

地面冻结状况与春季沙尘暴发生的关系

李彰俊^{1,3}, 郝璐^{2,3}

(1 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

3 内蒙古气象局生态与农业气象中心, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘 要: 利用30年地面气象观测数据,以内蒙古锡林郭勒盟中西部地区为研究区,以土壤表面冻结终日与沙尘暴发生日数为指标,分析了地面冻结终日与春季沙尘暴发生日数之间的关系。研究表明:在研究区内,土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数之间呈现负的相关关系,说明土壤表面冻结终日对春季沙尘暴的发生有一定的影响,也表明了其对沙尘暴的发生有进行指示和监测的潜力;但部分地区的相关关系不显著,说明土壤表面冻结状况只是影响春季沙尘天气的一个因子,它对沙尘天气所产生的影响是有限的。

关 键 词: 土壤冻结; 沙尘暴; 内蒙古

中图分类号: P445.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6060(2008)02-0203-07(203~209)

沙尘天气的发生发展是特定的天气背景和下垫面条件下的产物。沙尘天气的形成、加强以及时空分布,受到很多下垫面因素的影响。在这个问题上,不同学科的专家有不同的看法,但共同的看法是下垫面状况是沙尘天气形成和发展的关键因素,影响沙尘天气过程的下垫面因子主要包括:植被的组成、结构、覆盖度,土壤的结构、质地、含水量(干燥度)、侵蚀强度、表面粗糙度,土地利用状况,沙漠化状况,地形地貌(如山脉、丘陵、平原、坡度、坡向)等^[1-14]。

在下垫面条件中,最重要的条件是有无沙尘源区的存在,而哪些地区可以成为沙源,不仅取决于该地区所处的地理位置(如干旱半干旱区、沙漠地区等),还与该地区地表覆盖状况有关。研究表明^[15,16],中国风沙灾害加剧是在气候趋于干暖化背景下,沙化土地扩展的结果。除了戈壁、沙漠、沙地和沙漠化土地是沙尘暴发生和发展的物质来源以外,退化草地和耕作农田也是我国北方沙尘暴的重要物质来源。对于水域、冰雪和植被覆盖度高的地区,往往不会发生土壤的风力侵蚀^[17],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^[4]。尤其在冬春季节,由于大面积的耕作农田和退化草地季节性裸露,加之堆放的工业废渣和自然风化的露天矿石,沙尘物质丰富,成为沙尘暴灾害得以加剧的重要物质基础^[3]。目前,许多学者认为土壤冻结在一定程度上可以抑制沙尘天气的形成^[18,19],如王式功等^[20]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的原因之一就是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,为沙尘天气的发生提供了沙源条件。

土地冻融是指土层由于温度降到0℃以下和升至0℃以上而产生冻结和融化的一种物理地质作用和现象。我国多属于季节性冻土类型,即冬季冻结,夏季消融。我国季节性冻土区的面积约占国土面积的50%,冬季土壤冻融是北方季节性冻土区一种常见的自然现象。冻融在我国北方冬季气温低于0℃的各省区均有发育,但以青藏高原、天山、阿尔泰山、祁连山等高海拔地区和东北北部高纬度地区最为严重。初春,随着气温的回升,白天0℃以上气温持续时间增长,由于地表蒸发作用的影响,地表冻融

收稿日期:2007-04-11; 修订日期:2007-10-22

基金项目:中国气象局气候变化专项项目(CCSF2006-17),中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2006M27)资助

