沙袋沙障对流动沙丘地表风沙及植被恢复的影响

袁立敏[1,2]，高 永[1]，汪 季[1]，闫德仁[2]，胡生荣[3]，张兴源[4]，吴 昊[1]

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院，内蒙古 呼和浩特 010018；2. 内蒙古自治区林业科学研究院，内蒙古 呼和浩特 010010；3. 内蒙古自治区环境工程评估中心，内蒙古 呼和浩特 010011；4. 内蒙古兴安盟气象局，内蒙古 乌兰浩特 137400)

摘 要：为了解沙袋沙障对风沙及植被生长的影响，通过野外观测和样方调查法对铺设沙袋沙障沙丘风速、植物种数、植株密度、高度和盖度进行了调查，测定了对 0—30 cm 输沙量。对 1 m×1 m，2 m×2 m，3 m×3 m方格沙袋沙障防风效能、地表粗糙度、输沙特征值及植被生长情况进行了研究。结果表明，沙袋沙障能够有效地提高防风效能和增加地表粗糙度，且随着规格的增大防风效能与地表粗糙度均减小；1 m×1 m，2 m×2 m 和 3 m×3 m 规格沙袋沙障地表粗糙度为 5.79，2.38 和 2.12 cm，分别比对照高 91.31%，78.88%和 76.26%；沙袋沙障能够有效降低输沙量，使 0—30 cm 各层输沙率均显著小于对照，3 种规格沙袋沙障对输沙率的影响顺序为：1 m×1 m > 2 m×2 m > 3 m×3 m；沙袋沙障铺设 1 a 后，植物种类比对照多出一种，平均高度、密度和盖度分别比对照高 91.5%，71.1%和 125.4%，并且随着沙袋沙障规格的增大，植被平均高度、密度和盖度均呈现逐渐增大的趋势。

关键词：库布齐沙漠；沙袋沙障；粗糙度；防风效能；输沙率；植被恢复

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2014)01-0046-05 **中图分类号**：P941.73

Impacts of Sandbag Barrier on Sand Flow and Vegetation Restoration on Mobile Dunes

YUAN Li-min[1,2], GAO Yong[1], WANG Ji[1], YAN Den-ren[2],
HU Sheng-rong[3], ZHANG Xing-yuan[4], WU Hao[1]

(1. *College of Ecology and Environment Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia* 010018, *China*; 2. *Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Hohhot, Inner Mongolia* 010010, *China*; 3. *Inner Mongolia Environmental Assessment Center, Hohhot, Inner Mongolia* 010011, *China*; 4. *Xing'an League Weather Science Institute, Ulanhot, Inner Mongolia* 137400, *China*)

Abstract: In order to understand the sandbag barrier's influence on sand flow and vegetation, wind speed, plant species, density, height and coverage were investigated through the ways of field testing and sampling. Transported sediment samples in 0—30 cm layer were collected and windbreak efficiency, surface roughness, transport rate and vegetation in 1 m×1 m, 2 m×2 m, 3 m×3 m sandbag barriers were studied. Results showed that sandbag barrier can improve wind efficiency and increase surface roughness effectively and meanwhile, wind efficiency and surface roughness were decreased with the sandbag barrier size increasing. Sandbag barrier sizes of 1 m×1 m, 2 m×2 m, 3 m×3 m had the different surface roughness values of 5.79, 2.38 and 2.12 cm that were 91.31%, 78.88% and 76.26% higher than CK, respectively. Sandbag barrier could effectively reduce sediment discharge which made sediment transport rate in every layer of 0—30 cm smaller than that of CK significantly. Compared with sediment transport rates for the three sandbag barrier sizes, the order was: 1 m×1 m >2 m×2 m>3 m×3 m. After sandbag barriers were laid for 1 year, plant species of sandbag barrier was one more than that of CK, and the average height, density and coverage were 91.5%, 71.1% and 125.4% higher than that of CK. The average height, density and coverage of vegetation were increased with the sandbag barrier size increasing.

