

文章编号: 1007-4619(2001)06-466-07

2000年华北沙尘天气遥感研究

张国平, 张增祥, 赵晓丽, 周全斌, 张宗科, 刘斌

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 利用最新的气象卫星数据分析影响华北的沙尘天气从产生到消失的动力过程, 确定了沙尘天气发生的范围和移动方向。并利用 TM、NOAA、FY-1 影像, 时间跨度为 30 年的沙尘暴空间分布数据, 1951—1994 年华北地区的气象站点数据, 土壤质地和土地利用数据, 对沙尘天气发生的下垫面因素与沙尘天气发生的空间分布关系进行了分析, 指出植被指数、土壤质地、土壤含水量和地形对沙尘天气发生的影响方式, 并对沙尘天气发生区域的土壤侵蚀状况进行了分析, 探讨了影响华北地区沙尘天气的供沙区分布状况和不同路径沙尘暴的源地分布, 结果表明下垫面因素对于沙尘天气的产生有非常重要的作用。

关键词: 沙尘天气; 土壤风力侵蚀; 遥感; 华北

中图分类号: TP79 文献标识码: A

1 引言

中国北方地区的沙尘天气造成的灾害影响越来越大, 伴随着沙漠化过程的加剧, 沙漠在快速推移^[1,2]。以往研究大多从气象因素入手, 根据能见度和风速将沙尘天气分为三级(浮沙、扬沙和沙尘暴), 其定量程度较为不足。对于沙尘天气, 应该将其分成若干等级或以沙尘指数的方式进行定量研究, 用较笼统意义上的沙尘天气数量变化来表征沙漠化的加重或者减弱会导致不确定的甚至是错误的结论。因为重沙尘天气次数的增加与沙尘天气总数的减少可能同时存在, 而前者却更能说明沙尘搬运程度可能是增加的。这就要求对沙尘天气的观测要更加详细, 例如要对风速、挟沙量以及沙粒粒度情况等指标进行详细观测。遥感手段推动了沙尘天气的定量化研究工作, 大量的气象卫星影像被用来统计和跟踪沙尘天气的发生过程。在这一方面, 现有研究又往往侧重于实时监测、次数统计和大致影响范围的确定, 对于沙尘天气强度较难定级, 并最终使对沙尘天气的机制研究仅集中在天气动力学范畴。

本文除了结合气象站点数据、气象卫星数据进行统计分析外, 还对下垫面的状况进行分析。立足

于资源卫星、气象卫星和风云卫星数据, 气象站点数据, 土壤质地, 土地利用等大量数据, 对沙尘天气发生与各种土地覆盖因子的关系进行分析, 探讨了下垫面因素对沙尘天气发生的影响过程。

2 资料和方法

利用覆盖整个华北沙尘天气发生区域的 AVHRR 气象卫星数据(2000 年 3—4 月)和中国风云一号卫星数据(2000 年 3—4 月), 这些数据包括了 10 次沙尘天气或扬沙天气发生的全部过程。所采用的美国陆地卫星影像 TM 数据(1995 年)也覆盖了华北所有地区。

在遥感图像目视解译的基础上, 对这 10 次沙尘天气发生的区域和程度进行划分。然后利用地理信息系统(GIS)的空间分析方法对这 10 次沙尘天气的空间分布进行叠加, 确定了沙尘天气活动的范围以及沙尘天气源地。并根据每次沙尘天气发生中的不同时相数据, 对沙尘天气的移动路径进行分析。

为确定下垫面土地覆盖信息, 利用地质卫星数据和全球定位系统方法(GPS)定位的大量地表观测数据进行了土地利用信息的遥感解译, 输出 1:10 万土地利用图。并根据 NDVI 数据输出植被覆盖图。

收稿日期: 2000-09-27; 修訂日期: 2001-01-09

基金项目: 国家“九五”攻关项目 96-B02-01 课题和水利部“全国土壤侵蚀遥感调查项目”。

作者简介: 张国平(1974—), 男, 现在中国科学院遥感应用研究所攻读博士学位。1996 年毕业于兰州大学自然地理专业, 学士学位

1999 年毕业于中国科学院地质研究所, 获第四纪地质硕士学位。主要研究方向为资源与环境及生态学的遥感研究

结合两种数据对可能的供沙区进行分析。再利用数字高程(DEM)数据、地表土壤质地数据等大量数据进行了土壤侵蚀研究,输出1:10万土壤侵蚀图。

综合以上大量数据,采用遥感和GIS方法,对沙尘天气发展过程中不同下垫面所对应的供沙状况进行了分类研究,探讨沙尘天气发生的动力过程并分析土壤侵蚀与沙尘天气空间分布的关系。研究区域为2000年3月至4月份华北沙尘天气产生和途径的全部地区。

