

Particle Distribution Characteristics of Aeolian Sand Flow in PLA Sand Barrier

Xueqin Wu^{1,2}

¹College of Geography Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

²Inner Mongolia Repair Engineering Laboratory of Wetland Eco-Environment System, Hohhot Inner Mongolia

Email: 1944688763@qq.com

Received: Apr. 2nd, 2020; accepted: Apr. 15th, 2020; published: Apr. 22nd, 2020

Abstract

Polylactic acid fiber (PLA) is a new type of sand fixing material. In order to understand the vertical distribution rule of different sand particles in the windblown sand flow in different specifications of PLA sand barriers, this paper takes the bare sand dunes in front of the sand barriers, 1.5 m × 1.5 m and 1 m × 1 m PLA sand barriers as the research objects, and analyzes the vertical spatial distribution characteristics of different sand particles in the windblown sand flow by means of field observation and indoor experiment. The results show that within the height of 0 - 30 cm, the sand transport volume of the study area, 1.5 m × 1.5 m PLA sand barrier and 1 m × 1 m PLA sand barrier accounts for 96.6%, 87.78% and 86.96% of the total sand transport respectively; the sand transport rate within the PLA sand barriers of the two specifications decreases with a height as a power function, and the sand transport rate within the study area decreases with a logarithmic function; the sand transport rate for each height layer is the study area > 1.5 m × 1.5 m PLA sand barrier > 1 m × 1 m PLA sand barrier; with the increase in height within 0 - 10 cm of the two types of PLA sand barriers and the study area in the airflow, the content of fine-grained sand increased, while the content of very fine sand, medium sand and coarse sand showed a downward trend; within 10 cm - 90 cm, the amount of fine powder and very fine sand showed an upward trend, and the content of fine sand, medium sand and coarse sand showed a downward trend; when the wind sand entered the PLA sand barrier, the content of coarse sand and medium sand decreases, and the content of extremely fine sand and fine sand increases. The setting of the PLA sand barrier can significantly change the mechanical composition of the sand material in the wind sand flow, and effectively block the sand particles in the wind sand flow. The 1 m × 1 m specification has a more significant wind and sand fixation effect than the 1.5 m × 1.5 m specification PLA sand barrier.

Keywords

PLA Sand Barrier, Granularity, Vertical Differentiation

PLA沙障的风沙流颗粒分布特征

吴雪琴^{1,2}

¹内蒙古师范大学, 地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特

²内蒙古自治区湿地环境修复工程实验室, 内蒙古 呼和浩特

Email: 1944688763@qq.com

收稿日期: 2020年4月2日; 录用日期: 2020年4月15日; 发布日期: 2020年4月22日

摘要

聚乳酸纤维(PLA)作为一种新型固沙材料, 为了解不同规格PLA沙障内风沙流不同粒级沙物质的垂直分布规律, 本文以沙障前裸沙丘、1.5 m × 1.5 m和1 m × 1 m规格PLA沙障为研究对象, 通过野外观测和室内实验的方法, 对风沙流中不同粒级沙物质的垂直空间分布特征进行分析。结果表明: 0~30 cm高度内研究区、1.5 m × 1.5 m PLA沙障和1 m × 1 m PLA沙障输沙量分别占总输沙量的96.6%、87.78%和86.96%; 两种规格PLA沙障内输沙率随高度呈幂函数递减, 研究区内输沙率随高度呈对数函数递减; 各高度层输沙率的大小为研究区 > 1.5 m × 1.5 m PLA沙障 > 1 m × 1 m PLA沙障; 两种规格PLA沙障和研究区气流中不同粒级沙物质在0~10 cm内随着高度的增加, 细沙含量呈上升趋势, 极细沙、中沙和粗沙含量呈下降趋势; 在10~90 cm内中粉粒和极细沙量呈上升趋势, 细沙、中沙和粗沙含量呈下降趋势; 当风沙进入PLA沙障后, 粗沙和中沙含量减少, 极细沙和细沙含量增多。PLA沙障的设置能显著改变风沙流中沙物质的机械组成, 有效阻拦风沙流中的沙粒, 1 m × 1 m规格比1.5 m × 1.5 m规格PLA沙障的防风固沙效果显著。