Keywords: **Kubuqi Desert; sandbag barrier; surface roughness; wind efficiency; sediment transport rate; vegetation restoration**

收稿日期：2013-11-18 **修回日期**：2013-12-01

资助项目：林业公益性行业科研专项“风积沙产业化利用及其迹地植被营建技术研究”(201204205)

作者简介：袁立敏(1982—)，男(蒙古族)，内蒙古自治区赤峰市人，博士研究生，主要从事荒漠化防治领域研究。E-mail：yuan_limin@163.com。

通信作者：高永(1962—)，男(汉族)，内蒙古自治区包头市人，教授，主要从事荒漠化防治领域研究。E-mail：13948815709@163.com。

沙漠化地区干旱、风沙盛行,土壤贫瘠,植被种类稀少且覆盖度较小,恶劣的自然环境造成区域植被修复及治理任务难度较大。据第 4 次全国荒漠化和沙化监测结果显示[1],截至 2009 年底,全国沙化土地面积为 173.11 km^2,占国土总面积的 18.03%,与 2004 年相比,中国沙化土地面积净减少 8 587 km^2,年均减少 1 717 km^2,绝大部分省(自治区、直辖市)沙化土地面积均有不同程度的减少。中国土地沙化整体得到初步遏制,沙化土地面积持续减少,但是局部地区仍在扩展,沙化土地治理任务依然不容忽视。

目前,机械沙障在沙漠化治理中起到了无可替代的作用,特别是在风大、流沙强烈、植被措施无法单一实施的沙区,机械沙障已经成为一种非常实用、有效的治沙措施。例如常见的机械沙障主要有柳条沙障、麦草沙障、黏土沙障及砾石沙障等,相关研究[2-9]认为,不同类型沙障有不同的防护效果,并且同种类型沙障如果工程尺度或规格不同,其产生的防护效果也存在较大差异。沙袋沙障属于低立式沙障,以方格状平铺于裸露沙地上,该类型沙障可增加地面粗糙度,消耗过境近地表气流或风沙流动能,从而降低气流挟沙能力,可有效地阻止地表流沙产生,使沙丘表层结构稳定[10]。对沙袋沙障防护效益等方面的研究很少[8,11-13],为此,本研究从沙袋沙障对风与风沙流及植被恢复影响角度出发,比较研究了 3 种规格沙袋沙障的防风效能、粗糙度、0—30 cm 输沙率及植被生长差异。旨在了解裸露沙丘受到沙障保护固定后其植被恢复情况,以期为沙袋沙障在沙区植被恢复中推广利用提供理论依据。

1　研究区概况

研究区位于库布齐沙漠东北缘,达拉特旗辖区,地理坐标为北纬 40°21′30″—40°22′30″,东经 109°50′30″—109°51′50″。属中温带大陆性季风气候,年降水量 240～360 mm,年蒸发量 2 160 mm,年均气温 6.1～7.1 ℃,极端最高气温 40.2 ℃,极端最低气温 −34.5 ℃,无霜期 130～140 d,8 级以上大风日数 27 d,扬沙日数多达 58 d,一般出现在 3—5 月,年平均风速 3.3 m/s,最大瞬时风速可达 30 m/s。在该区分布大量的流动沙丘和半固定沙丘,固定沙丘主要有北沙柳(*Salix psammophila* C. Wang et Ch. Y. Yang)、黑沙蒿(*Artemisia ordosica* Krasch)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.)、虫实(*Corispermum hyssopifolium* L.)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum* Moq.)、沙鞭〔*Psammochloa villosa* (Trin.) Borx.〕及猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)等沙生植被。土壤以栗钙土、灰漠土、风沙土为主。

2　研究方法

2.1　沙障材料

沙袋沙障外层包装材料是由聚乳酸纤维(PLA 纤维)纺织而成,在自然状态下类似于袖筒,内径 5～6 cm,材料颜色为白色。PLA 纤维材料弹性较强,自然状态下,灌沙后横切面直径可达 9～10 cm。为运输方便,成品材料 170 m 为一卷,可根据布设需要,用剪刀即可裁剪适当长度。

