

文章编号 :1001-8166(2006)02-0151-06

# 内蒙古中西部地区不同土壤类型下土壤水分的研究<sup>\*</sup>

李 宁<sup>1,2</sup>, 顾 卫<sup>1\*</sup>, 杜子璇<sup>3</sup>, 史培军<sup>1,2</sup>, 任学慧<sup>4</sup>, Kevin Levy<sup>5</sup>

(1. 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 2. 北京师范大学资源学院灾害与公共安全研究所, 北京 100875 3. 河南省气象局, 河南 郑州 450003 4. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029 5. Department of Information and Computer Science, Math & Science Division University of Hawaii-Leeward, Pearl City, HI 96782, USA)

**摘 要** :以 2002—2003 年连续两年自行观测的内蒙古中西部地区二连浩特、乌拉特中旗和乌海的土壤水分为基础,重点分析了沙尘暴发生季节反映下垫面特征的土壤水分的时间变化以及大气影响对不同土壤类型(棕钙土、灰漠土、栗钙土)水分的作用。土壤水分的变化被分为 3 个阶段进行分析,分别是解冻期至沙尘暴开始的春季、雨期的秋季和冰雪覆盖的冬季。土壤水分受气象条件和土壤类型的影响较大。在气象条件的影响下,土壤水分含量在土壤融化期最低,在雨季达到最大值,其中以栗钙土受的影响最明显。沙尘暴发生依赖于土壤融化时间、土壤融化期的土壤条件和上年冬季的冻土深度。

**关 键 词** :土壤水分;土壤温度;风速;沙尘暴;干旱与半干旱气候

**中图分类号** :S152.7 **文献标识码** :A

## 1 引 言

沙尘暴依赖于大气环流和下垫面因子的相互作用的影响<sup>[1,2]</sup>,下垫面因子中,土壤水分是水文过程和自然植被的最重要的环境因子之一。近年来,土壤水分在干旱和半干旱的内蒙古地区的沙尘暴研究中得到广泛的关注<sup>[3,4]</sup>。下垫面和气象环境因素,如土壤温度、气温、风速和降水影响着土壤的蒸发和土壤水分,从而影响着引发沙尘暴的下垫面条件。然而,下垫面因子和大气环流对沙尘暴的综合还没有被充分认识。主要原因是由于内蒙古地区的气象站没有反应下垫面条件的土壤水分与沙尘暴发生时间尺度对应的时间序列资料。在气象条件和下垫面因子对沙尘暴发生和发展的贡献研究上损失了大量有用的信息。虽然结合表示沙尘暴记录的定性数据和土壤水分的不完备定量数据初步综合地评价了下

垫面因子对沙尘暴发生的贡献<sup>[5]</sup>,但由于以旬为间隔的土壤水分资料(农业气象站的常规观测)与沙尘暴发生记录资料匹配的日平均土壤水分、土壤温度和气温的时间变化的综合研究很少。因此,累积下垫面因子的资料和观察土壤水分的时间变化,对沙尘暴的研究仍然有重要意义。

本文为研究下垫面因子的时间变化,收集和测量了位于内蒙古中西部的二连浩特、乌拉特中旗和乌海的 2002—2003 年的土壤水分、土壤温度、气温、风速和降水,比较了土壤水分的时间变化和沙尘暴暴发时的特性,因为气象条件在这两年中的春天有相当的差别。

## 2 方 法

### 2.1 观测点

研究区的观测点选择在内蒙古中西部的二连浩

\* 收稿日期 2005-12-30;修回日期 2006-01-20.

\* 基金项目 北京市自然科学基金项目“北京市建筑立面材料对城市局部热环境的影响”(编号 8062020);国家自然科学基金项目“基于野外观测的沙尘暴源地的下垫面特征和沙尘危险度研究”(编号 40541001)资助.

