

管雪薇,杨采怡,刘广明,等.吉兰泰盐湖防护体系阻沙效应及输沙粒度特征[J].中国沙漠,2022,42(4):50-59.

## 吉兰泰盐湖防护体系阻沙效应及输沙粒度特征

管雪薇<sup>1,2</sup>,杨采怡<sup>1</sup>,刘广明<sup>2</sup>,汪季<sup>3</sup>,肖蒙<sup>1</sup>,丁延龙<sup>4</sup>,陈金林<sup>1</sup>

(1.南京林业大学 南方现代林业协同创新中心,江苏 南京 210037; 2.中国科学院南京土壤研究所,江苏 南京 210008; 3.内蒙古农业大学 沙漠治理学院,内蒙古 呼和浩特 010019; 4.内蒙古财经大学 旅游学院,内蒙古 呼和浩特 010070)

**摘要:** 风沙危害是制约荒漠盐碱湖区资源开采的重要因素,研究盐湖防护体系风沙运移规律及其颗粒运动方式对实现盐湖资源可持续开采具有重要意义。以吉兰泰盐湖防护体系为研究对象,通过野外定位监测结合室内分析的方法,逐月对防护体系不同部位输沙通量进行观测,探究吉兰泰盐湖防护体系沙粒运动方式及各月输沙通量变化规律,以为吉兰泰盐湖防护体系效果评估提供数据支撑。结果表明:(1)从流动沙垄至盐湖湖心风速表现为先减小后增加的趋势,除白刺灌丛外,其余样地风速基本不受风向影响。(2)除防护林带外,季节变化对防护体系50 cm高度以上输沙通量影响较大。(3)防护体系各样地0—40 cm高度的输沙通量占总输沙通量的53.43%—96.63%,区域内沙粒运动方式以跃移为主。(4)从流动沙垄至盐湖湖心,沙物质粒径分布曲线整体呈双峰型,且沙物质颗粒粒径表现为先增大,至盐碱滩地时达到最大,后略减小的趋势。吉兰泰盐湖防护体系50 cm高度以上输沙通量受季节影响较大,但整体仍可拦截95.79%—99.93%的沙粒,从而有效避免盐湖湖面积沙。

**关键词:** 输沙通量; 阻沙效应; 防护体系; 吉兰泰盐湖

文章编号: 1000-694X(2022)04-050-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00202

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

### 0 引言

干旱荒漠区生态环境脆弱,风沙活动频繁<sup>[1]</sup>,人为活动是造成该区域土地荒漠化的主要因素<sup>[2]</sup>。荒漠区盐湖蕴藏着丰富的湖盐资源,然而,随着盐湖开采规模日益扩大,周边植被遭到破坏,风沙活动加剧,进而造成湖面积沙,严重影响资源开采<sup>[3]</sup>。营建人工植被可以有效防风固沙、改良土壤<sup>[4]</sup>。植被通过降低近地层风速,减少地表起沙,促进风沙流沉降,实现防风阻沙的目的<sup>[5]</sup>。另外,植被凋落物的分解、根系分泌酸性物质以及固氮作用等均能够起到改良土壤的作用<sup>[6]</sup>,从而增加土壤抗蚀性。传统的农田防护林、绿洲防护林等主要为了防风固沙、改良土壤<sup>[7-8]</sup>,而盐湖防护体系不仅可起到上述作用,更可通过减少湖面积沙以降低湖盐开采的难

度,从而提升盐湖资源的开采效率。

吉兰泰盐湖位于乌兰布和沙漠西南边缘吉兰泰盆地的海拔最低处,是中国重要的湖盐生产基地。由于其开采规模较大,湖面积沙严重<sup>[9]</sup>。为治理沙害,在盐湖北部自1983年开始建立由前沿阻沙带、封沙育草带、防风阻沙带、绿洲防护林网构成的“四带一体”盐湖防护体系,有效控制了盐湖沙害<sup>[10-11]</sup>。长期以来,许多学者对盐湖周边风沙沉积物理化特征<sup>[12-13]</sup>、盐湖周边风沙地貌发育环境<sup>[14]</sup>等进行研究,取得了一系列成果,但对盐湖防护体系风沙活动作用规律的相关研究仍较少,且多为春季风大沙多时期的短期测定结果,难以全面反映盐湖防护林体系的阻沙效果。因此,以吉兰泰盐湖防护体系为研究对象,通过野外全年连续定位监测,结合室内分析的方法,对防护体系不同部位风速、输沙通量进行观

收稿日期:2021-10-11; 改回日期:2021-11-25

资助项目:新疆生产建设兵团科技攻关项目(2019AB038);江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介:管雪薇(1996—),女,山西大同人,博士研究生,主要从事土壤改良与利用研究。E-mail: guanxuewei1996@163.com

通信作者:刘广明(E-mail: gmliu@issas.ac.cn);陈金林(E-mail: jlchen@njfu.edu.cn)

测,以期探究吉兰泰盐湖防护体系风沙流运移规律及沙粒运动方式,准确评估防护体系阻沙效果,为中国西北荒漠区盐湖沙害治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

吉兰泰盐湖处于中国最大的沙尘暴源地阿拉善高原东南部,为贺兰山-巴音乌拉山山间盆地的最低处,盆地西南边缘为腾格里沙漠,东北部毗邻乌兰布和沙漠,西北部与亚玛雷克沙漠隔山相望,为三大沙漠的交界地带,行政上隶属于阿拉善左旗。吉兰泰地区以西北风、东北风、西南风为主,最大瞬时风速  $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 年均扬沙日数为 82.5 d, 年风沙流出现频率为 112.9 次<sup>[15]</sup>; 据吉兰泰气象站(距离研究区直线距离 6.5 km) 1971—2016 年气象数据统计,输沙势在 4—8 月均处于较高水平,在 6 月达到最高(图 1); 多年平均降水量为 107.8 mm, 并集中于 6—8 月, 多年平均蒸发量为 2 956.8 mm, 是降水量的 27.4 倍<sup>[15]</sup>。吉兰泰地区特定的气候特征和地貌环境导致吉兰泰盐湖地区稀疏分布的植被多为耐旱、耐碱的小灌木及草本植物<sup>[10]</sup>, 主要有盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、梭梭(*Haloxyylon ammodendron*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)等<sup>[10]</sup>。

