

巴音温都尔沙漠东北缘起沙风风况及输沙势特征

张昊¹, 党晓宏^{1,2}, 刘阳³, 蒙仲举^{1,2}, 郭春晖⁴, 张格⁵

(1.内蒙古农业大学 沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2.内蒙古杭锦荒漠生态系统国家定位观测研究站, 内蒙古 鄂尔多斯 017400; 3.内蒙古自治区水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 4.内蒙古自治区包头市东河区农牧林草事业发展中心, 内蒙古 包头 014040; 5.中国林业科学研究院沙漠林业试验中心, 内蒙古 巴彦淖尔 015200)

摘要: [目的] 起沙风和输沙势特征是评估区域风能环境的关键指标。分析巴音温都尔沙漠东北缘起沙风风况和输沙势变化特征, 揭示该地区近地层风动力特点及风沙活动强度, 评估区域风能环境状况, 为研究区风沙运动研究和科学防沙治沙工作提供理论依据。[方法] 基于巴音温都尔沙漠东北缘气象站2017—2021年的风况数据, 系统分析了该区域起沙风风况和输沙势变化特征。[结果] ①该地区年均起沙风频率为43.70%, 平均起沙风速为7.57 m/s, 二者均以春季最高。不同季节和年均起沙风均以偏西(W, WSW, SW)和偏南(S, SSE, SE)风向为主。②年均输沙势(DP)为68.36 VU, 合成输沙势(RDP)为29.39 VU, 风向变率指数(RDP/DP)为0.43, 合成输沙势方向(RDD)为91.33°, 春季输沙势(DP)和合成输沙势(RDP)显著高于其他季节。③研究区起沙风平均风速对输沙势的影响大于起沙风频率, 风沙活动强度主要由风速大小决定。[结论] 巴音温都尔沙漠东北缘整体属于低风能环境, 地表沙物质全年向东输移, 春季是最主要的风沙活动期。6月是人工防护林建设和飞播造林治沙的关键时期, 建议栽植防护林和飞播种子的走向与输沙势方向垂直, 从而阻断沙物质持续东移。

关键词: 起沙风; 输沙势; 风能环境; 巴音温都尔沙漠

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)05-0262-08

中图分类号: P931.3

文献参数: 张昊, 党晓宏, 刘阳, 等. 巴音温都尔沙漠东北缘起沙风风况及输沙势特征[J]. 水土保持通报, 2023, 43(5): 262-269. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.05.031; Zhang Hao, Dang Xiaohong, Liu Yang, et al. Characteristics of sand-driving wind regime and sediment transport at northeast edge of Bayan Wendur Desert [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5): 262-269.

Characteristics of Sand-driving Wind Regime and Sediment Transport at Northeast Edge of Bayan Wendur Desert

Zhang Hao¹, Dang Xiaohong^{1,2}, Liu Yang³, Meng Zhongju^{1,2}, Guo Chunhui⁴, Zhang Ge⁵

(1. School of Desert Control, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China; 2. National Positioning Observation and Research Station of

Hangjin Desert Ecosystem in Inner Mongolia, Ordos, Inner Mongolia 017400, China; 3. Inner Mongolia Water Conservancy Research Institute, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China; 4. Donghe District Agriculture, Animal Husbandry, Forestry and Grass Development Center, Baotou City, Inner Mongolia Autonomous Region, Baotou, Inner Mongolia 014040, China; 5. Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry Sciences, Bayannur, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: [Objective] The characteristics of sand-driving wind and sand-transporting potential are the key indexes for evaluating the regional wind energy environment. The change characteristics of the wind regime and transport potential of sand-driving wind in the Northeast Bayan Wendur Desert were analyzed, the dynamic wind characteristics and the intensity of the wind energy activity near the ground were revealed, and the regional wind energy environment was evaluated, in order to provide a theoretical basis for the study of sand movement and scientific options for sand movement prevention and control. [Methods] Wind data were acquired from a meteorological station on the northeast edge of the Bayan Wendur Desert from 2017 to 2021,

收稿日期: 2023-01-16

修回日期: 2023-03-10

资助项目: 内蒙古自治区科技计划“乌珠穆沁沙地生态脆弱区植被恢复与重建技术研究(2020GG0077)”

第一作者: 张昊(1999—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治监测。Email: zh18747177315@163.com。

通信作者: 党晓宏(1986—), 男(汉族), 陕西省合阳县人, 博士, 副教授, 主要从事荒漠化防治研究。Email: dangxiaohong1986@126.com。

and the characteristics of the sand-driving wind and sediment transport potential in the region were analyzed. [Results] ① The annual average frequency of sand-driving wind was 43.70%, and the average sand-driving wind speed was 7.57 m/s, both of which were the highest in spring. The sand-driving winds in different seasons and the annual average were mainly westerly (W, WSW, SW) and southerly (S, SSE, SE). ② The annual average sediment transport potential (DP) was 68.36 VU. The composite sediment transport potential (RDP) was 29.39 VU. The wind direction variability index (RDP/DP) was 0.43. The composite sediment transport potential direction (RDD) was 91.33°. The DP and RDP in spring were significantly greater than in other seasons. ③ The influence of the average wind speed on the sediment transport potential in the study area was greater than the frequency of the wind speed. The intensity of sand movement was mainly determined by wind speed. [Conclusion] The northeast edge of the Bayan Wendur Desert generally belongs to a low wind energy environment. The surface sand material is transported eastward throughout the year. Spring is the most important period of wind and sand activity. June is the key period for the construction of artificial protective forests and aerial-seeding afforestation for sand control. We recommend that the direction of planting protective forest shelterbelts and for aerial seeding of forest seeds be perpendicular to the direction of sand transport potential so as to block the continuous eastward movement of sand.

