乌兰布和沙漠东北缘绿洲防护林体系防风阻沙能力研究*

边 凯[1,2], 高君亮[2], 辛智鸣[2], 罗凤敏[2], 郝玉光[2**], 李新乐[2], 谭立海[1], 安志山[1]

(1. 中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 内蒙古磴口荒漠生态系统国家定位观测研究站/乌兰布和沙漠综合治理国家长期科研基地/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:沙漠地区不同下垫面特征直接影响沙尘的输送过程.在乌兰布和沙漠东北缘沙漠-绿洲过渡带和绿洲内部分别建设风沙监测塔,并获取2018年春季(3—5月)的风速和沙尘数据,对沙尘传输的差异性进行对比分析.结果显示:在沙漠-绿洲过渡带和绿洲内沙尘水平通量随高度变化均呈幂函数分布;沙尘水平通量在沙漠-绿洲过渡带随高度增加显著降低,而在绿洲内呈现平缓增加趋势;沙尘水平通量从沙漠-绿洲过渡带至绿洲内部减少约一半;绿洲内部起沙风频率比沙漠-绿洲过渡带降低了一半左右,绿洲防护林明显削弱了过境风速、减少了起沙风的持续时间,防风阻沙效果明显.

关键词:乌兰布和沙漠;沙尘水平通量;起沙风;输沙势

中图分类号:P941.73;S727.2 **DOI**:10.19789/j.1004-9398.2021.01.009

0 引 言

沙漠是近地表沙物质的主要来源之一,沙漠与绿洲间循环往复的沙物质搬运、沉降过程,使地表发生的风蚀、风积威胁着绿洲的生态稳定与持续发展[1-2].沙漠-绿洲过渡带是沙漠和绿洲之间物质循环和能量交换的重要缓冲地带,其生态环境脆弱且敏感,是维护绿洲生态稳定的重要屏障.绿洲防护林形成的局地小气候减弱了风速,从而减少了沙物质的搬运[3-5].赵明等[6]评估了民勤地区沙漠-绿洲过渡带和绿洲的阻沙效益,结果表明沙尘水平通量从沙漠到沙漠-绿洲过渡带减少了42.0%、从沙漠到绿洲减少74.0%,证明了绿洲防护林体系具有明显的削减沙尘功能;罗凤敏等[7]研究表明,乌兰布和沙漠东北缘从沙漠-绿洲过渡带到绿洲风速削减了31.0%,沙尘水平通量减少了298.16 g/m^2;张克存等[8]以敦煌绿洲为例,证实从沙漠至绿洲方向平均风速、起沙风频次和输沙势均逐渐减小,绿洲站点风速较沙漠站点减小约一半,可见绿洲防护林的防风效应非常明显.

沙尘水平通量指在单位时间内通过单位面积的沙尘质量,是沙漠-绿洲过渡带及绿洲沙尘输送研究中的重要指标.沙尘水平通量的定量计算有助于提高沙尘输送、风沙灾害的量化认识.近年来沙尘通量的研究已取得了较大进展:沙尘水平通量随高度变化服从幂函数[9-12]或指数函数[13-14]关系等,也有研究认为沙尘水平通量随高度变化不遵循幂函数或指数函数关系[15].沙尘输送除受到天气状况影响外,还与下垫面状况(植被、土壤和地形等)密切相关.因此,不同地区的沙尘输送特征不尽相同.

乌兰布和沙漠是中国风沙的策源地之一[16-17],当地强烈的风沙活动对沙漠-绿洲过渡带及绿洲农田的正常运作构成了严重的威胁[18].为解决绿洲风沙危害,保障绿洲生态安全,对沙漠-绿洲过渡带和绿洲风沙危害问题的系统研究势在必行.鉴于此,本研究在2018年春季(3—5月),收集了乌兰布和沙漠东北缘的内蒙古磴口荒漠生态系统国家定位观测研究站(简称磴口生态站)绿洲和沙漠-绿洲过渡带中风沙监测塔的风速和沙尘数据,对绿洲和沙

收稿日期:2020-03-04

* 中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室开放基金课题(KLDD-2018-004)

** 通信作者:hyuguang@163.com

漠-绿洲过渡带这2种不同下垫面的沙尘传输特征进行对比分析,以期对绿洲防护林在减轻风沙危害方面的作用有量化认识.

