

耕作地表土块状况及其对近地表风场的影响

刘目兴¹, 刘连友^{2,3}, 孙炳彦^{2,3}, 郭兰兰^{2,3}, 王 志^{2,3}, 唐 艳^{2,3}, 彭茹燕^{2,3}

(1. 华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北 武汉 430079;

2. 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; 3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘 要: 为深入理解非可蚀性土块吸收风能、降低侵蚀力的机制, 利用野外风速资料, 对半干旱区农田传统耕作模式下犁耕、耙耱及抹平等的地表土块大小、土壤表面粗糙度、近地表风速及空气动力学特征进行了研究。结果表明, 犁耕后农田土块长、宽、高均在 15 cm 以上, 盖度为 27.67%, 耙耱、抹平后土块大小和盖度显著降低, 抹平地表面土块盖度仅为 2.13%; 土块的破碎导致土壤表面粗糙度降低, 近地表风速增大; 与犁耕地表比较, 耙耱后土壤表面粗糙度降低 34%~64%, 抹平后降低幅度甚至在 90% 以上; 耙耱抹平后地表以上 0.5 m 高度内风速显著增大, 空气动力学粗糙度由 1.1 cm 降低至 0.05 cm, 侵蚀力增强。因此认为, 合理选择犁耕、耙耱和抹平的时间对农田风蚀防治有实际意义。

关键词: 土块结构; 土壤风蚀; 土壤表面粗糙度; 空气动力学粗糙度; 传统耕作

中图分类号: S157.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0012-06

土壤风蚀是侵蚀区土地沙漠化和下风向地区沙尘暴灾害的根源。耕作农田是我国北方主要沙尘源地, 其风蚀的发生和发展受作物残茬、土垄土块等粗糙元和土壤可蚀性的制约^[1]。风蚀防治主要从人为能够控制的因子出发, 降低侵蚀力和土壤可蚀性^[2]。北方半干旱区农田休闲期气候干冷多风, 传统粗放经营下作物残茬和秸秆较少且被用作燃料或饲料, 农田防护林和机械风障的建设受水分条件和经济发展水平的制约, 远不能满足风蚀防治的需求。

Chepil 通过风洞试验研究, 发现耕作土壤粒径大于 0.84 mm 的颗粒难以被侵蚀, 而非可蚀性土块的存在使地表裸露面积减小, 易蚀性颗粒被掩盖, 土壤风蚀度显著降低^[3]。Fryrear 则对土块和土垄组合的风蚀特征进行了模拟观测, 证实土垄上附有非可蚀性土块时土壤风蚀速率显著降低^[4]。为定量描述农田耕作后土块和土垄形成的土壤表面粗糙度, Kuipers^[5]将其定义为水平方向上特定间隔内土壤表面各点相对高度的标准差, Allmaras 等^[6]和 Saleh^[7]则提出了等距法和滚动链等实地测量法, 并给出了计算公式。Dong 等^[8]、张春来等^[9]则通过风洞模拟对地表砾石或土块特征与空气动力学粗糙度的关系进行了研究, 结果表明非可蚀性颗粒直径和盖度是影响近地表空气动力学性质的重要参数, 风蚀速率随表面空气动力学粗糙度的增大迅速减小。土壤表面粗糙元是空气动力学粗糙度变化的基础,

而空气动力学粗糙度是表面粗糙度限制气流侵蚀力的反映, 两者关系的研究尚不多见。

我国北方传统耕作模式下播种前农田需经过犁耕、耙耱、抹平三个步骤, 土壤湿度适宜时的犁耕可在地表形成非可蚀性土块沟垄结构, 但随后的耙耱、抹平则会破坏土块结构, 降低土壤表面粗糙度。合理地选择不同耕作处理的时间对农田风蚀防治有实际意义。本文拟通过测量犁耕、耙耱及抹平三种耕作处理后地表土块大小, 计算耕作后土壤表面粗糙度, 分析其对近地表风速和空气动力学特征的影响, 为风蚀区农田耕作时间的选择提供参考。

