

# 保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究

臧 英, 高焕文, 周建忠

(中国农业大学)

**摘要:** 在河北省北部的丰宁县坝上地区建立农田土壤风蚀试验区, 采用美国 BSNE 采样器观测不同耕作处理条件下的农田风蚀土壤损失情况。试验结果表明: 在风蚀过程中, 土壤颗粒主要集中在近地表层运动, 悬浮在空气中的土壤颗粒随着高度的增加逐渐减少, 且与高度之间符合幂函数关系; 风蚀土壤颗粒粒度组成随高度增加, 砂粒级颗粒含量减少, 而粉砂及粘土含量增加; 免耕覆盖(NTC)、免耕覆盖+ 耙(NTCH)和免耕无覆盖(NTN)三种处理分别比传统翻耕减少风蚀量 73.75%、75.31% 和 14.17%, 由秸秆覆盖和少免耕相结合的保护性耕作可明显地减少农田土壤损失; 在覆盖和耕作两因素中, 覆盖对减小风蚀的作用最大, 地表耕作的作用次之; 另外, 保护性耕作地能够减少农田土壤养分损失。

**关键词:** 保护性耕作; 土壤风蚀; 田间试验

中图分类号: S 157.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-6819(2003)02-0056-05

## 1 引言

土壤风蚀是指松散的土壤物质被风吹起、搬运和堆积的过程以及地表物质受到风吹起的颗粒的磨蚀等, 是风成过程的全部结果<sup>[1]</sup>。它是一个复杂的物理过程, 其影响因素较多, 有自然的也有人为的。在研究土壤风蚀及其防治方面, 主要考虑人为能改变的因素, 并利用某些因素的有利性和可控性, 使农田土壤风蚀降低到最小程度。许多学者从这一角度出发, 进行了大量的野外观测和风洞试验研究, 结果表明人类不合理翻耕土地、放牧和樵采等经济活动是加剧土壤风蚀的重要人为因素; 由于地表采取了特殊保护如作物残茬覆盖、地表粗糙度以及地表土壤特性的改变, 可以减少农田土壤风蚀损失; 耕作通过改变土壤特性、微地形和作物残体等因素而影响土壤风蚀等<sup>[2-6]</sup>。本文主要通过野外观测、采样和室内分析, 探讨了以保水保土为出发点的保护性耕作对土壤风蚀的影响以及在不同处理条件下输沙率、粒度组成及养分随高度的变化规律, 为有效地防治土壤风蚀, 提高农业产量提供依据。

## 2 试验材料及方法

### 2.1 试区基本概况

试区位于河北省北部的丰宁县坝上地区, 海拔 1 300 ~ 1 400 m, 属于中温带大陆性季风型半干旱半湿润高原山地气候, 全年无霜期为 90 ~ 150 d, 年平均气温 1.87 , 年降水量为 340 mm 左右, 70% 分布于 6 ~ 8 月份, 雨热同季, 而春季干旱少雨, 风大风多, 全年超过 8 级以上的大风天数 60 ~ 90 d, 年均风速 4.5 m/s, 最大风速达到 10 min 内平均 21.7 m/s, 春季风向西北方向为主。全县水土流失面积 4 959 km<sup>2</sup>, 占总面积的 56.5% (丰宁县土壤普查办公室, 2001 年)。

该地区是大面积的一年一熟春小麦种植区。供试土壤为细砂土, 表土层薄, 且细砂较多, 下部为沙土, 土壤凝结力差, 极易沙化。

### 2.2 试验设计

试验所选站点地势较平坦, 每试区面积 200 m × 200 m, 试验设 4 种处理, 不设重复, 但每试区布置多个采样器。

- 1) 传统耕作(CK): 秋季收获后用铧式犁翻耕 20 cm 左右同时用圆盘耙整地;
- 2) 免耕覆盖+ 耙地(NTCH): 秋季用收割机收割小麦, 留茬 20 cm 左右, 并移走秸秆, 春季播种前用圆盘耙耙地, 耙深 5 cm 左右;
- 3) 免耕覆盖(NTC): 秋季用收割机收割小麦, 留茬 20 cm 左右, 并移走秸秆;
- 4) 免耕不覆盖(NTN): 秋季收获后移走秸秆, 而且不留根茬。