关键词

PLA沙障, 粒度, 垂直分异

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

绿洲-荒漠过渡带是生态脆弱带, 是沙漠和绿洲两大生态系统间物质、能量和信息转换传递的敏感区域[1] [2]。腾格里沙漠东南缘的绿洲-荒漠过渡带位于中国西北内陆干旱区, 属于典型的温带大陆性气候, 风沙活动频繁、干旱少雨、日照充足且蒸发强烈[3], 再加上长期的人类活动, 导致了严重的土地退化[4], 使得绿洲-荒漠过渡带成为干旱区荒漠化发生最频繁的地带[5]。因此, 对绿洲-荒漠过渡带的荒漠化防沙研究引起了众多学者的关注。防治荒漠化的方法主要包括机械措施、化学措施和生物措施(也叫植物措施)。研究表明沙障是防沙治沙工程建设中最常用有效的技术措施, 尤其在流动沙地治理和植被恢复中具有重要的作用, 可以大幅度降低地表风速, 减缓沙漠流动, 在保护沙漠工程、遏制沙漠侵蚀方面起着重要作用[6]。在干旱风沙区, 受地形和气候条件的限制, 植被稀少, 难以生长, 在设计防沙阻沙措施时应该优先考虑适于现场实际、就地取材、便于施工等因素。随着固沙技术措施的逐年发展, 成功研制出多种类型的沙障, 如土工沙障、枝条沙障、黏土沙障、防沙栅栏、卵石黏土、麦草方格沙障、塑料沙障、尼龙网沙障、生物体活沙障等[7] [8]。聚乳酸纤维(PLA, Poly Lactic Acid)作为一种新型人工合成材料, 在自然条件下可完全降解成对环境无害的水和二氧化碳, 是一种新型的生物可降解固沙材料[9]。PLA沙障是将 PLA 纤维纺织制成筒状沙袋, 就地取材将沙子灌入其中进行铺设, 省时省力, 简便易行[10]。目前, 诸多学者对 PLA 沙障的研究多集中在 PLA 沙障对风速廓线、风速流场、地表粗糙度、输沙量、

土壤性质的改良、植被恢复、地表沉积物粒径的影响等方面[10]-[15], 关于 PLA 沙障气流中不同粒级沙物质在垂直方向的分布特征的研究鲜有涉及。

基于此, 本文以腾格里沙漠东南缘绿洲-荒漠过渡带边缘流动沙丘上 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 和 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 规格 PLA 沙障为研究对象, 并以沙障前裸沙丘为对照, 通过野外观测和室内实验的方法, 探讨 PLA 沙障的设置对风沙流中不同粒级沙物质的垂直空间分布特征, 弥补 PLA 沙障研究的不足, 进而为 PLA 沙障在防沙治沙中的应用提供支撑和科学依据。

2. 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区阿拉善左旗巴彦浩特镇格林滩($38^{\circ}43'N$, $105^{\circ}44'$) (图 1), 在阿拉善左旗中南部, 地处腾格里沙漠东南缘, 北面临近阿拉善盟政府所在地巴彦浩特, 南面靠近银川市, 西面毗邻腾格里沙漠, 东面连接贺兰山及宁夏分水岭。属于温带干旱荒漠区, 典型的大陆性气候, 境内多风沙天气, 以西北风为主, 日照充足, 蒸发强烈。降水多集中于 5~9 月, 多年平均降雨量 80~220 毫米, 蒸发量 2900~3300 毫米, 日照时间 3316 小时, 年平均气温 7.2°C , 无霜期 120~180 天。光照时间长, 适合发展沙生植物资源。地带性土壤主要有灰漠土、半固定风沙土和流动风沙土。该区域植被稀疏、种类稀少、结构简单, 多为旱生、超旱生和盐生灌木、半灌木, 如白刺(*Nitraria tangutorum* Bor.)、梭梭(*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge)、花棒(*Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey.)、沙蒿(*Artemisia desertorum* Spreng. Syst. Veg.)、柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)、霸王(*Zygophyllum xanthoxylon* (Bunge) Maxim.)、红沙(*Reaumuria songarica* (Pall.) Maxim.)、沙冬青(*mmopiptanthus mongolicus* (Maxim. ex Kom.) Cheng f.)、绵刺(*Potania mongolica* Maxim.)等。

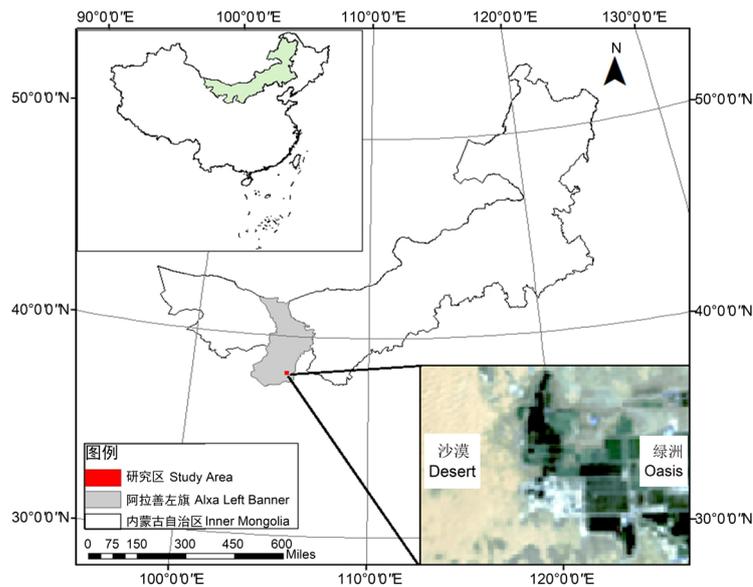


Figure 1. Schematic map of the location of the study area

图 1. 研究区位置示意图

3. 研究方法

3.1. 样品采集

本文在立地条件相同的流动沙丘上沿着西北主风向铺设了 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ PLA 沙障和 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ PLA

