

PLA 沙障对沙丘土壤粒径的影响分析

党晓宏¹, 虞毅², 高永¹, 袁立敏¹, 马迎宾³, 高君亮³, 王珊¹, 张惜伟¹

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 呼和浩特 010019;

2. 国际竹藤中心, 北京 100102; 3. 中国林业科学研究院 沙漠林业试验中心, 内蒙古 磴口 015200)

摘 要: PLA 可降解纤维是一种新型的固沙材料, 用它灌沙形成的筒状沙袋铺设于沙丘上, 可有效改变近地表风沙流结构及地表粗糙度等。PLA 沙袋沙障通过对地表风速影响, 进而影响沙丘表层土壤粒径的重新分布。本次试验通过对不同铺设规格沙障沙丘 0—11 cm 深土壤粒径的测定, 分析不同铺设规格和坡位等对土壤粒径的影响。结果表明: 2 m×2 m 铺设规格沙障对土壤粒径影响较大, 土壤平均粒径比未铺设沙障沙丘的大 16%, 1 m×1 m 规格影响最小; 同种规格沙障在坡顶处土壤粒径变化最大, 比未铺设沙障沙丘的大 21%, 迎风坡、背风坡分别比对照大 3.9%, 2.4%; 土壤深度不同, 粒径变化也不同, 地表 0—1 cm 土壤粒径变化最大, 比未铺设沙障沙丘的大 16%。因此可知, 沙障铺设后, 使得沙丘表层的土壤粒径增大。

关键词: PLA; 沙袋沙障; 铺设规格; 土壤粒径

中图分类号: S152.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)03-0016-04

Analysis on Impact of PLA Barrier on Soil Particle sizes of Sand Dunes

DANG Xiao-hong¹, YU Yi², GAO Yong¹, YUAN Li-min¹,

MA Ying-bin³, GAO Jun-liang³, WANG Shan¹, ZHANG Xi-wei¹

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University,

Hohhot, 010019, China; 2. International Center for Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;

3. Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: Biodegradable PLA fiber is a new type of fixing material. The tubular shapes of sandbags made of PLA are filling with sands, and are piled up on the sand dunes, which can effectively change the near-surface wind flow structure and roughness. Based on the impact to surface wind speed, PLA sandbag barriers can also impact the redistribution of soil particle sizes on the surface dunes. Through the measure of soil particle sizes in 0—11 cm in different specification sand barriers, this article discussed the impact of different specifications and different slope positions to soil particle sizes. The results showed that: specifications(2 m×2 m) of laid sand barrier has the greater impact on soil particle size, and soil particle sizes on average are 16% bigger than that of sand dunes without laid sand barriers. Instead, specification (1 m×1 m) showed minimum impact. Soil particle size in the same specification showed the most obvious change on the top position. They are 21% bigger than those of sand dunes without laid sand barriers. The soil particle sizes on windward slope of the leeward slope were 3.9% and 2.4% larger compared to the control; soil particle size changes with the different soil depth. Soil particle size of 0—1 cm depth changes most obviously, which is 16% bigger than that of sand dunes without sand barriers. Therefore, It can be seen that the sand particle size of dunes surface increases after the laying of sand barrier.

Key words: PLA; ballast sand barrier; layout specifications; soil particle size

沙漠化是指干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不相协调所造成的以风沙活动为主要标志

的土地退化^[1]。沙漠化已经成为人类可持续发展的严重障碍,也是人类在环境问题上面面临的巨大挑战。

收稿日期: 2013-11-12

修回日期: 2013-12-10

资助项目: 国家林业行业专项“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: 党晓宏(1986—),男,陕西省合阳县人,博士研究生,研究方向为荒漠化防治。E-mail: dangxiaohong1986@126.com

