

胡菲,张克存,安志山,等.敦煌沙漠、绿洲和戈壁地表风动力环境特征同步对比[J].中国沙漠,2020,40(4):113-119.

敦煌沙漠、绿洲和戈壁地表风动力环境特征同步对比

胡菲^{1,2}, 张克存¹, 安志山^{1,2}, 鱼燕萍^{1,2}

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 敦煌戈壁荒漠生态与环境研究站, 甘肃 兰州 730000; 2.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 基于敦煌沙漠、绿洲和戈壁典型地表的20 m高同步梯度气象观测资料,对比分析其风动力环境特征参数,为敦煌绿洲生态治理和外围风沙综合防治提供理论依据和技术支撑。结果表明:3种典型地表的年输沙势存在明显差异,戈壁输沙势(DP)为754.2 VU,合成输沙势(RDP)为582.99 VU,合成输沙方向(RDD)为220.88°;绿洲 DP 为21.95 VU, RDP 为7.67 VU, RDD 为259.53°;沙漠输沙势介于二者之间,为92.49 VU, RDP 为19.29 VU, RDD 为16.79°。3种地表的季节输沙势均为春季最大,戈壁为268.2 VU,绿洲为10.97 VU,沙漠为44.08 VU。戈壁主导风向为东北方向,沙漠主导风向为偏东、偏南和偏西方向,绿洲主导风向为东和偏西方向。结合区域沙源分布情况,在绿洲南缘和鸣沙山北侧交界处应加强风沙防治,阻止鸣沙山向绿洲推进。

关键词: 敦煌绿洲; 起沙风; 输沙势; 风速廓线; 摩阻速度

文章编号: 1000-694X(2020)04-113-07 **DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00034

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

0 引言

沙漠、绿洲和戈壁是干旱区最常见地表。沙漠和戈壁常分布在绿洲外周,自然条件严酷、生态环境脆弱,是绿洲主要的风沙源区,直接影响绿洲的稳定和持续发展。风沙活动多发于沙漠和戈壁地区^[1],其活动强度对绿洲的演化起着至关重要的作用^[2]。风力是影响西北干旱地区地貌、引发沙粒运动的重要因素^[3]。风沙活动可引起包括沙化面积不断扩大^[4]等一系列问题,持续威胁着绿洲的生存。近年来,由于人类对绿洲不合理的开发以及外围风沙活动的频发,绿洲承载力逐年下降,绿洲生态保护和风沙防治日益迫切^[5-7]。多数学者从演化机制、粒度、风沙活动强度及风沙环境等方面揭示沙漠区域风沙环境特征和地貌组成规律^[8-11];戈壁地表的研究成果集中在风沙流结构、风沙运动、风蚀量及沉积物粒度等方面^[12-15];绿洲的演化及机制、风场特征随着科研设备的更新也得以明晰^[16-18],上述研究成果为干

旱区绿洲的生态保护和风沙防治提供了重要的参考依据。以往的研究多针对单一下垫面,不够系统,缺乏同步对比资料。绿洲周边的风沙防治措施无法发挥最大功效,而绿洲生态保护和风沙综合治理需要掌握沙漠、绿洲和戈壁的同步风况及其时空分布特征。鉴于此,本文对比分析沙漠、绿洲和戈壁地表风动力环境特征的时空差异,不仅能为绿洲的风沙防治提供基础数据,而且有助于丰富风沙物理学研究内容和完善风沙工程防治的理论体系。

1 研究区概况

敦煌市地处甘肃河西走廊的西端,面积 $2.67 \times 10^4 \text{ km}^2$,东侧为三危山,南为鸣沙山,西面为库姆塔格沙漠,北为广阔的戈壁滩(图1)。属典型暖温带大陆性荒漠气候,常年受蒙古高压控制,气流以下沉为主,气候干旱,降水稀少,蒸发旺盛。2009年第4次沙漠化监测的结果显示,敦煌境内沙漠化土地面积为 $1.97 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的73.8%,绿洲面积为

收稿日期:2019-12-05; 改回日期:2020-03-20

资助项目:国家自然科学基金项目(41871016)

作者简介:胡菲(1995—),女,江西吉安人,硕士研究生,主要从事风沙灾害防治研究。E-mail: hufei@lzb.ac.cn

通信作者:张克存(E-mail: kecunzh@lzb.ac.cn)

