

吉林省西部沙地土壤风蚀机理分析

戴全厚^{1,2}, 喻理飞¹, 刘明义², 王艳²

(1. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 吉林省水土保持科学研究院, 吉林 长春 130033)

摘要: 风蚀危害是吉林省西部沙地的主要自然灾害之一。通过典型样地调查和室内风洞试验, 分析了该区沙地土壤风蚀机理。结果表明, 土壤风蚀随地表粗糙度、土壤含水量和有机质含量的增加而减小, 其风蚀量与地表粗糙度、土壤含水量近似地呈负指数关系, 与土壤有机质含量呈负相关。风是吉林省西部沙地产生风蚀的主要源动力, 当风速超过临界起沙风速时, 土壤侵蚀量与风速的 3 次方成正比, 其风蚀性气候因子为 155.2, 春季最大(76.2)。在空间分布上, 该区风蚀性气候因子和侵蚀性风能均自东向西递增, 西北部的通榆县为最大。

关键词: 沙地; 土壤风蚀; 风洞试验; 风蚀性气候因子; 吉林省西部

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0081-04

中图分类号: S157, P512.1

Mechanism of Soil Erosion by Wind on Sandy Land in West Jilin Province

DAI Quarhou^{1,2}, YU Lrfei¹, LIU Mingyi², WANG Yan²

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Jilin Institute of Soil and Water Conservation, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract: Soil erosion by wind is one of the main natural disasters on the sandy land in West Jilin Province. Based on field investigation, tests, and indoor wind tunnel experiment, the mechanism of soil erosion by wind on sandy land is analyzed. Analyses indicate that soil erosion by wind constantly decreases with the increases in surface roughness, soil moisture content, and organic matter content. A negative exponential relation with surface roughness and soil moisture content and a negative relation with organic matter content are found. Wind is the main force driving soil erosion on the sandy land in the region. When wind velocity exceeds the critical velocity, soil erosion is proportional to the third power of wind velocity. Climate factor for soil erosion by wind is 155.2. Erosion in spring is the severest (76.2). Spatially, both erosive climate factor and erosive wind energy increase from west to east. Yutong County in the northwest part of the region has the greater values.

Keywords: sandy land; soil erosion by wind; wind tunnel experiment; erosive wind energy; West Jilin Province

吉林省西部沙地是东北商品粮基地的重要组成部分, 但沙地资源却遭受着严重的土壤侵蚀(特别是风蚀)危害。据资料显示^[1], 松嫩平原平播麦地每年被大风剥蚀的表土厚度 0.5~1.0 cm。风蚀不仅可造成土壤退化, 还能引起沙尘暴等环境危害, 严重地影响着我国的粮食安全。因而, 开展该地区土壤风蚀自然环境、动力因子分析, 探识风蚀运动规律, 从地面粗糙度、理化性质和风力作用等方面探索其时空动态, 具有重要的理论和现实意义, 同时可为该区防治土壤风蚀决策和保证粮食安全提供科学理论依据。

本文是在刘明义等开展沙地土壤风蚀动力因子分析的基础上^[2], 新引入了土壤含水量、有机质等理化性状, 分析了其与风蚀的关系, 对沙地土壤风蚀机理做了进一步地探索, 为该区防治土壤风蚀决策和保证粮食安全提供了科学理论依据。

1 研究区概况

吉林省西部沙地位于松嫩平原西南部, 是由部分科尔沁沙地和部分松嫩沙地组成, 地理坐标为东经 121°58'—129°11', 北纬 43°59'—46°18', 是我国沙

收稿日期: 2007-10-17 修回日期: 2008-01-24

资助项目: 贵州省自然科学基金项目(Z073079); 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403206 6); 教育部重点项目(2005141); 贵州大学科研启动基金项目(X060056)

作者简介: 戴全厚(1969—), 男(汉族), 陕西省长武县人, 副教授, 博士, 主要从事水土保持和生态恢复重建研究。E-mail: qhdairiver@163.com。