1　研究区概况与采样点

研究区为乌兰布和沙漠东北缘,行政区划隶属内蒙古磴口县,地势西南高东北低,海拔 1 028 ~ 1 054 m.该区干旱少雨,西北风为主害风;冬冷夏热,昼夜温差大.据磴口生态站多年气象观测资料显示:该区平均气温 7.8 ℃,最高气温 39.0 ℃,最低气温-29.6 ℃,年均降水量 140.3 mm,年均蒸发量 2 380.6 mm,日照时长 3 200 h,年均风速 3.70 m/s,瞬时风速最高可达 24.0 m/s.研究区内的绿洲与沙漠-绿洲过渡带中各建设 1 座 50 m 高的风沙监测塔,绿洲风沙监测塔(1#塔)坐落在沙漠-绿洲过渡带风沙监测塔(2#塔)北侧 2.3 km 处(图 1).沙漠-绿洲过渡带下垫面为固定、半固定沙地,土壤类型为风沙土,植被以白刺(*Nitraria tangutorum*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)为主;绝大部分白刺形成大小为(2 ~ 6) m×(4 ~ 8) m、高 1.2 ~ 3.6 m 的灌丛沙堆[12].绿洲内部为平坦农耕地,土壤类型为壤土和沙壤土,主要种植向日葵(*Helianthus annus*)和玉米(*Zea mays*)等;灌溉渠道两侧的新疆杨(*Populus*)形成绿洲防护林网,株距 1 m×2 m,高 20 ~ 24 m[12].

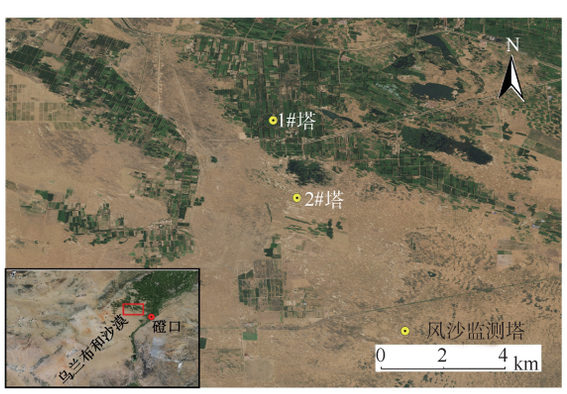


图 1　研究区位置及下垫面特征

在风沙监测塔安装 18 个沙尘水平通量采集器(图 2),采集器高度从高到低依次为 50.0、48.0、44.0、40.0、36.0、32.0、28.0、24.0、20.0、16.0、12.0、10.0、8.0、6.0、4.0、2.0、1.0 和 0.5 m.该采集器能够跟踪风向变化收集沙尘,收集口径为 20 mm×50 mm.同时在风沙监测塔 48.0、36.0、24.0、16.0、12.0、8.0、4.0、2.0 和 1.0 m 高度处各安装 1 个 Windsonic 二维超声风速风向传感器,启动风速为 0.01 m/s,数据采集频率为 10 min/次.

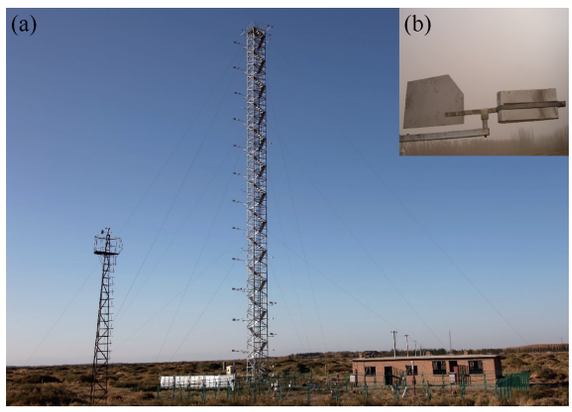


图 2　风沙监测塔及沙尘采集器

(a)监测塔;(b)采集器

2　研究方法

2.1　沙尘水平通量分析

分别对 2018 年春季 2 座风沙监测塔 18 个高度的沙尘水平通量进行拟合:

$$q(z) = a(z)^b, \tag{1}$$

式中:$q(z)$为某一高度的沙尘水平通量,单位为 kg/m^2;z 为沙尘收集高度,单位为 m;a、b 为拟合系数.式(1)求 0 ~ 50 m 高度内积分,则 2018 年春季通过各观测点 1 m(宽)×50 m(高)断面上的总沙尘水平量为

$$Q = \int_0^{50} q(z)\mathrm{d}z = \frac{a}{b+1}\left[50^{b+1} - 1\right], \tag{2}$$

式中 Q 为观测期间通过断面的总沙尘通量,单位为 kg.利用观测塔 12 m 高处的风速资料,统计 16 个方位的起沙风(≥5 m/s),并计算起沙风频率.

2.2　输沙势计算

风向数据和输沙势(drift potential, DP)采用 Fryberger 方法计算[19],计算公式为

$$P_d = V^2(V - V_t)t, \tag{3}$$

式中 P_d 为输沙势,以矢量单位 VU 表示;V 和 V_t 分别为起沙风风速和临界起沙风风速;t 为观测时段内所观测的起沙风时长与总观测时长的百分比.

3　结　果

3.1　沙尘水平通量差异性分析

2018 年春季乌兰布和沙漠东北缘沙漠-绿洲过

渡带和绿洲内部风沙监测塔沙尘水平通量随高度变化特征如图3所示.沙漠-绿洲过渡带沙尘水平通量随着高度上升呈明显降低趋势,而在绿洲中沙尘水平通量随着高度上升缓慢增加;二者沙尘水平通量随高度的变化关系均可用幂函数分别表示为:$q(z)=3.356\ 5z^{-0.196\ 1}$,$R^2=0.90$;$q(z)=0.424\ 5z^{0.278\ 8}$,$R^2=0.92$.

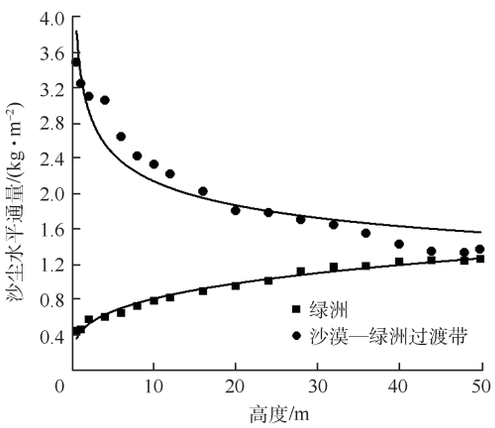


图3　2018年春季2种下垫面不同高度层沙尘水平通量

同一高度的沙漠-绿洲过渡带沙尘水平通量远大于绿洲,随高度上升二者差异逐渐减小,在40~50 m高度之间二者近乎重合.根据每座风沙监测塔18个高度沙尘水平通量拟合的幂函数,利用沙尘通量定积分公式(2)计算2座风沙监测塔2018年春季通过1 m(宽)×50 m(高)断面的总沙尘通量,结果表明通过沙漠-绿洲过渡带和绿洲的总沙尘通量分别为96.93和49.39 kg.与沙漠-绿洲过渡带的总沙尘水平量相比,绿洲内部减少了约一半.这一结果表明绿洲防护林体系可明显削减沙尘的传输量.