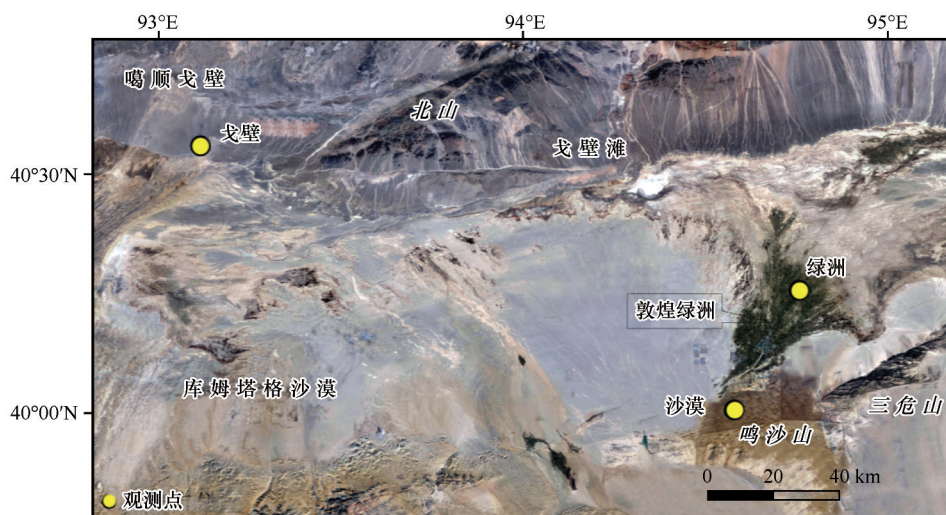


图1 观测点位置

Fig.1 Location of observation sites

1 400 km²,仅占总面积的4.5%。境内地表植被稀疏且单一,冬春季多沙尘暴天气,沙尘日数为15.4 d,春夏季盛行东风,秋冬季盛行西风。

在敦煌境内沙漠、绿洲和戈壁地表典型区域分别架设了20 m高的梯度观测塔。沙漠观测点周边地势起伏较大,沙丘以金字塔形沙丘为主,兼有线

性沙丘,表层几乎无植被覆盖(图2A)。绿洲观测点周边为农田,生长季农作物包括玉米、棉花和向日葵等,周边有高大乔木(图2B)。戈壁观测点地势平坦开阔,地表类型为砾质戈壁,砾石粗细不均且颜色呈深灰色,为典型的黑戈壁,砾石覆盖之下为河湖相沉积物,无植被覆盖(图2C)。

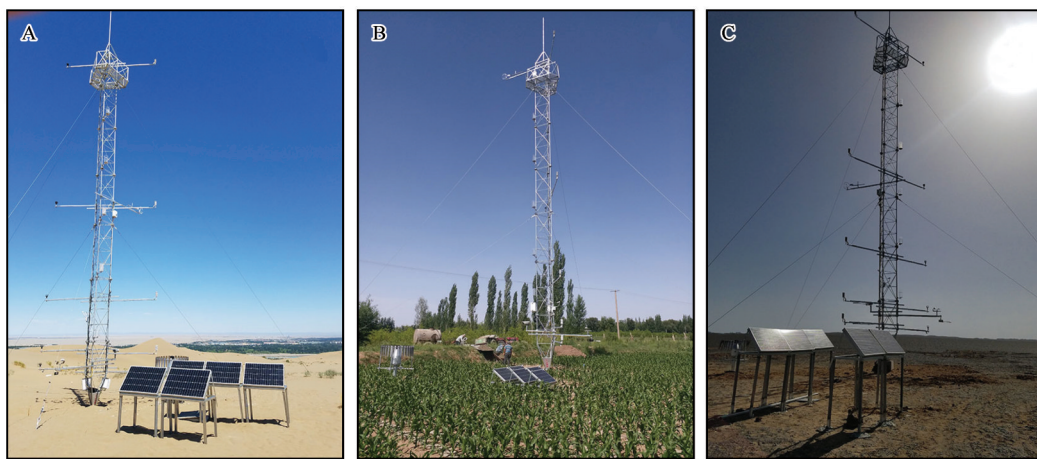


图2 观测点照片(A.沙漠;B.绿洲;C.戈壁)

Fig.2 Pictures of observation sites (A. desert, B. oasis, C. gobi)