作者简介 李宁(1958-),女,江苏镇江人,副教授,主要从事应用气候和自然灾害研究. E-mail: ningli@ires.cn

\* 通讯作者 顾卫(1956-),男,吉林长春人,教授,主要从事自然灾害和自然资源方面的研究. E-mail: weigu@bnu.edu.cn

特、乌拉特中旗和乌海(图 1),它们的土壤性质分别属于棕钙土、栗钙土、灰漠土,从东北至西南排列相距约 700 km,其气象观测站分别位于观测点的西面。它们的植被类型、土壤类型和性质如表 1 所示。研究区属于干旱和半干旱气候区,平均年降水约 180 mm,其中只有 15% 的降水集中在春季,根据气象站 1961—2000 年的资料统计,3 个观测点的平均的大风发生天数和沙尘暴发生天数分别是 52.4 天和 10 天,具有沙尘暴每年发生 3 个月以上,而且集中在 3~5 月,下垫面从 12 月至次年 3 月被积雪覆盖的天气特性。

2.2 资料来源

对 2002 年 1 月至 2003 年 12 月 3 个站的土壤水分、风速、气温、土壤温度和沙尘暴发生日数进行了观测。其中沙尘暴的发生日数、风速和气温来自观测点附近的气象观测站的观测记录。沙尘暴发生

日数被定义为能见度降低为 1 km 以内,有扬沙出现的天数,在气象站的记录为是/否;日平均风速是一天 4 次记录的平均值;日平均气温是每小时气温的平均值。一般来讲,土壤水分以重量水百分率、以 10 天为观测间隔在内蒙古农业气象站被常规观测记录,由于 10 天的观测间隔无法对应研究沙尘暴研究的日变化间隔的需要,以小时为间隔的土壤水分由本文自行观测。使用的观测仪器为日本制 ADR 土壤水分计( UIZ-SM-2X ),仪器安放在当地气象站内的气象观测场内,由于只有土壤表面条件影响沙尘暴的发生,探测深度设定为 0~10 cm,数据可以连续和自动地以时间间隔为 1 小时获取。获得的土壤湿度数据为土壤的体积含水百分率,即土壤体积水百分率( 100% )=土壤含水体积( m<sup>3</sup> )/土壤总体积( m<sup>3</sup> )。与之相匹配的土壤温度也通过温度计连续和自动地以时间间隔为 1 小时获取。

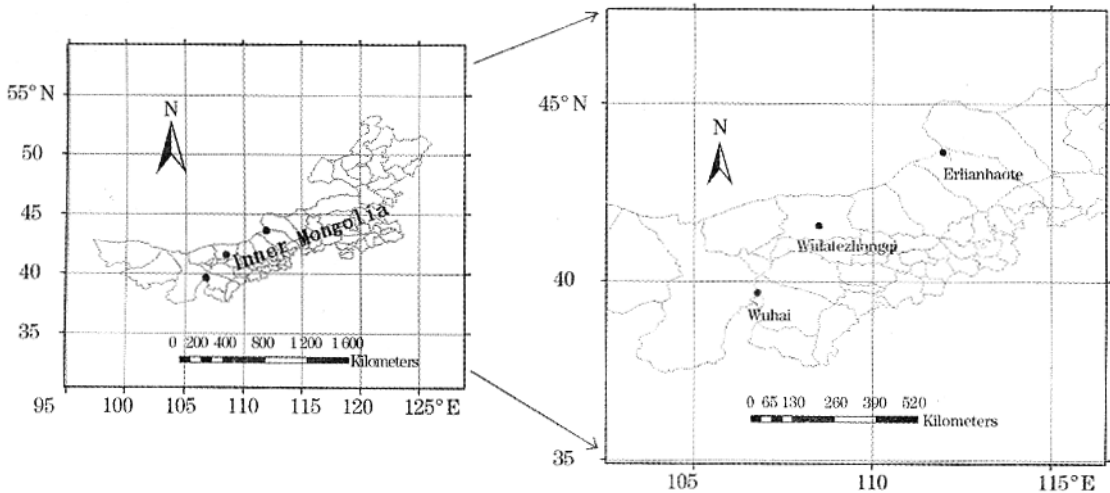


图 1 中国内蒙古地区和观测点位置

Fig. 1 Illustration of Inner Mongolia district in China ,and the location of observation sites