Keywords: sand-driving wind; drift potential; wind energy environment; Bayan Wendur Desert

风是地表沙尘物质运移的动力基础^[1],同时也是风成地貌形成的关键外营力^[2]。研究近地层起沙风特征能够掌握区域风沙地貌形成的动力条件^[3],也为防风固沙系统设计和风沙运动研究提供理论基础^[4-5]。输沙势是衡量区域风沙活动强度的关键指标^[6],相比输沙量,输沙势数据更容易获取,计算方法简便,而且可通过线性函数转换,利用输沙势来确定输沙量^[7-8]。Fryberger S. G.等^[9]提出的“DP 计算模型”是最常用的输沙势计算方法,该方法即使没有实测风况数据,仍可利用风速代表值估算输沙势。另外,该方法统一了风动力环境评判标准。例如巴西沿海地区^[10]、科威特沙漠^[11]、塔克拉玛干沙漠^[12]以及柴达木盆地等^[2]不同类型的沙区,均采用同一风动力评判标准,方便不同地区进行风能环境对比分析,对研究区域风沙运动强度具有重要意义。

巴音温都尔沙漠位于内蒙古高原西部巴音戈壁高原地段,是内蒙古五大沙漠之一,也是华北地区主要的风沙灾害区,直接威胁整个河套平原的生态安全。根据已有研究表明^[13],巴音温都尔沙漠在1990—2018年期间沙漠面积已增加195.66 km²,是内蒙古西部扩张率最高的沙漠,风蚀面积占水土流失总面积的92%。在西北风的作用下,沙丘每年以5~10 m的速度东侵南下,与乌兰布和沙漠已呈握手之势,个别地区出现了沙进人退的局面^[14]。2021年春季,中国北方受蒙古气旋和冷锋的影响出现了近10 a最强的沙尘暴天气^[15],巴音温都尔沙漠是此次沙尘暴主要的风沙活动区,沙尘天气导致周边区域空气严重污染,农作物和农业设施受损,给临策铁路、京新高速公路等国家重要基础设施也造成了严重威胁。面

对巴音温都尔沙漠严峻的风沙灾害,已有学者在植被覆盖变化、土壤理化性质和植被群落特征等方面做了大量工作,但是针对该区域风沙运动的研究还未曾报道。利用长期观测的风况数据分析巴音温都尔沙漠起沙风况和输沙势特征,可以为该地区风沙运动研究提供基础数据,明确风沙物质运移的规律,完善沙区风沙工程防治的理论体系。

鉴于此,本文将基于巴音温都尔沙漠东北缘基准气象站2017—2021年监测的风速、风向数据,系统分析巴音温都尔沙漠东北缘起沙风况和输沙势变化特征,揭示该地区近地层风动力特点及风沙活动强度,评估区域风能环境状况,以期为研究区风沙运动研究和科学防沙治沙工作提供理论依据。

1 研究区概况

巴音温都尔沙漠位于内蒙古阿拉善盟和巴彦淖尔市境内,由亚玛雷克、本巴台、海里以及白音查干等沙漠组成,四片沙漠受戈壁山丘阻遏,互不相连。本研究的基准气象站位于巴音温都尔沙漠东北缘,即本巴台和海里沙漠附近,行政区划隶属于巴彦淖尔市乌拉特后旗。该区域海拔1500 m左右,地势东高西低,本巴台沙漠呈东南—西北走向的扇形分布,新月形沙丘链是其主要沙丘类型,海里沙漠以南北走向的沙带为主,向北延伸至蒙古国境内^[16]。该区域属于北纬中温带大陆性季风气候,季节变化明显,温差较大,年均气温6~8℃,年均降雨量250 mm,呈由东向西递减的趋势。受蒙古气压团和狼山影响,主要盛行西南风^[17],年均风速5.5 m/s,最大风速可达20 m/s。地表长期受风力侵蚀导致土壤严重沙化和

砾石化,且营养成分较差,沙漠土壤主要以荒漠风沙土为主,其次是盐化草甸土和灰棕荒漠土^[18],具有丰富的沙尘源。本巴台沙区生态环境相对较好,分布了大量的梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、蒺藜(*Tribulus terrestris*)等植被。海里沙漠主要以球果白刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、籽蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等植物为主。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文所采用 2017—2021 年的风速、风向观测数据均来源于美国国家气象局 NCDC ([https //gis.ncel.noaa.gov](https://gis.ncel.noaa.gov)) 发布的位于巴音温都尔沙漠东北缘的基准气象站点数据,气象站地理坐标为 106.4 E, 41.4 N, 传感器海拔高度 1 510.6 m, 风况观测高度 10 m。每日从 0 时开始,每间隔 3 h 记录 1 次,记录 3 h 内连续 10 min 最大平均风速及风向数据。NCDC 数据源获取渠道便捷,数据可信度高,已被国内外许多科学学者检验应用^[19-20],故可以作为本文的数据支撑。

2.2 研究方法

2.2.1 起沙风统计 起沙风速是地表沙粒移动的启动阈值,受下垫面特征、水分条件等环境因素共同影响,具有非定常性,野外实地测量是目前得到起沙风速最为简单便捷的方法^[21-22]。本试验选在春季,在巴音温都尔沙漠东北缘腹地利用测风速杆多次变更记录地点记录地表沙物质移动的瞬时风速,得到该区域的起沙风风速在 5.8~6.3 m/s 之间,通过对观测数据进行统计分析,风速达到 6 m/s 地表沙粒开始移动的数据占比最高,故定义该地区达到 6 m/s 的风速即为起沙风速。首先将 NCDC 统计的原始气象数据中所有风速达到 6 m/s 的风况按不同月份进行汇总处理,然后计算出不同时间范围内的起沙风频率和起沙风平均风速,再将原始风向数据的 360°方位角平均分成 N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW 和 NNW 这 16 个风向方位^[23],分别计算不同方位的起沙风频率,通常利用玫瑰图来表示风向变化情况。

