

文章编号: 1003-7578(2013)01-165-06

# 沙柳方格沙障对库布齐沙漠沙丘粒度分布的影响\*

万玲玲, 董智, 李红丽, 王丽英, 刘凤婵

(山东农业大学林学院, 山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室, 泰山森林生态站, 泰安 271018)

**摘要:** 为定量探讨沙柳方格沙障对沙粒粒度组成与特征的影响, 以流动沙丘(LS)、设障2a沙丘(TS)和设障6a沙丘(SS)为研究对象, 在沙丘不同部位、不同土层和障格内不同位置进行取样, 分析样品的粒度组成与特征。结果表明: 1) 随着设障年限的增加, 粘粒和粉粒含量增加, 细砂含量下降, SS粘粒和粉粒含量与TS和LS的含量差异显著, 而TS和LS二者间差异不明显; LS、TS各粒级含量在三个层次间差异均不明显, 而SS 0-5cm的粘粒、粉粒以及极细砂粒体积含量较其他2层差异显著。2) SS的频率分布曲线变化幅度小于TS和LS的频率分布曲线变化幅度。各沙丘的平均粒径 $M_z$ 、分选系数 $\delta$ 、偏度 $S_k$ 、峰度 $K_c$ 的大小顺序均表现为SS < TS < LS, SS与其他两种类型沙丘粒度参数间差异明显, 后二者粒度参数间差异不明显, 且SS和TS各个土层的各个粒度参数的大小顺序均表现为0-5cm < 5-10cm < 10-15cm, 而LS各个土层之间的粒度参数差异不明显。3) SS和TS障格西北和东南角粉粒和粘粒含量高于障格中部, 各粒度参数则表现为障格中部小于障格西北角或者东南角的特征。

**关键词:** 库布齐沙漠; 沙柳方格沙障; 粒度参数; 粒度组成

中图分类号: S152.3

文献标识码: A

沙物质是风塑造风沙地貌的物质基础, 沙丘沉积物粒度特征是沙丘地貌的主要研究内容之一。由于沙物质来源及风况等环境的不同, 各地沙丘沉积物的组成具有明显的差异<sup>[1-3]</sup>。同时, 沙丘形态对地表气流的影响, 使得不同形态沙丘和同一沙丘不同地貌部位的沙物质组成因分选作用而出现不同程度的差异<sup>[4-5]</sup>。这些差异以最大程度表现在沙丘沙粒组成上, 并导致不同类型沙丘由两侧坡脚至丘顶的多种粒度分布模式<sup>[4-8]</sup>。然而, 已有成果均是对自然状态下沙丘类型及其不同部位粒度特征的研究<sup>[4-17]</sup>, 有关沙障条件下沙丘粒度特征方面的研究很少, 更缺乏不同设障年限下及障内不同部位沙丘沙粒变化的研究。为此, 文中分析了库布齐沙漠穿沙公路两侧不同设障年限的沙丘与流动沙丘的沙物质粒度特征, 以期揭示沙障与沙物质粒度特征的互馈机制。

## 1 材料与研究方法

### 1.1 研究区自然概况

研究区位于库布齐沙漠穿沙公路两侧(E108°38'~108°42', N40°27'~40°36', 海拔1048m)。研究区属于典型温带大陆性气候, 年平均温度6.1℃, 极端最高温度36.3℃, 最低-34.5℃。多年平均降雨量286.3mm, 7~9月降水量占全年的70%, 且多以暴雨形式出现, 年蒸发量2500mm。该区风多风大, 年均风速4.4m/s, 最大风速24.0m/s, 年大风日数15~48d/a, 主导风向为西北风, 次主风为东南风, 沙丘由西北向东南呈往复摆动式前进。研究区内地貌类型主要由流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘和风蚀坑、风蚀劣地等构成, 常见沙丘类型以新月型沙丘、格状沙丘和沙垄等。为保障公路畅通, 公路两侧流沙均采用沙柳方格沙障进行了固定, 经不同时间的自然植被恢复, 形成了半固定与固定沙丘。

### 1.2 研究方法

\* 收稿日期: 2012-1-29; 修回日期: 2012-2-6。

基金项目: 国家自然科学基金项目(项目编号: 30972420, 40961036)资助。

作者简介: 万玲玲(1986-), 女, 山东省日照人, 硕士研究生, 主要研究方向: 荒漠化防治与植被恢复。Email: wanlingling7@163.com