同一高度上沙漠-绿洲过渡带的水平通量累计百分比均高于绿洲(图4).随着高度的增加,二者沙尘水平通量累计百分比差值先增大后趋于平缓:0~12 m高度内,二者沙尘水平通量累计百分比差值增幅较大;绿洲内部14~50 m高度内沙尘水平通量累计百分比增幅较小,沙漠-绿洲过渡带68.4%的沙尘水平通量集中在20 m以下,而绿洲内部20 m以下的沙尘水平通量累计占42.1%.以上分析表明,随着高度增加下垫面状况差异对沙尘水平通量的影响逐渐减弱.沙尘受到绿洲内防护林的干扰其垂直分布结构发生的改变.

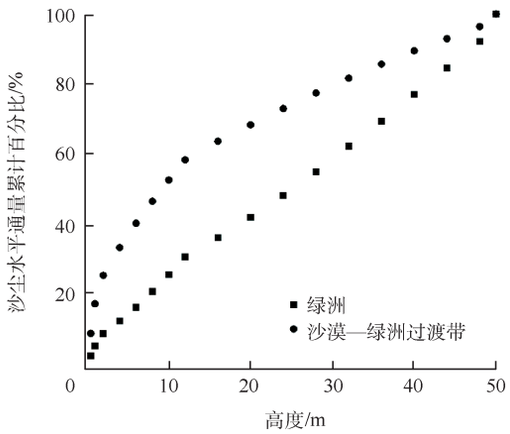


图4　2018年春季2种下垫面沙尘水平通量累积百分比

3.2　起沙风及输沙势分析

风速是衡量区域风沙活动强度的重要指标之一,是沙尘输送的动力因素.本文对比分析了沙漠-绿洲过渡带和绿洲的风速资料,以从动力条件上探讨绿洲削减沙尘输送的机理.观测期间,沙漠-绿洲过渡带起沙风(≥5.00 m/s)频率百分比为31.3%,起沙风平均风速为7.23 m/s;而绿洲仅为15.2%,起沙风平均风速为6.64 m/s,起沙风频率从沙漠-绿洲过渡带至绿洲降低了约一半.这一结果表明绿洲削减风速效应明显.绿洲防护林体系不仅减弱了风速并减少了起沙风作用时间,因而减少了沙尘的传输量.沙漠-绿洲过渡带和绿洲风以偏西风(NW、SW、WSW、W、WNW)为主,偏东风(NE)次之(图5).沙漠-绿洲过渡带偏西风、偏东风分别占全部风向的49.3%、21.2%,合计占全部风向的70.5%.绿洲内偏西风、偏东风分别占全部风向的68.4%、14.3%,二者合计占82.8%.绿洲与沙漠-绿洲过渡带的起沙风风向存在一定差异,绿洲的起沙风风向比沙漠-绿洲过渡带更加集中.

输沙势是表征区域风沙活动强弱和潜在输沙能力大小的重要指标,在风沙环境领域中应用广泛.根据沙漠-绿洲过渡带与绿洲风沙监测塔的风速数据(12 m高度处)和输沙势公式(3),计算并分析了观测期间沙漠-绿洲过渡带与绿洲的输沙势特征(图6).二者的输沙势方向分布与起沙风分布一致,其中沙漠-绿洲过渡带的输沙势为95.59 VU,合成输沙势为45.42 VU,合成输沙方向为117.28°;绿洲内部的输沙势为30.94 VU,合成输沙势为21.06 VU,合成输沙方向为100.76°.绿洲内部的输沙势比沙漠-绿洲过渡带减少了67.6%,合成输沙势减少了53.6%.