作者简介:李彰俊(1959-),男,内蒙古呼和浩特人,在读博士,高级工程师,主要从事大气科学及区域自然灾害研究

通讯作者:郝璐, E-mail: hl_haolu@163.com

层土壤含水量降低,在地表形成一定厚度的“干土层”^[21,22],土壤在完全消融后,因湿度较大,因此反照率较低,吸收太阳短波辐射的能力加强,使土壤温度迅速升高,而这有利于土壤水分的蒸发,从土壤消融后到夏季雨季开始前,浅层土壤显著变干^[23],土壤干且松,这正是形成沙尘暴的必要条件之一;相反,如果春季气温持续偏低,则有利于土壤冻结和土壤水分的保持,对沙尘天气的形成有一定的抑制作用。因此,地表冻结状况与沙尘暴区域特征有着直接或间接的关系,但这种关系究竟表现出一种什么样的定性和定量特征,由于地表冻结状况的把握受到观测手段和资料的限制,有关这方面的研究成果尚不多见。本文以内蒙古锡林郭勒中西部地区为研究区域,利用内蒙古地面气象沙尘天气及地表冻结观测数据,探讨土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数的关系。

1 数据来源及研究区概况

沙尘天气数据来源于内蒙古锡林郭勒中西部地区 11 个地面气象观测站 1971—2000 年的 30 年沙尘暴日数逐月观测资料,土壤表面冻结数据来源于锡林郭勒中西部地区 11 个地面气象观测站 1971—2000 年的 30 年地面冻结初、终日观测资料。另外,按照气象观测规范,春季定义为当年 3~5 月。

沙尘天气主要发生在沙漠及其临近的干旱与半干旱地区,世界范围内沙尘暴多发生在中亚、北美、中非和澳大利亚^[24]。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^[25]。而内蒙古是东北、华北中南部及其以南地区出现沙尘天气的主要路径和源地之一。

鉴于此,研究区选择处于干旱半干旱地区的内蒙古锡林郭勒中西部地区(图 1),由于地处中纬度西风气流带内,属中温带大陆性气候,受季风影响,研究区内春季平均风速最大,一般为 4~6.5 m/s。大风日数多,年大风日数 32.1~85.5 d,最大风速达 20~34 m/s^[26]。干旱是这一区域最突出、最严重的问题。如二连浩特年平均降水量仅 114 mm,仅占其西南方向上的呼和浩特市年平均降水量(401.6 mm)的 28%。近 50 年来,受全球气候变暖的影响,这一区域气温明显增高,而降水量减少,呈现出暖干

化现象。尤其在春季,这一区域气候干燥,降水量占年降水量的百分比不足 15%,大部分地区地面蒸发量高,土壤含水量少,植被盖度低,土地风蚀沙化严重,生态环境相当脆弱,是北方沙尘暴源区,为沙尘暴的发生发展提供了气候、地貌和生态背景。研究区的上游地区,年平均沙尘暴日数最多是 10 天,最少日数是 5 天;同时研究区包括内蒙古最大的黑风暴中心,0 级能见度日数在 4 天以上,最大中心位于朱日和气象站,0 级能见度日数高达 7 天之多。以朱日和气象站为例,这里的年平均大风日数高达 83.7 天,年平均风速为 5.6 m/s^①,为内蒙古地区年平均大风日数和年平均风速之冠,是华北北部强与特强沙尘暴最大的一个中心。

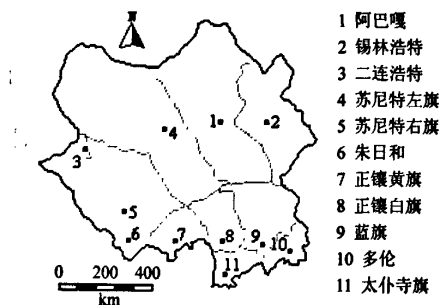


图 1 研究区位置及气象台站分布

Fig. 1 Geographical location and meteorological stations of the study area

2 土壤冻结对春季沙尘暴发生日数的影响分析

2.1 实例分析

2003 春季,我国北方地区出现了 7 次沙尘天气过程(包括扬沙和沙尘暴),其中沙尘暴过程 2 次,扬沙过程 5 次,而 3 月份出现的沙尘天气均未达到扬沙或沙尘暴天气过程标准。与过去几年相比,2003 年春季北方地区沙尘天气显得异常偏少,这是大气环流形势、降水、气温、以及前期下垫面状况等多种因素综合作用的结果。

