

沙袋沙障对沙丘植被特征的影响

袁立敏¹, 高永², 李谦², 党晓宏², 王春颖³, 张延旭²

(1. 内蒙古自治区林业科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010010;

2. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 3. 内蒙古农业大学 生物工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要: 为了解铺设沙袋沙障沙丘植被生长情况及其与麦草沙障对植被影响的差异, 采用样方调查法对乌兰布和沙漠实验地铺设沙袋沙障沙丘植物种数、植株密度、平均高度和平均盖度进行了连续 3 a 的调查, 并与铺设麦草沙障沙丘及未做任何处理的裸沙丘作对比, 研究了不同规格、不同铺设位置 and 不同铺设时间的沙袋沙障和麦草沙障对植被生长的影响。结果表明, 沙袋沙障和麦草沙障铺设时间越长, 所在沙丘植被生长情况越好。随着沙障布设时间增大, 2 种沙障的植被种数、平均高度无显著变化, 植被平均密度能够增加到 35% 以上, 植被盖度也分别能够达到 36.8% 和 33.0%。2 种沙障对植被的促进作用排序依次是 3 m×3 m 方格沙障最大, 2 m×2 m 方格沙障次之, 1 m×1 m 方格沙障最小; 沙障设置部位不同植被生长情况也存在差异, 2 种沙障植被最好的位置均是在背风坡底, 其次是背风坡中和迎风坡, 坡顶植被长势最差。通过方差分析认为, 沙袋沙障和麦草沙障对植被生长的影响均无显著差异 ($p=0.14$), 但是 2 种沙障与对照相比差异显著 ($p<0.005$)。

关键词: 乌兰布和沙漠; 沙袋沙障; 麦草沙障; 植被盖度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0080-05

中图分类号: S157.1, S288

Effects of Sandbag Barrier on Characteristics of Vegetation on Sand Dunes

YUAN Li-min¹, GAO Yong², LI Qian², DANG Xiao-hong², WANG Chun-ying³, ZHANG Yan-xu²

(1. Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China;

2. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China; 3. College of Life Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: In order to obtain the difference of vegetation growth on sand dunes under the influences of paved sandbag barrier and straw barrier, vegetation species number, average vegetation density, height and vegetation coverage of sand dunes in Ulan Buh desert were investigated for three continuous years by quadrat investigation method on dunes protected by sandbag and straw barriers and bare dunes. The specifications, setting location and setting time of the barriers were studied at the same time. The study results show that the longer setting time of the sandbag and straw sand barrier led to better vegetation growth status. With the increase of the setting time, vegetation species number and average height of the two sand barriers remained similar, but their average vegetation density and coverage increased; the average vegetation density reached above 35%, and the vegetation coverage achieved 36.8% and 33.0%, respectively. The positive effects of sand barriers on vegetation increased with the sizes of the barriers: 3 m×3 m was best, followed by 2 m×2 m and 1 m×1 m. The setting locations of sand barriers also mattered regarding the vegetation growth; the best setting location was bottom lee slope, followed by windward slope, middle lee slope location, and top slope. The two types of sand barriers studied showed no difference of the effects on the vegetation growth according to the analysis of variance ($p=0.14$), however, the two sand barriers were significantly better than the control ($p<0.005$).

Keywords: Ulan Buh desert; sandbag sand barrier; straw sand barrier; vegetation coverage

机械沙障是非常实用、有效的防沙治沙措施之一, 特别是在干旱、风沙大、植被稀少、植被措施无法

实施的沙区沙漠化治理中更是不可替代。目前, 较常见的机械沙障主要是柳条沙障、麦草沙障、黏土沙障

收稿日期: 2011-01-05

修回日期: 2011-01-21

资助项目: 内蒙古创新基金项目“高大沙丘治理技术”(20082002); 公益性行业科研专项“生境胁迫立地植被恢复与重建技术研究”(201104002); 国家自然科学基金项目“沙柳沙障腐蚀过程及其抗蚀机理研究”(40961036)

