

乌兰布和沙漠新月形沙丘迎风坡风速变化的初步研究

杨婷婷¹, 丁国栋¹, 郝玉光², 马士龙¹, 尚润阳¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 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:对乌兰布和沙漠新月形沙丘表面风速的野外观测结果表明,沙丘迎风坡气流加速量主要和沙丘坡面形态、迎风坡前来流风速有关,迎风坡风速放大率介于 1.02 ~ 1.59 之间。近地面风速和输沙强度由坡脚至丘顶总体呈递增趋势,丘顶风速和输沙率最大,到背风坡因涡流作用,风速由丘顶至坡脚减小,输沙率锐减,相对于丘顶的风速率变化在 0.17 ~ 0.49 之间。由于输沙率与起沙风速的立方成正比,因而风速在迎风坡上向丘顶增加时,丘顶区域的输沙率(相对于坡脚)将成倍增加。

关键词:乌兰布和沙漠; 新月形沙丘; 表面气流; 输沙率

中图分类号: S157; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)03-0218-02

A Preliminary Study on Variation in Wind Velocity and Sediment Transport Rate on Windward Slope of Barchan Dune

YANG Ting ting¹, DING Guo dong¹, HAO Yu guang², MA Shi long¹, SHANG Run yang¹

(1. College of Water and Soil Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. The Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: Field measurement of surface wind velocity and sediment transport rates was made on barchan dune in Wulanbuhe desert to understand. The results show that the wind velocities increasing upon windward slopes of the dunes vary with both slope morphology and wind velocity at the foot of the dunes. The velocity amplification factors range from 1.02 to 1.59. Wind velocity and sediment transport increase from foot of slope to the top as a whole, and decrease on leeward slope. On the whole slope sediment transport and wind velocity is the greatest at the crest. With the increase of wind velocity, sediment transport increases in reduplication.

Key words: Wulanbuhe Desert; barchan dune; surface air-flow; sediment transport rate

1 研究区概况

乌兰布和沙漠东北缘是古代黄河冲积平原,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,全年平均风速 3 ~ 3.7 m/s,以春季 3 ~ 5 月风速最大,平均在 4.8 m/s。风沙频繁,地表风蚀强烈。该区全年盛行西南、西及西南西风,夏风东北风比较盛行,秋季则东北、西南风较多;有害风为偏北(NWN、NW、NNW)。沙丘类型主要是新月形沙丘。

2 研究方法

2.1 野外观测

选择 3 ~ 5 月风沙活动最频繁的时期进行观测,实验地选在磴口县七连西北处的固定、半固定沙地,其中分布有零星新月形沙丘,采用杯状多通道风速仪进行了两种测风实验,其一,观测新月形沙丘迎风丘间地、背风坡以及迎风坡坡脚至丘顶的风速,与此同时利用集沙仪测量沙丘迎风坡上部、中部、下部及旷野的输沙率;其二,观测沙丘迎风坡中轴线到两翼的风速变化。测风高度距沙面 0.5 m,风速数据取

1 min 平均值。每组实验观测时间为 30 min(取得 30 组数据),在本项研究中,风速变化于 1.95 ~ 12.17 m/s 之间,且多数已超过了沙粒起动风速值(约 4 m/s)。

2.2 仪器布设

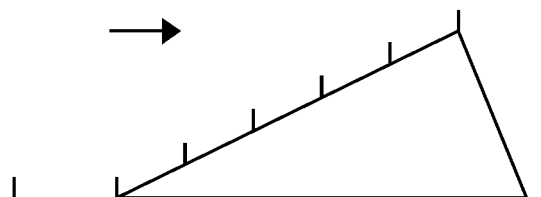


图 1 仪器布设

本次实验选取了 5 个不同的新月形沙丘进行观测,从迎风坡坡脚至丘顶沿沙丘中轴线等距离布设 6 个测点,在迎风丘间地(即旷野)和背风坡坡脚各布设一个测点(如图 1)。同时在沙丘迎风坡上部、中部、下部、背风坡脚及旷野布设集沙仪测量各部位的输沙率。

