

石河子大学

硕士学位论文

西北沙尘多发区土壤风蚀及潜在尘源研究

姓名：刘国庆

申请学位级别：硕士

专业：作物栽培学与耕作学

指导教师：李少昆

20080601

摘 要

目的: 研究西北沙尘多发地区沙尘暴土壤风蚀特征, 明确西北地区潜在尘源, 为西北地区沙尘暴危害的治理提供理论支持。

方法: 通过在新疆和田、甘肃武威民勤的实地考察取样、不同尺度条件下沙尘暴发生期间土壤风蚀试验, 结合历史资料及遥感影像分析, 分析了西北地区沙尘天气发生特征及原因, 研究了西北沙尘多发区土壤风蚀特征及潜在尘源。

结果: 建国以来西北沙尘区沙尘年发生次数总体上呈缓慢下降趋势, 但防御沙尘天气的形势依然严峻。西北地区沙尘天气的频繁发生是由自然、人为原因共同作用的结果。在和田试验中, 主要地表类型沙漠、过渡带和绿洲土壤输沙量、降尘量具有显著性差异, 并与覆盖度存在明显的相关性。在小尺度下观测的结果表明, 不同地表类型输沙量也存在显著差异, 相同高度下平均覆盖度 82% 的农田输沙量不足沙漠输沙量的 10%, 沙漠观测点下风口输沙量比上风口增长 2.39%, 弃耕地下风口输沙量比上风口增长 7.90%, 而覆盖农田下风口输沙量比上风口减少 2.24%, 说明提高植被覆盖对减少当地土壤风蚀的重要性。在武威民勤试验中, 绿洲耕作区易起尘颗粒百分含量最高, 戈壁、灌丛、退化草原潜在尘源总量最大, 农田、沙漠次之。该地区西部、西北部的沙尘源为 7 月 17 日沙尘暴提供了物质条件。增加上述地区的植被覆盖度可减轻当地沙尘暴危害。

结论: 西北绿洲区农田、弃耕地土壤中易起尘物质百分含量高于沙漠、戈壁。河西走廊东部戈壁、灌丛、退化草原含有的潜在尘源总量最大, 农田、沙漠次之。高覆盖度植被可明显提高土壤抗风蚀能力, 提高植被覆盖度是减少西北沙尘多发区土壤风蚀的有效途径。对戈壁、灌丛、退化草原进行封育, 营造防风固沙林体系, 在农田中推广种植冬小麦、苜蓿等在沙尘暴多发时期植被覆盖度高的作物, 恢复弃耕地、推广少耕免耕、留高茬及秸秆覆盖等保护性耕作技术可减轻西北地区沙尘暴危害程度。

关键词: 沙尘暴; 风蚀; 尘源

ABSTRACT

Object: study the characteristic of the soil wind erosion of northwest China,make clear the potential dust source of northwest China,provide the theoretical support for the duststorm administration measures.

Methods: Used on-the-spot tests、experiments and soil wind erosion test of different scale during the duststorm in HOTAN and WUWEI、MINQIN of GANSU province,combined with the history material and RS image treatment,analysed the characteristic and reason of the duststorm in northwest China,studied the soil wind erosion characteristic and the potential dust source of dust area in northwest China.

Results: The annual happen times of the northwest dust area presents slowly descend tendency,but the situation of the duststorm defence is still critical. The natural and man-made element result in the frequent dust weather.In the HOTAN test, the quantity of sand transport and descent of the desert、the intermediate zone and oasis had significant differences and had an obvious relationship with vegetation coverage. Under the small scale test,The quantity of sand transport of the different earth'surface had significant differences,the quantity of sand transport of the farm land with 82% average vegetation coverage was less than 10% of the desert sand transport quantity.In the windward and leeward test, the leeward sand transport quantity increased 2.39% than the windward'in farm land、7.90% in abandoned farm land and reduced 2.24% in farm land,the test results indicated the importance of increasing vegetation coverage to alleviate soil wind erosion in hotan. In WUWEI、MINQIN test, the oasis tillage area has the highest percentage of pellet which is easy to rise, the Gobi、bush、degenerate grasslands have the most potential duststorm source.The duststorm source in west、northwest part of this area provided material factor for 2005 • 7 • 17 duststorm.. Increasing the vegetation coverage of the area above can alleviate the duststorm endanger.

Conclusions: High coverage vegetation can enhance the soil's ability to denfence the wind erosion obviously,of the area above can alleviate the duststorm endanger,increase the vegetation coverage is the effective channel to reduce the soil wind erosion.The percentage of the soil easily to be eroded by wind in farmland and farmland abandoned is higher than desert and Gobi.The potential dust source quantity of the Gobi、bush and degenerate grasslands are more than farmland and desert.Sealing and breedingthe Gobi、bush and degenerate grasslands,establishing the forest system for defencing wind and strengthening the sand, expanding the crops like winter wheat、lucerne which has high vegetation coverage during the frequently-occurring time of the dust weather,resuming the farmland abandoned,expending the conservation tillage technologies like no-tillage、minimum-tillage、reserving high stubble and straw coverage can reduce the duststrom endanger in northwest China.

Key words:duststrom; wind erosion; dust source

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：刘国庆

时间：2008年6月12日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文用于赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅。有权将学位论文的内容编入有关数据进行检索。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：刘国庆

时间：2008年6月12日

导师签名：李少磊

时间：2008年6月12日

第一章 引言

1.1 研究背景

在干旱或半干旱地区,由于自然和人为的原因,造成地表裸露,适当流场配合不稳定大气层结,地表沙尘受扰动而被卷入大气中,在气流的引导下,形成沙尘天气。从气象学角度对有关沙尘天气的定义,可分为浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴四类。浮尘多发生在风力较小或无风的情况下,尘土、细沙均匀地浮游在空中,使水平能见度小于10公里的天气现象。漂浮的尘土多是远处尘沙经上层气流传播,或有沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的细粒浮游空中而成。扬沙是指风将地面尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度在1—10公里以内的一种天气现象。沙尘暴是在大风、干旱的气候条件下,强风将地面大量尘沙吹起,使空气很混浊,天空呈现沙褐色,甚至红褐色的现象。出现沙尘暴时,水平能见度小于1公里。气象专家把风速 $>20\text{m/s}$ 、能见度 $<200\text{m}$ 定义为强沙尘暴;而把风速 $>25\text{m/s}$ 、能见度 $<50\text{m}$ 则定为特强沙尘暴^[1]。强沙尘暴和特强沙尘暴又称黑风暴,由于黑风暴发生时天昏地暗,甚至伸手不见五指,所以西北的群众依据其昏暗程度和颜色称之为“黄风”和“黑风”^[2]。2003年3月1日,中国气象局开始实施新的沙尘暴标准,新标准将沙尘天气重新划分为浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴四类。其中,尘土、细沙均匀地浮游在空中,使水平能见度小于10km的天气现象称为浮尘;风将地面尘沙吹起,使空气相当混浊,水平能见度在1km至10km以内的天气现象称为扬沙;强风将地面大量尘沙吹起,使空气很混浊,水平能见度小于1km的天气现象称为沙尘暴;大风将地面尘沙吹起,使空气非常混浊,水平能见度小于500m的天气现象称为强沙尘暴。界定浮尘天气过程和扬沙天气过程则是在同一次天气过程中,我国天气预报区域内5个或5个以上国家基本(准)站在同一观测时次出现浮尘天气;界定的沙尘暴、强沙尘暴天气过程是在同一次天气过程中,我国天气预报区域内3个或3个以上国家基本(准)站在同一观测时次出现了沙尘暴天气和强沙尘暴天气。

沙尘暴的发生需要三种因素(图1):第一是有强大而持续的风,把大量沙尘、土粒吹入空中;第二是产生对流低层强烈垂直不稳定的空气状态;将沙尘向空中输送,这是重要的局地热力条件;第三是当地多发生在土质干燥松散、植被稀疏、地表裸露的地带,即风土地带最易形成沙尘暴。只有第一个条件,则是一种大风天气;仅具备第一、第二两个条件,则形成近地面的局地风沙天气;只有当三者有机的结合才能形成波及范围大,破坏力强的沙尘暴天气。

沙尘暴天气出现时,凡是所经地区空气浑浊,严重的地区常发生房屋倒塌,交通供电受阻或中断、火灾,人畜伤亡等现象;通过沙埋、风蚀沙割、狂风袭击等作用方式,影响能见度、缩短光照时间、降低光照强度、光照质量;对农作物危害很大,特别是春季棉花苗期、玉米真叶期,使作物幼芽上覆盖厚厚的尘土,影响作物的呼吸作用和光合

作用，破坏了作物的生长使其产量大幅度的下降，甚至绝收；浓重的浮尘可使牲畜患病甚至窒息死亡；不仅给农牧业生产带来了重大损失，而且给交通运输、生态环境和人民的日常生活都带来了很大的危害。

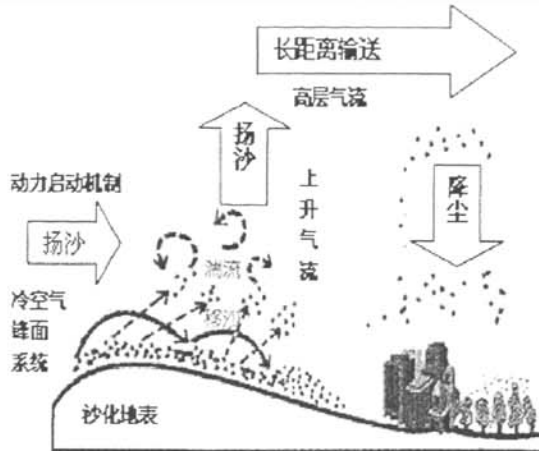


图 1: 沙尘暴过程示意图

据中国环境监测总站的监测结果表明，进入本世纪，我国沙尘暴发生的势头仍在继续，而且出现的时间在提前，次数在增多，影响的范围在扩大，发生的强度在增加。目前我国荒漠化推进速度已从 70 年代以前的每年 1565km^2 增至目前的每年 2460km^2 ，每年因土地沙化造成的损失达 540 亿元，约占全球荒漠化造成损失的 16%^[3]。据报道^[4]近 5 年来，我国西北地区累计遭受到的沙尘暴袭击有 20 多次，造成经济损失 12 亿多元，死亡失踪人数超过 200 多人。仅 1993 年 5 月 5 日的一次特强沙尘暴天气过程^[5]就涉及西北 4 省(区)的 18 个地(市)的 72 个县(旗)，造成直接经济损失 5.6 亿元，影响范围约 110万 km^2 。

我国西北地区是沙尘暴高发区，以和田为中心的新疆南部和以民勤为中心的甘肃河西走廊东部是我国西北地区沙尘暴发生频率最高的地区之一^[6]。近年来随着农业生产面积的不断扩大、不合理的农田耕作和对荒漠植被的破坏，荒漠化日趋严重，沙尘暴频繁发生。1993 年 5 月 5 日，甘肃河西地区出现了历史上罕见的特大沙尘暴，横扫西北三省区和内蒙古 72 个县的大约 110 平方公里，造成 85 人死亡，31 人失踪，200 多人受伤，给农牧业造成巨大损失，并使本来很脆弱的生态环境遭受了一次沉重打击^[7]。新疆林业勘察院对新疆荒漠化土地监测的结果显示：新疆 86 个县市，受风沙危害有 76 个县市及 80 个团场，荒漠化土地分布总面积为 7959 万公顷，占全区总面积的 47.70%^[8]。例如 1986 年 5 月，和田发生沙尘暴，直接经济损失在 5000 万元以上^[9]。1998 年 4 月 17-19 日的一场特大沙尘暴，袭击了南、北疆的 12 个地州，有 52 个县(市)300 多个乡镇，使这些地区的农牧业、水利、交通、通讯等设施受到程度不同的危害，直接经济损失近 12 亿元。2001 年兵团农三师受风灾面积 8900hm^2 ，绝产面积 900hm^2 ，造成了巨大的直接经济损失^[9]。

沙尘暴已经严重危害着人民生活和社会、经济的发展,针对沙尘暴的研究意义重大、刻不容缓。

1.2 沙尘暴以及风蚀、尘源研究概况

1.2.1 国外研究概况

沙尘暴是干旱、半干旱地区经常发生的天气现象,国外对沙尘暴的研究起步较早。早在 1921 年 Hankin 首先对印度的“*Andhi*”型沙尘暴的上升和下沉气流进行了研究^[65]。1925 年 Sutton 报导了北非喀土穆地区的黑风若干特征^[66]。Sur(1938), Bhalotra(1954), Lawson(1971)和 Idso(1972)先后对沙尘暴的气候特征等作了多方面的研究^[67, 68]。后来 Idso^[69]又报导了美国亚利桑那州西南部强沙尘暴特征。80 年代以来, Brazel^[70]还进一步总结了亚利桑那州多年来产生沙尘暴的四种天气形势。Jauregui^[71](1989)从时空分布对墨西哥城沙尘暴进行了研究; Yaping Shao^[72]等(1999)对澳大利亚因沙尘暴造成的沙尘排放建立了一个预报模式。澳大利亚八十年代研究了沙尘暴的分布特征和规律,目前主要研究利用沙尘暴的气象资料来测定土壤风蚀。日本利用气象卫星云图分析总结并指出了发生沙尘暴的源地、影响范围,并估算了沙尘暴输送过程中的降尘量。前苏联从 80 年代开始研究沙尘暴与气象因子之间的关系,结果认为单从气候变化很难解释沙尘暴,这一点与加拿大以及非洲、中东等地的很多国家研究沙尘暴得出的结论一致。

土壤风蚀是沙尘暴的危害之一,它的研究是伴随着风沙现象出现而发展起来的。国外土壤风蚀的研究历史和成果大致分为三个阶段。

20 世纪 30 年代前为风蚀研究的萌芽阶段。在 19 世纪末期,人们只是把风蚀看作是一种地质过程,研究仅限地质学领域。Ehrenberg(1847)^[73]记述了由非洲吹向欧洲的粉尘沉积物; Richthofen(1882)^[74]认为中国北方广泛分布的黄土沉积物主要是风蚀所致; Udden(1884, 1896)^[75, 76]首次对风蚀和粉尘问题进行了野外观测和实验研究。美国的 Free(1911)^[77]在相关的文献中涉及到土壤风蚀的已达 2457 篇;科学家开始认识到通过增加土壤湿度,保护地表,增加作物残留物等可降低土壤风蚀。

