

# 古尔班通古特沙漠南缘梭梭固沙林土壤粒度的分异规律

王永兵<sup>1,3</sup>, 李亚萍<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃亚盛农业研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院

新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 沈阳农业大学 农学院, 辽宁 沈阳 110000)

**摘要:** [目的] 分析梭梭林地的防风固沙效果, 为当地的沙漠化防治提供基本的资料, 为生态建设提供可靠的依据。[方法] 以古尔班通古特沙漠南缘莫索湾地区的梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林地作为研究区, 按照距离沙源远近, 分别选取了4种典型的梭梭样地, 进行土壤样品采集, 分析其粒径分布特征。[结果] 位于沙源处的梭梭林由于沙尘来自古尔班通古特沙漠, 沙源均一性以及分选性良好。土壤粒径主要受植被盖度的影响, 使得沙地表层细粒成分增加; 在一定的植被覆盖下, 随着沙源距离的增大, 表层土壤平均粒径依次减小, 主要是因为植被拦截沙尘物质, 使得表层土壤粒径产生差异; 表层土壤平均粒径相对于下层呈增大趋势, 且距离沙源越近变化幅度越大, 但是土壤粒径峰度、偏度差异不大。[结论] 表层土壤粒度特征存在差异反映了各梭梭林在不同的植被覆盖下风沙活动强度对其的影响, 自然植被带与人工梭梭林能够有效拦截和固定大量的风蚀物质, 但由于自然植被生长状况不如人工林, 在植被大量衰退和强风蚀作用下对风沙的拦截作用较弱, 因此, 在自然植被带外围人工造林对当地风沙的阻挡作用起到至关重要的作用。

**关键词:** 土壤粒径; 植被恢复; 造林方式; 古尔班通古特沙漠; 梭梭

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2020)03-0075-06

**中图分类号:** S728.4, S152

**文献参数:** 王永兵, 李亚萍. 古尔班通古特沙漠南缘梭梭固沙林土壤粒度的分异规律[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 75-80. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.03.011; Wang Yongbing, Li Yaping. Soil particle size differentiation of *Haloxylon ammodendron* sand-break forest in southern margin of Gurbantunggut Desert [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 75-80.

## Soil Particle Size Differentiation of *Haloxylon Ammodendron* Sand-Break Forest in Southern Margin of Gurbantunggut Desert

Wang Yongbing<sup>1,3</sup>, Li Yaping<sup>1,2</sup>

(1. Gansu Yasheng Agricultural Research Institute Co., Ltd., Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang

830011, China; 3. College of Agricultural, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110000, China)

**Abstract:** [Objective] The windbreak and sand fixation effects of *Haloxylon ammodendron* forest lands were analyzed to provide insights for local desertification control and reliable basis for ecological construction. [Methods] *H. ammodendron* woodland in the Mosuowan area on the southern edge of the Gurbantunggut Desert was taken as a study area. According to the distance from the sand source, four typical *H. ammodendron* sample plots were selected for soil collection, and the particle size distribution characteristics were analyzed. [Results] *H. ammodendron* forest located at the sand source had good uniformity and sorting of the sand source because of the dust coming from the Gurbantunggut Desert. The soil particle size was mainly affected by vegetation coverage, which increased the fine-particle composition on the sand surface. Under certain vegetation cover, the average grain size of the surface soil decreased with the increase of sand source distance, mainly because vegetation intercepts sand and dust substances, causing a difference in the particle size of the surface soil. The average particle size of the surface soil increased compared with the lower layer, and there was greater variation close to the sand source. However, the difference in kurtosis and skewness of

收稿日期: 2019-11-16

修回日期: 2020-01-16

资助项目: 国家科技部对发展中国家科技援助项目“中—哈‘丝绸之路经济带’新兴城市生态屏障建设技术合作研究”(KY201502003)

第一作者: 王永兵(1991—), 男(汉族), 甘肃省会宁县人, 硕士, 研究方向为沙漠化治理技术。Email: 1712111820@qq.com。

通讯作者: 李亚萍(1990—), 女(汉族), 甘肃省定西市人, 硕士, 研究方向为水土保持与沙漠化治理技术。Email: 1592473442@qq.com。

soil particle size was not significant. [Conclusion] The difference in particle size characteristics of the surface soil reflected the influence of wind-sand activity intensity on *H. ammodendron* forests under different vegetation coverage. Natural vegetation zones and artificial *H. ammodendron* forests could effectively intercept and fix a large amount of wind erosion substances. However, because the growth condition of natural vegetation was not as good as that of artificial forest, the effect of the interception of wind-blown sand was weaker under vegetation degradation and wind erosion. Therefore, afforestation on the periphery of the natural vegetation zone played a vital role in blocking local wind-blown sand.

