

内部文件

注意保存

中国科学院治沙队1961年治沙科学研究总结会议

风沙运动的某些特征及在防护农
田不受风沙危害措施中的应用

地貌和风沙研究组

执笔人：馬載壽（中国科学院治沙队）

一九六一年十二月·呼和浩特

风沙运动的某些特征及在防护 农田不受风沙危害措施中的应用

馬 載 壽

随着我国西北沙区农业开发和工矿交通事业的发展，它向科学和实践提出一系列急待解决的问题，其中最突出的问题之一，即是风沙危害问题。特别是在党提出“以农业为基础”的发展国民经济的方针后，解决风沙危害问题更成为沙区农业发展向科学研究提出的迫切任务。这要求科学工作者最快地克服目前在控制风沙流、防止风沙危害方法的研究中，理论和实践落后于生产要求的状况，要求在深入实践的基础上，考虑制订有效的控制风沙流、防止风沙危害的方法，以稳定沙区农业生产，为沙区旱农发展开辟途径。

然而，在寻找控制风沙流、防止风沙危害的途径和方法时，首先所面临的任务，是查明自然条件下风沙流现象的特征和某些规律性，从而为工程和农田防止风沙危害的各种措施提供理论依据和方案。这就是我们今年在宁夏盐池定位试验研究中，研究风沙运动所力图解决的问题和所要达到的目的。

近年来，我们在莎车、民勤、磴口、灵武、鄂尔多斯、榆林、沙坡头等治沙综合试验站的定位试验研究中，对风沙运动现象及特征的认识方面，积累了一定的观测资料。这是很可宝贵的。但由于我们在研究方法上的落后和粗放状况，特别是缺乏必要的室内实验，对彻底认识风沙运动现象的客观规律性，还很困难。

在苏联，对风沙问题的研究经历了较长的时间，进行了大量的工作，取得了积极的成果，特别是А·И·兹纳明斯基的研究，得出了若干有价值的结论。他根据在风洞中的实验和自然条件下的研究，在风沙流特征、

沙子的吹蝕和堆積方面創立了若干理論，並且他以這些理論為基礎，有較效的解決着蘇聯中亞沙漠地區綫性工程（交通綫和渠道）中的風沙危害問題。

在資本主義國家中，雖對風沙問題有過不少研究，但他們的研究多偏重於純理論性的工作和單純的自然描述方面，和生產實踐是脫離的。比較有顯著成就的，首推R. A. 拜格諾所著“風沙和荒漠沙丘物理學”一書，作者根據實驗物理學解釋了由於荒漠地區沙粒的自然運動所產生的現象。它以實驗和考察材料闡述了顆粒運動物理學；小尺度作用，粒徑分布，地面沙紋及沙脊；大尺度作用，泥沙聚集，沙丘，內部結構等。在目前各種有關沙漠研究的文獻中，這还是比较全面和系統的闡述沙粒在空氣中運動及其所引起的現象的理論性著作。

沙子之所能為害，乃是風力作用於沙質地表的結果。它表現為風沙流的運動。因此，在闡明風沙運動這一問題時，首先所要解決的便是風沙流中沙粒運動的基本性質。

沙粒從靜止到運動，主要依靠從沙地表面所發生的渦流而獲得能量，即從貼地層氣流的上升分力獲得能量。由於沙粒大小不同，獲得能量大小及獲得能量的方式的不同，使沙粒在氣流中以不同的方式運動。

И. А. 索科洛夫曾首次研究和正確指出了沙粒運動的各種方式。他在“沙丘及其形成、發育和內部構造”（1984）一文中，將沙粒移動的方式歸納為：（1）滑動（或滾動）；（2）跳動（快速滾動）。作這種運動的沙粒雖能吹到某種高度，但總要回落到地面上，在落到地面時，或受地面反作用再跌入氣流作前進運動，或在沖擊中失去動能，而使其他沙粒發生運動；（3）懸空流動。