作者简介: 袁立敏(1982—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为荒漠化防治工作。E-mail: yuan_limin@163.com。

及砾石沙障等,许多专家学者对其防护效益等方面进行了研究^[1-8],认为不同类型沙障有不同的防护原理,从而产生不同的防护效益,并且同种类型沙障工程尺度不同,防护产生的防护效果差异也较大,并且通过长期的应用实践发现,这些沙障在取得较好的防治效果的同时,还存在着很多不足,如柴草沙障由于光、热、微生物降解及风沙吹蚀作用,使其有效防护作用时间相对较短,柳条、砾石沙障材料短缺,向沙区运输不便等问题,所以近几年出现了一些新型沙障,如土工网、尼龙方格、塑料方格沙障等的使用^[9-13],弥补了这些传统沙障在防护年限、材料获取、运输等方面的不足,为防沙治沙领域的机械沙障应用方面注入了新的活力。

本研究提到的沙袋沙障,其外层材料是一种新型的聚酯(也称 PLA)纤维,具有合成纤维的基本物性,又有天然纤维的生物兼容性、亲水性、卷曲性、抗菌防霉性和耐紫外光等特性。PLA 纤维经加工形成截面直径约为 10 cm 的长筒,其弹性较好,灌沙后直径可达 15~17 cm。沙障外层纤维材料可以大规模机械化加工生产,质量轻,解决了沙障材料短缺、运输不方便两大难题,并且沙袋沙障设置方法简易。PLA 纤维是一种新型的沙障材料,其灌沙后形成的沙袋,可以按照要求设计多种形状,形成的沙障平铺于沙丘上,可增加地面粗糙度,消耗过境近地面风速动能,降低气流挟沙能力,可有效地防止沙丘产生流沙,使沙丘表层结构稳定。对沙袋沙障防护效益等方面的研究很少^[14-16],为此,本试验从沙丘植被恢复角度出发,对铺设沙袋沙障沙丘植被生长情况进行了调查与研究,旨在了解沙丘受到沙障保护固定后沙丘植被恢复情况,并与传统材料麦草沙障防护的沙丘植被生长情况作比较,得出沙袋沙障与麦草沙障对植被恢复的影响是否存在差异,以期为更多新兴沙障材料在治沙领域的应用提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于乌兰布和沙漠西南缘,吉兰泰镇北部约 5 km 的盐湖自然保护区内。该地区属于大陆干旱荒漠气候,温差较大,年平均气温 8.6 °C;降水稀少,气候干燥,年平均蒸发量 3 005.2 mm,干燥度 6.3;光能源丰富,该区全年日照时间 3 293.2 h,≥10 °C 的有效积温达 3 661.6 °C,年平均无霜期 136.5 d;风大沙多,年平均风速 3.6 m/s,最大瞬时风速 24 m/s,年平均大风日数 34.5 d,其中沙暴时间约 7.2 d,年平均扬沙时间 82.5 d,主风向是西南风,主害风是西北风,冬春季节风速较大。植被类型主要有沙生

荒漠植被和盐生植被^[16],其结构简单,种类贫乏,以蒺藜科(Zygophyllaceae)、豆科(Leguminosae)、藜科(Chenopodiaceae)、菊科(Compositae)、禾本科(Gramineae)植物为主。荒漠植被主要有油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch.)、沙米[*Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.]、虫实(*Corispermum mongolicum* Iljin.)、红沙[*Reaumuria soongorica* (Pall.) Maxim.]等,盐生植被以盐爪爪(*Kalidium gracile* Fenzl.)、白刺(*Nitraria tangutorum* Bobr.)为主。多年来进行植物治沙,建立了大面积的梭梭[*Haloxylon amodendron* (C. A. Mey.) Bge.]、沙枣(*Elaeagnus angustifolia* L.)、阿拉善沙拐枣(*Calligonum alashanicum* A. Los.)、花棒(*Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey.)等人工林。