20 世纪 30 年代以来,风蚀研究有了突破性进展。Bagnold(1941)^[78]通过野外调查和风洞试验,提出了沙粒的运动主要是发生在距地表 100cm 左右的高度范围内。同时,他还创造性地发展了冯·卡门(Von Karman)等的现代流体力学理论,建立了“风沙物理学”理论体系。Bagnold 的代表著作《风沙和荒漠沙丘物理学》标志着土壤风蚀科学研究的开始。Chepil 等研究了土壤颗粒组成、土壤结构等对土壤抗风蚀力的影响。1965 年,Woodruff 和 Siddoway 正式提出了“风蚀方程(WEQ)”^[79],标志着系统的土壤风蚀的理论体系已经初步形成。

60 年代中期至今,是土壤风蚀研究的进一步检验和完善阶段。自 1977 年以来,土壤风蚀作为风沙研究的重要环节,引起了全球对此问题的极大关注,相关的国际性学术

活动明显增多,其中重要的国际会议有四次。80年代以来人们又开始致力于发展综合性的、基于物理过程的风蚀模型。由此可见,国际上土壤风蚀的研究已经经历了定性描述、动力学试验分析和定量模型阶段,形成了比较科学的体系^[80-87]。

早在20世纪30年代,美国西部由于连年遭受“黑风暴”(沙尘暴)袭击,从而推动了各种防治对策方面的研究。经过多年的反思,美国人终于明白,是错误的耕作方式导致的严重后果。于是许多科学家和农民开始探索以免耕、少耕和秸秆残茬覆盖为核心的“保护性耕作技术”。1969年,美国的俄亥俄州做了对比试验,结果春耕地上每公顷有320吨土壤被大风吹走,而免耕地块仅有2吨。随后堪萨斯州立大学研究也表明:在传统耕作法整过的玉米地上,每公顷有264吨土壤因风蚀而流失,而免耕地块的土壤流失量不到0.5吨。之后印第安纳州研究表明:每公顷土地只要有618千克小麦秸秆覆盖地面,就能使土壤流失量降低到不覆盖地块的1/4,500千克的秸秆覆盖地面,能使土壤流失量降低到无覆盖地块的1/10。目前美国有60%的耕地实行了免耕法种植,这种耕作方法不仅收到了良好的生态经济效益,而且有效地遏制了沙尘暴的再度猖獗。

世界许多国家的实践都证明了,采用免耕残茬覆盖技术,当覆盖度达到30%时,可减轻土壤侵蚀50%,增加土壤水蓄水40—80mm,防风蚀能力提高20%以上。因此对农田实行保护性耕作(主要包括作物秸秆覆盖、等高种植、带状种植、轮作、少耕、免耕、垄沟种植等)是治理和减轻沙尘暴的有效措施之一。

1.2.2 我国研究概况

据对深海岩芯研究^[5],早在距今2500~3000万年前就有沙尘暴存在。最早的记录始见于晋张华《博物志》中对沙尘暴的追述^[11]。近代研究首先在第四纪地质学领域开展起来,主要是研究黄土与粉尘沉积^[12]。1934年,马溶之对北京的降尘进行了研究;1958年,张淑媛指出了北京风尘的特点^[11]。气象部门自50年代开始对沙尘暴天气进行观测,70年代末期开始研究^[12]。沙尘暴天气个例的研究是始于徐国昌等^[13]对1977年甘肃河西走廊发生特大沙尘暴的研究,初步揭示了沙尘暴的大尺度天气成因、沙尘输送过程等。80年代沙尘暴的研究逐步深入,90年代研究开始系统化。1993年首次全国沙尘暴天气研讨会的召开,推动了沙尘暴天气研究的进展,同年国家科委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等有关的科技管理部门也相继立项支持对沙尘暴进行研究^[5]。

目前,我国沙尘暴的研究领域主要包括:

(1)从天气气候学角度,运用数理统计等方法对沙尘暴的时空变化和形成原因进行研究的主要有:钱正安^[14]等对我国20世纪50年代以后的沙尘暴气候特征进行了研究,结果表明沙尘暴的发生频数在60~70年代波动上升,80~90年代明显减少,2000年以来又明显增加,未来几年有可能将处在新一轮沙尘暴活跃期。高尚玉^[15]等指出,风沙灾害的加剧是气候干燥背景下,人类大面积发展沙区生产造成的。王式功^[16]等研究了我国沙尘暴的季节和月份变化的特点,沙尘暴天气春季最多,夏季次之,秋季为最少;在月份变

化方面,4月份发生频率最高,3月和5月份次之,9月份最低,沙尘暴主要发生在春季和初夏季节。

(2)利用数值模拟的方式进行沙尘暴的研究。申绍华、陈受钧^[17-18]用二维和三维数值模式研究了沙尘暴辐射强迫的锋生过程及其对锋面环流的影响。程麟生^[19]等运用二维数值模式模拟了西部“93.5”黑风暴的沙尘水平分布和垂直分布。宋振鑫等^[20]分析了“93.5”黑风暴迅速发展的主要能源。

(3)从成分分析的角度,分析沙尘暴的源地、输送量、沉降机制以及沙尘物质的成分和含量^[82-85]。这些研究发现,在沙尘气溶胶的化学成分中,以 SiO_2 含量最高,其次是 Al_2O_3 ,二者之和超过了总量的60%,沙尘气溶胶的粒径范围一般大于 $0.02\mu\text{m}$,以 $0.1\sim 50\mu\text{m}$ 为最多见^[21]。

(4)从沙尘物质条件的角度,研究沙尘暴的沙尘源地。研究表明:全球有中亚、中非、北美和澳大利亚四大沙尘暴多发区,均位于南北半球具有少雨干燥的中纬度大陆性气候地区。我国的沙尘暴发生区是中亚沙尘暴区的一部分^[83]。钱正安等^[14]分析了近50年来我国沙尘暴的分布及其变化趋势,认为沙尘暴天气发生地主要分布在塔里木盆地南缘、河西走廊和阿拉善高原及内蒙古中部三地区;塔里木盆地南缘以民丰至和田为中心,河西走廊以民勤至吉兰泰为中心。

(5)利用卫星云图研究沙尘暴。如郑新江^[22]等研究表明,根据沙尘暴在可见光云图上温度特征等可以确定沙尘暴的高度。徐希慧^[23]发现在可见光云图上沙尘暴区边界比较模糊。江吉喜^[24]应用卫星云图分析了强沙尘暴过程中冷锋前部对流系统及其爬线的云图特征。厉青等^[25]通过可见光波段(1)的域值(0.16~0.4)及中红外波段(20)的域值(308~325 k)的双通道域值叠加法对MODIS数据进行分析,提取出包含沙尘的较大区域,再与1、2、20-31波段的象元叠加得到沙尘暴发生区域。罗敬宁等^[26]构建了可比沙尘强度指数 $I_{\text{csd}}=\alpha \times (e^{\beta R_{1.6}}-1)$,郑新江等^[27]利用沙尘强度指数 $\text{DDI}=\alpha \cdot e^{(\beta \cdot R_{1.6})} \cdot \Delta T$,($R_{1.6}$ 为可见光波段 $1.6\mu\text{m}$ 测得的反射率, α 和 β 为调节因子,一般取值分别为10和0.8, ΔT 为 $3.7\mu\text{m}$ 与 $11\mu\text{m}$ 辐射差值);通过沙尘强度指数进一步可以计算沙尘暴的强度,即水平能见度。

(6)采用激光雷达和光度计研究沙尘暴的光学特性,进行沙尘暴的预测和预报。邱金桓^[28]研究发现北京地区沙尘暴发生后,大气柱气溶胶的光学厚度比发生前要高出20多倍。

(7)从生态学和土地利用/覆盖的角度进行防治沙尘暴方面的研究。史培军等^[29]提出了将防治治沙与产业相结合,发展多种经营。叶笃正等^[30]说明了中国北方沙尘暴的形成,直接受到下垫面资源与环境状况的影响。

我国对沙尘暴土壤风蚀及尘源的研究起步相对较晚。50年代-60年代,我国学者开始围绕着土壤风蚀、风沙活动的自然条件等开展了系统的研究^[31]。70年代及80年代初期有关土壤风蚀的论述只是散见于沙漠学、水土保持和林学研究中。直至1987年,董光荣等率先开展了影响土壤风蚀的若干因素的试验研究。此后刘玉璋等学者利用风洞模

拟土壤结构、植被条件等因子对土壤风蚀的影响等,提出了土壤风蚀的防治措施^[32, 33, 34, 35, 36, 37, 38]。哈斯等在河北坝上地区研究了耕作方式以及不可蚀性颗粒对土壤风蚀的影响,并对土壤风蚀物的理化性质进行了分析与研究^[39, 40, 41]。董治宝等研究了风成沙粒度特征对风蚀可蚀性的影响,并提出了防治土壤风蚀的建议^[42]。黄富祥等研究了毛乌素沙地植被覆盖率与风蚀输沙的关系,建立了纯经验型的回归模型^[43]。90年代以后,土壤风蚀的研究与沙尘暴的研究结合了起来。汪季等^[44]研究表明直径小于0.1mm的颗粒可被大风吹起,悬浮于空中,大气中悬浮的尘埃大都小于0.1mm。朱震达等^[45]指出土壤受风蚀的主要是悬移质的粉尘,成为主要沙尘来源。闫德仁等^[46]研究表明沙尘暴风蚀物的主要物质为小于0.063mm的粉尘,内蒙沙尘暴尘源主要来源于退化草原、活化沙地及裸露坡耕地的地表类型。王旭等^[47]研究表明和田沙尘暴土壤风蚀物绝大部分为<0.1mm的细小颗粒。路明等研究表明0.5-1.0mm之间的颗粒,因其太重,不能离开地面进入风中,而只能在土壤表面滚动,0.1-0.5mm的粒子可被风吹起,随后由于重力作用又落下来。促使它们碰撞其它土壤颗粒并加入到新的土壤颗粒运动中去,这种输送方式叫跃移。跃移颗粒经常伤害植被,是造成植物损失的主要因素。直径0.1毫米的土壤颗粒被大风刮起,可被输送到很远,这种输送方式叫悬浮,悬浮颗粒是影响空气质量的最主要成分。周建忠等^[48]对内蒙浑善达克沙区的沙尘风蚀物研究后得出其90%来自距地表0-60cm的范围之内,农田中潜在起尘物比例高于沙地及其它地表类型。新中国成立后,西北地区作为沙尘暴的多发区,引起了社会各界的关注,但是受一些条件的限制,大多数都集中在对沙尘暴个例的分析:何清等^[49]通过对50年来大风沙尘暴重大灾情资料的分析,表明80年代以来特别是90年代里木盆地风沙灾害的强度及损失具有明显增大的趋势。钱正安^[14]指出新疆以和田为中心的南疆盆地南缘和以民勤为中心的河西走廊东部是我国沙尘暴天气高发区。何清^[50]利用塔克拉玛干沙漠周边17个站两年的气候资料,分析了沙漠地区沙尘暴的地理分布和季节变化特征。王旭,马禹等^[51, 52]首次给出南北疆沙尘暴天气的时空分布特征;向鸣、吕新生、陈勇航^[53]从气象的角度对塔克拉玛干沙漠腹地的局地沙尘暴天气产生的原因进行了初步分析,认为对流发展旺盛是造成局地沙尘暴天气产生的主要原因。李虎、李霞、肖继东等^[54]对塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴卫星云图分析,建立了目视解译和数字解译相结合的解译模式。何清,向鸣等^[55]应用天气学方法、NOAA气象卫星云图等地面资料分析了塔克拉玛干沙漠腹地(1996)出现了两场强沙尘暴灾害性天气的特征。陈洪武等^[56]从气象的角度,对比分析了沙尘暴及大风的时空分布特征,探讨大风对沙尘暴发生的贡献及沙尘暴发生时的最多风向和最低风速指标。李国昌、董安祥等^[57, 58]研究了河西走廊沙尘暴发生历史规律。刘金荣等^[59]研究了河西走廊土壤荒漠化的危机以及可持续发展措施。何明珠、李岩瑛等^[60, 61]研究了河西走廊近50年来河西走廊沙尘暴发生危害及防治措施。

1.3 研究中存在的问题

1.西北沙尘多发区关于沙尘暴的研究多局限在气象学角度,大部分侧重于沙尘暴的气候特征、沙尘暴的个例天气学分析上。对与沙尘暴发生密切相关的下垫面因子,如地表植被覆盖以及这些因素如何影响沙尘暴发生发展问题缺乏系统性的研究。尤其土壤粒径分布是风蚀动力学中计算沙尘垂直通量的重要因子,然而目前关于土壤粒径分布的详细资料较少,这在一定程度上影响了对沙尘起源更深入的研究。

2. 以往的关于土壤风蚀和沙尘暴的沙尘源的问题的认识与研究,更多的只是停留在对沙漠和沙地的观测研究上,对绿洲耕作区的观测研究并不多见。近年来,也有一些学者提出绿洲区退化草地和农田是重要的沙尘暴尘源,但大多是理论推断,缺乏可靠的试验数据加以证实。

3.对土壤风蚀的研究尺度比较单一,多局限在某一特定地表的观测,对潜在尘源总量与沙尘暴的联系研究较少。如何根据西北当地的实际情况,明确当地潜在尘源与沙尘天气的关系,制定切实可行的防治措施,将沙尘暴的危害降低到最小程度,是我国学者共同关心的也是亟待解决的问题。

1.4 本研究的目、意义、创新点

针对西北地区日益严重发生的沙尘暴和浮尘天气,为进一步明确西北地区土壤风蚀特点及沙尘来源,为沙尘暴及荒漠化的科学决策提供依据,本试验在石河子大学与中国农业科学院作物科学研究所的合作下,于2006年至2007年,在新疆塔里木盆地南缘和田以及河西走廊东部武威、民勤进行,这两个地区是西北地区沙尘暴最严重的地区,较能代表西北沙尘多发区的特征。从研究不同地表类型土壤风蚀的基础出发,通过实地取样,研究西北地区土壤颗粒组成特点及其与沙尘天气的关系,通过遥感手段与地面试验相结合,计算沙尘多发地区潜在尘源总量。通过以上研究,可针对西北沙尘多发区不同地表类型土壤风蚀特征以及尘源与沙尘天气的关系,探讨适合西北当地有效的沙尘暴防治措施,为进一步有效的治理土地荒漠化、减少沙尘暴带来的危害提供理论依据和决策建议。

