

两种不同配置灌木林防风固沙效益

刘虎俊^{1,2}, 袁宏波¹, 王多泽¹, 刘淑娟¹, 郭春秀¹,
马瑞², 李学敏¹, 刘开琳¹, 万翔¹, 李菁菁¹

(1. 甘肃省治沙研究所 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室
省部共建国家重点实验室培育基地 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 探讨退化梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林和仿真灌木+梭梭灌木林对风沙流的风速、输沙通量及其沙粒的分布影响,为干旱区退化的防风固沙林功能恢复和建立提供参考。[方法] 同时测定不同高度下裸沙地、仿真灌木+梭梭林和梭梭林的风速、输沙通量及其沙粒径,比较分析其风速消减率、输沙通量变化及沙粒度随高度分布。[结果] 在风速 3.0~8.9 m/s 范围,仿真灌木+梭梭林内的 20 cm 高度的风速平均削减率达到 61.35%。梭梭林的输沙通量是仿真灌木+梭梭林的 1.5 倍,裸沙地平均输沙通量是仿真灌木+梭梭林输沙通量的 4.13 倍。梭梭林与仿真灌木+梭梭林的输沙通量随高度变化都呈指数递减,其风沙流含沙量及沙粒度的空间变化在 10 cm 以下较大。[结论] 仿真灌木+梭梭林降低了林地风沙流中黏粉粒(≤ 0.02 mm)向空气中输送量,改变了风沙流的沙粒度空间结构,迫使风沙流的输沙集中在较低层。**关键词:** 防风固沙灌木林结构; 风沙流结构; 输沙通量; 沙粒度

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2017)03-0063-04 中图分类号: X171.4, S157.1

文献参数: 刘虎俊, 袁宏波, 王多泽, 等. 两种不同配置灌木林防风固沙效益[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 63-66. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.011; Liu Hujun, Yuan Hongbo, Wang Duoze, et al. Benefits of windbreak and sand fixation from two kinds of shrubs[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 63-66. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.011

Benefits of Windbreak and Sand Fixation from Two Kinds of Shrubs

LIU Hujun^{1,2}, YUAN Hongbo¹, WANG Duoze¹, LIU Shujuan¹,
GUO Chunxiu¹, MA Rui², LI Xuemin¹, LIU Kailin¹, WAN Xiang¹, LI Jingjing¹

(1. Gansu Desert Control Research Institute & State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Department of Forestry, Gansu Agriculture University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] The benefits from two kinds of sand fixing shrub, *Haloxylon ammodendron* and *H. ammodendron* plus imitative shrub with regard to wind velocity, transported sand volume and transported sand diameter were illustrated to provide references for functional recovery and reestablishment of windbreak and sand fixation forest in arid region. [Methods] Wind speed, transported sand and sand diameter were observed simultaneously in stands of bare sandy land, *H. ammodendron* shrub and *H. ammodendron* plus imitative shrub. Their variations caused by the two shrubs were analyzed. [Results] The average reduction rate of wind velocity was 61.35% at the height of 20 cm when wind velocity was 3.0 to 8.9 m/s. The sand transporting quantities of *H. ammodendron* shrub and bare sandy land were 1.5 and 4.13 times of *H. ammodendron* plus imitative shrub. The sand transport rates of *H. ammodendron* forest and *H. ammodendron* plus imitative shrub both reduced with the height by exponential function. The wind-transported volume of sand and sand diameter grade shifted by wind in the two shrubs was both greater under 10 cm shrub height. [Conclusion] As resulted from the change of spatial distribution of wind-sand flux, the content of fine sandy grain (diameter ≤ 0.02 mm) was reduced, it was mainly concentrated in lower layer.

Keywords: shrub windbreak structure, wind-sand flux structure, transport flux of sand, sand parameter

收稿日期: 2016-11-06

修回日期: 2016-11-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“仿真固沙灌木构型及配置的防风固沙效应(31260201)”, “干旱内陆沙区丘间地植被生态过程及其驱动机制”(31460223), “基于土壤水分承载力的防风固沙林密度配置格局与防护效应研究”(31460221); 中央财政林业科技推广示范项目([2015]ZYTG5)

第一作者: 刘虎俊(1965—), 男(汉族), 甘肃省礼县人, 博士, 研究员, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: hujunliu66@163.com。