2 研究方法

2.1 试验材料

试验使用的沙袋沙障外层材料由聚乳酸纤维纺织而成,该纤维也被称为 PLA (poly lactic acid) 纤维,由日本东丽公司引进,采用小圆机织法,化学式(C₃H₄O₂)_n,纤维颜色为自然白色。通过纤维纺织加工成管状,在自然状态下类似于袖筒,单根长度约为 170 m。

2.2 沙障设置

2007年4月,在吉兰泰盐湖保护区9号井西北方约2 km处,分布着大量的裸沙丘,高度一般在4~6 m,选择3个走向、形态和大小相似的沙丘(基本无植被生长),进行沙袋沙障的铺设(简称为沙袋沙障)。再选择3个与布设沙袋沙障沙丘形态等条件相似的沙丘进行麦草沙障的铺设(简称麦草沙障)。

2.2.1 沙袋沙障设置 将 PLA 纤维套置在铝管(长 50 cm,内径 10 cm)上,由于纤维弹性较好,可尽力将纤维压实套于管上,最后可用剪刀将纤维截断,打上死结。由铝管另一端灌沙,流沙进入纤维筒内,逐渐放开铝管上的纤维,并继续灌沙,直至将整段纤维材料灌满沙,最后打上死结,重复以上操作即可。PLA 纤维材料灌沙后形状类似于“香肠”,放置沙面上实际裸露地表高度为 12~15 cm,沙袋沙障长度可以根据沙丘的大小或施工方便性自行裁剪。形成的沙袋沙障可以按照设计要求进行布设,本试验设计规格分别为 3 m×3 m,2 m×2 m 和 1 m×1 m 方格,最终形成大的格状网平铺于沙丘上。

2.2.2 麦草沙障设置 首先在麦草上洒一些水,使之湿润,以提高麦草材料的柔韧性,避免扎制时折断。在沙丘上划出网络线,呈现 3 m×3 m,2 m×2 m 及

1 m×1 m 方格,沿线平铺麦草,要与“线”垂直排放,用平头铁锹横放置麦草中部用力将其对折压入沙层内约 15 cm,两端翘起后,在麦草沙障基部覆沙并用脚踩实,使麦草稳定、直立,裸露于地表以上的高度为 15~20 cm。

最后,再选择 1 个裸沙丘,该沙丘不做任何处理,作为对照。

2.3 植被调查

在沙障铺设当年 9 月,第 2 a 的 9 月和第 3 a 的 9 月,分别对沙袋沙障、麦草沙障与裸沙丘植被进行调查。调查部位分别为沙丘迎风坡底、迎风坡中、坡顶、背风坡中和背风坡底。在 5 个部位各选取 3 个障格作为重复,对沙障障格内植物种数量、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每一格的面积相等,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,乘积即为样方面积。相关指标的计算公式:

植株密度 = 个体数目 / 样方面积

盖度 = 底面积或覆盖面积总值 / 样方面积。

3 结果与分析

3.1 植被调查结果整体比较

对沙袋沙障、麦草沙障及对照沙丘植被进行连续 3 a 调查,并对获得的植被种类、植株平均密度、平均高度和平均盖度数据分别进行平均(表 1)。

在连续 3 a 的植被调查中发现,沙袋沙障、麦草沙障植物种数量没有明显变化,在沙丘上出现的均是一年生植被:沙米、虫实与猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)。其中,沙米和虫实是常见种,其频度分别达

到了 63.3% 与 46.3%,而猪毛菜频度仅为 6.7%。另外,在沙障铺设第 2 a 和第 3 a 的 9 月份调查中发现,沙丘有油蒿生长,但是个体数量相对较少,频度仅达到 2.4%。在对照沙丘底部仅出现少量的沙米、虫实和猪毛菜,没有发现油蒿,在沙丘的中上部依然无植被生长。