表 1 观测点的自然环境特性

Table 1 Natural environment characteristics in observational sites

观测点	植被类型	土壤类型	土壤质地	年大风日数	降水量 ( mm )	年沙尘暴日数 ( 天 )
二连浩特	草原化荒漠	棕钙土	沙粘土	71.8	142.2	9.5
乌拉特中旗	荒漠草原	栗钙土	沙质土	53.3	209.1	8
乌海	荒漠草原	灰漠土	沙质土	32	168.5	22.7

2.3 验证

为验证 ADR 土壤水分计获得的是土壤的体积水百分率,将乌拉

特中旗的土壤的体积水百分率用校准曲线进行相关分析(图 2),二者的线性关系(  $R^2=0.9091$  )表明,ADR 土壤水分计获得的土壤的体积水百分率可以很好地表现土壤水分的条件,可以有效表现研究区土壤水分条件的连续数据。以下的土壤的体积水百分率简称土壤水分。

3 结 果

3.1 土壤水分的季节变化

二连浩特、乌拉特中旗和乌海的降水和土壤水分的季节变化分别如图 3~5 所示,它们的土壤温度如图 6 所示。从土壤水分的季节变化看,从 11 月的

冻结期开始到解冻期开始的次年的 3 月 ,土壤水分呈下降趋势 特别是 3 月和 4 月初 ,虽然这是土壤开始融化并接受少量降水的季节 ,由于频繁的大风和土壤的较大蒸发 ,土壤变得干涸。在 7 ~ 8 月的夏季 ,在强降水和稀有大风的作用下 ,土壤水分急剧增加。夏季以后 ,这种湿的土壤条件继续维持到冬季。当冰雪覆盖下垫面以后 ,土壤水分保持相当稳定直到次年的融化季节的到来。土壤水分的最大值出现在 7 月初的雨季。

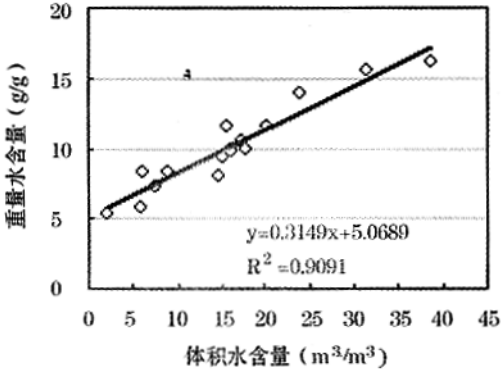


图 2 土壤水分百分比与土壤重量百分比的关系  
Fig.2 Relationship between soil water content with volume and that with weight

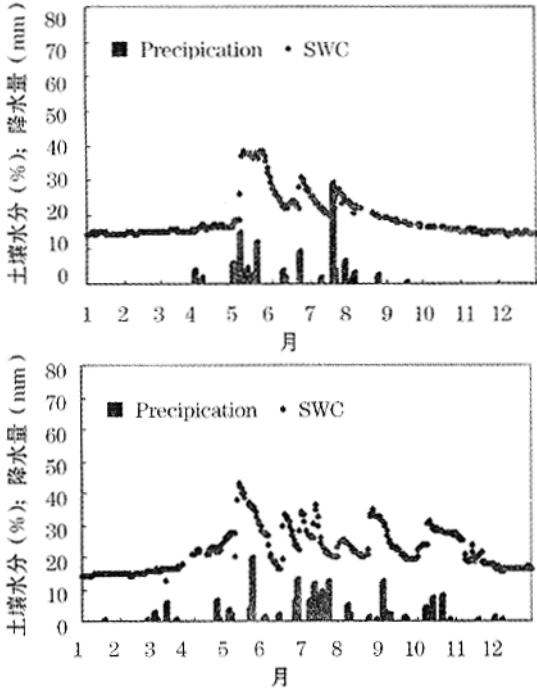


图 3 二连浩特 2002 和 2003 年的平均降水  
和土壤水分(日平均)  
Fig.3 Temporal variation of precipitation and soil  
water content Erlianhaote during 2002 to 2003  
(All data are daily value)