### 2.3 试验仪器与方法

测量土壤风蚀量采用的是美国 BSNE 采样器, 其结构如图 1 所示<sup>[7]</sup>。风沙流入风口高 5 cm, 宽 2 cm。以 11 的角度渐渐向外扩展, 使得充满沙尘的空气一旦进入采沙盒, 空气速度马上降下来, 然后沙尘靠重力作用沉积在集沙盒里。BSNE 采样器是由镀锌金属板、18 目和 60 目不锈钢筛网构成(如图 1), 其中 60 目的筛网用于进行空气交换, 18 目筛网用于降低沉积下来的土壤颗粒的运动。

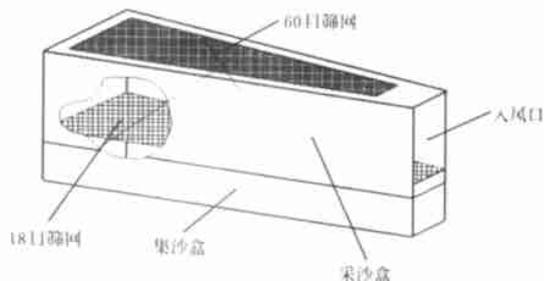


图 1 BSNE 采样器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of BSNE sampler

收稿日期: 2002-10-28 修订日期: 2003-01-14

基金项目: 科技部农业科技成果转化资金项目(02EFN216900734)

作者简介: 臧 英, 博士生, 北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)214 信箱, 100083

资料表明<sup>[8]</sup>, 临界地长是指达到风的最大搬运能力 63.2% 的地长, 由于风速和地表状况的不同, 其值变化范围在 31 ~ 129 m 之间。满足风达到最大搬运能力的地长将是临界地长的几倍, 通常情况设备安装于田间的位置需要至少满足沿主风向的地长达到临界地长。根据当地气象站提供的气象数据表明, 所选试区在春季期间的主风向以西北方向为主。我们在每一处理试区选定垂直主风向距上风口长度为 150 ~ 200 m 的 3 个观测点, 而且使各采样器在采沙过程中互不干扰, 布置示意图如图 2 所示。试验过程中, 我们所采用的气象数据记录仪是从澳大利亚引进的全自动气象数据采集仪, 可实时采集风速、风向、降雨、气温、相对湿度等, 其风向数据单位以角度计, 以北为基点 0°, 按顺时针方向旋转, 测得当地扬沙期间的主风向大约在 295 ~ 330° 之间变化, 试区仪器布置仍满足地长的要求。每一观测点上, 按入风口距地表 0.10、0.25、0.60、1.00、1.50 m 高度安装 5 个采样器, 通过翼板的作用使得采样器入风口时时正对风向。每次扬沙过后将 BSNE 中的沙样清空倒入塑料袋内, 带回实验室, 烘干后称重、分析。

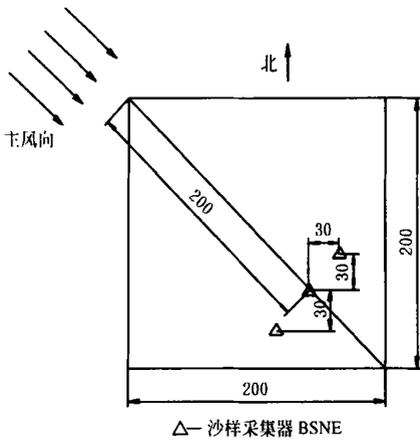


图 2 试验设备布置示意图(单位: m)

Fig. 2 Schematics of the experimental equipment

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 输沙量随高度的变化

气流中的土壤颗粒, 由于运动方式(蠕移、跃移和悬移)和粒径大小不同, 其单位面积上的输沙量随高度而发生变化。从 2002 年 3 月 22 日至 5 月 1 日试验期间共发生六次风蚀过程, 每次扬沙过后, 将 BSNE 采样器里的土样倒入塑料袋中, 带回实验室, 烘干后称重。利用 SPSS11.0 软件处理观测数据, 确定输沙量与高度变化的相关关系, 如图 3 所示, 表明在不同条件下, 对于同一束 BSNE 采集组, 所测得的输沙量随高度的变化均遵循幂函数曲线, 其关系模式如下

$$q = az^b$$

式中  $q$ ——输沙量,  $g/cm^2$ ;  $z$ ——BSNE 采样器入风口距地表高度, cm;  $a$ 、 $b$ ——回归系数。

由于不同覆盖和耕作处理方式下各样地的差异性, 因而各试区之间的风蚀强度有差异, 输沙量随高度变化

的回归模式之参数也不相同(表 1)。

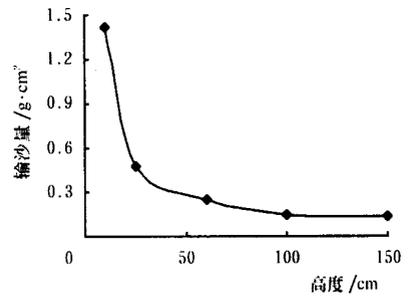


图 3 输沙量与高度的关系

Fig. 3 Relationship of the transported mass and height

表 1 输沙量与高度函数关系式  $q = az^b$  统计参数(2002)  
Table 1 Parameters of regressions of the formula  $q = az^b$  relating soil mass to height in 2002

