十年来，草原牧场开垦的比率稳步下降，数量可观的过度地带的耕地已经永久性地退耕、还林还草。总的原则就是，不宜耕种的土地全部退耕，用于发展养牛牧场。据观察，植被群落的多样性，既易于全面恢复植被，又可抵抗大旱。

当初主要是为了恢复严重侵蚀土地而设立的“公共牧场计划”自 1937 年实施以来，已有 145,000 公顷的劣质地改造成了草地，目前约有 90 万公顷草场和牧地（农场复垦管理局 2000 年 1 号报告）。普遍认为，在大草原地区实施最佳土壤保持和河岸地管理措施，是保护人畜、野生动物和灌溉水源的最基本措施。大部分农民和小乡镇、社区都已认识到良好环境管理的必要性。目前实施的所有项目都要求农村的土地所有者（土地承包人）继续维持或新辟野生动物栖息地。流域地区要保持良好水质，就需要经常控制地表径流，控制河岸地区牲畜自由通行，减少牲畜在河岸地区滞留的时间。因为，每一条流域都有其独特的问题。农场复垦管理局的工作人员在帮助土地使用者和乡村、社区确认适宜措施、方法方面做了大量的工作。

与农场复垦管理局成功奋斗的故事很长，但主要有：

- 1) 改善了径流管理;
- 2) 所有排灌设施的清淤;
- 3) 封闭所有废井;
- 4) 发展了双赢效益的混农林业;
- 5) 使用地理信息系统, 做好土地利用规划。

由于农场复垦管理局的计划在医治“帕理塞三角地创伤”和恢复三角地生产力方面发挥了显著的作用, 所以, 从计划本身我们可以看出, 防止大草原地区帕理塞三角地沙尘暴和制约土壤侵蚀影响的胜利, 将是加拿大太平洋铁路建设之后的最大成就。

四、讨论与结论

农业是加拿大经济的生命力。据估算, 农业一个行业目前提供 43.7 万就业岗位, 占了全国总人口的 1.5% 和劳动力人口的 3%。另外 150 万劳动人口, 约占全国劳动总人口的 10%, 从事于粮食和饮料加工、食品零售、饮食服务、以及农业与粮食系统的相关工业。普遍来说, 农业与粮食行业的产出占加拿大国内生产总值的 8% (加拿大信息办公室, 2000 年)。但是, 由于气候因素和土壤条件, 加拿大基本土地面积的 7~8%, 也就是说大约 6800 万公顷, 可以用作作物生产 (加拿大环境, 2000 年 2 号报告)。因此, 保证加拿大大草原地区可持续农业是重中之重的大事。

加拿大大草原地区地表景观不仅在经受各种各样自然灾害的影响, 如大风、干旱、洪水、森林大火等等, 农业也完全依赖于直接受气候影响之水土条件。根据威敦等人的资料 (1992 年), 大草原地区的农场也许是加拿大气候上最为敏感的, 譬如, 1988 年的大旱时期, 平均年气温高出过去 30 年的年平均气温摄氏 2~4 度, 降水是 1950~1980 年期间平均降水的一半。萨克其万一个省 15 亿份农场粮食收购单中, 小麦减产 29% (勒蒙等, 1997 年)。

对沙尘暴不利影响的认识, 特别是当与土壤退化因素, 如风蚀水蚀、有机质损失、盐碱化、酸化、污染、农业土壤板结和人为干扰加倍破坏时, 唤醒了人们对高产农业生产含义的不断关注。

为了达到农业行业的可持续发展, 最大的挑战之一就是正视气候变化问题。人们认识到, 气候是影响加拿大农业生产的最大的一个单一因素。许多气候变化的情况显示, 气温在上升, 土壤湿度在降低, 对于整个大草原地区各省的农、林、能源、水资源和野生动物产生了潜在的瓦解 (赫灵敦等, 1997 年)。勒蒙等人 (1997 年) 介绍了未来变化的一种趋势, 他们预计地下水将比现在的水位下降 4 米, 风蚀更加严重。面对全球气候变化的挑战, 加拿大农业的未来将明显依赖维护自然资源的能力, 包括土壤、水源和大气。作为土质变化以及农业可持续性指针的因素, 包括有机质损失、养分、酸化、盐碱化、侵蚀以及土壤板结。最后, 土质维护决定了随着时间的流失, 农业生产是否达到可持续的程度而定。可持续农业要求维护土壤、水源和大气。大草原地区的土壤正在面临着许多严重的威胁。尽管农业技术有了很大的提高, 但是, 盐化、侵蚀、有机质损失及其他问题正在影响着数以百万公顷的土地, 加拿大西部的农田既宝贵又脆弱。

加拿大对气候变化和其他的环境问题十分关注。1995 年 8 月，编制了国家农业与农业粮食环境战略，为国家未来的环境管理定了基调。2000 年 2 月，加拿大政府发布了“加拿大农业环境可持续性：农业环境指针项目报告”。这项为期六年、有各级政府、农业粮食行业、教学研究部门参与的合作研究，帮助人们提高行业认识，如何达到加拿大自然资源的可持续利用。在评价已经取得的重大进展的同时，该报告也再次肯定了加拿大政府降低土壤侵蚀和改善大气质量的承诺。

加拿大的农业对这个国家的社会、文化和经济前景生死攸关的。农业生产的改善和现代技术，使得加拿大将其大草原地区各省南部地区恢复成了具有生产力的旱地。仅仅 60 年以前，大风以及类似于沙漠夏季热浪，少雨引起的沙尘暴，年复一年地吹刮着大草原的肥沃的表土。开发了一个全新的农作系统以后，加拿大人将这些土地改造成了世界上最为高产的土地。本文主要阐述加拿大在治理沙尘暴和干旱方面的经验。加拿大几代人在减少土壤侵蚀影响和风沙尘暴危害方面取得了巨大成就。加拿大人对于大草原地区的感情可以归纳为：“沙尘不断，但不会绝望”（摘自约翰·菲舍 1994 年加拿大广播电台播音节目中的话，丽斯 1988 年在著作 134 页引用）。事实上，加拿大对于自己在世界农业领域的贡献感到自豪。加拿大人治理风沙尘暴的措施、他们的各项新发现、他们设计的各种方法，将会对于未来世界半干旱地区几代人增加粮食生产给予回报（哥雷，1996 年）。加拿大人在时时刻刻提醒着自己，不要忘了与不断发生的沙尘暴斗争的挑战。

参考文献：

- Agriculture and Agri-Food Canada. 1995. *National Environment Strategy for Agriculture and Agri-Food*. Document prepared for the Federal and Provincial Ministers of Agriculture. Ottawa.
- Allen, R. (ed.). 1973. *A Region of the Mind – Interpreting the Western Canadian Plains*. Regina, Saskatchewan: Canadian Plains Studies Centre, University of Saskatchewan.
- Anderson, J. 1984. Dust storm! *Chinook* 6(3): 71-73.
- Bauer, D.J. (ed.). 1988. *Proceedings of the Prairie Drought Workshop*. Saskatoon, October 11-13, 1988. Ottawa: Environment Canada.
- Beierle, B., and D.G. Smith. 1998. Severe drought in the early Holocene (10,000-6800 BP) interpreted from lake sediment cores, southwestern Alberta, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 140(1-4): 75-83.
- Bircham, P.D., and H.C. Bruneau. 1985. *Degradation of Canada's Prairie Agricultural Lands: A Guide to the Literature and Annotated Bibliography*. A report of the Land-Use Policy and Research Branch. Working Paper No. 37. Ottawa: Environment Canada.
- Bird, P.M., and D.J. Rapport. 1986. *State of the Environment Report for Canada*. Environment Canada, Ottawa.
- Brown, S. 1963. *World of the Desert*. The Bobbs-Merrill Company, Inc., New York.
- Canada Department of Agriculture. 1980. *Drought Situation in Western Canada: Discussion Paper*. Ottawa.
- Canada Information Office. 2000. *Facts on Canada – Geography*. Ottawa.
- Canadian International Development Agency. 1997. *Meeting the Challenge – Canada's Commitment to the United Nations Convention to Combat Desertification*. Ottawa.
- Chakravarti, A.K. 1972. The June-July precipitation pattern in the Prairie Provinces of Canada. *The Journal of Geography* 71: 155-160.
- Chakravarti, A.K. 1976. Precipitation deficiency patterns in the Canadian Prairies, 1921 to 1970. *Prairie Forum* 1(1): 95-110. Regina: The Canadian Plains Research Centre.
- David, P.P. 1977. Sand Dune Occurrences of Canada: A Theme and Resource Inventory Study of Eolian Landforms of Canada. Contract No. 74-230. Ottawa: Department of Indian and Northern Affairs, National Parks Branch.
- David, P.P. 1979. Sand dunes in Canada. *Geos* (Spring Issue): 12-14. Department of Energy, Mines and Resources of Canada.
- David, P.P. 1981. Stabilized dune ridges in northern Saskatchewan. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 286-310.
- Dormaar, J.F., and R.L. Barsh. 2000. *The Prairie Landscape: Perceptions of Reality*. Mimeo. September.

- Dyson, I.W. 1996. Canada's Prairie Conservation Action Plan. In: Fred B. Samson and Fritz L. Knopf (eds.) *Prairie Conservation – Preserving North America's Most Endangered Ecosystem*, pp.175-186.
- Elias, P.D. 1999. *From Grassland to Rockland – An Explorer's Guide to the Ecosystems of Southernmost Alberta*. Calgary, Alberta: Rocky Mountain Books.
- Environment Canada. 1997. *The Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation: The Canadian Prairies Summary*. Ottawa.
- Environment Canada. 2000a. *Top Weather Events of the 20th Century*. Environment Canada: The Green Lane – Fact Sheet.
- Environment Canada. 2000b. *Cultivating A Secure Future: Rural Development and Sustainable Agriculture in Canada – A Canadian contribution to the land use dialogue at the 8th Session of the United Nations Commission on Sustainable Development*, April 24 – May 5, 2000. Ottawa: Environment Canada.
- Etkin, D., M.T. Vázquez, and I. Kelman. 1998. *Natural Disasters and Human Activity – A Contribution to the North American Commission on Environmental Cooperation State of the Environment Report*. Environment Canada: The Green Lane.
- Etkin, D. 1997. Climate change and extreme events: Canada. Chapter Two in: Volume VIII *National Cross-Cutting Issues, Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*. Ottawa: Environment Canada.
- Friesen, G. 1984. *The Canadian Prairies – A History*. Toronto: University of Toronto Press.
- Fryer, H. 1977. *Alberta – The Pioneer Years*. Langley, B.C.: Stagecoach Publishing Co. Ltd.
- Gill, T.E. 1996. Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. *Geomorphology* 17(1-3): 207-228.
- Goudie, A.S., and N.J. Middleton. 1992. The changing frequency of dust storms through time. *Climatic Change* 20(3): 197-225.
- Gray, J.H. 1996. *Men Against the Desert*. Second Edition. Saskatoon & Calgary: Fifth House Publishers.
- Heathcote, R.L. 1983. *The Arid Lands: Their Use and Abuse*. London: Longman.
- Herrington, R., B.N. Johnson, and F. Hunter. 1997. *Responding to Global Climate Change in the Prairies*, Volume III of *Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation*. Ottawa: Environment Canada.
- Hilliard, C., and S. Reedyk. 2000. *Agricultural Best Management Practices*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada.
- Hogg, E.H. 1994. Climate and the southern limit of the western Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research* 24(9): 1835-1845.
- Hogg, E.H. 1997. Temporal scaling of moisture and the forest-grassland boundary in western Canada. *Agricultural and Forest Meteorology* 84: 115-122.
- Hope, E.C. 1938. Weather and crop history in Western Canada. *Canadian Society of Technical Agriculture Review* 16: 347-358.
- Indian Head Agricultural Research Foundation. 2000. *The Effects of Shelterbelts on Cropping and Tillage Practices*. Indian Head, Saskatchewan.
- Jones, D.C. 1986. *"We'll All Be Buried Down Here": The Prairie Dryland Disaster 1917-1926*. Calgary: Alberta Records Publication Board, Historical Society of Alberta.
- Jones, D.C. 1987. *Empire of Dust – Settling and Abandoning the Prairie Dry Belt*. Edmonton: The University of Alberta Press.
- Kendrew, W.G., and B.W. Currie. 1955. *The Climate of Central Canada: Manitoba, Saskatchewan, Alberta, and the Districts of Mackenzie and Keewatin*. Ottawa: E. Cloutier, Queen's Printer.
- Kostaschuk, R. 2000. A field study of turbulence and sediment dynamics over subaqueous dunes with flow separation. *Sedimentology* 47(3): 519-531.
- LaDochy, S., and C.H. Annett. 1982. Drought and dust: a study in Canada's Prairie Provinces. *Atmospheric Environment* 16(6): 1535-1541.
- Larney, F.J., M.S. Bullock, S.M. McGinn, and D.W. Fryrear. 1995. Quantifying wind erosion on summer fallow in southern Alberta. *Journal of Soil and Water Conservation* 50(1): 91-95.
- Lemmen, D.S., and R.E. Vance (eds.). 1999. *Holocene Climate and Environmental Change in the Palliser Triangle: A Geoscientific Context for Evaluating the Impacts of Climate Change on the Southern Canadian Prairies*. Geological Survey of Canada Bulletin 534. Ottawa: Natural Resources Canada.

- Lemmen, D.S., R.E. Vance, I.A. Campbell, P.P. David, D.J. Pennock, D.J. Sauchyn, and S.A. Wolfe. 1998. *Geomorphic Systems of the Palliser Triangle, Southern Canadian Prairies: Description and Response to Changing Climate*. Geological Survey of Canada Bulletin 521. Ottawa: Natural Resources Canada.
- Lemmen, D.S., R.E. Vance, S.A. Wolfe, and W.M. Last. 1997. Impacts of future climate change on the southern Canadian Prairies: A paleoenvironmental Perspective. *Geoscience Canada* 24(3): 121-133.
- MacEwan, G. 1952. *Between the Red and the Rockies*. Toronto: University of Toronto Press.
- Mackenzie River Basin Committee. 1981. *Athabasca Sand Dunes in Saskatchewan*. Mackenzie River Basin Study Report Supplement 7. Canada – Alberta – British Columbia – Saskatchewan – Northwest Territories – Yukon Territory.
- Magill, B.L., and F.Geddes. 1988. *The Impact of Climate Variability and Change on the Canadian Prairies*. Proceedings of the Symposium, Edmonton, September 9-11, 1987. Edmonton: Alberta Environment.
- Melton, F.A. 1940. A tentative classification of sand dunes: Its application to dune history in the southern high plains. *Journal of Geology* 48: 113-174.
- Momatiuk, Y., and J. Eastcott. 1991. *In a Sea of Wind: Images of the Prairies*. Camden House, Ontario.
- Murray, O. (ed.). 1980. *Yesterday's Prairie Wind – A History of Gainsborough, Ash Grove, Cayuga, Clairemont, Fern, Newlyn, Winlaw and Winmore*. Compiled and published by the Gainsborough and District Historical Society. Gainsborough, Saskatchewan, Canada.
- Odynsky, W.M. 1958. U-shaped dunes and effective wind directions in Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 38: 56-62.
- Péwé, T.L. (ed.). 1981. *Desert Dust: Origin, Characteristics, and Effect on Man*. Special Paper 186. Boulder, Colorado: The Geological Society of America.
- PFRA Shelterbelt Centre. 1989. *Shelterbelt Species*. Indian Head, Saskatchewan: Prairie Farm Rehabilitation Administration Shelterbelt Centre, Agriculture Canada.
- PFRA Shelterbelt Centre. 1992. *Fruit-bearing Shrubs for Multi-Use Shelterbelts and Orchards*. Indian Head, Saskatchewan: Prairie Farm Rehabilitation Administration Shelterbelt Centre, Agriculture Canada.
- PFRA Shelterbelt Centre. 2000. *Design Shelterbelts to Prevent Wind Erosion*. Indian Head, Saskatchewan: Prairie Farm Rehabilitation Administration Shelterbelt Centre, Agriculture and Agri-Food Canada. Web site: <http://www.agr.ca/pfra/shbpub/shbpub12.htm>.
- PFRA. 1987. *Conservation Reserve for Marginal Land Conversion*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture Canada.
- PFRA. 1999a. *Economics of Conservation Fallow*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada.
- PFRA. 1999b. *Economics of Shelterbelts*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada.
- PFRA. 1999c. *Economics of Zero Tillage*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada.
- PFRA. 1999d. *Strip Farming for Wind Erosion Control*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada.
- PFRA. 2000a. *Prairie Agricultural Landscapes: A Land Resource Review*. Regina: Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada.
- PFRA. 2000b. *Riparian Enhancement Projects*. Prairie Farm Rehabilitation Administration, Agriculture and Agri-Food Canada.
- Raup, H.M., and G.W. Argus. 1982. *The Lake Athabasca Sand Dunes of Northern Saskatchewan and Alberta, Canada*. Publications in Botany, No. 12. Ottawa: National Museums of Canada, National Museum of Natural Science.
- Rees, R. 1988. *New and Naked Land – Making the Prairies Home*. Saskatoon: Western Producer Prairie Books.
- Ruz, M.-H., and M. Allard. 1995. Sedimentary structures of cold-climate coastal dunes, eastern Hudson Bay, Canada. *Sedimentology* 42(5): 725-734.
- Samson, F.B., and F.L. Knopf (eds.). 1996. *Prairie Conservation – Preserving North America's Most Endangered Ecosystem*. Washington, D.C.: Island Press.
- Sanderson, M. 1948. Drought in the Canadian Northwest. *Geographical Review* 38: 289-299.

- Sparrow, H.O. 1984. *Soil at Risk, Canada's Eroding Future*, A Report on Soil Conservation by the Standing Committee on Agriculture, Fisheries and Forestry to the Senate of Canada. Ottawa: Senate of Canada.
- Statistics Canada. 2000. *Use of Farmland, Canada and Provinces*. Ottawa.
- Swainson, D. 1970. *Historical Essays on the Prairie Provinces*. Toronto: McClelland and Stewart Limited.
- Thomas, D.S.G. (ed.). 1997. *Arid Zone Geomorphology – Process, Form and Change in Drylands*. Second Edition. Chichester: John Wiley & Sons.
- Thompson, J.H. 1998. *Forging the Prairie West – The Illustrated History of Canada*. Oxford: Oxford University Press.
- Tinker, R., and F. Itani. 1999. Prairie wind. *Canadian Geographic*, Special Issue Annual, p.67.
- Tremblay, L.P. 1961. Wind striations in northern Alberta and Saskatchewan, Canada. *Geological Society of America Bulletin* 72: 1561-1564.
- Vaisey, J.S., T.W. Weins, and R.J. Wetlaufer. 1996. *The Permanent Cover Program – Is Twice Enough? Soil and Water Conservation Policies: Successes and Failures*. Paper presented at a conference held in Prague, Czech Republic, September 17-20, 1996.
- Vance, R.E. 1997. The geological survey of Canada's Palliser Triangle Global Change Project: a multidisciplinary geolimnological approach to predicting potential global change impacts on the Northern Great Plains. *Journal of Paleolimnology* 17: 3-8.
- Villard, P., and R. Kostaschuk. 1998. The relation between shear velocity and suspended sediment concentration over dunes: Fraser Estuary, Canada. *Marine Geology* 148(1-2): 71-81.
- Waiser, B. 1996. Foreword. In: James H. Gray *Men Against the Desert*. Second Edition. Saskatoon & Calgary: Fifth House Publishers.
- Wetlaufer, R.J., and P.B. Brand. 1992. *Adoption of Soil Conservation Practices on the Canadian Prairies*. Paper presented at the International Symposium on Adopting Conservation on the Farm held in Honolulu, Hawaii, October 1992.
- Wheaton, E.E. 1984. *Climatic Change Impacts on Wind Erosion in Saskatchewan, Canada*. SRC Technical Report No. 153. Saskatchewan Research Council, Saskatoon.
- Wheaton, E.E., and A.K. Chakravarti. 1987. Some temporal, spatial and climatological aspects of dust storms in Saskatchewan. *Climatological Bulletin* 21(2): 5-16.
- Wheaton, E.E., and A.K. Chakravarti. 1990. Dust storms in the Canadian Prairies. *International Journal of Climatology* 10: 829-837.
- Wheaton, E.E., L.M. Arthur, B. Chorney, S. Shewchuk, J. Thorpe, J. Whiting, and V. Wittrock. 1992. The Prairie drought of 1988. *Climatological Bulletin* 26(3): 188-205.
- Wilhite, D.A. 1993. *Drought Assessment, Management and Planning: Theory and Case Studies*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Wilhite, D.A., W.E. Easterling, and D.A. Wood (eds.). 1987. *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Wolfe, S.A., D.R. Muhs, P.P. David, and J.P. McGehehin. 2000. Chronology and geochemistry of late Holocene eolian deposits in the Brandon Sand Hills, Manitoba, Canada. *Quaternary International* 67(1): 61-74.
- World Wildlife Fund Canada. 1988. *Prairie Conservation Action Plan, 1989-1994*.

附件 1：加拿大的风沙尘暴以及旱灾大事记

时间	事件
1886~89 年	大草原地区发生严重干旱
1893~95 年	大草原地区大规模旱灾
1912~13 年	三角地带严重旱灾
1917~20 年	大草原地区发生强风蚀，艾伯塔发生黑色暴风雪
1930 年代	整个 20 世纪 30 年代被称作“黑风暴时代”。1933~1937 年期间，大草原地区降水仅占常降水的 60%，数以千计的牲畜由于饥饿窒息而死，作物颗粒无收，25 万人口流离失所，背井离乡。
1934 年 5 月 12 日	黑色暴风雪卷着落基山的尘土，翻越加拿大西部，直袭大湖与大草原地区，这一地区遇到历史上最为严重的蝗虫袭击。
1936 年 7 月 2~17 日	发生历史上最为致命的热浪。马尼托巴和安大略省省温度超过摄氏 44 度，这次历史上持续时间最长、最为致命的热浪造成 1 180 加拿大人丧生（大部分为老人和儿童）。
1937 年 7 月 5 日	历史记录最热的一天。这是加拿大萨克其万的米代尔和耶洛格拉斯有气温记录以来最高的温度，水银温度计达到摄氏 45 度。
1957~1960 年	大草原地区发生异常干旱，持续时间很长，并因此次干旱，水资源开发计划格外引人注目。
1961 年	大草原地区各省普遍影响的干旱年份之一。受干旱打击的地方降水只有往年的 45%，里贾纳除了 5 月份以外，每个月都比正常年份干旱。对于 12 个月都种作物的年份来说，总降水也是有史以来最少的。这次干旱持续的时间、严重程度以及影响的规模，也是历史记录最严重的一次。仅小麦生产一项的损失就达 6.68 亿加元，比 1936 年旱灾造成的损失还要高出 30%。
1976 年	春季发生严重的风沙尘暴，持续将近 10 年的大范围干旱开始。
1980 年	严重干旱年份。启动了紧急救援项目，包括农场复垦管理局执行的维持人畜生存救援项目。
1981 年	春季发生严重沙尘暴。
1984 年	春季发生严重沙尘暴，夏季出现严重干旱。
1985 年	夏季出现大旱
1987 年 9 月~1988 年 8 月	“40 亿加元旱灾”。整个大草原地区南部，历史记录最高的夏季，整个生长季正常降水的一半，冬季没有降雪，出现了几乎和 30 年代干旱相同的旱灾。1988 年约 10% 的农民和农场工人放弃了农业工作，干旱的影响遍及全国，农业产量很低，导致粮食价格增高。
1995 年 6 月 15 日	风速超过 100 公里/小时的强风横扫萨克其万省的菲尔莫尔。强风刮跑了粮仓顶盖，吹倒了电台塔，推倒了教堂的烟囱，毁坏了数座建筑。
1998 年	又是一个干旱年景，全年热浪滚滚，相当于 1936~1937 年、1984~1985 年的大旱，这一年，加拿大又一次经历了历史记录上最热的冬春季节、高温的夏秋季节。1988 年的年平均气温高出正常年景摄氏 2.4 度，这也是 20 世纪最热的一年。农作物和牧场受到严重影响，人们不得不浇水避暑。

资料来源：摘自加拿大环境 2000 年报告；农场复垦管理局防护林中心 2000 年报告；哥雷 1996 年资料；博得和拉宝特 1986 年资料；姆瑞 1980 年的资料。热浪的定义是指最高气温在摄氏 32 度或以上的天气连续超过 3 天的时间。

附件 2：大草原地区营造防护林的主要树种

Common name 常用名	Scientific name 学名
Balsam fir	<i>Abies balsamea</i>
Amur maple, Ginnala maple	<i>Acer ginnala</i>
Manitoba maple, Boxelder	<i>Acer negundo</i>
Speckled alder	<i>Alnus incana</i>
White birch	<i>Betula pendula</i>
Caragana, Siberian peashrub	<i>Caragana arborescens</i>
Hackberry	<i>Celtis Occidentalis</i>
Red-osier dogwood	<i>Cornus Stolonifer</i>
Beaked hazelnut	<i>Corylus cornuta</i>
European cotoneaster	<i>Cotoneaster integerrimus</i>
Arnold hawthorn	<i>Crataegus arnoldiana</i>
Round-leaved hawthorn	<i>Crataegus rotundifolia</i>
Russian olive	<i>Elaeagnus angustifolia</i>
Wolf-willow, silverberry	<i>Elaeagnus commutata</i>
Winterberry	<i>Euonymus bungeanus</i>
Green ash	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>
Siberian salt tree	<i>Halimodendron halodendron</i>
Sea-buckthorn	<i>Hippophae rhamnoides</i>
European larch	<i>Larix decidua</i>
Dahurian larch	<i>Larix gmelinii</i>
Siberian larch	<i>Larix sibirica</i>
Amur honeysuckle	<i>Lonicera maackii</i>
Tatarian honeysuckle	<i>Lonicera tatarica</i>
Siberian crabapple	<i>Malus baccata</i>
Manchurian crabapple	<i>Malus baccata</i> var. <i>Mandschurica</i>
Niedzwetzkyana crabapple	<i>Malus pumila</i> var. <i>Niedzwetzkyana</i>
Ponderosa pine	<i>Pinus ponderosa</i>
Siberian pine	<i>Pinus sibirica</i>
Red pine	<i>Pinus resinosa</i>
Scots pine	<i>Pinus sylvestris</i>
Mongolian pine	<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>Mongolica</i>
Assiniboine poplar	<i>Populus x deltoides</i> “Assiniboine”
Manitou poplar	<i>Populus x deltoides</i> “Manitou”
Walker poplar	<i>Populus x deltoides</i> “Walker”
Prinsepian cherry	<i>Prinsepia sinensis</i>
American plum	<i>Prunus americana</i>
Western sand cherry	<i>Prunus besseyi</i>
Mongolian cherry	<i>Prunus fruticosa</i>
Amur cherry	<i>Prunus maackii</i>
Canada plum	<i>Prunus nigra</i>
Mayday	<i>Prunus padus</i> var. <i>Commutata</i>
Pincherry	<i>Prunus pensylvanica</i>
Nanking cherry	<i>Prunus tomentosa</i>
Black-fruited choke cherry	<i>Prunus virginiana</i> var. <i>Melanocarpa</i>
Ussurian pear	<i>Pyrus ussuriensis</i>
Bur oak	<i>Quercus macrocarpa</i>
Mongolian oak	<i>Quercus mongolica</i>
Golden currant	<i>Ribes aureum</i>
Hedge rose	<i>Rosa</i> spp.
Prickly rose	<i>Rosa acicularis</i>
Wood's rose	<i>Rosa woodsii</i>
Red elder, elderberry	<i>Sambucus racemosa</i>
Silver buffaloberry	<i>Shepherdia argentea</i>
Showy mountain ash	<i>Soibus decora</i>
Western snowberry, buckbrush	<i>Symphoricarpus occidentalis</i>
Villosa lilac, late lilac	<i>Syringa villosa</i>
Japanese elm	<i>Ulmus</i> 大卫 iana var. <i>Japonica</i>
Siberian elm	<i>Ulmus pumila</i>
Highbrush cranberry	<i>Viburnum trilobum</i>

资料来源：农场复垦管理局防护林研究中心（1989 年，2000 年资料）。

附件 3: 缩略语

ARDA	Agricultural Rehabilitation and Development Act	农业复垦与开发法
BC	British Columbia	不列颠哥伦比亚
BMP	Better management practices	优化管理方法
CBC	Canadian Broadcast Corporation	加拿大广播公司
CPP	Community Pasture Program	公用牧场项目
CPR	Canadian Pacific Railway	加拿大太平洋铁路
GIS	Geographic information system	地理信息系统
MCBC	Manitoba Crop Diversification Centre	马尼托巴作物繁育中心
MHPEC	Manitoba Horticulture Productivity Enhancement Centre	马尼托巴园艺生产力促进中心
NGOs	Non-governmental organizations	非政府组织
NSWCP	National Soil and Water Conservation Program	国家水土保持计划
PCP	Permanent Cover Program	永久保护计划
PFRA	Prairie Farm Rehabilitation Administration	大草原地区农场复垦管理局

(杨有林译, 赵爱云、卢琦校)



图1 加拿大地图

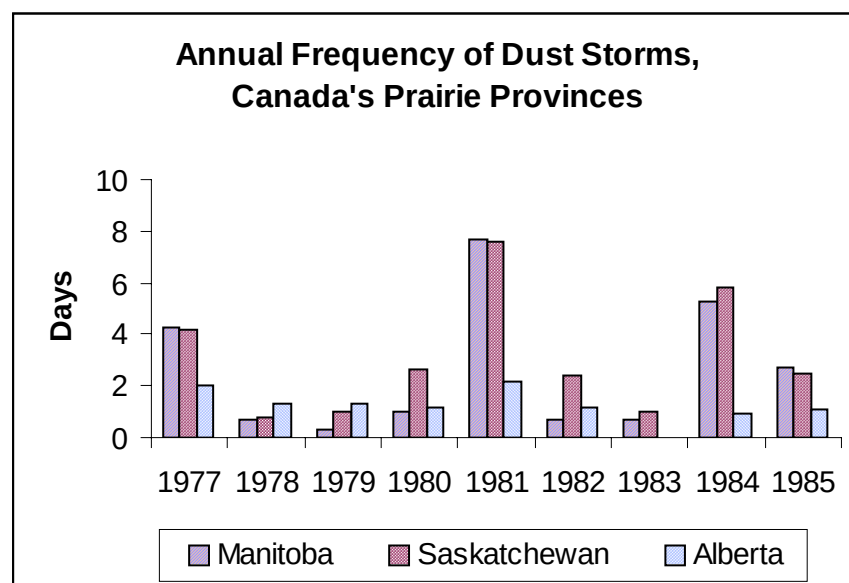


图2 加拿大大草原地区各省风沙尘暴发生频率（1977~1985年）

第5章

干旱大陆上最干旱省份——南澳洲的沙尘暴

Victor R. Squires

Dryland Management Consultant

PO Box 31 Magill, South Australia 5072, AUSTRALIA

PHONE/FAX: +61 8 8333 1279 E-MAIL: dryland@senet.com.au

澳大利亚是一个干旱的国度，陆地面积的75%属于干旱和半干旱地区。沙尘暴和尘暴是发生在世界各地干旱和半干旱区尤其是亚热带地区的一种自然现象（统称沙尘暴）。毋庸置疑，澳大利亚也同样遭受着其它中纬度地区普遍遭受的沙尘暴及类似自然灾害的侵袭和危害。

就全球气候来讲，澳大利亚很容易被忽略。但澳大利亚又恰恰在南半球占据着与北半球的许多最干旱地区相对应的位置（图1）。

1、沙尘暴与相关的自然现象

大规模沙尘暴通常发生在严重旱灾影响下人类干扰活动频繁的干旱地区。当持续的干旱使土壤表层的水分丧失并同时伴随强风发生时，就产生了强大的沙尘暴。沙尘暴使大量细小的颗粒以悬浮的形式卷入空气中。沙尘暴带走了土壤中的微粒物质（通常直径小于0.05 毫米）和有机质。悬浮颗粒（直径通常小于0.01 毫米）在气流的搬运下可以到达海拔6千米高和6万公里远的地方。澳大利亚曾在1902年发生过这样的沙尘暴（专栏1）。

除了海岸地区幸免于难以外，沙尘现象（可定义为专栏2所列的任意一种自然现象）在澳大利亚的任何地方都可能发生。而沙尘暴的发生是限于一定范围内的（Mc Tainsh & Pitblado, 1987）。受沙尘暴影响的地区降水量一般在400毫米以内。澳大利亚中部和西部海岸地区沙尘暴的发生最为频繁，每年平均达5次以上。沙尘暴的发生还表现为鲜明的季节性，晚春（9月或10月）和夏季（2月~3月）最为显著（Middleton, 1984）。但是南澳旱农耕作区及其毗邻地区，冬雨降临之前的晚秋也会发生沙尘危害。

沙尘暴的影响范围水平可达数百公里，垂直距离高达上千米。1983和1994年发生在澳大利亚最严重的沙尘暴给东部沿海城市以及周围的城镇带来了毁灭性的破坏。

2、沙尘暴和旱灾

厄尔尼诺是来自南美海岸的季节性温暖洋流，每3~8年发生一次，通常带给澳大利亚的是旱灾。绝大多数严重的沙尘暴都与厄尔尼诺现象有关。1993年，南澳东部的平原发生了一次大规模的沙尘暴（图4）。这次沙尘暴发生的原因，普遍认为是由于厄尔尼诺现象导致的连续4年的干旱和不合理的农业活动所致。大量的土壤被大风吹蚀，降尘覆盖了澳大利亚东部和新西兰，绵延1800多公里。细小的土壤颗粒被卷入大气，导致尘土随着气流围绕地球环绕了三圈。

1994年也有类似现象发生。沙尘暴席卷了西澳、南澳（下有详述）和新南威尔士西部。据估算，这几个州的农业主产区大约损失了1000万到1500万吨表土，这些表土被大风席卷，以沙尘暴形式殃及澳洲大陆的大部分地区。

3、南澳典型沙尘暴事例分析

南澳是一个面积超过98.4万平方公里的大省，位于南纬26°~38°，东经129°~141°之间，周边与5个省份相邻（图2）。北部是年平均降雨量仅有125毫米的干旱地区，南部是面积广阔的旱农耕作区（主要出产小麦和大麦）。农业生产活动随着各地气候的不同而变化。南澳北部是广阔的牧场，畜牧业为主要的农业形式；南部为粮食种植区，炎热干旱的夏季，长时间裸露的休闲农地随处可见。

环境条件通常是导致沙尘暴和其它一些地方性沙尘害形成的重要因素。南澳的气候极为容易形成引发龙卷风的气旋。这里的高温月份降雨极少（图3），许多旱作农地休闲或用于放牧。由于土壤表层缺乏植被覆盖，加之羊群的践踏，导致了就地起沙，发生尘暴在所难免（图4）。

3.1 沙尘暴

近20年来，南澳共发生过3次严重的沙尘暴，第一次是1983年2月16日，第二次发生在1988年11月7日（这次强沙尘暴几乎横扫了西部的艾利半岛），第三次发生在1994年5月24日。南澳平均每年遭受强沙尘暴的日数超过0.1天（表1）。

表1 南澳每年风蚀灾害发生频率估算

ABS※ 地区	风蚀程度+		
	重度*	中度*	浮尘**
阿德莱德	0.10	0.22	8.18
坎加鲁岛	0.05	0.10	3.83
盎卡帕荣卡和弗鲁若	0.10	0.22	8.18
约克半岛	0.10	0.30	8.95
北部低地	0.10	0.19	7.41
河区	0.10	0.37	12.01
墨里玛利	0.10	0.37	12.01
东南高地	0.05	0.10	3.83
东南低地	0.05	0.10	3.83
林肯港	0.10	0.57	17.13
西海岸	0.10	0.57	17.13
怀阿拉	0.10	0.57	17.13
皮里港	0.10	0.65	19.17
弗林德斯岭	0.10	0.19	7.41
北端	0.10	2.27	60.58

※ 澳大利亚统计局根据地理和人口进行的区域划分

+ 澳大利亚气象局将风蚀现象分为4级：

- 严重风蚀天气——在大范围内能见度小于200米；
- 中度风蚀天气——局部地区能见度小于1000米，但影响范围不大；
- 浮尘天气——与环境机构定义相同，当总悬浮颗粒物（TPS）>150毫克/立方米/小时，为浮尘天气；
- 零风蚀天气——总悬浮颗粒物<150毫克/立方米/小时。

* 根据气象局20年来能见度数据估算
** 根据环保机构17年来关于总悬浮颗粒物（TPS）>150毫克/立方米/小时的数据估算

每年夏季都有成百上千的沙尘暴及其相关的自然现象席卷南澳的干旱和半干旱地区（见专栏1）。由于干旱地区通常人迹罕至，人们能所见到的只是其中的一小部分。

3.2 扬尘龙卷风

在干旱地区，扬尘龙卷风（图5）最为活跃的时间通常是在午后，当地标准时间12:30到14:30。在此之前的几个小时是1.5米高度标准气象记录的最高气温时间。这可能是由于土壤表层温度要早于距地面1.5米高的气温而达到最高温度。形成沙尘旋风的能量主要来自高温表面的热流，但是在一定的条件下，当其它必要的气象条件满足以后，在中等温度的环境下也会形成扬尘龙卷风。

美国的研究表明：夏天，干燥的土壤可以产生每分钟每平方米带有0.7个卡路里热量的气流。对于一个直径为10米的环形区域来说，这个气流可以转化成功率大约为50千瓦的净向上的热传导力。扬尘龙卷风经过高温表面时，就利用这种能量维持自身的运动。当诸如表面阻力和涡旋与环境的相互作用消耗的能量超过这种能量时，涡旋就会自行消失。

4、1994年5月24~25日的沙尘暴

1994年5月24日中午时分，南澳大部分地区为沙尘暴所笼罩。拥有100万人口的省会城市阿德莱德，能见度降到了400米（图6）。这是阿德莱德1994年遇到的最大的一次沙尘暴，但这只是当年席卷南澳的多次沙尘暴中的一次。

4.1 沙尘暴的影响

沙尘暴的影响范围很广，从东到西跨越800公里。由于一些地方的能见度降到50米，许多社区受到影响，据报道，灾害造成的损失巨大。部分直接影响如下：

- ↳plain 交通事故；
- ↳plain 输电线路被毁， ↳plain 电力中断；
- ↳plain 机场关闭， ↳plain 航班变更；
- ↳plain 公路和铁路停运；
- ↳plain 土壤肥力损失；
- ↳plain 哮喘病增加。

4.2 沙尘暴成因分析

↳plain 降雨 在沙尘暴爆发前的5个月内， ↳plain 阿德莱德地区降水量仅有99毫米。其它中

部地区和更远的西部地区，^①降水更少。

^②**风速和大风移动速度** 据记载5月24日阿德莱德的风速介于30—^③45公里/小时之间，^④据观测瞬时最大风速达70公里/小时。阿德莱德5月份每日平均大风移动速度为195公里/天。5月24日，大风移动速度达到320公里，^⑤显示出强风的持续性。风流数据表明这样的风速和持续时间属于阿德莱德历史最高记录，^⑥只占历史记录的1%。

^⑦**沙尘来源** 卫星影像分析显示：经过阿德莱德的浮尘来自于阿德莱德西部和北部的旱作农区。

^⑧**不^⑨合理的土地管理** 一些农田土壤损失分析表明，^⑩土地管理失当也是一个产生沙尘暴的诱因。

5、沙尘暴造成的环境后果

南澳最近公布的数据显示，每年因风蚀和沙尘暴造成的损失估计达百万澳元。例如灾后清理费用，疾病（或由于灾害致残失去工作能力）造成的误工，航空公司航班变更造成的损失等。最突出的损失是由于患哮喘病人数的增加，导致医药开支增加。例如：南澳平均每年8.5天的沙尘天气，空气中的浮尘量足以引发哮喘病的爆发（Williams and Young, 1999）。可以断言南澳20%的哮喘病问题与空气中的浮尘有关。

从更广的范围来说，风力作用下的大风吹蚀，导致了土壤养分和有机质的损失。根据以南澳周围8个气象站为中心，记录的能见度和风速进行计算，表明宽度为100公里的沙尘旋风的输尘量高达1千万吨（Butler, Davies and Leys 1995）。因而，沙尘暴卷走的表土导致了土壤的长期退化，这是无法从根本上逆转的（Yaping, Raupach and Leys, 1996）。尽管损失土地生产力的代价难以估计，但“损失惨重”是无可质疑的。

6、防治沙尘暴和其它大风灾害的措施

1994年5月24~25日的特大沙尘暴发生在秋季，也就是说许多农田在整个干旱的夏季处于没有任何覆盖物保护下的休闲状态，有一些农田已经开始耕作，正期待着秋雨的到来，准备播种。另外一些农田在作物秸秆和其它作物留茬的保护下，部分农田在家畜扫荡之后，准备耕作（Butler等人, 1995）。

很明显，土地管理失当是导致1994年5月24~25日沙尘暴发生的因素。这场沙尘暴影响到了南澳的大部分地区。但由于不同的管理制度，并不是所有的土地都受到了沙尘暴的危害，而且土壤的损失情况也不尽一致。事实证明，土地管理不当是造成沙尘暴危害的主要因素的观点是无可厚非的。

为了减少风蚀对南澳农田造成的损失，Butler等人（1995）提出了以下建议：

- （1） 建立一个完善的监测系统，（2） 加强对沙尘暴成因、危害的研究和沙尘暴对农村发展的影响以及开展技术推广工作，（3） 加强改善农业生产方式的研究；
- （4） 开展农业经济推广项目，（5） 支持农民根据土地管理的基本原理，（6） 改善播种方式。项目的最大受益者是受风蚀危害影响最大地区的公众。项目重点放在实施土壤保护，（7） 以达到保护地表植（8） 被，（9） 防止农田风害，（10） 尤其是夏季和初秋大风的危害；
- （11） 开发适宜贫瘠土壤的耕作体系；
- （12） 对政府官员、推广工作人员和其它应用这一决策支持体系的人员进行培训；
- （13） 以丛书的形式，（14） 出版、散发有关治理风蚀与最佳土地管理的信息。介绍作物留茬方面的有关内容，（15） 不（16） 断总结和更新有关农作物留茬管理的指（17）

南；

(18) 支持和促进天气预报的发展，(19) 提高气象数据的可靠性和天气预报的准确率。

7、结 论

风蚀和沙尘暴是自然和人为共同作用诱发的灾害。而且，与其它的陆地退化过程不同，具有突发性。风力侵蚀系统是由气象、土壤和植被相互作用的多因素组成的。人为开发活动使得这些因素更为复杂。

早些年代，严重的沙尘暴是相当普遍的。然而，正如图7所示，自从70年代早期开始，横跨东部澳洲的沙尘暴发生频率明显减少。沙尘暴发生频率减少的原因还无法全面的解释，但是，人们认为与夏季裸露农田休闲期的缩短和土地管理措施的普遍改善有密切的联系。

或许是由于关于沙尘暴问题的书刊、会议和科学论文数量的增加，使人们关于扬尘、漂浮搬运和沉降现象对于干旱地区景观变化之重要性，有了高度的认识。沙尘暴及其造成的环境后果，越来越受到重视。根据观测的情况，沙尘暴造成损失的大小不仅仅与沙尘暴严重性有直接关系，中度沙尘暴造成的清理费用可能与严重的沙尘暴差别无几；最有效的方法是减少沙尘暴影响的范围及其危害程度，减少发生频率。

(贾晓霞译，杨有林、卢琦校)

参考文献

- Butler, P.R.; Davies W.J. and Leys, J.F. (1994) Dust Storms in South Australia on 24-25th May, 1994. Primary Industries, South Australia. *Technical Report Number 243*. 57 pp.
- Middleton, N.J.(1984) Dust storms in Australia: frequency distribution and seasonality. *Search* 12: 46-47
- McTainsh, G.H. and Pitblado, J.R. (1987) Dust storms and related phenomena measured from meteorological records in Australia. *Earth Surface Processes and Landforms* 12: 415-424
- McTainsh, G.H., Burgess, R. and Pitblado, J.R. (1988) Aridity, drought and dust storms in Australia (1960-1984). *J. Arid Environments* 16:11-22
- SOEAC 1996 State of the environment in Australia. CSIRO, Melbourne
- Williams, P. and Young, M. 1999. Costing dust. How much does wind erosion cost the people of South Australia? CSIRO, Policy and Economics Research Unit, Land and Water, Adelaide
- Yaping, S, Raupach, M.R., and Leys, J.F. (1996). A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region. *Aust. J. Soil Res.* 34: 309-42

专栏1：1902年11月的特大沙尘暴

1902年是东澳持续旱灾中的一年。一年当中，无论何时，只要出现大风，疏松的表土就会被即刻卷起，形成大片沙尘云层。最严重的一天是1902年11月12日，星期三，西北风引起的沙尘暴席卷了3个州。大风卷走了建筑物的屋顶，拔起了大树，横扫维多利亚、南澳和新南威尔士州的西南部，巨大的风力造成了极大的破坏。

南澳最先报道了这次沙尘暴，沙尘暴影响了该州的大部分地区。浓密的沙尘云团从早晨就笼罩了阿德莱德的天空，能见度降到只有20米。

在新南威尔士州、维多利亚和RIVERINA河区，沙尘暴从早晨开始，逐渐扩大，越来越严重。空气中充满了红褐色的浮尘，这时温度攀升到了摄氏38度。下午，沙尘暴前锋已越过了维多利亚北部和RIVERINA河区，一个接一个的城镇不断报导突然降临的令人恐怖的风沙尘暴恶讯，气流中的浮尘含量很高，以至于在5到20分钟之内就使整个城镇处于黑暗之中。大风吹倒了维多利亚西部的电话线杆，墨尔本到阿德莱德之间的通讯线路花费了几天的时间才得以修复。

从基隆到波特灵顿的邮车赶上了风沙尘暴，延误了20分钟，马和乘客都受到了惊吓。灾害过后，科兰至天鹅山的铁路积沙足有30厘米高，清除之后火车才得以通行。

一些镇子还出现了关于 plain火球 plain的报导。据报导，在维多利亚中部的布尔特，火球 plain落到了牧场和街道上，击中地面的刹那间，火星如烟花般四处喷射。

在威登和德尼利昆，火球 plain还引发了大火。可能的一种解释是高速移动和撞击的尘土颗粒产生了静电，点燃了尘粒中所携带的有机物质。这种经历确实十分恐怖，天空一片血红色，狂风呼啸而来，热浪滚滚四起，浮尘盖顶，天空一片漆黑，火球 plain的出现，更加剧了恐怖的气氛。

专栏2：一些有关沙尘暴和相关自然现象的定义*

澳大利亚气象局使用的四个关于沙尘现象的定义，与世界气象组织的国际标准相一致。气象对照表代码也包括在内。

沙尘暴（气象对照代码09）：风力扰动，使大量的沙尘微颗粒扬起卷入空气，能见度小于1000米；

扬尘（代码07）：沙尘颗粒在风力作用下，升至高于地面中等高度，水平（1.8米高），能见度不低于1000米；

浮尘阴霾（代码06）：大风将沙尘颗粒从地表卷扬起之后，以悬浮沙尘搬运，一般产生在沙尘暴发生之前；

沙尘旋风（或沙尘龙卷风）（代码08）：在风力带动下，发生的旋转尘柱，通常高度不到30米（直径达300米以上）。移动距离较短，瞬间消失。

注：沙尘灾害是McTainsh and Pitblado (1987) 在其关于澳大利亚沙尘暴的研究中所用该词，指任何与沙尘颗粒吹扬、漂浮、搬运和沉降有关的风成过程（指专栏2中1~4款的定义）。

第6章

非洲大陆萨赫勒地区的沙尘暴由于人为原因而加剧

田裕钊¹

非洲大陆是当今世界上受干旱和土地沙漠化危害最为严重的地区。沙尘暴在非洲的一般状况和特殊性；沙尘暴在非洲造成了什么样的后果；形成沙尘暴的自然条件和人为因素；以及与沙尘暴斗争的方法等问题，是非洲土地沙漠化研究的重要内容。由本书主编确定的本书阅览对象是广大的读者，目的在于引起人们的普遍重视，因而，作者力求使文字简明，并强调说明沙尘暴和土地沙漠化的密切关系，沙尘暴由于人类的经济活动而加剧的实情。另外，我们不愿与有些人的悲观调门苟同，说什么“非洲是一块绝望的土地”、“危险还在前头”。相反，对于非洲的萨赫勒，我们和大多数的人一样，都持有一种乐观的期望：不管沙漠化发展的表象多么严重，甚至土地退化在局部地区会有更大的扩展，就便达到极端的处境，那片“热土”依然是地球上极据潜力的所在。

在这里要阐述的看法、表达的思想，主要是根据作者在1988年1月到8月期间，实地考察马里的萨赫勒地区，并与当地的专家、地区官员以及普通居民交谈，把所见、所闻、所思形成的印象回忆后整理的。文中的资料、数据，当地人的一些说法，包括经济形势和生活状况，在十多年过去之后就不再是完全符合实际的了。文中的照片，也都是作者在1988年拍摄的。十多年之后，再到这些地方，或许景象不再，因为这里是多变的萨赫勒。所有这些，都不会对本文构成影响，因为作者是企图用过往的事实，说明曾经发生的一种过程，一个阶段。情况好转了，人们现在的认识、看法也向合理方向发生了变化，这才是符合规律的正常现象。

1. 讨论问题的基础。（一般性的结论：关于非洲的沙尘暴。形成的动力，风信条件；物质来源；沙尘暴的表象；尘埃的搬运和沉降）

沙尘暴是干旱、半干旱地区普遍存在的一种自然现象；多半都是持续的强劲风力作用于干燥松散的地表，引起土壤风蚀；进入气流中的尘埃在搬运、漂浮、沉降过程中表现为沙尘暴天气。沙尘暴在非洲大陆上是多见的自然过程。包括撒哈拉沙漠在内的大面积荒漠景观的存在，说明在历史时期，这里就是一个尘暴的源地。

荒漠中的土壤侵蚀活动，主要是风力的结果，因为这里降雨稀少，较少水蚀；风力作用于地表后，重的颗粒虽经受吹扬，但只有颗粒小而轻的物质（尘埃、盐分等）被强风携带到很远的地方。英国牛津大学地质学院的研究记录表明，自1900年以来，英国共经历过17次撒哈拉沙漠降尘。一次降到英国的来自撒哈拉沙漠的降尘量可达1000万吨。这是一些直径仅有1%毫米的红色尘埃，呈碱性，在空中飘移了1200英里。

我们在非洲工作的日子里，虽然碰到过一些沙尘暴天气，但没有遭遇典型的、强度很大的沙尘暴。1961年和1962年，我们在塔克拉玛干沙漠南部边缘的皮山

¹ 中国科学院，北京 100037; E-mail: yuzhao7963@sina.com.cn

绿洲和和田新垦荒地上考察时，先后两次在白天遇到黑风暴。携带着尘土的强风，像浓云一样从很远的地平线上向我们逼近，沙尘暴像一堵墙体，所到之处，蔽天盖地，在大风持续的几个小时内，白天如同夜晚。其实，这样的沙尘暴在非洲并不少见。伦敦大学的克拉乌德斯里-汤姆逊（Cloudsley-Thompson, 1984）回忆他在利比亚战争期间碰到过一次喀新风沙尘暴，三步以外的地方，看不见手电筒的亮光。1969年夏天的早晨，他与妻子在撒哈拉沙漠中央的阿哈加尔行车，地面上虽然没有尘埃，但尘埃云雾蔽空，只能被迫开启车灯。（Sahara desert, 《Caxapa》，1990）

强劲的风力是沙尘暴出现的动力根源。撒哈拉沙漠南部，影响马里等萨赫勒地区很大的一种干热风，当地叫哈麦丹（harmatta）。通常出现在冬季，东北风或东风。当大气压升值，出现由副热带高压带吹向赤道地区的信风时，这种风就是哈麦丹。哈麦丹的风力高出临界值后，尘埃开始脱离地表，使哈麦丹卷带着大量的尘埃。哈麦丹把尘埃搬运到几百公里以外的大西洋，有的沉降到航船的甲板上。沙尘暴有时妨碍经往地区的飞机航行。从高空飞行的飞机舷窗上可以清楚地发现蓝天和沙尘浑沌大气的界限。

撒哈拉沙漠北部的强风天气常常出现在春冬季节。当地称这种风为喀新风（“哈姆逊”khamzin）。当撒哈拉北部或地中海上空出现低压区时，扰动开始从西到东生成。风力携带着大量的沙漠中灼热的沙尘，搬运很大的距离，沉降到地中海沿岸和尼罗河三角洲。这种风阿拉伯语别称“50天”，因为每隔50天就刮一次。使人闷热的带着尘埃的“哈姆逊”有时把能见度降到零。这种风在阿尔及利亚叫西洛可风。

尘卷（dust devil）是在非洲沙漠中多见的一种现象。在肉眼可见的高度上，外型像漏斗状的沙尘旋风多半是由于地面受热不均，局部产生猛烈的对流作用形成的，范围小，消失极快。在萨赫勒地区（马里、乍得、尼日尔、苏丹）的荒漠中，有时出现持续多达一小时的强劲的风飏（squall）。这与小范围内的热带气候扰动有关。在西部非洲称这种风飏为陆龙卷（Tornadoes）。这种旋风有的单独呈现，也有的沙尘卷成群出现。一般直径不大，几米到几十米，高几十米到上百米。形成后多半在几分钟内消失。移动距离不大，不影响大气能见度。旋转的方向有的顺时针，有的逆时针。当地人说，“风儿伴随太阳来”。突然发作的强风现象虽然持续时间不长，但瞬间的风力很大，风速有时猛烈增加，风向急转，漂忽不定。当地人称“埃布里斯”（尘魔）的强风，出现在无风的白天，是由受热的空气突然上升形成的。这样的一些气旋把沙尘和其他一些地面上的物件抬起，推向很高的上空，在不少情况下气旋把不太大的植物和动物抛掷到另外的地方。

强风在苏丹叫哈布尘风或哈布风暴（Habob）。苏丹北部境内的撒哈拉南缘出现的湿热强风，通常都伴随着沙尘暴，有时还有雷电和小龙卷。哈布尘风的持续时间平均约3小时，能搬运输送大量的沙尘。哈布尘风常出现在夏季，有可能从任何方向吹来。气团移动时像一堵几百米高的黑墙。这是夏季赤道锋向北移动并从几内亚湾携带水气进入北非的结果。哈布风暴有的来自北部撒哈拉，这与地中海的低气压区系统相关，常常携带大量的沙尘。

埃尔-巴兹（Farouk El-Baz, 1986）认为，撒哈拉沙尘暴搬运的微细尘粒集中于大气层中1.5~3.7公里的高度上。每年有2500~3700万吨尘埃输送到赤道以北的大西洋地区，有的穿过西经60度线沉降。有人研究得出（Б.А. Федорович, B.A.Fedorovich, А.Г. Бабеев, A.G.Babayev,

1976), 海底沉积物中风吹来的沉降粉尘占20~75%, 陆地上有大面积的黄土及类似黄土的复被层, 证明干旱、半干旱的沙漠地区不仅是沙尘暴的形成地, 也是粉尘、盐分向外输出的源产地。

大量的野外观测和实验室风洞研究现已查明, 干旱、半干旱区的地面上, 风力作用下土壤沙尘吹扬的物理过程, 也是一个风选过程。当风力达到相应环境条件下的土壤风蚀临界值后, 土壤沙尘开始脱离原来的位置, 由静止状态转入运动, 形成风蚀。土壤颗粒的运动有三种形态: 沿地表滚动; 在距离地面一定的高度内跳动; 呈悬浮状态, 离开地面达到一定的高度随风力飘移。沙尘颗粒的粒径大小和质量决定运动形态。研究得出(玛林娜, 1941, F.J.Malina), 在平均风速15米/秒的风力吹扬下, 粒径0.1毫米的很细砂颗粒在空中悬浮的时间仅为0.3~3秒; 0.01毫米的粉粒能在大气中被抬升到700米的高度, 可在空气中悬浮0.83~8.3小时; 0.001毫米的粘粒, 能飘移到大气层77公里的高度, 在空气中持续悬浮0.95~9.5年。粒径小于0.05的粉粒和粒径小于0.002的粘粒, 体积小, 质量轻, 只有它们才能随着气流上升, 呈悬浮状态搬运飘移, 呈现为通常所说的沙尘暴。土地表层直径大于2.0毫米的砾石, 在一般风力吹扬下, 不被搬移, 留在原地。直径0.5~1.0毫米的粗砂往往用滚动的方式移动。中砂(0.25~0.5毫米)和细砂(0.1~0.25毫米)多半用跳跃的方式前移。这些沙粒被风力吹扬、分选、位移后, 堆积在一起, 最终形成各种形态的沙丘。所谓的“沙子”从天而降, 不合乎实际。细小的颗粒一旦被风力吹扬处于悬浮状态后, 很容易被涡旋性质的气流搬运。不超过1~1.5米/秒的风速足以使悬浮尘埃长期停滞在空气中, 有时被搬运到很远的地方, 或上升到几百米、几千米的高空。只是在风力减弱、停息, 或碰到降雨时, 才沉降下来。能使粒径0.05~0.1毫米的颗粒上升和移动的临界风速(离地表15厘米高度的风速)约为3.5~4.0米/秒。

风力通过风蚀作用, 把地表的细粒卷入气流形成沙尘暴搬移他方。1968年1月16日沉降到阿什哈巴德(Ashkhabad)的红色粉尘, 6小时内每公顷达20~30吨, 包括61.5公斤盐分(含氮24.9公斤, 氯8.4公斤)。1975年12月23日阿什哈巴德(Ashkhabad)在1小时37分钟内每公顷沉降粘土微尘4~6吨。(B. A. Федорович, (B.A.Fedorovich) 1976)

(包括沙尘暴在内, 研究土壤侵蚀的文献数以万计。1977年苏联农业科学院中央农业科学图书馆汇集了1976年一年间公开发表的有关文献就多达557篇〔本〕, 其中80篇〔本〕是国外人撰写的。美国、加拿大、苏联以及法国、中国的研究结论, 是进一步认识沙尘暴现象的基础。)

2. 我们关注沙尘暴的原由(萨赫勒的土地沙漠化是沙尘暴遗留的恶果; 沙尘暴发生后给人们制造的是不毛之地)。

沙尘暴的沙尘物质来源的多寡, 受地表土壤状况所影响。奥里维尔(Oliver, 1947)例举的实例, 证明了沙尘暴和人类活动有密切的关系。他认为1940年到1943年的军事行动, 使尼罗河三角洲地区的沙尘暴次数急剧增多。在二次世界大战中, 坦克车和其他一些战斗车辆在北非广大地区的行驶、碾压, 以及很多军事活动, 破坏了荒漠地表上坚实的硬壳, 把大量的被粉碎了的细小的尘土裸露在地面, 这样的直接后果就反映为尘暴增多。

牛津大学(1987)研究得出,廿世纪沉降到英国的非洲红色尘埃共有17次,其中有10次发生在80年代。“这可能是由于位于北非的萨赫勒地区土壤侵蚀扩大的结果。”因为尘埃呈碱性,有时富含钙,古迪(Goudy,?)教授认为,“这可能有利于某些生态系统抵消酸雨的影响”。

我们引证这些源于实际观测的结论是想以此开始,为本文讨论的话题确定一个基调:在这里讨论的沙尘暴,不限于认识一种自然现象,还要看到它严重的社会后果;不但要了解形成的自然因素、环境条件,更重要的是查明人类经济活动是怎样地加剧着这个过程;在制定对抗措施的时候,不应局限在技术的科学性、合理性上,而要更多地关注采取什么样的措施才能换来实效。

发生在本世纪70年代的苏丹-萨赫勒生态灾变,是除了两次世界大战之外,近百年人类生活中最悲惨的灾难。席卷了撒哈拉沙漠南部边界地上的干旱和土地荒漠化造成了几十万人死亡,损失了一半家畜和200万头游牧牲畜,600万以上的生态难民流离家园。事件震惊了整个世界,促成了1977年内罗毕联合国荒漠化会议的召开。在到马里工作之前,我们曾在1985~1986年,先后以联合国环境署(UNEP)赴埃塞俄比亚、坦桑尼亚考察荒漠化问题专家团的身份作过实地考察,阅读过关于发生在1972~1974年和1984年前后在苏丹-萨赫勒地区的旱灾和生态灾变的大量材料。非洲的沙漠化,早已不是“忧患”,不是单纯的“学术研究”,显现为社会的灾难,应当用综合的方法实地调查。1988年1月29日抵达巴马科后,只进行了必要的拜会和起码的考察条件准备后,就于2月8日奔赴野外,与马里专家一起乘车实地考察。5月19日止,先后行程18000公里,走访过沙漠化严重的地区。匆忙外出考察是不得已而为之。中国专家组是一些“外来的和尚”,虽然都是50多岁的人,有相当的经验和阅历,但对萨赫勒灾难,感性的认识缺乏。“山僧不解数甲子,一叶落知天下秋。”我们是些从事自然科学研究的人,实地考察,观察大自然变迁在土地上残留的表象,就是解决疑惑和难题,获得真知的最好办法。到什么地方去寻找那片能告诉我们秋天已经来临的叶子呢?不入虎穴,焉得虎子?干旱和土地沙漠化造成严重社会后果的地区,就自然成了走访和关注的焦点地区。

据统计资料,我们准备考察的马里地区内,有25个小区(cercle,小区相当于中国的行政专区)的粮食保证率不足300天。(每人每年粮食需求按224公斤计算,FAO标准)。其中保证率在60~120天的有4个小区,保证率不足60天的有13个小区。一般认为,非洲人口年增长率目前为3%左右。(1914年以前的一段时间,马里的人口年增长率为1%;1928~1939,1945~1959年为1.4%;1960~1978年为2.3%。U. N. Population and Vital Statistics Report, 1979.)。1976年和1987年两次人口普查得出,马里全国人口平均增长率为1.7%。我们发现,有50个县的人口出现负增长。有的村庄,例如阿尔穆斯塔拉县的阿加莫尔(in arrondissement Almoustarat),几乎所有的男人和青年都外流他乡,也有的去了阿尔及利亚和利比亚。这些移民在外地饱受辛酸和痛苦,有的变为失业者,也有的沦为犯罪分子,成为严重的社会政治问题。村内只留下了妇女、儿童、老者。纽诺小区(cercle Niono)的索科洛县(arrondissement Sokolo)和楠帕拉县(arrondissement Napala),有的村庄内已经空无一人。每当我们走进那些只有老小的茅草棚中时,尤其是踏进寂静得可怕的无人村庄,复杂的心情难以言表。这些无人村周围的土地,自然引起了我们特别地注意,成为见证土地沙漠化的研究的对象。

我们对现有的非洲萨赫勒地区的降雨资料做过分析得出，类似70年代的少雨，在本世纪先后出现四次（1910~1915；1940~1944；1968~1974；1979~？，据TOMBOUCTOU、KAYES、GAO、KIDAL、NIORO各气象台的逐年降雨量资料，资料1987年止），上半世纪的两次，并没有造成严重的社会后果。而以后的两次，却制造了土地的退化。曾经担任过国际自然保护同盟主席的埃及沙漠学家卡萨斯教授说，“土地荒漠化是由三个主要因素造成的：没有传统休耕期的过度耕作、过度放牧和灌溉计划不周造成的土壤盐渍化。贫穷是荒漠化的一个因素，它迫使人们放弃传统的自然循环生产过程。”世界环境与发展委员会主席、挪威前首相布伦特兰（Buluntlan?）夫人认为：“使数百万非洲人丧生的饥荒，是二次世界大战以来最严重的灾害，非洲饥荒通常归因于干旱。而真正的原因却在于过去几十年中对土地使用不当、对森林的大量砍伐及错误的农业政策。”

沙尘暴是一种制造贫瘠土地、使沃土变为不毛之地的过程显现；沙尘暴过程中土壤微粒的吹扬、搬运、丢失，是一种土地生产潜力的丧失；沙尘暴是土地沙漠化在不同土地利用方式中通常共有的最严重的灾害；沙尘暴过后留给人们的后果，有的需要经过长期的努力才能恢复，也有不能逆转的情况。

3. 在边界地上，只要留心寻找，就能发现风力雕琢的痕迹。沙尘暴过后，有的旱作农田被翻耕过的土壤被剥蚀净光，犁头尖顶残留的划沟清晰可见。（年降雨量400毫米等雨线临接地带上，分布着沙尘暴制造的大片不毛之地，这是近若干年来不合理利用土地的记录。在目睹了萨赫勒地区那些连片的风蚀农田和极其简陋的茅草棚住房后，特别容易理解当地西非土著人那句精辟的谚语：“贫穷的人群制造贫瘠的土地；在贫瘠的土地上产生贫穷的人民。”）

我们去过的“无人村”，大多分布在多年平均降雨400毫米的等雨线南北一带。（图1，1922~1980年马里年平均降雨量）在萨赫勒地区，通常把400毫米降雨量的地区看做是适合于旱作农业的区域。这里可以称作边界地。边界地上的旱作农业，基本上承袭了千百年来所实行的“刀耕火种”（Slash-and-burn Cultivation），撂荒制（Uncultivated），游耕（Swidden Cultivation），移耕（Shifting Cultivation），轮垦（Shifting field），或者“刀耕火种”都是一种大同小异的原始耕作制度的不同叫法。

整个萨赫勒地区，除了在那些有农业水利设施的国营农场外，占主导地位的是由个体经营的小块农田种植业，一年一茬种植高粱和黍（*Pennisetum*），（有人译作御谷或粟）。这两种都是原产非洲的传统作物，在粮食构成中占重要地位。旱作农田里的种植业，虽然也有出售产品的情况（这两种作物的上市率为3~10%），但基本上是自给自足的小农经济。在圈定的地块上，开荒造田。这些“荒地”，有的是疏林地或稀树草原，有的是高草草原，清除树木后，一般放火烧荒，而后用锄头或其他原始农具整地，也开始采用犁具翻耕（1977年平均12公顷耕地有一个犁）。播种出苗后碰到的问题是杂草丛生，有的除草3~4次，也有的任其自然生长，等待来日收获。由于投入极少（每公顷每年施用化肥量平均2~4公斤）或根本就没有物质的投入，主要依靠天然地力，是真正意义上的“靠天吃饭”，产量和效率都很低。这种方式利用土地，如果连续耕种，2~5年后，地力下降（非洲没有冬天，一旦出现适宜的条件，有机质分解很快），农民就弃耕撂荒20年，任

其天然生草，恢复地力。在这些地区，一般的是长期维持农田和撂荒地比例1：4到1：5。在本世纪的30～40年代，马里的旱作农民，除了一些播种了作物的田地外，还有5倍面积的撂荒地。进入60年代，由于情况变化，弃耕撂荒的时间变成了10年，有的地方缩短为5年。

在这种粗放的广种薄收的农作制度下，马里的120万公顷的高粱、御谷，在1954～1956年期间大约年产70万吨粮食，约合单产0.583吨/公顷。而在1974年，全国高粱御谷平均单产仅为0.480吨/公顷。（据Outremer 1958；FAO Production year book, Rome, 1970, 1980资料换算）。而马里的萨赫勒地区，产量要低于全国平均单产的30～45%。生产效率之低可见一斑。

萨赫勒地区的降水，与西非一样，年降水量由此向南逐渐增多，每南移一公里，增加雨量约一毫米。雨季来临（7～9月），降雨分布状况既不恒定，也不均匀。例如，纳拉(Nara)在1932～1936年间年降雨量分别达到600.7, 766.3, 644.7, 755.3, 696.3毫米；1949年达681.4；1962年达648.0毫米。而1979～1980年分别降至290.5和294.3毫米；1983年降雨276.1毫米，1984年降雨仅为198.7毫米，比60年平均降水量498.4减少了近300毫米！（缺1968～1977年纳拉降雨量资料）。

400毫米等雨线是一条不恒定的、南北方向来回摆动的界限。据记载，1913年等雨线向南移动了200～350公里。1945～1968年间，400毫米等雨线北移，旱作农民也随之北迁，并在那里建立了居住地。70年代，等雨线又开始南移，这些农民来不及，也不愿意退出这片已开拓的处女地。

旱作农民的北迁，还迫使在当地放牧的牧民向北部转移。例如，在40～50年代，尼日尔萨赫勒地区的富尔贝人(Fuerbe?)从不越出北纬15度线以北。1963年人口普查时发现，1.8万人在塔瓦(Tahoua region)地区，2.5万人到了阿加德兹(Agadez,北纬18度)。30年间由南向北推进了200公里。

在降雨量少于400毫米的地方从事种植业，尤其是广种薄收的粗放制度，只能引起大面积的土壤风蚀。一旦雨不逢时，被翻耕的地表长期裸露，形成沙尘风暴的动力条件出现，种植业就有面临绝收的危险。三十年间，400毫米等雨线由北向南迁移100公里（图2，1951～1984年400毫米等雨线位置的变化），使这一摆幅条带内的旱作农业遭受沉重的打击。