通讯作者: 袁宏波(1978—), 男(汉族), 甘肃省庆阳市人, 硕士, 副研究员, 主要从事荒漠生态研究。E-mail: piceayhb@163.com。

风沙活动是中国干旱区重要的自然灾害之一^[1],控制风沙危害对于工农业生产和人居环境改善具有重要意义。建立防风固沙林是一种有效的防治风沙危害方法,但受水资源限制,干旱区的治沙灌木林密度达不到固定流沙的数量^[1-2],因此在退化防风固沙灌木林设置沙障等,以提高防风固沙效能,达到防治风沙危害目标^[3]。防治沙害的有效措施是抑制或削弱风沙流的强度^[1-3],风沙流研究是防风固沙工程研究的基础内容之一。国内外学者对风沙流的研究已从其能量分布^[4]、沙粒轨迹^[5-6]、风沙流的垂向浓度分布及沙颗粒带电效应^[7]等多个角度进行了深入的探讨。除了风和沙决定风沙流特征,下垫面性质也是决定风沙流结构与变化的重要因素^[7]。灌木林的防风固沙效益通常应用风速变化、地表粗糙度及风沙流变化来表示,其影响作用取决于灌木林特征^[3]。国内外对风沙流的特征研究多集中于流动沙地^[4-6],对其空间结构的研究较多。对于不同结构的灌木林以不同下垫面模式影响风沙流的变化及沙粒度的空间分布的研究相对较少。输沙通量和沙粒空间分布模式是风沙流研究的重要内容,我们将仿真灌木^[9-11]设置到退化梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林,以期提高退化梭梭林的防风固沙效能,并对建立的仿真灌木+梭梭林和梭梭林的风沙流进行观测,探讨两种灌木林对风沙流的输沙通量及其沙粒的空间分布影响,为干旱区退化防风固沙林功能恢复和建立提供参考。

1 试验区概况

试验观测地设在中国西北干旱荒漠区的甘肃省民勤县治沙综合试验站。该区年平均降水量 116.2 mm,年平均蒸发量 2 643.9 mm;年平均有风的记录占 99.23%, ≥ 5.0 m/s 起沙风占全年有风日数的 13.08%,4 和 5 月为大风和沙尘暴多发月份。其境内没有地表水,通过大量开采地下水来维持农业生产,造成了区内地下水位降低,已经由建国初期的 1~3 m 下降到 2007 年的 22.66 m^[12]。在地下水位不断下降的背景下,防风固沙林退化,植被覆盖度降低,防风固沙林功能下降,调节防风固沙林结构以提高其功能是该区域防治风沙危害的重要研究内容。

2 研究方法

2.1 试验地选择

在 2015 年 9 月,选择“甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站”的近地面风沙观测场附近(38°37'44"N,102°55'10"E)作为野外观测试验场。试验布设在半固定沙丘上,沙丘高约 3 m,顶部较平坦,宽 200 m,沙丘上分布梭梭林,覆盖度为 13.0%~

18.0%,林内 70.0% 区域覆盖流沙,沙面半流动。观测场周围建有永久性气象站,设有高 50 m 的沙尘暴观测塔,地面布置垂直集沙仪和风速梯度观测系统等。

2.2 试验设计

试验设在民勤县治沙站的东南部半固定沙丘上,人工梭梭林的株高为 2~2.5 m,平均冠幅覆为 2.5×3.0 m²,生长不良,中间加有死株,覆盖度为 17.8% 左右。原有梭梭林的株行距(1 m×3 m),因部分植株死亡,植株密度为 3 株/100 m²。将仿真灌木^[11]配置到梭梭林中,仿真灌木的株行距为 1 m×3 m,形成等株行距结构的仿真灌木+梭梭林,组成 2 层结构灌木林,覆盖度为 34.3%。以没有灌木的裸沙地为对照,进行风沙流观测比较。

仿真灌木(也可以称之为“灌木形沙障”)无主干型,地下与地上部分总长度为 80 cm,地上高度为 40 cm,冠幅为 40 m×40 cm,冠幅覆盖度为 0.5 m²。地上枝分为 3 级枝序,各级枝序内枝等长,3 级枝有 20 枝,长度为 40 cm,自基部向枝梢逐渐变细,枝的直径为 2~3 mm,3 级枝上连接 2 级枝,2 级枝等长,长度为 15 cm,枝的直径为 1~2 mm;1 级枝长 5 cm,枝的直径为 1 mm;每枝 3 级枝上有 3 枝 2 级枝,每枝 2 级枝上有 9 枝 1 级枝,形成无主干,3 级枝系的仿真灌木。第 3 级枝全部集中到一起,凝结于根部;根没有 2 级根,没有任何侧根,根直径为 3~4 cm。