沙尘暴的形成及其大小,直接取决于风力、高空大气强对流和地表状况。而 2003 年,这些形成沙尘暴的条件都不充分,就下垫面状况而言,2002 年末

① 数据来源:内蒙古地面气象观测资料(1950—2002)

到 2003 年初,由于冷空气多次南下,北方的沙尘暴源区多次大面积降雪、气温下降,我国西北及内蒙古地区均出现大面积降雪过程,特别是内蒙中部地区累积降雪量创历史最高记录。由于中亚、蒙古以及我国西北大部地区前期降雪偏多,因此初春(3 月上~中旬)这些地区的气温较常年同期偏低,大部分地区气温偏低均在 2°C 以上,最高气温异常偏低 4°C 以上,从而导致这些地区地表冻土层解冻推迟^[18]。北纬 30°N 以北地区地表形成季节性冻土,而且表面覆盖着积雪,不利于沙尘暴的形成。只有未被降雪覆盖的银川、内蒙古和黑龙江西部部分地区出现零星沙尘天气,但由于适合于扬尘的地表面积不大,因而没有能形成沙尘暴^[19]。在境外源区也就是蒙古国方面,由于 2003 年初春两次大范围的暴风雪,使蒙古国南部的沙尘暴源区形成季节性冻土带,被大雪覆盖直到 4 月,也不易形成沙尘暴。直至 2003 年 4 月 8 日至 9 日,我国北方才出现入春后第一次大范围沙尘暴天气,这次天气过程主要是甘肃和内蒙古中西部、宁夏北部因有冷空气入侵,当地的风力达到了 7 级左右,而此时地面冻土已开始融化,土壤变得松软,前一段时间光照充足也使西北荒漠地带变得十分干燥,所以当大风到来时,甘肃酒泉、

张掖、武威、白银等市的部分地方和宁夏北部、内蒙古中西部的部分地方出现了沙尘暴。

由此可见,地表冻土层解冻推迟或提前对春季沙尘暴的发生、发展是有一定影响的,其在一定程度上可以抑制或促进沙尘天气的形成。

2.2 土壤冻结终日与春季沙尘暴日数变化规律

为了分析土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数的变化规律,将研究区内 11 个地面气象观测站 1971~2000 年的土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数观测资料进行 30 年平均后绘制趋势图(图 2),从图中可以看出,研究区土壤表面冻结终日的变化趋势与春季沙尘暴发生日数变化趋势的不同,春季沙尘暴发生日数在 70 年代发生频率较高,80 年代后一直呈下降趋势;而土壤表面冻结终日从 70 年代一直处于缓慢推后趋势,80 年代至 90 年代初冻结终日最晚,近些年又呈提前趋势。由此可见,尽管春季沙尘暴发生日数的年际变化主要取决于气象因子,即气候背景(拉尼娜现象、降水干湿周期、全球变暖、欧亚大陆积雪面积等)的变化和环流形势(寒潮爆发频率、冷空气入侵路径等)的调整^[3],然而土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数之间也存在着某种负的关联关系。

