

胡光印,董治宝,张正偲,等.若尔盖盆地起沙风风况与输沙势特征[J].中国沙漠,2020,40(5):20-24.

# 若尔盖盆地起沙风风况与输沙势特征

胡光印<sup>1,2</sup>,董治宝<sup>1</sup>,张正偲<sup>2</sup>,周明<sup>3</sup>,尚伦宇<sup>2</sup>

(1.陕西师范大学地理科学与旅游学院,陕西西安710119;2.中国科学院西北生态环境资源研究院,甘肃兰州730000;3.中国葛洲坝集团股份有限公司,湖北武汉430000)

**摘要:**采用中国科学院西北生态环境资源研究院若尔盖高原湿地生态系统研究站实测的风速、风向数据(每小时记录),对若尔盖盆地起沙风风况与输沙势进行了分析。结果表明:若尔盖盆地年平均风速为 $2.59\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,春季平均风速 $3.14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,夏季、秋季、冬季的风速较小且相差不大,平均风速分别为 $2.45$ 、 $2.24$ 、 $2.53\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。起沙风占全年风速记录的 $8.75\%$ ,主要来自WNW、NE和NNE方向,分别占起沙风的 $26.23\%$ 、 $16.70\%$ 和 $15.27\%$ 。若尔盖盆地的年输沙势为 $66.44\text{ VU}$ ,属于低风能环境( $\leq 200\text{ VU}$ );年合成输沙势为 $36.22\text{ VU}$ ,合成方向为 $155^\circ(\text{SSE})$ ;年输沙势的方向变率指数( $RDP/DP$ )为 $0.55$ ,属于中变率( $0.3\sim 0.8$ );从方向上来看,年输沙势主要来自于WNW,占年输沙势的 $37.36\%$ ;其次为ENE,占 $16.08\%$ 。该地区的输沙势还存在明显的季节变化特征:春季输沙势最大,为 $31.58\text{ VU}$ ,占年输沙势的 $47.54\%$ ;其次是冬季,输沙势为 $19.91\text{ VU}$ ,占全年的 $29.96\%$ 。春季和冬季合成输沙势的方向分别为 $155^\circ(\text{SSE})$ 和 $122^\circ(\text{ESE})$ ,该地区的风沙运移方向与年合成输沙势的方向(SSE)基本一致。

**关键词:**若尔盖盆地;起沙风;输沙势;沙漠化;黄河源区;青藏高原

文章编号:1000-694X(2020)05-020-05

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00044

中图分类号:P931.3

文献标志码:A

## 0 引言

在全球变暖的大背景下,青藏高原高寒地区沙漠化<sup>[1-3]</sup>、风沙灾害<sup>[4-5]</sup>、风沙地貌<sup>[6-8]</sup>等方面的研究在近十多年来不断得到加强,并已获得了丰富的成果。青藏高原的风沙地貌面积小且分布零散,风沙地貌类型简单,风沙地貌形成时间较短,风沙活动对气候变化的响应较为敏感<sup>[9]</sup>。作为风沙地貌形成和演化的最主要驱动力,无论是在沙漠化过程还是风沙灾害方面,风力都是最重要的驱动因素。然而,由于青藏高原地域辽阔且自然条件严酷,基础设施较差,目前对于青藏高原风沙分布地区的风况观测数据很少,这在很大程度上阻碍了人们对青藏高原风沙活动特征的认知。

青藏高原处于副热带西风带的控制区域,高空西风带强度的变化可以通过动量下传进而改变地表风速<sup>[10]</sup>。由于受到西风急流的影响,青藏高原的

大风天气主要发生于11月至次年的4月,已观测到的极大风速可达 $33.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ <sup>[11]</sup>。从整个青藏高原各个季节的近地面风速来看,冬季的平均风速最大,其次是春季。从青藏高原冬季风速的空间分布特征来看,总体上青藏高原西部的风速要大于高原东部,风速最大的区域主要位于羌塘高原一带<sup>[3]</sup>。但由于青藏高原西部沙源不足,即便风速较大,风沙分布面积比高原东部的众多盆地却较小。因此,目前已开展的输沙势相关研究主要在高原东部各个盆地和青藏高原工程走廊沿线。

根据青藏高原风沙分布地区的不同地貌特征,可将风沙分布归纳为4类:干旱盆地风沙地貌,如柴达木盆地等;河谷风沙地貌,如雅鲁藏布江河谷等;湖滨风沙地貌,如青海湖等;山麓风沙地貌,如普若岗日等<sup>[9]</sup>。若尔盖盆地的风沙属于河谷风沙地貌,这是由于该地区的黄河及其支流黑河和白河与风沙地貌之间有着密切的关系。青藏高原面积较大,