我們在研究中，分別將上述沙粒移動方式稱為蠕移運動、跳移運動和

悬移运动。野外观测表明，塑造各种沙地形态以及对农业危害最大的，主要的作蠕移和跃移形式运动的沙粒。对农业而言，作跃移运动的沙粒其危害（机械作用）更为显著。

观测表明，在风沙流中作跃移运动的沙粒，不仅作用于跃移输沙层，它的巨大作用更表现为促成地表本为风力所不能直接吹动的静止沙粒发生运动，从而促进土壤风蚀的发展。我们在农田中选择小块避风的凹地地表上进行观测，见到由远处吹来的作跃移运动的沙粒仍引起这块凹地表面沙粒的移动（滚动）。根据R. A. 拜格诺的实验，作表层蠕移运动的沙粒，并不受风的影响（即不受风力直接作用），它们从跃移质的冲击过程中获得能量。跃移质沙能够使得重量为风压所不能单独移动的颗粒能够发生移动。同时他的实验指出，高速运动的颗粒在跃移中通过冲击方式，可以推动六倍于它的体积，或二百倍于它的重量的表层颗粒〔7〕。而作跃移运动沙粒本身，其能量获得也并非全由风力（压）的直接作用，而部分是由下降沙粒的冲击作用。在观测中常可见到，在阵风过后风速已小于测定的临界风速的情况下，仍见到沙粒发生跃移运动。这明显的反映了作跃移运动的沙粒，在冲击表层沙粒发生运动过程中的巨大影响。这种冲击作用的大小，决定于受风速影响的沙粒跃升的高度，上升愈高，受风力作用的机会愈多，颗粒冲击速度愈大，使新的跃移质沙粒更易形成。跃移沙粒的这种性质，有助于沙粒运动的循环和持续。了解这一特性有实际意义，它指示我们，在人工控制风沙流、防止风沙危害以及防止土壤风蚀时，应抓住的关键性环节是如何通过风速的变化来控制跃移输沙的问题。

二

无数观测表明，风沙流之形成应看作是气流，沙子，下垫面之间互相作用的统一过程〔1〕。这一过程的进行是与沙子的吹蚀及堆积现象密切联系的。

粗細不同的沙粒之移动，要求地表附近有一定的风速条件。在各不同地表条件下，各种粒徑沙粒移动所需的风速 ⁽¹²⁾ 如图

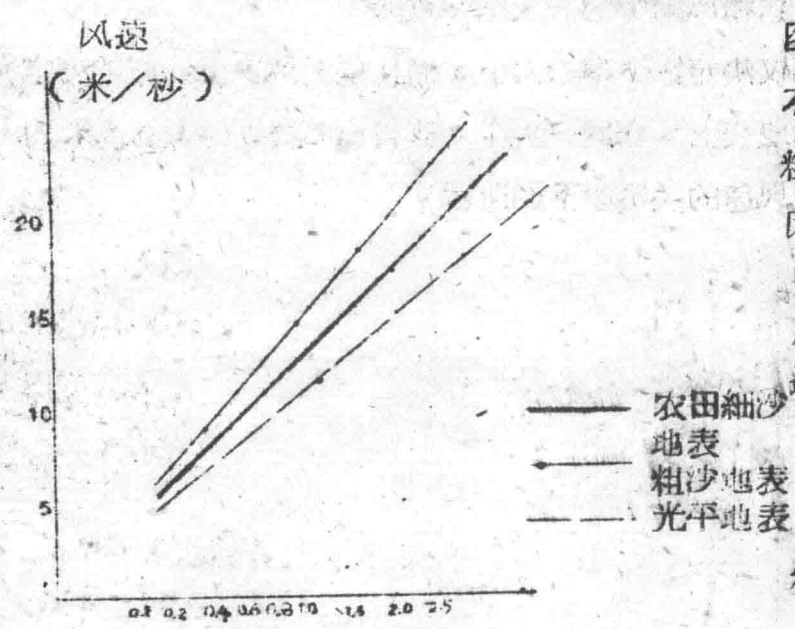


图1
不同地表上不同
粒徑沙粒与起沙
风速关系。
(粒徑为平方根
尺度，2米高风
速)