3 沙尘天气发生的动力条件、空间分布及移动状况

3.1 沙尘天气发生的动力条件

中国北方在冬季受强大的蒙古和西伯利亚高压

所产生的反气旋控制,冷空气受地形影响不断堆积,并最终爆发而向南入侵。由反气旋所产生的大量上升气流将沙尘扬到空中并被强风带走,这些冷空气的移动大致有由北向东、由西北向东南和由北向南三个方向^[3]。

不同粒度大小的颗粒可以被带入至不同高度。沙质颗粒(2—0.1 mm)仅仅在地面以跃移方式运动,而粉沙质颗粒(0.1—0.015 mm)则会被带入至小于3 km的空中,因为风速会随着时间的变化而发生强度的改变,特别是随着冷空气在南侵或者东移的过程中强度的逐渐减弱而使近地面风速减小,并最终使风的挟沙能力下降,沙质颗粒和粉沙质颗粒会发生沉降。粘土类颗粒(<0.015 mm)则会被带入至近10 km(对流层顶部)的高空中以气溶胶的形式存在^[4]。而且,受高空西风急流的影响,这些细颗粒物质将会被带到很远的地方沉降^[5]。

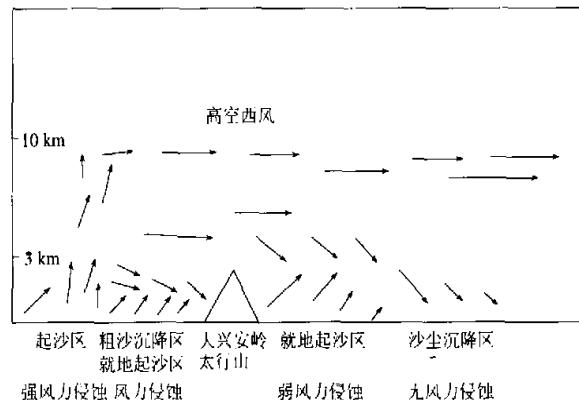


图1 沙尘天气移动动力机制

Fig. 1 The dynamic process of the dust

这样,在沿着冷空气移动的路径上大致可以分出最初起沙区、就地起沙区和沉降区(见图1)。在最初起沙区,冷空气爆发处于最初阶段,冷锋锋面产生的较强上升气流将大量沙尘扬至空中^[5]。在这一地区,不同粒径大小的颗粒有不同的移动方式:粘土类颗粒会被扬至高空西风带,不发生沉降;地面粗颗粒物质只发生跃移;此外,较细的粉砂颗粒也很难沉降。在就地起沙区,随着冷空气的移动,沿途不断有来自地面的细颗粒物质被扬起,同时来自最初起沙区的粗颗粒物质会发生沉降;而且,随着风力的减弱,能被扬起的颗粒变细,而较粗的颗粒物质会不断发生沉降。在沉降区,风速变得很小,完全是大量粉尘的沉降,特别是以粉尘气溶胶形式为主,一般没有粉尘被扬起。在华北地区,冷空气向南、东南和东部3个方向移动,在经过起沙区、供沙区和沉降区的过程

中,沙尘浓度总体上减弱。

3.2 沙尘天气的移动

图2和图3(图版Ⅰ)分别显示了2000年3月22日和3月23日华北沙尘天气发生时的NOAA影响。黄色区域显示了强沙尘天气的分布,白色区域则显示了较弱沙尘天气的分布。在2000年3月22日下午,强沙尘天气发生在阴山、太行山和大兴安岭沿线以北地区,集中于内蒙古中部和东部地区,沙尘天气强度较高。而在2000年3月23日下午,沙尘天气的主体已经向东南方向移至渤海。此时,沙尘天气强度降低,大部分已经消失,局部继续向东移动。

