

乌兰布和沙漠不同下垫面风沙流结构与变异特征

徐 军, 郝玉光, 刘 芳, 陈海玲, 辛智鸣, 孙 非

(中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心, 内蒙古 磴口 015200)

摘 要:对乌兰布和沙漠流动、半固定、固定沙丘 3 种不同下垫面 0—40 cm 气流层内的风沙流结构的研究表明:(1) 0—40 cm 高度层,输沙量随风速的增加而增加;在不同的风速下,流动沙丘的总输沙量大于半固定沙丘,半固定沙丘的输沙量大于固定沙丘,且呈指数函数关系。(2) 在同一风速下,0—40 cm 高度层,三种不同下垫面的相对输沙量随高度的增加呈幂函数递减趋势。(3) 随高度的增加,中沙粒基本呈递减趋势,细沙粒呈现递增趋势,但增幅因下垫面的不同而异。(4) 三种不同下垫面近地表 0—10 cm 层风沙流结构特征数 S 值均小于 3.8,而特征值 λ 均大于 1,表明三种下垫面均处于风蚀或搬运状态。

关键词:乌兰布和沙漠; 风沙流结构特征; 输沙量; 粒度组成

中图分类号: P931.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)04-0095-04

Wind-Sand Flow Structure and Its Variation under Different Surface Conditions in the Ulanbuh Desert

XU Jun, HAO Yu-guang, LIU Fang, CHEN Hai-ling, XIN Zhi-ming, SUN Fei

(Desert Forest Experimental Centre, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: Wind-Sand flow structure and its variation of 0—40 cm in the mobile sand dune, semifixed dune and fixed dune of Ulanbuh desert are investigated. The results show as the followings: (1) 0—40 cm vertical height, total windblown sand flux increases with the increase of wind speed; total windblown sand flux of mobile sand dune is greater than total windblown sand flux of semifixed dune and fixed dune at different wind speed, presents decreasing function of exponential relation; (2) under the same wind velocity, 0—40 cm vertical height, relative windblown sand fluxes of three types of surfaces present decreasing function of power relation with the increase of the height; (3) with the increase of the height, medium sand particles basically present decreasing trend, while fine sand particles increase, and the increase ranges are different under different surface conditions; (4) three types of different surface conditions near surface 0—10 cm layer of wind-sand flow structure features of S values are less than 3.8, and λ value is greater than 1, indicating that three types of different surface conditions are in a state of wind erosion or transfer.

Key words: Ulanbuh desert; wind-sand flow structure; windblown sand flux; particle size distribution

风沙流结构是指风沙流中的沙量在垂直高度上的分布规律,对其的研究一直是风沙研究关注的热点之一^[1-3]。风沙运动规律是治沙的理论基础,它能直接表征沙粒的运动形式,判断地表的蚀积状况^[4]。通过研究风沙流中沙量在垂直高度的分布及变化规律,可以进一步认识颗粒运动的启动机制和运行特征,也可以分析风沙地貌形态的形成发育、演变发展等规律,从而采取有效措施控制和促进风沙运动^[5],因此,

对风沙流结构的研究在沙漠治理的理论和实践中占有重要的地位。近年来,许多研究者对沙漠地区和砾漠地区的风沙流结构特征进行了大量的野外观测和风洞模拟实验研究,阐明风沙流运动是一种贴近地表的沙粒搬运过程并初步建立了定量描述沙质地表空气动力学特征、起动风速、输沙量及其垂直分布规律及沙丘运移的简单模型^[6-14]。但众多学者的研究一般都局限于某一类型的沙丘,且限于 20 cm 高度层,

对较高高度层中的风沙流结构研究较少,鉴于此,本文以风沙频繁的春季为研究时段,采用集沙仪测定风蚀量的方法,研究乌兰布和沙漠不同类型沙区 0—40 cm 层的风沙流结构及其变异特征。确定不同类型沙区 0—40 cm 气流层内的输沙量、相对输沙量及其与高度的关系;分析不同类型沙区地表风蚀物粒度组成随高度的变异规律;探讨不同下垫面的风沙蚀积特征,以明确不同类型的风沙流结构,揭示其运动规律,为乌兰布和沙漠的防沙治沙规划及固沙措施的选择提供理论依据和技术支撑。

1 试验材料与方法

1.1 研究地概况

试验区位于内蒙古磴口县境内,乌兰布和沙漠东北边缘,中国林业科学研究院沙漠林业实验中心第二实验场,地理坐标为:40°28'N,106°46'E,试验地海拔 1 040~1 060 m。气候干旱多风,年均气温 7.8℃,年均降水 102.9 mm,主要灾害风向为西北风,以春季 3—5 月风速最大,年均风速 4.1 m/s,全年风沙日数 85 d。区内固定沙丘、半固定沙丘、丘间低地与流动沙丘相间分布,且以固定、半固定沙丘为主。风沙频繁,地表风蚀强烈。