地的东部边缘,也是除沿海沙地外,我国沙地中水分条件最好的沙地。地势西北高,中间低,中南略微隆起,海拔 180~600 m。年均气温 4.4℃,年降水量 400~500 mm,日照时数 2 800~3 000 h,干燥度 1~1.5,年蒸发量 1 846.1 mm,年均风速 3.4~4.4 m/s,8 级以上风日年均 46 d,以 3—5 月份为最多,平均达 27 d,且西南风居多,频率为 59%,各月都有出现风沙天气的可能。3—6 月份扬沙天气平均出现 133 d,占全年平均出现扬沙天气 153 d 的 87%;沙尘暴 92 d,占全年平均出现日数 96 d 的 96%,4—5 月尤为集中,属温带半湿润大陆性季风气候。在区域地质构造上,该区位于松嫩断陷盆地西部斜坡地带,其底为白垩系红色夹灰白、灰绿、灰黑色的砾岩、砂砾岩、砂岩和泥页岩,地带性土壤为栗钙土,地带性植被为草原。

2 材料与方法

2.1 试验材料

在研究区选取草地、风蚀耕地(裸地、玉米地、西瓜地、大豆地、向日葵、马铃薯等)、流沙地作为试验样地,测定土壤含水量、起沙风速、观测推算地表粗糙度、大于起沙风速风日,采集用于风洞试验的土样。

2.2 地表粗糙度测定

采用 DEM 6 型轻便风速风向表在不同样地地表分别测定距地表 50 cm 和 200 cm 高处 1 min 的平均风速,每种地表共测 9 点,每一点测两个高度各 5 次,并分别取平均值。每种地表两个高度分别有 9 组风速值,据此推算地表粗糙度值,其计算公式^[3-4]为

$$k = 10 \frac{\lg z_2 - \lg z_1}{1 - A} \quad (1)$$

式中: k ——粗糙度; z_1, z_2 ——地表以上两个不同高度; $A = v_2/v_1$ (v_2, v_1 分别为 z_2, z_1 高度处的风速)。

2.3 土壤含水量及有机质含量

土壤含水量采用常规的 105℃ 烘干法测定,土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化外加加热法测定。

2.4 风洞试验

本研究风洞实验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所风沙物理与工程实验室的直流闭口吹气式风洞中进行,风洞实验段长 16.23 m,截面积 0.6 m × 1.0 m。实验样品放置在可任意升降的土壤槽中,土壤样品表面与风洞底部齐平,土壤槽位于实验段入口下风向 12.06 m 处。在土壤槽后放置 20 cm 高的阶梯式集沙仪,集沙仪入口截面积为 2 cm × 2 cm。风蚀量采用感量为 1% 的电子天平测定,风速用毕托管测定。

2.5 风蚀性气候因子

目前关于风蚀性气候因子的计算公式有多种,本研究根据吉林省西部沙地的气候条件,采用 1979 年联合国粮农组织(FAO)修正的公式^[5]计算风蚀性气候因子。

$$C = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n u^3 \left(\frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right) d \quad (2)$$

式中: C ——风蚀性气候因子; u ——月平均风速(m/s); P_i ——月平均降水量(mm); d ——月天数; ETP_i ——月潜在蒸发量(mm)。

3 结果与分析

3.1 地表粗糙度

地表粗糙度是表征下垫面(地表)的一个重要物理量,也是衡量防沙治沙效益的一个重要指标。它是指地表上平均风速减小到零的某一高度(一般以厘米为单位),可以反映地表对风速减弱的作用以及对风沙流的影响^[6]。它对风力有削弱作用,其值大小主要取决于地形的起伏、植被覆盖及作物的播种方向。地表粗糙度增加,在一定程度上可以控制土壤风蚀,抑制扬沙天气出现,改善生态环境,因而,地表粗糙度是衡量土壤风蚀沙尘危害防治效应的重要指标之一。

研究结果表明^[2],不同植被覆盖的地表粗糙度均不相同,天然草地最大,平播耕地出苗前最小。对不同粗糙度地表的风洞试验结果表明,在相同风速条件下,土壤风蚀量随粗糙度增大而减小。在风蚀量随粗糙度减小的过程中,最初随粗糙度的增大,风蚀量急剧减小,这种减小的幅度随着地表粗糙度的增加而变小。风蚀量急剧减小的转折点在粗糙度为 0.045 cm 附近,随着粗糙度的增大,风蚀量的减小已经很不明显,曲线已变得比较平直,二者近似地呈负指数关系。当风速为较小,如为 8 m/s 和 10 m/s 时沙尘随粗糙度的增大已有所沉积。