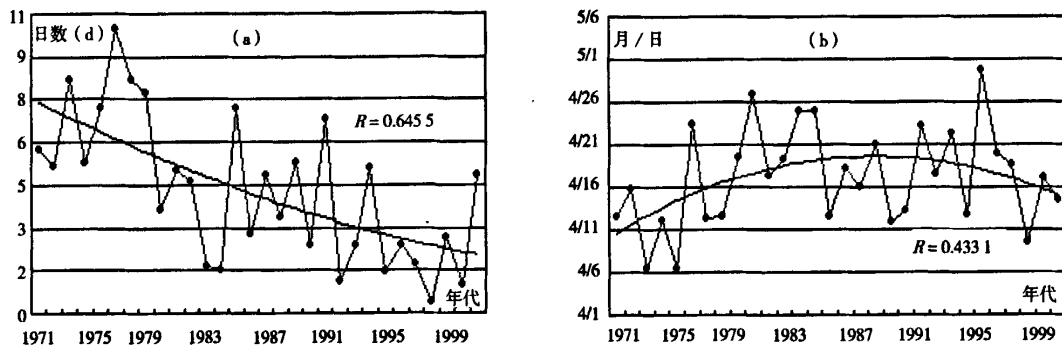


图 2 春季沙尘暴日数与土壤表面冻结终日变化曲线(1971~2000 年)(a. 沙尘暴 b. 冻结终日)

Fig. 2 Change of sand-dust storm days in spring and the end day of soil freezing(1971~2000)(a. Sand-dust storm; b. soil freezing)

2.3 土壤表面冻结终日与春季沙尘暴日数关系定量分析

由于所选站点其土壤表面冻结终日主要在每年的春季,即 3 月至 5 月,而研究区内的沙尘暴也主要发生在春季,所以我们利用这些站点每年 3~5 月的沙尘暴发生日数与土壤表面冻结终日的数据,具体分析了土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数的

定量关系。

首先将研究区 11 个地面气象观测站点土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数做 30 年平均值并做成散点图(图 3),从图中可以看出,研究区内,土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数具有较好的线性关系。说明当土壤表面冻结终日提前时,春季沙尘暴发生日数呈现出增加趋势;当土壤表面冻

终结日推后,春季沙尘暴发生日数呈现出减少趋势。

同时,为了分析土壤表面冻结终结日与春季沙尘暴发生日数在较小的空间范围内是否也表现出上述的对应关系,对研究区内 11 个地面气象观测站点(分别位于 10 个旗县),分别做土壤表面冻结终结日与春季沙尘暴发生日数的 30 年变化趋势图(图略)以及二者的散点图,以探讨在不同旗县内土壤表面冻结终结日与春季沙尘暴发生日数的关系。图 4 为锡林浩特市、多伦县、苏尼特右旗、正镶黄旗、正镶白旗以及阿巴嘎旗 1971-2000 年土壤表面冻结终结日与春季沙尘暴发生日数的散点图。

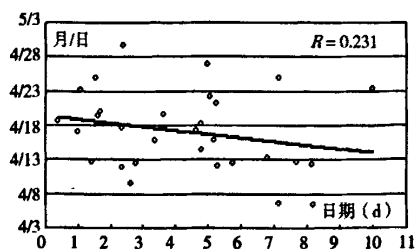
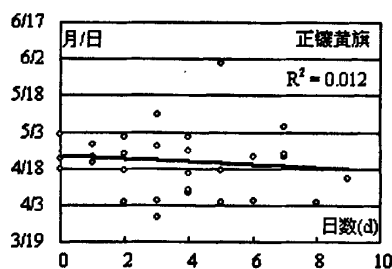
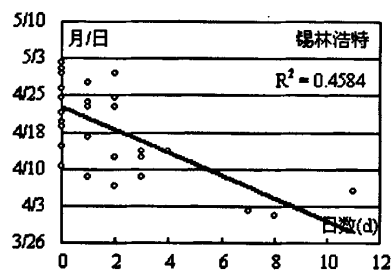
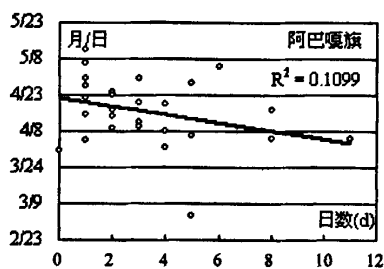


图 3 研究区土表冻结终结日与春季沙尘暴发生日数散点图(1971-2000 年)

Fig. 3 Relationship between sand-dust storm day in spring and the end day of soil freezing in research area (1971-2000)

