

# 国外农田风蚀发生机理与防治技术的研究

臧 英, 高焕文

(中国农业大学)

**摘 要:** 土壤风蚀是全球性土地退化的主要原因之一,也是世界上许多国家和地区的主要环境问题之一。该文简要回顾了国外对土壤风蚀发生机理、防治理念和技术的研究,提出林业上植树造林,牧业上防止草原退化,农业上实行保护性耕作是人类可以用来治理和控制土壤风蚀的 3 个重要原则。我国土壤风蚀和土地退化问题日趋严重,应在全国进行大力宣传,转变土壤风蚀治理的观念,使人们从思想上认识风蚀防治要从植树、种草、农田保护 3 个方面综合进行。同时,国家要从政策上、资金上为农田保护性耕作的大规模实施提供保证,促进保护性耕作在全国范围内的推广应用。

**关键词:** 土壤风蚀; 防治技术; 保护性耕作

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** B

**文章编号:** 100226819(2002)0320195204

土壤风蚀是干旱、半干旱以及部分半湿润地区土地沙漠化与沙尘暴灾害的首要环节,也是世界上许多国家和地区的主要环境问题之一。全球极易发生土壤风蚀的地区包括:北非、近东、中亚、东南亚部分地区、西伯利亚平原、澳大利亚、南美洲南部以及北美洲的干旱、半干旱地区。目前,全球有 9 亿人口受到沙漠化的影响;203 即 100 多个国家和地区受其危害;全球陆地面积的 104,即  $3.592 \times 10^9 \text{ hm}^2$  受到沙漠化的威胁。每年因沙漠化造成的经济损失约达 423 亿美元<sup>[1]</sup>。其中,我国受土壤风蚀及土地沙漠化影响的面积占国土总面积的 102 以上<sup>[2]</sup>,主要分布于北方,尤以旱作农田为甚。土壤风蚀严重影响了这些地区的资源开发和社会经济的持续发展。土壤风蚀问题愈来愈受到国际社会的广泛关注。

## 1 风蚀发生机理

土壤风蚀是指一定风速的气流作用于土壤或土壤母质,土壤颗粒发生位移造成土壤结构破坏、土壤物质损失的过程<sup>[3]</sup>。它的实质是气流或气固两相流对地表物质的吹蚀和磨蚀过程。风蚀过程主要包括土壤团聚体和基本粒子的分离、输送和沉积<sup>[4]</sup>。每一步是由个别的土壤物理和气象过程确定的。粒子的初始运动很少引起注意,人们主要进行运动模型的研究<sup>[5]</sup>。1962 年之前,Bagnold 描述到颗粒在主风力作用下沿着地表滚动大约 30 cm 才开始脱离地面(即跃移运动)。1962 年 Bisal 和 Nielsen 通过用双筒望远镜观察放在狭窄的盘子里的颗粒运动,发现大

多数易蚀颗粒随着风速强度的增加,摆动增强,然后离开地表<sup>[6]</sup>。1971 年 Lyles 和 Krauss 通过风洞观察得出,当有效风速达到临界值时,直径小于 0.84 mm 的颗粒开始前后摆动,当风力或运动的颗粒碰撞强到足以迫使稳定的表面土壤颗粒运动时,分离就发生了。分离之后,土壤颗粒通过风可以在空中或沿着土壤表面输送,直到最后风速降低时沉积<sup>[7]</sup>。引起土壤颗粒在风流中开始移动的风速值叫临界风速值。临界风速值取决于土壤覆盖物和土壤的可侵蚀性,板结的或不易侵蚀物质(如植物、残茬或石头等)覆盖的地表,临界风速将比光秃的、疏松表面土壤的临界风速高。已知农田没有固定的临界风速值,而是一个取决于土壤耕作和作物状况的范围。

风力作用下土壤颗粒主要有 3 种运动类型<sup>[5]</sup>(图 1):悬移、跃移和滚动。当中等粒子(100~500  $\mu\text{m}$ )被驱运时,在短时间内它们进入风流中,随后由于重力又落下来,促使它们碰撞并加入到其他土壤颗粒的运动中,这种输送方式叫做跃移。跃移颗粒占总的土壤运动的 50%~80%,跃移高度小于 120 cm,大部分在 30cm 左右,研究证明跃移土壤颗粒