2.2　沙袋沙障设置

2011 年 5 月在研究区选择高度为 4～6 m,西北走向,大小相似的 4 个流动沙丘进行 PLA 沙袋沙障(简称沙袋沙障)设置。其中 1 个沙丘不做任何处理(对照);在 3 个沙丘的迎风坡中部分别进行 1 m×1 m, 2 m×2 m 和 3 m×3 m 方格状设置,铺设面积分别是 40 m×18 m, 40 m×20 m 和 42 m×24 m。

2.3　风沙测定

沙袋沙障布设完毕后,分别在 3 规格沙袋沙障样地内架设 HOBO 风速仪,在沙障方格内中心点设置风杯架,设置风杯高度 5 个,分别为 10,30,50,100 和 200 cm。同时在对照沙丘对应位置进行相同设置。在大风天气对沙袋沙障样地及对照沙丘同时进行测定,数据时间间隔为 2 s,测定时间段为 30 min,重复 3 次。

风速风向测定完毕后,将阶梯式集沙仪放于风速仪附近(不受风速仪遮挡等影响)进行沙样采集,采集高度 30 cm,共 15 层,集沙口为方形宽 2 cm,集沙仪进沙口与主风向垂直,底部与地面平齐。在对照沙丘相同设置,进行同步采集。记录采集开始时间,测定时间为 10 min,记录结束时间,重复 3 次。观测结束后,将集沙仪的集沙量进行分层称重。

2.4　指标计算

(1) 防风效能采用以下公式[14]计算:

$$E_h=(V_{h1}-V_{h2})/V_{h1}\times 100\%$$

式中:E_h——沙障样地内高度为 h 处防风效能(%);V_{h1}——对照沙丘高度为 h 处平均风速(m/s);V_{h2}——沙障样地内高度为 h 处平均风速(m/s)。

(2) 粗糙度 Z_0 采用以下公式[14]计算:

$$\lg Z_0=(\lg Z_2-A\lg Z_1)/(1-A)$$

式中:Z_0——地表平均粗糙度(cm);Z_1, Z_2——地面同一位置,不同高度,分别为 10 和 200 cm;$A=u_2/u_1$〔u_1——高度为 Z_1 处风速(m/s),u_2——高度为 Z_2 处风速(m/s)〕。

2.5 植被调查

2012年9月，在铺设3种规格沙袋沙障的沙丘迎风坡分别随机选取5个沙障方格对植被种类、数量、植株密度、平均高度、平均盖度等进行调查。设置样方面积与沙障方格面积相等，即在3种规格沙障中调查样方大小分别为：1 m×1 m，2 m×2 m和3 m×3 m。相关指标的计算公式：

植株密度＝个体数目/样方面积

植被盖度＝底面积或覆盖面积总值/样方面积×100%

3 结果与分析

3.1 沙袋沙障防风效益

3.1.1 防风效能比较 对铺设沙障和对照沙丘的迎风坡不同高度处风速分别进行平均，并通过公式计算3种规格沙障10，30，50和100 cm处防风效能，结果如图1所示。风速风向测定时，为西北风。

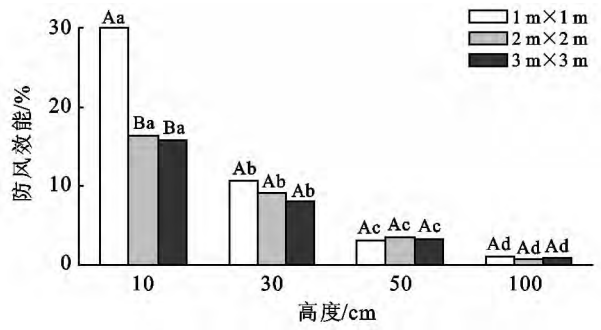


图1 3种规格沙袋沙障样地不同高度处防风效能

注：不同大写字母表示3种规格沙袋沙障对风速效能的影响差异显著程度（$p<0.05$）；不同小写字母表示同规格沙障对各高度处防风效能的影响差异显著程度（$p<0.05$）。