3.2 土壤理化性状

3.2.1 土壤含水量。土壤含水量与其风蚀关系极为密切。有研究^[6]表明,当土壤中有水分存在时,水分子与土壤颗粒之间的拉张力增加了颗粒间的内聚力,增强了土壤的抗风蚀性。

Chipil^[7]和 Bisa 等^[8]分别利用风洞研究了土壤含水量与风蚀之间的关系,认为土壤含水量是抑制风蚀的主要因素之一。胡孟春等的风洞模拟结果^[9]显示,沙土含水量是重要的抗风蚀因子。本研究通过对流沙地和风蚀耕地不同含水量土壤的风洞试验结果也表明,土壤含水量与土壤风蚀程度和风蚀临界风速关系密切。

风蚀程度的大小受很多因素的影响,而对土壤来说,最直接和常见的是土壤水分的变化。在相同风速吹蚀下,流沙地土样和风蚀耕地土样的风蚀量均随含水量的增加而减小。在风蚀量随含水量减小的过程中,起初随着含水量的增加,风蚀量急剧减小,这种减小的幅度会随着土样含水率的增加而变小,到土样含水率达到近饱和时,就基本没有风蚀产生了(图1)。虽然流沙地和风蚀耕地土样的风蚀量随含水率的变化具有相同的趋势,但又有各自不同的特点。主要表现在3个方面。(1)流沙地土样对含水率的响应要更敏感一些,在开始时少许的水分增加,所引起风蚀量的减小要比风蚀耕地更大;(2)流沙地土样在含水量3%附近时,风蚀量已减小到一个很低的程度,而风蚀耕地土样的这一转折点在含水量4.5%附近;(3)2种土样在同一含水量情况下的风蚀量不同,风蚀耕地土样的风蚀量要大于流沙土样,但随着含水量的增加,其差异会趋于缩小。风蚀量与土壤含水量间近似地呈负指数关系。

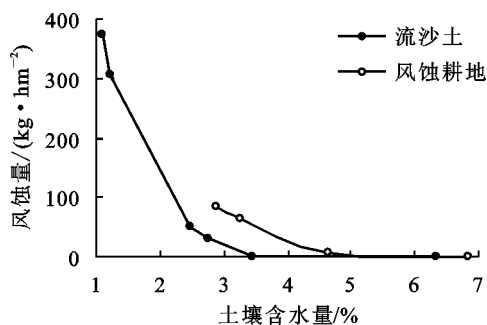


图1 土壤含水量与风蚀量关系曲线

临界风速也是反映土壤风蚀性的一个重要指标。临界风速高,说明土壤不易风蚀;临界风速低,则表明土壤易受风力侵蚀。临界风速的大小不仅与土壤质地有关,不同的土壤含水量,也会对临界风速产生不同的影响。土壤风蚀临界风速随土壤含水量的增大而增大,且在相同含水量情况下,流沙地土样的临界风速要明显高于风蚀耕地土样。因而,含水量对流沙地临界风速的影响要比风蚀耕地大。土壤含水量的增加增强了土壤颗粒之间的结合力,提高了土壤风蚀的临界风速,从而增强了土壤的抗风蚀能力(图2)。

3.2.2 土壤有机质含量。风蚀作用是荒漠化地区土壤养分变异的重要动力。风蚀造成土壤表层粗化,细物质减少,同时有机质和养分质量分数也减少。因而,有机质含量较高的土壤具有较强的抵抗侵蚀的能力,土壤有机质是土壤水稳性结构的胶结剂,含有机质丰富的土壤可形成较多良好结构^[10],增强了土壤抗蚀能力。通过土壤有机质含量与其风蚀量关系的