收稿日期:2020-04-09;改回日期:2020-04-28

资助项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0403);国家自然科学基金项目(41875016,41871008);中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室开放基金项目(LPCC2017008)

作者简介:胡光印(1980—),男,贵州遵义人,副教授,博士,主要从事青藏高原地区沙漠化与风沙活动研究。

E-mail: guangyinhu@snnu.edu.cn

东西向和南北向的跨度较大,导致其不同区域的自然条件差异非常大。位于青藏高原北部的柴达木盆地的北部年均降水量不足 50 mm,属于极干旱地区。然而位于青藏高原东部的若尔盖盆地年均降水量高达 700 mm,属于半湿润区<sup>[3]</sup>。这就导致了若尔盖盆地内的风沙地貌分布面积较小,且多以斑块状出现(图 1),风沙分布面积仅占盆地面积的 4%<sup>[12]</sup>。在若尔盖盆地,自 20 世纪 80 年代以来,该地区的沙漠化经历了快速的发展和逆转过程<sup>[12-13]</sup>。然而,风力作为风沙活动的直接驱动力,在该地区却少有研究。虽然目前已有学者对玛曲地区 2014—2016 年的年输沙势特征做了分析,但对于各个季节尺度上的风况特征却并未进一步剖析<sup>[14]</sup>。因此,本研究采用每小时记录的风速风向数据,对起沙风风况和输沙势的特征进行更加深入的分析,以期为该地区的沙漠化防治和风沙地貌研究提供科学参考。

### 1 研究区概况

若尔盖盆地位于青藏高原的东部,是黄河源区的重要组成部分(图 2)。若尔盖盆地是在青藏高原抬升过程中形成的一个断陷盆地,形成于新生代晚期<sup>[15]</sup>。该盆地东抵岷山,西临阿尼玛卿山,北起尕斯海湖,南抵邛崃山,地理坐标为 32°17'46"—34°7'27"N、101°30'16"—103°22'3"E。若尔盖盆地面积为 19 400 km<sup>2</sup>,海拔在 3 500 m 左右。地貌类型以宽谷、缓丘为主,由于地面平坦低洼,水流不畅,形成大面积湿地。高原丘陵草甸面积广阔,黄

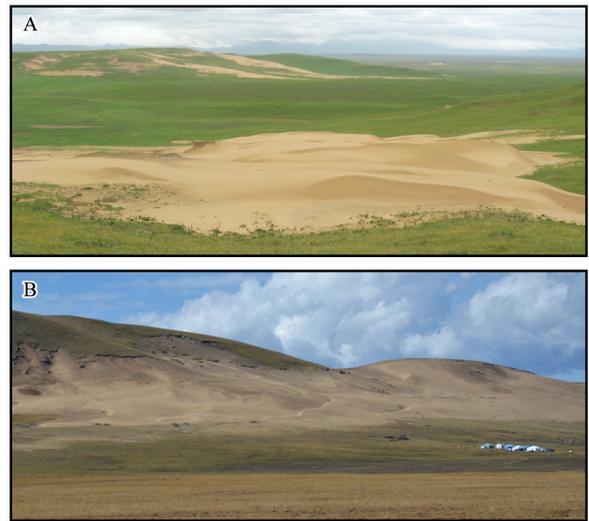


图 1 若尔盖盆地的风沙活动(A 若尔盖县嫩哇乡沙地, 拍摄于 2007 年 9 月;B 若尔盖县麦溪乡沙地, 拍摄于 2017 年 10 月)

Fig.1 Aeolian activities in the Zoige Basin (A. Aeolian sandy land in Nenwa Village, Zoige County. Picture was taken in September 2007; B. Aeolian sandy land in Maixi Village, Zoige County. Picture was taken in October 2017)

河及其支流河谷平坦,谷地开阔,牛轭湖星罗棋布。盆地内除黄河以外,较大的河流主要有黑河、白河和贾曲,他们都发源于若尔盖盆地的南部,自南向北流淌并最终汇入黄河(图 2)。

若尔盖盆地属于高原温带半湿润季风气候,年平均气温 0.6~1.1 °C,极端最高温度 24.6 °C,极端最低温度 -33.7 °C。由于气温较低,该地区为植被生产力低值区。该区植被类型主要有沼泽植被、草甸