表 1 不同沙障植被调查结果整体比较

处理类型	植物种数/个	植株密度/%	平均高度/cm	平均盖度/%
沙袋沙障	4	32.5	11.5	34.0
麦草沙障	4	27.9	11.2	32.9
对照	3	6.5	3.6	4.8

从表 1 可知,沙袋沙障和麦草沙障植被种类、植株密度、平均高度和平均盖度均显著高于对照的,说明沙丘在铺设沙障后,植被得到了一定程度的恢复,植株个体数量较对照多,并且植株个体也相对粗壮、高大,所以,通过整体比较分析认为,沙袋沙障和麦草沙障植被的生长情况均优于对照的。比较沙袋沙障和麦草沙障的植被种数、植株密度、平均高度和盖度发现,2 种类沙障均无显著差异($p=0.14$),说明沙袋沙障和麦草沙障对植被生长具有相同程度的促进作用,沙丘在铺设沙障一段时间后,地表结构逐渐稳定,如果有适当的降水补给,一年生草本植物种子会很快萌发并生长。

3.2 沙障铺设时间对植被的影响

分别在沙障铺设当年、第 2 a 及第 3 a 的 9 月份对铺设沙袋沙障和麦草沙障沙丘进行植被抽样调查,对比研究 3 a 内植被生长变化,结果如图 1 所示。

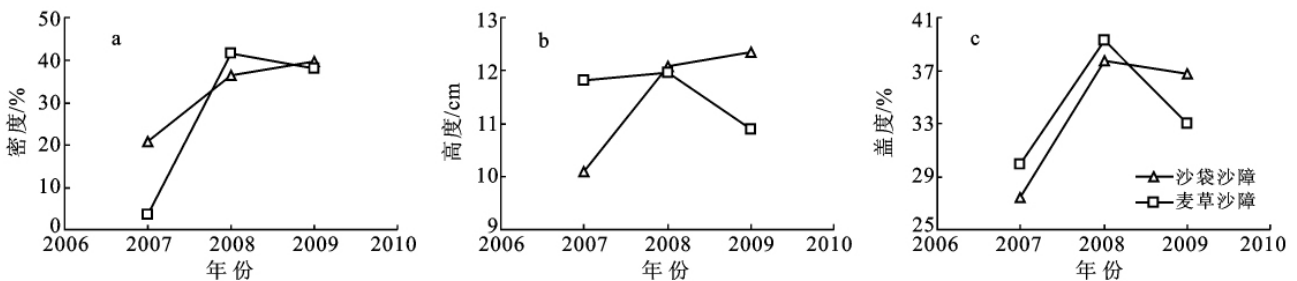


图 1 连续 3 a 植被调查结果比较

从图 1a 中可以看出,麦草沙障铺设当年沙丘的植被平均密度较沙袋沙障的小,随着沙障铺设时间的增长,2 种沙障的植被平均密度都增加到了 35% 以上。在铺设当年沙袋沙障植被平均密度显著高于麦草沙障的,在铺设第 2 a 及第 3 a 里,2 者的植被平均密度相差很小,均无显著差异($p<0.05$)。从图 1b 中

可见,在 3 a 的植被平均高度比较中沙袋沙障当年的植被高度较小,仅达到了约 10.1 cm,在铺设后第 2 a 和第 3 a 植被高度有所增加,但是增加的程度很小。麦草沙障连续 3 a 的植被高度均在 10.8~12.0 cm 之间,没有显著变化,沙袋沙障与麦草沙障 3 a 的植被平均高度相比无显著差异。从图 1c 中可以看出,在

沙障铺设当年沙袋沙障和麦草沙障植被盖度较小,仅达到了 27.4%和 30.0%,在铺设第 2 a 及第 3 a 里,两者的植被盖度都有所增加,在 2009 年较少降雨的情况下,两者的植被盖度也分别能够达到 36.8%和 33.0%。

