

毛乌素沙地 3 种主要植物群落的阻沙效益

刘冠志, 李青丰, 贺威, 刘果厚

(内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: [目的] 对毛乌素沙地天然沙蒿、沙柳和锦鸡儿这 3 种主要植物群落的阻沙效益进行分析, 为毛乌素沙地沙漠化防治及生态建设提供理论依据。[方法] 通过测定标杆风蚀沙埋程度, 分析各植物群落的风蚀量与阻沙量, 从而对其阻沙效益进行比较分析。[结果] (1) 植被盖度越大, 各植物群落的防风阻沙效果越明显; (2) 地形条件相似, 风速相同的情况下, 3 种植物群落在风蚀季节的临界防风蚀盖度不同。沙蒿群落的临界防风蚀盖度最小, 约为 60%, 沙柳群落与锦鸡儿群落的临界防风蚀盖度相对较大, 均大于 60%, 但锦鸡儿群落相对沙柳群落的临界防风蚀盖度小; (3) 相同盖度下, 3 种植物群落的风蚀量与阻沙量之和大小顺序为: 沙柳 > 锦鸡儿 > 沙蒿。[结论] 在毛乌素沙地固定、半固定沙地上, 沙蒿群落的防风阻沙效益突出, 可作为主要固沙植物进行推广。

关键词: 毛乌素沙地; 植物群落; 植被盖度; 临界防风蚀盖度; 阻沙效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0234-05

中图分类号: S157.1

文献参数: 刘冠志, 李青丰, 贺威, 等. 毛乌素沙地 3 种主要植物群落的阻沙效益[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 234-238. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.044

Efficiency of Sand Resistance of Three Main Plant Communities in Mu Us Sandland

LIU Guanzhi, LI Qingfeng, HE Wei, LIU Guohou

(College of Ecological and Environmental Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: [Objective] The state of wind erosion and sand resistance of three main natural plant communities, *Artemisia ordosica*, *Salix psammophyllia* and *Caragana microphylla*, in Mu Us Sandland, were demonstrated and the efficiency of sand resistance of them was analyzed in order to provide references for desertification control and environment preservation. [Methods] Erosion rods were set upright and the buried scales were observed to calculate the indices of wind erosion and sand resistance by the three communities. [Results] The large vegetation coverage was the high efficiency of sand resistance of these communities had. Under similar terrain condition and the same wind speed, their threshold vegetation coverage were different in erosive season. The critical vegetation coverage for controlling wind erosion of *Artemisia ordosica*, was about 60%, smaller than those of *Salix psammophyllia* and *Caragana microphylla*. The threshold vegetation coverage of *Salix psammophyllia* and *Caragana microphylla* were larger than 60%, but the former was bigger than the one of the latter. Under same coverage, the amount of wind erosion and sand resistance ranked as *Salix psammophyllia* > *Caragana microphylla* > *Artemisia ordosica*. [Conclusion] *Artemisia ordosica* had the most significant efficiency of sand resistance and be promoted to act as the main sand-fixation plant in Mu Us Sandland.

Keywords: Mu Us Sandland; plant communities; vegetation coverage; threshold vegetation coverage; efficiency of sand resistance

荒漠化是当今世界面临的最严重的自然-经济-社会问题之一, 倍受国际社会的关注。在中国所有荒漠化土地类型中, 风蚀荒漠化土地 $1.83 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占中国荒漠化土地的 69.82%^[1], 土壤风蚀是我国荒

漠化形成中最主要的土壤侵蚀类型。土壤风蚀是指土壤及其母质在风力作用下的剥蚀、分选与搬运的过程。它实质是气流或气固两相流对地表物质的吹蚀与磨蚀所塑造的地球景观的基本地貌过程之一, 是干

收稿日期: 2014-12-03

修回日期: 2014-12-27

资助项目: 公益性行业科研专项“北方防风固沙重要区经济利用限值研究: 毛乌素沙地生态承载力和利用限值研究”(201109025-01B); 草地资源可持续利用创新团队课题

第一作者: 刘冠志(1990—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 博士研究生, 研究方向为植物多样性保护与利用。E-mail: liuguanzhi1989@163.com。

