

模块沙障对土壤微生物和酶活性变化的影响

闫德仁,袁立敏,胡小龙,黄海广

内蒙古自治区林业科学研究院荒漠化防治研究所,呼和浩特 010010

摘要 按照生态系统组成特征,在流动沙地人工构建了集防风固沙、局部土壤改良和植被恢复3大功能于一体的模块沙障。为掌握模块沙障对局部土壤生物特性的影响程度,测定了土微生物含量和土壤酶活性,研究设置了5年后的模块沙障内部及其对周边土壤微生物数量和土壤酶活性变化的影响。结果表明,模块沙障内部土壤3大微生物总量比对照样地0~10 cm土层高1.91倍,细菌、真菌和放线菌含量分别比对照样地高1.33倍、1.76倍和2.83倍,蔗糖酶和脲酶活性分别比对照样地增加2.47倍和67.64%;模块沙障覆盖下0~10 cm土层土壤微生物总量比对照样地0~10 cm土层高1.22倍,细菌、真菌和放线菌含量分别增加0.83倍、0.87倍和2.14倍,蔗糖酶和脲酶的活性分别比对照样地增加2.01倍和29.41%。此外,模块沙障及其内部填充基质能够通过降雨淋溶、填充基质扩散等作用有效的改善沙障迎风侧或背风侧70 cm范围内土壤微生物含量和蔗糖酶、脲酶活性,实现了“肥岛作用”改善土壤的生物化学特征。

关键词 流动沙地;模块沙障;微生物;酶活性;肥岛作用

中图分类号 S157.1;S288

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.10.010

Influence of Module Sand Barrier on Soil Microorganisms and Enzyme Activity

YAN Deren, YUAN Limin, HU Xiaolong, HUANG Haiguang

Institute of Combating Desertification, Inner Mongolia Academy of Forestry Science, Hohhot 010010, China

Abstract According to the composition characteristics of the ecosystem, a module sand barrier has been artificially constructed on moving sandy dune, which integrates sand fixation, partial soil improvement and vegetation restoration. To understand the influence of the module sand barrier on the biological characteristics of soil, soil microorganism amount and enzyme activity have been measured, and the variation of them inside and around the module sand barrier has been studied after construction for five years. The results show that inside the module sand barrier, the total amount of soil microorganisms was 1.91 times that of the one at 0-10 cm layer in the control plot, the amount of bacteria, fungi and actinomycetes were 0.83 times, 0.87 times and 2.14 times higher than those in the control plot, and the sucrase and urease activities were increased by 2.01 times and 29.41% than those in the control plot. Moreover, the artificially constructed module sand barrier and its internal filling matrix can improve the soil microorganism amount, sucrase and urease activities during 0 to 70 cm of the windward side or leeward side of the module sand barrier, and the formed fertility island effect can improve the biochemical characteristics of the soil.

Keywords moving sandy land; module sand barrier; microorganism; enzyme activity; fertility island effect

沙障是防沙治沙工程建设中较常用、较有效的技术措施,尤其在流动沙地治理和植被恢复中具有重要的作用。目前,常用的沙障有草方格、黏土方格、尼龙网固沙、碎石方格

等。针对高大密集流动沙丘风蚀严重、植被成活保存难及沙障材料运输困难等因素,本研究设计了集防风固沙、局部土壤改良和植被恢复3大功能于一体的模块沙障。模块沙障是

收稿日期:2014-01-02;修回日期:2014-02-17

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD16B0204);国家林业局948项目(2012-4-72)

作者简介:闫德仁,研究员,研究方向为荒漠化防治,电子信箱:nmgkyydr@163.com

引用格式:闫德仁,袁立敏,胡小龙,等.模块沙障对土壤微生物和酶活性变化的影响[J].科技导报,2014,32(10):57-62.