上图指出了一定粒徑沙粒的运动和风速間的依賴关系。从图中可以看出，地表愈粗糙，則同等粒徑沙粒运动所需的临界风速愈大，这和我們观测主浪风蚀的結果完全一致。

据沙車站 1960 年在自然条件下观测，測得 2 米高风速对风沙流总状况的影响，表現在輸沙率方面如下图所示。

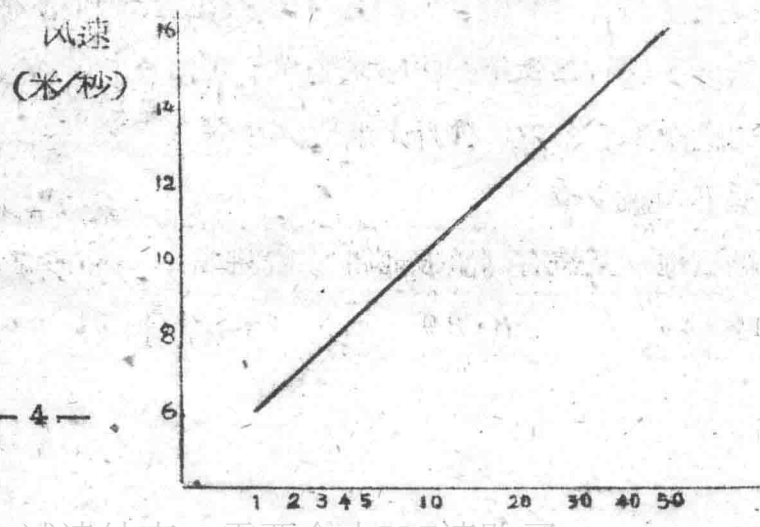
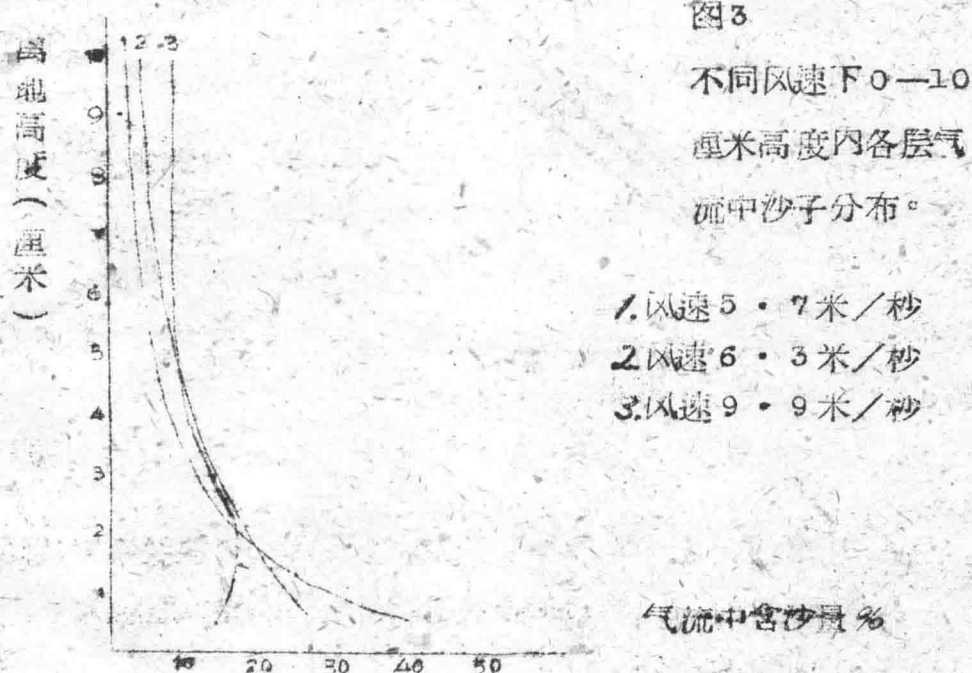


图2
輸沙率和风速关
系图。
(輸沙率为立方
根尺度，2 米高
风速)

从图中可见，输沙率和风速超过沙粒开始运动的一定起动风速部分的三次方成正比，这和风洞中的实验是一致的〔7〕。

风的情况不仅决定输沙率的大小，而且也是风沙流特征的决定性因素。我们在平坦农田地表上，在同一测点，测得离地表0—10厘米内，气流中沙子的分布与风速的关系如下图所示。



