

# 中国北方 5 种下垫面对沙尘暴的影响研究<sup>\*</sup>

宋 阳, 刘连友<sup>\*</sup>, 严 平, 曹 彤

(北京师范大学 资源学院, 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 利用中国北方农田、草地、沙地、戈壁、盐壳 5 种不同下垫面 15 个气象站点 40 年的大风与沙尘暴日数气象数据, 对这 5 种下垫面大风日数与沙尘暴日数之间的关系进行了定量研究。通过分析初步得出: 大风日数与沙尘暴日数之间存在着一定的相关关系。下垫面对沙尘暴有重要的影响, 不同下垫面的沙尘暴日数存在着较大的差异。草地、戈壁、盐壳的沙尘暴日数明显少于大风日数, 沙尘暴日数的年际变化较小, 农田与沙地的沙尘暴日数明显增多, 甚至在许多年份中多于大风日数。这种差异是由不同下垫面对沙尘暴的影响机制决定的。

关键词: 中国北方; 下垫面; 沙尘暴; 大风

中图分类号: P445.4; P461.8 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2005)06-0015-04

## Influence of Five Types Underlying Surface on Sand-Dust Storm in Northern China

SONG Yang, LIU Lian-you<sup>\*</sup>, YAN Ping, CAO Tong

(College of Resources Science and Technology; Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract:** In this paper, a quantitative research on the relationship between strong wind days and sand-dust storm days has been made by using 40 years meteorological data of five types of underlying surface in northern China, which include farmland, grassland, sandland, gobi and salt crust. By analyzing, we can find that there are certain correlations between the days of sand-dust storm and strong wind for different types of underlying surface. Underlying surface has great influence on sand-dust storm, but there are pronounced differences in different types of underlying surface for this influence. The sand-dust storm days of grassland, gobi and salt crust, with smaller interannual variation are obviously less than strong wind days. On the other hand, the sand-dust storm days of farmland and sandland increase evidently, even in many years, are much more than strong wind days. The differences are mainly induced by the influencing mechanism of different underlying surface on sand-dust storm.

**Key words:** northern China; underlying surface; sand-dust storm; strong wind

## 1 引 言

沙尘暴是在强烈气流运动下由地表风蚀所产生的细颗粒物质的较大尺度的运移过程。它是一种重要的环境问题和自然灾害, 是土地沙漠化程度的重要指标。沙尘暴的发生一般需要强劲的风力、丰富的沙尘源和不稳定的空气层结 3 个条件。其中, 裸露地表富含松散、干燥的沙尘是沙尘暴形成的物质基础; 足够强劲、持久的风力和不稳定的空气层结是沙尘暴形成的必要气象动力和热力条件<sup>[1]</sup>。

近些年来的研究表明: 作为沙尘暴的物源地, 下垫面对沙尘暴具有重要的影响。Judd M J 等人通过风洞实验发现: 使沙尘颗粒发生运动的最终能量来源是携带沙尘颗粒的气流, 而携沙气流的紊动性主要受下垫面特性的影响<sup>[2]</sup>。梅凡民等人利用粉尘产出模型 DPM 研究了中国北方不同下垫面表土微团粒粒度分布及其对粉尘释放通量的影响, 确定了中国北方粉尘源区强度的差异<sup>[3]</sup>。杨续超、刘晓东利用地面气象台站记录与卫星观测同化处理的格点降水资料(CMAP)分析得出: 夏季的降水通过影响土壤湿度的变化来影响下一年春季的地表土壤状况和植被覆盖状况, 从而影响春季沙尘暴的活动<sup>[4]</sup>。本文利用中国北方 5 种下垫面 15 个气象站点 40 年的大风与沙尘暴日数数据, 对中国北方 5 种下垫面大风与沙尘暴日数之间的关系进行了定量研究, 探讨了这 5 种下垫面对沙尘暴的影响机制。

## 2 资料与研究方法

本文所用的沙尘暴日数 ( $D_s$ ) 与大风日数 ( $D_w$ ) 数据取自中国北方 5 种下垫面 15 个气象站点 1961~2000 年

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2005-07-27    <sup>\*</sup> 通讯作者 E-Mail: lyliu@ires.cn  
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(104013)资助  
作者简介: 宋阳, 男, 生于 1978 年, 博士生。从事土壤侵蚀和干旱区环境研究。E-Mail: songyang@ires.cn

的气象资料,这5种下垫面包括农田、草地、沙地、戈壁与盐壳。在每一种类型的下垫面中选取3个地理位置不同的气象站点,5种下垫面共计15个气象站点,这15个气象站点的名称和编号如表1所示。经过反复检查,气象资料的质量和完整性很好。