选取其中的 3 个沙丘(即沙丘 1、沙丘 2 和沙丘 5)进行了第二种测风实验,在迎风坡上部从中轴线向两翼布设 4 个测点,测点间距为 5 m,在迎风坡中下部也以相同的方式布

收稿日期:2005-06-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目“基于空气动力学流动阻力及绕流理论的植被防风蚀机理研究”(项目编号:30471422)

作者简介:杨婷婷(1981—),女,内蒙古临河人,硕士生,主要从事荒漠化研究工作。

设 4 个测点, 观测轴线到两翼的风速变化规律。

表 1 新月型沙丘形态要素及风速放大率的变化范围及平均值

类型	高度/m	坡型系数 H/L	风向	$A_w (wU_c/U_b)$		$A_l (U_l/U_c)$	
				平均	范围	平均	范围
沙丘 1	7	0.21	WNW	1.3	1.02~1.51	0.24	0.17~0.32
沙丘 2	5	0.11	NNW	1.19	1.10~1.26	0.24	0.17~0.28
沙丘 3	1.5	0.07	WNW	1.06	1.02~1.12	0.32	0.19~0.49
沙丘 4	2	0.05	WNW	1.1	1.04~1.25	0.31	0.22~0.48
沙丘 5	6	0.12	NNW	1.35	1.04~1.59	0.28	0.21~0.34

注: A_w 为迎风坡风速放大率; A_l 为背风坡相对风速; U_c 为丘顶风速; U_b 为迎风坡脚风速; U_l 为背风坡脚风速。

3 结果与分析

3.1 迎风坡中轴线上的风速变化

沙丘不同部位风速分布不同, 由迎风坡坡脚至丘顶沙丘表面风速逐渐增加, 丘顶达到最大, 到背风坡因涡流作用而迅速减小(图 2), 为此, 迎风坡始终处于一种持续的风蚀状态, 而背风坡则长期处于积沙状态, 沙丘顶部高度也在不断地下降^[1]。

为了便于对比, 采用风速放大率 A_w , 丘顶风速与坡脚风速之比(U_c/U_b)表示迎风坡风速变化^[2], 用背风坡相对风速 A_l , 背风坡坡脚风速与丘顶风速之比(U_l/U_c)表示背风坡风速变化。迎风坡形态要素选取沿风向长度(L)、高度(H)和坡形系数(H/L), 后者基本表示迎风坡陡缓, 且随风向发生变化(表 1)。

