

文章编号:1004-4574(2007)04-0001-05

土壤湿度与风速对沙尘暴发生的贡献程度分析

李 宁¹, 杜子璇³, 许英军², 崔维佳², 吴吉东¹

(1. 北京师范大学 减灾与应急管理研究院/环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875; 3. 河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450003)

摘要:在沙尘暴研究中,大风和下垫面的土壤湿度是影响沙尘暴发生的两个重要因子,它们分别以数值形式定量记录,但这种定量因子与沙尘暴发生的定性特征之间难以建立联系,从而影响了沙尘暴的定量研究。利用内蒙古中西部地区二连浩特、乌拉特中旗和乌海等 3 个观测站点 2001 年 4 月至 2004 年 4 月的土壤湿度、风速及相应的沙尘暴记录资料,采用数量化理论 II 这种可以将定性分析与定量分析相结合的方法,研究了沙尘暴发生时风速和土壤湿度对沙尘暴的贡献程度。结果表明:在不同地区、不同地貌的自然条件下,风速和土壤湿度对沙尘暴发生的贡献程度相差甚远,乌拉特中旗和二连浩特地区风速的贡献大于土壤湿度的影响,而对乌海地区来说,土壤湿度对沙尘暴的贡献要大于风速的影响。

关键词:沙尘暴;数量化理论;风速;土壤湿度;贡献

中图分类号:P445⁺.4

文献标识码:A

A contribution of soil moisture and wind speed to occurrence of dust storms

LI Ning¹, DU Zi-xuan³, XU Ying-jun², CUI Wei-jia², WU Ji-dong¹

(1. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University/Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education of China, Beijing 100875, China; 2. College of Resources Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875; 3. Meteorological Science Institute of Henan Province, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In the research of dust storm, the gale and soil moisture content of land surface are the two important factors which affect the occurrence of dust storm, and they are recorded by quantitative form. It is hard to establish the relationship between the quantitative factors and the occurrence of dust storm. In this paper, the contribution degree of wind speed and soil moisture content to the occurrence of dust storm is analyzed by using Quantification Theory II which unifies the qualitative analysis and the quantitative analysis together, and using the data of soil moisture content and wind speed measured from April 2001 through April 2004 at the stations in Erleahot, Wulatezhongqi and Wuhai, which are located in Midwest of Inner Mongolia of China. The result shows that the contribution degree of wind speed and the soil moisture content has obvious discrepancy in different regions which have different geomorphy and natural conditions. In Wulatezhongqi and Erleahot regions, the contribution of wind speed is bigger than that of the soil moisture content to the occurrence of dust storm, however, the contribution of soil moisture content to the occurrence of dust storm is bigger than that of wind speed in Wuhai.

Keywords: dust storm; quantification theory; wind speed; soil moisture content; contribution

收稿日期:2006-01-23; 修订日期:2006-04-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40541001);北京市自然科学基金资助项目(8062020)

作者简介:李宁(1958-),女,教授,主要从事自然灾害与风险管理研究. E-mail:yingjxu@ires.cn

沙尘暴是指由于强风把地面大量沙尘卷入空中,使空气特别浑浊,水平能见度低于 1 km 的天气现象^[1]。对沙尘暴源地而言,是否经常有沙尘暴发生,除了与产生沙尘暴的主要天气系统通过该地区的次数和路径有关之外,还与该地区的下垫面状况有密不可分的联系。减轻沙尘暴危害的最有效、最直接的方法是改善沙尘暴源地的下垫面状况。这不仅需要科学地认识沙尘暴与下垫面之间的相互作用机理,还需要分析植被覆盖、土壤湿度、地表固结或疏松程度、沉积物粒径大小等下垫面致灾因子对沙尘暴形成的贡献程度,以及把握各下垫面因子的局地组合在不同天气气候背景条件下重要性的数量特征。本研究以沙尘暴源地—内蒙古中部的阴山北麓及浑善达克沙地毗邻地区为研究区,从综合自然地理的角度,通过数量化理论 II 研究土壤水分下垫面的沙尘致灾因子的变化特点和数量特征,明确它们对沙尘暴发生的贡献。为沙尘暴源地下垫面沙尘危险度区划与评价指标体系奠定基础,为提出减轻沙尘暴危害的人工调控措施提供依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

