

新疆主要地表类型土壤风蚀对形成沙尘暴天气的影响

李少昆^{1,2}, 路明¹, 王克如², 王旭^{1,2}

(¹中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081; ²新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832000)

摘要: 【目的】弄清新疆主要地表类型土壤风蚀对形成沙尘暴天气的影响, 为明确该区域沙尘暴主要尘源和科学治理提供依据。【方法】采用美国 BSNE 集沙仪, 在沙尘暴天气条件下对塔里木盆地主要地表类型土壤风蚀状况、输沙率随高度的变化进行观测与采样分析。【结果】不同地表类型的输沙量变化趋势为: 裸露、弃耕农田最多, 其次为活化灌丛沙堆、沙漠边缘的活动沙丘、乡村道路; 而封育砂质农田、覆膜棉田、苜蓿地、冬小麦、棉秆与地膜相间覆盖棉田、林地、棉秆留茬地输沙量较少。种植行向与风向一致时棉田输沙量大, 垂直时明显减少。输沙量在 0~160 cm 高度的分布特征明显与地表类型有关, 其中裸露、弃耕农田、活化灌丛沙堆、活动沙丘等植被、残茬覆盖地表类型, 输沙量 ($M, g \cdot cm^{-2}$) 随高度 (Z, cm) 变化遵循幂函数 $M=aZ^b$ 规律, 在有植被及覆盖条件下的农田、林地等地表, 输沙量用多项式 $M=a+bZ+cZ^2+dZ^3$ 拟合效果最好。输沙量随植被覆盖度和土壤表层含水量的增加呈指数形式减少, 当植被盖度达到 20% 以上或土壤表层含水量达到 5% 以上时可以明显降低输沙量。【结论】裸露农田、弃耕沙质农田、活化灌丛沙堆、活动沙丘以及乡村道路的风蚀程度严重, 是新疆沙尘暴天气沙尘的主要来源。在农区, 扩大冬小麦、多年生牧草等冬春绿色覆盖作物种植, 实行保护性耕作制; 在绿洲与沙漠过渡带, 采取禁止放牧及合理开垦, 实行天然封育和弃耕地改造; 对乡村道路实现硬化, 是新疆控制土壤风蚀、减少沙尘暴沙尘源的重要途径。

关键词: 沙尘暴; 塔里木盆地; 主要地表类型; 土壤风蚀; 垂直分布

Soil Erosion of the Main Ground Surface Types Influences on Formation of Dust Storm in South Xinjiang

LI Shao-kun^{1,2}, LU Ming¹, WANG Ke-ru², WANG Xu^{1,2}

(¹Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agriculture Sciences/The National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081; ²Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi 832000, Xinjiang)

Abstract: 【Objective】 The objective of this paper is to study the effect of soil wind erosion of the main ground surface types on formation of dust storm in South Xinjiang as Tarim Basin is one of the areas of high-incidence sand storm and the main sand-sources place in China. 【Method】 Using U.S.A. BSNE sandy samplers, the main surface types and the amount of sand transport with changing height under the sandstorm weather condition in South Xinjiang were observed and analyzed. 【Result】 The results indicate that the order of amount of sand transport on different types of surface is: bare and abandoned farmland, sand heaps of activated shrub clusters, the active sand dunes on the edge of the desert, the rural roads. The amounts of sand transport are little in the seal sandy farmland, cottons covered the film, alfalfa fields, winter wheat, cotton covered stalk and film, the forest land and cotton stalks inside the stubble fields. The amounts of sand transport are more in cottons covered with film paralleling with wind direction than being vertical. The amounts of sand transport in 0-160 cm height obviously relate to types of the surface. The amounts of sand transport ($M, g \cdot cm^{-2}$) follow the regular changes of exponential function $M = aZ^b$ with height (Z, cm) on the bare ground, abandon farmland, sand heaps of activate clusters, the active sand dunes on the edge of the desert, which have no or few vegetation

收稿日期: 2007-04-04; 接受日期: 2008-07-07

基金项目: 兵团绿洲生态农业重点实验室开放课题 (200404)、国家科技支撑计划 (2006BA15B03) 和农业部“发展生态农业治理沙漠化土地”专项
作者简介: 李少昆 (1963-), 男, 甘肃张掖人, 研究员, 博士, 研究方向为作物生态和作物信息科学研究。Tel: 010-82108891; E-mail: Lishk@mail.caas.net.cn

coverage. Best fit results were obtained by using the multinomial $M = a + bZ + cZ^2 + dZ^3$ in fields with vegetation coverage, forest land, etc. Wind erosion amount reduced exponentially with the increase of vegetation cover degree and water content of soil top layer. When vegetation degree is more than 20% or water content of soil top layer more than 5% can obviously reduce the amount of sand transport. 【Conclusion】There are serious wind erosion in bare farmland, abandoned sandy farmland, sand heaps of activated clusters, active sand dune and rural road, which are also main dust sources of the sandstorm in South Xinjiang. Some measures should be adopted to control the soil wind erosion and reduce sandstorm dust and sand source in South Xinjiang, such as expanding the cultivated area of winter wheat, planting perennial grass and green crops, etc, implementing the protective cultivation system, avoiding over-grazing and cultivating rationally on the intermediate zone, sealing and breeding naturally, abandoning and transforming the cultivated land and hardening the rural roads etc. rational cultivation on the intermediate zone, and practicing natural sealing and breeding.