当风速条件相同时，风沙流的情况又随着地表状况（粗糙度和紧实程度）而变化。根据对不同地表的观测，光平地表上的风沙逕流比粗糙不平农田上的风沙逕流强烈得多，这种差异用输沙率来表示：在10米/秒左右风速下，不同地表上的输沙率（单位 公斤/米宽/小时）〔4〕

表1 不同地表状况下的输沙率

地表性质	光平地	细石地	复盖有低植被地面	翻耕地	细沙地
输沙率	59.08	15.44	8.29	3.32	11.55

不同紧实程度的地表，在一定风力作用下风沙流状况差异也很大，我们在同一地点附近，当风速为5.7米/秒时，同一时间内所测得这种风沙流的差异。

表2 不同紧实程度地表上的输沙量

地 表 性 质	紧实的平坦瘠荒地	松土后的平坦地
离地表0—10厘米 内10厘米 ² 的输沙量(克)	4.7	9

地表性质对输沙率的这一影响解释了风沙的一个基本性质：沙子趋向于堆积在已被沙复盖的地表，而不堆积在光平紧实的地面（光平而紧实的地表上，沙子的通过能力较强）。这一性质启示我们，在防止工程建筑和农作物不受沙埋时，应注意的是如何防止初始阶段的沙子堆积，如果积沙已经形成，再谋除害，就会困难得多了。

从防止风沙危害的观点来看，要在不同地点，针对不同防护对象，实际解决防止风沙危害问题，仔细研究各种类型沙质地表上的风沙流的具体特征是很重要的。

在裸露沙质地表上，在地面较平缓的条件下，离地表70厘米高度内测得各高度气流层中沙子的分布（各种风速下多次测得的数值的平均值）

表3 裸露沙质地表上沙子在气流中的分布

离地表高度(厘米)	各层含沙量 %
0—10	87.1
10—20	8.6
20—30	2.4
30—40	0.6
40—50	0.6
50—60	0.3
60—70	0.2

而在离地表10厘米内，测得气流中不同高度沙子的分布情况如下（各种风速下多次测量平均）

表4 裸露地表上沙子在气流中的分布

离地表高度(厘米)	各层含沙量 %
0 — 1	37.2
1 — 2	21.3
2 — 3	9.6
3 — 4	8.0
4 — 5	6.6
5 — 6	5.6
6 — 7	3.8
7 — 8	3.1
8 — 9	2.4
9 — 10	2.4

从上列资料可以看出在裸露沙质地表上，气流中运行沙粒的绝大部分（80—90%）是在离地表10厘米通过的。而其中（70—80%）沙子又集中分布在离地表0—5厘米以内的气流层中。

在有植被的地表上，其情况显著不同，在植被盖度15—20%，平均植株高10—15厘米的平缓地面情况下，测得各高度层中沙子的分布（各种风速情况下的多次平均数值）

表5 有植被复盖地表上气流中沙子的分布

离地表高度(厘米)	各层中含沙量 %
0 — 1	20.6
1 — 2	17.7
2 — 3	13.5
3 — 4	12.4
4 — 5	11.3
5 — 6	7.6
6 — 7	6.1
7 — 8	5.9
8 — 9	2.6
9 — 10	2.5

这表明植被的生长大大增加了地表粗糙度而促使较高层气流中沙子的百分含量显著增多(而总输沙量是减少)。

上述二类型地表风沙流结构的这种特征和各该地表上风速的垂直变化是一致的,在上述有植被复盖的地表上,在距地表10厘米高度比2米高度上的风速平均降低了58.2%,而裸露沙地上才降低了33.5%。

表6 不同植被条件下风速随高度变化

距地表高度 (cm)	10	50	100	150	200
植被盖度15—20%的农田 地表风速平均(米/秒)	4.2	7.2	8.8	9.1	10.2
裸露沙地表风速平均(米/秒)	4.6	6.0	6.6	6.9	

在农田地表上,风沙流的特征则还与农田的不同耕作状况紧密联系的。我们对比较平坦地形上各种耕作阶段和耕作措施的农田地表风沙流的观测可以看出,在平坦疏松而未播种和耕后整平的农田上,风沙逕流中,沙子集中分布在贴地层气流中。而在初耕粗糙农田表面则较高层气流中沙子分布显著增多。可从下表中见到这种情况。