**Keywords:** soil particle size; vegetation restoration; afforestation; Gurbantunggut Desert; *H. ammodendron*

古尔班通古特沙漠位于中国北方沙漠及沙漠化地带最西北部的准噶尔盆地腹地,介于  $44^{\circ}11'—46^{\circ}20'N$  和  $84^{\circ}31'—90^{\circ}00'E$ ,面积达  $4.88 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,是中国惟一受西风气流控制的沙漠,也是中国最大的固定与半固定沙漠。莫索湾地区位于古尔班通古特沙漠南缘,主要地貌类型为半固定沙丘及沙地,地表颗粒松散,稳定性低,对当地绿洲农田和人民生活威胁较大<sup>[1]</sup>。为此,从 1982 年开始进行大量营造人工梭梭林以恢复植被和生态环境,主要类型包括积雪固沙林、集水固沙林和秋灌固沙林。有研究表明,人工植被恢复工程可以使土壤沙漠化过程发生逆转<sup>[2]</sup>。自 1956 年“以固为主、固阻结合”的植被固沙防护体系建立以来<sup>[3-6]</sup>,塔克拉玛干沙漠南缘、毛乌素沙漠西南缘及腾格里沙漠沙坡头地区,都相继通过植被恢复来固定流沙进而防御沙漠化发展<sup>[7-9]</sup>。不同防护体系的建立对于沙漠化的阻滞作用是不同的,人工造林是防治沙漠化的有效途径之一。

现阶段已有莫索湾地区人工梭梭林植被调查,生境地形与土壤理化性质关系方面的报道<sup>[10-13]</sup>。由于土壤转变的过程和演变的机理因地区环境和土地利用过程而异,该地区积雪固沙林离沙包最近,防护林处于沙源处,但人工植被恢复下土壤的演变尚不明

确。为此,本文分析了该地区不同梭梭固沙林土壤粒度分异规律与沙源距离的关系,旨在了解不同植被覆盖下各林地经过长期的生长演替后对沙尘物质的拦截作用,深入理解梭梭林在当地防风固沙、维护绿洲—荒漠生态平衡中的重要作用,为沙化土地治理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区的地理坐标为东经  $86^{\circ}06'—86^{\circ}50'$ ,北纬  $44^{\circ}40'—45^{\circ}$ ,海拔高度 346.8 m。沙丘多为垄状沙丘,高度 5~20 m。该区域年平均气温  $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 114.89 mm,潜在蒸发量 1 942.1 mm,干燥度为 16.9,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的活动积温  $3\ 000\sim 3\ 500^{\circ}\text{C}$ ,年均日照时数为  $3\ 100\sim 3\ 200\text{ h}$ ;春夏两季为风季,最大风速达 20 m/s。该区冬季积雪厚度约为 13 cm 左右,最厚可达 27 cm<sup>[1]</sup>。主风向东南风向。

### 1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 2017 年 8 月在石河子 150 团莫索湾人工防护林体系按照从东北到西南依次距离固定沙丘不同的距离选择 4 个样地作为研究对象,样地详情见表 1。

表 1 古尔班通古特沙漠南缘梭梭固沙林样地基本特征

样地类型	群落组成	植被特征描述	林地积蚀强度描述
积雪固沙林 A (位于沙源处)	梭梭—白梭梭 ( <i>Haloxylon ammodendron</i> - <i>Haloxylon persicum</i> )	植被的盖度、株高和基径别 23.5%,214 cm,7 cm 左右	地表几乎没有结皮,垄顶有 30 cm 宽的流沙带,迎风坡沙物质处于连续的风蚀状态。
自然植被带 B (距离沙源最近)	梭梭—怪柳—沙拐枣 ( <i>Haloxylon ammodendron</i> - <i>Tamarix chinensis</i> - <i>Calligonum mongolicum</i> )	植被的盖度、株高和基径别 8%,87 cm,2.8 cm 左右	地表以碱结皮为主,结皮的盖度 2% 左右,沙物质处于风蚀状态。
集水固沙林 C (距离沙源较近)	梭梭—沙拐枣 ( <i>Haloxylon ammodendron</i> - <i>Calligonum mongolicum</i> )	植被的盖度高度和基径分别 14.7%,198 cm,cm 左右	土壤为碱性,以苔藓结皮为主,结皮盖度 25%,沙物质堆积大于风蚀。
秋灌固沙林 D (距离沙源最远)	梭梭—沙拐枣 ( <i>Haloxylon ammodendron</i> - <i>Calligonum mongolicum</i> )	植被的盖度高度和基径分别 32%,231 cm,9 cm 左右	土壤为弱碱性,以苔藓结皮为主,结皮盖度达到 75%,沙物质属于堆积状态。