1 研究区概况

研究区位于毛乌素沙地东南缘, 隶属陕西省靖边县海则滩乡, 海拔 1 310 m 左右, 地势平坦, 以沙丘、平沙地及碱滩为主。区内气候干燥, 夏季干旱少雨, 秋季多霜冻, 冬春季节寒冷多风, 年降水量为 394.7 mm, 属于温带季风性半干旱气候。降水年内年际变率大, 夏秋季节降水占全年的 80% 以上, 蒸发旺盛, 年均蒸散量是降水的 6.32 倍。冬春季节降水稀少, 多大风扬沙天气, 年均风速 3 m/s, 多年平均大风和沙尘日数分别达到 15.3 和 19.4 d。

研究区处于一个多层次的生态过渡带, 气候上处于干旱半干旱区向亚湿润区的过渡, 植被处于暖温性草原向荒漠、荒漠草原和森林草原的过渡, 地质

收稿日期: 2006-11-23

基金项目: 国家“十一五”科技攻关防治沙关键技术研究与示范项目“毛乌素沙地生物治理技术研究与示范”(2005BA517A11)

作者简介: 刘目兴 (1979—), 男, 山东巨野人, 博士研究生, 主要从事土壤风蚀和保护性耕作技术研究。E-mail: liumx@ires.cn。

通讯作者: 刘连友, E-mail: lyliu@ires.cn。

地貌上是风沙戈壁区向黄土区的过渡^[10]。由于近代频繁战争和建国后不合理的土地开垦,该区长久处于土地沙化和盐渍化的扩展过程,形成了流动、半流动沙丘和碱滩相间分布的景观格局^[11]。试验是在研究区内人工改良的沙质农田上进行。在半流动沙丘推平后,经过人工铺垫和机械犁耕在沙土表层 0~20 cm 内掺入细颗粒的黄土构成耕作土壤。

试验地为耕种 6~7 年后的人工平沙地,土壤机械组成见表 1^[12]。虽然人工平沙地扩大了总耕地面积,但容易导致沙丘活化,在不合时宜的耕种下地表极易起沙起尘。对不同耕作后平沙地地表土块结构及其近地表侵蚀力的研究,是该区沙地资源的开发及可持续利用的基础前提。

表 1 人工平沙地土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil in the experimental sandy cropland

深度 Depth (cm)	不同粒径颗粒所占比例 Percentage of particles with different size					有机质 Organic matter (g/kg)	总养分含量 Total nutrient content (g/kg)			有效养分含量 Available nutrient content (mg/kg)		
	<0.005 (mm)	0.005 ~0.01 (mm)	0.01 ~0.05 (mm)	0.05 ~0.25 (mm)	>0.25 (mm)		全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	速效氮 Available N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
0~10	4.68%	5.75%	26.79%	38.90%	23.88%	0.78	0.09	0.16	0.20	12.08	11.19	16.40
10~20	2.96%	3.40%	16.91%	42.91%	33.82%	0.23	0.08	0.99	0.20	4.81	5.10	14.63
20~30	0	0	1.30%	47.97%	50.73%	0.77	0.07	0.13	0.21	4.51	11.11	24.52

2 材料与方法

2006 年春季依据传统耕作流程,在 4 月上旬对表土进行犁耕(深度约 20 cm)、耙耱和抹平处理。处理后地表被大小不同的土块覆盖,试验用钢卷尺测量地表最大土块的长、宽、高,用数码相机垂直投影法测量 1 m×1 m 内土块盖度(图 1A、B、C)。拍照后,用 Pin-meter 测量垂直或平行于耕作走向上地表各点的相对高度,计算犁耕产生的定向粗糙度(Oriented roughness),土块随机分布的粗糙度(Random roughness)则通过测量垂直或平行盛行风向上各点相对高度来计算^[6](图 1F)。同时依据滚动链原理,用线绳测量了水平方向上 10 m 直线距离内地表的曲线长度,计算平行、垂直耕作走向和盛行风向上的地表粗糙度^[7]。每种处理下土壤表面盖度和起伏度(Pin-meter)选取 1 m×1 m 样方 8~12 个,线绳滚动链法测量选取 10 m×10 m 样方 3 个。野外用梯度风速仪测量不同耕作地面以上 0~4 m 内不同高度的风速,分析 3 种耕作下近地表风场特征。利用统计分析软件 Spss11.0,对土块特征、风速及地表粗糙度的测量结果进行 One-way ANOVA 差异性检验。