通讯作者: 李红丽(1972-), 女, 内蒙古赤峰市巴林左旗人, 博士、副教授、硕士生导师, 主要研究方向: 荒漠化防治、植被恢复、干旱区生理生态。E-mail: lhl@sdau.edu.cn

在研究区内选择沙丘高度、坡度、走向等沙丘属性基本相同的流动沙丘与设置不同年限沙柳方格沙障的沙丘为试验沙丘。试验沙丘高度为 9~10m, 迎风坡坡度为 17°~20°, 背风坡坡度为 33°~34°, 沙丘走向为北偏西 15°左右。沙柳方格沙障在迎风坡与背风坡均全面铺设, 规格为 4m×4m, 垂直于主风向设置, 障高 30cm。样地分为 3 个类型, 即未设沙障的流动沙丘(对照, 记为 LS)、设障 2 年沙丘(记为 TS)和设障 6 年沙丘(记为 SS)。其中, 流动沙丘仅有零星沙米(*Agriophyllum squarrosum* (Linn.) Moq.) 分布, 设障 2 年沙丘上分布有沙米、虫实(*Corispermum hyssopifolium* L.)、猪毛菜(*Salsola collina* Pall.) 和油蒿(*Artemisia ordosica* L.) 盖度 10%~15%, 设障 6 年沙丘表面分布有油蒿, 盖度 35%~40%。

在选取的各个试验沙丘, 沿垂直沙丘脊线的中线和与中线等距离(10m)的两条边线上, 分别在沙丘的底部、中部和中上部、顶部、背风坡中部、底部、丘间低地 7 个部位, 用剖面法分层采集 0~5cm、5~10cm 和 10~15cm 的土样, 取样面积 20cm×20cm。其中, 流动沙丘 LS 每个部位分别取 3 个样点作为重复; 在设障 2 年和设障 6 年沙丘的每个取样部位的沙障内, 分别于障格内西北角、中心和东南角取样, 每一样品重 500g 左右。将所取沙样带回室内风干, 然后分别将各试验沙丘 3 条样线上对应部位的重复样品混合均匀, 采用 LS13320 激光粒度分析仪进行粒径分析, 每个混合样品测定 3 次, 并借助附带软件中的用户分级功能, 得到土壤任意两粒径之间的体积百分含量。M(平均粒径)、δ(分选系数)、S<sub>k</sub>(偏度)、K<sub>G</sub>(峰态)等粒度特征参数值的计算均采用 Folk and Ward(1957) 公式<sup>[18]</sup>。数据结果在 Excel 中进行处理统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙柳方格沙障对沙粒粒度组成的影响

#### 2.1.1 不同设障年限沙丘的沙粒粒度组成

由不同设障年限沙丘及不同沙层的沙粒粒度组成可以看出(表 1), 未设障流动沙丘(LS)、设障 2a 沙丘(TS)和设障 6a 沙丘(SS)沙粒粒径组成均以细砂含量最高, 其体积百分比分别为 76.49%、75.39% 和 67.74%; 其次是中砂粒, 其体积百分比分别为 21.00%、21.89% 和 16.07%; LS 和 TS 沙丘粗砂含量最低, 分别为 0.17%、0.21%, 而 SS 沙丘则以粘粒含量最低, 平均为 0.85%。不同设障沙丘同一土层各粒级体积百分含量均表现为 LS 和 TS 间差异不显著(P>0.05), 但 TS 的粉粒和极细砂含量高于 LS, 细砂含量低于 LS。LS、TS 均与 SS 各粒径间差异明显(P<0.01)。设障 6 年沙丘粘粒和粉粒平均体积百分比为 0.85% 和 3.51%, 分别是设障 2 年沙丘和未设障流动沙丘粘粒和粉粒含量的 2.07、8.56 倍和 2.07、8.90 倍, 设障 2 年沙丘粘粒含量与未设障沙丘相同, 粉粒含量略高于未设障沙丘。

表 1 3 种不同类型沙丘不同层次的粒径体积百分比组成(%)

Tab. 1 Sand particle size volume percentage in different layer of 3 different types of dunes(%)

