

风沙土开垦中的风蚀研究*

董治宝 陈渭南 李振山 杨佐涛

(中国科学院兰州沙漠研究所, 730000)

摘 要

针对以往对土壤风蚀与土地开垦的关系缺乏定量研究, 本文以野外实地采集的风沙土样为实验材料, 对土地开垦过程中影响风蚀的两个主要因素——地表破坏与植被破坏分别进行风洞实验, 结果表明, 土壤风蚀率随地表破坏率的增大呈二次幂函数增加; 随植被盖度的减少呈指数增加。综合地表破坏及植被盖度对土壤风蚀的影响, 最后得出, 土壤风蚀率随土地开垦率的增大呈指数增加。在此基础上提出了风沙土开垦中, 有效地防止土壤风蚀需要掌握的临界开垦指数以及风沙土开垦所必备的条件。

关键词 风沙土, 风蚀率, 地表破坏率, 植被盖度, 土地开垦率

风沙土是我国干旱、半干旱区主要土壤类型之一。土壤质地疏松, 结构差, 含水率低, 开垦中及垦后极易遭风蚀, 并导致沙漠化, 久之则演变为流沙。

50年代初期, Chepil, W. S. 等对美国西部开垦过程中的土壤风蚀问题作过系统研究, 并在此基础上建立了风蚀方程^[6]。近年来, 国内亦曾开展过一些风蚀调查和实验研究^[1-2], 但系统的研究很少。以往的研究偏重于定性描述, 没有提出不同形式的人类活动对土壤风蚀影响的量化指标。对土壤风蚀量与土地开垦程度之间缺乏定量分析。本文在前人工作的基础上, 试图通过风洞模拟实验, 研究土地开垦对土壤风蚀的定量影响模型。土地开垦对土壤风蚀的影响主要表现在两方面: (1)破坏地表并减少自然植被, 削弱地表覆盖物的防风蚀作用; (2)破坏地表土层结构, 减弱受蚀土壤的抗风蚀力。本文则以此作为研究的重点。

1 材料与方 法

实验在中国科学院兰州沙漠研究所沙风洞^[1]进行。沙风洞为直流闭口吹气式低速风洞。实验段长16.23m, 截面积0.6m×1.0m, 风速为0.5—40m/s(连续)并可以调节。供试土样置于实验段入口下风12.60m处^[4]。试样取自陕北神木县六道沟流域, 典型风沙土, 规格95cm×27cm×20cm, 有效风蚀面积为95cm×27cm。其颗粒组成见图1。原状土样压实程度较高, 硬度约180N/cm²(牛顿/厘米²), 含水率约1.80%。首先进行地表结构破坏对风蚀的影响实验。按拟定指标将原状土样构成不同破坏程

* 本文为国家“八·五”重点科技攻关项目(85-910-03)资助; 工作中承蒙董光荣先生、陈广庭先生指导风洞实验并对文章提出修改意见。此外, 协助风洞实验的还有: 刘贤万、李长治、王国昌、刘玉璋、李胜等, 特此一并致谢!

收稿日期: 1994-09-10; 收到修改稿日期: 1996-01-08

度类型, 然后施以不同强度的风力吹蚀。接着作植被盖度对风蚀影响的实验。将原状土样彻底粉碎, 其上栽植人工塑料植物模型。植物模型高 2cm, 直径 2.7cm。实验时, 按事先拟定好的植被盖度将植物模型均匀布置于供试土样表面, 然后在恒定的风速下吹蚀。整个实验分四步完成: (1) 布置样品。将供试土样按拟定好的地表破坏程度或植被盖度准备好, 置于风洞实验段内; (2) 吹蚀。给置于实验段的土样施以所要求的风力作用使其经受风蚀。在吹蚀过程中随时记录各种风蚀现象; (3) 称重。每一轮实验完毕, 将被风吹出土样箱的有效风蚀面积的沙物质收集, 并用 1% 天平称重, 测定土壤风蚀量; (4) 照像。对风蚀前后的土样分别照像, 以便可对土样进行变化比较。