表7 不同的农田地表上风沙流的结构

各层含沙量% 距地表高度(cm)		未翻耕平坦 农田	初翻耕粗糙 农田地表	耕后平整 过的农田	撩荒地
0—1	1	25.4	13.4	31.1	34.
1—2	2	13.7	16.2	16.7	19.
2—3	3	12.1	12.5	10.0	13.
3—4	4	10.6	11.1	13.2	8.
4—5	5	9.7	10.9	5.6	7.
5—6	6	6.9	9.9	6.7	5.
6—7	7	4.8	7.8	4.4	4.
7—8	8	4.5	6.9	3.4	3.
8—9	9	3.8	5.7	5.6	2.
9—10	10	3.5	5.5	3.3	1.

(各种风速条件下多次观测平均值)

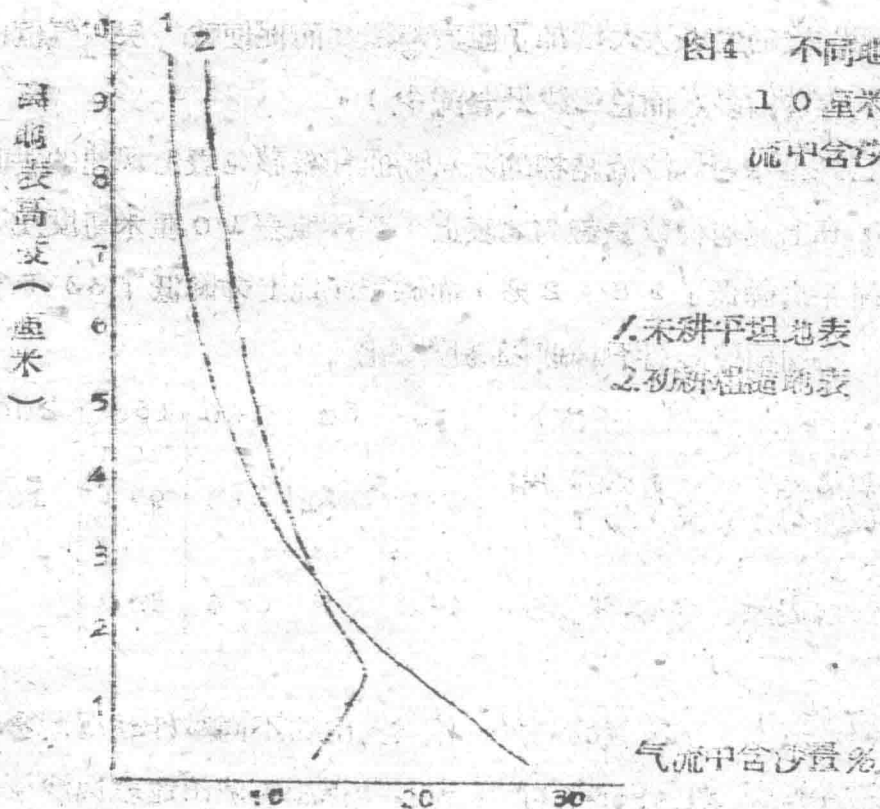


图4 不同地表上0—10厘米内各层气流中含沙变化。

1. 未耕平坦地表
2. 初耕粗糙地表

在初翻耕的农田地表上，虽然低层气流中输沙量有所减少，但对0—30厘米高气流中沙子分布的观测，可以看出绝大部分沙子仍集中分布在离地表0—10厘米的气流层中，这点在制订农田防沙措施上有很大意义。

表8 初翻农田上气流中沙子的分布

高度(厘米)	0—10	10—20	20—30
含沙量 %	92.8	4.4	2.8

总结上述，在不同条件下沙子在气流中的分布情况，我们可以看出如下一些总的特征：

(1) 在0—1厘米气流层中，输沙量百分比随着风速的增加而减小，也随着地表粗糙度的增加而减小。

(2) 1—2厘米层中，输沙量百分比一般稳定在0—10厘米总输沙量的20%上下，这种情况一般受风速和表面粗糙度影响不大。

(3)在裸露而平坦的地表上，平均輸沙量10%穩定在距地表3—4厘米气流层中，而在粗糙农田地表上变化較大，一般出現在距地表4—6厘米气流层中。

(4)較高气流层中的輸沙量，隨风速和表面粗糙度的增加而增加。

三

风沙流(沙粒搬运过程)的上述特征，和土壤风蝕以及风沙流危害作物的方式有密切联系，因此了解影响土壤风蝕的因素和风蝕特征，以及风沙流危害的形式、程度等的研究，对解决农田防风沙問題，是十分必要的工作。