从图1中可以看出，3种规格沙袋沙障的防风效能顺序为：1 m×1 m＞2 m×2 m＞3 m×3 m。1 m×1 m规格沙袋沙障防风效能各高度平均值为11.16%，2 m×2 m沙袋沙障为7.63%，3 m×3 m沙袋沙障为6.99%。经单因素方差分析，1 m×1 m规格沙袋沙障防风效能与2 m×2 m和3 m×3 m规格的差异显著（$F=12.68$，$p<0.05$），2 m×2 m和3 m×3 m规格之间差异不显著（$F=0.58$，$p=0.60$）。另外，随着高度的增加，3种规格沙袋沙障的防风效能均呈现逐渐降低的趋势。3种规格沙障样地10，30，50及100 cm这4个高度处的防风效能平均值分别为20.70%，9.28%，3.88%和1.51%，沙袋整体防风效能均值为8.84%，在10和30 cm高度处防风效能高于整体平均值；在10 cm高度处3种规格沙障防风效能相比，1 m×1 m比3 m×3 m的高47.33%，2 m×2 m的比3 m×3 m的高2.83%；在30 cm高度处，1 m×1 m和2 m×2 m规格沙障的防风效能比3 m×3 m的高23.13%和10.97%，但是在30—100 cm高度处，3种规格沙障防风效能无显著差异。防风效能是近地表风速强度变化的直观指标之一，人们能够利用其大小快速评判沙袋沙障对气流的削弱能力。沙袋沙障对10 cm高度处防风效能的影响最大，这决定于其本身裸露在沙表面的高度。沙袋沙障灌装完毕放置于松软沙表上，其裸露高度仅为5—6 cm，只能起到控制风蚀基准面不变，促使沙丘地表稳定的作用，而对较高处的气流或风沙流的阻挡不起作用。

3.1.2 粗糙度比较 粗糙度是表征下垫面粗糙程度，衡量防风固沙效益的重要指标。沙袋沙障主要设计原理之一就是提高流沙垫面的粗糙度，从而削弱吹向地表的气流或风沙流强度。本试验以200和10 cm高处风速值计算得出沙袋沙障和对照沙丘地表粗糙度（图2）。

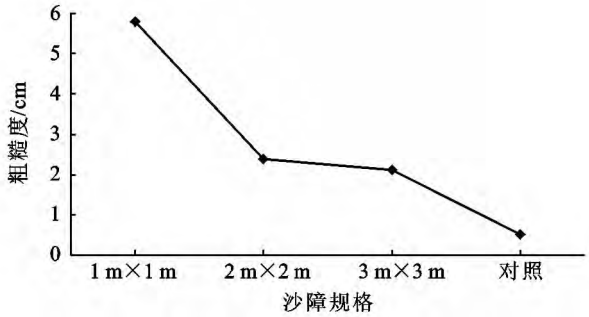


图2 3种规格沙袋沙障样地及对照粗糙度

从图2中可以看出，随着沙障规格的增大，地表的粗糙程度显著降低，但是均明显高于对照的。1 m×1 m，2 m×2 m和3 m×3 m规格沙袋沙障粗糙度分别比对照的高91.31%，78.88%和76.26%，3者与对照相比差异极显著（$F=30.96$，$p<0.001$）。1 m×1 m规格沙障粗糙度与2 m×2 m和3 m×3 m的差异显著（$F=43.44$，$p<0.005$），而2 m×2 m和3 m×3 m规格沙障粗糙度之间差异不显著（$F=2.21$，$p=0.28$）。沙袋沙障裸露于沙表，使原本光滑的沙表面凸凹不平，地表粗糙程度增大。并且不同规格方格沙障[15]，不论其是何种材料，经过一定时间、一定强度气流吹蚀后，便会在沙障方格内形成凹曲面，而且这种地表结构更加稳定。沙袋沙障经过几次大风之后，1 m×1 m规格沙障形成的凹曲面较深，地表凸凹程度加大，粗糙度增大，从而导致其对地表气流扰动及阻碍作用增强[16]。