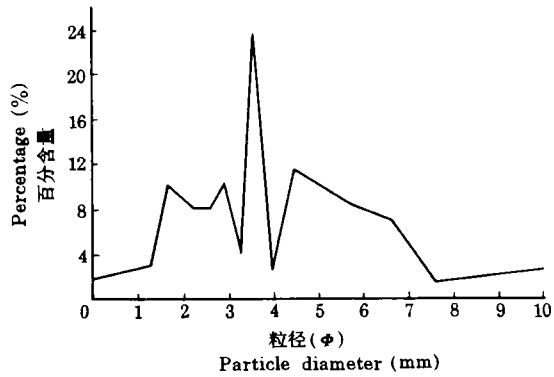


图 1 实验样品粒配曲线

Fig.1 The particle size distribution of the soil in study

2 结果与分析

2.1 土壤风蚀率与地表破坏率的关系

在实验中, 土壤风蚀强度用风蚀率 (E) 表示, 其含义即是单位时间(1 分钟)内的风蚀量, 单位为 g/min (克/分钟)。地表结构破坏程度以地表破坏率 (SDR) 表示:

$$SDR = \frac{A_D}{A_0}$$

其中 A_D 为地表结构受破坏的面积, A_0 为土样总面积。本项目共作了 8 种地表破坏类型对风蚀的影响实验, 破坏率依次为 2.40%、6.90%、16.26%、25.60%、34.40%、47.40%、62.70% 及 100%。在每种破坏率下原则上都以 5m/s、10m/s、15m/s、20m/s 及 25m/s 等 5 个风速 (V) 吹蚀。其实验结果列于表 1。从表 1 数据可见:

第 1, 不同地表破坏率条件下风蚀率与风速的关系有如下规律:

(1) 风蚀率随风速的增大而增大。并在各种地表破坏率条件下两者的关系可用指数函数表示:

$$E = C \cdot D^V \quad (1)$$

其中, E 为风蚀率, V 为风速, C, D 为回归系数, 可由回归分析得出。

(2) 在不同地表破坏率条件下, 风蚀率增加与风速增大的速率存在一定的差异。在地表破坏率较小时, 风蚀率随风速增大其增加率较小。除第五组外, 总的趋势表现为, 地表破坏率愈大, 风蚀率随风速的增加率亦愈大。

(3) 地表破坏率 $>35\%$ 与 $<35\%$ 的情况相比, 风蚀率随风速增大的比率明显增大。而且风蚀率随风速的增加率大致稳定在一定的水平上。由此可见, 风沙土 35% 左右的地表破坏率是一个重要的临界值, 超过这一临界值风蚀率会明显增加, 尤其大风侵蚀的增强最为明显。当地表破坏率 $<15\%$ 左右时, 风蚀率很小, 主要由强风侵蚀所致。

表 1 地表破坏率与风蚀率的关系

Table 1 The relationships between wind erosion rates and land surface destruction rates

地表破坏率 Surface destruction rate (SDR)(%)	不同风速条件下的风蚀率 Wind erosion rates at different wind velocities		地表破坏率 Surface destruction rate (SDR)(%)	不同风速条件下的风蚀率 Wind erosion rates at different wind velocities	
	V (m /s)	E (g /min)		V (m /s)	E (g /min)
2.40	5.2	0.00	34.40	7.0	1.10
	10.1	0.40		11.8	2.80
	14.7	0.49		16.8	10.03
	20.0	0.69		22.0	20.07
	26.1	1.04		25.6	43.07
6.90	7.0	0.56	47.40	7.0	4.62
	12.0	0.80		11.6	9.51
	17.0	1.15		15.9	36.63
	22.0	1.74		21.9	70.59
	27.8	2.71		24.7	117.99
16.26	6.8	0.72	62.70	6.9	5.37
	11.6	0.84		12.1	20.03
	16.2	1.37		17.7	86.10
	20.8	2.51		21.9	214.37
	26.4	5.39		27.2	351.67
25.60	7.1	0.89	100.00	7.1	17.00
	11.9	1.62		12.7	55.75
	16.0	4.29		16.7	145.75
	21.2	6.84		21.3	375.05
	24.0	11.34		26.1	926.75

第 2, 不同风速下风蚀率与地表破坏率的关系可以通过对表 1 实验结果采用曲线拟合插值法分别求出各种不同地表破坏率条件下, 不同风速 10 m /s、15m /s、20m /s 及 25 m /s 时的风蚀率(表 2)。