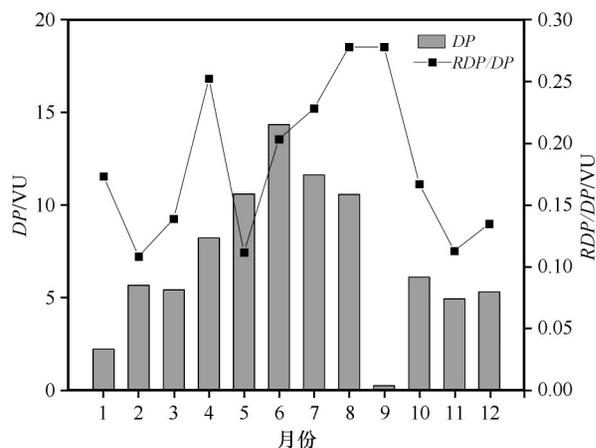


图1 吉兰泰地区多年平均输沙势(DP)及合成输沙势(RDP)月分布

Fig.1 Monthly distribution of mean annual sediment transport potential in Jilantai area

### 1.2 防护体系构成

吉兰泰盐湖防护体系位于吉兰泰盐湖北部 10 km 处,属吉兰泰镇希勃图嘎查,为乌兰布和沙漠

的西南边缘。该体系于 1983 年建立,整体垂直于西北风向,主要由前沿阻沙带、封沙育草带、防风阻沙带、绿洲防护林网四部分组成。

前沿阻沙带主要布设在流动沙垄上,以新型固沙材料(PLA)与传统草方格相结合构成。

封沙育草带毗邻植被稀少、地表疏松、风沙活动强烈的流动沙地,沙丘上分布有白刺、沙蒿、苦豆子、沙米、芦苇等天然植被,以白刺为主,主要阻滞 0—50 cm 高度风沙流。

防风阻沙带处于天然灌草植被与绿洲防护林之间,以沙枣、梭梭、沙拐枣等灌木构成,作用是继续削弱风速,拦截风沙流中剩余沙粒。

绿洲防护林网以人工栽植的沙枣、花棒、新疆杨等为主要树种,草本植物以苦豆子、芦苇为主,兼有禾本科杂类草。其目的是改善近地层小气候条件,拦截部分悬浮运移的沙尘,同时控制绿洲内部在大风天气下不会起沙。

由于防风阻沙带和绿洲防护林网为补植性造林,为方便观测,本文将防风阻沙带及绿洲防护林网合为防护林带,并将防护体系划分为流动沙垄、白刺灌丛、防护林带、盐碱滩地(盐湖周边生长植被地区)、盐湖湖心(盐湖边缘无植被地带,图 2,表 1)。

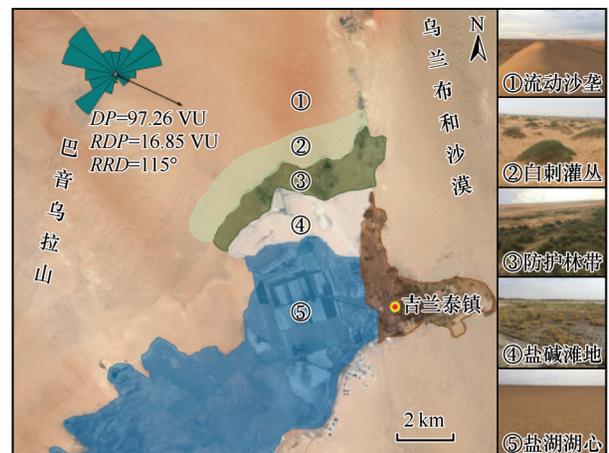


图2 防护体系构成

Fig.2 Composition of protection system

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 风速观测

实验于 2019 年 3 月和 10 月进行,以流动沙垄为对照,从白刺灌丛至盐湖湖心(图 3A),每个样地类型放置一套风杯风速仪,测定各样地 20、30、50、85 cm 和 200 cm 高度的风速(图 3B)。

表1 观测样地位置及地形、植被特征

Table 1 The location, topography and vegetation characteristics of the observation plot

样地	经纬度	地貌状况	植被特征
流动沙垄	39°49'08"N, 105°44'06"E	流沙, 沙丘高度5—10 m, 长200—500 m。 沙面结构松散	沙垄上部无植被, 丘间偶见沙米、白刺, 盖度<10%
白刺灌丛	39°48'32"N, 105°44'02"E	白刺沙包高度0.5—5 m, 沙表面质软, 半固定	白刺为主, 灌丛之间有少量芦苇、沙米、苦豆子, 盖度15%
防护林带	39°48'07"N, 105°43'48"E	地面起伏较小, 沙面有结皮	沙枣、花棒、梭梭, 盖度80%
盐碱滩地	39°47'13"N, 105°43'51"E	地势平坦, 表面盐结皮发育	盐爪爪、碱蓬、芦苇, 盖度30%
盐湖湖心	39°46'26"N, 105°43'40"E	地势平坦, 覆沙表面为盐结皮	无植被

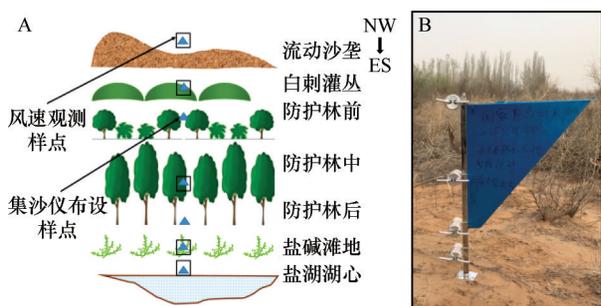


图3 长期风速观测样点(A)和长期集沙仪布设(B)