研究中选取的5种下垫面在中

表 1 气象站点下垫面类型

下垫面类型	农田	草地	沙地	戈壁	盐壳
气象站点 (名称/编号)	张掖/N1	锡林浩特/C1	中卫/S1	二连浩特/G1	冷湖/Y1
	临河/N2	兴海/C2	乌审旗/S2	乌拉特后旗/G2	茶卡/Y2
	和田/N3	白城/C3	麦盖提/S3	托克逊/G3	安西/Y3

国北方大致的分布情况为:农田主要分布于平原区,东部的耕地大部分为旱地,而西部大部分为水浇地;草地主要分布于年降水量400 mm等值线以西的半干旱、干旱区;沙地基本上由两大高原(内蒙古高原和鄂尔多斯高原)和两大内陆盆地(准噶尔盆地和塔里木盆地)及其周围的山地(天山、阿尔泰山、贺兰山、阴山、大兴安岭等)组成;戈壁主要分布于贺兰山以西的干旱区以及内蒙古河西走廊的西北部;盐壳主要分布于塔里木盆地的南缘及罗布泊盐湖区和青海柴达木盆地的察尔汗盐湖区。

在ArcInfo、CorelDraw、Photoshop等图像处理软件的支持下,利用中国1:400万植被类型图、土地利用图和15个气象站点的经纬度坐标,做出中国北方不同下垫面与15个气象站点的分布图(图1)。利用Excel、SPSS等统计分析软件,在对这些气象站点40年内的大风日数与沙尘暴日数数据进行统计分析的基础上,进一步探讨了中国北方不同下垫面对沙尘暴的影响机制。

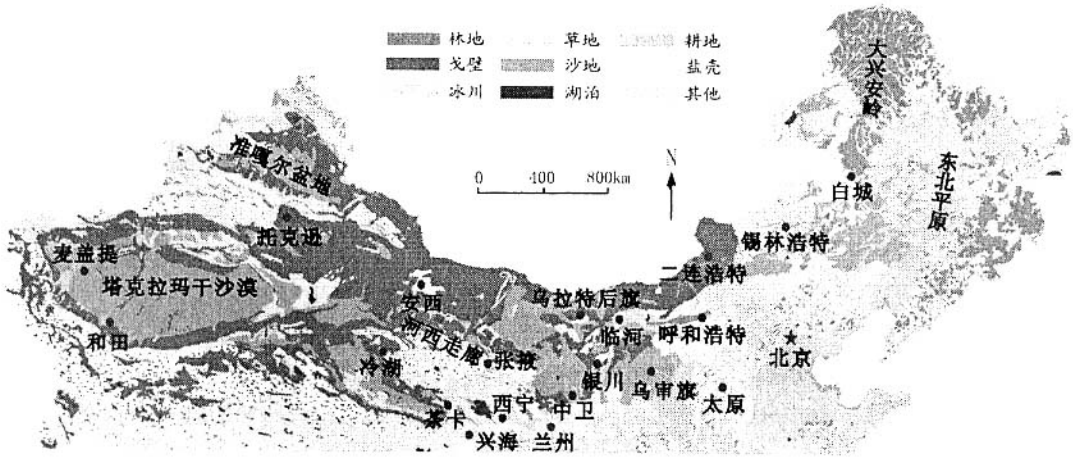


图 1 中国北方不同下垫面与 15 个气象站点分布图

3 数据分析

3.1 不同下垫面  $D_s$  与  $D_w$  的相关分析

为了反映不同下垫面大风日数( $D_w$ )与沙尘暴日数( $D_s$ )之间的关系,我们利用SPSS软件对15个气象站点40年的大风日数与沙尘暴日数数据进行了相关分析,计算出 $D_w$ 与 $D_s$ 的相关系数,在本文中我们定义为 $C$ 。 $C$ 值越大, $D_w$ 与 $D_s$ 的关系越密切。15个气象站点(以站点编号代表)的 $C$ 值如表2所示。

从表2中可知,5种下垫面15个气象站点的 $C$ 值绝大多数分布在0.52和0.82之间。在不同下垫面的气象站点之间, $C$ 值存在着一定的差异。其中,位于盐壳上的茶卡(Y2) $C$ 值最大,达到了0.81,而沙地上的中卫(S1) $C$ 值最小,仅为0.258。在同种下垫面上,不同气象站点的 $C$ 值也存在着差异。例如:同在沙地下垫面的中卫(S1)与乌审旗(S2)两者 $C$ 值的差值达到了0.43。这些表明:大风日数与沙尘暴日数之间存在着一定的相关关系,但是这种相关关系在不同气象站点之间存在着差异,而不论这些站点是在不同下垫面还是在同种下垫面条件下。在本文中,我们考虑不同下垫面之间的相关性差异。