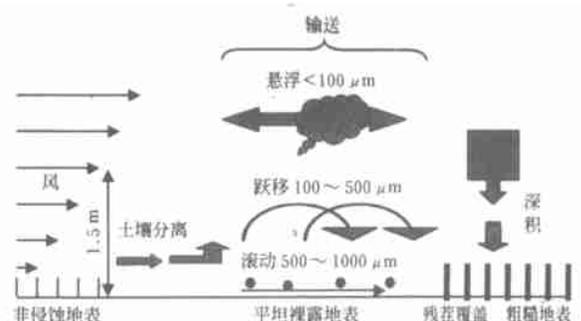


图 1 风蚀过程示意图

Fig 1 Schematic diagram of wind erosion process

收稿日期: 2002201214

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

的升起高度 ( $H$ ) 与前进距离 ( $L$ ) 比为  $1 \sim 10$ 。由于跃移是发动其他类型输送的原因,所以在控制措施里是很重要的。另外,由于土壤颗粒的巨大作用,跃移是植物伤害的主要原因。

悬移指来自于很小土壤颗粒的垂直和水平运动,在跃移和直接风力作用下,直径  $100 \mu\text{m}$  或更小的颗粒将被刮起来,悬浮到风中随风输送;在远距离搬运过程中,主要是  $< 20 \mu\text{m}$  的颗粒。在风蚀过程中,悬浮一般占总的土壤颗粒的  $3\% \sim 40\%$ ,搬运的高度最高、距离最远,是沙尘暴主要构成部分,土壤损失最为明显。由于比较细小的土壤颗粒通常含较多的有机质和营养物质,所以悬浮颗粒是最富含有机质和植物营养物质的部分。

直径在  $500 \sim 1000 \mu\text{m}$  大的土壤颗粒和团聚体,由于太大不能离开地表,但受跃移过程中旋转的颗粒碰撞冲击而松动,随风滚动。表面滚动占总的土壤颗粒的  $7\% \sim 25\%$ ,影响到当地的沉积和并对植物产生伤害。

## 2 风蚀防治技术

19 世纪 30 年代美国大平原地区发生的灾难性“黑风暴”,使科学家的注意力集中到风蚀问题的研究上。20 世纪 40 年代初,以 Chepil 为代表的美国农业部科学家对土壤风蚀防治进行了一系列的研究工作。经过 60 多年的时间,许多学者通过田间和室内便携式风洞试验对农田风蚀和沙尘扬起进行了一系列的调查研究,结果表明采取特殊的保护措施,如作物残茬覆盖,增加地表粗糙度以及改变土壤特性,有效地减少了农田风蚀土壤的损失<sup>[8-13]</sup>。

农田风蚀受许多因素影响,如作物残茬、土壤粗糙度、土块、裸露地表沿风向长度以及气候等因素<sup>[14]</sup>。气候因素不容易被人们改变,所以应该首要考虑人为可控因素,利用最少的消耗有效地控制风蚀。土壤风蚀的严重性是由 1) 风速; 2) 地表土壤物理特性; 3) 地表覆盖及粗糙度状况决定的<sup>[15]</sup>。风速是风蚀的启动动力,风速增加时,风向上抬起土壤的力和拖曳力也相应增加,引起大颗粒侵蚀,同时搬运能力也相应增加。如果在农田地表没有或很少保护的情况下,大风可以在短时间内搬运走大量的土壤。地表土壤物理特性包括土壤颗粒大小的分布和土块及结皮层的动态稳定性。1941 年 Chepil 在土壤特性方面做了大量的工作,研究水稳定性和干土块与风蚀度之间的关系<sup>[16]</sup>。Chepil 和 Woodruff<sup>[17]</sup>指出直径小于  $0.84 \text{ mm}$  的颗粒最易于风蚀。因此,小于  $0.84 \text{ mm}$  的土壤颗粒增加时,易于被侵蚀的土壤粒子也相应增加。由于土壤风蚀是先发生分离,土块和结皮