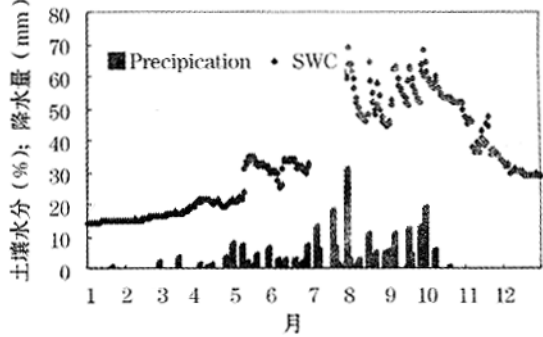
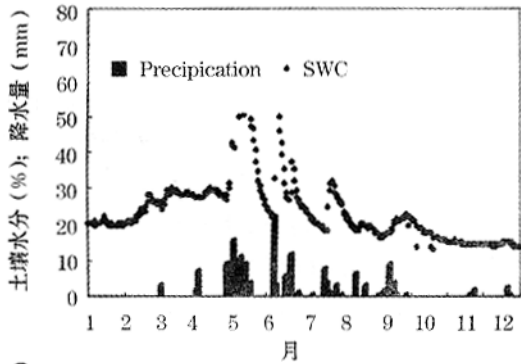


图 4 乌拉特中旗 2002 和 2003 年的平均降水  
和土壤水分(日平均)  
Fig.4 Temporal variation of precipitation and soil  
water content Wulatezhongqi during 2002 to 2003  
(All data are daily value)

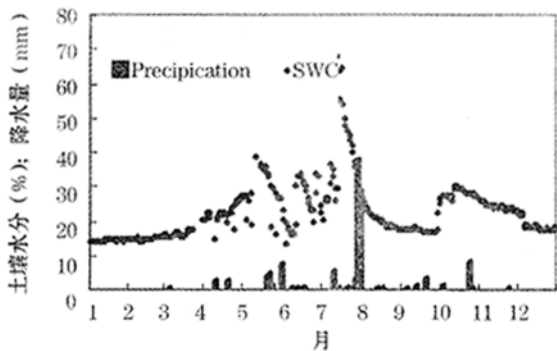
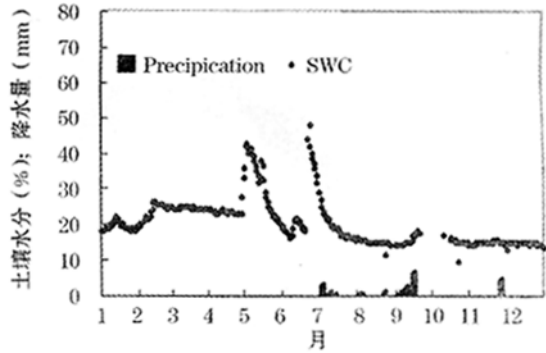


图 5 乌海 2002 和 2003 年的平均降水和  
土壤水分(日平均)  
Fig.5 Temporal variation of precipitation and soil  
water content Wuhai during 2002 to 2003  
(All data are daily value)

3.2 土壤类型对土壤水分的影响

如图 3 所示,在具有荒漠化草原和棕钙土的二连浩特,相对于其他两个地点而言,土壤水分受降水的影响较小,在 3 月和 4 月,由于降水量少,土壤水分一直稳定在 15%,即使在发生于 2002 年 7 月中旬的 30 mm 降水的影响下,土壤水分也没有达到 40%。在草场枯黄和收获的 9 月,土壤表面开始裸露,土壤水分随着降水量的增加而增加,说明土壤水分含量不仅受气象条件影响还受植被状况和人为活动制约。二连浩特,相对于其他两个地点而言,土壤水分受降水的影响较小的原因被认为是棕钙土具有较好的土壤结构和荒漠化草原的根系,相对于其他两个地点而言容易将降到地面的雨水渗透到较深的土层而不被很快地蒸发。