第二章 试验方案与研究方法

2.1 试验区概况

2.1.1 新疆和田试验区概况

新疆和田地区（北纬：34°~38°，东经：77°30′~84°30′）南邻昆仑山，西抵喀拉昆仑山和帕米尔高原，北邻浩瀚的塔克拉玛干沙漠，属暖温带极端干旱荒漠气候，降水稀少，蒸发强烈，平均年沙尘暴日数为25~35天。绿洲区内主要种植作物有冬小麦（生长时间为9月-次年6月末、播种面积 $6.75 \times 10^5 \text{hm}^2$ ）、玉米（生长时间为6月末-10月初，播种面积 $6.24 \times 10^5 \text{hm}^2$ ）、苜蓿（全年生长，播种面积 $4.36 \times 10^5 \text{hm}^2$ ）和棉花（生长时间为4月-10月，播种面积 $2.18 \times 10^5 \text{hm}^2$ ）等，沙漠与绿洲之间的过渡带主要由林带、灌丛、弃耕地、草地和湿地组成，绿洲西、北部被面积广大的沙漠包围。

2.1.2 河西走廊东部试验区概况

河西走廊东部南面为祁连山，东南和西北方面分别被腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠包围，西接千里河西走廊。该地区干旱少雨，风大沙多，地表植被稀少，生态系统十分脆弱，特别是每年的冬春季节，地表裸露，在强劲的风力作用下，易造成严重的土壤风蚀。绿洲区农作物以一年一熟春玉米、春小麦为主，小麦-玉米间作、南瓜、大豆、棉花等为辅，2005年7月17日沙尘暴发生时正值玉米生长期，小麦田收割后地表裸露。

2.2 研究内容

本研究从土壤风蚀的角度出发，在沙尘暴天气情况下，通过野外观测、采样和室内分析，比较了西北沙尘多发区主要地表类型、耕作栽培条件下土壤风蚀的变化情况，分析了不同地表类型土壤的粒径分布特点和规律，结合基于NDVI的卫星影像分析，明确西北沙尘多发区新疆和田以及河西走廊东部沙尘来源；根据试验的相关数据和结论，探讨并提出适合西北地区的以防治土壤风蚀和生态环境治理为理论指导的综合防治沙尘暴、浮尘和扬沙天气的措施。为改善西北地区现有的生态环境，加速区域综合开发、巩固边疆，实现区域生态、经济、社会可持续发展提供理论依据和技术支持。

2.3 技术路线

本试验技术路线如图 1 所示：

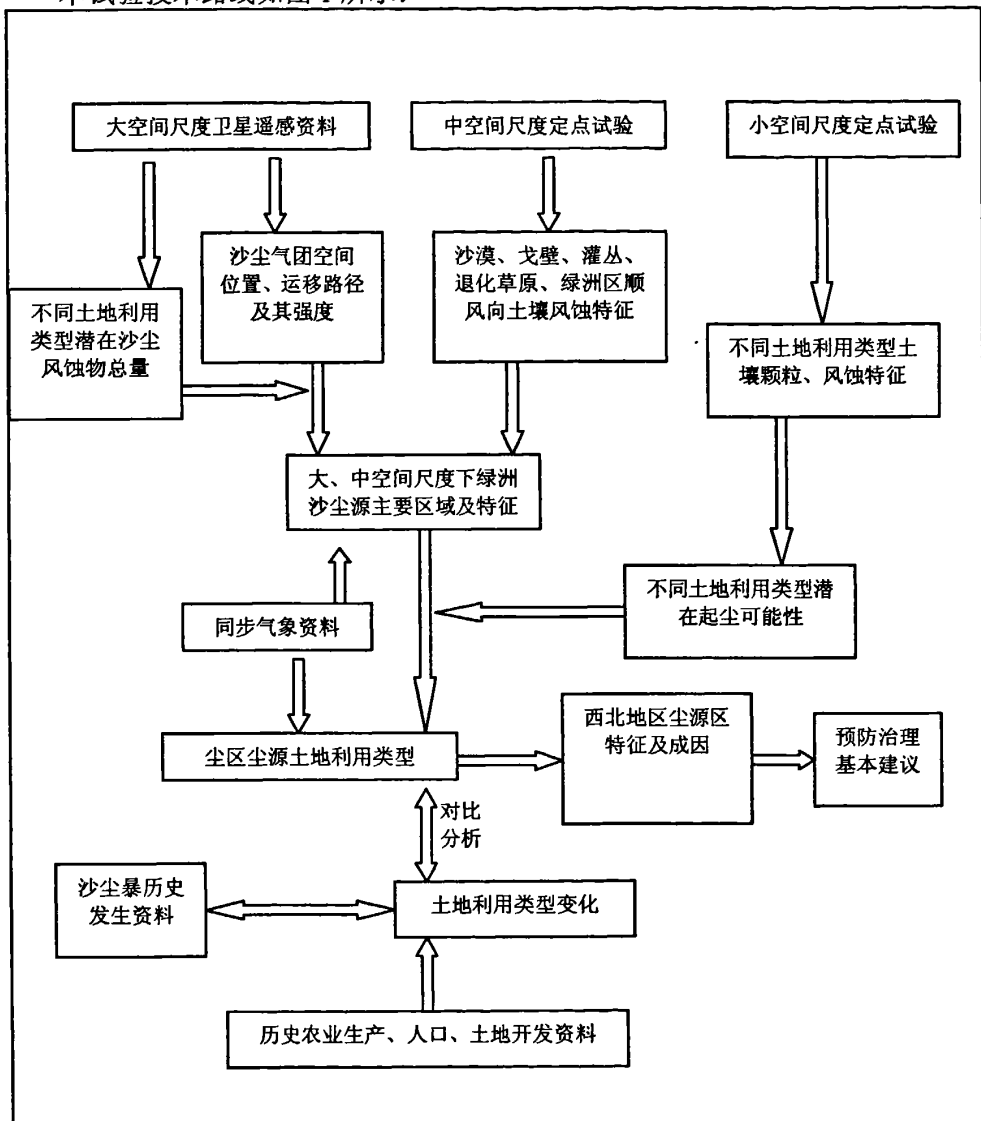


图 1：西北地区土壤风蚀及潜在尘源研究技术路线

2.4 试验设计与方法

2.4.1 建立试验基地和观测点

2.4.1.1 和田试验区

选取和田地区三种典型地表沙漠、过渡带和绿洲区，于 2007 年春季在中、小两种空

间尺度同时布点观测。

中尺度布点设置：分别选取沙漠、过渡带、绿洲区为观测点，在沿和田沙尘暴主风向的沙漠（雅瓦乡西北部，北纬 $37^{\circ}25'$ ，东经 $79^{\circ}26'$ ）、过渡带（墨玉县雅瓦乡驻地，北纬 $37^{\circ}24'$ ，东经 $79^{\circ}30'$ ）、绿洲区（墨玉县城：北纬 $37^{\circ}16'$ ，东经 $79^{\circ}44'$ ，和田市区：北纬 $37^{\circ}07'$ ，东经 $79^{\circ}44'$ ）一线设 4 个观测点，每点三个重复，各点的具体位置及其相对距离如图 1 所示。采用美国 BSNE 集沙仪，沙漠样点设置于高度相近的高大沙丘顶部，其它各点在高度为 10m 左右的楼顶布置，各点四周无其他高大物体，每点采用固定在集沙仪支架上的相同规格塑料小桶收集降尘（图 3-A）。

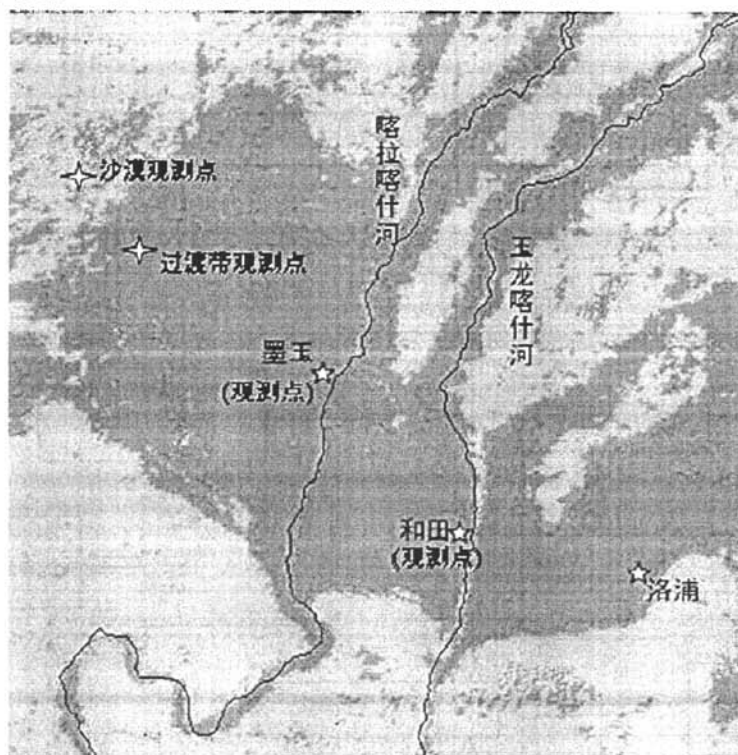


图 1 和田中尺度试验点设置示意图

小尺度布点设置：选取当地 3 种典型地表类型沙漠、弃耕地、农田（农田样点选择当地作物播种面积最大的冬小麦田，下同）设集沙仪，3 种地表均垂直于主风向的同一直线。集沙仪上的集沙盒距地面高度分别为 40cm、80cm 和 120cm。每种地表类型设 3 个重复。同时，在沙漠、弃耕地和农田中设点，每点依风向设上下风口测试，上下风口相距 200m，集沙盒距地面高度为 2m，每个地表类型 3 个重复（图 2、图 3-B）。

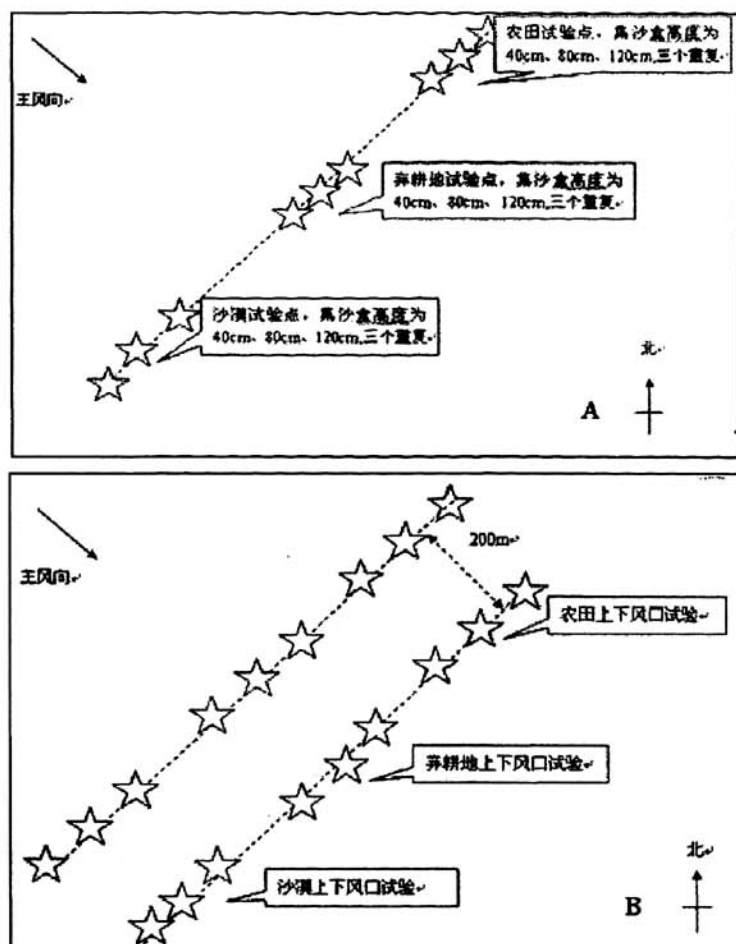


图 2: 和田小尺度观测点设置图

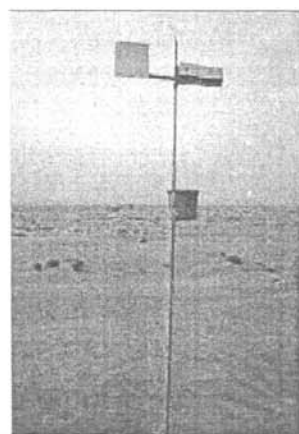
注: A: 不同地表输沙量试验示意图 B: 上下风口输沙量试验示意图



和田

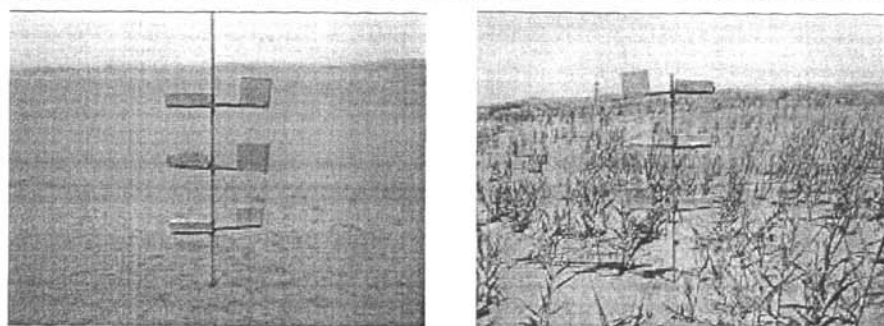


墨玉



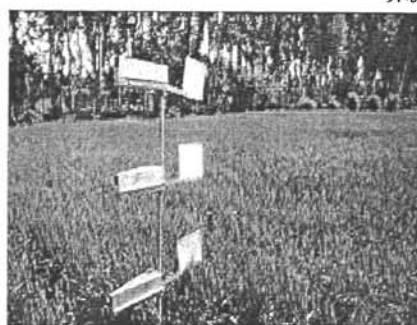
沙漠

A: 中尺度输沙及降尘试验



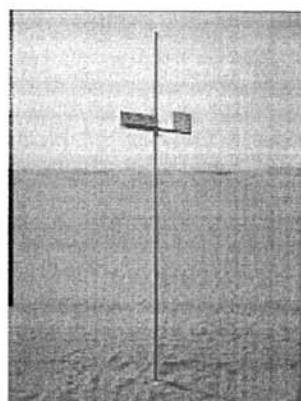
沙漠

弃耕地



农田

B: 小尺度不同高度输沙试验



沙漠



弃耕地



农田

C: 小尺度上下风口试验

图 3: 和田中、小尺度试验集沙仪设置图

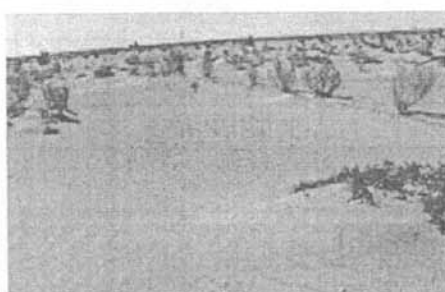
2.4.1.2 河西走廊东部试验区

试验于 2006 年 9 月、2007 年 6 月两次采取土样, 取样区域包括武威凉州区、民勤县、天祝县、山丹县、金昌市 及内蒙古阿拉善右旗, 行程 1000 余公里, 取得农田、林地、草地土壤样品 15 个, 戈壁、灌丛、退化草原土壤样品 23 个, 沙漠土壤样品 10 个 (图 4、图 5)。