沙粒脱离地表，搬运和堆积是土壤风蝕过程所具有的三种彼此互相联系的现象，这是土壤风蝕过程的物质基础。强烈的风沙流的形式导致风蝕过程的加强，而土壤风蝕的发展应看作是风沙流危害农业的一种主要表现形式。

土壤风蝕是在一定条件下风力超过土壤結持力所发生的现象⁽⁸⁾，这决定于土壤性質、风速及延續時間、地形、植被保护土壤的程度(或殘留植被的多少)等因素的影响。

我們在相同条件(风、地形、植被)下的观测見到由于土壤性質的不同，在风蝕結果上表現很明显。同一时期內(自4月26日至6月11日)，在固定沙地上所开垦的农地(松沙土)，平均风蝕3.3厘米，底土較紧实的沙土平均风蝕0.56厘米，沙浪土平均风蝕0.22厘米。

土壤风蝕过程的发展，不是等速度进行，而决定于大风次数及延續時間。一次大风中被吹蝕的土层厚度，常相当弱风期很长时间的吹蝕厚度，如在沙土观测点上，5月1日至5月2日两天大风(平均风速10米/秒)測出沙土平均风蝕2.6厘米，而5月1日至6月11日期間，平均才风蝕0.58厘米。

地表状况也在一定程度上增强或减弱土壤风蚀作用，在同一时期内（5月8日—6月11日）同种土壤上，平坦地形的地表平均风蚀仅0.1厘米，而有微起伏的凸出地表上，风蚀达0.56厘米，而且在迎风的斜坡上这种差异更显著。

很多研究者指出，〔6〕镇压得平而光的田地上的土壤风蚀作用比未镇压的土壤风蚀作用强。这实质上是地表粗糙度的影响，和我们的观测结果完全一致。

据我们的试验，各种作物的抗风蚀性能是不同的，它决定于植被的性质：种的组成、高度及密度等因素，在同是沙土的平坦地形条件下，同时期内，种植大麻的农田平均风蚀0.42厘米，糜子地平均风蚀0.56厘米，而较稀疏的洋芋地风蚀达3.3厘米，这是由于大麻地上部分发达植株高大且柔韧，而洋芋地上部分低矮而软弱，因而对风的作用的不同的影响所致，因此，在沙区农业中，作物种的选择和合理密植问题是农田防风沙措施中很重要的一方面。

必须指出，土壤风蚀的结果，其表现是复杂的，相当大面积的地段全部处于受风蚀的情况是较少见的，多数情况下，风蚀是呈斑块状、带状分布，据我们的定位观测，只在土质均匀，四周无障碍和极平坦的地表下，才见到较大面积的地表上同时处于风蚀状态。而多数情况下，土壤性质是不均匀的，地表总有不同程度的起伏（特别是新开垦的固定沙地上的农田）地表各部分的土壤风蚀不可能等速发展。地表上的风蚀带和堆积带必然交替变化。土壤风蚀的这种表现，常造成种子的成片吹蚀和作物苗株的集中生长（种子被搬运的结果），使农作物（特别是谷类糜麦等作物）受危害而常成带状和斑状分布。（照片）

风沙危害作物是一个十分复杂的过程。我们在盐池高沙窝地区对谷子、洋芋、玉米、小麦、向日葵、苏丹草进行了观测，见到各种作物对强烈的

风沙，都有不同程度的反映，今年5月8日播种的谷子，经5月11日—12日的大风（平均速力4—5级），成片子随土粒被吹走，而在6月11日—13日大风中出土的谷子幼苗，由于土壤的强烈吹蚀而被连根拔起吹走，两次风沙造成农田上成片失苗，大大影响了收获。在6月2日、11日、13日的大风中，洋芋、向日葵、玉米、小麦、苏丹草幼苗在风沙打击下，均呈现受害，受害苗株洋芋占58%，向日葵占90%，二者伤害表现为叶片出现黑斑，叶边缘卷屈，严重的整片叶枯萎。玉米、小麦、苏丹草受害苗株各占40%上下，伤害表现为与叶脉平行的黑斑，部分受伤较重的叶片折断枯萎。但由于这几种作物生长的农田上土壤风蚀弱，苗株全被保留下来，经过半个月再观测这些受害苗株，大部分或全部生出新芽新叶，恢复了正常生长。仅苏丹草和小麦极少部分枯死不能恢复生长。

