

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.06.024

植物纤维毯对道路边坡微生境的影响

李宏钧¹, 孔亚平², 张 岩¹, 简 丽², 陈学平²

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 交通运输部科学研究院, 北京 100029)

摘要:为更好地了解植物纤维毯的生态防护功能, 全面认识其护坡原理, 深入分析植物纤维毯的生态护坡优势, 依托石安(石家庄—安阳)高速公路展开实地边坡试验。以稻草毯、稻草椰丝混合毯和椰丝毯为试验对象, 以无纺布为对照组展开试验, 观测地表径流量、土壤流失量、表层土壤水分、土壤温度以及土壤有机质含量等指标, 分析不同植物纤维毯对边坡微生境的影响。结果表明, 3种植物纤维毯对边坡的微生境均有一定的改良作用, 覆盖3种植物纤维毯均能有效减少边坡产沙量, 且稻草毯和稻草椰丝混合毯可有效减少地表径流量; 3种植物纤维毯在高温季节可降低表层土壤温度, 稻草毯的降温效果最好; 从表层土壤水分来看, 稻草椰丝混合毯在降雨时更有利于雨水入渗, 土壤水分高, 雨停后表层土壤水分损失慢, 保水效果好, 更有利于植物生长; 同时3种植物纤维毯自身降解, 可增加土壤有机质含量, 增强土壤肥力, 改良了土壤, 其中稻草椰丝混合毯的改良效果最好; 植物纤维毯对土壤微生境的影响是一种改良作用, 可促进植物生长, 尤其是促进植物根系的生长。

关键词:环境工程; 土壤改良; 实地试验; 植物纤维毯; 生态护坡; 生物量; 微生境

中图分类号: X71

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2016)06-0146-06

Effect of Geotextile on Road Slope Microhabitat

LI Hong-jun¹, KONG Ya-ping², ZHANG Yan¹, JIAN Li², CHEN Xue-ping²

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to better understand the ecological protection function of geotextiles, comprehensively understand the principle of slope protection, and analyze in-depth the advantages of ecological slope protection of geotextiles, the field experiment is carried out on the slope of Shijiazhuang—Anyang expressway. Taking straw mats, coconut mats and straw coconut mats as the experimental object and the non-woven fabric as the control group, we observed the amount of surface runoff, soil erosion volume, surface soil moisture, soil temperature and soil organic matter content, etc. to analyse the influence of different geotextiles on slope microhabitat. The result shows that (1) 3 kinds of geotextile on the microhabitat of the slope have certain improvement, the soil loss from plots covered with the 3 kinds of geotextile decreased obviously, and the amount of surface runoff decreased in straw mats and straw coconut mats; (2) the 3 kinds of geotextile can reduce the surface soil temperature in the high temperature season, and the cooling effect of straw mats is the best; (3) from the view of the surface soil moisture content, the straw coconut mat is more advantageous to the rain water infiltration, resulting in high soil moisture, and the surface soil moisture loss is slow after rain stopped, so that it is more advantageous to the plant growth; (4) the degradation of 3 kinds of geotextile can increase the soil organic matter content, enhance soil fertility, and improve the soil, the effect of the straw mats is the best; (5) the influence of geotextiles on the soil microhabitat is an improvement, it

收稿日期: 2014-05-04

基金项目: 河北省交通运输厅科技项目(Y-2012006)

作者简介: 李宏钧(1989-), 男, 湖北秭归人, 硕士研究生. (196962282@qq.com)

can promote plant growth, especially it can promote the growth of the roots of the plants.

Key words: environmental engineering; soil improvement; field experiment; geotextile; ecological slope protection; biomass; microhabitat

0 引言

我国高速公路的飞速发展^[1],促进了经济社会的发展,同时也给环境带来了影响和破坏^[2-3],产生了严重的水土流失。为治理道路边坡产生的水土流失,各种边坡防护技术随之产生,其中,植物纤维毯生态护坡技术是一种施工便捷、防护效果好的方法,具有施工速度快、效率高、见效快、低碳、环保、节能、生态降解无污染等优点^[4],逐渐受到关注。