如图 4 所示,乌拉特中旗在 2002—2003 年相对于其他两个地点而言有较多的降水量,土壤水分也更程度地受降水量的影响。4 月和 5 月的土壤水分随降水量的变化而变化,当 2003 年 7 月底的 30 mm 降水发生时,土壤水分增加到 70%。从融化期开始土壤水分开始增加,到夏季(6~8 月),土壤水分达到全年的最大值,它的增减幅度受降水量增减的影响明显。另一方面,土壤水分含量降低从一个潜波动到一个深的水平顺序。这些差别能用其依赖的栗钙土土壤结构和其上植被生长的覆盖密度来解释。荒漠草原的植被密度和栗钙土土壤性质的共同作用将水分更多集中在土壤表层,容易受大气的影响产生蒸发。从而使观测到的表层土壤水分随降水变化明显。

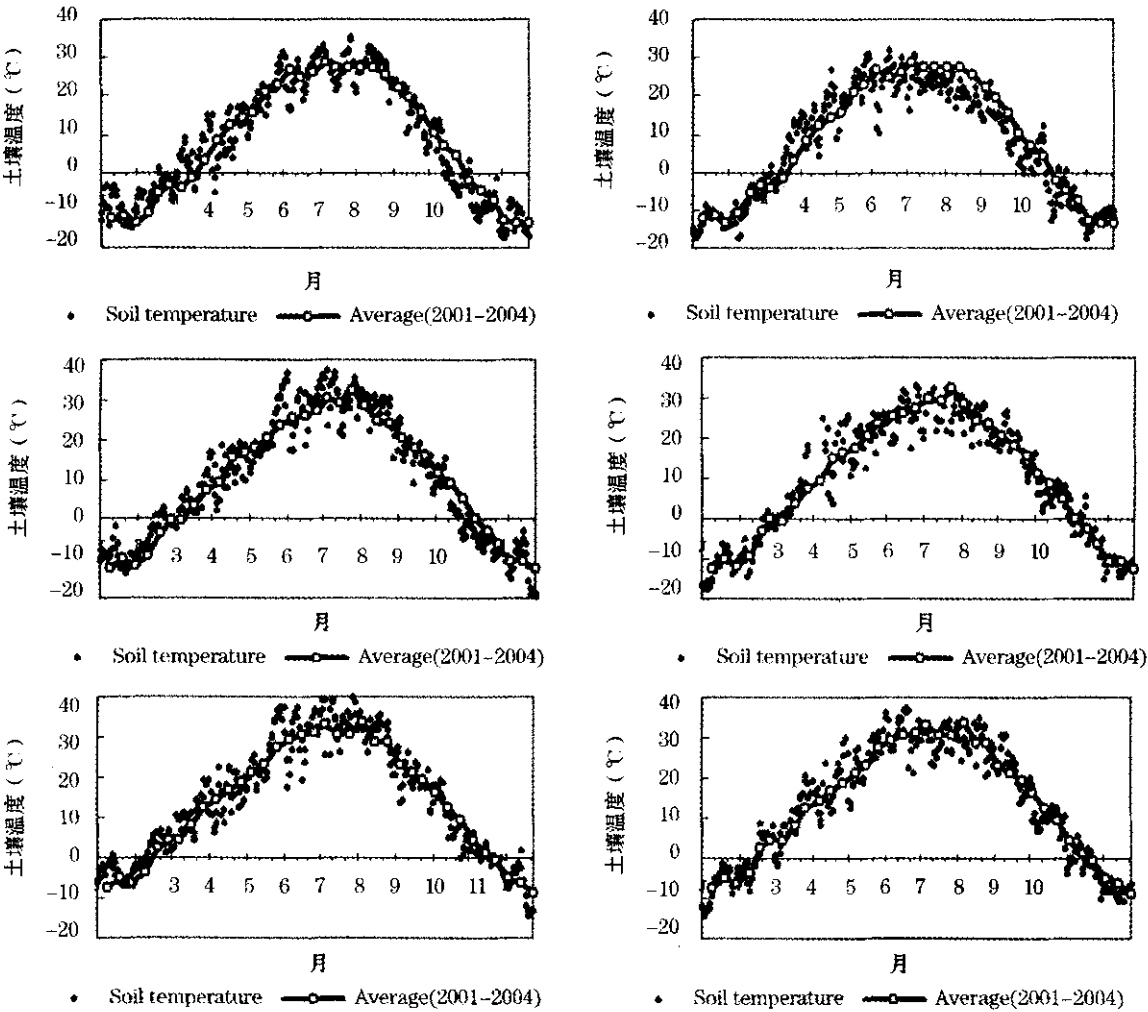


图 6 二连浩特、乌拉特中旗和乌海日平均土壤温度的时间变化

Fig. 6 Temporal variation of daily mean soil temperature during 2002 and 2003 at sites of Erlianhaote , Wulatezhongqi and Wuhai , which shown in order from upside to bottom

( 从上至下 ) 左图表示 2002 年的变化 , 右边表示 2003 年的变化

万方数据

Left and right shown 2002 and 2003 respectively

如图5所示,乌海的降水量很少,土壤水分明显地受贫瘠降水的影响,稀疏的荒漠草原植被和灰漠土只能保留水分在土壤表面。3~4月的水分含量增加很小但保持稳定,当2003年7月底的40 mm降水发生时,土壤水分达到70%。