2.2.2 输沙势计算 精准的输沙势在野外难以获取,绝大部分输沙势的计算方法都是基于不同环境条件下通过拟合试验数据计算出来的^[8]。本研究采用 Fryberger 提出的“DP 计算模型”来计算输沙势,该模型仅需风速代表值即可估算输沙势的大小,是目前输沙势研究最常用的计算方法^[24],计算方程为:

$$DP \propto V^2 * (V - V_t) * t \quad (1)$$

式中:DP 代表输沙势,为矢量单位(VU);V 代表大于起沙风的风速(节); V_t 代表起沙风风速(节);t 代表观测时间范围内起沙风作用时间与总观测时间的百分比。

同样将 360°方位角分为 16 个输沙势方位,参照公式(1)依次计算不同方位的输沙势大小,再将不同方向的输沙势结果进行矢量相加,从而得到合成输沙势(resultant drift potential,简称 RDP)和合成输沙势方向(resultant drift direction, RDD)。同样采用玫瑰图直观分析输沙势变化情况。根据 Fryberger S. G. 等^[9]的划分方法可将研究区分为低风能(DP < 200)、中风能(200 ≤ DP < 400)、高风能(DP ≥ 400) 3 种风能环境。合成输沙势代表一个地区风沙运动过程中净输沙能力的大小,是区域内不同方向输沙势共同作用的结果。通常采用风向变率指数(RDP/DP)来反映风沙活动环境的复杂程度,当(RDP/DP) < 0.3 时,为高风向变率,一般为复杂风况;当 0.3 ≤ (RDP/DP) ≤ 0.8 时,为中风向变率,一般为钝双峰或锐双峰风况;当(RDP/DP) > 0.8 时,为低风向变率,风向较为单一,一般为对应窄单峰或宽单峰风况。

3 结果与分析

3.1 起沙风特征

起沙风是界定风沙运动能够发生的关键标准。由图 1 可知,巴音温都尔沙漠东北缘平均每年起沙风频率为 43.70%,起沙风平均风速为 7.57 m/s。不同月份的起沙风平均风速在 7.2~8.0 m/s,其中 5 月最高,为 7.99 m/s,12 月最低,为 7.25 m/s。春季起沙风平均风速最高,为 7.78 m/s,冬季起沙风平均风速最低,为 7.38 m/s,夏季和秋季相近,分别为 7.52 m/s 和 7.51 m/s。研究区 2—5 月起沙风频率持续增加,5 月达到最大值,为 11.40%,5—9 月呈降低的趋势,8 月全年最低,为 5.97%,10 月至翌年 1 月整体呈增加的趋势。从季节起沙风频率来看,春季频率最高,为 30.45%,秋季频率最低,为 20.12%,夏季和冬季频率相近,分别为 24.91%和 24.52%。

风速决定了风沙活动的强度,而风向决定了沙物质输移的方向以及风沙地貌的形态特征^[25]。由图 2 可知,巴音温都尔沙漠东北缘起沙风风向主要以偏西(W, WSW, SW)和偏南(S, SSE, SE)为主,这两组风向占全年起沙风频率的 66.80%,其中偏西风占 33.44%,偏南风占 33.36%,S 方向的起沙风频率最高,为 17.47%,其次是 W 方向,为 13.26%。

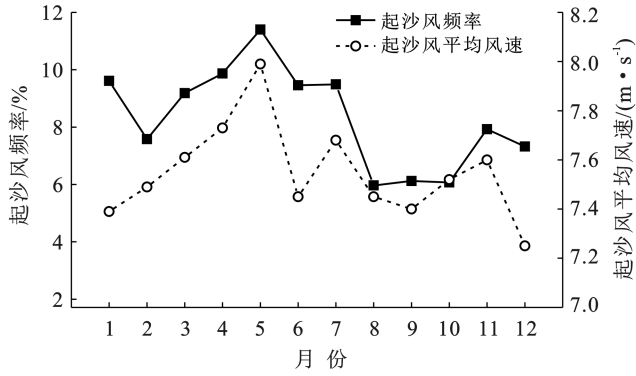


图 1 2017—2021 年起沙风频率和起沙风平均风速月际变化
Fig.1 Monthly variation of sand wind frequency and average wind speed from 2017 to 2021

年风向差异可以反映风向在空间上的分布规律, 季节风向差异则体现风向在时间上的动态变化特征^[26]。2017—2021 年期间, 研究区四季起沙风风向与年起沙风风向特征一致(图 3), 均以偏西(W, WSW, SW)和偏南(S, SSE, SE)风向为主。春季起沙风主要集中在 W, S, SSE 方向, 起沙风频率分别为

15.98%, 15.08%, 8.30%。夏季起沙风主要集中在 SSE, S, W 方向, 起沙风频率分别为 15.67%, 11.32%, 11.31%。秋季和春季的起沙风风向一致, 主要集中在 S, W, WSW 方向, 起沙风频率分别为 18.80%, 15.21%, 13.33%。冬季起沙风风向结构简单, 以 S, WSW, SW 方向为主, 起沙风频率依次为 25.60%, 18.51%, 16.90%。