植物纤维毯最早在德国开始使用,用于控制侵蚀已经超过 50 a^[5-6],为全面了解植物纤维毯的防护功能,诸多学者进行了大量的研究分析。Bhattacharyya 等^[7]在室外开展试验,研究发现植物纤维毯相比裸地可减少土壤侵蚀速率 67%~99%,减少径流量为 26%~81%;Han luo 等^[8]在室内进行模拟降雨试验,研究发现无纺布、遮阳网、稻草纤维毯 3 种纤维毯相比裸地可减少径流系数 17.1%~67.8%,减少产沙量 83.3%~95.3%,能明显减小径流和土壤侵蚀量;Smets 等^[9]通过室外试验和室内模拟试验发现,纤维毯相比裸地可减少径流深为 46%,减少土壤流失率为 79%;Mitchell 等^[10]研究发现植物纤维毯降解后,可改善土壤结构,增加土壤有机质含量,增强微生物活动,促进成土过程,进而增加土壤肥力;Jankauskas 等^[11]研究发现覆盖植物纤维毯的多年生草本具有更高的生产力,可显著提高豆科植物的密度 73.3%~91.3%,增加植物根系干重 50.5%。回顾历年来关于纤维毯功能的研究,可发现研究主要集中于植物纤维毯对径流和侵蚀的控制作用,对其影响边坡微生境,进而影响植被的生长方面的研究则略显不足。

因此,本文通过高速公路边坡实地试验,以稻草毯、稻草椰丝混合毯和椰丝毯 3 种植物纤维毯为试验对象,无纺布为参照,深入分析研究植物纤维毯对边坡微生境的影响,力求为植物纤维毯在道路边坡治理、水土流失防止和生态恢复等方面的应用提供参考依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

试验地点位于河北省高邑县西大营村西口的石

安(石家庄—安阳)高速公路路基边坡上,地理坐标是 E37°36′08.13″, N114°38′42.72″,年平均日照时数为 2615.5 h,太阳辐射总量为 1.54×10^6 W/m²,年平均气温为 12.7℃,最高温度 42℃,最低气温为 -23.1℃,年平均降水量为 513 mm,多集中在 7、8 月份,占全年降水量的 57.9%,属暖温带半湿润大陆性季风气候。土壤类型为褐土,土壤重度约 1.3 g/cm³。

1.2 材料与方法

(1) 试验材料

试验所采用的 3 种植物纤维毯的具体指标如表 1 所示,由于其材质的不同,3 种植物纤维毯纺织孔隙度大小为:稻草毯 > 稻草椰丝混合毯 > 椰丝毯。

表 1 植物纤维毯材质指标

Tab. 1 Material indexes of geotextiles

植物纤维毯类型	技术描述	单位质量/(g·m ⁻²)
稻草纤维毯	100% 稻草,上下层使用 PP 网	350 ± 50
稻草椰丝混合毯	50% 稻草, 50% 椰壳纤维,上下层使用 PP 网	350 ± 50
椰丝毯	100% 椰壳纤维,上下层使用 PP 网	350 ± 50

(2) 试验方法

2013 年 7 月底在石安(石家庄—安阳)高速公路高邑收费站附近设置试验小区和径流小区试验点,边坡坡度为 1:1.5,采用草灌组合,覆盖稻草毯、稻草椰丝混合毯、椰丝毯和无纺布 4 种纤维毯(由于施工要求不允许存在裸露边坡,故用无纺布覆盖作为对照组),采用先播种后覆盖植物纤维毯的施工工艺,纤维毯覆盖度为 100%,试验小区每块样地 4.5 × 6 m²,每种纤维毯重复试验 3 次,共计 12 个样地;径流小区每块样地 2 × 5 m²,无重复组,共 4 个样地。

草灌植物组合具体配置如下:扁穗冰草 4 g/m²,披碱草 4 g/m²,紫穗槐 5 g/m²,荆条 5 g/m²。

1.3 数据采集与处理

(1) 对径流小区进行监测,降雨后,测集流桶内的水深,采集水样,带回室内分析测量其泥沙含量,并根据集流桶桶径和水深推算各个小区总的径流量和总的产沙量;通过布设在径流小区边上的自动雨量计获取降雨数据。

(2) 2013 年 9 月中旬,用 TRIME-PICO 便携式土壤水分测量仪测量试验小区样地 10 cm 深的土壤温度和水分,在每块样地离坡脚 1~2 m 的位置随机