图例 ■ 植被 ■ 戈壁 ■ 沙漠 ■ 雪山 ■ 第一次取样点 ■ 第二次取样点

图 4: 河西走廊东部取样点位置图 (TM 图像 7、3、2 波段合成)



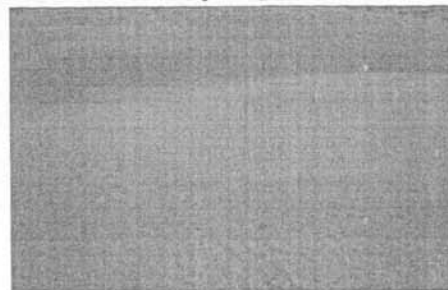
灌丛沙堆



戈壁



草原



沙漠



图 5: 河西走廊东部不同地表取样地点

2.4.2 室外试验方法

2.4.2.1 风蚀量收集

用 BSNE 集沙仪, 选择典型风沙天气同时收集每次大风暴后的不同地表类型不同高度的输沙量, 将土壤风蚀物收集于牛皮纸袋或塑料自封袋内, 带回实验室称重。取样操作规程:

(1) 非沙尘暴天气, 在每天 10:00 将设备安装好, 下午 6:00 采集沙样后将设备收回。

(2) 特大沙尘天气 (风速 10m/s 以上或能见度低于 500m), 需要动态收沙, 各试区根据实际情况统一规定采沙时间, 然后每 2 小时取样一次, 中间间隔 15 分钟, 连续取三次。

(3) 沙尘暴天气动态样时, 各测试点应提前做好准备, 每套采样器安排一人, 规定好开始时间、取样时间、采样器回装时间, 同时每人一个纸箱, 一只记号笔, 一个小毛刷, 若干塑料自封袋, 取样要严格在纸箱内操作, 避免沙样损失。

(4) 将采样器取下来, 切记不要倒置, 以免丢失沙样;

(5) 取下采样器上的密封带将采集器与集沙盒分开, 将收集的沙样倒入牛皮纸袋或自封塑料袋内;

(6) 封好纸袋或塑料袋, 并在袋上对应地标上采样器上的标记号以及采沙时间;

(7) 收沙完毕后, 将采样器安好放回原处; 将沙样带回实验室后凉干称重、分析。

2.4.2.2 土壤样品采集

利用取土铲取距地面 0-5cm 土壤, 每种地表按 S 型取 5 点, 装入塑料自封袋, 带回实验室自然风干后过筛、称重。GPS 记录取样点经纬度及海拔数据。

2.4.3 室内分析方法

土壤风蚀物称重。带回实验室的土壤风蚀物凉干 1—2 天后用 1/100 感量的电子天平室内称重。不同地表类型在不同的沙尘天气, 土壤风蚀物重量也不同, 根据结果具体分析。

土壤理化性质的测定。试验开始前,用取土环刀在不同地表的土壤表层(0—5cm)取土样,测定土壤容重、有机质含量、全氮、全磷、全钾。每种地表按S型取5点。其中采用重铬酸钾滴定法测定有机质含量,全氮采用凯氏定氮法测定,全磷采用比色法测定,全钾采用火焰光度法测定。

土壤的机械组成。采用GS-86型电动振筛机,分别对风蚀前不同试验地表层5cm深的土样,以及沙尘天气下采样器里的土壤风蚀物进行筛分,分别测定风蚀物在粗沙(粒径0.5—0.25mm)、细沙(粒径0.25—0.1mm)极细沙(粒径0.1—0.05mm)、粉粒(粒径0.05—0.02mm)和粘粒(粒径<0.02mm)的百分含量。

作物植被与残茬覆盖度的测定。采用计算机图象判别法测定不同类型地表覆盖率,分别在不同类型地表按“S”型用数码相机拍摄覆盖情况,然后输入计算机,利用Matlab6.5软件在计算机上分析处理照片,对地表植被进行识别,计算作物植被覆盖度。在多样地内呈“S”形设置3个 $1\times 1\text{ m}^2$ 的样方进行植被调查,测量植被的高度,地上生物量采用刈割法,在每种地表按“S”随机取3点,每点取 1 m^2 地表覆盖植被或秸秆残茬,然后带回实验室烘干称重测植物的覆盖量;用Matlab6.5软件分析处理照片求得植被的覆盖度;实验的有关数据采用SAS数据分析软件进行相关的数据处理、分析,总结实验结论。

遥感影像分析。选取AQUA-MODIS卫星影像,影像包括新疆和田地区、河西走廊东部及其附近巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、河西走廊耕作区等。使用ENVI4.3软件,经过投影变换、大气、辐射校正,计算各像元NDVI(Normalized Difference Vegetation Index,下同)值。根据各地表类型NDVI差异,并通过实地考察样点验证,对当地土地利用类型分成三大类,分别为绿洲耕作区(NDVI大于0.25)、戈壁、灌丛、退化草原(NDVI 0.08—0.25)、沙漠(NDVI小于0.08)并求得各地表类型总面积。

第三章 和田、河西走廊东部沙尘天气特征分析

3.1 和田沙尘天气特征

3.1.1 年发生规律

从和田地区 40 余年来沙尘天气出现日数的年际变化趋势可知 (图 6), 40 年来和田地区沙尘天气年发生次数总体上呈略有下降趋势, 在局部年份有上升趋势, 沙尘天气发生的 3 个高峰在 1966 年、1976 年和 1985 年, 分别发生 403 次、384 次和 370 次。1965 年以来, 平均每年浮尘 212 次, 扬沙 50 次, 沙尘暴 22 次, 到 2006 年, 全年沙尘天气达 154 次, 沙尘天气的频繁发生, 严重影响着和田人民的生产和生活。

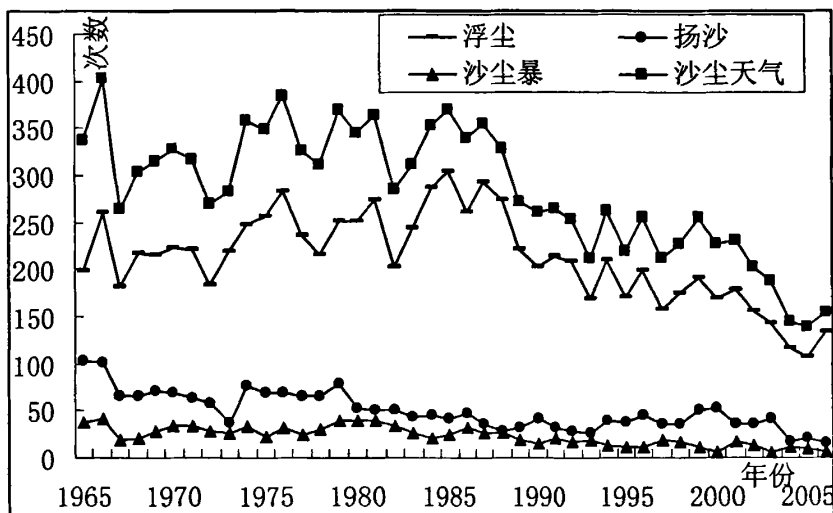


图 6: 1965 年来和田年沙尘天气发生次数图

从年降水量与年沙尘天气发生次数关系上看 (图 7), 1965 年到 1986 年, 除 1972 年外, 年均降水量均在 45mm 以下, 平均为 30.19mm, 1987 年到 2006 年以来, 和田年降水量有增多趋势, 平均达到 47.48mm。降水可以使地表湿润, 提高土壤抗风蚀能力, 同时促进地表植被生长, 减少潜在尘源总量, 对沙尘天气发生有一定缓解作用。

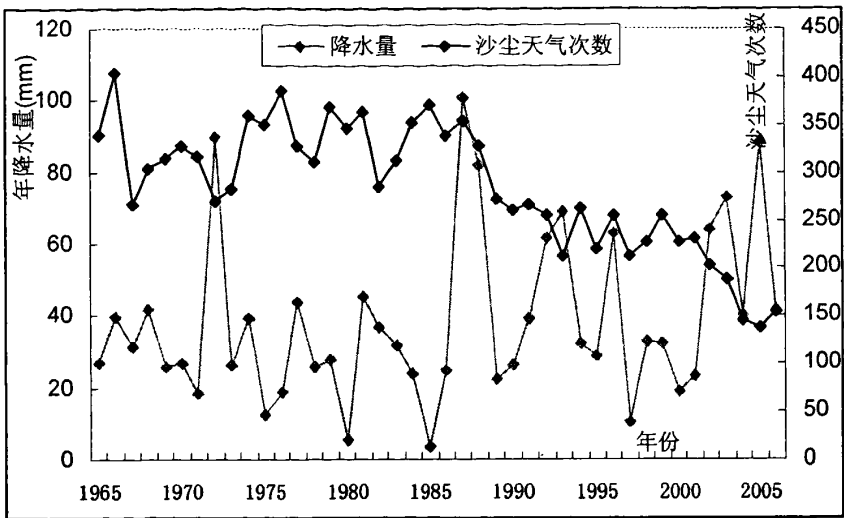


图 7：1965 年来和田沙尘天气发生次数及降水量图

3.1.2 月发生规律

由图 8 可知和田沙尘暴集中出现在 4~6 月，1960 年以来分别共发生 203 次、263 次和 231 次，三个月之和占总发生次数的 55.28%，4、5、6 月份平均沙尘暴发生次数分别达到 4.3 次、5.5 次和 4.9 次，6 月份到 12 月份沙尘暴发生日数逐渐减少。

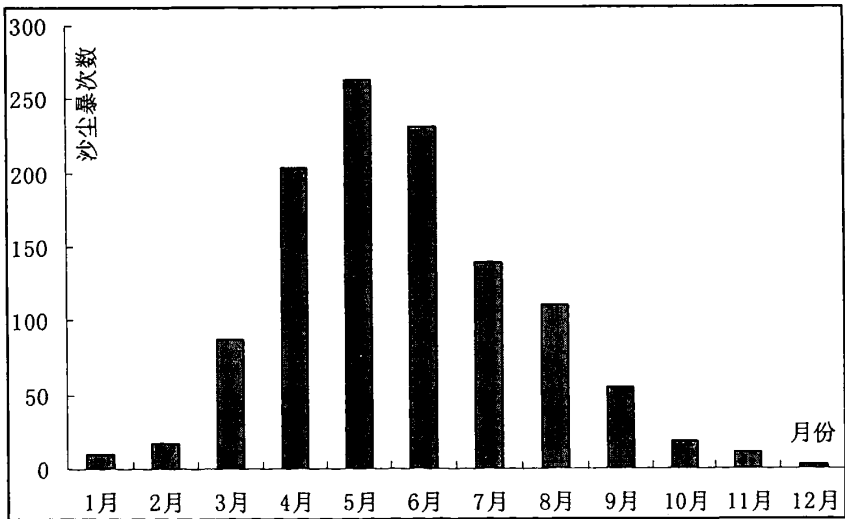


图 8：和田 1960 年以来各月沙尘天气发生总数图

3.1.3 和田沙尘天气特征原因分析

和田地区沙尘天气属于春秋频繁型。这是因为春季该地区气温回升快，近地面气层很不稳定，局地对流旺盛，锋面活动十分活跃极易形成大风天气，这种强风(冷空气)和

局地热力不稳定性条件相互配合,最易出现大气层结不稳定状态。春季该地区降水稀少,蒸发强烈,大量裸露干旱的下垫面(包括沙漠、戈壁、裸露农田等)为沙尘暴提供了丰富的沙尘物质。地表回暖解冻后在无地表覆盖的情况下,就很容易将沙尘物质随上升的气流带入空中,并向下风向输移,出现沙尘暴天气。夏季雨水相应增多,风力减弱,大面积种植的庄稼使得地表覆盖度提高,沙尘暴发生的机率也随之减小。进入9月份秋收后,地表零星裸露,沙尘暴又开始增加。不过,冬季由于地表封冻,一般来说大风难以将冻结成块的沙土吹离地面而形成沙尘暴天气过程。相对于春季,沙尘暴发生的天数明显减少。该地区扬沙和浮尘天气的时间分布特征与沙尘暴天气基本一致,只是冬季因受大风影响,扬沙和浮尘天气时有发生,发生的次数较多。

表 1: 1956 年以来和田主要气象因子与沙尘天气发生次数表

年份	平均气温 (°C)	降水量 (mm)	平均风速 (m/s)	大风次数 (次)	沙尘暴次数 (次)	浮尘日数 (d)
1956-1960	12.3	32.4	2.0	4.0	39.0	166.8
1961-1965	12.2	31.2	2.1	13.0	36.8	185.4
1966-1970	12.1	33.0	2.1	10.0	28.2	219.6
1971-1975	12.1	37.1	2.2	7.4	29.2	225.2
1976-1980	12.6	24.2	2.2	4.2	32.8	247.8
1981-1985	12.3	28.1	1.8	4.0	28.6	261.6
1986-1990	12.6	51.2	1.4	3.2	23.4	250.4
1991-1995	12.3	46.1	1.4	1.6	15.8	194.2
1996-2000	12.3	31.5	1.9	1.0	12.8	178.4
平均	12.3	35.0	1.9	5.4	27.4	214.4