作物苗株致死的原因，可能和大风中空气极其干燥有关（6月11日—13日相对湿度在10%上下），这种干燥气流不断流过叶片表面，使作物蒸发过大，水分损失不得补充，以致死亡。

看来，风沙流的机械作用对作物幼苗虽有一定的伤害，但不是风沙危害的根本问题，我们认为，风沙流的严重危害，主要表现在风沙流统一过程的外部表现之一的土壤风蚀的发展，土壤风蚀是根本性的危害种子和作物幼苗的保存，这是风沙危害农业的基本形式。只要保住苗子，即收获在望，因此，保种保苗是防止风沙危害的关键性问题。

四

根据以上风沙流形成和运动的特点以及土壤风蚀的特点，我们对农田防护措施提出几点初步意见。

1. 防止土壤风蚀、防止风沙流对作物的有害影响的各种措施，都只是争取农作物得到稳定高额产量的总措施的一部分。因此，必须指出，实行任何孤立的措施，都不能达到有效地防止风沙流危害和防止土壤风蚀的目

的。只有綜合地采取各种旨在(1)尽量降低貼地層气流速度，以減少风的破坏作用，防止作物苗株不被消灭的措施；(2)改良土壤性質及地表性質的农业技术措施（农作制度）；(3)蓄积最多量水分和合理利用这些水分的措施，只有这些互相联系互相影响的措施的綜合作用，才能真正收到防止沙害的效果。

2. 从防风沙的观点来看，沙区农田防护林最基本的作用，在于削弱风力对地面的作用，以及由于风力削弱而引起的其他效果，而这种效果取决于林带的間距和林带本身的結構。

我們在盐池城郊刘八庄的观测表明，在林带高的10—11倍水平距离内，林带对风的削弱最为显著。这一观测和风洞实验得出的，障碍物后面另风速綫的长度，一般为障碍物高度的10—11倍的結論全一致。^{〔7〕}前人研究得出的林带防护距离为林带高的20—25倍的結論，虽也为客观所验证，但要解决实际防止风沙問題，还需要根据具体情况来对待和运用，生硬将20—25倍这一結論搬用在沙区防护林的营造上是不恰当的，特别是当防护林在大面积内还未形成体系，而只是小区域营造时，林带間距离不宜过宽，否則不能起到实际作用。近年来，宁夏地区林业生产部門在沙区防护林营造上，趋向于縮短林带間距离的意見是值得重視的，我們认为如果以成林后的林带高度4—5米为例，林带間以相距50—60米为宜。为扩大林带网眼面积，可适当增长付林带間距离。

在林带結構上应考虑到防止沙堆这一因素，过密的結構不仅不能起到減輕沙害的作用，反而会在林带兩側形成严重的沙埋危害，我們在陝西靖边县見到了这种极典型的例子。

3. 带状耕作結合种植高茎作物屏障，对增加植物被复，增加地表粗糙度，减弱风力对地表的作用，有着积极的意义，根据气流为沙子飽和的路徑长度一般为5—6米这一規律^{〔7〕}，对于在低矮天然草带保护下的农田，

其耕作帶以較窄些為適宜，一般可寬10米左右，這樣將使風沙逐流無循環發展的條件。

根據我們今年的試驗，由高莖中耕作物（玉米等）構成的屏障，是防止風沙流，防止土壤風蝕的有效防護物，特別是在休耕地和冬季光禿的農田上，高莖屏障對地表的保護作用更為明顯。實際上這種由高莖中耕作物組成的屏障，起着高行列式透風機械沙障的作用。風障一般可由2—3行構成，行距40—50厘米，風障間距離視地表性質和防護對象而定，一般可採取5米左右。