有人(N.S.Orlovsky, Методические указания по оценке и картографированию опустынивания в Сахеле, 1991)对卡伊(Kayes cercle)和耶利马内(Yelimane cercle)两地的谷物（御谷、高粱、玉米）的总收获量进行统计发现：1970～1971年产量最高，4022.5万吨，1972～1973年最低，879万吨。1973～1976年和1979～1980年大致在2500万吨左右，1980～1981年为2816万吨，1981～1982年为1938万吨，1982～1983年为2305万吨。1984～1987年在3200～3700万吨上下。这些数据反映了少雨年分对产量的影响，另一方面，也说明了在碰到多雨的年分，产量未能恢复原来的水平。

我们为了向人们说明沙尘暴对土地沙漠化影响的过程，拍摄了一组照片。

图片 1，开垦前的“荒地”原貌。这里是典型的萨赫勒多刺灌丛和稀树（*Acacia* sp. 和 *Balanites aegyptiaca*）草原。（木本植物主要是 *Balanites aegyptiaca*, *Acacia raddiana*, *A. senegal*, *Commiphora africana*, *Boscia senegalensis*, *Leptadenia pyrotechnica*, *Guiera senegalensis*, *Euphorbia balsamifera*, *Boscia angustifolia*, *Acacia loeta*, *Zizyphus mauritiana*; 草本植物多为 *Cenchrus biflorus*, *Aristida* spp., *Schoenefeldia gracilis*, *Cymbopogon proximus*）马里每年毁林种田的面积为 30 ~ 40 万公顷。（《1987 年世界环境状况》，UNEP）

图片 2，垦荒，“刀耕火种”（slash-and-burn cultivation）。一般都是一家一户作业。（耕种 10 公顷以上的只占农户的 7 %；44 % 的农户经营面积在 1.9 公顷以下。Annuaire statistique du Mali, 1967）。农民为了便于耕作，首先将树木砍伐并付之一炬。

图片 3，新垦地上的风蚀。15,000 年前，撒哈拉沙漠曾经扩展到目前南部边界以南 400 公里的地方。塞古-贡多（Segou-gondo）的古沙丘可作为见证。目前垦作的地方，是一些呈东北-西南走向的连接成片的古沙丘。它的形成大约在 2000 ~ 1800 年前（M. Sarnthein, 1978）。由于长期处于稳态，古沙丘的表层不仅为植被覆盖，而且形成了饱含细小颗粒的土壤层，但是，古沙丘的机械成分依然是沙漠化极易形成的物质基础。

图片 4，风信活动强烈的 3 月 ~ 6 月，正值旱季，旱田地表裸露，这种产生沙尘暴气象和沙尘来源基础条件的复合叠加，造成了土壤风蚀。沙尘暴卷走了土壤，留下的是大片的不毛之地。在有沙源的地方，或者碰到多雨的年分，或者耕作层下的母质比较松软，当人们弃耕后，一年生和多年生的禾本科草类开始出现，天然生草过程开始。但那些强烈风蚀的区段，母质条件很差，有的在短期内持续裸露，成为不毛之地。

图片 5，细小的土粒被沙尘暴搬运他方，残留下的砂粒在风力作用下沿地表迁移堆积，形成沙包。在萨赫勒地区，很少见到连片大面积分布的高大沙包地。碰到多雨年分，平沙地迅速被植物覆盖，沙源不再。；

图片 6，牛角瓜（*Calotropis procera*）的出现标志着耕地沙化，土地贫瘠。这种沙化农田将被弃耕。进一步沙化的地块上，沙生植物（*Leptadenia lancifolia*）首先侵入。定点观察说明，类似这样的地块，“就便在严格的全封育条件下，也需要 30 年的时间”，才能恢复为木本草场。至于土壤层的恢复，那就更需要多多的时日了。我们对不同年代拍摄的卫星照片分析发现，农田一般都集中分布在居住地的周围，但位置不固定。由于一年中的大部分时间没有作物覆盖，呈现为一个个岛屿状的沙化点。

4. 牧道见闻。（游牧曾是一种既养肥了牲畜又保全了草场的传统牧业方式。当往返于牧道上的牲畜急剧地增长以后，强度的啃食和践踏破坏了地表的稳定和植被覆盖，加大了土壤风蚀。沙尘暴频繁发生后，牧道沙漠化，牧道就逐渐丧失着牧场的功能，最终将沦为一条单纯的过往通道。）

在判读分析卫星照片的过程中，发现了一条条蜿蜒曲折的条带，照片上的这些信息表明，这些条带都是一些植被严重退化的地方。我们将位于索柯洛（Sokolo）西北方向上的SPOT卫星照片上植被退化情况和牧道位置作简图如下。（图3，牲畜周期性大量过往的牧道上土壤明显沙化。）

图3上的牧道是索柯洛（Sokolo）西北方向上往返于毛里塔尼亚和尼日尔河三角洲的牧道。在这条大约为10公里宽的通道上，近几年来，每年过往的牲畜多达38万UBT单位。（法国热带畜牧兽医研究所为萨赫勒地区确定的基本单位为热带牛单位，即UBT。一个热带牛单位UBT，相当于一头重250公斤的牛。对于60%的牛群，对于马群和骆驼群，一头等于一个UBT，其余的和幼畜部分，都等于1/2UBT；一只绵羊或一只山羊，相当于1/10UBT；驴为1/2UBT。）如此大量的牲畜，其中包括马里的30万头牛和旱季由毛里塔尼亚来的6万只羊，年复一年地在牧道上往返践踏、反复啃食，对牧道的植被和土壤造成极大的压力。引起牧道中心部分植被退化，地表松散裸露，变为沙尘暴源地。这是必然的结果。

全世界一半的牧民在非洲，畜牧业是萨赫勒地区重要的产业。萨赫勒地区牲畜的头数比人口数还多。在萨赫勒，牲畜（主要是绵羊、山羊和牛）占有量的多寡，标志着富有的程度和社会地位的高低；当然也是生活的来源。游牧是马里的一种传统的放牧形式。占人口总数10~15%的游牧和半游牧人，掌握着全马里70%的牛和80%的羊。这就是说，马里的牧道上运动着的牲畜在40~70年代大约有210~385万头牛和560~960万只羊。有着悠久历史的游牧，是非洲传统的畜牧业经营方式，并与当地的邦巴拉人（bambara）、莫尔人（maures）的生活习俗和生产方式相联系。

在不同的季节中，畜群沿着牧道往返于干旱荒漠草场和尼日尔河三角洲及其他一些水网地带。（图片6，**牛群沿牧道移动。**）马里的游牧大致遵循干旱向南，雨来往北行事。干爽的一月来临，畜群向南方迁移；二月开始升温，畜群往河谷集结；雨季开始的三月，只在河谷、洼地放牧，绵羊剪毛；干热的四月和高温的五月，畜群集中在尼日尔河河谷；六月开始转入雨季，畜群准备起程向北方移动；七月八月雨季来临，在北方荒漠草场上放牧；九月十月降雨开始减少并进入旱季，但荒漠区草场依然可供放牧；十一月十二月是干爽季节，荒漠草场品质下降，畜群开始向南方转移。游牧中畜群走动的实质是在迁徙的过程中觅食，即通常所说的逐水草而居。形成游牧传统作业，主要是当地的自然生态条件属性所决定的，广阔的草场上，水源和生草状况的时空变化幅度很大，只有游牧于广大的空间，才能充分利用自然资源。自然界的野生动物（包括大型野兽和飞禽以及不大的某些昆虫如飞蝗）都有长距离迁徙的天然属性和能力。

牧道不是一个单纯的通道。牧道实际上是一个放牧场。牧道上定期集中有大批牲畜，它们边走边吃，采食牧草的方式和数量，伴随着在牧道上游走的速度而不同。牧道的供水状况，牧草质量的优劣，以及牲畜的健康状况反过来又制约着放牧人控制牲畜游走的快慢。牧道上的植被被啃食的程度，直接与牧道上过往牲畜的多少和游动的速度有关。

有人指责是游牧人的无知制造了牧道的沙漠化。这是不准确的非难。游牧人技能之高超，是一个值得赞誉的人类精明的典范。我们在自己的切身经历中深深地为沙漠中的牧羊人、牧牛人、牧驼人的干练和智慧所折服。首先，他们在上千公里的长途跋涉

涉中，驱赶着数以百计，有的是上千头的牲畜，没有地图和指南针，有的连一只手表都没有，却具有高度的自信和辨向能力。惊人的记忆力，识别牲畜的能力（牲畜在饮水点上往往混群），听声音、看蹄印在茫茫的荒野中找回走失的牲畜。牲畜是一些生命体，任何一头大大小小的牲畜都有饥饿、口渴、生育、病患等等诸多的需求，有烦躁的不安和越规的野性。一天之中无定所地奔波，日出日没变幻，或烈日当头，或风沙迷漫，那可决然不是屏幕画面上那种令人响往的自由牧歌的洒脱轻松。他们在一年的旱季和雨季，一天的从早到晚，都清楚地知道应当干什么和怎样干。我们的交谈还涉及到他们是受佣于人的众多难题。这些饱经世面，目睹草场一年年退化过程的见证者，比研究者和外乡人更知道超载过度放牧的后果。他们从畜群主人那里接受的不止是上百过千的牲畜，还有沉重的担忧，而草场的退化和不能预知的少雨天气，是放牧人在为期几个月内笼罩在心情上的压力。

一味地认为游牧制度（nomadism; move about in search of pasture; nomadic life）不好也不对。因为这是一种有几千年历史的传统作业方式，是一种既养肥了牲畜又保全了草场的合于生态学原则、可持续性利用自然资源的合理方法。游牧是基于植被、水、矿物质等自然资源在特定的时间、空间分布条件下，牲畜饲养、繁衍的一种手段，迎合和适应着反复出现的不稳定性。那里水草丰美，就到那里去。那里的生活、生长条件不好，就及时地离开那里。正因为游牧的机动在处理环境、资源、利用之间的关系上，是处于动态之中，时刻维持着平衡，因而在一定条件下，在长期的实践活动中，发挥着良好的生态效应。往昔的牧道上，植被状况优于其他地方。除了土壤和积水条件外，过往的牲畜对植被有促壮的作用。牲畜，特别是有蹄类的适度践踏，可以在干旱季节破坏土壤表层的硬壳结皮，疏松土壤表层，改善土壤的通气性。践踏有助于植物种子埋入土层，起到播种覆土的作用。适度的采食嫩枝叶片，清除掉过多的生物量，使植物稀疏、灌丛不再稠密，有利于加速二氧化碳的固定和减缓蒸腾强度。牲畜是消费者，是生态系统中的一个构成环节，它们的排便是一种营养物的回归，有利于植物生长所需大量元素和微量元素的丰富还有助于枯枝落叶层的形成。在自然条件下，任何一种类型的植被群落中，动物和植物，以及和微生物的关系，都是生态食物链条的关系，是相互依存、互利互惠的和谐共生关系。游牧是一种廉价的利用自然资源的形式，最重要的投入就是放牧劳作。如果是自己的畜群，就不需金钱的支出。在新的条件下，当人们不适当地根据自身的需要成倍地扩大了牲畜的数量，超出了植被的天然生长和恢复能力，就出现了高于草场承载能力的超载放牧问题。

一般认为温带的优良草场一头牛只需0.4~0.5公顷草场。但在萨赫勒没有那样的产草地。据研究，体重100公斤，平均每天需干物质2.5公斤。因而，一年中需要2.5公斤×360天=912.5公斤。一般牲畜最多啃食草场的50%，则一公顷的草场上要养活一头100公斤的牲畜应该有产草912.5×2=1825公斤的能力。但萨赫勒没有这种高的产草量。在正常情况下，一头大牲畜需要6~10公顷的草场。

国际畜牧业中心非洲植物生态和生产力研究部对萨赫勒的灌丛草场的系统性长期观察认为：灌木疏林地（优势灌木为*Guiera senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia senegal*, *Grewia bicolor*, *Boscia senegalensis*）这种典型的和相对稳定的草场，当密度为每公顷130株时，地上部分的总生物量约为2000公斤/公顷。其中，果实和叶片部分为120公斤/公顷，含蛋白质10~20%。碰到

极端干旱的年份，养活一头牛需要30公顷的放牧场。

当牲畜的啃食量超过植被的生长量时，超载放牧的影响就会开始显现。适口性的植物由于强度的啃食首先出现衰退继而有的消失；植被的结构逐渐变化，适口性差的和不适口的植物种类逐渐扩大比重；植被稀疏，出现地表裸露的地段；牲畜过往时，尘土飞扬并加快了迁徙的速度；于是，在牧道上形成了产生沙尘暴的源地。沙尘暴在牧道上的频繁出现，很快加速着牧道的沙化，这就从根本上改变了草场植被的生存条件，使退化的植被复合叠加了不利的环境。牧道上退化了的、生产力不高的植被，对牧道的沙漠化有反馈作用，加速着沙漠化过程的发展。碰到干旱的年份，就在牧道上出现大量牲畜死亡的惨剧。

迪雷小区（Dire cercle）牛的总头数在1982年扩大到了6.3万头，1986年骤降到1.8万头。1982年通布图（Tombouctou）和加奥（Gao）的牛头数分别为775,000和460,000，1986年减为239,000和117,000。影响牛头数变动的原因极为复杂、多样，但生态环境的变劣，沙尘暴造成的土壤沙化是最主要的原因之一。

5. 水眼周围的荒漠化圈。（在往昔的无水草场上，哪里出现了水井，哪里就聚集了大量的牲畜。啃食和强烈的践踏地表，加剧风蚀活动。在若干次就地扬沙的沙尘暴之后，一个以水眼为中心的沙化了的荒漠化圈形成，并逐年地扩大。牧民说，“水多了，草少了”；“羊多了，肉少了”；“牛多了，奶少了”。）

超载放牧引起牧道沙漠化以后，许多的人都把希望寄托在开辟新的放牧地上。一些欧洲的学者在宇航照片分析时发现，在两条平行的牧道之间，有大片的无水草场，除了天然的野生动物出没外，放牧人很少利用，主要的原因是没有饮水地。从60年代末到80年代，包括欧洲在内的一些发达国家筹措大批资金（6.25亿美元），帮助改善供水和防治畜群病患等牧业发展的难题。国际援助的计划实施后，在昔日的无水草场上，出现了大批的由外国专家参与确定井点位置，利用现代打井技术，有的是太阳能电力提水的水井。有的水井周围还由资助国要求，按照专家的设计，规划布局了生活服务区等永久性的居住地。

在过去的年月里，由于少雨，由于地表的临时性积水洼地的水体很快就消失，由于没有人工供水的水井，大面积的无水草场的植被，长期处于不被利用的“闲置期”或“休闲期”。当人们设法汇集天然降水蓄存牧用或人工打井提取地下水供应畜群后，水眼周围的植被就会迅速地消失。经验说明，当地的管理者，包括政权机构，也无力监督和控制这种局面的发展。那里有水眼，那里就会集结大量的牲畜。水眼周边的植被被强度啃食，土地表层被过重地、多次反复地践踏，从而加剧土壤风蚀，导致土壤沙化直至流动沙丘地的出现。英国生态学家朗格（L a n g e）称环绕水眼附近，其沙漠化程度和植被的状况呈以水眼为中心的同心园式的带状变化为“脓肿圈”（P y o s p h e r e s）。这个荒漠化圈的半径一般等于一只绵羊一昼夜驱赶的距离，即5~6公里。

在无水草场上出现水井，就是土地沙漠化开始的信号。这是一种普遍的现象。X a p p i n（N.G.Kharin）和 K a l e n o v（G.S.Kalenov）（1978）分析航空照片发现，在姆尔卡布河和阿姆河的河间地上，以水眼为核心的沙漠化圈的距离通常7~10公里，平均的直径为2公里左右。实际上靠近水井出现的荒漠化斑点的大小，

与水井的出水量、利用的强度、放牧的季节以及水井所在的地理位置、风蚀条件天然因素等有密切的关系。1968~1973年大旱以后，萨赫勒地区水眼周围的荒漠化圈的半径扩大到好几公里，中心位置变成了光裸的、寸草不生的沙地。

游牧性质的变异和牧民的定居是生活和生产方式的转变。定居的牧民在水井周围打柴砍树，因而，在我们走访的许多水井附近，就便有不多的林木，也是林相不佳。在旱季，牛群每两天饮水一次，因而只能利用位于水源点15公里以内的草场；小牲畜每五天饮水一次，只利用水源点周围30公里以内的草场；骆驼11~15天饮一次水，可以利用水源点周围60公里或更远的牧场。相对稳定的畜群聚集在水井周围，年复一年的啃食，使寸草不生的荒漠化圈逐年向外扩大。当地群众说：水多了，但草少了；牛多了，但奶少了。欧洲的出资国的专家们发现了这种意想不到的后果出现以后，1987年一些国际组织开始采取果断措施，中止了许多打井计划。

著名的草场学家涅恰耶娃（Нечаяева Н. Т., N.T.Nechaeva, 1979）和安东诺娃（Антонова, K.G.Antonova）对以水井为中心的荒漠化圈进行了调查和观察，提出了一个框架式的分析。她们认为，离开水眼4~6公里的地方，一般不存在超载放牧的现象，原始植被通常保留完好。土壤表层呈现为中等坚实度，植被的组成上包括有木本乔木、灌木和灌丛。这里的沙质地受到畜群的适度践踏，风季来临时，在固定沙地（垆状）的迎风坡上，有时出现风蚀破口。如果碰到连续几年的多雨天气，破口会自然愈合。这种草场可以看作是退化的一级程度。

在临近水井的地方（2~3.5公里）形成草场的二级退化。这是放牧的强度加大造成的。超过70%的一年生草本植物在这里被畜群啃食一光，从而在大范围内使土壤表层暴露在风力吹扬下。由于风蚀和沙尘暴的结果，风蚀破口占据了很大面积。

原始植被衰退、死亡，个别地方出现新月型沙丘。

由于乔木、大灌木以及一些适口性的植物消失，引起了结构性的变化。建群种被少适口性和不适口性所取代。生物量的地上和地下部分的比例产生变化，后者明显减少。这些，都是荒漠草场退化的标志；这种变化一旦出现，土地荒漠化继之开始。

三级程度的草场退化出现在距离井眼0.5~1公里的范围内。这是载畜量压力强度很大的直接后果。风力吹扬的结果，沙源破口处暴露的沙粒开始移动，沙舌和片沙压埋临近的土地。平沙地逐渐发育演化为新月型沙丘链，发展成垆状沙丘和链状沙丘地形。这就从根本上改变了植物的生长条件，灌木、半灌木消失，适口性植被不复存在，变为单一的沙生先锋植物。植物生产量急剧下降。在水眼周围0.5公里的地方，强度退化十分明显。

三种退化程度类型都不是一成不变的，持续存在的时间与形成这个状态的原因有关。当水眼周边的草场被强度利用，退化有可能在5~8年内完成。二级退化程度的草场，在采取了保护措施后，经过6年的时间可以恢复。而三级退化程度就便17年封育，完全恢复也是不可能的，因为有了乔、灌木的天然下种来源。（Нечаяева, N.T.Nechaeva, 1979）

6. 火烧草原和疏林地是一种大面积上的普遍现象。

在判读SPOT卫星照片时，我们发现了大片的火烧迹地。例如，那拉（Nara）以北的古沙丘地上，1986年12月10日，当年的火烧迹地的面积就在一万平方

公里以上。(图)我们询访当地的群众,他们认为,这些火灾主要是砍柴人做饭、提炼蜂蜜以及抽烟不慎引起的。实际上,草原大火的起因还与生产方式相关。火的生态作用很早就为生产者认识并掌握利用。一位名叫Hannon的人报道过他在公元前300年于非洲西海岸见到过火烧。(《Nature and Resources》,21卷,3期,1985)禾草的枯萎旧叶和秸秆分解很慢,阻碍新芽生长,放火烧除老的禾草能刺激新草生长,促使牧草提前萌发。这种出现在干季晚期的早发新苗,对当地的牧民有重要的意义。这种火烧除了会增加禾草的生产,还能去掉大部分的灌木和幼树。“刀耕火种”也免不了放火,因为这是整地的手段。控制不当,火种也会蔓延成灾。我们在考察中亲眼目睹了这种场面。草原大火碰上强劲的风力就会失去控制。长轴达数十公里的火烧迹地黑斑在SPOT卫星照片上到处可见。碰上少雨的年分,就能促成风蚀,加剧沙尘暴的发生。丛林火烧在当地是明令禁止的,但效果不大。当地官员担心的不是对植被的破坏,而是惧怕大火进入村舍,能把住房(草棚)烧光。

7. 做饭靠木柴的能源结构使毁林现象难以遏制,促成沙尘暴的发生。

据研究(勒内·迪蒙, Dumont, 60年代《我为非洲提出控诉》的作者; 1986年8月29日刊出《非洲已无希望》一文,见《巴黎竞赛画报》)“非洲大陆每年损失350万公顷森林,即每年损失0.5%的森林。但在西非海岸地区,森林的损失每年却达5%。科特迪瓦在1950年时约有1500万公顷森林,1986年却只剩约200万公顷森林了。”“塞内加尔人每年要烧掉170万吨木材和22万3千吨木炭(这些木炭相当于110万吨木料)。”

用三块石头搭个燃灶,拣一捆树枝就可以烧饭的生活方式在萨赫勒并不少见。城市中可以用天然气,广大的农牧民主要靠木材解决薪炭来源。在稀树萨瓦纳和荆棘灌丛草原,每公顷每年的木材生产量仅为0.05~0.1立方米。年降雨400~600毫米的地区,天然林地的木材蓄积量平均为3.9立方米/公顷,生产能力平均约0.13立方米/公顷×年。而家庭生活用的需求量约为每人每天1.8~2公斤。

调查表明,马里年降雨量低于200毫米的地方,以游牧为主的荆棘灌丛草原上,平均每人每年短缺木柴0.47立方米,沙漠化现象日益加剧;在年降雨200~400毫米的地方,居住着游牧民和季节性迁移放牧的牧民,每人每年短缺木柴0.45~0.55立方米,过牧现象明显,土地沙化;在年降雨400~500毫米的地方,每人每年的木柴的短缺估计为0.3~0.42立方米。伴随着这里耕地面积的扩大,这种需求形势日益加大。总之,总生产能力仅能满足当地居民生活用木柴的16~38%,从而导致林地的过渡砍伐,加剧风蚀活动,显现为沙尘暴的频繁发生。

8. 怎么办?(关于遏制沙尘暴由于人为因素增多的谋略思考。治标的方法和治本的策略。对若干看法的怀疑。)

沙尘暴是土地退化过程的一种表现形式。典型的流动沙丘地和戈壁滩上,能够漂移的微尘,历史时期内已经被搬运他方,残留下的沙粒和砾石,不会进入腾空的沙尘暴气流中。黑风暴最强烈爆发的地方,往往不是在干旱的荒漠区,而是在草原带上,例如十九世纪末的加拿大和二十世纪30年代的美国那两个硬粒小麦种植区。黑风暴过后,在那些地方,由于采取了一系列抗风蚀的农业技术措施,包括带状开垦和带状种植、农田轮作和覆盖、土壤休闲制……;政府设立水土保持局等专职部门,制定针

对性很强的法律规章，健全监督检查机构；不论是土地所有者、生产者，还是研究人员，都接受了灾害的教训，履行职责。这种标、本兼治的综合措施，都收到了显著的效果。

萨赫勒的自然条件和社会经济发展水平有别于北美，它有自身的特殊性。不论是对抗沙尘暴的治标方法，还是治本措施，都必须因地制宜，都要考虑到由谁来执行和怎么实施。照搬北美或欧洲的办法，或者只提出笼统的原则，或者是制定一些具体的，甚至是画在了图纸上的设计，但如果还只是停留在文件阶段，而没有在地面上实践，都难以评定这些措施的优劣和实用价值。基于这个思路，实事求是地针对具体条件和情况，科学地（按照蔡德诚先生的对科学精神的概括，科学的五大构成要素是：客观的依据；理性的怀疑；多元的思考；平权的争论；实践的检验）对待怎么办的问题，就不能面对各式各样的说法和做法而不加分析和辨识。因为，联合国沙漠化会议（1977年）的“行动计划”和“行动目标”，在公诸于世20多年以后，实施证明不见收效或收效甚微，促使我们用反思和审慎地态度对待“怎么办”的问题。

1988年4月7日，我们在马里的贡达姆（Goundam）邀请地方发展委员会的首领和成员座谈，希望听到他们对治理草场沙漠化的意见。他们在一开始却要求专家组讲讲怎么办。马里农牧专家、项目协调员布雷马·迪阿罗（Brehima Diallo）根据我们事前的协商，讲了一些原则性的办法。基本的内容是，在正视草场已经呈现了不同程度沙化的前提下，加强放牧的管理。管理应包括以草定畜，控制畜群无节制的繁衍；查明草场状况，对不同程度退化的草场分别采取相应的治理措施，包括禁牧和天然封育、分区轮流放牧等；提高商品率；避免超载过牧。不等迪阿罗（Diallo）讲完，一位长者用很威严的语气说，你这位年轻人的讲话我们很熟悉，甚至所用的语言和词汇都和当年法国殖民主义者在我们这里说的一模一样。此后，大家议论纷纷。唯一的一位妇女委员用非常流畅的口才讲了很长的话，概括了大家的看法，其中说到，“鱼儿在水中游泳，鸟儿在空中飞翔，女人要生孩子，牛羊在林子中吃草，这都是天经地义的法则，任何人都不能改变他们的自由，也改变不了这种状况”。没有讨论、商量的余地，只能认真地听取他们很关切、很坚定的主张。关于这个地区，我们曾查阅了1947年4月15日一位林水监督员Bauché签字的文件。文件中描述了在贡达姆（Goundam）北一块面积为25,300公顷，打算辟为保护区的自然地理情况，其中有当时植物种类构成的记载。我们除了用对比的方法两次地面考察，了解植被的变化外，还有幸两次在何康部长访问马里时从飞机上俯视这个地区，获得了宏观的印象。但我们，包括同行的马里专家在内，是一些没有世代生活在这个地方的“外人”，虽然都有自己的专长，但对于改变生产方式和经济活动的传统所面临的困难，却认识不足，有失于浅薄。我们不了解那里的历史沿革，因而不知道人们想些什么和怎样思考。回想起来，当地的萨赫勒人既然可以跨国界放牧，人群通常无定所游动，围栅栏分区这样一些办法，只会是“纸上谈兵”（armchair strategy; fight on paper），更不用说到哪里去找巨额的建设材料投资了。而且，在经常有野生动物迁徙的地方设置隔离是非常有害的。

畜群头数在牧区是个敏感的要害问题。手中掌握多少牲畜，是一种标识，比珠宝器更实质地反映一个人的社会地位和富贵程度。减少谁的牛羊，限制什么牲畜，是十分严肃的议题，在这个问题上的强制，能引起社会的动荡。1968~1973年的旱灾过后，一位牧民说：“大旱以前，我有100头牛，现在只剩下了50头。今

后我要设法使我的牛群达到200头。”(Le Houerou, 1977)我们认识的一位马里朋友告诉说,他父亲有2000头牛。当他劝说父亲把一些老牛,有的超过了十岁卖掉时,遭到严厉的申斥。当讨论整体的、长远的、生态的利益时,那些涉及个人的、眼前的、经济的实惠能有更大的作用力。

另外,一方面,任何的防风蚀措施都有它技术适用地区的局限性(例如在湿润地区通用的犁和中耕农机具就不能盲目引进到干旱区;萨赫勒没有严冬、积雪,防风蚀的覆盖物极易引起病虫害的泛滥……),另一方面,不同的社会人文、风情习俗以及经济发展程度和阶段,都会使在外地有效的办法在这里行不通。

阿尔及利亚人(Slimane Bedrani, 1991,《自然与资源》《Nature and Resources》第27卷)针对牧场沙漠化提出措施时,首先分析了形成土地退化的原因。他认为,阿尔及利亚经历过一种从部落时期的有序到殖民时期的无序。1830年法国占领阿尔及利亚时,游牧和农牧部落迁徙作业。法国占领后,殖民当局没收了大部分的良田和森林,加剧了当地人的贫困。当地人为谋求生计,不得不损害乃至破坏生态环境。1863年的元老院(senate)法令把牧场分为国家的、个人或家庭的以及归部落所有的地方自治区和部落集体领地。立法限定了各自的范围。“任何一个部落中合法定居的牧民,可以根据公民委员会有关饲养牲畜的数目和种类的指令允许使用牧场放牧。”1975年的草原法把草原转为国家所有。草原放牧场属于开放地,任何人都可以不受限制地使用。于是早在50年代初期有人的预言,在局部地区已经演变为现实。(Monjanze: “由于人们缺乏谨慎的开发,所有的牧场都将慢慢变为沙漠。阿尔及利亚一国,就将有1000万公顷的牧场变为沙漠”, Begue, 1957)。Slimane Bedrani认为,解决土地退化的未来措施的第一步,就是把所有牧场归还给过去对这些牧场拥有专属权的各个部落。牧民的创造性和积极性会在国家技术部门的帮助下发挥出来,管好自己的草场。

1985年10月,马里制定了一个《防治荒漠化和沙漠推进的国家计划》。文件中说明,“建立一条阻止沙漠推进的物质屏障,即绿色坝。”绿坝长1055公里,宽5公里,面积5275平方公里,即52.75万公顷。一期工程15年。“充满信心,全国动员”。这个据说由外国著名专家帮助制定的计划实际上渊源于德国人斯泰宾(Stebbing E. P.)的构想。1935年斯泰宾教授提出,在尼日利亚和邻近国家的北部大沙漠的边缘,营造一条连续不断的林带,防治沙漠入侵。尽管大多数严肃的科研人员都认为,建造一条连续不断的森林带的设计,在科学上不合理,经济上不合算,执行起来不可能,有人说是“梦幻的空想”、“乌托邦”,但力主这样做的人并不少,且都有实权,多半胸怀大志,打算建功立业。有人做过计算,按照斯泰宾的设想,绿带宽25公里,延续6000公里,西起大西洋海岸,东至红海,植林地面积大约为1500万公顷。就便每公顷的种苗费为100美元(要种在土地上起码要加上10倍的投入),就需要15亿美元。(Sahel Green Belt Transnational project. U. N. Conference on Desertification. Nairobi, 1977)应当说明的是,在萨赫勒地区,不能用多年降雨平均400毫米这个数据来规划植树造林的方法,因为每一个具体年分的降雨有可能少于平均值的30%甚至更多。旱季通常达9-10个月,这就使得人工造林异常困难。当我们在玛西纳(Macina)听取林业工人讲到蚂蚁吃插条、幼树的情形,又穿越了上百公里的蚂蚁山分布区后,对林业

工人的介绍特别信服。

野外考察期间，每到一地，去看看已有项目的执行情况，可以获得重要的知识。（据说，1974-1984年间，世界银行完成的994个项目中，14%是失败的。农业项目的失败率最高，在西非的失败率为30%，东非不少于51%，南亚仅为5%。）通过实践写在了大地上的“文章”，胜过总结报表，好在那里，错的缘由，一目了然。1985年我们以联合国环境署赴埃塞俄比亚考察沙漠化问题专家团的身份工作时，向当地官员提出看看已有项目的执行情况。接待官员说不曾有过项目。不得已，我提出看一下编号为DESCON-2/15，名称是《恢复森林、牧场和耕地》的项目，执行时间为五年（1979-1983），总投资6260万美元，方案目标是总恢复面积13500公顷，建设梯田、集水造林、修建防侵蚀工程、森林保护、幼苗培育。过了几天，官员解释说不能去现场考察，项目仍在执行中，开始是失败的，因为人们得不到好处，群众不接受，农牧脱节，只考虑了单一的因素。就便听到这样的解答，仍然是非常有益的。

在起草这段文字的时候，翻阅我们考察期间亲自拍摄的照片，马里造林遇到的一些情景历历在目。80年代中期，联邦德国人在加奥（Gao）郊区开辟植林地，连续三年在一块地下水很浅的洼地上植树。第一年失败后总结经验再干。三年后，马里朋友这样说，德国人悄悄地走了，留下了这些用铁丝网围栏封闭得好好的裸沙地。我在铁丝网外呆望许久，实在不明白是什么原因形成了这样的结局。过去在德国看到的人工林地，是我所见到的最好的人工林之一：树种的搭配混交、密度选择、抚育管护，水平之高达到了无可挑剔的程度，有的与天然林几乎同样，只是林相更整齐，生产率更高。为什么到了加奥（Gao），德国专家的经验水平和水平都没有显示。在另外一个地方，奥洛（Horo）湖畔，碰到了一批德国同行，衣着简朴，全身心地忙于工作，育出了很多不同种的金合欢、桉树，令人深信他们是在行的。但在加奥却没有植林成功。

在另外的一块人工林地上，发现了几个大的铁制水柜，栽树坑中大部分的树已经枯死，偶而看到的都长势不旺。马方专家问我有什么感想，我说：“从工地上扔弃的大量罐头盒子看，这里确实有许多的外国人工作过。但整地时要清除的野生图姆树（*Hyphaene thebaica*）没有死，人工种的外来树种桉树（*Eucalyptus*）没有活。”当地官员告诉我们，外国专家在这里种完树后相继离去。当地人因为没有钱买汽油，不能向水柜运水浇灌树苗，只能听自然的摆布。迪阿拉（Marimantia Diarra，马里专家，先后在法国和比利时获得两个博士学位）哈哈大笑，毫不掩饰地说，“遗憾的是，出资者和受援国都不愿意从失败中获取教益。”

在贡达姆（Goundam）巧遇了毕业于苏联列宁格勒森林工程学院的学友，一位年轻的黑人工程师。交谈中了解到，只要适地适树，重视乡土树种，选好宜林地，造林效果一定会好。雨季来临时，到处都会萌发出天然生的幼苗，但到了旱季，尤其是碰上少雨年份，又都变成一片焦土。我夸奖他做出了成绩，人工林长势很好。他笑了一下说，当地人都会种树，比我种的好，学院中学的很多课程在实际中用不上。当我问起，为什么有些居民点上一棵大树都没有，也没有看到农田防护林时，他告诉我，这要问一下农牧民，这们会正确地解答这个疑惑。在另外的一次座谈中，我提出了同样的问题，当地人七嘴八舌着实地议论了一番，有人情绪很激动。后来，我通过马里专家明白了他们讲话的意思：许多的地方，蚊虫和苍蝇非常多，传染病很严重，在住房周围种上树以后，树丛就是蚊蝇的驻留地，一到傍晚，风吹不走它们，人没有办法睡觉。另外，这里的飞鸟很多，就便很矮小的树上，都有鸟窝，一到庄稼成熟的时节，

成群的飞鸟 (g u e l e a)，铺天盖地而至，可以很快地把籽粒果穗糟蹋到颗粒无收的程度。如果在这种田块的四周种树，那就是自讨苦吃。当然，在马里的传统农业耕种地区，能找到不少能抗风蚀的农林混种模式：种植玉米、高粱、御谷的农田中保留一些生长高大的金合欢 (*A c a c i a*) 或卡特里牛油果树 (*B u t y r o s p e r m u m p a r k i i*)，一地两得。认为农牧民到处都反对植树是不对的。但是动员群众一起干，不是一件容易的事，首先要弄清楚种树是为了什么。

非洲大陆的撒哈拉沙漠南部边缘是个以牧业经济为传统的地区，占辅助地位的种植业相对而言对民情习俗影响较弱。这种格局决定了农牧民对树木的看法。树木、疏林地对牧羊人来说，是草场，大树是蔽日的绿伞。在尼日尔河内陆三角洲地区为期几个月的雨季，牲畜远离河道，到处有绿色的草地；旱季初期，牲畜在河泛地上啃食布尔古 (*E c h i n o v h l o a s t a g n i n a*)，这是一种营养价值极高的湿地牧草。大半年的旱季里，主要的牧草是 *A r i s t i d a m u t a b i l i s*、*E r a g r o s t i s t r e m u l a*、*S c h o e n e f e l d i a g r a c i l i s*。在许多的地块上，深根性的灌丛和小乔木，始终保持着绿色，大多数含羞草科树种 (*A c a c i a*、*L e u c a e n a*、*P r o s o b i s*)，豆荚有很高的饲料价值，是牲畜的高品质蛋白食物来源。我们注意到那些最为勤劳的牧人，手中总是拿着一根一米多长的小棍，不时地把树上的豆荚敲打下来让羊群吃。西非紫檀 (*P t e r o c a r p u s e r i n a c e u s*) 也是反刍类小牲畜所喜好的饲料。牧民不希望这些树木都长得高大挺拔。树干通直，很少枝叉的大树，是农牧民有意保留的个别植株；对于大部分的树木，不待长高，善于经营的牧民就会用斧头斩去树梢，实行头木状作业。这是一举多得的农艺，除了便于用作饲料外，由之获得的枝杆薪柴烧饭特别好用。这使我想起了新疆的胡杨林。1961年我们沿着玉龙喀什河和哈拉喀什河向北考察沿河田河的新垦荒地和胡杨林，根据航空照片编制了胡杨林分布图；1962年沿克里雅河、且末河、塔里木河考察胡杨林的分布和林相；1986年又沿克里雅河深入到人迹罕至的塔克拉玛干大沙漠的中心。先后钻取采集了大直径的胡杨主干木蕊近百条，用于研究树木纪年学。走过这么多胡杨林地，仅仅获取区区近百条木蕊，还认为来之不易，这内中有原因。实际上，就便在大河沿以北100公里的沙漠内部，人烟非常稀少的地方，仍然不是无人区。面积达2万亩的胡杨林地，不是处于自生自灭的天然状态，经济活动影响着林相。沙漠深处几乎是唯一的人类经济活动就是牧羊。每逢偶遇勤劳的牧羊人，他们总是拿着一把长柄的、锋利的斧头，边走边把胡杨主干上那些能够一斧头就可斩断的胡杨萌发枝砍下来，让绵羊吃。胡杨干燥的叶片对羊群有摧肥作用。在很长的一段年月里，我对牧民用这种方式“毁林”耿耿于怀，好端端的胡杨树都被牧羊人砍伐成了畸形，很难找到树干通直的大树。到了非洲，我终于领悟到了一种生活的真谛：社会事物的表象几乎和自然界一样，是客观规律的反映，是不能任意打扮的。人类的生活，特别是延续了上千年的生活方式、习惯、经济生产活动，都包含着智慧的光彩，同样应当珍重。难道在干旱的荒漠地区林业建设的目标是要向森林分布地带看齐，也是为着生产木材，收获高大挺拔的树干，而不是以牧业饲料为目的吗？非洲的许多地方适宜林木生长。大约在150年前，传教士把原产在澳大利亚的桉树 (*E u c a l y p t u s*) 引种到非洲。在埃塞俄比亚，大面积的桉树形成的森林地覆盖着亚的斯亚贝巴附近的山地。在坦桑尼亚和肯尼亚，桉树生长的异常高大。法国人领导的一个小组，在刚果的黑角 (Pointe Noire)，用组织培养技术营造了一片“来自一个父本”的桉树林，年增高两米，已经成林。但是，

当我提到桉树有500个种，有的含有挥发性的芳香油，能驱蚊蝇，还是非洲人喜欢的清凉油的原料之一，……。当地人，包括一块共事的马里专家，都表示不喜欢。种什么树涉及到为什么种树。沙漠里的土著人，从来是惜水如命和珍爱绿色植物的，他们做饭不烧带绿叶的枝条。因为这些，才是与他们和他们的牲畜最密切的、休戚相关、不可缺少的生命保障。他们最急需的是饲料而不是木材。

英国人M i l a s S. (1984)认为，近25年来，苏丹~萨赫勒地区的人口增加了一倍，而谷物产量减少了一半。1975年苏丹~萨赫勒地区的人均耕地0.31公顷，到2000年，将不超过0.15公顷。“改善苏丹~萨赫勒地区(19国)环境状况的关键，在于人口数量及其密度的政策。”著名的非洲传统放牧业的研究学者A l l a n, 1965年借用了穆尔(M o o r e T h o m a s)的话写道：“如果非洲人不把自己多余的牲畜吃掉，则多余的牲畜会吃掉他们。”整个非洲的人口1950年为2.19亿，1960年为2.85亿，1985年达到5.51亿。埃及人口1882年不及750万，过了103年，增加到4700万。坦桑尼亚人口中一半以上年龄在15岁以下。于是就在许多人的研究结论中把人口的迅速增长看成是社会发展的阱(trap,陷阱，捕捉野兽用的陷坑)。(A m b i o ,V o l. 23 , N o. 4-5 ,J u l y 1994.)

人口增加对土地利用形成压力，导致过度农垦、超载放牧、滥伐林木等等，土地沙漠化往往都与人畜的快速增加有关。基于这种认识，1986年1月，我在非洲大厦讲课时曾经对埃塞俄比亚的官员用比喻的说法婉转地说了这个道理。在讲到中国实行计划生育时，我曾提到，中国南方的一位村长对自己的村民说，我们全村的人好比乘坐一条船上，人口如果无限制地增加就面临沉船的危险。座谈时，一位埃塞俄比亚的官员直接了当地说，香港、日本的人口都有很高的密度，经济发展很快，非洲远没有达到那样的密度。虽然用生产力的发展水平和历史背景条件解释回答了这位官员的提问，并辩解说无意把那个村长的说法强加于人，只是根据我们的体验，介绍我们的作法，表明人口是一个值得思考的问题。

在非洲的许多地方，尤其是在萨赫勒地区，种族、部落的多样是在别的地方难以见到的。马里的萨赫勒地区内，有阿拉伯人、柏柏人(Berbere)等的白人(图阿雷格人 Touaregs、摩尔人 Maures、阿拉伯人 Arabes、颇尔人 Peuls)和黑人(邦巴拉人 Banbara、索宁凯人 Soninke、松雷人 Sonrai、贝拉人 Bella、哈拉提内人 Haratines、里梅贝人 Rimaibe、博博人 Bobo、多贡人 Dogon、博佐人 Bozo、索莫诺人 Somono、萨莫戈人 Samogo、达芬人 Dafing 等)。他们有不同的宗教信仰(伊斯兰教、基督教、原始拜物教)，有各自的生活和生活方式(游牧、迁移放牧、捕捞、定居农民)，而且还有宗教的混合和生产方式的混杂。几乎所有的大大小小的种族部落，都把人口兴旺看成是一种发达的希望。在这些地区，制约人口的繁衍，意味着对种族的危机，企图用这样的政策来减轻对土地利用的压力，不能看作是必须选择的唯一出路。

9. 做什么和怎么做。(尊重大自然的和谐，崇尚物种生命现象的无穷潜力，运用高新技术，充分和智慧地利用自然界的资源。构建一个理想的蓝图。)

实际上，遏制沙尘暴、土地沙漠化的治本办法，做什么和怎么做，不在于治理沙尘暴本身，而在于消除产生土地沙漠化的社会原因，建设一个对抗土地沙漠化的全社会的功能体系。这种理想化的长远目标只能期望在未来的年月逐步形成。

要找到一些办法、一个出路，既保留自然遗产、传统遗存，使天然的和人文的多样性不丧失，又能养活增加着的人口，因而，除了在大面积上、大范围内强调保护外，在局部条件优异的地方，要利用现代最新的发展沙漠农业的技术路线，建设高投入高产出的集约经济。

我们习惯于在考虑出路的时候，首先想到的是如何引进其他经济发达地区和富裕国家的方法、技术和措施。这样，就会对这里的那些传统的作业方式、生活习俗重视不够。看不到或不重视自然力，自然界的强大生命力，自我恢复和自我愈合能力，把希望寄托在对自然界“动人工地手术”，改变河水流向；改建物种基因；实施“打扮”自然界的计划、工程，把人们的意愿与自然法则对立，这是一种不少人信奉的“人定胜天”的迷惘。大自然在漫长的岁月里塑造的乡土物种、种的多样性、天然繁衍能力的精巧高效，才是创造真正的现代文明的源泉。在遵循自然法则，不改变，也改变不了大自然的水热时空分布格局的背景条件下，对于承袭传统和创新，不是“必择其一”，不能舍近求远，而是两个板块的组合。

还有一点切身的体验是，在非洲的土地上，不乏精明的智者，出主意、想办法、订措施，主要的要依靠当地人。这些智者，包括当地年长的哲人和实践者，更多的是大批受过良好、系统教育的知识分子；他们深刻地了解自己的土地和人民，又不囿于陈旧观念；他们能从快速进步的现代文明和技术进步中找到非洲进入全球化的路径，全然不是往往被迷惘惊呆了的外人。当然，外人也可以说自己的看法。

作为过渡到这个长远目标的突破口，策划行动思路的主要之点似乎应当是：

- (1) **有计划分步骤地扩大自然保护。**我们在这里要讨论的，不是限定的一种狭义的保护区概念，不仅仅是“禁区”、“国家公园”这种范围，而是一种为了保护自然环境，保存多样性，保留典型的、稀有的萨赫勒特色而不被毁灭所使用的一种有限定内涵的表述。实际上，就便是国际通常采用的自然保护区，也把保护区的地界划定为核心区、缓冲区和经济利用区，并准许和提倡在自然保护区的外圈内，适度利用。绝对保护的“禁区”虽然必要，但那是面积不大的禁地。在世界上找不到一个地方，在自然遗产的多样和珍贵，天然景观的稀有和脆弱，人文和土地利用方式的奇特等诸多方面，能取代萨赫勒。在大面积范围内保留它的本底、保护它的外貌，为了全人类，得益于全世界的今天和未来，不再让“贫瘠的土地产生贫穷的人群，贫穷的人群制造贫瘠的土地”，不要让土地荒漠化无遏止地发展，所毁灭的不仅是“失落的文明”，还有天然的遗存。这些，都是不能失而复得的。既然保护萨赫勒得益于全人类，那么责任和义务，除了当地人理应当仁不让之外，发达国家的贡献和努力也顺理成章。如果说在一般的地区人们已经可以把10%的土地面积划拨出来圈定为“自然保护区”的话；非洲的萨赫勒地区应开辟为“自然保护区”的占地比例理应大于这个数字。有效地实施保护必须确立一种共识，认识必要性、紧迫性以及作用和意义。还要在统一了掌权者、持有人、资助国、赞助者……的共识后，确立一种有效的全社会功能组织体系，以便从事教育和宣传，执行相应计划，监督法规的落实。当前的主要难点在于人们（当地人和外部社会）的认识水平局限在一些土地荒漠化和沙尘暴表象的了解上；很少考虑长远的后果和治本的举措。。

(2) 综合性地大力开发利用自然资源的潜力。

自然力量的无所不在和奥妙神奇是人类永远不能认识穷尽的博大领域；自然资源的形形色色和利用价值是一种人类赖以生存的最大潜力。在这个范畴内，非洲大陆最

具典型的意义，有最多的潜在宝藏，有无穷尽的发掘价值，是我们这个星球上最辽阔的处女地。很早以前，人们在这方面就有记载。普里斯特列依 (Priestley, 1775) 指出，有些沙漠中的小型的，甚至大型的动物可以不饮水。“我在进行这些试验的时候有幸得到了极大的惊奇，老鼠竟然能够在完全无水的情况下生活；因为我虽然养了它们 3 ~ 4 个月，很多次我向它们提供了水，它们从来都没有打算品尝一下，但生活得健康、有力。”查普曼 (Chapman, 1921) 的资料证明，羚羊属 (*Antelope*)、大羚羊属 (*Oryx*) 和瞪羚 (*Gazella*, *Adda* 和 *Ariel*) 有时并不饮水。有些野生的动物只要吃到一种被阿拉伯人称之为沙漠中的“珍祖” (音译) 的植被，可以不饮水而长期生活。“珍祖”草场是由一些极为稀疏的、零星散生的植物组成的典型荒漠植被。主要的建群植物是: *Indigofera berhautina*, *I. hochtetteri*, *Neuradaproculumbens*, *Tribulus longipetalus*, *Fagonia bruguieri*, *Cyperus conglomeratus* 和 *Stipagrostis acutiflora* (Newby, 1974; Wilson, 1978)。众所周知的常识是，水不仅在一切生命体中占据着绝大多数的空间和绝大部分的重量；而且没有水就没有了生命：水在有机体内不停顿地运转，水在不同的器官之间改变着分配状况。正是依靠水的特性，有机体的血液、淋巴、组织之间，才能进行持续的、正常的交换，新陈代谢才得以发生。食物的消化、吸收，有害物从有机体内排除的过程，都需要水，……。沙漠中的某些动物也同样离不开水，但不是依靠饮水，而是利用进食从外界获取水的不间断补充 (研究证明，动物体内的有些化学反应过程能产生水，但这是不大的一个数量和不占主要的成份)，以供呼吸、排汗、大便小便排泄等对水的消耗，这实在是一种生动的适者生存的世间奥妙。

非洲的当地人不仅对这些自然界野生的动物特性有深刻的了解，而且也利用这些优异的潜质。古埃及的浮雕上就有牛群和不同种的大羚羊混养的情况。当代的肯尼亚人、坦桑尼亚人和尼日尔人仍然有混养的经验和技术。肯尼亚证明，羚羊在单位面积上产肉比传统的养牛方式多 14 倍。(《Desertification Control》，№9, December, 1983) 因为这些野生的大牲畜既能抗病，又不需要定时饮水，如果不是由肉联厂屠宰，而是野放在划定的草原上让游人猎杀，就会收取到经济效益和保护草原的双赢目标。

有些非洲植物的价值已经被外人认识，例如橄榄科的没药树 (*Commiphora myrrha*)，其分泌的树脂入中药，主治痈疽肿痛和跌打损伤。在当地的乡市上，却是不成气候的摊贩零星销售的土特产。1988年2月的一天，在与当地朋友聊天时，我问起马里是否有芦荟 (*Aloe vera* var. *chinensis*) 种植园。马里专家朋友们开初说不知道这个东西，一天以后主动问起中国专家有什么打算。实际上，非洲的许多自然资源，包括物种资源，是全世界科学家非常关注的对象。目前风行世界的食用微型藻类螺旋藻 (*Spirulina platensis*)，原产于萨赫勒地区包括乍得湖在内的一些碱水水体之中，也是在乍得湖畔当地妇女食用螺旋藻保障了在大旱之年居民的营养引起了对这种微型藻类的重视。最近 10 年内，螺旋藻的人工养殖在中国已达到年产 2000 吨干粉的生产能力 (大小养殖场 300 个，主要是开发池式生产)。但这种被联合国粮农组织、世界银行、联合国教科文组织等多方肯定的保健食品，却在最适宜生产的原产地萨赫勒没有人工生产基地，任其自生自灭，而且，有的碱水湖正在遭受工业的污染。

以上我们例举的几种动物、高等植物、微小生物物种资源，是想说明一种信念：用心地珍视、积极地开发利用“没有冬季”的这片形似荒芜实则极具潜力的非洲荒漠，首先要用前瞻性的视角看到它优异的长足之处。在丰富的自然资源中，首位的，也是“取之无禁，用之不竭”的是充沛的阳光。是太阳辐射在久远的地质时期内铸就了五光十色的萨赫勒；人类在今后的岁月里，只要掌握了充分开发、利用太阳能的技巧，特别是通过绿色植物最大限度地固定转化太阳能的技术，就能在萨赫勒创造出全世界上单位面积上最高的年初始生产力。因为在这里有天赐的阳光和最好的物种资源。利用绿色植物把太阳能固定、转化、保存下来，这就是一个总的目标。这是一切措施之本。传统的也罢，现代的也好，评价和衡量这些措施优劣的试金石，就是看看这些办法是否能最大限度地利用了太阳能。

（3）利用高新技术集约经营现代农业。

古人说：“伐木不自其本，必复生。”（《国语·晋语一》）不论是在什么地方，如果找不到一系列的具体措施和办法，用来满足人们的衣食等基本需求，解决人类社会中的自身温饱这个存活的起码条件，使当地的广大人民群众摆脱贫困状况，任何那一种单一的对抗土地沙漠化、消除沙尘暴的治标措施，都仅仅是针对性强，但却不能从根本上排除土地沙漠化和沙尘暴产生的根本原因，达不到治本的目的。只有充分利用现代科学和技术进步的最新成果，围绕着充分开发、利用优异的光热等自然资源的优势，提高和创造出单位面积上光合作用的第一性产出产品的高产和优质，建立现代农业文明，满足人们求生存、谋发展的追求，才是唯一的出路。这种现代农业的文明，应该有鲜明的内涵和量化的特征：

1. 有利于实现人与自然的和谐；遵循了可持续发展的战略；追求的是达到经济发展和生态环境双赢的目标；

2. 突破传统的农牧业资源观和方法论，提倡求真、务实的创新思维，利用最近的农业技术成就（例如人工控制生境的全天候设施农业、工厂化植物生产、生物技术、无土栽培、微型藻类培养、立体种植、节水设备、高密度禽畜舍饲、无废弃物农艺、“绿色生产”……），“变不毛之地为沃土”；

3. 培育经营实体（个人的、集体的和结合的、国家的、外国的），重视有过渡能力的新机制，在实践中用生活的需求和发展的热切愿望有阶段、分步骤地调整农牧业结构，创建产业化的商品经济，开发专业化的新产品，最终形成具有地区性特色和全球性意义和作用的大产业；

4. 进入全球市场，利用跨国集团的技术、资金，引入国际运作规则，推行标准化和规范生产、加工、贸易交换的通常做法；

5. 用效益来衡量，以实践去检验方案、设想、构思以及设计、计划是否适时、适用。从小处着手，从眼下做起；多做实事，少争论概念；因地制宜，变通求实，不搞“一刀切”。

资源短缺、条件有限、缺乏经验，但智慧不会穷尽，能人当地就有，不相信“绝望”一说。一个乐观的前景总有一天就会实现。

参考文献：

[1] Cloudsley-Thompson, Sahara desert, 1984, Pergamon Press.

[2] Gerasimov I. P. Arid land development and the combat against desertification: An

- integrated approach, UNEP and USSR Commission for UNEP, Moscow , 1986.
- [3] Kashkarov D.N. and Korovin E.P., Life in the desert, Moscow, 1936.
 - [4] Lusigi W.J. and Glaser G., Desertification and nomadism: a pilot approach in eastern Africa. *Nature and Resources*, Vol.20, No.1, January-March 1984.
 - [5] Radtvenko G., Countries in the Sahel. Moscow, 1983.
 - [6] Sanford W. and Wangari E., Tropical grasslands: dynamics and utilization. *Nature and Resources*, Vol. 21, No.3, July-September 1985.
 - [7] Slimane Bedrani, Legislation for Livestock on public lands in Algeria. *Nature and Resources*, Vol.27, No.4, 1991.
 - [8] Tucker C. J. and Nicholson S.E., Variations in the Size of the Sahara Desert from 1980 to 1997. *Ambio*, Vol.28, No.7.

第 7 章

中亚地区 20 世纪 60 年代的白色盐（沙）尘暴

尼古拉 奥洛夫斯基* 莉雅 奥洛夫斯嘎雅博士**

（*）原土库曼斯坦科学院沙漠研究所副所长，
现移居为以色列，任本古李扬内盖夫大学布劳斯坦沙漠研究所研究员

（**）原土库曼斯坦科学院沙漠研究所遥感室研究人员，
现移居以色列，任布劳斯坦沙漠研究所遥感室研究人员

引 言

盐尘暴-沙尘暴在中亚的干旱和半干旱地区是一种特别平凡的自然现象。大气降水稀少，沙质荒漠和粘漠面积分布广泛，植被覆盖度很低，大风频繁，这些都是导致风沙盐尘暴-沙尘暴频发的有利条件。

尽管风盐尘暴-沙尘暴在中亚地区十分频繁，且分布极广，但在 20 世纪 20 年代以前，无人做过任何研究。随着哈萨克斯坦处女地的开发，中亚地区的风沙盐尘暴-沙尘暴才得以深入系统地开展研究，这项研究重点涉及栗钙土草原开垦之后严重风蚀引起的“黑色盐尘暴-沙尘暴”，其研究成果作为栗钙土风蚀的间接指针。白色盐尘暴-沙尘暴或者称之为盐粉盐尘暴-沙尘暴，是由于大气中饱含各种盐性物质、盐漠和其他含盐的疏松颗粒物，而引发的风沙盐尘暴-沙尘暴灾害，这一现象在 20 世纪 60 年代以前很少发生。随着 60 年代初期咸海流域大规模的开发灌溉农业以及水资源的不合理利用，出现了次生盐碱化土地和人为盐漠土壤大范围分布的状况。这些盐碱化土地和人为盐土面积都是导致严重影响当地人民环境和生存条件的盐尘风暴尘源。但是，中亚地区盐尘暴-沙尘暴和盐暴发生频率、分布范围以及发生季节等方面的综合研究工作几乎微乎其微。本文目的就是尽其努力，弥补这一空缺。

中亚地区盐尘暴-沙尘暴的特点

中亚地区的风沙盐尘暴-沙尘暴具有独特性质和特点，1936 年，在全国气象站网络做过系统的盐尘暴-沙尘暴观测。由于当时以视觉判断为主，其盐尘暴-沙尘暴的延续时间、强度以及水平能见度距离均受到限制，气象台站没有使用任何仪器设备，检测大气气流中固体颗粒的数量、浓度和构成成分。

1960 年，完成了第一份盐尘暴-沙尘暴气候观测的概括报告。在对中亚和哈萨克斯坦南部的盐尘暴-沙尘暴状况做了五年的观测之后，若曼诺夫于 1961 年就该地区的盐尘暴-沙尘暴问题做了综述。除了阐述这一地区五年来的盐尘暴-沙尘暴发生的频率、延续的时间之外，若曼诺夫还就盐尘暴-沙尘暴危害的主要条件和因素做了分类，并就如何加强预报提出了建议。他提出，中亚的大部分地区，北风、东北风和西北风是造成风沙盐尘暴-沙尘暴的主要大风，而在土库曼斯坦南部，东风和东南风则是引起风沙盐尘暴-沙尘暴的主要大风。

奥洛夫斯基 1962 年的研究，根据土库曼斯坦 1936-1960 年全国 42 个气象台站的观测数据，详细论述了土库曼斯坦风沙盐尘暴-沙尘暴的时空分布。与此同时，也发表了数篇涉及哈萨克斯坦不同地区盐尘暴-沙尘暴特点的文章。通过对哈萨克斯坦形成盐尘暴-沙尘暴的一些主要情况的调查，涩若德基纳 1960 年就盐尘暴-沙尘暴发生的季节变化差异提出论述。乌特谢夫和瑟门诺夫（1967，1972），就哈萨克斯坦北部盐尘暴-沙尘暴的地区划分，根据盐尘暴-沙尘暴发生日数做了细致的论述；而费德郁释纳（1972 年）则对哈萨克斯坦东南部盐尘暴-沙尘暴的地区划分，做了详细的阐述；阿嘎阔娃（1972 年）就哈萨克斯坦西部与南部五个行政地区的盐尘暴-沙尘暴发生的空间分布和延续时间做了描述；1978 年，印刷出版了哈萨克斯坦盐尘暴-沙尘暴发生的年平均日数详图（瑟门诺夫和图林娜，1978 年）。萨泼芝尼阔娃根据 1936-1964 年的资料数据，用盐尘暴-沙尘暴发生频率对中亚和邻边地区的做了划分（1970 年）。

频率、分布以及发生季节特点

研究地区北部和南部盐尘暴-沙尘暴发生的平均年频率的空间分布变率较大(图1)。首先,从土壤和气候方面予以描述,在广大的沙漠地区,诸如卡拉库姆沙漠、克兹尔库姆沙漠、姆云库姆沙漠、萨雷伊希科特劳沙漠、塔乌库姆沙漠、森度克里沙漠和其他一些较小沙漠,沙质荒漠分布极广。仅哈萨克斯坦一国,共有大小45个沙漠,面积达33.6万平方公里(库罗奇基娜,1978年)。除了流沙面积以外,风化岩石石膏荒漠占据了该国西北大部分土地面积,以及北部为卑特帕克-塔拉沙漠覆盖;山前地带多为狭窄条状黄土带覆盖,众多独立盆地广布盐漠。

中亚地区属于干旱和半干旱气候地带,然而,这一地区的纬度地带和大气循环特性,导致了南北冷热季节气候条件具有明显的差异。

北部地区在寒冷季节处于冬季西伯利亚高压圈的活动范围,该地区典型特点就是,全年大部分时间为严酷漫长的冬季,冰雪坚固,地面积雪持续时间又长;南部地区冬季则较为温和,地面积雪融化较快,气温常常超过摄氏零度以上。

大气循环的特性明显影响着降水状况,中亚地区荒漠南部经常发生气团变化:冬季盛行温带气团,而夏季则盛行大陆热带气团。同时,北部地区则没有明显的气团季节变化,这里常年盛行温带气团。因此,随着气旋活动的加剧,南部地区大气降水从10月开始逐渐增加,3-4月降水最多;5月分降水积聚下降,7月分降水几乎为零。北部地区降水则较为平均:有两个小的降水高峰,即晚秋和晚春季节。

根据对研究地区大气降水的年分布率分析,北纬42-45度之间地带夏季降水迅速下降(切特易尔金,1960年),中亚荒漠地区南北亚地带之间的界限一般沿以下线路划分:沿卡拉博加兹戈尔湾的北部,穿过阿姆河三角洲和布坎塔乌山系,一直延伸到卡拉套山脉。

北部荒漠亚地带(从西部的里海沿岸盆地到东部的准格尔),具有气候干旱、夏季酷暑、冬季降雪不大且复雪较少的特点,这一亚地带包括北部里海沿岸地区、曼格什拉,乌斯秋尔特北部、姆云库姆沙漠、巴喀什沿岸地区和准格尔盆地。

南部亚地带具有气候干旱、夏季高温酷暑、且冬季较为温和的特点,包括咸海-里海盆地以南地区、乌斯秋尔特南部、克拉斯诺沃茨克高原、卡拉库姆荒漠、克兹尔库姆荒漠中部和南部地区(茹尔潘诺娃,1963年)。

北部亚地带盐尘暴-沙尘暴分布与频率,具有斑点状零星分布的明显特点,在南部中亚地区,则具有典型的地带性。盐尘暴-沙尘暴日数由西北到东南递增,卡拉库姆沙漠中部风沙盐尘暴-沙尘暴日数最高。

在北部亚地带,风沙盐尘暴-沙尘暴的分布以及发生频率差异很大,且多为零星分布。发生频率较高的地区(年平均风沙盐尘暴-沙尘暴日数20天或以上),大多是风力大、土壤质地较轻、结构简单和过度使用的地区,或者是沙质土壤且植被稀少地区。风沙盐尘暴-沙尘暴日数较高的地区包括:里海沿岸盆地和伏尔加-乌拉尔沙地,这里每年平均风沙盐尘暴-沙尘暴日数为20-30天,有些年份高达67-108天。哈萨克斯坦南部,沙区和盆地的风沙盐尘暴-沙尘暴日数较高,因此,锡尔河和伊犁河平均风沙盐尘暴-沙尘暴日数为28天,最大为67天;在南部的巴尔喀什湖沿岸,平均年风沙盐尘暴-沙尘暴日数分别达到30和103天。

研究课题涉及的南部亚地带,广泛分布有沙质荒漠,年均风沙盐尘暴-沙尘暴日数的地带性分布很具特点,风沙盐尘暴-沙尘暴日数最高记录是卡拉库姆沙漠中部,超过60天,沙丘地区观测的风沙盐尘暴-沙尘暴最高频率为,卡拉库姆沙漠东部(列别捷克)达到62天,西部(流动沙丘与盐漠混合分布)为67天。在非正常年景,卡拉库姆沙漠中部的风沙盐尘暴-沙尘暴频率达到106-146次,这就意味着,中亚地区是向其他地区通过大气气团输送盐尘暴-沙尘暴的主要沙尘源地区之一。

大气降水(季节性分布、降水量及降水形式)影响着风沙盐尘暴-沙尘暴的季节性和频率。北部亚地带地区,一年四季都有大气降水,冬季有积雪覆盖,所以,这一地带的北部,风沙盐尘暴-沙尘暴主要发生在4-10月间,11-3月发生风沙盐尘暴-沙尘暴的频率极小。而在南部,几乎一年四季都有风沙盐尘暴-沙尘暴发生。

在中亚的南部亚地带，气象台站记录的最大风沙盐尘暴-沙尘暴频率在 5 月（图 2）。在中亚的西部和中部，与北部比较，风沙盐尘暴-沙尘暴频率较低一些，主要发生在夏季的几个内。因此，在南部亚地带的西部，风沙盐尘暴-沙尘暴最高记录是在 6 月、7 月和 8 月。在乌斯秋尔特北部，最高记录是 4 月，最低记录是 6 月和 9 月。在该地带的东南部，观测的最高风沙盐尘暴-沙尘暴日数发生在 6 月，而其南部则发生在 7-8 月。

因此，在北部亚地带，由北至南，最高风沙盐尘暴-沙尘暴日数多在较晚的月份。在南部，则与风速年变率不一致，最高频率发生在春季（4-5 月）。可以通过降水的年分布解释这一现象（瑟门诺夫和费德郁释纳，1970 年）。

在南部亚地带，风沙盐尘暴-沙尘暴一年四季都有发生，地面没有积雪，降水在冬春季节，夏季降水稀少，气温很高，风沙盐尘暴-沙尘暴日数最低发生频率记录是 1 月和 12 月，山区气象台站除外，这里风沙盐尘暴-沙尘暴日数最低频率在夏季。平原地区风沙盐尘暴-沙尘暴日数发生频率最高的季节是夏季（6-7 月），有时秋季（8-9 月）也很高，或者说，有两个高峰，春秋季节和夏冬季节（图 2）。山区的风沙盐尘暴-沙尘暴日数最大发生频率在冬季（奥罗夫斯基，1962）。

日间变化

从 1981-1995 年期间，作者就土库曼斯坦 18 个气象台站的风沙盐尘暴-沙尘暴日间变化情况做了界定。最大的风沙盐尘暴-沙尘暴通常出现在白天（图 3），风沙盐尘暴-沙尘暴在上午 5 时以后增加，中午 11-12 时或者 15 时最狂，然后，逐渐减弱。在山前地带，大多发生在午后，这与山前地带午后活跃的对流有直接关系。

加剧风沙盐尘暴-沙尘暴日间变化的主要因素就是风速的变化，观测到的最大风速均在午后时间，这时也是土壤在阳光下暴晒变的极为干燥。然而，观测说明，夏季和冬季风速的日间最大变化都在午后，而最小变化则在夜间和上午。飓风和冷锋发生的过度季节，风速的日间变化和风沙盐尘暴-沙尘暴日间变化没有规律。所以，春秋夜间也有发生风沙盐尘暴-沙尘暴的可能性。

需要提醒的是，上述明确表达的风沙盐尘暴-沙尘暴的日间变化与高气压圈南缘和西南缘有关，与土库曼斯坦东部盛行的上升温暖气流的西北边缘有关。上升温暖气流引起的风沙盐尘暴-沙尘暴定期在午后出现，随着气压的日间变化在夜间停止（概要报告，1957 年）。

风沙盐尘暴-沙尘暴的延续时间

在中亚地区的北部亚地带，风沙盐尘暴-沙尘暴的频率延续时间一般都在 3 个小时以上，其变化范围在 20-73%。哈萨克斯坦北部地区以及石质荒漠和粘漠为主的地区，风沙盐尘暴-沙尘暴延续的时间较短，一般在个半小时左右。五个半小时至 10.4 个小时的风沙盐尘暴-沙尘暴频率，在轻质土壤地区增长很快。超过 12 个小时或更长时间的风沙盐尘暴-沙尘暴发生的频率大约占 3%。只有在哈萨克斯坦中部的狭长地带，以及姆云库姆沙漠东南和巴尔喀什南部逐渐外延扩展，超过 12 个小时的风沙盐尘暴-沙尘暴发生的频率大于 3%（瑟门诺夫和费德郁释纳，1970 年）。1963-1972 年期间发生过最大的一次风沙盐尘暴-沙尘暴，持续 116 个小时。三个地区发生过持续时间超过三天的风沙盐尘暴-沙尘暴（瑟门诺夫和图林纳，1978 年）。

在南部亚地带，当年最大的风沙盐尘暴-沙尘暴时间也都发生在风沙盐尘暴-沙尘暴最为严重的持续日数最多的几天中。土库曼斯坦平原地区 and 山前地带风沙盐尘暴-沙尘暴日数平均持续时间，1 月份为 0.5-23 小时，7 月份平均为 6-56 小时，土库曼斯坦（卡拉-卡拉地区，库什卡地区）东南和南部的持续时间较短的风沙盐尘暴-沙尘暴很具特点，每月平均最大持续时间不超过 6 个小时。

土库曼斯坦大多数地区有些年份，全年的风沙盐尘暴-沙尘暴持续时间高于中亚地区总和。因此，土库曼斯坦西部（莫拉-卡拉、捏比特达格、艾定）以及卡拉库姆沙漠东南部（捷詹、茄什密、列别捷克），观测到过每年超过 500 小时的风沙盐尘暴-沙尘暴，列别捷克最大的风沙盐尘暴-沙尘暴持续时间为 721 小

时。1942 年 7 月，列别捷克 7 月份一个月的风沙盐尘暴-沙尘暴总的持续时间为 176 小时，年平均为 6 小时。

在卡拉库姆沙漠中部的大部分地区，风沙盐尘暴-沙尘暴记录最大持续时间在春季。1949 年 3 月查盖的盐尘暴-沙尘暴持续 39 个小时，1957 年 2 月克孜勒-阿特列克地区的盐尘暴-沙尘暴持续 57 个小时，1952 年 11 月捏比特达格的盐尘暴-沙尘暴持续 60 个小时。更为有趣的是，捏比特达格少于 12 个小时的最大风沙盐尘暴-沙尘暴持续时间几乎全部发生在 9 月份，这就意味着，在风沙盐尘暴-沙尘暴频繁发生的地区，盐尘暴-沙尘暴持续的时间就更长。