Key words: Sandstorm; Tarim Basin; The main type of the earth's surface; Soil wind erosion; Vertical distribution

0 引言

【研究意义】沙尘暴造成的土壤风蚀一方面可导致土壤质地变粗、结构变差、肥力下降和土地生产力衰退,加速土地荒漠化进程;另一方面,风蚀物不同高度的搬运和在下风地区的堆积,对农作物、工矿交通等设施及大气环境也造成严重的危害^[1-6]。新疆的沙尘暴是中国境内沙尘暴的源头,不仅对全国有影响,而且沙尘暴的频繁出现已严重影响了当地农业生产、经济发展及人民生活水平的提高与生活质量的改善,是西部大开发迫切需要首先解决的生态问题。【前人研究进展】南疆塔里木盆地是中国三大沙尘暴多发区之一,其从麦盖提经巴楚至柯坪和从莎车经和田到且末 2 个多发中心平均年沙尘暴日数达 20.0~38.8 d,最多年份达 59 d,且近年呈加剧的趋势^[1,7]。针对新疆日益严重发生的沙尘暴,前人已开展大量研究,这些研究主要集中在沙尘暴的时空分布特征及变化趋势^[1,8-11]、产生的天气原因^[12,13]及危害等^[14]方面。【本研究切入点】关于南疆不同地表类型土壤风蚀及对形成沙尘暴的影响研究较少。明确不同地表类型土壤风蚀对形成沙尘暴天气的影响,是综合分析沙尘来源和科学治理沙尘暴及防止土地沙漠化科学决策的前提。

【拟解决的关键问题】本文通过在塔里木盆地周边进行沙尘暴天气主要地表类型土壤风蚀的野外测试与研究,以期弄清南疆主要地表类型土壤风蚀对沙尘暴天气形成的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地点及地表类型选择

试验于 2003~2004 年在塔里木盆地进行。地点选择沙尘暴多发区且地表类型丰富并具有代表性的 3 个地方,包括(1)位于阿拉尔兵团农一师 12 团(40°30'N,

81°03'E, 平均海拔 1 013 m), 代表塔里木盆地沙漠边缘的新绿洲;(2)巴楚县城郊(39°4'N, 78°3'E, 海拔 1 130 m)和兵团农三师 45 团(39°1'N, 78°0'E, 海拔 1 162 m), 代表乡镇和农区;(3)和田市墨玉县(36°59'~37°14'N, 79°50'~79°56'E, 海拔 1 300 m), 代表塔里木盆地沙漠边缘的老绿洲。此外,还在塔克拉玛干沙漠腹地取沙样进行了粒径分析。

选择南疆主要地表类型作为沙尘暴天气时土壤风蚀测定对象,包括(1)裸露、弃耕农田;(2)活化灌丛沙堆;(3)封育砂质农田;(4)林地;(5)冬春覆盖作物:苜蓿、冬小麦田;(6)覆膜棉田;(7)作物秸秆、残茬覆盖:棉秆与地膜相间覆盖棉田,留茬地;(8)沙漠边缘的活动沙丘;(9)乡村道路。其中又以农田、弃耕农田和活化灌丛沙堆为新疆主要地表类型,农田主要种植方式为地膜覆盖植棉,在塔里木盆地塔克拉玛干大沙漠周边占农田的 70%以上。

集沙仪放置位置:对裸露、弃耕农田、苜蓿、冬小麦、棉田和封育砂质农田等,集沙仪位于田中距地边 150 m 处,以保证测定的是田内数据;对于活化灌丛沙堆,选择面积较大的连片沙堆,集沙仪位于沙堆中间;对林地(20 m 宽)和乡村道路(10 m 宽),集沙仪放置在林带和路的中间。

1.2 数据采集与处理

用 DEM-6 型三杯风速仪每隔 2 h 观测风向和风速 1 次,取其平均值,作为采样期的风速条件。观测高度为 100 cm。

用美国 BSNE 集沙仪采集不同地表类型的输沙量。在每一观测点放置 1 个集沙仪,在集沙仪上接入风口下沿距地表分别为 20、35、70、110 和 160 cm 的高度安装 5 个沙尘采集器,通过翼板作用使采集器入风口始终正对风向,采集器风沙流入口截面长 5 cm,宽 2 cm。

用风速仪测出观测点的主风向位置, 然后在观测区上风口处放置一组集沙仪, 在下风口处放置两组集沙仪。为保证三组集沙仪采集到的沙尘为同一观测区内的, 参考 Fryear 等^[13]的研究结果确定三组集沙仪的位置 (图 1), 各点用 GPS 定位。

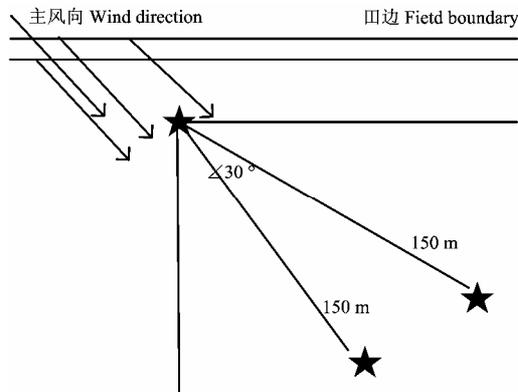


图 1 土壤风蚀物采集器野外布置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipments arranged in the field

测试从一场沙尘暴开始直到沙尘暴结束, 期间, 每 0.5 h 将样点 BSNE 中不同高度的沙样清空分别倒入塑料自封袋内, 测试结束后带回室内称重, 利用筛析法分析各地表类型、不同高度风蚀物各粒级百分含量。同一观测点采集到的沙尘总量即为该地表类型的积沙量 (风蚀量)。观测土壤风蚀的同时, 各地表类型取 0~10 cm 表层土壤, 烘干法测定含水量。

沙尘暴后, 在各观测地表类型样地内按“S”形设置 5 个 1 m×1 m 的样方, 调查植被高度、覆盖度和地上植物干、鲜重量。其中, 地上生物量采用刈割法; 植被覆盖度采用数码相机垂直向下拍摄植株冠层照片, 通过 Matlab 软件分析获得。

所获数据利用 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 南疆主要地表类型风蚀土样及其机械组成分析

由表 1 可见, 本研究确定的 9 种地表类型风蚀土壤机械组成中普遍以粒径 0.25~0.1 mm 和粒径 0.1~0.045 mm 颗粒为主, >0.25 mm 和 <0.045 mm 的颗粒所占比例均很小, 但农田和乡村道路中 <0.045 mm 的颗粒比例相对较高。同时, 表明塔里木盆地新、老绿