沙障(图 2、图 3), 为确保所布设的沙障严格按照实验设计方案进行, 提前规划施工线, 施工时沿线铺设沙障, 在沙障的中垂线后缘处平行布设大、小旋转式梯度集沙仪(图 4), 底部与地面齐平, 并以沙障前缘立地条件相同的裸沙丘代表研究区, 观测不同规格 PLA 沙障影响下近地表 0~90 cm 高度内的输沙状况。小旋转式梯度用来收集近地面 0~30 cm 范围内的沙物质, 进沙口为 1.5 cm × 1.5 cm, 分左右两排平行交替放置, 共 20 层; 大旋转式梯度集沙仪用来观测 30~90 cm 范围内的输沙状况, 进沙口为 2 cm × 2 cm, 呈竖排放置, 每个集沙盒与水平方向成 30° 夹角, 共 30 层。大、小旋转式梯度集沙仪均可以根据风向来自动调节进沙口的方向, 且十分灵敏。

本次观测时间为 4 月~5 月, 风沙较全年其余月份大, 三种样地沙样同时收集, 观测前先将集沙盒清空, 并记录开始时间, 观测结束后, 记录结束时间, 取出集沙盒, 将集沙土样装入自封袋中并标记, 带回实验室后烘干, 用电子天平($d = 0.0001 \text{ g}$)称重并记录。

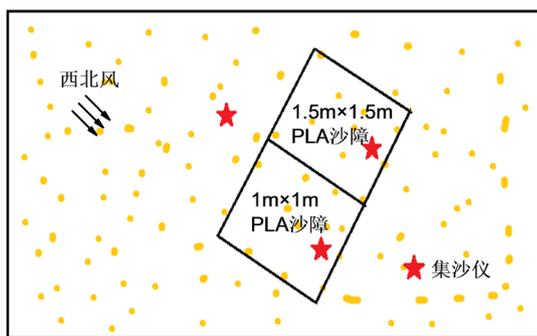


Figure 2. Experimental scheme design
图 2. 实验方案设计示意图

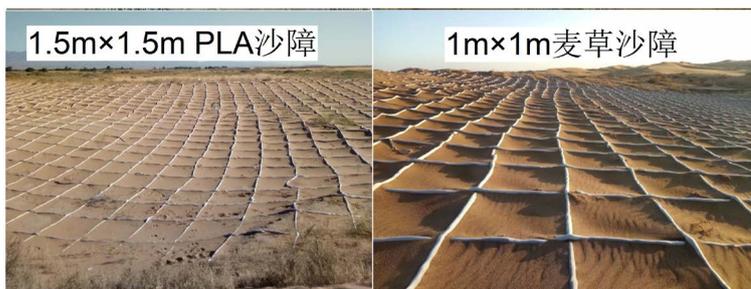


Figure 3. Photo of sand barrier
图 3. 沙障铺设效果图



Figure 4. Rotary gradient sediment collector
图 4. 旋转式梯度集沙仪

3.2. 粒度测定

将样品自然风干后, 筛除枯落物等杂质, 后用双氧水去除样品中的有机质, 稀盐酸去除样品中的碳酸钙, 加入六偏磷酸钠作为分散剂, 震荡后采用 Mastersizer 3000 型激光粒度分析仪进行土壤粒度的测定, 其中分散装置采用大容量湿式样品分散装置 Hydro LV, 该仪器的测量范围为 0.01~3500 μm , 精确度高于 0.6%, 每个样品重复测量三次后取算术平均值, 可以很好的完成所需样品的测量工作[16]。

粒径分级标准依据美国制: 砾石(>2000 μm)、极粗沙(1000~2000 μm)、粗沙(500~1000 μm)、中沙(250~500 μm)、细沙(100~250 μm)、极细沙(50~100 μm)、粉粒(2~50 μm)和黏粒(<2 μm) [17]。测量结果采用 Krumbein 等[18]提出的算法进行对数转化, 转化公式为

$$\phi = -\log_2 d \quad (1)$$

式中 d 为土壤颗粒直径, 单位 mm。

3.3. 输沙率

输沙率表征近地表气流在单位时间内通过单位宽度或单位面积内输送的沙粒质量, 是评估地表土壤侵蚀和土地荒漠化的重要参数[19], 也是衡量风沙流挟沙量的重要参数, 它与风速的关系直接影响沙漠迁移和扩展, 是长期以来人们集中研究的核心课题之一[20]。计算公式为:

$$q_i = \frac{m_i}{s \cdot t} \quad (2)$$

式中: m_i 为每层沙量(g); s 为积沙仪进沙口面积(cm^2); t 为积沙时间(min); q_i 为每层集沙仪的输沙率($\text{g} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$)。