通信作者: 李青丰(1959—), 男(汉族), 河北省元氏县人, 博士, 教授, 主要从事牧草种子等方面的研究。E-mail: LLFF202@126.com。

旱、半干旱地区形成风沙流、沙漠化与沙尘暴灾害的首要环节^[2-3]。阻止土壤风蚀的最有效、最经济、最持久,也是最根本的措施是提高植被覆盖度,以及选择良好的防风固沙植物。良好的植被条件,能产生相应的热力学效应、水文效应、动力效应,发挥改良土壤、提高生物多样性等功能,而使整个生态系统更为有序、复杂、稳定,进入良性循环,全面改善生态环境。然而,不同的物种具有不同的生物学特性,必须优先选择当地适宜、可快速建群并且具有良好阻沙效益的物种。

毛乌素沙地是一个脆弱的自然、经济、社会的复合生态系统^[4]。随着人类对环境不断地改变,生态的脆弱性不断显现,退化迹象十分明显。近年来,毛乌素沙地沙漠化过程导致耕地沙化和草场退化或为流沙所侵占,居民点、交通、水利工程及其他农牧业设施遭受风沙危害,土地生产量降低,生产潜力衰退,并导致可利用土地资源丧失。这些同时也使生态平衡遭受破坏,自然环境趋于恶化,对该地区的经济发展和人民生活造成严重后果。因此,对该区沙漠化土地的治理与退化生态系统的植被恢复重建技术研究具有相当强的代表性和典型性。毛乌素沙地是北方防风固沙重点试验区,也是众多专家学者关心的热点地区。尤其在沙漠化治理方面,对毛乌素沙地沙漠化成因^[5]、现状与分布特征^[6]、景观格局变化^[7]、沙化速度^[8]、不同下垫面风沙运动特征^[9]等方面进行了系统的研究。对其植物资源研究也比较深入^[10-11],但对不同植物资源的防风阻沙效果研究较少。本研究通过运用标杆测定毛乌素沙地沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙柳(*Salix psammophyllia*)和锦鸡儿(*Caragana microphylla*)3种主要植物群落风蚀沙埋状况的方法,比较分析其阻沙效益,力图寻求阻沙效益相

对较好的植物群落,为毛乌素沙地沙漠化防治及生态建设方面提供理论依据。

1 研究区自然概况

毛乌素沙地位于鄂尔多斯高原的南部和黄土高原的北部区域,位于北纬 29°27′—39°48′和东经 107°20′—111°53′,面积约 4×10^4 km²^[6]。毛乌素沙地属温带干旱和半干旱的大陆性气候。年平均气温 6.0~8.5℃;降水分布不均,从东南向西北逐渐减少,降水量在 250~440 mm 之间,降水变化大,70% 的降水量集中在每年的 7—9 月;年平均蒸发量 1 500~2 500 mm;沙区盛行西北风,冬春两季风力强劲且频繁,年平均风速 4.5 m/s。

毛乌素沙地以沙生植物为主,植被可以划分为 3 个地带与 3 大类群。3 个地带即为西部边缘向荒漠过渡的荒漠草原亚地带、占 90% 以上的中部和东部的干草原亚地带、东南缘森林草原过渡带(但由于沙基质的覆盖,在植被上差异不显著,一般仍划为干草原亚地带);3 大植被类群是指梁地上的草原与灌丛植被、沙丘与沙地上的沙生灌丛植被、滩地上的草甸、盐土与沼泽植被^[11]。地貌形态为波状起伏、梁滩相间、沙丘和甸子地结合并存,形成河谷间地、下湿滩、沙丘、湖泊交互排列的独特景观^[12]。

2 研究方法

2.1 样地设置

本试验选址毛乌素沙地腹地。以沙蒿、沙柳、锦鸡儿群落为研究对象,选取大小形状相似的典型沙丘(高度约 3.5 m,长度 40 m,宽度 35 m)为样地,共 9 个样地(表 1)。