洲的土壤多为砂质土, 且因长期风蚀作用 (已退化为风砂土) 质地较粗、结构松散且生产力低下, 土壤抗风蚀能力差。

塔克拉玛干沙漠腹地土壤颗粒由细砂组成, 砂粒直径在 0.02~1.0 mm 之间, 以极细砂 (粒径 0.1~0.045 mm, 占 46.78%) 和细砂 (粒径 0.25~0.1 mm, 占 36.17%) 为主, 而粒径为 0.045~0.02 mm 的颗粒仅占 0.24%, 没有 <0.02 mm 的颗粒。

2.2 沙尘暴天气条件下南疆主要地表类型的土壤风蚀量

输沙量大小反映风蚀量大小。表 2 为地表以上 20~160 cm 高度垂直截面每平方厘米的输沙量。由表 2 可见, 在沙尘暴条件下, 不同地表类型间的输沙量存在显著差异 ($P<0.05$)。2 年 4 个观测区多点测试结果表明, 不同地表类型输沙量以裸露、弃耕农田最多, 其次为活化灌丛沙堆、沙漠边缘的活动沙丘、乡村道路, 而封育砂质农田、覆膜棉田、苜蓿地、冬小麦、棉秆与地膜相间覆盖棉田、林地、棉秆留茬地输沙量较少。即裸露、弃耕农田的风蚀程度最为严重, 如 2003 年测试结果, 裸露、弃耕农田输沙量平均为林地、冬麦和覆盖棉田的 1.5 倍以上; 2004 年和田点弃耕农田风蚀量是覆膜棉田和苜蓿地的 30 倍以上。

由此可见, 裸露农田 (包括新垦荒地、弃耕农田)、活化灌丛沙堆、活动沙丘以及乡村道路在沙尘暴天气条件下风蚀最为严重, 是南疆沙尘暴沙尘的主要来源, 而采取覆盖、增加地表粗糙度的保护性措施可明显减少土壤风蚀, 降低沙尘暴的危害。

2.3 输沙量随高度的变化

收集不同高度输沙量, 从 4 次沙尘暴天气测定的结果 (图 2) 可见, 在 0~160 cm 高度范围内, 输沙量的分布特征明显的与地表植被、残茬等类型、高度有关, 其中裸露、弃耕农田、活化灌丛沙堆、活动沙丘等无或少植物覆盖地表, 输沙量随高度变化遵循幂函数规律变化见方程 (1), 其中 0~35 cm 高度输沙量占总输沙量的 50% 以上, 90% 的输沙量集中在 0~70 cm 以内。

$$M = aZ^b \quad (1)$$

式中: M 为各层输沙量 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), Z 为距地高度 (cm), a , b 为待定系数。

在植被覆盖条件下, 地表因免受风直接吹蚀及植被分散地面上一定高度内的风动量, 阻止被蚀物质的运动, 在 0~160 cm 高度范围内, 随高度增加输沙量减少的不明显, 两者关系以方程 (2) 拟合效果最好。

表 1 南疆主要地表类型测试点土壤类型与土样颗粒组成

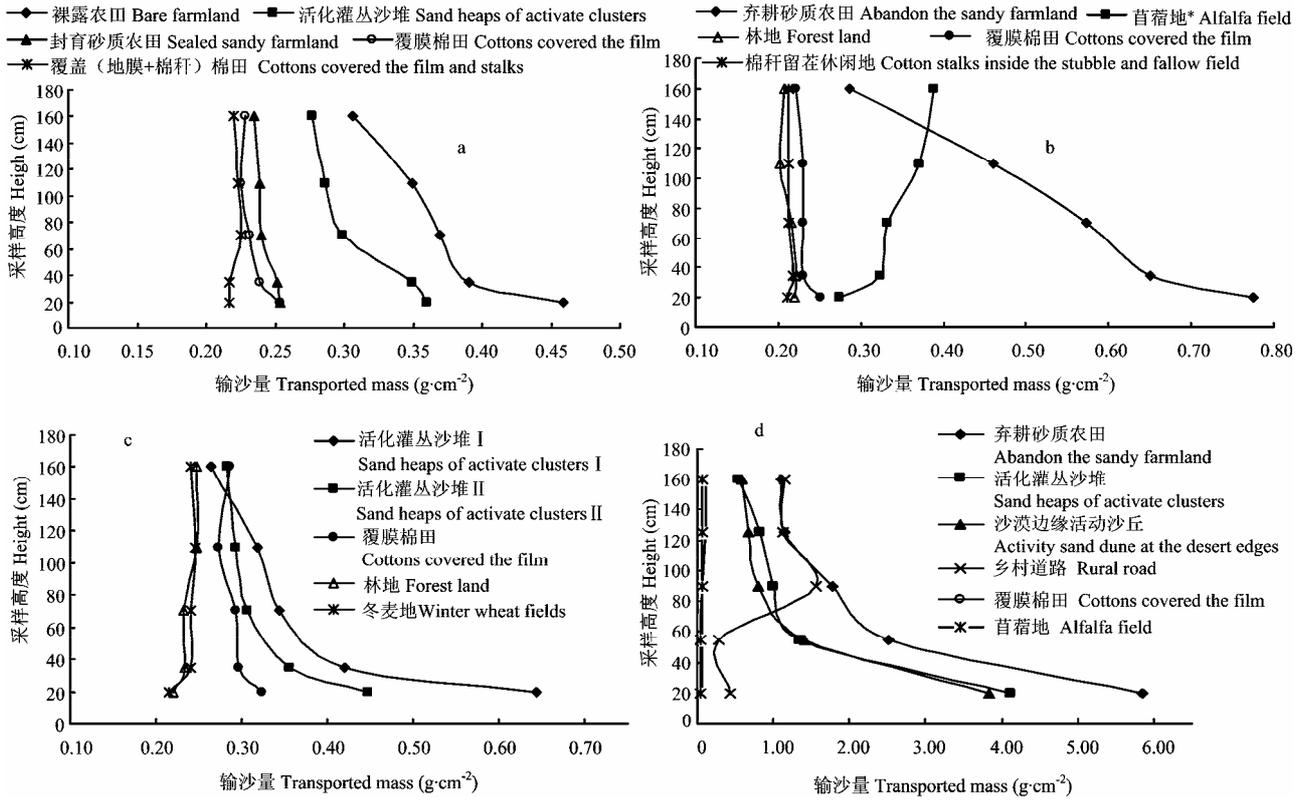
Table 1 The soil types and the compositions of the soil particle constitutes in the main surface of South Xinjiang