表 1 中所列 4 种样地类型中,样地 A(宽度 875 m,长度 1 510 m,高程 335 m)位于沙源处,植被盖度为 23.5% 的人工梭梭,属于积雪固沙林,造林时间为 1983 年;样地 B(距离沙丘 335 m,宽度 351.9 m,长度

1 200 m),为覆盖度为 8.3% 的梭梭、怪柳、沙拐枣和琵琶柴群落,属于自然植被带;样地 C(距离沙丘 536.7 m,宽度 319.5 m,长度 831 cm),植被盖度为 14.7% 的梭梭和怪柳群落,属于集水造林,造林时间

为 1982 年;样地 D(距离沙丘 1 044.8 m,宽度 423.8 m,长度 688 m),植被盖度为 32%的梭梭、怪柳群落,属于秋灌造林,造林时间为 1983 年(各人工林营造后不再进行任何灌溉)。采用系统随机取样的方法进行样地的选择和布设,每个样方(20 m×20 m)通过踏勘和调查,每个样地内设置 3 个采样点,距离分别为 10 m,每个采样点土壤剖面按 10 cm 间距取样,即每一层深度 10 cm,总共为 150 cm。采样时选用土钻,取样后将土样装入自封袋,每个采样点土样为 3 次混合而成。所有沙样带回实验室后进行测试和分析。土样前处理具体方法:称取过 2 mm 筛风干土样 5.0 g,加入浓度 15%的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,低温加热直到不再产生泡沫为止,有效地除去样品中的有机质;加入 10 mL 0.5 mol/L 的六偏磷酸钠溶液搅拌均匀后浸泡过夜。测量时,充分搅匀土壤溶液,迅速吸取溶液加入到仪器的样品池中,超声波处理 5 min 使土样充分分散,每个样品 3 次重复<sup>[14]</sup>。

1.2.2 指标测定 土壤粒径采用 BT-2001 型激光粒度分布仪(湿法)完成样品的粒度分析,结果以体积百分含量表示,根据温德华粒级标准划分方法<sup>[15]</sup>,统计各输沙样品的颗粒级配,并根据 Folk-Ward 图解法<sup>[16]</sup>进行粒度分级,并计算粒度参数(平均粒径  $\phi$ ,分选系数  $\sigma_I$ ,峰度 KG,偏度  $S_M$ )。

1.2.3 数据分析 不同土层理化性质的变化与环境因素及其影响程度有关。本文根据研究区强风沙尘

较多,风蚀、降尘影响 50 cm 以上土层,将土层分为 0—50, 50—100, 100—150 cm 共 3 个层次考虑。差异显著性分析采用 IBM Statistics SPSS 19.0 软件对各项指标进行描述性统计分析和数据正态检验,对不同距离处梭梭林的土壤粒径以及同一梭梭固沙林不同深度的土壤粒径进行 ANOVA Turkey HSD 方法分析,数据整理和图表制作采用 Excel 2010 和 Origin 8.0 软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤颗粒组成特征

从表 2 可知,距离沙源处的积雪固沙林各土层均以粗粉砂为主,含量达到 66.18%,无黏粒和极细砂,且土壤各粒径含量均与自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林差异显著。从整体上看,随着与沙源距离的增加,积雪固沙林、自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林粗粉砂、极细砂含量依次减小,黏粒和极细粉砂含量依次增大;对于单个梭梭林,自然植被带表层黏粒含量为 13.08%,下层又降低至 10.82%,降幅达到 20.80%;集水固沙林和秋灌溉固沙林表层黏粒含量分别为 13.73%和 20.05%,到下层分别升高至 21.45%和 21.80%,增幅分别达到 56.00%和 9.10%。集水固沙林变化幅度最大,自然植被带次之,秋灌溉最小。