测6个点取均值作为该样地的平均土壤温度和平均土壤水分,每3天测一次,为期一个月。

(3) 2014年4月中旬,采集试验小区不同植物纤维毯覆盖下0~10 cm和10~20 cm的土壤样品,带回实验室处理,测其土壤有机质含量和碱解氮含量。

(4) 每隔半年在试验小区采集 $1 \times 1 \text{ m}^2$ 不同材质的植物纤维毯样品,带回实验室洗净,80℃烘干至恒重,称重,对比分析不同材质的植物纤维毯的降解速率。

(5) 2014年9月,观测不同纤维毯覆盖下植物的生长密度,采集离坡脚1~2 m处50 cm×50 cm样方的植物生物量,用保鲜袋密封处理,然后用烘箱80℃烘干至恒重,称重,对比分析不同材质纤维毯下植物的生长情况。

2 数据处理与分析

2.1 植物纤维毯对地表径流和产沙的影响

植物纤维毯边坡防护技术的理想效果是前期植物纤维毯对边坡进行防护,后期植被成型对边坡进行保护,故设置径流小区,监测早期植物纤维毯对边坡的保护作用。从自动雨量计所获数据来看,2013年仅8—9月之间有降雨,小雨居多,产流降雨只有3场。9月17日、9月21日、9月23日3场降雨量大小分别为15.6, 19.6, 12.6 mm,监测到的径流小区产沙总量和产流总量结果如图1和图2所示。

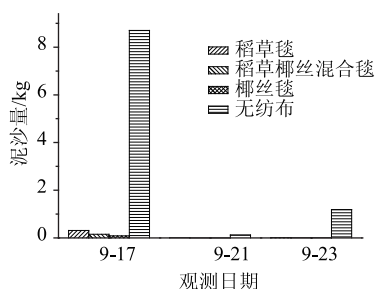


图1 径流小区产沙总量

Fig. 1 Total amount of sediment in runoff plot

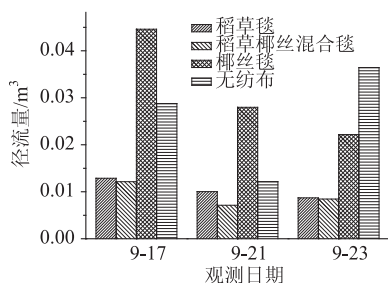


图2 径流小区产流总量

Fig. 2 Total runoff in runoff plot

无纺布的降解时长为1个月左右,9月17日时无纺布已完全降解,故可将无纺布小区作为裸地作对比参照。从图1可以看出,9月17日无纺布样地的产沙量明显高于植物纤维毯样地,其泥沙产量约为植物纤维毯样地的20倍左右,这是由于覆盖了植物纤维毯后,地表径流多在植物纤维毯表层形成,径流对土壤冲刷少,故产沙量小,无纺布样地由于无覆盖物遮挡,表层松软的土壤受雨水直接击溅,冲刷严重,产沙量较大;后续两场降雨里只有无纺布样地产生少许泥沙,这是由于无纺布样地没有覆盖物遮挡,雨水击溅侵蚀,产生少量泥沙,而植物纤维毯样地表层松软土壤已在首场产流降雨中冲走被,同时植物纤维毯减少了雨水对土壤的直接冲刷,侵蚀微弱可忽略,故植物纤维毯样地无泥沙产生。

从图2可以看出,3场产流降雨里稻草毯和稻草椰丝混合毯样地的地表径流量为0.008~0.013 m³,椰丝毯样地的地表径流量为0.022~0.045 m³,稻草毯和稻草椰丝混合毯的地表径流量明显少于椰丝毯的地表径流量。这是由于覆盖稻草毯和稻草椰丝混合毯后,地表粗糙度增大,凹凸不平的坡面可降低坡面径流的冲刷速度,减少坡面的水流速度,导致径流滞留在坡面上的时间明显延长,增大雨水入渗,因此产流小;椰丝毯纺织孔隙较小,同时吸水性好,吸水后透水性下降,雨水直接在椰丝毯表面形成径流,导致地表径流量较大。无纺布样地由于无覆盖物遮挡,坡面粗糙度相对较小,雨水在边坡滞留时间短,入渗少,导致地表径流相对较大,而前两场降雨雨量较大,且为连续降雨,无纺布样地土壤水分饱和,雨水到达地面后直接在地表形成径流,故9月23日产流降雨时无无纺布样地地表径流量明显增加。