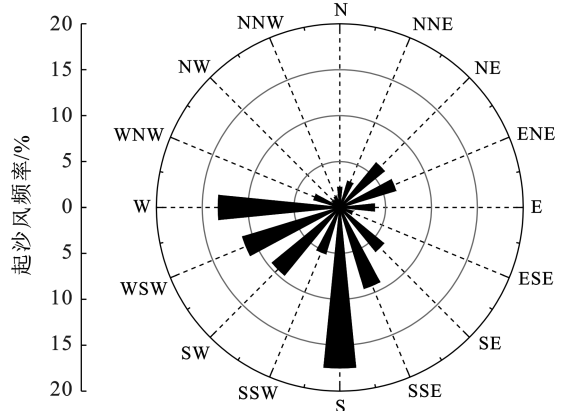


图 2 2017—2021 年起沙风风向玫瑰图
Fig.2 Rose diagram of sand-driving wind from 2017 to 2021

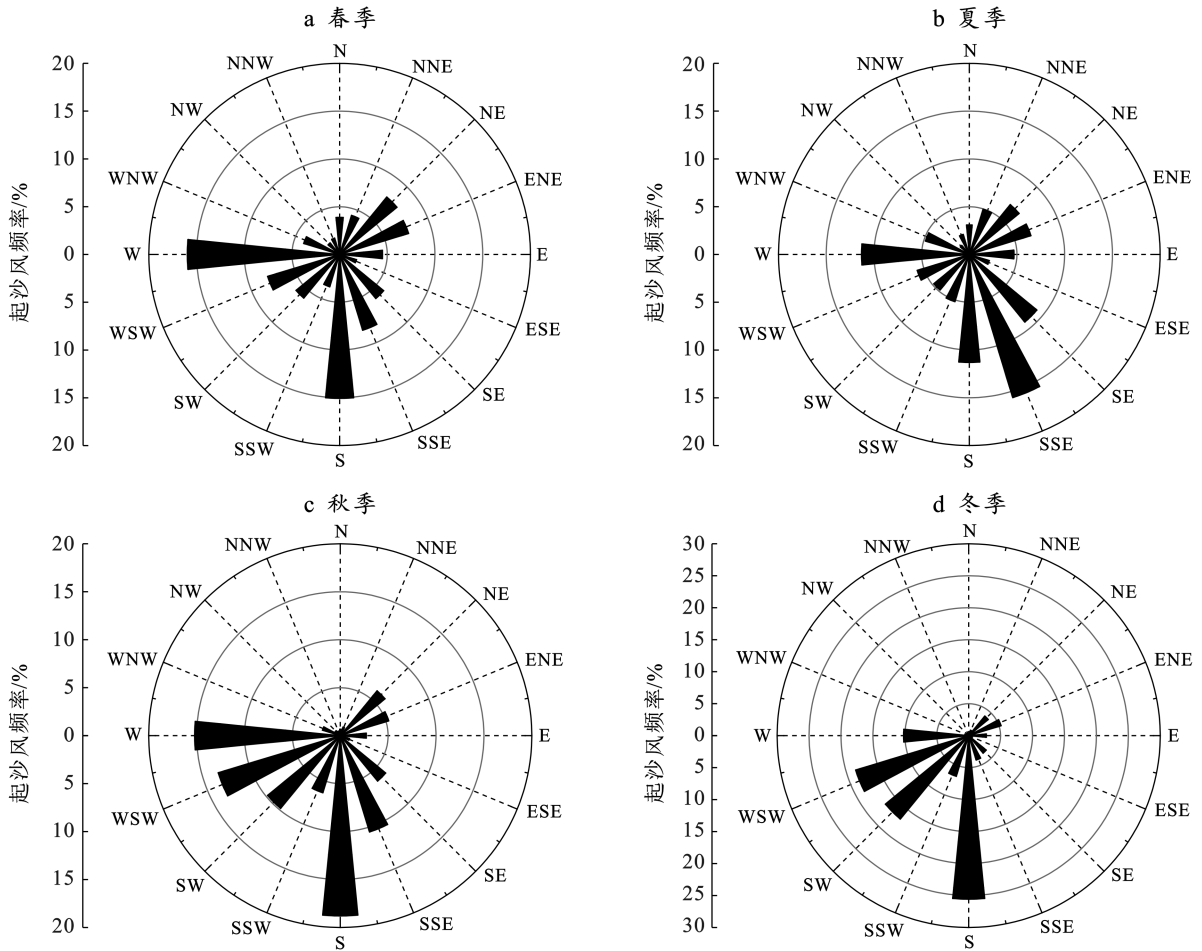


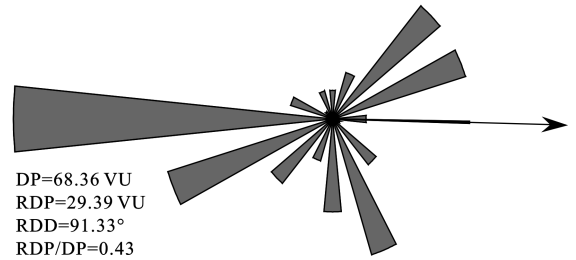
图 3 2017—2021 年四季起沙风风向玫瑰图
Fig.3 Rose diagrams of sand-driving wind for four seasons from 2017 to 2021

3.2 输沙势特征

输沙势和输沙势方向能够清楚反映地表沙物质的运动规律,是区域风沙活动强度和风沙地貌形成的重要判别标准^[27-28]。2017—2021年,研究区年均输沙势(DP)为68.36 VU(图4),根据区域风能划分标准^[9],该地区整体属于低风能环境(DP<200)。主要输沙方向集中在西和西南方向,其中W方向输沙势最大,为18.28 VU,其次是WSW方向,输沙势为8.24 VU。合成输沙势(RDP)为29.39 VU,风向变率指数(RDP/DP)为0.43,属于中风向变率,风况为锐双峰风况,区域风能环境较为复杂。合成输沙势方向(RDD)为91.33°,在E方向,表示该地区全年沙物质整体向东移动。