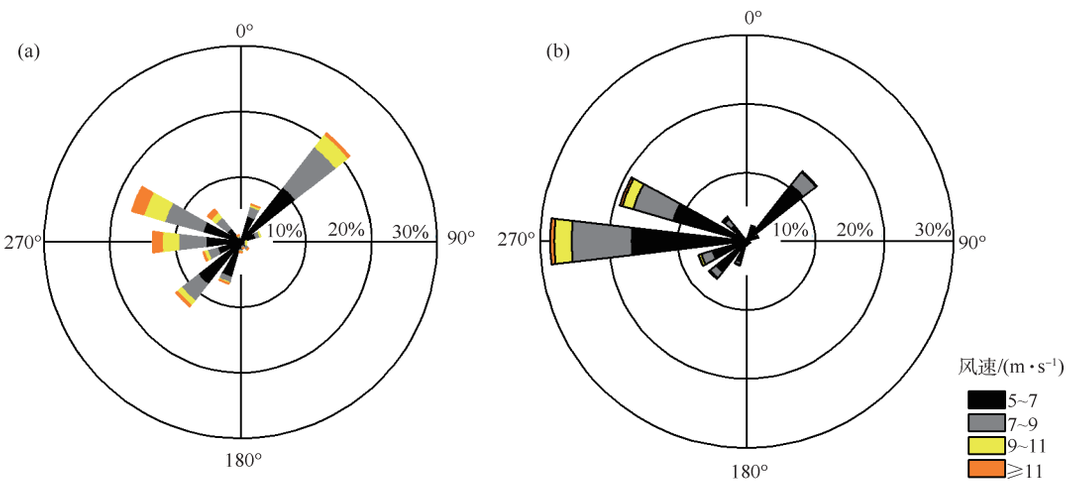
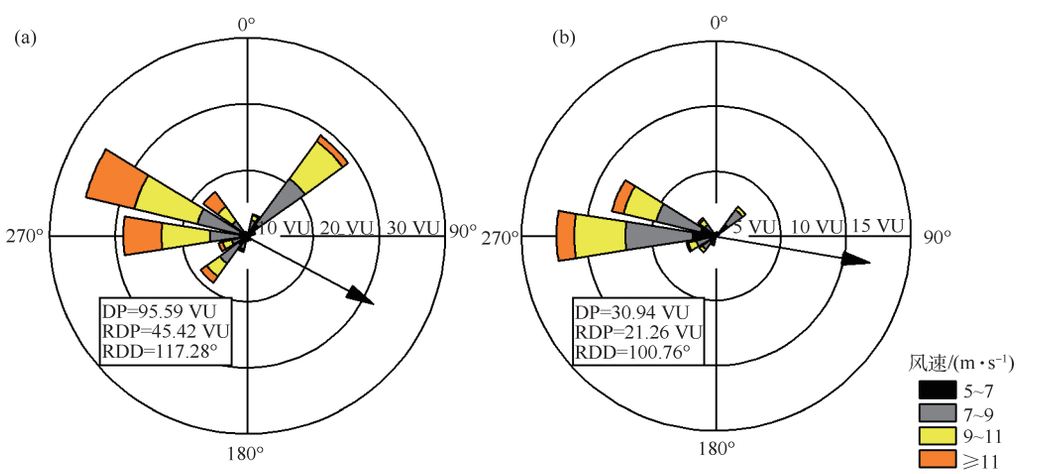


图 5　2018 年春季 2 种下垫面起沙风玫瑰图

(a)沙漠-绿洲过渡带;(b)绿洲



注:DP为输沙势;RDP为合成输沙势;RDD为合成输沙方向.

图 6　2018 年春季 2 种下垫面输沙势玫瑰图

(a)沙漠-绿洲过渡带;(b)绿洲

4　讨论与结论

乌兰布和沙漠东北缘沙漠-绿洲过渡带和绿洲 2 种不同下垫面类型的沙尘水平通量随高度的变化可用幂函数表示.然而,有学者对塔克拉玛干沙漠平沙地的研究表明,沙尘水平通量随高度变化符合指数函数关系[13-14],观测地点、监测高度、采样仪器类型和采样时间间隔等差异,均可能造成研究结果的不同.因此,亟待建立统一的观测手段和方法来研究不同区域的风沙活动规律.2 种下垫面沙尘垂直分布特征存在着明显差异,这与下垫面状况密切相关.在沙漠-绿洲过渡带下垫面,沙尘集中在近地表输移,而绿洲中的防护林带及农作物对沙尘的干扰改变了沙尘水平通量的结构,使得上层沙尘传输量高于近地表.下垫面土壤类型、地形地貌特征、植被分布特征及地表粗糙度等直接影响着风速廓线特征与沙粒的输移运动[20-21],从而改变了沙尘通量的垂直分布特征.