在科佩特山脉（克孜勒-阿尔瓦特、艾定）山前地带，风沙盐尘暴-沙尘暴最长持续时间为 24 小时，全年几乎所有季节都是这一记录。

土库曼斯坦西部风沙盐尘暴-沙尘暴年平均持续时间由 350 个小时到西南部的 15 个小时变化不等。山区的盐尘暴-沙尘暴持续时间不长，帕拉帕米兹和库吉溏套山、穆尔加布绿洲、阿姆河流域的山前地带，有过每年盐尘暴-沙尘暴少于 100 小时的记录。卡拉库姆沙漠中部，年平均风沙盐尘暴-沙尘暴日数超过 200 天，其西部（捏比特达格）盐尘暴-沙尘暴持续最长时间为 350 小时（奥罗夫斯基，1962 年）。

过去年代风沙盐尘暴-沙尘暴的频率

作者对于过去很长时间内风沙盐尘暴-沙尘暴日数频率的年变率具有浓厚的兴趣，研究了土库曼斯坦不同自然条件地区 18 个气象台站 60 年来的资料（1936-1995 年），18 个气象台站地区的共同点就是 1980-1985 年期间，风沙盐尘暴-沙尘暴发生的频率急剧下降（图 4）。土库曼斯坦北部出现过两次盐尘暴-沙尘暴高峰期，其中卡拉库姆沙漠中部出现过的一次风沙盐尘暴-沙尘暴，是过去盐尘暴-沙尘暴持续时间最长的一次，而其他气象台站记录不明显。

1980-1985 年期间盐尘暴-沙尘暴发生频率减少的现象在中亚其他地区也有记录（乌斯曼诺夫，1998 年；楚贝，1998 年；嘎拉耶娃，1998 年）。然而，在咸海周围地区，1960 年-1980 年期间风沙盐尘暴-沙尘暴的频率增加了三倍，但 1980 年之后明显减少（乌斯曼诺夫，1998 年）。

全球大气循环的定期变化可以解释风沙盐尘暴-沙尘暴频率的变化，1930 年-1960 年期间，随着纬度循环频率的增加，便发生第一个循环周期；1961-1985 年为第二个周期，纬度循环类型频率下降，循环子午线类型占优势；目前，我们正在经历着循环纬度特点活跃，而循环子午线类型急剧下降的时期。很有可能，1986-1993 年期间是新的循环时期的一个过渡时期（姆敏诺夫和伊娜嘎诺娃，1995 年），这样就可以解释 1993-1995 年期间风沙盐尘暴-沙尘暴发生频率明显增加的事实（图 4），这也意味着，忽视其他因素，而只利用这些盐尘暴-沙尘暴发生频率参数做为荒漠化过程发展的条件，是不准确的。

中亚地区 20 世纪 70 年代的白色盐尘暴-沙尘暴

盐分是盐尘暴-沙尘暴的主要成分，常伴随盐尘暴-沙尘暴肆虐。盐尘暴-沙尘暴是中亚、伊朗、印度和美国西部荒漠地区大盐湖或盐漠地区经常出现的风沙盐尘暴-沙尘暴灾害。纯盐物质颗粒的盐粉盐尘暴-沙尘暴并不多见，由于大风夹杂了大量的盐物质（主要为石膏和岩盐），所以，盐尘暴-沙尘暴往往呈白色或浅灰色特征。白色盐尘暴-沙尘暴或者盐暴是盐漠、盐湖沉积、或其他疏松岩石风化物，被大风吹蚀、搬移，而随飓风漂移产生的一种风沙盐尘暴-沙尘暴，这种盐尘暴-沙尘暴使得空气浑浊不清。

盐碱化土壤是荒漠地区典型的地表景观，它覆盖了全球干旱、半干旱土壤总面积的 14%（罗波娃和卡巴罗夫，1977 年）。盐土面积大约 868, 900 平方公里，其中 50% 分布在欧亚大陆；最活跃的盐尘源自草地表土和深厚的盐土沉积，它们占干旱和半干旱地带盐漠 10% 的面积。

在中亚地区，盐漠占地 15 万平方公里，其中土库曼斯坦就有 2.4 万平方公里，乌兹别克斯坦 1.5 万平方公里，塔吉克斯坦有 1000 平方公里，哈萨克斯坦有 11 万平方公里（潘括娃等，1996 年）。这些盐漠土壤是盐物质的积聚区和风成吹蚀物堆积区，或者是盐物质的搬移物，这些盐漠土壤的主要典型指针就是

表土积盐很厚。春秋季节，草场表土和深厚盐漠 0-10 厘米的土壤中可溶盐含量占了地表 50 厘米土层中全盐含量的 50%以上，含盐很高的疏松盐土结构和无植被保护的地表，极易受到大风吹蚀，搬运和漂浮。

中亚地区的盐漠基本分布在地下水多为苦咸水集中且盐物质沉积深厚的盆地或低洼地，盐漠多分布在阿姆河三角洲、穆尔加布河、喀什卡河、泽拉夫尚河和锡河、科佩特山脉山前平原东段、里海沿岸、咸海沿岸和巴尔喀什湖沿岸地区。

20 世纪 70 年代以前，沙尘暴-盐暴现象比较少见，随着咸海盆地 20 世纪 60 年代初期的密集型的资源大开发，风沙盐尘暴-沙尘暴发生的频率大大增加，这既有自然因素，也有人为因素。

自然因素形成的白色盐尘暴-沙尘暴

大部分的自然盐尘暴-沙尘暴与盐暴混合发生，这种现象在中亚、哈萨克斯坦西部以及里海北部地区都能见到。然而，自然形成的白色盐尘暴-沙尘暴只有在伏尔加河下游和中游有过记录，就其原因，有以下几点：1) 这些地区人口稠密；2) 这些地区几乎都位于咸海-里海沉积区产生大量尘埃和盐分物质的地带。1948 年有人（萨哈罗夫，1948 年）1950 年春（茂托任，1954 年；扎茂尔斯基，1952 年）和 1955 年（克拉夫琴廓，1959 年）就在伏尔加河流域观测了这些风沙盐尘暴-沙尘暴。风沙盐尘暴-沙尘暴发生期间，观测到，只在东风和东南风迎面出现了白色盐物质或者微苦盐性粉状物质。1950 年 4 月期间，伏尔加河流域下游盐暴形成的地面尘埃很薄，不足 1 毫米，但是，地面所有被尘埃覆盖的物体，几乎全是一片灰色，植被好象蒙上了一层白霜（扎茂尔斯基，1952 年），这是 1952 年 4 月 4-7 日，发生在咸海-里海盆地和具有众多盐漠分布的里海盆地北部地区盐尘暴-沙尘暴引起的尘埃和盐粉沉降物。沉降物吹蚀、搬运和浮尘距离为 400 公里（扎茂尔斯基，1952 年）。盐尘暴-沙尘暴发生的地区 500-600 公里以内阴霾笼罩着天空和大地。

1955 年 4 月，同一地区发生了更为密集强烈的白色盐尘暴-沙尘暴（克拉夫琴廓，1959 年），当年第一次盐尘暴-沙尘暴于 4 月 10 日，发生在里海-咸海盆地整个地区。东风和东南风风速达到 15-20 米/秒，在 3000 米的高度，风速达 50-60 公里/小时，气流卷起地面的粉尘和盐尘，并搬运、漂浮到伏尔加河的中游、下游地区。好几个气象台站记录了 4 月 11 日和 12 日两天粉尘、盐尘弥漫的干旱阴霾天气。在卡尔梅克加盟共和国的埃利斯塔城，4 月 11 日上午六时出现了盐尘暴-沙尘暴，下午四时达到最高峰，直至次日下午五时停止。迎风面地面物体和植被上落了 0.1 毫米厚的一层灰白色粉尘。经化学分析得出结果，47.4% 为可溶盐沉降物，52.6% 为不可溶残积物。总盐量中，硫酸盐高达 90.6%，氯化物 7.4%，重碳酸盐 2%。据初步估计，每一公顷土地沉降了 25 公斤的硫酸钠。1955 年 4 月 18-22 日，再次发生更强的风沙盐尘暴-沙尘暴，根据强度与范围来看，这些盐粉沉降物属于罕见现象。4 月 18 日这一天，哈萨克斯坦西部风速达到 15-20 米/秒，有些地段高达 20-25 米/秒，几近飓风风力。风卷盐尘暴-沙尘暴形成巨大的沙尘云团直袭哈萨克斯坦西北地区、北部地区和伏尔加河流域中上游地区；4 月 19 日，盐尘暴-沙尘暴抵达高尔基市，形成阴霾天气，能见度 1000 米。

根据航空观测，沙尘云团高达 3000-4000 米，当干热盐尘暴-沙尘暴出现在东南方向的刹那间，地面、物体、植被以及牲畜身上覆盖了一层略苦味道的白色沉降物，沉降物厚度达 1-2 毫米，有些地段达到 2-4 毫米。化学分析结果显示，沉降物主要是硫酸钠、氯化钠、镁盐、石膏颗粒和硅石颗粒物。如前所述，曾经发生过白色盐暴，但是，1955 年 4 月 18-22 日的盐粉盐尘暴-沙尘暴影响极大，危害范围达到 50 万平方公里。

卫星照片上可以清晰地看到漂浮到伏尔加河流域的这次盐尘暴-沙尘暴（图 5）。在克拉斯诺沃茨克半岛和乌拉尔河出口之间的中亚荒漠和北里海东部出现了一个移动低槽，盐尘暴-沙尘暴夹带着大量粉尘和盐尘穿越这一地带，盛行的东南风和东风常常在这一地带加强，形成暴风雨甚至飓风。暴风雨和飓风卷起盐粉和尘埃巨柱，横越往昔的乌茨泊伊通道、卡拉库姆沙漠盐漠地带和里海海岸，向俄罗斯平原移动。伏尔加河流域广大地区，电力系统由于沙尘、粉尘和盐尘对发电设备以及附属设备的影响，致使电力中断。这些现象进一步证明，这些盐尘都是强大的东南风从里海北部和咸海-里海盆地带来的。

每年来自草原表土和疏松盐漠的风成盐尘沉降物大约在 5000-7000 吨/平方公里（奥罗娃，1983 年；科蜚夫尼罗娃，1959 年）。在近地表含盐量很高的斑点状盐渍化地区，每平方公里吹走的盐土、盐尘、盐硝等大约为 728 吨/平方公里（奥罗娃，1983 年）。

据此估算，每年从中亚地区的盐漠中吹走的盐物质大约为 1.092 亿吨，这一估算只是一个大概的估计，因为从盐漠地表的吹蚀中可以明显看到吹蚀的严重程度。根据奥罗娃（1983 年）的估算，世界上共有 8.689 万平方公里的疏松盐漠草地，每年可以向大气输送 5.2 亿吨盐尘。其他沙漠（4, 530.881 万平方公里），包括那些潜在的盐漠，每年可输送 7.8 亿吨盐积物，世界所有干旱地区则每年可向大气输送 13 亿吨各种盐性物质。因此，根据最新预测，中亚地区盐漠的盐积物约占所有干旱、半干旱地带盐积物的 10% 左右。

人为因素导致的白色盐尘暴-沙尘暴

20 世纪的生态状况的突出特点是，人类对于自然界的压力，已经不仅局限于小范围，而是更大区域范围的压力。在部分地区，环境变化不太明显，也没有给人类健康和生产、生活活动带来什么威胁。但是，在那些自然动态平衡严重受到人类活动破坏的地区，特别是那些生态状况较差的地区，这种威胁时时发生。中亚就是其中之一。这里大规模的人为改造活动导致了风沙盐尘暴-沙尘暴发生地区的增加，并与下列开发活动有直接关系：1）20 世纪 60 年代哈萨克斯坦的处女地开发；2）20 世纪 70 年代卡拉博加兹戈尔水库的建设；3）咸海盆地大规模地开发灌溉地。

卡拉博加兹戈尔湾

卡拉博加兹戈尔湾总面积为 1.8 万平方公里，随着里海海岸线的下降，从 1952 年的 1.7439 万平方公里缩小到 1980 年的 7, 678 平方公里。为了控制里海海岸线下降，1980 年春季开始实施了隔离里海与卡拉博加兹戈尔湾的卡拉博加兹戈尔水库。这是一次征服自然的“胜利”，从此，人们再次与自己闯的祸端开始了争斗。水库将“湾”和“海”隔开了，卡拉博加兹戈尔湾从此迅速变浅，随后完全干涸。只过了四年，卡拉博加兹戈尔湾就完全干涸；巨大的且十分危险的盐漠环境，就象死谷一样就地形成了。在人为活动的影响下，“人造盐源”出现了。卡拉博加兹戈尔的盐尘在帕米尔高原的山前地带沉降。1984 年，又在大坝上修建了向卡拉博加兹戈尔湾输送水的管道大堤，1992 年，大坝最终宣告被毁。1995 年 5 月，卡拉博加兹戈尔湾的水位上升 7 米，整个卡拉博加兹戈尔湾又恢复了以前的“水泊梁山”。

咸海

如果能够成功排除卡拉博加兹戈尔湾的“人造盐源”，咸海地区白色盐尘暴-沙尘暴盐源二次人为造成的活动就会越来越多。这里已经发生了明显的环境变化，不仅具有局部特点，更有大的区域特点。由于灌溉，人为改变河流，使得河水改变流向，致使咸海盆地大部分地区出现了严重的生态变化。

阿姆河与锡尔河补给的急剧下降始于 1961 年，并致使咸海水位迅速下降，过去几十年来，上述河流总的补给量每年减少大约 4-5 立方公里，而 1960 年则达到每年下降 55-60 立方公里。如此大的水流量与每年降在咸海海面的大气降水（9-10 立方公里）以及明显的地下水补给与蒸发量持平，使得咸海海面接近平均海平面 53 米，平均深度 16 米，咸海水域面积达 6.6-6.7 万平方公里。到 1999 年，海面下降 18 米，目前达到平均海平面标记 33.8 米。裸露和干涸的湖面宽度超过 120 公里，总的水域面积仅有 4.03 万平方公里（布勒克尔等，2001 年）。咸海将在我们面前从地球上消失，而地球上最年轻的一个沙质盐漠“咸海沙漠”正在就地形成（图 6）。

咸海海面的下降导致了海洋地球化学过程的变化，海面下降之前，咸海是一个积盐盆地，和地表径流一起每年流入咸海的盐物质大约是 2, 380 万吨，等于是地下水流量的总量（契尔年科，1986 年）。目前，干涸的海岸地带成了向其他地区运送盐的盐库，因为裸露的海底已经变成了巨大的盐漠地表。

根据其形态特征，干涸海底的土壤都是结皮土和疏松盐土。已经形成 2, 000 平方公里面积的沼泽盐土（儒巴诺夫等，1998 年）。根据化学成分，沙质土或沙质壤性海岸土上形成的土壤均属硫酸盐-氯化物和氯化物-硫酸盐，根据含盐浓度，这些土壤属于重盐化土，含盐量在 8-10%，和硫酸盐及氯化盐。地下碳

酸气饱和带中硫酸盐和氯化盐的储量为 2, 200 吨/公顷。

轻质结构土壤极易产生强烈的风蚀过程的发生, 并形成风成地形, 在风成地形中, 丘间洼地的沙子基本属于轻度和中度盐化沙土, 较小新月形沙丘中, 碳酸气饱和带中的硫酸盐和氯化物储量为 180-270 吨/公顷, 高大沙丘中, 则为 104 吨/公顷。新月形沙丘中的含盐量不超过 0.1-0.3%, 粉尘含量为 4-6% (儒巴诺夫等, 1998 年); 咸海干涸海底强烈的盐堆积和风成演变过程, 决定了它起着丰富盐尘和沙尘尘源的作用, 以吹蚀、搬运和浮尘的形式, 严重恶化周边地区生态状况。

“咸海荒漠”——一个新的盐尘和沙尘残积物发源地

咸海周围的干旱条状地带是 1961 年起形成的, 但是, 直到 1975 年没有出现明显的强风沙盐尘暴-沙尘暴。第一次发生在咸海东北沿岸 (延伸到锡尔河三角洲以南) 的盐尘暴-沙尘暴在 1975 年的卫片上明显可以看到 (格理告耶夫和利帕拓夫, 1974 年, 1979 年), 此次盐尘暴-沙尘暴就地形成了一个 20-25 公里宽, 100 公里长的干涸沙带, 仅 1975 年 4-6 月间发生 8 次盐尘暴-沙尘暴; 其中 4 月发生 5 次, 5 月发生 2 次, 6 月发生 1 次; 1975-1981 年期间, 这一地区从卫片上可以看到的盐尘暴-沙尘暴就有 29 次, 基本是朝西和西南走向延伸 200-450 公里。

1985-1990 年的五年期间, 盐尘暴-沙尘暴发生的日数每年增加到 5.5 天, 和沃茨诺束涅岛和库兰德半岛的干涸海底的裸露沙质地表一样, 基本可以在卫片上看得见。但是, 卫片的时空清晰度不高以及偏高的云层影响, 无法全部记录所有盐尘暴-沙尘暴。总之, 资料记录的盐尘暴-沙尘暴次数远远低于实际发生的次数 (格理告耶夫和利帕拓夫, 1982 年)。然而, 利用空间技术进行更多的观测, 能够找到沙尘-盐尘发生的地点、规模以及盐尘暴-沙尘暴和盐暴搬运、漂浮的方向 (格理告耶夫和利帕拓夫, 1982 年, 1983 年; 格理告耶夫和娇帽娃, 1992 年)。

沙尘-盐尘频发区

在观测咸海东北沿岸盐尘暴-沙尘暴形成过程期间, 盐尘暴-沙尘暴吹蚀地点和结构出现过明显的变化。水域面积减少则伴随着吹蚀面积和发生盐尘暴-沙尘暴地点的增加。1986 年, 出现过三个大的吹蚀地点, 即: 沃斯托其尼、萨雷释甘斯基和科卡拉尔斯基三地。目前, 哈萨克斯坦境内的咸海干涸海底已经有五处人为的风蚀沙尘源: 即, 位于北部的前萨雷释甘纳克湾湖底和前科卡拉尔与拜尔萨-凯尔梅岛的沙滩; 位于东部的从锡尔河出口到阿克别金群岛的干涸湖底; 位于西部的在沃茨诺束涅岛和拉扎列夫岛最近形成的岛屿 (嘎腊耶娃, 1998 年)。

随着时间的变化, 盐暴和盐尘暴-沙尘暴强度也在变化, 例如, 1975 年 5 月 22 日, 咸海上空的盐尘暴-沙尘暴云团覆盖了 1.4 万平方公里的面积, 而 1979 年 5 月 6 日发生在同一地点、同样严重的盐尘暴-沙尘暴云团覆盖了 4.5 万平方公里的面积; 卫片分析 (格理告耶夫和利帕拓夫, 1983 年) 显示, 盐尘暴-沙尘暴云团结构取决于地面湿度的大小, 1975 年发生在咸海天空的盐尘暴-沙尘暴云团被一分为二成了两股 30-40 公里宽的高大沙尘路径, 这就是因为起沙地地面构造之故所为, 两股沙尘都源自干涸的沙质地表。1976 年, 沙尘漂移路径有所变化, 以前一分为二的两股沙尘路径不再存在, 而非常均匀地袭击整个海岸地区。

盐尘暴-沙尘暴漂移的地区

风沙盐尘暴-沙尘暴通常搬运的方向大致为西南南直达阿姆河三角洲和乌斯秋尔特高原 (图 7), 但有时则吹向东南东方向, 直达锡尔河三角洲 (格理告耶夫和利帕拓夫, 1982 年)。通过对 1975-1981 年卫片的分析看出, 60% 的盐尘暴-沙尘暴向西南搬运, 直达阿姆河三角洲绿洲, 25% 的盐尘暴-沙尘暴则向西搬运, 袭击乌斯秋尔特高原, 其他的则向南和东南方向搬运漂浮 (图 8)。1975 年, 盐暴-沙尘暴主要发生在咸海上空, 而并非发生在毗连的沿岸地区, 当年发生 8 次盐尘暴-沙尘暴, 但只有一次刮到了咸海对岸。1979 年, 发生 7 次盐尘暴-沙尘暴, 其中 6 次危及到咸海西岸和西南岸, 1975 年的盐暴-盐尘暴-沙尘暴云团平均长度达 180 公里, 1979 年则达 300 公里长。1979 年 5 月 6 日, 特强盐尘暴-沙尘暴危及了整个咸海地区和乌斯秋尔特高原, 盐尘暴-沙尘暴云团长度超过 500 公里。盐暴-沙尘暴吹蚀的面积达到 2-3 万平方公里, 而周边受到影响的土地面积则达 50 万平方公里。

这里需要说明一点，卫片只能记录那些大气极为浑浊的盐尘暴-沙尘暴和浮沉天气，事实上，盐尘暴-沙尘暴可以搬移漂浮到从太空可以看到的更远距离。根据这一假设，格理告耶夫和利帕拓夫（1983 年）得出结论，咸海地区的盐暴搬移到了里海沿岸，并在整个咸海-里海盆地扩散。

盐暴-盐尘暴-沙尘暴云团的大小

咸海干涸海底盐物质-沙尘残积物体积、成分、搬移方向以及沉降地区的评价，对于科技界和公众来说，具有十分重要的意义。人们对它产生兴趣主要是由于它给当地的环境和人民群众的生存条件造成了极大的负面影响。沙尘、尘埃和盐尘等风成物质的搬移过程的实验和理论研究是极为复杂的课题。因此，通过对于盐尘暴-沙尘暴期间大风搬移能力的研究，我们可以判断盐尘暴-沙尘暴阴霾云团的范围以及搬移漂浮的距离。

就咸海干涸海底盐尘-沙尘残积物体积的估计，不同的研究人员有完全不同的观点。根据 1975 年卫片分析，当年从咸海东岸搬移沉降在西南方向的盐尘-沙尘残积物大约 1500-7500 万吨（格理告耶夫和利帕拓夫，1982 年），到了 1990 年，这一数字达到 9000 万吨（格理告耶夫和娇帼娃，1992 年）。这一数字已在很多刊物发表，人皆共知，但需要进行定性分析。

作者认为，根据卫片估计的每年 7500-9000 万吨的盐尘-沙尘搬移漂浮物质明显夸张。首先，作者把盐尘暴-沙尘暴持续的时间确定在 50 个小时的范围之内，而且，每年的盐尘暴-沙尘风暴发生频率界定在 10 次的范畴。气候方面的参考资料和盐尘暴-沙尘暴研究资料均没有盐尘暴-沙尘暴灾害持续时间如此长久、发生频率如此之高、危害程度如此强烈的记录；第二，如果有如此大的盐尘暴-沙尘暴搬移量，那么咸海干涸海底每年的剥蚀最少应有 20 毫米。

作者同时认为，哈萨克斯坦科研人员对咸海干涸海底盐尘-沙尘残积物体积的估计数字更为可信（瑟门诺夫,1988 年，1990 年，1995 年；嘎腊耶娃等，1996 年；嘎腊耶娃和瑟门诺夫，1997 年）。在盐尘暴-沙尘暴发生期间以及风洞实验室对近地面风速和固体沙尘颗粒移动比率的实际测定的基础上，做出了盐尘暴-沙尘暴的气候模型。该模型目的在于，根据盐尘暴-沙尘暴发生时的气象观测数据，监测近地表风沙流的移动情况。该模式可以用于计算一次性风沙盐尘暴-沙尘暴中沙物质搬运的体积，一年内风沙盐尘暴-沙尘暴搬运的数量，多年来风沙盐尘暴-沙尘暴搬移、堆积的沙物质体积及其基本统计参数。

该模式第一次用于评估咸海干涸海滩哈萨克斯坦境内沙尘-盐尘残积物体积，并编制了该地区风沙流搬运的矢量玫瑰图（瑟门诺夫，1988 年，1990 年）。1969 年-1979 年，开展了盐尘暴-沙尘暴的首次评价，东部（图 9）盐尘暴-沙尘暴的两个地带沙尘源，即，北部的萨雷释甘纳克湾以及乌崖里群岛和锡尔河三角洲之间的地区，用以计算搬移到不同方向的咸海风成残积物体积的多年平均值。北部与南部地区风成残积物之间差别如此明显，北部地区，风成土搬移过程主要经历了东北和东南东方向，每年向这一方向输送的沙量达 8×10^5 吨以上，在东部沙源区，沙尘搬移方向主要为西北西和东南南方向，每年搬运的风成沙尘物质达到 3.4×10^6 吨。

每年自萨雷释甘纳克地区经风沙流搬移到各地的沙尘-盐尘残积物总量达 1.5×10^6 吨，而每年自东部大范围搬移的沙尘-盐尘残积物为 5.8×10^6 吨。1966 年-1979 年期间，上述两地每年风沙流搬移的沙尘物质总量估计 7.3×10^6 吨，其中盐分含量占搬运沙尘物质总量的 0.7-1.5%；这些地区的沙尘残积物的全盐含量约 5-7 万吨/年（瑟门诺夫，1990 年）。这一估计比较接近最高值，它是以盐尘暴-沙尘暴期间沙子颗粒的流动比率和 5%的动态数字为基础的。就气候方面的估计来说，使用其 50%的确信程度，比较接近精确数字。因此，如果按照 50%的确信程度计算（瑟门诺夫，1990 年），估计每年盐尘-沙尘风成残积物（730 万吨）最多可以减少到 160 万吨。

连续 27 年对干涸海滩剥蚀过程发展的监测，说明了咸海风成物质大风搬运的周期性（图 10）。第一个高峰是在 1970-1971 年（咸海气象站），每年的搬移量为 9,302 吨；第二个高峰发生在 1983-1985 年，每年搬运 6,500 吨；如果研究整个 27 年这一个循环周期，很清楚，自 1986 年以来，搬运沙物质数量有明显减少的趋势，根据乌崖里气象站的资料，1984 年发生过较大的沙物质搬运，数量达 20,269 吨/年，

这比咸海北部发生的沙尘搬运最大值还要高出两倍多，自 1986 年以后，沙尘搬运总量基本保持稳定下降。

在 20 世纪 70 年代的 10 中，有 7 年沙尘搬运数量超过年平均值；80 年代，只有 1984 年大风活动强烈，其他 9 年中，沙尘残积物达到年平均值的 0.1-0.7。因此，1966 年-1986 年期间，虽然咸海干涸海滩的面积在增加，但是，如果按照 50% 的精确程度计算，由于盐尘暴-沙尘暴期间的风速降低，盐尘-沙尘残积物的年平均值会降至 112 万吨/年（嘎拉耶娃等，1996 年）。

到了 1992 年，咸海海面下降 15 米，哈萨克斯坦境内的干涸海滩又新增了五处沙尘-盐尘源。表 1 反映了 1966-1992 年上述五处新的沙尘源年平均搬运数量的初步估算，以 50% 的精确程度计算（嘎拉耶娃和瑟门诺夫，1997 年）。使用五个气象台站的年平均盐尘暴-沙尘暴搬运量的矢量玫瑰图做了计算，使用拉扎列夫岛的气象数据评价西部新的盐尘-沙尘源；咸海气象台站的数据用于评价萨雷释甘纳克和科卡拉尔剥蚀地区的盐尘-沙尘源；乌崖里气象站的数据用于评价东部最为严重的沙源区；拜尔萨-凯尔梅岛气象站的数据用于评价该岛沙滩沙源。沙尘搬运共分 16 个搬移路径，这就使得盐尘-沙尘搬移量的估计集中于咸海周围特定地区。表 1 列出了每一沙源搬移向各条路径固体颗粒的总量。

表 1：咸海海面下降 15 米后干涸海滩剥蚀盐尘-沙尘源的沙物质年平均搬移量（吨/年）（嘎拉耶娃和瑟门诺夫，1997 年）。

搬移方向	沙尘-盐尘源				
	拉扎列夫 岛	拜尔萨- 凯尔梅岛	东部岛	萨雷释甘纳 克	科卡拉尔
北	50	0	10,094	5,712	6,324
东北北	2,552	0	8,128	11,132	20,740
东北	2,520	0	2,263	21,021	30,261
东北东	1,488	77	15,402	21,157	25,110
东	5,775	255	37,862	16,215	11,280
东南东	2,940	331	29,827	13,764	9,213
东南	7,830	1,200	66,896	10,152	7,827
东南南	5,424	810	19,980	10,773	9,072
南	800	940	32,857	13,664	15,128
西南	44,856	31,080	92,418	14,514	20,894
西南西	101,742	7,130	44,394	13,604	16,146
西	20,895	1,887	55,576	10,235	7,120
西北西	1,050	0	22,116	8,246	5,519
西北	90	0	7,119	4,257	3,282
西北北	113	0	4,680	4,189	3,528
总计	211,001	46,186	507,063	192,837	217,890

将这些数据和诸如 1986 年短时间的数据做比较，我们可以看到有趣的方面，根据乌崖里气象站的观测，除了东部沙尘源的面积有所增加以外，年平均风沙盐尘暴-沙尘暴搬移量从 1986 年的 69 万吨减少到 1992 年的 50 万吨，萨雷释甘纳克和科卡拉尔气象站的数据变化不大。哈萨克斯坦境内的咸海海面下降 15 米以后裸露的干涸海滩的风积物总量估计在 117 万吨，即每年增加 5 万吨。

表 2 列出了咸海海面下降 20 米以后，预测可能出现的风沙盐尘暴-沙尘暴残积物体积，计算依据就是年平均沙尘搬移矢量保持现状不变，咸海海面进一步下降，则将导致东部沙尘源面积迅速扩大，并与拜尔萨-凯尔梅岛的沙源连成一片。科卡拉尔以及萨雷释甘纳克沙源将与北部的沙尘源连成一片，由于沙尘源面积的增加，年平均风沙盐尘暴-沙尘暴搬移量将增加 129 万吨，向大多数地区一样，这一数字可能更大，因为，20 世纪 90 年代初期，沙尘源增加的趋势更为明显，可能性更大，80 年代剥蚀过程强度下降阶段以后，大风活动阶段紧随其后。

表 2：咸海海面下降 20 米干涸海滩剥蚀沙尘源每年平均搬移沙尘量（吨/年）的预测（嘎拉耶娃和瑟门诺夫，1997 年）

搬移方向	剥蚀沙尘源		
	北部	东部	拉扎列夫岛
北	13,056	16,758	56
东北北	29,737	11,648	2,882
东北	35,574	28,520	3,690
东北东	29,062	18,972	1,624
东	24,252	38,794	5,050
东南东	24,864	29,827	3,122
东南	20,770	69,299	8,486
东南南	23,490	30,192	7,344
南	31,232	54,549	896
西南南	37,927	53,144	14,541
西南	24,563	116,472	65,682
西南西	18,687	54,684	111,041
西	13,308	56,943	21,890
西北西	14,896	22,116	1,115
西北	8,710	8,253	97
西北北	9,135	7,072	153
总计	359,263	617,243	248,666

因此，条件许可的情况下，每年盐尘暴-沙尘暴搬移量可以从几十万吨增加到 200-300 万吨（见图 10）。

盐尘暴-沙尘暴沉降物体积

根据乌兹别克斯坦（拉扎廓夫和科斯纳扎罗夫，1996 年，1998 年）和哈萨克斯坦科学家（瑟门诺夫，1996 年，1998 年）的资料分析，我们就咸海周边地区盐尘暴-沙尘暴沉积物堆积量做了估算。1982-1991 年期间，在咸海地区干涸裸露的海底、咸海沿岸、阿姆河三角洲灌溉区和非灌溉区等具有不同大风活动、不同植被盖度和人为活动的 43 个点上，做了盐尘暴-沙尘暴搬移后的沉降调查研究。多年的测定数据说明，盐尘暴-沙尘暴沉降堆积取决于地形、主风风向、植被特点、土壤湿度等因素。咸海南部地带总的沉积堆积量为 1.5-6.0 吨/公顷，其中可溶盐含量为 170-800 公斤/公顷，有时甚至达到 1600 公斤/公顷（咸海干涸海滩）。在卡拉卡尔帕克斯坦自治共和国的灌溉土地，估计数字要低一些，大约为 150-300 公斤/公顷，盐尘暴-沙尘暴残积物堆积密集的地方，可溶盐含量达到 2-30%，几乎达到盐漠地区的最高含盐量。咸海干涸海滩及其沿岸风成搬运物中的盐平衡为 6-26%，灌溉地带则为 1-1.5%（拉扎廓夫和科斯纳扎罗夫，1996 年）。

对阿姆河三角洲干燥堆积物的测定，并没有说明咸海风成物对当地造成生态压力，强风引起的盐尘暴-沙尘暴风成物和当地日常出现的对流过程产生的搬运物都沉降在三角洲周围地区。瑟门诺夫（1996 年，1998 年）做了分离咸海风成物并确定对流过程产生的干燥堆积物数量的尝试，他估计，阿姆河三角洲地区年平均干燥沉降物大约是 79 吨/平方公里，而咸海地区哈萨克斯坦境内大约是 45 吨/平方公里。

在发生风沙盐尘暴-沙尘暴和地面干燥沉降过程中实地观测盐尘暴-沙尘暴风沙流剖面的基础上，做出了咸海风成沉积物搬运与沉降的模型（瑟门诺夫，1996 年），这些模型第一次证明了咸海地区评价盐尘暴-沙尘暴对于干燥堆积物形成过程所起的作用。

图 11(a)是咸海干涸海滩哈萨克斯坦境内出现的盐尘暴-沙尘暴细屑物质年平均堆积量分布图。图例为 1: 100 万，分成 20'x20'的矩形图。从矩形图的中心计算了五个沙尘源中每一个沙尘源干燥堆积物的数量，然后，计算了每个矩形图中干燥堆积物所有值的总数，这种计算是以咸海海面下降 15 米后形成风沙盐

尘暴-沙尘暴沙尘源的面积为基础的。根据图 11(a)，咸海东部沿岸地区每年风成搬运干燥沉降物大 3, 150 吨/平方公里。

离开盐尘暴-沙尘暴沙源搬运地点 120-140 公里以外地区，盐尘暴-沙尘暴风成搬运物质年平均沉降量减少 5 吨/平方公里。咸海北部地区，沉降量与阿姆河三角洲的盐尘暴-沙尘暴沉降量相同（每年每平方公里为 90-100 吨）。咸海地区哈萨克斯坦境内大部分地区，盐尘暴-沙尘暴发源地和就地对流引起的盐尘暴-沙尘暴两者的年平均沉降量，从每年每平方公里 50 吨到 145 吨不等（图 11(b)）。阿姆河三角洲地区的沉降量则有所增加，达到每年每平方公里 179 吨，随着干涸海滩面积的增加，对流过程引起的就地干燥沉降物沉降量随之增加。

图 11(c)反映了咸海干涸海滩出现的盐尘暴-沙尘暴的空间分布情况。图中数据是以假设盐尘暴-沙尘暴风成物中盐分含量为 3%为基础计算而来的。风尘物中盐分值是野外实际观测而估计的（瑟门诺夫，1998 年）。

承前所述，阿姆河三角洲沉降物中的盐分含量估计为 5-6%，而在接近盐土荒漠的地区高达 20-30%（拉扎廓夫和科斯纳扎罗夫，1996 年）。因此，咸海北部和东部沉降盐分体积要比阿姆河三角洲少的多，在咸海东部海岸沿线，每年每平方公里沉降的盐分为 1.5-3 吨，当然，每次强盐尘暴-沙尘暴的盐分沉降与平均数差距较大，有一点要考虑，咸海地区的盐尘暴-沙尘暴搬运过程已经持续了 30 多年，因此，这一地区的干旱生态系统明显受到上述沉降盐分总量的严重影响。

风尘物搬运的范围

根据卫片判读，咸海干涸海滩卷起的盐尘暴-沙尘暴尘埃搬运的范围在 300-500 公里（格理告耶夫和利帕拓夫，1974 年），但是，风沙盐尘暴-沙尘暴尘埃最终沉降的地点才是最为准确的范围。因此，评价盐尘暴-沙尘暴搬运最大距离时采用了简要办法（嘎拉耶娃，1998 年），在盐尘暴-沙尘暴发生时间，对风成物质搬运的轨迹长度进行测定。不同大小粒径轨迹的研究说明，尘埃搬运的范围取决于沙尘搬运高度以内风速与盐尘暴-沙尘暴持续的时间。16 微米大小的尘埃颗粒最大搬运距离可以达到 900-3, 200 公里，90 微米大小的颗粒最大搬运距离可达 170-1, 300 公里。

白色盐尘暴-沙尘暴造成的生态与社会恶果

盐尘暴-沙尘暴的吹扬、搬运、沉降是咸海地区目前正在发生的主要由于人为活动而产生的最为消极的一种现象，盐尘暴-沙尘暴不仅影响了气候和地表景观，也严重影响了人类经济活动的健康发展。

大气中的不断增加的风成物质成分，影响了大气的视觉特性和辐射特性，通过吸收直接的扩散辐射，大气中风成物质便引起盐尘暴-沙尘暴发生地大气升温。随着大气层上空辐射平衡的变化，风成物质将影响整个气候系统的热平衡，这些辐射干扰会引起大气的变化和地表气温的变化，并导致气候参数排列的变化。

盐尘暴-沙尘暴风成物质的构成，在减少大气透明度，减弱太阳辐射等方面起到了一定的作用，1970 年下半年，在乌斯秋尔特高原和咸海地区出现了最为强烈的太阳辐射减弱现象。随着大气中尘埃的增加，地面辐射变化导致了盐尘暴-沙尘暴地区气候陆性率的增加（姆尼诺夫和米娜嘎娃娃，1995 年；楚碧，1998 年）。

盐尘暴-沙尘暴沉降对于植物生产的影响，首先反映在环境参数的变化、大气透明度、辐射成分与热平衡之间的关系变化、耕作作物上部范围光合作用的减少以及植被覆盖辐射再分配、土壤盐分含量增加、盐尘-沙尘颗粒对植物叶面的直接影响等方面。

有人认为（乌斯马诺夫，1998 年），盐尘-沙尘着面的植物叶面蒸发强度白天下降 62-69%，植物下部那些盐尘-沙尘颗粒着面的植物叶面太阳辐射传输率下降 50-60%，叶面温度增加。盐尘暴-沙尘暴风成物导致棉花产量减少 5-15%，水稻产量下降 3-6%（拉扎廓夫和科斯纳扎罗夫，1996 年）。

由于干涸海滩裸露地面盐尘-沙尘风蚀和搬运，咸海比邻地区的土壤盐碱化迅速发展，随着该地区地表结构的明显变化（珀珀夫，1998 年），盐状地面面积在过去 30 年间增加了 5 倍，它的增加，就是这一生态脆弱地区耕地生产力下降、土地退化和荒漠化过程加剧的指标。

从 20 世纪 70 年代开始，草场植被持续衰退，复合式草牧场被单一草场替代，可口性较好的优良植被逐渐消失，并被那些可食性差的或者非可食性植物所替代。植被的退化导致了草场自然潜力的下降和新的风蚀沙尘源的形成。

咸海盆地风成物的典型特点就是水溶性盐含量较高，随着大气降水沉降的年沉降量为 150-300 公斤/公顷；1975 年大气降水中的盐含量为 30-100 毫克/公升；目前，已经增加到 100-150 毫克/公升；春季，降雨极易在地表形成盐结皮，不利于种子萌芽，并对输电线路造成损害。

土壤的过度盐碱化缩短了高压输电线路支撑设施的使用年限，最常见的现象就是，由于空气中含盐量较大，高压输电线路短线，甚至遭到破坏，使得维修经费增加。1981-1990 年期间，昆格勒铁路劳山-贝内段输电线路维修增加的额外经费高达 1,500 万美元，同一时期，由于断电造成的财产损失达 900 万美元；总之，由于生态原因引起的资本支出比原投资预算增加 2.8 倍（卡玛罗夫，1998 年）。

盐尘暴-沙尘暴搬运与沉降严重影响着环境质量，首当其冲的就是空气质量、地表与地下水包括饮用水质量、农牧产品质量。因此，当地人民的居住条件和健康越来越差，病毒性肝炎发病率上升，肠胃中毒死亡率上升，儿童受害最重。卡拉卡尔帕克斯坦自治共和国，年轻姑娘身体矮小，体能差，与乌兹别克和俄罗斯同龄姑娘比较，青春发育不良。咸海地区儿童器官形态特别，身材矮小、体轻、胸宽、骨盆窄小，咸海地区仅有 28.5% 的姑娘 17 岁时有体毛（卡玛罗夫，1998 年）。

污染的空气严重影响着人类的呼吸器官和心脑血管系统（拉京斯基，1994 年），据报道，人类肺脏的尺寸、气管和支气管都在发生着变化，咸海地区肿瘤发病率也非常高，包括食管癌、胃癌和肝癌。咸海海岸地带肿瘤发病率特别高，卡拉卡尔帕克斯坦的癌症发病率，每十万人中就有 70-80 例，在咸海沿岸地带超过 2-3 倍（拉京斯基，1994 年；谟尔皮内，1999 年）。

防止白色盐尘暴-沙尘暴的措施

过去 40 年来，咸海以及相关的问题吸引了世界广泛的关注。通过了治理该地区相关消极现象的提案和项目，1989 年，前苏联政府宣布咸海地区为生态灾难地区，为了解决咸海地区的社会、经济以及生态方面的问题，在已通过的法规中提出了行动方案。详细确定了“咸海保护与恢复、咸海地区卫生、医学、生物、社会经济状况常规化的概念”，在该文件中，重点强调，咸海以及咸海地区的问题与所有复杂的自然、生态、水资源、咸海盆地社会经济问题的解决方案有着密切的联系，不能分开独立进行研究，咸海海面的退缩与咸海地区的相关退化过程（盐尘暴-沙尘暴当属其中之一）都是整个咸海盆地水资源和土地资源利用不当引起的，也就是说，咸海盆地人为活动对景观的影响与其实际变化差别较大。

1991 年底苏联的解体以及不断恶化的资金短缺，使得这项计划未能按期实施，但是，为了有效解决咸海地区的生态和社会经济问题，独立后的中亚五国成立了一系列国际组织，如“营救咸海国际基金会”、“可持续发展国家间委员会”、以及“水资源国家间协调委员会”。中亚五国元首签署的 1993 年协议书、1994 年协议书、1997 年协议书、努库斯（1955 年）宣言、阿拉木图（1997 年）宣言、阿什哈巴德（1999 年）宣言对于咸海地区的发展具有重要的意义。

国际组织界定了筹资原则，制定了合理利用水资源的战略，建立了水资源管理以及水文气象服务的信息系统，根据“排水利用与耐盐作物培育”计划，制定了以下几个项目：“咸海干涸海滩模拟研究”、“耐盐-耐旱植物（盐生植物）种植实验示范”、“新的有效灌溉措施的引进”等。起初设想在穆伊纳克城周围干涸海滩沙地上营造 500 公顷的防护林带。通过了“咸海盐尘暴-沙尘暴监测”、“耐盐植物栽培”以及其他方案，水资源以及自然保护活动战略的目的不是为了恢复咸海原来的状态，而是为了建设咸海新的生态可持续性，使得咸海水位稳定保持在 38 米的正常状态。

除了多种目标的咸海盆地计划以外，在国际组织（联合国开发计划署、欧共体、联合国儿童基金会）的

保护下，实施了几个旨在建设供水系统、解决卫生和医药问题、增加就业的项目。

咸海危机持续了 30-40 年，需要较长的时间和大量的资金，采取适当的自然保护区措施，中亚国家目前甚至在未来很长一段时间都没有这种能力，因此，十分需要国际社会的捐助。

为了防止咸海干涸海滩盐尘物质-沙尘物质吹蚀搬运以及阿姆河与锡尔河三角洲地区盐尘暴-沙尘暴沉降，制定了一系列保护措施，包括营造“绿色保护带”，构筑浅洼低堤防护坝，生物措施改良 60 年代干涸的沙质土地，种植盐生植物等（图 12）。能够消耗 21-22 立方千米的水资源，方可建成以防治荒漠化与控制盐尘暴-沙尘暴、改变微气候、改善多样性、提供饲草料和薪材为重点的人工景观。

1981-1984 年实施了咸海干涸海滩南段的首次生物改造实验（考克莎洛娃和伊萨考夫，1994 年），人工造林试验选用了当地海岸沙带天然生长的高大灌木（咸海沿岸土著植物），共推荐了 70 个适合生物改造和人工造林的植物种（迪梅耶娃，1998 年），这种生物改造措施的生态评价和实施，可分两个方面进行，即，1）干涸海滩的生态系统；2）人口稠密聚集区的生态系统。

在原来的干涸海滩进行生物措施改良工程的主要目的是为了恢复当地的天然生植被，建立大规模造林的种质资源库，选择改造干涸海滩及其周边沙化土地较有前景的植物，强调以下特性，具有脱盐作用，固土固沙作用，四旁植树以防风、控制盐尘-沙尘搬运、固定流动沙丘等为主，推荐了一些人工造林和生物固沙的梭梭、杨柴等乔灌木种（*Haloxylon aphyllum*, *Atraphaxis spinosa*, *Ammodendron bifolium* 以及 *Calligonum aphyllum*）。

怪柳适宜在盐性土壤生长，1-2 年生幼苗效果最佳，村镇周围主要以白榆、柳树、沙枣（*Ulmus pumila*, *Acer negundo*, *Fraxinus excelsior*, *Salix alba*, *S. caspica*, *Elaeagnus oxycarpa*, *E. angustifolia*, 以及 *Lonicera tatarica*。）等乔灌木为主，这些植物耐高温、适宜轻度盐性土壤生长（迪梅耶娃，1998 年）。

学者推荐以下植物改良措施（库罗奇金娜和玛库贝考娃，1984 年）：

- 地下水位深度低于 2-4 米的地段，积沙垄间栽种梭梭，埋深 10-15 厘米，株距 0.7-1.2 米；
- 在地下水位不低于 3 米，盐分含量在 10-80 克/每升的沙质-盐土地面，栽种梭梭（*Haloxylon aphyllum*, *H. Persicum*）和其他沙生植物，如杨柴、沙打旺（*Calligonum*, *Astragalus*, *Ammodendron karelinii*）等；
- 在 20 世纪 60 年代干涸的咸海沿岸新月形沙丘飞播梭梭和沙生灌木；
- 以分散的梭梭沙堆为基础，恢复海岸沙地梭梭和蒿类群落；
- 深耕、铺沙、种植盐生-沙生植物，耕作干旱盐性土壤；
- 排水渠系种植盐生-沙生植物；
- 在绿洲内部建立人工 *Kochia*, *Agropyrum sibiricum* 及 *Eurotia ceratoides* 草场；
- 在沙子埋没的盐土荒漠实行秋季种植耐盐的盐生-旱生植物草场；
- 在沙丘上利用抗剥蚀保护措施，种植沙生-盐生中生植物；
- 利用咸海海水灌溉进行植物改良：在残留海滩种植沙枣、怪柳等植物。

在采取冬季补给锡尔河水量之后，小咸海的水位得以稳定。20 世纪 90 年代中期以来，科卡拉尔岛与咸海东岸之间形成了一个天然堤坝，结果，北边的小咸海和南边的大咸海出现了完全不同的地表景观。锡尔河流入小咸海，2010 年小咸海的年流入量将达 4-5 立方千米，其海平面将稳定在 42.9 米的海平面，水域面积达 3, 820 平方公里。1998 年 5 月，海平面曾达到 41.8 米，水域面积达 3, 700 平方公里（布勒凯尔等，1998 年）。因此，20 世纪 90 年代初期咸海的未来渺茫无望，那么今天我们可以谨慎的乐观态度关注小咸海的未来。

结论

中亚是全球盐尘暴-沙尘暴频发地区之一，由于自然因素和人为因素，沙质荒漠和盐土荒漠面积广大，咸海盆地不断加强的人为活动导致了咸海危机，结果，形成了强烈的风成过程，加剧了咸海干涸海滩盐尘暴-沙尘暴搬运的发生，也造成了盆地内大多数地区风沙盐尘暴-沙尘暴频繁发生。初步估计，咸海干涸海滩产生的盐尘暴-沙尘暴搬运物质年平均沉降量为 50 万吨至 2, 000-3, 000 万吨。盐尘暴-沙尘暴搬运

物沉降过程，在一定程度上取决于地形、大风强度、搬运距离等因素，三个主要地带经受着盐尘-沙尘搬运的影响，即，咸海海岸 0-100 公里以内的地带，100-300 公里以内的地带，300-500 公里以内的地带，0-100 公里以内距离的盐尘-沙尘搬运流量在 1.3-1.5 吨/公顷至 2.0-2.5 吨/公顷之间，第二地带内的盐尘-沙尘流量为 500-1,000 公斤/公顷，第三地带（咸海海岸以外 500 公里以远的地区）则沉降 100 公斤/公顷，第一地带内沉降物中盐分含量为 170-800 公斤/公顷。阿姆河三角洲灌溉地区，沉降物盐分含量则为 150-300 公斤/公顷。

气流中大量盐尘物质的搬运是咸海灾难中最为严重的负面影响之一，它严重影响着当地人口的生活环境和条件、生物多样性与环境的生物生产、农牧业生产。

咸海干涸海滩盐尘物质的搬运、盐尘质量与成分评估、搬运路径、沉降的地区及其对于沉降地区环境的影响、土壤与作物现状等。都是咸海地区最为重要且很少研究的问题。评价吹蚀和沉降盐尘-沙尘的明显差别，说明有必要开展更为细致的实验研究和理论研究。搞好咸海地区盐尘暴-沙尘暴监测系统，将是解决该地区问题的重要措施。

咸海的问题是地球上很独特的问题，它也是世界许多地区普遍发生荒漠化过程的一部分，因此，寻找解决咸海危机的措施具有全球意义。咸海盆地现有固定流沙和恢复植被的措施是否成功，取决于中亚五国协调自然资源利用方面经济政策的努力和合作是否成功，以及国际社会的实际支持。为了阻止咸海的进一步衰退，恢复荒地、弃耕以及停止干涸海滩疏松有害物质吹蚀，必须通过保障河流流域有足够的水流注入咸海。

参考文献

- Agarkova, A. P. 1972. Distribution and duration of the dust storms in Western and Southern Kazakhstan. *Trudi KazNIGMI*, 49:111-117 (in Russian)
- Babaev, A. G. and N. S. Orlovsky. 1981. Ecological types of the deserts of Central Asia and Kazakhstan, and perspectives of their development. In: *Actual problems of development and reformation of the deserts of USSR*, Ashgabat, Ylym, 8-37 (in Russian)
- Breckle, Z.-V., Agakhanyantz, O. E. and V. Wukherer. 1998. Modelling experience of the Aral crisis. *Problems of Desert Development*, 6:7-14
- Breckle, Z.-V., V. Wukherer, Agakhanyantz, O. E. and B. Gel'dyev. 2001. In: Z.-V. Breckle, M. Veste and V. Wukherer (Eds). *Sustainable land use in deserts*, Spriger-Verlag, Berlin, 27-37
- Chelpanova, O. M. 1963. Climate of the USSR. Central Asia. Leningrad, Hydrometeoizdat, 448 pp. (in Russian)
- Chernenko, I. M. 1986. Problems of the Aral Sea water and salt balance regulation. *Problems of Desert Development*, 1:3-11
- Chub, V. E. 1998. Estimation of aerosol influence on climatic characteristics of the Aral Sea basin. *Problems of Desert Development*, 3-4: 50-55
- Chetyrkin, V. M. 1960. Central Asia. Tashkent, SamGU, 240 pp. (in Russian)
- Dimeyeva L. 1998. Floristic and phytocenotic diversity of coastal ecosystems of the Aral Sea: present-day state and tendencies of change. In: *Sustainable use of natural resources in Central Asia*, Almaty, Tethys, 107-111
- Galaeva, O. S. 1998. About monitoring of carrying out of sandy salty aerosol from drained part of bottom of the Aral Sea. *Problems of Desert Development*, 3-4:17-21

- Galaeva, O. S. and O. E. Semenov. 1997. On monitoring of the blowout of the sandy salty aerosol from the dried bottom of the Aral Sea. *Hydrometeorology and ecology*, 2 (in Russian)
- Galaeva, O. S., Semenov, O. E. and A. P. Shapov. 1996. On peculiarities of the sand transportation in Aral region. *Hydrometeorology and ecology*, 4 (in Russian)
- Grigor'ev Al. A. and M. L. Djogova. 1992. Strong dust blowouts in Aral region in 1985-1990. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences*, 325(3): 672-675 (in Russian)
- Grigor'ev Al. A. and K. Y. Kondrat'ev. 1985. *Space earth science*. Moscow, Nauka, 160 pp. (in Russian)
- Grigor'ev Al. A. and V. B. Lipatov. 1974. Dust storms by data from satellite researches. Leningrad, Hydrometeoizdat, 11 pp. (in Russian)
- Grigor'ev Al. A. and V. B. Lipatov. 1979. Dust storms in the Aral region by satellite imagery. In: *Development and reformation of environment*. Leningrad, 93-99 (in Russian)
- Grigor'ev Al. A. and V. B. Lipatov. 1982. Dynamics and sources of the dust storms in the Aral region by space observations. *Proceedings of the Academy of Sciences of USSR, geography series*, 5: 93-98 (in Russian)
- Grigor'ev Al. A. and V. B. Lipatov. 1983. Distribution of the dust pollutions in the Aral region by space observations. *Proceedings of the Academy of Sciences of USSR, geography series*, 4: 73-77 (in Russian)
- Kamalov S. K. 1998. Processes of salt migration in Karakalpakstan. *Problems of Desert Development*, 3-4:25-30
- Koksharova N. E. and G. I. Isakov. 1984. Afforestation of the dried up bottom of the Aral Sea. *Problems of Desert Environment*, 4: 27-31
- Kravchenko I. V. 1959. Salt dust storms. *Nature*, 8: 89-92 (in Russian)
- Kurochkina L. Y. 1978. Psammophytic vegetation of the deserts of Kazakhstan. Alma-Ata, Nauka, 318 pp. (in Russian)
- Kurochkina L. Y. and Makulbekova G. B. 1984. Phytoamelioration of the drying coasts of the Aral Sea. *Problems of Desert Development*, 4: 27-31
- Lobova E. V. and A. V. Khabarov. 1977. Soil resources of the world, their use and conservation. In: *Arid soils, their genesis, geochemistry and utilization*. Moscow, 7-15 (in Russian)
- Motorin G. S. Peculiar dust storm. 1954. *Nature*, 11: 117-118 (in Russian)
- Muminov F. A. and S. I. Inagamova (Eds). 1995. Variability of the climate of Central Asia, Tashkent, 215 pp. (in Russian)
- Orlovsky N. S. 1962. Some data on dust storms in Turkmenistan. *Proceedings of the Ashgabat hydrometeorological observatory*, Ashgabat, 3: 17-42
- Pankova E. I., I. P. Aidarov, I. A. Yamnova, A. F. Novikova, and N. S. Blagovolin. 1996. Natural and human-induced salinization of soils in the Aral Sea Basin. Moscow, 187 pp. (in Russian)
- Popov V. A. 1998. The role of salt migration in the landscape genesis of the Priaral region. *Problems of Desert Development*, 3-4: 122-126
- Soils of the Kazakstan SSR. 1960-1971. Alma-Ata, Nauka, v.1-16 (in Russian)
- Radzinsky V. E. (Ed.) 1994. Mother's and children's health in the Turkmen part of Aral Region. Kiev, 164 pp.

(in Russian)

- Razakov R. M. and K. A. Kosnazarov. 1996. Dust and salt transfer from the exposed bed of the Aral Sea and measures to decrease its environmental impact. In: *The Aral Sea Basin*, NATO ASI series, Berlin, 12: 95-102
- Razakov, R. M. and K. A. Kosnazarov. 1998. Migration of salts and toxicants in the Aral Region. *Problems of Desert Development*, 3-4: 63-70
- Romanov, N. N. 1961. Dust storms in Central Asia. Tashkent, 198 pp. (in Russian)
- Rubanov, I. V., B. I. Pinkhasov and A. K. Kurbaniyazov. 1998. Processes of salinization in the aquatory of the Aral Sea. *Problems of Desert Development*, 3-4: 31-37
- Sapozhnikova, C. A. 1970. Schematic map of number of days with dust storms in the arid zone of the USSR and adjacent areas. *Proceedings of NIIAK*, 65: 61-67
- Sakharov, D. 1948. Salt transfer in Volga-Akhtuba region. *Soil Science*, 9: 576-577 (in Russian)
- Semenov, O. E. 1988. Estimation of the sand and salt transfer by wind from the exposed bottom of the Aral Sea. *Proceedings KazNIGMI*, 102: 43-57 (in Russian)
- Semenov, O. E. 1990. Estimation of the amount of the sand and salt transfer from the exposed bottom of the Aral Sea. In: *Hydrometeorological problems of Aral region*, Leningrad, Hydrometeoizdat, 200-215, (in Russian)
- Semenov, O. E. 1995. Estimation of the scale of the Aral aerosol transfer. *Hydrometeorology and ecology*. 1: 117-130 (in Russian)
- Semenov, O. E. 1996. Radiation balance model of the flat sources of the dust and estimation of the base dry deposits. *Hydrometeorology and ecology*. 2 (in Russian)
- Semenov, O. E. 1998. Deposit of the salt and dust aerosol on the surface of Aral region. *Problems of Desert Development*, 3-4: 37-44
- Semenov, O. E. and L. P. Tulina. 1978. Spatial and temporal distribution of dangerous and especially dangerous dust storms in Kazakhstan. *Proceedings of KazNIGMI*, 71: 62-77 (in Russian)
- Semenov, O. E. and L. P. Fedyushina. 1970. Climatic pre-conditions of deflation processes in Kazakhstan, *Proceedings of KazNIGMI*, 35: 41-51 (in Russian)
- Seredkina, A. E. 1960. Dust storms in Kazakhstan. *Proceedings of KazNIGMI*, 15: 54-59 (in Russian)
- Synoptic processes in Central Asia. 1957. Uzbek Academy of Sciences, Tashkent, 477 pp. (in Russian)
- Usmanov, V. O. 1998. Estimation of the influence of dusty salt transfer on the productivity of agricultural crops in the Priaral region. *Problems of Desert Development*, 3-4: 147-151
- Uteshev, A. S. and O. E. Semenov. 1967. Climate and wind erosion of the soils. Alma-Ata, Kainar, 72 pp. (in Russian)
- Zamorsky A. D. 1952. Deposition of the salty dust. *Meteorology and Hydrology*, 9:25-28 (in Russian)

图例说明

尼古拉 奥罗夫斯基教授

莉雅 奥罗夫斯基博士

中亚地区 60 年代的白色盐尘暴-沙尘暴

图 1: 中亚地区盐尘暴-沙尘暴分布

1— 永久雪线分界线; 年盐尘暴-沙尘暴发生日频率;

2— 1-10 天;

3— 10-20 天;

4— 20-30 天;

5— 大于 30 天;

6— 大于 40 天;

7— 大于 60 天 (萨珀芝尼廓娃, 1970 年)

图 2: 中亚地区 (1) 北部和 (2) 南部亚地带盐尘暴-沙尘暴发生的月频率 (%)。

图 3: 盐尘暴-沙尘暴发生的日频率变化

图 4: 盐尘暴-沙尘暴年变化。

图 5: 伏尔加流域盐尘暴-沙尘暴搬运图 (格理告耶夫和孔德拉特耶夫, 1985 年)。

图 6: 干燥地带 (1) 咸海海岸线以及水域面积 (2);

1- 水域面积 (平方公里);

2- 海岸线 (米);

3- 流量 (立方千米);

(2) (拉斯金等, 1993 年)。

图 7: 2000 年 5 月 5 日, 诺阿卫星照片上的咸海地区上空的沙尘暴 (由以色列本古李扬内盖夫大学布劳斯坦沙漠研究所遥感研究室地面接收站 (奥罗夫斯基与卡乃里) 观测)。

图 8: 1975-1981 年咸海地区沙尘暴搬运分布面积。

1- 沙尘暴污染地带 (电视卫星照片分辨)

1) 1975 年 5 月 22 日;

2) 1975 年 8 月 8 日;

3) 1976 年 8 月 12 日;

4) 1976 年 9 月 3 日;

5) 1979 年 5 月 6 日;

6) 1980 年 9 月 18 日;

7) 1979 年 8 月 15 日;

2- 沙尘暴搬运方向;

3- 海岸线;

4- 咸海裸露的海滩;

5- 沙尘暴沙源;

6- 来自一个地区的沙尘暴分布;

7- 大风玫瑰图;

8- 沙尘暴搬运方向频率玫瑰图 (格理告耶夫和利帕拓夫, 1983 年)。

图 9: 咸海地区裸露海滩年平均沙尘搬运方向

1- 大风吹蚀方向;

2- 输沙量 (公吨);

3- 裸露的干涸海滩（水文气象问题杂志，1990 年）。

图 10: 沙尘暴沙物质年平均搬运量 (1) 和搬运平均数 (2) (阿拉尔斯考伊(a) 和乌雅里气象站 (b)资料;

图 11: 沙尘暴-盐尘暴风成物沉降 (吨/平方公里/每年) 年平均体积。

(a) 咸海裸露海滩剥蚀过程;

(b) 盐尘屑与对流引起的沙尘颗粒;

(c) 盐物质风成物;

1- 咸海裸露干涸海滩;

2- 海岸线;

3- 干沉降物质等量线 (瑟门诺夫, 1998 年)

图 12: 治理咸海干涸海滩沙尘暴-盐尘暴搬运沙物质移动的措施 (拉扎廓夫和科斯纳扎罗夫, 1998 年)。

伊拉克的荒漠化和沙尘暴防治

法德黑尔 A.H. 阿尔法拉吉¹

提要: 伊拉克的荒漠化十分严重。主要表现为沙尘暴频繁发生、土壤盐碱化、洪涝灾害和草场严重退化。90 年代实施经济制裁以来, 问题更加严重。本文介绍了伊拉克以流沙固定为重点的荒漠化防治项目, 概述了防沙治沙的教训。特别强调了政策和社会经济诸领域的相关问题。

关键词: 薪炭林、盐碱化、洪涝灾害、沙丘固定, 人工造林、沙尘暴、基础设施、林业保护、防风林、绿洲开发、牧场、土地所有权、社会经济、参与方式、水源点、畜牧业

主要观点:

1. 分布在伊拉克荒漠化地区的人口主体是当地的农民和牧民。他们不合理的土地利用方式造成了荒漠化问题, 同时当地群众也遭受了荒漠化危害的影响。
2. 几十年以致几个世纪以来无节制地和不加选择的砍伐树木和以获取燃料为目的的灌木破坏是导致土地退化的主要原因。
3. 落后的土地和水资源管理措施, 以及严酷的气候因素致使伊拉克冲积平原上大面积的以沉积土为主的农田变成了现在的风成片沙和新近形成的低矮沙丘。
4. 流动沙丘的形成及其对大环境的逆向影响, 尤其是对排灌设施的破坏以及强沙尘暴发生频率的增加, 都是荒漠化最严重的、不可避免的表现形式。
5. 显而易见, 沙丘固定对改善当地居民生活有着显著影响。但是, 由于实行(采用)“自上而下”的操作方式, 缺乏基层参与, 项目的成果有可能不具备永续利用的优势。因为当地人民既没有介入这种固沙行动的计划, 也没有参与项目具体活动的实施。

1. 引言

落后的水土管理措施和恶劣的气候因素, 使伊拉克冲击平原上原来大面积的以淤积土为主的农地沦为现在覆盖着风成片沙和新近形成的低矮沙丘的荒漠景观。伊拉克的荒漠化问题日趋严重, 由于土壤盐碱化加重、洪涝灾害、植被破坏、沙丘移动以及严重的沙尘暴等荒漠化形式, 严重威胁着伊拉克的粮食安全。减少这一威胁就需要解决上述荒漠化问题。为了解决这些问题, 伊拉克已经开始了盐碱化治理、恢复天然植被和遏制沙丘蔓延以及减少沙尘暴发生频率与危害的工作, 启动了一些相关项目。

2. 地理位置和气候条件

伊拉克位于西亚东北部, 介于北纬 29.5°~36°19', 东经 38.45°~48.8°之间, 北与土耳其接壤, 东邻伊朗伊斯兰共和国, 西连叙利亚阿拉伯共和国, 南通沙特阿拉伯, 总土地面积 438, 416 平方公里。

¹ Dr Fadhil A. H. Al-Farajii, Ministry of Irrigation, Iraq



图 1 伊拉克及邻国位置以及伊拉克主要沙地分布图。

西部的沙漠占据了伊拉克大片土地面积，可以分为：

- (a) 东部和东北部的山区；
- (b) 东部的平原地区；
- (c) 西北部位于底格里斯河和幼发拉底河之间的杰济拉地区；
- (d) 东南部的沙漠区；
- (e) 横贯巴格达的底格里斯河流域和幼发拉底河流域的沉积平原；

2.1 气候

伊拉克的夏季是干旱炎热的大陆性气候，冬季气候湿润。气候特点是：

- (a) 气温高
- (b) 昼夜温差大，冬冷夏热，季节分明；
- (c) 夏季湿度相对低；
- (d) 由北向南降水变率大，北部达 1200mm，南部不足 100mm。穿越整个伊拉克，雨季可从 3 月一直到 11 月各不相同；
- (e) 日潜在蒸发量变化，冬季为 1.5mm，到夏季可达 9.0mm 的最大值。自由水表面的年蒸发总量在 2000mm 左右；
- (f) 全国大部分地区旱季盛行北风和西北风，风速可超过每小时 100 公里，足以引发尘暴。
- (g) 风速在 7 月的正午可达到最大，已测知的引起土壤和沉积颗粒运动的临界风速是 3 米/秒 (Dougrameji,1999)。

2.2 荒漠化成因

草场占伊拉克国土面积的 75%。多年来，由于不合理的利用方式，这些草场已经严重退化。不合理的土地利用方式表现包括：

- (a) 草场超载和过度放牧；
- (b) 草地农垦撂荒；
- (c) 滥砍乱伐乔灌木植被；

(d) 水源点分布不均及由其造成的水资源利用失衡。

海湾地区的武装冲突激化了这一问题，迫于经济制裁的压力和对粮食的基本需求，加大了对沙漠地区的农田开发，而这些沙漠地区几乎没有农田开发的基本条件。由于缺乏替代能源，砍伐树木是唯一的办法，无度的砍伐导致了土地退化和加剧了沙尘暴的频繁爆发。

3.伊拉克境内沙丘的分布

伊拉克的沙丘主要位于中部和南部地区，是频繁大风的产物。这一地区盛行北风和西北风。主要沙丘分布地区如图 1 所示。

大致分为三条沙带：

3.1 东部沙带 这条沙带的走向与南部的迈浩和哈姆伦山脉和伊拉克 - 伊朗边界的山脉平行。拜伊吉、艾特、米格达迪亚以及萨拉赫丁省、迪亚拉省、瓦西特省和米善省所辖的盖尔比、克拉特和泰伊泊，沙丘分布密度大且流动性强。

3.2 中部沙带 这条沙带起源于大穆斯哑哑泊，穿越巴比伦、瓦西特、卡迪西亚、济加尔和穆萨纳省的哈希米耶（Liashimya），沙米耶，努马尼耶，阿费克，费吉尔，纳绥尔和瓦卡阿市，直抵穆萨纳和济加尔省。

3.3 西部沙带 这条沙带从北部的 纳杰夫城到南部的巴士拉，沿着幼发拉底河西岸分布，涉及卡尔巴拉省、 纳杰夫省、穆萨纳省、 济加尔省和巴士拉。原来固定的沙丘活化且密集分布，特别是安巴尔省境内以西沙漠地区，沙丘高大且分布广泛。

沙丘沙物质组成从沙壤土到以细粒和中粒物质为主的沙物质（表 1）。经计算，沙地每年潜在土壤侵蚀量约为每公顷 125 吨。

表 1: 部分沙丘沙物质成分分析（组成物含量）

沙丘	沙 %	淤泥 %	粘土 %	盐分 dsm/m	Ca ₂ CO ₃ %	O.M. %	团聚体 >0.8mm
1*	17.0	56.0	27.0	31.0	25.0	0.6	77.0
2	28.0	48.0	24.0	4.0	27.0	0.5	48.0

*新近形成的低矮沙丘 冲积层地表的风成沉积物

4.工造林和荒漠化防治工程

伊拉克实施了多种固定沙丘的工程以减轻沙丘对灌渠、公路、铁路等基础设施的危害和减少沙尘暴的发生频率和危害程度。

图 2 沙埋公路造成严重危害



无疑遍布中部和南部地区的沙尘暴不仅污染了大气环境，而且严重影响着人民的健康、生存和农业的生产。沙尘暴还干扰了植物的生理功能，尤其是在开花和授粉期。沙尘起源于中部和南部的裸露沙地。近年来，沙尘暴的发生有增无减，年年增多。

流沙影响着基础设施，埋压灌渠、交通设施和道路等。危害形式包括：

城际公路：流沙阻碍交通，引发事故，增加养护费用，严重影响城际公路的畅通。这些沙物质来源于表土的风蚀，是超载放牧和过渡开垦引起的天然植被的退化造成的结果。公路受影响的路段包括：