3.4. 数据处理

采用 Excel 2017 对输沙率和粒度组成进行计算, ArcGIS 进行研究区位置示意图的绘制, 并利用 Origin 8.5 进行图表的绘制。

4. 结果与分析

4.1. 风沙流特征

大量研究已表明, 风沙运动是一种贴近地表的沙子搬运现象, 约 90% 的沙粒集中在地表 30 cm 以下[9], 以裸沙丘(对照)的风沙流特征代表本研究区的风沙流特征, 图 5 为 1.5 m \times 1.5 m PLA 沙障、1 m \times 1 m PLA 沙障和裸沙丘(对照) 0~90 cm 高度内累积输沙量随高度的变化图, 图中高度为每个集沙盒的上部高度。

由图可知, 三种样地 90 cm 高度内累计输沙量百分含量变化规律相同, 整体呈“凸”形曲线, 从斜率上看, 三种样地累积输沙量的随高度的增长速度呈先增后减的变化趋势, 研究区的变化率比两种规格 PLA 沙障大, 两种规格 PLA 沙障累积输沙量百分含量随高度的变化差异很小。0~30 cm 高度内研究区输沙量占总输沙量的 96.6%, 1.5 m \times 1.5 m PLA 沙障输沙量占总输沙量的 87.78%, 1 m \times 1 m PLA 沙障输沙量占总输沙量的 86.96%, 由上可知, PLA 沙障的设置很好的阻挡了当地风沙的移动, 且 1 m \times 1 m PLA 沙障的阻沙效果最好。

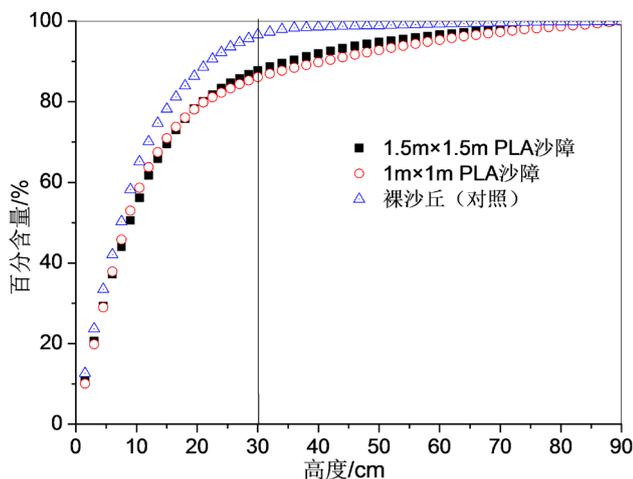


Figure 5. Cumulative sediment transport as a function of altitude
图 5. 累积输沙量随高度的变化

由图 6 可知, 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障、1 m × 1 m PLA 沙障和裸沙丘(对照) 0~90 cm 高度内输沙率随高度的变化规律相同, 均随着高度的增加而逐渐减少。与研究区相比, 两种规格 PLA 沙障内各高度层的输沙率均显著减少, 且 1.5 m × 1.5 m 规格沙障内的各层输沙率高于 1 m × 1 m PLA 沙障。研究区 0~90 cm 内的总输沙量为 315.98 g, 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障和 1 m × 1 m PLA 沙障内总输沙量为分别为 87.91 g 和 66.60 g, 分别为研究区的 0.28 和 0.21 倍。研究区风沙输移活动发生在距地表 40 cm 左右高度内, 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障的风沙输移活动高度与 1 m × 1 m PLA 沙障相比略高, 但均在 20 cm 左右。这可能是由 PLA 沙障材料自身特性造成的, PLA 沙障为管状, 无孔隙度, 有研究表明 PLA 沙障对 20 cm 高度的风速有明显的降低作用[9], 表明 PLA 沙障具有很好的阻沙效果, 且 1 m × 1 m 规格沙障阻沙效果高于 1.5 m × 1.5 m 规格沙障。

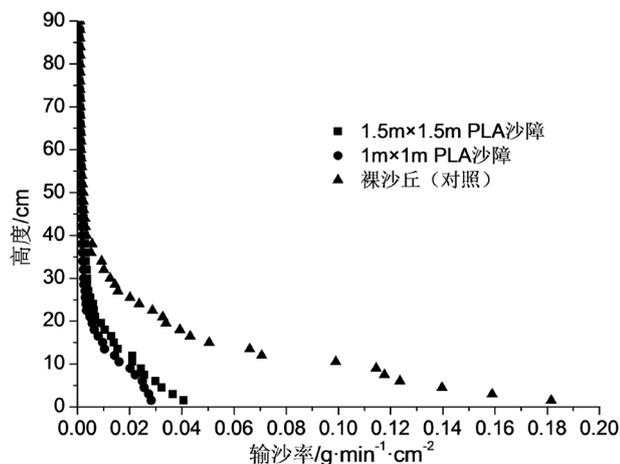


Figure 6. Changes in sediment transport rate with altitude
图 6. 输沙率随高度的变化

对三种样地近地表 90 cm 高度内输沙率与高度进行指数函数、线性函数、对数函数、幂函数和二次多项式曲线拟合, 建立各层输沙率与高度之间的函数模型(表 1)。由表 1 可知, 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障和 1 m × 1 m PLA 沙障内各层输沙率随高度呈幂函数递减, 拟合效果最好($R^2 = 0.9532$ 和 $R^2 = 0.939$), 研究区内风沙流结构遵循对数函数分布, 拟合效果最好。