集沙时间段	处理方式	统计参数		
		$a$	$b$	$r$
03-22 ~ 03-29	CK	12.0071	- 1.0552	0.919
	NTCH	0.3064	- 0.2735	0.920
	NTC	0.7682	- 0.5835	0.878
	NTN	10.55	- 1.0105	0.972
04-06 ~ 04-08	CK	390.909	- 1.0656	0.994
	NTCH	11.6612	- 0.4456	0.962
	NTC	6.5841	- 0.2216	0.990
04-11 ~ 04-15	NTN	443.839	- 1.2237	0.937
	CK	0.5892	- 0.3933	0.887
	NTCH	0.4512	- 0.2744	0.983
04-17	NTC	0.1458	- 0.1773	0.952
	NTN	0.5446	- 0.3549	0.949
	CK	0.3432	- 0.2442	0.971
04-20	NTCH	0.2317	- 0.2823	0.743
	NTC	0.2523	- 0.3551	0.966
	NTN	2.4886	- 0.6369	0.953
04-21	CK	9.7274	- 0.8917	0.979
	NTCH	0.3988	- 0.3518	0.921
	NTC	0.1731	- 0.2152	0.938
04-21	NTN	49.3479	- 1.1441	0.969
	CK	10.8341	- 1.0513	0.979
	NTCH	0.1781	- 0.2669	0.937
04-21	NTC	0.1221	- 0.1869	0.834
	NTN	14.676	- 1.0593	0.990

#### 3.2 风蚀土壤颗粒粒度组成随高度的变化

沿着侵蚀地表运动的风蚀物包括不同大小的土壤颗粒。采用干筛法按照离散的粒径范围, 筛分每一高度收集到的风蚀物, 确定出每个粒径级占总的风蚀物的百分比。所选筛子孔径分别是 20、45、63、90、125、180、250、500、710、1 000、2 000  $\mu m$ , 则 150 cm 高度范围内各层土壤颗粒的粒度分析结果如图 4 所示。可以看出, 无论在何种处理条件下风沙流中沙粒的粒径在铅直分布上是不同的, 随着高度的增加, 风蚀物各粒级含量中砂级组分含量减少, 粉砂及粘土含量增加, 即越靠近地表的气流所含的沙粒越粗, 而离地表越远的气流所含的沙粒越细。其原因在于较粗的沙粒具有较大的重力, 升力还不足以把它带到较高的层次。

