

抛物线沙丘形态特征与土壤含水量和紧实度的关系研究

社会石^{1,2}, 哈 斯²

(1. 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 以库布齐沙漠南缘典型抛物线沙丘为研究对象, 通过对沙丘土壤水分含量与紧实度的测量, 分析了沙丘形态特征与土壤水分含量、紧实度的关系。结果表明, 沙丘臂间平地水分含量与其周围本底值相似, 高于沙丘其它地貌部位。沙丘土壤水分含量高的区域, 紧实度较大, 抗侵蚀能力较强。沙丘土壤水分含量、紧实度等物理性状特征也影响植被的发育与分布。

关键词: 抛物线沙丘; 植被分布; 土壤水分; 紧实度; 库布齐沙漠

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2014)12-0017-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2014.12.006

Analysis of Parabolic Dune's Morphological Characteristics of Soil Moisture and Compaction

DU Hui-shi^{1,2}, HA Si²

(1. College of Tourism and Geographical Science, Jilin Normal University, Siping Jilin 136000, China; 2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Choosing a typical parabolic dune in the south of Hobq Desert, by measuring moisture content and soil compaction and analyzing the relationship between dune morphology and soil water content, degree of compaction, in order to define the factors of morphological development of parabolic dunes and their interactions. The result shows that the soil moisture content of flat between arms is similar to surroundings and higher than other positions. For someplace, it is the higher moisture, the higher compaction also stronger anti-erosion ability. Physical properties of soil such as moisture and compaction also impact vegetation planting.

Key words: Parabolic dune; Vegetation distribution; Soil physical properties; Hobq Desert

沙丘(sand dunes)是风力作用下沙粒堆积而成的丘状或垄状地貌, 与气候变化、风信状况和沙源供应等自然环境密切相关^[1]。沙丘研究是地貌学重要的研究内容, 已成为特殊自然地理区域综合研究的重要方向之一^[2], 而沙丘形态发育影响因素研究是目前学者关注的焦点问题^[3-11]。沙丘土壤水分的空间分布具有非同质性^[12], 其分布差异对沙丘形态演变将产生重要影响^[13], 而沙丘土壤紧实度影响地表抗风蚀能力^[7]。有关沙丘土壤水分含量、紧实度特征及其对沙丘发育的影响研究报道较少^[7]。库布齐沙漠是沙质荒漠化活跃地区之一, 该区抛物线沙丘发育广泛、形态特征明显, 是开展相关研究的理想场所。我们针对抛物线沙丘开展沙丘土壤水分与紧实度分布特征的综合研究, 以期揭示沙丘形态发育影响因素, 对区

域防沙治沙具有重要科学意义。

1 区域概况与研究方法

1.1 研究区概况

库布齐沙漠位于鄂尔多斯高原北部、黄河以南地区(图1), 该区降水集中在7—8月份, 年均降水量 277.66~394.27 mm, 蒸发量 2 100~2 700 mm, 年均气温 6.0~7.5 °C, 年均风速 3.5 m/s, 全年大风日数 25~35 d, 盛行 WNW、W、SSE 风。库布齐沙漠东部地带性土壤为栗钙土, 西部为棕钙土, 西北部有部分灰漠土, 非地带性土壤为各类风沙土。研究对象抛物线沙丘位于库布齐沙漠南缘(40° 14' 39" N, 109° 07' 49" E)。

1.2 测定方法

1.2.1 沙丘水分测量 选用澳大利亚 Decagon Devices 公司生产的 ECH₂O Check 水分探测读数表,

收稿日期: 2014-10-29

基金项目: 国家自然科学基金(41401002); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD16B0202)部分内容

作者简介: 社会石(1983—), 男, 吉林伊通人, 讲师, 博士, 主要从事干旱区地貌研究工作。联系电话: (0)15144661359。

E-mail: duhs@163.com

通讯作者: 哈 斯(1964—), 男(蒙古族), 内蒙科左中旗人, 教授, 博士, 主要从事干旱区地貌与环境研究工作。E-mail: hasi@bun.edu.cn