使用野外便携式风速廓线仪(ZL 02261931.3)观测记录风速,观测高度为 0~100 cm,每 10 cm 设置一组风杯,观测位置设在株后下风向 0.5 H(H 为仿真灌木高度)处。在仿真灌木+梭梭林和梭梭林内分别设置观测点,对照设在相应沙丘中部的裸沙地上,观测期的风速区间为 3.0~8.9 m/s,当地起沙风速约为 5.0 m/s。当沙面有明显流沙活动时进行风速记录,记录间隔为每 2 s/次,数据处理应用软件 Excel 进行对比分析。

2.3 计算指标

(1) 风速削减率(U_{Δ})

$$U_{\Delta} = \frac{U_s - U_{s_0}}{U_{s_0}} \times 100\%$$

式中: U_{Δ} ——被测林内相对风速变率; U_s ——林中或株后的风速; U_{s_0} ——对照风速,此试验为裸沙地的风速。

(2) 风沙流结构系数(S)

$$S = \frac{Q_{\max}}{\bar{Q}}$$

式中:S——风沙流结构系数; Q_{\max} ——最大输沙通量; \bar{Q} ——平均输沙通量。

2.4 观测方法

2.4.1 风速 林内观测点设置,在距灌木 0.5 H (H 为株高)的株前、株后、株间,将风杯按照 10, 20, 50 cm 的高度固定于同一根固定杆上测定 100 cm 高度范围的风速梯度值。在林前和林后 1 H 设置相同高度和梯度的对照观测。

2.4.2 输沙量 野外瞬时输沙通量利用 10 孔阶梯式集沙仪收集 0—20 cm 高度处输沙量,在风速观测的同时,同步收集输沙量,收集输沙量的时间为 5 min 时段。

3 结果分析

3.1 防风效应

所有观测的风速削减率分析结果表明,无论是 20 cm 高度还是 50 cm 高度,仿真灌木+梭梭林削减风速率均是随风速的增大而增加(图 1)。在风速 3.0~8.9 m/s 范围,20 cm 高度的风速削减率始终大于 50 cm 高度风速。但随着风速增大,风速削减率的差异量减小。在 50 cm 高度,风速平均削减率为 31.08%,不同风速的风速削减率的变异系数为 43.26%。在 20 cm 高度,风速平均削减率为 61.35%,不同风速的风速削减率的变异系数为 6.43%。在 20 cm 高度,仿真灌木+梭梭林平均风速削减率较大,且不同风速的削减程度差异不显著。在 50 cm 高度的风速为 3.0~3.3 m/s 时,仿真灌木+梭梭林平均风速削减率是 8.1~8.9 m/s 的风速削减率的 64.17%。当风速为 5.6~7.9 m/s 时,仿真灌木+梭梭林平均削减风速及其变异系数最大。

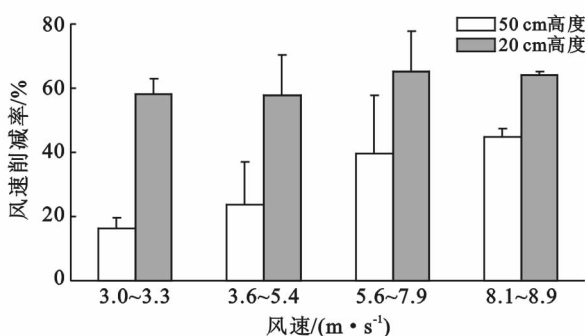


图 1 仿真灌木+梭梭林的风速削减率比较

3.2 固沙效应

在 20 cm 高度,裸沙地、梭梭林和仿真灌木+梭梭林输沙通量都随高度变化呈指数递减(图 2),相关系数 R^2 都大于 0.9。在 10 cm 高度内,裸沙地、梭梭林和仿真灌木+梭梭林输沙通量分别占总输沙通量的 79.62%,83.21%,86.76%,梭梭林的输沙量是仿真灌木+梭梭林的 1.5 倍,裸沙地平均输沙通量是仿真灌木+梭梭林输沙通量 4.13 倍。