- (a) 迪瓦尼耶--纳西里耶城公路 50 多公里的路段；
- (b) 纳西里耶城—巴士拉公路 30 多公里的路段（受到影响）；
- (c) 在拉马迪和叙利亚—伊拉克边界之间，即在距约旦和叙利亚 110—160 公里路段和 210—450 公里路段，20 多公里的路段。

公路干线及支线：一些路段受到沙丘前移的严重危害：

- (a) 塔拉穆地区纳西里亚至巴士拉公路；
- (b) 东阿里地区的库特—阿马拉公路；
- (c) 阿马迪—鲁特拜公路（旧路），100 公里至 140 公里界桩之间；
- (d) 法吉尔-拜德拉公路
- (e) 提克里特—图兹公路
- (f) 沙米耶—努马尼耶公路
- (g) 美摩娜-瑞菲公路

每年清理公路积沙达 180,000 立方米，这需要一笔数目可观的养护费用。

图 3 流沙埋压公路，增加了发生交通事故的危险，加大了道路维护费用。

铁路：盖亥沙亚和艾尔塔维车站之间的铁路系统受到移动沙丘的影响，部分铁轨被流沙掩埋，造成火车出轨和严重事故，导致火车停运。

灌溉工程：流沙影响了各种水利设施，例如填埋灌排渠道、降低输水效率和增加维护费用。在这些工程当中受影响最为严重的是在乌拜莱省的穆赛伊卜大工程及卡尔巴拉和萨达姆河的格马利亚工程。



图 4 流沙填埋排灌渠道和威胁其他重要基础设施

其他重要补充：一些位于沙丘附近的城镇、村庄和工程受到大面积片沙的严重影响。风力吹动下的流沙掩埋房屋，同时也给人类的健康带来了有害的影响。最严重的是在奈菲尔，阿发卡和纳西里耶城。同样，萨拉赫丁省的拜伊吉，辛亚和哈姆伦城也受到了严重的影响。



图 5. 风吹流沙埋没房屋和村庄

通过选用速生性和适应性强的树种，植物园、绿化带、防风林已在全国范围内建立起来。这些树种主要有：桉树、松树、木麻黄、怪柳和牧豆树等。

工程防护措施包括粘土覆盖流动沙丘，已有 25000 公顷河岸沙丘采用了这种措施控制流沙蔓延。推土机将一层厚度为 29 - 35 厘米的粘土覆盖在沙子的表面

工程鼓励建设天然植被，也采用补播措施。雨后，那些自然散落在土壤中的种子开始生长使沙丘固定效果更好。同时，也采用人工造林措施。例如：要全面保护萨达姆河需要建立一条宽 1 公里的由耐旱乔木和高营养价值的灌木组成的河岸绿化带。绿化带已栽植 600 万棵苗木，成活率达 90%。盖拉夫排水渠和萨达姆河之间栽植了防风林以减少当地风害的影响。

同样，为保护纳西里耶-巴士拉铁路线，建立了绿化带。加比西耶和艾尔塔维之间的流沙延伸 40 多公里，由于埋压铁路，导致这条通往巴什拉海港的重要

通道中断。为了固定流沙，在铁路两侧铺设了铁丝网沙障，有效地固定了流沙。同时，建立了绿化带，并配有 10 眼井保证灌水。

7. 问题和展望

海湾战争最直接的后果是造成了伊拉克南部大面积天然植被的破坏。经济制裁和当地人民的生活困难导致了防护林带和其他人工植被的全面丧失。由于赖以烹饪和供暖的能源设施的破坏，导致对乔灌木植被的砍伐，尤其是在冬季，樵柴问题更加严重。人们被迫大量砍伐用以保护环境的树木。土壤侵蚀随之而来，尘暴的发生更为频繁。对乔灌木植被的破坏致使土壤盐碱化，农作物产量下降，也为沙尘暴的发生提供了丰富的沙源。

由于经济制裁，农业生产资料供应缺乏，甚至连建设绿化带和防风林带所需容器育苗的塑料营养杯也十分缺乏，使荒漠化防治行动受到了极大的影响。

草原重建工程一直处于停滞阶段，大小绿洲几乎全部恶化。因此，随着水源点的减少，导致现有饮水点附近的牲畜更加集中，每个饮水点周围几公里范围内牲畜大量超载，畜产品产量下降。由于水井服务设备失修，加重了过牧问题。

造成这些问题的根本原因是由于经济制裁，修理水井和水泵的设备无法进口。

显而易见，沙丘固定的成果对改善当地居民生活有着不可估量的作用。但是由于实行“自上而下”的方式，缺乏基层的广泛参与，项目的成果可能不具可持续利用的优势。因为当地人民既没有介入这种固沙行动的计划，也没有参与项目具体活动的实施。尽管一片面积达 87,500 公顷的丘间荒地已经开发为农田，但其中只有大约 43,000 公顷的沙地按照年租的合同形式由投资者承租开发。

遗憾的是农牧民仍然将参加防治荒漠化工程视为直接受益的途径，例如收获农作物，用农作物秸秆饲养牲畜和储备薪柴，自身投入很小。这就需要在荒漠化防治的措施上从设计到实施都鼓励基层群众参与，还需要改革土地所有权制度，以保证对农牧民最大程度的公平。政府的条令法规严禁农民砍伐私有林木。而且还必须按照每公顷 4 棵树的要求栽植新的树苗，不允许牲畜进入林地。毁坏一棵还要罚款，但是，这些条令法规执行起来却难度很大。

8. 解决问题的办法

对于发展草原天然植被和固定沙丘，必须采取以下方法：

- 1) 禁止在干旱少雨地区开垦土地，尤其是北部和南部的沙漠地区。
- 2) 提高全民对荒漠化基本成因的意识，帮助他们解决遇到的问题。
- 3) 改革目前不合理的土地所有权体系，确保承租农民和联户承包者的利益，鼓励采用长期性的土地管理措施。
- 4) 在西部沙漠地区，扩大小型堤坝和水库的建设，以最大程度地利用降雨径流，分散牲畜引水和放牧压力。

5) 通过设置铁丝围栏、扩大抗旱乔灌种植面积, 充分利用雨水地表径流, 这些抗旱乔灌植物是建立天然植被, 减少风蚀和为牲畜提供饲料的基本途径。

6) 通过利用现有水井, 重新开发旧水井、弃用水井和开挖新水井, 充分利用地下水资源。

7) 组建专家队伍, 研究防沙治沙和沙尘暴对基础设施造成的危害。专家队伍应保证有必要的资金, 要有政府的授权, 能够协助政府发现问题, 并积极解决这些问题。

8) 建立农田防风林, 降低作物对水的需求, 减少大风对作物的危害。实践证明, 在农田防护林保护下, 农作物可以提高产量 25 - 30%, 最大效益则是改善环境。

9. 参考文献:

阿尔法拉吉, F.A.H. 1998. 伊拉克的荒漠化防治, 荒漠化治理报告 33 期 2-10 页

Al Janabi, K.Z. Ali, A.J., Al-Taie, A. 和 Jack, T.J. 1988. 伊拉克南部冲积平原沙丘的起源和特征 干旱区环境 期刊 14: 27 - 34

Dougramedji, J.S. 1999. 伊拉克早期冲积平原风成沉积物的运动, 荒漠化治理报告 35 期 45-49 页

Naqash, A.B. and Shaker, S.N. 1986. 早期美索布达米亚平原风成沉积的过程 水资源 期刊 5(1): 486-508

Salman, H.H. and Saadallah, A.S. 1986. 伊拉克中南部沙尘的沉降 水资源 期刊 5(1): 599-620

Al-Farrajii, F.A.H. 1998. Combating desertification in Iraq. *Desertification Control Bulletin* No.33 pp. 2-10

Al Janabi, K.Z. Ali, A.J., Al-Taie, A. and Jack, T.J. 1988. Origin and nature of sand dunes in the alluvial plains of southern Iraq. *J. Arid Environ.* 14: 27-34

Dougramedji, J.S. 1999. Aeolian sediment movements in the lower alluvial plain, Iraq,

Desertification Control Bulletin No. 35 pp. 45-49

Naqash, A.B. and Shaker, S.N. 1986. Aeolian sedimentation processes in lower Mesopotamian Plain *J. Water Res.* 5(1): 486-508

Salman, H.H. and Saadallah, A.S. 1986. Dust fallouts in central and southern Iraq. *J. Water.Res.* 5(1): 599-620

第9章

对河西走廊及阿拉善地区沙尘暴频发原因之思考

杨有林 卢琦

河西走廊位于甘肃省西北部，通常指乌鞘岭以西的广大地区，行政区划包括武威、张掖、酒泉三地区和金昌、嘉峪关两个地级市约 21 个县（市、区），总面积 21.5 万平方公里，约占甘肃全省面积的一半强。阿拉善高原主要指内蒙古自治区的阿拉善左旗、阿拉善右旗和额济纳旗。两区合计总面积约 48.5 万平方公里，人口约 370 万。两区现有可治理荒漠化土地 358.4 万公顷，其中流动沙丘 101.1 万公顷，半流动沙丘 100.6 万公顷，固定沙丘 119.1 万公顷，潜在荒漠化土地 37.6 万公顷。

1、曾经辉煌

这里曾留下过商贾云集之迹、崛起过繁华昌盛的城池和一度广袤丰美的牧场，也曾为“人民炽盛、牛马布野”的富庶之地。

丝绸之路——商贾云集的经贸通道

丝绸之路犹如一座历史丰碑，不仅为丝织品为主要贸易内容的中国和西方各国间的经济交流建立过辉煌功绩，而且还成为中西方人民交流思想、文化的“宗教之路”、“文化之路”和“友谊之路”。武威史称“为河西都会，襟带西蕃、葱右诸国，商旅往来，无有停绝”，敦煌为“华戎所交一大都会”。汉代先后在河西走廊设置武威、张掖、酒泉、敦煌四郡，唐朝置州称凉州、甘州、肃州和沙州。使河西走廊成为丝绸之路上的咽喉要塞之地，并把长城由敦煌向西延伸，从此玉门关和阳关便成了丝绸之路上的两个重要关隘。“七里十万家”的繁荣规模足以反映丝绸之路在唐朝的辉煌历史和土沃物繁的景象。

河西走廊——林桑翳野的富庶城池

班固在《汉书·地理志》中写道：“自武威以西……地广人稀，水草宜畜牧，故凉州之畜为天下饶”；《西河旧事》记载“焉支山，东西百余里，南北二十里，亦有松柏五木，其水草美茂，宜畜牧”等，佐证了河西走廊当时自然环境的优越。河西走廊几百年前曾为耕地与城廓，如民勤城以西的流沙地，昔日都是“土沃泽饶，水草肥美”的古终端湖绿洲盆地，也曾是新石器晚期至秦汉时代沙井文化的发源地。汉代最早建置的武威县，后魏的

武安郡及所属宣威县故址。明代初叶，建筑于农牧区与荒漠区分界的明长城和城垣式的塞堡（今沙山堡），长城以内属农垦区，而到清代早期，此长城以内，却变成荒漠化土地。西汉时张掖郡设置于水草繁茂的乐得城，至后汉时期，因黑河水改道、战争等原因，加速了乐得城绿洲的荒漠化过程，至晋代不得不迁址于永平城（今张掖城）。

居延粮仓——描绘不尽的绿色辉煌

阿拉善地区西部的居延黑城地区，历史上曾孕育了居延汉唐、西夏及元代文明，17 世纪中叶，闻名中外的蒙古土尔扈特部落从伏尔加河畔回归祖国来此定居，成为蒙古族同胞耕牧生息之地。古人笔下曾有过“湍湔不息”的居延海记载。三角洲上迄今还保存着荒村颓垣、耕稼之迹、渠道残垣、耕地田埂、烽燧等遗迹。古代居延，曾经是林茂草壮、农牧兼宜的千里沃原。汉代以后曾在这里驻兵屯垦，享有“居延大粮仓”的盛名。13 世纪初，这里也留下有意大利著名旅行家马可波罗的足迹。故居延城遗址出土的汉简文物，更是充分佐证了古代居延绿洲那描绘不尽的绿色辉煌。

2、明代对河西走廊的开发

河西走廊地处中国西北部，是古代丝绸之路的咽喉要道，在政治、军事、经济、民族融合、中西文化交流等方面具有重要地位，向来为兵家必争之地。明代在汉、唐经营的基础上，对河西走廊进行了全方位的开发。

农田 为了防止蒙古贵族的南侵和确保丝路贡使贸易的顺利进行，明朝在河西走廊布置兵力约十万人左右。为了减轻对外地运粮的过分依赖，明朝规定军士“三分守城，七分屯种”，争取做到军粮自给。于是，军屯和民屯共同构成了河西走廊屯田的主体。为了维持河西走廊农业的持续发展，明代常常运用国库银两，无偿地提供耕牛、农具、籽种等生产资料。如嘉靖七年（1528 年），户部“动支官银一万两，委官收买牛只种粮，制造犁铧，审勘贫丁无力者，人给牝牡各一头，犁铧各一张，种粮五石”（《明世宗实录》卷 85）。同时，为了劝民屯田，推行“量地力而区别征科”的低税政策。因为河西走廊土质差别极大，有“膏腴”、“瘠薄”之分，有“远避”、“沙硷”之别，故必须因地制宜，制定不同的地税。官府规定，凡膏腴之田，一般每亩纳粮三斗六升左右，比其它地区每亩一石或五、六斗都要低。瘠薄之地的税粮则更低。为了鼓励军民开垦荒地，规定新垦土地“永不起科”。对于商人捐资开垦的荒地，即商屯，待其三年成熟后，只征收“十之一二”。对于弃耕之地，则招募他人垦殖，三年后征税。除此而外，还制定了相应的奖惩措施。凡“父子兄弟相率力田者”，“动支官钱，

买办羊酒花红犒赏”；而对“惰农自安者，各举数人，量加惩治，以警其余”（《重刊甘镇志·岁计志》）。以上措施大大地刺激了人们的积极性，使河西走廊的土地得到了最大限度的开发。

水利 为了确保河西走廊的丰产，明朝十分重视水利工程的修建。河西走廊的水资源是比较丰富的，“大渠凡数百，而支流不下千计”。朱元璋称帝后，就派朝臣分巡河西走廊，督修水利。到了嘉靖时期，水利兴建进入了高潮。如千户曹斌在肃州修筑了一条宽一丈、深三尺五寸、长六十余里的黄草坝渠；副使陈其学派军士修筑了一条长一百余里的肃州红水坝，修成后，周围土地的亩产量显著提高，“比近城更丰稔，力耕者益众”（《重修肃州新志》）；巡抚甘肃杨博开凿了龙首渠，使“荒田尽为沃壤”。经过明朝持续的整修，河西走廊出现了许多渠坝。如甘州有阳化西渠、大慕化西渠、鸣沙渠、红崖头二坝等八十处渠坝，山丹有洪水河坝渠、大黄山坝等十五处渠坝，高台有纳凌渠、七坝渠等二十一处渠坝。这些渠坝浇灌着成千上万顷土地，如虎刺子孩东渠的灌溉能力为一百顷二十七亩，小满渠为三百五十顷，沙子渠为五百八十二顷二十七亩，大满渠则高达八百四十九顷七十一亩之多。河西走廊的膏腴之地往往是与这些大大小小的渠坝联系在一起的。

畜牧业 明代河西走廊以牧养马、羊、牛、驼为主，其中养马是重中之重，因为它与明代的国防安全密切相连。养马事宜由甘肃苑马寺负责，在“水草丰处创建马厂”，设祁连监、武威监、安定监等六监，每监下辖四苑，如武威监有和西、大川、宁番、洪水等四苑。“春月草长，纵马于苑。迨冬草枯，则收饲之。”（《明太宗实录》卷 59）为了保证马匹的生殖繁衍，明代规定，凡西域贡使互市之马，由甘肃苑马寺全部收购，或购买一半，但牝马全由甘肃苑马寺收购。除苑马寺集中牧养之外，明代还根据河西走廊土旷人稀的情况，对偏僻之地的军士每人给马一匹，令其用心饲养。凡不用心养马而造成“倒失”者，则令饲养者赔偿。这种分散各地、责任到人的养马之法，是苑马寺养马的补充。河西走廊作为明代最重要的养马基地，不仅牧养了大量的战马，满足了明代马匹的很大一部分需要，而且为河西的土地开发和农业经济的发展提供了源源不断的畜力。

交通 为了便于物资的运送和兵力的调遣以及确保西域贡道的畅通，明朝对河西走廊的交通异常关注。从兰州到嘉峪关的狭长地带中，每隔四、五十里就有一个驿站，它们一方面将河西走廊各重镇紧密地连结在一起，形成了一个有机的整体；另一方面也强化了河西走廊与内地的联系。河西走廊是明代两百多年西域使臣朝贡的唯一的法定路线，这给河西走廊带来了独具特色的商业景观。当时，有 90% 的入关贡使留居河西走廊，只有 10%

的贡使才允许通过驿站前往北京。留居的贡使一般要呆三年左右，等前往北京的代表返回后，再一道出关回国。如果要求延住，也能得到批准。他们携带的贡物除一部分贡献皇帝外，其余的都在河西走廊进行。法国学者阿里·玛扎海里在其所著《丝绸之路》一书中写道：使团“90%的人要滞留在明王朝的门户甘州，在那里从事广泛的商业贸易。这样既有利于‘西方人’，也有益于明王朝的臣民。”

总体而言，明朝通过对河西走廊的开发，确保了当地军民生活的稳定、丝路贸易的顺利、各民族间的融合以及边疆的安全。

3、现实写照

沙尘暴迭起——风沙灾害频度加快，强度增加、周期缩短、范围扩大。造成重大经济损失的特大沙尘暴，六十年代发生 8 次，七十年代发生 13 次，八十年代发生 14 次，进入九十年代已发生了 23 次；几乎年年有暴甚至一年几次。1993、94、95、96、98 年五次特大风沙尘暴，阿拉善地区是主要沙尘源区，给内蒙古的阿拉善、甘肃的河西走廊、宁夏的银川平原、内蒙古河套平原造成了巨大的经济损失和人员伤亡，直接与间接经济损失达 15 亿元以上。1993 年 5 月 5 日的特大风沙尘暴，在河西走廊自西北向东南以每小时 50-60 公里的速度前移，覆盖范围遍及河西走廊中东部、内蒙古阿拉善盟及宁夏部分地区。仅河西一个地区，直接经济损失达 2.56 亿元，受灾农田 250 多万亩，损失林木 4 万多株，牲畜 66685 头(只)，毁坏塑料大棚近 40 万亩，278 人受伤，49 人死亡，4 人失踪。风沙尘暴引起流沙搬移堆积，掩埋铁路，造成客货车迟发、晚点和停运 42 列，损失 1000 万元以上。1998 年 4 月 15-16 日，一场强沙尘暴席卷了包括北京在内的大半个中国，大有跨过长江之势。浮尘与泥雨齐下，造成机场关闭、交通通讯中断，来势之猛、范围之大，为历史上所罕见。今年 4 月 4 号，又一场强沙尘暴席卷了北方大部分省区，降尘再次光顾北京。照此下去，百年之后的北京就不是风沙逼近北京城的问题了，可能会被风沙包围（据说离市区最近的沙漠仅 70 公里），甚至形成“穷荒绝漠鸟不飞，万碛千山梦犹懒”的大漠仙境。

地表水骤减——本世纪 50 年代以来，由于石羊河流域人口的不断增加和工农业生产的发展，水资源供需矛盾日益突出，特别是上下游水资源的分配矛盾更显突出。以地处石羊河下游的民勤县为例，石羊河补给民勤地区的地表水径流量 50 年代为 5.8 亿立方米、60 年代为 4.46 亿立方米、70 年代 2.70 亿立方米、80 年代 2.0 亿立方米，到 90 年代中后期，仅剩 1.3~1.5 亿立方米，为满足农业灌溉用水需要，70 年代初不得不大规模开采地下水。这种水资源的不合理利用，直接导致了该县绿洲边缘地区的现代荒漠化过程进一步加剧。

地下水下降——地表水供给的减少，导致了地下水的过度开采。以民勤为例，70 年代 2.60 亿立方米、80 年代 3.45 亿立方米，90 年代超过 5.0 亿立方米；相应的地下水位由 60 年代 2 米、80 年代 9.4 米到 90 年代的 10 米以上，年均下降 0.6 米。60 年代初期，农用水井一般为 10 米深的浅井，水深约 1.5~3.0 米，绿洲边缘水位在 1.5~2.0 米，挖坑即可取水；70 年代中期，农用水井采用大口井（俗称锅锥井），水井口约 1.5~2.0 米，井深 30~40 米，水位 5.0~6.0 米；80 年代中期开始，井型基本变为管井，深度 80~120 米。从民勤绿洲水井变化大体反映了地下水位变化状况。

居延海干涸——这里的年降雨量只有 37-100 毫米，而蒸发量却高达 3700 毫米。近 10 年来，进入额济纳旗的黑河水量由 8 亿立方减至 3 亿立方，到 1992 年只有 1.83 亿立方。河流断流期从 50-60 年代的不足 100 天延长到 90 年代的 200 天左右，黑河干流进入额济纳旗的水量减少 49%，额济纳旗绿洲面积缩小 30%左右。50 年代末仍有 300 多平方公里的居延海目前已只剩下一个干涸的海底，并开始发生风蚀，出现零星雅丹风蚀地貌。今日居延海，鱼骨铺满地，海底变通途。成为楼兰第二已经指日可待！

4、追根求源

干旱缺水，用水失控——石羊河、黑河流域上游大量用水，致使下游生态环境严重恶化。国家确定河西地区为商品粮基地，河西也确实为国家生产和提供了大量的粮食来源。这些成就固然重大且为国家解决了数字可观的粮食供应，然而，这些都是在牺牲了黑河下游地区整个生态环境作为代价所取得的贡献和成就。让我们看看该地区主要流域下游的荒漠化现状，不难看出由此产生的不良后果。下游灌溉面积减少 30 万亩，全年耗水资源 80 亿立方，已超过河西 73 亿立方的总水量。甘肃河西走廊的黑河流域大小水库和湖泊年蒸发水量计 7.2 亿立方米，约占流域水资源 20%。因此，提高平原水库的有效利用率，加强干旱半干旱地区水面蒸发及其抑制，节约无效损失的水量等尚有很大潜力。

水资源保护政策和用水价格不合理，也是用水失控的主要原因。目前，在河西地区的现状是“中下游开发灌溉受益，上游水源保护受穷受苦”，水资源保护得不到补偿，严重影响整体规划的实施；另外，水价的计费方式、收取方式和计费标准均存在一些值得改进的地方，也给综合治理带来了负面影响。

设施老化，浪费严重——河西走廊现有水库 141 座，总库容 11.28 亿立方米，可控制径流量为河川径流总量的 16%左右，但大量的平原水库渗漏和蒸发严重，供水量不及库容的 1/3。整个西北干旱内陆河地区的水资源总量约 1000 亿立方米，现状引水量约 480.3 亿立方米，净

利用量 161 亿立方米，水资源总量利用率只有 18.1%。从下面一组数据的对比，可以对我国河西乃至整个干旱区的水资源利用率水平窥视一斑。河西地区的石羊河流域单方水产粮为 0.44 公斤，黑河流域为 0.25 公斤，疏勒河只有 0.17 公斤；而类似地区的研究结果显示：小麦 1.43 公斤/立方米，玉米 1.67 公斤/立方米，棉花(皮棉) 0.75 公斤/立方米，油菜 0.56 公斤/立方米，大豆 0.5 公斤/立方米。这也正是该地区开发潜力之所在。

过度开垦，植被退化——民勤县由于过度开采地下水，大面积的天然植被枯萎，人口压力与耕地面积不足，始终是一对突出的矛盾。同时，落后的生产方式与近期利益的驱动，导致这里的荒漠化过程急剧发展。从土地使用者的角度看，地权不定，利益脱钩，责权不清，人心不稳，当年种地，当年收益。这种状况迫使人们只顾眼前利益，而忽视长远利益。一切开发活动的直接后果就是大量破坏植被，地面失去有效保护，表土大量遭受风蚀，使地力退化，为荒漠化的发生产生了潜在危险。何况“民以食为天”，不垦难吃饭。越穷越垦，越垦越穷的恶性循环一时半会难以遏止。

石羊河、黑河上游地区，自 50 年代以来，新开发农田面积翻了一翻。民勤的绿洲面积缩小了 1/3，现有绿洲面积仅占全县总面积的 6%，其它 94%的国土被不同类型的荒漠化土地所覆盖。敦煌、安西、酒泉等地乱采滥挖中药材，导致脆弱的地表植被，严重破坏，很多地方出现繁星般的沙窝、沙坑，使本来就十分稀疏的地表植被“斩草除根”。景泰、古浪的过度放牧问题引起严重的草场退化，目前如果不采取人工措施加以恢复，这一地区的荒漠化过程将更加严重，由贫穷-扩大畜群-退化-再增加载畜量-再退化而导致的恶性循环周而复始，越穷越牧，越牧越穷。

阿拉善全区退化草场面积达 334 万公顷以上，占可利用草场的 34%，其中 60%属于严重退化草场，可食牧草由 130 多种减到 20 多种，草场的产草量、载畜量分别下降 43%和 46%，家畜个体平均体重下降 50%。50 年代横贯阿拉善高原的 113.3 万公顷天然梭梭林，目前仅残存 53 万公顷，黑河下游有 7.26 万公顷荒漠河岸林，现正以每年 2600 公顷的速度消减。与 50 年代相比，胡杨、沙枣林已减少 54.6%，红柳减少 33%，残存林病虫害猖獗，每年重灾面积都在 4 万公顷以上；近 10 多年，阿拉善地区荒漠化面积平均每年增加 1000 平方公里以上，净增 11800 平方公里，荒漠化土地面积已占可利用土地面积的 90%以上。

投资不足，措施乏力——防治荒漠化是一项长期的艰巨任务，要有连续性和持久性。现行的奖励惩罚制度不够得力，对于大多数地方领导来说，只求为官一任，以解决衣食为己任，没有树立大环境和可持续发展的战略思想；只能是小打小闹，这也是为什么年年治沙，年年有新沙，人进沙退很有局限性，沙进人退虽已初步消失，但荒漠化“局部得到治理，总

体仍在继续扩大”的事实依然存在。

河西地区自然条件严酷，荒漠化治理工作干了几十年，年年治沙，年年又造沙，一边在脱贫扶贫，一边又在破坏生存环境。究其原因，无非是这些地区属于老少边穷地区，属于吃饭财政，地方财力极为有限，近期很难拿出足够资金，用于防治荒漠化，更谈不上建立长远的治理目标；地方配套资金不到位，对科技成果、高新技术的引进力不从心。防沙治沙和防治荒漠化的工作已经干了几十年，但仍停留在传统的落后水平上，如大水漫灌，而对高效节水措施虽有一定认识，但苦于地方财政“囊中羞涩”，只能搞点小试验，小示范，大规模推广尚有待时日。因此说，节水措施的大范围引进推广之时，就是河西荒漠化得到根本治理之日。

5、再造辉煌

优势与潜力——随着欧亚大陆桥的开通和国家开发重点的逐步西移，为河西区域经济发展带来了难得的机遇和条件，重新配置资源、缓解工农业及上下游用水矛盾、从根本上解决下游生态危机问题，已成为世纪之交河西及阿拉善地区的当务之急。

1)区位优势明显。国家开发重点逐步西移，欧亚大陆桥提升了河西的区位，传统绿洲农业发达，旅游资源举世少见，象大漠、冰川、绿洲、雅丹，古丝绸、今航天，敦煌历史更璀璨。

2)水土资源承载力有潜可挖。水资源总量为 73.45 亿立方米(地表水 68.5+地下水 4.95)，人均占有量 11590 立方米，亩均占有量 685 立方米。经测算，理论上 2000 年可承载人口 967.3 万(温饱型)、630.3 万(小康型)、355 万(科学营养型)，极限则为 464.2 万(小康型)和 246.1 万(科学营养型)；人口预测为 2000 年 461.4 万，2050 年及以后稳定在 672.14 万，若没有强有力的人口控制政策，只能达到小康偏下水平。

3)技术进步将提升资源承载量。目前，河西走廊水资源净利用量仅占总量的 32%，且利用部分多数仍然是传统的漫灌和串灌方式(480~500 和 600~800 立方米/亩)，水资源浪费十分严重，潜力也十分明显。经测算，采用高效节水措施后，仅改漫灌为喷灌或滴灌一项，就可节约用水 18~20 亿立方米，增加灌溉农田面积是目前的 4~6 倍。有望用甘肃全省 20% 的耕地，生产 40% 的粮食和 80% 的商品粮，养活甘肃 1/4 的人口。

目标与途径——按照“北阻风沙、南涵水源、中兴农业、全面致富”的整体构思，在河西走廊北部和阿拉善高原西部一线，建立骨干防风固沙林带，阻止和遏制巴丹吉林沙漠的侵袭；中部启动以“两高一优”为目标的阳光农业工程，建成河西商品粮基地；南部以

“保护、维护、管护”祁连山水源涵养林为优先，保障河西走廊及下游地区的总体水量需求，带动整个河西走廊的经济发展，实现共同富裕。

以绿洲为中心构建三位一体的综合、多效的防护体系，包括绿洲内部防护林网，沙丘前移入侵范围内的绿洲边缘乔灌结合防沙林带和沙丘地段的丘间片林，沙丘表面设置沙障，障内栽植固沙植物相结合的措施，同时，保护现有植被，合理利用水资源。具体措施包括大型骨干防风固沙林带工程；高效节水农业开发工程和水源涵养林保育工程等。

1) 北锁黄龙——绿洲边缘流沙综合防治 河西地区绿洲北面濒临巴丹吉林、腾格里沙漠和河西沙地，常有风沙危害。因此，应本着因地制宜、因害设防的原则，在沙漠前缘营造绿洲边缘防沙林体系，以控制和固定沙源，阻隔和分散风沙源。绿带的建设形式有二种：a.在原有绿洲外围，向沙漠方向逐渐深入，扩大绿洲范围，一方面利用新建的引水渠系营造防沙护田林，保护绿洲免受风沙危害，同时也增加农田面积；b.在绿洲与沙漠、戈壁接壤地带，建立包括前缘封沙育草保护带、防风阻沙、固沙林带及农林牧综合利用区的防护体系。以临泽县北部地区沙荒地开发样板区效果尤为显著。

2) 中保绿洲——绿洲内护田林网建设 在干旱荒漠地带建设绿洲，一般多采用窄林带小林网的形式。护田林一般多沿水渠或道路，采用二林夹一渠的形式。林型目前正由生态型向生态经济型发展。林带结构方面，以疏透结构和通风结构为主。至于绿洲内部的零星沙丘，针对沙源大部来自沙质干河床和绿洲中固定沙丘破坏植被以后所形成流沙再起的特点，往往采用就地取材，利用粘土埋压沙丘或设置粘土沙障。障内栽种梭梭等固沙植物，以达到固定流沙的目的。此外，在新绿洲耕地采用适当农业耕作技术，如翻土改沙、合理选择和配置作物，避开风季种植等，可防止风蚀沙割危害。民勤县是该方面整治的典范。

3) 南护青龙——祁连山水源涵养林保育 没有山区的水源与水源涵养林，就没有荒漠的绿洲。河西地区祁连山森林原为甘肃十大林区之一。由于种种原因，遭受破坏。国家天然林保护工程已将其划为水源林保护区进行保育。在祁连山 3300 米以上，目前应采取严格封山育林措施，严禁一切生产活动和人类活动，类似于自然保护区的核心区；在 2600~3300 米之间，以造为主，封造结合，维护和抚育现有林地，以恢复山地涵养水源林的面积与作用；在 2600 米以下且坡度在 25-45 度之间的坡地，坚决推行退耕还林还牧，杜绝开一片、荒一片、退化一片的恶性循环。

4) 沙区资源开发利用 沙区资源主要系指在沙漠地区运用高新技术，使生物利用太阳能能为人类创造更多财富的一项新兴产业。目前在张掖、武威沙区发展塑棚、滴灌、无土栽培等一系列设施农业，被誉为“中国西北部经济发展的新曙光”。探索一条智能型的沙区

产业开发之路是当务之急。目前沙区产业开发还处在起步阶段，其技术体系大体包括：（1）温室技术及优化。利用管道浸润、滴灌、无土栽培、大棚内薄膜覆盖，以及通风增湿，使植物生产连续在室内进行，不受天然降水限制，从而最有效地、最节约地利用水资源。同时，进而发展到温棚工厂化养畜，大大提高效益。（2）微藻培育生产技术。微藻是一种具有利用无机形式的碳和碳水化合物合成高品质蛋白质的能力的藻类。它是一种十分卓越的太阳能转化器，用管道连续生产，为保证全天候生产提供人工光源，建立气流电站等等。应用透光的树脂塑料或玻璃，把大部分的太阳辐射保存在隧道中避免与大气交换而散失。（3）节水灌溉技术。干旱缺水是沙区经济发展的主要限制因子，必须走节水的路子，大力平整地，改大块灌溉为小块，推广低压管道、滴灌、渗灌等多项节水技术，投资少、见效快，易推广。同时，调整农业内部结构，发展设施农业、节水农业和精确农业。

措施与保障——我国荒漠化的局势不容忽视，荒漠化引起的灾害应和其他灾害一样受到同等重视，必须将其与其他诸如森林火灾、地震、洪水等一样，给予高度重视。荒漠化和其他自然灾害一样，直接动摇人类社会经济发展的基础，其影响和危害的深远性在于它所摧毁的是人类赖以生存的土地和环境。

1) 加大投入和优惠政策。河西走廊地区，尤其是阿拉善高原地区，地方财政困难，群众生活贫困。防治荒漠化是一项需要巨大资金和几代甚至几十代人顽强努力方能见效的功德工程。急需加大防治荒漠化的投入力度。国家中央财政现在每年安排的防沙治沙和防治荒漠化基本建设资金太少，治沙贴息贷款到位晚且真正用于防沙治沙和防治荒漠化工程方面的太少。建议国家中央财政每年新增一些防治荒漠化的投入。同时，国家在荒漠化地区安排的扶贫开发、农业综合开发、农业发展项目、粮食基地建设、以工代赈、水利建设维护、农田小水利和草原建设等项资金，都应拿出一定的份额，统筹用于防治荒漠化。国家对荒漠化地区治理重点是增强当地自我发展能力。地方各级政府也要加大防治荒漠化投入，仅靠国家中央财政安排是远远不够的，也是不现实的。增加防治荒漠化工作的投入力度，需要调动中央各部门和地方两个积极性。

2) 科技进步和能力建设。充分利用现有防沙治沙、节水灌溉、控制盐渍化、干旱土地管理等方面的成功经验。通过建立土地开发和其他资源利用优化模式，探索资源利用途径。多形式、多层次、多渠道培养农牧民特别是妇女技术人员，扶持治理开发的带头人、示范户和样板村。加大现有防治荒漠化适用技术和科技开发模式的推广力度。

3) 社会参与，全民行动。荒漠化治理之后受益地区的机关、企事业单位、城镇居民、农牧民群众，都应在防治荒漠化工程中承担相应的责任与义务。要结合当地的实际情况和

防治荒漠化任务，按有关规定建立义务工、积累工制度。在荒漠化防治区域内，治理者优先享受合理开发利用的权利。鼓励国家、集体、社会团体、个人，特别是妇女进入荒漠化地区承包治理和合理开发资源，相关政策 50 年不变。允许继承和依法有偿转让。允许跨县、跨社区承包开发，调动各行业和广大群众投入治理开发的积极性和责任性。

4) 部门联合，行业协作。任何部门和行业的可持续发展，都离不开区域的可持续发展。一个部门、一个行业的可持续发展，如果不放在整个国家或区域的整体发展框架之内去考虑，最终将走上一条孤立无助的短期发展的死胡同。河西走廊环境变迁的事实足以说明，这里一直在走单一的行业可持续发展之路，而忽视了整个区域的可持续发展。河西走廊和阿拉善地区，问题在水，出路在水，前景还在水。因此各部门、各行业的发展必须在水字上做文章，避免“上游大水灌，中游小水灌，下游无水灌”的悲剧重现。要以水定粮，以水定畜，以水定林；统筹规划，合理分配，把一个绿意浓烈、生机盎然的新河西带入 21 世纪。

照片：

- 1、河西地区重盐碱及其地治理过程
- 2、地下水位下降导致梭梭大面积枯死
- 3、阿拉善胡杨林因黑河断流而濒临灭绝
- 4、重建民勤绿洲 再造河西辉煌

参考文献

- 卢琦主编，2000. 中国沙情. 北京：开明出版社
- 田澍，2000. 明代对河西走廊的开发. 光明日报，4 月 21 日
- 王炳华，2000. 楼兰考古百年（上、下）. 光明日报，4 月 14 日、21 日
- 肖洪浪主编，2000. 中国沙情. 北京：开明出版社
- 杨有林、卢琦，1999. 昔日之辉煌掩不住今日之苍凉. 中国绿色时报，6 月 18 日

中国西北地区5·5特大沙尘暴实例分析

杨根生 肖洪浪 拓万全

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所)

1993年5月5日,中国西北地区发生了有史以来罕见的特大沙尘暴(亦称黑风暴)。其来势凶猛恐怖,破坏力极大,损失十分惨重,使人民的生命财产蒙受巨大损失,引起了社会各界的高度关注。本文详述了1993年5月5日沙尘暴(以下简称5·5沙尘暴)发生的时间、地点和表现特征;沙尘暴危害及经济损失评估;沙尘暴成因及过程分析;防灾减灾措施;受灾地区现状。

第一节 5·5沙尘暴实录

一、时空特征

5·5沙尘暴始于新疆北部,在宁夏的东部逐渐消亡;席卷了新疆的乌鲁木齐、吐鲁番、哈密,甘肃省的酒泉、张掖、金昌、武威、古浪,景泰,内蒙古阿拉善的额济纳旗、阿拉善右旗、巴彦浩特、磴口、吉兰泰、乌海市和宁夏的中卫、青铜峡、惠农、陶乐、银川等18个地(市)的72个县(旗);直接影响面积约110万km²,占全国总土地面积的11.5%;灾区人口1200万。

5·5沙尘暴的发生于1993年5月3日20时,在西伯利亚鄂尔苏克以北地区极地冷空气南下,5月4日20时,新疆北部出现20 m/s大风,乌鲁木齐市西北的古尔班通古特沙漠边缘出现沙尘。5日08时的高空和地面天气图表明,地面锋东移至酒泉西部敦煌一带,锋后新疆东部哈密附近和马鬃山一带出现20-24 m/s大风天气,并向东南方移动,5日13时52分,大风侵袭高台县,最大风速25 m/s,当时的天气已非常恶劣,形成黄风。临泽14时16分,张掖14时19分,民乐14时25分,出现沙尘暴天气。

5日15时42分,金昌市已形成特大沙尘暴,最大风速34 m/s,风力达12级,在极短的时间里黄尘闭日,天昏地暗,空中发出沉闷的雷鸣声,由尘云构成的巨壁从地面拔起,直冲天顶。光线时昏时暗,颜色也时灰、时红、时黑,能见度几乎为“0”,尘云势如排山倒海。特大沙尘暴运行到武威是5日16时40分,到达古浪17时,景泰为17时50分,抵宁夏中卫县已是19时26分,陶乐20时2分,从高台县达中卫县历时4小时57分钟。5月6日3时12分和9时37分分别消亡于陶乐和惠农。

二、形态特征

沙尘暴过境前,上风方向地平线上有灰黑色的沙尘墙急速移过来(照片1),侧面看重而冷的冷空气大体呈楔形插入轻而暖空气之下,近地面含浓密沙尘的冷气柱前缘浅薄,向后变得深厚(图 1a)。向前推进时,由于地面摩擦等阻滞作用,冷空气楔前缘近地处并不象虚线AM' N'那样直接接地,而是呈“鼻”形BAMN折向后拖曳,称它为冷空气“鼻”。从录相带背景上看,鼻尖部分A至少离地面40 m以上。正面看(图 1b),见到的实际仅是冷空气鼻尖的CD部分,它仅是向前推进的弧形冷空气鼻中的一小段。向左右两侧至E、F处,向上至G、H处,向下至M、N处,浓密的沙尘边缘及其内翻滚逐渐变得模糊不清。如在B上方虽也可认出深浅不均匀的层次G、H,但已难分辨其内部沙尘的翻滚(特别是H处),那是向后倾斜的更远处冷空气鼻梁部分,分别对应于图 1a中的G、H,类似地在图 1a, b中的其余字母也是一一对应的。

图1

三、对流特征

人们清楚可见的“93·5·5”沙尘墙高约300 m,浓密沙尘带顶实际上要高得多。根据灾后乌鞘岭山区积雪上的沙尘沉积界线的高度估计,浓密沙尘带顶高700 m左右,而这次沙尘暴推进到乌鞘岭时其势力已大为减弱,估计在它最强处金昌附近的高度在1 km以上。事实上,卫星云图从浓密沙尘带顶处的亮度温度估计,高度可达2.2 km。

沙尘暴到达前,近地层空气很不稳定的背景,沙尘墙内沙尘团团翻滚,结合这次沙尘暴出现后各地都出现阵风,部分站闻雷声,说明沙尘暴象冰雹和雷雨天气一样,属对流天气。

四、光象特征

沙尘墙的颜色分上中下三层,上层发黄、发红,下层发黑,中层呈灰黑色。而且时亮时暗,变幻莫测。究其原因是阳光穿过不均匀的浓密沙尘带后强烈衰减的正常光学现象。

当太阳光穿过大气层时,若遇到云层及悬浮的水滴和尘埃时发生光的反射、吸收及散射等一系列变化过程,从而改变了太阳光的传播方向或削弱了太阳光的强度。晴朗无云天气时,遇到蓝色天空。沙尘暴天气时,太阳光到达地面前需穿过深厚浓密的沙尘带,阳光既受到沙尘的强烈吸收而显著减弱,使天色变黑,又受到浓密尘埃时阳光中红、橙色光更多的散射,使天色变红,沙尘暴浓密的沙尘带

的时空分布很不均匀，因而随经过时沙尘带的浅薄厚度和疏密程度的差异，人们也自然见到不同亮度和色彩的天色变化。

第2节 5•5沙尘暴的危害

一、危害方式

它的破坏具有毁灭性。所经之处，往往使交通、通讯、水电设施瘫痪，使房屋倒塌，牧场、农田夷为荒漠，并造成人员死亡、失踪。此外，还造成大气污染，影响海洋生态环境。

（一）沙埋：沙尘暴下层的沙粒，在大风的驱动下，滚滚向前，当沙粒碰到障碍物或风力减弱的时候，大量沙子落到地面，埋压农田、村庄、工矿、铁路、公路、水源等。这种危害方式，一般出现在风沙入侵绿洲和戈壁地段，也出现在沙漠、片沙相连接的狭长地带，或沙漠边缘的新垦区，或因开发资源而扰动了地面的沙砾质戈壁区。

（二）风蚀——吹蚀和磨蚀

风蚀土壤不仅仅把土壤里的细腻的粘土矿物和有机质刮跑，而且把带来的细沙堆积在土壤表层，使原来比较肥沃的土壤变薄、变贫瘠，扩大了沙化的土地。

在土壤被风蚀的过程中，大风吹起来的沙子还会割打庄稼幼苗，使禾苗受伤，甚至死掉。这种方式多出现在林网的网格过大或林网不完善的空旷农田，特别是沿林网外边的新开垦农田等沙质土壤地区更容易受到风蚀的危害。

（三）大风袭击

如沙尘暴进入绿洲，特别是已林网化了的绿洲和没有风蚀的地区，使离开了为沙尘暴提供沙尘的源地，变成浮尘，贴地面就不再有风沙活动，在这种情况下，沙尘暴的危害实际上是狂风袭击造成的。大风把大树连根拔起来，刮倒墙壁，毁坏房屋，刮翻火车，摧毁电杆，破坏农业设施。

（四）污染大气

5•5沙尘暴不仅危害当地，而且粉尘对周边地区，也有较大影响。河西地区沙尘暴，导致兰州浮尘，大气空气质量重度污染，工厂的车间，办公室，都亮起灯光，屋里空气呛人，还散发土腥味，粉尘飘散，传染疾病。尤其冶金工业所排尾矿粉尘，含有重金属污染。

二、经济损失

5•5特大沙尘暴造成的经济损失不亚于中等地震所造成的损失。据林业部组织的由各方面专家组成的沙尘暴科学考察队报告，本次沙尘暴灾害中共死亡85人，失踪31人，伤264人，在死亡和失踪者中大部分为少年儿童。损失最严重的是农牧业生产，农作物受灾面积达37.3万hm²；果树受灾面积1.63万hm²；数以万计的塑料大棚被毁坏；死亡和丢失大小牲畜12万头（只）；草场和农业基础设施破坏严重；沙埋水渠长达1000多km，许多水利设施如塘坝、坎儿井等被风沙损坏。刮坏和刮倒电杆6021根，一些地区的输电和通讯设施遭受严重破坏，许多处铁路和公路因风蚀和沙埋中断。兰新铁路运输中断31小时，内蒙古乌海市至吉兰泰专用铁路线中断4天，造成火车停运或晚点37列次；2.8万吨工业用盐和芒硝被刮失；风沙埋压房屋4412间，无数棚圈倒塌。其直接经济损失5.6亿元人民币。此外，还造成了严重的环境问题。许多地方地表土层被吹蚀10-30 cm，丧失土壤肥力，沙漠边缘流动沙丘前移1-8 m，埋压农田和草场。沙尘暴过程中粉尘物质的输移，导致空气含尘量增加，污染大气，如金昌市空气的含尘量高达1016 mg/m³，室内含尘量86.7 mg/m³。降尘量161-266 t/km²，影响人体健康。

（一）危害交通

沙尘暴过境，能见度差，影响视线，火车被迫停止开动；铁路上积沙造成火车脱轨，停运。如兰新线停运。沙尘暴对公路危害与铁路相似，风蚀路基，破坏路基的稳定，流沙掩埋公路，中断交通，路面被风沙剥蚀，形成搓板路面，降低汽车寿命，并加大行驶汽车的耗油量。沙尘暴过境时，因能见度差，汽车无法行驶。对航空运输也有很大影响，特大沙尘暴发生时，飞机场关闭，飞机无法降落返航。

（二）危害农牧业生产

在靠近沙漠、沙地、戈壁以及风蚀残丘的地区，或是处在沙漠里的绿洲，由于沙尘暴的袭击，地面强烈风蚀，同时又在靠近地面形成强烈的风沙活动，对农作物造成风蚀，割打和沙埋。大风卷起沙尘，埋压作物和牧草，果树的花蕾被全部吹掉，瓜菜也被毁坏。5•5沙尘暴，仅据金昌、武威二市和古浪、景泰、中卫三县统计，农业成灾面积6.44万hm²，大片农田受到风蚀、沙埋。风蚀深一般10 cm左右。最深达50 cm，耕地平均风蚀量2100 m³/hm²。发生沙埋的地方，沙埋厚度有20 cm。刮断、刮倒电杆750根，刮断供电线路长度225 km，农用变压器和电机损坏89台；填埋渠道55 km，农田地膜被刮毁2万hm²，树木9万株被刮断。

（三）危害工业生产

5·5沙尘暴使金昌市的金川公司35 kv和6 kv供电线路相继损坏,造成主生产流程,部分辅助单位和集体企业工业停电停产,直接经济损失8300万元人民币。

(四) 危害建筑物

5·5沙尘暴,仅金昌、武威2市和古浪、景泰、中卫3县,刮毁、倒塌房屋共4412间。

(五) 危害人民生命安全

5·5沙尘暴死亡85人,受伤264人,失踪31人,死亡和丢失牲畜12万头(只),受灾牲畜73万头(只)。

三、影响地区现状

5·5沙尘暴之后,中国对受影响较大的河西走廊及阿拉善沙尘暴源区,采取了一系列减缓沙尘暴灾害的措施。除了加强对该区沙尘暴灾害形成机理,预测预报科学研究之外,还采取了遏制该区土地沙漠化扩展的生物,工程,以及有关政策法规等措施。但由于反厄尔尼诺事件的影响,造成中国北方强寒潮大风的频繁出现,加之气温的显著增加,降水稀少,水资源缺乏,还没有得到根本解决,生态恶化严重,自90年代后期沙尘暴回升势头明显,2000年急剧增加,为50年来的最多年。2000年12月31日(世纪之交),以及2001年元月—4月,该区已发生沙尘暴9次,其中4次又影响到我国华北,以及长江中下游地区,发生的时间早,次数频繁,引起了社会各界的广泛关注。其原因如下。

- 1 沙尘源物质丰富,区内沙漠及戈壁三十余万 km^2 ,干旱湖盆六千多 km^2 ,干旱湖泊五百多 km^2 ,风蚀地一千多 km^2 ,均为沙尘暴形成的沙尘物质。沙漠沙物质中含粉尘一般2-6%,最多达10%;沙砾质戈壁含粉尘为16-35%;沙黄土为20%;风蚀地粉尘含量高达80%以上;干旱湖泊粉尘含量在70%以上;农垦农田粉尘含量在70%以上。除了自然类型外,人为堆放物增多,如尾矿砂、粉煤灰等。
- 1 有利于沙尘暴发生发展的地形,区内山地垭口、峡谷,以及平坦地形,给强大的冷空气入境创造了有利条件。
- 1 地表植被稀疏,风蚀严重。区内湖泊干涸、湿地减少,地下水下降,造成大面积植被衰退、死亡,风蚀严重。沙漠边缘过渡带(隔离带)破坏,起沙起尘严重。
- 1 水资源的不合理利用,造成内陆河下游水资源紧缺,断流,湖泊干涸,地下水下降,是导致该区生态恶化的根本原因。

由于上述,该区新增沙尘源日益增加,也是该区沙尘暴强度增大的主要原因之一,急待解决。从1999年始,对该区减缓沙尘暴,采取了有力措施,诸如,内陆河的分水方案,内陆河上中游实施节水技术,把水放到下游,改变下游的缺水局面;下游地区,建立省、国家级自然保护区,保护湖泊、湿地,保护荒漠河岸林,并进行适当生态移民,保护地面植被,加大防沙治沙工程,退耕还林还草;加快舍饲养畜等,估计,不久将来,生态恶化的局面,会得到遏制。

第三节 5·5沙尘暴的成因与过程

沙尘暴是天气过程和地面过程相互作用的产物。天气过程中主要是风动力过程和热动力过程。地面沙尘物质的活化裸露过程,由两方面组成,一是气候的干旱少雨,二是人为活动的不当造成,即水资源的利用不当,以及滥垦、超载放牧、樵采、人为堆放、尾矿等。上述过程的相互作用,导致沙尘暴的发生发展。

一、天气过程

天气过程对沙尘暴形成有利的因素是风和热动力,二者是沙尘暴形成的动力条件,缺乏动力,地表沙尘物质不能够脱离地面,卷入高空。

(一) 风动力过程

1、“无风不起沙尘”:砂尘颗粒只有在一定的风力条件下才开始运动,当风力逐渐增大到某一临界值之后,地表砂尘颗粒才开始脱离静止状态而进入运动,这使沙尘颗粒开始运动的临界风速称为起动风速,一切超过起动风速的风谓之起沙起尘风。据观测,风速达30 m/s时,直径0.5-1 mm的沙粒可飞扬几十cm高,0.125-0.25mm的沙粒飞扬2.0 m高,0.05-0.005mm的粉沙飞扬1.5 km高,小于0.005 mm的粉尘飞扬12 km高空。

沙尘暴发生,大风强烈吹蚀地表,挟带大量沙尘物质,其中沙粒物质在地表20 cm以下,以蠕移、跃移方式进行短距离的输移,与此同时粉尘等细物质,被热力垂直对流上升携到高空,以悬浮形式进行远距离输移。不同地表采样,在室内风洞试验,得知在不同风速下的起沙起尘率,列表于1、2、3。

表1 甘肃省酒泉洪积戈壁起沙速率风洞实验

风速(m/s)	10	15	20	25	30.8
起沙速率(kg穉-1穉in-1)	0.0021	0.0388	0.0504	0.0866	0.1357

表2 甘肃省敦煌东冲洪积戈壁起沙速率风洞实验

风速(m/s)	7	15	20	25	32.15
起沙速率(kg穉-1穉in-1)	0.0020	0.0039	0.0113	0.0426	0.1124

表3 流沙起沙扬尘速率风洞实验

风速(m/s)	7	15	20	25	32.15
起沙速率(kg穉-1穉in-1)	3406.9740	13534.8834	49127.9070	112558.1394	178708.4444
起沙速率(kg穉-1穉-1)	88.6382	519.7386	2976.7963	4896.6110	6235.7202

2、形成沙尘暴的大风或强风：强风或大风的形成，尚需适宜的大气环流条件，据气象部分研究，有两种主要形式。

①强冷空气入侵型

冬半年是北半球极地冷气团最强和活跃的季节，冷空气几乎每隔5-7天就从不同的地域南下进入我国。西北是冷空气进入我国的门户，北方冷空气常从靠近北冰洋的冰岛、新地岛以不同路径抵达我国西北。在高空天气形势图上，强冷空气南下表现为在高空5500 m新疆上空有气温低达零下30至零下40℃的冷低压槽加深，槽后有一支风速30-40 m/s强北风，使空气向南进发。从地面天气形势图上可以看到在西伯利亚或中亚、东欧有一中心气压高达1050百帕以上的强高压，其前缘有一条明显的呈东北西南走向的冷锋从西北方或北方进入新疆北部，并翻越天山向东横穿内蒙西部和河西走廊，直冲宁夏、陕北。移动速度快，每小时可达70-80 km；有时达100 km。强冷空气移过地区，凡地面有裸露的沙尘物质者，均可形成沙尘暴天气。如果不是从北方南下，从新疆以西的中亚地区翻越帕米尔高原进入南疆，形成喀什，和田，若羌以及河西走廊的沙尘暴天气。

强冷空气入侵型的沙尘暴天气并不是都在冷锋后才发生，也有在冷锋前发生的。气象学家在河西地区5•5沙尘暴天气分析研究发现，由于强冷空气的快速推进作用，它前方不稳定的暖空气被迫抬升发展成一连串并列成带的积雨云，当它发展强盛时，它的后部有很强的下沉气流把高空冷空气带到地面，在积雨云带下面形成密度大、气压高、面积不大的冷空气堆，气象称雷暴高压。雷暴高压和前方暖空气之间的交界处产生了一种水平尺度在几十公里到100-200 km的中尺度天气系统飚线。它经过的地方会出现风向突转，风力实增，气压急升，温度剧降，常伴有雷暴阵性降水以及风沙现象。5日下午飚线过金昌时，气压在10分钟内上升3.1百帕，气温在2分钟内下降6.6℃，风速加大到22.7 m/s。金昌沙尘暴就是在强冷锋前飚线影响下先发生的，等到冷锋过后又再次加强发展。

②冷锋前地面热低压发展型：春天和初夏，南疆盆地由于冷锋到来之前地面强烈受热增温，暖空气在盆地内作气旋性辐合上升，形成热低压。辐合上升气流可以一直伸展到3000 m中空，再往上，高空是辐散气流，当高空气流的水平辐散超过低层水平辐合气流的时候，加大了气流的补偿作用，有利于地面热低压的继续发展。

塔里木盆地热低压发展后，在它的后面的和田和它前面的巴彦郭勒蒙古自治州南部先后发生西大风或先东大风后西大风的沙尘暴天气，当此热低压东移靠近河西走廊西部时，甘肃酒泉地区也可发生沙尘暴。热低压发展形势的大风强度取决于蒙古高压和塔里木热低压之间的气压梯度的大小，热低压中心区域风力最大，沙尘暴持续时间取决于热低压的持续时间和移动速度。

(二) 热动力过程

1、空气的稳定程度是沙尘暴形成的决定性作用

如果低层空气稳定，受风吹动的沙尘将不会被卷扬得很高，如果空气不稳定，风吹动后沙尘会卷扬得很高。天气系统的热动力过程，是导致空气的不稳定，造成空气的上下垂直运动；把地面的沙尘物质卷扬到高空，形成沙尘暴天气以及粉尘在高空的输移。

我国西北干旱地区，强风的天气每年春冬季节几乎都有，但沙尘暴的发生却不是每次大风都有。资料统计表明，有的地区大风天气多于沙尘暴天气，有的地区沙尘暴天气多于大风天气（表4）。显而易见，大风天气大于沙尘暴天气的地区，与一个地区的热力条件或地面沙尘物质相关联。或与二者条件均有关。表4看出，和田、张掖、民勤、榆林、延安等地，沙尘暴日数大于大风日数，表明与该地沙尘物质丰富密切相关。库车、酒泉、武威、盐池，大风与沙尘暴日数几乎相当，说明与地面沙尘物质，热力条件均有关。其余各地大风日数大于沙尘暴日数，证明与该地沙尘物质相关。

表4 西北地区历年3-6月大风、沙尘暴平均日数

地名	3月		4月		5月		6月		3-6月合计	
	大 风	沙 尘 暴	大 风	沙 尘 暴	大 风	沙 尘 暴	大 风	沙 尘 暴	大 风	沙 尘 暴
克拉玛依	4.4	0.1	8.4	0.1	11.5	0.2	12.1	0.1	36.4	1.4
吐 鲁 番	1.1	0.8	4.2	3.2	6.3	1.8	9.1	0.7	20.7	6.5
库 车	0.6	1.1	3.4	3.6	3.3	2.7	4.0	3.0	11.3	10.4
喀 什	1.0	1.1	3.5	2.1	5.0	3.2	5.8	2.6	15.3	9.0
和 田	0.8	4.4	1.5	6.1	1.8	6.9	2.1	3.2	6.2	23.6
若 羌	3.6	3.3	6.2	3.4	7.2	3.4	5.7	1.9	22.7	12.0
安 西	8.7	3.3	9.7	1.6	9.0	1.3	6.7	0.9	34.1	7.1
丁 新	4.0	2.3	5.5	3.2	5.1	2.4	4.9	2.5	19.5	10.4
酒 泉	2.3	3.0	4.1	3.7	2.5	1.9	2.4	1.4	11.3	10.0
张 掖	1.6	3.1	2.8	3.8	2.5	2.7	1.9	2.1	8.8	11.7
民 勤	2.8	4.1	4.5	5.9	3.6	4.2	3.7	4.3	14.6	18.5
武 威	1.9	1.9	3.3	2.6	2.9	1.9	2.1	1.3	10.1	7.4
冷 湖	3.1	0.6	4.0	0.5	3.1	0.5	3.3	0.4	13.5	2.0
西 宁	1.8	2.0	6.8	1.4	4.9	0.5	3.6	0.8	17.1	4.7
玛 多	9.6	1.6	6.7	1.3	5.1	1.2	1.6	0.1	23.0	4.2
石 嘴 山	6.9	2.0	8.0	3.3	7.3	2.4	6.2	1.7	28.4	9.4
盐 池	3.2	3.2	5.3	8.2	3.1	2.9	2.7	0.9	14.3	12.2
榆 林	0.9	2.6	2.1	3.3	1.7	2.0	1.8	1.8	6.5	9.7
绥 德	8.6	1.3	10.8	1.9	10.8	1.9	10.2	1.1	12.4	6.2
延 安	0.2	0.7	0.2	1.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.9	2.3

2、不稳定的空气（气压梯度大）是局地发生沙尘暴的热力条件

5·5沙尘暴天气过程不稳定的能量的主要来源是青藏高原东部低空低压（700 hpa）系统的发生发展，使河西走廊东部和中部偏东气流加强之故。5月5日8时强冷高压进入新疆北部，乌鲁木齐和甘肃玉门之间气压差21 hpa，气压梯度为3 hpa/100 km。气压梯度增大，冷锋以50-60 km/h速度前进，14时移到酒泉，其前后正负3小时变压中心的差值为9 hpa，正负24小时变压中心的差值44 hpa。17时冷锋前

的张掖气温为25℃，冷锋后的丁新气温为7℃，其间温度梯度为12℃/100km，这样强的气压梯度造成的地转偏差风，对沙尘形成具有决定性作用。此外，5月4日20时至5日8时，高空西风急流加强，动量下传对沙尘暴形成有重大影响。

3、沙尘暴发生地气温急剧增加，冷热对流加剧

1993年5月5日沙尘暴，甘肃省金昌地区1-5月的平均气温、极端平均，极端最高气温急剧增加（表5）。2000年12月31日沙尘暴，民勤等地的12月份平均气温高于历史以来同期平均气温4℃以上。

表5 金昌市1-5月份气温

气温（℃）	1月	2月	3月	4月	5月
平均气温	-8.6	-0.6	5.2	11.2	15.8
极端平均	-1.7	6.1	11.6	17.8	22.2
极端最高气温	7.8	15.9	18.5	28.1	29.6

二、地面沙尘物质活化裸露过程

地面沙尘物质活化裸露过程，亦地面沙漠化过程。此过程是沙尘暴的重要过程之一，因沙尘暴是衡量一个地区土地沙漠化程度和消长的一个重要指标，也就是一个地区沙尘暴发生的频繁程度，直接表征着一个地区沙漠化的程度，反过来讲，一个地区沙漠化的程度高低，也揭示一个地区沙尘暴发生发展的强弱与频率。一个地区土地沙漠化的过程，与一个地区自然条件及人为活动因素有关。

（一）自然因素

自然环境与土地沙漠化形成密切相关的主要因素是气候状况，物质条件、地貌条件及地下水状况等。气候因素包括区域的降水、降水变率、空气温度、风况等。降水少而形成的干旱气候环境，具有一系列独特的特征，如生物系统的种群单一、生物量低，植被覆盖率低，地面裸露程度高。该区多风，导致地面风蚀，因此，气候的干旱多风是土地沙漠化发生发展的基本条件。物质条件，是与气候条件居于同等重要地位的环境要素。在某些气候并不干旱但沙尘物质丰富的地带亦有风沙及沙尘暴活动，在气候条件相同的干旱、半干旱地区，物质条件成为最为重要的影响因素。

地貌条件对土地沙漠化的发生发展的影响表现在四个方面：一是地貌部位决定地表物质分布，二是地貌条件影响局部风力变化，影响蚀积对比，三是地貌部位决定土地利用方式，四是地貌条件影响地下水的分布和埋藏，在沙物质较丰富的地区，较好的地下水条件成为土地沙漠化发生发展有效的限制因素之一。地下水状况，表征着一个地区水分情况，土壤含水量，如果含水量达4%者，不易起沙起尘。

1、气候因素

①干旱少雨，降水不稳定

本区深居欧亚大陆腹地，远离海洋，周围又有高山、高原阻挡，特别是青藏高原的隆起，成为夏季季风难以逾越的屏障，海洋上暖湿水汽难以到达，致使西北地区干旱少雨。降水量由东向西递减。贺兰山以东为200-400 mm，贺兰山以西年降水量在200 mm以下，降水量最少的地区为塔克拉玛干沙漠的中部和东部、东疆、柴达木盆地西部以及巴丹吉林沙漠，年降水量在50 mm以下，甚至不足25 mm。

降水少，且不均，降水的多年年变率，东部地区为30-40%，西部多在40%以上，甚至超过50%。降水季节也不均匀，主要集中在6-8月，降水又多集中在几天，使得连续无雨的干旱周期很长，可达210-300天，春旱尤为严重。降水少，蒸发强，一般在2500-3000 mm，有的高达4000 mm，从干燥度来看，东部为2.5-4.0，西部大于4.0，其中，东疆和塔克拉玛干沙漠在16以上，甚至高达60。

②风力强大，大风频繁

本区主要受西北风和东南风影响，随季节变化，冬季，受蒙古高压的影响，在96°E附近形成NNE-SSW向气流辐散线。形成塔里木盆地东部和河西走廊西部的NNE风系；辐射线东部气流沿高原北缘呈西北风流经宁夏平原及鄂尔多斯地区。夏季，副热带高原北移，西风受帕米尔高原的阻挡，发生偏折，一支气流过帕米尔高原山口进入塔里木盆地西部，另一支气流经过准噶尔盆地西部山口进入北疆，故夏季北疆及河西走廊及宁夏平原多NW风，贺兰山以东因受东南季风影响，多SE风。

风力强，全年平均风速3.3-3.5 m/s，春季平均风速4.0-6.0 m/s，超过临界起沙风速的日数为200-300天，8级以上大风日数为20-80天。其区域差异是北大南小。强风出现在我国与独联体和蒙古国界附近，尤其山险，峡谷风口地带，风力更为强大，如阿拉山口、达坂城、七角井等风口，风力达12级，形成大风区。风速的季节变化显著，春季风大，尤其8级以上大风，集中在春季，占全年大风日数的40-70%。干旱也是该区的主要灾害之一。据300多年历史资料记载分析平均3年一小旱，10年一大旱。有时干旱年接踵而至。

2、水资源减少

由于全球增温，大范围气候持续干旱，给各种水资源（冰川、湖泊、地表径流）带来严重影响。冰川后退：西北地区水资源主要储存于高山冰川，但因全球增温、干旱，冰川在后退。如阿尔泰山、天山、帕米尔、祁连山有观测记录的227条冰川中，73%处于退缩状态。据实测，天山乌鲁木齐河与祁连山水营河两个小冰川区，由小冰期盛时至今，冰川面积已分别退缩了43%和46%。西北地区各冰川后退速度，平均约10-20 m/s。

湖泊萎缩：西北有很多无出口的内陆湖，受到气候与人类活动的影响，平原区湖泊主要受人为活动的影响，如果罗布泊原是著名的内陆湖，后因塔里木河的补给，100多年以前湖面曾达3000 km²，由于塔里木河筑堤引水，进入湖区的水量减少，到50年代湖面缩小为2006 km²，1972年已完全干涸。素有绿洲之称的居延海，目前已干涸。青海湖属于高原湖泊，因气候干旱及周围80万农田的用水，导致入水量减少。1986年比1956年下降3.35 m，近年来由于耗水大于补给水量，多年平均亏水4.56亿m³/yr，湖水位平均以10.57 cm/yr的速度下降，水面平均以9.43 km²/yr. 缩小、裸露成陆。近10年平均每年下降13 cm。同时，由于生态环境恶化，沙漠化土地不断扩大，环湖河流含沙量大，其总输沙量为每年60.75万吨。

径流变化：湖泊萎缩在一定程度上已指示地表径流的减少。新疆山区河流近30年来平均径流量而言，北疆降水补给的河流量呈明显减少的趋势，而南疆冰川融水补给的河流量反而略有增多，但随着冰川面积大范围缩小，冰川融水在河流流量中的比重和径流总量均会下降。

3、沙尘物质丰富

我国西北地区是亚洲内陆沙尘暴发育的重要源地，该区域沙尘暴类型多，面积广。不仅有自然类型，还有人为堆积类型。物质复杂的多源或多体沙尘源地系统，而且，随着自然条件的变化和人为作用扰动，沙尘源系统处于明显的不稳定变化状态，这对该区沙尘暴的形成，提供了重要的物质基础。

①沙漠、戈壁、沙漠化土地、黄土广布

沙漠、戈壁、沙漠化土地、黄土等物质，是沙尘暴与尘暴的重要沙尘物质来源，西北地区沙漠面积50.3万km²，沙漠化面积18.44万km²，戈壁38.15万km²，黄土22.52万km²，计129.41万km²，占西北地区总面积的42.52%。上述物质类型，均为沙尘暴的形成提供不同程度的沙尘物质。

表6 我国西北地区沙漠沙粒度组成(%)

沙 漠 名 称	项目	极细沙	粗沙	中沙	细沙	极细沙	粉沙	样本数
塔克拉玛干沙漠	平均值	—	0.02	4.54	34.15	41.97	19.32	63
	极大值	—	0.40	43.1	77.9	67.70	49.10	
	极小值	—	—	—	4.9	5.9	3.3	
古尔班通古特沙漠	平均值	—	—	8.70	68.2	19.1	4.0	21
	极大值	—	—	50.8	92.3	58.9	12.9	
	极小值	—	—	0.1	27.8	7.0	0.4	
巴丹吉林沙漠	平均值	—	3.40	23.4	61.4	9.82	1.98	17
	极大值	—	34.0	58.4	98.7	66.0	32.0	
	极小值	—	—	0.70	23.0	—	—	
腾格里沙漠	平均值	0.01	1.60	6.61	86.88	4.90	—	33
	极大值	0.02	33.30	36.20	99.38	19.78	—	
	极小值	—	—	—	41.84	0.50	—	
乌兰布和沙漠	平均值	0.01	0.78	17.31	72.11	9.52	0.27	28
	极大值	0.02	7.00	58.7	97.50	42.9	5.59	
	极小值	—	—	—	32.10	0.40	—	
库布齐河东沙地	平均值	—	1.10	1.90	85.3	11.70	—	11
	极大值	—	5.6	9.60	98.0	69.60	—	
	极小值	—	—	—	29.60	1.00	—	
宁夏河东沙地	平均值	—	0.13	17.99	75.05	60.16	0.67	44
	极大值	—	3.00	69.99	93.00	37.48	6.00	
	极小值	—	—	0.5	30.00	0.10	—	

毛乌素沙地	平均值	—	3.2	41.20	47.3	8.3	—	15
	极大值	—	17.00	67.10	89.85	36.56	—	
	极小值	—	—	0.60	21.98	3.02	—	