综合连续 3 a 的植被调查结果认为,随着沙障防护年限的增长,沙袋沙障和麦草沙障植被生长情况会越来越好。沙障铺设后沙丘的植物种类虽然没有显著变化,但是,植被的高度、密度与盖度均比未铺设沙障有所增大,2009 年在沙袋沙障中发现零星的油蒿 44.0 株,平均高度达到了 1.1 m。说明沙障对植被恢

复有一定的促进作用,首先为沙生先锋草本植物沙米、虫实等创造了良好的生长条件,如果受到沙障长期的保护,土壤营养物质含量也逐渐升高,植被整体生长环境也能够得到改善,会为多年生草本植物奠定良好基础,有助于沙区后期植被措施实施,更有效的提高治理成效。

3.3 沙障规格对植被的影响

沙障铺设 1 a 后,沙丘地表形态已经趋于稳定,对 2008 及 2009 年调查的植被密度、高度和盖度数据分别进行平均,研究沙障规格变化对植被生长情况地影响,如图 2 所示。

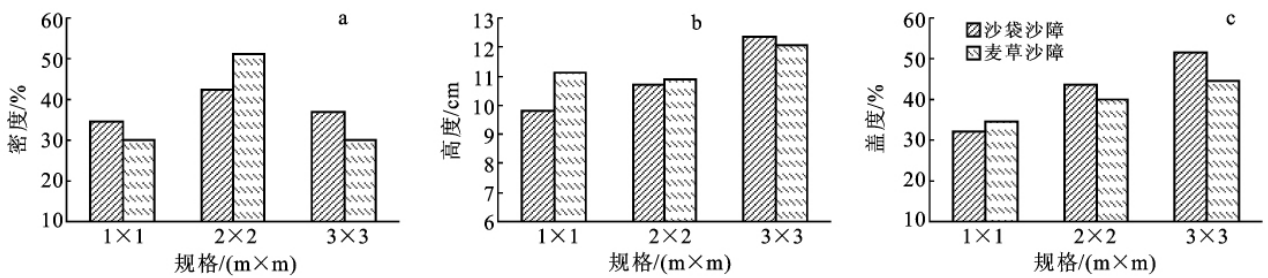


图 2 不同规格沙障植被调查结果比较

从图 2a 中可以看出,沙袋沙障 2 m×2 m 植株平均密度比 1 m×1 m 和 3 m×3 m 分别高 22.9%和 14.7%;麦草沙障 2 m×2 m 植株平均密度比 1 m×1 m 和 3 m×3 m 均高 71.6%。

由图 2b 可见,沙袋沙障随着规格的增大,植被平均高度也逐渐增加,3 m×3 m 平均植被高度达到了 12.3 cm,比 1 m×1 m 和 2 m×2 m 分别高 25.8%和 15.1%,3 者之间差异显著 ($p < 0.05$);麦草沙障没有出现此变化趋势,但是 3 m×3 m 植被平均高度也是最大,比 1 m×1 m 和 2 m×2 m 分别高 8.6%和 10.8%。

从图 2c 中可以看出,沙袋沙障与麦草沙障有相同的变化规律,植被盖度均是随着规格的增大而增大,沙袋沙障 3 m×3 m 植被盖度比 1 m×1 m 和 2 m

×2 m 分别高 60.5%和 18.3%,麦草沙障 3 m×3 m 植被盖度比 1 m×1 m 和 2 m×2 m 分别高 29.1%和 11.0%。

从图 2 分析结果发现,沙袋沙障和麦草沙障 2 m×2 m 植被平均密度的提高程度显著高于其它 2 种规格,沙袋沙障和麦草沙障 3 m×3 m 植被平均高度及盖度均显著高于其它 2 种规格。总结认为,沙袋沙障和麦草沙障规格的不同,植被的生长情况也存在差异,各规格对植被的促进作用依次是 3 m×3 m 最大,2 m×2 m 次之,1 m×1 m 最小。