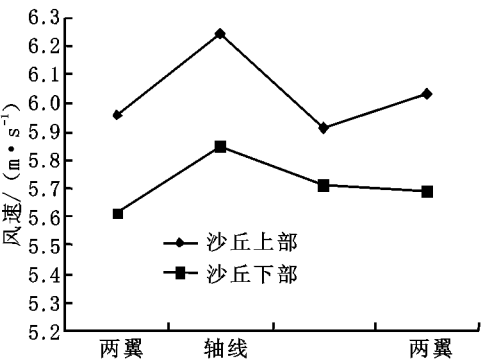


图 4 沙丘迎风坡输沙率变化

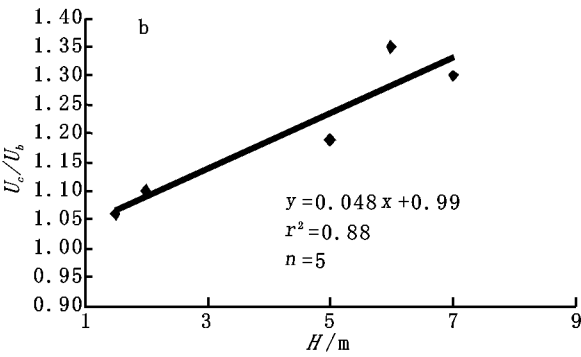
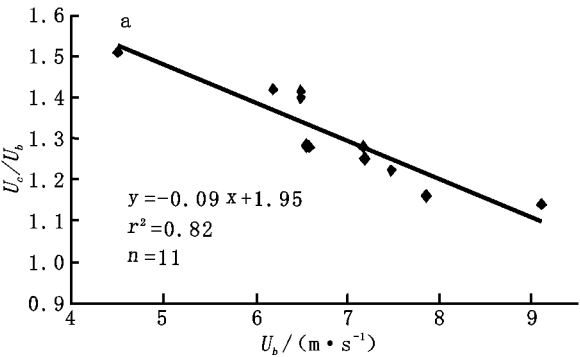


图 5 迎风坡风速放大率与坡脚风速(a)、沙丘高度(b)的关系

3.3 迎风坡输沙率变化

根据对沙丘 2 迎风坡上部、中部、下部及旷野 4 个点风速与输沙率的同时观测结果(图 4)。丘顶输沙率最大, 坡脚最小。当坡脚风速低于起动风速而无沙粒运动时, 丘顶区域已有风沙流。在坡脚风速为起沙风速时, 输沙率由坡脚至丘

气流由丘间地(旷野)运行至沙丘迎风坡坡脚时速度未见降低, 可能是由于此处坡度较小, 产生的涡流尚不足以减小流速。

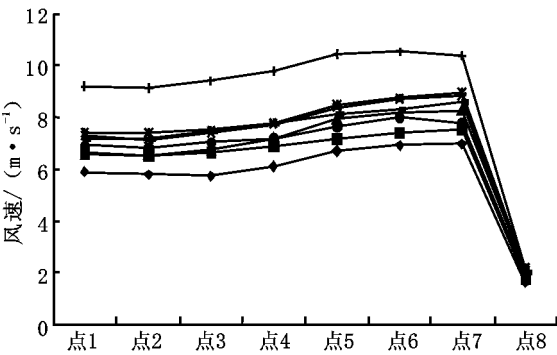


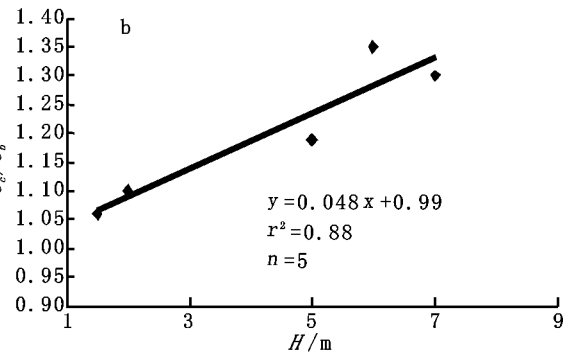
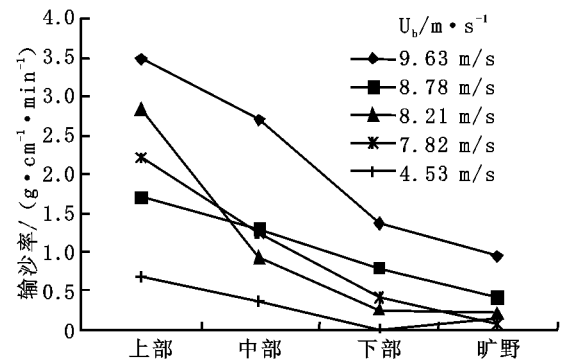
图 2 沙丘 2 迎风坡风速变化