层的动态稳定性就显得尤其重要。土块、结皮层以及水分增加了土壤的凝聚力,从而减少了土壤分离和产生疏松粒子的数量。

Chepil<sup>[16]</sup>对含有不同比例侵蚀成分的土样进行了测试,通过测试运移的土壤量,计算出不同团聚体大小对地表的保护程度。结果表明,大得不能被风搬运的团聚体,才能提供最大程度的保护。Fryrear<sup>[8]</sup>应用便携式风洞估计了平坦地表、已耕地表和含有非侵蚀性土块的已耕地表的土壤损失。结果得出,20% 非侵蚀性土块覆盖的地表与无土块覆盖的地表相比,土壤损失减少 56%; 40% 和 60% 土块覆盖的地表分别减少 82% 和 89%,地表粗糙度在控制风蚀方面是很有效的,并建立了土壤粗糙度系数与地表粗糙度之间的关系,定量方程为:  $k = e^{-0.485R}$ 。

Hagen<sup>[18]</sup>研究了作物残茬对风蚀的影响原因,结果表明:倒伏残茬抑制了地表土壤的扬起,增加了临界风速;直立残茬减小了土壤表面的摩擦速度并拦截了跃移的土壤;试验证明直立残茬比倒伏残茬对风蚀的控制更有效。Fryrear<sup>[14]</sup>通过室内和田间风洞试验研究了倒伏残茬覆盖百分率与土壤损失的关系,当 20% 覆盖时,减少土壤损失 57%, 50% 覆盖时,减少土壤损失 95%。其土壤损失比表达式为:  $SLRc = 1.81e^{-0.0725C} (R^2 = -0.94)$ ,但仅在  $8\% \sim 80\%$  覆盖下验证了此方程。Bilbro 和 Fryrear<sup>[20]</sup>利用 Fryrear (1985) 的试验数据和 Gregory (1982) 的分析方法分别估计了 95% 砂砾覆盖和 84% 麦秆覆盖下的土壤损失。并定义没有覆盖情况下土壤损失比为 1.0, 100% 覆盖下土壤损失比为 0,从而将 Fryrear 早期的土壤损失比方程扩展到覆盖在  $0 \sim 100\%$  状况下的土壤损失比,表达式为:  $SLRc = e^{-0.04385C} (R^2 = 0.94)$ 。

SLR 是指已知处理条件下被侵蚀土壤与平坦、裸露地表最大土壤损失之比。Horning (1998) 等通过风洞模拟试验研究土壤损失比与地表粗糙度及地

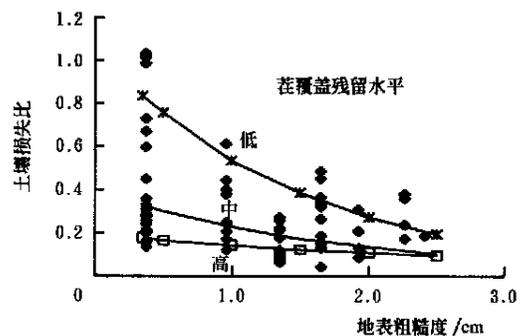


图 2 土壤损失比与地表粗糙度之间的关系  
Fig 2 Relationship between soil loss ratio and surface roughness

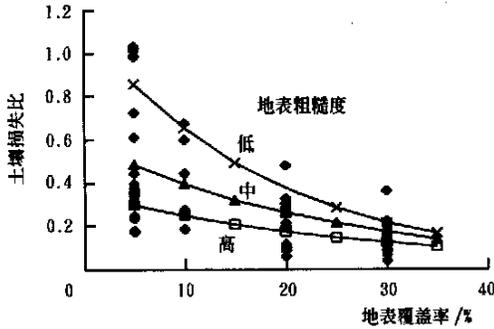


图 3 土壤损失比与地表覆盖之间的关系

Fig 3 Relationship between soil loss and surface cover ratios

表覆盖率之间的关系(图 2, 图 3), 从图中可以看出他们均服从指数关系, 把倒伏残茬覆盖和地表粗糙度分别作为独立变量, 得出定量方程为<sup>[21]</sup>

$$SLR = e^{-0.55C} \times e^{-0.52SR}$$

式中 SLR —— 土壤损失比; SC —— 倒伏残茬覆盖率, %; SR —— 地表粗糙度, cm。

此式说明作物残茬保护地表是有效且可行的控制风蚀的方法, 而地表粗糙度的增加, 也可以明显地降低风蚀。对残茬覆盖和地表粗糙度能有效的减小风蚀的理解, 可更好地开发和应用保护性耕作来减少农田风蚀、土壤源的损失以及沙尘暴的发生。