通过对2000年3—4月影响华北的沙尘天气中较为典型的7次进行分析,在每次沙尘天气不同时段的NOAA和风云2(FY-2)号卫星影像的基础上对

沙尘天气的移动方向信息进行提取。分析结果表明了 2000 年华北地区沙尘天气有 3 个主要的移动方向：西北路径有 4 次，发生时间分别为：3 月 17 日至 3 月 18 日，4 月 3 日至 4 月 4 日，4 月 5 日至 4 月 6 日，4 月 6 日至 4 月 7 日；北方路径有 2 次，分别为：3 月 27 日至 3 月 28 日，4 月 8 日至 4 月 9 日；西方路径有 1 次，为 3 月 22 日至 3 月 23 日。在这三条移动方向中，北方路径是指由蒙古共和国东部进入我国内蒙古中部，沿华北平原南下，直达华中部分地区；西北路径是指由蒙古共和国东部入境，向东南方向移动，经过华北北部向渤海和黄海方向移动；西部路径指由蒙古共和国东部向内蒙古东部和东北地区移动。2000 年 3 月至 4 月间全部沙尘天气发生时的 NOAA 影像分析结果还显示，大部分的强沙尘天气都位于大兴安岭-太行山沿线以西地区。

3.3 沙尘天气的空间分布

图 4(图版 I) 显示了 1950—1980 年近 30 年间华北地区沙尘暴的空间分布状况^[6]，根据年平均沙尘暴发生的天数，将沙尘天气强度分为 6 个级别。结果显示华北大部分地区每年有至少一次沙尘暴天气发生。年均沙尘天气大于 10 天的地区主要位于内蒙古中部，介于 5—10 天的地区则主要位于内蒙古东部地区。总的的趋势表明沙尘暴发生的天数由西北向东南递减，这也表明沙尘天气在向东南方向移动过程中强度减弱。

4 影响沙尘天气发生的下垫面因素分析

沙尘天气是一种强烈的土壤风力侵蚀过程，除了受风速的影响，下垫面土地覆盖特征也有相当重要的作用，这种作用表现在土壤植被状况、土壤可蚀性、土壤含水量、土壤表面粗糙度以及这些因子的变化对土壤风力侵蚀强度的影响^[7—14]。其中土壤植被状况表现在植被的覆盖度、高度、排列状况、残余物及其分解等方面^[7,8]；土壤可蚀性表现在土壤密度、土壤硬度、土壤颗粒粒度分布、土壤有机质含量、土壤可溶盐含量等方面^[9—11]；土壤含水量一般指重量含水量^[12,13]；土壤粗糙度是指土壤受机械耕作、人为物理结构扰动和降雨冲刷等因素影响而表现出块、沟壑、块状突起或凹陷等微地形在面积、数量、形状等方面的变化^[14]。

通过定量化的模型加上野外或室内风洞实验的结果，对以上四个因子的强度进行估计，结合气象观万方数据

测数据，采用土壤风蚀模型，从而估算出每年甚至每天的土壤侵蚀量，还可对每次沙尘暴的土壤侵蚀总量进行估计^[15,16]。但目前的大部分模型几乎只能在面积很小且地形特征较为简单的地区进行，且还只能进行农田间的土壤侵蚀量估算，大面积的估算还不可能。

可以利用遥感方法对土地的一些属性因子进行大范围的调查，这些因子包括：遥感获取的植被指数数据、土地利用数据、土壤含水量数据、土壤侵蚀强度数据。对这些因子与土壤侵蚀发生的关系进行探讨，可以较系统的阐述下垫面因素对沙尘天气发生的影响。由于这些因子本身也是不断变化的，利用遥感手段还可以对它们进行动态监测。此外，利用相对固定的土壤属性因子，如土壤质地数据和地形数据，采用 GIS 方法，结合遥感影像可进行沙尘天气的下垫面分析。

4.1 植被覆盖影响

地表植被覆盖是影响土壤风力侵蚀的重要因素，对于水域、冰雪区和植被覆盖度高的地区，往往不发生土壤的风力侵蚀^[7]。相反，地表裸露，植被稀少，会使得单位面积中有更大面积的土壤暴露从而遭受风的侵蚀。利用气象卫星 NOAA 数据，对植被指数进行计算，从而可对叶面指数进行估算，而叶面指数则能被用来衡量地表植被覆盖因子的值。