沙丘类型	土壤层次 (cm)	土壤粒级(mm)					
		粘粒 0~0.002	粉砂 0.002~0.05	极细砂 0.05~0.1	细砂 0.1~0.25	中砂 0.25~0.5	粗砂 0.5~1.0
流动沙丘 LS	0-5	0.41±0.04aB	0.40±0.05aB	1.64±0.09aB	77.45±0.19aA	19.92±0.12aA	0.19±0.02aB
	5-10	0.41±0.06aB	0.39±0.05aB	1.43±0.08aB	77.10±0.23aA	20.54±0.17aA	0.14±0.07aB
	10-15	0.41±0.03aB	0.39±0.07aB	1.56±0.09aB	74.92±0.18bA	22.53±0.15aA	0.18±0.03aB
	0-15 平均	0.41±0.04B	0.39±0.05B	1.54±0.09B	76.49±0.20A	21.00±0.15A	0.17±0.05B
设障 2a 沙丘 TS	0-5	0.41±0.05aB	0.47±0.01aB	1.73±0.06aB	74.26±0.23aA	22.88±0.14aA	0.25±0.07aB
	5-10	0.41±0.03aB	0.37±0.03bB	1.61±0.05aB	75.26±0.21aA	22.12±0.09aA	0.22±0.05aB
	10-15	0.42±0.02aB	0.38±0.03bB	1.70±0.06aB	76.66±0.14aA	20.67±0.11aA	0.16±0.03aB
	0-15 平均	0.41±0.05B	0.41±0.03B	1.68±0.05B	75.39±0.25A	21.89±0.12A	0.21±0.04B
设障 6a 沙丘 SS	0-5	0.99±0.06aA	6.07±0.08aA	14.13±0.09aA	62.93±0.25bB	14.28±0.13bB	1.50±0.01aA
	5-10	0.80±0.06bA	2.57±0.03bA	8.92±0.11bA	69.55±0.21aB	16.67±0.13aB	1.51±0.05aA
	10-15	0.76±0.04bA	1.88±0.03cA	7.83±0.13bA	70.74±0.17aB	17.26±0.15aB	1.60±0.02aA
	0-15 平均	0.85±0.05A	3.51±0.07A	10.29±0.12A	67.74±0.22B	16.07±0.13B	1.54±0.04A

注: 同一列数据后不同小写字母表示同一沙丘不同土层之间相应指标差异显著(P<0.05), 同一列数据后不同大写字母表示不同沙丘间同一层次各指标的差异显著(P<0.05)。

流动沙丘、设障 2a 沙丘各粒级的体积百分比在 0-5cm、5-10cm 和 10-15cm 三层之间差异均不明显(P>0.05)。设障 6a 沙丘 0-5cm 的粘粒、粉粒以及极细砂粒体积含量与 5-10cm、10-15cm 2 层间差异显著(P<0.01), 且均表现出粘粒、粉粒及极细砂粒体积含量随土层深度的增加而明显减少, 细砂、中砂

和粗砂含量增大的变化趋势。因此,在流沙上设置沙障后,由于沙障及障内恢复的植被对风沙流的拦挡和阻截,可改变沙粒粒径的组成,使得细砂、中砂含量逐渐下降,极细砂、粉砂和粘粒的含量明显增加,有效地改善了土壤质地;随着设障年限的延长,沙障对粒径的改良作用增大,特别是对表层 0-5cm 的改良作用更为显著。

2.1.2 沙障障格内不同点位的沙粒粒度组成

表 2 为沙障障格内不同点位的沙粒粒度组成。由表可知,同一沙丘障格内不同点位均以细砂含量为主,SS 障格内各点位除粘粒含量差异不明显外,其余粒径间差异显著,而 TS 障格内各点则表现为粘粒和粉粒差异不显著,其余粒径间差异显著。TS 和 SS 障内粘粒、粉粒和极细砂含量在不同点位均表现为障格西北角 > 障格东南角 > 障格中部;细砂含量则表现为障格中部 > 障格东南角 > 障格西北角,中砂含量和粗砂含量在 TS 和 SS 障格内各点位分布不同,但均呈现出障格中部的含量处于障格西北角与东南角之间的分布趋势。这说明在同一沙障障格内,受沙障对风沙活动的影响,各点位的的风沙活动强度与蚀积状况不同,从而在粒径组成上形成较大的差异。