本文选择沙尘暴发生日数较多和灾情较严重的内蒙古中西部地区作为研究区域,范围为北纬 38° ~ 44°,东经 106° ~ 113°,主要包括阿拉善盟、巴彦淖尔盟和乌兰察布盟的一部分以及呼和浩特市、乌海市和鄂尔多斯市。研究区内土壤以沙地为主,区内有乌兰布和沙漠、库布其沙地,毛乌素沙地等。地貌类型较多,有山地、丘陵、高平原、平原、沙漠、沙地等,属于干旱半干旱地区,降水量少,且由东南向西北逐渐减少的趋势。大风日数较多,年平均大风日数为 30 ~ 90 d(这里大风指瞬间风速大于等于 17.2 m/s)年平均沙尘暴日数为 8 ~ 20 d,由东向西沙尘暴日数逐渐增多^[3]。

1.2 典型站点选取

本文以二连浩特、乌拉特中旗和乌海 3 个自动观测站点作为典型点的研究,选取主要考虑了 3 个方面:沙尘路径的影响,地貌类型的影响和资料获取的难易程度。经由内蒙古自治区影响北京及华北地区的沙尘暴路径主要有两条,一是二连浩特—苏尼特左旗—张家口—北京的北方路径,二是阿拉善—乌海—准格尔旗—北京的北西北路径,这两条路径所经之处是我国沙尘暴多发区;选择自然地理条件、气候、土地类型、植被状况有明显不同有利于对比,二连浩特位于坦荡的内蒙古高原上,乌拉特中旗在地貌类型上为山地,乌海位于黄河中上游地区,附近有乌兰布和沙漠和库布齐沙漠;资料的获取方面,为了使观测资料与气候、气象的数据相匹配并考虑观测仪器的维护和观测资料的完整性,尽量选择国家基准气象站。综合这些因素,我们选择了二连浩特、乌拉特中旗和乌海市为观测地点,进行土壤湿度、地温、气温等下垫面因子的观测和研究。

1.3 研究方法

本文所用数据来自研究区气象观测站点的气象资料,主要为每日风速资料、沙尘暴记录资料。土壤湿度资料来自日本制 ADR 土壤水分观测仪(UIZ-SM-2X)的连续观测数据,数据读取的记录间隔为 60 min,数据单位为土壤体积含水百分率。根据这些资料,利用 Spss、Mintab 等软件统计出本文因子的临界值,风速的临界值为 3.5 m/s,土壤湿度的临界值为 19.5%^[4]。同时,根据数量化理论可以将定性数据与定量数据综合分析的特点,利用数量化理论 II 分析风速和土壤湿度在沙尘暴发生时的作用程度。

2 贡献程度分析

2.1 数量化理论 II 概述

数量化理论为多元统计的一个分支,由理论 I 和理论 II 组成。其因变量可以是定量变量,又可以是定性变量,从而可以充分利用可能搜集到的定性、定量的条件信息,使那些难以作详细定量研究的问题定量化,更全面地研究并发现事物间的联系和规律性^[5-6]。当因变量是定量变量时称其为理论 I,当因变量是定性变量时称其为理论 II。虽然有许多研究表明土壤湿度对沙尘暴发生的贡献,但大多数都是用沙尘暴日数和土壤水分的统计关系说明土壤水分的贡献,这个贡献大都以相关系数的形式表示^[9],用土壤水分和风速的贡献程度相比较说明下垫面因子和大气环流影响沙尘暴的重要性并不多见。