植被的茎、叶和主干对提高地表的粗糙度和降低地表风速有重要作用；同时，植物残余物、植物的根及土壤有机质含量对土壤可蚀性的影响也非常显著^[8]。通过对 1992 年和 1993 年每十天的植被指数最大值进行分析，分析植被指数及其变化与沙尘天气强度的关系。图 5(图版 I) 显示了华北地区夏季 NDVI 最大值的分布状况。沙尘暴的季节分布中，以春季为主，冬季和夏季也占较小比重^[17]。NDVI 值与沙尘暴频率的空间分布有很好的一致性。在干旱区，NDVI 值不但在冬季和春季降至最低点，在夏季也非常低，这使得地表长期裸露，在发生强风天气时，往往都伴随强烈的土壤侵蚀和沙尘天气的发生，总体上年均沙尘暴发生次数增大。然而在半干旱半湿润区，NDVI 值虽然在冬季和春季降至较低水平，沙尘暴容易发生，而在其它季节如夏季和秋季，植被生长较为旺盛，沙尘天气很少发生。在湿润地区，植被覆盖度始终处于较高水平，一年四季都很少有沙尘暴发生。在山地地区，由于受垂直地带性规律的影响，随着海拔增高，山地迎风坡降雨量相对增

大,植被覆盖度增大,相应地土壤风力侵蚀程度降低。华北地区如大兴安岭至太行山沿线植被过渡带内,年均沙尘暴次数急剧减少。

4.2 土壤质地

不同粒度的土壤颗粒具有不同的抗剪切力,它直接导致临界风速值的增大,而只有超过临界值的风速才能对土壤进行侵蚀^[18]。研究表明,粘质土壤易形成团粒结构,抗剪切能力上升。同时在相同条件下,沙质土壤的起沙风速大于壤质土壤的起沙速率^[12],此外砾质结构的土壤和戈壁土壤的风蚀速率小于沙地土壤的侵蚀速率^[19]。而基岩质地表的供沙率极低,对风蚀的影响程度不大。按粒度分布的不同,将土壤进行划分,其空间分布如图6所示(图版I)。

图6显示了华北地区土壤质地的空间分布状况,粘质、壤质、沙质、砾质和基岩5种类型均有分布,其中以砾质、沙质和壤质为主。与图4的对比表明,沙质土壤和砾质土壤分布的地区对应于沙尘暴发生次数较多的地区。沙质土壤主要分布于内蒙古中部的乌兰布和沙漠、库布齐沙漠和毛乌素沙地,内蒙古东部的浑善达克沙地和科尔沁沙地。而这些地区中心位置的年均沙尘暴天数都在10天以上,大部分地区的年均沙尘暴天数在5天以上。砾质土壤分布地区主要位于内蒙古中部的山地地区和冲积、洪积而成的戈壁地区,年沙尘暴天数也大都在5天以上。壤质土壤分布占本区的大部分,其年沙尘暴天数大部分在5天以下,但也有相当部分地区的年沙尘暴天数以10天以上,说明土壤质地不能完全决定沙尘暴的分布区范围。

4.3 土壤含水量

地表土壤含水量的变化也是影响风力对土壤颗粒进行搬运的重要因素^[12,13]。降雨量减少,加上气温偏高,土壤会变得干燥,使得土壤颗粒变得分散,风易将粉尘物质带入至空中;相反,土壤含水量高,会使土壤颗粒粘成较大的团块,不易被风搬运。在华北地区气象观测站点数据的基础上,利用以下公式进行土壤含水量的计算:

$$D = 0.16 \sum_{P} \geq 10^{\circ} C / P$$

式中,D为干燥度,P为年降雨量, $\geq 10^{\circ} C$ 代表大于 $10^{\circ} C$ 的年积温。

图7(图版I)显示了华北地区土壤含水量的空间分布状况,表现在自西北至东南方向,土壤的含水万方数据

量逐年增高。沙尘暴发生区几乎都位于土壤干燥度大于4的区域内;干燥度小于1的区域则几乎不受沙尘暴的影响;土壤干燥度介于1—4之间的地区,年均沙尘暴天数介于1—5。

4.4 地形影响

高大山体会阻碍气流的移动^[20],从而使沙尘天气受到抑制或减弱,从2000年NOAA影像上可以看出,华北地区沙尘天气最剧烈的地区大都位于大兴安岭和太行山以西地区,当沙尘天气移至大兴安岭以东地区时,沙尘天气的强度往往会降低。相反,大风从山口进入平原时会在风口处产生放大效应,位于华北平原西北方的延庆盆地的沙尘天气发生次数与风沙日数的比例明显高于其它地区,表明了地形作用导致了风力侵蚀作用的加重,在2000年NOAA影像上还可以看出,大兴安岭与太行山交汇外的巨大山口处,来自浑善达克沙地方向的强沙尘天气几乎不受限制向科芯沙地区移动。