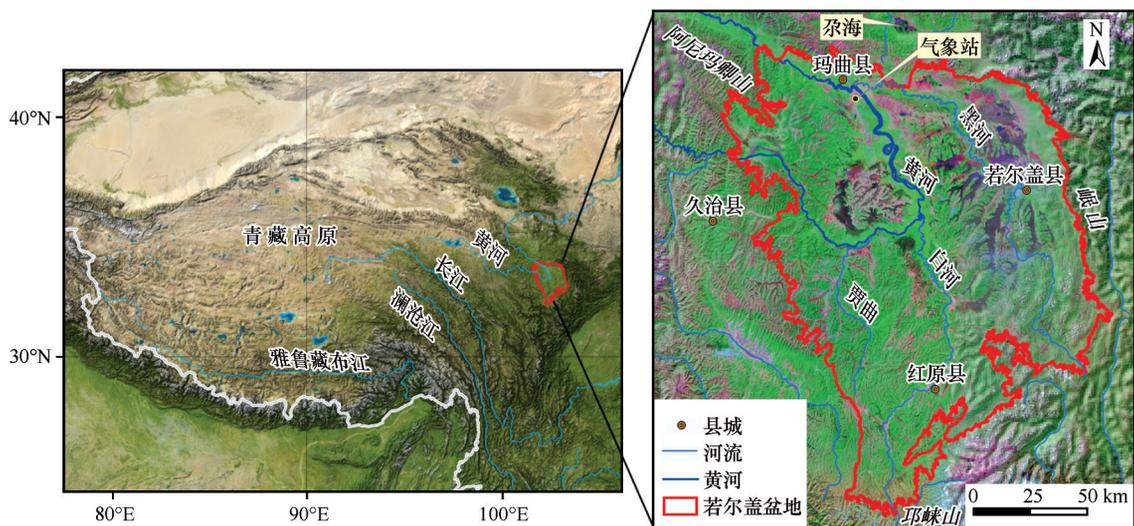


图 2 若尔盖盆地区位图

Fig.2 Location of the Zoige Basin

植被、灌丛植被、寒漠植被以及少量的森林植被。年日照时数2 573 h,全年降水654~780 mm,降水主要发生在5—9月,占年降水量的70%以上,呈现出雨热同季的气候特征。年蒸发量1 100~1 273 mm,相对湿度70%左右。季风主要为东北、西南风,平均风速 $2.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最大风速可达 $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,大风日数200 d左右,最大冻土深度74 cm。气候特征体现为四季不分明,春季气温回升缓慢,倒春寒频繁,解冻期长。该地区以放牧为主要经济活动。在20世纪60年代以前,若尔盖盆地还是一片广袤的原始沼泽区<sup>[16]</sup>。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

采用的风速风向数据来自于中国科学院西北生态环境资源研究院若尔盖高原湿地生态系统研究站,气象站地理坐标为 $33^{\circ}55.29' \text{ N}$ 、 $102^{\circ}09.04' \text{ E}$ (图2)。风速风向数据的采集频率为每小时一次。风速传感器为英国Gill的WindSonic超声波风速风向传感器,WindSonic是一款2轴超声波风速传感器,通过一个串行或两个模拟输出提供风速和风向数据,它具有固态超声波技术的众多优点。该风速传感器的风速测量范围为 $0\sim 60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,分辨率为 $0.01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;风向范围为 $0\sim 359^{\circ}$ ,分辨率为 $1^{\circ}$ 。采用的数据时段为2017年全年,即自2017年1月1日至2017年12月31日。

### 2.2 输沙势计算方法

采用Fryberger<sup>[17]</sup>提出的计算公式计算输沙势:

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

式中:DP为输沙势,是一个矢量单位(VU);V表示大于起沙风的风速,单位为节(knot); $V_c$ 为临界起动风速( $6.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),单位为节;t为起沙风累计作用时间,用起沙风出现频率来表示,即起沙风出现的次数与总观测次数的百分比。通过矢量合成的办法,可将16个方位的输沙势进行合成,并得到最终的合成输沙势及其方向,即合成输沙势(RDP)和合成输沙方向(RDD)。合成输沙势与潜在输沙势的比值(RDP/DP)称为方向变率指数,可以反映起沙风的方向变率。

## 3 结果与分析

若尔盖盆地年平均风速为 $2.59 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,春季风速最大,平均风速为 $3.14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。夏季、秋季、冬季的风速较小且相差不大,平均风速分别为 $2.45$ 、 $2.24$ 、 $2.53 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。起沙风占全年风速记录的8.75%,主要来自WNW、NE和NNE方向,分别占起沙风的26.23%、16.70%和15.27%(图3)。