本文针对沙尘暴记录(有、无)的定性数据的特点,选择了用数量化理论 II 分析风和土壤湿度对沙尘暴万方数据

的定量贡献程度,该理论采用普通集合下具有判断{Yes, No}意义的{1,0}值,建立相应的反应矩阵,处理这个矩阵并对结果分析研究,从而实现对观测对象及影响因素分类判别的目的。

在数量化理论中,常把定性变量叫做项目,把项目下可能出现的不同取值称为类目。用 $x_1, x_2 \dots x_j$ 表示项目, C_k 表示类目, $k = 1, 2, 3 \dots j$, $\delta_i(jk)$ 表示第 i 个样本对类目 C_k 的反应,其中:

$$\delta_i(jk) = \begin{cases} 1 & \text{有反应} \\ 0 & \text{无反应} \end{cases} \quad (1)$$

而且变量 $\delta_i(jk)$ 必须遵循以下原则:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{C_j} \delta_i(jk) = 1 \\ \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{C_j} \delta_i(jk) = n \end{cases} \quad (2)$$

其中, C_j 为项目 j 的类目数, n 为样本总数。

在计算样本对每个类目的反应总得分时,可以按照以下方程:

$$Y_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{C_j} a_{jk} \cdot \delta_i(jk) \quad (3)$$

这里, Y_i 是总得分, a_{jk} 是标志权系数,它通过 Y_i 与 $\delta_i(jk)$ 的最小二乘法得到。当样本 i 对项目 j 中的类目 k 有反应时, $\delta_i(jk) = 1$, 这时 $\delta_i(jk)$ 与标志权系数 a_{jk} 相乘得到的值即项目 j 对总得分 Y_i 的贡献值。这样使反应情况接近的样本有相近的得分,从而使得分作为样本的一种数量表示具有内在的意义,可据此对样本进行分类。理论根据 II, 第 t 类, 项目 j 和类目 k 对应的样本的计算方法如下:

$$g^t(jk) = \sum_{i=1}^{n_t} \delta_{it}(jk) \quad (4)$$

其中, $g^t(jk)$ 表示对项目 j 和类目 k 有反应的样本数。当两个项目和类目同时反应时的样本按照以下方程计算

$$f_{lm}(jk) = \sum_{i=1}^n \delta_i(lm) \delta_i(jk) \quad (5)$$

方程中, l 表示项目, m 表示类目

理论 II 中, 定义类目量 x 的计算由 $Hx = \eta^2 Fx$ 计算, 当因变量是 2 类的情况时, 该式可简化为 $Fx = \frac{n_1 n_2}{n} h$, 式中 n 为总样本数, n_1 为对类目有反应的样本数, n_2 为对类目无反应的样本数。其中 F 和 h 的表达式为:

$$F = \left[f_{uv}(lm) - \frac{1}{n} n_{lm} n_{uv} \right], h = \left[\frac{g^1(jk)}{n_1} - \frac{g^2(jk)}{n_2} \right] \quad (6)$$

其中, $f_{uv}(lm)$ 表示在项目 u 的类目 v 属于项目 l 的类目 m 的样本数。 n_{lm} , 表示属于项目 l 的类目 m 的样本数, n_{uv} , 表示属于项目 u 的类目 v 的样本数。根据 $g^t(jk)$ 的说明, $g^1(jk)$ 是项目 1 内有反应的样本数, 而 $g^2(jk)$ 是项目 1 内有无反应的样本数目。