进一步分析表 2 资料, 得出表 3 中的相关关系。

由表 3 可以看出风蚀率随地表破坏率变化而变化的趋势:

(1) 在大于起沙的风速条件下, 地表破坏愈烈, 风蚀愈强。风蚀率随地表破坏率的变化关系还可以用二次幂函数表示:

$$E = K_1 + K_2 \cdot SDR^2 \quad (2)$$

其中, E 为风蚀率, SDR 为地表破坏率, K_1 , K_2 为回归系数。

表 2 风蚀率与地表破坏率的关系

Table 2 The relationships between wind erosion rates and land surface destruction rates

地表破坏率 Surface destruction rate (SDR)(%)	不同风速下的风蚀率(g/min) Wind erosion rate at different wind velocity			
	10 m/s	15 m/s	20 m/s	25 m/s
	2.40	0.01	0.40	0.49
6.90	0.47	0.69	1.01	2.16
16.26	0.50	0.88	1.56	4.85
25.60	0.65	1.38	2.49	13.30
34.40	0.78	2.08	5.56	39.60
47.40	3.38	8.41	21.11	134.54
62.70	4.50	13.03	37.73	316.53
100.00	10.96	32.51	94.15	789.79

表 3 风蚀率与地表破坏率的相关关系

Table 3 Correlations between wind erosion rates and land surface destruction rates

风速 Wind velocity (m/s)	相关关系式 Correlation equation	相关系数 Correlation coefficient
10	$E=0.070+0.0017 SDR^{1.91}$	0.994
15	$E=-0.026+0.030 SDR^{2.02}$	0.997
20	$E=-0.869+0.007 SDR^{2.07}$	0.998
25	$E=-13.842+0.040 SDR^{2.15}$	0.997

(2) 从总体变化趋势看, 风力愈强, 地表破坏对风蚀的影响愈大。在风速较低(10 m/s)时, 原始地表的风蚀率几乎为零。地表轻度破坏可诱发风蚀的发生, 但风蚀率仍较低。在风速较高(>15 m/s)时, 原始地表已有一定程度的风蚀, 地表轻度破坏可使风蚀率突然增加。这表明, 地表破坏有激发和增强风蚀的作用。

(3) 在各种风速下, 风蚀率随地表破坏率而增大的过程不只是渐变, 而且具有一定的陡变与缓变区间。风蚀率增加过程中的两个陡变区间分别为 2.40—6.90%, 34.40—47.40% 两个缓变区间分别为 6.90—34.40%, 47.40—100%。由此可见, 风蚀率随地表破坏率的增大过程属于一种动态超稳定平衡系统行为。这种系统行为是流体营力(流水、风)作用下地表形态演变的一种普遍规律。Schumm(1977) 在论述流水作用下的流水侵蚀时, 将这种系统行为的时空变化称为“复杂响应”^[5]。本实验结果证明, 土壤风蚀在某种程度上亦具有这种规律。

(4) 风蚀率随地表破坏率增大而增加的两次陡变过程可将地表破坏程度划分为三种类型: ① 轻度破坏, 地表破坏率小于 6.90%; ② 中度破坏, 地表破坏率 6.90—47.40%; ③ 重度破坏, 地表破坏率大于 47.40%。根据地表破坏率的三种类型可将风沙土划分为

固定风沙土、半固定风沙土、流动风沙土三个亚类,从而将上述三种风沙土亚类的半定量划分数值比。

2.2 土壤风蚀率与植被盖度的关系

土地开垦对植被的影响可体现于植被质量与数量的变化。其中对风蚀影响最大的是植被数量。在本实验中,植被的数量以植被盖度(VCR)表示。

$$VCR = \frac{A_v}{A_0}$$

其中, A_v 为各植物单体于土表的投影面积总和; A_0 为土表总面积。本实验在维持实验段风速 12.7 m/s 的条件下,依次将植被盖度改变为 60.42% 、 49.05% 、 40.29% 、 33.72% 、 27.15% 、 19.70% 、 10.95% 、 5.47% 及 0.00% ,测定各种植被盖度条件下的风蚀率,得出风蚀率与植被盖度的关系如图 2,并用下式描述:

风蚀率与植被盖度的关系如图 2,并用下式描述:

$$E = 830.14 \times (8.20 \times 10^{-5})^{VCR} \quad R = 0.999 \quad (3)$$

由图 2 可知,风蚀率与植被盖度之间存在着相应的曲线关系。风蚀率随植被盖度的减少呈指数增加。在实验风速 12.7 m/s 条件下,植被盖度大于 60% 左右时,风蚀率几乎为零。随着植被盖度的减少,风蚀率开始缓慢增加。当植被盖度减少至 20% 左右时,风蚀率突然增加。

实验表明,随着植被盖度的变化,风蚀经历着质和量的变化。在本实验中,植被盖度为 60.42% 时,风蚀部位主要发生在供试土样的上风侧边缘,其余部分未见风蚀现象,甚至出现轻度堆积,未见明显的风沙流。

表明此时的风蚀方式主要为净风侵蚀。当植被盖度减少至 27.15% 时,整个土样表面均有明显的风蚀,开始产生较弱风沙流。表明除了净风侵蚀外,尚有风沙流侵蚀。当植被盖度小于 19.7% (约 20%) 时,出现强烈的风沙流,整个实验时段内风蚀部十分强烈,而且土样的下风侧边缘较上风侧边缘强。表明风沙流侵蚀占主导地位,并表现出明显的长度效应。以上事实说明,植被盖度小于 20% 时,风蚀率的突然增加主要是由风沙流侵蚀所致。植被盖度减少引起风蚀率的增加过程体现了自然界由量变到质变的普遍规律。

2.3 土壤风蚀率与土地开垦率的关系

上述分析分别涉及到土壤风蚀率与地表破坏率及植被盖度的关系。实际上,土地开垦同时破坏植被与地表。所以,土地开垦对土壤风蚀的影响实际上是上述两种作用的综合。为了探讨风蚀率与土地开垦程度,也就是与土地开垦率(RER)即被垦土地面积占总土地面积的百分数之间的关系,本文假设:土地未开垦时植被盖度为 100% ;地表破坏率为 0.00% ;被垦地块的分布是随机的;在开垦过程中,植被盖度的减少与地表破坏率的增加是同步的,即 $SDR = RER$, $VCR = 1 - SDR$ 。根据风蚀率与地表破坏率及植被盖

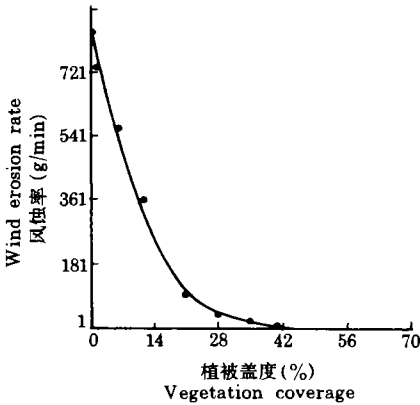


图2 风蚀率与植被盖度的关系

Fig.2 The relationships between wind erosion rates and vegetation coverage

度的相关关系，分别输入土地开垦率 2.40%、6.90%、16.26%、25.60%、34.40%、47.40%、62.70% 及 100%，通过计算机模拟分别输出相应的土壤风蚀率。对土壤风蚀率与土地开垦率的关系作定量分析，得出的相关关系如图 3，并可用下式描述：

$$E = 0.4558 \times 2240.281^{RER} \quad R = 0.997 \quad (4)$$

可见，土壤风蚀率与土地开垦率之间亦存相应的曲线关系。对于植被完全覆盖，原地表结构无损的土地，土壤风蚀率随土地开垦率的变化情况如下：

(1) 土地开垦愈烈，土壤风蚀愈强。土壤风蚀率随土地开垦率的扩大呈指数增加。

(2) 土地开垦伊始，土壤风蚀率随土地开垦率的扩大缓慢增加。当土地开垦率大于 75% 时，风蚀率突然增大，这种趋势一直维持到土地全部被垦。表明，有植被的土地较裸露土地允许有较高的地表破坏率，而受破坏的地表比未受破坏的地表要求有较多的植被盖度以有效地抵御风蚀。