由表 1 可知,从影响和田地区沙尘天气的各气象因子来看,1956 年以来年平均气温变化差异不大,而平均风速及年平均大风次数都呈下降趋势,其中,年大风次数变化最为明显,由 1961-1965、1966-1970 年的平均 10 次以上降低到 1996-2000 年的平均 1 次左右。年平均风速及年大风次数的降低减少了和田沙尘暴的动力来源,对减少和田地区年沙尘天气危害有重要作用。

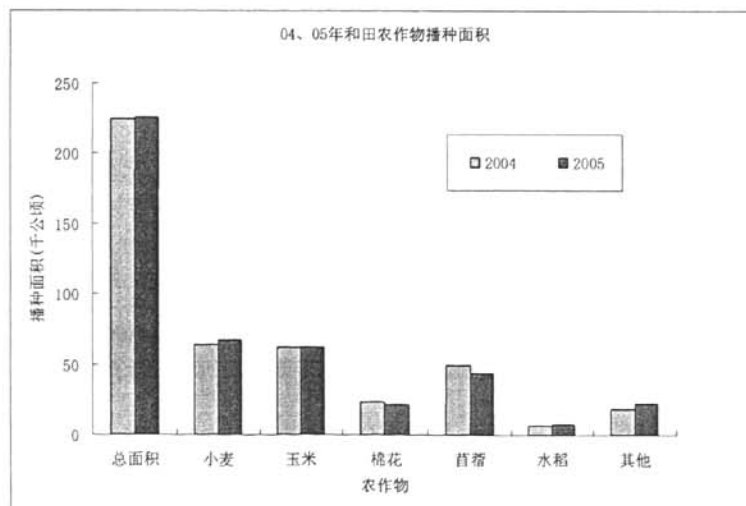


图 2: 2004、2005 年和田农作物播种面积图

从农作物播种面积及耕作制度变化上来看,随着当地居民对生态环境及沙尘天气危

害的重视,推广冬小麦、苜蓿等在春季沙尘多发季节植被覆盖度高的农作物,以及近年来保护性耕作技术的逐步推广,减少了当地潜在的沙尘暴尘源总量,减弱了沙尘天气的危害(图 2)。

目前,和田地区沙尘天气发生频率及危害总体上呈缓慢下降趋势,但在 1996-2000 年,年沙尘暴发生次数达到 12.8 次,浮尘日数达到 178.4 次,和田地区仍然是我国沙尘天气发生最频繁的地区之一,防治沙尘任重而道远。

3.2 河西走廊东部沙尘天气特征

3.2.1 河西走廊东部年发生规律

如图 10 所示,民勤县作为河西走廊东部地区乃至全国沙尘天气发生最频繁的地区之一,从总体上看,建国以来沙尘天气发生次数呈缓慢下降趋势。1949 年到 1964 年为第一阶段,年沙尘天气发生次数一直处于较高水平,平均达到 40 天以上。1965 年到 1988 年为第二阶段,年沙尘天气发生次数略有下降,平均达到 35 天左右。1989 年至今为第三阶段,年沙尘天气发生次数平均在 15 天左右。

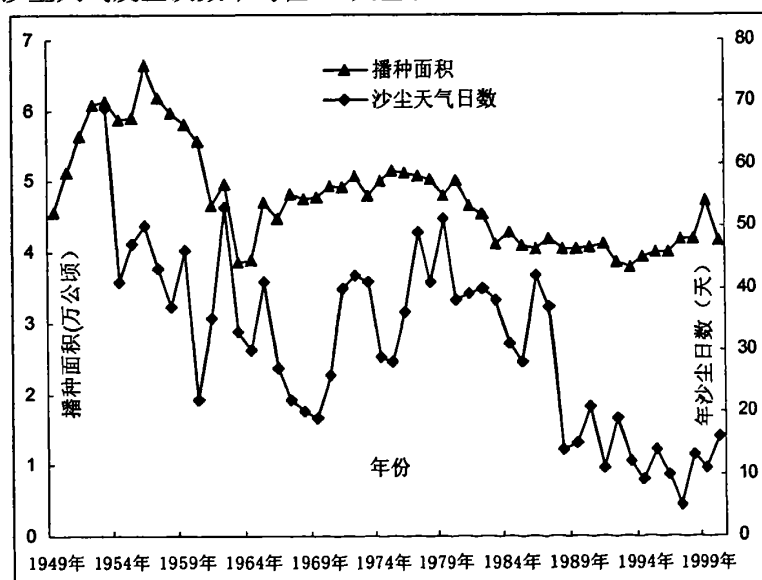


图 10: 河西走廊东部民勤县 1949 年以来年沙尘天气发生次数及播种面积表

3.2.2 河西走廊东部沙尘天气特征原因分析

气候干旱以及频繁大风是沙尘暴频发的自然条件,河西走廊东部地处青藏高原东北侧,由于高原的阻挡作用,使海洋暖湿气流不易到达该区,导致了该区的干旱气候。长期的干旱加剧了沙漠化进程,使该区产生大片沙漠以及其他地表裸露、土质疏松的区域,

构成发生沙尘暴的下垫面条件。该区处于冷空气入侵的必经之地,其中河西走廊长约 1000 km,南为蜿蜒千里的祁连山,北部为合黎、龙首山等低山区,中间形成狭窄的“走廊”地形。南北两山之间平均宽度 100~200 km,最狭窄处 100 km 左右,冷空气进入后,在其“狭管效应”的作用下,风力可被加速 1.6 倍,该地区频繁的大风天气是沙尘暴形成的动力条件。且该地区地势相对较低,沙尘到达后受到祁连山以及附近其他山脉阻挡后,大量沙尘降落于该地区。

沙尘暴的发生也与历史、人为因素密切相关,河西走廊东部民勤绿洲是一个拥有 4 千多年历史的古老绿洲,从公元前 205~1567 年,每 50 年沙尘天气发生次数平均为 2~3 次,从 16 世纪到现在变化趋势总体上是不断增加,发生的高峰期都出现在农业大开发,人口数量剧增的时期。清朝是该地区生态恶化的开始,在道光五年(1825 年),当地人口达到 18 万之巨,此时期也是历史上沙尘天气发生最严重的时期。在 1917 年,当地人口锐减至 11 万人,土地获得一定休养生息,沙尘暴有所缓解。

从图 10、11、12 中可以看出,到 1954 年,该地区人口突破 20 万大关,1958 年农田总面积达到 6.8 万公顷,沙尘天气再次频繁的光顾该地区。近年来该地区人口剧增,工农业用水大量增加,使本来就匮乏的水资源更加紧缺。近 50 年来人为开垦荒地,增加农作物播种面积,大面积开发新绿洲,使现有人工绿洲的面积约为旧绿洲的 3 倍,过量的、不合理、不科学的垦荒种粮,毁林开荒,滥伐林木等现象,减少了自然植被面积。地表径流量明显减少,由 50 年代的年均 6 亿 m^3 减少到现在的不足 1 亿 m^3 ,时,大量超采地下水使地表水位下降了 15~25m,地下水位下降导致流域内大量植被死亡,土地裸露,沙漠化加剧,导致了沙尘暴的频繁发生。

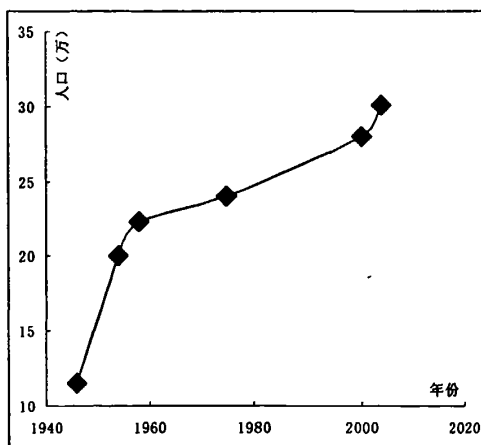


图 11: 民勤 1949 年以来人口变化图

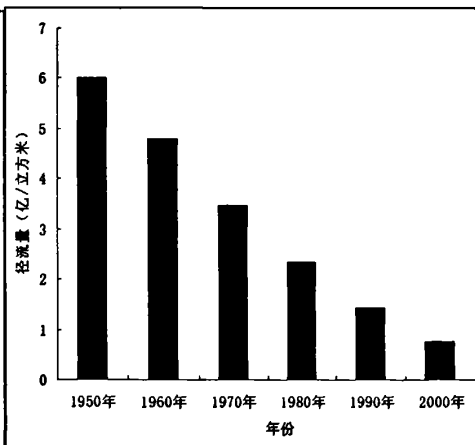


图 12: 民勤县 1949 年以来径流量变化图

第四章 和田不同地表类型风蚀研究

4.1 和田不同地表颗粒组成

由图 13 可知,和田附近主要的土地利用类型都含有丰富的 $<0.1\text{mm}$ 的可悬浮物质,且当地极端干燥,土质疏松,在满足起尘的动力条件后,均可成为沙尘暴的潜在尘源。沙漠中颗粒主要集中在 $>0.1\text{mm}$ 和 $0.1\text{mm}-0.045\text{mm}$,其中 $0.045\text{mm}-0.1\text{mm}$ 的成分占70%左右,在风力条件满足时,很易造成局部沙尘暴危害。过渡带(弃耕地、林带)、农田中 $<0.1\text{mm}$ 的可悬浮成分高于沙漠,达到80%以上,且农田、弃耕地由于耕作原因一般土质疏松,抗风蚀能力差,而且一般位于绿洲边缘或绿洲内部,易对绿洲产成危害。

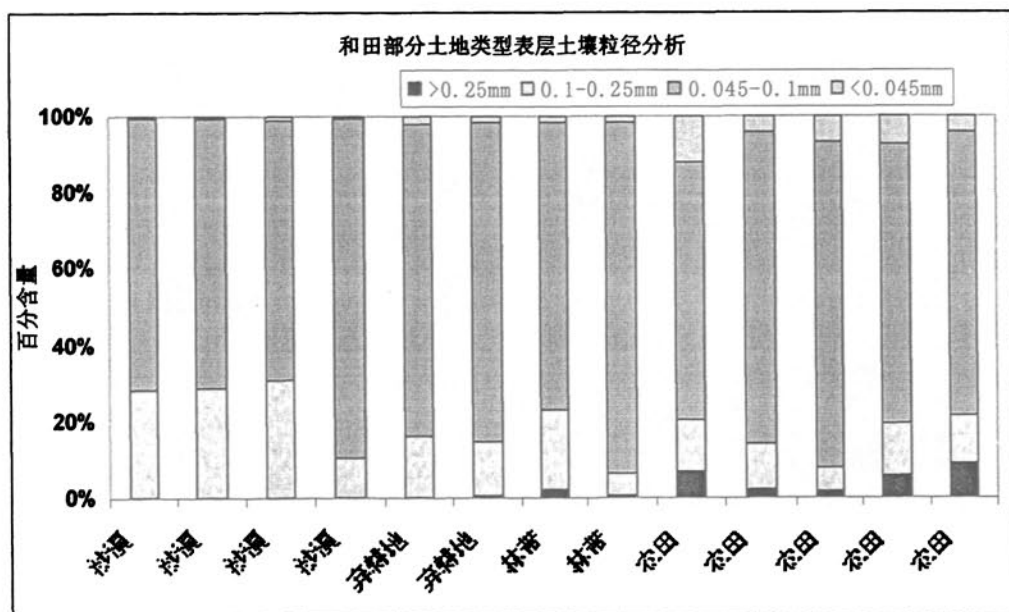


图 13: 和田部分土地类型表层土壤粒径组成

4.2 中尺度土壤风蚀特点

4.2.1 和田及附近区域 NDVI 分析

2007 年 5 月份 MODIS 卫星图像提取的 NDVI 值 (Normalized Difference Vegetation Index, 下同) (图 14), 沙漠样点到和田市区的 NDVI 变化趋势 (图 15)。NDVI 是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植被分布密度呈线性相关。从 NDVI 变化图中可以确定沙漠样点到和田观测点的覆盖度总体上呈上升趋势。

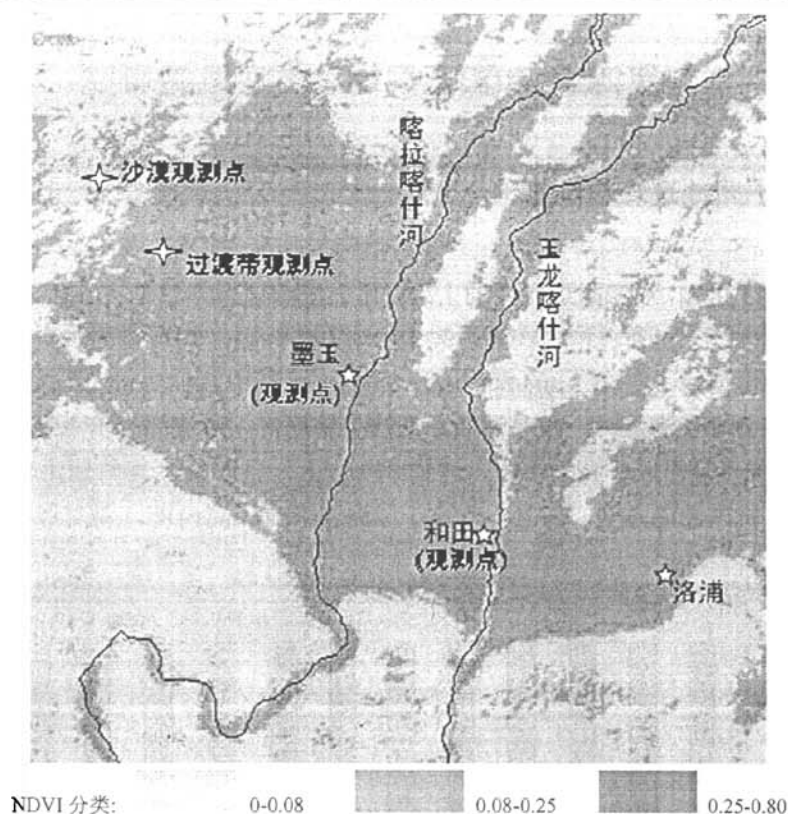


图 14: 和田地区 NDVI 分类及观测点设置图

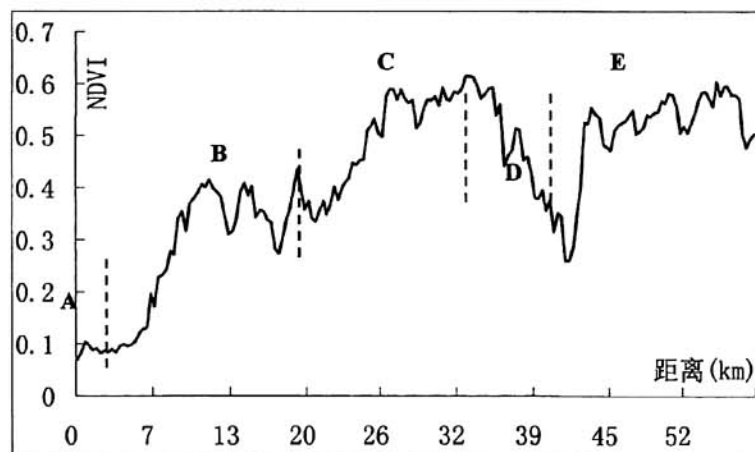


图 15: 沙漠到和田市观测点 NDVI 变化图

注: A 区为沙漠观测点所在区域; B 区为过渡带观测点(雅瓦)所在区域; C、E 区分别为绿洲观测点(墨玉、和田)所在区域; D 区为墨玉、和田之间喀拉喀什河谷及附近水稻田, 由于水稻田尚未播种导致 NDVI 低于绿洲其他区域。