从沙漠-绿洲过渡带至绿洲,风速减小、风沙活动减弱,沙尘水平通量减少了约一半,表明绿洲防护林体系阻沙效益明显.赵明等[6]研究表明,甘肃民勤地区沙漠-绿洲过渡带和绿洲分别比沙漠的沙尘水平通量减少了 42.0% 和 74.0%;巩庆[22]的研究表明策勒绿洲的沙尘水平通量比沙漠减少了 87.0%.从沙漠至绿洲,风动力环境减弱导致起沙风累计作用时间、沙粒的平均粒径、沙尘输移量均呈递减趋势[2,23].绿洲内形成的小气候减弱了气流的湍流交换,对抑制沙尘垂直输送具有重要作用,因此,绿洲内的沙尘通量小于沙漠-绿洲过渡带[24].风动力环境的强弱、沙物质供给量和绿洲中防护林网疏密程

度等均与沙尘量传输的多寡密切相关.

在乌兰布和沙漠东北缘沙漠-绿洲过渡带和绿洲2种下垫面条件下,0~50 m高度范围沙尘水平通量随高度的变化均符合幂函数关系;在沙漠-绿洲过渡带沙尘水平通量随高度增加显著降低,而绿洲内沙尘水平通量呈现平缓增加趋势.与沙漠-绿洲过渡带相比,绿洲防护林体系削减风速明显,降低了沙尘水平通量,具有较强的防风阻沙能力.

参 考 文 献

[1] 张克存,牛清河,屈建军,等.敦煌鸣沙山月牙泉景区风沙环境分析[J].中国沙漠,2012,32(4):896-900.

[2] 安志山,张克存,谭立海,等.论沙漠-绿洲过渡带的风沙防护效应[J].干旱区研究,2017,34(5):1196-1202.

[3] JIA B Q,ZHANG Z Q,Ci L J,et al. Oasis land-use dynamics and its influence on the oasis environment in Xinjiang,China[J]. Journal of Arid Environments,2004,56(1):11-26.

[4] SALMAN A B,HOWARI F M,SANKARY M M,et al. Environmental impact and natural hazards on Kharga Oasis monumental sites,western desert of egypt[J]. Journal of African Earth Sciences,2010,58(2):341-353.

[5] 慕文玲,霍文,何清,等.塔中人工绿地与自然沙面感热通量和潜热通量差异性研究[J].干旱区资源与环境,2017,31(1):115-120.

[6] 赵明,詹科杰,杨自辉,等.民勤沙漠-绿洲低空沙尘暴结构特征研究[J].中国科学(地球科学),2011,41(2):234-242.

[7] 罗凤敏,高君亮,辛智鸣,等.乌兰布和沙漠东北缘防护林内外沙尘暴低空结构特征[J].干旱区研究,2019,36(4):1032-1040.

[8] 张克存,安志山,蔡迪文,等.典型天气背景下沙漠绿洲过渡带近地表风动力空间变化特征[J].干旱区地理,2016,39(5):1004-1010.

[9] ZHANG Z C,DONG Z B,ZHAO A G. The characteristics of aeolian sediment flux profiles in the south-eastern Tengger Desert[J]. Sedimentology,2011,58(7):1884-1894.

[10] 杨兴华,何清,霍文,等.沙漠地区不同下垫面近地表沙尘水平通量研究[J].干旱区研究,2014,31(3):564-569.

[11] 罗凤敏,高君亮,刘芳,等.乌兰布和沙漠东北部近地层沙尘水平通量和降尘量变化特征分析[J].中国农业科技导报,2019,21(2):163-169.

[12] 罗凤敏,辛智鸣,高君亮,等.乌兰布和沙漠东北缘近地层风速和降尘量特征[J].农业工程学报,2016,32(24):147-154.