2.2 沙粒粒度参数特征

2.2.1 不同设障年限沙丘沙粒粒径的体积含量频率分布

3 种不同设障年限沙丘的沙粒粒径分布频率曲线(图 1)。由图可知:SS 与 TS 和 LS 沙粒粒径的频率分布曲线具有较大差别,其各粒径间的变化幅度较其他两类沙丘的变化幅度小,说明细粒含量相对较高,各个粒径间的差值趋于减小,各粒径体积百分比分布渐趋均匀。而 TS 与 LS 粒径分布频率曲线差别不明显,粒径频率分布曲线变化幅度较大,细颗粒的含量相对较少。

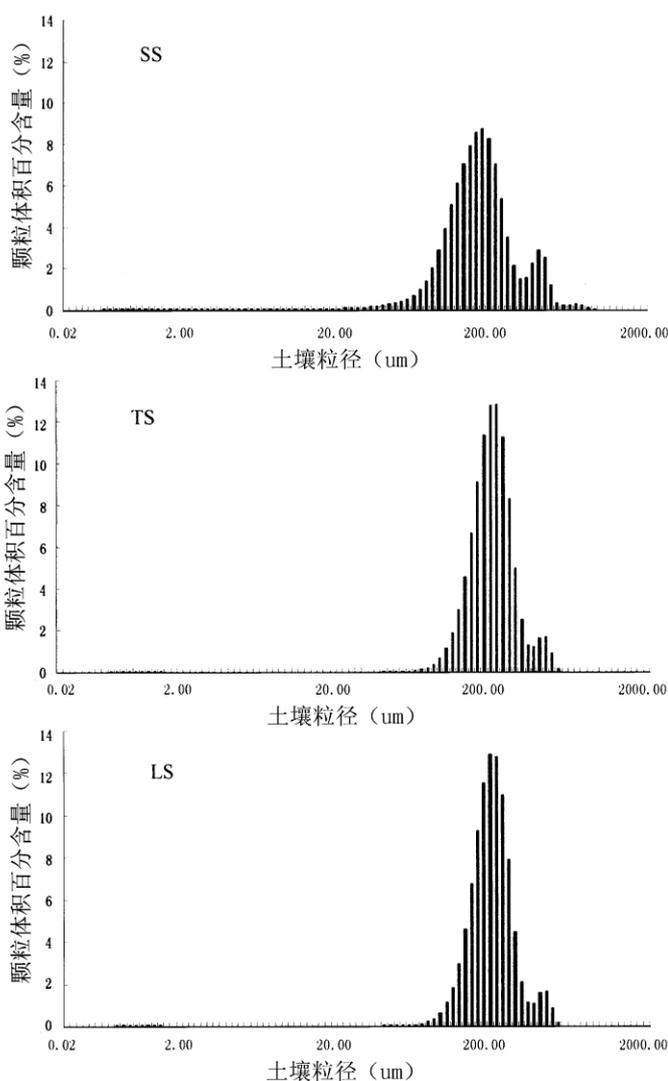


表 2 沙障障格内不同部位的沙粒体积百分比组成(%)

Tab. 2 Sand particles size volume percentage composition of different parts inside sand barriers(%)

土壤粒级 (mm)	障格内 不同部位	沙丘类型	
		TS	SS
粘粒	西北角	0.41 ± 0.03a	0.96 ± 0.04a
	中部	0.36 ± 0.02a	0.92 ± 0.04a
	东南角	0.39 ± 0.03a	0.95 ± 0.03a
粉粒	西北角	0.41 ± 0.01a	5.45 ± 0.05a
	中部	0.39 ± 0.02a	3.85 ± 0.03b
	东南角	0.40 ± 0.03a	5.19 ± 0.03a
极细砂粒	西北角	1.69 ± 0.05a	15.09 ± 0.04a
	中部	1.59 ± 0.04b	12.24 ± 0.06b
	东南角	1.64 ± 0.06ab	14.03 ± 0.06a
细砂粒	西北角	73.73 ± 0.27b	62.94 ± 0.15b
	中部	76.30 ± 0.24a	69.69 ± 0.11a
	东南角	76.24 ± 0.19a	64.35 ± 0.25b
中砂粒	西北角	23.55 ± 0.11a	12.84 ± 0.10b
	中部	21.09 ± 0.09b	10.64 ± 0.08c
	东南角	21.07 ± 0.09c	14.00 ± 0.08a
粗砂粒	西北角	0.22 ± 0.01ab	2.75 ± 0.02a
	中部	0.17 ± 0.01b	2.65 ± 0.01a
	东南角	0.26 ± 0.03a	1.46 ± 0.03b