以生态系统物质组成原理为基础,以麻袋为外包装材料,内部填充流动风沙土、有机物基质和植物种子,人工构建具备防风固沙、局部土壤改良和植被恢复3大功能于一体的沙障。模块沙障在具有沙障风沙控制能力的同时,内部填充基质可以通过降雨淋溶、土壤水分运动等作用向模块沙障周围扩展迁移,形成“肥岛作用”,改善流动风沙土的土壤条件。目前,国内外对沙障^[1-7]的相关研究较多,而对具有“肥岛功能”的模块沙障的研究未见报道。因此,本文以模块沙障为研究对象,从土壤生物学性质方面出发,研究沙障内部及其周边土壤微生物含量,从土壤微生物和酶活性变化方面测定模块沙障设置后沙障内部及其对沙障周边土壤生物活性的变化,探讨模块沙障的“肥岛作用”效果。

1 研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于库布齐沙漠东北缘,地理位置是北纬40°21'30"~40°22'30",东经109°50'30"~109°51'50"。气候区属中温带大陆性季风,年平均降水量300 mm,年平均蒸发量2160 mm。极端最高气温40.2℃,极端最低气温-34.5℃,≥10℃有效积温3197.4℃,无霜期130~140 d。年平均风速3.3 m/s,8级以上大风日数27 d,扬沙日数多达58 d。研究区土壤为风沙土。主要植物种有沙柳(*Salix psammophila* C. Wang et Ch. Y. Yang)、油蒿(*Artemisia ordosica* L.)、柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)、虫实(*Corispermum hyssopifolium* L.)、沙米(*Agriophyllum squarrosum* (Linn.) Moq.)、沙竹(*Psammochloa villosa* (Trin.) Bor.)及猪毛菜(*Salsola collina* Pall.)等沙生植物。

1.2 试验设计

试验地选择在经过平整的流动沙地。沙障外包装材料为黄麻袋,内部填充材料中流动风沙土占80%,粉碎玉米秸秆占20%(粉碎粒径为0.15~0.65 cm),植物种子(杨柴、沙蒿和披碱草)2~5 g。试验前按照比例将内部填充材料混合,用铁锹将混合料填入麻袋中,填充量占麻袋1/3时,将麻袋上部2/3压到麻袋下面,并按照设计沙障形状依次摆放,呈“月牙型”。每个复合沙障由3个麻袋组成模块沙障,其规格大小为宽50 cm,长度100 cm,外型呈“月牙型”(图1)。

1.3 分析样本采集

2013年7月(模块沙障设置时间2008年)用取土钻分别取模块沙障内部土壤和不同位置供试土壤200 g,每个取样位置取2个样本,其测定结果的平均值作为分析数据。将供试土壤装入标记好无菌纸袋内封闭,带回室内放入4℃冰箱内保存待测。模块沙障覆盖下和其他位置土壤取样深度分别为0~10 cm、10~20 cm和20~40 cm。具体取样位置分别为模块沙障内部、模块沙障覆盖下0~40 cm土层(分3层),模块沙障迎风侧或背风侧20 cm处和70 cm处(图1)。

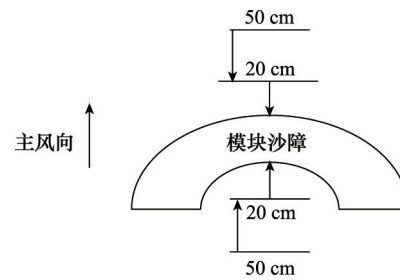


图1 模块沙障及其两侧取样位置示意

Fig. 1 Schematic diagram of sampling position of the module sand barrier and its two sides

此外,2013年7月取样时模块沙障的外包装材料黄麻袋已经分解,内部填充物裸露,沙障及周边区域植被平均盖度已达到60%,属于固定沙地。对照取样地为2008年经过平整的流动沙地,2013年取样时植被平均盖度已达到45%,属于固定沙地。

1.4 测定方法

采用稀释平板法测定土壤细菌、真菌及放线菌数量^[8]。将待测土样过2 mm筛后,取样品10 g,放入100 mL无菌水的三角瓶中,振荡15 min,静止5 min,按10倍法依次稀释到10⁻⁶,分别吸取100 μL悬液均匀涂布于培养基上。细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用马丁氏培养基,放线菌用改良高氏1号培养基。倒置于30℃恒温培养箱中进行培养,细菌培养2 d,真菌培养14 d,放线菌培养7 d,分别进行数量计数,微生物数量单位为cfu/g干土(简称为cfu/g)。