4.5 土地利用影响

土地的管理和利用方式的不同对土壤侵蚀也有着重要影响。农业耕作使植被覆盖、土壤可蚀性、土壤含水量和土壤粗糙度有重大改变。华北地区在冬季和春季的植被覆盖达到最低,虽然耕种过程使土壤粗糙度增大,但土壤团块却因此遭受破坏使土壤可蚀性增强,加上对农作物残余物的燃烧使土壤有机质含量下降、土壤裸露,使得风力侵蚀强度增大并导致地面供沙能力增强,加重了沙尘天气的强度。如图8所示(图版I),在以土地利用以耕地为主的华北平原区,年均沙尘暴天数在1—5天左右。在内蒙古东部地区,土地利用主要以草地为主,但近年来的过度放牧,使植被覆盖度下降;同时羊群等对土壤的践踏使土壤机械结构遭到破坏,土壤可侵蚀性增强,土壤侵蚀速增大,年均沙尘暴天数达到5—10天。研究表明,该区域部分地区的土壤侵蚀速率在1—3 mm/a,远高于华北平原^[21]。值得注意的是,城市化过程使工程建设用地比重迅速增大,城市周边地区的裸露工地日益成为加重城市沙尘天气灾害的就地起沙区。

5 沙尘暴影响区的土壤侵蚀及供沙程度分析

5.1 华北地区的土壤风力侵蚀分析

沙尘天气是强烈的土壤风力侵蚀过程,特别是

在强度沙尘天气发生的地区,地面风速达 25 m/s 以上^[2],使得土壤发生剧烈风力侵蚀。通过对华北地区进行土壤风力侵蚀强度遥感调查,对长期风力侵蚀的结果进行分区研究,可以区分每沙尘暴发生的主要侵蚀区和供沙区。图 9(图版 I)显示了华北地区不同强度级别土壤风力侵蚀的空间分布。可以看出,内蒙中部地区的大部分地区土壤发生强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀,而内蒙东部地区则以微度侵蚀、轻度侵蚀和中度侵蚀为主。值得注意的是,在内蒙东部科尔沁沙地,土壤风力侵蚀相当严重,部分地区发生强烈侵蚀。整体上讲,由西北向东南方向,土壤风力侵蚀的强度逐渐降低。

5.2 土壤侵蚀与下垫面供沙程度的关系

由 2000 年 3 月至 4 月沙尘天气的遥感分析结果可以看出,重沙尘天气分布的地区土壤侵蚀均以风力侵蚀为主。由沙尘暴 30 年的数据图 4,图版 I 也表明沙尘暴发生次数多的地区也是土壤发生严重风力侵蚀的地区,如内蒙古中部最强,年均次数在 10 天以上,而土壤侵蚀强度也最为剧烈,这些地区的土壤风力侵蚀地区几乎都位于沙尘暴发生的区域内,可以认为,这些地区是潜在的沙尘暴供沙区。

与此同时,结合沙尘天气移动的 3 条主要路径和 2000 年 3 月至 4 月沙尘天气发生时的遥感影像来看,每次沙尘暴发生时只有局部地区成为供沙区,而这些供沙区首先是沙尘暴经过的地区,而且这些地区都在发生较强烈的土壤风力侵蚀。

对于由蒙古共和国东部进入我国内蒙古中部,向东南方向移动的沙尘天气,内蒙古中部地区就成为主要的供沙区;对于由蒙古共和国东部进入内蒙东部地区的沙尘天气,在其向东南方向或向南移动的过程中,内蒙东部地区的草地和沙地就成为最主要的供沙区。

本文对沙尘天气的动力过程、空间分布、移动路线,沙尘天气发生与下垫面各种因子间的关系进行了定量研究,并对影响华北沙尘天气的供沙区的空间分布进行了分析。但是,基于遥感的定量研究,如:基于 NOAA 和 FY-1 影像数据的沙尘天气强度分级和面积分布的遥感解译、沙尘天气强度分析标准、一次沙尘暴的侵蚀总量计算和就地供沙区的分布等,还需要大量的工作。