表7 河西风成沙微量元素统计表 (mg/kg)

元素	Ba	Mn	P	Sr	Zr	Cr	Rb	V	Zn	Ni	Cu	Y	Pb	Co	Nb	As
含量	637.3	436.8	318.8	218.2	141.8	63.5	66.3	58.5	34.1	20.9	13.8	14.8	11.96	9.5	8.4	6.2

表8 戈壁粒度成分统计表

类型	采样地点	厚度 (cm)	粒径 (mm) 组成 (%)							
			砾石	极粗沙	粗沙	中沙	细沙	极细沙	粉沙	粘粒
			72.0	2-1.0	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.063	0.063-0.002	
冲洪积戈壁	敦煌东40 km	0-3	28.3	5.77	6.37	7.64	7.2	12.84	31.93	
		3以下	23.2	7.07	8.5	9.64	11.84	19.57	20.18	
	唐玉门关	0-2	18.04	2.34	4.41	8.46	13.4	28.8	24.56	
		2以下	15.87	2.43	4.33	12.30	17.73	27.56	19.78	
洪积戈壁	安西东50 km	0-2	28.21	2.96	5.26	9.76	10.26	19.53	24.02	
		2以下	12.33	8.47	9.12	15.31	12.61	13.63	28.53	
	玉门镇	0-5	43.07	3.76	3.39	6.53	7.93	18.46	16.86	
		5以下	31.5	5.0	4.87	9.7	12.33	19.10	17.50	

表9 黄土粒度成分统计表

类型	采样地点	厚度 (cm)	粒径(mm) 组成(%)				
			中沙	细沙	极细沙	粉沙	粘粒
			0.5-0.25	0.25-0.125	0.125-0.063	0.063-0.002	
黄土	神木县訾柏沟			0.27	51.03	47.83	0.96
沙黄土	榆林川北姬家坡				78.48	20.32	1.20

4、沙尘暴形成的有利地貌条件

地形地貌，对沙尘暴的尘源分布、运行路径、对气流的阻挡、摩擦、分支、绕流、狭管效应以及局部的热力作用，均有着显著作用。显而易见，地形地貌对沙尘暴的发生发展以及沙尘暴的增强与减缓有着极大的影响。具体表现在以下几个方面。

①地貌结构与沙尘物质

西北地区大的地貌格局为山地夹盆地，或高原与洼地相间。新疆是阿尔泰山与天山之间有准噶尔盆地；天山与昆仑山之间有塔里木盆地。甘肃河西走廊南北为祁连山与龙首山。而走廊平原又被大黄山、榆木山等分割为三个小盆地，即武威盆地、张掖盆地和酒泉盆地。内蒙的鄂尔多斯高原地势平坦，断陷盆地与山地围绕，北有黄河平原，南有乌审洼地等。青海是阿尔金山与昆仑山之间有柴达木盆地（图2）。

上述的盆地与平原堆积有巨厚的松散沉积物。第四纪沉积物地貌类型有沙漠与沙地、戈壁、黄土、干河床、剥蚀丘陵，洪积冲积和湖积平原。

图2

②地貌结构与强风沙尘暴路径

地貌的空间配置对强沙尘暴的路径有着显著的控制作用。首先是冷空气入境，地形是不可忽视的因子。诸如高山的垭口、峡谷，或平坦无阻的地形，均给强大的冷空气入境创造了条件。我国强沙尘暴活动的路径分为三条，即西路，西北路，北路。

强沙尘暴的路径，除受高空气压场制约外，地貌结构组合也是很重要的因素。从图2可见，西路和西北路强风沙尘暴东移，主要受秦岭和阴山纬向构造山系的导向作用。沿途所经过下垫面主要为戈壁、沙漠，由于湍流热交换量增加造成强烈热力对流，增加了沙尘暴的动能，强化了沙尘暴的强度。但由于秦岭山系及大兴安岭—太行山系阻挡，一般强沙尘暴很难逾越这两条地形界线。北路，强沙尘暴所以能爆发式南下，主要是内蒙古高原地形坦荡，使源于贝加尔湖的冷空气长驱直下，在内蒙古和鄂尔多斯高原形成强沙尘暴。一般也很难危害大兴安岭太行山以东地区。

③地貌结构组合对风力的影响

气流由山前开阔地进入沟谷，受两侧山地的绕流作用，在沟谷的进口处流线加密，风速突增，风力强，比沟谷前开阔地风速增加17%。进入沟内后，气流因受两边山坡影响，摩擦加大，风速逐渐减小，至沟谷的出口处，与沟前开阔地风速相比，风速降低达35%。出口后气流扩散，沟谷的狭管作用消失，加之山地的屏障作用，流速变小。离出口超过一定的距离，由于沟谷两边山地的屏障作用开始减弱，流速又逐渐增大，风速逐渐恢复到沟前开阔地的风速。（表10，图3）。

表10 狭管作用下沟谷内2米高水平风速变化观测表

测点	离沟外平地 距离（m）	风速（m/s）	与沟外点 风速比值	增减率（%）	备注
1	0	10.8	100	0	沟谷长1143米 沟谷宽30米
2	113	12.6	117	+17	
3	773	11.1	103	+3	
4	998	9.2	85	-15	
5	1068	8.7	81	-19	
6	1143	7.1	66	-34	
7	1248	6.1	57	-43	
8	1298	6.6	61	-39	
9	1398	6.7	62	-38	

图3

上述是风向与沟谷方向一致，沟谷两边山地较陡的沟谷地形对风的影响，风向与沟谷方向斜交时，沟谷的狭管作用减弱，山地的屏障作用增强，使沟内风速降低。当风向与沟谷方向垂直时，沟内风速较小。

在陡立山地丘陵（自然坡度大于70度）的迎风坡，由于气流受到山地的屏障阻塞，一部分气流抬升，使一定范围内贴近地面的气流有明显的减速，减速场的大小，与山丘高度有关。山丘愈高，减速范围越大，一般为山丘高度的四倍。减速程度是越靠近山脚，风速减小越大，山脚跟前的风速与远方平地风速相比降低了67.4%。（表11，图4）

表11 陡坡山丘迎风侧2米高度上水平风速变化观测统计表

测点	离山坡脚 距离(m)	风速 (m/s)	各点是8号的 百分数	降低风速 百分数	距离是山 高的倍数	备注
1	坡脚0	6.55	32.6	67.4	0	山丘相对高度75米
2	34	10.45	52.1	47.9	0.45	
3	64	13.82	69.0	31.0	0.85	
4	94	15.07	75.2	24.8	1.25	

5	124	17.33	64.4	13.6	1.65
6	179	18.02	90.0	10.0	2.49
7	282	19.02	95.2	4.8	3.76
8	382	20.06	100.0	0	5.09

图4

在陡立山丘的背风坡，由于山地的屏障作用，加之山顶和两侧的绕流，山后产生了强大的涡流，背风坡有一个明显的风影区，其范围的大小，与山丘高度有关，山丘越高，风影区越大，一般为山丘高的十二倍。山麓风速小，与山前平地风速相比，降低了61.4%（表12，图5）。

在平缓山地丘陵（自然坡度7°~5°）地区，迎风坡气流受山丘影响，降低风速的范围与山丘的高度，坡度有关。山丘越高，坡度越缓，影响范围大，但降低风速不大；山丘高度低，坡度陡，影响范围小，但降低风速大，在坡脚降速最大，可降低22.6%（表13，图6）。

在山丘屏障作用下，平缓山丘的背风坡的气流有很大变化。根据观测，影响的范围是山丘高的十四倍，距离为山高的2倍处风速降低最大，可达40.0%（表14，图7）。

表12 陡立山丘屏障作用下背风坡2米高水平风速变化观测统计表

测点	高山跟的距离(m)	风速(m/s)	各点与基点风速百分数	降低风速百分数	距离是山丘高的百分数	备注
基点	不受山地影响	17.8	100	0		山丘相对高度165m
1	0	6.7	38.6	61.4	0	
2	150	11.2	63.0	37.0	0.91	
3	300	14.1	79.2	22.8	1.82	
4	400	15.2	85.4	14.6	2.41	
5	700	15.6	87.6	12.4	4.24	
6	1400	16.1	90.5	9.5	8.49	
7	1700	17.2	96.0	3.4	10.39	

图5

表13 缓丘通风侧2米高水平风速变化观测统计表

测点	距离(m)	风速(m/s)	各点与6号点风速比(%)	降低风速(%)	距离是山丘高的倍数	备注
1	坡脚0	12.7	77.4	22.6	0	山丘相对高度81米
2	51	13.2	80.5	19.5	0.63	
3	105	14.6	89.1	10.9	1.24	
4	178	15.4	94.9	5.1	2.14	
5	378	15.8	96.2	3.8	4.67	
6	578	16.4	100	0	7.14	

图6

表14 缓坡山丘背风坡屏障作用下，风速变化观测统计表

测点	距离 (m)	风速 (m/s)	各点与基点风速 百分比	与基点比降低百分数	影响范围是 山高倍数	备注
基点		20.1	100			山丘相对高度73米
1	60	12.7	62.9	37.1	0.82	
2	113	12.1	60.3	39.7	1.55	
3	168	11.9	59.2	40.8	2.30	
4	258	13.9	69.2	30.8	3.54	
5	433	14.2	70.7	29.3	5.94	
6	643	15.8	78.7	21.3	8.81	
7	875	17.9	89.1	10.9	11.99	
8	1031	18.7	92.1	6.9	14.0	

图7

孤立山足（宽小于200m）因山丘两侧绕流作用，在山丘背风侧山高2倍的距离处风速强，此点为两股汇合绕流之处。由于南北疆地貌结构的差异，导致沙尘暴风动力条件不一样。南疆盆地冬季因位于蒙古高压的西、西南部、冷气气倒灌盆地的东开口，盆地东部形成东风、东北风。盆地西部因受西部冷空气入侵形成西风、西北风。夏季因新疆位于热低压北侧，气候受局部地形环流影响，南疆东部仍以东风为主，西部主导风向为西风。在塔里木盆地常年存在两大风系，尼亚河以西盛行西风，以东盛行东风。尼亚河一带是东风系辐合带。除此而外，北疆年平均沙尘暴5天左右，而南疆年平均20~30左右。

甘肃河西走廊，由于南，北两山之间这一狭长地带，具有狭管效应作用。河西走廊以金塔—酒泉一线为界，分为东西两部分。西部以祁连山和马鬃山，色尔乌拉山间形成较宽的“狭管”。而东部以祁连山和龙首山、合黎山间形成较窄“狭管”。当气流分别流经这两段狭管时，风速都会增大，风力增强。两段狭管中敦煌，安西、玉门的风速资料列于表15。

从表15中可知，西段走廊可使年平均风速提高91%，春季沙尘暴频发季节可使风速提高74%。东段“狭管”中心线的几个县的气象台站风速资料列于表16。从表中可知，从走廊西口到东口，年平均风速提高40%，春季风速提高60%。1993年5月5日特大沙尘暴，沿走廊各地最大风速也反映了类似规律。走廊自西向东沿途各台站最大风速：高台21 m/s、临泽21 m/s、民乐23 m/s、永昌28 m/s、古浪25 m/s。风速逐渐增大的规律，是走廊狭管效应的表现。

表15 河西走廊西部风速季节变化

位置	气象站	平均风速 (m/s)					≤8级大风 (日)
		年均	冬	春	夏	秋	
走廊西部	敦煌	2.2	2.1	2.7	2.2	1.8	15.4
	安西	3.7	3.4	4.4	3.5	3.3	68.5
	玉门	4.2	4.7	4.7	3.6	3.9	42.0

• 资料取自《甘肃河西地区水土资源及其合理开发利用》资料截止1980年

表16 走廊东部风速资料

位置	气象站	平均风速 (m/s)					≤8级大风 (日)
		年均	冬	春	夏	秋	
走廊东部	高台	2.5	2.2	3.1	2.6	2.1	9.1
	临泽	2.5	2.8	3.4	3.2	2.5	21.7
	民乐	3.4	3.4	3.7	3.4	3.1	11.2
	永昌	3.2	3.0	3.7	3.0	3.0	18.3
	古浪	3.5	3.7	3.3	3.7	3.5	4.5

（二）人为因素

人为因素表现在人为堆放和人为扰动。人为堆放，诸如尾矿，其中粉沙含量达43%以上（表17）。新垦农田粉尘含量也较高，也在70%左右。均为沙尘暴的形成提供了物质基础。

表17 金昌尾矿沙粒度特征

深度(cm)	中沙 0.5-0.25	细 沙 0.25-0.125	极细沙 0.125-0.063	粉 沙 0.063-0.002
0-5	0.13	12.1	38.1	43.2
5-100	0.83	5.23	44.5	55.83

地表沙尘物质的活化裸露过程，不仅与自然条件有关，而且与人为因素密切相关。一方面表现在人为扰动，对地表植被的破坏，即滥垦、滥牧、滥樵采，目前突出的问题是超载，以及在不考虑水资源的前提下追求高效益的开发，破坏已保护多年的地面植被；另一方面是人为对水资源的不合理利用，过量利用地表和地下水资源，导致河流断流，以及地下水下降。地面干燥活化，目前这一现象尤为突出，湖泊水面减少，甚至干涸，使地面沙漠化趋于严重。

1、人为扰动地面，导致地面沙尘物质活化裸露

人为扰动地面包括开垦、樵采、放牧、地面开挖等，破坏地面植被，而植被直接关系到地面的土壤风蚀，植被以三种形式影响风蚀，一是覆盖地表免受风蚀，二是分散地面以上高度内的风动量，从而减小气流与地面物质之间的初量传递，三是阻止被蚀物质的运动。更重要的是造成地面裸露，裸露程度与风蚀有着明显关系（表18）。

表18 不同植被覆盖度与土壤风蚀量的关系

样品 编号	植被盖 度(%)	风蚀临界风 速(m/s)	试样面积 (cm ²)	风速 (m/s)	风蚀量 (kg)	风蚀模数	
						g/cm.m	t/μ.h
1	69.7	10.23	28?5	14.0	0.14	0.020	8.0
				21.6	0.49	0.070	28.0
				24.0	0.82	0.117	46.8
2	58.5	8.70	20?5	14.4	0.25	0.050	20.0
				19.6	0.88	0.176	70.4
				22.4	0.90	0.180	72.0
				23.6	2.28	0.456	182.4
3	27.4	8.27	36.5?5	10.2	0.07	0.008	3.2
				16.7	0.87	0.095	38.0
				20.6	1.95	0.214	85.6
				24.4	4.93	0.540	216.0
4	10.8	7.84	34?5	10.6	0.43	0.050	20.0
				15.5	1.77	0.208	83.2
				21.5	2.36	0.278	111.2
				24.9	4.56	0.538	215.2

据此，可将植被盖度对土壤风蚀的影响作用划分为3种程度类型。即当植被盖度大于60%时，为轻微风蚀或无风蚀；60%-20%为中度风蚀；小于20%为强烈风蚀。据野外风洞实验，经过人为扰动后沙黄土是未经人为扰动沙黄土的风蚀量的8.9倍，经人为扰动的黑沙土是未经人为扰动黑沙土风蚀量的1.2倍。

2、人为对水资源的不合理利用，导致河流断流，地下水下降、湖泊面积缩小与干涸，土地沙漠化发生发展。内陆河下游缺水、断流导致土地沙漠化。塔里木河、黑河沿岸随着中上游农业开发，大量用水，下游地区逐年缺水，甚至断流，植被死亡，沙漠化土地发生发展。塔里木河1958-1978年，胡杨林面积从5.4万hm²减少到1.64万hm²，下游的5个农垦团场弃耕，撩荒的8600多hm²耕地中，已有2000

hm2被风沙和沙丘埋压，尤其1972年大西海子水库的修建，导致阿拉干以南河段水量显著减少，地下水下降，已从50年代的3-5 m，下降到80年代8-10 m。黑河下游，尤其西河地区及东河外侧边缘。沙枣、红柳、胡杨大量死亡，沙漠化发生发展，1985年正义峡年迳流仅7.9 亿m3，已无河水供给下游，索果诺尔于1986年8月干枯，地下水下降，自50年代以来，西河地区建国营北部地下水下降2-9 m。疏勒河流域，也同样如此，由于水库截水，河道水流减少，河床地下水下降，植被死亡，在安西东侧形成大面积新月形沙丘，危害引水渠道及县城。

地下水过度开采，导致地下水下降，沙漠化发生发展。民勤县位于石羊河下游，一方面由于上中游大量利用水资源，民勤县来水量减少，另一方面大量开采地下水补充水循环，导致地下水下降，导致植物死亡。50年代进入民勤水量为5.73亿m3，60年代中期4.45 亿m3，70年代3.22亿m3，地下水资源也同样如此，50年代15.8亿m3，60年代12.013亿m3，70年代9.76亿m3。

水分的变化，引起地面沙尘物质含水率的变化，含水率的变化，导致地面干燥程度，干燥程度又与风蚀密切相关。原因是土壤中有水分存在的条件，水分子与土壤颗粒之间的拉张力增加了颗粒间的内聚力，导致土壤抗风能力的增加，具体表现在土壤含水率越大，土壤颗粒的起动风速愈大，土壤抵抗风蚀的能力愈强。实验结果（表19）

表19 不同风速下风蚀率与土壤含水率的关系

土壤含水率 %	不同风速 m/s条件下的风蚀率g /min			
	10 m/s	15 m/s	20 m/s	25 m/s
2.67	73.04	761.96	1582.23	2480.00
4.14	66.19	210.86	881.32	1568.69
5.20	24.72	145.82	239.42	390.59
5.69	12.94	81.86	172.26	280.42
6.20	0.10	52.03	107.03	244.04
7.13	0.00	27.79	53.53	158.47
7.87	0.00	10.45	47.06	133.92
8.18	0.00	8.76	42.65	90.26
9.52	0.00	5.01	22.83	50.06

就风沙土而言，在土壤风蚀随含水率变化过程中，起初随含水率的增大，风蚀率缓慢地减小。当含水率增大到一定程度时，较小的土壤水分增量会引起土壤风蚀率较大幅度的减少。而后风蚀率随含水率增加而减少的过程又趋平缓。胡孟春（1991）认为沙土含水量2 %是转折点，当含水量<2%时抗风蚀能力变化大，当>2%时抗风蚀能力变化趋于稳定。当沙土含水量达到饱和持水量4.73%时，抗风蚀极限风速稳定在14 m/s左右，即可抗御6-7级大风。

第四节 防灾减灾

沙尘暴是由天气过程和地面过程共同作用的产物。但是目前人类控制天气的能力还很有限，减缓沙尘暴灾害频率与强度的关键在于搞好地面的生态保护与建设。坚持“预防为主，保护优先，防治并重”的生态保护与建设方针；建立和完善生态保护的法规和政策体系，停止一切导致生态环境继续恶化的生产活动，对于超出生态承载能力的地区要采取一定的生态移民措施；利用经济杠杆，在上中游强制性节约水资源，保护和恢复内陆河下游生态环境。恢复与重建沙尘源区的生态。

由于沙漠和戈壁的存在，完全控制地面沙尘源物质是不可能的。在地质时期，历史时期都有沙尘暴现象存在。但由于人口增加破坏地面植被所形成的新尘源可通过调整人为活动，合理利用土、水资源、保护、恢复植被得以减缓。中国政府提出的天然保护、退耕还林还草、防沙治沙工程就是减缓沙尘暴灾害的重大决策。

一、人身安全和财产保护

沙尘暴特别是强风暴来势凶猛，狂风呼啸，沙尘滚滚，黑霾蔽天，伸手不见五指，容易使人特别是青少年、儿童惊慌，禽畜乱跑乱窜，一旦发生火灾，便很难扑灭。以往沙尘暴特别是强风暴的沉痛教训，提醒我们应特别注意保障人民生命财产安全，具体保护措施有如下4点。

（一）防止落水。根据天气预报或见到远方有沙暴墙出现，城乡应及时盖住水井，干渠和支渠尽可能停止放水，以防止行人被沙尘暴卷入水井和渠道而溺死。沙尘暴过境的时候，行人和野外作业人员应保持镇静，并注意避开水渠，选择安全处立即就地卧倒。行人千万注意，不能在渠边、坝上的公路和大道上奔跑，更不能骑自行车疾驶，以免落水，危及生命安全。一旦出现沙尘暴，中学和小学应关闭校门，不能放学，学龄前儿童不得外出，历次黑风暴所造成的伤亡人员中，多为青少年和儿童。中、小学校和儿童家长应引以为戒。

(二) 避开残垣断壁。沙尘暴特别是黑风暴, 风力通常在7~8级以上, 破坏性很大, 行人应特别注意, 不要跑到残垣断壁下风侧避风, 以免墙壁倒塌致伤或被砸死。城镇行人, 不得在建筑物附近活动, 防止窗框、破碎玻璃及广告牌砸伤。

(三) 保护家禽和畜群。根据沙尘暴预报, 家禽和家畜应注意及时归圈归笼, 牧区大小牲畜尽可能不出牧或及时归圈。如沙尘暴出现的时候正在放牧, 牧民必须把畜群赶到低洼地方或沙丘中的丘间低地避风, 防止牲畜被沙尘暴卷走失散或致死。

(四) 防止火灾。沙尘暴对电线、电杆以及变压器等电力设施破坏极大。一旦出现沙尘暴特别是强风暴, 无论城乡或工矿企业, 都应及时切断电源, 或电站停止供电, 以防止电火引起火灾。

二、建立自然保护区

尽快在沙漠边缘过渡带(阻离带)、干旱湖盆、内陆河下游建立自然保护区。自然保护区建立, 防止植被破坏, 促使植被天然更新。诸如, 额济纳旗八道桥胡杨林自然保护区, 胡杨生长好, 天然更新植株多。封育后林木密度大, 幼苗成林快, 一株大径级的老令树周围根蘖繁殖的有效面积可达0.15 hm², 封育当年萌生的幼苗多达134株, 封育6年就郁闭成林。民勤县连古城自然保护区, 保护区红柳和红砂覆盖度在30%以上, 基本固定了沙地, 无沙尘释放, 也阻拦了腾格里沙漠的南侵。

三、调整农业结构, 改革耕作制度

(一) 改变广种薄收的落后农耕方式, 种好基本农田。

不适宜农业的土地退耕后, 在安排好农民在种草种树的同时, 择条件较好(有水源)地方搞自给性种植业。过去在划分旱作农业界限, 仅依据生物气候带, 农作物生长特性, 对地表物质组成很少考虑, 但地表沙尘物质组成, 也是一个重要指标, 标准, 在划分时应加以考虑。

(二) 实施冬春季覆盖措施, 减少地面扰动

通过各种农业措施保护土地不受风蚀。根据中国北方春季风力大, 易发生沙尘暴的气候特点, 提倡作物留茬, 发展间作, 套种, 减少农田的裸露期。改革耕作方式和农具, 推行免耕、微耕。

(三) 发展高科技农业

发展阳光大棚, 温室; 采取地膜覆盖, 既能节水, 又能覆盖地面, 防止土壤风蚀。

四、绿洲防护林体系的建立

中国荒漠绿洲分布星散, 多与戈壁、沙漠边缘缓起伏沙丘、风蚀地相毗连, 同时绿洲内部也分布一些流动沙丘和固定、半固定沙丘, 有些耕地为沙质土或土壤质土, 易受风蚀。正因为如此, 一旦出现沙尘暴, 绿洲内部的农业生产会蒙受损害。绿洲受到风沙危害其沙源不外乎有四种: 1) 流动沙丘前移, 埋压耕地、渠道和作物; 2) 固定、半固定沙丘因风蚀所形成的风沙流, 打击禾苗, 沉积流沙掩埋耕地和渠道; 3) 绿洲周围和内部的戈壁滩所出现的风沙流, 危害耕地; 4) 绿洲沙质耕作土壤经受风蚀毁种毁苗, 丧失肥力。沙尘暴对绿洲的危害实际上可归纳为流沙埋压农田及渠道、沙打禾苗和沙质耕地风蚀三个方面。

实践证明, 如果流沙地、半固定沙地、风蚀地等沙源处于绿洲边缘或内部而耕地遭受流沙埋压和风沙流的袭击, 则治理措施主要是封育天然沙生植被、营造大型防风阻沙林带、固沙林和护田林网。

(一) 绿洲边缘封沙育草

我国西北荒漠地区除高大密集的流动沙丘以外, 或多或少都生长有植被。内陆河流域、湖盆洼地及绿洲地区由于水土条件优越, 原来生长有大面积的天然胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)林、梭梭(*Haloxylon ammodendron* C.A.Mey)林、怪柳(*Tamarix spp.*)、白刺(*Nitraria spp.*)等灌丛、小灌木及多种草本植物。由于长期过牧和樵采的结果, 荒漠植被和绿洲控制区域植被遭到严重破坏, 甚至趋于消失, 地面裸露, 固定沙丘复活, 流沙面积不断扩大, 以致荒漠草场日渐缩小, 风沙对绿洲的危害愈来愈严重。但是, 凡过去曾生长有植被或现在还残留有天然稀疏植被的地方, 仍然具有恢复天然植被的潜在可能性。

50年代以来, 我国西北绿洲地区在大力营造防风阻沙林带、护田林网及固沙林的同时, 把“封沙育草, 保护天然植被”作为防沙治沙的重要措施之一, 并且取得了卓越的成效。一般都在老绿洲迎风侧与沙漠、戈壁、风蚀地等相毗邻的地带, 封育沙生植被宽度超过1~2km, 甚至10~20km, 植被覆盖度由原来的10%~15%恢复到现在的40%~50%以上, 与人工植被结合成为一道保护绿洲屏障。

但是, 过去荒漠林和天然沙生植被的经常性管护工作时有所放松, 植被几度遭到破坏, 其中以60~70年代破坏尤为严重。有时新辟绿洲在垦荒的同时, 往往不注意保护垦区周围和内部非垦地段的沙生植被, 打柴现象较为普遍; 工矿交通建设一般就地乱砍天然植被, 以解决燃料问题。据监测, 到70年代末期, 贺兰山以西由于植被破坏所形成的进展性沙漠化土地面积达80 574km², 以致出现边治理、边破坏、治理赶不上破坏的不正常现象。这不仅影响了绿洲防护林体系建设工程的进程, 而且还促进了沙尘暴特别是黑风暴对农业和工矿交通的危害。

80年代以来, 随着“三北”防护林体系工程的进展, 已把封育天然植被和适度放牧利用天然植被工作放在应有的地位, 防沙、治沙

并举，滥垦、滥牧、滥采、滥挖的所谓“四滥”现象有所遏制，并且到得显著成效。截止1988年，通过封育和管护而使天然植被有所恢复的面积达1万km²以上，其中甘肃与新疆为6 700km²。同时，每年列为封育管护的面积在不断增加。

1、绿洲边缘封沙育草的作用

实践证明，紧贴绿洲边缘营造防风阻沙林带，如果不在外侧封育天然沙生植被，将不断被侵入的风沙埋压，从而生态条件趋于恶化，树木生长衰退趋于枯死。同时这些栽培性的中生乔灌木，一般不能自行繁衍，只能靠人工更新，通常要占用耕地和宜垦荒地。而位于绿洲边缘和内部的沙丘和沙地，天然灌木、小灌木由于长期适应环境的结果则相对比较稳定，可自行更新蔓延，所以封沙育草，保护天然植被，是绿洲防沙治沙工程基本环节之一。

①封育促进天然植被繁育。与绿洲毗连的沙漠、风蚀地、戈壁除个别地段以外，沙丘和缓平沙地多半覆盖在过去曾经耕作过的土地或土壤上，沙丘比较低矮，丘间低地宽阔，缓起伏沙地起伏不大，有的平沙地上风成沙很薄。丘间低地和风成沙下伏土层较厚，地下水位通常埋深2~3m，最深也只有6~7m，必要时，可适当利用农田余水并结合丘间造林进行补给性灌溉。因此，绿洲周围及整个绿洲控制区的沙丘、缓平沙地、风蚀地以及戈壁滩的生态条件对天然植被的恢复、蔓延极为有利。在残留一些自然植被的地段，只要适当加以封育，禁止樵采和挖掘药材，控制放牧，天然植被就能繁殖起来。

②封育植被的变化随生境而异。绿洲非耕作地段一经封禁各地所繁衍的天然植物种随生境而异。各地通过封育业已形成或可能形成的灌丛沙堆，多为多枝怪柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)、疏枝怪柳(*T.laxa* Willd.)、塔克拉玛干怪柳(*T.taklamakanensis* M.T. L; U)等怪柳，白刺(*Niraria tangutorum* Bobr.)、大果白刺(*N.robrowskii* Kom.)等灌木。在丘间低地、缓起伏沙地、平沙地，一般生长有甘草(*Glycyrrhizauralensis* Fisch.)、胀果甘草(*G. inflata* R. Br.)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* Shap. ex Kell. et shap.)、苦豆子(*Sophora alopecuroides* L.)、披针叶黄华(*Thermopsis schischkinii* Czefr.)、油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch.)、沙蒿(*A.arnaria* DC.)、花花柴(*Karlinia caspica* Lass)、沙竹(*Psammochloa villosa* Bor.)、黄喇叭(*Inula salsoloides*(Turez.)Ostenf.)、碱蓬(*Suarda glauca* Bge.)、芨芨草(*Achnatherum splendens*(Tvin.) Nevski)、芦苇(*Phragmites australis*(Cav) Trin. exsteudel)以及猪毛菜(*Salsola* spp.)、沙拐枣(*Calligonum* spp.)、红砂(*Reaumuria soongorica* (Pall.) Maxim.)、珍珠(*Salsola passerina* Bge.)、盐爪爪(*Kalidium foliatum* Pall. Moq.)等小灌木。由于这些植物天然下种、根蘖萌生等繁殖能力强，虽屡遭人为破坏，即使残株很少，一经封育，特别是在结合营造防风阻沙林带引水灌溉丘间低地的情况下，一般经过3~5年之后，植被覆盖度可恢复到40~50%以上(表20)，即能起到固定流沙、控制流沙和阻截外来风沙流的作用。

表20 荒漠绿洲周围及内部封沙育草的成效

地 区	封育年限	主要植物种	植被盖度(%)
内蒙古乌兰布和沙漠北部新垦绿洲周围	5	油蒿、籽蒿、沙竹等	40~50
甘肃河西走廊金塔绿洲周围	3~4	骆驼刺、芦苇、芨芨草等	45
甘肃腾格里沙漠南缘绿洲周围	5	沙蒿、盐爪爪、碱蓬、白刺等	50
新疆吐鲁番盆地绿洲周围	3	骆驼刺、芦苇等	60

③封育降低风沙危害。观测表明，绿洲控制区通过封沙育草所形成的固定、半固定沙地，距地面2m高度的风速比流动沙丘区和裸露的风蚀地相对降低50%左右。在甘肃河西走廊民勤绿洲西侧，在流动新月形沙丘链的低凹地段，每年断面风沙流携带通过的沙量达14 m³/m，而封沙育草区所通过的沙量为0.7 m³/m，仅占流沙区过沙量的1/20，并且还被下方白刺、怪柳等灌丛所拦截而沉积下来，不侵入绿洲；在封沙育草带外侧，每年断面上所通过的沙量平均为11 m³/m，在下风侧约300 m植被覆盖度为60%的封沙育草地段上，过沙量只有0.5 m³/m，只占1/22。一株怪柳逐渐拦截流沙所形成的沙堆，高5 m，直径4.5 m，固住和控制的风成沙达2 500 m³；一个高2 m、直径10 m的白刺沙堆，固住的流沙达2300 m³；植被覆盖度为70%的缓起伏封沙育草区，固定和控制的流沙达105~225万m³/km²。

由此可见，绿洲周围和内部的封沙育草带和地段，一旦天然植被恢复起来，既能阻沙又能积沙，即使一时植被覆盖度不够，风沙流或就地形成的风沙流，也会被下风侧沙生植被层层阻拦，再加之近地层风速大为降低，而侵入绿洲或沙边的防风阻沙带的余沙就有限了。正因为如此，东起乌兰布和沙漠、腾格里沙漠、西至塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠，凡绿洲四周建有大型防风阻沙林带，其外侧紧接着总有一条封沙育草带，不仅绿洲不再受到流动沙丘或风沙流的袭击，而且绿洲边缘的防风阻沙林带、片林和丛林也很少出现沙埋现象。

5·5黑风暴在封沙育草带和大型防风阻沙林带防护下的绿洲，基本上没有受到流沙的袭击。甘肃省玉门市花海绿洲北侧有怪柳沙堆400 km²，沿绿洲边沿封育管护较好，怪柳丛覆盖度多为40%~50%，沙面枯枝落叶层厚度一般在10 cm以上，因而受黑风暴危害很轻。这次黑风暴对甘肃河西走廊、内蒙古阿拉善盟和宁夏部分地区危害最严重的多为老绿洲防护林体系不完善的风口地段和新垦绿洲。以甘肃省景泰—古浪新垦绿洲为例，在开垦过程中，因不注意保护北缘腾格里沙漠边缘和垦区内部的固定、半固定沙丘的天然植被，樵采过牧现象严重，同时在绿洲林网建设尚处于初期阶段的情况下，开垦了一些灌丛沙堆，以致5·5黑风暴中，毗连沙源的农田和渠系都遭到沙埋，开垦的沙质耕地吹出犁底层，平均风蚀深度按10 cm计，连同种子、作物幼苗所吹失的沙量达1000 m³/hm²。因此，无论老绿洲或新

垦绿洲，必须长期封育管理四周和内部沙丘的天然植被，严禁樵采和过牧。

④封育能加强成土过程。在封沙育草地段，通过降尘、植物枯叶、分泌物、苔藓地衣等的作用，沙面逐渐形成结皮，流沙成土过程加强，日益变得紧实，抗风蚀能力大为增强，即使适度放牧，沙面结皮有所破坏，也有抗风蚀能力。封育年限较长的固定沙丘地段，沙层水分状况恶化，灌丛也许会趋于退化枯死，但一般伴随有草木植被繁生，不会重新活化起沙。

2、绿洲地区封沙育草区的管理和利用

我国西北灌溉绿洲的生态环境之所以恶化，在很大程度上与樵采过牧及滥垦而大肆破坏绿洲周围和内部的天然植被有关。对此，史籍有所记载。清乾隆14年（公元1749年）和以后修纂的《民勤县志》提到：“红柳（怪柳）境外产者多，材小作薪，桦（花棒）野产，材小作薪”，“沿边墩台五十里，每五里设立一墩，每墩各有暗门，听采樵车牛出入，时守门兵丁不过调查数目，皆不可云隘口，今沿边墙垣（长城）倾塌者十之七八，沙淤者十之二三，听命之便，随处皆通”；“今飞沙流走，活壤忽成丘墟。未经淤压者，遮蔽耕之，陆续现地者，节次耕之。一经沙过，土脉生冷，培粪数年方熟”。这里说明，处于腾格里沙漠与巴丹吉林沙漠包围之中的古老民勤绿洲，许多世纪以来，远近樵采，破坏天然植被极其严重，以致近百年来，这里“尔来狂风肆虐阴霾为灾，黑雾滔天，刮尽田间籽种，黄沙卷地，飞来塞外沙丘。鬻女卖儿，半是被灾之辈，倾家荡产，尽为沙压之民。

新中国成立之后，民勤绿洲四周长达300 km的风沙线和内部，通过封育逐渐形成的沙生植被面积达1300 km²，其中直接毗连绿洲的沙生植被带近200 km²，同地绿洲防护林体系较为完整。正因为如此近几十年来，在历次黑风暴中，民勤绿洲受灾趋于减轻，即使大范围致灾的5·5黑风暴，民勤绿洲受灾较轻，也无人身、牲畜伤亡。

根据各地实践经验，我国西北新、老绿洲封沙育草的管理和利用可采取以措施：

①规划封沙育草区（带）的宽度。各地应根据绿洲迎风侧沙源情况和残留的沙生植物多少加以确定。封育初期，由于残留植物稀疏，风沙活动很强，在绿洲与沙漠、风蚀地、戈壁风沙流活动地段的接壤地带，规划封育宽度应为500~1500 m。规划区作为重点封育区，严禁放牧、打柴、刨根、拔苦豆子、割草、挖甘草等人为破坏活动。规划区外侧，乃为大沙源与封育区的缓冲地带，应划为次重点封育区，应节制放牧，禁止樵采，使沙生植被得以滋生和蔓延。绿洲内部的沙片、沙带、风蚀地以及戈壁滩，应结合绿洲固沙造林予以封禁，促使天然植被繁生，防止风沙向四周扩散，埋压农田，沙割禾苗。

②封沙育草带与防风阻沙林需紧密结合，才能提高封育成效。封育区由于过去屡遭破坏，沙生植被分布不均，中间有块状流动沙丘、植被稀疏的缓平沙地和丘间低地，即使封育后植被有所恢复，在大风特别是沙尘暴、黑风暴的袭击下，风沙流仍然有可能扫向绿洲。例如，新疆吐鲁番绿洲艾丁湖地区在1975年4月7日持续30多个小时的风速20 m/s以上的黑风暴中，由于封沙育草区植被不足以遏制近地面沙暴，在距离封沙育草区内沿300~400m的所有耕地上，虽建有护田林带，小麦因受沙埋、沙打和风蚀为害而枯萎，灾情仍很严重。为此，各地应适当利用农田余水灌沙，在封沙育草区的丘间低地和平沙地营造乔灌木的丛林、片林、带状林，在绿洲边缘营造防风阻沙紧密林带，从而可形成封育的天然植被与人工林相结合的绿洲防护屏障（图8），以防御沙尘暴和黑风暴侵袭。

③封育初期辅以灌溉，加速植被恢复。封沙育草区如果地下水位很深，植被不能利用，封育初期应灌溉丘间低地和缓平沙地，以加速沙生植被的恢复。引水灌沙在封沙育草初期每年1~2次，随后每年或隔年1次，不仅有利于残余稀疏天然植被下种、萌生、蔓延和复壮，而且还能防止或延缓灌丛衰老、退化和枯死。在民勤绿洲封沙育草区，灌水后丘间低地天然下种的怪柳，达1050丛/hm²以上，8龄高达1.2~1.7 m、冠幅1~2 m，可拦截近地面的过境风沙流。在引水灌沙的条件下，除丘间低地造林外，应在低平地段播种沙蒿、白刺、沙拐枣、花棒（*Hedysarum scoparium Fisch et amEY.*）、柠条（*Caragana korshinskii Kom.*）等植物，以提高植被覆盖率。

④适度放牧，促进封育植被恢复。绿洲畜牧业不同于荒漠游牧业，历来就有就近放牧的习惯。封沙育草区数年之后，天然植被达到50~60%以上，沙面趋于固结，这时可以进行适度利用。否则，封沙育草区的植物资源特别是灌木会自生自灭，而雨季生的一年生草本植物一年一枯荣，年复一年，造成浪费。国内外研究证明，荒漠沙生植物的营养价值高于半干旱草原，畜产品也优于半干旱区和湿润区。利用封沙育草区节制放牧，对于发展绿洲畜牧业是很重要的。

对于怪柳、柠条、白刺等萌生灌木，可隔年或间隔2~3年进行平茬，供作燃料，其中怪柳枝条还能作为编芭、编筐材料。平茬或放牧，可促进灌丛萌生，防止衰老枯死。实践证明，封育过久的沙生植被，一旦衰退就日趋严重，适度利用，更新复壮情况较好。当然，应当禁止刨根一类活动，适当挖掘甘草等药材必须填坑，以利其根蘖萌生，同时防止流沙再起。

⑤加强行政管理。关于封沙育草区的管理问题各地多有实践经验，应加强或成立管理机构和管理站，由国营农、牧、林场和乡办、村办林场负责管护。在一个地区的范围内，各管护组织要加强协作，实行分区、分段联防，保护封育区的一草一木，控制利用。就甘肃河西走廊而言，35个国营林场、5个治沙站、32个沙生植被管护站，共封育保护天然沙生植被面积达2600 km²，效果很好。图8

（二）天然荒漠林封育和保护

是戈壁多有植被生长,在山前洪水的作用下,有些戈壁植被覆盖度可达 30~40%。戈壁历来是荒漠牧场类型之一,除适度放牧以外,今后应严禁新老绿洲、城镇和居民点以及工矿交通建设过程中就近樵采破坏旱生植被,以保护戈壁草场,维持我国西北荒漠地区由于气候干旱,年降水量不足 100 mm,许多地区在 40~50 mm 以下,植被稀疏矮小,流沙面积大。但戈壁生态平衡。沙漠和绿洲多为广袤戈壁所隔开,戈壁植被对遏制沙尘暴和黑风暴的发生发展,对于控制沙漠化的扩展,具有很大作用,荒漠生态建设不能忽视戈壁旱生或超旱生植被的管护。

中国西北沙漠地区流动沙丘面积占 75%,但植被面积达 15 万 km²。塔克拉玛干沙漠面积 33.76km²,高大流动沙丘占总面积 85%,但河谷地带分别有荒漠河岸林和塔克拉玛干怪柳等多种植物。库姆塔格沙漠和阿拉善高原巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、乌兰布和沙漠的面积合计为 22.02 万 km²,多为流动沙丘,但沙漠四周以及沙漠内部的湖盆周围一般都有固定、半固定沙丘,历来为牧场,维持着脆弱的生态平衡。至于古尔班通古特沙漠,面积为 4.88 万 km²,其气候类似于中亚沙漠,冬春有雨雪,年降水量可达 100~150mm,生长有梭梭柴、白梭梭(*Haloxylon persicum* Bge.)、蒿属(*Artemisia* spp.)及多种短命植物,基本上为固定、半固定沙垄。柴达木盆地沙漠和风蚀地面积为 3.49 万 km²,也生长有沙生植被。

中国沙漠和戈壁植被从历史时期以来,或多或少受到绿洲农业、荒漠游牧业以及水系变迁的干扰、破坏,甚至局部毁灭而沦为荒漠或沙漠。但由于人烟稀少,交通不便,远离绿洲,渺无人迹,沙漠、戈壁植被时而破坏时而恢复,到 40 年代末期,这一地区还保留下大面积的荒漠河岸林、荒漠梭梭林以及怪柳、白刺灌丛。近半个世纪以来,随着农垦、工矿交通建设、城乡居民点日趋增多等各项事业的发展,由于受生态意识、传统习惯以及经济条件种种因素的限制,我国在建立新、老绿洲防护体系、绿化城乡居民点的同时,时而大肆破坏荒漠高大植被,历史上人迹罕至的梭梭林,也难幸免,一面治沙,一面又在人为扩大沙漠化和荒漠化面积。

为了加速我国西北地区以治沙为特色的生态建设工程进度,为了进一步遏制或削弱风沙特别是沙尘暴、黑风暴对绿洲、工矿交通、城乡居民点的危害,今后应采取行政手段和依法强化整个西北地区天然植被的管护工作,只能适度和轻度牧业利用,禁止毁灭性樵采,防止滥挖药材。这里着重强调荒漠天然梭梭林和荒漠河岸林的管理问题。

1、荒漠梭梭林的管理问题

中国西北沙漠、戈壁地区和中亚、哈萨克斯坦诸沙漠广泛分布着天然梭梭林,因而称梭梭荒漠。梭梭柴在我国又称梭梭;蒙语称查干、扎干、察干,扎克(译音有种种写法);古籍称琐琐、锁锁。在中亚和哈萨克斯坦,过去把梭梭柴与黑梭梭(*H. aphyllum*(Minkw.)Iljin)作为 2 个种,现在归并为梭梭柴 1 种。我国梭梭柴东起半荒漠库布齐沙漠经内蒙古阿拉善高原、甘肃河西走廊、青海柴达木盆地一直分布到新疆。白梭梭(*H. persicum* Bge.)仅见于新疆古尔班通古特沙漠精河、玛纳斯湖及奇台。

梭梭柴为大灌木或大乔木,最高 7~8 m,干基直径 60~70 cm,寿命 50 年以上。梭梭柴可生长于土质平地(土漠)、砾漠(沙砾质戈壁)、盐漠(干涸湖盆)及沙漠沙丘和丘间低地,为一种吸地下水植物或称潜水湿生植物,生境地下水位较浅,一般埋深 1~4 m;如果地下水较深,时而有洪水过境,也能生长。白梭梭一般生长在流动沙丘或半固定沙丘地区,多与梭梭柴混生。

①荒漠梭梭林的分布。根据 50 年代末和 60 年代初调查,我国西北荒漠东缘的库布齐沙漠西南缘代庆召地区有一片梭梭林,控制面积 3 km²,覆盖度为 15%。散生,株高平均 2.5 m,地径 9 cm,丛幅 2~4 m。

狼山以北内蒙古巴彦淖尔盟乌拉特后旗的巴音戈壁至巴音前达门地区一直到中蒙国界所分布的白云察汗沙漠、海里沙漠和博克蒂沙漠,有一条断续的梭梭林带,东西长约 200 km,南北宽 5~10 km,控制面积共有 1700 km²(据 1974 年复查还保留有 833 km²)。由于长期樵采和过牧的结果,这条梭梭带出现缺口,这里有羚羊和野骡出没。其中白云察汗沙漠梭梭林生长于干涸湖盆之中,地下水位深 1~3 m,中心地区梭梭林分布较密,600 株/hm²,平均高 3 m,灌幅 3.5 m,结实丰富,更新情况良好;博克蒂沙漠梭梭林生长于干涸湖盆及其周围的风蚀低平地 and 流动沙丘之上,地下水位一般埋深 1~3 m,以博克蒂庙一

带林分较密，郁闭度为 0.3；海里沙漠梭梭林生长在沙带边缘的流动沙丘以及干涸湖盆、干河床和侵蚀沟的沙土地段上，地下水深 1~4 m，散生，200~250 株/hm²，高 1.5 m，灌幅 2 m，至于生长在沙砾质戈壁上的散生梭梭，高度多在 1m 以下。

内蒙古阿拉善盟梭梭林控制面积 7000 km²。其中乌兰布和沙漠西南部吉兰泰盐湖四周及其以北的梭梭林，控制面积约 2270 km²，占该沙漠总面积的 22.9%。在丘高 10 m 以下的沙丘上，生长较好，土质平地上林分稀疏不等，在盐渍土和沙砾质戈壁上，散生。腾格里沙漠东部扎克图和西部石头海子地区的半固定沙丘、丘间低地地下水位深 1 m，390 株/hm²，高 1~3 m，有天然下种幼树 75 株/hm²。

在博克蒂沙漠以西、巴丹吉林沙漠东部、亚马雷克沙漠以北、中蒙国境线以南的广大的地区，梭梭广为分布，其中苏红图、哈尔敖日布盖及树贵湖地区 3 条梭梭林带，共有面积 3046km²。梭梭多生长于流动沙丘区域边缘和干涸湖盆四周，地下水位埋深，林分极其稀疏，30~90 株/hm²，凡覆沙地段，梭梭生长较好。额济纳旗境内的梭梭林，面积在 2000km² 以上，其中拐子湖梭梭林带东西长 125km，南北宽 6km，控制面积 380km²；古日乃湖梭梭林带南北延伸约 180km，宽 10km，控制面积 1330km²。居延海周围及马鬃山以东、弱水以西的戈壁地区散生梭梭控制面积也在 1330km² 以上。居延海周围及马鬃山以东、弱水以西戈壁地区散生梭梭控制面积也在 330km² 以上。

甘肃河西走廊永昌、安西、敦煌等县及阿克塞哈萨克自治县等沙区也有散生梭梭。青海柴达大盆地铁圭沙地、诺木洪农场北部的山麓地带及塔尔丁与茫崖以西的山间盆地有梭梭林分布。梭梭多生长于盐渍土、砾质戈壁及沙砾质戈壁。其中诺木洪农场北部山麓盐渍土地带的梭梭林，长 130~150 km，宽 3~4 km，控制面积为 330 km²。新疆塔克拉玛干沙漠北部至阿克苏一线，库姆塔格沙漠南侧地带，哈密盆地东部沙砾质戈壁地区，嘎顺戈壁、诺繁戈壁及中戈壁都有梭梭散生。

新疆准噶尔盆地是我国荒漠梭梭林分布最为集中的一个区域。50 年代，这里梭梭林控制面积为 7 万 km²。准噶尔盆地梭梭柴一般生长于固定沙丘、丘间低地、土漠、沙砾质戈壁及干涸湖盆地区，地下水较浅。白梭梭多生长于流动沙丘和半固定沙丘地区，地下水较深，一般与梭梭柴混生；白梭梭林主要分布在古尔班通古特沙漠和艾比湖东部沙漠，在乌仑古河和额尔齐斯河沿岸的沙丘上有零星生长，这一盆地保存最好的梭梭林，处于无道路可进入的偏僻地区，为数不多。其中甘家湖梭梭林较好，面积为 533 km²，已辟为自然保护区，管护面积达 900 km²。这里梭梭柴与白梭梭混生，间有胡杨、怪柳等混生林镶嵌分布。另一片保存较完整的梭梭林，处于古尔班通古特沙漠西侧、索布古尔沙漠东北侧、达巴松诺尔以南，即哈尔扎克（蒙语是黑梭梭的意思）梭梭林。梭梭林东西最长 65 km，南北最宽 42 km，梭梭柴面积约为 1570 km²。这里中部和东南部沙壤土和龟裂壤土上的梭梭林，生物量很高，材重可达 5~13 t/hm²；北、西、南部固定、半固定沙丘上的梭梭林，材重为 3~8 t/hm²。

②荒漠梭梭林的管理与利用。我国荒漠梭梭林历史上的破坏，限于绿洲附近地区。人迹罕至的沙漠腹地及偏僻地区，直至 50 年代，梭梭林还保存得较为完整，遍地有粗大的枯老木，说明游牧民樵采并不存在滥砍滥伐问题。据 1960 年初普查，当保存的梭梭林控制面积达 11.7 万 km²，相当于我国沙漠、戈壁总面积的 10%。

随着农垦、工矿交通事业的发展，特别是至 60~70 年代，对梭梭林樵采的破坏达到前所未有的规模和程度，凡公路或大道可进入的地区，滥伐现象尤为严重，梭梭柴甚至成为市场的优质薪材公开出售，企事业单位深入沙漠、戈壁深处挖运梭梭柴作为燃料，破坏最严重的是准噶尔盆地、柴达木盆地及阿拉善地区。

近半个世纪以来，我国西北农垦取得了巨大成就，新绿洲的林网化建设日趋完善。但是，在农垦的同时，却忽视对垦区周围天然植被的管理保护工作，其中以荒漠梭梭的破坏较为惨重。乌兰布和沙漠北部 60~70 年代的大规模农垦，先是砍伐梭梭柴，后是樵采红砂、白刺等灌木，以致使 2000 多 km² 的梭梭林几乎破坏殆尽，所剩无几。

众所周知，古尔班通古特沙漠，是以荒漠梭梭林为景观的固定、半固定沙漠，面积达 4.88 万 km²。50 年代，其流沙面积仅占 3%，梭梭林控制面积达 7 万 km²，后来由于人为破坏，如今仅剩 38.6%，为 2.7 万 km²。其中沙漠南缘东起木垒、西至奎屯长达 500 km 的地带，因农垦等原因，固定沙丘普遍活化，

许多地方出现流动沙丘带，侵入新垦绿洲，危害农田，阻塞交通，沙尘暴频繁。这里以莫索湾垦区为例，从 1958 年以来农垦新建绿洲面积为 70.5 万亩，成为新疆粮棉生产的重要基地之一。这里原来无人活动，以梭梭为主的天然植被相当稠密，没有流沙。开垦初期，多以垦荒地上清除征来的梭梭柴作燃料，随后由近及远深入沙漠砍伐梭梭林，与此同时，过度放牧，造成流沙，沙漠上的羊圈因沙埋不得不数移其址。开垦面积过大，因水源不足，而部分弃耕，耕地土质差，弃耕再另开新地，这样弃耕面积达 12 万亩，风蚀沙化极其严重。据估计，1960~1980 年间，该垦区破坏古尔班通古特沙漠南缘梭梭林面积达 48 万亩。破坏梭梭林的结果，造成垦区沙害愈发严重，沙漠牧场的生产力急剧下降，沙尘暴日数由最初每年 6 次增加到现在 22 次。1983 年 5 月 21~22 日持续 9 小时 8 级风速的沙尘暴，垦区农田受灾面积达 24 万亩，其中棉田 15 万亩，有些麦田积沙厚 6 cm，30% 的麦苗被沙割致死。

中国荒漠梭梭林是沙漠、戈壁地区生物量最高的一种植被类型，誉为“荒漠大力士”，抗逆性强，易繁衍，不仅能防风固沙，而且经济价值很高。荒漠梭梭林历来用作牧场，是牧养骆驼的最佳场所。梭梭材质坚硬，火力极热，烟少，为优质薪炭材。正因为如此，我国荒漠梭梭林以樵采破坏最为严重。梭梭是我国西北特产名贵药材肉苁蓉等（*Cistanche deserticoides* Maemend.）的根寄主，产量大宗，仅内蒙古阿拉善盟年产 150 t，畅销日本、东南亚诸国。年年乱掏乱挖肉苁蓉，对梭梭林的破坏性也很大。

近几十年来，我国荒漠梭梭林滥伐、乱挖现象屡见不鲜，这一优质牧场肉苁蓉趋于濒临毁灭的境地。从治沙遏制沙尘暴为害角度出发，今后各地应采取果断措施加以管理保护，依法严格控制乱砍、乱挖行为。同时适当划区封育和轮牧，为残存梭梭复壮、结实和天然下种更新创造休养生息的条件，否则幼株、幼苗被牲畜啃食和践踏难以生长起来。“三北”防护林体系建设工程已把荒漠梭梭林划为重点保护的天植被之一，并将海里、甘家湖等地梭梭林划为自然保护区，但应适当增加投资，加强管理，加强研究工作，以便探索梭梭林的复壮、天然更新规律、抚育措施以及放牧、樵采、挖掘肉苁蓉等适度利用的技术措施。

2、荒漠河岸林的管理问题

中国西北地区的沙漠河岸林，在河流两岸形成绿色走廊，成为控制沙漠扩展的绿色屏障。这种森林主要是由乔灌木组成的，乔木以胡杨为主，仅在部分地区还有少量灰杨（*Populus pruinosa* Schrenk）、银灰杨（*P. canescens* (Ait.) Smith）、银白杨（*P. alba* L.）、黑杨（*P. nigra* L.）、苦杨（*P. laurifolia* Ledeb.）及沙枣（*Elaeagnus angustifolia* L.）；灌木有怪柳、白刺、铃铛刺（*Halimolobos laetiflora* (Pall.) Voss.）、黑枸杞（*Lycium ruthenicum* Murr.）等；草本植物有甘草、骆驼刺、苦豆子、罗布麻（*Poacymum* Spp.）、芦苇、拂子茅（*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth）、芨芨草等。沙漠河岸林地带，土壤肥沃，水分充足，乔灌木植被茂密，生态环境优越，适合于人类的社会经济活动，正因为如此，我国沙漠河岸林地带多已开辟为灌溉绿洲，河岸林所剩不多。

①荒漠河岸林的分布。我国西北老绿洲控制区域，河岸林尽管自行更新能力很强，但由于长期遭受砍伐及过牧的结果，濒临灭绝地。现在，内蒙古后套地区、乌兰布和沙漠北部、河西走廊以及柴达木盆地，仅有散生胡杨的孤立木、根蘖丛林及小片疏林。荒漠河岸林保存较多的有内蒙古弱水河、甘肃疏勒河、新疆塔里木盆地和准噶尔盆地诸河流域。据不完全统计，荒漠河岸林 1958 年控制面积约为 1.3 万 km²，到 1976 年缩小为 4857 km²，减少 62.6%。

沙漠河岸林是一种泛滥地森林，其发生发展过程和演变趋势是由水分状况决定的。一般说来，胡杨等杨树及其它乔灌木树种实生苗多出现在地下水位埋深 1~2 m 的河漫滩地，地下水位越深，林木即趋于衰退或枯死。塔克拉玛干沙漠塔里木河由于经常改道的结果，古河道南北两侧分布范围上游宽 120 km 以上，中游 190 km，下游 30~40 km，干河床两侧胡杨林或枯死，或被沙埋，这就是说，河流改道或截流蓄水，原有的河岸林一旦失去水源，终究会消失。

我国西北荒漠河岸林，按优势树种可分为沙枣林，见于河西走廊黑河上游、叶尔羌河、和田河及克里雅河流域局部地区，常有胡杨混生；胡杨林，西北分布广泛，见于河谷和绿洲，以南疆诸河两岸分布最多。

②荒漠河岸林的管理与保护。荒漠河岸林是一种独具一格的森林生态系统，对于维持河流冲积平原和绿洲的生态平衡，对于发展沙漠农牧业生产及交通建设，对于防止沙漠和沙尘暴对河谷和绿洲侵袭，

都具有重要的作用。有史以来，荒漠河岸林是沙漠地区农牧民赖以生产生活的基地，并在其中开拓了许多大小绿洲，但对这种森林资源从来不予重视，不加以管理；只利用，不进行抚育和更新，任其自生自灭。由于人为干扰的结果，许多河流过去曾经生长过较为茂密的河岸林，但后来却变成沙漠化土地。

为了保护和扩大现有荒漠河岸林，应设立专门管理机构，切实管理起来，严禁乱砍滥伐和毁林开垦，适度放牧利用。同时，各地结合农业发展规划，应合理分配河流上、中、下游的农田用水和林牧用水，使下游河岸林和其它泛滥地植被得到河水的滋润，潜水得到补给。

应当适当封育轮牧，保护根蘖幼树和天然下种幼苗，不断扩大河岸林面积。

（三）绿洲周边防风阻沙林带的营造

中国西北地区防风治沙的一个显著特色，从 50 年代开始就注意在绿洲与沙漠、戈壁、风蚀地相毗连的地带，结合封沙育草，营造宽窄不一的大型防风阻沙林带，防止流动沙丘和风沙流对绿洲的入侵。在乌兰布和沙漠北缘，50 年代沿东北缘二十里柳子至太阳庙营造了长达 175 km，宽 30~400 m 至 1~2 km 的防风阻沙林带，即当地称作的防风固沙基干林带，总面积在 6700 hm² 以上，宛如一条“绿色长城”，有力地制止了大面积流沙向东侵袭，保护着后套绿洲西缘的大小城镇和居民点 150 处、农田 2 hm² 和草场 67 万 hm²。三面环沙的蹬口县，在这一条防风阻沙林带的保护下，过去被流沙埋压的 8 万亩农田恢复了耕种。

河西走廊沿绿洲边缘所营造的大型防风阻沙林带，其延长线长达 1204km，面积达 12 万 hm²，占风沙线总长度的 70%，控制流动沙丘面积近 20 万 hm²，同时使 1400 个村庄不再受到流沙危害或威胁。近 10~20 年来，新疆新老绿洲在建设护田林网的同时，注意绿洲周边大型防风阻沙林带的建设，并且已取得效果。西北地区各地实践证明，绿洲地区营造周边大型防风阻沙林带，对于控制和减弱沙尘暴特别是黑风暴对绿洲的危害有显著作用。

绿洲周边水土条件优越，对乔、灌木树种有利，营造林带 3~5 年后就能趋于郁闭。防风阻沙林带一旦形成，就能阻截迎风侧的流动沙丘和风沙流，同时背风侧在林带高 20 倍的距离范围内，平均风速下降 40~50%，可保护沙质耕地免受风蚀和沙割禾苗之害。为了防止或削弱沙尘暴特别是黑风暴对绿洲的危害，必须进一步完善现有绿洲周边大型防风阻沙林带，今后农垦的同时也必须加速大型防风阻沙林带建设。

现就营造这种林带的实践经验归纳如下：

1、防风阻沙林带应由片状林、块状林和带状林构成，错综分布。根据“因地制宜，因害设防”的原则，以沙丘的丘间低地、风蚀地、缓平沙地造林为主，尽可能少占用绿洲周边耕地或宜农土地，也不应远离绿洲，否则因生境水土条件差，引水灌溉困难，造林不易成活，即使一时灌水成活，成林后因缺水也会枯死。

2、营造防风阻沙林带时，应由近及远，先易后难。这就是说，先贴绿洲周边造林，逐渐向外扩展加宽。若为沙丘地段，先在丘间低地造林，前挡后拉，以丘间团块状林分隔包围沙丘；随着沙丘前移和丘顶被风力削平，在退沙畔再进行造林，在扩大丘间林地面积，这样在不采取沙障一类工程技术措施直接固沙的情况下，能够形成较为稠密的防风阻沙林带。

3、防风阻沙林带应由乔灌木树种组成，以行间混交为宜。愈接近外来沙源一侧，灌木比重应该增大，使之形成紧密结构，以便把前移的流动沙丘和外来的风沙流阻拦在林带外缘，不致侵入林带内部及其背风侧的耕地。

实践证明，我国西北绿洲周边营造防风阻沙林带的乔木树种主要是沙枣、小叶杨（*Populus simonii* Carr.）、二白杨（*P.gansuensis* c. Wang et H.L.Yang）、新疆杨（*P.alba* L. var. *pyramidalis* Bge）、钻天杨（*P.nigra* L. var. *italica* (Muenchm) Kochme）、箭杆杨（*P.nigra* L. var. *thetivina* (Dode) Bean）、加拿大杨（*P. canadensis* Moench）、青杨（*P.cathayana* Rehd.）、旱柳（*Salix matsudana* koidz）、白柳（*S.alba* L.）、榆（*Ulmus pumila* L.）等；灌木树种为梭梭柴、怪柳、酸刺（*Hippophae rhamnoides* L.）、柠条、花棒及沙拐枣（*Calligonum* Spp.）等。

4、防风阻沙林带的宽度取决于沙源状况。在大量流沙侵入绿洲的前沿地区，风沙活动强烈，农业

利用暂时有困难，应全部用于造林。林带宽度小者 200~300 m，大者 800~900 m 乃至 1000 m 以上，流沙逼近绿洲，前沿沙丘排列整齐，可贴近沙丘边缘造林，林带宽度为 50~100 m。绿洲与沙丘接壤地区为固定沙丘，林带宽度可缩小到 30~50 m。

在绿洲与沙源直接毗连地带，若为固定、半固定沙丘、缓平沙地或风蚀地，因风成沙不多，应在绿洲边营造防风阻沙林带，宽度为 10~20 m，最宽不超过 30~40 m。吐鲁番盆地绿洲迎风侧栽植 3~5 行柽柳，使之阻截戈壁和风蚀地的风沙流，日久积沙而形成固定柽柳沙垄，对柽柳沙垄背风侧乔木带起到保护作用，不致影响林带灌水。

5、营造大型防风阻沙林带时，必须与封沙育草相结合。绿洲周边应不时引水灌沙，促使沙丘、戈壁、风蚀地天然植被繁生，形成乔木、灌木和草本植物相结合的多层次固沙阻沙屏障。在大型防风阻沙林带规划区内的大片沙丘或零星沙丘，应通过植物固沙措施逐步加以固定。

（四）绿洲地区流动沙丘的固定

流动沙丘前移埋压绿洲、渠道及居民点，危害性极大。我国的实践证明，绿洲周边和内部的流沙固沙，可采用植物措施和人工沙障、化学固沙制剂一类工程技术措施。不过，植物固沙是基本的，工程技术措施固沙是辅助性的，具有临时性质，旨在稳定沙面，为永久性植物固沙创造一个稳定的生态环境。

植物固沙的作用是：1)流动沙丘一旦被人工植被所覆盖，固定持久，即使人工植被衰退，一般可演替为天然植被，则更加稳定；2) 植被可以改良流沙，促使沙面结皮和土壤形成，即使出现 8 级以上大风，不会起沙起尘；3) 沙丘一旦有了植被，就能改善本地和邻近地段的生态环境；4) 植被有自生繁衍和再生能力，逐年可提供饲草、燃料甚至木材等产品；5) 植物固沙区域随着生态环境的改善，可从中开辟部分耕地、果园、甚至可建立居民新村。

绿洲周边和内部的流动沙丘，不同于大沙漠高大沙丘，这里原来曾经生长过天然植被，因人为破坏而形成今日的沙漠化土地，仍然可重建植被。

1、丘间低地造林固沙

中国西北绿洲在 50 年代开始进行植物固沙时，在流动沙丘地段的丘间低地营造团块状人工林，分割包围一个又一个沙丘，结果使沙丘终于固定下来。这种固沙技术简便易行，投劳投资少，对今后治理新、老绿洲周边和内部的大片流沙仍然适用。

丘间低地造林应分期进行。第一期造林以后，每隔 1~2 年因沙丘前移就在原沙丘迎风坡下部露出新的平坦地段，即所谓“退沙畔”，再在这时进行第二期甚至第三期造林，逐步扩大团块状丛林面积，缩小流沙面积。团块状丛林初期因不足控制沙丘前移，以致沙丘侵入一部分林地，丘顶削低，地形变缓，而被埋压的幼树因生长出大量不定根，则生长更加旺盛。被丘间团块状丛林分割包围的沙丘，因风力显著降低，风蚀作用大为削弱，自然生草过程加速，终究被当地沙生植物所固定。

绿洲周边和内部的流动沙丘丘间低地，地下水埋深不一，湿润性丘间低地地下水位埋深 1~3 m，丘间造林时可适当进行灌溉，以后可灌水或必要时进行补给性灌溉。干燥性的丘间低地，因植物不能利用地下水，应栽植比较耐旱的灌木林，初期必须灌溉，以后必要时再进行补给性灌溉。

内蒙古后套绿洲周边和内部流动沙丘丘间低地造林，因土质和水分状况好。栽植小叶杨等杨柳、旱柳、沙枣等乔木树种，生长很好。甘肃河西走廊湿润性丘间低地，可栽植沙枣、二白杨等乔木树种，如果地下水位较深，即使成龄沙枣丛林，不进行补给性灌溉，也趋于枯死。因此，河西走廊及其以西绿洲，流动沙丘丘间低地以栽植耐旱的灌木林为宜。

2、沙丘造林固沙

中国西北绿洲周边和内部的流动沙丘，如果直接危害农田、渠系及居民点，应该加以固定。实践证明，这里在沙丘上栽植植物固沙，如果事先不设置人工沙障加以保护，易被风蚀，难收成效。因此，绿洲地区直接栽植固沙植物来固定流动沙丘，必须辅以人工沙障。

根据实践经验，乌兰布和沙漠北部、腾格里沙漠东南缘、河西走廊绿洲周边和内部的流动沙丘，可就地取材，提前半年设置粘土沙障或柴草沙障以稳定沙面，而后栽植固沙植物。

设置粘土沙障时，就在丘间低地就近挖掘粘土或壤土，在沙丘迎风坡上大致按等高线，横对主风向

铺设小土垄，垄高 20~25 cm，垄底宽 40 cm，垄间距离 1.2~2.0 m 乃至 3~4 m，这就是所谓平行垄粘土沙障。低矮新月形沙丘迎风坡全面铺设平行垄粘土沙障时，丘顶和两侧应适当铺设一些纵向小土垄，以防止风的掏蚀。

平行垄粘土沙障如有必要再铺设纵向副垄，副垄间距一般为 2~4 m，以构成格状垄粘土沙障。如果流动沙丘高度在 7~8 m 以上，应以迎风坡 2/3 部位以下坡面上铺设平行垄粘土沙障或格状垄粘土沙障，当丘顶借助于风力削低之后，再在上面铺设平行垄粘土沙障。

粘土沙障经过一个风季以后，垄间裸露沙面受风蚀而下凹，小土垄两侧稍有积沙，小土垄间距愈大，垄间风蚀则愈深，但最大风蚀深度一般不超过小土垄间距的 1/10。垄间沙面风蚀成小凹地以后即趋于稳定，此时栽植固沙植物，不致受到沙埋、风蚀的危害。

铺设粘土沙障，经雨水冲刷而分散、垄间沙面往往形成一层结壳，影响雨水下渗，减少雨水对沙层水分的补给，同时结壳上形成小股径流顺坡而下，冲成小沟，易受风蚀。正因为如此，粘土沙障虽维持年限较长，其生态效益则不及柴草沙障。

如果流动沙丘分布在戈壁上，根据河西走廊金塔绿洲经验，可在丘间挖掘沙砾全面覆盖沙面，其厚度以 10 cm 以内为限。

我国西北地区以柴草设置沙障较为普遍。其中腾格里沙漠东南缘包兰铁路沙坡头地段从 50 年代末所应用的麦草沙障，为半隐蔽式沙障，后来广泛应用于各地铁路、公路以及绿洲、水库周围固沙。

绿洲盛产麦草，用来设置沙障，就地取材，施工方便，投资较其它柴草低。麦草属于软秆草类，比较杂乱，设置沙障时可不必开沟，把麦草沿着划好的行线，先将麦草呈间隔带状横对主风向平铺在沙面上，厚度约 2~3 cm，宽 40~50 cm，沿着草带中心线脚踩平口铁锹背将麦草压入沙内深 10~15 cm，并用铁锹填沙扶直，草障高 15~20 cm，厚约 5 cm，这样便形成低矮的平行立式沙障，如果扎设麦草草方格沙障，在沙丘迎风坡上应与主风向垂直，先扎设方格沙障主障，后扎设与主障垂直的副障。