通信作者: 高永(1962—),男,内蒙古包头人,博士,教授,博士生导师,主要从事荒漠化防治研究。E-mail: 13948815709@163.com

我国是世界上受到土地沙漠化危害最严重的国家之一,其中沙漠化土地占国土面积 18% 以上,因此防治土地沙化的任务迫在眉睫^[2]。我国沙漠化系统研究及治理工作始于 20 世纪 50 年代,目前我国沙漠治理的方法和技术已经取得一定成果^[3]。其中设置机械沙障是治理土地沙漠化有效防治措施之一^[4],对其铺设的规格、防护原理已有许多学者研究探讨^[4-7]。例如半隐蔽格状沙障可以增加地表粗糙度,有效降低近地表风速,明显减弱输沙强度及形成稳定凹曲面等,同时沙障对土壤具有明显改良作用^[8-9],还可以改善局部小气候^[10-11]。常用的机械沙障材料以柴草、黏土等为主,而类似于柴草、沙柳沙障在光、热及微生物的作用下降解,导致寿命缩短,而且有些地方柴草、黏土相对短缺,运输不方便。因此探索开发一种高效、防护作用时间长、方便运输的沙障材料已成为目前急待解决的问题。项目组从日本引进 PLA(Poly Lactic Acid)纤维制作沙障,具有简单轻便易运输、使用寿命长、防护作用久、抗老化、耐高温、并无二次污染的环保型防沙固沙材料。PLA 沙袋沙障是将 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。土壤机械组成是影响土壤水肥状况的关键因子^[12-13]。土壤中粒径大小及组成对养分的吸附强度有很大的影响^[14],研究土壤的颗粒组成对指导土壤改良有着重要的现实意义^[15-17]。

本试验以铺设 PLA 沙袋沙障的沙丘为研究对象,对其进行实地采样,经过对障内、障外地表 0—11 cm 沙粒的粒径进行实验测定,数据对比分析,得出 PLA 沙袋沙障对沙丘表层土壤粒径的影响,进而以土壤粒径为参数确定最优的沙障规格,为 PLA 沙障在防沙治沙中的应用提供理论依据和技术参数,为新型沙障的研制与发展奠定理论基础。

1 试验区概况

本试验区位于内蒙古自治区阿拉善左旗吉兰泰镇,地处乌兰布和沙漠西南缘,北纬 39°48′14″、东经 105°42′45″,因气候干燥,植被破坏,强烈风蚀作用等造成流沙四起,形成沙漠景观类型:新月形沙丘和沙丘链、垄状沙丘、格状沙丘、灌丛沙堆、风蚀洼地。海拔 1 030~1 045 m。沙漠远离海洋湿润气流难以进入,加之贺兰山和巴音乌拉山阻隔,同时因受蒙古高压冷空气的影响,造成了该区冬寒夏热、气候干燥、光照丰富、降水少蒸发强、风大沙多的温带荒漠气候特征,年均最高气温 16.7℃,年均最低气温 4.7℃,年平均降雨量为 107.8 mm,多集中在 6—8 月 3 个月,年平均蒸发量为 2 956.8 mm。年平均风速为 3.4

m/s,主要风向为西南风和东北风,风速最大为西北风,年大风日数平均为 33.9 d,扬沙日数为 85.4 d,最大风速为 23 m/s。

试验区土壤属分布在棕钙土向荒漠土过渡的沙地土壤,主要类型有:灰漠土、盐渍土、风沙土、间或有盐化草甸土分布;在植物种类组成上,藜科植物占有最大的数量,沙米(*Agriophyllum squrosum* L. Moq.)、猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)是雨季构成沙区植被的主要物种,菊科的蒿属植物,特别是油蒿(*Artemisia ordosica* Krasch.)在此起着明显的建群作用,白刺属的种是构成本沙区沙生荒漠植被的重要建种群,怪柳科的红砂(*Reaumuria songarica* Pall. Maxim.)在平坦地区构成群丛。由于沙地或覆沙地的广泛分布以及人为活动的干扰,地带性植被破坏严重,大面积的原始梭梭林被破坏,试验区周围有人工种植的籽蒿(*Artemisia sphaerocephala* Krasch.)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*(C. A. Mey.) Bge.)、阿拉善沙拐枣(*Calligonum alaschanicum* A. Los.)、胡杨(*Populus euphratica* Oliv.)。