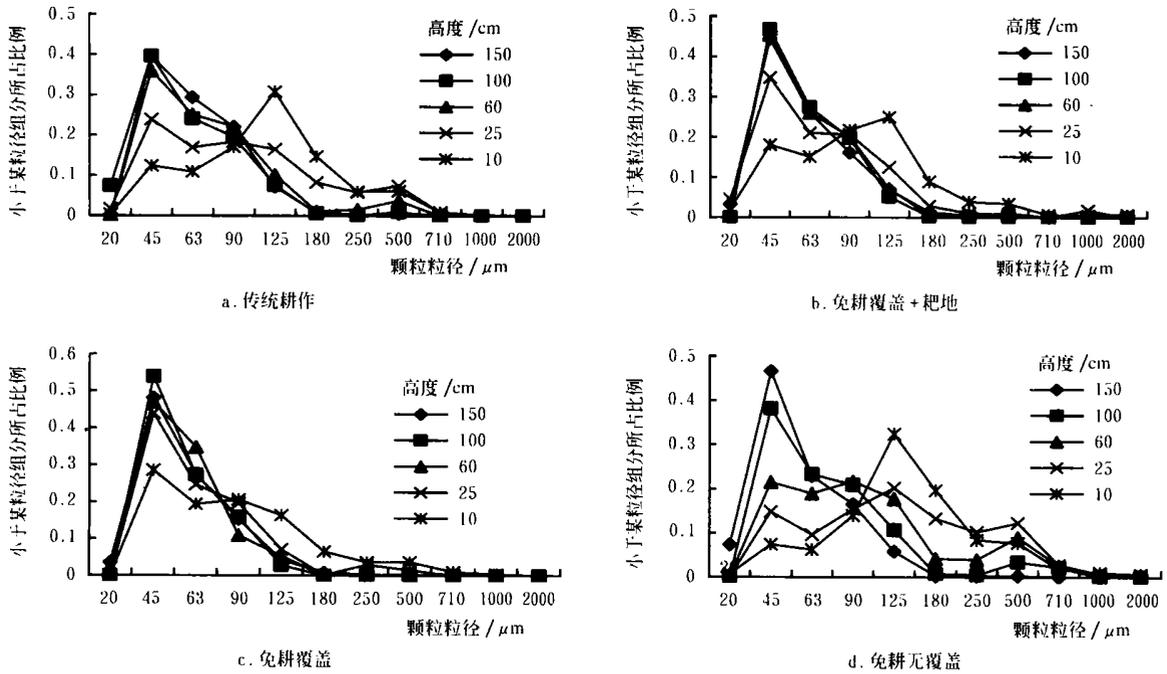


图4 不同高度颗粒大小分布

Fig.4 Particle size distribution at various heights

研究表明<sup>[9,10]</sup>,冲击起动风速是粒径为 0.1 mm 左右的沙粒最小,因而这些颗粒在风力作用下最易移动。而且,粒径为 0.25~0.1 mm 的细砂最容易以跃移形式运动; 0.1 mm 的极细砂、粉砂及粘土等,由于其沉降速度通常小于气流向上脉动的分速度,故以悬浮形式运动的可能性很大。因此,在此研究中,粒径 0.25~0.1 mm 的颗粒主要以跃移形式运动,由于其跳跃高度的限制其含量随高度增加而减少; 0.1 mm 的颗粒主要以悬浮形式运动,可能搬运到较远的距离,其含量随高度增加而增加。

### 3.3 风蚀土壤养分随高度的变化

全 N、全 P、全 K 及有机质百分含量是采用常规的分析方法进行测定。免耕覆盖和传统耕作两处理试区各高度层风蚀土壤养分分析结果如表 2,表明所选免耕覆盖试区的养分含量高于传统耕作的试区,但无论何种处理条件下,风蚀土壤中 N、P、K 及有机质百分含量随高度有上升的趋势,这是因为土壤细颗粒富含较高的养分;在整个观测期间,各高度层风蚀土壤中全 N、全 P、全 K 及有机质含有量情况如图 5 所示。图 5 显示了不同处理对风蚀土壤中养分含量的影响趋势。从图中可以看出,随着高度的增加风蚀土壤中 N、P、K 及有机质量呈下降的趋势,这主要由于土壤近地表运动的结果;免耕覆盖处理不同高度风蚀土壤中全 N、全 P、全 K 及有机质量均低于传统耕作的,表明保护性耕作能够减少风蚀过程中农田土壤养分的损失。

表2 两种处理试区土壤养分基础状况测定

Table 2 Soil nutrient of two treatment plots

处理方式	高度 /cm	养分含量/%			
		全氮(N) /%	全磷(P) /%	全钾(K) /%	有机质(以风干基计) /%
CK	150	0.182	0.053	1.92	4.22
	100	0.218	0.054	1.94	4.06
	60	0.199	0.038	1.98	3.16
	25	0.134	0.025	1.98	2.22
	10	0.104	0.019	2.14	1.42
NTCH	150	0.287	0.059	1.83	5.21
	100	0.261	0.057	1.82	4.21
	60	0.301	0.054	1.86	4.87
	25	0.312	0.06	1.81	5.02
	10	0.3	0.054	1.79	4.64

### 3.4 土壤风蚀量

试验期间所测得的不同高度输沙量情况总结如表 3。表中  $Q$  (kg/m) 为采样期间通过 1 m 宽农田、从地表到 1.5 m 高的垂直截面的输沙量,其值是将  $q$  从 0~150 cm 积分计算得出<sup>[11,12]</sup>,积分式为

$$Q = \int_0^{150} q dz$$

从表 3 可以看出,在风沙流中,沙量在气流中的分布,并非上下均匀分布,土壤风蚀量随着高度的变化遵循幂函数呈递减的关系,按此规律沙量主要集中在近地表层内。免耕覆盖(NTC)、免耕覆盖+耙(NTCH)和免耕无覆盖(NTN)三种处理与传统耕作(CK)相比,输沙

