

内蒙古阴山北部四子王旗土壤风蚀量的测试分析

李晓丽，申向东，张雅静

(内蒙古农业大学水建院，内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要：内蒙古阴山北部地区风蚀沙化十分严重，而风蚀量是判断土壤流失和荒漠化的重要指标。以阴山北部乌兰察布市四子王旗典型农牧交错带的耕地为试验地点，根据表层土壤多年的粒径变化，利用粒径对比法，对土壤风蚀量进行估算；并利用插钎法对一次强沙尘暴进行野外实测，推求土壤风蚀量；两种方法互相验证，进而对内蒙古阴山北部乌兰察布市的四子王旗土壤风蚀量进行较为准确测算。同时根据裸露耕地与未耕地（草地）的粒径对比分析，初步了解了该地区的由于传统耕作导致的土壤风蚀的程度，得出了耕地土壤风蚀的主要损失粒径为 $< 0.05 \text{ mm}$ 的悬移质粉尘颗粒，该区域每年的平均风蚀模数达 $6214.7 \text{ t/km}^2\text{a}$ ，为干旱区耕地保护性耕作的研究提供基础理论依据。

关键词：风蚀量 裸露耕地 阴山北部

中图分类号：S151.1

文献标识码：A

文章编号：1000-6060(2006)02-0292-05

内蒙古自治区阴山北部大致包括巴彦淖尔市的乌拉特后旗、乌拉特中旗，包头市的固阳县、达茂旗，呼和浩特市的武川县，乌兰察布市的四子王旗、察右中旗、察右后旗、商都县、化德县等十个旗县，土地面积为11.49万km²，而风蚀土地面积达9.79万km²，占总土地面积的85.18%。而仅乌兰察布市风蚀面积可达5.48万km²。根据赵羽、金争平^[1]等人对内蒙古土壤侵蚀强度的划分，乌兰察布市的四子王旗，风蚀面积2.37万km²，占乌兰察布市风蚀面积的43.2%，为土壤剧烈侵蚀区，也因此成为华北沙尘天气的风沙源之一。

本文选取属阴山北部乌兰察布市的四子王旗典型农牧交错带的旱作耕地为试验地点，根据表层土壤粒径的变化，利用粒径对比法，对土壤风蚀量进行测算。并利用插钎法对一次强沙尘暴进行野外实测，推求土壤风蚀量，两种方法互相验证，进而对内蒙古阴山北部乌兰察布市的四子王旗土壤风蚀量进行较为准确测算。

1 研究方法

1.1 研究区概况

四子王旗位于E,N,海拔高程在1 000~2 100

m间，相对高差约1 100 m。地形以丘陵为主，并有河谷洼地、山间盆地相组合。该地区由于深居内陆，又有阴山山脉的阻碍，致使海洋暖湿气流的输入受阻。干旱少雨，全旗（20世纪50年代~90年代）的平均降水量均在300 mm附近，而且降水时空分布极不均匀，月际、年际变化很大。每年春季降雨量非常少，而且地表植被稀疏。由于日照、土质、风等因素的影响，年蒸发量高达1 600~2 400 mm。大风日数多，风力强，持续时间长。主要分布土壤为栗钙土、灰褐土，有机质平均含量为1%~3%^[2]。

该地区属于典型的农牧交错带。由于常年受季风影响，地表土壤的风蚀相当剧烈，风蚀沙化尤其严重。传统的农业耕作方式致使耕地裸露越冬，冬春季节干旱少雨，地表土层的侵蚀十分严重，大部分土地地表已严重粗化。本试验区选取在四子王旗北部的旱作耕地。

1.2 研究方法

风蚀量是判断土壤流失和荒漠化的重要指标。土壤风蚀量的估算方法很多。通过集沙仪收集单位时间、单位面积的输沙量，从而确定该地区在此风速下的总的风蚀量，这是目前估算风蚀量比较广泛使用的方法；对指定区域使用插钎的方法，通过插钎的

收稿日期：2005-08-18；修订日期：2006-01-07

基金项目：国家自然科学基金资助项目（10262001）

作者简介：李晓丽（1969-），女，内蒙古赤峰人，副教授，博士研究生，主要从事风沙运动力学研究。E-mail: nd-lxl@163.com

读数确定吹蚀和积累的土壤高度,对所测定的区域进行风蚀量的大致估算;粒度对比分析法^[3],通过风蚀地表可蚀性颗粒和不可蚀性颗粒的相对含量的变化,来估算土地自开垦以来的总风蚀量等。