由图5可知,研究区年输沙势和季节输沙势变化特征一致,风向变率指数均属于中比率,合成输沙方向均以偏东为主。其中春季输沙势全年最高,为25.35 VU,占年输沙势的37.08%,W方向输沙势最大,为8.57 VU,合成输沙势显著高于其他季节,为12.52 VU,合成输沙势方向为81.98°,大约在东北偏东方向,风向变率指数为0.49,风况为钝双峰风况。夏季输沙势为16.24 VU,占年输沙势的23.76%,SSE

方向输沙势最大,为3.75 VU,合成输沙势为6.55 VU,合成输沙势方向为128.19°,大约在东南偏东方向,风向变率指数为0.40,风况为钝双峰风况。秋季输沙势全年最小,为12.73 VU,占年输沙势的18.62%,输沙势结构与春季相似,W方向输沙势最大,为3.73 VU,合成输沙势为4.79 VU,合成输沙势方向为96.71°,大约在东南偏东方向,风向变率指数为0.38,风况为锐双峰风况。冬季输沙势为14.05 VU,占年均输沙势的20.55%,主要输沙方向在WSW和W方向,输沙势分别为3.63 VU和3.52 VU,合成输沙势为7.14 VU,合成输沙势方向为72.88°,大约在东北偏东方向,风向变率指数为0.51,风况为锐双峰风况。



注:玫瑰图中箭头方向为合成输沙方向。下同。

图4 2017—2021年输沙势玫瑰图

Fig.4 Rose map of annual drift potential from 2017 to 2021

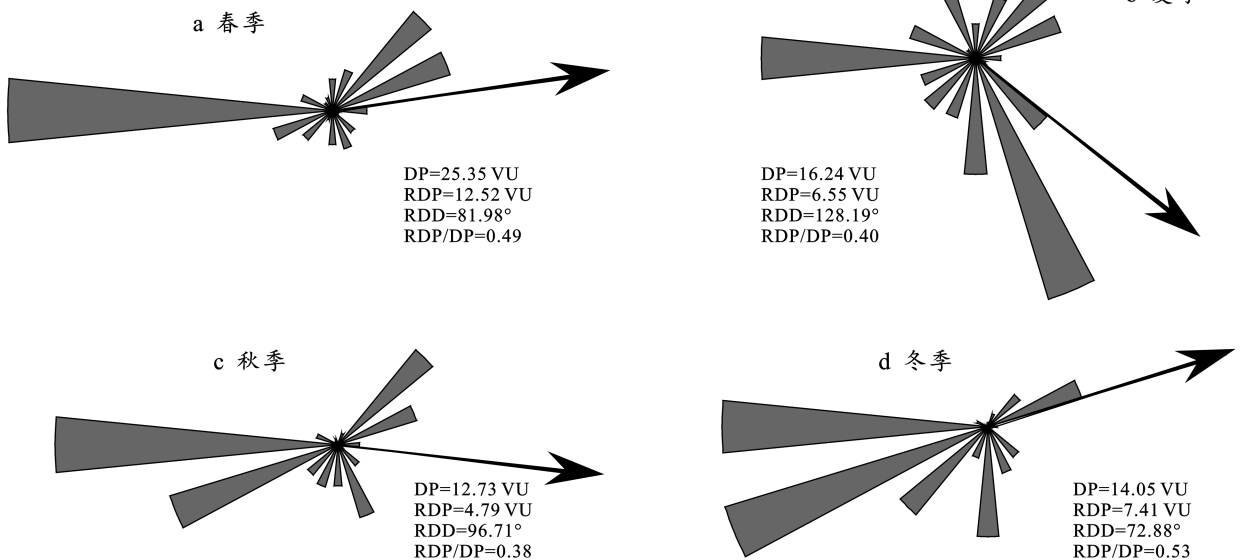


图5 2017—2021年四季输沙势玫瑰图

Fig.5 Rose maps of drift potential for four seasons from 2017 to 2021

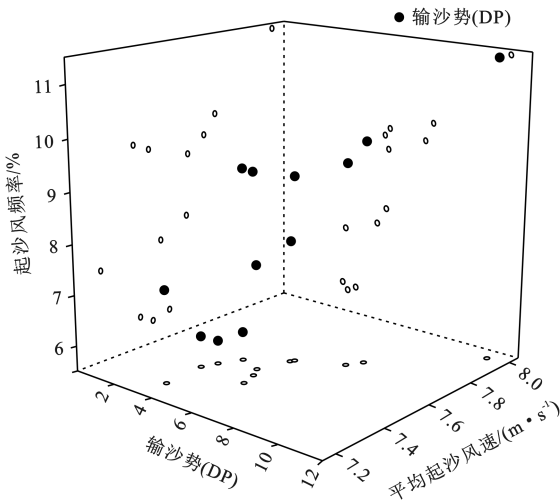
3.3 起沙风风况与输沙势关系分析

通过输沙势计算公式可知,输沙势的大小主要决定于起沙风频率及起沙风风速,而二者对风沙活动强度的控制受区域环境差异的影响。由图6可以看出,随着起沙风频率的增大,起沙风平均风速有所增加,而输沙势也呈现逐步增大的趋势,三者变化趋势基本