表 2 古尔班通古特沙漠南缘梭梭固沙林植被恢复后各林地土壤颗粒组成分层特征

土层深度/ cm	样地 名称	各粒级含量/%					
		黏粒 ( $<3.0 \mu\text{m}$ )	极细粉砂 ( $3.0\sim7.8 \mu\text{m}$ )	细粉砂 ( $7.8\sim15.6 \mu\text{m}$ )	中粉砂 ( $15.6\sim31 \mu\text{m}$ )	粗粉砂 ( $31\sim62.5 \mu\text{m}$ )	极细砂 ( $62.5\sim125 \mu\text{m}$ )
表层土 (0—30)	A	0 <sup>Aa</sup>	0 <sup>Aa</sup>	0.13±0.02 <sup>Aa</sup>	5.39±0.68 <sup>Aa</sup>	66.18±3.27 <sup>Aa</sup>	28.31±3.93 <sup>Aa</sup>
	B	13.08±0.54 <sup>Ab</sup>	16.81±0.69 <sup>Abc</sup>	26.96±1.26 <sup>Abc</sup>	26.72±0.72 <sup>Abc</sup>	13.96±0.58 <sup>Abc</sup>	2.49±31.18 <sup>Ab</sup>
	C	12.73±2.36 <sup>Ab</sup>	18.12±1.73 <sup>Ab</sup>	30.95±0.67 <sup>Ab</sup>	29.08±2.64 <sup>Ab</sup>	9.06±1.93 <sup>Ab</sup>	0.06±0.01 <sup>Ab</sup>
	D	20.05±1.45 <sup>Ac</sup>	21.28±0.91 <sup>Ac</sup>	33.52±1.3 <sup>Ac</sup>	22.45±1.03 <sup>Ac</sup>	6.43±1.35 <sup>Ac</sup>	0.06±0.0 <sup>ABb</sup>
中层土 (30—60)	A	0 <sup>Aa</sup>	0 <sup>Aa</sup>	0.143±0.02 <sup>ABa</sup>	5.93±0.51 <sup>Aa</sup>	68.35±3.09 <sup>Aa</sup>	25.58±3.61 <sup>Aa</sup>
	B	15.27±0.23 <sup>Bb</sup>	21.12±1.02 <sup>Bb</sup>	32.72±1.44 <sup>Ab</sup>	25.26±0.82 <sup>Bb</sup>	5.60±1.47 <sup>Ab</sup>	0.02±0.01 <sup>Ab</sup>
	C	14.31±1.84 <sup>Bb</sup>	19.65±1.32 <sup>Bb</sup>	31.59±0.59 <sup>Bb</sup>	26.96±1.98 <sup>Bb</sup>	7.44±1.40 <sup>Bb</sup>	0.05±0.02 <sup>Bb</sup>
	D	20.73±2.32 <sup>Ac</sup>	27.47±2.63 <sup>Bc</sup>	29.05±1.42 <sup>Bb</sup>	15.91±3.71 <sup>Bc</sup>	1.21±0.9 <sup>Bc</sup>	0 <sup>Ab</sup>
下层土 (60—100)	A	0 <sup>Aa</sup>	0 <sup>Aa</sup>	0.15±0.02 <sup>Ba</sup>	6.19±0.67 <sup>Aa</sup>	68.26±3.02 <sup>Aa</sup>	25.41±3.71 <sup>Aa</sup>
	B	10.82±2.62 <sup>ABb</sup>	16.13±3.38 <sup>ABb</sup>	29.06±3.50 <sup>Ab</sup>	30.28±2.91 <sup>ABb</sup>	12.67±3.64 <sup>Ab</sup>	1.03±1.12 <sup>Ab</sup>
	C	21.05±5.38 <sup>Bc</sup>	26.79±1.52 <sup>Bc</sup>	33.26±0.69 <sup>Bc</sup>	17.21±2.2 <sup>Bbc</sup>	1.70±1.61 <sup>Bbc</sup>	0.00±0.04 <sup>Bb</sup>
	D	21.89±2.51 <sup>Ac</sup>	21.56±4.13 <sup>Ac</sup>	29.81±2.66 <sup>Ab</sup>	22.64±0.90 <sup>Ac</sup>	5.82±1.05 <sup>Ad</sup>	0.02±0 <sup>Bb</sup>

注:A,B,C,D 分别代表积雪固沙林、自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林;大写字母代表不同土层差异显著;小写字母代表不同样地差异显著( $p<0.05$ )。下同。

### 2.2 土壤粒度参数

由表 3 可知,随着与沙源距离的增加,土壤表层平均粒径依次增大。自然植被带、集水固沙林、秋灌

溉固沙林表层、中层和下层土壤平均粒径  $\phi$  值分别为 6.32, 6.85, 6.29 和 6.38, 6.60, 7.15 及 6.67, 7.09, 7.18, 由此可知,无论是梭梭林的表层还是下层,越靠

近积雪固沙林(即沙源处),土壤平均粒径越小,3种梭梭林地表层的土壤平均粒径均大于下层,但3种造林方式下,土壤的平均粒径均大于积雪客沙林(4.25, 4.30, 4.27),平均粒径代表粒度分布的集中趋势,表示沉积介质的能量值<sup>[16]</sup>,因而距离沙源越近,各梭梭林沉积时的运动能量(风速)越大,积雪客沙林>自然植被带>集水固沙林>秋灌溉固沙林。