[13] 杨东亮,王雪芹,胡永锋,等.风沙流输沙通量垂向分布研究:以塔克拉玛干沙漠南缘流沙地表风沙流观测为例[J].中国沙漠,2012,32(3):631-639.

[14] 何清,杨兴华,艾力·买买提明,等.塔克拉玛干沙漠风蚀起沙观测研究:试验介绍与观测结果初报[J].中国沙漠,2011,31(2):315-322.

[15] 代亚亚,何清,陆辉,等.塔克拉玛干沙漠腹地复合型纵向沙垄区近地层沙尘水平通量及粒度特征[J].中国沙漠,2016,36(4):918-924.

[16] 国家林业局.中国沙漠化和沙化土地图集[M].北京:科学出版社,2009:9-15.

[17] 高永,丁延龙,汪季,等.不同植物灌丛沙丘表面沉积物粒度变化及其固沙能力[J].农业工程学报,2017,33(22):135-142.

[18] 徐涛,蒙仲举,党晓宏,等.乌兰布和沙漠绿洲农田不同土地利用方式地表风蚀特征研究[J].土壤,2018,50(3):606-612.

[19] FRYBERGER S G. Dune forms and wind rigime[M] //MCKEE E D. A study of global sand seas. Washington, DC: Geological Suvery,1979:137-169.

[20] 宋阳,刘连友,严平,等.中国北方5种下垫面对沙尘暴的影响研究[J].水土保持学报,2005,19(6):17-20.

[21] LIU X D,YIN Z Y,ZHANG X Y,et al. Analyses of the spring dust storm frequency of northern China in relation to antecedent and concurrent wind,precipitation,vegetation,and soil moisture conditions[J]. Journal of Geophysical Research,109(D16):D16210.

[22] 巩庆,范金霞,林卫,等.策勒沙漠-绿洲输沙及动力环境特征[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(3):86-90.

[23] 张克存,牛清河,安志山,等.敦煌沙漠-绿洲过渡带近地表风沙动力环境[J].水土保持通报,2015,35(4):8-11+17.

[24] 汪季.乌兰布和沙漠东北缘植被抑制沙尘机理的研究[D].北京:北京林业大学,2004.

Study on wind prevention and sand resistance ability of oasis shelterbelt system in the northeast of Ulan Buh Desert

BIAN Kai[1,2], GAO Junliang[2], XIN Zhiming[2], LUO Fengmin[2], HAO Yuguang[2], LI Xinle[2], TAN Lihai[1], AN Zhishan[1]

(1. Key Laboratory of Desert and Desertification, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000; 2. Inner Mongolia Dengkou Desert Ecosystem National Observation Research Station/National Long-Term Scientific Research Base of Comprehensive Control in Ulan Bub Desert/Experimental Center of Desert Forestry, Chinese Academy of Forestry, Dengkou Inner Mongolia 015200)

Abstract: The characteristics of different underlying surfaces directly affect the transportation of sand and dust in desert areas. In this study, the differences of sediment transport between desert-oasis transitional zone and oasis in the northeast of Ulan Buh Desert were studied based on wind speed and sand-dust data during spring of 2018 (March to May) from the Inner Mongolia Dengkou Desert Ecosystem National Observation Research Station. The results indicated that, the change of horizontal sand-dust flux with the height obeyed the power function well over oasis-desert transitional zone and oasis. The amount of horizontal sand-dust flux decayed rapidly with increasing height in desert-oasis transition zone, but increased gradually in oasis. The amount of horizontal sand-dust flux in oasis was less than desert-oasis transitional zone by about half. The frequency of sand-driving wind in oasis was about half time lower than desert-oasis transition zone. The shelterbelt of oasis has an obvious effect of wind prevention and sand resistance by reducing wind speed and the duration of sand-driving wind.

Keywords: Ulan Buh Desert; horizontal sand-dust flux; sand-driving wind; sand drift potential

(责任编辑:李拓宇)