根据输沙势(DP)的大小,Fryberger<sup>[17]</sup>将风能环境分为低能( $<200 \text{ VU}$ )、中能( $200\sim 400 \text{ VU}$ )和高能( $>400 \text{ VU}$ )环境。若尔盖盆地的年输沙势为66.44 VU,属于低风能环境( $<200 \text{ VU}$ );年合成输沙势为36.22 VU,合成方向为 $155^{\circ}$ (SSE);年起沙风主要来自于WNW,该方向的输沙势占年输沙势的37.36%;

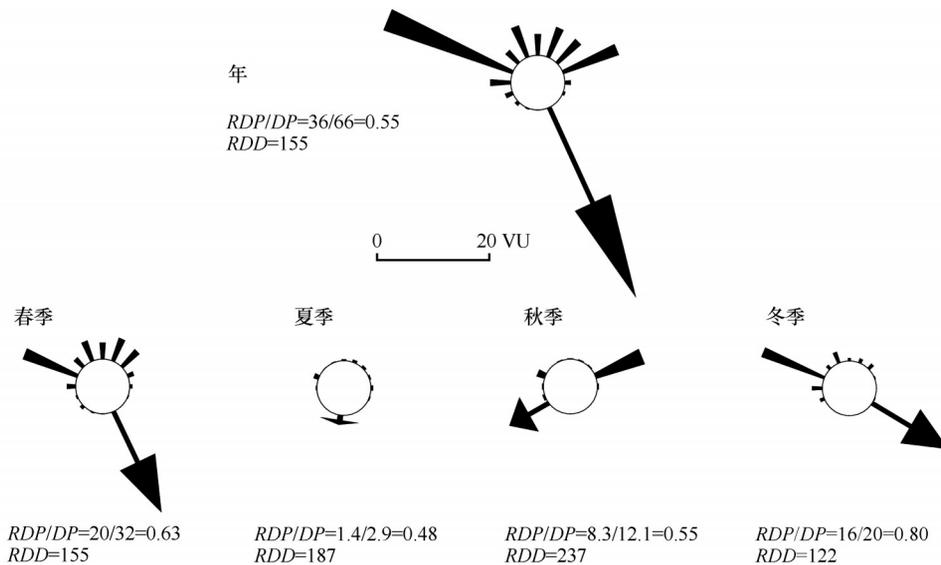


图3 若尔盖盆地年输沙势与各季节输沙势玫瑰图

Fig.3 The annual and seasonal sand drift potential rose in the Zoige Basin

其次为ENE,占16.08%。

Fryberger<sup>[17]</sup>还提出起沙风方向变率指数的概念,即合成输沙势与输沙势的比值( $RDP/DP$ ),用于反映一个地区的风向组合特征。当变率指数 $<0.3$ 时,为高变率,一般对应复杂风况;当比率为 $0.3\sim 0.8$ 时,为中变率,一般对应钝双峰或锐双峰风况;当比率 $>0.8$ 时,为低变率,风向较为单一,一般对应窄单峰或宽单峰风况。若尔盖盆地年输沙势的方向变率指数( $RDP/DP$ )为0.55,属于中变率( $0.3\sim 0.8$ )。

该地区的输沙势存在明显的季节差异:春季输沙势最大,为31.58 VU,占年输沙势的47.54%;其次是冬季,输沙势为19.91 VU,占全年的29.96%。秋季和夏季相对较小,分别为18.20 VU和4.29 VU。春季和冬季合成输沙势的方向分别为 $155^\circ$ (SSE)和 $122^\circ$ (ESE),该地区的风沙移动方向与年合成输沙势的方向(SSE)基本一致。在输沙势较大的春季和冬季,其输沙势的方向变率指数( $RDP/DP$ )分别为0.63和0.80,分别属于中变率和低变率。