自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林土壤粒度的分选系数分布较为集中,分别为 1.33, 1.18, 1.25

和 1.25, 1.23, 1.19 和 1.39, 1.20, 1.27, 按照 Folk 分选等级标准,其分选状况均表现为较差,说明研究区土壤粒度分布较为集中。其中,秋灌溉固沙林距离沙源最远,其表层土壤粒度分布最为集中,分选状况最差,其次为自然植被带,但是各梭梭林下层土壤粒度分选状况要优于表层。积雪固沙林位于沙源处,土壤粒度分选状况要优于其他 3 种梭梭林地,表现为分选较好。可见,距离沙源越远,梭梭林内沙物质受风力的作用依次减弱。

表 3 古尔班通古特沙漠南缘梭梭固沙林土壤粒度参数的变化特征

土层深度/cm	林地类型	土壤粒度参数			
		平均粒径	分选系数	峰度	偏度
表层土 (0—30)	A	4.25±1.23 <sup>Aa</sup>	0.43±0.02 <sup>Aa</sup>	0.986±0.09 <sup>Aa</sup>	0.101±0.01 <sup>Aa</sup>
	B	6.32±2.31 <sup>Aa</sup>	1.33±0.51 <sup>Ab</sup>	1.037±0.11 <sup>Ab</sup>	0.193±0.02 <sup>Ab</sup>
	C	6.38±2.67 <sup>Ab</sup>	1.25±0.48 <sup>Ab</sup>	1.039±0.12 <sup>Ab</sup>	0.197±0.01 <sup>Ab</sup>
	D	6.67±2.55 <sup>bA</sup>	1.39±0.62 <sup>Ac</sup>	1.039±0.23 <sup>Ab</sup>	0.195±0.01 <sup>Ab</sup>
中层土 (30—60)	A	4.30±1.78 <sup>Aa</sup>	0.43±0.09 <sup>Aa</sup>	0.986±0.08 <sup>Aa</sup>	0.107±0.01 <sup>Aa</sup>
	B	6.85±2.42 <sup>Bb</sup>	1.18±0.73 <sup>Bb</sup>	1.040±0.12 <sup>Ab</sup>	0.198±0.01 <sup>Ab</sup>
	C	6.60±3.45 <sup>ABbc</sup>	1.23±0.32 <sup>Ab</sup>	1.038±0.10 <sup>Ab</sup>	0.187±0.01 <sup>Ab</sup>
	D	7.09±3.12 <sup>Bb</sup>	1.20±0.24 <sup>Bb</sup>	1.038±0.12 <sup>Ab</sup>	0.193±0.01 <sup>Ab</sup>
下层土 (60—100)	A	4.27±1.89 <sup>Aa</sup>	0.43±0.89 <sup>Aa</sup>	0.986±0.06 <sup>Aa</sup>	0.100±0.01 <sup>Aa</sup>
	B	6.29±2.31 <sup>ABb</sup>	1.25±0.45 <sup>ABb</sup>	1.039±0.09 <sup>Ab</sup>	0.191±0.01 <sup>Ab</sup>
	C	7.15±3.07 <sup>cC</sup>	1.19±0.36 <sup>Ab</sup>	1.039±0.10 <sup>Ab</sup>	0.186±0.01 <sup>Ab</sup>
	D	7.18±2.97 <sup>bc</sup>	1.27±0.71 <sup>Acc</sup>	1.038±0.13 <sup>Ab</sup>	0.198±0.01 <sup>Ab</sup>

自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林 3 种梭梭林地土壤粒度偏度和峰度分布都较为集中,其值为 0.18~0.19, 1.03~1.04, 按照土壤粒度分布等级划分标准,偏度状况均为正偏,且为中等峰态,这表明沙物质粒度粗细分配的对称性较差,主要是与沙源距离的不同,加上地表植被覆盖减弱林带内风沙活动的强度,使得在风吹蚀的作用下沙源土壤的细粒物质被搬运而离开原位的数量不同,各梭梭林内堆积物的状态亦不相同。参照表 2 可知,3 块样地研究区土壤粒度组成以粉砂为主,此外,虽然这 3 块梭梭林地土壤粒度偏度等级均为正偏,但其偏度大于积雪固沙林 0.09~0.1;这说明土壤粒度分布较均匀,集中程度比较好,存在明显的优势粒径级别粉砂。除了积雪固沙林,各梭梭林地土壤粒度分布趋于宽平。