	各类粒级所占的百分数 Percentage of various sand particle size(%)						
	>1.0 mm	1.0~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.1 mm	0.1~0.045 mm	0.045~0.02 mm	<0.02 mm
阿拉尔, 农一师 12 团 Allard, 1 agricultural division and 12 regiment							
裸露农田 Bare ground	0	0	0	10.55	63.15	25.52	0.77
活化灌丛沙堆 Sand heaps of activate clusters	0	0	0	26.26	71.08	2.66	0
封育砂质农田 Sealed sandy farmland	0	0	0.21	6.29	89.37	4.10	0.03
覆膜棉田 Cottons covered the film	0	0	1.36	26.07	60.49	12.09	0
覆盖(地膜+棉秆)棉田 Cottons covered the film and stalks	0	0	3.14	23.53	66.00	7.19	0.14
麦盖提, 农三师 45 团 Maigaiti ,45 regiments of three agricultural divisions							
弃耕砂质农田 Abandon the sandy farmland	0	0	7.20	83.35	9.02	0.43	0
覆膜棉田 Cottons covered the film	0	0	2.11	7.69	78.11	12.08	0
林地 Forest land	0	0	11.64	15.13	65.09	8.14	0
棉秆留茬休闲地 Cotton stalks inside the stubble and fallow field	0	0	11.81	49.52	31.58	7.05	0.04
苜蓿地 Alfalfa ground	0	0	5.21	19.36	19.78	55.61	0.03
巴楚 Bachu							
活化灌丛沙堆 I Sand heaps of activate clusters I	0	0.12	2.21	33.87	63.09	0.70	0
活化灌丛沙堆 II Sand heaps of activate clusters II	0	0	7.91	64.58	26.67	0.83	0
覆膜棉田 Cottons covered the film	0	0	3.13	39.25	48.57	9.01	0.04
林地 Forest land	0	0	2.66	15.78	77.39	4.11	0.05
冬麦地 Winter wheat field	0	1.20	16.38	25.46	48.77	8.14	0.05
塔克拉玛干沙漠腹地, 塔中 Hinterland of Takla Makan Desert							
沙脊部表层 0~3 cm Surface layer in sand spine 0-3cm	0	0	39.15	34.28	26.40	0.17	0
沙脊部 3~20 cm Sand spine 3-20 cm	0	0	2.96	45.77	51.14	0.13	0
沙凹部表层 0~3 cm Surface layer in sand concave 0-3 cm	0	8.84	12.77	30.91	47.28	0.19	0
沙凹部 3~20 cm Sand concave 3-20 cm	0	0.47	2.55	32.83	63.65	0.51	0
和田 Hetian							
和田乡村道路 Rural road in Hetian	6.16	2.68	4.47	9.38	61.97	15.34	0
墨玉县科尔赛乡哈尔墩村 Kesai village of Haerdun township in Moyu county							
绿洲沙漠过渡带的林地 Forest land of the oasis desert intermediate zone	3.68	1.41	1.50	3.86	86.34	3.21	0
边缘过渡带的活动沙丘 Activity sand dune in the edge intermediate zone	0	0.82	27.26	38.50	32.82	0.60	0

$$M=a+bZ+cZ^2+dZ^3 \quad (2)$$

式中: M 为各层输沙量 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), Z 为距地高度 (cm), a, b, c, d 为待定系数。

由表 3 可见, 输沙量与高度的函数关系其相关系数大都达到了显著水平, 说明拟合效果较好。其中回归系数反映了输沙量随高度的变化与风速、土壤不可



a: 阿拉尔, 农一师 12 团; b: 麦盖提, 农三师 45 团; c: 巴楚; d: 和田 (5 月 20 日、5 月 21 日和 6 月 1 日 3 次测试平均)。*苜蓿地距其它 4 个测点 7~8 km
 a: Allah, 1 agricultural division and 12 regiment; b: Maigaiti, 45 regiments of three agricultural divisions; c: Bachu; d: Hetian (The averages among three times).
 * Alfalfa field is far 7-8 km from the other places

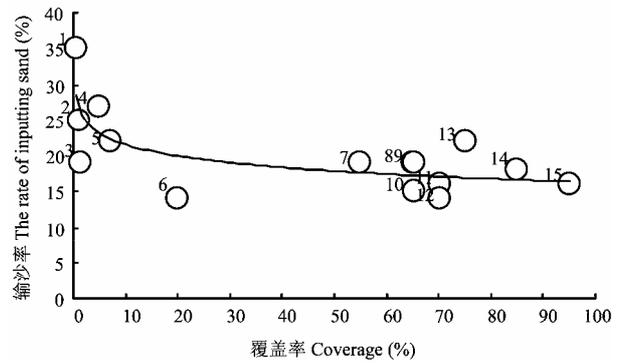
图 2 不同地表类型各高度层的输沙量分布

Fig. 2 Transported sand at different heights of different surfaces

蚀性颗粒含量等地表状况之间的关系。在幂函数 $M=a \cdot Z^b$ 中, b 绝对值变小, 风蚀物含量随高度的递减程度减少; 反之, 递减程度增加。

3.4 地表覆盖率与土壤含水量对输沙量的影响

为了使不同地表类型测试间有可比性, 引入输沙率 (%) 指标。输沙率 (%) 为测定各地表类型输沙量占同次测定的所有地表类型输沙量的百分率。表 4 为 2003 年度沙尘采集期间同步测定的地表土壤含水量、植被状况及输沙率。由表 4 可见, 裸露、弃耕农田、活化灌丛沙堆植被覆盖度小, 并伴有较低的土壤含水量。同时, 由图 3 和图 4 可见, 随植被覆盖度减少和土壤表层含水量的减少, 输沙率增加, 且当植被覆盖度 >20% 或土壤含水量 >5% 时, 随植被覆盖度和土壤含水量的增加, 输沙率缓慢减少; 当植被盖度 <20% 或土壤含水量 <5% 时, 输沙率迅速增加。这一结果与前人在同一类型地表上采用风洞实验得到的数据趋势相同^[15-17]。