3 结果与分析

3.1 耕作土壤表面土块特征

耕作土壤表面粗糙度与非可蚀性土块的半径、

体积和盖度密切相关。本研究在犁耕、耙耱及抹平 3 种处理后,分别对地表土块的长、宽、高及盖度进行了测量和拍照。选取长宽大于 10 cm 的土块进行测量,每种处理下随机选取土块 30 个,测量结果如表 2。

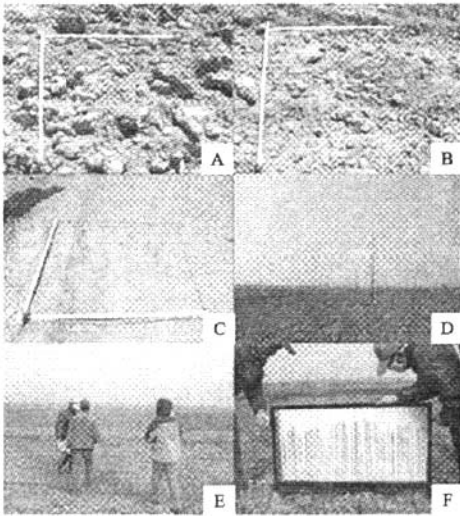


图 1 田间试验处理及数据采集

Fig.1 Photos of field test and measurement

A.犁耕地表 Plowing field B.犁耕耙耱地表 Harrowing field C.犁耕耙耱抹平地表 Milling field D.风速测量 Wind velocity measurement E.农田观测 Field observation F.地表起伏度测量(Pin-meter) Measurement of surface fluctuation

表 2 3 种耕作处理下土块结构参数

Table 2 Clod parameters on soil surface under three kinds of cultivation

耕作方式 Cultivation method	土块尺寸 Clod size(cm)			土块尺寸的标准差 Standard deviation of clod size(cm)			土块盖度 Clod coverage(%)
	长 Length	宽 Width	高 Height	长 Length	宽 Width	高 Height	
犁耕耩耙 Plowing	30.95a	20.00a	14.90a	5.87	4.25	2.26	27.67a
犁耕耙耢 Harrowing	22.30b	14.63b	12.33a	5.01	2.77	4.57	10.07b
犁耕耙耢抹平 Milling	14.30c	10.13c	6.47b	3.02	2.16	2.23	2.13c

注:LSD 检验结果,不同字母表示 $\alpha=0.01$ 水平上差异显著。Note: Different alphabet represent significant at 0.01 level according LSD test.

由观测结果可知,传统耕作下耙耢和抹平处理会破坏犁耕地表的土块结构,使土块尺寸显著减小,盖度明显降低。LSD 检验显示,土块长、宽在 3 种处理中两两间差异显著,而土块高度在抹平处理后显著降低,在犁耕地表和犁耕耙耢地表间差异不显著(表 2)。此外,犁耕处理后农田地表被粒径较大的非可蚀性土块覆盖,盖度达到 27.67%。耙耢和抹平处理显著降低了土块粗糙元对土壤表面的覆盖度,尤其抹平后地表土块盖度仅为 2.13%。可见,犁耕后的耙耢处理破坏了耕作土壤地表土块结构,显著降低了单个土块的表面积和盖度。抹平处理更是对土块结构的彻底破坏,不仅土块体积和盖度显著减小,而且机械抹平使地表平坦而光滑,表层土壤破碎而疏松,可风蚀性明显增强(图 1C)。