Fig.3 Long-term wind speed observation sample points (A) and long-term sand collection instrument deployment (B)

### 1.3.2 输沙量观测

实验于2019年4月至12月进行(1—3月受疫情因素影响并未采集到数据,但结合多年平均输沙势可以看出(图1),全年输沙主要发生在4—8月,且2、3月与11、12月输沙势基本一致,可以说明实验数据的代表性),每种样地类型放置一个MVAC集沙仪<sup>[16]</sup>,将上风向流动沙垄作为对照(图3A)。该集沙仪取样高度为85 cm,风沙流入口为直径0.7 cm的圆形截面,测量高度为20、30、50、85 cm(图3B),逐月取样,将样品放入塑封袋中带回实验室称重并测量其机械组成。

## 1.4 数据处理

### 1.4.1 风速廓线计算

粗糙度<sup>[17]</sup>:

$$\lg Z_0 = \frac{u_1 \lg Z_2 - u_2 \lg Z_1}{u_1 - u_2} \quad (1)$$

式中: $Z_1$ 、 $Z_2$ 为地表面任意两个高程(m); $u_1$ 、 $u_2$ 分别为 $Z_1$ 、 $Z_2$ 两个高程上的风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ); $Z_0$ 为该地表的粗糙性指标(m)。

风速廓线:

$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{z-d}{z_0} \right) \quad (2)$$

式中: $d$ 为零平面位移(m)。

对同一高度,同一时段风速进行平均,再用均值进行回归分析:

$$U_z = A + B \ln z \quad (3)$$

式中: $U_z$ 为高度 $z$ 处的风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), $A$ 、 $B$ 为回归系数。

摩阻速度:

$$u_* = kB \quad (4)$$

式中: $k=0.4$ ;  $B$ 为回归系数。

### 1.4.2 输沙通量计算

$$Q = \frac{m}{s} \quad (5)$$

式中: $Q$ 为输沙通量( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ); $m$ 为集沙仪各层沙样质量(kg); $s$ 为进沙口面积( $\text{m}^2$ )。

### 1.4.3 总输沙通量计算

$$Q(z) = a(z)^b \quad (6)$$

式中: $Q(z)$ 为对应高度的输沙通量( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ); $z$ 为距离地面的高度(cm); $a$ 、 $b$ 为待定参数,由实测输沙通量的拟合方程确定。

根据 $Q(z)$ ,可以推导出各高度层内单宽1 m的截面上所通过的水平输沙通量为<sup>[18]</sup>:

$$Q_s = \int_0^z Q(z) dz \quad (7)$$

式中: $Q_s$ 为水平输沙通量( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ); $z$ 为距离地面高度(cm)。

## 2 结果

### 2.1 两种主害风下防护体系不同部位风速变化

#### 2.1.1 风速廓线变化

不论何种风向,防护体系整体风速随高度的增高而增加(图4),将风速在Excel中进行拟合发现符合指数函数规律, $R^2$ 为0.84—0.99。在西北风向下,

白刺灌丛风速在 50 cm 高度处急剧上升,且最大风速为  $8.32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;防护林带由于为乔灌木构成的紧密结构的复层林带,且林带走向垂直于西北风向,因此其防风效果最佳,从而使风速变化幅度小,进而使其风速廓线趋于垂直;盐碱滩地地表覆盖有盐爪爪等小灌木,可有效降低地表 0—30 cm 高度内的风速,在 50 cm 高度处风速急剧上升,为  $4.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,但由于受上风向防护林带的影响,该部位风速远低于对照,最大风速为  $7.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在西南风向下,上风

向由流动沙垄转变为盐湖湖心,因此盐碱滩地由于盐爪爪覆盖降低了 0—30 cm 高度的风速,但整体风速均大于西北风向,最大风速为  $9.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;防护林带由于观测地点靠近迎风一侧,但由于为乔灌木构成的紧密结构的复层林带,因此其风速显著低于对照,且最大为  $1.92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;白刺灌丛由于风向的变化使其上风向由流动沙垄变为防护林带,因此受防护林带的影响,其 2 m 高度处风速较防护林带低,为  $6.61 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

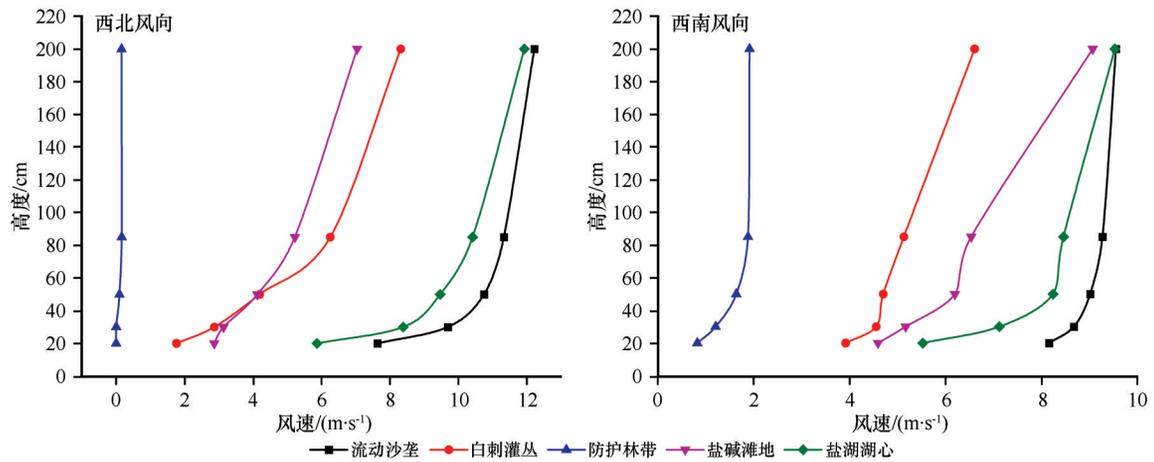


图 4 防护体系不同部位不同风向下风速廓线变化

Fig. 4 Changes of wind speed profile in different parts of the protective system under different wind