一致,具有同增共减的特点。

将研究区内年输沙势分别与起沙风频率和平均起沙风速进行线性拟合分析(图7),可以看出,输沙势和起沙风频率的拟合曲线为 $y = -0.0747x^2 + 1.723x + 1.3578$, $R^2 = 0.8297$ 。输沙势和平均起沙风速的拟合曲线为 $y = 0.0016x^2 + 0.056x + 7.1731$,

$R_2^2=0.8409$ 。其中 $R_2^2>R_1^2$,说明研究区平均起沙风速对输沙势的影响要大于起沙风频率,研究区风沙活动强度主要由风速大小决定。



注:三维空间的 3 个平面上的空心球为输沙势在 3 个平面上的投影。

图 6 逐月起沙风频率、起沙风平均风速、输沙势三维空间关系

Fig.6 Three-dimensional spatial relationship diagram of monthly sand wind frequency, average wind speed and sediment transport potential

3.4 防治对策

巴音温都尔沙漠防风固沙工作的关键在于加强地方林业生态环境建设。目前人工防护林、封沙育林和飞播造林技术是巴音温都尔沙漠最常用的防风固沙技术措施,有效降低了风沙灾害带来的危害。选取

适宜的种植期和飞播期是保证苗木和种子正常生长的关键环节,结合研究区输沙势与月均降水量和月均气温的关系来看(图 8),该区域风沙运动活跃期为 4 月、5 月,同期平均气温逐渐回升,但平均降水量较低,不适宜植物的自然生长。6 月是季风的过渡期,风沙活动强度开始显著下降,有利于幼苗生长和种子自然覆沙,同期降水量和平均气温持续增加,可为幼苗生长发育和种子萌发提供所需水分和适宜的温度,是研究区生态林业建设的最佳时期。8—9 月是风沙运动衰弱期,同期风向分布不均,飞播种子受弱风及风向影响会导致落种不均,不利于种子的自然覆沙和传播,但同期降水量高,温度适宜植物生长,是人工种植防风阻沙植物和封沙育林的关键时期。

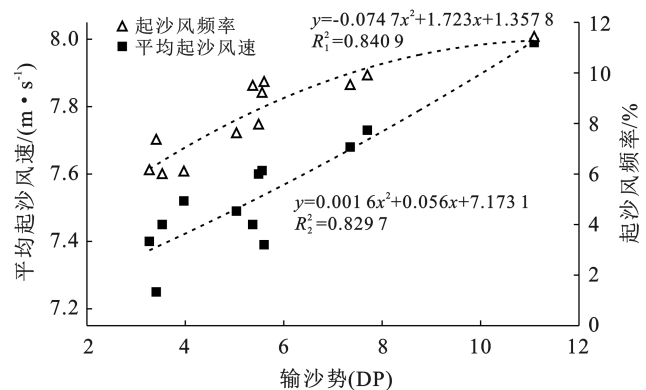


图 7 逐月起沙风频率、平均起沙风速、输沙势线性拟合关系

Fig.7 Linear fitting diagram of monthly sand wind frequency, average sand wind speed and sediment transport potential

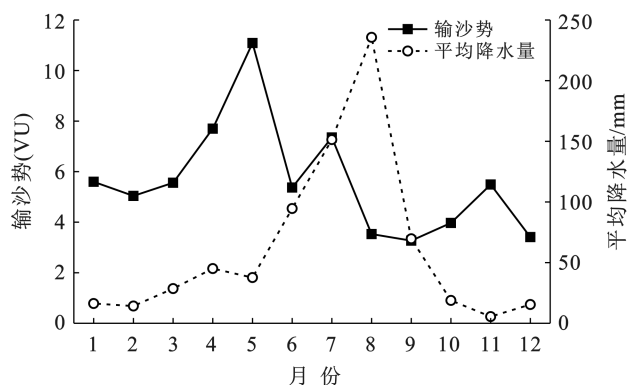
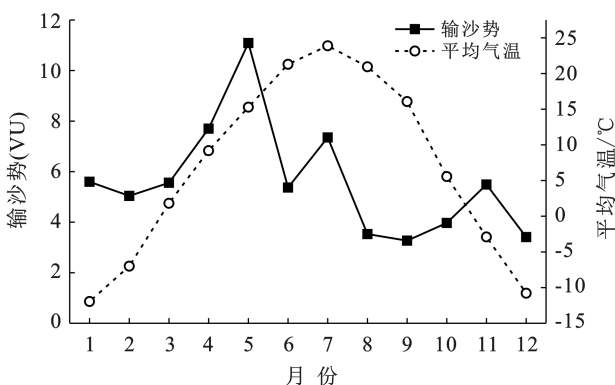


图 8 输沙势与平均降水量、平均气温的年内变化关系

Fig.8 Relationship of annual variation of sediment transport potential, average precipitation and average temperature

另外,林业生态环境建设要重点考虑研究区风能环境特点。巴音温都尔沙漠东北缘属于严重沙化地区,结合研究区风况特点和净输沙方向来看,该地区西风发生频率高,沙物质整体向东输移,沙漠仍有东侵扩张的趋势。因此,该区域的人工防护林建设和飞

播种子走向应与输沙势方向垂直,加强南北走向防护林带的防风能力,有效降低风速。同时在已有天然植被沙区,围栏封育,保护植被,增强地表植被覆沙能力,减轻研究区的风力侵蚀,减缓沙漠持续东扩的进程。