铁路、公路两侧固沙扎设麦草沙障，一般为 1×1 m 规格。绿洲地区固沙扎设麦草沙障，根据河西走廊等地经验，可采用平行行立式麦草沙障，行间距离为 2~3 cm。无论扎设平行行立式麦草沙障或格状麦草沙障，其障间沙面风蚀深度也为障间距离的 1/10，经过一个风季风蚀之后，障间下凹的沙面除沙丘迎风部位以外，一般不再经受风蚀。麦草沙障一般只能维持 4~5 年，如果栽植的固沙植物到时还不能控制沙面风蚀，必要时应重设一次麦草沙障。

柴达木盆地、塔里木盆地等地的绿洲就地取材，以芦苇、芨芨草设置沙障，因秆硬，在沙丘迎风坡上开沟设置，地下埋深 20~30 cm，地上露出高度 40~50 cm，平行设置间距 2~4 m，格状设置 2m×3m 或 3m×4m。设置沙障以后，可在春季栽植固沙植物。固沙植物的选择以当地植物种为主，外来植物种必须经过多年栽植适宜者才能加以应用。

在乌兰布和沙漠北部、后套、河西走廊等地绿洲周边和内部的沙丘上，在粘土沙障或麦草沙障的防护下，可以栽植梭梭柴、多枝怪柳、花棒、柠条、乔木状沙拐枣 (*Calligonum arboresens* Litv)、头状沙拐枣 (*C. caput-medusae* Schrek)、沙拐枣 (*C. mongolicum* Turcz.) 等灌木，株距为 1 m，行距随沙障间距而定，一般为 2~4 m。植苗时，苗根应植于湿沙层，并每株浇水 1~2 kg。这样植株成活率和保存率可达 70%~80% 以上，3~4 年株间趋于郁闭，就能起到生物固沙作用。

这里应当指出，民勤绿洲西侧（西沙窝）从 60 年代初以来，在流动沙丘上辅以粘土沙障，营造了大面积的梭梭柴固沙林，最初 7~8 年生长茁壮，随后即趋于衰退枯死。究其原因，一是绿洲开发利用潜水资源过量，致使地下水位由 50 年代的 2~3 m 降为 8~9 m 深度，梭梭柴作为潜水湿生植物利用不上地下水；二是流动沙丘沙层含水量为 2%~3%，栽上梭梭柴以后，其根系密集的沙层含水量逐渐降到 1%，接近于凋萎湿度，无水可供利用；三是这里年雨量为 100 mm 左右，在生长梭梭柴的情况下，对沙层水的补给愈来愈少，而设置的粘土沙障在雨水侵蚀下沙面形成一层土结壳，影响雨水下渗，使雨水补给沙层的水量非常有限。因此，西北地区绿洲周边和内部的流动沙丘如果地下水较深，栽植梭梭柴、怪柳一类潜水湿生植物，必须对丘间进行补给性灌溉。

吐鲁番盆地和塔克拉玛干沙漠南缘和西缘诸绿洲，年雨量不足 30 mm，这里高大沙丘栽植植物固沙

难以奏效，可引洪水拉沙，或适当引水灌溉丘间低地，在芦苇沙障的保护下，也可以在流沙上栽植东疆沙拐枣（*Calligonum klementzii* A Los.）、头状沙拐枣、乔木沙拐枣、白皮沙拐枣（*C.leucocladum* (Schrenk) Bge.）、红皮沙拐枣（*C.rubicundum* Bge.）、多枝怪柳等怪柳，很快就能起到固沙作用。

（五）护田林网的营造

绿洲的护田林网作为绿洲防护体系的一个组成部分，不仅可以防止或减轻沙质耕地的风蚀起沙、风沙和沙尘暴对农田的危害，而且还能改善田间小气候，同时，对盐渍化绿洲地区具有生物排水性能。因此，我国西北地区从 50 年代以来，把营造绿洲护田林网作为保证农业稳产高产的一项基本措施，经过多年建设，老绿洲基本上林网化了，但缺口很多；新绿洲正在建设护田林网。以河西走廊为例，大小绿洲林网化地面积达 5 万 hm^2 ，保护的农田面积为 32 万 hm^2 ，占该地区农田有效灌溉面积的 63.3%，占保灌面积的 77.3%，老绿洲中还有大片耕地和扩展的新垦耕地，都无林网防护。

护田林网格状体系的相互作用，削弱强风和沙尘暴的效益尤为显著。据观测，在旷野近地面 17 m/s 以上的大风下，绿洲迎风侧第 1 林网内的平均风速下降 37.3%，第 2 林网内下降 39.1%，第 3 林网内则下降 41.5%。正因如此，据甘肃省治沙研究所调查，5·5 黑风暴过后，民勤绿洲西侧林网内的沙质耕地，风蚀深度仅 0.1 cm，沙割致死瓜苗 5%，刮坏籽瓜地膜 1%；而附近无林网防护的沙质耕地上，风蚀深度一般达 5 cm，风蚀和沙割致死瓜苗 35%，刮坏卷走籽瓜地膜达 40%。5·5 黑风暴对农业的危害，最严重的主要是无护田林网防护的新垦绿洲和老绿洲内外的新垦耕地、林网不完整或其中大片耕地无林网的老绿洲。我国西北地区近几十年的历次黑风暴，对农业的危害程度与林网化与否有直接关系。例如，素有“风库”、“火洲”之称的吐鲁番盆地，每年大风频繁，时有沙尘暴发生，大片风蚀地和辽阔戈壁的风沙流和 2 万 hm^2 沙丘袭击绿洲，耕地沙性强，风蚀极其严重。这里 1961 年 5 月遭受一次黑风暴袭击之后，大小绿洲 85% 的耕地受灾严重，几十万亩小麦亩产仅 60~75kg/ hm^2 ，3300 hm^2 棉田几乎无收，127 道坎儿井被沙埋断流。后来，吐鲁番绿洲结合封沙育草，营造防风阻沙林带和固沙林，大力营造护田林网，终于改变了“小风歉收，沙尘暴无收”的那种以风沙为特征的生境，如今即使有黑风暴过境，大小绿洲基本上安然无恙。

目前，我们在总体上还不能防止广袤荒漠的沙尘暴特别是黑风暴的发生和发展，全球也是如此，但是，我们针对新老绿洲有无护田林网的实际情况，进一步完善加快护田林网体系建设，以防止或减轻沙尘暴和黑风暴对绿洲的危害是有效的。

中国西北地区绿洲护田林网建设，大体上可归纳为以下几点：

1、护田林网采用通风结构和疏透结构防风效果最好

林带因透风情况不同，可分为三种结构类型：一是紧密结构林带；二是疏透结构林带，三是通风结构林带。处于这三种林带之间的林带叫作过渡型结构林带，例如中上部疏透下部通风的林带，上部疏透下部紧密的林带等。

所谓紧密结构林带，就是生长期中，枝叶稠密，基本上不通风。林带上下紧密，由乔木、亚乔木和灌木三层组成。当气流通过紧密结构林带时，主要从林带顶部越过，而在林带背风处形成静风区，林带的有效防护距离不足林高的 40 倍。

关于疏透结构林带，即林带上下呈现疏透状态，整个林墙的透风间隙分布比较均匀，多为 1~2 行窄冠乔木所组成。气流通过疏透结构林带时一部分越林带，一部分通过林带，有效防护距离相当于林高的 40~45 倍。

至于通风结构林带，林带上部树冠稠密，不透风，而下部为树干通风，通常由 3~5 行高大乔木组成，无灌木，通风结构林带的有效防护距离为林高的 50 倍。

为了提高防护林网的防风作用，以营造通风结构和疏透结构的窄林带为最好。不过无论何种结构林带，在林带背风面至林高 15 倍的地方，平均风速比旷野降低 40%~50%，在林高 20 倍的地方，风速可降低 20%。何况，我国西北地区风季是在 2~5 月间，这时即使是紧密结构林带，因处于休眠和放叶阶段，也是透风的。

2、护田林网的布置

在护田林网建设上,应结合条田、方田建设,实行全面规划,水、土、林综合治理,条田(方田)、渠系、道路、林带四配套。林带基本形成之后,因农田灌溉侧渗或地下水较浅,一般可不再进行常年灌溉。

3、护田林网以窄林带、小网格的防沙效果最好

在林带配置上,鉴于我国西北地区大风频繁,风沙活动强烈,时有沙尘暴和黑风暴发生,以建设窄林带、小网格的护田林网为最好。一般来说,主林带间距 200~300 m,副林带间距 500~600 m,即每一网格内的条田面积为 10~17 hm²。在沙质地上,主林带间距可以缩小为 150~200 m,副林带间距 400~500 m,每块条田面积 6~10 hm²。窄林带应由 2~3 行乔木组成,最多不得超过 5 行。

4、护田林网选用速生乔木

绿洲地区水土条件优越,建设护田林网可选用速生乔木树种。乌兰布和沙漠北部垦区和河套灌区的林网树种为旱柳、加拿大杨、小叶杨、钻天杨、新疆杨、箭杆杨等,腾格里沙漠东南缘各灌区的林网树种主要是箭杆杨,河西走廊的林网树种为二白杨、新疆杨等,柴达木盆地的林网树种主要是青杨,新疆诸绿洲及新垦区的林网树种为新疆杨、钻天杨、白柳等。

5、护田林网覆盖率

包括绿洲内部的固沙林、用材林、经济林、四旁绿化林在内,一般为 10%-15%左右。渠道内和渠道两侧的林带,由于水分条件好,成林稳定,初期生长迅速,造林 3~5 年高可达 4~5 m 以上,即可起到防风作用。同时沿渠道和道路造林占耕地少,并有生物排水作用,可防止渠系和道路两侧地段的土壤次生盐渍化。

(六) 适当应用农业耕作技术,防止风蚀沙割危害

中国西北地区绿洲,在由封育的天然沙生植被、固沙林、周边防风阻沙林带和护田林网组成的防护林体系建成之前,特别是新绿洲有一个开荒过程和治沙过程,适当应用农业耕作技术,也能防止和减轻风沙流、沙尘暴和黑风暴对农业的危害。根据各地实践经验和中国科学院兰州沙漠研究所的定位研究,概述如下:

1、沙漠边过渡带停止开垦

景泰、古浪新垦区于 5·5 黑风暴过后,开垦的沙质耕地,风蚀深度达 10 cm,也有吹出犁底层者(深度为 15 cm)。按平均风蚀深度 10 cm 计,风蚀量达 1000 m³/hm²,不仅毁种毁苗,风蚀出来的细砂就近埋压了田埂、渠道、新植林地和耕地,危害极大。宁夏青铜峡唐西区所开垦的沙土地,5·5 黑风暴风蚀深度达 10—20 cm。由此可见,在不采取防护下,匆忙开垦沙荒地,不仅其耕作面本身易受风蚀,毁种毁苗,而且从风蚀性耕地上所形成的风成沙直接埋压毗连的粘重土壤耕地和渠道。

2、翻土改沙,增强抗蚀性

乌兰布和沙漠北部为古黄河冲积平原,粘土和粘壤土厚度一般约 1 m。在这一沙漠地区普遍分布低矮的沙堆、灌丛沙堆及斑块状流沙,在引黄自流灌溉下。从 60 年代开垦以来,多半开垦土质平地(光板地)及覆沙浅薄的可垦荒地。

乌兰布和北部垦区实践证明,开垦覆沙地如果深翻不出下伏粘土或粘壤土掺沙,一旦出现大风和沙尘暴,风蚀极其强烈,毁种毁苗率达 80%-90%以上。这里开垦灌丛沙堆覆沙地,经平整土地以后,凡粘土或粘壤土上面的均匀覆沙厚度在 30~40 cm 以内,用特制的单铧犁深翻 50 cm,翻土改沙,以增加耕作土壤的抗风蚀能力,效果很好。

3、合理选择和配置作物

5·5 黑风暴对新老绿洲的危害以风蚀沙割最为严重。以河西走廊为例,林网化的农田种植具有作物覆盖性质的小麦,5·5 黑风暴过境时,因播种早,苗齐接近于郁闭,一般不受害,在林网过大、林网中间没有林网化的空旷农田特别是新垦农田的沙质土壤上,凡种植最不耐风蚀沙割的籽瓜、西瓜、甜菜、棉花等双子叶作物,这时正值出苗,发出子叶或真叶之际,地表仍处于裸露状态,风蚀沙割尤为严重。张掖地区瓜菜、黄豆、棉花、辣椒、胡麻等作物成灾面积达 3 万 hm²,民勤种植的籽瓜、棉花及小茴香成灾面积 1 万 hm²,损失巨大。

实践证明，作物由于密度、株形、茎叶强度、再生能力及生育期习性不同，抗风蚀、沙割的能力有强弱之分。我国西北地区4—5月间大风频繁，时有沙尘暴发生，这时棉花、瓜类等双子叶作物由于苗期叶大脆嫩，生长点顶生，一经沙割，茎叶焦枯，不能再生，死亡现象严重；小麦一类单子叶作物，播种早，出苗早，5月出现沙尘暴，麦苗趋于覆盖地面，不受风蚀或风蚀很弱，即使麦苗受到沙割，在灌溉条件下，很快恢复生机，死亡率较低。因此，一般说来，沙质耕地尽可能种植小麦，即便有护田林网防护，应不种或少种棉花、瓜类一类阔叶作物，如果要种，也要与小麦间隔带状配置，以减少风蚀面。

五、黄土高原北部沙尘源区治理

黄河中游贺兰山以东的黄土高原北部风沙区，中东部年雨量为250-400 mm，属于草原；西部年雨量为150—250 mm，属半荒漠(荒漠化草原)。土地总面积为206855.1 km²，其中以流沙、半固定沙地和固定沙地为景观的沙漠化土地面积达117962.2 km²，占土地总面积的57%。这一风沙区所分布的库布齐沙漠、毛乌素沙地和宁夏河东沙地，总土地面积为57891.1 km²，其中流沙、半固定沙地和固定沙地面积共有47358.7 km²，占3大沙区总面积的81.8%。

这里是我国北方半牧区风沙危害最严重、沙尘暴活动较为频繁的一个区域。从50年代以来，这里就开始进行植树造林、封沙育草和农田基本建设、草原建设为主要内容的治沙工作，并且取得显著成效。目前，这里每年以几十万亩乃至上百万亩的治理速度进行“三北”防护林体系建设工程。

黄土高原北部风沙区由于沙尘暴得以形成的沙尘物质极其丰富，11月至翌年4~5月大风频繁，再加之人为干扰仍然很突出，存在边治理、边破坏的现象，以致风沙特别是沙尘暴对工农业的危害还是相当严重的。为了遏制沙尘暴和风沙活动，在大规模进行治沙建设的同时，必须调整农业结构，合理利用土地。

(一) 旱作农田的防风蚀技术

50~70年代，库布齐沙漠东端和毛乌素沙地东北部，忽视历史教训，不顾自然条件，先后进行3次大开荒，以致“头年开荒，当年有利，第二年有害无利，第三年变成流沙地”。与此同时，滥垦固定沙丘地(巴拉地)，过牧和樵采现象也非常严重，结果一度造成土地沙漠化急剧发展。

近20年来，这里滥垦、滥牧、滥砍的所谓三滥现象，基本上得到遏制，然而在农业上迄今仍然沿用“浅耕粗作，闯茬吃粮”、“刮地皮，拔荒皮，拍浮油”的粗放轮歇旱作耕作制度，不仅旱地因风蚀和沙尘暴危害严重，产量不足50 kg/亩，而且在不断破坏巴拉地草场。

库布齐、毛乌素及宁夏河东3大沙区种植面积由过去的1000~2000万亩逐步压缩到目前的500万亩左右，其中以风蚀性旱地为主，轮荒旱作仍较普遍，种1亩，涉及3亩，对牧场破坏很大。每年受风沙危害的旱地面积在200万亩以上，对此，必须进一步缩小或控制轮荒旱作面积，大力兴修水利，建设稳产高产的基本农田。

1、风蚀性旱地类型

①巴拉轮歇地。过去凡在固定、半固定沙丘地上大面积开荒轮歇耕种的旱地，统称巴拉轮歇地。现在多在固定、半固定沙丘地区选择低平地或缓起伏沙地零星开垦，种植1~2年最多不超过3年即行撂荒，不施肥，种植荞麦、大麻等作物，产量20~30 kg/亩以下。这种旱地风蚀最重，毁种毁苗比率大，每轮荒1次，表土几乎全被吹失，耕作面呈现风蚀凹地甚至流动沙地。

②二沙地。多处于覆沙硬梁地、沙土或沙壤土上，表层沙化，沙性强，施肥或不施肥，种植糜子、荞麦等作物，亩产30~40 kg。土壤风蚀严重，一般作为固定耕地，时而撂荒，通过自然生草过程和外来风成细粉沙沉积以恢复地力，再行耕作。宁夏河东沙地灵武、盐池2县所耕种的旱地，多为二沙地。3~4月风季，整个耕作面形成沙纹，呈现一片荒漠景观。

③旱滩平沙地。地下水位较深，原为沙质草甸土型淡栗钙土，土层风蚀殆尽，耕作层沙化，基本为固定旱地。施肥，种植糜子、谷子、马铃薯、向日葵、豆类等作物，产量40~50 kg/亩，土壤风蚀相对较轻，一般不撂荒。

④脑浆石旱地。为沙黄土硬梁地类型，原始土层经过多年耕作全部或大部被吹失，地表及耕作层，

残留有大量石灰结核(脑浆石)。施肥或不施肥,种植糜子、谷子、荞麦等作物,产量 450~600 kg/hm²,地表残积脑浆石,对风蚀有抑制作用,但每年耕翻种植,细土受风蚀。为固定旱地,时而撂荒以恢复地力。

⑤沙砾质旱地。属于硬地类型,经过多年种植风蚀,地表和耕作层残留有大量砾石和石块,为固定旱地,时而撂荒。施肥或不施肥,多种植糜子、谷子、荞麦等作物,产量 450~600 kg/hm²。地面因有砾石覆盖风蚀受到遏制。

2、旱作农田防风蚀技术

为了遏制沙尘暴和沙漠化的发生发展,防止和减轻风沙对农业的危害,必须严禁选地开垦巴拉地轮荒旱作,控制轮歇耕作面积,采取防风蚀措施。

①作物留茬。应横对主风向播种糜、谷、荞麦等作物,秋收后留茬 10-20 cm,直至翌年 5 月翻耕下种,以防止冬春季土壤风蚀。据研究,留茬地表粗糙度相对提高了 3 倍,近地面风速比裸露旱地相对削弱 50%。风季,裸露旱地吹失表土 63450 kg/hm²,而留茬地反而沉积细砂和尘土 3745 kg/hm²。风积细砂和尘土具有一定肥力,俗称"油沙"。这里群众说:"留茬留得高顶上粪,带茬休闲可缩短休闲年限"。可见,风蚀性旱地留茬,对于防止和削弱风蚀确有一定作用。可惜,由于耕作习惯再加之糜、谷、荞麦秸秆可供作冬春饲草,秋收时通常拔根连秆收走,以致留茬并不普遍。应该大力提倡留茬旱作。

②留"风界子"。风蚀性旱地不宜大片耕作,毛乌素沙地伊克昭盟境内推行的留"风界子"旱作,可遏制风蚀。所谓留"风界子",就是间隔带状耕作,保留一定宽度的天然油蒿植被带起屏障保护作用。轮歇地和固定旱地的油蒿"风界子"横对主风向;其宽度多为 1-2 m,田块宽度 10-20 m,相当于油蒿植株高度的 10-20 倍。据调查,"风界子"保留宽度 8 m 以上,田块宽度 8-17 m,一般不会风蚀,"风界子"留得过窄或田块过宽;在强风作用下仍不能制止风蚀。

留"风界子"并不是一种可靠的防蚀措施,一旦出现沙尘暴,仍然风蚀起沙,但由于风蚀性旱地面积大,水土条件差,撂荒后又作为牧场利用,营造护田林网有困难,因此留天然沙生植被"风界子"或补植人工沙生植被"风界子",在一定程度上可削弱风蚀作用,同时撂荒后还能加速田块的自然生草过程。

③营造灌丛林带。风沙区的风蚀性旱地多实行轮歇耕作制,一般不建设护田林网,不仅年年普遍受到风沙危害,而且一旦出现沙尘暴,灾情则更重,毁种毁苗面积可达 50%以上。实践证明,风蚀性旱地因水土条件较差,营造乔木护田林网有困难,营造灌丛林带是可行的。灌木生长迅速,能很快起到防护作用。例如,毛乌素沙地伊克昭盟杭锦旗四十里梁乡,自 60 年代起营造灌丛林带,经过 20 年努力,使风蚀性旱地都有灌丛林带保护,过去播种 3-4 次才能抓住禾苗,如今不再重播,亩产提高 1 倍。

风蚀性旱地营造灌丛林带,在梁地上应选用比较耐旱的中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)和柠条,在沙地上则适宜于沙柳(*Salix Psammophila*)。伊金霍洛旗沙砾质旱地上横对主风向所栽植的中间锦鸡儿带,一般宽度为 2-5m,窄条田块宽度 15-20 m。在鄂尔多斯中部风蚀性梁地栽培柠条,株丛较高,窄田块宽度可以扩大到 20-30 m。

伊克昭盟地区居民点附近的风蚀性固定沙质旱地,营造沙柳灌丛林带,一般为 1-3 行,带间距离一般为 20-40 m,也有 50-60 m,在沙柳林带保护下,沙质旱地基本上消除了风蚀毁种现象,能适时播种,有利于节约耕作。

风蚀性旱地营造灌丛林带,以沙柳为例,有以下优点:

1沙柳不苛求地力,在沙地生长良好,适当进行平茬复壮更新,其寿命很长;

1沙柳扦插栽植,成活率在 90%以上,无需补植,扦插当年高 70-80 cm,第 2 年高 2 m,接近郁闭形成防护屏障;

1沙柳萌蘖性强,扦插 2 年后即可平茬,随后每隔 2 年平茬 1 次,愈平茬生长愈旺,灌丛愈密愈大,4 年生高可达 3-4 m,大灌丛可隔年平茬一半,当年不影响其防风作用;

1沙柳林带对两侧农作用妨碍不大,影响作用生长范围仅为 1-2 m;

1沙柳林带适时平茬,对于就近解决燃料和牲畜饲用柳枝具有重要意义。

榆林地区和宁夏盐池、灵武等地区,几万甚至几十万公顷风蚀性旱地,成片耕作,风蚀极其强烈,

大力营造灌丛林带，是当前解决土地沙漠化急剧发展的一个有效而又可行的途径。

3、加快农田的基本建设

黄土高原北部风沙区长期以来滥垦乱种，广种薄收，天然植被稀少，土地沙漠化和水土流失极其严重：生态失调，至今，旱农仍然成为这一地区沙漠化得以发生和发展的一个重要人为诱发因素。为了加强以治沙为核心的农牧业的生态基本建设，必须改变广种薄收的轮荒耕作制逐步压缩旱作面积，大力发展水利事业，建设水浇地为主的基本农田。

黄河三面环绕的银川平原、后套、前套等沿河地区，无定河千支流域及毛乌素沙地的川滩地区，土壤较为肥沃，有灌溉条件，可兴建基本农田。据估算，银川平原可扩充水田 6 万 hm^2 ，榆林地区可发展水浇地和水田 3.3 万 hm^2 ，伊克昭盟、磴口县及陶乐县可开辟灌溉农田面积达 21 万 hm^2 ，水浇地粮食亩产相当于节约经营固定旱地的 2-3 倍，风蚀性轮荒旱作耕地的 10-12 倍。

毛乌素沙地榆林地区境内流动沙丘地带，多年来，结合治沙，充分利用川滩丰富的水土资源，采取引水拉沙、筑堤造地等水利措施发展水田。水稻种植面积达 4.7 万 hm^2 ，单产 9000 多 kg/hm^2 ，在滩地上打机井、打多管井和开挖马槽井，发展水浇地，已建成 330 hm^2 以上的基本农田 52 个，6667 hm^2 以上的基本农田 17 个，种植春小麦面积达 1.7 万 hm^2 ，单产 4500 kg/hm^2 。实践证明，通过农田基本建设发展农业，可以从根本上消除黄土高原北部风沙区历史时期以来农业是导致土地不断沙化的这一人为诱发因素。

在库布齐沙漠、毛乌素沙地和宁夏河东沙地境内，无论水浇地或节约耕作的固定旱地，多为沙性土壤，为防止风蚀都应营造护田林网，目前这方面的经验是：

①在比较湿润并有灌溉条件的川地和滩地上，乔木生长可高达 15-20 m，沿渠、田、路营造护田林网，横对主风向的主林带间距 300-400 m，副林带间距 600-800 m。在土壤风蚀较强的耕地上，林带网格可以小一些，主林带间距 100-150 m 至 200-300 m，副林带间距 200-300 m。一般说来，在风蚀性耕地上，主林带间距应按树高 15-20 倍确定；

②主、副林带一般为 2-3 行、宽 5-6 m 占地少；

③为了有效地防止耕作土壤风蚀，在营造乔木护田林网的同时，在主副林带之间适当栽植一些灌木林带；

④无论水浇地或节约耕作的基本旱地，凡四周特别是主风侧为流动沙丘和半固定沙丘，应在地边营造防风阻沙林带，并在沙丘地段栽植固沙植物，以防止流沙侵入耕作区；

⑤营造护田林网树种，乔木为旱柳、榆等，灌木主要是沙柳。

（二）封育保护沙生植被，适度放牧

黄河中游黄土高原北部以沙黄土、覆沙黄土、风沙土为特征的风沙区，人口 405 万，大小牲畜 809.4 万头(只)，人均 2 头(只)，可利用草牧场面积 73740 km^2 ，平均每畜占有牧场 1.3 hm^2 ，由于牧场全为沙漠化土地，第一性生产力很低。普遍超载，风蚀沙化严重，一有大风，牧场也是沙尘暴得以形成的沙尘策源地。这里主要是半干旱区，在严禁开荒、控制轮歇种植和适度放牧的情况下，封育保护牧场，天然植被的繁衍是很快的，草场产量可大幅度提高，可食性牧草种数量不断增加。

毛乌素沙地伊金霍洛旗毛乌素盖地区，50-60 年前，还是一片植被繁生的牧场，后来由于滥垦、轮荒旱作的结果以及过牧、樵采，沙漠化土地面积达 19199 hm^2 ，占土地面积的 79.4%，仅有大小牲畜 48 头(只)，轮歇地 330 hm^2 ，单产 150 kg/hm^2 ，每到冬、春风季，风沙滚滚，造成牧不能牧，农不能农的生态环境。从 1952 年起通过封沙育草和治沙，使整个地区以油蒿为主的沙生植被恢复得很好，牧场扩大到 1896 hm^2 ，占土地总面积的 78.3%。农牧业生产大为发展。毛乌素沙地以油蒿为主的固定沙丘和平缓沙地区域，凡撂荒的风蚀地上，经过 3 年，天然下种的油蒿植丛，高 35 cm，冠幅 30-35 cm，一般封闭 4-5 年，植被盖度可达 60%-70%。

鄂托克旗年雨量 300 mm 左右，这里开垦的荒漠化草原处女地，风蚀很强，但一经弃耕撂荒，天然植被恢复很快。弃耕 1-2 年，自然生长有画眉草(*Eragrostis Pilosa*(L.) Beguv.)、狗尾草(*Setaria Virides* (L.)

Beauv.)、藜(*Chenopodium album* L.)、莢藜(*Tribulus Terrestris* L.)等杂草,总盖度达70%,不再受风蚀;继续再封育3-5年,赖草(*LEYMUS Secalinus* (Drob.) Tzvel.)、白草(*Prnnisetum centrasiaticum* Tzvel.)等根茎型植物繁生;6-10年恢复到接近于开垦前的原生植被状况。以冷蒿(*Artemisia frigida* Willd.)、兴安胡枝子(*Lespedeza davruica* (Laxm.) Schindl.)、草木樨状黄芩(*Astragalus Mililotoides* Pall.)、沙生针茅(*Stipa glareosa* P.smirm.)、短花针茅(*S.Brevifolra* Griseb.)等植物占优势。

根据近几年的调查,乌审旗乌审召地区封育5年的沙地牧场,植被盖度由原来的35%提高到55%。干草产量由862.5 kg/hm²提高到1387.5 kg/hm²;封育8年的沙地牧场,植被盖度由25%提高到60%,干草产量由13.5kg/亩提高到46.5kg/亩,伊金霍洛旗红海子地区的覆沙梁地牧场,封育4年,植被盖度由25%提高到50%,干草产量由309 kg/hm²提高420 kg/hm²。

实践和研究证明,黄土高原北部风沙区适当封育牧场,是治理沙漠化土地建设草场以发展牧业的最经济、最有效的途径之一,问题不在于自然条件,而在于经营水平、人口压力、经济条件等社会经济条件。

黄土高原北部风沙区为了适当封育保护牧场和适度放牧,必须改善放牧管理,加强围栏建设。围栏材料可就地取材,用平茬下来的沙柳栽成围篱,投资少,至少能保护7-8年;如能利用刺铁丝作围栏,经久耐用,效果更好;筑沙土墙,风蚀严重,不得不用油蒿,芨芨草加固,对牧场有一定破坏性,不宜推广应用。

(三) 流沙固定

黄土高原北部风沙区植被盖度10%以下的流动沙丘和风蚀性土地,面积将近3.6万km²,占沙丘和风蚀性土地总面积的30.3%。流沙危害性极大,也是沙尘暴特别是黑风暴得以肆虐的策源地,必须加以固定。这里雨水较多,覆盖在河谷和滩地上的流动沙丘、丘间地下水位很浅,对植物固沙有利。

1、造林固沙

流动沙丘一般可分迎风坡、背风坡及丘间低地3个地形部位。其中丘间低地不受风蚀或风蚀轻微,但为不断前移的沙丘所埋没;背风坡陡,干沙层厚;迎风坡下部占坡长约1/3,为风蚀区,迎风坡中部占坡长1/3,为风蚀过沙区,迎风坡上部也占坡长1/3,基本上算是丘顶部位。人工栽植植物固沙应根据这些地形部位特点而采取不同方法,选用不同相植物种。

①丘间低地造林。这里可以利用相对比较湿润的丘间低地营造团块状乔灌木林分,以分割包围流动沙丘。第1次造林之后,每隔1-2年因沙丘不断前移总是要在原迎风坡脚处,不断露出新的平坦地段,即所谓"退沙畔",就能在这里进行第2次、第3次造林,如此扩大团块状林分面积,从而缩小流沙面积,沙丘前移不断埋压丘间低地人工林,沙丘高度降低,地形变缓,被流沙所埋压的树木因长有大量不定根,生境水分状况也有所改善,初期生长更加旺盛。毛乌素沙地用旱柳高杆、杨树插条大苗在丘间低地营造起来的人工团块状林分,覆盖率可达30%-50%,对于固定流沙起到了显著的作用。

②直接在流动沙丘上栽植固沙植物。这里植物固沙,可事先不设置人工沙障,在沙丘迎风坡上种植植物,兼起沙障与植物固沙的双重作用,春季可在沙丘迎风坡中下部成行密植油蒿或沙柳插条、或紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)实生苗,沙丘中下部一经控制,一般经过1-2年的风蚀作用,沙丘中上部逐渐趋于平缓,上面密植固沙植物。通常经过2-3次栽植,多者4-5年即可使沙丘固定起来。

③在人工沙障防护下栽植固沙植物。近十几年来,为了保护水库、水渠以及其它重要设施,这里也在流动沙丘上或大沙坡上先设置麦草方格沙障或其它柴草沙障,或者在半固定沙丘上,栽植樟子松(*Pinus sylvestris* L.var.mongolica Litv.)和油松(*P.Tabulateformis* Carr.)辅以人工沙障。作为半干旱区,辅以人工沙障进行植物固沙,无疑可大大加速流动沙丘的固定过程,应当指出黄土高原北部风沙区正在大面积营造松林,但栽植松苗最初2-3年之内,最不耐风蚀沙割,故必须适当辅以人工沙障,否则松树造林的成效将大为降低。

上述植物固沙方法如果结合应用,效果尤为显著。在丘间低地营造团块状乔灌木或乔木林,就沙丘前移而言,可称"前挡"或"前高档";在沙丘后迎风坡中下部在沙障防护下栽植固沙植物,在无沙障防护下则成行种植固沙植物,对沙丘前移形成"后拉"之势。沙丘迎风坡中上部不断经受风蚀而向前推移,高

度不断降低，甚至在紧接第 1 次栽植物地段的上方出现风蚀凹地，这时即可再栽植固沙植物，如此顺序推进，直至把整个沙丘拉平并全部栽上植物，这一植物治沙过程就是所谓乔（木）、灌（木）、草（或半灌木）相结合的“前挡后拉顺风推进”固沙造林方法。这种方法有推广价值，其优点是：

1 丘间低地造林与沙丘迎风坡植物固沙结合进行，可迅速扩大人工植被控制面积有利于控制流动沙丘；

1 沙丘迎风坡上不设置人工沙障，特别是在雨水较多的半干旱地区，直接密植固沙植物植物可免受风蚀之害；

1 沙丘中上部特别是高大沙丘上部，借助于风力可以削得比较平缓，就有助于改善生态环境，对栽植的固沙植物的生长和天然植物的繁衍有利；

1 沙丘一部分伸入丘间低地人工幼林之中，对被沙埋的植株有促进生长的作用，同时对于过湿的或土壤过于粘重的丘间低地，有改良土壤作用，本来难以生长起来的林可以生长正常。

1 多者经过 5-6 年时间，被固定的流沙区域基本上可固定下来，乔灌木覆盖率可达到 50% 以上。

2、飞播植物固沙

黄土高原北部风沙区经过多年的试验，在大面积的人烟比较稀少的流沙区飞播固沙植物，在 70-80 年代取得了突破性的进展，现每年以几十万亩的速度进行飞播，这加速了这一地区流沙固定和牧场建设的进程。

毛乌素沙地飞播种植固沙植物之所以取得显著成效，是因为这里年降水量为 350-450mm，无论较为密集的格状新月形沙丘或稀疏的新月形沙丘链，均属于沙漠化土地，具有自然生草的潜在弹性条件。但是，在流动沙丘区，以油蒿为主的沙生植被几乎完全消失，喜沙植物籽蒿的盖度一般都在 2%-3% 以下，稀少的籽蒿丛虽然结实丰富，却多被鼠类采食，少量种粒经过冬春大风季节之后，一般都被吹落到沙丘风影处而遭到沙埋，因此天然下种繁衍的机会极少。选用适沙的植物种，大风季节行将结束而雨季即将来临之际，适时进行飞播，显然可使流动沙丘区潜在的自然生草条件得以发挥作用。飞播固沙实际上是促使流动沙丘区自然生草的一种手段。如果该流动沙丘不具备自然生草条件，那末飞播是难以取得成效的。

试验和实践证明，在毛乌素沙地最适宜的飞播时期为 5 月中、下旬至 6 月上、中旬，这是因为一年一度的冬春西北风为主的大风季节趋于终止，而风势很弱的东南季风时有出现，这段时期进行飞播，流动沙丘在西北风作用下所形成的迎风坡不致经受风蚀，种子大都可以保存下来，而丘顶部在东南季风的作用下，向西北方向摆动，丘顶部位形成的风沙流在沙丘迎风坡中、下部沉降一层浮沙，使种子得以覆沙。这时正好是进入雨季，沙丘迎风坡中下部干沙层厚度一般不超过 10 cm，一场中雨或连续 2-3 场小雨，即可使覆沙种子发芽出土。

毛乌素沙地及库布齐沙漠东部最主要的飞播植物为羊柴 (*Hedysarum laeve* Maxim.)、籽蒿 (*Artemisia sphaerocephala* Krasch.) 和花棒。在流动沙丘区，天然生长的一年生喜沙植物沙米 (*Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.)，一进入雨季，可自然生长，与飞播植物相间分布，对控制当年冬季和翌年春季的风蚀起辅助作用。因此，沙米是一种先锋固沙植物，但不必参与飞播，任其自然下种即可。一般说来，混播为最好，混播播种量为：籽蒿 45-60 kg/hm²，杨柴或花棒 75~105 kg/hm²；飞播年成苗部位多在沙丘迎风坡中下部和丘间低地，幼苗生长高度一般不足 10 cm，但能形成植株密集的地被物，基本上可抵御当年冬季和翌年春季的风蚀作用。飞播 2~3 年后固沙植物迅速生长起来，其中羊柴通过根蘖新株向四周扩展。由于封育禁牧，飞播植物和残存的天然植物得以天然下种繁衍，在这种情况下，飞播 5~6 年之后，原来大片的流动沙丘区即变成为固定沙丘区，其中丘顶部位因经受风蚀而迅速降低其高度，并日趋形成风蚀洼地，这就为固沙植物的天然下种和羊柴根蘖繁衍创造有利条件。

毛乌素沙地飞播沙打旺，可在流动沙丘迎风坡中下部、丘间低地以及半固定沙丘、植被稀疏的风蚀地上建立刈草场，但沙打旺不能天然下种更新，一般生长 5~6 年后急剧衰退而枯死。从固定流沙角度出发，近几年飞播一般不再选用沙打旺。

腾格里沙漠东缘巴彦浩特地区年平均降水量为 200 mm，应划为半荒漠。这里飞播固沙植物之所以得

到成功，一是多为缓起伏流动沙丘，迎风坡长达 70~80 m 以上，较平缓，下部一般生长有沙葱(*Allium monqolicum* Rgl.)，同时整个流沙区还残留有零星的沙竹 (*Rsamnochloa villosa* (Trin.) Bor.)，一进入雨季，一年生喜沙植物大量繁生。再则，这里可见到保留有暗色残余土层的风蚀残墩或土质戈壁，看来也许是近代沙漠化土地。二是这里受贺兰山蔽护，风速相对较小。三是筛选出的籽蒿和沙拐枣都为当地植物种，繁殖力很强。四是贺兰山补给一部分洪水。

腾格里沙漠东缘巴彦浩特地区由于进入雨季较晚，最适飞播时期是在 6 月下旬至 7 月上旬。这里飞播播量，籽蒿和沙拐枣混播各为 175 kg/ hm²、籽蒿单播为 175 kg/ hm²、沙拐枣单播为 175 kg/ hm²。飞播 3~4 年后，固沙植物控制面积可达整个飞播区面积的 40%~50%以上，沙丘迎风坡上部经风蚀而变得较为平缓，籽蒿和沙拐枣可天然下种繁衍，多在 5~6 年，使整个飞播区呈现出固定半固定沙丘景观。试验证明，在飞播前 1~2 年设置刺铁丝围栏禁牧，天然生长的沙米、沙竹和沙葱覆盖度有所增加，对飞播有利。飞播后继续禁牧 3~4 年，固沙植物得以稳定生长起来。

无论毛乌素沙地或腾格里沙漠东缘，飞播固沙植物旨在建立牧场，实践证明，飞播 3~4 年后一般可适当进行放牧或刈割用于干饲料和燃料。

六、交通、工矿沙尘源区治理

西北地区工矿交通、新兴城镇及其它经济设施，均受到风沙危害或威胁，一旦出现沙尘暴或黑风暴，受害尤为严重。同时，筑路、铺设输油管道、开发露天煤田、油气田钻井、架设高压电线以及新兴城镇居民点建设等，一般以重型机械化施工，机动车辆活动面很大，往往造成大范围天然植被的破坏，地面裸露而松散，或者形成大面积的废弃沙土堆积物；再则，电厂煤灰堆积、选矿场的尾矿粉、细金属物质堆积等，所有这一切经济活动所形成的沙漠化土地，在国际上一概称为工艺沙源，成为就近沙尘暴和黑风暴得以强化的一种沙尘源地，以致使灾情更重。在矿、城镇居民点都应加强绿化。矿山、煤田、油气田、筑路等建设，必须尽可能缩小破坏面，加强治沙工作，土方工程废弃物，煤碴、尾矿等堆积物等，都应采取工程防沙措施和生物固沙措施，加以覆盖，建立人工植被。

中国西北地区历次沙尘暴特别是 5·5 黑风暴，对铁路、公路危害严重，造成巨大损失，公路除路堑积沙埋道这一情况外，零断面和路堤路面有戈壁、风蚀地以及半固定沙丘所形成的风沙流过境，一般不会有流沙沉积埋道影响行车。因此，公路是允许风沙流过境的，路面借助于风力可自行输沙。而铁路则不同，因为路基无论为何种断面，路面道碴、枕木和钢轨为风沙流过境造成空气动力影，必然导致道床积沙，影响线路质量，危及安全。正因为如此，铁路绝对不允许风沙流过境，即使掏空枕木盒，借助于强风导沙，也只能减少一些道床积沙量，但风力一弱，道床积沙仍然很严重。

公路穿越流动沙丘地区，沙丘前移直接埋道。公路路基为路堑，如有风沙流过楞坡上必然沉积流沙，并且愈积愈多，也会埋道。公路路基为零断面，若两侧为戈壁，风蚀地，半固定沙地或大面积风蚀性旱地，一进入冬、春风季，风沙流过境频繁，从路面一扫而过，不会在路面上积沙。但是，公路两侧如有宽 10-20 m 的灌木草丛或行道树，过境，即在这里沉积愈来愈多的流沙，从而在路边形成沙垄，成为埋道的就地沙源。因此，风沙地区公路工程及防沙治沙，必须考虑风沙移动规律，并因地制宜采取对策，否则靠人工清沙投工投劳太大，公路防沙治沙可借助于铁路沙害整治的经验和技术。

新中国成立以来，为了适应经济建设的需要，我国西北地区相继修建了十几条线和支线，延长线约 5000 km，其中受到流沙和戈壁风沙流危害或威胁的线段总长度近 700 km。兰州铁路局、呼和浩特铁路局、乌鲁木齐铁路局为整治铁路沙害做了大量工作，其中包兰线、兰新线、甘武线某些沙害路段治理很有成效，并积累了丰富的实践经验。尽管如此，现有铁路沙害仍然相当严重，仅 5·5 黑风暴造成流沙埋道影响列车工点运行长达 150-200 km。再则，正在修建或即将运营的中宝、包神等铁路干、支线，都面临着风沙危害和威胁。

铁路穿越沙漠、戈壁、风蚀地等地域，线路长，自然条件恶劣，沙害的整治比绿洲要难得多，许多路段甚至无法应用生物措施以建立铁路防护体系，不得不采取临时工程技术固沙和阻沙，一旦失效，就得重复进行，有些专用线靠人工清除道床积沙，勉强维持通车，有时中断通车。本节着重介绍铁路的防

沙措施。

（一）铁路路基本体防护

实践证明，铁路通过沙区和沙砾质戈壁地区，就地取流沙或沙砾修筑路基，也很稳固，列车运行，路基无下沉现象。问题是沙质或沙砾质路基路肩和边坡容易遭受风蚀，必须防护。根据包兰线、兰新线等筑路经验，尽可能就近取材，在路基坡面上可用直径 10-15 cm 的碎石或卵石，砌石 1×1 m 或 1.5×1.5 m 的方格，在方格内再平铺直径为 7-8 cm 的碎石或卵石，这样即能形成整洁而结实的护面，即使出现沙尘暴和黑风暴，路基边坡和路肩不会爱到破坏。

兰新线、集二线用片石护坡，或在高度不足 2m 的路基边坡上，铺上一层 10 多 cm 厚的砾石，也能防止风蚀。在黄土高原北部风沙区，因雨水相对较多，筑路时扎设一次柴草方格沙障护坡，一般可通过自然生草形成植被覆盖层，一劳永逸。

（二）铁路临时应急防沙技术

通过风沙地区的铁路，因沙害线路长，整治上必然有一个过程。为了维持列车畅行，对线路上的积沙可采取一些技术临时加以处理。在戈壁、风蚀地、固定半固定沙丘以及灌丛沙堆地段，风沙流越过铁路时，通常就在道床沉积流沙；与此同时，在路基边坡和线路两侧取土坑内沉积愈来愈多的流沙，并成为道床和积沙的就地沙源。

为了减少道床的积沙量，兰新线等干线在整治沙害之前，一般在钢轨下方掏空枕木，一旦刮沙尘暴时，使风沙流透过钢轨下方空隙，不致在道床积沙过厚，危及安全。这一临时性的处理方法，对于减少道床清沙量和避免中断行车有一定的实践意义。其缺点是并不能减少线路边坡及沿线两侧其它风影地物的积沙量，一有相当于流动沙丘起沙风速的风力，这些就近的沙源就直接沉积到道床，甚至积沙超过轨面，造成险情。针对这种情况，通过枕木空导沙和清除道床积沙的同时：一般不得不用砾石、粘土等材料覆盖边坡及沿线两侧的积沙，工作量很大。在戈壁地区，沙源往往离铁路很远。为了阻截远处而来的风沙流，兰新等线路沙害地区，在线路迎风侧距路基 50 m 以外挖防沙沟，并将挖出的沙砾碎石堆积在外侧沟沿，使之形成防沙堤。防沙沟、防沙堤结合，使过境风沙流沉积漂沙，以减少线路积沙。沟堤在 3-4 年积满流沙，则就地挖砾石加以覆盖，并另挖新沟，再筑堤，这是减少线路积沙的一种临时性有效措施，问题在于太费工，道床始终处于或多或少积沙的状态，不是长久之计。

（三）铁路工程性的防护体系

青藏线察尔汗盐湖北岸一段线路，横穿 4 条大的流动纵向沙垄及其间的流动平沙地，因年雨量只有 20 余 mm，又地处盐池，立地含盐量很高，寸草不生，不可能进行植物固沙。2.5 km 长的路段，风季性道床积沙严重，每年清沙用工达 800 多工日。从 1988 年以后，这段线路两侧用芦苇、麦草和盐壳设置固沙带，以控制地面浮沙，在固沙带外侧设置两道竹片栅栏，阻截风沙流使流沙沉积在栅栏附近，不致侵入固沙带。线路主风侧固沙带宽 80-200 m，芦苇沙障规格为 1.5×3.0 m，出露地面 30 cm。竹片栅栏设置高度为 1 m，透风度 45%-50%，两道栅栏间距 25-30 m，这一工程性的防护体系尽管间隔 4-5 年需要更换，但在真荒漠特别是盐漠地区也只能如此，有推广意义。

（四）铁路生物性的防护体系

包兰线沙坡头地区穿越腾格里沙漠东南缘流动沙丘地区，在路北（主风侧）建立 400~500 m 宽，路南 100~200 m 宽的固沙带，辅以 1×1 m 规格的麦草方格沙障，并在沙障内栽植油蒿、花棒、柠条、中间锦鸡儿等固沙植物，以建立人工植被，同时在路北固沙带外缘设置阻沙栅栏，以阻截沙丘和风沙流入侵入固沙带。实践和研究证明，在半荒漠地区非灌溉条件下，建立这一以固为主、固阻结合的生物性的防护体系，不仅可能，而且非常有效。5·5 黑风暴过境时，这段长达 16 km 的线路安然无恙，列车畅通无阻。

兰新线玉门地段穿越戈壁风沙流地区，沙害极其严重。1966 年 4 月 22 日，因沙尘暴侵袭的结果，道床积沙过厚，53 次快车在州里井一巩昌河区间造成机车脱轨，在枕木上行驶 288.3 m，压坏了枕木，几乎酿成重大恶性事故。以后，在三处延长线达 35.5 km 的线路主风侧，距路基 30-50 m 处，营造 2 条至 3 条防风阻沙乔灌木林带，并利用林带中的灌丛平茬下来的枝条，在外侧林带外缘设立 2-3 道高立式沙障，

以阻截风沙流在林带内沉积流沙,影响灌水。在线路背风一侧设置一条林带或不设林带,这一灌溉条件下以阻为主的生物防护体系,对于有水源的戈壁风沙流地区来说,是可以推广应用的。5·5黑风暴及其前后的沙尘暴,玉门段治理路段道床无积沙现象,而柳园至鄯善区间长达100km的戈壁风沙流路段,道床积沙严重,以致列车不得不中断运行,损失巨大。

包兰线、甘武线、青藏线等铁路穿越缓平沙地的路段,天然植被不足以控制地面起沙,在路基两侧分别划出200-300 m宽的防护带,严禁放牧和樵采,促进天然植被繁生,有时再适当覆盖一层粘土和砾石,或在主风侧距离路基40-50 m处挖上一道防沙沟,可以控制风沙流侵袭线路。

(五) 工业尾矿治理

金川公司老尾矿砂位于金川公司选矿厂北部4 km,距市区1km的戈壁滩上,四周用戈壁砾石堆筑堤坝,库区占地面积2936889 m²,尾矿自1964年投入运行以来,到1991年6月停止使用,已堆存尾矿砂3887万吨,由于水分逐渐下渗和蒸发,使尾矿砂干燥,加之大风频繁,地面风蚀加剧,风沙流,沙尘暴发生,对大气,土壤、水体、道路、建筑及农作物造成严重危害,甚至影响人身健康,为有效控制这一污染源,采用了坚固耐久,抗风蚀力强,具有较好蓄水保墒性,及保温能力强、且廉价的戈壁沙砾石覆盖,其覆盖厚度6 cm,沙砾石覆盖之后,不仅切断了沙尘源,而且为天然植物种子的落种和幼苗发育创造了稳定条件,加快了天然植物衍生,覆盖后第一年雨季后,植物盖度达到15-30%,局部地段高达50%。

参考文献

- 陈隆亨, 1993. 宁夏和内蒙古阿拉善盟强沙尘暴危害及防治对策. 中国沙漠, 13(3)
- 陈敏建等, 1993. 黑风暴天气的研究的探讨. 甘肃气象, 11(3)
- 程道远, 1994. 大气尘埃来源与尘暴. 世界沙漠研究, 15(1)
- 董治宝, 2000. 研究沙尘释放与控制的基础. 科学对社会的影响, 第4期
- 付有智等, 1993. 甘肃河西黑风成因及预报. 甘肃气象, 11(3)
- 胡孟春, 1991. 科尔沁沙地土壤风蚀性研究. 中国沙漠, 11(1)
- 姜风歧等, 1993. 宁夏特大沙尘暴科学考察报告. 应用生态学, 4(4)
- 刘玉璋, 1992. 影响土壤风蚀主要因素的风洞实验研究. 中国沙漠, 第4期
- 钱正安, 1993. 关于甘宁部分地区"5·5"特强沙尘暴灾害的调查报告. 大气情报, (4)3
- 苏玉成, 1993. 甘肃少河西地区"5·5"沙尘暴的浅析. 甘肃气象, 11(3)
- 汪吉喜, 1993. 1993年5月5日甘肃等地特大沙尘暴成因分析. 甘肃气象, 11(3)
- 王嘉荫, 1963. 中国地质史料. 科学出版社, P110
- 夏训诚, 杨根生等著, 1996. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治. 中国环境科学出版社
- 杨根生, 1993. "五·五"特大风沙尘暴的形成过程及防治对策. 中国沙漠, 13(3)
- 杨根生, 1997. 尾矿砂, 沙害形成机理与工程治理措施的选择. 中国沙漠, 17(4)
- 杨根生, 1993. 我国西北地区"5·5"强沙尘暴的危害状况与对策. 甘肃气象, 11(3)
- 杨根生, 2000. 我国西北地区沙尘暴, 科学对社会的影响. 第4期
- 杨根生, 1996. 中国西北地区黑风暴与农业防灾减灾措施. 中国沙漠, 16(2)
- 赵兴梁, 1993. 甘肃特大沙尘暴的危害与对策. 中国沙漠, 13(3)
- 中国科学院地学部, 2000. 华北沙尘天气的成因与治理对策. 科学对社会的影响, 第4期
- 朱正文, 1993. 关于5月5日甘肃黑风天气的情况学报. 甘肃气象, 11(3)

2000 年环北京沙尘暴成因、过程及其影响分析

卢琦¹ 任国玉² 鞠洪波³

一、沙尘暴形成的气候原因

1、沙尘暴发生的气候背景

沙尘暴是强风的产物，但它发生频率及强度又多与降水有关。从千年气候变化的背景分析，沙尘暴高发期对应于少雨干旱的气候背景(图 11-1 中的斜线所示)。图中 1060~1270 年、1470~1920 年两段沙尘暴高发期与这一时期的干旱是相对应的。

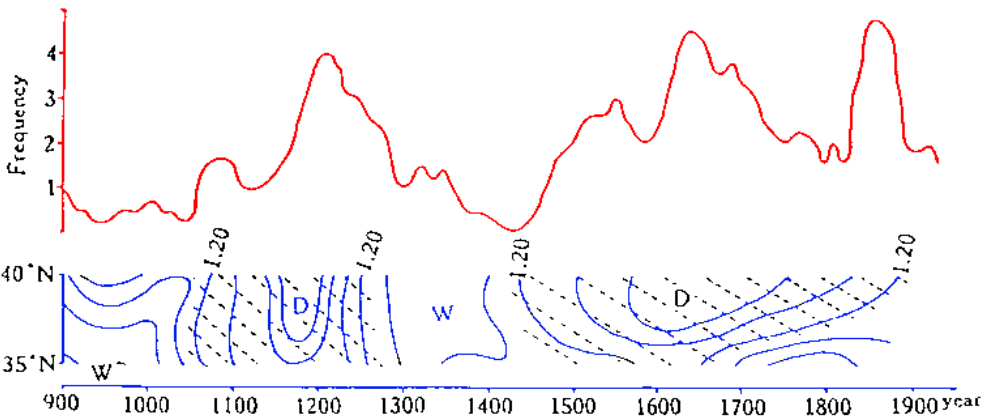


Fig.3 Comparison of frequency of dust fall with curve of humidity index for the last 1000 years.

图 11-1 近千年来湿润指数曲线（下）同沙尘暴发生频率（上）之间的关联性

另外，近年来强沙尘暴发生频率趋高，可能还与厄尔尼诺事件频繁发生、1998 年 6 月以来赤道东太平洋又出现了较强的拉尼娜事件以及人类活动排放温室气体的增加导致的气候变暖等有关。

2、2000 年春季沙尘暴气候成因分析

今年 3 月 2 日以后不到一个半月的时间内，我国北方地区出现了 8 次较大范围的扬沙、浮尘或沙尘暴天气。其发生时间之早、频率之高、范围之广、强度之大与 1999 年以来气候异常密切相关。

1).1999 年持续少雨、高温，干旱严重

1999 年我国北方大部地区降水明显偏少，尤其是占全年降水量 60~80% 的夏季降水量出现了近 50 年来的最小值(图 4)；年平均气温一般也较常年偏高 1~2℃，不少地区夏季还出现了建国以来罕见的持续高温天气。降水少，加上蒸发耗失，致使北方大部地区发生了大范围的严重干旱。

1) 中国防治荒漠化研究与发展中心、中国林业科学研究院，北京 100091；E-mail: Luqi@mail.forestry.ac.cn

2) 中国气象局国家气候中心，北京 100081；E-mail: gyren@homeway.com.cn

3) 中国林业科学研究院，北京 100091；E-mail: ju@info.forestry.ac.cn

2).1997 年以来最冷的严冬

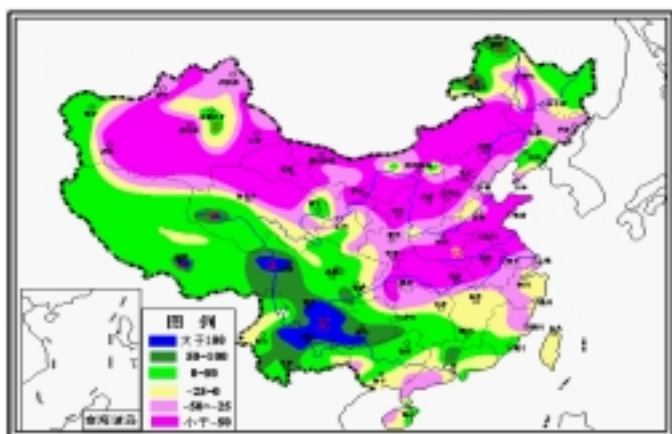


图 11-2 2000 年(2 月 1 日~4 月 12 日)全国降水量距平百分率图 (单位: %)

我国持续了 13 年暖冬后, 去冬气温较为正常, 特别是西北地区东部、华北大部和东北地区西部 2000 年 1 月的区域平均气温出现了 1977 年以来的最低值(图 5), 比常年同期偏低近 2°C , 有些地方甚至偏低 4°C 。寒冷的天气使得裸露的地面土壤严重冻裂, 冻土层厚, 这将导致解冻后松土层也偏厚。

3) 冬末春初降水少, 气温高

2000 年 1 月份虽然出现几场降雪, 但 2~4 月上旬, 北方大部地区降水又持续偏少(图 6), 部分地区降水量是 50 年代以来的最低值(图 7)。与此同时, 气温又较常年同期偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ (图 8), 使得土壤含水率低, 表层干燥、疏松, 而且大风到来前均没有可以抑制扬沙的明显降水。

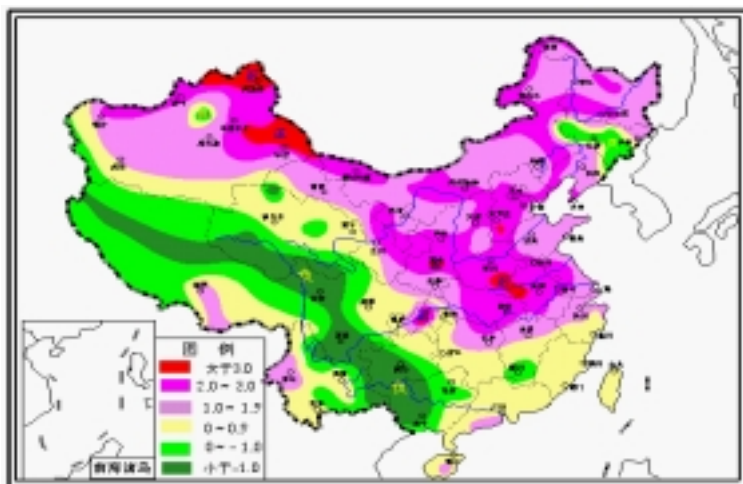


图 11-3 2000 年(2 月 1 日~4 月 12 日)全国平均温度距平图 (单位: 摄氏度)

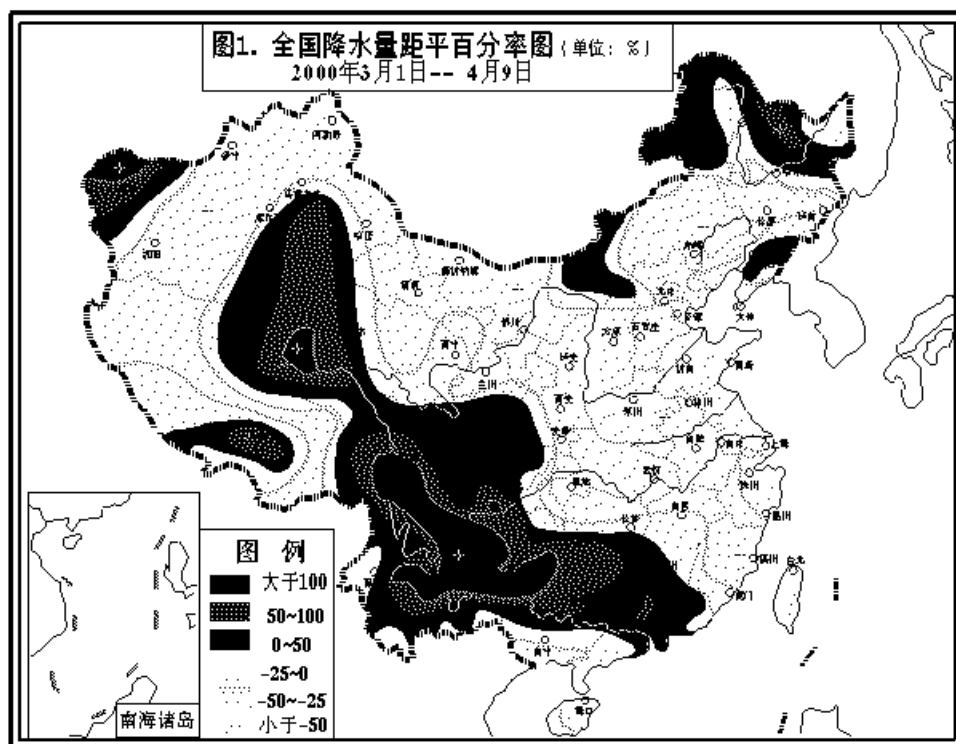


图 11-4 2000 年全国降水量距平百分率图 (单位: %)
(3 月 1 日~4 月 9 日)

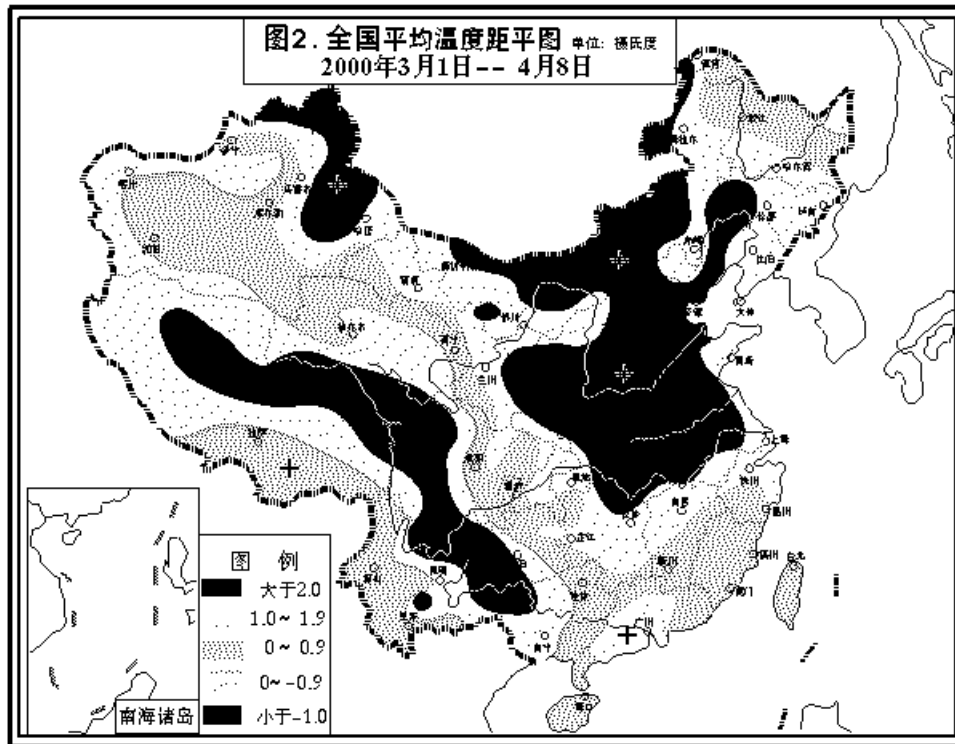


图 11-6 2000 年 3 月至 4 月上旬平均气温距平图（单位：℃）
（3 月 1 日~4 月 9 日）

4). 入春以来冷空气和气旋大风频繁

由于经向环流强度较强，入春以来影响我国的冷空气比较频繁，其伴随而来的大风天气明显偏多，加之冷空气到来的同时往往有温带气旋在内蒙古至东北一带强烈发展，也导致降温不剧烈而风力显著增大。

5). 人类活动为大风提供了更丰富的沙(尘)源条件

近年来不少地区过度放牧，大量砍伐，土地的大规模开垦，不适当的灌溉等都不同程度地破坏了自然植被，使土地失去覆盖物的保护和涵养水分的能力，土地荒漠化日趋严重，以及城市在建的工地多、植被未形成，表土裸露等等，都为风沙天气提供了物质基础。

二、我国沙尘暴灾害及荒漠化土地发展趋势

近年来，我国沙尘暴灾害的发展日趋严重，已是事实。而且如果不立即加大力度采取防治措施，其发展势头将难以逆转，造成重大的甚至不可估量的损失。

沙尘暴是大风天气过程作用于干燥、疏松、裸露代表的产物。我国近年来沙尘暴的频繁发生，主要与荒漠化土地面积的扩大和程度加重直接有关。据监测资料，我国的荒漠化土地面积 20 世纪 50~60 年代，每年扩展 1560km²，20 世纪 70~80 年代，每年扩展 2100km²，进入 20 世纪 90 年代，每年以 2460 km² 的速率扩大，目前荒漠化土地面积已达 2.622×10⁶ km²，占国土总面积的 27.3%，其中，轻度荒漠化土地为 36.3%，中度荒漠化土地 24.4%，重度荒漠化土地 39.3%。特别是直接产沙产尘的风蚀沙化土地面积较大，达到 1.607×10⁶ km²，占荒漠化土地总面积的 61.3%。

由于近年来气候逐渐变暖，北方大部分地区降水在波动中趋向减少，气候干燥，对地表土壤水分的蒸发加强，加之人类不合理的土地利用和社会经济活动，致使荒漠化特别是风蚀沙化过程越加剧烈。所以，如果不进一步采取措施，从根本上遏制荒漠化的发展，未来沙尘暴的发生将会更加频繁。

1、气候干燥化趋势明显并有逐渐加剧的征兆

广大北方地区，除新疆北部和南部外，气温在波动中升高，年气温平均升高达 0.5-1.5℃，降水在波动中减少，平均减少 10-20%，从而使得气候干燥化加剧，进而加剧了土壤水分干旱化的过程，为大面积风蚀沙化创造了有利的气候环境(图 5)。由此可见，全球变暖对我国的影响已经开始显示。

2、干旱、大风与沙尘暴

我国北方地区干旱少雨，大风频繁，为沙尘暴形成提供了有利的条件。

首先，沙尘暴是干旱气候的产物，其发生频率及强度与降水量有关。从千年时间尺度上，沙尘暴频发期对应于干旱期，例如，在公元 1060—1270 年、1640—1720 年、1810—1920 年三段时期，沙尘暴发生频度为 2—5 次/年，同期湿润指数多小于 1.20(图 11-1)，在我国大部分地区表现为干旱期；近 50 年来，受全球气候变暖的影响，我国北方地区气温明显增高，而降水量减少，呈现出暖干化现象，以北京、张家口、呼和浩特和兰州为例，4 个气象台站 20 世纪 90 年代的平均温度较平均值分别升高了 0.9、0.8、0.8、0.6℃，较 50 年代升高了 1.3、1.8、1.5、0.7℃，而 90 年代降水量除张家口略有增加以外，其它三个台站较平均值分别减少了 9.9、0.1、6.3 mm，较 50 年代减少了 161.3、27.6、21.7 mm，其暖干化现象以北京地区最为显著(表 6)；从近期来看，今年 3—4 月我国北方地区频繁出现较大范围的扬沙、浮尘和沙尘暴天气，与 1999 年以来气候干旱密切相关，主要表现在：1999 年我国北方大部分地区降水明显偏少，尤其是占全年降水量 60—80%的夏季降水量出现了近 50 年来的最小值，年平均气温较正常年份高 1~2℃，不少地区夏季还出现了建国以来罕见的持续高温天气，降水少，而蒸发强烈，致使北方大部分地区发生了大范围的严重干旱，直到今年 4 月份，北方地区降水又持续偏少，部分地区降水量是 50 年代以来的最低值，与此同时，气温又较常年同期偏高 1—2℃，造成土壤含水率降低，地表干燥、疏松，极易遭风蚀，产生沙尘天气。

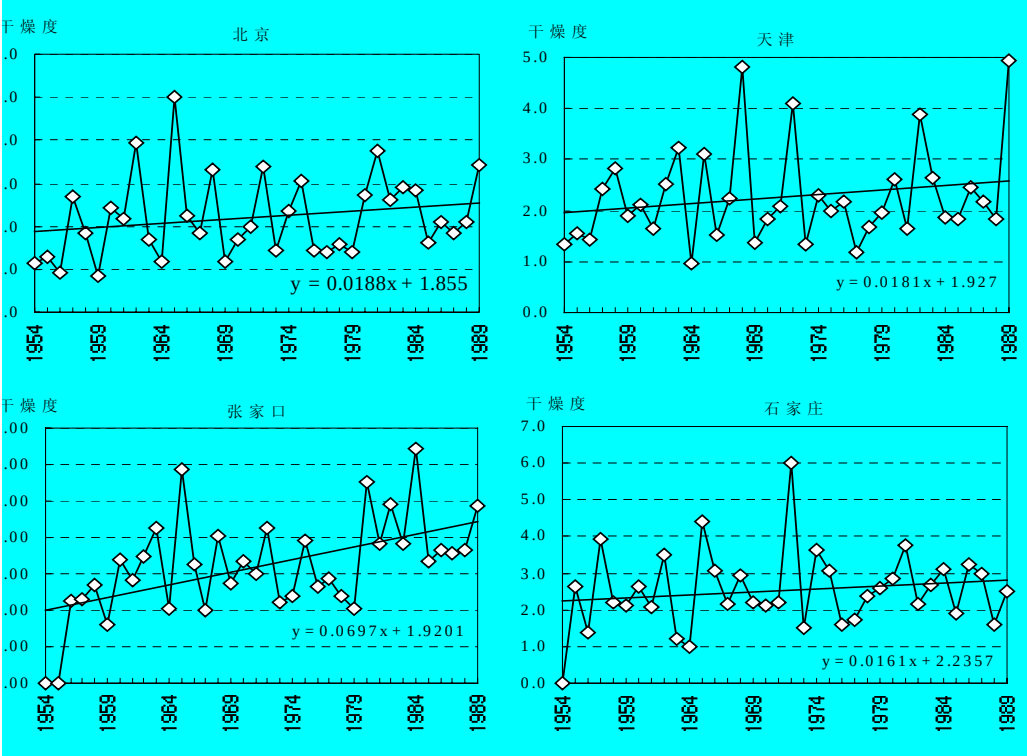


图 11-7 环北京典型区气候干燥化趋势图

表 11-1 近 50 年来我国北方地区 4 个气象台站气温 (°C) 和降水量 (mm) 变化

年 代	北 京		张家口		呼和浩特		兰 州	
	°C	mm	°C	mm	°C	mm	°C	mm
20 世纪 50 年代	11.	782.0	7.2	417.	5.5	438.	9.2	335.
20 世纪 60 年 20 世	11.	584.9	7.8	394.	5.7	414.	8.9	332.
20 世纪 70 年代	11.	567.3	8.2	440.	6.2	398.	9.1	318.
20 世纪 80 年代	12.	582.4	8.8	362.	6.7	391.	9.7	300.
1991~1997 年	12.	616.7	9.0	426.	7.0	410.	9.9	313.
平均值	12.	626.7	8.2	408.	6.2	410.	9.4	320.
90 年代较平均值	0.9	-9.9	0.8	18.3	0.8	-0.1	0.6	-6.3
90 年代较 50 年代	1.3	-	1.8	8.9	1.5	-27.6	0.7	-21.7