### 2.1.2 粗糙度变化

不同风向下防护体系各样地地表粗糙度  $R^2$  为 0.78—0.98。不论在何种风向下,防护林带地表粗糙度最高为 4.61 cm;盐湖湖心及流动沙垄在不同风向条件下地表粗糙度较其他样地小,两者值相近且盐湖湖心地表粗糙度稍高于流动沙垄(图 5A)。不同风向条件下各样地摩擦风速大致呈现

为随粗糙度的增加而增加的趋势(图 5B),白刺灌丛摩擦风速较小,可能由于白刺灌丛距离流动沙垄较近,且非生长季时植被稀疏矮小导致。以上结果表明风向不同,空气动力学粗糙度及摩擦速度在防护体系不同部位的变化规律有所差异,但总体上随着植被盖度的增加大致呈现出增加的趋势。

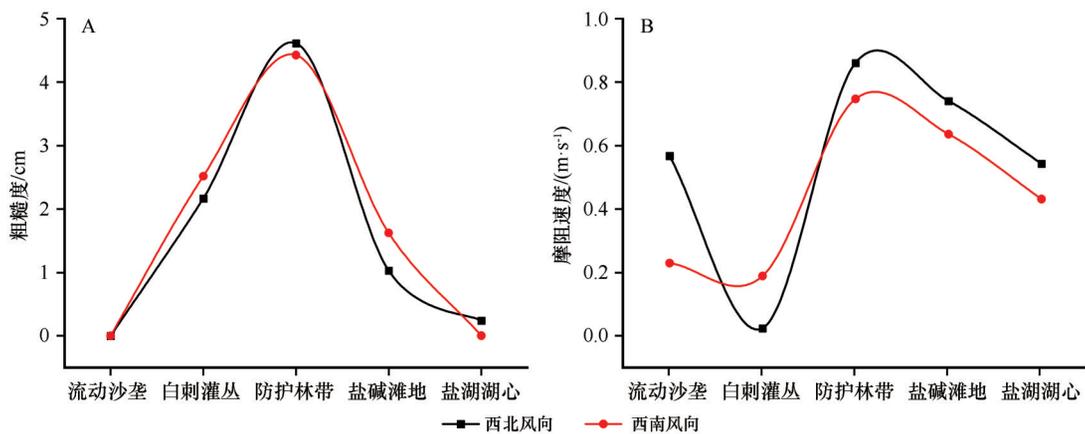


图 5 防护体系不同样地粗糙度及摩擦风速

Fig. 5 Different roughness and friction speed of the protection system

## 2.2 防护体系不同部位输沙通量廓线

防护体系不同部位输沙通量整体表现为随高度的增加而减小的趋势,且从流动沙垄至盐湖湖心输沙通量整体表现为流动沙垄>白刺灌丛>盐碱滩地>盐湖湖心>防护林前>防护林中>防护林后,其中防护林中后部输沙通量基本可忽略不计(图6)。从不同季节来看,在4—6月,从白刺灌丛至盐湖湖心30 cm高度内输沙通量均较流动沙垄减少了87.30%—100%,在50 cm以上高度表现较差,较流动沙垄分别降低31.423%—91.151%;而在7—12月,则整体较流动沙垄降低了72.86%—99.99%。研究区植被于5月开始缓慢生长到7月达到最大生物量,因此,表明防护体系50 cm高度以上的输沙通量受植被生长季影响较大。另外,盐湖湖心除4—6月外,其余各月输沙通量均处于较低状态,且较流动沙垄降低90%以上,表明防护体系建立37年后,防护体系整体运行效果仍保持良好,可有效拦截上风向流动沙垄来沙,从而防止湖面覆沙,利于盐湖资源开采。

## 2.3 防护体系不同部位输沙通量

跃移是沙粒运动的主要形式,一般认为沙粒跃移运动主要发生在距地表30—40 cm的高度范围内<sup>[18]</sup>。图7为防护体系不同部位年内各月在1 m宽度截面上,0—40、0—85 cm高度内的输沙通量。由于观测地区以西北风、东北风及西南风为主,可能由于西南风向导致9月盐湖湖心输沙通量较大外,其余各月除防护林中和防护林后外,白刺灌丛至盐碱滩地输沙通量较流动沙垄减少86.96%—99.96%,且从流动沙垄至盐湖湖心在0—40 cm高度内通过的水平输沙通量占0—85 cm高度内相应值的53.43%—96.63%;而防护林中、后由于植被盖度较高,且风沙流经过白刺灌丛及防护林前植被阻滞作用,从而使风速及其携带沙量急速减小,进而使防护林中、后水平输沙通量处于极低状态,且在0—40 cm高度内的水平输沙通量占0—85 cm高度内相应值的32.66%—47.48%。这表明除防护林中、后部外,其余样地风沙活动中沙粒的运动方式以跃移为主。

## 2.4 沙物质粒度空间差异

从流动沙垄至盐湖湖心粒径分布曲线大致呈现为双峰型(图8),其中流动沙垄及白刺灌丛主峰

与次峰均分布在0—250  $\mu\text{m}$ 范围内;防护林前除20 cm高度呈现为双峰型,其余高度均呈现为单峰型,且20 cm高度主峰在1 000—2 500  $\mu\text{m}$ 内,次峰分布在0—250  $\mu\text{m}$ ;盐碱滩地除85 cm高度处输沙物质颗粒分布曲线在0—1 000  $\mu\text{m}$ ,20—50 cm高度内主峰分布在1 000—2 500  $\mu\text{m}$ ;盐湖湖心20 cm高度处输沙物质粒径分布曲线主峰分布在250—1 000  $\mu\text{m}$ ,30—85 cm高度内主峰分布在250—500  $\mu\text{m}$ ,盐碱滩地及盐湖湖心输沙物质颗粒整体较粗,以中沙、粗沙为主。从不同高度上看,防护体系不同部位输沙粒径随高度增加呈现降低趋势。