通过 EC5 探针测量土壤的电介质常数来计算土壤体积含水量。测量速度小于 1 s, 分辨率为 0.1 VSW%, 1 mV 精密度为 $\pm 3\%$ 。于 2012 年 9 月 15 日测量地面以下 0~5、5~10、10~15、15~20、20~30、30~40 cm 土层的沙丘水分含量。每个地貌部位(臂间平地、迎风坡、脊线油蒿植被处、背风坡、丘臂灌丛沙堆、栗钙土出露处、丘臂内侧、丘臂外侧、本底)随机选取相隔 1 m 的 3 个样点进行测量, 每个位置重复 3 次, 然后取其平均值表示该点水分值(图 2 a、2 b)。

土壤含水量(%)=水分容积/土壤容积 $\times 100\%$

1.2.2 沙丘土壤紧实度测量 选用英国 Hansatech 公司生产的 SC900 土壤紧实度仪测量沙丘紧实度, 仪器测定单位为 kPa, 测定范围为 0~7 000 kPa,

空间分辨率为 2.5 cm, 压力分辨率为 35 kPa, 精确度为 ± 103 kPa。测量 0、2.5、5.0、7.5、10.0、12.5、15.0、17.5、20.0、22.5、25.0、27.5、30.0、32.5、35.0、37.5、40.0、42.5、45.0 cm 土层的紧实度。测量时间与水分测量时间同步。每个地貌部位随机选取相隔 1 m 的 3 个样点测量, 每个位置重复 3 次, 取其平均值表示该点紧实度值(图 2 c)。将沙丘不同地貌部位测定的土壤含水量和紧实度数据按照 5 cm 间距统计与分析。

2 结果与分析

2.1 沙丘形态特征

野外调研结果表明, 研究区抛物线沙丘主体形态呈 U 型, 丘臂指向 W。丘体长 294.72 m、宽 163.70 m, 相对高度 5.83 m, 丘臂长 189.96 m, 丘