Table 1. Fitting function of sediment transport rate with height (H)
表 1. 各层输沙率随高度(H)的拟合函数

1.5 m×1.5 m PLA 沙障	R ²	1 m×1 m PLA 沙障	R ²	裸沙丘(对照)	R ²
$y = 0.0237e^{-0.046x}$	0.929	$y = 0.0149e^{-0.04x}$	0.863	$y = 0.1162e^{-0.074x}$	0.897
$y = -0.0003x + 0.0202$	0.584	$y = -0.0002x + 0.0149$	0.538	$y = -0.0013x + 0.085$	0.556
$y = -0.011\ln(x) + 0.0437$	0.915	$y = -0.008\ln(x) + 0.0325$	0.869	$y = -0.047\ln(x) + 0.1915$	0.900
$y = 0.3002x^{-1.315}$	0.932	$y = 0.1593x^{-1.19}$	0.939	$y = 5.8381x^{-2.054}$	0.870
$y = 9E-06x^2 - 0.0011x + 0.0325$	0.885	$y = 7E-06x^2 - 0.0009x + 0.0245$	0.850	$y = 4E-05x^2 - 0.0053x + 0.1431$	0.884

4.2. 风沙流中不同粒级沙物质的垂直分布特征

1.5 m × 1.5 m PLA 沙障、1 m × 1 m PLA 沙障和裸沙丘(对照)内风沙流中沙物质在 0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~90 cm 高度内不同粒级百分含量的变化，以每个高度的上限为横坐标作图，如图 7 所示。由图可知，下垫面条件不同，粒级含量也不同，三种样地风沙流中沙物质的粒级级配为细沙 > 中沙 > 极细沙 > 粗沙 > 粉粒。

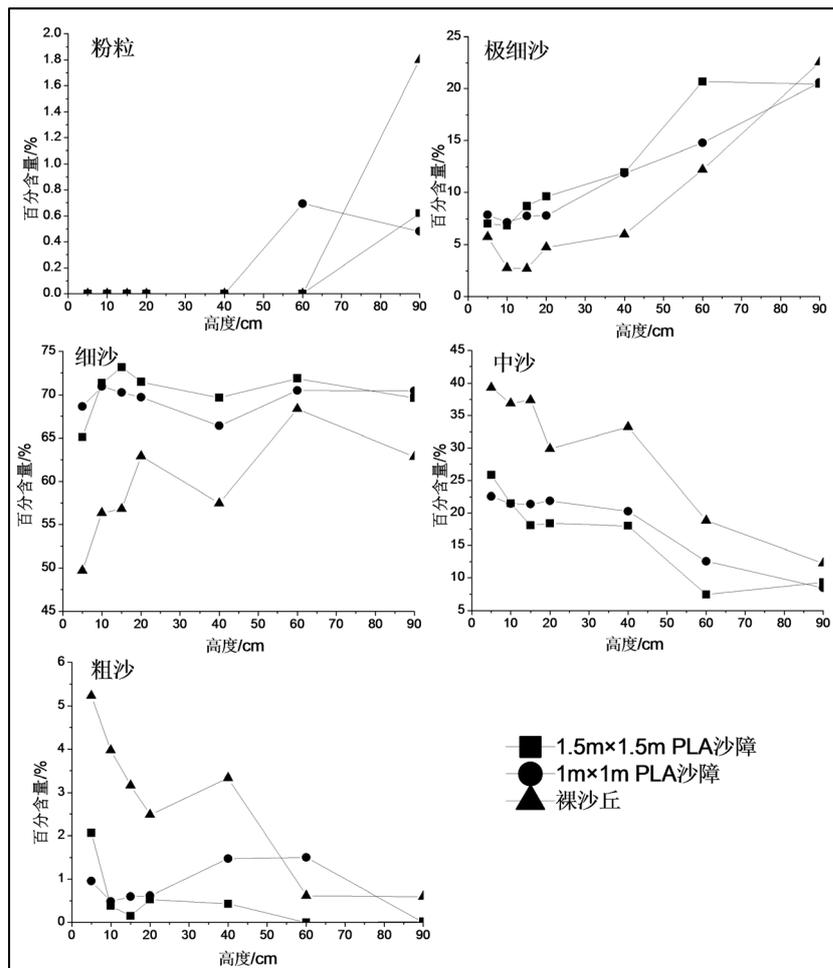


Figure 7. Changes in percentage of different grain sizes with height
图 7. 不同粒级百分含量随高度的变化

