

黄土丘陵沟壑区不同草本植物生长期植物纤维毯对 沟道边坡产流产沙的影响

张平¹, 王树森¹, 马迎梅¹, 徐军²,
李国婧³, 杨洪琴⁴, 孟凡旭¹, 张娜¹, 程冀文¹

(1.内蒙古农业大学沙漠治理学院,荒漠生态系统保护与修复国家林业和草原局重点实验室,内蒙古自治区风沙物理与防沙治沙工程重点实验室,呼和浩特 010018;2.内蒙古农业大学草原与资源环境学院,呼和浩特 010018;3.内蒙古农业大学生命科学学院,内蒙古自治区植物逆境生理与分子生物学重点实验室,呼和浩特 010018;4.内蒙古通辽市科尔沁区档案馆,内蒙古 通辽 028000)

摘要:为探究植物纤维毯在黄土丘陵沟壑区的适用性以及不同植物生长期植物纤维毯的水土保持效益,以内蒙古呼和浩特市清水河县为研究区,采用野外人工模拟降雨试验方法,对植物生长期为 58,81,132 天的直播草本边坡和植物纤维毯边坡径流产沙进行模拟试验。结果表明:(1)植物纤维毯护坡措施可显著延长边坡产流时间,并且产流时间随着植物生长期的增加而增加。在植物生长期为 58,81,132 天时,植物纤维毯边坡产流时间分别为 86,110,243 s,明显大于裸坡(50,70,111 s)和直播草本边坡(73,83,123 s)。(2)随着植物生长期的增加,植物纤维毯边坡径流量从 13 125 mL 降至 5 478 mL,产沙量从 73 g 降至 22 g;直播草本边坡径流量从 25 573 mL 降至 14 340 mL,产沙量从 201 g 降至 82 g。(3)植物纤维毯护坡措施减流效益为 55%~78%,减沙效益为 71%~89%。(4)坡面植被高度、盖度是植被生长状况中影响径流产沙的主要因子,径流量、产沙量与植被高度和盖度呈多元线性函数关系。植物纤维毯能够有效降低黄土丘陵沟壑区沟道边坡土壤侵蚀,减少产流。

关键词:黄土丘陵沟壑区;生长期;植物纤维毯;产流产沙量

中图分类号:S157.2

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)05-0049-07

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.05.007

Effects of Plant Fiber Blankets of Different Herbaceous Plant Growth Stages on Runoff and Sediment Yield in the Loess Hilly and Gully Region

ZHANG Ping¹, WANG Shusen¹, MA Yingmei¹, XU Jun², LI Guojing³,

YANG Hongqin⁴, MENG Fanxu¹, ZHANG Na¹, CHENG Jiwen¹

(1.College of Desert Control, Inner Mongolia Agricultural University, College of Desert Control Science and Engineering, Aeolian Physics and Desertification Engineering Key Lab, The Key Laboratory of Desert Ecosystem Conservation and Restoration, State Forest Administration of China, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018;

2.College of Grassland, Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018;

3.College of Life Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Inner Mongolia Key Laboratory of Plant Stress Physiology and Molecular Biology, Hohhot 010018; 4.Korqin District Archives, Tongliao City, Tongliao, Inner Mongolia 028000)

Abstract: In order to explore the applicability of plant fiber blankets and its soil and water conservation benefits with different plant growth periods in the hilly and gully regions of the Loess Plateau, an artificial rainfall simulation experiment was conducted in Qingshuihe County, Inner Mongolia, to study the runoff and sediment yield in direct-seeded herbaceous slopes and plant fiber blanket slopes with 58, 81 and 132 days plant growth periods. The results were as follows: (1) Plant fiber blanket slope protection measures could significantly extend the slope runoff time, and the runoff time increased with the increases of plant growth

收稿日期:2020-02-04

资助项目:呼和浩特市科技计划项目重大专项(2017-社-重-4)