注: 同列数据后标的不同小写字母表示不同土层之间相应指标差异显著(P < 0.05)。

以沙粒粒径为自变量,经统计分析得到描述粒径分布的两个特征参数 - 偏度( $S_K$ )和峰态( $K_C$ )。设障 6a 沙丘的  $S_K = 0.0004$ ,  $K_C = 1.239$ , 设障 2a 沙丘  $S_K = 0.008$ ,  $K_C = 1.327$ , 流动沙丘的  $S_K = 0.074$ ,  $K_C = 1.366$ 。偏度( $S_K$ )越接近 0, 曲线的分布越接近正态分布, 不同粒径的分布越均匀; 峰态  $K_C$  越

图 1 3 种不同类型沙丘沙粒粒径体积含量频率分布

Fig. 1 Sand particles size volume fraction frequency distribution of 3 different types of dunes

小,表明集中于平均粒径附近的颗粒越少,粒径分布越均匀, $K_G$ 越大,表明粒径集中度较高,粒径分布均匀度小。由此表明,设障 6a 沙丘较设障 2a 沙丘和流动沙丘细颗粒物含量更高,粒径分布更均匀。

2.2.2 不同设障年限沙丘粒度参数特征

对 3 种不同设障年限沙丘及不同深度土层的颗粒粒度特征进行统计(表 3)。由表可知,设障 6a 沙丘的平均粒径为 2.12mm~2.22mm,而设障 2a 和流动沙丘的平均粒径分别为 2.63mm~2.70mm 和 2.84mm~2.95mm。因此,设障沙丘的平均粒径小于流动沙丘,且随着设障时间的增加,平均粒径趋于减小;不同沙丘不同深度的平均粒径则呈现出随沙层深度的增加而逐渐增大的趋势。

就分选系数  $\delta$  来看,设障 6a 沙丘的  $\delta$  为 1.02~1.04,设障 2a 沙丘和流动沙丘的  $\delta$  为 1.12~1.13 和 1.16~1.19,以 Folk 和 Ward 分选性等级标准划分,各沙丘均为分选较差或分选差的范围,以流动沙丘分选最差。总体上表现为随设障年限的延长分选性变好,随着深度的增加分选性变差。

表 3 不同设障年限沙丘沙粒粒度参数

Tab.3 Sand particle size parameters of different setting years sand barriers

粒度参数	障格内 不同部位	沙丘类型		
		LS	TS	SS
平均粒径 $M_z$ (mm)	0-5	2.84 ± 0.03aA	2.63 ± 0.05bA	2.12 ± 0.02bB
	5-10	2.87 ± 0.01aA	2.68 ± 0.01aA	2.21 ± 0.01aB
	10-15	2.95 ± 0.01aA	2.70 ± 0.03aA	2.22 ± 0.04aB
分选系数 $\delta$	0-5	1.16 ± 0.02aA	1.12 ± 0.02aA	1.02 ± 0.01aB
	5-10	1.17 ± 0.01aA	1.13 ± 0.01aA	1.04 ± 0.01aB
	10-15	1.19 ± 0.02aA	1.13 ± 0.01aA	1.03 ± 0.02aB
偏度 $S_k$	0-5	0.072 ± 0.001aA	0.006 ± 0.0001bA	0.0003 ± 0.00002bB
	5-10	0.075 ± 0.003aA	0.008 ± 0.0007bA	0.0004 ± 0.00004bB
	10-15	0.079 ± 0.004aA	0.011 ± 0.0008aA	0.0006 ± 0.00001aB
峰态 $K_G$	0-5	1.34 ± 0.02aA	1.31 ± 0.03aA	1.22 ± 0.02aB
	5-10	1.37 ± 0.03aA	1.32 ± 0.03aA	1.23 ± 0.04aB
	10-15	1.38 ± 0.05aA	1.34 ± 0.02aA	1.24 ± 0.02aB

注: 同列数据后标的不同小写字母表示不同土层之间相应指标差异显著 ( $P < 0.05$ ), 同行数据后标的不同大写字母表示不同样地之间相应指标差异显著 ( $P < 0.05$ )。