在農田防護林營造的最初幾年，林帶還不能起實際作用時，結合運用高莖作物屏障，對防止風沙，保護作物正常生長將有很大意義。

4. 作物留茬是增加地表粗糙度，削弱風力作用的有效措施。實質上，作物留茬對農田起着機械沙障作用。根據我們在各種地表上對風沙流的結構的觀測，絕大部分沙粒是分布在離地表0—10厘米氣流層中，因此，作物茬高有10厘米即可，過高浪費作物秸桿，過低則效果亦降低。

5. 不同的耕作情況（耕作制度），在一定程度上決定着農田地表的粗糙度，從而影響着風沙流結構特征，以及土壤風蝕的差異。

對沙區來說，適當減少農田的翻耕次數以減輕土壤風蝕的措施應該認為是合理的。值得進一步探討。減少翻耕次數以形成地表粗粒蓋層，使地表形成密集的絮狀復蓋物，以減小風力對地面土粒的沖擊作用。這對保持土壤肥力有很大意義。在選擇適當作物進行輪作的情況下，以兩年翻耕一次土地是比較適宜的。深翻土地的措施，在沙區具體情況下，是不宜普遍採用的，這會使土壤性質更適于風蝕的發展，增加風沙流形成的豐富沙源條件。

在定期翻耕土地後，應盡量保持犁溝和壟，保持地表的粗糙，以最大限度削弱風力對地表的直接作用，而不宜耙地。

私

在有害风向较稳定的情况下，不同耕作方向的农田上，土壤风蚀及风沙流的状况是不同的，据我们的观测，垂直于主风方向耕作的农田，比平行于主风耕作的农田上土壤风蚀及风沙流均较弱，前者情况下，种子较易保存。盐池地区是以偏西风为主，因此耕作一般应采取南北方向，当地农民随意进行东西向耕作的习惯应注意改进。

对于沙粒在风沙流中的运动情况的研究，在我国过去几年来，仅为地貌学和气象学工作者所注意和进行一些初步的工作。不能諱言，在研究中所采用的方法是较为落后和粗放的，而且多偏重于自然因素的了解。将风对沙粒的作用（关系）当做空气动力学问题，当做固体颗粒在任意流体中运动的物理学问题，以流体力学为基础来进行研究，却还未给予应有的注意和进行必要的工作。室内实验工作，这是研究风沙运动中重要的一环，不从单一颗粒在气流中的运动这一基本问题着手，要彻底认识风沙流现象的客观规律性是很困难的。我们在这方面所做的努力是很不够的。

从目前国内外对风沙问题的研究情况来看，这项工作在很多方面还是空白。要掌握风沙流运动的客观规律性，并把这些规律性运用于指导生产实践，还必须充实和形成它固有的研究内容和方法，才能取得进一步的成果。这正是目前存在的问题和摆在从事风沙运动研究者面前的任务。

参 考 资 料

- (1) А. И. 兹納明斯基：沙地风蚀过程的实验研究和沙堆防止問題
科学出版社 1959
- (2) А. И. 兹納明斯基：流沙地形控制理論的几个問題
治沙通訊 1959年第五
- (3) А. И. 兹納明斯基：新月形壘状沙丘形成的規律
治沙队譯印
- (4) 譚見安：风沙流运行規律的野外观测研究 治沙队資料 1960
- (5) 莎車站地貌組：流沙形成的动力过程和人工控制流沙地貌的观测資料初步整理 治沙队資料 1960
- (6) Т. Ф. 雅庫波夫：土壤风蚀及其防止 农业出版社 1959
- (7) Р. А. 拜格諾：风沙和荒漠沙丘物理学 科学出版社 1959
- (8) 黃秉維：扩大耕地面积中应当注意的几个問題
人民日报 1961年5月5日七版
- (9) М. И. 彼得洛夫：流沙的固定 林业出版社 1960
- (10) 耿寬宏：沙区小气候形成特征初步探討 治沙队資料 1960
- (11) 磴口站地貌組：风沙移动观测小結 治沙队資料 1959
- (12) 托克逊站：地貌定位观测資料分析 治沙队資料 1959
- (13) 灵武白家滩气候站：灵武白家滩气候 治沙队資料 1960