3.4 部位对植被的影响

对 2008,2009 年沙袋沙障和麦草沙障 5 个部位植被调查结果分别进行平均(见图 3—4)。

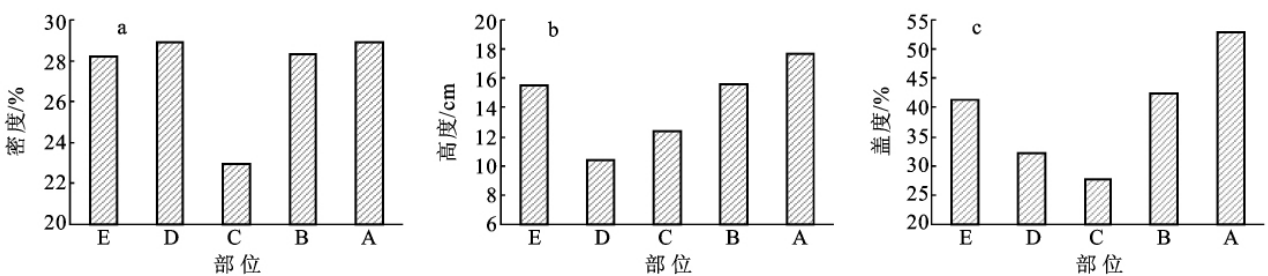


图 3 沙袋沙障各部位植被生长情况比较

注:迎风坡底 E,迎风坡中 D,坡顶 C,背风坡中 B,背风坡底 A。下同。

在沙袋沙障各部位植被密度的比较中可以发现,坡顶 C 的植被密度显著小于其它部位,而其它部位间

无显著差异。图 3b 中发现,植被高度最小值出现在迎风坡中 D 处,其次是坡顶 C 处,最大值出现在背风坡底

A 处。植被盖度由小到大排列为:坡顶 C<迎风坡中 D<迎风坡底 E<背风坡中 B<背风坡底 A,籽蒿 A 处的植被盖度达到了 52.9%,分别比 B,E,D,C 处高 24.8%,28.0%,64.9%和 91.6%,且差异显著($p<0.001$)。

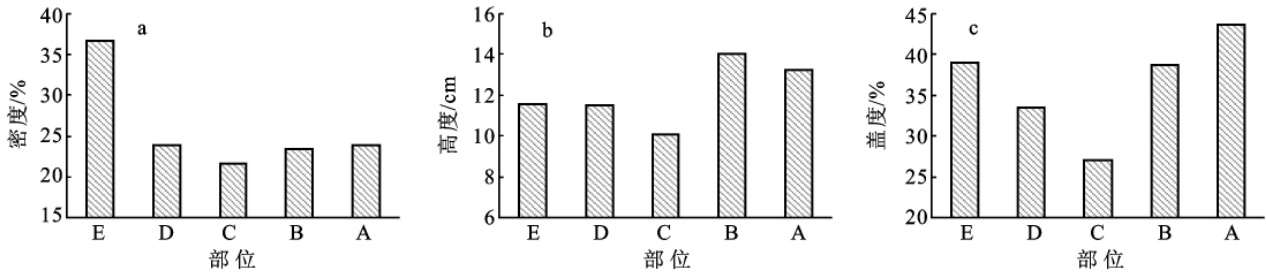


图 4 麦草沙障各部位植被生长情况比较

从图 4a 中发现,麦草沙障迎风坡底 E 处的植被密度较其它部位大,经方差分析,其它部位植被密度无显著差异($p=0.23$)。在图 4b 中发现,在背风坡 B,A 处植被的平均高度较大,最小值出现在坡顶 C 处。麦草沙障各部位植被盖度变化趋势与沙袋沙障相似,较大的植被盖度值分别出现的部位:背风坡底 A、坡中 B 及迎风坡底 E,在坡顶 C 和迎风坡中 D 处植被盖度较小。