2.2 植物纤维毯对表层土壤温度和水分的的影响

(1) 植物纤维毯对表层土壤温度的影响

对覆盖3种植物纤维毯及无纺布样地10 cm深的土壤温度做单因素分析,4种纤维毯覆盖下的土壤温度显著性水平均大于0.05,这说明不同材质的纤维毯对10 cm深土壤温度的影响差异并不显著。

如图3所示,表层10 cm土壤温度高低依次为:无纺布样地>椰丝毯样地>稻草椰丝混合毯样地>稻草毯样地。无纺布样地表层土壤温度最高,这是因为无纺布样地可直接接受太阳辐射,土壤受热快,温度高,植物纤维毯样地土壤温度低于无纺布样地。这现象与Li Rong等^[12]研究不同覆盖材料在春玉米上的土壤温度效应发现的规律一致,覆盖秸秆的温

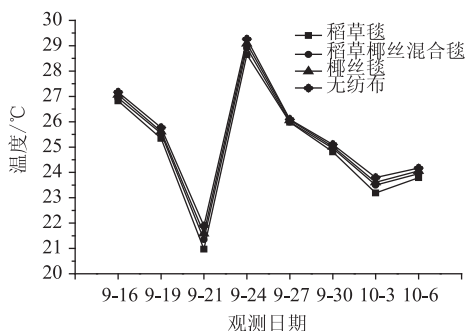


图3 不同纤维毯覆盖下表层土壤温度

Fig. 3 Surface soil temperatures under different geotextiles

度始终最低, 并始终低于裸地对照组, 认为秸秆覆盖使土壤表面较裸露的土壤具有更高的反照率和较低的导热系数, 而3种植物纤维毯样地土壤温度高低略有差异, 这可能是因为3种植物纤维毯材质的不同, 其纺织孔隙各有差异, 纺织孔隙越小, 反照率越高, 导热率越小。

(2) 植物纤维毯对表层土壤水分的影响

对覆盖3种植物纤维毯及无纺布样地10 cm深的土壤水分做单因素分析, 其整体显著性水平均小于0.05, 说明不同材质的纤维毯对10 cm深土壤水分的影响差异是显著的, 其具体土壤水分规律见图4。

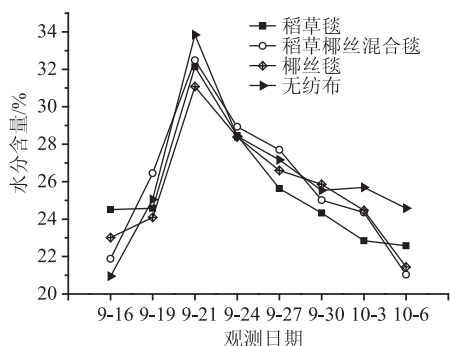


图4 不同植物组合表层土壤水分

Fig. 4 Surface soil moistures in different plant combinations

如图4所示, 9月17日产流降雨后, 稻草毯和椰丝毯样地土壤水分增加并不显著, 这是由于降雨多被稻草毯和椰丝毯自身吸收, 雨水入渗少, 导致土壤水分增加量少; 9月21日产流降雨后, 各样地表层土壤水分有了大幅的提升, 其中无纺布样地土壤水分最高。结合图2来看, 在短期连续降雨里, 无纺布样地土壤完全暴露在降雨下, 雨水直接入渗, 其地表径流量在9月23日有了明显的增加, 表明9月21日无纺布样地土壤水分可能已饱和, 故其土壤水分含量最高。在3场产流降雨里, 稻草毯和椰丝毯样地的地表径流量一直呈现减少的趋势, 表明持

续有雨水入渗, 其土壤水分并未饱和, 且椰丝毯纺织孔隙小, 打湿后易在椰丝毯表面形成膜状水, 水分入渗少, 故椰丝毯样地土壤水分最低。稻草椰丝混合毯样地地表径流量在9月23日有少量增加, 表明23日产流降雨时仍有大量雨水入渗。9月21日时其土壤水分并未饱和, 同时稻草椰丝混合毯样地植物生长情况优于无纺布样地, 植物耗水量稍高, 故其土壤水分在9月21日略低于无纺布样地。