4.2.2 中尺度不同地表输沙及降尘分析

如图 16 所示, 在沙漠、过渡带(雅瓦观测点距沙漠观测点 6km)、绿洲(墨玉、和

田观测点分别距沙漠观测点 31km、55km) 上, 输沙量分别为 26.28g、3.82g、2.98g 和 1.71g, 降尘量分别达到 8.08g、2.77g、1.30g 和 0.87g, 可以分析出在沙尘暴进入绿洲后, 输沙及降尘量均呈逐渐减小趋势, 在距沙漠 55km 的和田试验点, 输沙及降尘量达到各观测点最小值。其中, 沙漠输沙量、降尘量分别与其他各点输沙及降尘存在极显著差异。

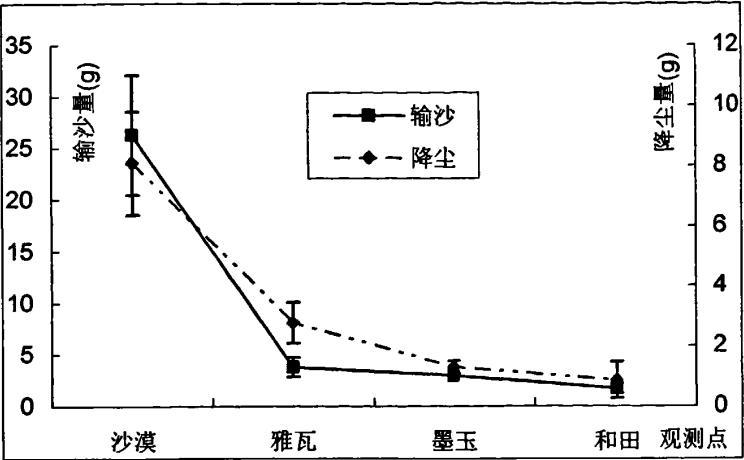


图 16: 中尺度不同地表输沙量与降尘量

4.3 小尺度不同地表风蚀量分析

4.3.1 不同地表植被覆盖度

经过基于 matlab 的自编图像处理软件提取地表覆盖度, 沙漠、弃耕地、农田平均覆盖度分别为 0、23%、82%, 上下风口试验中沙漠、弃耕地、农田平均覆盖度分别为 0、24%、84% (表 2)。

表 2: 不同地表类型覆盖度

地表	不同地表不同高度试验			上下风口试验		
	重复	覆盖度	平均	重复	覆盖度	平均
沙漠	I	0	0	I	0	0
	II	0		II	0	
	III	0		III	0	
弃耕地	I	31%	23%	I	26%	24%
	II	20%		II	25%	
	III	18%		III	21%	
农田	I	84%	82%	I	82%	84%
	II	77%		II	81%	
	III	85%		III	88%	

4.3.2 不同地表、不同高度风蚀量

如表 3 所示, 三种不同地表类型的植被覆盖度差异明显, 不同地表类型的输沙量也有明显差别: 输沙量随着覆盖度的增加逐渐下降, 随着高度的增加逐渐下降。平均地表覆盖度为 82% 的农田中输沙量不到沙漠观测点输沙量的 10%。在 40cm、80cm、120cm 三种高度条件下, 各地表输沙量存在显著差异, 在 40cm 高度条件下, 各地表输沙量差异极显著, 在 80cm 以及 120cm 高度水平下, 农田输沙量与沙漠、弃耕地输沙量差异极显著, 由此可见, 高覆盖度农田植被可明显增强土壤抗风蚀能力。

表 3: 不同地表类型不同高度输沙量分析

地表类型		40cm 输沙量 (g)	40cm 平均	80cm 输沙量 (g)	80cm 平均	120cm 输沙量 (g)	120cm 平均
沙漠	I	61.59	63.70Aa (Aa)	46.72	46.36Aa (Bb)	40.29	42.68Aa (Bb)
	II	63.74		45.7		42.01	
	III	65.77		46.66		45.74	
弃耕地	I	34.5	46.26Bb (Aa)	23.59	34.10Ab (Aab)	22.38	31.90Ab (Ab)
	II	49.39		38.01		36.52	
	III	54.89		40.71		36.8	
农田	I	4.51	4.43Cc (Aa)	3.92	3.94Bc (Aab)	3.7	3.63Bc (Ab)
	II	4.77		4.19		3.42	
	III	4.02		3.7		3.78	

注: 不同覆盖度输沙量多重比较限于同一列, 不同高度输沙量多重比较限于同一行(括号内), 不同大写字母表示 0.01 水平下显著、不同小写字母表示 0.05 水平下显著。

表 3 中, 各观测点在 40cm、80cm、120cm 三个高度输沙量均随距地面高度增加而呈逐渐减少趋势。在沙漠观测点中, 40cm 输沙量与 80cm、120cm 输沙量存在极显著差异; 弃耕地、农田中 40cm 输沙量与 120cm 输沙量存在显著差异。

4.3.3 不同地表不同高度风蚀物机械组成

植被不仅可以提高土壤抗风蚀能力, 而且对风蚀物粒径组成也有一定影响。如图 17 可知: 在距地表 80cm 沙漠、弃耕地、农田中, $>0.1\text{mm}$ 的成分随着覆盖度的增加而减少, $<0.045\text{mm}$ 的成分随着覆盖度的增加而增加, 40cm 数据也有此趋势。由于植被覆盖提高了下垫面抗风蚀能力, 风蚀物中来自外源的成分增加, 因为外源风蚀物经过了大颗粒成分的沉降, 导致小颗粒成分特别是 $<0.045\text{mm}$ 的成分比例上升。

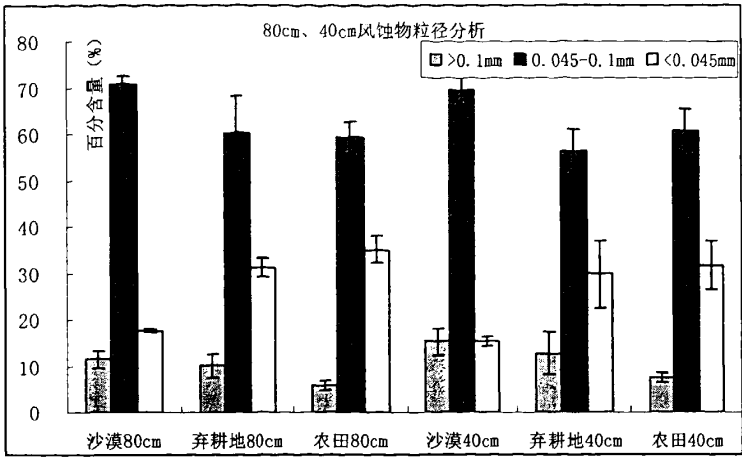


图 17: 80cm、40cm 风蚀物粒径分析

4.4 上下风口土壤风蚀变化

与不同高度输砂量的研究相同,在不同地表类型的上风口和下风口输沙中,各观测点输沙量都为沙漠>弃耕地>农田,三种地表类型的输沙量差异均达极显著水平($P<0.01$)。沙漠、弃耕地、农田观测点上下风口输沙量均值分别为(38.57g、39.49g; 18.40g、19.86g; 4.46g、4.36g),沙漠观测点下风口输沙量比上风口增长2.39%,弃耕地下风口输沙量比上风口增长7.90%,农田下风口输沙量比上风口减少2.24%。

表 4: 不同覆盖度上下风口输沙量分析

地表 类型	上风口输沙(g)				下风口输沙(g)				上下风 口变化
	I	II	III	平均	I	II	III	平均	
沙漠	42.15	35.42	38.13	38.57Aa	43.74	37.16	37.57	39.49Aa	2.39%
弃耕地	18.56	15.42	21.23	18.40Bb	18.9	17.11	23.56	19.86Bb	7.90%
农田	4.93	4.46	3.98	4.46Cc	4.84	4.4	3.83	4.36Cc	-2.24%

注: 多重比较限于同一列, 同列中不同大写字母表示 0.01 水平下显著、不同小写字母表示 0.05 水平下显著。

第五章 河西走廊东部潜在尘源研究

5.1 河西走廊东部不同地表颗粒组成

如表 5 所示,在河西走廊东部主要地表类型中,绿洲耕作区及戈壁、灌丛、退化草原中大于 1mm、0.5 至 1mm、0.1 至 0.5mm、小于 0.1mm 的土壤百分含量分别为 15.31%、15.26%、30.27%、39.16%和 22.97%、9.17%、35.74%、32.12%。而沙漠中颗粒组成相对集中,0.1 至 0.5mm 的颗粒占 84.72%。从小于 0.1mm 的易起尘颗粒含量来看,绿洲耕作区最高,达到 39.16%,戈壁、灌丛、退化草原次之,达到 32.12%,沙漠最少,仅占 13.66%。

表 5: 河西走廊东部及附近区域主要地表类型表层土壤颗粒组成表

地表类型(颗粒组成单位为%)	>1 mm	0.5—1mm	0.1—0.5mm	<0.1mm
绿洲耕作区	15.31	15.26	30.27	39.16
戈壁、灌丛、退化草原	22.97	9.17	35.74	32.12
沙漠	0	1.62	84.72	13.66

5.2 潜在尘源总量

5.2.1 基于 NDVI 的河西走廊东部主要地表分类

NDVI 是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植被分布密度呈线性相关。利用公式 $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$, (NIR 为近红外波段、R 为红色波段),使用 ENVI4.3 计算得到 2005 年 7 月 15 日河西走廊东部沙尘源区 NDVI 值,根据 NDVI 值差异区间得到主要地表类型分类图(图 18)。

经过分类,求得河西走廊东部沙尘暴尘源区,绿洲耕作区、戈壁、灌丛、退化草原及沙漠总面积分别约为 61433km²、140448km²和 184577km²。

5.2.2 河西走廊东部潜在尘源总量计算

根据各地表类型 0—5mm 表层颗粒组成,估算出各地表类型 0—5mm 表层土壤潜在沙尘总量,其中,戈壁、灌丛和退化草原潜在尘源量最大,达到 17.68 亿 m³,主要分布在河西走廊东部的西北方及西方。绿洲耕作区和沙漠潜在沙尘源总量分别达到 7.22 亿 m³、和 7.57 亿 m³(表 6)。

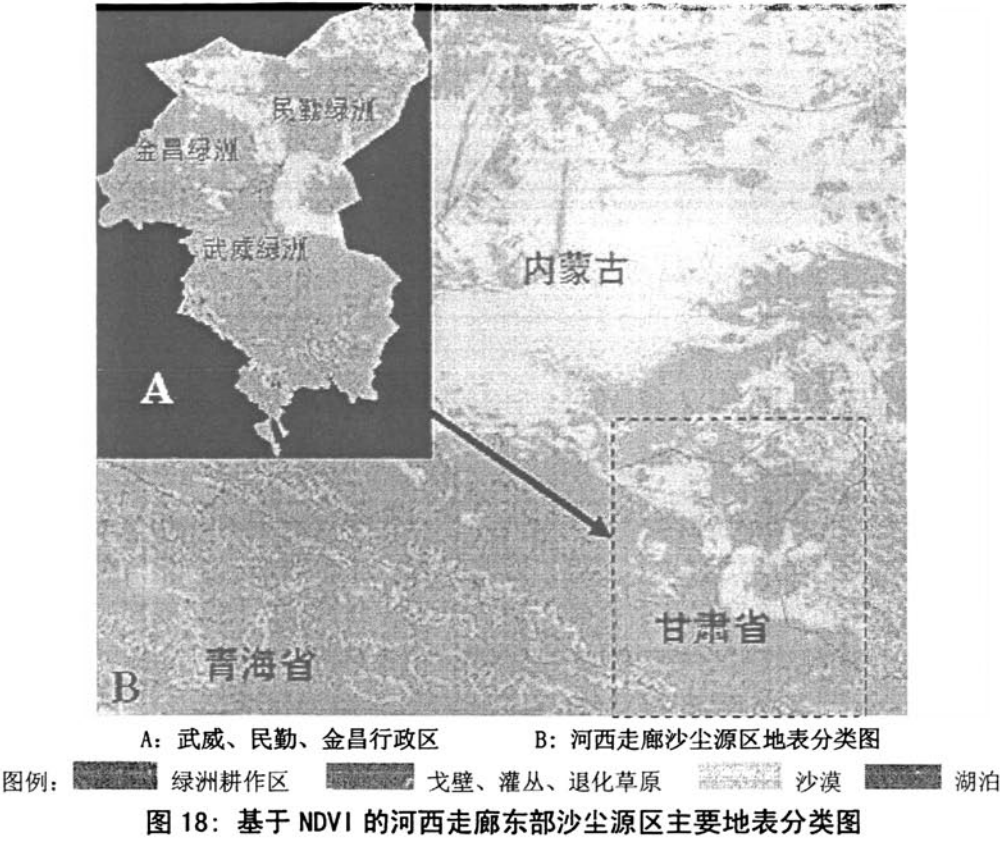


表 6: 河西走廊东部沙尘源区主要地表潜在沙尘源总量

地表类型	面积 (km ²)	潜在尘源量 (亿 m ³)
绿洲耕作区	61433	7.22
戈壁、灌丛、退化草场	150448	17.68
沙漠	184577	7.57