3.2　沙袋沙障对风沙流结构的影响

在同一时间内对 1 m×1 m,2 m×2 m,3 m×3 m和对照沙丘样地内 0—30 cm 高度的输沙量进行采集,采集时间 10 min,2 m 高度处的平均风速为 7.1 m/s,结果如图 3 所示。

从图 3 中可以看出,对照沙丘 0—30 cm 高度处输沙率遵循指数函数变化,随着采集高度的增大,输沙率呈现逐渐递减的趋势,在 0—10 cm 内,输沙率递减趋势显著($F=374.64$,$p<0.001$),在 11—30 cm 内,输沙率递减趋势减弱($F=1.26$,$p=0.32$)。沙袋沙障防护下沙丘 0—3 cm 高度输沙率也呈现递减趋势,在 10—30 cm 内呈现平缓变化趋势。

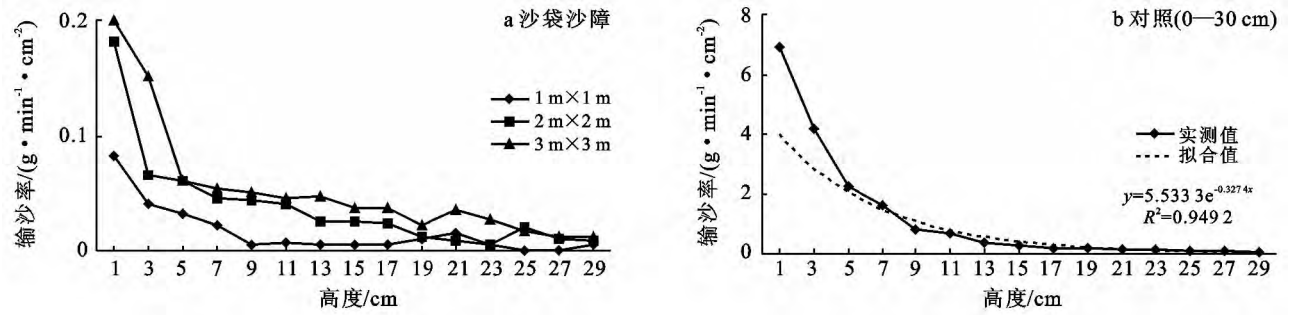


图 3　3 种规格沙袋沙障与对照(0—30 cm)输沙率

沙丘铺设沙障后,其 0—30 cm 输沙率与对照沙丘呈现相同的变化趋势,都是先减小后变平缓,布设沙袋沙障后沙丘输沙率在 3 cm 高度处输沙率已经开始趋于平缓,裸沙丘输沙率在 15 cm 高度处才开始趋于平缓。

从图 3 中还可以看出,沙袋沙障防护沙丘 0—30 cm各层输沙率均在 0.2 g/(min·cm²)以下,每层输沙率均显著小于对照($F=4.29$,$p<0.005$),说明沙袋沙障能够有效改变地表 0—30 cm 风沙流结构,并显著降低了沙粒在气流中的含量。在地表 0—2 cm输沙率相对较多,是由于沙粒的跃移和蠕移导致,而随着高度的增加,上层悬移沙粒数量逐渐减小。3 种规格沙袋沙障相比,1 m×1 m 规格沙袋沙障对 30 cm 高度内的输沙率影响程度最大,2 m×2 m 次之,3 m×3 m 最小($F=10.04$,$p<0.01$)。规格越小,单位面积内出现的沙袋沙障数量越多,对近地表气流或风沙流有连续的阻碍作用,大大降低了气流强度,使进入空中的沙粒相对数量减少,最终达到风过而不起沙的效果。

3.3　沙袋沙障防护区植被恢复情况

沙袋沙障对气流或风沙流能够产生有效的阻挡,较大程度地降低了流沙表面的风蚀程度,使土壤表层结构稳定,为植被的生长与存活提供了适宜的土壤环境,所以沙袋沙障对植被的恢复也有一定的促进作用。在沙袋沙障铺设 1 a 后(2012 年 6 月),沙障方格内已经有大量的沙蓬(*Agriophyllum squarrosum* Moq.)、黑沙蒿、虫实与猪毛菜等生长。对沙袋沙障和对照沙丘的植被种类、密度、高度和盖度数据分别进行调查,各项指标的平均值见表 1。