三种样地风沙流中粉粒含量分布在 40~90 cm 高度内。对于极细沙,两种规格沙障和裸沙丘均表现为在 0~10 cm 高度内随着高度的增加而减少,且极细沙含量表现为 1 m × 1 m PLA 沙障 > 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障 > 裸沙丘(对照); 10~90 cm 内随着高度的增加而增加,极细沙含量为 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障 > 1 m × 1 m PLA 沙障 > 裸沙丘(对照),进入沙障后极细沙含量增多。对于细沙,PLA 沙障和裸沙丘内均随着高度的增加呈先增后减的趋势,在 0~10 cm 高度层内 1 m × 1 m PLA 沙障风沙流沙物质中细沙含量最少,10~90 cm 各高度层 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障风沙流内细沙含量最多,其次为 1 m × 1 m PLA 沙障,裸沙丘风沙流沙物质细沙含量最少。对于中沙含量,三种样地均随高度的增加而减少,且裸沙丘含量最多,进入沙障后中沙含量减少。粗沙含量均随高度的增加波动减少,在 0~10 cm 高度层内裸沙丘风沙流沙物质中粗沙含量最多,1 m × 1 m PLA 沙障风沙流沙物质中粗沙含量最少。10~90 cm 各高度层内粗沙含量随高度的变化与极细沙、细沙含量变化规律不同,表现为裸沙丘 > 1 m × 1 m PLA 沙障 > 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障。三种样地内风沙流中沙物质的粗沙含量随高度的增加呈先减后增再减的趋势,粗沙含量在 0~10 cm 和 10~90 cm 高度内的变化均与中沙含量变化规律相同。

沙粒粒径的大小影响着沙粒的运动,而风是沙粒运动的主要动力,由于研究区的风力较强,细颗粒物在较高范围内运动,粗颗粒物在相对较低范围内运动,因此,细颗粒物(粉粒、极细沙)含量随着高度的升高而增加,粗颗粒物(细沙、中沙和粗沙)含量随着高度的增加而减少。研究区流动沙地地表无阻碍物质,粗沙和中沙含量较 PLA 沙障高;当风进入障高为 10 cm 的 PLA 沙障后,与研究区相比,地表粗糙度和摩阻风速逐渐增加,风力减小,风沙流的携沙能力减弱,同时,近地表起沙沙粒急剧减少,从沙障前缘裸沙地即研究区到 PLA 沙障内,随着风沙搬运距离的增加,粗颗粒物受 PLA 沙障的阻挡而堆积,使得土壤颗粒有变细的趋势,与研究区相比细沙和极细沙含量增多[21] [22]。因此,PLA 沙障的设置能显著改变风沙流中沙物质的机械组成,能有效阻拦风沙流中的沙粒,防风固沙效果显著。

5. 讨论

关于风沙流中输沙量的分布,众多学者进行了研究,有学者发现乌兰布和沙漠的风沙流输沙量集中在 0~30 cm 内,塔克拉玛干沙漠 0~30 cm 高度内的风沙流占总输沙量的 47.3% [23];张正德等研究发现腾格里沙漠风沙流主要集中在地表 100 cm 内,占总输沙量的 95.46% [24]。吴强等研究发现裸沙丘和留茬样地 80% 的累计含沙量均集中在 0~30 cm [25],本文研究发现 0~30 cm 高度内裸沙丘输沙量占总输沙量的 96.6%,1.5 m × 1.5 m PLA 沙障输沙量占总输沙量的 87.78%,1 m × 1 m PLA 沙障输沙量占总输沙量的 86.96%。

关于风沙流结构,众多学者对风沙流中沙量的垂直分布做了许多研究,而我们知道影响风沙流结构的因素很多[26],大部分学者认为随着高度的增加其输沙量呈指数规律递减[27],但也有不同观点,认为高度与输沙量之间遵循对数函数、二次多项式、指数函数、分段函数。例如,李振全等在对黄河石嘴山至巴彦高勒段风沙入黄量的研究中发现风沙流输沙率与高度之间存在着幂函数关系,且随高度的增加输沙量不断衰减[23];闫德仁通过研究直压立式纱网沙障对近地表输沙量及风速的影响,发现直压立式纱网沙障输沙量随高度增加而降低,其拟合曲线均呈现出幂函数变化特征[7];董玉祥等对海岸横向沙脊表面 0~40 cm 高程内气流搬运的沙尘物质浓度或质量随高度进行分段函数拟合[28];沙丘背风坡输沙量以距沙面 8~12 cm 高度为界,下部输沙量随高度呈指数函数形式递减,上部为幂函数规律减少[29];康永德等在塔克拉玛干沙漠腹地塔中地区对沙尘天气过程贴地层风沙流结构进行了研究,发现随着风速的增大,各高度层输沙量也随之增大,且幂函数是描述该地输沙通量的最优函数[30];包岩峰等通过野外观测分析毛乌素沙地流沙地表 30 cm 高度内的风沙流结构,认为随着风速的增加,气流中总输沙率增加,各高度层