3.2 土壤表面粗糙度的量化

Kuipers^[5]提出用地表相对高度的标准差表述土壤表面粗糙度,Allmaras 等^[6]将其量化为地表各点相对高度标准差的对其平均值的乘积,计算公式为:

$$R = \sigma_x \bar{h}$$

式中, R 为土壤表面粗糙度; σ_x 为各测点相对高度标准差的对其平均值的乘积。本研究使用长度为 1 m,插杆间隔为 2 cm 的 Pin-meter,在 1 m×1 m 的样方内垂直和平行于耕作走向或盛行风向的 4 个方向上放置水平后拍照(图 1F)。在 Photoshop 10.0 内读取每个插杆的测值,计算 1 m 内 50 个测点的相对高度,求得土壤表面定向和随机粗糙度,结果如表 3。

表 3 不同耕作处理土壤表面粗糙度(等距法测量)

Table 3 Soil surface roughness under different cultivation practices (measured with equal spacing method)

耕作方式 Cultivation method	定向粗糙度 Orientation roughness (cm)		随机粗糙度 Random roughness (cm)	
	垂直于耕作方向 Perpendicular to plowing direction	平行于耕作方向 Parallel to plowing direction	垂直于盛行风向 Perpendicular to wind direction	平行于盛行风向 Parallel to wind direction
犁耕耩耙 Plowing	4.93a	4.35a	5.85a	4.65a
犁耕耙耢 Harrowing	3.15b	1.58d	2.38bc	3.09ac
犁耕耙耢抹平 Milling	3.73ab	0.80d	3.32bc	1.99cd

注:LSD 检验结果,不同字母表示 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著。Note: Different alphabet represent significant at 0.05 level according LSD test.

耙耢和抹平处理均会破坏犁耕后地表的土块结构和垄沟起伏,土壤表面粗糙度呈下降趋势。耙耢相对犁耕地表粗糙度的降低幅度均在 1.5 cm 以上,而抹平相对于耙耢地表的降低幅度均低于 1.5 cm,前者比后者降低幅度更大。在不同方向上,耙耢和抹平后土壤表面粗糙度的下降幅度存在差异。由表 3,在垂直或平行于耕作走向和盛行风向的 4 个方向上,犁耕耩耙处理的土壤表面粗糙度均与犁耕耙耢处理在 0.05 的水平上存在显著差异,而犁耕耙耢与犁耕耙耢抹平处理间差异不显著。可见,耕作地表犁耕形成的土块和沟垄结构是土壤表面粗糙度较大的原因所在,表土耙耢对地表土块结构破坏严重。而耙耢地表的抹平处理对地表粗糙度影响较小,抹

平后风蚀加剧主要与土壤可蚀性增大有关。此外,犁耕、耙耢和抹平处理对土壤表面粗糙度在不同方向间的差异存在一定的影响。犁耕耩耙地表受土块的控制,表面粗糙度在各个方向上差异不显著,而进一步的耙耢处理会使地表粗糙度变化呈现方向性,即垂直于耕作走向的表面粗糙度相对增大,而平行于耕作走向的粗糙度相对减小,两者分别显著大于和小于其它测定方向上的粗糙度。Allmaras 等^[6]将垂直或平行于耕作走向的土壤表面粗糙度称为定向粗糙度(Oriented roughness),而其它方向上因土块或土壤颗粒产生的粗糙度为随机粗糙度(Random roughness)。耙耢地表的抹平处理使定向粗糙度与随机粗糙度间的差异减小,但垂直和平行耕作走向

间的定向粗糙度仍存在显著差异。

Salah^[7]基于两点间水平直线距离一定时地表起伏度越大,土壤表面的曲线越长的原理,提出了一种利用滚动链度量地表粗糙度的简单方法。其计算公式如下:

$$C_r = (1 - L_2/L_1) \times 100$$

式中, C_r 为土壤表面粗糙度; L_1 为两点间的曲线长度; L_2 为两点间的直线距离。本文采用直线距离为 10 m 时曲线长度的测量结果,计算土壤表面粗糙度(表 4)。

表 4 不同耕作下土壤表面粗糙度(滚动链法测量)(%)

Table 4 Soil surface roughness under different cultivation practices (measured with roller chain method)