2 试验材料及方法

试验地选择在距吉兰泰镇西北约 10 km 处,试验选择在坡度较为平缓的沙丘上,2007 年 5 月在不同沙丘沿沙丘走向在相同部位分别铺设边长为 1 m×1 m,2 m×2 m,3 m×3 m 的三种不同铺设规格的 PLA 沙袋沙障(以下简称 1 m×1 m,2 m×2 m,3 m×3 m),沙障的铺设垂直于主风向。沙障带宽约 50 m,长 40~60 m 不等(根据地形铺到沙垄两侧底部),沙障障高约 15 cm。

在铺设沙障的沙丘按照不同坡位(迎风坡、坡顶、背风坡)、障格内不同位置(如图 1 所示)及不同土层深度分别进行取样。由于沙丘不是很高,沙障在迎风坡和背风坡两侧跨度不大,故无需在迎风坡和背风坡的坡底、坡中分别取样,只在迎风坡、坡顶、背风坡上随机选取 3 个障格,在每个障格内的 5 个点(图 1)上分别采用高永等研制出来的风沙土分层取土器^[18],取土厚度 1 cm,分别采取距地表 0—1 cm,2—3 cm,4—5 cm,6—7 cm,8—9 cm,10—11 cm 六层土样,每层约取 50 g 左右,装入密封袋密封,并标注取样点信息,同时在该沙丘上的 3 个坡位未铺设沙障处取土样作为对照(CK),每个取样点设置 3 次重复。将取完土在实验室样风干,采用四分法选取 5 g 试验样品利用 Rise-2008 型激光粒度分析仪测定土壤粒径,每个样品 3 次重复^[19]。试验数据处理采用 Excel 和 SAS 9.0 处理。

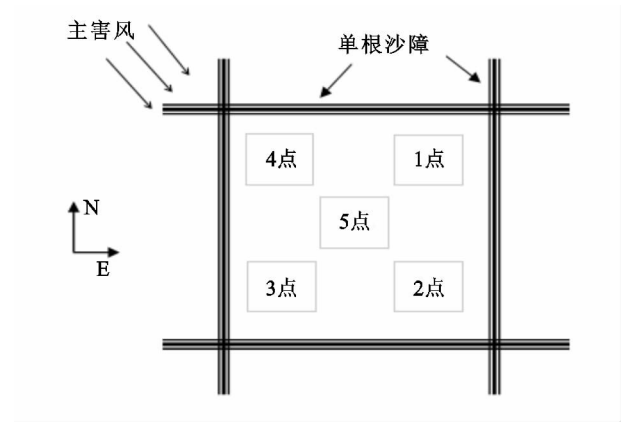


图 1 土壤样点采集示意图

3 结果与分析

3.1 PLA 沙袋沙障不同铺设规格沙丘土壤粒径总体分析

将 3 种铺设规格沙丘土壤粒径数据取得均值后分析得出:PLA 沙袋沙障 1 m×1 m,2 m×2 m,3 m×3 m 规格沙丘土壤粒径分别为 0.26 mm,0.29 mm,0.27 mm,比对照沙丘的 0.25 mm 分别增大 4%,16%,8%。2 m×2 m 规格沙丘对土壤粒径影响最大,3 m×3 m 次之,1 m×1 m 规格对土壤粒径影响最小。总体来说,沙丘铺设沙障后,其粒径有增大趋势。经分析可知,沙障能改变地表粗超度,使近地表的风速减弱。当风沙流携带上游的饱和风沙流遇到沙障后降低风速,在障格内形成小范围紊流,动力不足导致由于重力作用的较大粒径沙粒掉落在障格内,而后未饱和的风沙流在动力不足的条件只能吹走地表细小沙粒。由于铺设的规格不同,沙障对风的影响程度不同,导致 3 种铺设规格沙丘的土壤粒径有一定的差别。