比较不同高度输沙通量比值,裸沙地、梭梭林和仿真灌木+梭梭林平均输沙通量分别为 45.15, 24.17,16.24 g/(cm·s),而它们的风沙流结构系数则分别是 1.89,2.68,4.14,其中 0—2 cm 高度的输沙通量由此可见,梭梭林和仿真灌木+梭梭林底层。仿真灌木+梭梭林降低了林地输沙高度,具有固沙作用。

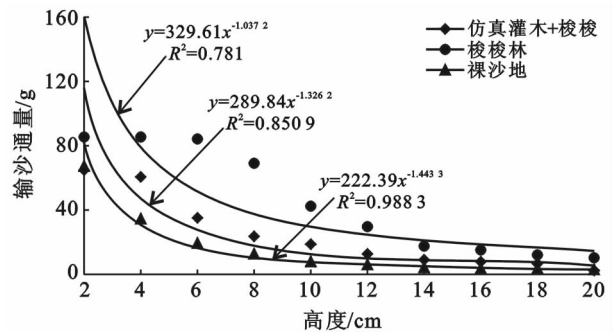


图 2 梭梭+仿真灌木、梭梭林和裸沙地的风沙流结构

随着高度变化,裸沙地、梭梭林和仿真灌木+梭梭林的累积输沙通量梯度不同(图 3)。仿真灌木+梭梭林累积曲线的截距(53.95)大于梭梭林的输沙通量累积曲线截距(41.32),裸沙地的输沙通量累积曲线截距最小(29.68),仿真灌木+梭梭林(变异系数为 74.67%)的输沙通量随高度变化小于裸沙地(变异系数为 457.92%)。在 10 cm 高度内,仿真灌木+梭梭林、梭梭林和裸沙地输沙通量分别占总输沙通量的 86.75%,83.21%,79.62%。在 12 cm 高度范围,仿真灌木+梭梭林的总输沙通量达到 90.28%。仿真灌木+梭梭林的迫使风沙流的输沙通量集中在较低层,底层含沙量大于裸沙地。

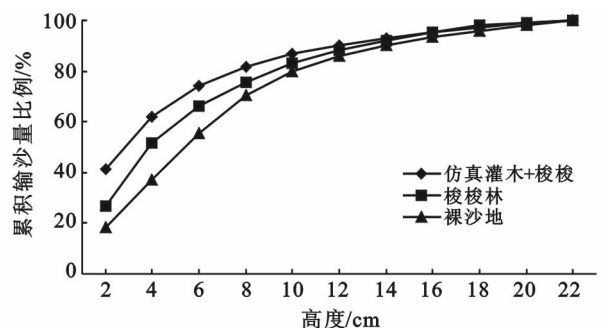


图 3 梭梭+仿真灌木、梭梭林和裸沙地的输沙量累积

3.3 粒度特征

在 20 cm 高度,裸沙地和仿真灌木+梭梭林的不同粒度的沙含量的差异主要在 5~10 cm 高度,裸沙地的风沙流含黏粒量是仿真灌木+梭梭林的 3 倍多,黏粉粒总含量则是 2 倍多,裸沙地和仿真灌木+梭梭林的风沙流黏粒分别占 56.75% 和 84.61%(图 4);

0~5 cm高度的裸沙地的黏粒含量是仿真灌木+梭梭林的 1.6 倍。仿真灌木+梭梭林的粗沙粒含量是裸沙地的 4 倍多。仿真灌木+梭梭林的风沙流中黏

粒量小于裸沙地的,仿真灌木+梭梭林降低了林地黏粉粒向空气中输送量,改变了风沙流的沙粒度的空间结构。

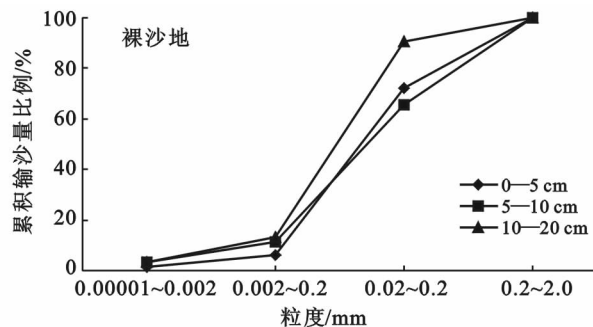
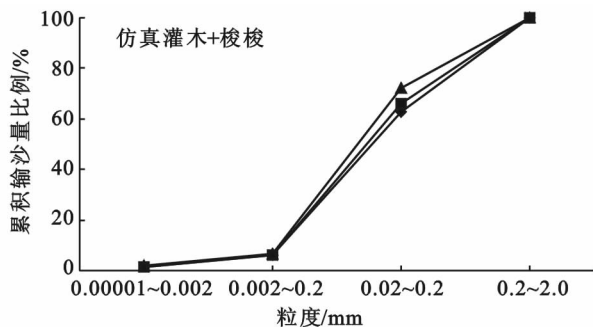