该试验区是阴山北部四子王旗旱作耕地。引起该地区地表土壤颗粒级配发生变化的主要原因有土壤风蚀及人类的扰动破坏。因为该区域秋冬季节降雨量很少,很难形成径流,基本上不发生水蚀;同时由于表面含水量极低,冻胀的破坏对于表土影响与风蚀对比,可以忽略;只有每年的土地耕作,人为破坏了土壤自身的保护(结皮、植物根系的固定等)^[4],位于土壤表层的易蚀颗粒在季风的作用下,不断地被搬运,使得耕作层的土壤含养分丰富的细粒物质逐渐减少,表土逐年逐步粗化,最终失去了耕作能力而成为荒漠。因此该地区土壤颗粒的粒径变化以风蚀为主,人为因素加速了土壤风蚀速度,土壤风蚀是该地区引起土壤颗粒级配发生变化的主要影响因素。因此选用粒径对比法和插钎法,对土壤风蚀量进行估算,就可确定四子王旗土壤的风蚀状况。

2 风蚀量的估算

2.1 试验数据的测量

土壤的风蚀过程是使得地表中不易发生风蚀的颗粒的百分含量逐渐增加,易蚀颗粒的百分含量逐渐降低的过程,同时使得耕作层的土壤厚度变薄。实验选择在耕地和与耕地边缘接壤的草地进行,两实验区直线距离相距大约300 m左右。由于它们位置相近,所以完全可以把草地的粒度组成当作耕地未耕时的土壤级配。

实验在耕地和草地进行,在两个试验区各分别随机选取三个点,每两点间隔距离30 m。在草地的三个点的0~25 cm深度上分别分0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm和15~20 cm取土样,在耕地的三个点分0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm取土样进行粒度分析,颗粒分析在实验室进行。对每一试验区三个点同一高度的粒径百分含量的进行平均,结果见表1、表2。

表1 普通草地不同深度土壤粒径百分含量(%)

Tab.1 Content of soil particles at different depths in a common steppe (%)

时间	深度(cm)	粒径(mm)					
		5~10	2~5	1~2	0.5~1	0.25~0.5	0.05~0.25
2005 3.17	0~5	1.790	8.880	4.125	12.595	9.265	33.808
	5~10	4.710	21.020	7.550	14.425	8.395	26.335
	10~15	5.425	21.645	8.135	16.520	9.590	24.972
	15~20	8.540	26.410	9.090	18.720	9.985	17.768
	20~25	14.430	30.930	7.900	15.110	7.730	14.419
	0~15	3.975	17.182	6.603	14.513	9.083	28.372
	0~20	5.116	19.489	7.225	15.565	9.309	25.721
	0~25	6.979	21.777	7.36	15.474	8.993	23.460

表2 地不同深度土壤粒径百分含量(%)

Tab.2 Content of soil particles diameter at different depths in a farmland (%)

时间	深度(cm)	粒径(mm)					
		5~10	2~5	1~2	0.5~1	0.25~0.5	0.05~0.25
2005 3.17	0~5	7.948	20.61	7.25	15.379	9.414	26.267
	5~10	6.642	21.596	7.618	16.481	9.803	26.992
	10~15	6.732	21.845	6.942	15.607	8.942	27.405
	0~15	7.108	21.351	7.270	15.823	9.387	26.798

2.2 试验结果的分析

通过试验发现,地表0~5 cm深度内耕地和草地的土壤粒径相差非常显著,草地<0.25 mm的百分含量明显高于耕地,>0.5 mm的百分含量显著

低于耕地;表明耕地由于反复耕作,破坏了土壤的结构,使得土壤中大部分细颗粒被风吹蚀严重;而草地土壤相对密实,又加之植物根系的连接固定,虽然地表覆盖率只有13%左右(实测),但还是对地表的土

壤起到了很强的保护作用。

试验还发现对于没有经过翻耕的土壤(草地),随着土壤深度的增加,大颗粒的百分含量显著增加,而细小颗粒的百分含量逐渐减少。而耕地的土壤,由于多年的反复翻耕,土壤颗粒早已由于耕作被搅拌均匀,因此各粒径的百分含量随深度的变化并不明显,百分含量的相差最多不超过2%。为进一步进行对比,把草地0~15 cm、0~20 cm和0~25 cm深度的同组粒径平均(表1,类比于反复耕作、使颗粒分布均匀的过程)会发现,0.25 mm以下的百分含量大于耕地,<0.05 mm的粒径更为明显,而>0.5 mm的粒径均小于耕地,这充分说明由于多年风蚀使耕地土壤的细小颗粒被搬运,而造成了大颗粒的积累。