根据雨量计数据来看, 9月24日至10月6日, 试验区域一直未降雨, 土壤水分仅来源于降雨所残留的水分。4种样地中稻草毯样地土壤水分下降最快, 几乎呈直线下降, 这是由于稻草毯纺织孔隙大, 利于灌木种子从孔隙处生长展开子叶, 灌木生长情况好, 蒸腾作用强, 耗水量大, 土壤水分下降快。稻草毯和稻草椰丝混合毯纺织孔隙略小, 灌木生长受到一定影响^[13], 且扁穗冰草和披肩草在高温少水条件下萌发少, 生长较差, 蒸腾作用小, 故土壤水分消耗少。10月6日稻草椰丝混合毯和椰丝毯样地土壤水分大幅下降, 这是由于连场降雨后, 土壤水分较充足, 同时温度较适宜, 蛰伏在土壤中的披碱草和扁穗冰草种子大量萌发, 消耗了较多土壤水分。无纺布样地植物生长差, 土壤水分主要为自然蒸发消耗, 下降相对缓慢。

2.3 植物纤维毯对土壤养分的影响

处理采集的植物纤维毯样品, 可知稻草毯、稻草椰丝混合毯和椰丝毯半年的降解率依次为: 64.2%, 70.6%, 30.2%; 一年的降解率依次为: 83.1%, 86.6%, 36.8%。由此可知稻草毯和稻草椰丝混合毯降解较快, 椰丝毯降解较慢。2014年4月初采集不同纤维毯覆盖下的土壤, 测量土壤的有机质含量和碱解氮含量, 所得结果如表2所示。

表2 土壤养分含量

Tab. 2 Soil nutrient contents

纤维毯类型	采样深度/cm	有机质含量/%	碱解氮/(mg · kg ⁻¹)
稻草毯	0 ~ 10	0.32	22.75
	10 ~ 20	0.53	17.5
稻草椰丝混合毯	0 ~ 10	0.37	82.25
	10 ~ 20	0.44	29.75
椰丝毯	0 ~ 10	0.51	24.5
	10 ~ 20	0.24	14
无纺布	0 ~ 10	0.28	75.25
	10 ~ 20	0.36	33.95

土壤中的碱解氮在一定程度上能够反映土壤的肥力状况, 碱解氮的含量越高表明土壤越肥沃, 因此可根据土壤中碱解氮的含量来反映植物纤维毯对

土壤的改良作用,如表2所示。稻草毯、稻草椰丝混合毯、椰丝毯和无纺布样地表层土壤平均碱解氮含量分别为20.13, 56, 19.25, 54.58 g/kg, 稻草椰丝混合毯表层土壤的碱解氮含量最高,土壤最肥沃,其中0~10 cm的土壤中碱解氮的含量为82.25 g/kg,有利于浅根系的植物生长,即适合草本植物生长。从有机质含量来看,稻草毯、稻草椰丝混合毯、椰丝毯和无纺布样地表层土壤的平均有机质含量分别为42.25%, 40.5%, 37.5%和32%,可以看出植物纤维毯样地的土壤有机质含量均高于无纺布样地,其中稻草毯和稻草椰丝混合毯样地的土壤有机质含量相对较高,这可能是对应的植物纤维毯降解较多导致的。整体来看,稻草椰丝混合毯在改良土壤增强土壤肥力方面表现较好。

2.4 植物纤维毯对植物生长的影响

植物纤维毯前期的护坡是为了保持坡面的完整性,为植物营造较好的生长环境,其对边坡微生境的改良作用可直观地反映到植物生长上,故在植物自然生长一年后,观测植物的植株密度,采集植物生物量,对比分析不同材质纤维毯下植物的生长情况。

如图5所示,同样的播种密度和同样的自然环境下,经过一年的自然生长,试验小区植株密度大小依次为稻草毯样地>稻草椰丝混合毯样地>椰丝毯样地>无纺布样地,覆盖植物纤维毯样地的植株密度明显高于无纺布样地,这表明植物纤维毯对边坡微生境的改良对植物的生长是有一定的促进作用的。