3.2 不同铺设规格沙障沙丘不同坡位土壤粒径分析比较

3.2.1 铺设沙障沙丘不同坡位土壤粒径整体分析
据测定 3 种铺设规格沙障的沙丘迎风坡、坡顶及背风坡的土壤粒径分别为 0.267,0.300,0.253 mm;而对照沙丘分别为 0.257,0.248,0.247 mm。分别对 3 种规格沙丘土样平均粒径对比分析得出,铺设沙障沙丘的 3 个坡位土壤粒径均大于对照沙丘。在背风坡,铺设沙障沙丘和对照沙丘土壤粒径都小于迎风坡和背风坡。通过计算可知,铺设 PLA 沙袋沙障的沙丘,迎风坡、坡顶、背风坡土壤粒径分别比对照沙丘土壤粒径大 3.9%,21%,2.4%。

经过分析可知,饱和风沙流在携带沙粒遇到沙障阻碍时,风速减小导致风沙流不饱和,而粒径较大的沙粒由于重力作用会落在沙障内,这样就表现为有 PLA 沙障沙丘的土壤粒径大于未铺设沙障的对照沙

丘。由于坡位不同,受风的影响不同,坡顶当风沙流经过迎风坡时受到抬升作用,风速有所削弱,粒径较小的细沙会沉降在背风坡,因此沙丘在背风坡的粒径要小于迎风坡和坡顶。

3.2.2 不同铺设规格沙丘 3 个坡位的土壤粒径比较分析
将 1 m×1 m,2 m×2 m,3 m×3 m 这 3 种规格沙障的不同坡位障内土壤粒径取平均值,分别得到各铺设规格沙障沙丘不同坡位的土壤平均粒径,再分别与对照地进行比较分析后得到图 2,可以看出 2 m×2 m 规格在沙丘坡顶处对土壤粒径影响最明显。由图 2 可看出,3 种铺设规格沙障沙丘坡顶的土壤粒径都大于对照沙丘,1 m×1 m 迎风坡土壤粒径小于对照沙丘,3 m×3 m 背风坡土壤粒径小于对照沙丘。其中 2 m×2 m 无论在迎风坡、坡顶还是背风坡,土壤粒径都大于对照。

经分析可知,沙袋沙障在坡顶对土壤粒径影响较明显。由于沙障的影响,风沙流经过沙障带时风速减小,粒径较大的颗粒不再随风移动,落在坡顶障内,导致坡顶土壤粒径明显大于迎风坡和背风坡;随着风沙流的继续运动,到达背风坡以后,由于风速的减小,携沙能力也在减小,风沙流中较大粒径的颗粒落到背风坡障内,同时又带走了背风坡沙障内地表粒径较小的沙粒,最终导致背风坡土壤平均粒径小于迎风坡和坡顶,大于对照。

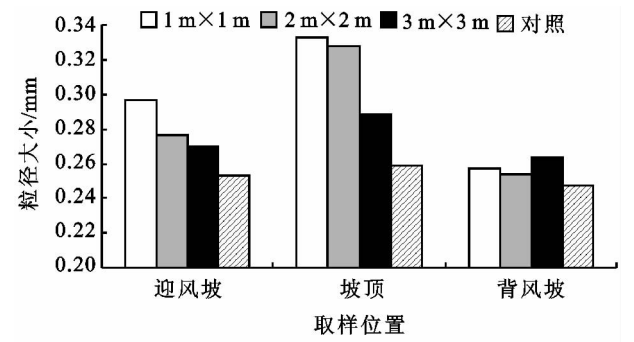


图 2 不同规格沙障在不同坡位对土壤粒径的影响

3.3 PLA 沙袋沙障障格内不同位置粒径分析

3.3.1 PLA 沙袋沙障障格内 5 点土壤粒径总体分析
将所有沙障规格内相同位置的土样粒径取平均,可以看出,铺设 PLA 沙障后障格内各位置土壤粒径均较对照显著增大(除二点处外),其中四点处变化最为明显,比对照沙丘土壤粒径大 16%,一、三、五点处土壤平均粒径比对照分别增大 7.7%,4%,3.8%(见表 1)。

| 表 1 障格内不同位置土壤粒径比较分析 mm | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| 取样位置 | 1 点 | 2 点 | 3 点 | 4 点 | 5 点 |
| 铺设沙障沙丘 | 0.28 | 0.25 | 0.26 | 0.29 | 0.27 |
| 对照沙丘 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.26 |