## 3 讨论

沙尘水平输沙通量是沙尘输送数值模拟的必要参数<sup>[19]</sup>。植被盖度<sup>[20]</sup>、林带结构<sup>[21-23]</sup>及季节变化等均会对输沙通量产生影响。本研究区内从流动沙垄至盐湖湖心输沙通量整体表现为流动沙垄>白刺灌丛>盐碱滩地>盐湖湖心>防护林前>防护林中>防护林后,且防护体系输沙通量较流动沙垄降低了80%—90%。原因主要是当气流至白刺灌丛时,白刺为20—50 cm高度的紧密结构的灌丛植被,可显著降低0—50 cm高度内的风速<sup>[24]</sup>,从而使沙粒堆积在地表;气流经过白刺灌丛的削弱,风速及沙粒含量降低,灌丛植被覆盖也增强了土壤的抗风蚀能力,从而使气流经过防护林带时由于其减弱了林网内的湍流交换,进而抑制沙尘垂直输送<sup>[25]</sup>,使防护林带输沙通量逐渐减小,并在防护林中、后部输沙通量基本可忽略不计;盐碱滩地及盐湖湖心由于地表盐结皮覆盖,从而隔绝了气流与土壤的直接作用<sup>[26]</sup>,使气流至盐湖湖心时为不饱和状态,进而避免盐湖湖面积沙。另外,与丁延龙等<sup>[10]</sup>春季测定吉兰泰盐湖防护林带内总输沙通量仅为流动沙垄的5.96%相比,本研究发现,从长期观测来看防护林带内总输沙通量变化范围在0—5%,该结果表明通过长期观测可以更加清楚地反映防护体系年内输沙通量变化情况,同时也反映出防护林抑风、阻沙作用明显,且防护效益非常稳定。

不同季节植被盖度有所不同,植被对风沙流的阻滞能力也大不相同。本研究中,由于受植被生长季的影响,在4—6月,除防护林中、后部输沙通量不受影响外,白刺灌丛至盐湖湖心在20、30 cm高度内输沙通量较流动沙垄相比降低了90%左右,而在50、85 cm高度内则表现较差,较流动沙垄分别降低