## 4 结论与讨论

从整个青藏高原来看,若尔盖盆地的输沙势(66 VU)较小,属于低风能环境,这与共和盆地的输沙势(87 VU)比较接近<sup>[18]</sup>。尽管如此,这两个区域的风沙活动却大不相同。这是由于共和盆地降水量为300~400 mm,属于高寒半干旱气候。而若尔盖盆地年均降水量为700 mm,属于高寒半湿润气候,这就导致了两个盆地的植被覆盖状况和土壤湿度都存在很大差异,从而进一步影响到风沙活动的强度,因为土壤湿度越大,风蚀的启动风速也相应增大<sup>[19]</sup>。青藏高原其他风沙地区的输沙势都远大于若尔盖盆地,如红梁河风沙活动地区(250 VU)<sup>[20]</sup>、青藏铁路的错那湖段(491 VU)<sup>[21]</sup>、青藏铁路格拉段( $>250$  VU)<sup>[22]</sup>以及柴达木盆地(199~328 VU)<sup>[23]</sup>。通天河七渡口处的输沙势(93 VU)却较小<sup>[24]</sup>,这或许与局地地形的影响有关。由此可见,若尔盖地区的沙漠化问题相对于青藏高原其他地区而言,是较为容易治理的。对于大部分沙漠化草地,仅需减少人为干扰,减少放牧数量就能达到沙漠化草地恢复的目的<sup>[13]</sup>。但值得注意的是,若尔盖盆地很多草地的土壤类型属于沙质土壤,当前长势良好的草地下伏大量的全新世早期和晚期的风成砂<sup>[25-26]</sup>。如果表层的现代土壤层遭到破坏,下伏的沙源将会在冬春季节干燥多风的环境下被风吹蚀,

从而形成风沙地貌景观(图1)。

从起沙风风向来看,若尔盖盆地起沙风主要来自于WNW,这与青藏高原大部分风沙分布地区的起沙风风向大致相同<sup>[18,23]</sup>,这也与整个青藏高原的冬、春季节的风场方向基本一致<sup>[3]</sup>。若尔盖盆地的输沙势呈现出明显的季节差异,起沙风主要发生在冬季和春季,这和青藏高原的其他地区乃至中国北方大部分风沙地区的季节变化规律一致。

**致谢:**数据来源于中国科学院西北生态环境资源研究院若尔盖高原湿地生态系统研究站,笔者在此表示感谢!

## 参考文献:

- [1] Zhang C L, Li Q, Shen Y P, et al. Monitoring of aeolian desertification on the Qinghai-Tibet Plateau from the 1970s to 2015 using Landsat images [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 619/620: 1648-1659.
- [2] Li Q, Zhang C L, Shen Y P, et al. Quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification processes on the Qinghai-Tibet Plateau based on net primary productivity [J]. *Catena*, 2016, 147: 789-796.
- [3] Dong Z B, Hu G Y, Qian G Q, et al. High-altitude aeolian research on the Tibetan Plateau [J]. *Reviews of Geophysics*, 2017, 55(4): 864-901.
- [4] Zhang K C, Qu J J, Han Q J, et al. Wind energy environments and aeolian sand characteristics along the Qinghai-Tibet Railway, China [J]. *Sedimentary Geology*, 2012, 273/274: 91-96.
- [5] Han Q J, Qu J J, Dong Z B, et al. Air density effects on aeolian sand movement: implications for sediment transport and sand control in regions with extreme altitudes or temperatures [J]. *Sedimentology*, 2015, 62(4): 1024-1038.
- [6] Luo W Y, Wang Z Y, Shao M, et al. Historical evolution and controls on mega-blowouts in northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China [J]. *Geomorphology*, 2019, 329: 17-31.
- [7] Li J Y, Dong Z B, Qian G Q, et al. Yardangs in the Qaidam Basin, northwestern China: distribution and morphology [J]. *Aeolian Research*, 2016, 20: 89-99.
- [8] Rubin D M, Hesp P A. Multiple origins of linear dunes on Earth and Titan [J]. *Nature Geoscience*, 2009, 2(9): 653-658.
- [9] 董治宝. 青藏高原风沙地貌图集 [M]. 西安: 西安地图出版社, 2017.
- [10] 王美蓉, 周顺武, 段安民. 近30年青藏高原中东部大气热源变化趋势: 观测与再分析资料对比 [J]. *科学通报*, 2012, 57(增刊1): 178-188.
- [11] Yao Z Y, Li X Y, Xiao J H. Characteristics of daily extreme wind gusts on the Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. *Journal of Arid Land*, 2018, 10(5): 673-685.
- [12] Hu G Y, Dong Z B, Wei Z H, et al. Spatial and temporal change