表 2 5种下垫面上15个气象站点的  $C$  与  $C_a$  值

下垫面类型	农田	草地	沙地	戈壁	盐壳
$C$ 值	N1 0.562	C1 0.656	S1 0.258	G1 0.659	Y1 0.784
	N2 0.394	C2 0.675	S2 0.688	G2 0.669	Y2 0.810
	N3 0.529	C3 0.735	S3 0.376	G3 0.687	Y3 0.608
$C_a$ 值	0.495	0.689	0.441	0.672	0.734

表 3 5种下垫面、15个气象站点的  $T$  与  $T_a$  值

下垫面类型	农田	草地	沙地	戈壁	盐壳
$T$ 值	N1 1.201	C1 0.110	S1 1.201	G1 0.136	Y1 0.083
	N2 1.254	C2 0.088	S2 0.914	G2 0.136	Y2 0.053
	N3 3.226	C3 0.113	S3 1.228	G3 0.092	Y3 0.140
$T_a$ 值	1.894	0.104	1.114	0.364	0.092

设同种下垫面上 3 个气象站点的  $C$  值分别为  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$ , 我们计算出每种下垫面上 3 个气象站点  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$  的平均值, 定义为  $C_a$  (表 2), 用该值来反映不同下垫面之间的相关性差异。计算结果为: 盐壳、草地、戈壁的  $C_a$  值, 大于农田与沙地的  $C_a$  值, 其中前 3 种下垫面的  $C_a$  值分别为 0.73, 0.69 与 0.67, 而后两者的  $C_a$  值分别为 0.49 和 0.44。这表明在大风日数与沙尘暴日数的相关关系上, 盐壳、草地、戈壁要比农田、沙地强。因此, 盐壳、草地、戈壁的大风日数要比农田、沙地对沙尘暴日数有更大的影响。

3.2  $T$  值分析

在对不同下垫面的  $D_w$  与  $D_s$  进行相关分析的基础上, 统计了 15 个气象站点 40 年内的沙尘暴日数平均值 ( $D_{sa}$ ) 与大风日数平均值 ( $D_{wa}$ ), 求得  $D_{sa}$  与  $D_{wa}$  的比值, 在本文中, 定义  $T = D_{sa}/D_{wa}$ 。用  $T$  值来反映气象站点在大风条件下, 沙尘暴发生的难易程度。 $T$  值越大, 沙尘暴越容易发生。15 个气象站点 (以站点编号代表) 的  $T$  值如表 3 所示。

设同种下垫面上 3 个气象站点的  $T$  值分别为  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$ , 计算出每种下垫面上 3 个气象站点  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$  的平均值, 定义为  $T_a$  (表 3), 用该值来反映不同下垫面在大风条件下, 沙尘暴发生的难易程度。在表 3 中, 农田区的和田 (N3) 与临河 (N2) 的  $T$  值最大, 分别为 3.23 与 1.25; 而盐壳区的冷湖 (Y1) 与茶卡 (Y2) 的  $T$  值最小, 仅为 0.08 与 0.05。由  $T_a$  的计算结果可以看出: 草地、戈壁、盐壳的  $T_a$  值均小于 0.12, 明显小于农田与沙地的  $T_a$  值 (两者的  $T_a$  值均大于 1.11)。这说明不同下垫面的  $T$  值之间存在着较大的差异。草地、戈壁、盐壳的稳定性好, 在大风作用下不容易发生沙尘暴; 而农田与沙地的稳定性较差, 在大风作用下更容易发生沙尘暴。

3.3 大风与沙尘暴日数的年际变化分析

为了反映不同下垫面的沙尘暴日数与大风日数的年际变化特征, 求出同种下垫面的 3 个气象站点 40 年中每一年的大风日数平均值和沙尘暴日数平均值, 分别记作  $D_{wu}$  与  $D_{su}$ 。在本文中, 用这两个值来表示不同下垫面在某一年内的沙尘暴日数与大风日数; 并做出 5 种下垫面 40 年内沙尘暴日数 ( $D_{su}$ ) 与大风日数 ( $D_{wu}$ ) 的年际变化 (图 2)。由图 2 可以看出: 草地、戈壁、盐壳的沙尘暴日数明显少于大风日数, 沙尘暴日数的年际变化较小; 而农田与沙地的沙尘暴日数明显增多, 甚至在许多年份中多于大风日数, 沙尘暴日数的年际变化较大。这也说明: (1) 草地、戈壁、盐壳的稳定性好, 沙尘暴日数主要受大风天气影响, 这一点同前面 3.1 部分的分析结果是吻合的; (2) 农田与沙地的稳定性差, 沙尘暴日数受下垫面影响较大, 在没有大风的日子也会发生沙尘暴。