### 3 风蚀控制原则

风蚀控制基于两个原则<sup>[4]</sup>: 1) 减小直接作用于土壤颗粒上的风力; 2) 改善土壤表面抵抗风蚀作用或限制土壤颗粒的运动。作物残留物覆盖于地表, 由于吸收一部分风对土壤的直接作用力, 保护地表的土壤颗粒。同样地, 垂直于风向的地表障碍物通过使地表上的空气流动方式改变, 可降低障碍物影响带上的风速达 20% ~ 80%<sup>[22]</sup>。因此, 降低了田间土壤颗粒的相互分离和输送, 增加了沉积作用。地表障碍物包括树枝、灌木丛、谷物、高的杂草, 以及对准主风向角度安排的田间带状作物。

第二个原则主要是对耕作处理、土壤的改善以及增加表面土壤非侵蚀部分的技术运用。土壤改善包括使用土壤稳定剂结合土壤颗粒, 保护地表不易侵蚀的团聚体或土块, 同时利用耕作措施形成粗糙的垄沟和地表。此外, 创造更多的不受侵蚀结构, 如地表的垄沟或土块可以限制土壤颗粒的移动, 从而减少土壤损失。试验结果证明: 垄高 63~ 254 mm, 减少土壤损失 90%; 地表覆盖非侵蚀性土块 60% 时, 减少损失 89%; 地表存在较高的垄并覆盖 40% 非侵蚀性土块时, 减少损失 98%<sup>[18]</sup>。植物以及作物

残茬的覆盖同样对风蚀有限制作用。

控制风蚀的措施<sup>[23]</sup>如下:

- 1) 建立带状耕作减小沿着主风向的农田宽度或建立风障减小风速;
- 2) 保护植被或植物残茬以保护土壤;
- 3) 创造足够大的稳定的团聚体或土块 (> 0.84 mm) 以抵制风力;
- 4) 增加地表粗糙度。

多数情况下, 土壤置于天然植被下是控制风蚀的最好方法。类似这种情况的耕作方法通常能够控制风蚀, 但对于生产也许不是最好的措施。对于许多种植体系, 少、免耕播种是主要的措施, 因为该措施使植被和作物残茬更容易多年地保留在地表上, 所以此耕作方法创造的土壤条件可以最大限度的减少风蚀。保护性耕作是目前极力被推荐的减少风蚀和沙尘扬起的耕作体系。目前, 中国农业大学经过 9 年的试验研究还在逐步建立一套适合我国旱区的保护性耕作体系, 针对河北丰宁地区风沙严重现象, 开始在该地区大力推广保护性耕作技术, 并进行保护性耕作防沙治沙效应的研究。

### 4 结 语

国外研究和实践表明, 除了刮风、降雨、气温等自然条件外, 林业上植树造林, 牧业上防止草原退化, 农业上实行保护性耕作是人类可以用来治理和控制土壤风蚀的三个重要方面。目前, 我国土壤风蚀严重, 沙尘暴困扰京津, 而且日趋恶化。然而, 与国际经验相比, 综合治理土壤风蚀的思路和手段还不够全面, 在植树造林、草原建设的同时忽略了农田保护。因此应在全国进行大力宣传, 转变土壤风蚀治理的理念, 使人们从思想上认识到风蚀防治要从植树、种草、农田保护三个方面综合进行, 缺一不可。同时, 国家要从政策上、资金上为农田保护性耕作的大规模实施提供保证, 促进保护性耕作在全国范围内的推广应用。

#### [参 考 文 献]

- [1] UNEP. Managing fragile ecosystem: Combating desertification and drought[A]. Agenda 21, chapter 12 Desertification Control Bulletin, 1993: 122
- [2] 陈渭南, 董光荣, 董治宝. 中国北方风蚀问题研究的进展与趋势[J]. 地球科学进展, 1994, 9(5): 6~ 11.
- [3] 李玉宝. 干旱半干旱区土壤风蚀评价方法[J]. 干旱区资源与环境, 2000, 14(2): 49~ 52
- [4] Fryrear D W, Merzouk A, Gupta J P. Mechanics, measurement and prediction of wind erosion [A]. Challenges in Dryland Agriculture 2A. Global Perspec2