6 结 论

(1) 沙尘天气可以通过动力学方法,特别是从万方数据

卫星数据提供的沙尘天气源地、路径和由弱到强的过程来进行动力模拟。反气旋产生的上升气流是大范围沙尘天气产生的动力条件。中国北方春季上空的西风急流将细颗粒物质吹到很远的地方。

(2) 下垫面状况是沙尘天气产生的关键因素,植被指数、土壤质地、土壤含水量和地形是影响沙尘暴发生的重要因子。

(3) 土壤风力侵蚀强度遥感调查结果表明,内蒙中部地区和东部地区成为影响华北地区沙尘天气的重要供沙区,沿不同路线移动的沙尘天气其沙尘源地不同。

致谢 本文得到国家“九五”攻关项目 96-B02-01 课题和水利部“全国土壤侵蚀遥感调查项目”的支持。王长友、王思远、谭文斌等参加了该项目。在此向以上各位表示衷心感谢。

参 考 文 献 (References)

- Zhu Zhengda. Present condition and its development of desertification of Northern China [J]. *Chinese Desert*, 1985, 5(3): 3—11. [朱震达. 中国北方沙漠化现状及发展趋势 [J]. 中国沙漠, 1985, 5(3): 3—11.]
- Zhu Zhengda, Wang Tao. The analysis on the trend of Chinese land desertification based on the research of several typical area over last ten years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1990, 45(4): 430—440. [朱震达, 王涛. 从若干典型地区的研究对近十余年来中国土地沙漠化演变趋势的分析 [J]. 地理学报, 1990, 45(4): 430—440.]
- Xu Qiyong, Hu Jingsong. The analysis of the spatial distribution of the dust storm of north-west China [A]. Fang Zongyi, Zhu Fukang, Jiang Jiliang et al. Dust storm research of China [C]. Beijing: Meteorologic Press, 1997. 44—51. [徐启运, 胡敬松. 我国西北地区沙尘暴的时空分布特征分析 [A]. 方宗义, 朱福康, 江吉良等. 中国沙尘暴研究 [C]. 北京: 气象出版社, 1997. 11—15.]
- Zhang Xiao-ye, An Zhi-sheng, Liu Dong-sheng et al. the research of three dust storm stricken the North and North-east China: the source character of trace element in mineral aerosol and its changes in the meteorological transport [J]. *Science Bulletin*, 1991, 19: 1487—1490. [张小曳, 安志生, 刘东生等. 中国北部及西北部三次沙尘暴的研究-矿物气溶胶中微量元素源区特征及在大气搬运过程中的变化. 科学通报, 1991, 19: 1487—1490.]
- K. Pye and Liping Zhou. Late Pleistocene and Holocene Aeolian dust deposition in North China and the Northwest Pacific Ocean [J]. *Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology*, 1989, 73: 11—23.
- Zhao Guozang. The Climatic Atlas of China [M]. Beijing: Chinese Mapping Press, 1994. 257—258. [赵国藏. 中国气候资源地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社, 1994. 257—258.]
- Soddoway F H, Chepil W S and Armbrust D V. Effect of kind,