注: 点 1 为旷野风速, 点 2~7 为迎风坡坡脚到丘顶 6 个测点的风速, 点 8 为背风坡脚风速

3.2 迎风坡脊线方向风速变化

取 30 组数据的平均值绘出迎风坡上部和下部沿脊线方向的风速变化图(图 3), 从图中可以直观的看出, 沙丘迎风坡上部各点的风速均大于下部各点的风速, 体现了风速由坡脚到丘顶逐渐增大的趋势, 且沙丘上部和下部从轴线到两翼的风速变化趋势基本相同, 即轴线上的风速最大, 从轴线到两翼风速逐渐减小。在沙丘上部两翼处的风速略有增大, 是由于此处坡度局部增大, 使得风速在此加速造成的。

图 3 沙丘 2 迎风坡脊线方向风速变化



顶的增加形式与所观测到的风速增加形式是一致的, 表现为由坡脚至丘顶输沙率呈递增趋势, 并且与坡面形态密切相关, 在坡度变缓、风速降低的部位, 输沙率相应减小。沉积大于侵蚀, 断面逐渐变凸; 其它部位输沙率沿断面增大, 侵蚀大于沉积, 断面变凹^[3]。

(下转第 225 页)

- [30] Ruddiman W F. Tectonic Uplift and Climate Change[M]. New York: Plenum Press, 1997. 1 - 515.
- [31] Z T Guo, William F Ruddiman, Q Z Hao, et al. Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China[J]. Nature, 2002, 416: 159 - 163.
- [32] 安芷生, 孙东怀, 陈明扬, 等. 黄土高原红黏土序列与晚第三纪的气候事件[J]. 第四纪研究, 2000, 20(5): 435 - 446.
- [33] 强小科, 安芷生, 常宏. 佳县红黏土堆积序列频率磁化率的古气候意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 91 - 96.
- [34] 吴锡浩, 王富葆, 安芷生, 等. 晚新生代青藏高原隆升的阶段和高度[A]. 见: 刘东生, 等. 黄土·第四纪地质·全球变化(第三集)[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 1 - 13.
- [35] 施雅风, 郑本兴, 李世杰, 等. 青藏高原中东部最大冰期时代高度与气候环境探讨[J]. 冰川冻土, 1995, 17(2): 97 - 112.
- [36] 李裕元, 石辉. 新构造运动对黄土高原环境变迁的影响[J]. 水土保持研究, 2001, 8(1): 123 - 129.
- [37] Xiao J L, An Z S. Three large shifts in East Asian monsoon circulation indicated by loess-paleosol sequences in China and late Cenozoic deposits in Japan[J]. Paleogeography Paleoclimatology Paleocology, 1999, 154: 179 - 189.
- [38] 谢远云, 李长安, 张序强, 等. 青藏高原东北缘黄土的气候演化与高原隆升的耦合[J]. 中国地质, 2003, 30(4): 436 - 441.
- [39] 张业成. 青藏高原隆起及其对中国地质自然环境影响的探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 1993, 4(1): 1 - 10.
- [40] 陈发虎, 吴薇, 朱艳, 等. 阿拉善高原中全新世干旱事件的湖泊记录研究[J]. 科学通报, 2004, 49(1): 1 - 9.
- [41] 康建成, 陈发虎, 沈永平, 等. 中国西部全新世环境变化[A]. 中国西部第四纪冰川与环境[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 131 - 137.
- [42] 雷慧珠, 武春龙. 新构造应力场与滑坡侵蚀[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(5): 35 - 43.
- [43] 朱照宇. 黄土高原及邻区新构造与新构造运动[J]. 第四纪研究, 1992, (3): 252 - 264.
- [44] 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994. 28 - 90, 131 - 159.
- [45] 岳乐平, 雷祥义, 屈红军. 黄河中游水系的阶地发育时代[J]. 地质论评, 1997, 43(2): 186 - 192.
- [46] 程绍平, 邓起东, 闵伟, 等. 黄河晋陕峡谷河流阶地和鄂尔多斯高原第四纪构造运动[J]. 第四纪研究, 1998, (3): 238 - 248.
- [47] Bull W B. Stream terrace genesis: Implications for soil development[J]. Geomorphology, 1990, 3(3): 351 - 367.
- [48] 国家地震局地质研究所, 宁夏回族自治区地震局. 海原活动断裂带[M]. 北京: 地震出版社, 1990.