### 2.3 土壤粒径分布累积特征

如图 1 所示,积雪固沙林土壤粒径的分布范围为 3.09~6.33  $\phi$ , 众数粒径值为 4.01  $\phi$ , 对应含量为 14.8%;自然植被带土壤粒径分布范围为 2.94~11.6  $\phi$ , 众数粒径值为 5.5  $\phi$ , 对应含量为 4.8%;集水造林粒径分布范围为 3.72~12.06  $\phi$ , 众数粒径值为 6.1  $\phi$ , 对应含量为 4.5%;秋灌溉固沙林土壤粒径分布范围

3.72~12.37  $\phi$ , 众数粒径值为 6.3  $\phi$ , 对应含量为 4.3%。总体上看,距沙源不同距离处,各梭梭林粒径分布范围相似,但秋灌溉固沙林黏粒含量最高,自然植被带较集水造林区和秋灌溉地区粒径分布变粗,积雪固沙林地较其他几种造林方式下的粒径分布更粗且范围变小。主要原因是粒径小于 50  $\mu\text{m}$  的粉砂和黏粒颗粒能够被风悬移很长距离,通常粒径在 100~150  $\mu\text{m}$  的沙粒最容易以跃移的形式运动<sup>[17]</sup>。

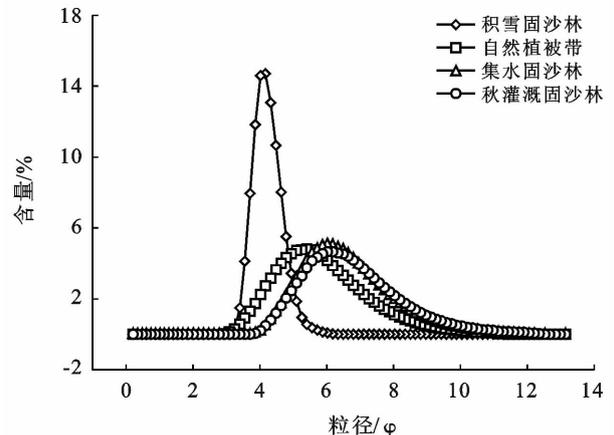


图 1 古尔班通古特沙漠南缘梭梭固沙林不同样地土壤概率分布特征

由图 2 知,不同的造林方式下土壤粒径的概率累积曲线均为 3 段式,积雪固沙林、自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林蠕—跃移组分截点的平均粒径分别为 3.98, 4.32, 4.86, 5.2  $\varphi$ , 其跃—悬移截点分别在平均粒径 5.46, 10.82, 10.85, 10.87  $\varphi$  处,自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林的截点粒径偏细,表明沙粒整体处于低能环境中,颗粒的运动性下降,其中秋灌溉固沙林下降最低。积雪固沙林、自然植被带、集水固沙林、秋灌溉固沙林蠕移、跃移段曲线斜率大小依次减小,表明在莫索湾气候条件下,距离沙源越远,各梭梭林形成微环境风力的作用依次减小,人工梭梭林起到了防风固沙的效果。

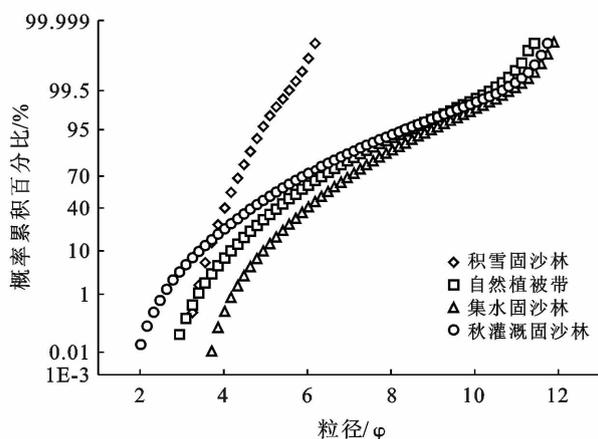


图 2 古尔班通古特沙漠南缘梭梭固沙林不同样地土壤概率累积特征

### 3 讨论

积雪固沙林离沙包最近,防护林处于沙原处,本研究中,4 种不同植被类型的典型样地具有不同的风沙活动强度和地表蚀积规律,防风固沙的效果也不相同。流动沙丘上营造梭梭林使得地表植被覆盖度增加,局部区域风沙活动减弱。刘进辉等<sup>[18]</sup>研究表明,在植被盖度 < 5% 的沙丘上,普遍发生强烈的风蚀,并伴随着地表物质组成的普遍粗化。在沙丘上营造人工林有利于增加荒漠林的密度,现阶段积雪固沙林植被盖度达到 23.5%,平均株高为 2.15 m,良好的植被生长有效的改善了局部的土壤环境,其林内土壤粒径分布相对集中,表层细颗粒(黏粒和粉粒)含量较下层增加,但变化不显著。这与席军强等<sup>[19]</sup>对民勤人工梭梭林土壤粒度的研究中发现流动沙丘上营造梭梭林以及人工植被的发育和沙丘固定年限的延长,其表层土壤粘粒、粉粒含量远远高于其他土层的研究结果有差异。原因是积雪固沙林沙粒主要来自古尔班通古特沙漠,该地区沙粒具有独特的均一性,此时植被