风洞试验研究表明,在风速和其它条件一定的条件下,土壤风蚀量与土壤有机质含量呈负相关(图3)。土壤有机质含量一定时,土壤风蚀量随风速的增大而增大。

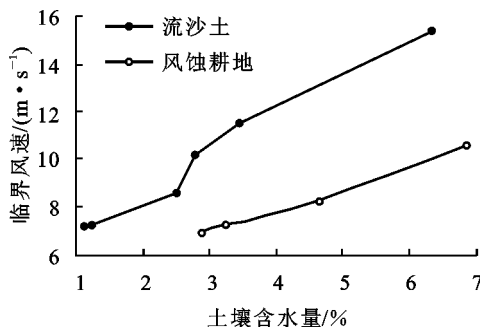


图2 土壤含水量与风蚀临界风速关系

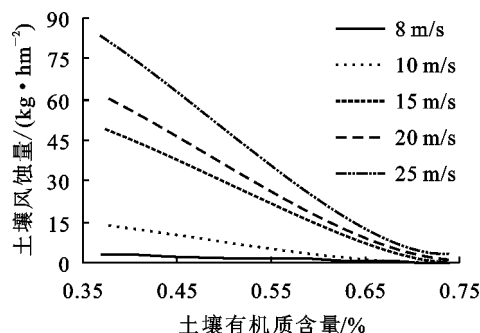


图3 土壤有机质含量与风蚀量的关系

3.3 风力作用

风是土壤侵蚀的直接动力来源,1965年美国学者伍德拉弗(N. P. Woodruff)和西多威(F. H. Siddoway)从土壤可蚀性、风蚀性气候因子等5个方面对土壤侵蚀进行了分析研究^[11],提出了土壤风蚀方程式,并在许多方面都得到了广泛的应用。笔者运用该方程式从风蚀性气候因子和侵蚀性风能及挟沙风等方面对吉林省西部风蚀进行了分析探索。

3.3.1 风速与临界起沙风速。风是风沙运动的原动力。在沙粒的整个运动过程中,在风向一定的条件下,风速的大小始终起着决定性的作用。起沙风速是决定沙粒运动的外在根本因素,它与气流输沙量亦存在一定的数量关系^[12],是产生风沙流输沙过程的必要条件^[13]。

(1) 临界起沙风速。经过连续几年风季的野外测试〔用手持式风速仪测定耕地风沙起动的速度(1m高处风速)〕表明,该区的主要风向为西南风,且风向频率高达50%以上。历年平均风速由西向东递减,以西部的通榆、白城一带为最大。同时,不同地表类型,其起沙风速也不尽相同,流动沙丘的起沙风速为9.0~10.3 m/s,流沙地的起沙风速为7.3~8.8 m/s,

草地的起沙风速为 8.3~12.1 m/s, 风蚀耕地的起沙风速为 6.3~7.9 m/s。显然耕地更易受到风蚀的危害, 因而要求在开展农业生产的同时, 更应注意对土地的保护。

吉林省西部沙地大于起沙风速的风日数在空间分布上也很不均匀, 总体为自西北向东南逐渐减小, 西北的通榆 \geq 起沙风速 10.3 m/s 的风日为 86.28 d, \geq 起沙风速 6.7 m/s 的风日为 229.80 d, 到了东南的扶余、前郭就分别减为 \geq 起沙风速 10.3 m/s 的风日 43.32 d 和 21.60 d, \geq 起沙风速 6.7 m/s 的风日 143.28 d 和 131.76 d^[2]。

(2) 风速。风速的大小直接影响风蚀的强度, 是影响土壤风蚀量的主要因素。草地、耕地和沙地不同地类风洞试验结果表明, 当风速大于临界起沙风速时, 土壤风蚀量随风速增大呈幂函数增长, 即近似地与风速的立方呈正比^[2]。

(3) 挟沙风。挟沙风的运动具有气、固两相特征, 在气流作用下的沙粒有 3 种运动形式, 即蠕移、跃移和悬移。沙粒跃移是最为重要的运动形式, 这不仅是因为跃移沙粒占全部输沙量的 75% 以上, 而且它也是导致蠕移和悬移的重要原因。跃移沙粒在风场中运动时, 除受到重力、空气的拖曳力外, 还会因为碰撞等原因导致沙粒旋转, 其转速每秒高达几百至上千转^[15], 因此具有更大的动能, 对土壤表面直接撞击, 使风蚀量加大。另外, 粒径较大的沙粒在蠕移过程中对土壤表面产生磨蚀作用, 也加大了对地表结构的破坏, 使土壤变得更易风蚀^[16]。挟沙风中大量的沙尘, 根据惯性原理可知, 在速度相同的条件下, 其能量比净风要大得多, 携沙能力也远远地大于净风。净风、挟沙风不同风速与风蚀量关系风洞试验结果显示^[2], 不论是草地、耕地, 还是沙地在风速相同的情况下, 挟沙风的风蚀模数都比净风大得多, 这进一步说明了挟沙风比净风更易产生风蚀。同时当风速超过临界风速后, 风蚀模数随着风速的增大而增加, 土壤风蚀程度随风速近似地呈 3 次方递增。