表 1 试验样地设置

样地编号	风沙情况	植被情况
1	流动沙丘,风沙流动强烈	盖度为 20%
2	半流动沙丘,风沙流动较强烈	建群植物为沙蒿,盖度为 30%;零星的分布有沙蓬(<i>Agriophum pungens</i>),盖度为 1%
3	固定沙丘,沙面固结,大部分地表有沙结皮	建群植物为沙蒿,盖度为 60%;牛心朴子(<i>Cynanchum mongolicum</i>)盖度为 2%
4	流动沙丘,风沙流动强烈	建群植物为沙柳,盖度为 10%;拂子茅(<i>Calamagrostis epigeios</i>),盖度约 3% 以下
5	流动沙丘,风沙流动较强烈	建群植物为沙柳,盖度为 30%;沙蒿盖度在 5% 以下
6	半固定沙丘	建群植物为沙柳,盖度为 60%;沙蒿盖度为 5%,少量羊柴(<i>Hedysarum fruticosum</i> var. <i>laeve</i>),部分地表有沙结皮
7	半固定沙丘	建群植物为锦鸡儿,盖度为 20%;沙蒿盖度在 5% 以下,少量的苦豆子(<i>Sophora alopecuroides</i>)、蒲公英(<i>Taraxacum mongolicum</i>)
8	半固定沙丘,地势起伏低缓	建群植物为锦鸡儿,盖度为 40%;有少量的其他低矮植物,盖度小于 3%。沙面固结,部分地表有沙结皮
9	固定沙丘,地势平坦;沙面固结,部分地表有沙结皮	建群植物为锦鸡儿,盖度为 60%

2.2 试验方法与数据分析

试验在各植物群落中布设标杆,测量其风蚀沙埋状况,从而比较分析各植物群落下的阻沙效益。每根测杆直径约 1 cm,长 80 cm,在距下端 30 cm 处进行标记(测杆插入土壤深度为此标记与地面平行)。测杆的设置方法:每列测杆 10 个,每个测杆间距 5 m,一列垂直于风向(位于沙丘迎风坡),另一列平行于风向(测杆 1~6 位于沙丘迎风坡,测杆 7~10 位于沙丘背风坡)。2011 年 9 月在研究区进行插杆设置,2012 年 3 月植株尚未展叶时进行实地测量,监测研究区主要风蚀季节的风蚀沙埋状况。测量标记与地面的距离,当测杆标记露出地表,记为负值;当标记被埋于地下,记为正值。

运用 Excel 软件进行数据整理与分析, Sigmaplot 12.0 制图。

3 结果与分析

3.1 不同植物群落平行于风向的风蚀沙埋状况

受沙丘迎风坡与背风坡影响,沙丘平行于风向的风蚀沙埋过程具有连续性,因此采用折线图表示其变化规律(图 1)。曲线偏离 $X_{(0)}$ 轴上方表示出现阻沙(沙埋)现象,偏离 $X_{(0)}$ 轴下方表示出现风蚀现象。从不同盖度下沙蒿群落平行于风向测杆的风蚀沙埋状

况(图 1),可以看出,盖度分别为 20%,30%与 60%的 3 条曲线偏离 $X_{(0)}$ 轴的程度明显不同,且大小次序为:盖度 20% > 盖度 30% > 盖度 60%,说明沙蒿群落在盖度为 20% 的风蚀沙埋状况最为严重,盖度为 30% 次之,盖度为 60% 的风蚀沙埋程度最小。从而说明了,植被盖度与风蚀沙埋的关系,即植被盖度越大风蚀沙埋越小,反之,植被盖度越小风蚀沙埋越大。盖度小于 60% 的曲线在第 6 或第 7 测杆之后均开始大于 0(图 1),表现出阻沙状态,说明在平行于风向上,风沙流动受地形因素影响明显,在沙丘迎风坡呈风蚀状态,在沙丘背风坡呈阻沙状态。在同一沙丘的小尺度范围内,植物群落的阻沙量与风蚀量具有正相关关系,即随着植被盖度的增加(减小),沙丘迎风坡风蚀量减小(增加),其阻沙量也随之减小(增加)。