3.3.2 PLA 沙袋沙障不同规格障格内 5 点土壤粒径分析
将不同规格沙障障格内各点的所有土样粒

径取平均,得到各规格内不同位置的土壤粒径,再与对照沙丘土样进行对比分析。由图 3 可以看出,铺设 PLA 沙障后,各规格沙障障格内在一点、四点、五点处土壤粒径明显增大,尤其 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 在四点更为明显。在二点和三点处 3 种规格土壤粒径都有减小。经分析可知,一点和四点在障格内处于相对背风的位置,当风进入沙障后,容易在这二点形成涡流,对粒径较小的细粒吹蚀严重,而粒径较大的沙粒容易在此沉积;二点和三点则处于相反的位置,各粒径沙粒都容易受到风的影响;而五点位于沙障中心,是凹曲面形成的中心位置,土壤粒径变化较大。由于障格内不同位置受风的影响程度不同,导致土壤粒径变化不一致。由图 3 可以看出风在吹向一点、四点之前受到了沙障的阻碍,此处粒径较大的沙粒不容易被风搬运,而粒径较小的颗粒则容易受到风的掏蚀,所以在这二点土壤粒径增幅较大。

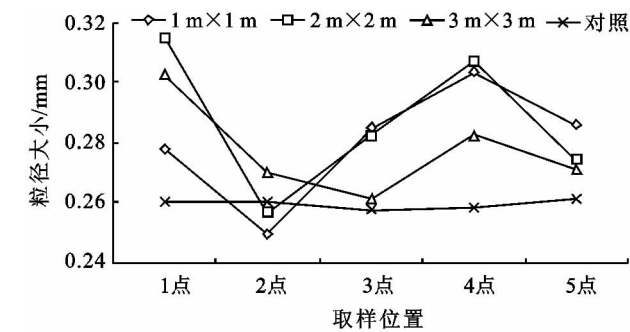


图 3 不同规格障格内不同位置土壤粒径变化

3.4 PLA 沙袋沙障障格内不同深度粒径分析

3.4.1 PLA 沙袋沙障障格内不同深度粒径总体分析 将所有沙障内同一深度的土样粒径取均值后分析得出,由于土层深度不同,受风的影响程度不同,受沙障的作用也不同,铺设 PLA 沙障后,0—11 cm 内土壤粒径明显变大。地表处土壤粒径变化最为明显,0—1 cm 内土壤粒径比对照大 16%。3 cm 以下变化减小,约比对照大 12%。到 11 cm 深度仅比对照大 4.8%(图 4)。经分析可知,在近地表由于沙障对风的扰动作用较大,导致地表粒径变化最明显,其粒径均大于对照沙丘;随深度的增加,受风的影响逐渐减弱,因此下层土壤粒径变化趋于稳定,其变化规律与对照沙丘几乎相同,但是由于铺设沙障的作用,其粒径仍比对照大。

3.4.2 PLA 沙袋沙障不同规格不同深度土壤粒径分析 对各规格沙障内相同深度的土壤粒径分别取平均,然后与对照沙丘相同深度的土壤粒径进行对比分析,可以看出不同铺设规格沙障对沙丘不同深度土壤粒径的影响。

由图 5 可以看出,铺设不同规格沙障,不同土层深度土壤粒径变化各异,铺设沙障后,沙丘 0—11 cm

内土壤粒径均大于对照。其中 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 影响最明显,在不同深度对土壤粒径都有明显改变,平均比对照高出 14%。 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 在近地表处土壤粒径变化较大,在 3 cm 深处土壤粒径略高于 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。在 3 cm 以下土层, $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 和 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 沙障作用逐渐减弱,尤其 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$,在 3 cm 以下粒径仅比对照大 1.2%,到 11 cm 深处粒径变化更是微乎其微。经分析知,PLA 沙障 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 铺设规格对土壤粒径的影响最明显,对 0—11 cm 土层内其它深度土壤粒径都有明显的影响。