5.2.3 分类误差矩阵及精度评估

经过参考点误差矩阵和精度评估计算得到三种地表类型整体分类精度达到 91.67% (表 7、表 8)

表 7 分类后用参考点误差矩阵

代码	参考点类型代码		
	1	2	3
1	14	2	0
2	1	21	1
3	0	0	9
合计	15	23	10

注: 代码 1、2、3 分别表示绿洲耕作区、戈壁、灌丛、退化草原及沙漠。

表 8: 精度评估表

代码	参考点总数	正确分类数	生产者精度 (%)	用户精度 (%)
1	15	14	93.33	87.50
2	23	21	91.30	91.30
3	10	9	90.00	100
合计	48	44	—	—
整体分类精度=91.67%			Kappa 系数=0.92	

注: 代码 1、2、3 分别表示绿洲耕作区、戈壁、灌丛、退化草原及沙漠。

5.3 潜在尘源与 2005 年 7 月 17 日沙尘暴的关系

河西走廊东部沙尘暴风向及路径主要有三条, 主要分为西方路径: 从中亚地区经新疆塔克拉玛干沙漠从河西走廊进入该区; 西北路径: 从西西伯利亚经新疆北部和巴丹吉林沙漠进入该区; 北方路径: 从蒙古经内蒙古巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠到达该区 (图 19)

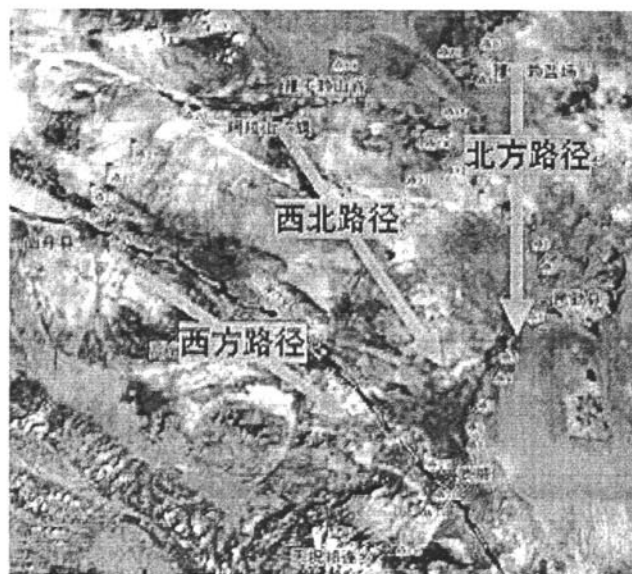


图 19 影响河西走廊东部的沙尘暴路径图 (TM 图像 7、3、2 波段合成)

河西走廊沙尘暴多发生于 3、4、5 三月, 夏季发生较少。2005 年 7 月 17 日新疆冷空气分裂东移南下, 到达河西走廊东部地区, 主要经过西方途径 (河西走廊) 和西北路径 (新疆→巴丹吉林沙漠→河西走廊东部) 影响该地区, 受河西走廊狭管效应的作用, 风力有一定加强, 途经的河西走廊绿洲耕作区沙化土地、收割后小麦地等裸露地表及河西走廊东部西北方的戈壁、灌丛、退化草原含有大量潜在尘源, 加之沙尘暴发生前该地区持续高温干旱、蒸发强烈, 空气结构不稳定, 土壤抗风蚀能力差, 各种因素综合作用最终导致这次沙尘暴的发生。

第六章 讨论与结论

6.1 西北地区沙尘天气特征及原因

西北地区是我国沙尘天气频发的地区,而新疆和田以及河西走廊东部地区是西北地区沙尘发生最频繁的地区。40年来和田地区沙尘天气年发生次数总体上呈略有下降趋势,和田年沙尘天气发生次数在1973年以前变化不明显,平均达到314次,1974-1988年年发生次数一直处于较高水平,平均达到343次,1989年以来沙尘天气年发生次数呈逐渐缓慢减少趋势,平均年沙尘天气发生次数为221次。从月发生规律来看,和田沙尘暴集中出现在4~6月。建国以来河西走廊东部沙尘暴年发生次数从总体上呈缓慢下降趋势。1949年到1964年为第一阶段,年沙尘天气发生次数一直处于较高水平,平均达到40天以上。1965年到1988年为第二阶段,年沙尘天气发生次数略有下降,平均达到35天左右。1989年至今为第三阶段,年沙尘天气发生次数平均在15天左右。年平均风速及年大风次数的降低减少了和田沙尘暴的动力来源,对减少和田地区年沙尘天气危害有重要作用。推广冬小麦、苜蓿等在春季沙尘多发季节植被覆盖度高的农作物,以及近年来保护性耕作技术的逐步推广,减少了当地潜在的沙尘暴尘源总量,减弱了沙尘天气的危害。

干旱的气候和频繁的大风是新疆和田以及河西走廊东部沙尘频发共同的自然条件。西北地区沙尘天气属于春秋频繁型。该地区春季气温回升快,近地面气层很不稳定,局地对流旺盛,锋面活动十分活跃极易形成大风天气,这种强风(冷空气)和局地热力不稳定性条件相互配合,最易出现大气层结不稳定状态。春季该地区降水稀少,蒸发强烈,大量裸露干旱的下垫面(包括沙漠、戈壁、裸露农田等)为沙尘暴提供了丰富的沙尘物质。地表回暖解冻后在无地表覆盖的情况下,就很容易将沙尘物质随上升的气流带入空中,并向下风向输移,出现沙尘暴天气。

人为因素也是沙尘暴频发的重要因素。西北地区由于人口剧增、绿洲面积迅速扩大、工农业用水量增大等原因导致地下水位下降、植被退化、大量土地沙化,为沙尘暴提供了丰富的尘源物质。这一因素在河西走廊东部表现的更为明显,河西走廊东部民勤绿洲是一个拥有4千多年历史的古老绿洲,从公元前205~1567年,每50年沙尘天气发生次数平均为2~3次,从16世纪到现在沙尘天气发生的高峰期都出现在农业大开发,人口数量剧增的时期。在道光五年,当地人口达到18万之巨,此时期也是历史上沙尘天气发生最严重的时期。在1917年,当地人口锐减至11万人,土地获得一定休养生息,沙尘暴有所缓解。到1954年,该地区人口突破20万大关,1958年农田总面积达到6.8万公顷,沙尘天气再次频繁的光顾该地区。近50年来,人为开垦荒地,增加农作物播种面积,大面积开发新绿洲,导致地下水位下降,沙漠化加剧,沙尘天气频繁发生。

6.2 和田土壤风蚀特征及尘源

本试验表明,在沿风向的沙漠、过渡带、绿洲的输沙量及降尘量都随覆盖度增加呈逐渐减小趋势,其中沙漠输沙量、降尘量均与其他各点差异极显著。虽然沙漠中输沙量明显高于其他地表类型,但由于自身重力原因以及绿洲过渡带的阻挡,绿洲过渡带输沙量有明显下降,本试验进行的5、6月正是和田主要粮食作物冬小麦种植季节,冬小麦田平均覆盖度82%,而经过在绿洲内部大片农田的过程中,输沙及降尘量进一步减少。在40cm、80cm、120cm三种高度条件下,不同地表输沙量均有显著差异,其中沙漠>弃耕地>农田,在40cm高度条件下,各覆盖度输沙量差异极显著,在80cm以及120cm高度水平下,农田输沙量与沙漠、弃耕地输沙量差异极显著,相同高度下平均覆盖度82%的农田风蚀量不足沙漠输沙量的10%。同种地表类型下土壤输沙量随高度增加而减少,在沙漠观测点中,40cm输沙量与80cm、120cm输沙量存在极显著差异,弃耕地、农田中40cm输沙量与120cm输沙量存在显著差异。在上下风口沙尘暴试验中,三种土地利用类型输沙量差异极显著,沙漠观测点下风口输沙量比上风口增长2.39%,弃耕地下风口输沙量比上风口增长7.90%,农田下风口输沙量比上风口减少2.24%。

董治宝等研究表明土壤风蚀量与植被关系密切,在沙地环境中,植被可有效降低风速、减少土壤风蚀,从而减少地表土壤细微颗粒及养分的损失^[62]。尚润阳等研究表明植被可提高地表粗糙度、提高下垫面抗风蚀能力,相同风力条件下,植被盖度是影响风蚀的关键因子^[63]。周建忠、路明等研究发现农田中潜在起尘物比例高于沙地及其它地表类型^[64],通过实地取样证明,和田农田、弃耕地中小于0.045mm可长距离传输的成分百分含量高于沙漠,且农田、弃耕地由于耕作原因导致土质疏松,抗风蚀能力差,一般位于绿洲边缘或绿洲内部,更易对绿洲内部造成沙尘暴危害。本实验表明,高覆盖度绿洲农田可明显提高土壤抗风蚀能力,提高植被覆盖度是减少和田绿洲区土壤风蚀的有效途径。在农田中推广种植冬小麦、苜蓿等在春季和田沙尘暴多发时期植被覆盖度高的作物、恢复弃耕地、推广少耕免耕、留高茬及秸秆覆盖等保护性耕作技术可提高农田抗风蚀能力,对减轻和田地区沙尘暴发生强度很有帮助。同时需要加强其他裸露地表的保护,减少疏松土层直接裸露程度如保护碱皮和耐盐碱灌木、加强乡村道路硬化及绿洲区内林带建设,以此最大程度上减弱沙尘暴对当地人民生活的影响和危害。

6.3 河西走廊东部潜在尘源及其与沙尘天气的关系

河西走廊东部绿洲耕作区、戈壁、灌丛、退化草原及沙漠易起尘物质百分含量分别达到39.16%、32.12%、13.66%。经过对沙尘暴发生前不同地表潜在尘源量的估算,戈壁、灌丛、退化草原潜在尘源量最大,达到17.68亿 m^3 ,绿洲耕作区和沙漠潜在沙尘源总量分别达到7.22亿 m^3 、和7.57亿 m^3 。沙漠虽然面积广大,但由于小于0.1mm的颗粒百分含量仅占13.66%,并不是当地最主要潜在尘源;而当地戈壁、灌丛、退化草原中含

有的潜在沙尘源总量最大,成为当地最主要沙尘源;绿洲耕作区中含有的潜在沙尘源物质百分含量最高,但由于其总面积小,因此潜在沙尘源总量小于戈壁、灌丛、退化草原。2005年7月17日河西走廊沙尘暴主要经过西方及西北路径影响该地区,处于上风口的戈壁、灌丛、退化草原及裸露农田为该次沙尘暴提供了大量尘源,为沙尘暴发生提供了物质条件。因此,减轻当地沙尘暴危害,必须着重加强对戈壁、灌丛、退化草原以及农田的保护。

6.4 减轻西北地区沙尘暴危害的措施

根据以上研究结果,提出从减少潜在尘源方面减轻当地沙尘暴危害程度的措施:

(1) 对戈壁、灌丛、退化草原进行大面积封育,建立绿洲外围防风固沙隔离带,营造防风固沙林及农田防护林体系,充分利用生态系统的自我恢复能力,增加植被覆盖度,提高土壤抗风蚀能力。

过渡带以往用于放牧和薪炭的功能通过“生态置换”予以解决。通过发展绿洲农区畜牧业,避免因超载放牧引起的天然草场退化和对植被的破坏问题。充分利用西北太阳能、风能资源丰富的特点和沼气等可再生能源,同时种植一部分薪炭林,解决农牧民的烧柴、取暖等农村能源问题,减少人为对荒漠植被的破坏。

(2) 调整农、林、牧及种植业结构,提高畜牧业和林业比例,在沙尘暴多发的季节,在农田中推广覆盖度高的农作物,推行保护性耕作技术,对弃耕地进行复耕,减少绿洲耕作区内部起尘。

积极恢复弃耕地、推广冬小麦、燕麦、小黑麦等沙尘度多发季节覆盖度高的作物,通过生长的植物能有效地减少和阻止大风引起的土壤、沙尘颗粒等的运动。西北沙尘多发地区干旱雨少,风大沙多,植被稀少,土壤质地粗松。而当地的传统耕作又是对土壤进行多次耕翻耙耱,造成了一个疏松的耕层,土壤得不到保护,大量裸露的农田是沙尘暴形成的重要沙源。采用保护性耕作不但减去了传统耕作中的耕翻、耙耱和整地等环节,有效降低生产成本,又可避免冬春季土地强烈风蚀,减少春季升温蒸发,蓄水保墒,促进苗全苗壮,提高作物产量,目前麦地免耕种植技术已获成功,应进一步加大研究和推广力度。

(3) 加强当地居民的环境意识,控制人口、耕地的过快发展,节约用水。同时,必须严格禁止乱垦滥伐等人为破坏生态环境的行为。

西北地区生态环境十分脆弱,人与自然的矛盾日益尖锐,保护生态环境以及减轻沙尘暴危害的关键在于建立人与自然的和谐共存关系。在西北多发区,应加强人们的环境和生态意识,严格控制人口及耕地面积、牲畜总量的过快发展,节约水资源。同时,加强监管力度,努力减少乱垦耕地、乱砍滥伐等人为破坏生态环境的行为,保护我们赖以生存的生态环境,从而减轻沙尘天气对当地的危害。