沙蒿群落盖度接近 60% 时,曲线的波动变小,且少数点为正向波动(图 1),表明该群落基本无风蚀现象,相反发挥着阻沙滞沙的作用。同时,表明沙蒿群落在风蚀季节的临界防风蚀盖度约为 60%。然而,沙柳和锦鸡儿群落在盖度为 60% 时曲线的波动均相对较大,且存在不同程度的上下波动,而沙柳群落曲线的波动明显大于锦鸡儿群落(图 1)。所以,沙柳和锦鸡儿群落在风蚀季节的临界防风蚀盖度均大于 60%,且沙柳群落的临界防风蚀盖度较锦鸡儿群落大。

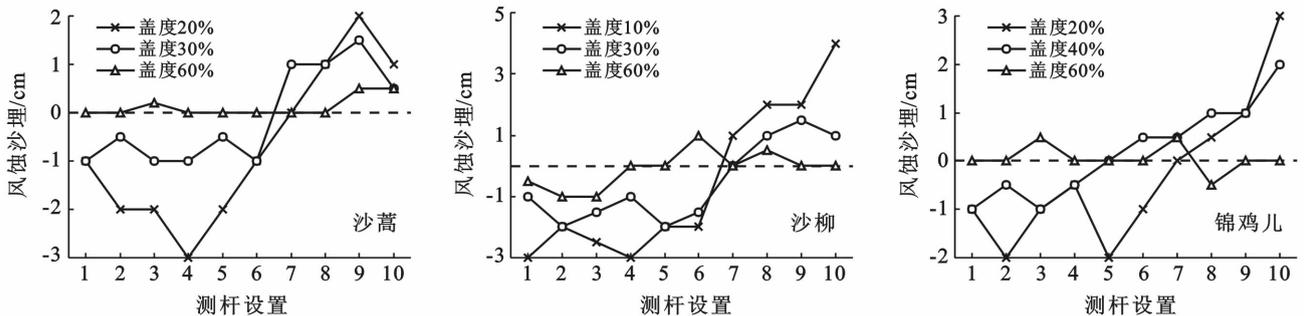


图 1 不同趋势群落平行风向测杆的风蚀沙埋状况

3.2 不同植物群落垂直于风向的风蚀沙埋状况

沙丘垂直于风向的风蚀沙埋状况不具有连续性。沙蒿、沙柳和锦鸡儿群落在垂直风向上测杆的风蚀沙埋状况显示(图 2),植被盖度仍然是影响土壤风蚀的关键因素。3 种植物群落盖度小于 60% 时均呈无规律的上下波动状态,说明布设在平行于沙脊的迎风坡上的测杆,相比平行于风向上的测杆,所受地形因子的影响相对减小。所以,各点所测得的数据差异明显,无规律性变化。盖度为 60% 时,3 种植物群落垂直于风向测杆的风蚀沙埋均呈中间风蚀两侧沙埋的规律性变化。同时,沙蒿群落偏离 $X_{(0)}$ 轴的程度最

小,最大风蚀 0.2 cm,最大沙埋 0.2 cm,基本无风蚀沙埋现象;锦鸡儿群落最大风蚀 1 cm,最大沙埋 0.5 cm;沙柳群落偏离 $X_{(0)}$ 轴程度最大,最大风蚀 2 cm,最大沙埋 1 cm。因此,3 种植物群落垂直风向的临界防风蚀盖度与平行风向的临界防风蚀盖度大小顺序相同,即表现为:沙蒿 < 锦鸡儿 < 沙柳。

3.3 3 种植物群落风蚀量与阻沙量比较分析

对试验中样地 3,样地 6 和样地 9 进行风蚀量与阻沙量比较分析,即对 3 种植物群落在相同盖度(60%)下进行风蚀量与阻沙量比较分析。曲线与 X 轴所围成的面积即为该盖度下群落所覆盖沙地的风

蚀量〔 $X_{(0)}$ 轴下方〕与阻沙量〔 $X_{(0)}$ 轴上方〕(图 3)。根据观测结果,在相同的风速与植被盖度下,不同植物群落的阻沙量的大小与其风蚀量有关,风蚀量越大,阻沙量越大。因此,在沙丘小尺度研究范围内,风蚀量与阻沙量之和更能够准确的反映不同植物群落的阻沙效益。平行于风向测杆的风蚀沙埋状况反映迎风坡至背风坡风蚀阻沙过程的连续性变化(图 3)。沙蒿群落落在迎风坡与背风坡呈阻沙状态;锦鸡儿群落在迎风坡呈部分阻沙,在背风坡呈先阻沙后风蚀的状态;沙柳在迎风坡呈风蚀状态,在沙脊与背风坡呈阻沙状态。