地表类型号按 2003 年阿拉尔、麦盖提、巴楚 3 地测试地表覆盖率的大小排序, 见表 4
 The numbers of surface type were determined according as the coverage by mensurated at Allah, Maigaiti and Bachu of Xinjiang in 2003, as in table 4

图 3 地表覆盖率与输沙率的关系

Fig. 3 Relationship between the coverage on earth surface and the rate of inputed sand

表 2 沙尘暴天气下南疆不同地表类型土壤的风蚀量

Table 2 The wind erosion quantity of different types of soil of the earth's surface under the sandstorm weather in South Xinjiang

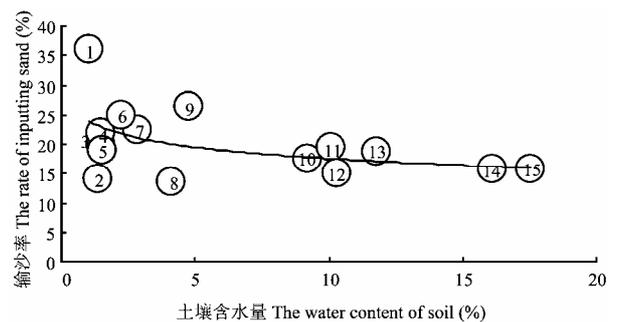
地表类型 Surface types	输沙量 The amount of sand distributes	
	g·cm ⁻²	%
阿拉尔, 农一师 12 团 Allard, 1 agricultural division and 12 regiment		
裸露农田 Bare ground	0.375 a	100
活化灌丛沙堆 Sand heaps of activate clusters	0.314 b	83.7
封育砂质农田 Sealed sandy farmland	0.244 c	65.1
覆膜棉田 Cottons covered the film	0.236c	62.9
覆盖膜田(地膜+棉秆) Cotton covered the film and stalks	0.220 c	58.7
巴楚 Bachu		
活化灌丛沙堆 I Sand heaps of activate clusters I	0.389 a	100
活化灌丛沙堆 II Sand heaps of activate clusters II	0.337 ab	86.6
覆膜棉田 Cottons covered the film	0.291 b	74.8
林地 Forest land	0.236 b	60.7
冬麦地 Winter wheat fields	0.236 b	60.7
麦盖提, 农三师 45 团 Maigaiti, 45 regiments of three agricultural divisions		
弃耕砂质农田 Abandon the sandy farmland	0.549 a	100
苜蓿地 Alfalfa ground ²⁾	0.338 b	61.6
覆膜棉田 Cottons covered the film	0.233 bc	42.4
林地 Forest land	0.213 c	38.8
棉秆留茬休闲 Cotton stalks inside the stubble and fallow fields	0.213 c	38.8
和田 Hetian		
弃耕砂质农田 Abandon the sandy farmland	4.665a	100
活化灌丛沙堆 Sand heaps of activate clusters	2.929b	62.0
沙漠边缘活动沙丘 Activity sand dune at the desert edge	2.069b	44.4
乡村道路 Rural road	2.102b	45.1
覆膜棉田 Cottons covered the film	0.145c	3.1
苜蓿地 Alfalfa field	0.125c	2.7

¹⁾ 统计分析采用新复极差, 不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。²⁾ 麦盖提苜蓿地较同组其它 4 个测点相距 7~8 km

¹⁾ Valued followed by different letters indicate significant different at 0.05 probability level by Duncan's test. ²⁾ Alfalfa fields are relatively far in the same group, which are from 7-8 km in other sites

3 讨论

3.1 关于新疆沙尘来自于塔克拉玛干大沙漠的认识可能是一误区。以往普遍认为新疆沙尘暴的尘源来自塔克拉玛干沙漠。从本研究对塔克拉玛干沙漠腹地土壤颗粒分析可看出, 塔克拉玛干沙漠土壤的粒径在 0.02~1.0 mm 之间, 且以极细砂(粒径 0.1~0.045 mm, 占 46.78%) 和细砂(粒径 0.25~0.1 mm, 占 36.17%) 为主, 而粒径为 0.045~0.02 mm 的颗粒仅占 0.24%, 没有 <0.02 mm 的颗粒。据沙漠专家朱震达等^[18]的分析, 土壤受风蚀时, 损失的是易蚀的细小颗粒, 对于一个大的区域来讲, 损失的是主要悬移质的粉尘, 粒径 <0.045 mm。另外, 根据气象部门采样, 沙尘暴天气的悬浮颗粒直径在 0.25~16 μm, 平均 2.2 μm^[19]。



地表类型号按 2003 年阿拉尔、麦盖提、巴楚 3 地测试地表土壤含水量大小排序, 见表 4

The numbers of surface type were determined according as the water content of soil top layer by mensurated at Allah, Maigaiti and Bachu of Xingjiang in 2003, as in table 4

图 4 表层土壤含水量与输沙率关系图

Fig. 4 Relationship between the water content of soil top layer and the rate of inputted sand

表 3 新疆主要地表类型输沙量随不同高度的变化模型

Table 3 The models of transported sand at different heights of different surfaces in South Xinjiang