量分别减少 73.75%、75.31% 和 14.17%，输沙量的减少表明了风沙流强度的降低，从而反映了风蚀量的减少。

可见，由秸秆覆盖和少免耕相结合的保护性耕作可明显地减少农田土壤损失，起到了保护地表的作用。

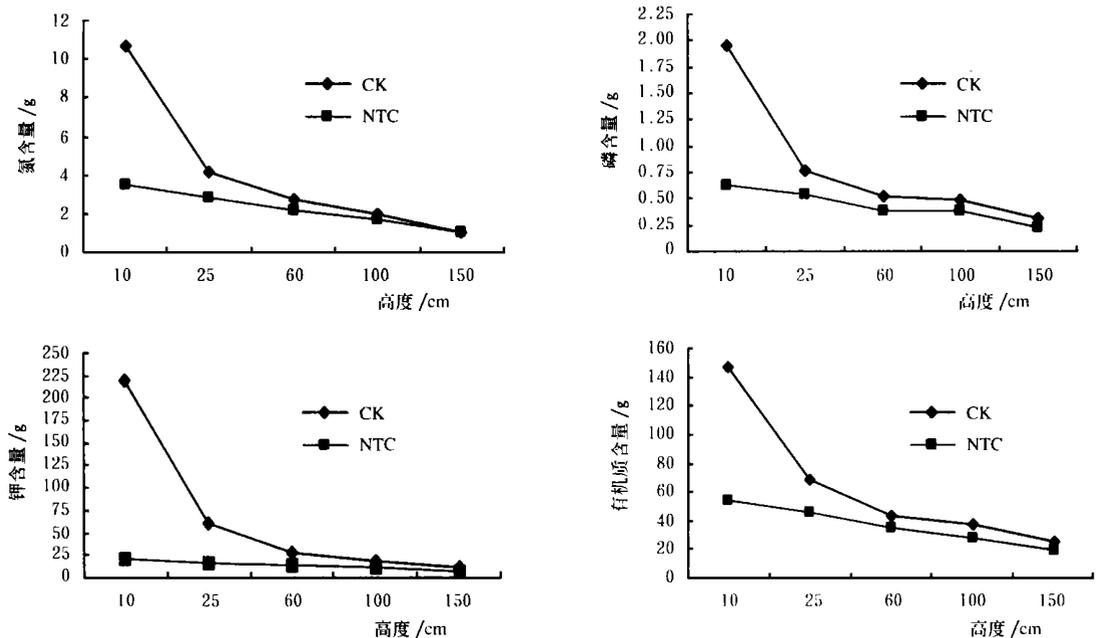


图5 不同处理条件下风蚀土壤中养分含量随高度变化情况

Fig. 5 Relationship between nutrient and height under different treatments

表3 不同处理各高度层总的输沙量

Table 3 Total transported mass on different heights under different treatments  $g \cdot cm^{-2}$

高度/cm	处理方式			
	CK	NTCH	NTC	NTN
10	103.05	12.25	11.7	69.25
25	31.03	8.05	9.03	30.10
60	13.83	6.70	7.25	13.28
100	9.20	5.08	6.60	7.70
150	5.93	3.65	3.76	2.40
$Q/kg \cdot m^{-1}$	468.35	122.98	115.63	402.00

注: 不同高度所对应的数据为 2002 年 3 月 22 日~5 月 1 日期间, 同一束 BSNE 组每天采集沙样之和。

分析覆盖和耕作两因素对风蚀的影响作用如下:

1) 有覆盖的两种处理明显的比无覆盖的处理风蚀量少。免耕覆盖(NTC)和免耕覆盖+ 耙(NTCH)分别比免耕无覆盖(NTN)减少土壤损失 71.24% 和 69.41%。可见, 作物残体对风蚀的降低作用极为明显。留茬地上作物残体对土壤风蚀的影响不仅在于增加地表粗糙度, 而且在于其捕沙作用和保护作用使下伏易蚀性颗粒不易移动, 进而降低土壤风蚀。此外作物残体还能减少蒸发量, 保持土壤水分, 增加土壤的紧实度从而增加土壤表面的抗风蚀性。因此, 需在秋收时留茬增加作物残体盖度, 以减少土壤风蚀。

2) 免耕覆盖条件下分析耕作因素的影响, 有耕作处理(NTCH)比无耕作处理(NTC)的输沙量减少 5.96%。这是因为, 耙地作业虽然减小了地表的覆盖率, 但同时使地表具有垄沟状起伏, 增加了地表粗糙度, 另