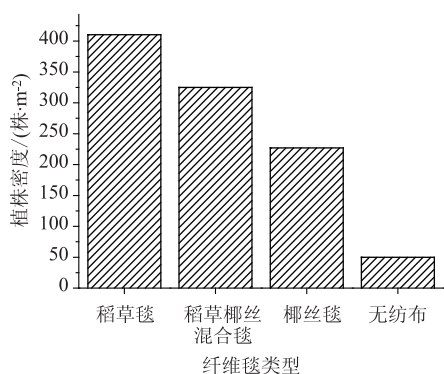


图5 植物的生长密度

Fig.5 Plant growth density

从植物生物量来看(图6),经过一年的生长,覆盖植物纤维毯样地的植物生物量总量均高于无纺布样地,其生物量总量大小与植株密度大小规律一致,稻草毯样地生物量总量最高,其次为稻草椰丝混合毯样地和椰丝毯样地,无纺布样地植物生物量

总量最低。从植物的生物量分布来看,经过一年的生长,植物根系发育较好,地下生物量均高于地上生物量。从纤维毯材质来看,覆盖植物纤维毯样地的植物地下生物量均高出无纺布样地0.4 kg/m²左右,表明植物纤维毯样地的植物根系较无纺布样地的植物根系更为发达。这与Jankauskas等研究发现植物纤维毯可增加植物根系干重50.5%^[10]的结论基本一致,而灌木根系越发达,深根锚固作用越强,草本根系越发达,加筋效果越明显,越有利于稳定坡体,稳定边坡微生境。这说明植物纤维毯对微生境的改良可促进植物的生长,同时生长良好的植物可反过来稳定边坡微生境,形成良性循环,进而更好地护坡。

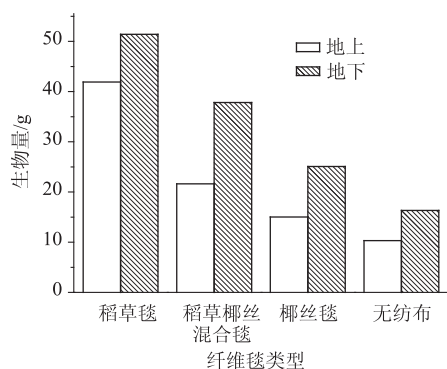


图6 植物生物量

Fig.6 Biomass of plant

3 结论

(1) 试验采用的3种植物纤维毯稻草毯、稻草椰丝混合毯、椰丝毯相比无纺布均能有效地减少边坡产沙量,其中稻草毯和稻草椰丝混合毯还能有效减少产流。

(2) 从本试验来看,试验采用的3种植物纤维毯在高温季节均可降低表层土壤温度,其中稻草毯的降温效果最好;稻草毯、稻草椰丝混合毯、椰丝毯均能影响表层土壤水分,其中稻草椰丝混合毯的表现相对较好,降雨时水分入渗多,表层土壤水分提升快,雨停后,表层土壤水分减少慢,有利于植物的生长。

(3) 稻草毯、稻草椰丝混合毯护坡时间较短,椰丝毯护坡较为持久,3种植物纤维毯自身降解对边坡土壤均有一定的改良,可增加土壤有机质含量,增强土壤肥力,其中稻草椰丝混合毯改良土壤的效果最好。

(4) 植物纤维毯对边坡微生境的改良可促进植

物的生长,尤其是促进植物的根系生长,其中稻草毯表现相对较好,植株密度最高。

4 讨论

植物纤维毯护坡技术理想的护坡效果是植物纤维毯和植物的防护作用在时间上恰好可以衔接上,即前期植物纤维毯护土固坡,同时自身发生降解改良土壤,改善边坡微生境,促进植物生长,植物纤维毯自身降解完的时候,植被刚好成形,这时植物起主要的防护作用。从本试验来看,植物纤维毯对边坡微生境有一定改良,可促进植物生长,导致覆盖植物纤维毯样地的植物生物量均高于无纺布样地,但不同材质的植物纤维毯对不同植物组合的促进作用略有差异,直观看来稻草毯适合灌木组合,椰丝毯适合草本组合,但均未达到理想的护坡效果,时间上未能与植物护坡很好地衔接起来,有待进一步深入研究。