输沙率随风速的变化分别呈幂函数或指数函数关系,在风速相同的情况下,输沙率随高度增加而减小,呈幂函数或指数函数关系[31];哈斯对腾格里沙漠东南缘沙丘表面各部位输沙量观测数据的分析结果发现,在距沙面 0~20 cm 高度范围内,沙丘迎风坡各部位和丘顶输沙量垂线分布均符合单一指数递减规律。周丹丹等研究发现 PLA 沙障内风沙流结构遵循二次多项式分布[9],与本文研究结果不符,这可能是由于研究区域、下垫面、风速等条件不同。

有研究者认为离地表愈高气流所含的沙粒越细,而靠近地表的气流所含的沙粒越粗。王翠研究策勒绿洲—荒漠过渡带处流动沙丘和半流动沙丘风沙流沙物质在垂直高度层的变化特征,表明垂直高度层中粉沙和极细沙百分含量最大,黏粒百分含量最少,细沙百分含量次之,粉沙含量随着高度的增加,极细沙和细沙含量随高度的增加呈幂函数规律递减[32];杨欢对科尔沁沙地流动沙丘、半固定沙丘和固定沙丘 0~75 cm 气流层风沙流粒径组成进行研究,结果表明随着高度的增加,三种沙丘中的中沙含量呈下降趋势,而极细沙和粉沙含量呈现出逐渐上升的趋势[33];徐军对乌兰布和沙漠流动、半固定、固定沙丘 3 种不同下垫面 0~40 cm 气流层内的风沙流结构的研究表明随高度的增加,中沙粒基本呈递减趋势,细沙粒呈现递增趋势[34]。本文研究发现随着高度的增加,0~10 cm 内两种规格 PLA 沙障和裸沙丘中细沙含量呈上升趋势,极细沙、中沙和粗沙含量呈下降趋势,在 10~90 cm 内两种规格 PLA 沙障和裸沙丘中粉粒和极细沙量呈上升趋势,细沙、中沙和粗沙含量呈下降趋势,与前人研究结果相同。

6. 结论

通过对 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障、1 m × 1 m PLA 沙障和沙障前裸沙丘(对照)内风沙流结构及气流中不同粒级沙物质在垂直方向的分布特征进行研究,得到以下结论:

1) 0~30 cm 高度内研究区的输沙量占总输沙量的 96.6%,1.5 m × 1.5 m PLA 沙障输沙量占总输沙量的 87.78%,1 m × 1 m PLA 沙障输沙量占总输沙量的 86.96%。

2) 1.5 m × 1.5 m PLA 沙障和 1 m × 1 m PLA 沙障内输沙率随高度呈幂函数递减,研究区内输沙率随高度呈对数函数递减。与研究区相比,两种规格 PLA 沙障内各高度层的输沙率均显著减少,且 1.5 m × 1.5 m 规格沙障内的各层输沙率高于 1 m × 1 m PLA 沙障。

3) 两种规格 PLA 沙障和研究区风沙流中不同粒级沙物质在 0~10 cm 内含量随着高度的增加,细沙含量呈上升趋势,极细沙、中沙和粗沙含量呈下降趋势;在 10~90 cm 内中粉粒和极细沙量呈上升趋势,细沙、中沙和粗沙含量呈下降趋势。

4) 与研究区相比,当 PLA 沙障风沙流中粗沙和中沙含量减少,极细沙和细沙含量增多,颗粒有变细的趋势。PLA 沙障的设置能显著改变风沙流中沙物质的机械组成,有效阻拦风沙流中的沙粒,1 m × 1 m 规格比 1.5 m × 1.5 m 规格 PLA 沙障的防风固沙效果显著。

基金项目

国家重点研发计划“内蒙古干旱荒漠区沙化土地治理与沙产业技术研发与示范”课题“绿洲、盐碱湖区沙害防治关键技术研究及示范(课题编号:2016YFC0501003)”子课题“绿洲、盐碱湖区动态演变过程”。

参考文献

- [1] 汪媛燕,王立,满多清. 民勤绿洲荒漠过渡带群落特征及其物种多样性研究[J]. 四川农业大学学报, 2014, 32(4): 355-361.
- [2] 解婷婷,苏培玺,周紫鹃,等. 荒漠绿洲过渡带不同立地条件下物种多样性及其与土壤理化因子的关系[J]. 中国沙漠, 2013, 33(2): 508-514.
- [3] 王雨浩. 麦草、PLA 及其混合沙障防风固沙效益研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2019.