土壤酶活性的测定参照相关方法进行,蔗糖酶测定采用硫代硫酸钠滴定法^[9];脲酶测定采用苯酚次氯酸钠比色法^[9];过氧化氢酶测定采用高锰酸钾容量法^[9]。

2 结果与分析

2.1 模块沙障对土壤微生物含量的影响

一般来说,土壤中有有机养料充足,并在适宜条件下,土壤微生物的活动旺盛,其数量也较多,所以常把土壤微生物的数量做为衡量土壤肥力的一项生物指标^[10,11]。流动风沙土干旱贫瘠,土壤微生物含量明显不如肥力较高的土壤,但是,如果在流动风沙土中人为添加一定数量的有机物质,在适宜条件下也能够显著提高微生物含量。从图2可以看出,模块沙障内添加粉碎玉米秸秆占20%处理,土壤3大微生物含量明显高于对照样地。其中,土壤微生物总量比对照样地0~10 cm土层高1.91倍,同样,细菌、真菌和放线菌含量分别比对照样地0~10 cm土层高1.33倍、1.76倍和2.83倍,说明,模块沙障内的有机填充物对提高流动风沙土微生物含量具有显著的改善作用。此外,从土壤微生物组成变化看(图2),模块沙障内放线菌高于真菌,也高于细菌,而对照样地(0~10 cm土层)微生物组成特征是真菌高于细菌,高于放线菌,反映出沙

障内的有机添加物直接影响着土壤微生物组成的变化。事实上,玉米秸秆中含有无氮浸出物约42.7%,半纤维素15.0%,纤维素35.0%,木质素15.0%,粗蛋白质3.5%,而纤维素分解菌主要是真菌、细菌和放线菌,其中在含水量低、有机物丰富、微碱性的土壤中放线菌数量相对较多^[12,13]。

此外,由于模块沙障内部土壤微生物含量的显著增加,通过降水渗入,对沙障覆盖对下层土壤微生物含量变化也有明显促进作用(图2)。由图2可以看出,沙障覆盖下0~10 cm土层土壤3大微生物含量明显高于对照样地,而低于模块沙

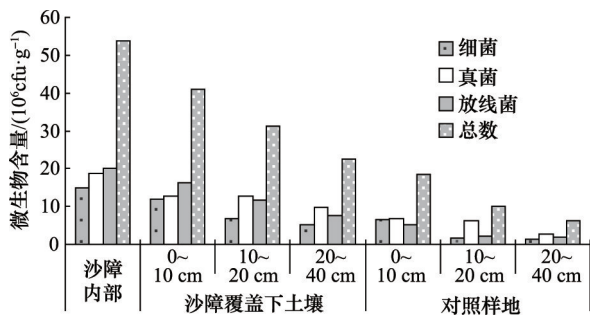


图2 模块沙障及下方土壤微生物含量的变化
Fig. 2 Variation of soil microbial content of the module sand barrier and underneath it

障内部3大微生物含量。沙障覆盖下0~10 cm土层土壤微生物总量比对照样地0~10 cm土层高1.22倍,同样,细菌、真菌和放线菌含量分别增加0.83倍、0.87倍和2.14倍;与对照样地10~20 cm土层相比,沙障覆盖下10~20 cm土层土壤微生物总量增加2.14倍,细菌、真菌和放线菌含量分别增加3.42倍、1.09倍和4.16倍;沙障覆盖下20~40 cm土层土壤微生物总量比对照样地增加2.68倍,细菌、真菌和放线菌含量分别增加2.83倍、2.46倍和2.89倍。说明模块沙障覆盖对下层土壤微生物含量变化也有明显促进作用,并且对10 cm以下土层微生物含量具有更大的促进作用,或者说,模块沙障具有明显的“肥岛作用”,能够局部改善流动风沙土的微生物分布特征,从而为进一步改善流动风沙土生物活性提供了生物学基础。

2.2 模块沙障对土壤微生物扩展作用的影响

扩展作用是指模块沙障覆盖对沙障迎风侧或背风侧不同位置土壤微生物含量变化的影响。设置模块沙障对沙障迎风侧或背风侧不同位置土壤微生物含量变化具有积极的影响(表1),并且对背风侧影响效果好于迎风侧,对20 cm处影响效果好于70 cm。从0~10 cm土层土壤微生物总数变化看,沙障覆盖下土壤微生物总数最高,分别比沙障迎风侧20、70 cm处增加38.5%、55.1%,比沙障背风侧20、70 cm处增加16.8%、45.4%,比对照样地增加54.9%;细菌含量分别比沙障