2 研究方法

本研究架设了3座观测塔,用于观测沙漠、绿洲和戈壁风速、风向、气温、空气湿度和降水量等,风速风向传感器安装高度距地表1.5、2.5、5、10、20 m,数据采集时间步长为10 min,观测时段为2018年7月至2019年7月,对比分析其输沙势、起沙风况和摩阻风速等风动力环境特征的时空差异。摩阻速

度和空气动力学粗糙度是通过风速廓线对数方程最小二乘法拟合计算而来的^[19]。输沙势采用Fryberger^[20]输沙势公式计算:

$$DP = V^2 (V - V_c) t$$

式中:DP为输沙势,为矢量单位(VU);V为各级别起沙风速10 min平均值, V_c 为临界起沙风速,V和 V_c 的单位为 $\text{nm} \cdot \text{h}^{-1}$;t为起沙风作用时间,一般用频率表示。根据相关区域已有研究,为更好地对比3种

地表的输沙势特征, 本文将 10 m 高度临界起沙风速统一定为 $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [21-23]。

3 结果与分析

3.1 平均风速

3种地表月平均风速差异较明显, 戈壁各月平均风速明显高于绿洲和沙漠, 沙漠次之, 绿洲各月平均风速最小(图3)。戈壁7月风速达最高, 为 $6.68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 1月风速最低, 为 $2.68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 最大与最小月均风速相差达 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。沙漠在1—5月平均风速逐渐增加至最大值 $4.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 随后逐渐减小, 最小值出现在12月, 为 $2.42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。绿洲5月风速最大, 为 $2.43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 7月风速最小, 为 $1.37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 两者仅相差 $1.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 平均风速变幅没有戈壁和沙漠明显。绿洲周边防护林和农作物对近地层风速起了极大的削弱作用。3种地表均为春季风速较大(图4)。沙漠平均风速春季>夏季>秋季>冬季, 戈壁夏季>春季>秋季>冬季, 而绿洲夏、秋季平均风速因植被茂盛对风力的削弱能力增强而小于春、冬季平均风速。

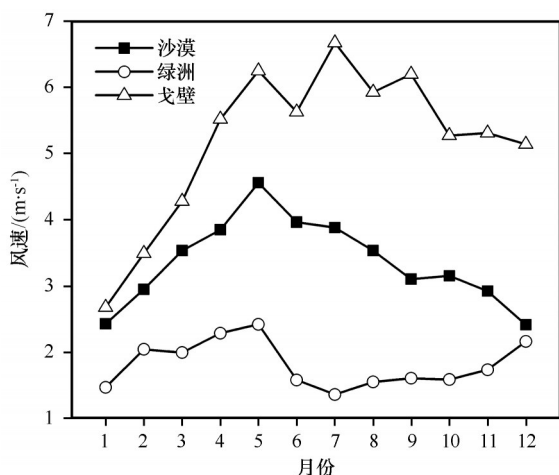


图3 月平均风速变化

Fig.3 Change of monthly average wind speed

3.2 风速廓线、摩阻速度和粗糙度

风速随着高度的升高呈现出不断增大的趋势, 各观测点的拟合系数均大于 0.9, 可见风速随高度变化符合对数分布规律(图5)。同一高度层的风速表现为戈壁最大, 沙漠次之, 绿洲最小。风速随高度的增加大致呈先快速增加后缓慢提速的趋势, 但其增加的速率存在差异。其中绿洲增速最大, 且在春季达最大, 为 $0.34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 冬季最小, 为 $0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在

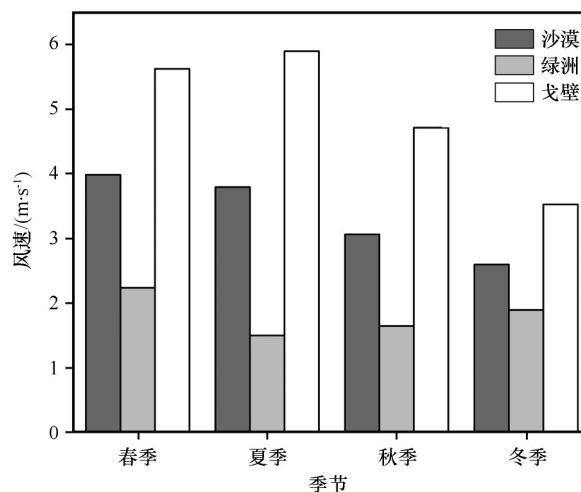


图4 平均风速季节变化

Fig.4 Change of seasonal average wind speed

夏冬两季, 戈壁增速分别为 0.16 、 $0.13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 大于沙漠。沙漠在春秋两季增速大于戈壁, 分别为 0.23 、 $0.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由此说明, 下垫面性质差异对风速变化存在一定影响。