4 讨论与结论

4.1 讨论

风沙流结构受近地面流场特征、下垫面形态、空气湿度以及植被盖度等多种环境影响,具有明显的时间差异性和地域差异性^[29-30]。研究区春季起沙风频率和起沙风平均风速显著高于其他季节,风沙运动最为活跃。主要原因是春季高空低槽迅速向东移动,气压活动中心位置不稳定,海平面冷锋过境和蒙古气旋强烈发展形成梯度风^[31-32],导致春季大风天气较其他季节增多。另外,结合降雨数据来看,研究区春季降水量仅占年降水量的 18.78%,沙尘天气爆发的主要条件之一就是降水偏少,地表干燥。降水能够提高土壤水分含量,促进地表植物生长,从而起到防风固沙的作用。土壤水分的增加还可以增加土壤黏结力,进而增大起沙风速^[33]。近几年乌拉特后旗上空大气环流异常,不利于水汽结合,导致该区域降水异常偏少,土壤水分得不到充分的补给,春季旱情持续加重^[34]。干旱所导致的地表植被覆盖低、土壤墒情差等多种环境因素的耦合是导致研究区春季沙尘天气频发的重要原因。研究区年输沙势为 68.36 VU,与周边的乌兰布和沙漠^[28](183.38 VU)、腾格里沙漠^[35](358.7 VU)以及巴丹吉林沙漠^[36](733.40 VU)相比,风沙活动相对较弱。另外,以上沙区的沙物质整体向东南方向输移,而研究区沙物质整体向东输移,主要原因是内蒙古西部荒漠区受蒙古—西伯利亚高压影响,盛行西风和西偏北风,而研究区南部毗邻狼山山脉,西北风受狼山的影响而发生气流改变,导致狼山北部的盛行风向转为西偏南风^[16],主导风向的改变最终决定了研究区的净输沙方向发生了改变。

风力是塑造风沙地貌形态的主要驱动力,研究区域风动力环境不仅能够认识风沙地貌特征,还能为沙区风沙灾害的治理提供科学参考^[26]。结合 Google 卫星影像图来看,巴音温都尔沙漠东北部沙丘形态以新月形沙丘为主,本巴台沙漠西北部新月形沙丘呈西北—东南(WNW-ESE)走向,沙丘两翼主要指向东偏南方向,而本巴台沙漠东部以及海里沙漠,新月形沙丘整体呈西—东(W-S)走向,沙丘两翼主要方向偏东,与本文求得合成输沙势方向一致,狼山北部盛行西偏南风是导致新月形沙丘发生改变的主要原因。且该地区以 S, W 方向为主导风导致本巴台沙漠中部形成了大量格状沙丘,并在沙丘间形成了较深的沙窝。风沙运动环境不仅决定沙丘的形态特征,而且直接影响沙漠的发展进程^[37]。已有研究表明^[17],1986—2019 年期间,本巴台沙漠东部已向东南方向

移动了 378.48 m,海里沙漠向东移动了 385.21 m。研究区偏西风发生频率最高,风力强劲,是导致沙漠东移的主要原因。

输沙势作为评价风沙活动强度的一种常规方法,是风沙运动研究的基础。然而,输沙势代表的是区域内长期潜在的最大输沙量,是一种理想条件下的预测值。评价风沙活动强度不仅需要分析风速、风向的变化特征,还应该考虑地形地貌、土壤理化性质、植被盖度、天气变化等环境因素的影响^[28]。另外,临界起沙风速在野外自然状态下,是一个具有一定变化范围的不定值。在已有的输沙势研究中所采用的临界起沙风速值均为地区起沙风速代表值,没有考虑其他因素对起沙风速的影响,所得输沙势仅能代表区域内的潜在最大输沙量。目前,针对风沙活动强度的研究以起沙风况和输沙势变化特征为主,有关环境因素对风沙运动环境和临界起沙风速影响的研究相对较少。因此,在今后的风沙流研究中,应进一步探讨环境因素与风沙活动强度之间的关系,加强野外临界起沙风速值的研究,综合考虑外界因素对风速和风沙运动环境的影响,将野外实测风沙流与输沙势相结合,完善风沙活动强度评价体系,精准掌握区域内的风沙运动环境特点,以期区域防风固沙工作和生态环境保护提供科学理论依据。

4.2 结论

(1) 巴音温都尔沙漠东北缘 2017—2021 年年均起沙风频率为 43.70%,起沙风平均风速为 7.57 m/s。春季起沙风频率和起沙风平均风速最高,分别为 30.45%和 7.78 m/s。年起沙风风向主要以偏西(W, WSW, SW)和偏南(S, SSE, SE)方向为主,合计占全年起沙风频率的 66.80%,其中 S 方向频率最高,为 17.47%。不同季节起沙风与年起沙风风向一致。

(2) 研究区年输沙势(DP)为 68.36 VU,整体属低风能环境,W 方向输沙势最大,为 18.28 VU。合成输沙势(RDP)为 29.39 VU,风向变率指数(RDP/DP)为 0.43,属中风向变率,风况为锐双峰风况。合成输沙势方向(RDD)为 91.33°,地表沙物质全年向东输移。不同季节合成输沙势方向均以偏东为主,春季输沙势(DP)和合成输沙势(RDP)显著高于其他季节,分别为 22.35 VU 和 12.52 VU,是最主要的风沙活动期。

(3) 研究区月均输沙势与起沙风频率和平均起沙风变化趋势基本一致,具有同增共减的特点。平均起沙风速对输沙势的影响要大于起沙风频率,说明研究区风沙活动强度主要由风速大小决定。

(4) 结合研究区月均降水量、气温和风能环境分

析,建议巴音温都尔沙漠人工种植防护林和飞播造林时期集中在6月,栽植防护林和飞播种子的走向与输沙势方向垂直,从而阻断沙物质持续东移。

[参 考 文 献]