表 1　3 种规格沙袋沙障和对照沙丘各项植被指标

类　型	植物种数/个	高　度/cm	密　度/(个·m⁻²)	盖　度/%
1 m×1 m	4a±0.0	13.2a±2.2	21.7a±5.2	30.1a±7.1
2 m×2 m	4a±0.0	13.9b±1.8	29.7b±5.5	37.2b±9.5
3 m×3 m	4a±0.0	16.0c±1.5	29.7b±7.5	47.0c±6.8
对　照	3b±0.0	7.5d±0.5	15.8c±2.2	16.9d±3.4

注:同一列不同字母代表差异显著水平($p<0.05$)。

从表 1 可以看出,铺设沙袋沙障的沙丘的平均植物种数、高度、密度及盖度均高于对照沙丘,说明沙障对植被的恢复有一定促进作用。与对照相比,沙袋沙障样地植物种类比对照多一种,平均高度、密度和盖度分别比对照的高 91.5%,71.1%和 125.4%。说明裸沙丘在沙袋沙障防护一段时间后,在自然降雨条件下,沙生植物种子在结构相对稳定的沙土中会很快萌发生长。沙袋沙障属于平铺式沙障,主要是防止地表遭到风蚀,对过境风沙流中携带沙粒的拦截效果较差。在一般情况下,防护区内很少出现积沙。且经过一段时间气流作用后最终会形成一种平衡状态,即在气流(或风沙流)经过沙丘表面时,由于沙障的阻碍作用,在沙障方格内部会产生旋涡,每个沙障方格先遭到风蚀,经过几场大风后,方格内最终会形成光滑稳定的

凹曲面[17]，只有形成凹曲面，沙丘地表结构才会稳定[15]，从而为植被的生长提供了一个稳定的基质条件。

调查中发现，1 m×1 m，2 m×2 m 和 3 m×3 m 这 3 种规格沙袋沙障植物种均为沙米、虫实、猪毛菜和油蒿，而在对照沙丘上没有发现油蒿生长；且随着沙袋沙障规格的增大，植被高度呈现逐渐增大的趋势，3 种规格沙袋沙障植被平均高度分别比对照的高 76.0%，85.3%和 113.3%，3 m×3 m 沙袋沙障的植被高度达到了 16.0 cm；3 种规格沙袋沙障植被密度分别比对照的高 37.3%，88.0%和 88.0%；随着沙障规格的增大，植被盖度也出现增大的趋势，2 m×2 m 和 3 m×3 m 均比 1 m×1 m 的高 23.6%，56.1%；3 者均比对照的高 78.1%，120.1%和 178.1%。沙障的规格不同，其防护效果也会出现差异[5,18]。3 m×3 m沙袋沙障防护沙丘植被长势最好，2 m×2 m 次之，1 m×1 m 的最差，但是均显著高于对照。1 m×1 m沙袋沙障的稳定性较差，形成的凹曲面障间蚀积系数最大，迎风坡达到 1/10.1[16]，原来存在流沙表土中的沙生植物种子也被气流吹蚀，随沙粒而去，而过境的沙粒及种子等无法在沙障方格内堆积，造成植被种子数量急剧减少。另外，规格越小单位面积内沙袋个数较多，所以对过境气流的扰动也越频繁，并对植被生长造成影响，致使植被长势较差。

4 结论

(1) 沙袋沙障能够有效提高防风效能，在 0—30 cm高度处防风效能提高程度显著，随着高度的增大，防风效能呈现递减的趋势，到 100 cm 处，平均防风效能仅为 0.84%。沙障规格不同，防风效能也存在差异，3 种规格沙袋沙障防风效能顺序为：1 m×1 m>2 m×2 m>3 m×3 m。