(上接第 219 页)

输沙率与起沙风速的立方成正比。因而风速在迎风坡上向丘顶增加时, 丘顶区域的输沙率(相对于坡脚)将成倍增加。当坡脚风速为 9.63 m/s , 风速放大率是 1.08 时, 实测的丘顶输沙率是坡脚输沙率的 3.68 倍; 当坡脚风速为 5.44 m/s , 风速放大率是 1.48 时, 实测的丘顶输沙率是坡脚的 11.22 倍。可见, 相对于坡脚, 丘顶输沙率与风速放大率是成正比的。

在一定起沙风条件下, 当风向与沙丘垂直时, 丘顶区域的输沙率增加程度最大; 当风向与沙丘呈小角度时, 丘顶输沙率与坡脚之间差异可能很小^[4]。

4 讨论

4.1 影响风速放大率的因素

根据对 5 个沙丘风速放大率的观测, 风速放大率与沙丘高度之间具有明显相关性(图 2b), 在垂直于沙丘的风向下, 沙丘高度越大, 风速放大率也越大。

坡脚风速对风速放大率也有一定影响。根据对沙丘 2 (高 5 m) 坡角和丘顶风速的观测结果, 坡脚风速与风速放大率之间的相关性良好($r^2 = 0.82$), 即风速放大率随坡脚风速的减小而增加(图 2a)。如果以坡脚风速基本代表区域近地面风速大小, 则可以认为在高度一致的情况下, 当区域平均风速较低时, 风速放大率较大; 反之, 风速放大率较小。

参考文献:

- [1] 张春来, 郝青振, 邹学勇, 等. 新月形沙丘迎风坡形态及沉积物对表面气流的影响[J]. 中国沙漠, 1999, (4): 359 - 363.
- [2] Jackson P S, Hunt J C R. Turbulent winds flow over a low hill[J]. Q. J. R. Metro. Soc., 1975, 101: 939 - 955.
- [3] 哈斯, 董光荣, 王贵勇. 腾格里沙漠东南缘沙丘表面气流与坡面形态的关系[J]. 中国沙漠, 1999, 19: 1 - 5.
- [4] 哈斯, 王贵勇, 董光荣. 腾格里沙漠东南缘沙丘迎风坡风速变化的初步研究[J]. 干旱区地理, 1999, (1): 41 - 46.

4.2 沙丘蚀积规律

沙丘表面输沙率变化必然导致床面侵蚀或沉积。迎风坡脚、中部、丘顶为侵蚀部位, 其中丘顶侵蚀最强, 中部次之。迎风坡总体呈侵蚀状态。

由于沙丘上风向不饱和风沙流行进至沙丘迎风坡坡脚下垫面粗糙度陡减且可蚀性颗粒突增, 形成饱和风沙流, 风速和输沙率增大, 从而使沙丘坡面和丘顶被风蚀, 并导致坡脚的前移。而在气流越过沙丘顶部进入背风坡后, 附面层发生分离, 风速降低, 流线加密, 风速的减弱使风沙流中的沙粒在沙堆背风坡的涡旋区内不断堆积, 而沙粒的堆积则促进了背风坡的前移。

5 结论

(1) 新月形沙丘迎风坡表面风速和输沙率由坡脚至丘顶总体呈增大趋势, 但在局部地段坡度变缓则风速和输沙率减弱, 反之增强。

(2) 新月形沙丘迎风坡表面轴线处风速最大, 从轴线到两翼风速逐渐减小。

(3) 输沙率与起沙风速的立方成正比。因而风速在迎风坡上向丘顶增加时, 丘顶区域的输沙率(相对于坡脚)将成倍增加。

(4) 风速放大率与坡脚风速和沙丘高度之间有明显相关性。