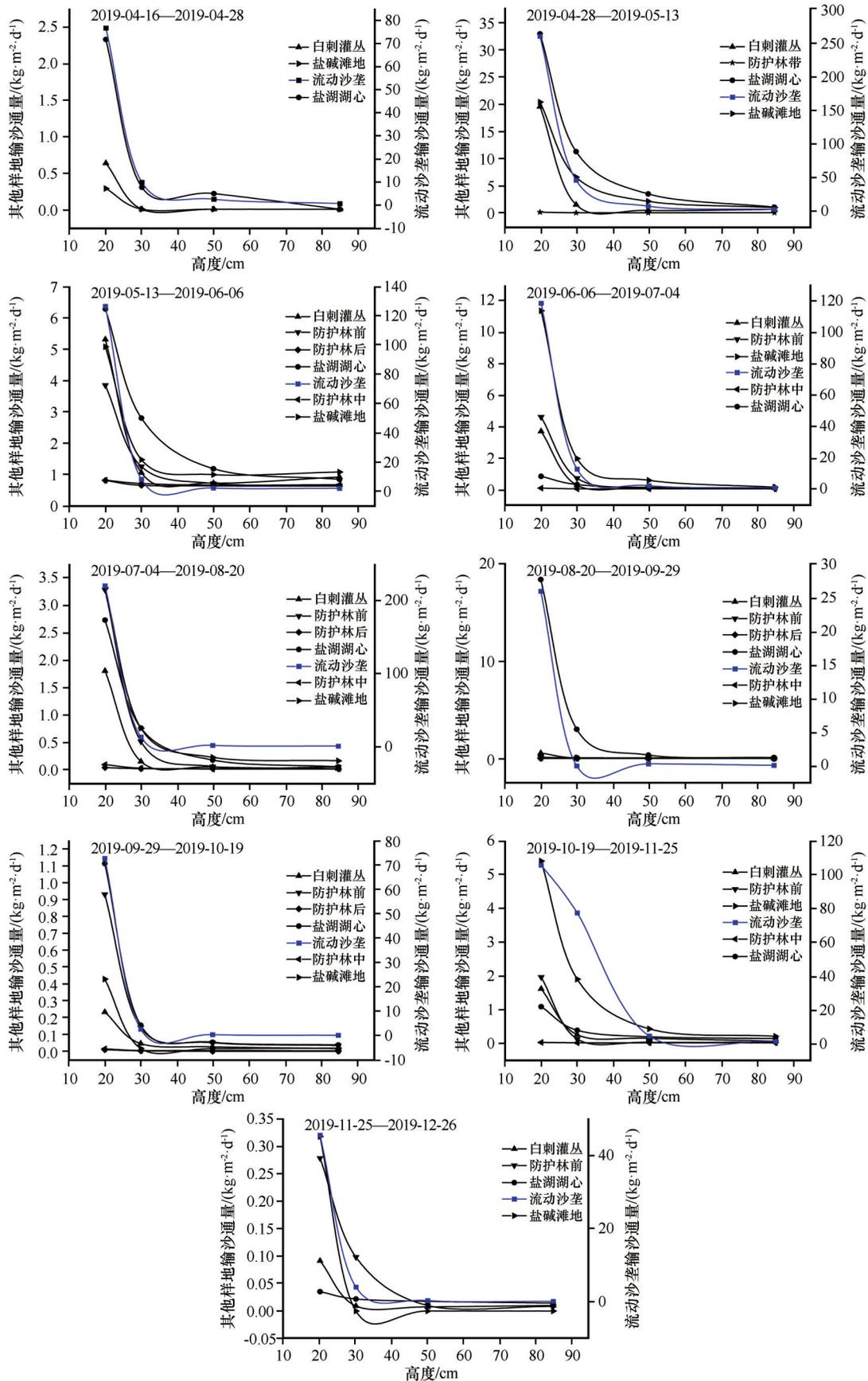


图6 防护体系不同部位输沙通量廓线

Fig.6 Sediment flux in different parts of the protection system in a year

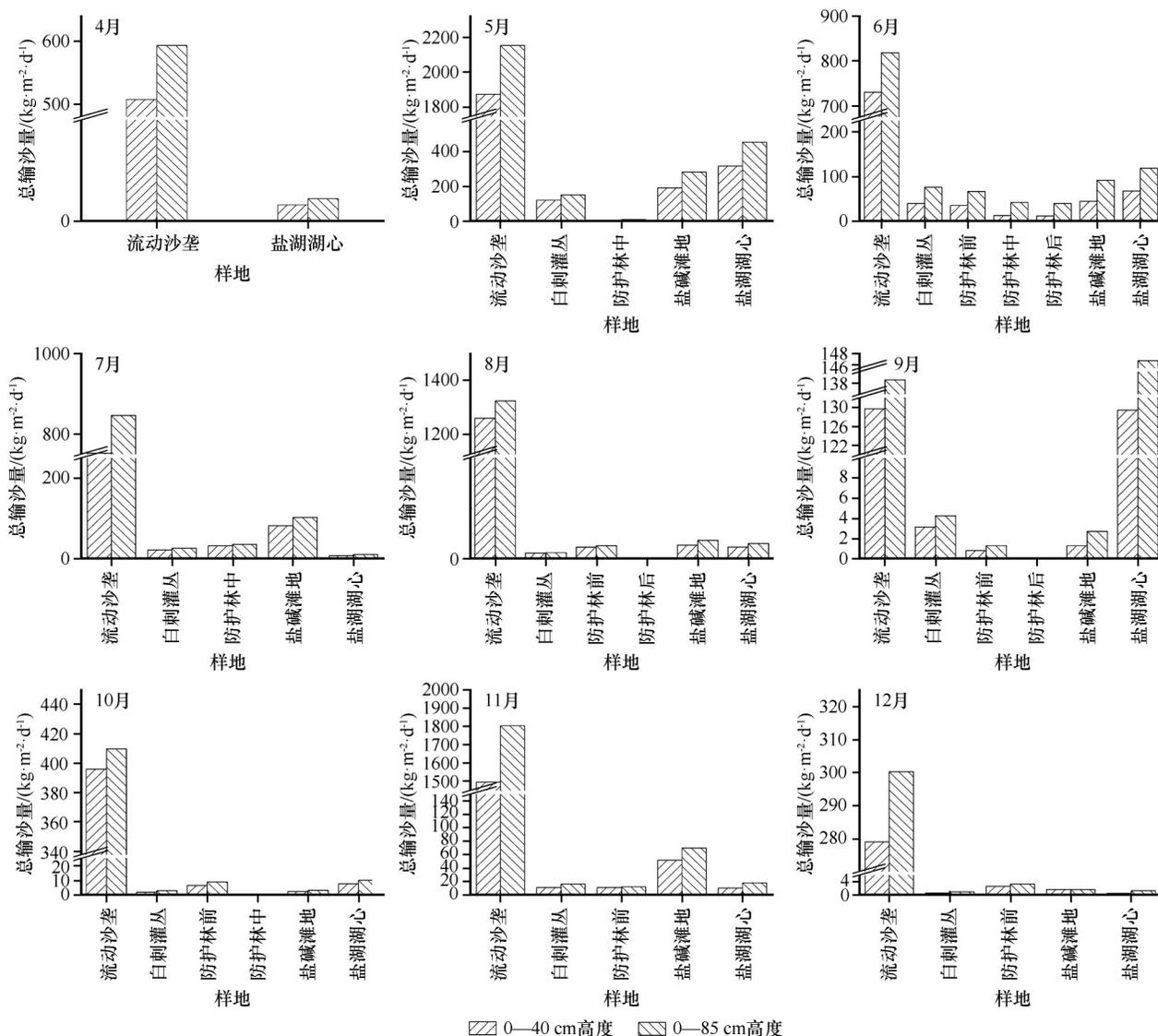


图7 防护体系不同部位各月输沙通量

Fig.7 The total amount of sediment transported in different parts of the protection system in each month during a year

30%—70%。原因是植被生长季增强了植被对风沙流的阻滞能力,导致白刺灌丛至盐湖湖心其阻滞能力减弱;植被生长季对防护林带的防风阻沙能力的影响较小,可能是由于防护林带盖度高达80%,较高的植被覆盖度及高低错落的枝条,在非生长季也具有较高阻沙能力。该研究结果与李永强等<sup>[25]</sup>对内蒙古荒漠草原不同放牧强度年内输沙通量的研究结果保持一致。以上结果表明季节对防护体系50 cm以上高度输沙通量影响较大,但防护体系内防护林带阻沙能力基本不受季节的影响。

跃移是沙粒运动的主要形式。在风沙活动中,75%以上的沙粒是以跃移的方式运动的<sup>[27]</sup>。本研究发现,年内各月除防护林中和防护林后外,从流动沙垄至盐湖湖心0—40 cm高度内、1 m宽度截面上通过