表1 不同位置的土壤微生物含量

Table 1 Amounts of microorganisms in different soil layers

取样位置	土层/cm	土壤微生物含量/(10 ⁶ cfu/g)			
		细菌	真菌	放线菌	总数
沙障迎风侧70 cm	0~10	4.52	6.27	7.58	18.36
	10~20	3.06	4.97	6.57	14.60
	20~40	2.91	3.44	4.54	10.89
沙障迎风侧20 cm	0~10	8.00	9.07	8.06	25.13
	10~20	3.43	8.49	5.65	17.57
	20~40	2.82	7.63	3.57	14.01
沙障覆盖下土壤	0~10	11.82	12.64	16.41	40.87
	10~20	6.77	12.84	11.62	31.23
	20~40	5.21	9.71	7.64	22.56
沙障背风侧20 cm	0~10	6.00	12.17	15.85	34.01
	10~20	3.94	6.61	6.65	17.19
	20~40	4.12	3.83	6.18	14.13
沙障背风侧70 cm	0~10	7.25	8.17	6.89	22.31
	10~20	4.74	5.04	6.08	15.86
	20~40	3.46	4.61	4.71	14.96
对照样地	0~10	6.43	6.76	5.23	18.42
	10~20	1.53	6.14	2.25	9.92
	20~40	1.36	2.81	1.96	6.13

迎风侧 20、70 cm 处增加 32.3%、61.8%，比沙障背风侧 20、70 cm 处增加 49.2%、38.7%，比对照样地增加 45.6%；真菌含量分别比沙障迎风侧 20、70 cm 处增加 28.2%、50.4%，比沙障背风侧 20、70 cm 处增加 3.7%、35.4%，比对照样地增加 46.5%；放线菌含量分别比沙障迎风侧 20、70 cm 处增加 50.9%、53.4%，比沙障背风侧 20、70 cm 处增加 3.4%、58.1%，比对照样地增加 68.1%。说明设置模块沙障后，由于沙障外包装材(麻袋)分解和沙障内填充材料的局部外移(主要是风作用)，对沙障周边土壤环境改善具有促进作用，尤其是对沙障边缘 20 cm 处土壤环境的改善更加明显，表明模块沙障的“肥岛作用”进一步显现。

从不同土层、不同取样位置土壤微生物含量变化趋势看(表 1)，随着土层的加深，土壤微生物含量降低，而且不同取样位置土壤微生物含量的变化也有上述趋势，即沙障覆盖下土壤微生物含量最高，沙障边缘 20 cm 处微生物含量高于 70 cm 处，高于对照样地。

2.3 模块沙障对土壤酶活性的影响

土壤酶是土壤中具有生物活性的蛋白质，它与土壤微生物一起共同推动着土壤的生物化学过程，同时在植物营养物质的转化过程中起着重要的作用，并对土壤肥力的演化具有重要影响。土壤酶系统是土壤中最活跃的部分，它与土壤微生物一起共同推动土壤内的代谢过程。由表 2 可以看出，模块沙障及其覆盖对流动风沙土酶活性变化具有良好的作用，除过氧化氢酶外，模块沙障及其覆盖能够显著增加土壤蔗糖酶和脲酶的活性。与对照样地相比，模块沙障内蔗糖酶和脲酶的活性分别增加 2.47 倍和 67.64%，模块沙障覆盖下 0~10 cm 土层蔗糖酶和脲酶的活性分别比对照样地增加 2.01 倍和 29.41%，说明模块沙障不仅改善其内部土壤酶活性，而且对其覆盖下的土壤酶活性也具有明显的改善作用。

从模块沙障覆盖下 10~20 cm 和 20~40 cm 土层蔗糖酶活性的变化看，也分别高于对照样地。其中，10~20 cm 土层蔗糖酶活性比对照样地增加 61.4%，20~40 cm 土层蔗糖酶活性