第一作者:张平(1993—),男,硕士研究生,主要从事水土保持研究。E-mail:357970351@qq.com

通信作者:王树森(1970—),男,博士,教授,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:wsswtt@126.com

periods. When the plant growth period was 58, 81, 132 days, the plant fiber blanket slope runoff time was 86, 110, 243 s, which was significantly longer than the bare slope (50, 70, 111 s) and the direct-seeded herbal slope (73, 83, 123 s). (2) With the increases of plant growth periods, the runoff of the slope of plant fiber blanket decreased from 13 125 mL to 5 478 mL; sediment yield decreased from 73 g to 22 g; the runoff of the direct seeding herb slope decreased from 25 573 mL to 14 340 mL, and the sediment yield decreased from 201 g to 82 g. (3) The runoff reduction of plant fiber blanket slope protection measures were 55% ~ 78%, and sediment reduction were 71% ~ 89%. (4) Slope vegetation height and coverage were the main factors affecting runoff and sediment yield in vegetation growth conditions. There were multivariate linear functions relationships among runoff, sediment yield, height and coverage. The plant fiber blanket could effectively reduce soil erosion and reduce runoff in the gully slope of loess hilly and gully region.

Keywords: loess hilly and gully region; growth period; plant fiber blanket; runoff and sediment yield

黄土丘陵沟壑区是黄土高原土壤侵蚀最严重的地区之一,也是黄河泥沙的主要来源区^[1]。长久以来,由于受水力、风力、重力侵蚀相互影响,加之黄土的成因特殊性以及日益频繁的人类活动,造成黄土丘陵沟壑区地质灾害频发、黄土区域土质结构疏松、地面支离破碎、植被破坏殆尽,目前该区域已成为中国乃至世界上水土流失问题最为严重的地区之一。由于黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀剧烈,土壤养分流失严重,植被稀疏,沟谷侵蚀加剧,造成无数裸露边坡的出现。大量裸露的边坡不仅会引起更加严重的水土流失,还会导致滑坡、坍塌等地质灾害的出现,同时还会破坏原有地表植被,破坏生态环境。

为防止边坡失稳,通常边坡防护措施有植物护坡、工程护坡以及植物与工程相结合等^[2],以坡面长期稳定、恢复生态系统、防治水土流失为目的^[3-5]。植被护坡具有节约、高效、保持水土、加固坡体、防止冲刷和美化景观等诸多优点,逐渐成为边坡生态恢复和边坡综合治理的首选方式之一。但由于黄土自身具有多孔性、透水性强的特点,一些植被在坡度较高的黄土边坡初期种植的成活率较低,后期又由于植被物种和气候等原因造成大面积枯萎,较为严重的高陡边坡的土体近乎裸露,水土流失情况仍然持续恶化^[6]。而植物纤维毯护坡作为一种新型护坡方式,具有施工快,成本低,绿化快、保水保土、保护种子、促进植被恢复、可降解等特点^[7],理论上可有效解决黄土地区植物护坡所产生的诸多问题。因此,研究植物纤维毯在黄土地区的适用性及其优势,将会对黄土地区边坡治理带来极大帮助,并且边坡防护效果具有较强的时效性^[8],应对植物纤维毯护坡效果进行连续动态特征的评测,以掌握植物纤维毯不同生长阶段的防护效果。

本研究以内蒙古清水河县段兰窑流域沟壑边坡

区为研究区,通过野外模拟降雨,连续调查不同植物生长期植物纤维毯覆盖边坡的产流时间、径流量和产沙量,旨在讨论黄土丘陵沟壑区不同植物生长期植物纤维毯对边坡产流产沙的影响,为黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀规律研究、水土流失的控制提供科学依据,更为北方高寒干旱半干旱地区沟壑边坡植被修复提供技术支持。

1 材料与方法

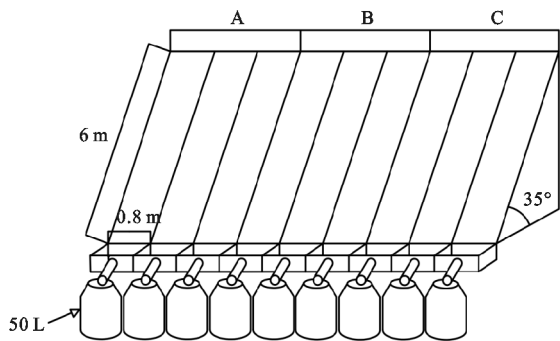
1.1 研究区概况

清水河县位于内蒙古自治区中部,呼和浩特市最南端。地理坐标为北纬 39°35′—40°35′,东经 111°21′—112°07′。清水河县地处内蒙古高原和黄土高原交接地带,地质构造属山西台背斜与内蒙古地轴相接之过渡带。岩石平缓,黄土覆盖较厚,地势由东南向西渐次低下,平均海拔 1 373.6 m。清水河县地处中温带,属典型的大陆性季风气候,四季分明,县内年平均气温 7.5 °C,年平均降水量 410 mm,年蒸发量 2 577.2 mm,为降水量的 6.3 倍,干旱年份可达 14 倍。清水河县县林木保存面积 88 000 hm²,森林覆盖率 30.8%,天然、人工优良牧草面积 84 666.67 hm²。土壤类型主要以栗褐土、栗钙土和灰褐土为主。