- tive [R]. Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas, 1988 77~ 78
- [5] Leon Lyles. Basic wind erosion processes[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1988, 22: 91~ 101.
- [6] Bisal F, Nielsen K F. Movement of soil particles in saltation[J]. Can J Soil Sci, 1962, 42: 81~ 86
- [7] Lyles L, Krauses R K. Threshold velocities and initial particle motion as influenced by air turbulence [J]. Trans of the ASA E, 1971, 14: 563~ 566
- [8] Fryrear D W. Soil ridges clods and wind erosion[J]. Trans of the ASA E, 1984, 27(2): 445~ 448
- [9] Englehorn C I, Zingg A W, Woodruff N P. The effect of plant residue cover and clod structure on soil losses by wind[J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1952, 16: 29~ 33
- [10] Gillette D A. Tests with a portable wind tunnel for determining wind erosion threshold velocities [J]. Atmospheric Environ, 1978, 12: 2309~ 2313
- [11] Chepil W S, Woodruff N P, Zingg A W. Field studying western texas[A]. USDA SCS2TP2125. USDA Soil Conservation Service Manhattan Kansas 1955
- [12] Stetler L D, Saxton K E. Simultaneous wind erosion and PM 10 fluxes from agricultural lands on the Columbia Plateau [A]. Technical Paper No. 95-MP12-03 Proc Air & Waste Manage Assoc 88th Annual Meeting and Exposition [R]. San Antonio, Tex. June 18~ 23, 1995. Pittsburgh Pa: Air & Waste Management Assoc
- [13] Stetler L D, Saxton K E. Wind erosion PM 10 emissions and dryland farming on the Columbia Plateau [A]. Desert Geomorphology. Lancaster Special Earth Surface Processes and Landforms [C], 1996, 21(7): 673~ 685
- [14] Donald W Fryrear. Soil cover and wind erosion[J]. Trans of the ASA E, 1985, 28(3): 781~ 784
- [15] Brady N C. The nature and properties of soils[M]. New York: Macmillan Publishing Co., 1990, 458~ 460
- [16] Chepil W S. Relation of wind erosion to the dry aggregate structure of a soil[J]. Sci Agric, 1941, 21: 488~ 507.
- [17] Chepil W S, Woodruff N P. Estimation of wind erodibility of field surfaces[J]. Soil and Water Conservation, 1954, 9(6): 257~ 265, 287.
- [18] Hagen L J. Crop residue effects on aerodynamic processes and wind erosion[J]. Theor Appl Climatol, 1996, 54: 39~ 46
- [19] Bilbro J D, Fryrear D W. Wind erosion losses as related to plant silhouette and soil cover[J]. Agron J, 1994, 86: 550~ 553
- [20] Greyory J M. Soil cover prediction with various amounts and types of crop residue. Trans of the ASA E, 1982, 25(5): 1333~ 1337.
- [21] Horning L B, Stetler L D, Saxton K E. Surface residue and soil roughness for wind erosion protection [J]. Trans of the ASA E, 1998, 41(4): 1061~ 1065.
- [22] Tibke, G. Basic principle of wind erosion control [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1988, 22: 91~ 101.
- [23] Woodruff N P, Lyles L, Siddoway F H, et al. How to control wind erosion [A]. Rev Ed USDA Agric Inf Bull No. 354

## Research on Occurrence Mechanism and Control Technology of Wind Erosion in Agricultural Lands

Zang Ying, Gao Huanwen

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

**Abstract** Wind erosion is one of the primary reasons leading to land degradation and causing environmental problems in the world. In the paper, research on occurrence mechanism and control technology of wind erosion in agricultural lands is reviewed. It was put forward that planting trees, controlling the degradation of grassland and developing conservation tillage were the effective measures on reducing wind erosion. At present, as the problem of soil wind erosion and cropland desertification becomes very serious in China, more work should be done on protecting the cropland, planting trees and grasses. Also a lot of related policies should be formulated and funds from the governments should be put into in order to popularize the conservation tillage in the whole country.

**Key words:** wind erosion; control technology; conservation tillage