偏度是表示沉积物粗细分布对称程度的一个定量描述指标<sup>[19]</sup>。由表 3 可知,设障 6a 沙丘的偏度  $S_k$  为 0.0003~0.0006,属于对称;设障 2a 沙丘的  $S_k$  为 0.006~0.011,属于对称或近对称;流动沙丘的  $S_k$  为 0.072~0.079,属于近对称。因而,在偏度上各沙丘及层次上表现为随设障年限的延长沙粒粗细分布的对称程度增强,由近对称趋于对称;随着深度的增加对称程度减弱。

设障 6a、2a 沙丘及流动沙丘的峰态  $K_G$  平均值为 1.22~1.24、1.31~1.34、1.34~1.38。根据 Folk 和 Ward 制定的峰态等级数据界限标准<sup>[18]</sup>,均属于宽型峰度。相对来说,流动沙丘的峰度最尖锐,设障 2a 沙丘次之,设障 6a 沙丘最小。沙层不同深度峰度的尖锐程度随深度的增加而增强。

综合分析各试验沙丘的平均粒径  $M_z$ 、分选系数  $\delta$ 、偏度  $S_k$ 、峰度  $K_G$ ,其大小顺序均表现为设障 6a 沙丘 < 设障 2a 沙丘 < 流动沙丘,设障 6a 沙丘与其他 2 种类型沙丘之间差异明显 ( $P < 0.01$ ),设障 2a 沙丘与流动沙丘之间差异不明显 ( $P > 0.05$ )。设障 6a 和设障 2a 沙丘不同深度沙层间的平均粒径  $M_z$ 、分选系数  $\delta$ 、偏度  $S_k$ 、峰度  $K_G$  的大小顺序均表现为 0-5cm < 5-10cm < 10-15cm,流动沙丘不同土层间各粒度参数的大小变化无明显规律。总体来看,设障 6 年沙丘细粒物质的体积百分含量最大,分选性最好,粒径分布最均匀;其次为设障 2 年沙丘;流动沙丘细粒物质的含量最低,粒径分布的均匀性最差。

表 4 沙障障格内不同点位沙粒粒度参数

Tab.4 Sand particle size parameters of different parts inside sand barriers

粒度参数	障格内 不同部位	沙丘类型	
		TS	SS
平均粒径 $M_z$ (mm)	西北角	2.67 ± 0.05b	2.14 ± 0.06b
	中部	2.83 ± 0.03a	2.22 ± 0.04a
	东南角	2.64 ± 0.06b	2.16 ± 0.05b
分选系数 $\delta$	西北角	1.14 ± 0.01b	1.01 ± 0.01b
	中部	1.23 ± 0.02a	1.1 ± 0.01a
	东南角	1.12 ± 0.02b	1.04 ± 0.02b
偏度 $S_k$	西北角	0.006 ± 0.0004b	0.0002 ± 0.00001b
	中部	0.009 ± 0.0002a	0.0009 ± 0.00001a
	东南角	0.006 ± 0.0003b	0.0003 ± 0.00002b
峰态 $K_G$	西北角	1.31 ± 0.02b	1.19 ± 0.02b
	中部	1.37 ± 0.01a	1.26 ± 0.05a
	东南角	1.32 ± 0.04b	1.23 ± 0.04a

注: 同列数据后标的不同小写字母表示不同土层之间相应指标差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2.3 沙障障格内不同点位粒度参数特征