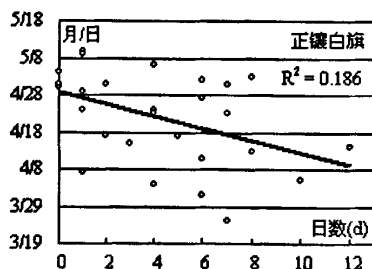
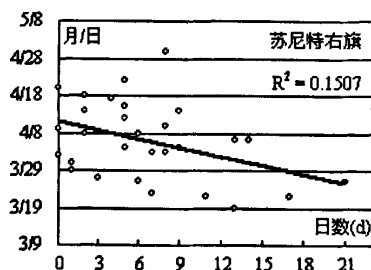
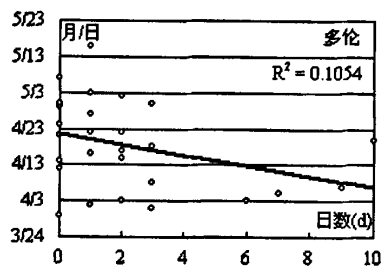


图 4 各旗县土壤表面冻结终结日与春季沙尘暴发生日数散点图(1971-2000 年)

Fig. 4 Relationship between sand-dust storm days in spring and the end day of soil freezing in each counties (1971-2000)

变化趋势图表明大部分旗县土壤表面冻结终结日与春季沙尘暴发生日数的趋势线走向基本上是相反的,春季沙尘暴发生日数在 30a 中呈下降趋势;而土壤表面冻结终结日大部分旗县从 70 年代一直处于缓

慢推后趋势,80 年代至 90 年代初冻结终结日最晚,近年又呈提前趋势;然而也有部分旗县的土壤表面冻结终结日变化趋势有所不同,其中正镶白旗走势与大多数旗县相反,锡林浩特市呈持续上升趋势,多伦

县变化较平缓。散点图表明研究区内大部分旗县土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数具有较好的线性关系,当土壤表面冻结终日提前时,春季沙尘暴发生日数呈现出增加趋势;当土壤表面冻结终日推后时,春季沙尘暴发生日数呈现出减少趋势,这说明土壤表面冻结终日的提前对春季沙尘暴发生日数有一定的促进作用,因此也表明了其对沙尘暴的发生有进行指示和监测的潜力。

各旗县 1971 - 2000 年土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数的相关系数 (Pearson_r) 及其显著性水平如表 1 所示。可以看出,大多数的相关系数都表现为负相关,但只有少数站点的相关系数都通过置信度 $\alpha = 0.05$ 或 $\alpha = 0.01$ 检验。这表明研究区内大部分地区土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数在统计上有负相关关系,然而,大多数地区土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数的相关关系不显著,说明土壤表面冻结状况只是影响春季沙尘天气的一个因子,它对沙尘天气所产生的影响是有限的。但也说明研究沙尘天气时,仅仅考虑天气动力学因子是不科学、不全面的,还需要分析土壤冻结等其它下垫面因子。

表 1 土壤表面冻结终日与沙尘暴日数(3-5月)的相关关系(1971-2000年)

Tab.1 Correlation coefficients between sand-dust storm days(Mar. - May) and the end day of soil freezing (1971-2000)

站 点	经纬度	海拔高度 /m	相关系数	样本数
阿巴嘎	44°01'N 114°57'E	1 126.1	-0.34	30
朱日和	42°24'N 112°54'E	1 150.5	0.27	30
二连浩特	43°39'N 112°00'E	964.7	0.05	30
锡林浩特	43°57'N 116°04'E	989.5	-0.68**	30
多 伦	42°11'N 116°28'E	1 245.4	-0.33	30
正镶黄旗	42°14'N 113°50'E	1 322.1	-0.11	30
苏尼特右旗	42°43'N 112°42'E	1 101.7	-0.39*	30
苏尼特左旗	43°50'N 113°43'E	1 111.4	0.06	30
正镶蓝旗	42°15'N 115°59'E	1 300.1	-0.07	30
正镶白旗	42°18'N 115°00'E	1 345.9	-0.43*	30
太仆寺旗	41°53'N 115°16'E	1 468.9	-0.01	30