3.3.2 风蚀气候侵蚀力。风蚀气候侵蚀力是对影响风蚀的可能程度的量度, 国际上一般用风蚀气候因子来表示。风蚀气候因子(C)是过去 20 余年内国外广泛应用的风蚀预报方程中的 5 个自变量之一, 亦是荒漠化评价的重要指标。风力是引起风蚀的主要因素, 但气候条件对风蚀的作用与影响, 不仅仅表现在风力的作用上, 而是风速、降水和温度等因子综合作用的结果, 因而风蚀性气候因子是评价某一地区潜在风蚀的主要指标。

据公式(2)计算, 吉林省西部沙地风蚀性气候因子为 155.2, 是我国气候侵蚀力较强的地区。在季节变化上, 春季 3—5 月份最大(76.2), 其次为秋季 9—11 月份(35.6)和冬季 12—2 月份(26.3), 夏季最小, 在 6—8 月份(17.0)。在空间分布上, 也很不均匀, 西北部的通榆县最大, 达 318.7, 东南部的前郭最小, 仅为 82.2, 从西北部向东南部逐步递减(表 1)。

春季降雨较少, 下垫面植被覆盖率低, 风速较大, 因而风蚀气候侵蚀力最大, 冬季下垫面植被覆盖率较低, 风速最大, 但有降雪覆盖, 其风蚀气候侵蚀力较小。夏季降雨较多, 且下垫面植被覆盖率最大, 其风蚀气候侵蚀力最小。空间分布上是由于降雨、风速自西北向东南递减的原因, 导致风蚀气候侵蚀力自西北向东南递减。

表 1 吉林省西部沙地各台站风蚀气候因子计算

台 站	不同季节下风蚀性气候因子				
	春季	夏季	秋季	冬季	全年
白 城	76.9	12.4	34.3	29.9	153.5
镇 赉	55.3	10.4	25.7	17.6	109.0
大 安	91.2	17.4	40.7	35.3	184.6
洮 安	72.2	22.5	37.5	23.9	156.1
扶 余	46.1	11.3	24.9	15.7	98.0
前 郭	36.8	11.6	18.4	15.4	82.2
乾 安	67.5	17.3	30.3	24.1	139.2
三岔河	79.3	13.3	32.2	25.9	150.7
通 榆	143.8	39.2	84.1	51.6	318.7
长 岭	83.7	14.4	31.3	21.9	151.3
双 辽	85.3	17.2	32.7	28.3	163.5
平 均	76.2	17.0	35.6	26.3	155.2

4 结 论

(1) 吉林省西部沙地多西南风, 风向频率超过 50%, 为主害风。历年平均风速由西向东递减, 以西部的通榆、白城一带为最大。同时, 不同地类的临界起沙风速亦不相同, 草地为 8.3~12.1 m/s, 流沙地为 7.3~8.8 m/s, 流动沙丘为 10.3 m/s, 风蚀耕地为 6.3~7.9 m/s。

(2) 该区土壤风蚀随地表粗糙度、土壤含水量和有机质含量的增加而减小, 其风蚀量与地表粗糙度、土壤含水量近似地成负指数关系, 与土壤有机质含量呈负相关。

(下转第 96 页)

学建模确定函数参数的困难。

(2) BP 神经网络本构模型计算结果与试验结果对比表明, 该模型具有较高的学习精度和良好的泛化能力, 能充分体现岩土材料的非线性关系。

(3) 用莫尔—库仑准则拟合得到的混合草根加筋土的强度指标 c 和 φ 值, 较素土有较大增长, 并用之分析了草根加筋土的护坡机理。

[参 考 文 献]

- [1] Manbeian T. The influence of soil moisture suction, cyclic wetting and drying, and plant roots on shear strength of cohesive soil [R]. Berkeley: University of California, 1973.
- [2] Endo T, Tsuruta T. The effect of tree roots upon the shearing strength of soil [C] // Annual report of the Hokkaido Branch, Tokyo: Japan Tokyo Forest Experiment Station, 1969: 168—179.
- [3] Wu T H, Beal P E, Lan C. In situ test of soil root systems [J]. Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 1988, 114(12): 1376—1394.
- [4] Roscoe K H, Schofield A N, Wroth C P. On the yielding

of soil [J]. Geotechnique, 1958, 8 (1): 22—53.