实验组同时还对一次强沙尘暴(2 m高的风速达25 m/s)的风蚀物用集沙仪进行收集,把收集到的粒径进行筛分,发现>1 mm粒径的百分含量不超过总风蚀量的2%(而这样的强沙尘暴天气当地并不多见),因此可以把该地区不易蚀颗粒的粒径定为>1 mm。这一结论与中国科学院兰州沙漠研究所北京风沙课题组利用颗粒百分累积曲线叠求交汇点的方法,求出的内蒙古高原风蚀沙漠化地区土地平均的不易蚀因子为直径>1 mm的颗粒是一致的^[10]。从统计结果也可以看出,2 mm以上的粒径不可能被风搬运,因此百分含量增加幅度较大,这完全是土壤风蚀的结果。而1~0.25 mm的粒径有一部分被吹走,但被吹蚀的幅度远小于0.05 mm以下的粉粒和粘粒,因此这一区间的粒径的百分含量仍有所积累。

耕地与草地在10~15 cm深度处各级粒径的百分含量非常接近,可以认为耕作层的厚度不超过15 cm。根据文献^[3]粒径对比分析法:

$$q = \left(\frac{p_1}{p_0} - 1 \right) \cdot D \cdot r \quad (1)$$

其中: q 为风蚀量;为风蚀粗化层的厚度,根据实验确定粗化层的厚度15 cm; r 为土体的容重,实验测得该区域的土壤容重为2.7 g/cm³; p_0 , p_1 为风蚀前后粗化层下部及粗化层中不可蚀颗粒的百分含量。

运用(1)式对于该地区进行风蚀量的计算,即可得出该区域多年来总的风蚀量为,风蚀厚度为5 cm。

2.3 插钎法测量风蚀量

2005年4月16日在控制区范围内1 hm²用插钎法进行了风蚀深度的测量,在试验区每间隔10 m万方数据

布置标有刻度的细钢钎,每根钢钎控制100 m²,使钢钎零刻度与地表面齐平,大风过后进行读数,吹蚀为负,堆积为正,然后计算单位面积上土壤的重量。实验还同时连续记录4月16日9:00~15:00的2 m高度1 min的平均风速和1 min内的最大风速值,见图1。15:00时读取钢钎的读数。钢钎读数有正有负,总体平均的结果,平均每一点被吹蚀1.4 mm,计算出控制面积内总风蚀量37.665 t,平均风蚀量可达3 766.5 t/km²。

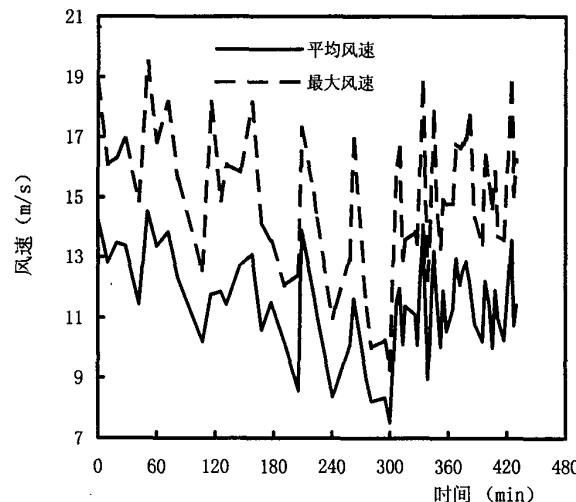


图1 2 m高度风速

Fig. 1 Wind speed distribution at height of 2 m

实验测得该地区裸露耕地的起沙临界风速6.5 m/s(粒径为0.05 mm,蠕移),从图1可以看出,4月16日的风速已经较大,平均风速11 m/s左右,而瞬时最大风速的平均值可达15 m/s以上,已经形成较大的沙尘暴。

2.4 比较分析

把两种方法得到的结果进行一下对比,根据粒径分析计算,得到该区域自开垦以来的总风蚀量为 14.12×10^4 t/km²,总风蚀厚度5 cm左右。而根据插钎法得到的是一次沙尘暴的风蚀结果,平均吹蚀厚度1.4 mm,平均风蚀量可达3 766.5 t/km²。把相对应的总风蚀量与一次风蚀量及总风蚀厚度与一次风蚀厚度进行对比:

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{14.12 \times 10^4}{3766.5} = 37.488 \\ n_2 &= \frac{5}{0.14} = 35.714 \end{aligned} \quad (2)$$

n_1 为总风蚀量与一次风蚀量的比值

n_2 为总风蚀厚度与一次风蚀厚度的比值

计算结果显示,达到该风蚀量和该风蚀量下的风蚀厚度的次数是一致的。也就是说,该区域达到如此大的总风蚀量和总风蚀厚度,需要发生试验所测强度的沙尘暴大约38次。

2.5 四子王旗风蚀量的推测

根据四子王旗气象站(1981~2000年)20年统计结果,沙尘暴天气在当地平均每年发生1.65次,因此每年的平均风蚀模数可达 $6214.7 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$,平均风蚀厚度2.31 mm。根据赵羽、金争平^[1]等人对内蒙古土壤风力侵蚀面积的统计结果,四子王旗风蚀面积2.37万 km^2 ,平均每年总风蚀量可达1.47亿t。而且通过粒径分析还能够发现,耕地损失的大部分颗粒小于0.05 mm。根据文献^[5]风沙运动的运动形式:蠕移、跃移、悬移,通常粒径<0.1 mm的沙粒容易以悬移的形式运动。该区域的风蚀损失粒径多以悬移的形式被搬运,春季沙尘弥漫,能见度降低,其中有相当一部分沙尘来自于裸露的耕地。

3 结果与讨论

通过对内蒙古阴山北部地区的四子王旗裸露耕地与草地(未耕)的粒径对比分析,较准确计算出该区域每年的平均风蚀模数可达 $6214.7 \text{ t/km}^2 \cdot \text{a}$,平均风蚀厚度2.31 mm。进而根据四子王旗的风蚀面积,可以计算出该旗平均每年总风蚀量可达1.47亿t。

进一步利用插钎法对一次沙尘暴的风蚀状况进行野外观测,把计算结果与粒径分析进行对比,发现两者计算结果吻合。结果表明,对于野外直接观测风蚀量随机性大,试验精度难以保证的前提下,根据粒径的对比分析来求解风蚀量是可取的有效途径。

通过裸露耕地与草地(未耕)的粒径对比分析发现,<0.05 mm的粒径大量减少,表明耕地土壤受风蚀时,损失的主要还是悬移质的粉尘(粒径<0.05 mm)。虽然土壤易蚀或者可蚀因子部分是<1 mm的粒径,但这一部分粒径中,大多以跃移为主的粒径都在区域内部被截留,只有由跃移运动的颗粒击溅起的细小颗粒离开地面,在大风的作用下以悬移的形式,被吹蚀至遥远的地方。因此对于一

个大的区域来说,只有悬移质的粉尘(粒径<0.05 mm)才随气流飘扬出区外^[10]。

参考文献(References)

- [1] Zhao yu, Jin zhengping, et al. Study on wind erosion in Inner Mongolia[M]. Beijing: Scientific and Technical Press, 1989. [赵羽, 金争平, 等. 内蒙古土壤侵蚀研究[M]. 北京: 科学技术出版社, 1989.]
- [2] Shen xiāngdōng, Jībaolín, Wāng xiāofēi, et al. Characteristic analysis on sand storm in farming-pastoral ecotone of the north of Mount Yin[J]. Arid Land Geography. 2003 (4): 345-348. [申向东, 姬宝霖, 王晓飞, 等. 阴山北部农牧交错带沙尘暴特性分析[J]. 干旱区地理, 2003, 26 (4): 345-348.]
- [3] Dong zhībǎo, Chén guāngtíng. A Preliminary Insight Into the Wind Erosion Problem in Houshan Area of Inner Mongolia[J]. Journal of Soil Erosion and 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论[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3 (2): 84-90.]
- [4] Li xiāoli, Shēn xiāngdōng, Efect of Soil Crusting on Soil Wind Erosion, Land and Water Management Decision Tools and Practices. Vol II: 727-731.
- [5] Wu zhēng, et al. Geomorphology of Wind-drift sands and Their Controlled Engineering[M]. Beijing: Science press. 2003. [吴正, 等. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [6] Zhang xiāoyou. Preliminary Study on the Erosion Amount of Soil and Wind-Sand Movement on Surface of Farmland in Shahe [J]. Arid zone research. 1996, 13 (1): 76-80. [张小由. 沙河洼农田地表风沙运动与土壤风蚀的初步研究[J]. 干旱区研究, 1996, 13 (1): 76-80.]
- [7] Li xiāngyún. Analysis on the Human Factors Resulting in Land Desertification in Arid Areas[J]. Arid Land Geography. 2004, 27 (2): 239-243. [李香云. 干旱地区荒漠化中人类因素分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (2): 239-243.]
- [8] Liu shūlín, Wāng Tāo, Study on Human Activities in the Process of Land Desertification[J]. Arid Land Geography. 2004, 27 (1): 52-56. [刘树林, 王涛. 论土地沙漠化过程中的人类活动[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (1): 52-56.]
- [9] Liu yǐngé, Miao qílóng. Prediction on Agricultural Drought Disasters in Northwest China[J]. Arid Land Geography, 2004, 27 (4): 364-369. [刘引鸽, 缪启龙. 西北地区农业旱灾与预测研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (4): 364-367.]
- [10] Zhu jūnfèng, Zhu zhēndá. Combating sandy desertification in China [M]. Beijing: Forestry press in China. 1999. [朱俊凤, 朱震达. 中国沙漠化防治[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.]