3 种植物群落与 X 轴所围成面积大小顺序明显为:沙柳>锦鸡儿>沙蒿。即相同风速与植被盖度下

平行于风向 3 种植物群落风蚀量与阻沙量之和的大小顺序为:沙柳>锦鸡儿>沙蒿。垂直于风向测杆的风蚀沙埋状况反映迎风坡风蚀阻沙过程的非连续性变化(图 3)。盖度为 60% 时,3 种植物群落均呈中间风蚀两侧阻沙的规律性变化。沙蒿群落曲线与 X 轴所围成面积最小,锦鸡儿群落曲线与 X 轴所围成面积较沙蒿的大,但较沙柳群落的小。因此,相同盖度下垂直于风向 3 种植物群落风蚀量与阻沙量之和的大小顺序亦为:沙柳>锦鸡儿>沙蒿。因此,在相同盖度下,沙蒿群落的风蚀量与阻沙量之和较锦鸡儿群落的小,锦鸡儿群落的风蚀量与阻沙量之和又较沙柳群落的小。即 3 种植物群落阻沙效益顺序为:沙蒿>锦鸡儿>沙柳。

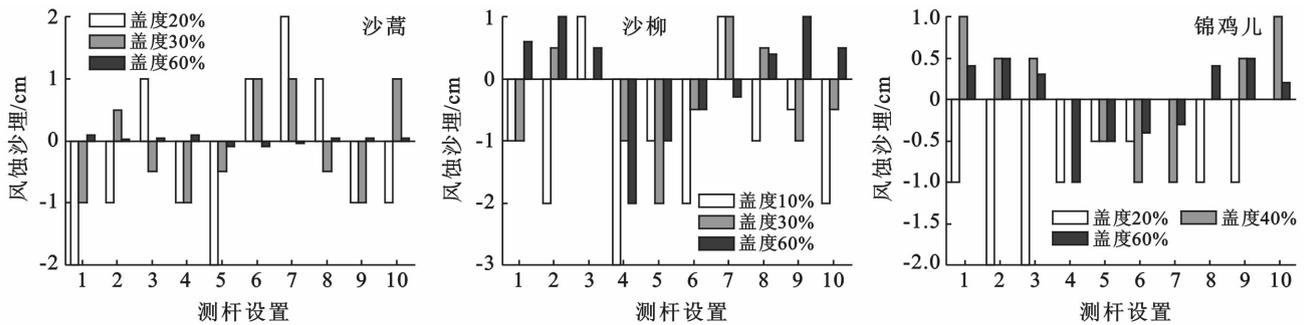


图 2 不同趋势群落垂直风向的测杆风蚀沙埋状况

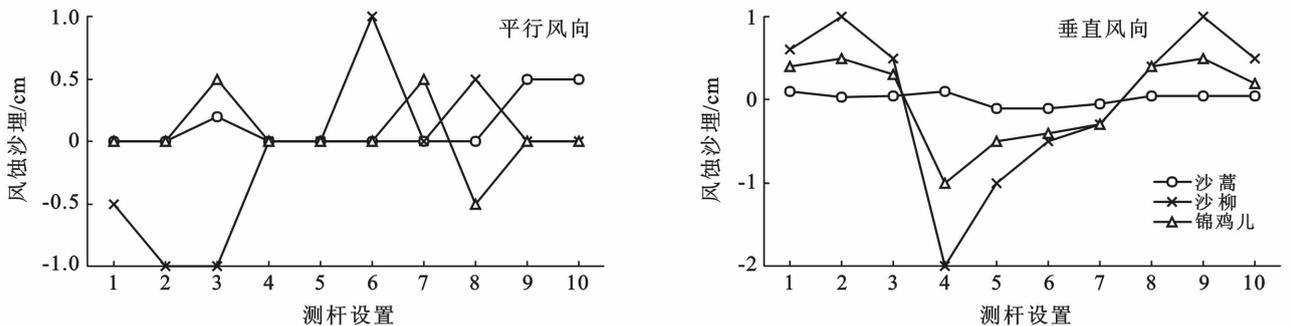


图 3 3 种植物群落平行风向和垂直风向的风蚀量与阻沙量(曲线与 X 轴围城的面积)