- [1] 苗恒录,王健,张瑞强,等.内蒙古阴山北麓荒漠草原风况与输沙势研究:以希拉穆仁草原为例[J].干旱区资源与环境,2022,36(4):102-110.
- [2] 陈宗颜,董治宝,汪青春,等.柴达木盆地风况及输沙势特征[J].中国沙漠,2020,40(1):195-203.
- [3] 朱震达,吴正,刘恕,等.中国沙漠概论[M].2版.北京:科学出版社,1980:53-54.
- [4] 陈宗颜,董治宝,鄂崇毅,等.1971—2015年共和盆地风况特征及变化趋势[J].兰州大学学报(自然科学版),2020,56(2):224-230.
- [5] 梁晓磊,牛清河,安志山,等.甘肃瓜州锁阳城南雅丹地貌区起沙风况与输沙势特征[J].中国沙漠,2019,39(3):48-55.
- [6] 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.
- [7] 张正恩,董治宝,赵爱国,等.输沙量与输沙势的关系[J].中国沙漠,2011,31(4):824-827.
- [8] 房彦杰.基于Fryberger方法的塔克拉玛干沙漠输沙势时空分布特征分析[D].四川成都:四川师范大学,2015.
- [9] Fryberger S G, Dean G. Dune forms and wind regime [M]// A Study of Global Sand Seas. Washington DC: U. S. Geological Survey, 1979.
- [10] Martinho C T, Hesp P A, Dillenburg S R. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil [J]. Geomorphology, 2010, 117 (1/2):14-32.
- [11] Al-Awadhi J M, Al-Helal A, Al-Enezi A. Sand drift potential in the desert of Kuwait [J]. Journal of Arid Environments, 2005, 63(2):425-438.
- [12] 孙小云,房彦杰,赵景峰,等.塔克拉玛干沙漠输沙势时空分布特征[J].干旱区地理,2020,43(1):38-47.
- [13] 王敏杰.近30年内蒙古西部沙漠面积、边界及沙漠湖泊变化研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古大学,2019.
- [14] 曹辉.飞播封育措施治理沙漠环境浅谈:以巴音温都尔沙漠为例[J].现代园艺,2019(4):168-169.
- [15] 杨晓军,张强,叶培龙,等.中国北方2021年3月中旬持续性沙尘天气的特征及其成因[J].中国沙漠,2021,41(3):245-255.
- [16] 刘娜娜.风成作用对狼山以西沙漠沉积物理化性质的影响[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [17] 苏丽德.1986—2019年乌拉特后旗荒漠化动态变化分析[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [18] 阿路斯呼德.巴音温都尔沙漠五种植物群落特征及土壤研究[D].内蒙古呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
- [19] 顾立霞,吕萍,马芳,等.不同数据源下毛乌素沙地风况及输沙势特征[J].中国沙漠,2022,42(5):54-62.
- [20] 陈曼雨.基于空间单元划分和气象要素空间分辨率的水文模型不确定性研究[D].湖北武汉:武汉大学,2021.
- [21] 伊力哈木·伊马木,李菊艳,玉米提·吾提库尔,等.起沙风速的观测方式及其影响因素研究综述[J].中国水土保持,2021(5):42-44.
- [22] 吴正.风沙地貌学[M].北京:科学出版社,1987:38-39.
- [23] 汪海娇,田丽慧,张登山,等.青海湖东岸沙地风沙活动特征[J].中国沙漠,2020,40(1):49-56.
- [24] 庞营军,吴波,贾晓红,等.毛乌素沙地风况及输沙势特征[J].中国沙漠,2019,39(1):62-67.
- [25] Bagnold R A. The physics of blown sand and desert dunes [M]. London: Methuen & co.,ltd,1941.
- [26] 田敏,钱广强,杨转玲,等.柴达木盆地东北部哈勒腾河流域风况特征及其对风沙地貌发育的影响[J].中国沙漠,2021,41(1):1-9.
- [27] 张华,李锋瑞,李玉霖,等.科尔沁沙地奈曼旗近5年来风况及合成输沙势[J].中国沙漠,2004,24(5):623-627.
- [28] 罗凤敏,高君亮,辛智鸣,等.乌兰布和沙漠东北缘起沙风况及输沙特征[J].农业工程学报,2019,35(4):145-152.
- [29] 韩致文.半湿润地区风沙流结构的定量研究:以豫北沙地为例[J].中国沙漠,1993,13(3):25-31.
- [30] 毛东雷,蔡富艳,雷加强,等.新疆策勒河下游塔克拉玛干沙漠南缘风沙活动特征[J].干旱区资源与环境,2016,30(7):169-174.
- [31] 刘海云.内蒙古巴彦淖尔市大风沙尘天气过程分析[J].江西农业,2017(1):44-45.
- [32] 陈亿,尚可政,王式功,等.内蒙古半干旱区沙尘天气特征及其与地表特征的关系[J].中国沙漠,2013,33(4):1131-1137.
- [33] 贺大良,申建友.降水对起沙风速的影响[J].中国沙漠,1988,8(4):21-29.
- [34] 梁凤娟,张保龙.乌拉特草原2018年上半年干旱监测与成因浅析[J].高原气象,2021,40(5):1147-1153.
- [35] 张克存,俎瑞平,屈建军,等.腾格里沙漠东南缘输沙势与最大可能输沙量之比较[J].中国沙漠,2008,28(4):605-610.
- [36] Zhang Zhengcai, Dong Zhibao, Li Chunxiao. Wind regime and sand transport in China's Badain Jaran Desert [J]. Aeolian Research, 2015, 17:1-13.
- [37] 刘陶,杨小平,董巨峰,等.巴丹吉林沙漠沙丘形态与风动力关系的初步研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1285-1291.