* 通过置信度 $\alpha = 0.05$ 检验, ** 通过置信度 $\alpha = 0.01$ 检验

3 结论与讨论

(1)大部分地区土壤表面冻结终日与春季沙尘

暴发生日数呈负相关关系,当土壤表面冻结终日提前时,春季沙尘暴发生日数呈现出增加趋势;当土壤表面冻结终日推后时,春季沙尘暴发生日数呈现出减少趋势,这说明土壤表面冻结终日对春季沙尘暴的发生有一定的影响。

(2)土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数呈负相关关系,但部分地区的相关关系不显著。说明土壤表面冻结状况只是影响春季沙尘天气的一个因子,它对沙尘天气所产生的影响是有限的。虽然本文的研究尚未得到土壤表面冻结终日与春季沙尘暴发生日数增加量之间的定量关系,但至少表明了其对沙尘暴的发生有进行指示和监测的潜力。

(3)土壤表面冻结主要是通过改变地面沙源状况来影响沙尘天气的发生、发展,当地表冻土层解冻提前时,土壤含水量减少,土壤干燥度会增加,使得土壤表层土壤颗粒变得松散,粉尘物质易被风带至空中,表层松暄土壤中的细小颗粒在强风作用下被刮起,进入大气中而成为沙尘成分,因此土壤表面冻结状况,与春季沙尘天气发生的频度(日数)是有关联的。尤其是冬末春初,牧草还未返青,冷空气活动频繁,地表状况对沙尘暴的发生发展就显得尤为重要。

(4)关于土壤表面冻结终日对春季沙尘暴发生的阈值反应还有待更进一步的研究。

参考文献(References)

[1] Zhang Jiahua, Wang Changyao. Landscape disturbance analysis of desertification disaster [J]. Journal of Natural Disasters, 1997, 6 (3): 105 - 111. [张佳华, 王长耀. 沙漠化灾害的景观干扰分析 [J]. 自然灾害学报, 1997, 6(3): 105 - 111.]

[2] Yang Debao, Shang Kezheng, Wang Shigong. Dust storm [M]. Beijing: Meteorology Press, 2003: 1 - 3. [杨德保, 尚可政, 王式功. 沙尘暴 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 1 - 3.]

[3] Gu Wei, Cai Xuepeng, Xiefeng, et al. Study on relationship between vegetation cover and distribution of days of sandstorm - taking central and western Inner Mongolia for example [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(2): 273 - 277. [顾卫, 蔡雪鹏, 谢峰, 等. 植被覆盖与沙尘暴日数分布关系的探讨——以内蒙古中西部地区为例 [J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 273 - 277.]

[4] Li Qing, Wang Qiao, Wang Wenjie, et al. Comparative study on methods of monitoring sandstorms based on EOS-Terra /MODIS