从植物纤维毯来看,稻草椰丝混合毯是最好的选择,稻草纤维价廉易得易降解,椰丝纤维成本高耐性好,二者混合所得的稻草椰丝混合毯价格适中,且在改良土壤上效果较好,在不同的植物组合里对植物生长的促进作用也较好,但本试验中所采用的稻草椰丝混合毯仅仅只是质量上1:1的比例配置的,并未达到理想的护坡效果。后续研究可从二者的混合比上着手,根据实际情况优化配置,以求达到更好的护坡效果。

参考文献:

References:

- [1] 穆林林,李国芬. 关于高速公路边坡生态恢复技术的探讨[J]. 山西建筑, 2009, 35 (26): 256-257.
MU Lin-lin, LI Guo-fen. Discussion on the Technology of Side Slopes Ecological Restoration of Expressway [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35 (26): 256-257.
- [2] 盖春英. 我国交通影响分析现状及发展建议[J]. 公路交通科技, 2009, 26 (8): 115-119.
GAI Chun-ying. Present State and Suggestion of Traffic Impact Analysis of China [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (8): 115-119.
- [3] 余海龙,顾卫,卜崇峰. 环境价值在高速公路建设方案选择中的应用研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26 (7): 153-158.
YU Hai-long, GU Wei, BU Chong-feng. Study on Application of Environmental Value in Expressway Construction Project Scheme Choosing [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26 (7): 153-158.
- [4] 袁卫锁. 植物纤维毯在粉砂土路基边坡及边沟中的应用[J]. 中外公路, 2014, 34 (2): 82-86.
YUAN Wei-suo. Application of Geotextiles in Silty Soil Subgrade Slope and Side Ditch [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2014, 34 (2): 82-86.
- [5] DATYE K R, GORE V N. Application of Natural Geotextiles and Related Products [J]. Geotextiles and Geomembranes, 1994, 13 (6/7): 371-388.
- [6] MITCHELL D J, BARTON A P, FULLEN M A, et al. Field Studies of the Effects of Jute Geotextiles on Runoff and Erosion in Shropshire, UK [J]. Soil Use and Management, 2003, 19 (2): 182-184.
- [7] BHATTACHARYYA R, FULLEN M A, BOOTH C, et al. Effectiveness of Biological Geotextiles for Soil and Water Conservation in Different Agro-environments [J]. Land Degradation and Development, 2011, 22 (5): 495-504.
- [8] LUO H, ZHAO T, DONG M, et al. Field Studies on the Effects of Three Geotextiles on Runoff and Erosion of Road Slope in Beijing, China [J]. Catena, 2013, 109: 150-156.
- [9] SMETS T, POESEN J, BHATTACHARYYA R, et al. Evaluation of Biological Geotextiles for Reducing Runoff and Soil Loss under Various Environmental Conditions Using Laboratory and Field Plot Data [J]. Land Degradation and Development, 2011, 22 (5): 480-494.
- [10] FULLEN M A, BOOTH C A, SARSBY R W, et al. Contributions of Biogeotextiles to Sustainable Development and Soil Conservation in Developing Countries: the BORASSUS Project [J]. Wit Transactions on Ecology & the Environment, 2007, 106: 123-141.
- [11] JANKAUSKAS B, JANKAUSKIENE G, FULLEN M A. Soil Conservation on Road Embankments using Palm-mat Geotextiles: Field Studies in Lithuania [J]. Soil Use and Management, 2012, 28 (2): 266-275.
- [12] LI Rong, HOU Xian-qing, JIA Zhi-kuan, et al. Effects on Soil Temperature, Moisture, and Maize Yield of Cultivation with Ridge and Furrow Mulching in the Rainfed Area of the Loess Plateau, China [J]. Agricultural Water Management, 2013, 116: 101-109.
- [13] 温颖. 利用亚麻和大麻纤维制作抑草土工布的可行性研究[D]. 上海: 东华大学, 2014.
WEN Ying. Utilization of Flax and Hemp Fibers in Nonwoven Weed Suppression Geotextiles [D]. Shanghai: Donghua University, 2014.