4 结论与讨论

通过 40 年的数据分析, 我们可以看出: 不同下垫面的大风日数与沙尘暴日数之间存在着一定的相关关系。下垫

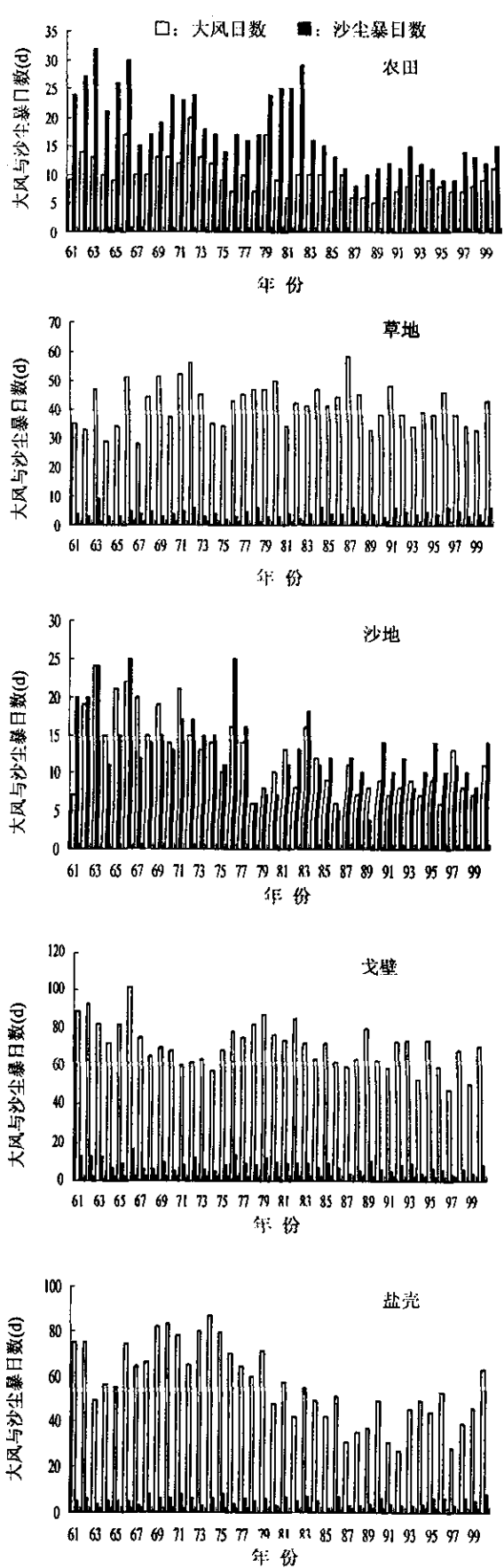


图 2 不同下垫面的大风日数与沙尘暴日数的年际变化

面对沙尘暴日数有重要的影响。不同下垫面的沙尘暴日数存在着较大的差异,这种差异是由不同下垫面对沙尘暴的影响机制决定的。

在沙尘暴形成过程中,粉尘释放通量与表土跃移通量成正比<sup>[5]</sup>,而表土跃移通量与下垫面类型紧密相关。当地表没有粗糙元覆盖时,起动摩擦风速主要与表土微团粒粒度分布有关。当地表出现植被、砾石等粗糙元时,粗糙度长度增加,起动摩擦风速增大,使得表土跃移通量降低<sup>[6]</sup>,粉尘释放量也会随之降低。下面,我们分别就以上 5 种下垫面对沙尘暴的影响机制进行探讨。

#### 4.1 农 田

农垦作用是人类扰动地面使其成为沙尘暴源地的主要形式。观测表明:土壤风蚀危害程度与旱耕地有密切关系。土地翻耕之后风蚀量在 7~12 级风力作用下,为未翻耕土地风蚀量的 14.8 倍。农垦扰动作用破坏了土壤结构和地表的植被,降低了土壤表面硬度,并使大量粉尘、黏粒物质出露,在同样风力条件下,易受风蚀起沙扬尘;另一方面,表土的裸露使大量被风吹蚀的土壤颗粒挟带在气流中,形成了挟沙风。已有的风洞试验表明:净风对土壤风蚀作用较小,但是在挟沙风作用下,风蚀强烈<sup>[7]</sup>。