耕作方式 Cultivation methods	垂直于耕作方向 Perpendicular to plowing direction	平行于耕作方向 Parallel to plowing direction	垂直于盛行风向 Perpendicular to wind direction	平行于盛行风向 Parallel to wind direction
犁耕未耙耱 Plowing	16.63a	12.99a	14.14a	13.55a
犁耕耙耱 Harrowing	11.02ab	7.74c	9.12bc	8.69bc
犁耕耙耱抹平 Milling	1.26d	0.91d	1.30d	0.97d

注:LSD 检验结果,不同字母表示 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著。Note: Different alphabet represent significant at 0.05 level according LSD test.

由表 4 可见,犁耕、耙耱及抹平处理对土壤表面粗糙度影响显著。除垂直于耕作方向上犁耕未耙耱和犁耕耙耱比较表面粗糙度差异不显著外,在其余 3 个方向上不同耕作处理间土壤表面粗糙度均在 0.05 的水平差异显著。与定向粗糙度相比,机械的耙耱抹平对土壤表面随机粗糙度的影响更大,不同耕作处理后的差异更显著。同一种耕作处理下,不同方向上土壤表面粗糙度差异较小,除在犁耕耙耱处理后垂直于耕作方向和平行于耕作方向上的差异在 0.05 的水平上显著外,相同耕作下不同方向上的粗糙度差异均不显著。可见,机械犁耕形成的沟垄结构对土壤表面的定向粗糙度影响较大,尤其在土块受到耙耱破坏后更为明显。而机械抹平则使垄沟结构消失,土壤表面平坦而光滑,表面粗糙度在不同方向上差异不显著。以上两种方法的计算结果基本一致,均能反映耙耱、抹平对农田犁耕形成的抗蚀性土块结构逐步破坏的趋势。但在耙耱和抹平哪个处理阶段对地表粗糙度影响更显著的问题上结果相反,这可能与两者测量的空间尺度和精度有一定的关

系。

3.3 土块覆盖对近地表风速的影响

近地层风速观测使用梯度风速仪在田间自然风下进行。由于仅有一台梯度风速仪,不同处理下风速观测未能同步。为使 3 种处理间可比,分析中采用 4 m 高度风速对 0~4 m 内 3、2、1、0.5、0.3、0.1 m 6 个高度的风速进行标准化,计算出 4 m 以下 6 个高度的风速与 4 m 高度风速比较所得的相对风速。

图 2 中相对风速的比较显示,地表以上 0.5 m 高度内,在 0.05 的水平上犁耕未耙耱地表的风速显著低于耙耱和抹平处理地表的风速,而后两者差异不显著。在地表 1 m 以上,3 种处理间差异均不显著,犁耕下 2 m 和 3 m 高度的风速甚至稍高于后两种处理。可见,只有半径和盖度较大的土块对降低近地表风速有一定作用,而耙耱后半径小于 10 cm,盖度低于 10% 的土块覆盖对风速的影响甚微。此外,非可蚀性土块降低近地表风速的高度范围有限,一般为自身半径的 2~3 倍。