沙袋沙障和麦草沙障 5 个部位植被生长变化情况相似,均是在迎风坡中 D 和坡顶 C 处植被生长情况较差,在沙丘的底部 A,E 处植被生长情况较好。分析可知:坡顶 C 位置处于沙丘最高处,在干旱的环境下,受到较大的光照强度,且时间较长,土壤及植物体水分散失严重,对植被的生长不利。另外,坡顶风速较大,受到风沙吹蚀严重,也造成沙丘土壤失水严重,干沙层较厚,不利于种子萌发,同时风沙打磨植被,严重影响该部位植被正常生长,导致植被生长情况较差,在迎风坡中上部也出现相似情况。由于沙障的保护作用背风坡没有出现明显的积沙现象,并且受到风沙影响较小,所以,该部位植被生长情况良好。

4 结论

通过对植物种数、植株平均密度、高度和盖度指标方差分析,沙袋沙障和麦草沙障的植被生长状况均显著优于对照($p<0.005$),但是,2 种沙障相比差异不显著($p=0.14$),说明与传统材料麦草沙障相比,沙袋沙障对植被的保护作用也十分明显。

(1) 在未铺设沙障前,沙丘植被盖度几乎为 0,铺设当年 9 月份,沙袋沙障和麦草沙障的植被平均盖度已分别达到了 27.4%和 26.4%,铺设第 2 a 和第 3 a 优于铺设当年的植被生长情况。虽然沙丘的植物种类没有明显变化,但是,植株平均密度、高度与平均盖

度与对照相比均有所增大。

综上所述结果认为,铺设沙袋沙障沙丘各部位植被生长情况存在差异,植被生长情况最好的位置是背风坡底 A 处,其次是背风坡中 B 和迎风坡底 E 处,植被长势最差的位置为坡顶 C 处。

度与对照相比均有所增大。

(2) 沙障设置规格不同,植被生长情况也存在差异。综合认为,各规格对植被的促进作用排序依次是 3 m×3 m 最大,2 m×2 m 次之,1 m×1 m 最小。

(3) 沙袋沙障和麦草沙障各部位的植被生长差异变化趋势相似,沙丘的中上部特别是迎风坡植被生长情况较差,沙丘底部 A,E 处植被生长情况较好。

在设置沙袋沙障时,为发挥其最优的防护效果,应该注重其设置规格、铺设位置的设计。本文主要是从植被恢复角度研究,最终总结认为,沙袋沙障应该铺设在沙丘迎风坡中下部,且不宜设置较小规格,这样既能达到削平沙丘、减少风蚀、使植被快速恢复的目的,又能够减少资金及人力、物力的投入。由于本研究仅涉及了 3 种规格,并且研究时间较短,建议在今后相关的研究中,多设计其它规格,并进行长期的观测与研究,以便得到更优的配置方案。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 高菲,高永,高强,等. 沙柳沙障对土壤理化性质的影响[J]. 内蒙古农业大学学报,2006,26(7):39-42.
- [6] 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.
- [7] 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.

(下转第 195 页)

出以下结论:(1)不同容重的土质在一定雨强条件下表现出一定的规律性。降雨初期,小区径流量、含沙量、剪切力和产沙量相对都较小,随着降雨时间的延长均逐渐增大;当降雨进行到一定时间后,各指标均会出现激增点,此后急剧增加,经过一段时间后,达到相对稳定状态。(2)25°坡度情况下,2种容重土样的径流剪切力、径流量、含沙量以及产沙量与野外的贴近程度都比较高,而且同一雨强情况下容重较大的土样的贴近度基本上都大于容重较小的土质。这说明要想达到与野外更好的相似性,容重 1.2 g/cm^3 的土质比 1.0 g/cm^3 的模拟情况更好。(3)在此次模拟试验下,各指标达到了一定的侵蚀相似性。通过本次试验研究,得到了关于侵蚀相似性的一些定性认识,但要给出侵蚀相似性的定量关系,尚需进一步深入研究。(4)采用非线性科学中的模糊贴近度理论方法对室内外降雨侵蚀产沙特性进行研究是一种新的尝试,非线性科学在侵蚀过程方面的应用研究很少,从非线性科学角度研究侵蚀产沙的工作有待进一步加强。