参考文献

- [1] 路明. 我国沙尘暴发生成因及其防御策略. 中国农业科学, 2002, 35(4): 440-446
- [2] 夏训诚, 杨根生等. 黑风暴. 科学出版社, 1995
- [3] 田亚平. 从今春沙尘暴看西部生态建设. 衡阳师范学院学报(社会科学版), 2000, 21(4): 33-36
- [4] 赵树利, 徐毅青. 我国沙尘暴现状与生态防治对策. 浙江树人大学学报, 2004, 4(1)
- [5] 王式功, 董光荣等. 沙尘暴研究的进展. 中国沙漠, 2000, 20(4)
- [6] 王晓青. 西北地区沙尘暴灾害及防治对策. 干旱区研究, 2001, 18(2): 61-64
- [7] 肖铮. 甘肃沙尘暴情况及现状. 陕西环境, 2000, 7(2): 1-3
- [8] 艾则孜·买赛地. 沙尘暴吹醒了和田人. 新疆林业, 1999, (4)
- [9] 黄训芳. 对新疆绿洲农业持续发展问题的思考. 新疆农业科学, 2000(3): 97-99
- [10] SH 菲利普. 免耕农作制, 陈士平译. 中国农业出版社, 1982. 49-51
- [11] 方宗义等. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997. 31-36
- [12] 史培军, 严平, 高尚玉等. 我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望. 自然灾害学报, 2000, 9(3)
- [13] 徐国昌, 陈敏连, 吴国雄. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析. 气象学报, 1979: 26-35
- [14] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106-111
- [15] 高尚玉, 史培军, 哈斯等. 我国北方风沙灾害加剧的成因及其发展趋势. 自然灾害学报 2000, 9(3)
- [16] 王式功, 董光荣, 陈惠忠等. 沙尘暴研究的进展. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349~356
- [17] 申绍华, 陈受钧. 沙尘辐射强迫过程的数值模拟. 气象学报, 1993, 51(3): 283-294
- [18] 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 钱云, 符淙斌, 王淑瑜, 等. 沙尘气溶胶和气候变化. 地球科学进展, 1999, 14(4): 391-394
- [22] 郑新江, 刘诚, 崔永平. 沙暴天气的云图特征分析. 气象, 1995, 21(2): 27-31
- [23] 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. 北京: 气象出版社, 1997. 88-91
- [24] 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
- [25] 厉青, 王桥, 王文杰, 何利民, 王昌佐. 基于 EOS-Terra/MODIS 的沙尘暴遥感监测方法对比研究. 干旱区地理, 2006, 29(1): 138-142

- [26] 罗敬宁, 范一大, 史培军, 陆文杰, 周俊华. 多源遥感数据沙尘暴强度监测的信息可比方法. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 28-34
- [27] 郑新江, 徐喆, 罗敬宁, 邹树峰. 2002年3月18~21日强沙尘暴天气过程的监测. 气象, 31(4): 39-43
- [28] 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.
- [29] 史培军, 张宏, 王平等. 我国沙区防沙治沙的区域模式. 自然灾害学报, 2000, 9(3): 17
- [30] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远等. 关于我国华北沙尘暴天气的成因与治理对策. 地理学报, 2000, 55(5): 513-521
- [31] 朱震达. 三十年来中国沙漠化研究的进展. 地理学报, 1979, 34(4): 305—313
- [32] 刘玉璋, 董光荣, 李长治. 影响土壤风蚀主要因素的风洞实验研究. 中国沙漠, 1992, 12(4): 41—48
- [33] 胡孟春, 刘玉璋, 乌兰等. 科尔沁沙地土壤风蚀的风洞实验研究. 中国沙漠, 1991, 11(1): 22—298
- [34] 陈渭南. 蒙陕接壤地区土壤母质的风蚀实验研究. 水土保持学报, 1991, 5(1): 33—40
- [35] 董光荣, 李长治, 高尚玉等. 关于土壤风蚀风洞模拟实验的某些结果. 科学通报, 1987(4): 297—301
- [36] 贺大良. 降水对起沙风速的影响. 中国沙漠, 1988, 12(4): 41—48
- [37] 刘连友, 王建华, 李小雁, 刘玉璋. 耕作土壤可蚀性颗粒的风洞模拟测定. 科学通报, 1998, 43(15): 1663—1666
- [38] 郭跃. 试论农业耕作对土壤侵蚀的影响. 1995, 9(4): 94—98
- [39] 哈斯, 陈渭南. 耕作方式对土壤风蚀的影响. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 10—16
- [40] 哈斯. 河北坝上地区高原土壤风蚀物垂直分布的初步研究. 中国沙漠, 1997, 17(1): 9—14
- [41] 哈斯. 河北坝上地区土壤风蚀物理化性质初步研究. 水土保持通报, 1997, 17(1): 1—6
- [42] 董治宝, 李振山. 风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 1—12
- [43] 黄富祥, 牛海山, 王明星等. 毛乌素沙地植被覆盖率与风蚀输沙率定量关系. 地理学报, 2001, 56(6): 700—710
- [44] 汪季, 周心澄, 周建忠, 韩春阳. 沙尘暴尘源形成及分布. 内蒙古农业大学学报 2003, 24(4): 134-141
- [45] 朱震达, 朱俊风等. 中国沙漠化防治. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [46] 阎德仁, 杨俊平. 沙尘物质的来源及防治途径. 干旱区资源与环境. 2004. 18 (增刊): 120~123
- [47] 王旭, 李少昆, 王克如, 路明. 沙尘暴期间和田地区主要地表类型土壤风蚀量研究.

水土保持研究, 2007, 14(6): 284-285

[48] 周建忠,路明. 不同类型地表沙尘量的比较研究. 作物杂志 2006(4)

[49] 何清. 塔里木盆地沙尘暴灾害分布及防御对策. 沙尘暴气象服务工作研讨会交流材料

[50] 何清, 赵景峰. 塔里木盆地浮尘时空分布及对环境的影响研究. 中国沙漠. 1997, 17(2)

[51] 王旭, 马禹. 北疆沙尘暴天气气候特征分析. 北京大学学报(自然科学版), 2002, 38(5)

[52] 王旭, 马禹, 陈洪武等. 南疆沙尘暴气候特征分析. 中国沙漠, 2003, 23(2)

[53] 向鸣, 吕新生, 陈勇航. 塔克拉玛干沙漠腹地局地沙尘暴短期预报方法初探. 技术报告

[54] 李虎, 李霞, 肖继东, 王华. 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴的遥感监测. 新疆农业大学学报 1999, 22(3): 219~223

[55] 何清, 向鸣, 唐淑娟. 塔克拉玛干沙漠腹地两次强沙尘暴天气分析. 中国沙漠, 1998, 18(4)

[56] 陈洪武, 王旭, 马禹. 大风对新疆沙尘暴的影响. 北京大学学报(自然科学版), 2003, 39(2)

[57] 李国昌, 李岩瑛, 胥正德. 祁连山东部沙尘暴天气成因及气候规律分析. 甘肃气象 2002, 20(2)

[58] 董安祥, 白虎志, 陆登荣, 冯建英. 河西走廊强和特强沙尘暴变化趋势的初步研究. 高原气象, 2003, 22(4)422-425

[59] 刘金荣, 张芬琴, 谢晓蓉. 试论河西走廊干旱荒漠化草地生态危机与畜牧业可持续发展. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3)

[60] 何明珠, 李得禄, 马海芸. 河西走廊绿洲区沙尘暴灾害的发生及其防治. 甘肃林业科技, 2003, 28(4): 30-33

[61] 李岩瑛, 杨晓玲, 王式功. 河西走廊东部近 50a 沙尘暴成因危害及防御对策. 中国沙漠, 2002, 23(3): 283-287

[62] 董治宝, 陈渭南, 董光荣等. 植被对风沙土风蚀作用的影响. 环境科学学报, 1996, 16(4): 442-446

[63] 尚润阳, 祁有祥, 赵廷宁, 丁国栋. 植被对风及土壤风蚀影响的野外观测研究. 水土保持研究, 2006, 13(4): 37-39

[64] 周建忠, 路明. 不同类型地表沙尘量的比较研究. 作物杂志, 2006(4): 1-5

[65] Han kin. E H. On dust raising wind sand descending currents. India Met. Memoirs, 1921, 22: part VI

[66] Sutton, I. J., Haboob, Quart, J. Roy, Meeteror, Soc. 1925, 51: 25—30

[67] Idso S B, R S In gram and JMP ritchard. "An American Haboob". Bull. AMS, 1972, 53: 930-935

[68] Joseph PV, Raipal DK, Deka SN. "Andhi", the convective dust storms of Northwest India. Mausam, 1980, 31: 431-442

- [69] Idso, S.B., R.S. Ingram and J.M.Pritchard, 'An American Haboob' . Bulletin of the American Meteorological Society, 1972, 53(10): 930-935
- [70] Brazel, A.J. and W.C. Nicking. The relationship of weather types to dust storm generation in Arizona. J. Climatology, 1986, 6(3): 255—275
- [71] Jauregui E. The dust storms of Mexico City. Inter. J. Climatology, 1989, 9(2): 169-180
- [72] Shao Y P. Physics and modeling of wind erosion. Kluwer. Academic publishers, 2000
- [73] Ehrenberg, C. G. . The sirocco dust that fell at Genoa on the 16th May 1846. Q. J. Geol. Soc Lond. 1847, 3,: 25—26
- [74] Richthofen and F. Von. On the mode of origin of the loess. Gelo. Mag, 1882, 9: 94—97
- [75] Udden, J. A. Erosion, transportation and sedimentation performed by atmosphere. Journal of Geology, 1894, 2: 318—331
- [76] Udden, J. A. Dust and sand storm in the west. Pop. Sci. Month, 1882, 9: 94 —97
- [77] Free, E. E. The movement of soil materials by wind. USDA Bur. Soil Bull. 1911, 68: 271—272
- [78] Bagnold R. A. The physics of blown sand and desert dunes. London: Methuen, 1941
- [79] Woodruff, N. P. and Siddoway, F. H. A wind erosion equation. Soil science society of America proceedings, 1965, 29: 602—608
- [80] Thomas Pettke, Alex N, Halliday, et al. Dust production and Deposition in Asia and the north Pacific Ocean over the past 12Ma. Earth and Planetary Science Letters, 2000, 178: 397-413
- [81] Nilgun Kubilay, Slobodan Nickovic. An Illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean. Atmospheric Environment, 2000, 34: 1293-1303
- [82] Bergametti G. . Encyclopedia of Earth System Science. San Diego: Academic Press, 1992, 171-182
- [83] Littmann T. Dust storm frequency in Asia: Climatic control and variability. Inter J Climatology, 1991, 11 : 393-412
- [84] Chepil W S, et al. The physics of wind erosion and its control. Advances in Agronomy, 1963, 15: 211-301
- [85] Chandler D G, et al. Defining Wind Erodibility of Loessial Soils by Particle Sizing. Proc. Of soil. Sci. of Amer. 2001
- [86] Fryrear DW. A field dust sampler. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 41: 117-120
- [87] Wasson RJ and Nanniga PM. Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces. Earth Surface Processes and Landforms, 1986, 11(4): 505-514

致 谢

本论文是在导师李少昆教授的悉心指导完成的。从课题的立意、设计、实施到论文的整理完成，无不凝结着导师的心血。导师严谨的治学态度、辨证的科学思想、渊博的知识，以及研究生期间对我的关心和教诲，将使我受益终生。在此，特向我的恩师表示崇高的敬意和衷心的感谢！

在本课题的试验过程中，承蒙中国农业科学院作物所的谢瑞芝、高世菊、王克如等老师以及师兄柏军华博士从试验准备、实施以及写作等方面给予的指导和帮助。本次试验得到了多家单位的支持，特此感谢和田地区气象局、公安局、广播电视大学、塑料厂，墨玉县文体局、电业局、公安局、第一中学，洛浦县农牧局以及甘肃武威市凉州区农牧局、农技推广中心对本试验的支持和配合。和田气象台买买提、帕提曼、宋敬东研究员以及墨玉县木塔里夫、美热尼沙、土素马克等人对本试验进行了无私的帮助，特向以上单位和个人表示最诚挚的谢意！

在三年的试验过程中，还得到了师兄王方永、陈兵、初振东，师姐隋学燕、王旭、李晓君以及谭海珍、汤秋香、金亚征、陈江鲁、何晟国等课题组同学的大力支持和帮助，在此，向各位同学表示由衷的感谢！

感谢所有参加本人毕业论文评审和答辩的各位专家和老师！

最后，谨以此文感谢所有关心和帮助过我的老师、亲人和朋友！

作者简介

刘国庆, 生于 1983 年 1 月, 籍贯山东。2004 年毕业于山东农业大学生命科学学院生物技术专业, 获理学学士学位。2005 年 9 月起就读于石河子大学, 专业为作物栽培学为耕作学, 研究方向为保护性耕作。

在学期间主要参与的研究项目

- 1、农业部“发展生态农业治理沙漠化土地”专项;
- 2、“十一五”科技支撑项目“保护性耕作条件下作物稳产丰产关键技术研究”(2006BA15B03) 课题资助。

在学期间发表的文章

- 1、刘国庆, 李少昆, 柏军华, 王克如, 谢瑞芝, 高世菊, 谭海珍, 汤秋香, 金亚征. 和田地区主要地表类型风蚀研究. (水土保持学报, 已接收)
- 2、刘国庆, 李少昆, 柏军华, 王克如, 谢瑞芝, 高世菊, 谭海珍, 汤秋香, 金亚征. 河西走廊东部潜在尘源及其与 2005 年 7 月 17 日沙尘暴的关系研究. (石河子大学学报, 已接收)
- 3、谭海珍, 李少昆, 王克如, 谢瑞芝, 高世菊, 明博, 于青, 赖军臣, 刘国庆, 汤秋香. 基于成像光谱仪的冬小麦苗期冠层叶绿素密度监测研究. (作物学报, 已接收)
- 4、谭海珍, 李少昆, 王克如, 肖春华, 谢瑞芝, 高世菊, 刘国庆, 汤秋香. 小麦籽粒蛋白质含量遥感监测研究进展. (农业工程学报, 审稿中)
- 5、王方永, 李少昆, 王克如, 隋学艳, 柏军华, 陈兵, 刘国庆, 谭海珍. 基于机器视觉的棉花群体叶绿素监测[J]. 作物学报, 2007, 33(12): 2041-2046
- 6、陈兵, 李少昆, 王克如, 王方永, 谭海珍, 刘国庆, 陈江鲁. 棉花黄萎病病叶光谱特征与病情严重度的估测[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2709-2715
- 7、柏军华, 李少昆, 李静, 王克如, 谢瑞芝, 高世菊, 陈兵, 王方永, 刘国庆, 谭海珍. 基于多时相棉花长势遥感的棉田质量诊断. (中国农业科学, 已接收)
- 8、汤秋香, 李少昆, 谢瑞芝, 章建新, 高世菊, 林涛, 柏军华, 刘国庆, 谭海珍, 金亚征. 保护性耕作农户认知情况调查分析(作物杂志, 已接收)
- 9、汤秋香, 李少昆, 章建新, 谢瑞芝, 高世菊, 李晓君, 林涛, 谭海珍, 刘国庆, 金亚征. 主要保护性耕作模式产量效应及影响农户采用的因素分析(中国农业科学, 审稿中)