- [J]. *Arid Land Geography*, 2006, 29(1): 138 - 142. [厉青, 王桥, 王文杰, 等. 基于 EOS-Terra/MODIS 的沙尘暴遥感监测方法对比研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 138 - 142.]
- [5] Li Shengyu, Wang De, Lei Jiaqiang. Spatial distribution of sand drift disasters on road surface in the interland of the Taklimakan Desert [J]. *Arid Land Geography*, 2005, 28(1): 93 - 97. [李生字, 王德, 雷加强. 塔克拉玛干沙漠腹地路面沙害的空间分布研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(1): 93 - 97.]
- [6] Li Ning, Gu Wei, Du Zixuan, et al. Soil water content observation under different soil classification in central and east Inner Mongolia of China [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(2): 151 - 156. [李宁, 顾卫, 杜子璇, 等. 内蒙古中西部地区不同土壤类型下土壤水分的研究[J]. 地球科学进展, 2006, 21(2): 151 - 156.]
- [7] Qian Zhengan, Cai Ying, Liu Jingtao, et al. Some advances in dust storm research over China Mongolia areas [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2006, 49(1): 83 - 92. [钱正安, 蔡英, 刘景涛, 等. 中蒙地区沙尘暴研究的若干进展[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 83 - 92.]
- [8] GuWei, Cai Xuepeng, Li Zhangjun, et al. Geomorphic features of distribution of sandstorm days in western and central Inner Mongolia [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(4): 131 - 136. [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.]
- [9] Hu Jinming, Cui Haitang, Tang Zhiyao. Temporal and spatial characteristics of sandstorm in China and the influences of human activities on its development trend [J]. *Journal of Natural Disaster*, 1999, 8(4): 49 - 56. [胡金明, 崔海亭, 唐志尧. 中国沙尘暴时空特征及人类活动对其发展趋势的影响[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(4): 49 - 56.]
- [10] Wang Shigong, Dong Guangrong, Cheng Huizhong, et al. Advances in studying sand-dust storms of China [J]. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(4): 349 - 356. [王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349 - 356.]
- [11] Qian Yibing, Wu Zhaoning, Zhang Liyun, et al. Ground surface conditions resulting in dust storms in the south Junggar Basin [J]. *Arid Land Geography*, 2004, 27(2): 137 - 141. [钱亦兵, 吴兆宁, 张立运, 等. 准噶尔南部沙尘暴发生的地表条件研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 540 - 542.]
- [12] Yang xuchao, Liu Xiaodong. A preliminary study on relationship of prior precipitation in mid-latitude east asia and spring severe dust storms in Northern China [J]. *Arid Land Geography*, 2004, 27(3): 293 - 299. [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.]
- [13] Wei Wenshou, Gao Weidong, Shi Yuguang. Influence of climate and environment change on dust storms in Xinjiang, China [J]. *Arid Land Geography*, 2004, 27(2): 137 - 141. [魏文寿, 高卫东, 史玉光. 新疆地区气候与环境变化对沙尘暴的影响研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2): 137 - 141.]
- [14] Zhou Zijiang, Zhang Guocai. Typical strong sandstorms in North China (1954 - 2002) [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 6(11): 1224 - 1228. [周自江, 章国材. 中国北方的典型沙尘暴事件(1954 - 2002 年)[J]. 科学通报, 2003, 6(11): 1224 - 1228.]
- [15] Shi Peijun, Yan Ping, Gao Shangyu, et al. The duststorm disaster in China and its research progress [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2000, 9(4): 71 - 77. [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(4): 71 - 77.]
- [16] Shi Peijun, Yan Ping, Yuan Yi. The driving force analyses of the blown-Sand activity in Northern China [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(1): 41 - 47. [史培军, 严平, 袁艺. 中国北方风沙活动的驱动力分析[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 41 - 47.]
- [17] 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.
- [18] Lin Zhaohui, Chen Hong, Zhang Shihuang, et al. Climatic and environmental background for the anomalous spring sandstorms over the northern China during 2003 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2004, 9(1): 191 - 202. [林朝晖, 陈红, 张时煌, 等. 2003 年春季中国沙尘天气异常的气候及环境背景[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(1): 191 - 202.]
- [19] [EB/OL]. <http://sdep.cei.gov.cn>. 2004 - 01 - 14.
- [20] Wang Shigong, Yang Debao, Jing Jiong, et al. Study on the formative causes and countermeasures of the catastrophic sandstorm occurred in northwest China [J]. *Journal of Desert*, 1995, 15(1): 19 - 30. [王式功, 杨德保, 金炯, 等. 我国西北地区黑风暴的成因和对策[J]. 中国沙漠, 1995, 15(1): 19 - 30.]
- [21] Fan Guisheng, Zheng Xiuqing, Jia Hongji. Experimental study on the freezing and thawing features and reduction infiltration characteristics of seasonal freezing and thawing soils [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(1): 24 - 32. [樊贵盛, 郑秀清, 贾宏骥. 季节性冻融土壤的冻融特点和减渗特性的研究[J]. 土壤学报, 2000, 37(1): 24 - 32.]
- [22] Gong Jiadong, Qi Xusheng, Xie Zhongkui, et al. Effect of seasonal freezing on soil moisture and its significance for agriculture [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1997, 19(4): 328 - 333. [龚家栋, 祁旭升, 谢忠奎, 等. 季节性冻融对土壤水分的作用及其在农业生产中的意义[J]. 冰川冻土, 1997, 19(4): 328 - 333.]
- [23] Yang Meixue, Yao Tandong, He Yuanqing. The role of soil moisture-energy distribution and melting-freezing processes on seasonal shift in Tibetan Plateau [J]. *Journal of Mountain Research*, 2002,