其次,大风频繁是沙尘暴产生的动力。风洞实验表明,不同地表的沙尘颗粒具有不同的起动风速,粉砂、粘土以上颗粒愈粗,起动风速愈大(表 11-2)。在不同风速作用下,起沙起尘量存在明显的差异,随风速增大而增加(表 8)。流动沙丘当风速达到 5 m/s 时起沙,半固定沙地 7—10 m/s、砂砾戈壁 11—17 m/s 才能起沙起尘,其起沙量随风速的增加而增加。而且,沙尘的悬浮或跃移高度与风速有一定关系,实验证明,风速达到 30 m/s 时,细沙(直径 0.25—0.125 mm)跃移的高度达到 2 m,粉粒(直径 0.05—0.005 mm)和粘粒(直径<0.005 mm)漂移的高度分别达到 1.5 和 1.2 km。

表 11-2 不同粒级颗粒的起动风速 (m/s)

粒径 (mm)	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-1.25	1.25-2.5	2.5-5.0	5.0-10.0	10-20
风速 (m/s)	5.2	7.3	8.7	16.0	21.1	27.8	36.7	48.5

表 11-3 不同风速条件下地表起沙、起尘量 (kg/ha·h)

地 貌 类 型	风 速 (m/s)							
	10		15		20		25	
	起沙量	起尘量	起沙量	起尘量	起沙量	起尘量	起沙量	起尘量
流动沙丘	1.7×10^7	0.1×10^7	5.5×10^7	0.3×10^7	11.3×10^7	0.8×10^7	18.1×10^7	1.4×10^7
半固定灌丛沙堆	1.2×10^6	0.2×10^6	3.8×10^6	0.5×10^6	3.7×10^6	0.9×10^6	12.3×10^6	1.3×10^6
砂砾戈壁	120	90	230	100	370	150	530	270

3、地表裸沙(土)面积扩大

地面植被覆盖度整体减少,特别是在冬春两季,大面积的土地裸露,为风沙活动创造了物质条件。我国北方大部分地区,地表物质为疏松的沙质沉积物,且多系晚更新世晚期形成的沙质黄土、风成沙地(丘)、风成覆沙(坪沙)地,沙质沉积物的比例一般达到 30%以上。这些沉积物,一旦上覆植被破坏,必然造成沙丘活化、古沙翻新,地表风蚀沙化,从而使荒漠化土地面积扩大。

从表 9 中可以看出,流沙中粉尘含量大多不超过 5%,沙尘暴灾害中的沙尘物质主要来源于土壤表土及沙漠河流中下游的冲洪积物,因此,戈壁和流沙不是主要尘源,耕作土壤的表土或细粉沙则是重要的尘源之一。

表 9 沙漠(戈壁)和黄土地区采样分析(细颗粒物(<0.063mm 粒径)含量(%))表

采样地点	流沙	土壤及冲洪积物
塔克拉玛干沙漠边缘	6.18	82.36
塔克拉玛干沙漠腹地	3.17	36.23
库姆塔克沙漠	2.59	30.44
巴丹吉林沙漠	3.68	28.49
腾格里沙漠	2.80	31.12
毛乌素沙漠	4.48	30.55

科尔沁沙地	4.38	28.37
北京平原	2.91	57.99

注：沙尘暴降尘的粒级范围在 0.063~0.002mm 之间，主体粒级为 0.063~0.005mm。

4、生态用水得不到保证，有减无增

北方地区自然降水不多，且时空分布极不均匀。由于人口的迅速增加，土地开垦面积的扩大，大部分河流因取水增加，出现程度不同的断流，甚或形成季节性河流。为了确保生产和生活用水，从而使生态用水得不到保证，如额济纳河下游，塔里木河下游胡杨林的大面积死亡，就是因水源得不到保证而形成的。由于生态用水不能保证，使大面积的植被干涸，失去保护地表沙性物质的功能，从而加快了河道及其两侧风沙土地的扩展，以及沙漠边缘沙丘农田的前沿入侵。

人工破坏植被的局面没有得到控制

广大北方地区，由于特殊的地理条件，广泛分布一些珍贵药材，以及可作为燃料的灌丛植被。由于大部分地区经济落后，当地人民常常以采挖药材作为一项主要收入，从而大范围地破坏了植被，如过渡采挖麻黄、甘草、发菜等。与此同时，由于贫困，本来是煤炭能源分布的基地，老百姓却因无能力使用，反而采挖各种灌木，作为燃料，进而破坏植被。植被的破坏，必然为风沙活动创造条件。

综上所述，我国北方沙尘暴灾害与荒漠化的加剧，其主要原因是在干燥的气候背景下，地表丰富的沙源，在植被几遭破坏的过程中，加速发展而形成的。荒漠化形成是气候、地表物质、人类活动等多种因素综合作用的产物，反映出一系列生物地球物理、生物地球化学和生物地球社会的复杂过程。

三、减轻首都圈沙尘暴灾害急需采取的科技行动

1、加强对首都圈沙尘暴的成因分析

(1) 沙尘暴形成的沙源与尘源分析

我国北方（特别提西北）地区，干旱少雨，大风频繁，寒潮多发，冷热剧变，不稳定的空气在对流层底部形成强对流天气等，均为沙尘暴的形成提供了有利的天气背景。不稳定的天气条件的形成是一个复杂的多种因素的耦合，如沙尘暴发生前地面温度的异常升高与过境冷锋的耦合等。1993年5月5日14时冷锋前甘肃河西走廊出现30-40℃地面高温区，15时冷锋进一步前移，锋面高温区扩大，地面温度升高，对流发展旺盛，触发特强沙尘暴发生。所以，加强对形成沙尘暴的天气过程和成因机制的研究，建立健全监测体系，才能不失时机而准确地预报沙尘暴的发生。

根据风沙流运动规律的有关理论研究，大于0.05mm的沙粒一般不会被风带入高空长距离搬运。所以，沙尘暴一般都是就地起沙或近距离起沙。为了搞清沙粒来源以及不同地区的风蚀起沙规律，通过收集积沙样品和大量采集沙地沙样，进行矿物成分、化学成分、粒度、颗粒形态等要素测定和对比分析，同时采集原样进行风洞风蚀模拟实验。小于0.05mm的粉尘或微粒，一般都是从源区进入高空后被输送到沉降区的。源区范围相当广泛，我国北方地区浩瀚的沙漠、戈壁和黄土高原，以及广大北方的旱作农区及牧区对沙尘暴的发生提供了较为丰富的物质。自沙漠戈壁区沿沙尘暴运行路径等距离或不等距离布设集尘器，系统收集尘样，进行各种成分分析，同时在源区采样作对比研究。采集原样在风洞中进行风蚀、打磨、粉尘运行规律等模拟实验。

(2) 沙尘暴过程重建、模拟与预报模型

重建和模拟沙尘暴自源区风蚀、扬起、输送和沉降等全过程，是认识沙尘暴发生发展规律的基础，也是预警预报工作的需要。模拟从两个方面进行，一是利用大量大气和地面原始数据进行数字模拟，二是对不同下垫面在风洞进行沙尘起动、运移和沉降的实验模拟。同时，在野外对不同下垫面的风蚀吹扬、风沙流和粉尘流进行观测，并与实验模拟结果进行对比。经过反复实验对比、相互验证，最后建立沙尘暴的预报模型。

2、加强对首都圈沙尘暴的预报监测、预警与应急管理、灾情评估系统

本系统以首都圈为服务对象，以现代技术为主要手段，以业务化为最终目标。依托气象部门现有的业务系统和有关部门所取得的相关科技成果，建立现代化沙尘暴(包括大风)的预报监测、预警与应急管理、灾情评估业务系统。

将传统的天气学方法和现代数值预报方法有效结合，探索一种新的沙尘暴天气短时预报方法。应用气象卫星、探空、地面观测等手段对影响首都圈的沙尘暴的形成、发展和传播进行全方位的跟踪观测。并通过先进的通讯设备为决策部门、应用部门(民航等)与公众提供预警与应急管理，减小损失。最后使用地理信息系统对灾情进行评估。

该系统有四个子系统组成：
沙尘暴短时(24 小时内)预报子系统；沙尘暴监测子系统；沙尘暴预警与应急管理子系统；沙尘暴灾情评估子系统(图 6)。

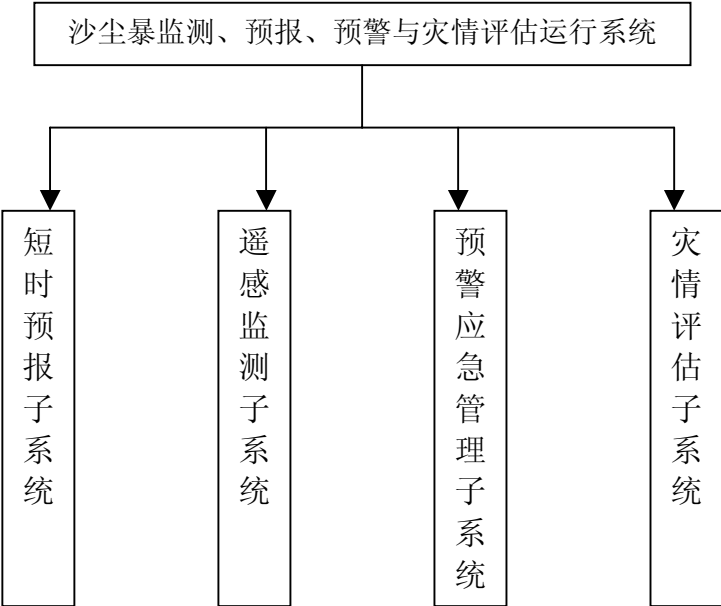


图 11 沙尘暴评估运行系统结构组成

3、加强对首都圈沙质土地分布现状调查和荒漠化动态过程的监测

(1) 根据地表景观特征划分沙地的遥感检测指标体系

荒漠化是一种环境退化过程，这种退化过程通过地表植被、地貌形态的变化表现出来，因此在影像上具有明显的特征，可以根据不同地区景观表现出来的影像特征来判断一个地区的沙漠化程度，主要利用航空相片、SPOT、陆地卫星 TM 影像和 MSS 资料。可以根据荒漠化程度指标体系，结合野外调查来确定的，确定不同荒漠化类型在影像上的色调、形状、纹理、结构特征。荒漠化解译标志有：1)图像标志，指荒漠化土地的色调、影纹、形状、大小和阴影；2)荒漠化土地地貌形态标志，如新月形沙丘、沙丘链、平沙地等，以及各类型间的组合方式、排列形式；3)数量标志 如单位面积内流沙和植被所占百分比。由于这种指标体系在执行标准中人为因素影响较大，在一定程度上具有相对判定的特点，对研究人员的经验要求较高，因此这里不把这种指标作为本论文荒漠化监测的主要指标体系。

(2) 根据植被指数划分沙地的遥感监测指标体系

植被指数反映了光谱响应与植被盖度之间的近似关系，而土地荒漠化其本质特征就是土地生产力的降低，而植被指数的变化完全可以表达土地生产力的变化过程，因此可以利用植被指数作为荒漠化监测指标来监测土地沙漠化的动态变化。

NOAA/AVHRR 荒漠化指标体系，可以以 1 个月为一个时段，利用这个月内的 NOAA 影像，采用影像镶嵌的办法，获得一幅无云影像，采用 NOAA/AVHRR 的植被指数作为荒漠化指标。全年平均状态的荒漠化程度指标采用生长季(6-9 月)的植被指数累积值，生长季累积植被指数值选取的时间为 6 月—9 月的 MVCS(镶嵌影像)。为了消除季相对荒漠化程度评价的影响，每月也确定一个指标体系。

(3) 首都圈荒漠化(风沙化)程度的评价指标体系

开展荒漠化的遥感监测研究首先要确定荒漠化的不同程度及其判别指标。沙质荒漠化作为以风沙活动为标志的环境退化过程，是以土地生物量降低，土地生产能力减小为特征，受自然因素和人为因素的共同制约。目前表现荒漠化灾害过程环境条件存在的指标主要有三类：

第一是自然指标：风沙活动—风蚀地、沙地域沙丘的增长和活动数据，尘暴和沙霭、降水季节与年度变化、风速与风向、土壤有效深度及有机质含量、地下水深度与质量、地表反射率等。

第二是生物学和农业指标：植被覆盖率、生物量、关键物种的分布和频度，土地利用状况(如农、牧、樵采、工矿、水源利用等)、农作物的产量、家畜成分及产量，各种经济活动的投入等；

第三是社会指标：民居形式、人口统计的数量、结构、变化过程及其趋势，公共健康指数，指令性或某一特定时期内的政策等。

自然指标与社会指标反映的是荒漠化的形成因素，而生物学指标则是自然与人为因素相互作用的最直接的结果，目前对荒漠化监测的指标体系都由这三类指标组成，只不过不同指标体系的侧重点不同。遥感监测指标最终反映的是地表景观和植被状况，属于第二类指标。

(4) 荒漠化，特别是风沙化土地动态监测系统研制

目前荒漠化动态变化的研究，主要采用航空相片和陆地卫星 TM 影像，其空间分辨率较高，能够较详细地反映土地荒漠化的现状，同时能从影像反映出的土地利用变化，因此可详细分析人类活动对土地荒漠化的影响方式。土地荒漠化评价选用的遥感信息源的时相对荒漠化的评估影响很大，因此航空和陆地卫星遥感与高时间分辨率更宏观尺度的荒漠化评价与监测结合起来，也就是与气象卫星对土地荒漠化的评价与监测结合起来就显得十分必要，从而克服低时间分辨率对荒漠化监测带来的负面影响。可以采用对植被指数划分沙漠化程度的办法，因为考虑到 TM 等高空间分辨率数据，很难在大区域获得同一个时相的影像，因此要将 TM 等植被指数的沙漠化程度指标体系与 NOAA 的指标系统一起来，利用高分辨率的 NOAA 数据来校正 TM 数据时相上的影响，也就是把不同时相 TM 的植被指数值与相应时相 NOAA 的植被指数作回归分析，把 TM 的植被指数值统一成 NOAA 的植被指数值，采用 NOAA 的植被指数的沙漠化程度指标体系来划分 TM 的沙漠化程度。

在 GIS 支持下，将多分辨率的遥感数据集成，根据 NOAA 植被指数沙漠化监测指标体系，实现对不同时空尺度的沙漠化土地监测研究，开发能够在生产中运行的沙漠化动态监测系统是，通过利用多源遥感数据，在 GIS 数据库多种信息的支持下，实现对沙漠化土地的近实时的动态监测，并找出沙漠化的主要驱动因子，制定相应的对策。

参考文献

- 科技部防沙治沙专家组，2000. 防沙治沙技术方案. 中华人民共和国科学技术部
- 牛生杰等，2000. 贺兰山地区春季沙尘气溶胶的化学组分和富集因子分析. 中国沙漠, 20(3): 264-268
- 王式功等，2000. 沙尘暴研究的进展. 中国沙漠, 20(4): 349-356
- 杨根生，2000. 我国西北地区沙尘暴. 科学对社会的影响, 第 4 期
- 叶笃正等，2000. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 地理学报, 55(5): 513-521
- 赵光平等，2000. 宁夏强沙尘暴生态调控对策的初步研究. 中国沙漠, 20(4): 447-450
- 郑新江等，2000. 利用风云-1C 气象卫星监测南疆沙尘暴研究. 中国沙漠, 20(3): 286-288
- 中国科学院地学部，2000. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 中国科学院

第 12 章

中国强沙尘暴灾害和及其荒漠化的未来扩展趋势

慈龙骏

(中国林业科学院)

2000 年开春以来,北京和我国西北部地区连续发生多次大范围的强沙尘暴。这是自 1998 年春季在北京发生的强沙尘暴伴随“泥雨”的天气以来,其影响范围和强度之大是历史上罕见的,震惊了国内外。强沙尘暴一次比一次强烈地发生,其范围从我国西部至东部,席卷了半个中国,造成了大范围的全国性自然灾害,社会影响很大。沙尘暴频繁地发生也是荒漠化扩展的具体体现和结果。不合理的人类活动和自然条件的恶化,使大面积植被破坏,加剧了沙化过程,为强沙尘暴灾害频繁发生提供丰富沙尘物质来源和地表热量不稳定状态条件。沙尘暴是一种特殊形式的风沙流。强和特强沙尘暴是破坏力很强的灾害,不仅对国民经济建设造成损失,而且危害人民生命财产的安全,障碍我国资源、环境、经济可持续发展,特别对西部大开发产生直接影响,如处理不当,西部大开发也将加速荒漠化、沙尘暴的扩展过程。

1. 强沙尘暴天气特征和危害

据中央气象局地面气象观测规定:“由于强风及地面大量尘沙吹起,使空气浑浊,水平能见度小于 1 公里的天气现象叫沙尘暴。”目前,对沙尘暴的分级标准还未统一,据研究并参照了国际上的分级办法,将强沙尘暴和特强沙尘暴定级为:同时满足风速 ≥ 20 米/秒能见度为 <200 米者为强沙尘暴;同时满足风速 ≥ 25 米/秒能见度为 <50 米者为特强沙尘暴(俗称黑风暴)。强沙尘暴和特强沙尘暴由于强大风速和很低的能见度,致灾最为严重。

近年来,大范围的强沙尘暴天气出现的频率增加、程度增强、范围扩大。这与本世纪以来异常天气状况频繁出现、全球气候变化有一定联系,但从总体来看,沙尘暴灾害愈演愈烈的原因是与土地荒漠化的日益加剧有关。

我国历史上对沙尘暴已有记载,反映了当时沙尘暴天气发生的过程和频率,但由于当时观测条件较差,资料不完全。为了分析大范围强沙尘暴天气时空分布,这里主要根据建国以后才开始的规范化气象记录来探讨以下的问题。

1.1 强沙尘暴天气空间分布特征

西北地区是强沙尘暴的多发区和重灾区。根据沙尘暴天气系统移动路径,我国发生强和

特强沙尘暴天气的冷高压主要有两条移动路线，即：

西下路线：主要受西伯利亚内蒙古高压反气旋的影响，具有移动迅速，强度大、影响面广、灾害重的特点。该路线包括：

1.1.1 塔里木盆地周围地区、吐鲁—鄯善—托克逊盆地，经河西走廊直至陕北一线。锋后冷高压中心在新疆或内蒙古西部；

1.1.2 新疆柯坪、和田、民丰及格尔木一线。强沙尘暴天气在这地区持续时间较长；

1.1.3 经敦煌、民勤一线向东移动。

北下路线：冷空气从贝加尔湖经蒙古国中部南下直接侵入陕北，影响内蒙古高原、鄂尔多斯高原，阿拉善高原巴音毛道经榆林一线。

1.2 强沙尘暴天气时间分布特征

据统计，强沙尘暴从 13 世纪后发生频率增高，18 世纪后大增，建国以来的半个世纪，每 10 年间强和特强沙尘暴频数的年际变化是，50 年代发生 5 次，60 年代发生 8 次，70 年代发生 13 次，80 年代发生 14 次，90 年代至今已发生 20 次达到最高峰，可见强沙尘暴的发生频率越来越加强。大范围的强和特强沙尘暴天气的季节变化较有规律，据观测主要集中在 3—5 月，以 4 月较为集中。例如，1993 年特大沙尘暴发生在 5 月 4 日—6 日；1998 年第一次强沙尘暴发生在 4 月 16—18 日；1999 年发生在 4 月 4—6 日（多次）；2000 年特强沙尘暴发生在 4 月 5—7 日。据历年的记录，强和特强沙尘暴出现以 4 月份频率最高，属最活跃期。其原因是大范围的强和特强沙尘暴天气的发生必需具备的条件是：（一）强风和低能见度，在西北地区大气循环的规律在春季为多大风季节；（二）地面有丰富的、无植被覆盖的、干燥的沙尘物质；（三）地面呈不稳定热层结，空气对流加强形成上升气流。根据野外观测，强大气流携带沙尘运动的过程中，当风速超过 10 米 / 秒时，在地面条件具备的情况下，其扬沙的时间持续较长且能产生沙尘暴天气，若平均风力在 7 级以上时就能产生强或特强沙尘暴。西北地区春季干旱少雨，蒸发量大，植物又在无叶状态，对地表复被作用微小，为产生强和特强沙尘暴天气提供最佳条件。

沙尘暴天气出现的日变化：根据西北重点地区的记载和我们野外研究观测，一般沙尘暴天气多在午后开始，绝大多数集中在午后至傍晚，南疆多在傍晚开始，后半夜至上午发生较少。这是由于下午近地层温度增高，风力增大，同时大气低层热层结不稳定，热对流最易发展，对产生沙尘暴的天气有利。

1.3 大范围强和特强沙尘暴天气的危害

强沙尘暴是干旱、半干旱地区具有突发性、大灾害的主要灾害性天气。由于它致灾重、成灾面广的特点给国民经济、人民生活造成了严重损失。现举例说明：例一，1993年5月4日至6日，一股西下路线的特大沙尘暴，受西伯利亚冷空气入侵并加速南下的影响，其影响范围很大，从新疆北部到甘肃河西、内蒙古西部、宁夏大部地区，总面积约110万平方公里。特大沙尘暴瞬时最大风速大于37.9米/秒（大于12级），一般为21米/秒（8级），能见度<50米。特大沙尘暴造成损失严重，仅新疆、甘肃、内蒙、宁夏四省（区）共死亡85人，伤264人，毁坏房屋4412间，死亡和丢失牲畜12万头（只）；农作物受灾面积达560万公顷，埋没水渠2000多公里，一些地方交通受阻，电讯中断……造成直接经济损失达5.5亿元，对生态环境、经济发展产生很大影响。例二是1998年4月16-18日，特强沙尘暴数次袭击我国西部地区，由西至东直至长江下游，其影响范围之大是历史上罕见的。特强沙尘暴经过北京上空与降雨天气相遇，形成当地称之为“泥雨”天气，在古城南京，空中总悬浮颗粒物浓度比正常值高出8倍，内蒙古、北京、济南、南京等地出现浮尘天气。形成了“广大西北起沙暴，北京下泥雨，黄沙笼罩长江以北”的恶劣环境，社会影响极大。内蒙阿拉善盟行政公署以特急文件上报该盟受沙尘暴危害情况：8—10级强风袭击历时12小时，环境质量TSP浓度平均值为62.4毫克/立方米，远远超过国家环境空气质量标准，其持续时间长、范围广、据当地统计，连续6天的沙尘暴造成的直接经济损失（不包括土地的损失）超过10亿元，人们的生存受到威胁，“生态移民”正在进行，灾害之大是历史上罕见的。他们发出了“生命的呼唤”，提出：“如不尽快治理日益恶化的生态环境，阿拉善将成为第二个“罗布泊”，生命将在这里消亡。”

2、强沙尘暴天气形成原因

强和特强沙尘暴天气形成的主要原因是自然因素和人为因素的作用，即受气候、地理、社会、人文等综合影响的结果。多种致灾原因交叉渗透又相互联系，但是，人为因素往往通过自然因素产生主要作用。

2.1 强沙尘暴天气形成的自然因素

如上所述，在我国西北地区出现的强和特强沙尘暴与大气、地形和植被的关系十分密切。

强沙尘暴的形成与大气的关系：强沙尘暴天气的频发区和重灾区主要位于中纬度的干旱、半干区，即受荒漠化严重影响和危害的地区。另外，这个地区对全球气候变化最为敏感并产生负面的影响。

强冷空气是形成沙尘暴的驱动力，只有足够强的冷空气，才有可能形成强的气压梯度，促进大气环流的运行；但丰富的干燥、疏松沙尘物质是沙尘暴形成的地面条件。当气流在强

大动力的驱动下，地面无植被覆盖时，气流才能携带大量地表粉尘细沙，悬浮在空中形成沙尘暴，其高度轻者达 1000-2500 米，重者可达 2500-3200 米。

沙尘暴的形成要有不稳定的地表热层结，在沙尘暴发生的前几天往往有持续高温天气，促进上升气流的活动，增强气流对地面的扰动，所以在冷暖交替的春季最易形成沙尘暴。

强沙尘暴的形成与地理因素：地形、地貌对沙尘暴天气形成有重要的导向作用和“地形效应”。西北地区地形的特点是山脉与盆地相间，高原与平川相接。如准葛尔盆地位于天山与阿尔泰山之间；塔里木盆地位于天山与昆仑山之间；河西走廊南为祁连山、阿尔金山，北为阿拉善高原—北山地台边缘隆起带，中部为走廊高平原。地形对沙尘暴运行途径起着导向、强化作用，并起着加大气压梯度和温度梯度，导致沙尘暴天气的产生。

沙尘暴天气多发生在内陆沙漠地区。我国西北地区由于有塔克拉玛干大沙漠、巴旦吉林沙漠、腾格里沙漠等，因此形成了沙尘暴的频发区。

强沙尘暴的形成与植被关系最为密切：在干燥的裸露的干旱地区，大面积沙化土地和沙地为沙尘暴的形成提供丰富的沙尘源。在有灌木复被的地表，植被改变地面粗糙度，增加地面对气流的阻力，改变近地面表层的气流结构，根据观测研究，当气流从裸露地进入草带以后，地面粗糙度可提高 $8 \times 10^4 - 3 \times 10^5$ 倍，对气流的阻力相应增加 17—26 倍，摩阻系数增加 4—5 倍。在宽度为 244 米的灌（草）带处，可减少上层气流对近地面层气流的动能量补给，降低了近地面层的风速 40%，在 10 公分的高度上，风速可降低 90%。

有防护林网保护的地带，稀疏结构林带的保护范围可达林带高的 24—38 倍，平均降低风速 34—41%。因此，林带防治沙尘暴的作用十分明显。如 1961 年，吐鲁番县出现一场特强沙尘暴，持续 13 个小时，风力达 12 级，全县农作物受灾面积达 85%，其中 6700 多公顷丰收在望的小麦平均单产仅 4.5 公斤，2667 多公顷棉花和 4000 多公顷大高粱全被刮走，农业生产遭到严重的损失；而 1975 年 4 月该区又遭到多次强沙尘暴和极强干旱风的袭击，沙尘暴的破坏力与 1961 年相同，但由于吐鲁番县自 1961 年以后大力营造防护林、封沙育草、防风治沙、兴修水利，到 1975 年营造并保存护田林带（网）3100 多条，封沙育草近 5333 多公顷，使全县 70% 的耕地实现了林网化，增强了抵抗沙尘暴的能力，这一年全县受灾面积仅占播种面积的 8%；又如 1998 年特大的沙尘暴造成新疆 9 亿多元的经济损失，但石河子地区由于植树造林，绿化覆盖率已达 40%，在这场 40 年来罕见的沙尘暴袭击新疆时未受损失。

2.2 强沙尘暴天气形成的人为因素

人类活动在沙尘暴形成中起了重要作用，主要包括两个方面：一是不合理的土地利用，联合国环境规划署在分析全球荒漠化人为因素作用时指出，过度放牧占退化土地面积的

34. 5%，森林破坏占 29. 5%，不适当地农业利用占 28. 1%，其他如水资源利用不当、工矿交通占 7.95%，我国的情况大体相似；二是人口增长和城市化的迅速发展，增加对现有生产性土地的压力以及农牧民通过强度经济活动、谋求生活改善的短期行为。人为活动因素主要归纳为：

2.2.1 滥垦：北方十年开垦，竟有一半撂荒。全国农业区划办公室对黑龙江、内蒙、甘肃和新疆的部分地区（县）共 53 个县级单位进行了 1986 和 1996 年十年来的卫星遥感调查，发现北方四省区 10 年来刨草毁林现象严重，开垦的土地近半撂荒，10 年来共开垦面积为 174 万公顷，而保留耕地总面积则为 88.4 万公顷，占开垦总面积 50. 8%。当地群众痛心的说：‘一年开草场，二年打点粮，三年五年变沙梁。’，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。从历史上看，有些大面积的沙化土地和沙地是与大规模的农垦及战争的频繁发生有关。建国以来的三次大开荒，使自然植被大面积破坏，

掠夺式的破坏植被使之成为裸露沙地。许多地方在不具备开垦条件又无防护措施的情况下，无计划、无节制地进行开垦，导致土地荒漠化。

2.2.2 滥伐：分布在沙漠、沙地周围的天然荒漠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，脆弱的生态系统完全没有生机，流沙四起。如塔里木河下游沿岸胡杨林已由 60 年代的 5.3 万公顷减少到目前不到 1333 万公顷，减少了 75%；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，根据陆地卫星影像解译分析：1987 年至 1996 年 9 年间森林面积由 36. 35 万公顷减少到 22. 24 万公顷，减少了 38. 82%；流沙面积由 6. 8 万公顷增加到 12. 91 万公顷，增加了 81%。

2.2.3 滥牧：过度放牧导致草场退化，当前西北地区已有近 70% 的草场因过度放牧而退化。草场牧畜超载率为 50—120%，有的地区高达 300%。浑善达克沙地由于过度放牧，导致荒漠化，1989 年和 1996 年的 7 年间，该地区流沙面积增加了 93. 3%；草地面积由 1989 年的 60. 25 万公顷减少到 1996 年的 43. 01 万公顷，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。

2.2.4 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，使大面积天然荒漠林死亡，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，水土不平衡和荒漠化加剧。

3、荒漠化和沙尘暴扩展趋势

根据全球气候变化的研究、地面遥感的分析及沙尘暴的本身特点来探讨荒漠化未来变化趋势。

3.1 全球气候变化的影响：我国西北干旱、半干旱区主要位于中纬度地区，受全球气候变化影响最大。根据研究，如果工业的发展和燃料使用的结构不变，到 2050 年大气中 CO_2 及其温室气体的含量将相当于工业化前 CO_2 含量的两倍，届时它将使大气的平均温度增高 1.5°C - 2.5°C （目前 IPCC 的估计）。如果这种现象不加以控制，则全球变化带给人类的灾难将是巨大的，特别是处于中纬度的干旱、半干旱缺水地区，在夏季，干旱出现频率可能增加。

我们搜集全国一千多个气象站连续 10 年的气象资料，用国内外通用的 Thornthwaite 可能蒸散计算方法，按联合国气候分区指标，划分我国干旱、半干旱和亚湿润区的界限和范围，得出我国现有极端干旱区面积为 69.7 万平方公里、干旱区（包括干旱、半干旱和亚湿润干旱区）的总面积为 297.6 万平方公里，占国土总面积的 38.3%。预测到 2030 年 CO_2 加倍，增温 1.5°C 时干旱区面积将扩大，其总面积达到 377.7 万平方公里，占国土面积的 39.23%。全球气候变化对半干旱区和亚湿润干旱区影响最大。

3.2 土地利用格局变化：利用卫星遥感及航空照片对西北干旱区的典型地区进行了土地利用格局分析，十分清楚的看不合理的土地利用是造成荒漠化迅速扩展的重要人为原因，其发展趋势令人担忧。

3.2.1 草地退化速率每年以 2.6% 的速度在扩大。全国草地遥感调查结果，10 年来全国退化草地从 8667 万公顷增到 1.3 亿公顷，增加 4333 万公顷，以每年 433.3 公顷的速度加速退化（李博，1998）。草地退化的结果是沙化和盐渍化；

3.2.2 毛乌素沙地：是典型的农牧交错带，位于内蒙古、陕西、宁夏交界地区，面积 4 万余平方公里，涉及 10 个县（旗、市）。该区长期的过度开垦、放牧和樵采，导致荒漠化加速扩展。根据陆地卫星影像和航片的解译分析，35 年来流沙面积从 1958 年的 7.63 万公顷增加到 1993 年的 11.24 万公顷，扩大了 47.3%；林地面积由 1958 年的 1.8 万公顷，减到 1993 年的 4246.7 公顷，减少了 76.4%。毛乌素沙地从 50 年代就开始治理，但边治理、边破坏，至今还在扩展，形势严峻；

3.2.3 内蒙古科尔沁左翼后旗和库伦旗所辖部分地区：对该区 1975 年和 1994 年陆地卫

星影像的解释分析，由于当地注重人工林营造，林地面积增加 109.4%；29%的退化草地得到恢复；

3.2.4 塔里木河下游的阿拉干、民勤、额济纳等 17 个典型区的陆地卫星影像解释都显示了近十几年来土地格局的巨大变化，造成瞩目的荒漠化、沙化扩展态势。阿拉干、民勤、居延海等地荒漠化十分严重。

3.3 大范围强和特强沙尘暴发生频繁、范围扩大：随着西部开发，荒漠化、沙尘暴形成的自然灾害可能有新的发展。上世纪 30 年代在美国和原苏联中亚在开发初期，植被破坏严重，曾经发生过大范围强沙尘暴天气，几乎摧毁了他们正在开发的工农业生产，我们要借鉴他们惨痛的教训。目前，大范围强和特强沙尘暴的出现频繁，年复一年的加重，成为西部开发的障碍。随着西部大开发，有可能加剧新的沙化、荒漠化发展。

4、对策建议

大范围强和特强沙尘暴连续在我国西北干旱半干旱区发生，造成极大的经济损失和生态灾难，这是荒漠化不断扩展的结果，所以控制沙尘暴的发展首先必须防治荒漠化。建议：

4.1 增强领导与群众防治荒漠化和沙尘暴的责任感和紧

迫感。强和特强沙尘暴如同洪水灾害，来势凶猛，破坏性大。为了保证西部开发，各级领导和群众要提高对防治荒漠化的责任心和迫切感，切实行动起来。防治荒漠化与其它建设不同，它是长期任务，又不是一劳永逸的工程，一旦受到人为破坏，工程就会毁于旦夕。建议通过一定的行政手段将防治荒漠化工程作为领导干部任期责任制的内容来评价其政绩；

4.2 将防治荒漠化纳入 21 世纪国民经济和社会发展规划，列入国家重点工程，作为国家基础设施建设项目；

4.3 严格认真地做好荒漠化防治规划，分阶段完成。做到科学规划、按规划施工、严格管理。防治荒漠化工程是百年大计，要抓住西北大开发这一重大机遇，遏制荒漠化的扩展，减少沙尘暴的发生；

防治荒漠化是系统工程，在加大荒漠化严重地区的治理力度同时，做好一般地区的生态建设，层层设防。严重荒漠化地区也是沙尘暴的重灾区 and 发源地。防治沙尘暴蔓延和扩展和防治荒漠化同样的道理，要层层设防，“因地制宜，因害设防”的封沙育林、育草，退耕还林，绿化荒沙（山）。飞扬在空中的沙尘物质主要是“就地起沙”所提供的，因此，对各地无草木覆盖的裸露地面都要严格的采取措施、加快绿化的速度。

4.4 加强科学技术，重视专家的参与，建立新形势下的生产、科研、推广相结合的新

型工程结构。工程应实行招标，增加竞争机制，同时创造条件，使具有真才实学的专家参与工程建设，以增加科技含量。防治荒漠化和强沙尘暴都是技术难度很大的工程，涉及多种学科，建议：结合工程实践中的难题开展科学研究，并从工程经费中提取 3-5%的基本资金，支持科学研究提高工程质量。同时，利用国外新技术、新经验、新理论来补充我们的需要；

4.5 做好荒漠化的监测预报工作，把荒漠化的预防工作放在首位。建立全国性的防治荒漠化和沙尘暴的信息网络系统，开展预报工作，把荒漠化控制在开始阶段；

4.6 加强国际合作交流。荒漠化和沙尘暴防治都涉及国际的环境问题，加强国际间交流与合作十分重要。一方面扩大中国的影响同时利用一切可能的机会争取国际上资金、技术的援助以促进防治荒漠化全工程的顺利进行。

参考文献

- A.N. 兹纳门斯基. 1960. 沙地风蚀过程的实验研究和沙堆防止问题. 北京：科学出版社.
- F. Kenneth Hare, 1993. Variaciones Climaticas, Sequia Y Desertification, Organization Meteorologica Mundial.
- Martin, A. J. Williams & Robert C. Balling. 1994. Interaction of Desertification and Climate. WMO, UNEP.
- 慈龙骏. 1998. 我国荒漠化发生机理与防治对策. 第四纪研究, 5(2): 98-107.
- 方宗义、朱福康等. 1997. 中国沙尘暴研究. 北京：中国气象出版社.
- 钱正安, 1993. 关于甘宁部分地区“5·5”特强沙尘暴灾害的调查报告. 大气情报, (4)3.
- 汪吉喜, 1993. 1993 年 5 月 5 日甘肃等地特大沙尘暴成因分析. 甘肃气象, 11(3).
- 王式功、杨德保等. 1995. 我国西北地区“94.4”沙尘暴成因探讨. 中国沙漠, 15(4): 332-338.
- 徐国昌、陈敏连、吴国雄. 1979. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析. 气象学报, 37(4): 26-35.
- 徐建芬、牛志敏等. 1996. 我国西北地区 4.5 沙尘暴天气研究. 中国沙漠, 16(3): 281-286.

第 13 章

中国风沙灾害加剧成因与防沙止漠科技对策*

卢 琦 杨有林 吴 波

2000 年入春以来,我国西北、华北地区连续发生了 13 次浮尘、扬沙和沙尘暴天气,有 9 次直接影响到北京及周边地区。这种恶劣天气发生时间之早、频率之高、范围之广、强度之大,为 50 年来所罕见,引起了全社会广泛关注,牵动着党中央、国务院领导同志的心。国务院先后 5 次专门听取行业和专家汇报;5 月 12-14 日朱镕基总理受江泽民总书记委托,亲自率领有关部门主要负责人就加快防沙治沙、改善生态环境问题到河北、内蒙古等地进行实地考察。朱总理指出,我国土地沙化形势十分严峻,必须把防沙治沙、加强生态环境建设作为一项重大而紧迫的任务;要加快制定全国防沙治沙规划,并把加快生态环境建设作为国民经济和社会发展第十个五年计划的重要内容。国务院办公厅于 5 月 17 日专门举办了防沙治沙科技知识讲座。科技部也先后几次组织有关部门专家进行认真考察、分析与讨论,专门制定了我国防沙治沙、防治沙尘暴的技术方案,针对我国风沙危害的严峻现实,着眼于防沙治沙工程建设的总体布局,为切实提高防沙治沙工程中的科技水平,充分利用现有的研究基础和技术储备,提出了切实可行的区域防治技术和模式,为全国防沙治沙工程的实施和生态环境的改善提供了强有力的科技支撑。国务院领导充分肯定了科技部关于科技防沙治沙的前瞻性工作,朱总理还特别强调:改善我国生态环境,特别是防沙治沙问题迫在眉睫;要加大工作力度,提高防沙治沙的科技含量和科技水平,为全国防沙治沙工程顺利实施提供强有力的科学技术保障。

本文着重阐述了我国风沙灾害发展的严峻形势,分析了风沙灾害加剧的主要原因;回顾了防沙治沙所取得的进展,总结了国内外防沙治沙的经验与教训,论证了防沙治沙的方针,划分了防沙治沙的重点区域,明确了各区防沙治沙的重点工作,提出了减轻我国风沙灾害的建议。

一、几个基本概念

谈到风沙灾害,常常会涉及到下列几个基本概念。

荒漠: 与森林和草原相对应的一种干旱区自然景观,常以稀疏旱生灌木为代表性植物。

沙漠: 分布在干旱荒漠景观区的连片沙丘,俗称沙海。

沙地: 分布在半干旱(部分半湿润)景观区的沙质土地,其代表性的地貌为固定程度不同的沙丘和沙片。

风沙流: 是一种气固两相流,它是起沙风(使沙粒离开地表运动的临界风速)通过对地面侵蚀,使不饱和气流挟带沙子而形成的混合流。

* 致谢: 本文在写作过程中吸收了科技部防沙治沙技术方案、5 月 17 日国务院防沙治沙科技知识讲座和中国科学院地学部关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策等文稿的部分结论,同时还参阅引用了大量公开发表的论文结果和“九五”国家科技攻关的部分阶段性成果,文中不在一一列出,谨此特致谢意!

扬沙：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 公里的一种沙尘天气。

浮尘：在无风或在风力较小的情况下，尘土、细沙均匀地浮游在空中，使水平能见度小于 10 公里的一种沙尘天气。

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 公里。

黑风暴：强烈的沙尘暴（瞬时风速大于 25 米/秒，风力 10 级以上）可使地面水平能见度低于 50 米，破坏力极大，俗称“黑风”。

荒漠化：是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化（引自：《联合国防治荒漠化公约》，1994）。该定义明确了 3 个问题：①“荒漠化”是在包括气候变异和人类活动在内的多种因素的作用下产生和发展的；②“荒漠化”发生在干旱、半干旱及亚湿润干旱区（指年降水量与可能蒸散量之比在 0.05 至 0.65 之间的地区，但不包括极区和副极区。），这就给出了荒漠化产生的背景条件和分布范围；③“荒漠化”是发生在干旱、半干旱及亚湿润干旱区的土地退化，将荒漠化置于宽广的全球土地退化的框架内，从而界定了其区域范围。

公约对“土地”和“土地退化”的定义是：“**土地**”是指具有陆地生物生产力的系统，由土壤、植被、其它生物区系和在该系统中发挥作用的生态及水文过程组成；“**土地退化**”是指由于使用土地或由于一种营力乃至数种营力结合致使干旱、半干旱和亚湿润干旱地区雨浇地、水浇地或草原、牧场、森林和林地的生物或经济生产力、多样性的下降或丧失，其中包括①风蚀和水蚀致使土壤物质流失；②土壤的物理、化学和生物特性或经济特性退化；③自然植被的长期丧失。至此，关于荒漠化概念的认识，在全球范围内达成了共识，这将有利于开展对全球荒漠化的评估以及开展全球范围内防治荒漠化的合作。对照公约我国主要有 4 种导致荒漠化的基本过程，即风蚀、水蚀、盐渍化和冻融侵蚀。因此，中国荒漠化主要包括 4 种类型，即沙质荒漠化、水土流失、土壤盐渍化和冻融荒漠化。沙漠化（又称沙化）仅仅是指沙质荒漠化，它的范围比荒漠化要小，但 4 种荒漠化类型中，它是面积最大、危害最严重的一种。

长期以来，DESERTIFICATION 一直被翻译为沙漠化（即沙质荒漠化）使用。1994 年为适应签约的需要，外交部以（94）外字 0696 号文报国务院批准，将习惯上的“沙漠化”一词统一改称“荒漠化”，并建议国内机构名称和官方文件也统一使用荒漠化的概念。1995 年 3 月 1 日，《公约》秘书处正式致函我国政府，表示在秘书处今后的中文文本中统一使用荒漠化一词。

沙化：即沙质荒漠化，它是荒漠化的一种类型，简称“沙化”，包括流动沙丘前移入侵、土地风蚀沙化、固定沙丘活化与古沙翻新等一系列风沙活动。

风沙灾害：由风沙活动造成的人畜伤亡，村庄、粮田、牧场埋压，交通通讯设施破坏，土地生物生产能力的下降，大气环境质量恶化，各种运输机械和精密仪器毁损等共同组成的生态灾难。为了与水灾形成的“水患”相对应，我们把风沙灾害称作“沙患”。

二、现状与危害

（一）现状

按照联合国环境规划署（UNEP）的分类标准，地球陆地表面的 41% 为干旱半干旱地区，其中 69% 的土地已经退化。

我国是世界上受沙化危害严重的国家之一。目前全国荒漠化土地达 262 万平方公里, 占国土面积的 27.3%, 其中沙化土地为 160.74 万平方公里^[1], 占全国荒漠化土地面积的 61.3%, 占国土面积的 16%。全国沙化土地主要分布在我国北方广大干旱和半干旱, 以及部分亚湿润地带。其中, 我国北方农牧交错带、草原区、大沙漠的边缘地区是沙化最为严重的地区, 风沙活动最为活跃的沙化土地近 30 万平方公里, 这些地区应该成为防沙治沙的重点地段。

(二) 危害

“沙患”与“水患”一样, 严重影响人民生活、制约经济发展, 已经成为中华民族的心腹之患。其主要危害: **一是蚕食可利用土地。**建国以来, 全国已有 1000 万亩耕地、3525 万亩草地和 9585 万亩林地沙化; 且沙化扩展趋势明显, 由 70 年代每年 1560 平方公里, 增加到 80 年代的 2100 平方公里, 90 年代进一步发展到每年 2460 平方公里, 相当于一年损失一个中等县的土地面积。内蒙古阿拉善、新疆塔里木河下游、青海柴达木盆地东南部、河北坝上和西藏那曲等地, 沙化土地年均扩展速率达 4% 以上。**二是掩埋村舍、沙进人退。**全国有 2.4 万多个村庄, 1400 公里铁路、3 万公里公路和 5 万多公里灌渠常年遭受沙害威胁;**三是造成人员伤亡和经济损失。**1993 年 5 月 5 日发生在西北地区的一次特大沙尘暴, 导致 116 人丧生、264 人受伤。据初步估算, 全国“沙患”每年造成的损失达 540 亿元, 约占全球荒漠化造成损失的 16%, 而其造成的生态服务价值的损失, 则更难以估计。

江总书记在 1999 年 4 月参加义务植树时指出: 我们要大力开展植树造林, 解决我国两大心腹之患, 一是长江、黄河上游植被稀少, 泥沙俱下, 给我国带来的巨大水患; 二是沙漠化不断扩大, 沙进人退, 给我国造成的严重沙害。两大心腹之患严重影响着我国农业的可持续发展, 也是制约西部大开发的主要环境障碍。总之, “沙患”不仅影响人民生活、生活, 而且导致贫富加剧、拉大东西差距, 进而影响社会稳定、民族团结, 国防安全乃至整个国家的长治久安。

三、成因与趋势

(一) 成因

尽管中国有 960 万平方公里土地, 但是其中沙漠、戈壁、永久积雪和冰川以及石质山地等目前无法利用的土地占 19%, 山区和海拔 3000 以上的高原分别占 33.3% 和 25% (吴传钧等, 1994)。中国是一个有大量的人口和非常少的耕地的发展中国家, 她用占世界 7% 的耕地养育了占世界 22% 的人口。

但是, 土地的承载力和自然资源的开发利用强度是有限的, 荒漠化地区自然条件非常严酷, 生态系统十分脆弱。一方面, 大量的和快速增长的人口加大了对自然资源的压力, 使人口超过土地承载力; 另一方面, 人类的不合理开发导致自然资源的过度利用和破坏。因此, 生态系统或土地的退化就不可避免了。同时, 落后的技术和粗放的管理又加速了这一过程。从本质上看, 荒漠化的发生是由于人类与自然之间的矛盾。下面概括了荒漠化的基本原因的 4 个方面。

1. 脆弱的生态环境

^[1] 另一数字为 168.9 万平方公里, 占国土面积的 17.6%, 它包括了南方沙地的面积。

我国荒漠化潜在发生地区基本上分布于大兴安岭以西、长城以北以及青藏高原西部和北部的广大地区。亚湿润干旱区主要位于典型草原和森林草原区，半干旱区主要位于荒漠草原区，干旱区主要位于荒漠和极旱荒漠区。沙漠化是荒漠化的一种最主要类型，在我国的荒漠化土地中，沙漠化面积最大，分布最广，危害也最为严重。沙漠化的形成不是偶然的，它的产生首先是由于严酷的自然条件。在我国沙漠化发生地区，主要表现在以下方面：

(1) **气候干燥化加剧，为沙漠化的扩展创造了环境条件。**我国沙化土地主要分布在干旱、半干旱地区，由于深处内陆，周围又有高山和高原阻挡，夏季来自海洋的暖湿水汽难以到达；冬季受蒙古—西伯利亚高压的控制，气候寒冷干燥。降水量自西向东递减。贺兰山以西年降水量一般在200mm以下，贺兰山以东为200~400mm为左右。降水量最少的地区位于塔克拉玛干沙漠的中部和东部、新疆东部、柴达木盆地西部以及巴丹吉林沙漠，年降水量在50mm以下，有的地方甚至在10mm以下。降水年变率大，东部地区30~40%，西部多在40%以上，甚至超过50%。降水季节分配极不均匀，主要集中在夏季的6~8月，约占全年的60~80%，而夏季又往往集中在少数几天内。局部极端干旱地区有时连续一年甚至几年没有降水。

沙尘暴是沙漠化的产物，沙尘暴频发期均对应于干旱期。例如，在公元1060—1270年、1640—1720年、1810—1920年三段时期，在我国大部分地区表现为干旱期。同期，沙尘暴高频率发生。近50年来，受全球气候变暖的影响，我国北方大部分地区气温明显增高，而降水量减少，呈现出暖干化现象(图4，图5)。气候干燥化加剧，为沙漠化的扩展创造了重要的环境条件。

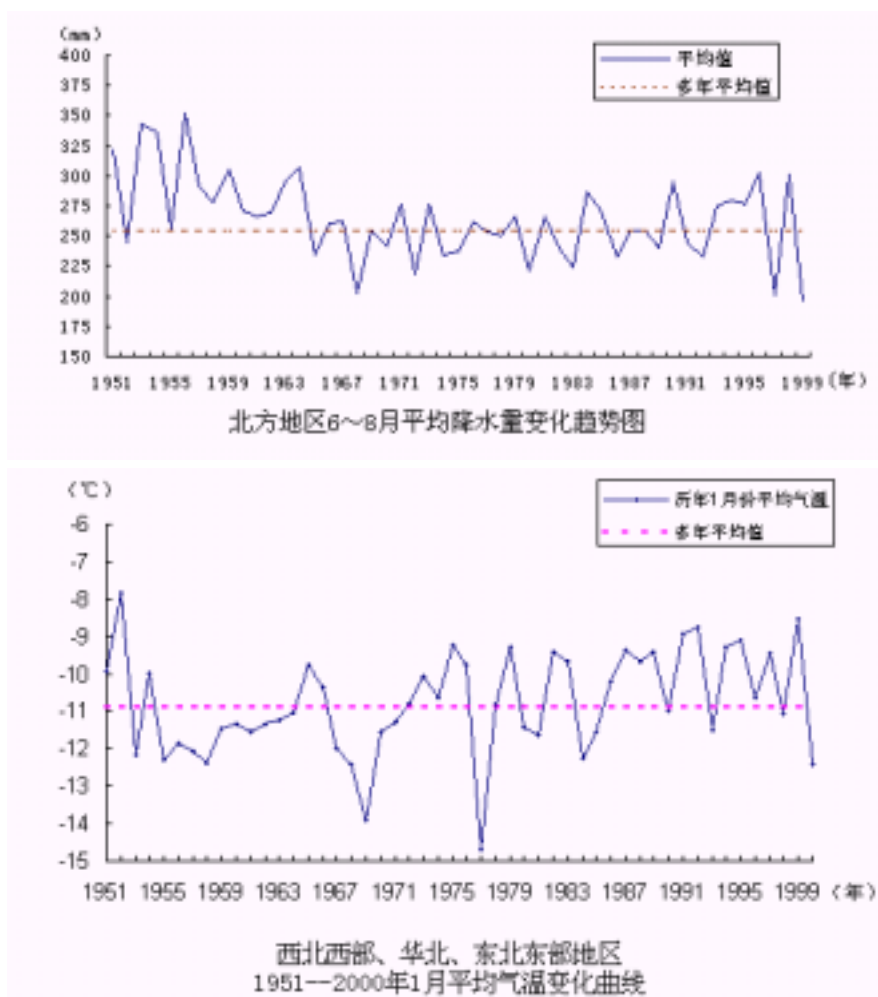


图4 北方地区气温、降水量变化图(1951—1999年)

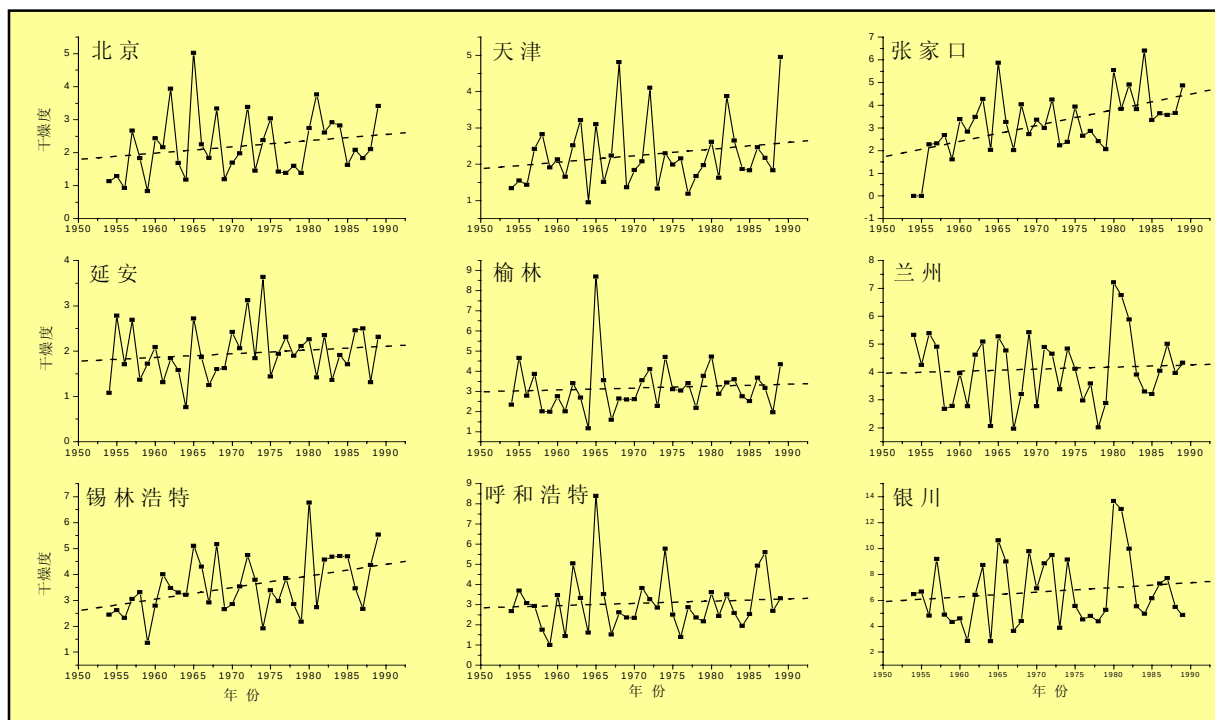


图5 全国沙区部分城市干燥度变化趋势图

(2) **大风频发，构成沙漠化扩展的重要动力。**我国北方地区大风频繁，为沙尘暴形成提供了有利的动力条件。西北地区全年平均风速为3.3~3.5m/s，春季平均风速达4.0~6.0m/s，超过临界起沙风速的天数为200~300天，8级以上大风日数为20~80天。四季中以春季风速最大，尤其是8级以上大风40~70%集中在这一季节。春季由于降水稀少，干燥沙质地表在风力吹扬下，很容易形成沙尘暴。

不同地表的沙尘颗粒具有不同的起动风速，土壤颗粒愈粗，起动风速愈大(表2a, 2b)。流动沙丘在风速达到5m/s时起沙，半固定沙地为7~10m/s、砂砾戈壁为11~17m/s才能起沙扬尘，其起沙量随风速的增大而增加。而且，沙尘的悬浮或跃移高度与风速也有一定关系，风速达到30 m/s时，细沙(直径0.125~0.25mm)跃移的高度达到2 m，粉砂(直径0.005~0.05mm)飘浮的高度可达到1.5 km，而粘粒(直径<0.005mm)则可飘浮于整个对流层。我国北方地区春季多大风天气，是形成我国大范围沙尘暴的动力因素(图6)。

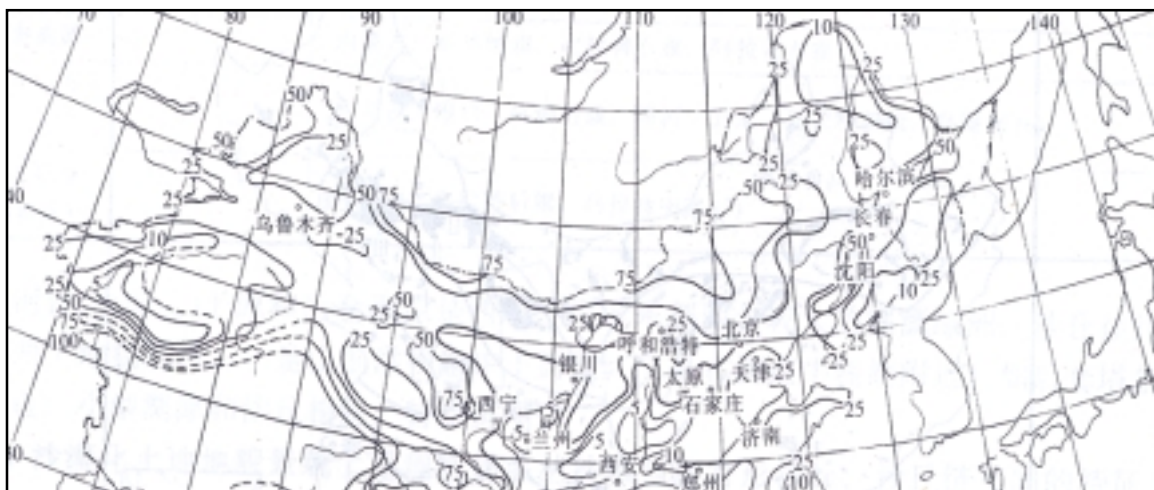


图6 北方地区年平均大风日数(日)分布图

表 2a 不同粒径颗粒的起动风速 (m/s)

粒径 (mm)	0.10-0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-1.25	1.25-2.50	2.50-5.0	5.0-10.0	10-20
风速 (m/s)	5.2	7.3	8.7	16.0	21.1	27.8	36.7	48.5

表 2b 不同风速条件下地表起沙、起尘量 (kg/ha·h)

地貌 类型	风 速 (m/s)							
	10		15		20		25	
	起沙量	起尘量	起沙量	起尘量	起沙量	起尘量	起沙量	起尘量
流动沙丘	1.7×10^7	0.1×10^7	5.5×10^7	0.3×10^7	11.3×10^7	0.8×10^7	18.1×10^7	1.4×10^7
半固定灌丛沙堆	1.2×10^6	0.2×10^6	3.8×10^6	0.5×10^6	3.7×10^6	0.9×10^6	12.3×10^6	1.3×10^6
砂砾戈壁	120	90	230	100	370	150	530	270

(3) **地表裸露面大、组成物质松散、沙源丰富，提供了沙漠化扩展的物源基础。**沙漠化地区广泛分布着沙漠（沙地）和戈壁。沙漠主要分布于巨大内陆盆地，如塔里木、准噶尔、柴达木盆地等，这些盆地的地表组成物质大部分为河流冲积物或湖积物，都以深厚疏松的沙质沉积物为主；一部分分布于内陆高原上，如阿拉善高原上的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和乌兰布和沙漠，鄂尔多斯高原上的库布齐沙漠和毛乌素沙地等等，组成物质同样以松散沉积物为主。戈壁在长期风力作用下，地表均已粗化，但下伏地层中的砂砾经大风吹扬，仍能提供部分沙源。

另外，地表植被稀疏矮小、群落结构简单也为起沙提供了条件。北方大部分地区经济落后，当地人民常常以采挖药材作为一项主要收入，如过度采挖麻黄、甘草、发菜等，从而大范围地破坏了植被。由于贫困，处在煤炭能源基地的老百姓却因无能力使用煤炭，反而采挖各种灌木作为燃料，破坏植被，造成地面植被覆盖度整体减小。由于北方地表多为疏松的沙质沉积物，一旦植被破坏，必然造成沙丘活化、古沙翻新，地表风蚀沙化，从而使荒漠化土地面积扩大。在冬春两季，大面积的耕作农田地表裸露。大面积裸露的耕地及荒漠化土地是形成我国大范围沙尘暴的物质根源。其中，耕作土壤的表土或细粉沙是沙尘暴天气主要的尘源，而戈壁和流沙并不是沙尘暴天气的主要尘源。荒漠和半荒漠地带以灌木和半灌木为主，覆盖度低于30%，有些地区低于10%，另外还存在着大片的“不毛之地”。但也有一些有胡杨、红柳、梭梭、芦苇等组成的植被茂密的天然绿洲。干草原地带的沙地植被比较茂密，盖度有时能达到40~50%，但也分布着许多植被盖度几乎为零的流动沙丘。由于群落中植物种类少，群落结构简单，在受到外界干扰时，自我调节和恢复能力较差，在外来干扰的作用下很容易发生退化。

(4) **生态用水严重不足，植被控制沙漠化的能力逐渐衰退。**随着土地开垦面积的扩大，大部分河流因取水增加，出现程度不同的断流，甚至形成季节性河流。如果确保了生产和生活用水，生态用水便得不到保证，如额济纳河下游，塔里木河下游胡杨林的大面积死亡，就是因水源短缺而造成的。由于生态用水不能保证，使大面积的植被干枯，失去保护地表沙性物质的功能，从而加快了河道及其两侧风沙土地的扩展，以及沙漠边缘沙丘向农田的前沿入侵(表 3a, 3b)。

表 3a 西北内陆干旱区现状生态耗水量分析

地 区	现状生态耗水(亿 m ³)			生态耗水 率(%)	天然绿洲生态 耗水率(%)	盐碱地耗水 (亿 m ³)
	人工绿洲	天然绿洲	耗水总量			
南 疆	50.86	167.57	218.43	43.8	33.6	42.6
北 疆	24.57	63.7	88.27	41.4	29.9	20.1
东 疆	1.68	3.56	5.24	30.8	20.9	8.4
全 疆	77.11	234.87	311.98	36.4	27.4	71
疏勒河	1.73	5.22	6.95	30.5	22.9	6.1

黑 河	6.08	10.29	16.37	43.9	27.6	0
石羊河	1.06	3.54	4.6	26.3	20.3	0
河西走廊	8.53	18.01	26.54	34.2	23.2	6.1
柴达木盆地	1.16	28.8	29.96	57.7	55.4	17.3
宁 夏	7.7	2.5	10.2	25.8	6.3	0

表 3b 西北内陆干旱区最小生态需水量分析

地 区	最小生态需水(亿 m ³)			生态耗 水率(%)	天然绿洲生 态耗水率(%)	盐碱地耗水 (亿 m ³)
	人工绿洲	天然绿洲	耗水总量			
南 疆	44.06	167.57	211.63	42.4	33.6	15.8
北 疆	23.47	64.80	88.27	41.4	30.4	11.2
东 疆	1.68	3.56	5.24	30.8	20.9	3.2
全 疆	69.21	235.93	305.14	35.6	27.5	
疏勒河	3.73	8.18	11.91	52.3	35.9	
黑 河	6.08	10.29	16.37	43.9	27.6	
石羊河	1.06	3.54	4.60	26.3	20.3	
河西走廊	10.87	22.01	32.88	42.4	28.4	
柴达木盆地	1.16	36.80	37.96	73.1	70.8	9.3
宁 夏	7.70	4.00	11.70	29.6	10.1	

资料来源：国家科委“九五”攻关项目96—912课题资料

2. 过高的人口压力

在中国，人口的快速增长是荒漠化形成与发展的重要诱导因素。荒漠化地区人口增长速度明显高于其它地区。1994年，全国人口自然增长率为11.21‰，超过13‰的8个省（区）主要位于经济落后、少数民族较多的地区，其中主要分布于荒漠化地区的有西藏、甘肃、青海、宁夏、新疆5个省（区）（国家统计局，1995；国家计划委员会，1996）。经计算，从1955年到1994年底，全国总人口增加了约1.05倍，而新疆为2.07倍，宁夏为1.60倍（1958~1994），内蒙古为1.70倍，青海为1.47倍，甘肃为1.10倍。在中国北方农牧交错带，人口密度从50年代初期的每平方公里10-15人增加到90年代的每平方公里40-60人，人口平均增长率达到30.8‰（中国荒漠化/土地退化防治研究课题组，1998）。如陕西省榆林市人口密度由1949年的每平方公里14.3人增加到1992年的45人（吴波等，1998），内蒙古哲里木盟由1949年的每平方公里15人增加到1994年的51人（朱震达等，1994）。

表2-15 内蒙古商都县人口增长与荒漠化发展之间的关系

年代	人口 (1000)	耕地面积 (1000 ha)	沙质荒漠化土地占 耕地面积比例(%)
30年代末	86	69.3	
40年代末	162	98.2	5.4
80年代末	322	219.5	32.4

数据来源：中国荒漠化/土地退化防治研究课题组(1998)。

3. 落后的生产技术和粗放的管理

由于荒漠化地区地处内陆，远离沿海经济发达地区，因而长期处于封闭或半封闭状态，以消耗自

然资源作为发展经济的主要途径。因为农业和畜牧业是主要经济活动，所以人们的经济收入完全依赖于土地。加之人口素质低，经济落后，多数地区仍然维持传统的生产技术和粗放的经营管理方式。例如，农民把一块草地开垦为农田，除春季播种、秋季收获外，不加任何施肥和管理，两、三年之后再转移到另一个地方继续同样的过程，即通常所说的“广种薄收”，结果草地很快变成荒漠化土地。

无疑，作为长期实践经验的总结，许多成功的传统技术今天仍然在荒漠化地区发挥重要作用 (CCICCD, 1996; 吴波, 2000)。但是，也有一些技术，它们被应用多年，在过去并未对环境造成破坏，但今天已不适应荒漠化地区经济发展的需要，因为今天人口的压力大大增加了。例如，大水漫灌在中国干旱区已经被使用了1000多年，在过去，它促进了农业的进步，并未带来很大的环境问题，但是，今天，由于过高的人口压力下灌溉面积的无限增长，大水漫灌导致了严重的土壤盐渍化。要解决这一问题，首先，必须改进灌溉技术；其次，增加脱离土地的就业机会，以缓解和转移人口对土地的压力。

4. 资金投入不足

荒漠化地区经济不发达，政府投资是防治荒漠化投入的主要来源。尽管80年代以来政府投资增加了，但用于荒漠化防治的资金仍然很有限。

生态环境既是人类生存发展的物质空间，也是人类用以从事物质生产的一切自然资源的载体。但是，资源是有限的，生态环境可容纳的人口数量和人类对资源的开发利用强度也是有限的。人类只有科学地确定合理的人口容量、合适的资源利用方式和强度，才能保证人口、资源与环境的协调发展。荒漠化地区自然条件严酷，生态环境非常脆弱，一旦破坏，极难恢复，因此，正确处理上述关系尤为重要。联合国曾在1977年建议，人口密度在干旱区每平方公里不应超过7人，在半干旱区不应超过20人，并提出在上述地区进行适度开发的原则。但是在我国，长期以来，人们对此缺乏足够的认识。人口的增长带来对食物、燃料等基本生活资料的需求的增长，土地压力不断增加，使人口数量超过生态环境的容量，必然造成资源的过度利用，最终导致生态环境的破坏。粗放、落后的生产经营方式又加速了这一过程。结果陷入“越垦越荒，越荒越穷，越穷越垦，荒漠化不断加剧”的恶性循环。正是人口的快速增长和生产经营方式落后，造成了人类对资源的不合理开发利用，使荒漠化地区的生态环境不断恶化，荒漠化加速扩展和蔓延。这是我国现代荒漠化扩展的内在动因。

专栏一

以草地建设为例，中国长期以来草地建设投入极低，荒漠化地区的畜牧业基本上是靠天养畜。目前世界各国人工草地面积在草地总面积中的比重，美国为9.5%，俄罗斯为10.6%，加拿大为24%，法国为32.6%，英国为59%，新西兰为60%，荷兰为80%，丹麦、德国、瑞典约为70%，但是，中国只有1.4%。1994年底，中国的人工草地加上经过人工改良的天然草地和一、二年生牧草种植面积在内，占全国草地总面积的比重只有3% (国家计划委员会, 1996)。

专栏二

“八五”期间，“三北”防护林体系建设项目总投资为6910万元，平均每公顷45-75元。另一个生态工程项目全国防沙治沙工程总投资1.1亿元，平均每公顷34.5-42元。而在荒漠化地区，造林成本80年代约为每公顷225元，90年代为每公顷750元，部分地区达每公顷1500-3000元。投资少影响了群众造林的积极性和造林质量，在大部分地区，工程任务靠行政命令完成。

(二) 趋势

尽管没有足够的数 据，但基于已有的研究，可以得出一个基本结论：中国荒漠化在大部分地区扩展非常迅速，只是在局部地方有所逆转。政府和研究者应对这一趋势给予足够的重视。