将所得矩阵做规一化处理, 并乘上相应的标志权系数, 构成加权反应矩阵, 从而可以得出所分析样本中各因子的重要性。详见参考文献[6]。

2.2 数据的选取

在本研究中, 以发生沙尘天气的过程为研究样本, 对沙尘暴发生有促进作用的设为 1, 否则为 0, 所选沙尘暴过程是以发生的日期为序, 为了对应这个序列, 选取对沙尘暴发生影响较为重要的风速和土壤湿度两个因子进行分析, 根据以外研究的同时期内(2001 年 4 月至 2004 年 4 月)日平均风速和土壤湿度对沙尘暴的影响^[7-8], 在每个因子中都有一个分解值, 风速为 $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 土壤湿度为 19.5%, 即在风速大于 $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或土壤湿度小于 19.5% 时易发生沙尘暴, 而在风速小于 $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或土壤湿度大于 19.5% 时不易发生沙尘暴。不发生沙尘暴的样本是从与沙尘暴发生相应的季节中随机选取与发生次数相同的样本。

以乌拉特中旗为例, 选取 2001 年 4 月至 2004 年 4 月的 19 次沙尘暴过程和相应季节随机选取的 19 次不发生沙尘暴的过程, 首先进行 0,1 值划分, 其结果如表 2 所示:

万方数据

表 1 沙尘暴有无发生调查结果

Table 1 Investigation on occurrence of dust storm

样本号	沙尘暴		风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)		土壤湿度/%	
	有	无	>3.5	<3.5	>19.5	<19.5
1	1	0	1	0	0	1
2	1	0	1	0	1	0
...
38	0	1	1	0	0	1
总计	19	19	28	10	13	25

2.3 计算结果和分析

根据上述数量化理论Ⅱ的步骤和涉及到的方程,把上表统计结果代入程序计算得出乌拉特中旗、二连浩特(表略)和乌海(表略)的得分和极差结果。

表 2 乌拉特中旗数量化理论分析结果

Table 2 Analytical result from quantification theory for Wulatezhongqi

项目	类别	样本数	类别得分	类别得分平均值	标准化类别得分	极差
风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	>3.5	28	0.048 74	0.035 9	0.012 84	0.048 74
	<3.5	10	0		-0.035 9	
土壤湿度/%	>19.5	13	0	0.0181	-0.018 1	0.027 46
	<19.5	25	0.027 46		0.009 4	

从图中可以看出,当日平均风速大于3.5 m/s 或日平均土壤湿度小于19.5%时得分为正,有利于沙尘暴发生,当日平均风速小于3.5 m/s 或日平均土壤湿度大于19.5%时得分为负,可以减少沙尘暴的发生,即较小的风速和较湿的土壤条件不利于沙尘暴的发生。而对不同的地区来说,风速和土壤湿度作用的程度也不一样。

图2是用项目极差值表示风速和土壤湿度对沙尘暴发生的贡献程度,较大者表示贡献程度较大。由图可见,对不同的地区来说,由于下垫面因子的不同,风速和土壤湿度作用的程度也不一样。乌拉特中旗和二连浩特地区的风速的贡献要大于土壤湿度的影响,对乌海地区来说,土壤湿度对沙尘暴的贡献要大于风速的影响。这个结果说明,风速不是沙尘暴发生的唯一重要的因子,下垫面性质对其起着重要的作用,在某些条件下该作用甚至相等或大于风速的贡献。

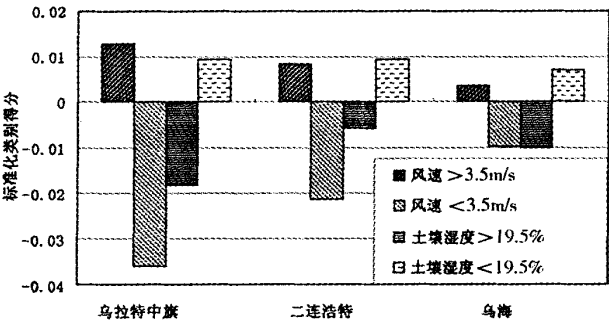


图 1 标准化类别得分

Fig. 1 Normalized category score of wind speed and soil moisture content in different regions