1.2 试验设计

于 2011 年 4 月初 5 月底,在乌兰布和沙漠的流动(植被覆盖度<15%)、半固定(植被覆盖度>15%)及固定(植被覆盖度>30%)沙丘上设立观测样地,选取大风天进行观测,分层收集和测定不同沙地 0—40 cm 气流层内的输沙量及风沙流结构。具体方法为:输沙量的测定采用 FSL-200 风沙采集系统中的立式集沙仪,风速的测定采用 FSL-200 风沙采集系统中的三杯风速仪,两组平行进行。每组集沙仪以 2 cm 为高度层,集沙仪宽为 2 cm。在距离集沙仪 1.5~2 m 处设立支架,将风速仪固定在支架 2 m 高处,测定风沙流的同时测定风速。集沙仪设置在地面上,保持进沙口断面与风向垂直。每次集沙时间 10 min,每隔 1 min 测定一次风速,风速数据取 10 次观测数据的平均值。

1.3 数据分析

采用回归法确定总输沙量及各层输沙量随高度的变化规律,采用兹纳门斯基^[15]提出的风沙流结构特征表征结构数(S)。 S 的计算公式为:

$$S = Q_{0-1} / \bar{Q}_{0-10} \quad (1)$$

式中: Q_{0-1} ——气流中 0—1 cm 层的输沙量; \bar{Q}_{0-10} ——气流中 0—10 cm 层的平均输沙量,等于 0—10 cm 层内输沙量的 10%;

采用吴正^[16]提出的风沙流结构特征值(λ)确定不同类型沙地的蚀积规律。 λ 的计算公式为:

$$\lambda = Q_{2-10} / Q_{0-1} \quad (2)$$

式中: Q_{2-10} ——气流中 2—10 cm 层内的输沙量。

2 结果与分析

2.1 不同下垫面 0—40 cm 层输沙总量

图 1 是不同下垫面 0—40 cm 层输沙总量及在不同的风速下输沙量的变化曲线。从图 1 可以看出,无论在何种风速下,流动沙丘 0—40 cm 高度层内的总输沙量始终大于半固定沙丘及固定沙丘。这与前人的研究结果基本一致^[17]。

流动沙丘、半固定沙丘及固定沙丘的输沙总量的均值分别为 3.01, 0.36, 0.77 g/(min·cm²),半固定沙丘和固定沙丘的输沙量分别占流动沙丘总量的 11.96% 和 25.58%,这是由于三种不同下垫面沙区植被覆盖度存在较大的差异,有研究表明,0—20 cm 总输沙量和相对输沙量与植被覆盖度呈显著负相关关系($P < 0.05$),与植株高度、土壤含水量、地表粗糙度呈负相关,但并不显著^[18]。因此,植被覆盖可以有效防止风蚀,必须加强天然植被的封育及其管护,通过多种措施增加植被盖度和地表覆盖度,发挥其防风固沙作用,有效控制流沙流动。由图 1 可知,半固定沙丘及固定沙丘的减沙量分别达到 88.04% 和 74.42%。

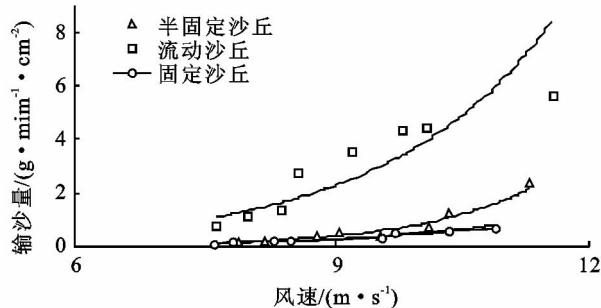


图 1 0—40 cm 层输沙总量随风速的变化

图 1 表明,无论是哪种沙丘类型,0—40 cm 气流层内输沙量均随风速的增加而增加,且可用指数函数来描述。流动沙丘: $Y = 0.0222e^{0.5135x}$,半固定沙丘: $Y = 0.0006e^{0.7293x}$,固定沙丘: $Y = 0.0016e^{0.5732x}$,相关系数分别为 0.806 9, 0.947 0, 0.907 7,相关性均较强。

2.2 不同下垫面 0—40 cm 层相对输沙量随高度的动态变化

王自龙等^[18]对白刺平坦砾质沙地和沙包迎风坡底部、顶部、背风坡底部风沙流结构的研究表明,输沙率随高度的增加而减小,并分别遵循负指数函数和负幂函数关系。张华等^[19]的研究表明,输沙量随高度