4 讨论与结论

气流受到单株植物的阻碍,在其周围形成绕流风场,但是在实际中沙蒿、沙柳、锦鸡儿都是以群落的形式存在,因此在防治土壤风蚀研究中,不仅要考虑单株植物,更要考虑植物群落的防护效应和机理。

在平行于风向上,沙丘迎风坡土壤风蚀严重,而背风坡沙埋明显,风蚀程度较小。这可以用董治宝、江丽娟等^[13-14]研究得出的迎风坡剪切风速与输沙强度均大于背风坡的结果进行解释。同时,在平行于风向上,风沙流动受地形因素影响明显。风沙流越过丘顶到达背风坡遇到植被而受阻,风速下降,携沙能力

下降,部分沙粒开始沉降;风沙流越过植被灌丛后,风速再次下降^[15],部分沙粒再次沉降。所以,迎风坡表现为较为严重的风蚀现象,而背风坡阻沙现象较为明显。因此,曲线在第 6 或 7 测杆后开始出现正向波动。

盖度小于 60%,垂直于风向测杆风蚀沙埋状况的变化不存在明显的规律性。分析认为,这与单一植株或株丛形成的流场对典型流动沙丘表面流场的作用密切相关。无植被覆盖的流动沙丘,其表面流场与形态相对稳定,风蚀与阻沙呈明显的规律性变化。当流动沙丘迎风坡被低盖度的植被所覆盖时,单一植株或株丛的流场对整个沙丘表面流场的作用十分明显,改变局部风蚀沙埋状态。因此,单一植株或株丛的阻

沙作用是影响测杆风蚀沙埋程度的关键因素。当沙丘的植被盖度为 60% 时,3 种植物群落覆盖下的测杆均呈中间风蚀两侧积沙的规律性变化。分析认为,随着植被盖度的增大,单一植株或株丛的阻沙效应相对减小,植物群落整体阻沙效果明显增大。因此,高覆盖度下垂直于风向测杆的风蚀沙埋状况呈明显规律性变化。研究样地沙丘为典型的凹型迎风坡沙丘,迎风坡以风蚀过程为主,伴随部分积沙过程,风蚀深度自下而上、自两侧向中间逐渐增大。本研究结果与姚洪林、李晓兰等^[16-17]的研究结果一致。

临界防风蚀盖度,即临界植被盖度,是指一定风速下土壤风蚀发生的最小植被盖度^[18]。植被能有效地控制土壤风蚀,但却无法彻底消除土壤风蚀危害^[19]。本研究样地为天然植被群落,具有随机分布特点,沙蒿群落的临界防风蚀盖度约为 60%,与王翔宇^[19]对不同配置格局沙蒿灌丛防风阻沙效果研究结果一致,当天然随机式分布沙蒿盖度达 60% 时,可基本控制地表风蚀。而人工建植的均匀式沙蒿群落的临界防风蚀盖度为 50%。因此,植被临界防风蚀盖度不仅与土壤性质、水分条件和风速条件有关,还与植被的配置格局有关。同时,植被的不同生长阶段具有不同的抗风蚀性^[20],因此,在风蚀季节较高的植被盖度才能防止强烈的风沙活动。

植被盖度、风速、地形都是影响地表风蚀沙埋程度的主要因子。在相同风速下,3 种植物群落不同盖度下的阻沙效益差异显著,随着植被盖度的增加,地表风蚀量与阻沙量均逐渐降低^[18],即其防风阻沙效果越明显。相同的植被盖度下,不同植物群落的阻沙效果也不同^[21]。植物本身生长特性及其所形成群落的透风系数的不同,决定了其阻沙能力的大小。即相同盖度下,风蚀量与阻沙量的大小与群落的透风系数密切相关。3 种植物群落的透风系数大小次序为:沙柳>锦鸡儿>沙蒿。因此,3 种植物群落的风蚀量与阻沙量之和大小顺序为:沙柳>锦鸡儿>沙蒿。在地表状况相似,相同风速下,不同植物群落的临界防风蚀盖度差异显著。沙蒿群落的临界防风蚀盖度最小,约为 60%,沙柳群落与锦鸡儿群落的临界防风蚀盖度相对较大,均大于 60%,但锦鸡儿群落相对沙柳群落的临界防风蚀盖度小。综上所述,3 种植物群落的防风阻沙效益顺序为:沙蒿>锦鸡儿>沙柳。建议在毛乌素沙地沙漠化防治及生态建设中,可以将沙蒿作为固定、半固定沙地的主要固沙植物来进行推广。