图 4 梭梭+仿真灌木、梭梭林和裸沙地的输沙量累积

4 讨论与结论

仿真灌木+梭梭林降低了林内风速,无论是 20 cm 高度还是 50 cm 高度,削减风速率均是随风速的增大而增加,且 20 cm 高度的风速削减率大于 50 cm 高度的。植物能够增加地表粗糙度,改变近地面流场,降低风速^[13]。

梭梭林和仿真灌木+梭梭林降低了林内输沙量,其风沙流的输沙通量都随高度变化呈指数递减,这和其他研究结果^[1-5,9,10]一致。但是 0—2 cm 层的仿真灌木+梭梭林的含沙量大于裸沙地,输沙集中在较低层。风沙流是风沙物理研究的重要内容,国内外学者提出了颇多输沙通量模型,均认为风沙流中沙量的垂直分布呈指数分布^[7]。大量研究结果表明^[13-20],气流搬运的沙量绝大部分(80%)集中分布在 0—10 cm 高度内。本研究观测的裸沙地的输沙通量(79.62%)接近该值,而仿真灌木+梭梭林(86.75%)、梭梭林(83.21%)的输沙通量略大于上述研究的结果值。

仿真灌木+梭梭林降低了林地风沙流中黏粉粒向空气中输送量,改变了风沙流的沙粒度的空间结构。植物具有降低近地层风速的作用,因此,在固沙的同时,并可使风沙流中的沙粒下沉堆积^[13]。植物的阻沙作用与覆盖度相关,当植被覆盖度达到 40%~50% 时,风沙流中 99% 以上的沙粒被阻截沉积^[13-14],不仅植被覆盖度影响风沙流,植被结构也决定起沙、风沙流携沙量及其空间结构^[15-20]。通常引用植物周围沉积沙量及其风沙流的输沙通量衡量植物单株与群落的阻沙能力^[1,13]。植物单株及群落具有阻沙固沙效应主要是因为风速降低,流场结构改变和植被覆盖度等。由于仿真灌木+梭梭林结构的梯度增加了灌木林层间数量,比梭梭林结构复杂,因

此仿真灌木+梭梭林不仅降低了输沙通量,而且改变了风沙流的沙粒级空间结构,降低了 20 cm 高度以上黏粒的空气中含量,具有防尘作用。

[参 考 文 献]

- [1] 张奎壁,邹受益. 治沙原理与技术[M]. 北京:中国林业出版社,1989:1-83.
- [2] 陈世雄. 沙坡头地区铁路两侧流沙上人工植被的生态效果[J]. 中国沙漠,1983,3(4):35-41.
- [3] 马全林,王继和,刘虎俊,等. 机械沙障在退化人工梭梭林恢复中的应用[J]. 干旱区研究,2005,22(4):526-532.
- [4] 刘贤万. 试验风沙物理与风沙工程学[M]. 北京:科学出版社,1995.
- [5] 董治宝,钱广强. 关于风沙流中风速廓线的进一步试验研究[J]. 中国沙漠,2003,23(6):71-824.
- [6] 李振山,倪晋仁. 风沙流研究的历史、现状及其趋势[J]. 干旱区资源与环境,1998,12(3):89-96.
- [7] 张克存,屈建军,俎瑞平,等. 不同下垫面对风沙流特性影响的风洞模拟研究[J]. 干旱区研究,2004,27(4):352-354.
- [8] 张钦仁,宋振鑫,王金艳,等. 植被参数变化对沙尘起沙影响机理的数值模拟[J]. 高原气象,2008,27(2):392-401.
- [9] 刘虎俊,王继和,李毅,等. 塑料网方格沙障对新月形沙丘迎风坡的风沙流影响[J]. 水土保持学报,2011,25(5):26-29.
- [10] 王继和,马全林,吴春荣,等. 仿真固沙植物[Z]. 中国,专利号:1038669[实用新型专利],2008.04.09.
- [11] 刘虎俊,朱国庆,郭春秀,等. 两种仿真固沙灌木防风效应的野外观测[J]. 水土保持通报,2014,34(4):155-159.
- [12] 常兆丰,赵明. 民勤荒漠生态研究[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,2006.