的增加呈负指数函数关系^[16]。

在同一风速条件下,无论是哪种类型的沙丘,0—40 cm 气流层内的相对输沙量随高度的增加均呈现出递减趋势,且可用负幂函数关系来描述。流动沙丘: $Y=52.933x^{-1.4017}$,半固定沙丘: $Y=61.657x^{-1.745}$,固定沙丘: $Y=42.585x^{-1.5177}$,其相关系数分别为 0.976 3,0.959 6,0.942 1。

2.3 不同下垫面粒度组成随高度的变化规律

不同下垫面 0—40 cm 气流层内粒度组成随高度的动态变化如表 1 所示,由表 1 看出,不管哪种沙丘

类型,石砾(>1 mm)和粗砂粒(粒径 1.0~0.5 mm)的含量较低,同样极细颗粒(粒径 0.1~0.05 mm)和粉、黏粒(<0.05 mm)的含量也很低。而细沙粒(粒径 0.25~0.05 mm)的含量较高,占输沙量的 23.6%~71.2%;中沙粒(0.5~0.25 mm)占输沙量的 15.9%~42.3%。随高度的增加,中沙粒基本呈递减趋势,减小幅度的因下垫面的不同而异。细沙粒呈现递增趋势,可能是由于较大的沙粒由于自身的重量的原因,气流上升的举力不足以将其带到较高的高度,但可以把重量较小的颗粒运送到较高的高度层。

表 1 0—40 cm 内输沙量的粒度组成随高度的动态变化

下垫面	高度/cm	粒度组成/%						
		>1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.05~0.01 mm	0.01~0.005 mm	<0.005 mm
流动沙丘	0—2	0.1	5.8	42.3	23.6	8.5	5.3	14.4
	2—10	0.2	4.3	32.7	36.5	5.6	4.4	16.3
	10—20	0.2	8.4	25.9	55.5	1.5	0.7	7.8
	20—30	0.8	13.2	20.4	60.7	0.5	0.4	4.0
	30—40	1.1	19.6	36.6	33.5	1.7	0.6	6.9
半固定沙丘	0—2	0.2	2.8	32.7	56.3	2.1	0.9	5.0
	2—10	0.2	2.1	28.9	58.8	2.5	1.4	6.1
	10—20	0.2	0.9	30.5	62.5	1.4	0.9	3.6
	20—30	0.6	0.7	26.0	63.0	2.2	1.4	6.1
	30—40	0.8	1.2	20.3	65.8	2.2	1.9	7.8
固定沙丘	0—2	2.6	14.9	19.7	55.9	0.8	1.0	5.1
	2—10	0.6	4.0	15.3	71.2	1.4	1.1	6.4
	10—20	0.8	4.8	23.1	66.2	0.7	0.8	3.6
	20—30	2.0	6.7	12.4	75.2	0.6	0.6	2.5
	30—40	2.2	9.7	14.9	67.4	1.0	0.8	4.0

2.4 不同下垫面的蚀积特征

地表沙物质的起动、搬运和堆积过程受到下垫面性质的强烈影响,要定量确定某一下垫面的风蚀与堆积发生态势非常困难。但兹纳门斯基^[15]和吴正等^[16]的研究表明,通过对近地表 0—10 cm 层风沙流结构特征数(S)和特征值(λ)的估算,可以大体判断出下垫面是以风蚀还是搬运过程为主。兹纳门斯基^[15]的研究表明,对于沙质地来说,以 3.8 为蚀积临界值。当 S 值大于 3.8 时可认为是以堆积过程为主,反之则以风蚀过程为主。吴正^[16]的研究结果表明,当 λ>1 时(非饱和风沙流),地表出现风蚀或搬运,不产生堆积,称非堆积搬运。当 λ<1 时(过饱和风沙流),地表产生堆积现象,当 λ=1 时(饱和风沙流),地表无风蚀、无堆积,称非蚀积搬运。

由表 2 可以看出,三种不同下垫面的风沙流结构特征数 S 值均小于 3.8,而特征值 λ 均大于 1,这表明 3 种下垫面均处于风蚀或搬运状态。

表 2 不同下垫面 0—10 cm 层风沙流结构特征指标值

特征指标	流动沙丘	半固定沙丘	固定沙丘
Q_{0-1}	12.774	1.784	1.093
Q_{2-10}	26.896	3.693	2.396
\bar{Q}_{0-10}	4.959	0.685	0.436
结构数 S	2.780	2.604	2.510
特征值 λ	2.110	2.071	1.220

3 结论

对乌兰布和沙漠不同下垫面风沙流结构的分析表明,下垫面类型对风沙流的结构影响很大。

(1) 研究表明,0—40 cm 总输沙量随风速的增加而增加,并遵循指数关系式,流动沙丘: $Y=0.0222e^{0.5135x}$,半固定沙丘: $Y=0.0006e^{0.7293x}$,固定沙丘: $Y=0.0016e^{0.5732x}$;相对输沙量随高度的增加呈负幂函数关系,分别为流动沙丘: $Y=52.933x^{-1.4017}$,半固定沙丘: $Y=61.657x^{-1.745}$,固定沙丘: $Y=42.585x^{-1.5177}$ 。