覆盖度对风力产生影响,地表植被覆盖减弱林带内风沙活动的强度,使得在风吹蚀的作用下沙地表层土壤的细粒物质被搬运而离开原位的数量减小。

研究区沙粒较细,都属于风力有效搬运的范畴,样地 B, C, D 距离沙丘的位置依次增大,各造林地受植被盖度以及沙丘位置的影响,输沙量的大小依次减小。土壤颗粒沉积过程中粒度参数与沙源距离之间存在很好的相关性,关于沙粒的运动形式,输沙率随沙源距离的增加而减小,风速越大,差异越明显<sup>[17]</sup>。有研究表明,最小粒径小于 100  $\mu\text{m}$  的砂粒运动在大风中可能接近悬移状态,但只有粒径小于 50  $\mu\text{m}$  的粉砂颗粒和黏粒能够被风悬移很长距离;跃移运动是风沙运动的主要形式,约占全部搬运沙量的 3/4 左右,通常粒径在 100~150  $\mu\text{m}$  的沙粒最容易以跃移的形式运动;而粒径在 500~2 000  $\mu\text{m}$  的沙粒都属于表层蠕移的范畴<sup>[20]</sup>。植被覆盖对近地表气流中的输沙量有决定性作用,不规则的植株排列方式在降低风速、发挥阻沙效果的作用更明显<sup>[21]</sup>。在模拟风洞试验的条件下,高度越高,积沙累积百分含量较高<sup>[22]</sup>。有研究表明<sup>[23]</sup>,当植被盖度达到 30% 左右时,沙物质处于连续堆积状态,达到 14% 时堆积大于侵蚀。本研究中,在距离沙丘最近的样地作为沙丘与人工林的过渡带,植株的排列方式与主风向呈无规则的零散分布和随机分布,植株的盖度为 8%,受风蚀的作用较显著,表层细颗粒被吹蚀,土壤粒径变大。距离沙丘较远的 2 块林地,在经过 35 a 生长演替后,现阶段植被密度均有所提高,林分已形成异龄复层混交林<sup>[9]</sup>,植株高度和盖度分别为 197 cm, 14.7% 和 231 cm, 32.3%, 由于植株单体高大,密集的枝条及柔软的同化枝有利于截获部分悬浮运动的细粒物质。该区域土壤有一个众数粒径的存在,其值大约在 8  $\mu\text{m}$  左右,完全处于悬浮运动的范围,可能是沙尘天气将一部分悬移质远程输送到研究区域所致。

人工梭梭林表层土壤粒径较自然植被带细化,除了与林内风沙活动和植被的盖度有关之外,与林地下垫面亦有关。对于同一地区不同观测点来说,下垫面的情况是影响风吹蚀的主要因素,主要是因为不同的下垫面对风沙的启动风速、跃移高度、能量衰减影响不同<sup>[24]</sup>。本研究中,由概率累积曲线可知,样地 B, C, D 林内风沙活动依次减弱,因此对风动能的消耗作用亦减小,沉积时的运动能量逐渐减弱。样地 B 土壤类型属于龟裂碱土,降水的淋溶作用对其影响不显著,枯落物进入土壤的含量较少,对土壤的改良作用较小。而样地 C 和样地 D 为人工梭梭植被,下垫面较粗糙,生物结皮大量拓殖<sup>[25]</sup>,土壤养分呈现明显的

表聚效应,可以蓄积一定量的雨水。样地 C 生物结皮盖度达到 30%,样地 D 达到 70%以上,厚度达到 1.5 cm,生物结皮可以遮蔽保护土壤表层,使得表层土壤中的细粒物质得以保存和恢复。

## 4 结论

随着固沙林距离沙源距离的增大,形成微环境风力的作用依次减小,土壤颗粒的运动性依次下降。无论是表层还是下层,各梭梭林土壤平均粒径随着与沙源距离的增大而依次减小。在沙源处,粒径主要受植被的影响。表层土壤粒度特征存在差异反映了各梭梭林在不同的植被覆盖下风沙活动强度对其的影响。自然植被带与人工梭梭林能够有效拦截和固定大量的风蚀物质,形成一个自然—人工流沙防治系统,但由于自然植被生长状况不如人工林,在植被大量衰退和强风蚀作用下对风沙的拦截作用较弱,因而,在自然植被带外围人工造林对当地风沙的阻挡作用起到至关重要的作用。今后该地区工作重点应放在加强对各梭梭林地的管理,保证其群落的稳定性,防止种群退化,实现治理后的沙化土地可持续性。