[参 考 文 献]

- [1] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社, 1995:78-99.
- [2] 刘秉正, 吴发启. 土壤侵蚀[M]. 西安:陕西人民出版社, 1997:175-186.
- [3] Poesen J W, Torri D, Bunte K. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review[J]. *Catena*, 1994, 23:141-166.
- [4] Bunte K, Poesen J W. Effects of rock fragment covers on erosion and transport of non cohesive sediment by shallow overland flow[J]. *Water Resources Research*, 1993, 29(5):1415-1424.
- [5] Poesen J W, Vandaele K, Wesemael B V. Gully erosion: importance and model implications, modeling soil erosion by water[J]. *NATO ASI Series*, 1998, 155: 285-311.
- [6] Larson W E, Lindstrom M J, Schumacher T E. The role of severe storm in soil erosion: a problem needing consideration[J]. *J. Soil and Water Cons.*, 1997, 52 (2):90-95.
- [7] Olson K R, Laflen J M, Norton L D. Evaluation of methods to study soil erosion-productivity relationships [J]. *J. Soil and Water Cons.*, 1994, 49(6):586-590.
- [8] 刘昌明. 黄河下游断流的径流序列分析[J]. *地理学报*, 2000(3):257-265.
- [9] 程义. 延河洪水输沙特征分析[J]. *水土保持学报*, 1992, 6(2):35-40.
- [10] 张胜利. 略论黄河中游水沙变化及水土保持减沙效益 [J]. *水土保持通报*, 1994, 14(3):8-10.
- [11] 李敏. 模型黄土高原建设与研究的若干问题探讨[J]. *中国水土保持*, 2005(12):7-9.
- [12] 徐向舟, 张红武. 坡面水土流失比尺模型相似性的试验研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1):25-27.
- [13] 管新建, 李占斌, 郑良勇, 等. 坡面径流水蚀动力参数室内试验及模糊贴近度分析[J]. *农业工程学报*, 2007(6): 1-6.
- [14] 刘育骥, 耿新宇, 肖辞源. 石油工程模糊数学[M]. 成都:成都科技出版社, 1994:121-128.
- [15] 李本海, 张序君. 分类问题的模糊决策分析[J]. *模糊系统与数学*, 1992, 6(1):28-32.
- [13] 马全林, 王继和, 詹科杰, 等. 塑料方格沙障的固沙原理及其推广应用前景[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(1):36-39, 58.
- [14] 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.
- [15] 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]. 中国博士学位论文全文数据库, 2009, 9.
- [16] 周丹丹, 虞毅, 胡生荣, 等. 沙袋沙障凹曲面特性研究 [J]. *水土保持通报*, 2009, 29(4):22-25, 80.
- [17] 吉兰泰盐化集团公司志编纂领导小组. 吉兰泰盐化集团公司志[M]. 内蒙古阿拉善:内蒙古人民出版社, 2003:53-76.

(上接第84页)

- [8] 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.
- [9] 屈建军, 凌裕泉, 刘贤万, 等. 尼龙网栅栏防沙效应研究 [J]. *兰州大学学报*, 2002, 38(2):171-176.
- [10] 王银梅, 谏文武, 韩文峰. 新型高分子材料固沙抗风蚀的风洞模拟实验[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(6):12-14.
- [11] 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.
- [12] 胡英娣. 几种化学固沙材料抗风蚀的风洞实验研究 [J]. *中国沙漠*, 1997, 17(1):103-106.