(2) 0—40 cm 内,随高度的增加,输沙量的粒度组成表现为中沙粒基本呈递减趋势,减小的幅度因下垫面的不同而异,细沙粒呈递增趋势。

(4) 三种不同下垫面近地表 0—10 cm 层风沙流结构特征数 S 值均小于 3.8,特征值 λ 均大于 1,这表明三种下垫面均处于风蚀或搬运状态。

参考文献:

- [1] 邹学勇,董光荣. 风沙物理学的发展与展望[J]. 地球科学进展,1993,8(6):44-49.
- [2] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [3] 董治宝. 中国风沙物理研究五十年(I)[J]. 中国沙漠,2005,25(3):293-305.
- [4] 王翔宇,朴东均,丁国栋,等. 流动沙丘风沙流结构的定量研究[J]. 水土保持研究,2008,15(2):36-39.
- [5] 马玉明. 风沙运动学[M]. 呼和浩特:远方出版社,2004.
- [6] 袁东海,王兆骞,陈欣,等. 不同农作措施红壤坡耕地水土流失特征的研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):66-69.
- [7] 水建国,柴锡周,张如良,等. 红壤坡地不同生态模式水土流失规律的研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2):33-36.
- [8] 董玉祥,马骏. 风速对海岸沙丘表面风沙流结构影响的实证研究[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(9):179-183.
- [9] 李后强,艾南山. 风沙湍流的间隙性、稳定性及分形特征[J]. 中国沙漠,1993,13(1):11-20.
- [10] 冯大军,倪晋仁,李振山. 风沙流中不同粒径组沙粒的输沙量垂向分布实验研究[J]. 地理学报,2007,62(11):1194-1203.
- [11] 马世威. 风沙流结构的研究[J]. 中国沙漠,1988,8(3):8-22.
- [12] 梁伟,李振,郑勇,等. 延庆县人工植被的防风蚀效应研究[J]. 水土保持研究,2007,14(4):226-228.
- [13] 王旭,李少昆,王克如,等. 沙尘暴期间和田地区主要地表类型土壤风蚀量研究[J]. 水土保持研究,2007,14(6):283-285.
- [14] 张克存,屈建军,俎瑞平,等. 戈壁风沙流结构和风速廓线特征研究[J]. 水土保持研究,2005,12(1):54-58.
- [15] 兹纳门斯基(А. И. ЗНАМЕНСКИЙ). 沙地风蚀过程的实验研究和沙堆防止问题[M]. 杨郁华,译. 北京:科学出版社,1960.
- [16] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京:科学出版社,1987,38-39.
- [17] 李钢铁,贾玉奎,王永生. 乌兰布和沙漠风沙流结构的研究[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(1):276-278.
- [18] 王自龙,赵明,冯向东,等. 民勤绿洲外围不同下垫面条件下风沙流结构的观测研究[J]. 水土保持学报,2009,16(4):72-75.
- [19] 张华,李锋瑞,张铜会,等. 科尔沁沙地不同下垫面风沙流结构与变异特征[J]. 水土保持学报,2002,16(2):20-23.
- [8] 王秀娟,刘瑞民,何孟常. 松辽流域非点源污染 TN 时空变化特征研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):192-202.
- [9] 张亚丽,李怀恩. 土地利用关系法在非点源污染负荷预测中的应用[J]. 中国农学通报,2009,25(17):270-273.
- [10] 张淑荣,陈利顶,傅伯杰. 于桥水库流域农业非点源磷污染控制区划研究[J]. 地理科学,2004,24(2):232-237.
- [11] 韩凤朋,郑纪勇,王云强,等. 黄河支流非点源污染物(N、P)排放量的估算[J]. 环境科学学报,2006,26(11):1893-1899.
- [12] 周慧平,高超,朱晓东. 关键源区识别:农业非点源污染控制方法[J]. 生态学报,2005,25(12):3368-3374.
- [13] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modeling approach[J]. Journal of Hydrology,1996,183(3/4):323-349.
- [14] Reckhow K H, Simpson J J. A procedure using modeling and error analysis for prediction of lake phosphorus concentration from land use information[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,1980,37(9):1439-1448.
- [15] 刘瑞民,杨志峰,晓雯,等. 土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染影响研究[J]. 环境科学,2006,27(2):2407-2414.
- [16] 孟晓云,于兴修,泮雪芹. 云蒙湖流域土地利用变化对非点源氮污染负荷的影响[J]. 环境科学,2012,33(6):13-18.
- [17] 徐文佳,李天宏,贾振邦,等. 十堰市非点源污染状况及其区域分布特征[J]. 北京大学学报:自然科学版,2010,46(4):667-673.

(上接第 94 页)