### 3.3 土壤温度

如图6所示,相对于1961—2000年的土壤温度平均值而言,11~12月期间的土壤温度在2002年的值较2003年的低,而1~3月的土壤温度2002年的值较2003年的高。因为2002年11~12月期间的土壤温度比常年平均低,产生较深的冻土层,而1~3月的土壤温度在2002年较常年平均值偏高,产生较早的解冻期(相对2003年)。较深的冻土层在较早的解冻期的作用下产生较厚的疏松土壤表面,在大风季节来临前为沙尘暴提供了较好的沙源条件。根据气象观测站的统计,在3~5月期间,2002年发生21天大风天气,13次沙尘暴,2003年发生20次大风天气,8次沙尘暴。因此更加严重的沙尘暴发生在1~3月具有土壤温度较高的年份。

由于二连浩特的土壤温度较其他两个观测点低,积雪比其他两个观测点保持得时间更长,融雪时间更晚,在大风季节来临时,土壤表面的土壤粒径更大,相对的限制了起沙条件。

### 3.4 气温变化

图7表示3个站2002年和2003年的平均气温和1961—2000年多年平均气温。2003年的气温曲线基本与多年平均曲线相同,12月以后,2002年的气温曲线比多年平均曲线偏低,春季的气温值比常年偏高。土壤水分与气温波动一致,土壤水分在2002年最低,2003年最高。由于较深的土壤在春季较高的气温下融化,在大风天气的影响下,在1990—2003年的统计资料上看,2002年沙尘暴发生天数和持续时间的最大值都发生在2002年,分别是13天和4小时。

## 4 结论与讨论

土壤水分受气象条件和土壤类型的影响较大。在气象条件的影响下,土壤水分含量在土壤融化期最低,在雨季达到最大值,其中以栗钙土受的影响最明显。沙尘暴发生依赖于土壤融化时间、土壤融化期的土壤条件和上年冬季的冻土深度。