摩阻速度 (U_*) 和空气动力学粗糙度 (Z_0) 可以直观地反映地表抗风蚀能力的强弱。绿洲的摩阻速度最大, 防风效应最强, 且在生长季 (4—10月) 达最大, 为 $1.94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。戈壁因植被稀少, 在生长季和非生长季的摩阻速度差距较小, 差值为 $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。绿洲的粗糙度也最大, 其生长季粗糙度大于非生长季, 两者差距较大, 为 22.22 cm 。而戈壁和沙漠地表粗糙度较小, 均不足 0.3 cm (表1)。由此可见粗糙度与植被盖度有关, 植被盖度越高, 粗糙度越大, 抗风蚀能力越强, 绿洲抗风蚀能力明显高于戈壁和沙漠。

3.3 起沙风

戈壁全年起沙风高达 18 414 次, 年起沙风频率最高, 为 35.4%; 沙漠起沙风频次为 6 430 次, 年起沙风频率为 12.32%; 而绿洲全年起沙风频次仅为 1 928 次, 年起沙风频率仅为戈壁的 1/10, 为 3.68%。戈壁各月起沙风频率均高于沙漠和绿洲地表; 沙漠月起沙风频率除 12 月略低于绿洲, 其余月份高于绿洲; 绿洲的各月起沙风频率最小 (图6)。其中戈壁和沙漠春夏两季起沙风频率较高, 冬季频率较低; 而绿洲冬春季的起沙风频率较高, 夏秋季频率较低。戈壁各风速等级的起沙风频率最大, 沙漠次之, 绿洲最小。随着风速等级的升高, 起沙风频率逐渐降低, 但戈壁在风速大于