由表 4 可知,设障 6a 沙丘障格内不同点位土壤颗粒的平均粒径  $M_z$ 、分选系数  $\delta$ 、偏度  $S_k$ 、峰度  $K_c$  的大小顺序均表现为障格中部 > 障格西北角 > 障格东南角,而设障 2 年沙丘则表现为障格中部 > 障格东南角 > 障格西北角,且沙障中部与其他两个部位呈显著性差异 ( $P < 0.01$ ),即相比于障格西北角和东南角,障格中部细粒物质含量较低,分选性较差,土粒分布不均匀。这一趋势与风在沙障内的作用规律有关。对流沙及沙障内不同点位处 2m 和近地表 20cm 处风速进行野外测定,结果表明,流沙近地表 20cm 高度处的风速是 2m 处风速的 85.21%,而 4m × 4m 沙柳方格沙障内近地表 10cm 高度处的风速以沙障中部最大,为 200cm 处风速的 40.91%,障内东南角与西北角分别为 200cm 处风速的 31.10% 和 27.52%。因此,与流沙相比,沙障具有削弱近地表风速的能力,但不同点位削弱风速能力差别明显。在沙障内各点位则以障格中部风速最大,风沙搬运能力最强,细粒物质损失最多;而在障格内的在沙障内西北角和东南角风速均降低显著,细粒物质沉积较多,从而对土壤表现出明显地改良作用。风洞模拟结果也表明,沙障中部为风速加速区,沙粒极易被吹蚀,而在障前、障后均存在风速阻滞减速区,加速能量的耗损,可达到固沙阻沙的目的<sup>[20-22]</sup>。因此,沙障可有效地拦截和保护障格西北角和东南角的细粒物质,为沙障内植被的恢复和流沙环境的改良奠定了基础。

## 3 讨论与结论

(1) 在流沙上设置沙柳方格沙障可以提高土壤粘粒和粉粒含量,改善土壤质地,且沙障设置时间越长,对土壤的改良作用越明显,特别是对表层的改良作用显著。设障 6a 沙丘粘粒和粉粒体积百分含量与流动沙丘和设障 2a 沙丘间差异显著,其粘粒和粉粒含量平均为 0.85% 和 3.51%,分别是流动沙丘和设障 2a 沙丘的 2.07、8.90 倍和 2.07、8.56 倍;而设障 2a 沙丘粘粒和粉粒含量略高于流动沙丘,但差异不明显。流动沙丘、设障 2a 沙丘各粒级的体积百分比在三层之间差异均不明显,设障 6a 沙丘 0-5cm 的粘粒、粉粒以及极细砂粒体积含量较 5-10cm 和 10-15cm 差异显著,且均表现出粘粒、粉粒及极细砂粒体积含量随土层深度的增加而明显减少,细砂、中砂和粗砂含量增大的变化趋势。

(2) 设障 6a 沙丘与其他两种类型沙丘的频率分布曲线具有较大差别,设障 6a 沙丘的频率分布曲线变化幅度较小,而设障 2a 沙丘和流动沙丘的变化幅度较大;3 类沙丘的粒度参数(平均粒径  $M_z$ 、分选系数  $\delta$ 、偏度  $S_k$ 、峰度  $K_c$ )的大小顺序均表现为设障 6a 沙丘 < 设障 2a 沙丘 < 流动沙丘,且设障 6a 和设障 2a 沙丘各个土层的粒度参数的大小顺序均表现为 0-5cm < 5-10cm < 10-15cm,而流动沙丘各个土层之间的粒度参数差异不明显。

(3) 在同一沙障障格内,沙粒粒度组成在不同点位差异明显。设障 6a 和 2a 沙丘的沙障障格内,障格中部的粉粒和粘粒含量低于障格西北角和东南角的粉粒和粘粒含量。设障 6a 沙丘障格内不同点位土壤颗粒的粒度参数的大小顺序均表现为障格中部 > 障格西北角 > 障格东南角,而设障 2a 沙丘则表现为障格中部 > 障格东南角 > 障格西北角,即相比于障格西北角和东南角,障格中部细粒物质含量较低,分选性较差,土粒分布不均匀。

### 参考文献

- [1] Ahlbrand T S. Textual parameters of eolian deposits [C] // McKee E D, ed. A Study of Global Sand Seas. U S Geol Surv ProfPap, 1979, 1052: 21-51.
- [2] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 196-201.
- [3] Lajcarter N. Geomorphology of desert dunes [M]. London: Routledge, 1995: 526.
- [4] 哈斯, 董光荣, 王贵勇. 腾格里沙漠东南缘沙丘表面气流与坡面形态的关系 [J]. 中国沙漠, 1999, 19(1): 1-5.
- [5] 哈斯, 王贵勇, 董光荣. 腾格里沙漠东南缘格状沙丘表面气流及其地貌学意义 [J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 1-5.
- [6] Barndorff-Nielsen O, Dalsgaard K, Halgreen C et al. Variation in particle size over a small dune [J]. Sedimentology, 1982, 29: 53-65.
- [7] Vincent P J. Particle size variation over a transverse dune in the Nafud as Sirr, central Saudi Arabia [J]. Journal of Arid Environments, 1984, 7: 329-336.
- [8] Waston A. Grain-size Variation on a longitudinal dune and a barchan dune. Sedimentary [J]. Geology, 1986, 14: 49-66.
- [9] 哈斯, 庄燕美, 王蕾, 等. 毛乌素沙地南缘横向沙丘粒度分布及其对风向变化的响应 [J]. 地理科学进展, 2006, 25(6): 42-51.
- [10] 李恩菊, 董治宝, 赵景波. 巴丹吉林沙漠典型高大沙山迎风坡粒度特征 [J]. 干旱区地理, 2011, 34(3): 471-47.
- [11] 哈斯, 王贵勇. 沙坡头地区新月形沙丘粒度特征 [J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 271-275.
- [12] 布克利. 澳大利亚线形沙丘的粒度特征 [J]. 干旱区研究, 1990, 7(2): 64-66.