(2) 地表粗糙程度随着沙障规格的增大也呈现显著降低趋势。1 m×1 m，2 m×2 m 和 3 m×3 m 规格沙袋沙障地表粗糙度分别比对照高 91.31%，78.88%和 76.26%，2 m×2 m 和 3 m×3 m 规格沙障粗糙度差异不显著。

(3) 沙袋沙障能够有效减小 0—30 cm 输沙量，各层输沙率均在 0.2 g/(min·cm^2)以下，每层输沙率均显著小于对照。3 种规格沙袋沙障相比，1 m×1 m 规格沙袋沙障对 30 cm 高度内的输沙率影响程度最大，2 m×2 m 次之。

(4) 沙袋沙障对植被的恢复也有一定的促进作用，植被平均高度、密度和盖度分别比对照的高 91.5%，71.1%和 125.4%。随着沙袋沙障规格的增大，植被各指标呈现逐渐增大的趋势。

沙袋沙障设置后，地表先遭受风蚀，经过一段时间沙面最终达到稳定状态。为沙生先锋植被的生长提供了保障，经过沙障和沙生先锋植被的防护，又可以为多年生植被的入侵发展提供适宜生长条件。如果能够得到沙袋沙障长时间的防护作用，植被多样性、植被植株长势均会得到显著提高，也为沙区后期人工造林等措施的实施提供良好的基础。所以，沙袋沙障的应用将会提高流动沙丘植被建植与恢复的成功率。

[参 考 文 献]

[1] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报[N]. 中国绿色时报，2011-1-5.

[2] 高永，邱国玉，丁国栋，等. 沙柳沙障的防风固沙效益研究[J]. 中国沙漠，2004，24(3)：365-370.

[3] 常兆丰，仲生年，韩福贵，等. 黏土沙障及麦草沙障合理间距的调查研究[J]. 中国沙漠，2000，20(4)：455-457.

[4] 曹子龙，赵廷宁，郑翠玲，等. 带状高立式沙障防治草地沙化机理的研究[J]. 水土保持通报，2005，25(4)：16-19.

[5] 王振亭，郑晓静. 草方格沙障尺寸分析的简单模型[J]. 中国沙漠，2002，22(3)：229-232.

[6] 董智，李红丽，汪季，等. 土工格栅沙障防风积沙效应风洞模拟实验[J]. 中国水土保持科学，2007，5(1)：35-39.

[7] 刘艳军，刘明义，张力，等. 花棒带状沙障防风固沙试验研究[J]. 中国水土保持，1997(4)：23-26.

[8] 韩志文，刘贤万，姚正义，等. 复膜沙袋阻沙体与芦苇高立式方格沙障防风机理风洞模拟实验[J]. 中国沙漠，1982，2(1)：13-20.

[9] 董治宝，高尚玉，Fryrear D W. 直立植物—砾石覆盖组合措施的防风作用[J]. 水土保持学报，2000，14(1)：7-11.

[10] 张奎壁，邹受益. 治沙原理与技术[M]. 北京：中国林业出版社，1990.

[11] 李锦荣，孙保平，高永，等. 基于空气动力学的沙袋沙障气流场模拟[J]. 北京理工大学学报，2010，30(6)：749-752.

[12] 袁立敏，高永，虞毅，等. PLA 沙障对土壤硬度的影响[J]. 中国水土保持科学，2010，8(3)：172-177.

[13] 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]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2009.

[14] 朱朝云，丁国栋，杨明远. 风沙物理学[M]. 北京：中国林业出版社，1991：17-20.

[15] 屈建军，凌裕泉，俎瑞平，等. 半隐蔽格状沙障的综合防护效益观测研究[J]. 中国沙漠，2005，25(3)：330-335.

[16] 袁立敏. PLA 沙障对土壤物理性质影响及其防护效益研究[D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2010.

[17] 凌裕泉. 草方格沙障的防护效益[C]// 流沙治理研究. 银川：宁夏人民出版社，1980：49-59.

[18] 刘贤万. 草方格沙障的风洞实验[C]// 流沙治理研究(Ⅱ). 银川：宁夏人民出版社，1991：326-334.