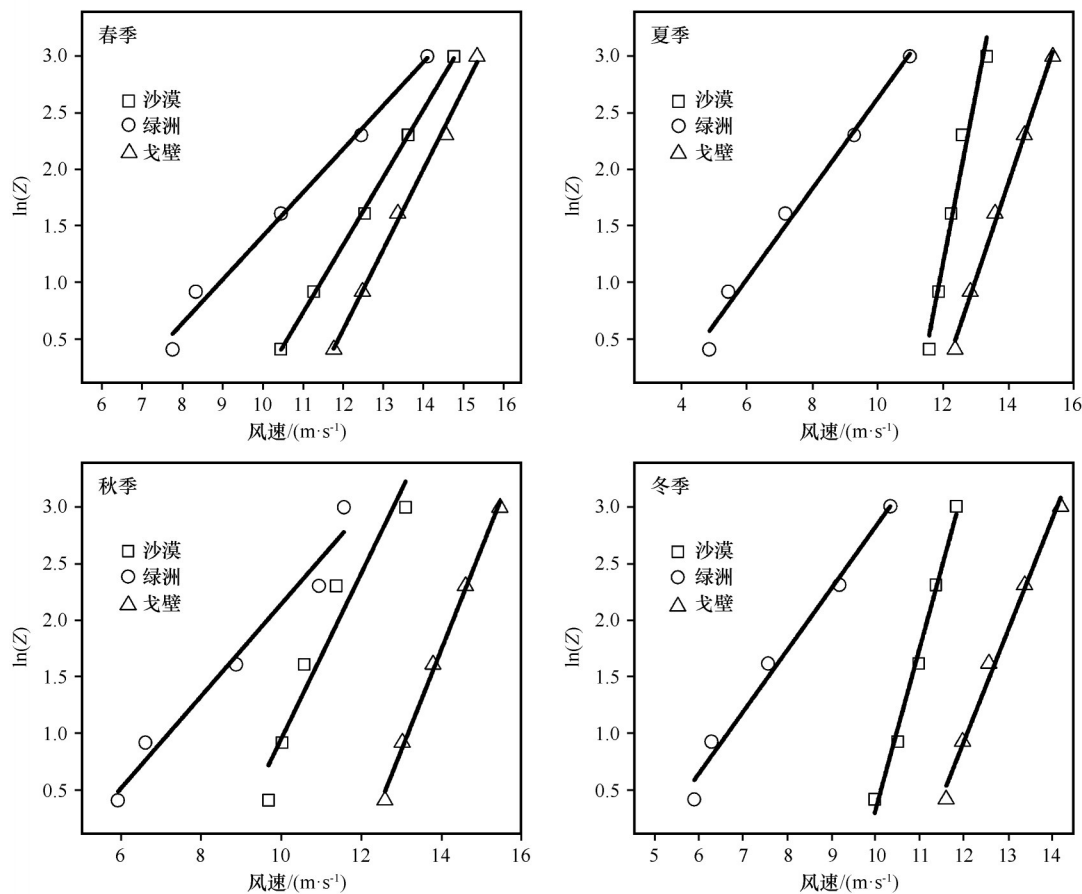


图5 不同季节地表风速廓线
Fig.5 Land surface wind velocity profiles in different seasons

表1 不同时期地表摩阻速度和粗糙度
Table 1 Friction velocity and aero-dynamical roughness length of land surface in different periods

物理量	生长季			非生长季		
	沙漠	绿洲	戈壁	沙漠	绿洲	戈壁
Z_0/cm	0.09	37.20	0.01	0.28	14.98	0.04
$U_* / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0.76	1.94	0.91	0.94	1.75	0.96

12 m·s⁻¹时起沙风频率却又迅速增长(图7),由此可见戈壁多大风天气。

3种地表的起沙风向存在较大差异(图8)。其中戈壁的合成起沙风向为50.35°,起沙风向较单一,主导风向为东北方向,占全年总频次的23.79%。沙漠由多组风向构成,集中在东北、偏南以及偏西方向上,占全年总频次的5.82%,合成起沙风向为177.01°。绿洲的合成起沙风向为71.64°,主导风向为东方向以及西北偏西方向,占全年总频次的2.42%。由此可见,起沙风大致由沙漠吹向绿洲,对绿洲的生态稳定构成威胁。