- amount, and placement of residue on wind erosion control [J]. *Trans. ASAE*, 1965, 8(3): 327—331.
- [8] Bilbro J D and Fryrear D W. Wind erosion losses as related to plant silhouette and soil cover [J]. *Agronomy Journal*, 1994, 86(3): 550—553.
- [9] Chepil W S and Woodruff N P. Estimations of wind erodibility of field surfaces [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 1954, 9: 265—285.
- [10] Chepil W S. Seasonal fluctuation in soil structure and erodibility of soil by wind [J]. *Soil sciences society of American proceedings*, 1954, 18: 13—16.
- [11] Chepil W S. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: V. Organic matter at various stages of decomposition [J]. *Soil Sciences*, 1955, 80(5): 413—421.
- [12] Chepil W S. Influence of moisture on erodibility of soil by wind [J]. *Soil Science Society of American Proceeding*, 1956, 20: 288—292.
- [13] Chen W, Dong Z Li and Z Yang. Wind-tunnel test of the influence of moisture on the erodibility of loessal sandy loam soils by wind [J]. *Journal of Arid Environments*, 1996, 34: 391—402.
- [14] Saleh A. Soil Surface roughness measurement: A comparison study. *Agronomy Abstracts*, 1997, 271.
- [15] Woodruff N P and Siddoway F H. A wind erosion equation [J]. *Soil science society of America Proceedings*, 1965, 29: 602—608.
- [16] Skidmore E L, Tatarko J and Wagner L E. Climate databases for wind erosion prediction models [A]. Richardson C W, Johnson G L, Ferreira V A et al. Workshop on climate and weather Research [C]. Denver, CO, 1995, 6: 17—19.
- [17] Niu Shenjie, Song Jiming, Sang Jiren. The trend of the change of the time of dust happened in the region of Helan Mountain [J]. *Chinese Desert*, 2000, 20(1): 55—58. [牛生杰, 孙继明和桑建人. 贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 55—58.]
- [18] Liu Liangyou, Wang Jianhua, Li Xiaoyan et al. Simulating measurement on the erosive ability of soil [J]. *Science Bulletin*, 1998, 43(15): 1663—1666. [刘连友, 王建华, 李小雁等. 拖耕可蚀性颗粒的风洞模拟测定[J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1663—1666.]
- [19] Hu Menchung. Preliminary estimation of the amount of the sand of the dust storm hitting Hexi Corridor, Gansu Province [A]. Fang Zongyi, Zhu Fukang, Jiang Jiliang et al. Dust storm research of China [C]. Beijing: Meteorologic Press, 1997. 16—21. [胡孟春. 甘肃河西走廊地区扬沙量的初步估算[A]. 方宗义, 朱福康, 江吉良等. 中国沙尘暴研究[C]. 北京: 气象出版社, 1997. 16—21.]
- [20] Queney P. The problem of air flow over mountains: A summary of theoretical studies [J]. *Bulletin of American Meterological Society*, 1948, 29: 16—25.
- [21] Dun Zhi-bao, Chen Guang-ting. The preliminary research of the soil wind erosion of Houshand region, Inner Mongolia [J]. *Soil and water conservation*, 1997, 3(2): 84—90. [董治宝, 陈广庭. 内蒙古后山地区土壤风蚀问题初探[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 84—90.]
- [22] Qian Zhenan, He Huxia, Qu Zhang et al. The classification criterions of dust storm of Chinese north-west region and its statistic character [A]. Fang Zongyi, Zhu Fukang, Jiang Jiliang et al. Dust storm research of China [C]. Beijing: Meteorologic Press, 1997. 1—10. [钱正安, 赫慧霞, 齐章等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征[A]. 方宗义, 朱福康, 江吉良等. 中国沙尘暴研究[C]. 北京: 气象出版社, 1997. 1—10.]

Remote Sensing Study on the Dust Storm Stricking North China in 2000

ZHANG Guo-ping, ZHANG Zeng-xiang, ZHAO Xiao-li, ZHOU Quan-bin, ZHANG Zong-ke, LIU Bin

(Institute of remote sensing applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

Abstract: The paper based on the data as following: ① the TM, NOAA, FY-1 image data; ② the dust storm data dated from 1951—1980; ③ meteorological statistic data dated from 1951—1994; ④ soil property; ⑤ land-use data. Using the RS/GIS method, all the data are processed to describe the spatial distribution of sand dust storm. The dynamic process of the sand dust storm is analyzed, and the results show that the air circulation of northern China causes the special wind field accompanied with which the sand supplying areas and sand descending areas are identified out. Up-to-date meteorological satellite data are used to analyze the trajectories of the sand dust storms that have influenced the north China during the spring of 2000, including its out-bursting places and moving direction. Also the spatial distribution of sand dust storm from 1951 to 1980 has been analyzed.

The regions that have varied annual total days of sand dust storm are identified out. The results show that from northwest to southeast, the frequency of sand dust storm is decreasing with the most serious area lying to the northwest and west of North China.

The analysis work of the spatial distribution of main factors that influence the sand supplying of the surface soil are carried out as well as their relation to the frequency distribution of sand dust storm. These factors include the vegetation coverage, soil surface water content, soil property, geomorphologic factor and the land-use. Each factor shows high relationship with the frequency distribution of sand dust storm.