体、持水量、CEC 值、有机质、速效氮磷钾、甘草农艺性状和根鲜重呈正相关。功能性盐土改良肥最佳施用量为 24.95 t/hm^2 , 甘草鲜根理论产量(y)为 13.45 t/hm^2 。不同种类盐碱土改良剂对草甸盐土容重、pH 值、全盐和真菌由大到小的变化顺序依次为: 对照 > 沃丰隆盐碱土改良剂 > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 功能性盐土改良肥; 总孔隙度、团聚体、细菌、放线菌和酶活性由大到小的变化顺序依次为: 功能性盐土改良肥 > 抗盐丰盐碱土改良剂 > 沃丰隆盐碱土改良剂 > 对照。在甘肃省河西走廊草甸盐土上施用功能性盐土改良肥, 有效的改善了草甸盐土理化性质和生物学性质, 提高了土壤酶活性和持水量。

[参 考 文 献]

- [1] 金自学, 张芬琴. 河西走廊水资源变化对环境生态的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 37-40.
- [2] 赵松乔. 中国干旱半干旱地区自然资源研究[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 89-95.
- [3] 秦嘉海, 吕彪. 河西土壤与合理施肥[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2001.
- [4] 王晓洋, 陈效民, 李孝良, 等. 不同改良剂与石膏配施对滨海盐渍土的改良效果研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 128-132.
- [5] 张丹, 王力华, 孔涛, 等. 生物废弃物对滨海盐碱土改良效果[J]. 生态学杂志, 2013, 32(12): 3289-3296.
- [6] 赵秋, 高贤彪, 宁晓光, 等. 适用于滨海盐碱土改良剂的应用研究[J]. 西北农业学报, 2014, 23(3): 107-111.
- [7] 单德鑫, 黄河, 柳羽丰, 等. 改良剂组合对盐碱土的改良效果研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(35): 12491-12493.
- [8] 石万普, 俞仁培, 苗春蓬, 等. 不同物料改良碱化土壤作用的比较[J]. 土壤学报, 1997, 34(2): 221-224.
- [9] 王睿彤, 陆兆华, 孙景宽, 等. 土壤改良剂对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效应[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 239-244.
- [10] 谷思玉, 耿泽铭, 汪睿, 等. 不同配比生物有机肥对盐渍土改良效果的分析[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(7): 26-30.
- [11] 安东, 李新平, 张永宏, 等. 不同土壤改良剂对碱积盐成土改良效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 26(4): 239-244.
- [12] 秦嘉海, 吕彪. 河西土壤与合理施肥[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2001, 150-155.
- [13] 明道绪. 田间试验与统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 185-188.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 科学技术出版社, 1978: 110-218.
- [15] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 106-208.
- [16] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [17] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988: 268-269.
- [18] 陈伦寿, 李仁岗. 农田施肥原理与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983: 185-186.
- [19] 陕西省农林学校. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1987: 227-228.
- [20] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 166-170.
- [21] 陆欣. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004: 50-52.
- [22] 陕西省农林学校. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1987: 26-27.
- [13] 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试验[J]. 干旱区研究, 2009, 26(6): 944-948.
- [14] 唐艳, 刘连友, 屈志强, 等. 植物阻沙能力研究进展[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 44-48.
- [15] 黄富祥, 王明星, 王跃思, 等. 植被覆盖对风蚀地表保护作用研究的某些研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 627-633.
- [16] 黄富祥, 高琼, 毛乌素沙地不同防风材料降低风速效益的比较[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 27-31.
- [17] 董治宝, 陈渭南. 植被对风沙土风蚀作用的影响[J]. 环境科学学报, 1996, 20(4): 437-443.
- [18] 马瑞, 王继和, 刘虎俊, 等. 不同密度梭梭林对风速的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 249-252.
- [19] 李建刚, 王继和, 蒋志荣, 等. 民勤县主要治沙造林树种空间结构及其防风作用[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 121-124.
- [20] 杨文斌, 卢琦, 吴波. 低覆盖度不同配置灌丛内风沙流结构与防风效果的风洞试验[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 791-796.

(上接第 66 页)