地表类型 Surface types	拟合方程 Fit equation	R^2
阿拉尔, 农一师 12 团 Allah, 1 agricultural division and 12 regiment		
裸露农田 Bare farmland	$M=0.264Z^{5.500}$	0.944**
活化灌丛沙堆 Sand heaps of activate clusters	$M=0.019Z^{6.961}$	0.962**
封育砂质农田 Sealed sandy farmland	$M=2E-13Z^{23.793}$	0.947**
覆膜棉田 Cottons covered the film	$M=2.447-0.019Z+2.06\times 10^{-4}Z^2-6.70\times 10^{-7}Z^3$	0.999**
覆盖(地膜+棉秆)棉田 Cottons covered the film and stalks	$M=1.779+3.92\times 10^{-3}Z-3.34\times 10^{-5}Z^2-6.81\times 10^{-8}Z^3$	0.890*
麦盖提, 农三师 45 团 Maigaiti, 45 regiments of three agricultural divisions		
弃耕砂质农田 Abandon the sandy farmland	$M=16.184Z^{2.037}$	0.861*
覆膜棉田 Cottons covered the film	$M=0.680-0.0023Z+1.225\times 10^{-5}Z^2-2.182\times 10^{-8}Z^3$	0.971**
林地 Forest land	$M=1.827+0.005Z-9.08\times 10^{-5}Z^2+3.15\times 10^{-7}Z^3$	0.998**
棉秆留茬休闲地 Cotton stalks inside the stubble and fallow field	$M=0.209+0.0008Z-1.396\times 10^{-5}Z^2+5.34\times 10^{-8}Z^3$	0.999**
苜蓿地 Alfalfa field	$M=43434Z^{6.011}$	0.945**
巴楚 Bachu		
活化灌丛沙堆 I Sand heaps of activate clusters I	$M=5.861Z^{2.421}$	0.940**
活化灌丛沙堆 II Sand heaps of activate clusters II	$M=0.517Z^{4.332}$	0.924**
覆膜棉田 Cottons covered the film	$M=0.0001Z^{10.703}$	0.937**
林地 Forest land	$M=0.439+0.00029Z+4.460\times 10^{-6}Z^2-2.59\times 10^{-8}Z^3$	0.936**
冬麦地 Winter wheat fields	$M=0.378+0.0038Z-3.884\times 10^{-5}Z^2+1.20\times 10^{-7}Z^3$	0.890*
和田 Hetian		
弃耕砂质农田 Abandon the sandy farmland	$M=166.690Z^{1.191}$	0.989**
活化灌丛沙堆 Sand heaps of activate clusters	$M=80.959Z^{1.064}$	0.988**
沙漠边缘活动沙丘 Activity sand dune at the desert edges	$M=88.153Z^{1.070}$	0.984**
乡村道路 Rural road	$M=0.562-0.0181Z+4.9\times 10^{-4}Z^2-1.92\times 10^{-6}Z^3$	0.804*
覆膜棉田 Cottons covered the film	$M=0.080-0.0013Z+2.128\times 10^{-5}Z^2-7.50\times 10^{-8}Z^3$	0.992**
苜蓿地 Alfalfa field	$M=0.060-0.0008Z+1.25\times 10^{-5}Z^2-4.86\times 10^{-8}Z^3$	0.997**

表中*和**分别为 0.05 和 0.01 水平显著 **Represented significant deference at 0.05 and 0.01 probability level, respectively

由此可见, 塔克拉玛干沙漠土壤中的悬移质粉尘数量很少, 不是沙尘暴的主要尘源。也有研究报道, 位于塔克拉玛干沙漠腹地的柏油公路在几十年中仅观察到一次沙尘暴^[20], 也是一很好的佐证。

3.2 新疆荒漠系统(沙漠、砾质戈壁与平原荒漠草场及裸土、盐壳、盐泥等)约占 50%, 绿洲约占 10%, 绿洲几乎被广大的荒漠所分割或包围, 全疆 87 个县(市)中有近 80 个县(市)和近 90 个农垦团场有沙漠分布, 受风沙和荒漠化的危害。绿洲和荒漠之间的过渡带是“生态裂谷”, 人工绿洲的垦荒、扩建主要是在这些过渡带进行, 若是过度樵采、放牧和开垦, 使植被衰败, 灌丛沙堆极易活化, 造成地面裸露, 同时也降低了土壤的临界风速, 在风力作用下, 造成沙漠化, 绿洲的弃耕地也多发生在这一地带。测试点中位于阿拉尔农一师 12 团的裸露农田是块新垦荒地, 土

壤颗粒(表 1)分析表明, 其<0.045 mm 的颗粒占土壤颗粒的 26.29%, 具有丰富的悬移质细小颗粒, 由于地表裸露, 在大风作用下, 极易产生强烈的沙尘。位于麦盖提农三师 45 团与和田的弃耕、裸露农田观测点, 也发现相同现象。活化灌丛沙堆含有细小颗粒, <0.045 mm 的颗粒占 0.70%~2.66%, 高于沙漠(0.24%), 容易成为沙尘暴尘源。因此, 本文认为, 裸露、弃耕农田和活化灌丛沙堆多处于过渡带, 风蚀危害程度非常严重, 是沙尘暴的重要沙尘源。而弃耕农田经封育后则可明显减轻土壤风蚀。

塔里木盆地周边农田中以棉田为主, 面积占 70% 以上, 棉田土壤耕作均沿用翻耕法, 秋季收获后翻地晒垡、裸露休闲。春季由于近地面气层很不稳定, 局部区域对流旺盛, 锋面活动十分活跃, 极易形成大风天气。在春季棉花覆膜播种前(3~4 月)正是南疆一

表 4 各测点土壤含水量与植被、地膜等覆盖状况

Table 4 Water content of soil top layer and the covering state of vegetation, plastic film, etc. in each places