Then the results of remote sensing investigation of wind erosion are analyzed showing that the intensity of wind erosion is decreasing from northwest to southeast with the middle part of Inner Mongolia as the most seriously eroded area. At last, the sand supplying information of the land to the dust storm is revised. The area where the wind intensity strengthens, its frequency of annual dust storm also increases, vice versa. It seems that all these areas are possibly supplying the sand when the sand dust storm happens. There are mainly three routes for the sand dust storm, however the dust storm that has different routes also has varied sand supplying places as pointed out in the paper.

Key words: sand dust storm; wind erosion; remote sensing



图 2 2000-03-22 下午沙尘天气分布



图 3 2000-03-23 下午沙尘天气分布

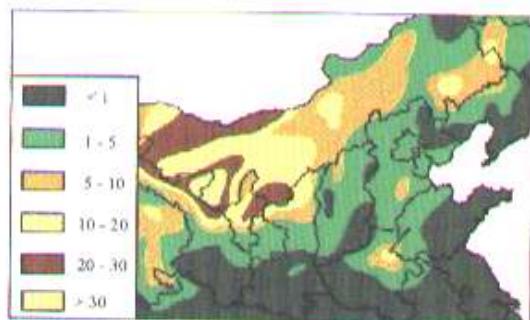


图 4 沙尘天气的空间分布

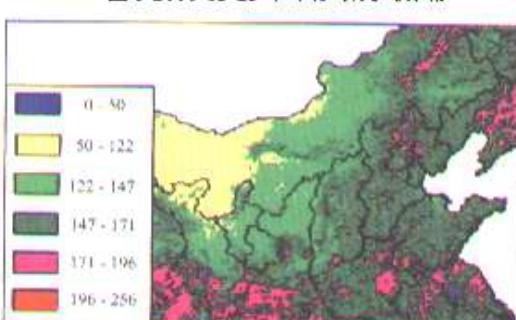


图 5 植被指数分布

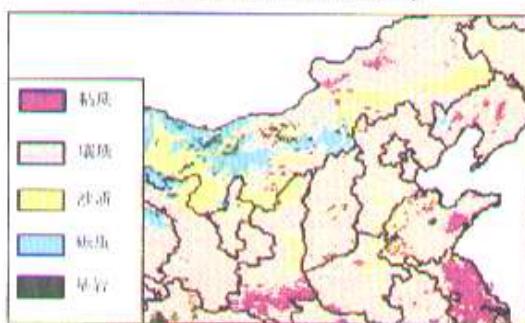


图 6 土壤质地空间分布

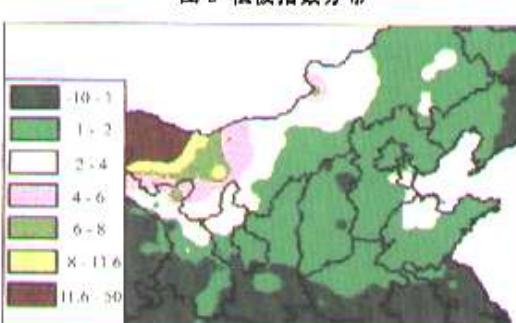


图 7 土壤含水量的空间分布

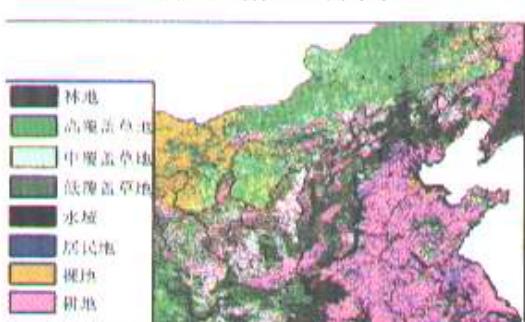


图 8 华北地区的土地利用分布

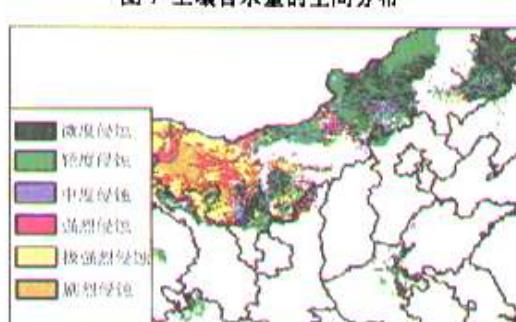


图 9 华北地区的土壤风力侵蚀分布

0 250 500km