1.2 径流小区概述

在试验基地内共选取 9 个径流小区,各小区均建于 2018 年 5 月,立地条件一致,小区坡长 6 m、宽 0.8 m,坡度均为 35°,由 PVC 板隔开,PVC 板地表露出 20 cm,地下埋入 20 cm;每个径流小区最低处设置一个出水口,用于导出地表径流,出口处连接体积为 50 L 的集流桶,收集小区地表径流。设置每 3 个小区为 1 组,共 3 组。第 1 组小区采用草本直播护坡,设计植物种为豆科草本植物:红豆草(*Onobrychis viciifolia*)、百脉根(*Lotus corniculatus*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*);禾本科草本植物:高羊茅(*Festuca*

elat)、无芒雀麦(*Bromus inermis*)、冰草(*Agropyron cristatum*);第 2 组小区采用植物纤维毯护坡,设计植物种与第 1 组相同;第 3 组小区为裸坡对照。供试植物纤维毯选用椰丝毯,规格为厚度 0.7 cm、宽 2.5 m、长 50 m,孔隙度 15~20 mm,抗压强度 ≥ 800 pa(n/m^2)。本项研究筛选的 6 种优势草本均由北京佰青源畜牧业科技发展有限公司提供,并确定以豆科与禾本科密度比为 1:1 进行播种。试验区 3 种边坡处理措施见图 1。



注:A 为直播草本护坡措施;B 为植物纤维毯护坡措施;C 为裸坡。

图 1 试验区 3 种边坡处理措施

1.3 试验设计与研究方法

本项研究试验采用课题组自行设计的下喷式降雨器(图 2),有效雨滴降落高度为 6 m,雨滴雾化效果良好。依据试验区气候特点以及近 50 年来的降雨变化规律,发现试验区降雨主要集中在 7—8 月,平均降雨强度为 70 mm/h,故本项模拟降雨试验设定的降雨强度为 70 mm/h,降雨历时为 60 min。依据植被生长状况(表 1),分别在播种后 58,81,132 天进行现场原位模拟降雨,为了保证试验的准确性,降雨均无在无风条件下进行,每次正式降雨之前,先进行 10 min 的预降雨,保证各场次正式降雨前的土壤水分状况基

本一致^[9]。每次试验前对雨强进行率定,并对降雨均匀性进行检验,尽量减少雨强的误差,使数据达到合理、准确。试验过程中按试验方案观测坡面地表径流过程,在雨滴到达地面时开始计时,记录产流时间,产流后开始采集单位时间径流泥沙样,以 5 min 为时间段接取全部水沙样,降雨试验结束后,量测每个径流泥沙样中的径流量,并用烘干法测出含沙量。

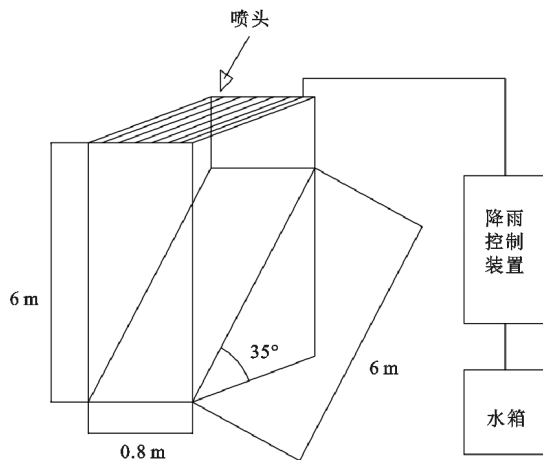


图 2 野外模拟降雨试验装置示意

为直观比较不同植物生长期植物纤维毯的降低径流抑制产沙的能力,引入减流效益(P_{ri})和减沙效益(P_{si})指标,减流效益(P_{ri})和减沙效益(P_{si})能有效反映不同植物生长期对产流和产沙的影响,计算公式^[10]为:

$$P_{si} = \frac{S_{bi} - S_{mi}}{S_{bi}} \times 100\%$$

$$P_{ri} = \frac{Q_{bi} - Q_{mi}}{Q_{bi}} \times 100\%$$

式中: Q_{bi} 和 Q_{mi} 分别为对照组和护坡组的产流量(mL); S_{bi} 和 S_{mi} 分别为对照组和护坡组的产沙量(g)。(不同植物生长期*i*为 58,81,132 天)