- 20(5):553-558. [杨梅学,姚檀栋,何元庆. 青藏高原土壤水分分布特征及冻融过程在季节转换中的作用[J]. 山地学报, 2002,20(5):553-558.]
- [24] Pyke K. Aolian dust and dust deposits [M]. London: Academic Press Inc Ltd, 1987:113-126.
- [25] Wang Shigong, Dong Guangrong, Yang Debao, et al. A study on sand-dust storms over the desert region in North China [J]. Journal of Natural Disasters, 1996,5(2):86-94. [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[J]. 自然灾害学报, 1996,5(2):86-94.]
- [26] Xia Pengnian, Deng Wenzheng, Wang Xian. Encyclopedia of resource of Inner Mongolia, Section of climatic resource [M]. Hohhot: Inner Mongolia People Press, 1997:162-163. [夏彭年,邓文政,王炯. 内蒙古资源大辞典 气候资源分册[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社, 1997:162-163.]

Relationship between soil freezing and thawing condition and sandstorm occurrence

LI Zhang-jun^{1,3}, HAO Lu^{2,3}

(1 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, Jiangsu, China;

2 School of Geography and Remote Sensing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3 Ecological and Agricultural Meteorology Centre of Inner Mongolia, Hohhot 01005, Inner Mongolia, China)

Abstract: Soil surface freezing affects the occurrence and development of sandstorm mainly by changing the sand and dust sources on the ground. When temporary frozen soil early thaws, its moisture will reduce and its dryness will increase, which makes the particles on soil surface become loose, and dust material susceptible to the air with the wind. The small particles in the loose soil surface will be whipped up into the air as dust by strong winds. Therefore, the soil surface freezing and thawing conditions are linked with the occurrence of sandstorm in spring. Especially in late winter and early spring, before grass turning green, with the frequent cold air activities, the situation of the ground is particularly important for sandstorm development. In this study, an analysis is performed on the relationship between sandstorm days and end dates of soil freezing in spring in western and middle of Xilingol in Inner Mongolia, taking sandstorm days and soil freezing end dates as indexes and using meteorological observation data of earth surface from 1971 to 2000. The result shows that in this area there is a negative interrelation between sandstorm days in spring and the end dates of soil surface freezing, which varies in difference areas. When the soil surface thaws earlier, the spring dust storm occurrence shows an upward trend. When the end date of soil surface freezing is deferred, the spring dust storm days show a decreasing trend, which indicates that the end date of soil surface freezing affects the occurrence of sandstorms to a certain extent in spring. There is a negative interrelation between sandstorm days in spring and the end dates of soil surface freezing. But the relationship was not significant in some areas. So soil surface freezing condition is only one of factors affecting spring sandstorms and its impact is limited. This study has not yet developed the quantitative relationship between the end dates of soil surface freezing and sand-dust storm days in spring, but it shows that to study sand-dust storm not only needs to analyze the dynamics factor of weather, but also need to analyze land surface factors.

Key Words: soil freezing and thawing; sandstorm; Inner Mongolia