编号 Number	地表类型 Kinds of surface	含水量 Water content (%)	植被高度 Height of the vegetation (mm)	覆盖度 Cover degree (%)	覆盖量(干物重) Covering amount (g·m ⁻²)	输沙率 The amount of sand distributes (%)
阿拉尔, 农一师 12 团, 2003 年 5 月 10~11 日 Allah, 1 agricultural division and 12 regiment, the 10th -11th of May, 2003						
1	裸露农田 (新垦荒地) Bare farmland	1.47	0	0	0	
2	活化灌丛沙堆 Sand heaps of activate clusters	2.26	0	0	0	
3	封育砂质农田 Sealed sandy farmland	1.52	160(苗木 Seedling)	55	-	
4	覆膜棉田 Cottons covered the film	11.77	6	65	-	
5	地膜+棉秆覆盖棉田 Cottons covered the film and stalks	9.18	6	85	-	
麦盖提, 农三师 45 团, 2003 年 5 月 12 日 Maigaiti, 45 regiments of three agricultural divisions, the 12th of May, 2003						
6	弃耕砂质农田 Abandon the sandy farmland	1.03	0	0	0	
7	覆膜棉田 Cottons covered the film	10.32	7	65	7.0	
8	林地 Forest land	1.35	600~700	70	-	
9	棉秆留茬休闲地 Cotton stalks inside the stubble and fallow fields	4.13	40	20	150.6	
10	苜蓿地 Alfalfa fields	1.48	75	75	635.0	
巴楚, 2003 年 5 月 14~15 日 Bachu, the 14th - 15th of May, 2003						
11	活化灌丛沙堆 I Sand heaps of activate clusters I	4.78	30	5	-	
12	活化灌丛沙堆 II Sand heaps of activate clusters II	2.87	30	7	-	
13	覆膜棉田 Cottons covered the film	10.08	6	65	7.0	
14	林地 Forest land	17.53	1100	70	17.7	(芦苇等杂草 Commonreed, etc.)
15	冬麦地 Winter wheat fields	16.11	69	95	789.8	
和田, 2004 年 6 月 1 日 Hetian, the 6th of June, 2003						
16	弃耕砂质农田 Abandon the sandy farmland	0.36	0	0	0	
17	活化灌丛沙堆 Sand heaps of activate clusters	2.87	0	0	0	
18	沙漠边缘活动沙丘 Activity sand dune at the desert edges	0.23	0	0	0	
19	乡村道路 Rural road	1.83	0	0	0	
20	覆膜棉田 Cottons covered the film	1.14	25	68	38.0	
21	苜蓿地 Alfalfa fields	3.22	38	80	316.2	

“-”表示未有测定数据 “-”Denote the data not to be tested

年中气温回升最快、风力和风速最大的时期, 此时由于春播对土壤进行多次耕翻、耙耩, 形成了一个疏松的耕层, 加之此时田间无作物覆盖, 为沙尘暴提供了丰富的沙尘物质, 因此, 南疆春季裸露棉田也是沙尘暴的重要尘源, 当地膜覆盖后, 棉田风蚀明显减轻。

本次研究的沙尘暴天气条件下, 乡村道路的起风量显著高于覆膜棉田和苜蓿地, 通过采集村庄道路的土样分析, 发现<0.1 mm 的颗粒高达 77.31%, <0.045 mm 的颗粒达到 15.34%, 因此, 可以认为乡村道路是另一重要的沙尘源。

从 4 个沙尘采集区看, 凡是覆盖良好的农田, 不论是绿色植被覆盖 (冬麦、苜蓿地和林地), 还是秸

秆及残茬覆盖, 土壤风蚀量较低。棉田覆盖农膜也能明显降低风蚀量, 但其效果受地膜覆盖带向与主风向的影响。阿拉尔、麦盖提和和田测点覆膜带与风向垂直, 土壤风蚀少; 而巴楚测点覆膜带与主风向基本一致, 防止土壤风蚀效果相对较差。在覆膜棉田行间加秸秆或棉秆留茬能明显增加地表粗糙度, 对风蚀的降低作用极为明显。

3.3 明确植被覆盖度、土壤含水量等与土壤风蚀强度之间的关系具有实践意义。Wasson 等^[15]曾在理论上推导植被盖度与风蚀率呈指数关系。董治宝等^[16]采用风洞实验得到了验证。刘玉璋等^[17]依据起沙风速与植被盖度之间的关系计算认为, 植被盖度在 17%左右需要

大约 $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的风速, 才能形成风沙。本文测定表明, 裸露农田(新垦荒地、弃耕砂质农田)、活化灌丛沙堆以及乡村道路土壤风蚀危害非常严重, 特别是在大风与干旱同期的春季(3~6 月份), 与这些地表类型的土壤表层植被覆盖度和含水量低有关。对在南疆不同地表类型上获得的野外实测数据进一步分析表明, 随植被覆盖度减少和土壤表层含水量的减少, 输沙量呈指数增加, 与前人在同一类型地表上通过风洞实验得到的结果相似, 初步认为, 在南疆植被覆盖度临界指标控制在约 20% 以上或土壤含水量在 5% 以上, 可明显降低各地表类型土壤的风蚀率。

4 结论与建议

通过在塔里木盆地周边进行沙尘暴天气主要地表类型土壤风蚀的野外测试与研究表明, 裸露农田、弃耕砂质农田、活化灌丛沙堆、活动沙丘以及乡村道路的风蚀程度严重, 是南疆沙尘暴天气沙尘的主要来源。

基于对沙尘暴来源于沙漠的片面认识, 长期以来人们只重视沙漠及沙荒地治理, 把主要精力放在了沙漠治理上, 而忽视了农田和过渡带的防沙, 片面的将植树造林作为防止沙尘暴的主要措施, 导致在过去几十年的沙漠治理中, 花钱不少, 收效甚微, 只取得了“局部改善, 整体恶化”的结果, 而沙尘暴却呈日益加重趋势。因此, 对沙尘暴的治理应通过发展高效生态农业予以综合治理, 建议如下:

4.1 在农区, 调整农、林、牧及种植业结构, 提高畜牧业和林业比例, 扩大冬春覆盖作物的种植面积, 重视保护性耕作技术的研究与推广。

在农林牧产业结构方面, 应加大绿洲畜牧业和林业的比例。在种植业结构方面, 应扩大冬小麦、小黑麦、多年生牧草等生态作物种植, 棉田实施草-棉轮作制, 增加冬春土地覆盖面积, 既增加粮食, 又可满足新疆畜牧业快速发展对饲草的需求, 并保护自然生态。

目前美国有 60% 的耕地实行了免耕法种植, 澳大利亚自 20 世纪 70 年代以来, 在全国建立了保护性耕作试验站, 大力推广秸秆、残茬覆盖和免耕等保护性耕作方法, 使水土流失减少 90%, 减少风蚀 70%~80%, 收到了良好的生态经济效果, 保护性耕作发展迅速。针对新疆干旱少雨, 风大沙多, 地表植被稀少, 特别是冬春季节地表裸露, 土壤风蚀严重的特点, 采用保护性耕作不但减去了传统耕作中的耕翻、耙耱和整地等环节, 有效降低生产成本, 又可避免冬春季土地强烈风蚀, 减少春季升温蒸发, 蓄水保墒, 促进苗