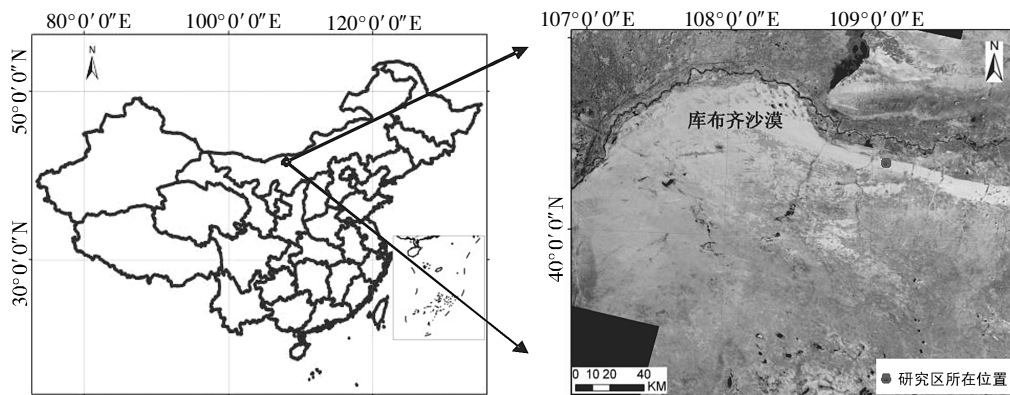


图 1 研究区位置示意

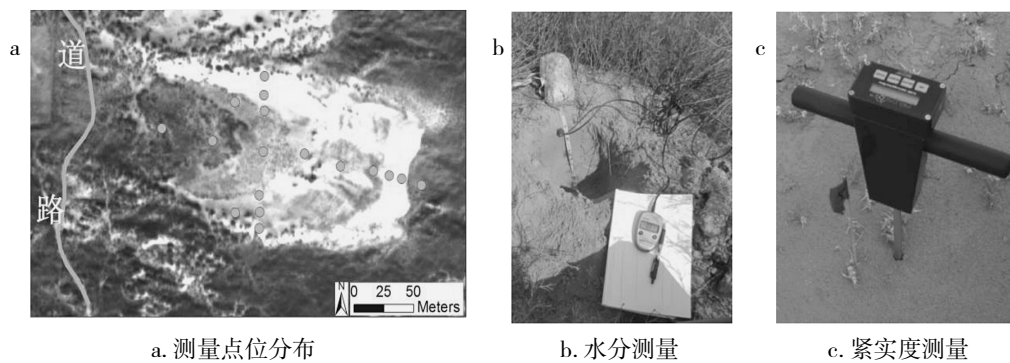


图 2 测量点位



拍摄时间为 2012 年 5 月 24 日, 镜头位置为沙丘迎风坡脚东北处, 镜头朝向为南。

图 3 沙丘特征地貌部位景观

臂内宽 90.56 m, 平面面积 20 226.04 m²。按沙丘流动性可判定该沙丘处于发育晚期, 沙丘主体高度较低。植被以油蒿为建群种, 迎风坡发育有小型灌丛沙堆, 沙丘脊线处有大尺度油蒿灌丛沙堆, 背风坡为一年生油蒿与沙米带状镶嵌分布(图3)。

2.2 沙丘水分含量分布特征

2.2.1 空间分布特征 统计与分析结果(表1)表明, 臂间平地因油蒿植被生长的影响, 其水分含量与区域本底相似, 而高于沙丘其它地貌部位。沙丘迎风坡水分含量大于背风坡, 丘臂油蒿灌丛沙堆的水分含量大于沙丘主体脊线油蒿灌丛沙堆处, 丘臂内侧较外侧水分含量略低, 但相差不明显。

2.2.2 层间分布特征 除栗钙土出露处外, 沙丘近地表存在干沙层(0~5 cm), 干沙层以下存在水分垂向变化。臂间平地与本底特征相似, 存在地表以下 5~10、20~30 cm 两个活跃层; 迎、背风坡水分含量随深度增加而增大, 且迎风坡增加幅度比背风坡大, 主要因背风坡的沙粒松散而迎风坡较为紧实, 保水与渗漏程度差异所致。丘臂油蒿灌丛沙堆处水分含量变化幅度大于沙丘主体脊线油蒿灌丛沙堆处, 丘臂内外侧水分垂向分布较为一致, 栗钙土出露处水分垂向分布优于沙丘其它地貌部位。

2.3 沙丘近地表土壤紧实度特征

2.3.1 空间分布特征 从表 2 可知, 臂间平地紧实度总体大于环境本底, 迎风坡紧实度总体比背

风坡小, 脊线灌丛沙堆处高于迎风坡; 丘臂内、外侧相差不大; 栗钙土出露处紧实度高于本底, 也高于沙丘其他地貌部位。

2.3.2 层间分布特征 沙丘表面以下 0~5 cm 的近表层范围内, 紧实度为 0~651 kPa, 5 cm 以下沙丘紧实度总体随着深度的增加而增大。10~30 cm 各地貌部位紧实度值差异较大, 为 351~1 509 kPa。

3 结论与讨论

1) 研究表明, 沙丘水分空间分布在臂间平地与本底相似, 而高于沙丘其它地貌部位。沙丘迎风坡水分含量大于背风坡, 丘臂油蒿灌丛沙堆水分含量大于脊线油蒿灌丛沙堆处。丘臂内侧较外侧水分含量略低, 差异不显著。沙丘臂间平地紧实度大于环境本底值; 迎风坡小于背风坡, 脊线灌丛沙堆处高于迎风坡, 栗钙土出露处高于本底值, 土壤紧实度特征对植被生长有重要影响。