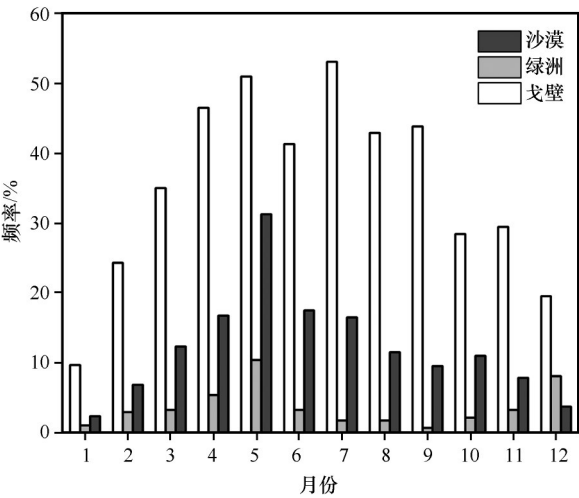


图6 月起沙风频率
Fig.6 Monthly frequency of sand-blowing wind

3.4 输沙势

戈壁年输沙势最大,为754.20 VU,属于高能环境,合成输沙方向为220.88°,方向变率为0.77,属于中高比率,输沙方向较单一,东北方向上输沙势

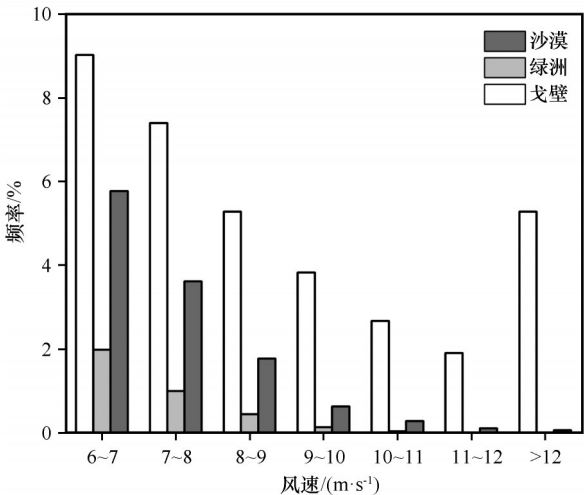


图 7 起沙风等级分布
Fig.7 Distribution of sand-blowing wind

较大,为 461.05 VU,共占全年输沙势的 60%左右。沙漠年输沙势次于戈壁,为 92.49 VU,属于低风能

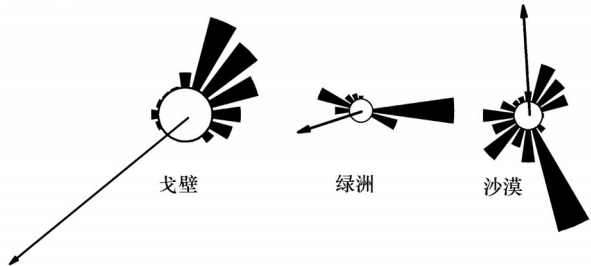


图 8 起沙风玫瑰
Fig.8 The sand-blowing wind roses

环境,合成输沙方向为 16.79°,方向变率为 0.21,属于小比率,输沙方向多变,其在东北、东南和西方向上输沙势较大,分别达 16.14 VU、21.8 VU、13.19 VU,共占全年输沙势的 55%左右。绿洲年输沙势最小,为 21.95 VU,合成输沙方向为 259.53°,方向变率为 0.35,属于中低比率,输沙势集中在东南和西北方向上,分别达 14.23 VU、4.72 VU,共占全年输沙势的 86%左右(图 9)。

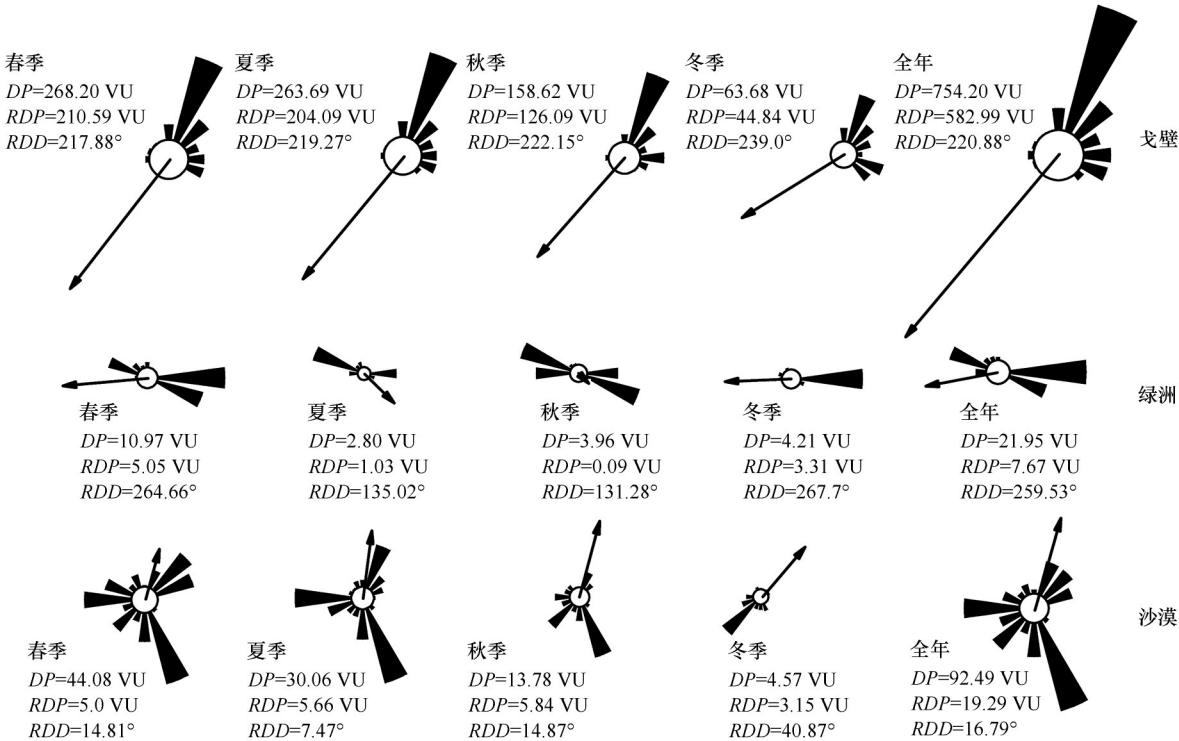


图 9 输沙势
Fig.9 The drift potential

从输沙势的季节变化特征来看,戈壁和沙漠的输沙势从春季到冬季呈逐渐减小的趋势;而绿洲输沙势在冬春两季较大,在夏季和秋季输沙势较小。戈壁春季、夏季和秋季主要输沙方向为东北方向,而冬季输沙势在东北方向上有所减弱,在东南方向上有所增加。沙漠春季、夏季和秋季主要输沙方向