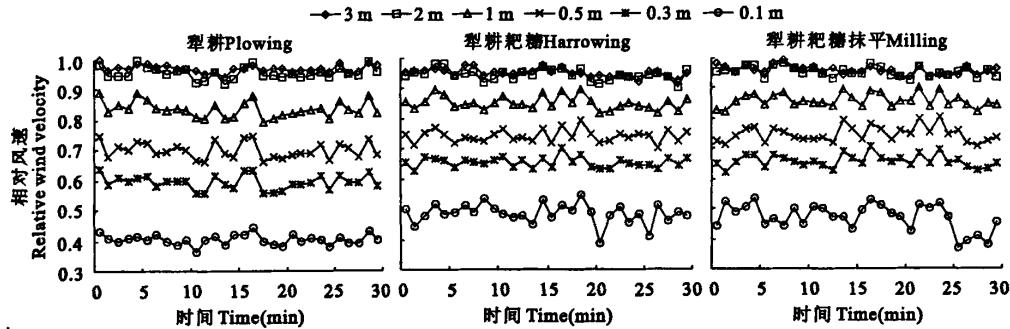


图 2 不同耕作下 0~3 m 内相对风速

Fig.2 Relative wind velocity under different cultivated treatments

3.4 近地表空气动力学性质的差异

空气动力学粗糙度和摩阻速度是定量表达近地表空气动力学特征的重要参数^[13]。空气动力学粗糙度(z_0)是风速为零的高度,摩阻速度(u^*)则表示垂直方向上的风速梯度,与地表对气流的摩擦阻力成正比,两者可由大气层结呈中性,边界层充分发育时近地表风速廓线拟合得到。试验条件下土块高度多在 10 cm 以下,观测点距离田块上风向边缘 100 m 以上,满足边界层充分发育所需距离^[14]。空气动力学粗糙度和摩阻速度由风速与高度对数的回归模拟方程 $u_z = a + b \ln z$ 分析求得。式中 u_z 为高度 z 处的风速, a 、 b 为回归系数。空气动力学粗糙度 z_0 为 $\exp(-a/b)$,摩阻速度 u^* 为 kb , k 为卡曼常数,取 0.41^[15,16]。

由于空气动力学粗糙度和摩阻速度随风速变化,本文选取 2 m 高度 10 min 平均风速为 6.6~7.2 m/s 的记录进行拟合。由图 3 可见,犁耕、耙耱及抹平 3 种耕作处理下近地表风速均与高度呈指数关系,相关系数在 0.99 以上,显著性 $p < 0.001$ 。根据上述空气动力学粗糙度和摩阻速度的计算公式,犁耕、耙耱及抹平后土壤表面空气动力学粗糙度分别为 1.1、0.31、0.05 cm,摩阻速度为 0.52、0.44、0.33 m/s。与张春来等^[9]的风洞试验结果比较,犁耕和耙耱地表的空气动力学粗糙度基本符合相应大小土块下的风洞试验值,而抹平处理下则稍低,这可能与野外试验中抹平地表面比风洞试验处理的土块盖度低有关。

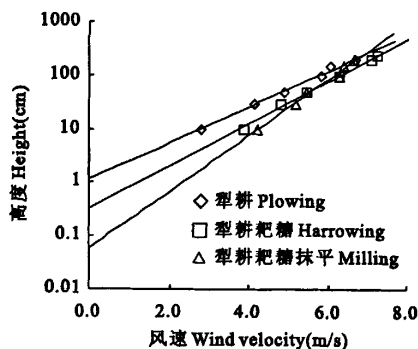


图 3 不同耕作处理后地表风速廓线

Fig.3 Wind profile under different cultivation

4 结 论

传统耕作下犁耕、耙耱、抹平 3 个作业阶段的地表土块结构和近地表风速对比观测表明,犁耕后农

田地地表被半径大于 15 cm 的非可蚀性土块覆盖,盖度达到 27.67%,地表空气动力学粗糙度在 1 cm 以上,土壤表面粗糙度较大,难以被吹蚀。但随后的耙耱、抹平作业则会导致土块破碎,土壤表面粗糙度降低,地面以上 0.5 m 内风速显著增大。尤其是抹平后地表土块盖度仅为 2.13%,距地面 0.1 m 高度的风速增大 10%,空气动力学粗糙度降低至 0.05 cm,与董治宝等研究的流沙表面的空气动力学粗糙度基本一致,农田风蚀脆弱性显著增强^[17]。因此,合理选择犁耕、耙耱和抹平作业的时间,在春季大风季节前适宜的土壤湿度下进行犁耕作业,使风季地表保持土块覆盖状态,在风季后进行播种前的耙耱和抹平等整地过程,对干旱半干旱区农田风蚀的防治有一定的实际意义。

参 考 文 献:

- [1] Fryrear D W. Soil cover and wind erosion[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(3): 781—784.
- [2] 臧 英, 高焕文. 国外农田风蚀发生机理与防治技术研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 195—198.
- [3] Chepil W S, Woodruff N P. The physics of wind erosion and its control[J]. Advances in Agronomy, 1963, 15: 211—302.
- [4] Fryrear D W. Soil ridge-clogs and wind erosion[J]. Transactions of the ASAE, 1984, 27(2): 445—448.
- [5] Kuipers H. A relief meter for soil cumulative studies[J]. Netherland Journal of Agriculture Science, 1957, 5: 225—242.
- [6] Allmaras R R, Burwell R E, Larson W E, et al. Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage [M]. Washington D C: U. S. Gov Print office, 1966.
- [7] Saleh A. Soil surface roughness measurement: Chain method[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 48: 525—527.
- [8] Dong Z B, Liu X P, Wang X M. Aerodynamic roughness of gravel surface[J]. Geomorphology, 2002, 43: 17—31.
- [9] 张春来, 邹学勇, 董光荣, 等. 耕作土壤表面的空气动力学粗糙度及其对土壤风蚀得影响[J]. 中国沙漠, 2002, 22(5): 473—475.
- [10] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式[J]. 植物生态学报, 1994, 18(1): 1—16.
- [11] 吴 波, 戴龙骏. 五十年代以来毛乌素沙地荒漠化扩展及其原因[J]. 第四纪研究, 1998, (2): 165—172.
- [12] 彭茹燕. 沙地资源开发中土地质量的响应——以靖边县北部风沙区为例[D]. 北京: 北京师范大学, 2004.
- [13] 吴 正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [14] Counihan J. Wind tunnel determination of the roughness fetch as a function of the fetch and the roughness densities of three-dimensional roughness elements[J]. Atmospheric Environment, 1971, 5: 637—642.
- [15] Wiggs G F S, Livingstone I, Thomas D S G, et al. Airflow and roughness characteristics over partially vegetated linear dunes in

- the southwest Karahali Desert [J]. *Earth Surface Processes Landforms*, 1996, 21: 19—34.
- [16] Bagnold R A. The physics of blown sand and desert dunes[M]. London: Methuen, 1941.
- [17] Dong Z B, Gao S Y, Fryrear D W. Drag coefficients and roughness length as disturbed by standing vegetation[J]. *Journal of Arid Environments*, 2001, 49(3): 485—505.

Dynamic change of soil clods and its influence on wind field above field surface

LIU Mu-xing¹, LIU Lian-you^{2,3}, SUN Bing-yan^{2,3}, GUO Lan-lan^{2,3},
WANG Zhi^{2,3}, TANG Yan^{2,3}, PENG Ru-yan^{2,3}

(1. *College of Urban and Environmental Sciences, Huazhong Normal University, Wuhan, Hubei 430079, China*;
2. *Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 3. *College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, China Center for Desert Research, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: Soil clods caused by plowing are the main roughness elements for wind erosion control in cropland of arid and semiarid regions, especially while no crop straw left on soil surface in fallow. However, the following operation of harrowing and milling destroy soil clods, which make its benefit of wind erosion control disappeared. Through field test, the size and cover fraction of soil clods under three kinds of soil surface, including just after plowing, harrowing, and milling respectively, were observed. Roughness of soil surface, decrement of wind velocities in the height of 0~3 m, aerodynamic roughness and friction velocity were calculated through analyzing soil surface fluctuation and wind velocity data. The results indicated the length, width, height of soil clods were all larger than 15 cm, and its cover fraction reached 27.67% after plowing operation, while after harrowing and milling operation the size and cover fraction of soil clods decreased significantly, especially after milling operation the cover fraction of soil clods was only 2.13%. Compared with after plowing, soil surface roughness decreased by 34%~64% after harrowing and by more than 90% after milling, and wind velocities in the height of 0~0.5 m increased significantly. Aerodynamic roughness was reduced from 1.1 cm to 0.05 cm after plowing surface of soil was milled, which made its benefits on wind erosion control obviously decreased. So choosing the time of plowing, harrowing and milling reasonably was important for wind erosion control on cropland of arid and semiarid regions.

Key words: soil clods; soil wind erosion; soil surface roughness; aerodynamic roughness; conventional tillage