表 1 不同植物生长期 2 种护坡措施的植被状况

生长期/d	LP			ZB			ZBT		
	盖度/%	高度/cm	密度/株	盖度/%	高度/cm	密度/株	盖度/%	高度/cm	密度/株
58	16.22	15.77	17.33	29.15	17.08	61.67	17.69	15.31	37.00
81	20.22	18.16	27.67	37.06	23.09	136.00	34.17	24.75	74.22
132	26.11	21.26	42.03	44.45	26.48	60.99	47.78	31.20	48.78

注:LP 为裸坡;ZB 为直播草本边坡;ZBT 为植物纤维毯边坡。下同。

2 结果与分析

2.1 不同植物生长期产流时间特征

产流时间的长短在一定程度上也可反映护坡措施对径流产沙的抑制效果。由表 2 可知,不同植物生长期各护坡措施下产流时间差异明显,植物纤维毯边坡的产流时间最大,明显大于裸坡和直播草本边坡。植物生长期为 58 天时,植物纤维毯边坡的产流时间为 86 s,是裸坡产流时间的 1.69 倍,是直播草本

边坡产流时间的 1.18 倍;植物生长期为 81 天时,植物纤维毯边坡的产流时间为 110 s,是裸坡产流时间的 1.56 倍,是直播草本边坡产流时间的 1.32 倍;植物生长期为 132 天时,植物纤维毯边坡的产流时间为 243 s,是裸坡产流时间的 2.61 倍,是直播草本边坡产流时间的 1.97 倍。产流时间随植物生长期的变化具有明显规律性,随着植物生长期的增加,各边坡的产流时间也不同程度的增加。植物生长期由 58 天增加

至 132 天时,直播草本边坡的产流时间从 73 s 增加到 123 s,植物纤维毯边坡从 86 s 增加到 243 s,这主要是因为随着植物生长期的增加,各边坡植被的盖度也在不断增加,坡面覆盖状况得到改善,地表植被对雨滴的拦截能力增强,入渗能力也有所增强,坡面形成径流的时间增加,故产流时间也增加。

表 2 不同植物生长期 2 种护坡措施的产流时间

生长期/d	LP	ZB	ZBT
58	50Bd	73Ba	86Ba
81	70ABb	83Bb	110Ba
132	93Ab	123Ab	243Aa

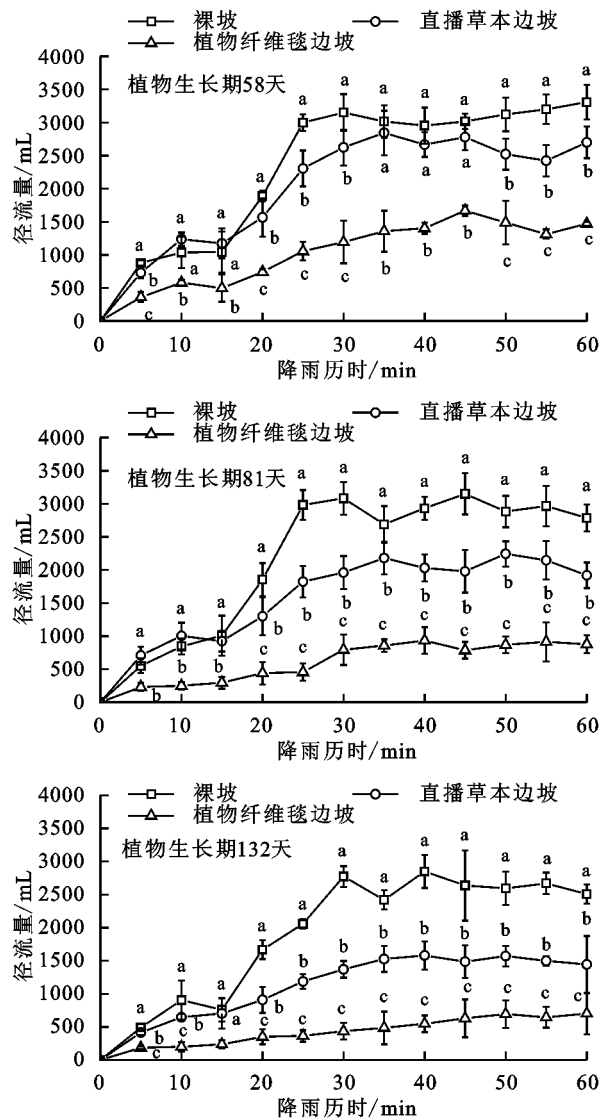
注:同列不同小写字母表示各边坡间差异显著($P < 0.05$);同列不同大写字母表示不同植物生长期差异显著($P < 0.05$)。