由于本研究是在布设标杆后第 6 个月进行实地测量,时间相对较短,需在后续一定的时间间隔内进行数据的补充,从而更为准确的对不同植物群落的防

风阻沙效益及其覆盖下沙丘所移动的规律进行测量与观察。同时,本研究对 3 种植物群落临界防风蚀盖度仅做了定性分析,定量研究还需在后续获得长期实测数据后进行。

[参 考 文 献]

- [1] 国家林业局. 第四次中国荒漠化和沙化状况公报[N]. 中国绿色时报, 2011-01-05(02).
- [2] 陈渭南. 蒙陕接壤地区土壤母质的风蚀试验研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 33-39.
- [3] 董治宝, 董光荣, 陈广庭. 风沙物理学研究进展与展望[J]. 大自然探索, 1995, 14(53): 30-38.
- [4] 马嵩乃. 遥感信息模型[M]. 北京: 北京大学出版社, 1997: 15-21.
- [5] 吴波. 毛乌素沙地的景观动态与荒漠化成因研究[D]. 北京: 中国科学院, 1997.
- [6] 郭坚, 王涛, 薛娴, 等. 毛乌素沙地荒漠化现状及分布特征[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 199-203.
- [7] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 192-196.
- [8] 姚建成, 陈文庆, 杨文斌. 毛乌素沙地综合治理试验示范区综合治沙技术的研究与推广[J]. 内蒙古林业科技[J]. 2002(4): 26-27.
- [9] 吴晓旭, 邹学勇, 王仁德, 等. 毛乌素沙地不同下垫面的风沙运动特征[J]. 中国沙漠, 2011, 31(4): 828-834.
- [10] 白岗栓, 李志熙, 张占山. 毛乌素沙地高等植物资源[J]. 草地学报, 2006, 14(2): 170-180.
- [11] 贺学林, 刘翠英. 毛乌素沙地资源植物研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(11): 197-202.
- [12] 李瑞凯, 刘玉萍, 黄玉忠, 等. 毛乌素沙地沙化土地动态变化的初步分析: 以乌审旗、鄂托克旗的局部地区为例[J]. 内蒙古林业调查设计, 2000(8): 8-11.
- [13] 董治宝, 郑晓静. 中国风沙物理学研究 50 a(II)[J]. 中国沙漠, 2005, 25(6): 795-815.
- [14] 江丽娟, 马高生. 新月型沙丘表面流场的数值模拟[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2010, 46(1): 48-58.
- [15] 杨婷婷, 姚国征, 王满才, 等. 乌兰布和沙漠天然灌丛防风阻沙效益研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(1): 195-197.
- [16] 姚洪林, 阎德仁, 胡小龙, 等. 毛乌素沙地流动沙丘风蚀积沙规律研究[J]. 内蒙古林业科技, 2001(1): 2-8.
- [17] 李兰晓, 苏世平, 李金昌. 流动沙丘的风蚀堆积特征对造林固沙的影响[J]. 水土保持通报, 1994, 14(7): 37-44.
- [18] 张春来, 邹学勇, 董光荣, 等. 植被对土壤风蚀影响的风洞试验研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 31-33.
- [19] 王翔宇. 不同配置格局沙蒿灌丛防风阻沙效果研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [20] 移小勇, 赵哈林, 李玉强. 土壤风蚀控制研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 905-911.
- [21] 岳德鹏, 刘永兵, 徐伟, 等. 北京市永定河沙地人工植被防风阻沙效益分析[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(2): 21-26.