- [5] Roscoe K H, Schofield A N, Thuraiajah A. Yielding of clays in states wetter than critical [J]. Geotechnique, 1963, 13(3): 211—240.
- [6] Duncan J M, Chang C Y. Nonlinear analysis of stress-strain in soil [J]. Proc. ASCE, 1970, 96 (SM5): 1629—1653.
- [7] 沈珠江. 土的重屈服面应力应变模型 [J]. 固体力学学报, 1984(2): 51—57.
- [8] Ghassem Habibagahi, Alireza Bamdad. A neural network framework for mechanical behavior of unsaturated soils [J]. Can. Geotech, 2003, 40: 684—693.
- [9] Banimahd M, Yasrobi S S, Woodward P K. Artificial neural network for stress-strain behavior of sandy soils: Knowledge based verification [J]. Computers and Geotechnics, 2005, 32: 377—386.
- [10] 中华人民共和国行业标准. 公路土工试验规程 (JTJ051—93) [S]. 1993.
- [11] 陈昌富, 刘怀星, 李亚平. 草根加筋土的护坡机理及强度准则试验研究 [J]. 中南公路工程, 2006, 31 (2): 14—17.

(上接第 84 页)

(3) 风是吉林省西部沙地产生风蚀的主要源动力, 当风速超过临界起沙风速时, 土壤侵蚀量与风速的 3 次方成正比。在风速相同的情况下, 挟沙风比净风更能引起土壤风蚀。经风洞试验和实际观测可知, 在挟沙气流的作用下, 虽然风速没有达到临界风速, 但土壤已经发生了风蚀, 并且在风速相同的条件下, 挟沙风作用下的土壤风蚀量远远大于净风作用下的土壤风蚀量, 一般都是几倍至几十倍, 这是由于挟沙风的能量远远大于净风能量的结果。

(4) 风蚀性气候因子为 155.2, 春季最大 (76.2)。在空间分布上, 该区风蚀性气候因子和侵蚀性能均自东向西递增, 西北部的通榆县为最大。

[参 考 文 献]

- [1] 崔海山, 张柏, 刘湘南. 吉林西部土地荒漠化预测研究 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(2): 235—239.
- [2] 刘明义, 戴全厚, 张黎辉, 等. 沙地土壤风蚀动力因子分析 [J]. 中国水土保持, 2000(7): 28—30.
- [3] 董光荣, 李长治, 高尚玉, 等. 关于土壤风蚀风洞模拟实验的某些结果 [J]. 科学通报, 1987(4): 297—301.
- [4] Arao K, Ishizaka Y. Volume and mass of yellow sand dust in the air over Japan: An estimated from atmospheric turbidity [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1986, 64(1): 311—325.
- [5] FAO. A Provisional Methodology for Soil Degradation

Assessment [M]. Rome: 1979.

- [6] 海春兴. 中国北方农牧交错区夏季土壤风蚀研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(2): 6—9.
- [7] Chipil W S. Properties of soil which influence wind erosion: State of dry aggregate structure [J]. Soil Science, 1951, 72: 387—401.
- [8] Bisal F, Hsieh J. Influence of moisture on the erodibility of soil by wind [J]. Soil Science, 1966, 102: 143—146.
- [9] 胡孟春, 刘玉璋, 乌兰, 等. 科尔沁沙地土壤风蚀的风洞实验研究 [J]. 中国沙漠, 1991, 11 (1): 22—29.
- [10] Woodruff N P, Siddoway F H. A wind erosion equation [J]. Soil Science Society of American Proceedings, 1965, 29: 602—608.
- [11] 孙显科. 风沙运动理论体系的创建与研究 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(2): 129—135.
- [12] 申向东, 邹春霞. 裸露耕地风沙运动特性试验研究 [J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 909—912.
- [13] 董玉祥. 沙漠化灾害危险度评价的初步研究 [J]. 自然灾害学报, 1993, 2(3): 103—109.
- [14] 黄宁, 郑晓静. 风沙跃移运动中的 Magnus 效应 [J]. 兰州大学学报, 2001, 37(3): 19—25.
- [15] 移小勇, 赵哈林, 张铜会, 等. 挟沙风对土壤风蚀的影响研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 59—61.