比对照样地增加 1.72 倍。说明模块沙障内填加的玉米秸秆有机物在分解过程中对流动风沙土碳变化具有促进作用。因为，蔗糖酶是一种表征土壤生物活性的重要水解酶，其作用是将蔗糖分解成可供微生物活动所利用的葡萄糖，即为微生物活动提供充足的碳源，对丰富土壤中被植物和微生物利用的可溶性营养物质起着重要作用，而玉米秸秆主要成分是纤维素，在微生物分解过程中，必然释放大量碳素，从而促进蔗糖酶活性的显著增加。脲酶主要与氮素循环有密切关系，常用土壤脲酶活性表征土壤的氮素状况，事实上流动风沙土氮含量严重不足，即使玉米秸秆在分解过程中因流动沙丘高温、干旱等环境而影响脲酶活性。

2.4 模块沙障对土壤酶活性变化的扩展作用

由于模块沙障蔗糖酶和脲酶活性的显著提高，加之取样时沙障外包装材分解及其内部填加物水平扩展作用，必然影响模块沙障周边不同位置风沙土相应酶活性的变化。除过氧化氢酶外，模块沙障不同取样位置蔗糖酶和脲酶的活性均高于对照样地，且在沙障迎风侧和背风侧 20 cm 处蔗糖酶和脲酶活性最高，并随着取样距离的增加，蔗糖酶和脲酶活性有降低的趋势(表 3)。

与对照样地相比，在沙障背风侧和迎风侧 20 cm 处 0~10 cm 土层蔗糖酶和脲酶活性平均提高 100.75% 和 38.29%；在沙障背风侧和迎风侧 70 cm 处 0~10 cm 土层蔗糖酶和脲酶活性平均提高 32.76% 和 27.63%；沙障背风侧和迎风侧 20 cm 处 10~20 cm 土层蔗糖酶和脲酶活性平均提高 124.36% 和 30.50%；沙障背风侧和迎风侧 70 cm 处 10~20 cm 土层蔗糖酶和脲酶活性平均提高 163.94% 和 28.62%；沙障背风侧和迎风侧 20 cm 处 20~40 cm 土层蔗糖酶和脲酶活性平均提高 169.99% 和 28.05%；沙障背风侧和迎风侧 70 cm 处 20~40 cm 土层蔗糖酶和脲酶活性平均提高 207.52% 和 30.60%。说明设置模块沙障后，随着沙障外包装材分解及其内部填加物水平扩展作用对 70 cm 范围内流动风沙土 0~10 cm 土层蔗糖酶和脲酶活性具有明显的改善作用，并从土壤酶活性变化方面进一步显现模块沙障的“肥岛作用”。

表 2 模块沙障对土壤酶活性的影响

Table 2 Effect of the module sand barrier on soil enzyme activity

取样位置	土层/cm	过氧化氢酶活性/ (0.1 mol·L ⁻¹ KMnO ₄ mL·(g ⁻¹ ·20 min))	脲酶活性/ (NH ₃ -N mg·g ⁻¹)	蔗糖酶活性/ (0.1 mol·L ⁻¹ Na ₂ S ₂ O ₄ mL·(g ⁻¹ ·24 h))
模块沙障内部		0.40	0.61	349.43
	0~10	0.44	0.44	146.37
沙障覆盖下土壤	10~20	0.36	0.34	33.446
	20~40	0.27	0.31	32.46
	0~10	0.37	0.34	100.84
对照样地	10~20	0.28	0.32	20.72
	20~40	0.26	0.31	11.94