的水平输沙量占总体输沙通量的50%—90%,且多为75%左右。杨兴华等<sup>[18]</sup>对塔克拉玛干沙漠风沙跃移运动进行研究,发现该地区0—40 cm高度内输沙通量占0—200 cm高度输沙通量的53.4%,其结果稍低于本研究结果,原因可能是由于地表状况及风速不同。

#### 4 结论

从流动沙垄至盐湖湖心风速表现为先减小后增加的趋势,在防护林带风速达到最小,并在盐湖湖心处恢复至旷野风速。除白刺灌丛外,其余样地风速基本不受风向影响。

除防护林带外,季节变化对防护体系50 cm高度以上输沙通量影响较大。除防护林中、后部外,从

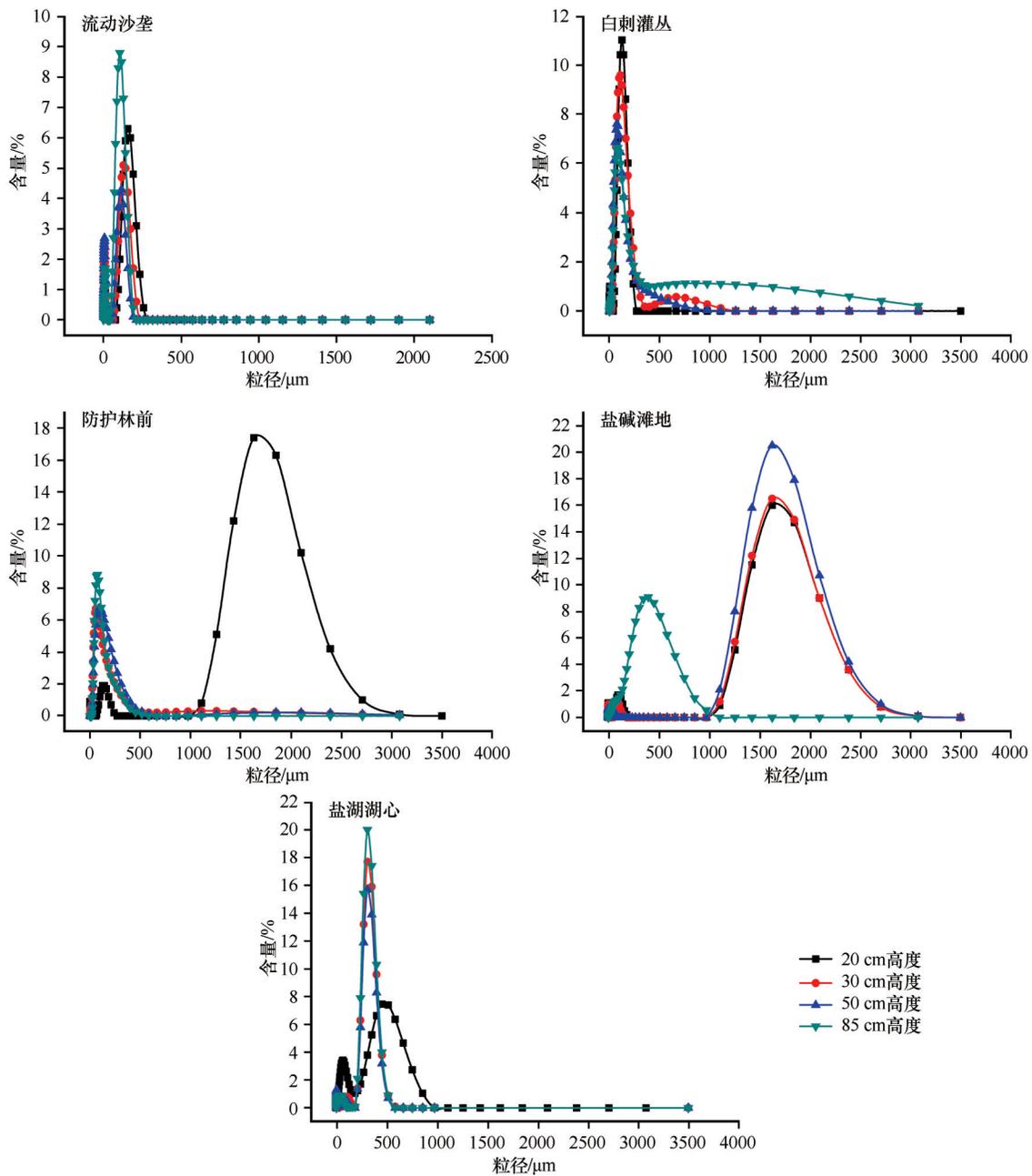


图8 防护体系沙物质粒度特征

Fig.8 The particle size characteristics of the sand transported by the protection system

流动沙垄至盐湖湖心各样地0—40 cm高度内、1 m宽度截面上通过的水平输沙通量占整体的53.43%—96.63%，区域内沙粒运动方式以跃移为主。

从流动沙垄至盐湖湖心，沙物质粒径分布曲线整体呈双峰型，且沙物质颗粒粒径先增加后减小。从不同高度上看，输沙物质粒径随高度的增加而减小。

参考文献：

[1] 刘虎俊,袁宏波,王多泽,等.两种不同配置灌木林防风固沙

效益[J].水土保持通报,2017,37(3):63-66.