2) 水分是丘体沙物质间黏滞性和团聚力的重要影响因素, 水分在沙丘中分配及入渗深度等空间异质性, 使得沙丘不同地貌抗风蚀能力不同, 进而表现出不同的地貌形态特征^[18]。沙漠中的沙丘因其形态各异, 故丘体水分分布状况不同, 各地貌部位水分含量差异最大^[19]。李朝生认为, 鄂尔多斯高原北部流动沙丘表层干沙层厚度为 10 cm, 主要是因为风沙土缺乏毛管孔隙, 除重力水向深层移动外, 土壤水移动性差, 地表蒸发作用影响到 10 cm 以上的沙层^[20], 这与本研究有所不同,

表 1 沙丘不同地貌部位土壤水分含量

地貌部位	0~5 cm ^①	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	%
臂间平地	0.00	5.43	4.47	3.40	7.05	5.60	
迎风坡	0.00	0.06	0.33	1.50	2.16	1.77	
脊线油蒿植被处	0.00	2.30	1.60	4.53	4.46	3.07	
背风坡	0.00	0.02	0.20	0.30	0.46	0.20	
丘臂灌丛沙堆	0.00	3.27	3.90	4.17	3.70	3.37	
栗钙土出露处	0.00	5.20	5.03	4.93	5.76	2.63	
丘臂内侧	0.00	2.27	3.50	3.30	4.30	3.03	
丘臂外侧	0.00	2.25	3.46	4.01	4.65	3.06	
本底	0.00	5.80	4.36	4.97	7.17	4.46	

①除栗钙土出露处外, 沙丘其余部位近地表沙层较疏松, 仪器 PCT 模式测量为负值, 人为校正为 0.00 值。

表 2 沙丘不同地貌部位的土壤紧实度^①

地貌部位	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	kPa
臂间平地	386	912	1 263	1 509	1 439	1 895	
迎风坡	0	246	386	386	351	421	
脊线油蒿植被处	246	632	877	1 088	1 439	-	
背风坡	0	351	772	842	877	737	
丘臂灌丛沙堆	211	456	667	807	842	947	
栗钙土出露处	651	983	1 263	1 544	-	-	
丘臂内侧	167	340	401	504	528	307	
丘臂外侧	175	351	421	456	456	316	
本底	205	732	937	1 288	1 363	1 709	

①“-”表示仪器自动完成测量, 未记录该值。

主要由采样精度和所测沙丘类型不同所致。此外,沙丘水分状况还影响其移动速度,含水量增加,沙子间黏滞性和团聚力增加,起动风速也提高^[21]。3) 沙丘近地表面紧实度是沙丘重要的物理性质之一,是沙丘影响形态变化的重要因素。探讨沙丘不同地貌部位紧实度的空间变异特征,对于揭示沙丘形态变化规律具有重要科学价值。沙丘近地表面紧实度越大,植物根系在沙丘中生长所受到机械压力越大,植物生长也因此遭受影响。Taylor 等认为根细胞膨压一般约为 700~1 200 kPa,当土壤紧实度值较高时,植物生长就会受到机械胁迫作用而遭受抑制^[22]。虽然 0~15 cm 表层沙丘紧实度值较低,不会对植物根系生长产生机械胁迫,但由于该层土壤含水量偏低且表面不稳定,植被也难以生长^[23~25]。从本研究的结果看,沙丘水分含量较高的区域,沙丘土壤紧实度也较大,也是油蒿植被和灌丛沙堆优先发育的区域,故其抗侵蚀能力也较大,对沙丘形态演变具有重要影响。

参考文献:

- [1] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] 蔡运龙, 宋长青, 冷疏影. 中国自然地理学的发展趋势与优化领域[J]. 地理科学, 2009, 29(5): 619-626.
- [3] AL-MASRAHY M A, MOUNTNEY N P. Remote sensing of spatial variability in aeolian dune and interdune morphology in the Rub' Al-Khali, Saudi Arabia[J]. *Aeolian Research*, 2013, 11: 155-170.
- [4] HAN G, ZHANG G, DONG Y. A model for the active origin and development of source-bordering dunefields on semiarid fluvial plain: case study from the Xiliaohe Plain, Northeast China [J]. *Geomorphology*, 2007, 86: 512-524.
- [5] HUGENHOLTZ C H, WOLFE S A, WALKER I J, *et al.* Spatial and temporal patterns of aeolian sediment transport on an inland parabolic dune, Bigstick Sand Hills, Saskatchewan, Canada [J]. *Geomorphology*, 2009, 105(1/2): 158-170.
- [6] EL-SAYED S A S. Assessing the engineering properties of concrete made with fine dune sands: an experimental study[J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2013, 6(3): 857-863.
- [7] 社会石. 库布齐沙漠沙丘动态变化研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2013.
- [8] DECH J P, MAUN M A. Zonation of vegetation along a burial gradient on the leeward slopes of Lake Huron sand dunes [J]. *Canadian Journal of Botany*, 2005, 83: 227-236.
- [9] BERNAT R M, PERES-GONZ L A. Inland Aeolian deposits of the Iberian peninsula: sand dunes and clay dunes of the Duero Basin and the Manchega Plain. Palaeoclimatic consideration[J]. *Geomorphology*, 2008, 102: 207-220.
- [10] HESP P A. Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes[J]. *Journal of Arid Environments*, 1991, 21: 165-191.
- [11] JOANNA M, ANDREAS C. Investigating parabolic and nebkha dune formation using a cellular automaton modelling approach[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2008(33): 724-740.
- [12] RITSEMA C J, DEKKER L W. Soil moisture and dry bulk density patterns in bare dune sands[J]. *Journal of Hydrology*, 1994, 154: 107-131.
- [13] STOUT J E. A method for establishing the critical threshold for Aeolian transport in the field [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2004, 29: 195-207.
- [14] 社会石, 哈斯, 雷军, 等. 基于 3S 技术的库布齐沙漠抛物线沙丘形态变化[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 165-169.
- [15] DURAN O, SILVA M V N, BEZERRA L J C, *et al.* Measurements and numerical simulations of the degree of activity and vegetation cover on parabolic dunes in north-eastern Brazil[J]. *Geomorphology*, 2008, 102(3/4): 460-471.
- [16] KUMLER M L. Plant succession on the sand dunes of the Oregon coast [J]. *Ecology*, 1969, 50(4): 695-704.
- [17] 张萍, 哈斯, 社会石, 等. 抛物线形沙丘与油蒿灌丛之间的动态关系[J]. 科学通报, 2011, 56(35): 3003-3010.
- [18] 陈隆亨, 李福兴, 邸醒民, 等. 中国风沙土[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [19] 贾宝全, 慈龙骏, 蔡体久, 等. 绿洲-荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 203-208.
- [20] 李朝生. 鄂尔多斯高原北部沙区植被-环境关系与生态建设对策[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2005.
- [21] 朱震达, 陈治平, 吴正, 等. 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [22] TAYLOR I, HUSSAIN A, BLACK C, *et al.* Soil compaction: A role for ethylene in regulation leaf expansion and shoot growth in tomato[J]. *Plant physiology*, 1999(121): 1227-1237.
- [23] 李尚中, 王勇, 樊廷录, 等. 水分胁迫对冬小麦生长发育和产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2007(10): 3-6.
- [24] 刘谦和, 李志强. 砂田土壤的水蒸发特征与温度变化[J]. 甘肃农业科技, 1993(8): 26-28.
- [25] 焦彩强, 王益权, 刘军, 等. 关中地区耕作方法与土壤紧实度时空变异及其效应分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 7-12.