Experimental analysis on soil wind-erosion amount in Siziwang Banner North Yinshan Mountain, Inner Mongolia

LI Xiao-li, SHEN Xiang-dong, ZHANG Ya-jing

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: In this paper, Siziwang Banner ($41^{\circ}10' \sim 43^{\circ}20'N$, $110^{\circ}20' \sim 112^{\circ}55'E$, $1000 \sim 2100$ m a.s.l.) in Ulanqab City in the north Yinshan Mountain, Inner Mongolia, is selected as the experimental area, where the terrain is dominated by hills with valleys and intermontane basins, the climate is extremely arid, the annual precipitation is about 300 mm but its spatiotemporal distribution is extremely asymmetrical, the annual evaporation is as high as $1600 \sim 2400$ mm, strong winds occur frequently, and the natural vegetation is sparse. Wind-erosion desertification is extremely serious in the north Yinshan Mountain, and the wind-erosion amount is one of the important parameters in estimating soil erosion and land desertification. In this paper, the values of soil erosion in a typical farming-pasturing ecotone in Siziwang Banner are estimated based on the variation of topsoil grain sizes since recent years by using grain-size contrast method. Moreover, the soil wind-erosion amounts are derived based on the field-measured data of a strong sandstorm. After validating the estimated results, the soil wind-erosion amounts in the study area can be accurately calculated. After comparing the grain sizes of soils in a bare farmland and a common steppe, the soil erosion caused by traditional farming activities in the study area can be understood. The results reveal that the lost topsoil over the farmlands is dominated by soil grains with grain size < 0.05 mm, the average annual wind-erosion modulus is as high as 6214.7 t/km 2 . The study results can provide the theoretical foundation for researching the farming activities in a protected way in arid areas.

Key Words: wind-erosion amount; bare farmland; north Yinshan Mountain

书讯

由中国科学院新疆生态与地理研究所研究员仇家琪等编著的《雪崩学》一书,已由新疆科学技术出版社出版发行。

本书著者把多年雪崩研究成果、雪崩野外工作经验、国内和国外大量雪崩文献结合在一起编著而成,这是我唯一一部普通雪崩学专著。全书共分十八章,全面、系统、深刻地论述雪崩学问题;第六章和第八章由姜逢清执笔,其余各章由仇家琪执笔。首先,作者以较大篇幅涉及雪崩成因、类型、分布和特征等雪崩理论问题;其次,着重阐明雪崩灾害、安全、营救、环境、生态以及雪崩灾害治理和其它减灾措施等雪崩实际问题。本书图文并茂、资料丰富、针对性大、可读性强。

此书不仅丰富了我国雪崩学、山地灾害学、山地生态学的内容,而且可以作为大专院校有关专业的教材及工作手册;同时,对从事雪崩地区交通运输、道路养护、输电、通讯、水电、采矿、牧业、林业和雪崩治理、安全、营救、以及山地滑、旅游、登山、科教的人员具有应用价值。此外,还可供负责山地利用规划、设计和建设的部门使用。

随着西部开发政策的实施、山区开发步伐加快,进入山区的人数和开发项目将会增多,暴露于雪崩危险的机会也会相应增加。从增强雪崩安全意识来看,很多机构、组织和公众直接或间接需要掌握一些有关雪崩知识。本书详尽论述了山区道路、输电和通讯线路、房屋建筑的雪崩灾害治理问题,而且全面阐述了雪崩安全和营救问题。有关安全和营救的章节具有明显的科普特征,将会引起山区旅游、滑雪、登山、科考和探险人员的兴趣。

本书定价40元,欲购者可以优惠,如需者请与中国科学院新疆生态与地理研究所《干旱区地理》编辑部徐曼联系。地址:乌鲁木齐市北京南路40号附3号 邮编:830011 电话:0991—7885506

徐 曼