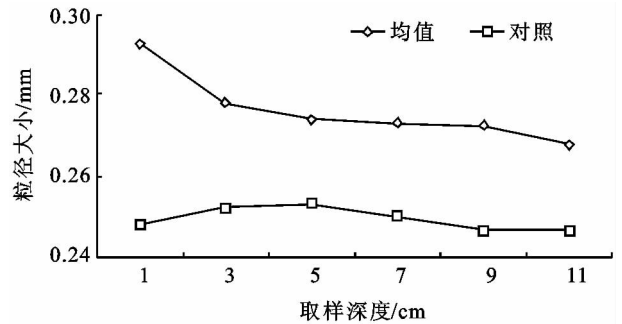


图 4 障格内不同深度土壤粒径变化

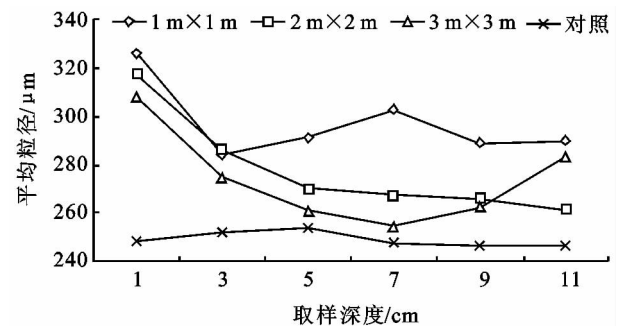


图 5 不同规格沙障障格内不同深度土壤粒径变化

4 结论

(1) 不同规格 PLA 沙袋沙障对土壤粒径均有不同程度的影响,沙障铺设样地土壤粒径不同程度的增加,土壤深度不同,增加趋势各异,在地表及近地表,土壤粒径变化最大,较对照高出 16%,随深度增加,土壤粒径变化相对稳定,大体趋势与对照一致。3 种沙障规格对土壤粒径的影响效果 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 表现最明显, $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 次之, $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 最小。

(2) 沙袋沙障在坡顶对土壤粒径影响较明显,3 种规格沙障沙丘坡顶的土壤粒径均大于对照, $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 规格沙障沙丘迎风坡、坡顶、背风坡的土壤粒径都大于对照样地相应部位, $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 和 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 规格沙障随坡位变化规律不是十分明显。

(3) 沙袋沙障障格内不同位置沙粒粒径分布不同,障格迎风向第一拐角处土壤粒径变化最大,障格中心,是凹曲面形成的中心位置,粒径变化不是很大。

出侵蚀沟的沟头溯源侵蚀加长和沟头下切加深是在沟蚀的最初阶段实现的;沟蚀发育的中期阶段,下切侵蚀和溯源侵蚀活跃;侵蚀沟沟壁扩张在沟蚀的后期阶段较为显著,同时也标志着沟蚀发育处于稳定阶段。

(2) 坡面 3.5~5.5 m 坡长处是沟蚀发育最为活跃的地方,且随着降雨过程的进行,侵蚀活跃区向坡面上部移动。

利用 GIS 的断面分析方法能够比较准确地提取侵蚀沟的发育形态参数,展现沟蚀的发育特征。通过对多个连续断面的时空分析,能够展现坡面整体的变化特征,为定量研究土壤侵蚀的变化过程提供了新的思路。由于受到断面数量和位置的限制,以及人为观测的误差,会对结果造成一定影响,在后续的研究中可以通过增加断面数量来达到精确定量研究的目的。

参考文献:

- [1] 唐克丽.黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径

[M].北京:中国科学技术出版社,1991:41-42.