表3 不同位置土壤酶活性差异
Table 3 Differences of soil enzyme activities in different layers

取样位置	土层/cm	过氧化氢酶活性/ ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KMnO}_4 \text{ mL} \cdot (\text{g}^{-1} \cdot 20 \text{ min})$)	脲酶活性/ ($\text{NH}_3\text{-N mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	蔗糖酶活性/ ($0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \text{ mL} \cdot (\text{g}^{-1} \cdot 24 \text{ h})$)
沙障迎风侧 70 cm	0~10	0.31	0.50	124.59
	10~20	0.27	0.49	73.59
	20~40	0.26	0.43	50.74
沙障迎风侧 20 cm	0~10	0.32	0.50	199.43
	10~20	0.25	0.44	55.05
	20~40	0.25	0.43	42.86
沙障覆盖下土壤	0~10	0.44	0.44	146.37
	10~20	0.36	0.34	33.45
	20~40	0.27	0.31	32.46
沙障背风侧 20 cm	0~10	0.30	0.49	205.44
	10~20	0.26	0.40	37.93
	20~40	0.23	0.31	21.62
沙障背风侧 70 cm	0~10	0.36	0.43	143.15
	10~20	0.28	0.33	35.78
	20~40	0.27	0.30	22.69
对照样地	0~10	0.37	0.34	100.84
	10~20	0.28	0.32	20.72
	20~40	0.26	0.31	11.94

3 讨论

模块沙障微生物数量及酶的变化是通过内部添加粉碎的玉米秸秆实现的,沙障内部土壤微生物环境变化后,又影响沙障周围土壤,从而实现了模块沙障的“肥岛功能”。

模块沙障内部填充的玉米秸秆中含有无氮浸出物约42.7%,半纤维素15.0%,纤维素35.0%,木质素15.0%,粗蛋白质3.5%,并含有大量的微生物等,微生物含量远远高于贫瘠的风沙土,沙障内部土壤微生物总量比对照样地0~10 cm土层高1.91倍,同样,细菌、真菌和放线菌含量分别比对照样地0~10 cm土层高1.33倍、1.76倍和2.83倍,说明,模块沙障内的有机填加物对提高流动风沙土微生物含量具有显著的改善作用。同时,由于玉米秸秆材料的组成成分差异,导致沙障内土壤3大微生物组成特征^[14]及酶活性产生差异。

扩展作用反映模块沙障的“肥岛效应”,其是指模块沙障对沙障迎风侧或背风侧及模块沙障下方不同位置土壤微生物含量及酶活性变化的影响。设置模块沙障对沙障迎风侧或背风侧不同位置土壤微生物含量变化具有积极的影响,并且对背风侧影响效果好于迎风侧,对20 cm处影响效果好于70 cm。从0~10 cm土层土壤微生物总数变化看,沙障覆盖下土壤微生物总数最高,分别比沙障迎风侧20、70 cm处增加38.5%、55.1%,比沙障背风侧20、70 cm处增加16.8%、45.4%,比对照样地增加54.9%。从模块沙障正下方微生物及酶活性

比较来看,随着深度的增加,微生物数量受影响程度也减小。模块沙障内部的土壤微生物及营养元素,主要受到降雨的淋溶及土壤水作用,即伴随饱和水流与非饱和水流向下层土壤运动^[15],麻袋材料自身有孔隙,对水分、营养元素及微生物的运动无阻碍作用。但是,营养元素及微生物的运动与繁殖受到多种因素影响,如沙区干燥、少降雨等,都会影响向下移动的速度,导致下层土壤微生物数量较少。在水平方向,模块沙障背风侧影响效果好于迎风侧,对20 cm处影响效果好于70 cm,即距离模块沙障越远,土壤微生物数量及酶活性受到的影响越小。设置模块沙障后由于沙障外包装材料(麻袋)分解和沙障内填充材料的局部外移(主要是风营力的作用,部分裸露在外的填充物遭到吹蚀,多积聚在背风侧,为背风侧微生物的繁殖提供了优良条件),对沙障周边土壤环境改善具有促进作用,尤其是对沙障边缘处土壤环境的改善更加明显,表明模块沙障的“肥岛作用”进一步显现。

4 结论

1) 填加物玉米秸秆对提高流动风沙土微生物含量具有显著的改善作用。模块沙障内部土壤微生物总量比对照的高1.91倍,细菌、真菌和放线菌含量分别比对照样地高1.33倍、1.76倍和2.83倍。

2) 填加物玉米秸秆有效的提高可沙障内部土壤蔗糖酶

和脲酶的活性。与对照相比,沙障内蔗糖酶和脲酶的活性分别增加2.47倍和67.64%。

3) 模块沙障能够有效影响正下方及周边70 cm范围内土壤的生物活性,实现了“肥岛效应”,改善局部土壤生物环境。在垂直方向上,随着深度的增加影响程度逐渐减弱;在水平方向上,其对背风侧影响效果好于迎风侧,对20 cm处影响效果好于70 cm。