1、荒漠化发展的全国趋势

(1) 沙尘暴频次增加

沙尘暴频发，重大沙尘暴灾害加剧。据资料，造成严重的强沙尘暴灾害50年代发生过5次，之后不断增加，至90年代高达23次(图10)。北京地区2000年爆发了百年不遇的沙尘暴，其灾害的加剧程度可见一斑(表2-9)（科技部《防沙治沙技术方案》，2000）。据中科院初步测算，今春风沙活动的影响范围达200万平方公里，占到国土面积的1/5还多。在不到50天的时间内，先后有9次严重的风沙天气袭击首都，造成了严重的经济损失和广泛的社会影响，敲响了首都圈生态环境危机的警钟。

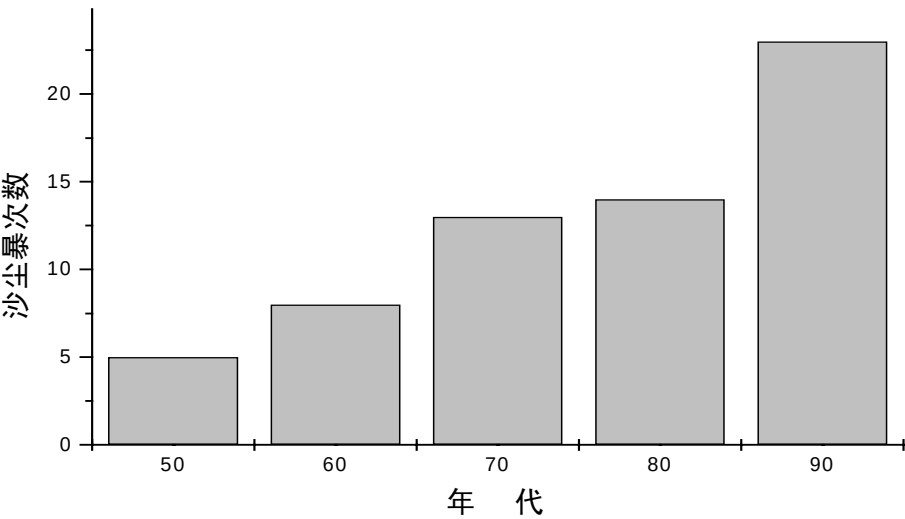


图2-X 近50年来我国强沙尘暴发生次数

表 2-9 2000 年首都圈地区风沙灾害天气一览表

序号	时 间	影 响 范 围	方 式
1	3 月 3 日	内蒙古、北京周边地区	浮尘、局地扬沙
2	3 月 17－18 日	北京及周边地区	扬沙、浮尘、大风
3	3 月 22－23 日	内蒙古、北京周边地区	扬沙
4	3 月 27 日	甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、北京、河北、河南、山东	扬沙、大风
5	4 月 3 日	北京及周边地区	扬沙、大风
6	4 月 6 日	内蒙古、山西、河北及京津地区	扬沙、浮尘 沙尘暴、大风
7	4 月 9 日	北京及周边地区	大风
8	4 月 25 日	北京及周边地区	浮尘

(2) 风蚀沙化土地扩展速度加快

如何评估中国荒漠化发展趋势？这是一个非常困难而又富有挑战性的问题。虽然已经有许多证据表明，50年代以来，中国荒漠化在某些地区发展越来越快(俄有浩等, 1997; 董光荣等, 1998; 刘新民等, 1996; 董光荣等, 1993, 1999; 中国荒漠化/土地退化防治研究课题组, 1998; 王根绪等, 1999; 王涛等, 1998; 吴波等, 1997, 1998, 1999; 吴薇等, 1997; 朱震达, 1985; 朱震达等, 1990), 但目前还没有足够的和可靠的时间序列数据能够清楚地给出荒漠化发展的全国趋势。

这里我们只有两个数字是关于50年代到80年代中期全国沙质荒漠化发展趋势。朱震达等的研究指出，50年代到70年代中期全国沙质荒漠化以每年1560平方公里的速度扩展(朱震达, 1985), 70年代中期到80年代中期以2100平方公里的速度扩展(朱震达等, 1990)。这两个数据是根据基于3个时期—50年代、70年代(1975-1976)、80年代(1985-1987)—黑白航片的解译对一些典型地区进行研究得出的。应该指出的是，在他们的研究中使用的中国沙质荒漠化土地总面积是，50年代13.7万平方公里，70年代中期17.6万平方公里，80年代中期19.7万平方公里。这些数字与来自中国执行联合国防治荒漠化公约委员会(CCICCD)的数字(160.7万平方公里)有很大差异。这是因为对荒漠化定义的不同理解造成的。根据朱震达等的观点，沙质荒漠化土地仅指那些以风沙运动为特征的、具有类似沙漠景观的土地，主要是在人类历史时期由于人类活动形成的。所有在史前时期和地质时期自然过程中形成的沙漠和戈壁都不是荒漠化土地。按照这一观点，荒漠化土地主要分布于干旱、半干旱区的沙质冲积、冲积湖积、冲积洪积平原，包括绿洲边缘和干旱区内陆河下游、半干旱草原带的牧区，以及半干旱和部分亚湿润区的旱地农垦区周围(朱震达, 1985; 朱震达等, 1989; 朱震达等, 1990; 中国荒漠化/土地退化防治研究课题组, 1998)。因此，他们的研究表明，50年代到70年代中期中国沙质荒漠化土地年均增长率约为1%，70年代中期到80年代中期约为1.1%。某些典型地区的增长率要比全国的增长率高得多。更多的细节将在荒漠化的地区趋势中详细讨论。

根据全国沙漠、戈壁和风沙化土地普查(CCICCD, 1996)，80年代中期至90年代中期，沙质荒漠化土地以每年2460平方公里的速度扩展，但是，关于荒漠化土地在区域水平上是如何发展的，普查结果没有提供任何信息或细节。换句话说，160.7万平方公里沙质荒漠化土地中的60-70%是沙漠和戈壁，那些有新的荒漠化土地产生的地区的面积在全部沙质荒漠化土地中所占比例应该比较小。但是，目前没有关于细节的任何证据。因为普查中采用的荒漠化定义以及判定荒漠化土地的指标体系与朱震达采用的有很大不同，所以不能把这个数字(2460)与前面提到的两个数字(1560, 2100)放到从50年代到90年代中期的一个时间序列上进行比较。目前，80年代以来荒漠化的发展趋势只能在地区水平上进行讨论。

另据第二次全国荒漠化监测报告(1999年)，20世纪90年代中期到20世纪末全国荒漠化土地以每年10 400平方公里的速度扩展，全国沙化土地面积则以每年3 436平方公里的速度扩展，同第一次普查时的数据相比，每年2 460平方公里的扩展速度不仅没能有效遏制，反而每年又额外净增976平方公里。

2、荒漠化发展的地区趋势

荒漠化发展最快、危害最严重的有两类地区：一个是位于中国北方半干旱和亚湿润区的农牧交错带，那里分布有四大沙地，即科尔沁沙地、毛乌素沙地、呼伦贝尔沙地和浑善达克沙地，主要分布在内蒙古；另一个是中国北方干旱区内沿内陆河分布或位于内陆河下游的绿洲地区，主要分布在新疆和甘肃。70年代以来，内蒙古阿拉善、新疆塔里木河下游、青海柴达木盆地东南部，沙化土地的年均扩展速度达4%以上；北方农牧交错带的毛乌素沙地、乌盟后山地区、河北坝上地区，沙化土地的年均扩展速度达8%以上。

(1) 中国北方农牧交错带

应该指出的是，目前在中国北方农牧交错带，荒漠化问题最为严重。中国北方农牧交错带是位于

半干旱区与亚湿润区之间的一条重要的生态过渡带，东起大兴安岭，穿过内蒙古东部和东南部、河北北部、山西和陕西以及甘肃东部，一直到青海东北部。行政上大部分位于内蒙古，以及与内蒙古相邻的诸省。它是一条约100-250公里宽、2000多公里长的狭窄条带，年降水量约300-400毫米。在空间上，它是雨养耕地与草地的镶嵌体；在时间上，20世纪以前农业与牧业交替，目前农业与牧业并存。

在这一地区，存在的主要问题有3个：(i) 过牧、滥垦、滥樵和滥挖药材导致草场退化，如固定沙丘活化、草场生产力下降和生物多样性丧失等；(ii) 粗放的耕作技术导致耕地退化；(iii) 居民点周围的防护林未保护好导致风沙入侵。其中第一个问题是主要问题。这个地区的问题相对难于解决，因为问题本身非常复杂，几乎涉及社会和经济发展的各个方面。

许多研究表明，从70年代到80年代，沙质荒漠化在农牧交错带发展非常迅速。在内蒙古的一些地区，沙质荒漠化土地年均增长率达到8-9% (表2-9; 朱震达等, 1990; 王涛等, 1998)。在科尔沁沙地，荒漠化土地总面积增加很快，而且荒漠化程度加重(表2-10; 刘新民等, 1996)。

表2-10 70至80年代农牧交错带某些典型区荒漠化发展趋势

地 区	70年代荒漠化土地		80年代荒漠化土地		年增长		时间
	面积 (KM ²)	荒漠化土地占 研究区比例(%)	面积 (KM ²)	荒漠化土地占 研究区比例(%)	面积 (KM ²)	比例 (%)	
内蒙古察哈尔草原农垦区	2848.3	31.5	5992.9	66.1	262.1	9.20	1975-1987
内蒙古乌盟后山	2031.4	4.4	4055.2	8.7	168.7	8.30	1975-1987
河北坝上草原农垦区西部	1761.7	13.4	3272	24.9	125.9	7.14	1975-1987
河北坝上草原农垦区东部	762.3	22.3	1336.6	39.1	47.6	6.28	1975-1987
宁夏东南部盐池县草原区	1368.9	29	1845.5	31.8	47.6	3.48	1977-1986
西辽河上游及科尔沁沙地西北部	28971	68.4	32851	77.6	323.3	1.12	1976-1988
内蒙古伊克昭盟鄂尔多斯草原	43407	88.3	45973	93.6	256.6	0.59	1977-1986
陕西北部榆林地区	7808	43.3	8166.9	45.3	35.9	0.46	1977-1986

数据来源：王涛等(1998)和朱震达等(1990)，基于两个时期航空像片的解译分析。

表2-11 70至80年代科尔沁沙地荒漠化发展趋势

荒漠化程度	严重荒漠化土地	中度荒漠化土地	轻度荒漠化土地	微度荒漠化土地	合 计
70年代(km ²)	2908.25	7969.22	24986.84	22114.05	57978.37
80年代(km ²)	5384.17	5637.15	24480.47	36181.90	71683.69
增长率(%)	85.13	-29.2	-2.03	63.61	23.64

数据来源：刘新民等(1996)，基于两个时期航空像片的解译分析。

从80年代到90年代，由于缺乏足够的数据和研究案例，难以对荒漠化发展状况进行全面分析。一些证据表明，荒漠化发展仍然很快。例如，在内蒙古多伦县北部和河北省北部的丰宁县，荒漠化土地占总土地面积的比例从80年代中期的42.9%增加到90年代中期的74%。在内蒙古境内浑善达克沙地东部的好来库，荒漠化土地从80年代中期占总土地面积的19.8%增加到90年代中期的28.3% (中国荒漠化/土地退化防治研究课题组, 1998)。

在毛乌素沙地进行的另一些研究(吴波, 1997, 2000; 吴波等, 1998, 1999)表明，70年代末到90年代初荒漠化发展速度放慢，并且一些局部地区荒漠化土地出现明显负增长。

专栏三

毛乌素沙地位于内蒙古、陕西和宁夏的交界地区，面积近4万平方公里，65%位于内蒙古。该地区位于中国北方农牧交错带，其西北部草原属于内蒙古，为牧业用地；东部和南部，一些草地被开垦为耕地，畜牧业与农业并存。

在航片解译基础上完成毛乌素沙地50年代(1958)1: 50万土地利用图，通过卫星影像解译完成90年代(1993) 1: 50万土地利用图。研究表明，从50年代到90年代毛乌素沙地荒漠化发展非常迅速，荒漠化土地增加了94.02 万公顷，增长率为60.37%，年均增长率为1.7%。

根据对3个时期(1958, 1977, 1993)黑白航片的解译分析，70年代末到90年代初荒漠化发展速度明显低于50年代末到70年代末，并且一些局部地区荒漠化土地出现明显负增长。

表2-12 毛乌素沙地不同阶段荒漠化土地增长速度(%/年)

研究区代码	研究区面积(km ²)	增长率(1958-1977)	增长率(1977-1993)	增长率(1958-1993)
YC	92.2	8.2	1.3	5.9
TL	105.8	1.3	0.3	0.9
CC-1	98.9	3.4	-0.8	1.2
CC-2	63.0	0.7	-0.9	-0.1
KKG-1	58.3	0.6	0.3	0.5
KKG-2	28.6	-0.1	-0.8	-0.4

数据来源：吴波等(1999)。

(2) 干旱区绿洲

在西北地区，干旱区绿洲沿内陆河分布或位于内陆河下游地区，行政上主要位于新疆和甘肃。在这些地区，荒漠化主要是由于下述过程的共同作用造成的：(i) 过度利用内陆河水或过量抽取地下水导致绿洲萎缩，包括天然植被衰退和死亡、地下水位下降和湖泊干涸等；(ii) 灌溉管理不佳导致盐渍化；(iii) 滥垦、滥樵、过牧导致草地退化；(iv) 绿洲内和绿洲周围防护林未能很好保护导致风沙入侵。前二者是关键问题，并且都是由于水资源管理不善造成的。绿洲地区的问题相对容易解决，因为它主要与水资源管理有关。要解决这一问题，必须制定一套科学的水资源管理政策和完善确保这些政策实施的机制，另外还要有先进的节水技术。大量的投资也是必要的。

据报道，在干旱区沙漠河流的一些地段，沙质荒漠化不断加重(表8；朱震达等，1990)。

表 2-13 70年代到80年代新疆塔里木河下游天然林地的退化

地 段	1973年时面积 (km ²)	1983年时面积 (km ²)	减少比例 (%)
铁干里克至喀尔古依	317.5	224.7	29.2
喀尔古依至阿拉干	224.4	135.9	39.4
阿拉干至依干布及麻	92.6	34.2	63.1

数据来源：朱震达等(1990)。

专栏4

以新疆塔里木河中游英巴扎地区为例, 80年初期与90年初期相比, 重度以上荒漠化土地从原来占该地面积的13.1%增加到14.6%, 中度荒漠化土地从14.7%增加到15.1%, 而轻度荒漠化土地则从原来占该地面积的40.7%减少到33.6%(中国荒漠化/土地退化防治研究课题组, 1998)。

专栏5

黑河下游的额济纳绿洲是位于内蒙古西部阿拉善高原上的天然绿洲。该地区是中国最干旱的地区之一, 年降水量不足50毫米。总人口约1.5万。50年代以来, 在这一地区气候趋于干旱, 但是气候波动对黑河水量变化的影响远远小于人类活动的影响(高前兆等, 1991; 龚家栋等, 1998; 王根绪等, 1999)。由于位于中游地区的甘肃省对水资源的过度利用, 下游地区出现了严重的土地退化和环境问题: (i) 根据遥感数据的分析, 荒漠化土地从1975年的3400平方公里增加到1986年的6000平方公里, 年均增长率达6.5%(朱震达等, 1994), 沿河分布的1.02万公顷耕地中71%成为荒漠化土地而被弃耕(龚家栋等, 1998); (ii) 从50年代到90年代, 胡杨和沙枣林面积减少了54%, 桉柳面积减少了33%, 梭梭草场面积从11300平方公里减少到5300平方公里; 同时, 群落盖度从30-50%下降到10-30%(龚家栋等, 1998); (iii) 荒漠草原生产力从50年代的225-300kg/ha下降到90年代的150kg/ha左右, 同时, 载畜量从0.5个羊单位每公顷下降到0.27个羊单位每公顷, 羊和骆驼的平均体重分别从25公斤和300公斤下降到10公斤和150公斤(龚家栋等, 1998); (iv) 两个大天然湖泊, 嘎顺淖尔, 1958年面积为267平方公里, 1961年干涸, 索果淖尔, 1958年35.5平方公里, 1973, 1980和1986年3次周期性干涸, 1992年完全干涸, 另外在此期间还有11个小湖泊和4处沼泽干涸(高前兆等, 1991; 吴波, 1997a)。

专栏6

民勤绿洲是甘肃省位于石羊河下游的天然绿洲, 年降水量80-160毫米。民勤县位于绿洲内, 约30万人生活在这里。由于中游地区灌溉农业的发展和引水量的增加, 导致民勤绿洲出现严重的生态问题: (i) 因地下水位下降, 天然和人工植被大量衰退、死亡, 70%以上的天然植被退化或死亡, 植被覆盖度由50年代的44.8%减少到90年代的15%以下; (ii) 60年代以来, 2.52万公顷农田弃耕, 占农田总面积的36%; (iii) 过量抽取地下水使地下水位下降(表2-14; 俄有浩等, 1997), 地下水矿化度达4~6g/L, 使7万余人、12万头牲畜饮水发生困难; (iv) 民勤县每年吃返销粮150万公斤, 救济款18万元, 成为社会关注的贫困地区(朱震达等, 1994)。

表2-14 甘肃民勤绿洲地下水位变化

年 代	地下水位 (m)	下降速率 (m/年)
1961-1967	2.24-2.93	0.12
1967-1978	2.93-5.20	0.21
1978-1988	5.20-9.00	0.38
1988-1994	9.00-12.99	0.67
1961-1994	2.24-12.99	0.33

数据来源: 俄有浩等(1997)。

总体来讲, 我国风沙灾害的发展趋势是: 治理速度赶不上沙化速度, 局部改善、整体恶化的趋势还在延续, “沙进人退”的局面没有从根本上得到遏制, 且有不断加剧之势。

四、经验、教训与思路

(一) 国外经验与教训

在经济发达的**美国**，虽然遭受风沙危害的程度不高，但对风沙灾害进行了长期的深入研究，对推动风沙灾害的科学研究作出了许多重要的贡献。30年代美国大平原地区爆发“黑风暴”后，加强了对农田土壤风蚀规律的研究，提出被世界广泛采用的通用土壤风蚀强度测算方程，其研究成果广泛地应用到农田风蚀沙化的防治控制规划与工程设计中。美国所采用的**免耕、留茬、草田轮作、秸秆还田**等均收到了显著的成效。

日本针对海岸沙丘的改造与开发利用，对海岸风沙活动、沙丘移动规律进行了深入的研究。提出先固定流沙，设置立体沙障，成带状行列配置或设置格状沙障，采用在海岸沙丘防风林的保护下，对内侧的沙丘地开辟利用的模式。从而使流沙固定和沙丘地的改良利用密切结合，形成了一个完整的治理与利用体系；沙丘固定中采用乔、灌、草相结合的固沙技术，并和旅游业相结合。

在**澳大利亚**，由于本国的干旱面积广大，沙漠广布，对于干旱半干旱生态系统的管理极为重视。对沙区的利用极为谨慎，但由于人口相对较少，对沙区基本上是以保护为主，开发利用程度很低。在加强对干燥土地监测的同时，采取封育、保护、舍饲养殖，开发风能，以实现合理利用沙区资源。

在中亚干旱半干旱地区的**土库曼斯坦**，固定半固定沙丘分布较广，而且具有较开旷的丘间地。针对这些特点，从1954年开始，前苏联在土库曼卡拉库姆沙漠中修建卡拉库姆运河，全长1400km，每年可从阿姆河调水到西部灌溉350万公顷的荒漠草场和100万公顷的新农垦区，并改善700万公顷草场的供水条件，使运河沿线地区成为土库曼斯坦一个以棉花为主的农业基地。但是卡拉库姆运河的修建，也带来了一系列新的生态环境问题：由于大规模的开发新的水浇地，将阿姆河河水引入沙漠，大量耗用地下水，使阿姆河下游的咸海水位急剧下降，湖面发生明显变化，咸海比原来的海岸线后退了10-20km。咸海水面缩小以后，周围地区的地下水位也随之降低。水源减少的结果，使咸海周围地区出露水面的沙质干湖平原，在风力作用下，流沙迅速发展。与此同时，还诱发了大范围的盐碱化，耕地产量大幅度下降，“白风暴”（含盐的风暴）接踵而来，导致严重的生态灾难。在干旱半干旱地区，开垦的教训非常值得深思，发展灌溉要极为小心，否则后果难以扭转。

在经济较为落后的**非洲撒哈尔带**，60年代持续的干旱，引起国际社会的广泛关注，为了解决食物短缺，由联合国组织实施了振兴畜牧业，解决人畜饮水的防沙治沙国际行动。在近20年的期间内，国际组织共资助6.25亿美元，钻出大量深水井。以水井为中心，建立固定的生活区，由游牧转为定居。这样，牛群两天饮水一次，活动范围为15公里，小牲畜五天饮水一次，活动范围为30公里，骆驼11-15天饮水一次，活动范围60公里以上。虽然牲畜数量增加了，但畜产品产量降低了，绿色植被丧失。结果，利用不到5年的时间，导致以水井为中心的同心圆状土地沙化圈。因此，国际组织于1987年中止了该计划。这一教训对我们今天制定草原地区的防沙治沙规划，也有着十分重要的借鉴价值。

以色列在干旱地区发展技术密集型的现代化高效农业，被世界许多国家所称道。以色列国土南北狭长，面积不到3万平方公里，600多万人口。由北向南从湿润区到极端干旱区，全国平均降水量300多毫米。由此，以节水提高水资源利用效益为核心，发展干旱区现代化农业，走出一条极为成功的道路。从防沙治沙、干旱区保护与利用、植被建设与

保护,到发展一代又一代的节水灌溉设施,极大地提高了在小范围内获取高效益的生产能力,而使大面积的生态系统保持其安全状态,并为生产起到生态保障的功能。**以色列的旱区“三生”系统(生态—生产—生活一体化)**非常值得我们学习和借鉴。

1994 年 10 月在巴黎签署的《联合国防治荒漠化公约》,截止到 2000 年目前,共有 160 多个国家批准了该《公约》。为此,各履约国家相应制定了《防治荒漠化国家行动方案》,其目的在于查明造成荒漠化的因素,提出防治荒漠化、缓解干旱影响所必须的实际行动。

(二) 国内成就与问题

1、成就

1958 年 10 月,党中央在呼和浩特召开了西北和内蒙古六省(区)**第一次治沙会议**,从此揭开了对我国沙漠进行治理和改造利用的序幕,沙漠科学的研究也随之兴起。1959 年,以中国科学院为主,组织了近 1000 人的治沙科学队伍。经过短短几年的大规模考察,基本摸清了我国沙漠的分布状况及基本特征。1977 年内罗毕联合国荒漠化会议之后,我国科学家又着重对荒漠化问题进行了一系列研究。至 80 年代末期,基本调查清楚了我国沙化土地的分布状况,并按其发生、发展的程度进行了分类。同时,对沙化的成因作了初步研究,认为沙化是自然和人为因素共同作用的结果,提出了一系列治理的途径与措施。1994 至 1995 年,由原林业部组织完成了**第一次全国沙化及荒漠化土地普查**。90 年代以来,我国科技工作者还开展了对我国沙漠的形成时代、演变规律及成因机制的研究,为全球变化研究做出了一定贡献,为预测未来发展趋势奠定了科学基石。

50 年代末期,在宁夏沙坡头、内蒙蹬口、陕西榆林、甘肃民勤、青海沙珠玉和新疆莫索湾建立了六个**治沙综合试验站**,通过生物和工程措施,使当地的流沙得到了有效治理,提高了植被盖度,改善了环境条件,并且对全国防沙治沙起到了良好的示范作用。特别是沙坡头治沙站,确保了包兰铁路 40 多年来畅通无阻。90 年代以来,科技为防沙治沙作出了突出的贡献:**开发并推广了近 100 项实用技术,组装配套了近 10 个技术体系和模式,建立和完善了 10 多个综合性防沙治沙的科学试验示范基地,培养和造就了上千人的防沙治沙骨干队伍,为防沙治沙及各项重大生态工程建设提供了坚实的科技支撑**。如“三北”防护林使该地区森林覆盖率由 5.1%提高到 9.0%,起到重要的防治风沙作用。铁路的防护体系使其 40 年畅通无阻,受到国际社会的关注。在极端干旱的新疆荒漠区,创造了窄林带、小网格,乔、灌、草、带、网、片相结合的荒漠绿洲综合农田防护林体系。此外,机械沙障阻沙技术、草方网格固沙技术、沙区飞播技术、草原围栏,以及新材料防沙治沙技术等都在生产中发挥了重要的作用。

建国以来,先后实施了**三北防护林工程、防沙治沙工程、水土流失综合治理工程**等一系列国家级重大生态建设工程。约有 12%的沙化土地得到了治理,1170 多万公顷退化草场得到保护与恢复,产草量增加 20%以上,营造了 100 多万公顷薪炭林,解决了 600 多万农牧户的烧柴问题,取得了明显的生态、社会 and 经济效益。

2、问题

我国防沙治沙工作虽然取得了显著的成绩,但长期以来,在公众参与、科学研究、技术开发和政府防沙治沙工作中还存在着一些问题。

一是**大面积搞生产、小面积搞生态**。在 50 年的防沙治沙进程中,我们过分地强调“向沙漠进军”,幻想将沙漠全部变成绿洲,并最终从我国的版图上消灭沙漠。这种违背自然规律的资源开发与治沙模式,其结果反而招致沙漠一步步向我们袭来,使我们面临着

风沙灾害加重的严峻形势。这种治表不治本的作法，不能从根本上减轻我国风沙灾害。

二是没有把防沙治沙和脱贫致富结合起来。我国沙漠及沙化土地分布地区，大多是少数民族和贫困人口集中分布地区，生态环境相对恶劣，经济落后，靠天吃饭。如在北方农牧交错带，214个旗（县）中，少数民族县占到25%，贫困县占到65%。由于长期没有找到生态安全条件下的高效土地利用模式，植被建设虽然实现了生态效益，但并没有带来多大经济效益，治沙与防穷相脱节，当地人民的脱贫致富问题一直未能解决。而以试验示范方式为主的防沙治沙工程，在除害中并没有兴利，常常只是一种政府行为，于是形成了**“政府要被子（植被），老百姓要票子”**的矛盾，缺乏生态工程产业化的有效途径，结果就造成**“建设一破坏一再建设一再破坏”**，“穷一垦一穷”的恶性循环。

三是水土资源利用极不合理，管理失当。在以往的流域水资源利用规划中，重视生产和生活用水，而忽视了生态用水；由于节水意识不强，重开源、轻节流，造成水资源利用的效益和效率低下。开源（筑坝、调水、找水）是国家投资，用水（生产、生活、生态）却是无政府状态，而节流和节水则是放任自流；在流域内上、中、下游用水的分配中没能体现保护与利用并重、效益共享的原则，从而导致**水资源利用中责、权、利之间的冲突**。由于人多地少与单位土地生产力低下，很难遵循自然规律的土地利用方式和耕作模式，造成**“重生产、轻生态，重农业、轻牧业，重营造、轻管护，重利用、轻培肥”**四重四轻的土地利用定式，正是这种短期行为诱发和加剧了风沙灾害。

四是防沙治沙工程与科学研究和技术开发关系不密切。50年代以来，历次与防沙治沙相关的生态建设，以及与此同期进行的科学与技术开发，没能够紧密地结合起来。主要表现在三个方面：一是科学目标与生产实践的需要相分离，科学研究成果在走过了“立项—研究—论文—获奖”的四步曲之后被束之高阁；二是科学研究与国家需求或区域需求相背离，为科学而研究，为论文而奋斗，远离国家生态工程的主战场；三是纯科研性质的防沙治沙技术模式成本太高，大多是一种**小面积生态建设的样板，难以在大范围的生产过程中推广**。这就形成了防沙治沙工程建设与科学研究和技术开发相脱节的局面。

（三）思路与对策

防沙治沙工作是一项复杂的系统工程，涉及生态、经济、社会等多方面的问题。既有沙区生态条件差、土地易沙化的问题，又有沙区群众科学文化素质低、生产方式落后的问题，也有人口超载、生活贫困等社会问题。防沙治沙工作，必须**“科学规划、因地制宜，先易后难、先急后缓，重点突破、提高效益”**，集中力量，办成几件紧迫的事。

1、整体布局、长远规划。

防沙治沙要由局部试验示范转向整体控制，制定整体方案。同时，防沙治沙是一个长期性的工作，必须长远规划。今后的防沙治沙技术对策要从小面积的试验示范，转向为大面积生态建设提供技术支撑。

2、分区治理、突出重点。

针对我国风沙活动危害的地域差异，重点抓好**首都圈和农牧交错带**的防沙治沙工作，兼顾草原带和荒漠绿洲带。防沙治沙技术体系的研制要从**控制流沙的技术体系，转向控制沙源与减少尘源的技术体系**。特别重视在干旱多风季节，加强控制地表裸露的技术研制工作。

3、先保后治、以保为主。土地一旦沙化就很难恢复，而且治理费用约为保护费用的

20 倍。为了能够实现总体控制、局部重点治理的防沙治沙目标,就必须对现行的防沙治沙方针作出调整,即在原有的“因害设防”方针基础上,贯彻以**“以保为主,先保后治”**的方针因此,改变“重治理、轻保护”的旧观点,发挥流沙的生态功能,在大面积保护的基础上,做好沙区的治理与利用工作。与此同时,对重点亟待解决的地段,要采取有效的治理措施重点防治。要在自然条件相对好的小范围土地上,加快发展高效生产系统,走集约化生产—经营的道路。

4、除害兴利、治用结合。在重点治理地段,要推广“生态建设产业化”的模式,针对我国人多地少的国情,明显提高治沙的经济效益,融除害与兴利为一体化,治用结合,把防沙治沙与沙区经济发展结合起来。同时,在提高沙区太阳能和风能利用能力,以及水资源利用效益方面,发展沙区的集约化生产—生活—生态模式。

4、开源节流、合理调配。水资源利用的合理与否是防沙治沙的关键所在。我国沙区主要分布在干旱、半干旱地区,本来自然降水就少,加之近年来人口激增、土地开垦面积增大,对水资源的利用日趋增多,全球变化和北方气候干燥化使河川径流量减少,更加剧了北方缺水的严峻态势。因此,应积极探索增加水资源的新途径,如人工降雨、苦咸水利用等,并在节水灌溉、提高植被和作物水分利用效率上下功夫。

五、分区与模式

针对我国土地沙化及沙尘暴日益严重的形势,配合国家防沙治沙工作,我国防沙治沙重点区域的布局和工作重点如下:

(一) 首都圈与农牧交错带

1、首都圈以提高植被覆盖率为重点

首都圈主要包括北京、天津及河北省张家口地区、承德市,总土地面积 6 万平方公里,人口 3300 多万。

——城区的重点是土地的绿化和硬化。把减少裸地面积作为主要目标,大力发展草坪、植树造林,不宜造林种草的地面要加速衬砌与硬化,在干旱多风季节,建筑施工工地实行覆盖作业或喷水作业。推广**城镇美化、绿化生态防护圈**模式。

——郊区重点是调整农业结构,发展高效农业。大力发展高效农业,减少粮田面积,扩大林果及草地与绿地面积;形成片、网、带相结合的绿色防护体系;大力推广秋季作物留茬、春季免耕技术,增加冬春季节地面覆盖。推广**生态经济园林景观型沙地治理**模式。

——周边地区重点是退耕还林还草,提高植被覆盖率,涵养水源、恢复生态。退耕还林还草,把 25 度以上的坡耕地一律还林还草。大力推广节水高效农业,加速绿化,封山育林。推广**水源涵养林与水源地保护工程建设**模式。

2、农牧交错带要以退耕还林还草为重点

农牧交错带指我国北方农区与天然草地牧区接壤的过渡地带,是年降水量 250—500 mm 的半干旱和亚湿润地区。该区作为我国北方重要的“三源”(尘源、沙源、水源)地区,范围涵盖蒙、辽、冀、晋、陕 6 省区,面积约 72.6 万平方公里,辖 205 个县(旗),

人口 6053.61 万。

农牧交错带沙化的根本原因是乱垦、过牧等人为因素，防沙治沙的关键是退耕还林还草、降低草地载畜量。治理的重点是退掉 25 度以上的耕地和固定沙地上的耕地，发展集约化高效农业，将大面积的土地解放出来用于造林、种草，并通过草田轮作、建设高产人工草地和饲料地、草地围栏等技术改良退化草场。

——**大兴安岭南-科尔沁沙地采取乔灌草结合的方式恢复沙地植被。**该区是自然条件相对较好的地区，但地表沙物质极为丰富，一旦植被破坏，极易形成沙化土地，因此，大力发展高产人工草地和草食性家畜基地。推广“内蒙科尔沁小生物圈整治与发展”模式，即以户为单位，固定流沙，开发丘间地，农牧互补的生产一体化模式。

——**张北-集宁丘陵区要以灌木和草本为主，提高地表植被覆盖率。**治理的重点是退耕还林还草、农田免耕、农牧互补，发展高效无公害特色农业，人工饲草与补饲相结合的畜牧业基地。推广内蒙乌兰察布盟“退一进二还三”的土地利用调整与优化模式，即每建成一亩水浇地或两亩旱作稳产田，退出两亩旱坡地，还林、还草、还牧。

——**黄土高原区要草田轮作。**治理的重点是把坡耕地退下来还草、还林，发展梯田与节水灌溉农业，建设舍饲畜牧业基地。推广“甘肃定西多元系统集成”模式，即保护性林业、自给性农业、商品性畜牧业一体化农林牧复合的生态生产体系。

(二) 草原带与荒漠绿洲带

1、草原带要以草定畜，培育优质草畜品种为重点

草原带包括内蒙古中东部 4 个盟，含 32 个旗县，总面积 45.6 万 km²，人口 630 万。天然草地面积 4670 万公顷，可利用草地面积 3990 万公顷，是我国北方重点牧区之一。草场退化面积累计已达 1544 万公顷，占 38.7%，是我国东部和首都圈沙尘暴的主要沙源和尘源。

草原带沙化、退化速度很快。荒漠带与草原带的过渡带平均以每年 3-5 公里的速度东移，近 20 年已推移了近 100 公里。**草原带防沙治沙的重点是：一是禁耕**，年降水量 300 毫米以下的地区严禁开垦，已开垦的土地全部退耕，改建人工草地；300 到 400 毫米之间水分条件相对好的地段发展高产饲草饲料种植基地，确保补饲期间的饲草饲料；**二是改良草地**，提高草地生产力。关键是培育优良的高产牧草品种，推广飞播种草技术，实现短期恢复草地。**三是以草定畜**，大幅度降低单位草地的载畜量，培育优良畜种，提高家畜个体生产能力和经济效益。**四是大力推广“内蒙伊利集团公司加农户”发展产业化畜牧业的模式。**

草原带分为三个类型，采取不同措施治理：条件较好的呼伦贝尔草甸草原，严禁继续垦殖开荒，整治恢复撂荒土地，退耕还草；锡林郭勒典型草原，重点解决夏季无水草场的开发利用和冬春草场的合理利用问题，实施划区轮牧；条件较差的乌兰察布荒漠草原和鄂尔多斯草原化荒漠区，必须实行退牧还草，封滩育草，恢复自然植被。

2、荒漠绿洲带要以建立城市、道路、绿洲生态屏障为重点

本区指贺兰山以西，昆仑山和阿尔金山以北的广大内陆地区，包括新、青、甘、宁、蒙的全部或部分地区，总面积 210 万平方公里，人口 5300 多万。区内分布着七大沙漠（塔克拉玛干、古尔班通古特、巴丹吉林、柴达木、库姆塔格、腾格里及乌兰布和），沙丘浩瀚，戈壁广袤。

荒漠绿洲带的主要问题是沙漠向绿洲扩展，绿洲面积越来越小；流沙蔓延，城镇、

工矿、交通设施、国防基地受到流沙掩埋，甚至导致村民沦落外乡，成为生态难民。其主要成因是过度开发地下水而导致天然绿洲植被大面积枯萎死亡。荒漠绿洲区年降水在 200-250 毫米以下，干旱少雨，风大沙多，植被稀疏，防沙治沙工作难度极大，重点是在城市、道路、国防设施、绿洲等重要经济区建设生态屏障。根据不同保护对象，采取不同的保护措施。干旱地区的流沙有着重要的生态功能，流沙的存在是绿洲得以维持的重要条件。要利用极为有限的宝贵水资源，发展技术密集型的高效益经济作物和极端环境条件下的药用动植物，大力推“广夏（银川）”除害兴利并举、治用结合的治沙产业化模式，实现高投入、高产出、高效益、集约化的产业经营模式。在需要重点设防的地段，推广干旱荒漠及其绿洲防护林体系建设技术，铁路、公路防沙造林技术，流沙控制技术，机械沙障保护下的灌木造林治沙技术，沙地飞播固沙技术等。

六、几点建议

（一）总体规划

防沙治沙是一项复杂的系统工程，要遵循自然规律和经济规律，贯彻可持续发展战略，按照《全国生态环境建设规划》确定的目标和任务，把保护、治理、科技、政策等措施有机地结合起来，把中央各部门、地方各级政府、有关企业、科技人员和广大农牧民的积极性调动起来，使全国的防沙治沙工作出现一个新的局面。

（二）科技行动

针对我国风沙灾害的加剧，加大防沙治沙工程的建设与研究和关键技术开发力度，已势在必行。基于对我国风沙灾害问题研究已具有的基础，借鉴国外先进的科学技术，立足我国防沙治沙国情，建议设立国家防沙治沙科技专项。

加强防沙治沙重大科学问题的研究。重点开展我国沙漠与沙尘暴的形成与演变规律，沙区水土资源评价及生态用水比例的确定，沙区土壤侵蚀规律及侵蚀评价模型，风沙灾害的防治途径，沙区土地利用安全格局等领域的研究。

组织防沙治沙重大关键技术的攻关。重点开展沙区优良种质资源选育繁育，水土资源高效利用与节水，防沙治沙新材料，退化草场保护、恢复和改良，生态系统综合监测与评价，大面积植被重建与生态系统安全建设，不同类型区防治沙化综合集成与可持续经营模式等领域的技术攻关。

建立土地沙化与沙尘暴监测、预警系统。防沙治沙工作涉及林业、农业、气象、水利、科学院等多个部门，建议在现有工作基础上，集中各方面的优势力量，建立土地沙化与沙尘暴监测、预警系统，为防沙治沙工作提供全面的技术服务与支撑。

照片：

- 1、中国沙化土地分布图
- 2、防沙治沙分区治理示意图
- 3、分区治理详细说明与示例

参考文献

- CCICCD. 1997. China Country Paper to Combat Desertification. Beijing: China Forestry Publishing House.
- Nick Middleton et al, 1997. World Atlas of Desertification (Second Edition). UNEP/Edward Arnold.
- UNEP, 1991. Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification. Report of the Executive Director, UNEP/GCSS. III/3, Nairobi.
- 俄有浩等. 1997. 民勤沙井子地区地下水变化研究. 中国沙漠, 17(1): 70-76.
- 董光荣、高尚玉、金炯等. 1993. 青海共和盆地土地沙漠化与防治途径. 北京: 科学出版社.
- 董光荣、吴波、慈龙骏等. 1999. 我国荒漠化现状、成因与防治对策. 中国沙漠, 19(4): 318-332.
- 董光荣等. 1996. 中国沙漠形成演化与气候变化研究论文集. 兰州: 中国科学院兰州沙漠研究所.
- 高前兆、李福兴. 1991. 黑河流域水资源合理开发利用, 兰州: 甘肃科学技术出版社.
- 刘新民、赵哈林、赵爱芬主编. 1996. 科尔沁沙地风沙环境与植被. 科学出版社.
- 卢琦主编. 2000. 中国沙情. 北京: 开明出版社.
- 王涛. 1998. 沙质荒漠化的遥感监测与评价. 第四纪研究, No.2: 108-118.
- 吴波、慈龙骏. 1998. 毛乌素沙地荒漠化发展的阶段和成因. 科学通报, 43(22): 2437~2440.
- 吴波. 1997. 河西走廊黑河流域的景观生态特征与生态脆弱性研究. 生态系统建设与区域持续发展研究, 北京: 测绘出版社.
- 吴波. 2000. 沙质荒漠化土地景观分类与制图—以毛乌素沙地为例. 植物生态学报, 24(1), 52~57.
- 吴波. 1999. 生态敏感区人类活动强度与生态环境关系研究. 第四纪研究, No.3: 191.
- 吴薇、王熙章、姚发芬. 1997. 毛乌素沙地沙漠化的遥感监测. 中国沙漠, 17(4): 415~420.
- 叶笃正等. 2000. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 地理学报, 55(5): 513-521.
- 中国荒漠化(土地退化)防治研究课题组. 1998. 中国荒漠化(土地退化)防治研究, 北京: 中国环境科学出版社.
- 中华人民共和国科学技术部. 2000. 防沙治沙技术方案. 中华人民共和国科学技术部.
- 朱震达. 1985. 中国北方沙漠化现状及发展趋势. 中国沙漠, 5(3): 3~11.
- 朱震达、刘恕. 1989. 中国北方沙漠化及其治理, 北京: 科学出版社.
- 朱震达、王涛. 1990. 从若干典型地区的研究对十余年来中国土地沙漠化演变趋势的分析. 地理学报, 45(4): 430~440.
- 朱震达、陈广庭等. 1994. 中国土地沙质荒漠化, 北京: 科学出版社.

20 世纪下半叶中国西北地区主要沙尘暴事件纵览

时 间	地 域	事件描述
1949 年	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, 至子夜 12 时稍息。城内一回民被沙埋于一新院内身亡, 三堡两名儿童被风刮走, 死于头堡。
1950 年	新疆吐鲁番	4 月 10 日至 5 月 1 日多次大风, 一人被风沙击毙, 养蚕业受损; 小麦 3532 亩、棉花 316 亩、高粱 314 亩被毁, 沙压塌 24 道坎儿井, 11 道坎儿井明渠被填塞。
1952 年	甘肃河西 23 县	4 月 9 日临泽、张掖、山丹、永昌、酒泉、敦煌、环县等 23 个县发生强沙暴, 仅永昌县沙埋农田达 6 千多亩。张掖气象站记载 4 月 9 日 15 时 15 分到 10 日晨, 发生强沙暴天空变黑, 飞沙起石, 室内漆黑, 室外如黑夜, 能见度 0 级, 风力最初达 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, 飞鸟撞死很多。
	甘肃永昌、张掖、山丹、临泽、民勤、环县	6 月, 永昌、张掖、山丹、临泽、武威、环县均遭受数十年少见的黑风灾, 死 23 人, 其中张掖死 17 人, 还吹死牲畜 1094 头(只), 倒房屋 39 间, 拔树木百余株, 毁禾苗, 被风沙埋压土地 35 亩。
1955 年	甘肃安西	3 月 18 日~23 日、4 月 8 日~11 日, 连续两场大风, 风力达 8~9 级, 伴有强沙暴。刮走地表肥土, 损失肥料 46 万多车, 刮折树木 800 多株、房屋 10 间, 重种小麦 8 千余亩。
	甘肃古浪	入春以来, 几次风沙灾害, 有 3464 亩夏秋作物受损。
1956 年	新疆达坂城	9 月 1 日达坂城有平均 9 级、瞬间 12 级大风, 砂砾飞扬。
	甘肃敦煌、金塔、山丹等县	先后受风沙侵袭, 受灾面积有 2 万亩; 敦煌 8 月 1 日~5 日, 大风吹落梨果 40%~70%, 新垦小麦有 80% 以上尚未收割, 每亩平均落粒 20kg 以上。
1958 年	新疆哈密地区	4 月 4 日, 哈密大风 10 小时, 灾田 14160 亩, 表土被吹蚀 2~3cm, 部分农田积沙 22cm, 54 道坎儿井明渠沙埋, 吹失饲草 2.25 万 kg, 倒大树 40 株, 3 间房屋揭顶, 倒土墙 26m。10~11 日大风, 19 条坎儿井明渠被埋, 填平小涝坝 71 个, 死羊 46 只, 失去肥料 14 万 kg。
1960 年	青海香日德	农场 1/3 的麦田、渠道、房屋被风沙(沙尘暴)摧毁。
1961 年	新疆新和	5 月 15 日刮 8~9 级大风, 受灾农田 1559.7 亩, 作物死 30%~50%, 刮倒树木 999 株, 房屋 3 间, 畜棚 2 间, 伤畜 1 头, 沙埋渠道 6 公里, 刮断电线 20 处。
	新疆伊吾县淖毛湖地区	4 月 27~28 日大风, 风力 11 级以上, 飞沙走石, 刮倒果树 3 株; 吹死 60 亩蔬菜、60 亩青梨。6 月 1 日夜大风, 最大风力 12 级以上, 作物 1328 亩全毁, 死马 2 匹, 牛 5 头, 羊 22 只, 刮飞 16 间房屋顶泥, 倒马棚墙 8 处, 倒住房 12 处, 倒毡房木架 7 个, 刮倒桑 15 株、杏 179 株、榆 4 株、沙枣 59 株、杨 8 株, 50%杏刮落。
	新疆吐鲁番	5 月 31 日至 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 36 小时, 下马崖等地有 40 多坎儿井被沙埋, 死伤 20 多人。
	甘肃敦煌、伊吾及兰新线	5 月 31 日大风, 瞬间最大达 40m/s, 烟墩站一带因沙埋列车脱轨, 车站积沙厚达 1m 余, 客车玻璃被沙石打碎, 油漆打光。住房被揭顶, 哈密以西一带刮断电杆 85 根, 刮走 25 吨重的油罐 23 个, 油桶 2 万多只, 铁皮 90 吨。6 月 1 日七角井特大风及沙暴, 风力达 12 级, 沙石漫天, 能见度低, 延续 4 小时, 毁粮食作物 1.42 万亩、经济作物 2600 多亩。淖毛湖 26.5 公里水渠泥沙淤塞。
1962 年	新疆托克逊	3 月 18 日~19 日 10 级大风, 风打、沙埋小麦地千余亩。
1963 年	新疆吐鲁番	4 月 14 日~15 日 12 级大风, 小麦 10 万亩受灾, 内重灾 18108 亩, 其他农田受灾 17569 亩, 牲畜死 106 头, 刮断大树 1066 株, 死 2 人, 263 道坎儿井被沙埋。
	新疆伊吾县淖毛湖	4 月 2 日~3 日大风, 最大风力达 34m/s, 沙压菜地 30 亩。
1965 年	甘肃安西	6 月 14 日上午风力 8 级, 最大 9 级, 受灾农田 3238 亩, 其中西湖区 30% 被风沙打死。
1966 年	新疆吐鲁番、托克逊	3 月 15 日~16 日吐鲁番刮 12 级大风, 风沙掩埋。填坎儿井 66 道、水渠 59 条, 13100 亩小麦受灾。吹失土肥 1 吨、麦草 22.1 吨, 死牲畜 32 头, 倒塌房 9 间。托克逊县风沙埋没渠道 10 条、坎儿井 15 道, 受灾麦田 5322 亩, 吹失 1386 亩农田中土肥、8.7 吨饲料, 死牲畜 32 头, 吹倒房屋 6 间。
	新疆境内兰新铁路	4 月 3 日兰新线新疆境内大风雪, 风力 8~9 级, 线路多处积沙越过轨面, 1942 次客车在山口至土墩间机车引导轮被积沙垫脱出轨, 中断行车 18 小时零 40 分。
1970 年	新疆兰新铁路	3 月 18 日兰新线西起大步东至了墩, 刮 10 级大风, 线路多处被沙埋, 2402 次货车在红尾至红柳间, 被积沙垫脱出轨。
	新疆吐鲁番	4 月 10 日~12 日发生沙尘暴, 刮断电杆, 中断交通, 掩埋坎儿井, 造成人员伤亡。铁路(兰新线)多处被沙埋。
	青海诺木洪农场	沙尘暴危害农田 1.4 万亩, 其中 0.6 万亩须重播, 损失籽种 10 万 kg。
1971 年	内蒙古伊克昭盟	5 月 23~26 日伊盟地区, 大风和风沙天气使耕地出现风揭和沙压, 仅伊金霍洛旗受灾农田就有 10 万亩, 其中需补种的 8 万亩。
	新疆民丰	4 月 5 日发生沙尘暴, 瞬时最大风速 22m/s。
	新疆兰新铁路	4 月 6 日兰新线新疆境内大风, 线路多处积沙, 列车被垫脱出轨。

1972 年	甘肃敦煌、金塔等	4 月 12 日大风, 平均风力达 7~8 级, 敦煌、金塔受灾较重, 有 4500 多亩农田被沙覆盖。
1974 年	甘肃敦煌	3 月 21 日晨大风, 敦煌 1400 亩农田被沙压埋。
	内蒙古伊克昭盟、包头等地	4 月 27 日~29 日, 伊盟和包头市地区, 发生强烈沙尘暴, 一般风力 8 级, 最大风速达 32m/s, 最小能见度 100m。部分地区表土被土刮走 7~10cm, 农田种子被刮, 包头市部分小麦、甜菜、幼苗被刮死或沙埋。
1975 年	兰新铁路哈密地区段	5 月 14 日兰新线哈密以西大风, 线路多处被沙埋, 2422 次列车在红尾到红柳间发生颠覆, 中断行车 11 小时, 造成重大事故。
1977 年	甘肃酒泉、张掖地区	4 月 22 日, 黑风 10 级以上, 最大风速达 38m/s, 天昏地暗, 持续 2~5 小时, 大面积农田受灾, 死 54 人、牲畜多头。200 多年大树连根拔起。
	甘肃民勤	5 月 19 日有局地性黑风暴。
1978 年	新疆托克逊、吐鲁番、鄯善	4 月 12 日托克逊遭 10 级大风袭击, 吐鲁番、鄯善、托克逊三县 3300 多亩小麦、460 亩棉花、3000 多亩葡萄受灾, 损失葡萄 580 吨。19 道坎儿井被沙埋掉, 刮倒电杆 10 根, 40 口机井无法抽水。
	新疆托克逊	5 月 5 日~6 日托克逊遭 9 级大风袭击, 4.25 万亩棉花、1.05 万亩葡萄及 0.7 万亩其他农作物受灾, 刮倒树木 1318 株, 电杆 30 根, 沙埋坎儿井 2 道、明渠 35 条、水渠 53 条, 刮失肥料 2000 多车, 麦草 5 吨。
1979 年	新疆中部地区多处	4 月 9 日~11 日新疆普遍发生强沙尘暴。4 月 10 日兰新线哈密至乌鲁木齐段及南疆线风沙弥漫, 风力达 12 级以上, 能见度 6 左右。兰新线通讯中断 8 小时, 运输中断 37 小时 47 分; 南疆线通讯中断 122 小时, 运输中断 167 小时。兰新线房屋面积损坏 2.1 万 m ² , 门窗玻璃损坏 7800m 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。一列客车外部油漆被打光, 所有进站信号被打坏, 损坏房屋 20 幢。4 月 10 日~11 日哈密及淖毛湖地区大风、降温, 风力最高达 10~11 级, 哈密死 10 人, 伤 2 人, 牲畜死 7800 头(只), 毁麦田 8200 多亩; 淖毛湖 290 亩小麦重灾, 250 亩农田土层被刮蚀。4 月 10 日~11 日吐鲁番刮 12 级大风 18 小时, 受灾作物 45 万亩, 折树 5758 株, 沙埋坎儿井 108 道, 大小渠道 402 条, 吹失麦草 62.5 吨。化肥 2.5 吨, 倒房屋 16 间, 26 户着火, 死 10 人, 伤 40 人, 死羊 5 只, 失踪 1043 只, 通讯中断。4 月 10 日托克逊大风引起特大火灾, 340 户受灾, 毁房屋 870 间、各种农机具 49 台, 死 4 人, 重伤 1 人, 烧死各种牲畜 200 多头(只), 烧毁粮食 80 多吨, 总计损失 143.9 万元。
	新疆尉犁等南疆地区	4 月 19 日~22 日南疆线 8 级以上大风, 铁路多处被沙埋, 多处电线刮断, 运输一度中断。
	新疆南疆铁路沿线	4 月 9 日~11 日连续 3 日风暴, 天空浑晦, 飞砂走石, 草地麦田积尘厚达 3cm。畜食脏草, 死 1.5 万头(只)。
	青海乌兰县茶卡公社及莫河驼场	3 月发生沙尘暴, 牲畜死亡 2 万多头(只)。
1980 年	内蒙古巴彦淖尔盟、伊克昭盟和包头市	4 月 17 日~21 日全区出现 3 次强寒潮天气, 以大风降温为主。全区大部分地区风力一般 8~9 级, 最大风力达 11 级。巴盟、伊盟和包头市等地出现了强烈的风少和沙尘暴天气, 水平能见度普遍小于 300m, 巴盟受灾农田 2 万余亩; 包头市郊 1/4 蔬菜苗损失, 毁坏塑料大棚 345 亩。
	新疆托克逊	刮 5 次大风, 瞬间最大风力 12 级, 1 万多亩作物受灾, 5 道坎儿井被埋, 总长度达 3 公里左右。
1981 年	新疆兰新铁路了墩至鄯善一带	4 月 29 日至 5 月 31 日兰新线了墩至鄯善一带刮 12 级大风, 铁路沿线飞沙走石, 110 个车站的 123 块门窗被打碎, 有的路段积沙埋没钢轨。
1982 年	内蒙古伊克昭盟部分地区	5 月 1 日~8 日期间内蒙古西部大风, 部分地区形成沙尘暴。伊盟准格尔旗近 2 万亩麦苗被沙埋; 鄂托克旗农区, 1/3 农田需重播; 乌审旗和杭锦旗大片草场被沙埋。
	新疆铁路兰新线及南疆	4 月 4 日~5 日大风货车脱轨, 客车 5 节迎风玻璃被打碎。南疆线路多处沙害, 运输中断。正线中断 20 小时 24 分, 车辆受损, 估计经济损失 4.4 万元。
	新疆吐鲁番	6 月 7 日吐鲁番大风, 2.5 万余亩农作物受灾, 果类损失 11 吨, 刮倒树木 2230 株, 倒房 4 间, 沙埋坎儿井 4 道。
1983 年	宁夏广大地区	4 月 27 日大武口、石嘴山、石炭井、青铜峡、同心、海源等地区发生沙尘暴, 风力达 12 级, 中卫、中宁和固原 11 级, 一般 8~10 级, 持续 10 小时之久。天昏地暗, 处于绿洲中的能见度不足 20m。这场沙尘暴造成死亡 14 人, 失踪 3 人, 重伤 46 人; 盐池、青铜峡、同心、贺兰 4 县(市)死亡大牲畜 58 头, 失踪 27 头, 死羊 18584 只, 失踪 973 只, 成灾旱作农田 200 多万亩。
	新疆布尔津	4 月 23 日~26 日大风, 47 公里道路被沙掩埋, 3.5 万多亩农作物受灾。
	新疆吐鲁、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, 36.6 万多亩农作物被损失, 毁坏树林 5.1 万株, 填平渠道 9.2 公里, 死亡牲畜 843 头(只), 倒塌或火灾烧毁房屋 242 间, 4 人死亡, 输电、电话、广播线路多处被刮断。在 4 月 26 日风暴中, 吐鲁番地区 7.3 万多亩农作物受灾, 2.1 万亩葡萄受损, 刮倒树木近万株, 供电、通讯线杆数百根被刮倒, 使供电、通讯中断。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。

	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, 瞬时最大风速达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)。
	青海德令哈	4月27日大风, 部分地区伴有沙尘暴天气, 最大风速30m/s以上, 刮断树木772株, 毁房12间, 倒围墙1395m, 电杆35根。
	新疆伊吾淖毛湖地区	5月19日大风, 刮断大树962株, 300多亩农作物受灾, 刮倒住房4间, 围墙300多m, 2公里大渠被填平, 经济损失10万余元。
	甘肃金塔	5月18日发生强沙尘暴, 最大风速35m/s以上, 能见度为零。
	新疆克拉玛依	11月27日发生沙尘暴和扬沙, 最大风速40m/s, 飞砾走石。
1984年	内蒙古杭锦旗	4月4日发生风速25m/s的黑风暴, 造成重大损失。
	新疆托克逊	4月18日~19日、24日~25日, 5万多亩农作物受灾, 各种果树4667株、葡萄7347墩、8万余株树木受损, 267头牲畜死亡。大风刮倒房屋4间, 电杆50根, 刮失3.1万亩农田的肥料、200吨煤炭, 风沙掩埋了机井13眼、坎儿井13道、明渠40公里, 烧毁房屋29间, 死亡多人。
	新疆哈密	4月25日大风使1.1万亩作物受灾, 4580m坎儿井明渠、8550m水渠被沙埋, 719头(只)牲畜死亡, 铁路交通中断26小时。
	新疆吐鲁番	4月28日12级大风, 刮走上万亩麦苗和棉花, 倒塌房屋155间, 26道坎儿井被风沙掩埋, 七泉湖化工厂的元明粉被刮失, 损失46万元。
	新疆阿克陶	11月4日狂风刮坏塑料大棚, 价值2万元。1530亩农田被沙埋, 刮失棉花25吨、水稻9吨。
1985年	新疆托克逊	5月本县5次大风使1.5万亩农作物受灾, 刮坏树苗1.5万株、大树66株、房屋7间、围墙264m, 沙埋房屋15间、坎儿井7道、水渠22公里、机井2眼, 刮失锅炉煤约100吨。
	青海冷湖	4月1日发生强沙尘暴(11时5分开始), 持续7小时, 最大风力一直处于9~10级, 瞬间最大风速30m/s。
1986年	甘肃安西	3月14日~16日刮11级大风, 伴有沙暴, 持续3天, 重灾农田8.7万多亩, 经济损失200多万元。
	甘肃安西、敦煌	5月18日~20日大风和沙暴。大风持续38小时多, 沙暴持续17小时多, 能见度0级持续5小时。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22.3万亩农作物全受害, 其中毁灭性灾害3.03万亩, 重灾1.88万亩。蔬菜全毁2100亩, 掉果23.5万kg, 毁果树嫁接苗1.64万株, 摧毁大树2.5万株, 死亡、失踪大畜14头, 羊659只, 决塘坝2座, 沙埋、水毁渠道29.4公里, 毁电线24.5公里, 引起火灾3次, 毁3户农民房, 刮倒房屋57间, 畜圈105个, 围墙384m, 吹失煤炭1800多吨, 芒硝1.5吨, 造成总经济损失1200多万元。
	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2.5万吨, 棉花减产12~15万担, 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。
	新疆哈密地区	5月18日~19日大风3日, 各种粮食、棉花、瓜菜、水果受灾面积1.87万亩, 黄沙淤平干、支渠道30公里, 大风、火灾刮坏、烧毁房屋359间, 刮走毡房37顶, 死亡牲畜323头(只), 损失驴车46辆、木材492根、粮食1吨余, 伤1人, 总计经济损失240万元。经柳沟的沙尘暴使铁路路基多处被沙埋, 火车停运36小时。
	新疆哈密、乌鲁木齐铁路二分局所辖大部	5月18日~20日受10级以上风沙袭击, 多处出现沙害, 铁路设施遭不同程度破坏, 正线中断行车31小时, 直接经济损失160万元。
	新疆洛浦	5月18日~19日大风, 1.87万亩棉田受灾, 其中0.8万亩为棉苗全部被沙埋。
1988年	新疆伊吾	4月15日、18日淖毛湖大风, 风沙填平渠道21公里, 1300多亩麦苗受损, 近千亩棉苗吹坏, 因风失火烧死驴、骆驼各1头。
1989年	新疆喀什地区	4月19日~20日大风, 遭霜冻, 使3.8万亩棉花、3500亩油料作物、1000余亩蔬菜受灾, 疏附县2万亩冬麦被沙埋, 刮倒树木3万多株, 供电通讯线路多处被刮断。
	新疆布尔津	4月30日~5月2日大风, 使1.1万亩小麦籽种刮出地面, 其中400亩又被风沙深埋。
	新疆哈密	5月1日~2日哈密以东铁路, 遭风沙袭击, 车站信号受损坏, 部分铁轨被沙埋, 线路中断6小时余。哈密市经东盐湖区刮9级以上大风, 使5个盐区3296个盐池被风沙覆盖, 损失22.26吨, 经济损失85万元。
	甘肃张掖地区	4月19日有局地性黑风暴。
1990年	新疆吐鲁番、托克逊等地	6月4日~5日吐鲁番地区大风, 4.4万亩农业作物受灾, 沙埋坎儿井6道, 水渠24公里, 倒电杆76根、树木2785株, 坏电话线万余米, 造成14户火灾, 死1人, 损失牲畜18头, 烧毁变压器1个, 水泵2个。托克逊县2018亩小麦、棉花、花生受灾, 倒树572株, 沙埋渠道4.8公里, 6户失火, 毁变压器1个, 高压线100m, 死牲畜2头, 总计损失16.6万元。
	内蒙古中部	4月25日发生沙尘暴, 与1983年4月27~29日发生的沙尘暴类似。

1991 年		
1992 年		
1993 年	西北 4 省区	详见本书第 10 章。
1994 年		
1995 年		
1996 年		
1997 年		
1998 年	华北地区	详见本书第 12 章。
1999 年		
2000 年	内蒙古、北京周边地区	3 月 3 日，浮尘、局地扬沙。
	北京及周边地区	3 月 17~18 日，扬沙、浮尘、大风
	内蒙古、北京周边地区	从 3 月 22 日晚到 23 日早晨，北京再次出现了扬沙天气，我国北方部分地区这两天也出现了扬沙和沙尘暴。前天晚上北京开始刮起了大风，到昨天中午风力逐渐加大，大风挟裹着尘土和细沙吹得行人睁不开眼睛。今天内蒙古中西部、河西走廊地区还出现了较大的沙尘暴。产生主要原因是从西伯利亚来的强冷气产生了大风，春季比较干旱（CCTV）。23 日早上西安开始出现泥雨天气。气象台专家说，出现这种泥雨现象，主要是因为我国西北地区植被覆盖率低，许多泥沙随着大风飘移到上空，形成浮尘，碰到小雨就会形成泥雨（新华社）。
	甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、北京、河北、河南、山东	3 月 27 日，扬沙、大风。3 月 27 日下午 1 时左右，西安市区黄尘弥漫，遮天蔽日，行人匆匆掩面而行。这是继 3 月 22~23 日西安第一场泥雨后，“黄龙”再次光顾西安。据气象部门介绍，出现这种现象，主要是因为我国西北地区植被覆盖率低，泥沙随着大风飘移到上空，产生扬尘天气。当日，济南也出现扬沙天气，最大风力达到 6 级，阵风达 7 级。沙尘过后，地面、建筑物及露天停放的机动车辆上落满一层细沙。
	北京及周边地区	从 4 月 4 号傍晚开始，北京地区出现了沙尘天气，刚刚享受到春天来临、阳光明媚的北京人又感受到了来自黄土高原的沙尘。4 月 5 日早，外出的北京人会发现停在户外的汽车和自行车受了一场“泥雨的洗礼”，由于北京地区 4 月 4 日晚出现了沙尘天气，落下的雨中含有大量的泥土，汽车上覆盖的尘土倒是让洗车点生意顿时红火起来，某洗车点一大早就多洗了 30 来部汽车。一直持续到 4 月 5 日上午的大风还携带着不少沙土，一些女士又戴上了冬天的一副装备出现在北京街头。 记者从气象部门了解到，这次沙尘天气是受北京西北部的黄土高原产生的一场沙尘暴影响。从 4 月 4 日下午两点开始，乌兰巴托以南、兰州以北、嘉峪关以东、呼和浩特以西的范围风力达到 6 到 7 级，由于这些地区刚刚解冻，再加上植被较少，大风和不断上升的气流大量把沙尘带到了四五千米的高空。最厉害的地区，能见度还不到 1 公里。 目前，造成这场沙尘天气的气流已经到渤海上空，携带的沙尘最终会落入大海（CCTV 报道）。
	内蒙古、山西、河北及京津地区	4 月 5~7 日出现的风沙天气是 2000 年最为严重的一次，内蒙古、河北、辽宁西部、京津地区普遍出现了伴有扬沙或沙尘暴的 5~7 级阵风和 8~10 级的偏北大风。4 月 6 日北京也出现了严重的扬沙、局部沙尘暴天气。由于风沙大、能见度低，给交通运输及人们的日常生活和工作带来不利影响，个别地方甚至造成了人员伤亡。

	北京及周边地区	4月8日夜间开始侵袭我国的沙尘暴从内蒙古入境后，在高强度温带气旋的影响下，持续向东南方向推移，内蒙古大部分地区、宁夏以及河西走廊一带已经出现6~7级大风，并伴有扬沙或沙尘暴天气，目前，沙尘暴已经影响到陕北地区、山西北部 and 河北北部（CCTV）。 新华社北京4月9日电（记者李佳路 赵承）一场强烈的风沙天气今天袭击了西北、华北部分地区，造成扬沙或沙尘暴天气，平均风力达到5至7级，局部地区达到8至9级。一些地区天地混浊，黄沙弥漫。今天上午冷空气东端前锋移动到东北西部和华北中部一带，河北中北部、北京、辽宁西部等地出现了扬沙或浮尘天气，风力有5~7级。下午冷空气西端前锋移动到黄河上游到秦岭一带，受其影响，甘肃中部、内蒙古中西部、宁夏、陕西中北部、山西中南部、河北大部、京津地区、山东北部、辽宁西部出现了扬沙或沙尘暴天气，西北地区东部、华北、东北出现了5~7级偏北或偏南风，部分地区风力达到8~9级。虽然气象部门前天和昨天已经发出了预报，但强烈的风沙仍给这些地区造成了相当大的影响，一些人口密集的城市也不能幸免。气象专家根据下午5时的天气实况图对记者说，兰州、宝鸡等城市出现了浮尘天气，银川、洛阳、郑州、太原、邢台、延安等城市出现了扬沙或沙尘暴天气。根据本社记者从风沙现场发回的报道，这些地区尘土和沙粒随风飞扬，狂风将街边的树摇晃得东倒西歪，能见度很低，几十米外的建筑物和灯光已经模糊不清。一些地区出现了交通堵塞，一些广告牌在几次的大风作用下已经七零八落。许多建筑工地为了工人安全已经完全停止了施工。行走的人们戴上了纱巾、口罩、墨镜，在风沙中艰难前行。由于昨天夜间内蒙古东部、河北北部等地出现了小雨雪，使得从西北来的大量沙尘凝聚、下沉，缓和了今天预计在北京地区出现的沙尘天气强度。北京今天下午只是出现了大风扬沙天气。据中央气象台气象专家预计，随着冷空气前锋的南移，今天晚上到明天，长江中下游以北大部地区仍有5~7级偏北风，部分地区最大风力仍可达8~9级，黄淮地区并伴有扬沙或沙尘暴天气，渤海、黄海、东海有6~8级偏北大风，内蒙古东北部、东北大部以及西藏东部有小到中雪或雨夹雪，其中东北的局部地区有大雪或暴雪。 新华社济南4月9日电（记者 董振国）今天下午3点多钟，泉城济南突然狂风大作，倾刻间，天地一片昏暗，犹如黑夜。记者在大街上看到，约有七、八级的大风挟裹着沙土迎面扑来，行人几乎站立不住。狂风将路边树上的枯枝卷下，地上一片狼藉。由于路上能见度只有5~6m远，汽车纷纷开亮车灯。继而雷声隆隆响起，天上淅淅沥沥下起小雨。据山东气象部门介绍，这种天气现象称为"沙暴"。几天前，已在我国许多城市出现。事先，气象部门已作了预报，但记者看到，不少市民面对狂风飞沙、天昏地暗的景象依然有些惊慌。
	北京及周边地区	4月25日，浮尘天气。

20 世纪 70~90 年代中国西北地区 5 次强沙尘暴天气状况及危害

时间	影响地区	风力	能见度	主要灾情
1977 年 4 月 22 日	甘肃酒泉、张掖	38 米/秒	0 米	仅张掖地区死亡 54 人，失踪 25 人，大面积农田受灾。
1979 年 4 月 9~11 日	新疆、甘肃、青海、宁夏、内蒙古等省区的部分地区	46 米/秒	0 米	仅新疆死亡 29 人，伤 43 人，死亡牲畜 2.57 万头(只)，受灾农田 45 万亩，损坏房屋 1.4 万间，兰新铁路沿线各站损失 4200 万元。
1983 年 4 月 26~28 日	新疆东部和南部、青海中部、甘肃平凉、宁夏中部、内蒙古河套地区、陕西榆林	>35 米/秒	<100 米	宁夏死亡 14 人，成灾农作物 200 万亩以上；内蒙古伊克昭盟和陕西榆林地区死亡失踪 58 人，死亡丢失牲畜 16 万头(只)。
1986 年 5 月 17~20 日	新疆和田、哈密，甘肃酒泉地区	35 米/秒	0 米	新疆和田地区死亡 10 人，失踪 9 人；哈密市损失 1900 多万元；兰新铁路多处被掩埋，中断运行 31 小时之久。
1993 年 5 月 5 日	新疆东部、甘肃河西、宁夏大部、内蒙古西部	38 米/秒	0 米	死亡 85 人，失踪 31 人，重伤 264 人，死亡和丢失牲畜 12 万头(只)，直接经济损失 5.5 亿元。