### [参 考 文 献]

- [1] 丁改改,蒋进,宋春武,等. 古尔班通古特沙漠人工梭梭林群落生态特征研究[J]. 中国生态农业学报,2017,25(10):1423-1432.
- [2] 高鹏,简红忠,魏祥,等. 水肥一体化技术的应用现状与发展前景[J]. 现代农业科技,2012(8):250.
- [3] 齐雁冰,常庆瑞,刘梦云,等. 荒漠化土壤对人工植被恢复工程的响应[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):180-185.
- [4] 陈启民,罗青红,宁虎森,等. 古尔班通古特沙漠南缘不同林龄人工梭梭林主林层和更新层特征[J]. 应用生态学报,2017,28(3):739-747.
- [5] 李尝君,曾凡江,郭京衡,等. 植被恢复程度与沙地土壤性质:以塔克拉玛干沙漠南缘为例[J]. 干旱区研究,2015,32(6):1061-1067.
- [6] 关其格,浩必斯嘎拉图,杨越,等. 毛乌素沙地南缘人工恢复植被对沙地土壤理化性质的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(34):13217-13220.
- [7] 李新荣,周海燕,王新平,等. 中国干旱沙区的生态重建与恢复:沙坡头站 60 年重要研究进展综述[J]. 中国沙漠,2016,36(2):247-264.
- [8] Orlovsky L, Orlovsky N, Durdyev A. Dust storms in Turkmenistan [J]. *Journal of Arid Environments*, 2005,60(1): 83-97.
- [9] 申陆,田美荣,高吉喜,等. 浑善达克沙漠化防治生态功能区防风固沙功能的时空变化及驱动力[J]. 应用生态学报,2016,27(1):73-82.
- [10] 谢江波,刘彤,崔运河,等. 多尺度上的多物种多格局:以莫索湾沙漠四种灌木及其生境为例[J]. 生态学报,2008,28(5):2176-2190.
- [11] 李银芳. 利用龟裂地径流的两种集水方式进行梭梭造林[J]. 林业科技通讯,1986(10):17-20.
- [12] 李银芳,杨戈. 梭梭固沙林水分平衡研究(II):白梭梭人工积雪固沙林的水分状况[J]. 干旱区研究,1996,13(2):51-56.
- [13] 黄丕振,刘志俊,崔望诚. 梭梭集水造林初步研究[J]. 新疆农业科学,1985,22(6):23-25.
- [14] 孙梅,孙楠,黄运湘,等. 长期不同施肥红壤粒径分布的多重分形特征[J]. 中国农业科学,2014,47(11):2173-2181.
- [15] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments [J]. *Journal of Geology*, 1922, 30(5): 377-392.
- [16] Friedman G M, Sanders J E. Principles of Sedimentology [M]. New York: Wiley, 1978:123-157.
- [17] 李得禄,满多清,朱国庆,等. 丘间低地不同部位风沙流结构特征[J]. 中国沙漠,2012,32(5):1210-1215.
- [18] 刘进辉,王雪芹,马洋,等. 沙漠绿洲过渡带怪柳灌丛沙堆—丘间地系统土壤粒度分异规律[J]. 北京林业大学学报,2015,37(11):89-99.
- [19] 席军强,杨自辉,郭树江,等. 人工梭梭林对沙地土壤理化性质和微生物的影响[J]. 草业学报,2015,24(5):44-52.
- [20] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京:科学出版社,1987:39-44.
- [21] 何洪鸣,周杰. 防护林对沙尘阻滞作用的机理分析:建立微分方程的动态模型[J]. 中国沙漠,2002,22(2):197-200.
- [22] 钟卫,孔纪名,杨涛. 植被沙障对近地表风沙流特征影响的风洞实验[J]. 干旱区研究,2009,26(6):872-876.
- [23] Wiggs G F S, Thomas D S G, Bullard J E, et al. Dune mobility and vegetation cover in the Southwest Kalahari desert [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1995,20(6):515-529.
- [24] 徐满厚,刘彤,赵新俊,等. 绿洲—荒漠交错带防护林与自然植被的协同防风效能及优化模式探讨[J]. 中国沙漠,2012,32(5):1224-1232.
- [25] Li Xinrong, Ma Fengyun, Xiao Honglang, et al. Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China [J]. *Journal of arid environments*, 2004,57(1):1-16.