参考文献(References)

- [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.
Gao Yong, Qiu Guoyu, Ding Guodong, et al. Effect of salix psammophila checkerboard on reducing wind and stabilizing sand[J]. Journal of Desert Research, 2004, 24(3): 365-37.
- [2] 董治宝, Fryrear D W, 高尚玉. 直立植物防沙措施粗糙特征的模拟实验[J]. 中国沙漠, 2000, 20(3): 260-263.
Dong Zhibo, Fryrear D W, Gao Shangyu. Modeling the roughness effect of blown-sand-controlling standing vegetation in wind tunnel[J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(3): 260-263.
- [3] 屈建军, 刘贤万, 雷加强, 等. 尼龙网栅栏防沙效应的风洞模拟实验[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 276-280.
Qu Jianjun, Liu Xianwan, Lei Jiaqiang, et al. Simulation experiments on sand arresting effect of nylon net fence in wind tunnel[J]. Journal of Desert Research, 2001, 21(3): 276-280.
- [4] 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.
Chang Zhaonian, Zhong Shengnian, Han Fugui, et al. Research of the suitable row spacing on clay barriers and straw barriers[J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(4): 455-457.
- [5] 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.
Qu Jianjun, Ling Yuquan, Zu Ruiping, et al. Study on comprehensive sand-protecting efficiency of semi-buried checkerboard sand-barriers [J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(3): 330-335.
- [6] 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(4): 90-94.
Yuan Limin, Gao Yong, Yu Yi, et al. Research on the effect of PLA sand barrier on soil hardness[J]. Science of Soil and Water Conservation of China, 2010, 8(4): 90-94.
- [7] 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.
Li Jinrong, Sun Baoping, Gao Yon, et al. Simulation of sand-bag barrier wind flow field based on aerodynamics[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2010, 30(6): 749-752
- [8] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 33-70.
Nanjing Institute of Microbiology Laboratory of Soil Science of Chinese Academy of Sciences. Study of soil microorganisms[M]. Beijing: Science Press, 1985: 33-70.
- [9] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 16-69.
Guan Songyin. Soil enzyme and its research methods[M]. Beijing: Agricultural Press, 1986: 16-69.
- [10] 闫德仁, 刘永军, 王晶莹, 等. 落叶松人工林土壤肥力与微生物含量的研究[J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(3): 46-50.
Yan Deren, Liu Yong jun, Wang Jin ying, et al. Study on the soil fertility and the microorganism content of pure larch plantations[J]. Journal of Notheast Forestry University, 1996, 24(3): 46-50.
- [11] 安长伟, 施丽阳, 李辉, 等. 康平沙地治理过程中土壤微生物数量与土壤肥力的关系[J]. 科技导报, 2010, 28(7): 45-49.
An Changwei, Shi Liyang, Li Hui, et al. The relationship between soil microorganism and soil fertility in the process of transforming kangping's desertification[J]. Science & Technology Review, 2010, 28 (7): 45-49.
- [12] 邝哲师, 黄小光, 叶明强, 等. 利用甜玉米秸秆和玉米芯发酵生产纤维素酶的研究[J]. 广东饲料, 2009, 18(2): 34-35.
Kuang Zheshi, Huang Xiaoguang, Ye Mingqiang, et al. Study of sweet corn straw and corn cob cellulase production by fermentation[J]. Guangdong Feed, 2009, 18(2): 34-35.
- [13] 汪方, 汪炜. 我国秸秆资源开发利用综述[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(11): 1009-1012.
Wang Fang, Wang Wei. Review of development and utilization of straw resources in China[J]. Resource Development & Market, 2008, 24 (11): 1009-1012.
- [14] 孟杰, 王宏燕, 李涛. 生物表面活性剂混合纤维素分解菌分解秸秆的研究[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(2): 97-103.
Meng Jie, Wang Hongyan, Li Tao. Research of bio-surfactants and cellulose-decomposing bacteria mixture fertilizers in straw decomposition [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(2): 97-103.
- [15] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 100-118.
Huang Changyong. Soil science[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000: 100-118.

(责任编辑 吴晓丽)

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。