沙尘暴活动是大气环流和下垫面影响共同作用的结果,为了分析地气的相互作用,特别是土壤水分和土壤温度与大气条件的关系,对没有土壤水分实

时资料的内蒙古地区而言,累积实时的资料和跟踪度量下垫面条件的变化具有重要意义。

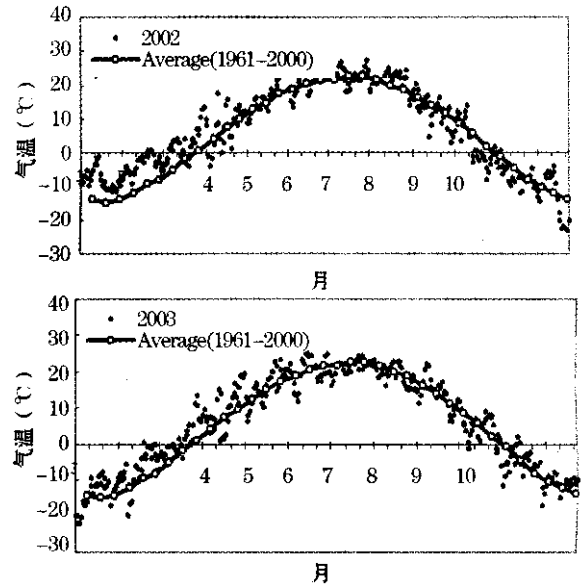


图7 二连浩特、乌拉特中旗和乌海2002年和2003年日平均气温的时间变化

Fig. 7 Temporal variation of daily mean air temperature in Erlianhaote, Wulatezhongqi and Wuhai during from 2002 to 2003

致谢:作者对内蒙古自治区气象局的李彰俊和吴学宏在多年观测上给予的帮助表示致谢。

### 参考文献 (References):

- [1] Gu Wei, Cai Xuepeng, Xie Feng, et al. Study on relationship between vegetation cover and distribution of days of sandstorm—Taking central and western Inner Mongolia for example[J]. *Advances in Earth Science* 2002, 17(2): 273-277. [顾卫,蔡雪鹏,谢锋,等.植被覆盖与沙尘暴日数分布关系的探讨[J].地球科学进展 2002, 17(2): 273-277.]
- [2] Shi Peijun, Zhang Hong, Wang Ping, et al. The regional patterns for combating sandification in sandy disaster affected area in China [J]. *Journal of Natural Disasters* 2000, 9(3): 1-7. [史培军,张宏,王平,等.我国防沙治沙的区域模式[J].自然灾害学报, 2000, 9(3): 1-7.]
- [3] Li Ning, Gu Wei, Xie Feng, et al. Threshold value response of soil moisture to dust storms—A case study of midwestern of Inner Mongolia[J]. *Journal of Natural Disasters* 2004, 13(1): 44-49. [李宁,顾卫,谢锋,等.土壤水分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.]
- [4] Bai Jingyu, Shi Xiaoying, Yu Shuqiu. Preliminary research on soil moisture in eastern part of Northwest China[J]. *Meteorological Science and Technology* 2003, 31(4): 226-230. [柏晶瑜,施小英,于淑秋.西北地区东部春季土壤湿度变化的初步研究[J].气象科技 2003, 31(4): 226-230.]
- [5] Ning Li, Wei Gu, Kevin Levy J et al. The utility of Hayashi's quantification theory for assessment of land surface indices in influ-