外由于新耙地, 土块潮湿, 沙粒不易被吹起, 对减少风蚀量也起到一定作用。

由此可见, 在影响土壤风蚀的各因素当中, 覆盖的影响最大, 可以减少 71.24% 的沙尘量, 仅有免耕而没有覆盖仅能减少 14.17% 的沙尘量, 覆盖对于减轻土壤侵蚀具有较大的作用。地表耕作的作用占 8%, 相对覆盖的影响来说不是很明显。

## 4 结论

1) 在风蚀过程中, 土壤颗粒主要集中在近地表层运动, 土壤输沙量随着高度的增加逐渐减少, 且输沙量与高度变化符合幂函数关系。

2) 风蚀土壤颗粒粒度组成随高度增加, 砂粒级颗粒含量减少, 而粉砂及粘土含量增加。

3) 保护性耕作能减少土壤风蚀过程中土壤养分的损失。

4) 免耕覆盖、免耕覆盖+ 耙和免耕无覆盖三种处理分别比传统耕作相对减少输沙量 73.75%、75.31% 和 14.17%。由秸秆覆盖和少免耕相结合的保护性耕作可明显地减少农田土壤损失, 起到了保护地表的作用。

5) 在覆盖和耕作两因素中, 覆盖对减小风蚀的作用最大, 可以减少 71.24% 的沙尘量。仅有免耕而没有覆盖, 仅能减少 14.17% 的沙尘量。地表耕作的作用相对覆盖对风蚀的影响作用来说不是很明显。

因此, 在防护林体系并不完善的坝上高原, 有必要实行合理的耕作方式, 即秋季留茬增加作物残余物盖度和增加土壤微地形高度, 以达到有效地防治土壤风蚀,

减轻风蚀危害。

[参 考 文 献]

- [1] 朱朝云, 丁国栋, 杨明远. 风沙物理学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [2] 董光荣等. 关于土壤风蚀风洞实验的若干结果[J]. 科学通报, 1987, 32(2): 297~301.
- [3] 哈 斯, 陈渭南. 耕作方式对土壤风蚀的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 10~16.
- [4] Fryear D W. Soil cover and wind erosion[J]. Transactions of the ASAE, 1985, 28(3): 781~784.
- [5] Horning L B, Stetler L D, Saxton K E. Surface residue and soil roughness for wind erosion protection[J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(4): 1061~1065.
- [6] Gary Tibke. Basic principles of wind erosion control[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1988, 22/23: 103~122.
- [7] Fryear D W. A field dust sampler[J]. Journal of Soil and Water Conservation. 1986, 25(2): 117~120.
- [8] Fryear D W, Saleh A. Wind erosion: field length[J]. Soil Science, 1996, 16(6): 398~404.
- [9] Bagnold R A. 泥沙与荒漠沙丘物理学(钱宇等译)[M]. 北京: 科学出版社, 1959.
- [10] Iversen J D, White B R. Saltation threshold on Earth, Mars and Venus[J]. Sedimentology, 1982, 29: 111~11.
- [11] Saxton K, Chandler D, Stetler L, et al. Wind erosion and fugitive dust fluxes on agricultural lands in the Pacific Northwest[J]. American Society of Agricultural Engineers, 2000, 43(3): 623~630.
- [12] Fryear D W, Stout J E, Hagen L J, et al. Wind erosion: field measurement and analysis[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(1): 155~160.

## Experimental study on soil erosion by wind under conservation tillage

Zang Ying, Gao Huanwen, Zhou Jianzhong

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted on farmland in the North Hebei Province to measure the soil loss by wind erosion under different tillage treatments. BSNE sandy samplers were used to collect the soil particles during the soil erosion by wind event. The result showed that the majority of the eroded material moved near the surface. The relationship between the mass of the particles suspended in the air and the height was fitted as a power function. With increasing height, the percent of sand decreased, while the percent of silt and clay increased. Compared to conventional moldboard plough practice (CK), no-tillage with residue cover (NTC), no-tillage with residue cover and harrow (NTCH) and no-tillage without residue cover (NTN), could reduce the soil loss by 73.75%, 75.31% and 14.17%, respectively. Conservation tillage, which features more residue cover and less soil disturbance, could remarkably reduce soil loss; since residue cover was found to be more efficient for soil conservation. Compared with the residue cover, the effect of surface tillage on soil erosion by wind was not so obvious. In addition, conservation tillage could reduce the nutrient loss of the soil.

**Key words:** conservation tillage; soil erosion by wind; field experiment