为东南偏南方向,而冬季主要输沙方向偏转为西南方向。绿洲春季和夏季主要输沙方向为东和西北方向,秋季主要输沙方向为东南和西北,而冬季主要输沙方向为东,输沙势在西北方向上大幅减弱。由此说明戈壁和沙漠输沙情况较稳定,而绿洲输沙情况则出现季节波动,绿洲主要受到来自春季偏东

和西北方向的潜在风沙威胁(图9)。

4 结论与讨论

本研究所选观测点为敦煌地区沙漠、绿洲和戈壁地表发育较为典型的区域,且戈壁和沙漠测点相对来说受人为影响小。3个观测点处于统一的环流背景下,但由于地形以及下垫面的热力差异等因素,导致3个测点局地小气候存在一定差异,风速及风向也存在差异,因而3种地表风动力环境特征也存在差异,具有较好的可比性。

戈壁各月平均风速远大于沙漠和绿洲,而绿洲各月平均风速最小,这是由于绿洲多高大树木和农作物,防风效应较强,极大地削弱了风速^[24]。戈壁、绿洲和沙漠的风速廓线符合对数分布规律;绿洲的摩阻速度和粗糙度大于戈壁和沙漠,且在生长季高达 $1.94 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 37.2 cm ;而戈壁和沙漠地表粗糙度较小,均不足 0.3 cm ,且两者摩阻速度接近于 $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这与绿洲作物生长提高了地表粗糙度有关^[25],可通过提高地表粗糙度来防治风沙。沙漠、绿洲和戈壁地表因风速差异而导致输沙势存在较大差异。戈壁观测点起沙风频率和输沙势最高,属于高风能环境;而沙漠和绿洲观测点输沙势较戈壁小,属于低风能环境。戈壁和沙漠起沙风和输沙势集中于春夏两季,绿洲集中在冬春两季;三者均为春季输沙势最大,应在春季加强风沙灾害防治工作。戈壁输沙方向集中在东北方向上;绿洲集中在偏东和偏西方向;沙漠集中在偏东、偏西和偏南方向,这与胡世雄等^[26]、鱼燕萍等^[27]的风向结果相符,由此可知鸣沙山风向较稳定。结合敦煌区域沙源分布情况,可知在绿洲南缘和鸣沙山北侧交界处风沙活动较为强烈,应加强交界处的风沙防治,阻止鸣沙山向绿洲推进。近年来,沙漠化得到有效地遏制,但局部地区仍有恶化的态势。绿洲被沙漠和戈壁所包围,其风沙防治至关重要,与国家生态文明建设和经济社会发展息息相关。

参考文献:

- [1] 董光荣,吴波,慈龙骏,等.我国荒漠化现状、成因与防治对策[J].中国沙漠,1999,19(4):22-36.
- [2] 王涛.干旱区绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势[J].中国沙漠,2009,29(1):1-9.
- [3] Skidmore E L. Soil erosion by wind [C]//El-Baz F, Hassan M H A. Physics of Desertification. Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, 1986:261-273.
- [4] Lal R. Soil degradation by erosion [J]. Land Degradation and Development, 2001, 12:519-539.
- [5] 陈仲全,张正栋.干旱区地理研究[M].兰州:兰州大学出版社,1993:18-24.
- [6] 文子祥,董光荣,屈建军.应重视和加强我国沙漠绿洲的研究[J].地球科学进展,1996,11(3):270-274.
- [7] 张克斌.关于我国西北沙漠绿洲开发中的若干问题[J].北京林业大学学报,1986(1):124-128.
- [8] 董光荣,李森,李保生,等.中国沙漠形成演化的初步研究[J].中国沙漠,1991,11(4):27-36.
- [9] 何清,杨兴华,霍文,等.库姆塔格沙漠粒度分布特征及环境意义[J].中国沙漠,2009,29(1):18-22.
- [10] 俎瑞平,张克存,屈建军.塔克拉玛干沙漠风沙活动强度特征[J].地理研究,2005,24(5):699-707.
- [11] 王训明,董治宝,陈广庭.塔克拉玛干沙漠中部部分地区风沙环境特征[J].中国沙漠,2001,21(1):59-64.
- [12] 屈建军,黄宁,拓万全,等.戈壁风沙流结构特性及其意义[J].地球科学进展,2005,20(1):19-23.
- [13] 黄翠华,王涛,张伟民,等.沙质地表与砾质戈壁风沙运动对比研究:以敦煌莫高窟窟顶风沙运动为例[J].干旱区研究,2007,24(4):556-562.
- [14] 申彦波,沈志宝,杜明远,等.敦煌戈壁地表风蚀起沙量的计算[J].高原气象,2004,23(5):648-653.
- [15] 董智,王丽琴,杨文斌,等.额济纳盆地戈壁沉积物粒度特征分析[J].中国水土保持科学,2013,11(1):32-38.
- [16] 李森,李凡,孙武,等.黑河下游额济纳绿洲现代荒漠化过程及其驱动机制[J].地理科学,2004,24(1):61-67.
- [17] 杨兴华,何清,霍文,等.策勒绿洲-荒漠过渡带风沙前沿近地面不同方向的输沙特征[J].干旱区研究,2012,29(6):1100-1104.
- [18] 毛东雷,蔡富艳,杨雪峰,等.新疆策勒绿洲-沙漠过渡带不同下垫面风场特征[J].干旱区研究,2019,36(5):1117-1126.
- [19] 刘小平,董治宝.空气动力学粗糙度的物理与实践意义[J].中国沙漠,2003,23(4):3-12.
- [20] Fryberger S G. Dune forms and wind regime [M]//McKee E D. A Study of Global Sand Seas. Washington, USA: US Geological Survey, 1979:137-169.
- [21] 丁国栋,赵廷宁,董智,等.风沙物理学[M].北京:中国林业出版社,2010:226.
- [22] 库姆塔格沙漠综合科学考察队.库姆塔格沙漠研究[M].北京:科学出版社,2012:155.
- [23] 王永胜,杨文斌,李永华,等.库姆塔格沙漠东缘荒漠绿洲过渡带风况及输沙势[J].干旱区资源与环境,2015,29(1):140-144.
- [24] 毛东雷,雷加强,曾凡江,等.策勒绿洲-沙漠过渡带风沙活动强度的空间分布特征[J].水土保持学报,2013,27(2):13-19.
- [25] 鞠英芹,刘寿东,马德栗,等.农田与草地地下垫面空气动力学粗糙度的研究[J].科技通报,2016,32(8):5-11.
- [26] 胡世雄,吴正.敦煌鸣沙山金字塔沙丘的形成模式研究[J].地理研究,1997,16(1):60-67.
- [27] 鱼燕萍,张克存,安志山,等.敦煌-格尔木铁路沿线风动力环境特征[J].中国沙漠,2020,40(1):41-48.

Comparison of wind dynamic environment among desert, oasis and gobi

Hu Fei^{1,2}, Zhang Kecun¹, An Zhishan^{1,2}, Yu Yanping^{1,2}

(1. Dunhuang Gobi and Desert Ecological and Environmental Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the synchronous gradient meteorological observation data at 20 m height of three typical landscapes desert, oasis and gobi in Dunhuang, this study compared the wind dynamic environment characteristic parameters, which provides theoretical basis and technical support for ecological management of Dunhuang oasis and comprehensive prevention and control of peripheral sandstorm. The results show that the annual drift potential of the three typical landscapes is significantly different. The gobi's drift potential (DP), resultant drift potential (RDP) and resultant drift direction (RDD) are 754.2 VU, 582.99 VU, 220.88°, respectively. The DP of oasis is 21.95 VU, RDP is 7.67 VU, and RDD is 259.53°. The desert's drift potential is between them, which is 92.49 VU. And the RDP of desert is 19.29 VU, RDD is 16.79°. The spring drift potential is largest in all three typical landscapes, which in gobi, oasis and desert are 268.2 VU, 10.97 VU, and 44.08 VU, respectively. The dominant wind direction in gobi is northeast, but it is variable in desert, mainly east, south and west, and in oasis is east and west. Considering the distribution of regional sand sources, it is known that prevention and control should be strengthened at the junction between the southern edge of the oasis and the northern side of the Singing Sand Mountain to prevent the advancing of the Singing Sand Mountain to the oasis.

Key words: Dunhuang oasis; sand-blowing wind; drift potential; wind velocity profile; friction velocity