- of desertification land of Zoige Basin in recent 30 years and its cause analysis [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2009, 24 (8): 908–916.
- [13] Hu G Y, Dong Z B, Lu J F, et al. The developmental trend and influencing factors of aeolian desertification in the Zoige Basin, eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Aeolian Research*, 2015, 19(SIB): 275–281.
- [14] 张余, 张克存, 孟宪红, 等. 高寒草地沙化过程的气候因子分析 [J]. *高原气象*, 2019, 38(1): 187–195.
- [15] Xue B, Wang S M, Xia W L, et al. The uplifting and environmental change of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau in the past 0.9 Ma inferred from core RM of Zoige Basin [J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 1998(2): 165–170.
- [16] 柴岫, 金树仁. 若尔盖高原沼泽的类型及其发生与发展 [J]. *地理学报*, 1963(3): 219–240.
- [17] Fryberger S G. Dune forms and wind regime [M] // McKee E D. *A Study of Global Sand Seas*. Washington, USA: USGS Professional Paper 1502, 1979: 137–169.
- [18] 陈宗颜, 董治宝, 汪青春. 青海共和盆地风况及风沙地貌 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(3): 492–499.
- [19] 董治宝, 钱广强. 关于土壤水分对风蚀起砂风速影响研究的现状与问题 [J]. *土壤学报*, 2007(5): 934–942.
- [20] 谢胜波, 喻文波, 屈建军, 等. 青藏高原红梁河风沙动力环境特征 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(2): 219–224.
- [21] 殷代英, 屈建军, 韩庆杰, 等. 青藏铁路错那湖段风沙活动强度特征分析 [J]. *中国沙漠*, 2013, 33(1): 9–15.
- [22] 蔡迪文, 张克存, 安志山, 等. 青藏铁路格拉段风动力环境及其对铁路沙害的影响 [J]. *中国沙漠*, 2017, 37(1): 40–47.
- [23] 鲍锋, 董治宝, 张正偲. 柴达木盆地风沙地貌区风况特征 [J]. *中国沙漠*, 2015, 35(3): 549–554.
- [24] 王涛, 谢胜波, 屈建军, 等. 通天河七渡口风沙环境特征及沙害防治 [J]. *中国沙漠*, 2019, 39(2): 70–78.
- [25] Hu G Y, Yu L P, Dong Z B, et al. Holocene aeolian activity in the Zoige Basin, northeastern Tibetan Plateau, China [J]. *Catena*, 2018, 160: 321–328.
- [26] 邹学勇, 王贵勇. 黄河上游玛曲地区晚全新世沙漠化 [J]. *中国沙漠*, 1995, 15(1): 65–70.

## The regime of sand driving wind and sand drift potential in Zoige Basin

Hu Guangyin<sup>1,2</sup>, Dong Zhibao<sup>1</sup>, Zhang Zhengcai<sup>2</sup>, Zhou Ming<sup>3</sup>, Shang Lunyu<sup>2</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 2. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. China Gezhouba Group Company Limited, Wuhan 430000, China)

**Abstract:** Based on hourly recorded wind data (wind speed and direction), we analyzed the regime of sand driving wind and sand drift potential in the Zoige Basin. It shows that the annual wind speed is  $2.59 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . The wind speed in spring is maximum ( $3.14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), and the speed in summer, autumn and winter are relatively light with a speed of  $2.45$ ,  $2.24$  and  $2.53 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectively. Sand driving winds account for 8.75% of annual wind speed records, mainly coming from WNW, NE and NNE, accounting for 26.23%, 16.70% and 15.27% of the total sand driving wind records. The calculated drift potential ( $DP$ ) according to Fryberger's method shows that the annual drift potential is 66.44 VU, belonging to low wind energy environment ( $\leq 200 \text{ VU}$ ), and the annual resultant drift potential ( $RDP$ ) is 36.22 VU with resultant direction of  $155^\circ$  (SSE). Directional variability index ( $RDP/DP$ ) is 0.55, which belongs to intermediate directional variability ( $0.3 < RDP/DP < 0.8$ ). The annual drift potential mainly comes from WNW and ENE, accounting for 37.36% and 16.08% of the annual total, respectively. The drift potential in this region shows obvious seasonal characteristics: which is highest in spring ( $31.58 \text{ VU}$ ) and followed by winter ( $19.91 \text{ VU}$ ), accounting for 47.54% and 29.96% of the annual value, respectively. The resultant direction of drift potential in spring and winter are  $155^\circ$  (SSE) and  $122^\circ$  (ESE), respectively. The direction of sand migration in this the Zoige Basin is basically consistent with the annual resultant drift direction (SSE).

**Key words:** Zoige Basin; sand driving wind; sand drift potential; aeolian desertification; source region of the Yellow River; Tibetan Plateau