#### 4.2 草 地

植被覆盖度的增加可以增大地表粗糙度,对沙尘暴有明显的抑制作用。观测表明:沙地植被盖度达 15%~25%时,地面风蚀量减少到光裸流动沙地的 21%~31%;而当植被盖度达 40%~50%时,风蚀量仅为流动沙地的 0.95%。这也是草地,特别是覆盖度较高的草地不容易发生沙尘暴的一个重要原因。另一方面,植被的根系对土壤,尤其是风沙土具有固定作用。适应流沙条件的植物能够逆转荒漠化(沙化)过程<sup>[8]</sup>,减少沙尘暴的发生。

#### 4.3 沙 地

沙地,尤其是流动沙地,地表缺少植被覆盖,粗糙度低。这使得土壤风蚀的起动风速降低,并提高了跃移通量<sup>[6]</sup>,增加了沙尘的输移量。此外,风沙土的颗粒组成对沙尘暴的发生也有重要的影响。当风速条件一定时,地表的扬尘量大小主要取决于土壤表层中含有粉沙、黏粒( $<0.063\text{ mm}$ )物质质量的多少。而沙地的风成沙中细粉沙、黏粒等土壤可蚀性颗粒的含量较高,这为沙尘暴的发生提供了大量的沙尘源。

#### 4.4 戈 壁

在戈壁风蚀面的发育过程中,可蚀性物质(细沙粒)因长期风蚀逐渐减少,而不可蚀性物质(主要是砾石)相对富集,从而形成对下伏物质具有保护作用的不可蚀砾石层——戈壁风蚀面。风洞实验研究表明:我国西北地区高砾石覆盖度的戈壁表面在空气动力学上是稳定的,不是现代风沙活动及沙尘暴的主要物质源地<sup>[9]</sup>。

#### 4.5 盐 壳

干盐湖(盐壳)表面有光滑、坚硬、凸凹不平的盐结皮。这层盐结皮不仅增大了地表的粗糙度,增加了起动摩擦风速;同时还将下层的土壤和沙粒保护起来,使它们免遭大风吹蚀。但是,干盐湖(盐壳)的沉积物中含有大量粉尘物质(粒径 $<10\mu\text{m}$ ),可以在一般风暴条件下被大气搬运几千公里,是沙尘暴中粉尘物质的重要来源<sup>[10]</sup>。

参考文献:

[1] 王涛,陈广庭,钱正安,等. 中国北方沙尘暴现状及对策[J]. 中国沙漠,2001,21(4):322—327.  
[2] Judd M J, Raupach M R, Fininigan J J. A wind tunnel study of turbulent flow around single and multiple windbreaks. Part I: velocity and boundary layer[J]. Meteorology, 1996, 80(1/2): 127—165.  
[3] 梅凡民,等. 中国北方表土微团粒粒度分布及其对粉尘释放通量的影响[J]. 科学通报, 2004, 49(17):1776—1784.  
[4] 杨续超,刘晓东. 东亚中纬度地区前期降水对中国北方春季强沙尘暴影响初探[J]. 干旱区地理,2004, 27(3):293—299.  
[5] Alfaro S C, Gomes L. Modeling mineral aerosol production by wind erosion: emission intensities and aerosol size distribution in source areas[J]. J. Geophys. Res., 2001, 106(16): 18075—18084.  
[6] 梅凡民,张小曳,曹军骥,等. 定量评价中国北方粉尘源区地表覆盖类型对表土风蚀强度的影响[J]. 海洋地质与第四纪地质,2004,24(1):119—124.  
[7] 张胜邦,董旭,刘玉璋,等. 柴达木盆地东南部土壤风蚀研究[J]. 中国沙漠,1999,19(3):293—295.  
[8] Roels B, Sebastiaan D, Marinus J A, et al. Relation of wind-induced sand displacement to plant biomass and plant sand-binding capacity[J]. Acta Botanica Sinica, 2001, 43(9): 979—982.  
[9] 董治宝,屈建军,刘小平,等. 戈壁表面阻力系数的实验研究[J]. 中国科学(D 辑),2001,31(11):953—958.  
[10] 岳乐平,杨利荣,李智佩,等. 西北地区干枯湖床沉积粒度组成与东亚沙尘天气[J]. 沉积学报,2004, 22(2):325—331.  
[11] 王贤,等. 浑善达克沙地沙漠化成因及其综合防治[J]. 水土保持学报,2004,18(1):147—150.  
[12] 刘艳萍,等. 防护林降解近地表沙尘机理的研究[J]. 水土保持学报,2003,17(1):162—165.