- [2] 张鹏,郑粉莉,王彬,等.高精度 GPS,三维激光扫描和测针板三种测量技术监测沟蚀过程的对比研究[J].水土保持通报,2008,28(5):11-20.
- [3] 余叔同,郑粉莉,张鹏.基于插件技术和 GIS 的坡面土壤侵蚀模拟系统[J].地理科学,2010,30(3):441-445.
- [4] 张姣,郑粉莉,温磊磊,等.利用三维激光扫描技术动态监测沟蚀发育过程的方法研究[J].水土保持通报,2011,31(6):1-6.
- [5] 马玉凤,严平,时云莹,等.三维激光扫描仪在土壤侵蚀监测中的应用[J].水土保持通报,2010,30(2):177-179.
- [6] 唐强,鲍玉海,贺秀斌,等.土壤侵蚀监测新方法和新技术[J].中国水土保持科学,2011,9(2):11-18.
- [7] 霍云云,吴淑芳,冯浩,等.基于三维激光扫描仪的坡面细沟侵蚀动态过程研究[J].中国水土保持科学,2011,9(2):32-37.
- [8] 傅炜.GIS 数字地形模型的建立及应用研究[J].陕西师范大学学报:自然科学版,2001,29(2):92-97.
- [9] 汤国安.地理信息系统教程[M].北京:高等教育出版社,2007:131-132.

(上接第 19 页)

参考文献:

- [1] 王涛,朱震达.我国沙漠化研究的若干问题[J].中国沙漠,2003,23(3):209-214.
- [2] 李大勇.浅析我国土地沙漠化及治理中存在的问题[J].陕西广播电视大学学报,2008,10(2):35-37.
- [3] 王淘,赵哈林,肖洪浪.中国沙漠化研究的进展[J].中国沙漠,1999,19(4):299-311.
- [4] 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.
- [5] 凌裕泉.草方格沙障的防护效益:腾格里沙漠沙坡头地区流沙治理研究[M].银川:宁夏人民出版社,1980.
- [6] 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.
- [7] 常兆丰,仲生年,韩福贵,等.粘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.
- [8] 高国雄,李广毅,高宝山,等.煤矸石障蔽对沙地土壤的改良作用研究[J].水土保持学报,2001,15(1):102-104.
- [9] 王文彪,党晓宏,张吉树,等.库布齐沙漠北缘不同作物秸秆平铺式沙障防风效益研究[J].中国沙漠,2013,33(1):65-71.
- [10] 高宝山,高国雄,朱首军.煤矸石沙障小气候效应的观测研究[J].陕西师范大学学报:自然科学版,1999,27

(增刊):159-163.

- [11] 王健,桑长青,何清.塔克拉玛干沙漠公路中段两侧不同下垫面的小气候分析[J].中国沙漠,2003,23(5):577-580.
- [12] 李生宇,雷加强.草方格沙障的生态恢复作用:以古尔班通古特沙漠油田公路扰动带为例[J].干旱区研究,2003,21(1):7-10.
- [13] 韩致文,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沙机理风洞模拟实验[J].中国沙漠,2000,20(1):40-44.
- [14] 庞学勇,刘世全,刘庆,等.川西亚高山针叶林植物群落演替对土壤性质的影响[J].水土保持学报,2003,17(4):42-50.
- [15] 魏义长,康玲玲,王云璋,等.水土保持措施对土壤物理性状的影响[J].水土保持学报,2003,17(5):114-116.
- [16] 黄冠华,詹卫华.土壤颗粒的分形特征及其应用[J].土壤学报,2002,39(4):490-497.
- [17] Chepil W S. Dynamics of wind erosion:V. The translocation and abrasive action of the wind[J]. Soil Science, 1946,61(2):167-177.
- [18] 虞毅,高永,汪季,等.一种分层采取土壤样品取土器[P].ZL201020633704.X.
- [19] 刘雪梅,黄元仿.应用激光粒度仪分析土壤机械组成的实验研究[J].土壤通报,2005,36(4):579-582.