- [13]唐进年,王继和,苏志珠,等. 库姆塔格沙漠羽毛状沙丘表面沙粒度分布特征[J]. 干旱区地理, 2008, 31(6): 918-925.
- [14]董玉祥. 国内外海岸风成砂粒度参数特征的分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(4): 110-113.
- [15]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.
- [16]唐进年,王继和,苏志珠,等. 库姆塔格沙漠羽毛状沙丘表面沙粒度分布特征[J]. 干旱区地理, 2008, 31(6): 918-925.
- [17]周丹丹,董建林,高永,等. 巴音温都尔沙漠表层土壤粒度特征及风蚀量估算[J]. 干旱区地理, 2008, 31(6): 933-939.
- [18]Folk R L, Ward W C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27: 3-26.
- [19]吉启慧. 粒度分析在塔克拉玛干沙漠研究中的应用[J]. 中国沙漠, 1996, 16(2): 173-179.
- [20]刘贤万. 草方格沙障的风洞实验//流沙治理研究(二)[C]. 银川:宁夏人民出版社, 1991: 326-334.
- [21]董智,李红丽,左合君,等. 土壤凝结剂沙障防沙机理的风洞模拟实验研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3): 154-159.

## Effects of *Salix psammophila* checkerboard sand barrier on the distribution and characteristics of sand particle size in Kubuqi Desert

WAN Lingling, DONG Zhi, LI Hongli, WANG Liying, LIU Fengchan

(Forestry School of Shandong Agricultural University, Shandong Province Key Laboratory of Soil Erosion and Ecological Restoration, Taishan Forest Ecosystem Research Station, Tai'an 271018, P. R. China)

**Abstract:** In order to study the effect of *Salix psammophila* checkerboard sand barrier on the composition and characteristics of particle size quantitatively, the drifting sand dune (LS), the sand dune with sand barrier of two years (TS) and the sand dune with sand barrier of six years (SS) were studied. Samples were taken on different parts of sand dunes and in different layers of sand and on different positions of checkerboard sand barrier, and composition and characteristics of particle size were studied. The results can be seen as follows: (1) with the sand barrier setting time increases, the content of silt and clay increases and the content of fine sand decreases. The content of silt and clay of SS shows significant difference with the content of silt and clay of TS and LS, when there is no significant difference between TS and LS; There is no significant difference in the content of each particle size in the three sand layers of LS and TS, but the volume content of silt, clay and fine sand of 0-5cm of SS is different from the two other layers. (2), The rangeability of frequency distribution curve of SS is smaller than the rangeability of TS and LS. The order of average particle  $M_z$ , sorting coefficient  $\delta$ , skewness  $S_k$  and kurtosis  $K_c$  of each sand dunes is  $SS < TS < LS$ , each particle parameters of SS are significant different from the two other sand dunes, and there is no significant difference between TS and LS, and the order of each particle parameters of each layers of SS and TS is  $0-5\text{cm} < 5-10\text{cm} < 10-15\text{cm}$ , but the particle parameters of each layers of LS have no significant difference. (3) The content of silt and clay of SS and TS on the northwest and southeast corner of the checkerboard sand barrier is bigger than the content in the center of the checkerboard sand barrier, and each particle parameters in the center of the checkerboard sand barrier are smaller than the ones on the northwest and southeast corner.

**Key words:** Kubuqi Desert; *Salix Psammophila*; checkerboard sand barrier; particle size parameters; particle size composition