- ence dust storm—A case study in Inner Mongolia China[ J ]. *Atmospheric Environment* 2005 ,39( 1 ) :119-126.
- [ 6 ] Hollinger S E , Israd S A. A soil water content climatology of Illinois[ J ]. *Journal of Climate* ,1994 ,7 :822-833.
- [ 7 ] Tomoyoshi Hirota , Tatsuaki Kasubuchi. Soil moisture observations under different vegetations in a boreal humid climat[ J ]. *Journal of Japan Society Hydrology Water Resources* ,1996 ,9( 3 ) :233-239.
- [ 8 ] Vinnikov K Y A , Yeserkepova I B. Soil water content : Empirical data and model results[ J ]. *Journal of Climate* ,1991 ,4 :66-79.
- [ 9 ] Gao Tao , Lijuan Su , Qingxia Ma , *et al.* Climatic analyses on increasing dust storm frequency in the spring of 2000 and 2001 in Inner Mongolia[ J ]. *International Journal of Climatology* 2003 ,23 :1 743-1 755.
- [ 10 ] Engelstaedter S , Kohfeld K F , Tegen I , *et al.* Controls of dust emissions by vegetation and topographic depressions an evaluation using dust storms frequency data[ J ]. *Geophysical Research Letters* 2003 ,30 :Art. 1 289-1 294.
- [ 11 ] Fan Yida , Shi Peijun , Wang Xiushan , *et al.* The analysis of typical dust storms in Northern China by remote sensing[ J ]. *Advances in Earth Science* 2002 ,17( 2 ) :289-294. [ 范一大 , 史培军 , 王秀山 , 等. 中国北方典型沙尘暴的遥感分析[ J ]. 地球科学进展 2002 ,17( 2 ) :289-294. ]
- [ 12 ] Liu H Y , Tian Y H , Ding D. Contributions of different land cover types in Otindag Sandy Land and Bashang area of Hebei Province to the material source of sand stormy weather in Beijing[ J ]. *Chinese Science Bulletin* 2003 ,48( 17 ) :1 853-1 856.
- [ 13 ] Matsuba T , Ding C , Lu L. The utility if Hayashi's quantification theory type 2 for the rapid assessment of the epidemiological survey in the developing countries—In a case of the vaccine coverage survey in Yunnan province , China[ J ]. *Journal of Epidemiology* , 1998 ,8( 1 ) :24-27.
- [ 14 ] Natsagdory L , Jugder D , Chung Y S. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999[ J ]. *Atmosphere Environment* 2003 ,37( 9 ) :1 401-1 411.
- [ 15 ] Nilgun K , Slobodan N. An illustration of the transport and deposition of mineral dust onto the eastern Mediterranean[ J ]. *Atmospheric Environment* 2000 ,34 :1 293-1 303.
- [ 16 ] Tegen T , Werner M , Harrison S P *et al.* Kohfeld , Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission[ J ]. *Geophysical Research Letters* 2004 ,31 :105105.
- [ 17 ] Van Douk S J , Skidmore E L. Measurement and simulation of wind erosion , roughness degradation and residue decomposition on an agricultural field[ J ]. *Land Surface Processes and Forms* , 2003 ,28( 11 ) :1 243-1 258.
- [ 18 ] Yoshino M. Climatology of yellow sand ( Asian sand , Asian dust or Kosa ) in East Asia[ J ]. *Science in China( D )* 2002 ,45 :59-70.
- [ 19 ] Zhang X Y , Arimoto R , An Z S. Dust emission from Chinese desert linked to variations in atmospheric circulation[ J ]. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere* ,1997 ,102( D23 ) :28 041-28 047.

## Soil Water Content Observations Under Different Soil Classification in Central and East Inner Mongolia of China

LI Ning<sup>1 2</sup> , GU Wei<sup>1</sup> , DU Zi-xuan<sup>3</sup> ,  
SHI Pei-jun<sup>1 2</sup> , REN Xue-hui<sup>4</sup> , Kevin Levy<sup>5</sup>

( 1. Key Laboratory of Environmental Changes and Natural Disaster , Ministry of Education , Beijing Normal University Beijing 100875 , China 2. Institute of Disaster and Public Security , College of Resources Science and Technology Beijing Normal University Beijing 100875 , China 3. Henan Provincial Meteorological Institute , Zhengzhou 450003 , China 4. College of Urban and Environment , Liaoning Normal University , Dalian 116029 , China ; 5. Department of Information and Computer Science Math & Science Division University of Hawaii-Leeward Pearl City HI 96782 , USA )

**Abstract** : Soil water content was observed continuously and automatically in Erlianhaote , Wulatezhongqi and Wuhai , northwestern Inner Mongolia , China for two years ( 2002-2003 ) in this paper. Based on the data , the temporal variation of soil water content was analyzed , which represented the characteristics of land surface. The effect on soil water content ) influenced by atmosphere in different soil texture ( Brown-calcium soil , Chestnut-calcium soil and Gray-desert soil ) was compared. Seasonal variations of the soil water content were characterized into three stages , from thawing to active dust storm ( spring ) , rainy ( autumn ) and snow cover ( winter ) period. The soil water content much depended on meteorology condition. By these observations , it became clear that the soil water content was the lowest in the beginning thaw period , and was the highest in the rainy season. Differences in soil water content among the years depended on the lowest in the whole thaw period meteorological conditions The soil water content was lowest during the soil melt period , the variations of Chestnut-calcium soil was obvious under meteorology condition. The dust emission much influenced by thaw time of soil , soil wetness and the thaw period and depth of frozen soil.

**Key words** : Soil water content ; Soil temperature ; Wind speed ; Dust storm ; Arid and semi-arid climate.