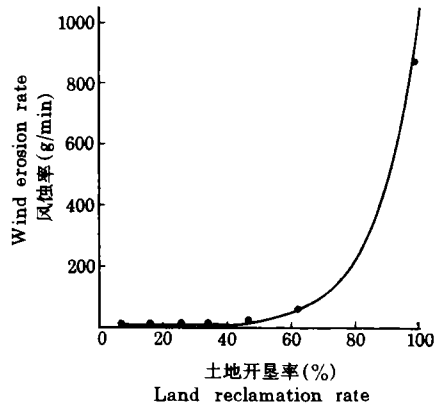


图 3 土壤风蚀率与土地开垦率的关系
Fig.3 The relationships between wind erosion rates and land reclamation rates

3 结 论

综合分析实验结果，可以得出如下初步结论：

1. 风蚀率与地表破坏率之间存在三次幂函数关系。土地开垦过程中，随着地表破坏率的增加，某一区域风蚀率(量)的增大过程具有动态超稳定平衡系统行为，并非单纯渐变过程。这一点与流水侵蚀相似。

2. 根据风沙土风蚀率随地表破坏率增加的两个陡变区间所划分出的三种风蚀程度类型揭示了固定风沙土、半固定风沙土和流动风沙土抗风蚀力的本质差异。

3. 植被盖度下降，风蚀性质改变以及风蚀率陡增之间的关系表明，保护植被和提高植被覆盖率将有效地改变气流性质，抑制风沙流的产生。此为防治土壤风蚀的关键措施之一。

4. 对长城沿线风沙土，为了有效地控制土壤风蚀，需采取如下措施：确保植被盖度在 20% 以上；对无植被覆盖的裸露风沙土，应保护地表免遭破坏。根据各地实际，土地开垦率宜控制在 47.40% 或 6.90% 以下；对植被覆盖完好的风沙土，土地开垦率允许适当增加，但不得超过 75%。对过度开垦的风沙土，须营造防护林，使植被盖度大于 25%。

5. 将风沙土垦为农田需具备的条件是：A. 有充分的灌溉水源；B. 风季地面有一定的植物或地表覆盖条件，保护地表免遭破坏。否则将引起严重风蚀，导致流沙蔓延和沙漠化。在无灌溉条件时，为了避免土壤风蚀，建议采用免耕法、条带状耕作法或覆盖地表等办法。具体技术措施应因地制宜确定。

参 考 文 献

- 1 董光荣, 李长治, 金炯等, 1987: 关于土壤风蚀风洞实验的若干结果。科学通报, 第 32 卷 4 期, 297—301 页。
- 2 陈渭南, 董光荣, 董治宝, 1994: 中国北方土壤风蚀研究进展与趋势。地球科学进展。第 9 卷 5 期, 6—12 页。
- 3 贺大良, 刘贤万, 1983: 风洞实验方法在沙漠学研究中的应用。地理研究, 第 2 卷 4 期, 99—106 页。
- 4 陈渭南, 1991: 蒙陕接壤地区土壤母质风蚀实验研究。水土保持学报, 第 5 卷 1 期, 33—40 页。
- 5 Schumm, S. A., 1977: The Fluvial System. Jhon Wiley & Sons, New York.
- 6 Woodruff, N. P., Siddoway, F. H., 1965: A wind erosion equation. Soil Science Society American Proceedings, 29 (3): 602—608.

STUDY ON WIND EROSION OF AEOLIAN SAND SOIL UNDER RECLAMATION

Dong Zhibao Chen Weinan Li Zhenshan and Yang Zuotao

(*Institute of Desert Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)

Summary

By a wind tunnel experiment with an aeolian sand soil sample collected from a field, a study was carried out to ascertain the wind erosion characteristics of the soil under reclamation. Two factors influencing soil wind erosion, surface destruction and vegetation coverage were studied. After a series of laboratory work, the quantitative relationships between wind erosion rate and surface destruction rate and between wind erosion rate and vegetation coverage percentage were established. It was found that the former relationship complied approximately with a second power function, while the latter could be expressed by an exponential function. By means of computerized simulation the correlation between wind erosion rate and land reclamation rate was found to follow an exponential function. Furthermore, some surface destruction, vegetation coverage and land reclamation thresholds are suggested to prevent aeolian sand soils from wind erosion, and some required soil conditions and measures of aeolian sand soils to be reclaimed for wind erosion control are pointed out in the present article.

Key words Aeolian sand soil Wind erosion rate Land surface destruction
Vegetation coverage Land reclamation