全苗壮, 提高作物产量, 目前麦地免耕种植技术在新疆已获成功, 应进一步加大研究和推广力度。

4.2 在绿洲边缘过渡带建立一圈自然植被作为隔离带, 采取禁止放牧及盲目开垦, 实行天然封育, 增加植被覆盖度, 与绿洲的人工植被相结合, 形成一片面积较大的覆盖植被, 减少沙尘尘源。过渡带以往用于放牧和薪炭的功能通过“生态置换”予以解决。通过发展绿洲农区畜牧业, 避免因超载放牧引起的天然草场退化和对植被的破坏问题。充分利用新疆太阳能、风能资源丰富特点和沼气等可再生能源, 同时种植一部分薪炭林, 解决农牧民的烧柴、取暖等农村能源问题, 减少人为对荒漠植被的破坏。新疆古尔班通古特沙漠南缘近 20 年的大面积封育和人工种植红柳、梭梭等沙生植物, 在过渡带已形成了一条绿色的自然植被长廊环绕绿洲, 垦区生态环境改善, 沙尘暴天气明显减少。

4.3 重视农村道路的硬化。新疆南部乡村道路的尘土也是重要的沙尘源, 建议国家优先安排新疆南部的乡村道路建设, 实施铺设柏油路计划。

References

- [1] 王式功, 董光荣, 陈惠忠, 李希良, 金 炯. 沙尘暴研究的进展. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349-356.
Wang S G, Dong G R, Chen H Z, Li X L, Jin J. Advances in studying sand-dust storms of China. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(4): 349-356. (in Chinese)
- [2] Ubben J A. Erosion, transpiration and sedimentation performed by atmosphere. *Journal of Geology*, 1894, 2: 318-331.
- [3] Woodruff N P, Siddoway F H. A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1965, 29: 602-608.
- [4] Littmann T. Dust storm frequency in Asia: climatic control and variability. *International Journal Climatology*, 1991, 11: 393-412.
- [5] Pettke T, Alex N H, Hall C M, Rea D K. Dust production and deposition in Asia and the North Pacific Ocean over the past 12 Myr. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 178: 397-413.
- [6] Chepil W S. The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy*, 1963, 15: 211-301.
- [7] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106-111.
Qian Z A, Song M H, Li W Y. Analyses on distributive variation and forecast of sand dust storms in recent 50 years in North China. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(2): 106-111. (in Chinese)
- [8] 沙拉买提. 塔里木盆地沙尘暴的历时分析特征. 干旱区研究, 1996,

- 13(3): 21-27.
- Shalamaiti. The characteristic of distribution of sandstorm in a period of time in the Tarim Basin. *Arid Zone Research*, 1996, 13(3): 21-27. (in Chinese)
- [9] 王 旭, 马 禹, 陈洪武. 新疆沙尘暴天气的气候特征. *中国沙漠*, 2003, 23(5): 539-544.
- Wang X, Ma Y, Chen H W. Climatic characteristics of sandstorm in Xinjiang. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(5): 539-544. (in Chinese)
- [10] 何 清, 向 鸣, 唐淑娟. 塔克拉玛干沙漠腹地两次强沙尘暴天气分析. *中国沙漠*, 1998, 18(4): 320-327.
- He Q, Xiang M, Tang S J. Synoptic analyses of two strong sandstorms in the hinterland of Taklimakan Desert. *Journal of Desert Research*, 1998, 18(4): 320-327. (in Chinese)
- [11] 周自江, 章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954-2002 年). *科学通报*, 2003, 48(11): 1224-1228.
- Zhou Z J, Zhang G C. Analysis of the several group classical dust storms in North China(1954-2002). *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(11): 1224-1228. (in Chinese)
- [12] 陈洪武, 王 旭, 马 禹. 大风对新疆沙尘暴的影响. *北京大学学报(自然科学版)*, 2003, 39(2): 187-193.
- Chen H W, Wang X, Ma Y. Effect of strong winds on sandstorms in Xinjiang. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2003, 39(2): 187-193. (in Chinese)
- [13] Fryear D W, Saleh A. Wind erosion: field length. *Soil Science*, 1996, 16(6): 398-404.
- [14] 徐海量, 陈亚宁. 塔里木盆地风沙灾害危险性评价. *自然灾害学报*, 2003, 12(2): 35-40.
- Xu H L, Chen Y N. Hazard assessment of wind sand disaster in Tarim Basin. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(2): 35-40. (in Chinese)
- [15] Wasson R J, Nanniga P M. Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1986, 11(4): 505-514.
- [16] 董治宝, 陈渭南, 李振山, 杨佐涛. 植被对土壤风蚀影响的风洞试验研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(2): 1-8.
- Dong Z B, Chen W N, Li Z S, Yang Z T. The study of the action or effects of the soil erosion on vegetation. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1996, 2(2): 1-8. (in Chinese)
- [17] 刘玉璋, 董光荣, 李长治. 影响土壤风蚀主要因素的风洞试验研究. *中国沙漠*, 1992, 12(4): 41-47.
- Liu Y Z, Dong G R, Li C Z. Study on some factors influencing soil erosion by wind tunnel experiment. *Journal of Desert Research*, 1992, 12(4): 41-47. (in Chinese)
- [18] 朱震达, 朱俊风. 中国沙漠治理. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- Zhu Z D, Zhu J F. *Control of Desert in China*. Beijing: China Forestry Sciences Press, 1999. (in Chinese)
- [19] 路 明. 我国沙尘暴发生成因及其防治策略. *中国农业科学*, 2002, 35(4): 440-446.
- Lu M. Formation causes and control of sandstorm in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(4): 440-446. (in Chinese)
- [20] 路 明. 防治沙尘暴和治理沙漠化土地的原理和方法. 北京: 中国科学技术出版社, 2004.
- Lu M. *Theories and Methods of Control Sandstorm and Reclamation Desertification*. Beijing: China Technology and Science Press, 2004. (in Chinese)

(责任编辑 郭银巧)