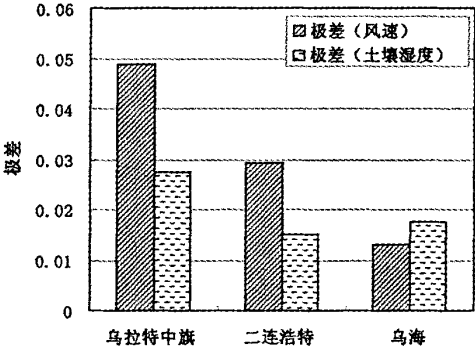


图 2 项目极差

Fig. 2 Contribution of wind speed and soil moisture content to occurrence of dust storm in different regions

二连浩特地区位于广袤的蒙古高原上,地势平坦,地表多为粒径较小的颗粒物,地表硬度较大,受气候影响土壤湿度的变化不大,因此大风是促使该地区发生沙尘暴的主要原因;乌拉特中旗位于丘陵地区,地表多位粒径稍大的砾石沉积物,且有部分耕地,因此对于该地区来说,发生沙尘暴时风速的贡献要大于土壤湿度的贡献程度;而乌海尽管位于黄河中上游地区,黄河由南向北穿过,但乌海东西两侧分别为库布齐沙漠和乌兰布和沙漠,土壤类型为风沙土,因此土壤湿度的稍微变化即使下垫面状况发生很大改变,且该地区地势为东西高、中间低,南高北低,大风来临时,其地势有减弱风势的作用,因此在沙尘暴发生时,该地区土壤湿度对沙尘暴的贡献程度要大于风速的贡献。

3 结论

应用数量化理论Ⅱ,对沙尘暴发生过程中风速和土壤湿度的贡献程度进行了定量分析,结果表明:当日平均风速大于 3.5 m/s 、日平均土壤湿度小于 19.5% 时,有利于沙尘暴发生;反之,沙尘暴不易发生。乌拉特中旗和二连浩特地区的风速对沙尘暴发生的贡献要大于土壤湿度的影响,对乌海地区来说,土壤湿度对沙尘暴的贡献要大于风速的影响。这种下垫面因子的定量的贡献程度,为下一步进行沙尘暴危险度的研究打下良好的基础。

数量化理论Ⅱ对研究沙尘暴定量记录数据是有效的,但它在通过概括定量分析提供更深刻的结果的同时也产生某些风险。风险包括计算的数量数据在原始数据中不存在,以及这些计算值的意义不明确。对于这些风险在多变量分析中产生的误差应予以重视。

参考文献:

- [1] 杨德保,尚可政,王式功. 沙尘暴[M]. 北京:气象出版社,2003:1-3.
- [2] 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[J]. 自然灾害学报,2000,9(3):71-77.
- [3] 顾卫,蔡雪鹏,李彰俊,等. 内蒙古中西部地区沙尘暴日数分布的地貌特征[J]. 自然灾害学报,2003,12(4):131-136.
- [4] Ning Li, Wei Gu, Zixuan Du, et al. Relation between soil moisture and occurrence of dust storm in central part of inner mongolia of China[J]. Journal of Agriculture Meteorology, The Society of Agricultural Meteorology of Japan, 2005,60(5):481-484.
- [5] 阳吉宝. 数量化理论在确定滑坡稳定性影响因素中的应用[J]. 数理统计与管理,1995(2):7-11.
- [6] 饭田恭敬,冈田宪夫. 土木计划系统分析-现象分析篇[M]. 东京:森北出版株式会社,1992:197-206.
- [7] 杜子璇,李宁,顾卫,等. 二连浩特地区土壤湿度变化特征及其与沙尘暴关系的初步研究[J]. 干旱区地理,2005,28(4):501-505.
- [8] 李 宁,顾卫,谢锋,等. 土壤含水量对沙尘暴的阈值反应—以内蒙古中西部地区为例[J]. 自然灾害学报,2004,13(1):44-49.
- [9] 杨春秀,严平,刘连友,土壤风蚀研究进展与评述[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(4):147-153.