- [4] 苗仁辉, 郭美霞, 刘银占. 不同生物沙障对科尔沁流动沙丘植被恢复及土壤湿度的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(11): 1987-1992.
- [5] 赵鹏. 民勤绿洲荒漠过渡带植被空间分布及其环境解释[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [6] 孙浩, 刘晋浩, 黄青青, 赵可. 多边形草沙障防风效果研究[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(10): 90-94.
- [7] 闫德仁, 袁立敏, 黄海广, 胡小龙, 杨制国. 直压立式纱网沙障对近地表输沙量及风速的影响[J/OL]. 中国沙漠, 2020(2): 1-7. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1070.P.20200103.1146.002.html>, 2020-03-29.
- [8] 高天笑, 王涛, 杨文斌, 赵爱国, 倪海渊, 吴丽丽, 高永. 低覆盖度羽翼袋沙障防风积沙效应的风洞试验[J]. 中国沙漠, 2019, 39(6): 177-183.
- [9] 周丹丹. 生物可降解聚乳酸(PLA)材料在防沙治沙中的应用研究[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- [10] 党晓宏, 虞毅, 高永, 袁立敏, 马迎宾, 高君亮, 王珊, 张惜伟. PLA 沙障对沙丘土壤粒径的影响分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 16-19 + 24.
- [11] 丁延龙, 高永, 汪季, 孙晓瑞, 党晓宏, 韩彦隆, 李鹏. 生物基可降解聚乳酸(PLA)沙障对沙丘表层沉积物粒度特征的影响[J]. 中国沙漠, 2018, 38(2): 262-269.
- [12] 党晓宏, 高永, 虞毅, 蒙仲举, 李锦荣, 袁立敏, 贺明辉, 吴昊. 可降解纤维沙障控制风蚀沙埋的作用规律[J]. 科技通报, 2015, 31(5): 41-46 + 52.
- [13] 成聪聪, 闫德仁, 海春兴. PLA 沙障对沙丘迎风坡土壤水分的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(3): 176-181.
- [14] 周丹丹, 杨耀, 胡生荣. PLA 沙障内植被生长状况跟踪调查研究[J]. 北方环境, 2013, 25(8): 64-66.
- [15] 李谦. PLA 沙障防风固沙效益的变化过程[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [16] 李恩菊. 巴丹吉林沙漠与腾格里沙漠沉积物特征的对比研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 陕西师范大学, 2011.
- [17] 李天杰, 赵焯, 张科利, 等. 土壤地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 36-38.
- [18] Krumbein, W.C. and Pettijohn, F.J. (1939) Sedimentary Petrography (Books and Literature: Manual of Sedimentary Petrography). *Science*, **89**, 559. <https://doi.org/10.1126/science.89.2320.559>
- [19] 朱震达, 吴正, 刘恕, 等. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 107.
- [20] 程旭. 风沙两相流中沙粒起动规律的实验研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2003.
- [21] 毛东雷, 雷加强, 王翠, 周杰, 再努拉·热和木吐拉, 薛杰. 新疆策勒县沙漠-绿洲过渡带风沙流结构及输沙粒度特征[J]. 水土保持通报, 2015, 35(1): 25-33.
- [22] 黎小娟, 李宁, 周智彬, 丁新原, 鲁晶晶, 李生字. 尼龙网方格沙障的风沙流颗粒分布特征[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 128-134.
- [23] 李振全. 黄河石嘴山至巴彦高勒段风沙入黄量研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [24] 张正偲, 董治宝, 赵爱国, 韩兰英, 钱广强, 罗万银. 沙漠地区风沙活动特征——以中国科学院风沙观测场为例[J]. 干旱区研究, 2007(4): 550-555.
- [25] 吴强. 黄河乌兰布和沙漠段巨菌草生长特性和防风固沙效果研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [26] 汪季, 胡志敏. 近地表风沙流结构对不同植被覆盖度的响应[J]. 干旱区资源与环境, 2005(5): 30-33.
- [27] 马世威, 马玉明, 等. 沙漠学[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1998.
- [28] 董玉祥, Hesp, P.A., Namikas, S.L., 马骏. 海岸横向沙脊表面风沙流结构的野外观测研究[J]. 地理科学, 2008(4): 507-512.
- [29] 哈斯. 腾格里沙漠东南缘沙丘表面风沙流结构变异的初步研究[J]. 科学通报, 2004(11): 1099-1104.
- [30] 康永德, 杨兴华, 何清, 杨帆, 霍文, 艾力·买买提明, 周长帅. 塔克拉玛干沙漠腹地贴地层风沙流结构研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(2): 74-81.
- [31] 包岩峰, 丁国栋, 吴斌, 张宇清, 魏宝. 毛乌素沙地风沙流结构的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2): 118-123.
- [32] 王翠, 雷加强, 李生字, 毛东雷, 周杰, 再努拉·热合木吐拉. 策勒绿洲-沙漠过渡带风沙流挟沙粒度的垂直分异[J]. 干旱区地理, 2014, 37(2): 230-238.
- [33] 杨欢, 李玉强, 王旭洋, 牛亚毅, 龚相文, 余沛东. 半干旱区不同类型沙丘风沙流结构特征[J]. 中国沙漠, 2018,

38(6): 1144-1152.

- [34] 徐军, 郝玉光, 刘芳, 陈海玲, 辛智鸣, 孙非. 乌兰布和沙漠不同下垫面风沙流结构与变异特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 95-98.