[2] 魏伟,俞啸,张梦真,等.1995-2018年石羊河流域下游荒漠化动态变化[J].应用生态学报,2021,32(6):2098-2106.  
 [3] 高永.吉兰泰盐湖环境演化及沙害成因[J].干旱区研究,1996,13(4):54-56.  
 [4] 余沛东,陈银萍,李玉强,等.植被盖度对沙丘风沙流结构及风蚀量的影响[J].中国沙漠,2019,39(5):29-36.  
 [5] 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.  
 [6] 杨越,哈斯,孙保平,等.毛乌素沙地南缘不同植被恢复类型的土壤养分效应[J].中国农学通报,2012,28(10):37-42.  
 [7] 杨越,杨依天,武智勇,等.冀北坝上地区农田防护林防风固

- 沙效应研究[J].西北林学院学报,2020,35(4):167-172.
- [8] 孙浩,刘丽娟,李小玉,等.干旱区绿洲防护林格局对农田蒸散量的影响:以新疆三工河流域绿洲为例[J].生态学杂志,2018,37(8):2436-2444.
- [9] 刘兴起,张辉.吉兰泰盐湖沙漠化及其治理的遥感监测研究[J].盐湖研究,2000,8(2):1-5.
- [10] 丁延龙,汪季,胡生荣,等.吉兰泰盐湖风沙防护林体系建立35 a以来防沙效益评估[J].中国沙漠,2019,39(5):1-9.
- [11] 马世威.吉兰泰盐湖西北部风沙地貌形态发育及沙害控制途径[J].中国沙漠,1990,10(3):16-27.
- [12] 凌智永,陈亮,芦宝良,等.柴达木盆地盐湖周边灌丛沙丘微量元素特征与环境意义[J].盐湖研究,2018,26(3):35-43.
- [13] 杨宁宁.察尔汗盐湖周边风沙沉积物粒度和重矿物特征[D].西安:陕西师范大学,2012.
- [14] 鲍锋.柴达木盆地察尔汗盐湖地区风沙地貌发育环境与过程[D].西安:陕西师范大学,2016.
- [15] 春喜,王宗礼,夏敦胜,等.吉兰泰盐湖的形成及指示的环境意义[J].盐湖研究,2008(3):11-18.
- [16] 王仁德,李庆,常春平,等.土壤风蚀野外测量技术研究进展[J].中国沙漠,2019,39(4):113-128.
- [17] 周杰,雷加强,郑则浩,等.塔里木盆地西南缘不同下垫面的摩阻风速和空气动力学粗糙度[J].水土保持通报,2016,36(1):1-5.
- [18] 杨兴华,何清,霍文,等.塔克拉玛干沙漠南缘风沙跃移运动研究:以策勒为例[J].中国沙漠,2012,32(4):910-914.
- [19] 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.
- [20] 孙涛,贾志清,钱雅玲,等.民勤荒漠-绿洲过渡带不同发育阶段白刺灌丛沙堆的防风固沙功能分析[J].云南农业大学学报(自然科学),2019,34(4):713-724.
- [21] 朱震达.中国沙漠化研究的进展[J].中国沙漠,1989,9(1):4-16.
- [22] 王广涛,王训明,郎丽丽.毛乌素沙地南缘半固定沙丘风沙输移物特征[J].中国沙漠,2016,36(2):281-286.
- [23] 史东梅,金慧芳,蒋光毅.土壤侵蚀对坡耕地耕层质量退化作用及其评价趋势展望[J].农业工程学报,2019,35(18):118-126.
- [24] 乌拉,张国庆,辛智鸣.单个天然灌丛防风阻沙机理与效应[J].内蒙古林业科技,2008,34(2):36-39.
- [25] 李永强,李治国,董智,等.内蒙古荒漠草原放牧强度对风沙通量和沉积物粒径的影响[J].植物生态学报,2016,40(10):1003-1014.
- [26] 夏倩柔,张波,伍德彦.绿洲荒漠交错带风沙土盐结皮抗风蚀特性分析[J].新疆环境保护,2020,42(2):28-34.
- [27] Priyabrata S, Mertia R S, Kushawa H L. A new wind-erosion sampler for monitoring dust-storm events in the Indian Thar Desert [J]. Current Science, 2010, 99(8): 1061-1067.

## Sand blocking effect and grain size characteristics of Jilantai Salt Lake protection system

Guan Xuewei<sup>1,2</sup>, Yang Caiyi<sup>1</sup>, Liu Guangming<sup>2</sup>, Wang Ji<sup>3</sup>, Xiao Meng<sup>1</sup>, Ding Yanlong<sup>4</sup>, Chen Jinlin<sup>1</sup>

(1. *Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China*; 2. *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 3. *Desert Science and Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China*; 4. *College of Tourism, Inner Mongolia University of Finance and Economics, Hohhot 010070, China*)

**Abstract:** Wind-blown sand hazard is one of the important factors restricting the exploitation of resources in desert saline-alkali lake region. It is of great significance to study how to prevent and control the wind-blown sand hazard by protective effect in this region to realize the sustainable exploitation of salt lake resources. Therefore, this study takes the protection system of Jilantai Salt Lake as the research object. Through the method of field positioning monitoring and indoor analysis, the monthly sediment flux at different parts of the protection system is observed to explore the sand movement mode of the protection system of Jilantai Salt Lake and the variation law of monthly sediment flux, so as to provide data support for the effect evaluation of the protection system of Jilantai Salt Lake. The results showed that: (1) The wind speed from the mobile sand ridge to the center of the salt lake showed a trend of first decreasing and then increasing. In addition to the white thorn shrub, the wind speed of the plots was basically not affected by the wind direction. (2) Seasonal variation has a great influence on the sediment flux above 50cm height of the protection system except the shelterbelt. (3) During the observation period, the sediment transport flux in the 0–40 cm height range of the protection system accounted for 53.43%–96.63% of the total sediment transport flux, and the sand movement in the region was mainly dominated by jump. (4) From the flowing sand ridge to the center of salt lake, the distribution curve of sand particle size showed a bimodal type, and the sand particle size increased first, and reached the maximum at the saline-alkali beach, and then decreased slightly. In addition to the shelter belt, the sediment transport flux above 50 cm height of Jilantai Salt Lake protection system is greatly affected by the season, but the overall can still intercept 95.79%–99.93% of the sand, so as to effectively avoid the salt lake area.

**Key words:** sand transport flux; sand blocking effect; protection system; Jilantai Salt Lake