2.2 不同植物生长期的径流特征

由图 3 可知,当植物生长期为 58 天时,植物纤维毯边坡的径流量明显小于裸坡和直播草本边坡,径流量大小顺序为裸坡 > 直播草本边坡 > 植物纤维毯边坡,裸坡径流量是直播草本边坡的 1.16 倍,是植物纤维毯边坡的 2.26 倍。径流过程都是随降雨历时的增加,呈现先增加然后达到一个波动稳定的状态,这是由于在降雨初期土壤入渗量大于降水量,当下渗率达到稳渗速率后,产流率也趋于稳定^[11]。植物生长期为 81,132 天时,径流量大小排序和径流状态基本上与植物生长期为 58 天时一致,径流量均为植物纤维毯边坡最小,裸坡最大,直播草本边坡次之。由此表明,在不同植物生长期,即使在植被生长初期,植物纤维毯都能有效抑制径流的产生,这主要是因为即使在植被生长初期,坡面植被覆盖情况较差,但植物纤维毯可吸收水分,毯状结构增强截流^[12],从而直接减少径流量,并且植物纤维毯还可增加地表粗糙度,降低水流流速,增大水流平均深度,促进入渗,从而减少径流。

随着植物生长期的增加,裸坡、直播草本边坡和植物纤维毯边坡的径流量均有不同程度的降低。当植物生长期为 132 天时,裸坡的径流量比植物生长期为 58 天时降低了 5 278.65 mL,直播草本边坡的径流量降低了 11 233.3 mL,植物纤维毯边坡的径流量降低了 7 647.36 mL。随着生长期的增加,坡面植被生长状况逐步变好,植被盖度、密度等逐渐增加,地表植被对雨滴的拦截能力大大增强,径流流速降低,同时植被根系也逐渐生长,使土壤孔隙度有所增加,土壤入渗能力增加,故径流量不断减小。直播草本边坡的径流量随植物生长期的增加不断减少,且降幅最大,对径流的抑制作用不断增加,但径流量始终要大于植物纤维毯边坡,植物纤维毯护坡措施在植物生长初期的径流量就明显小于直播草本护坡措施,随着生

长期的增加,植物纤维毯护坡措施对径流的抑制作用又进一步得到加强。各边坡随降雨历时达到稳定的时间也因植物生长期的增加有所增加,当植物生长期为 58 天时,裸坡、直播草本边坡和植物纤维毯边坡径流达到稳定的时间分别为 25,30,35 min;当植物生长期为 81 天时,径流达到稳定的时间分别为 25,35,40 min;当植物生长期为 132 天时,径流达到稳定的时间分别为 30,40,45 min,当植物生长期不断增加时,植被覆盖度也逐渐变大,植被叶冠层能够阻挡大部分的雨滴动能,延长水分入渗时间,下渗率到达稳定速率的时间也会增加,故径流量达到稳定状态的时间也有所增加。



注:图中不同小写字母表示各边坡间差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 3 不同植物生长期各边坡的产流过程

2.3 不同植物生长期的产沙特征

由图 4 可知,当植物生长期为 58 天时,植物纤维毯边坡的产沙量最小,裸坡的产沙量最大,产沙量大小顺序为裸坡 > 直播草本边坡 > 植物纤维毯边坡,裸坡和直播草本边坡的产沙状态波动激烈,产沙量也非

常大,分别是植物纤维毯边坡产沙量的 3.46, 2.75 倍,植物纤维毯边坡的产沙状态则随降雨历时先增大后减小。生长期为 81,132 天时,产沙量大小排序与生长期为 58 天时基本一致,但裸坡、直播草本边坡和植物纤维毯边坡的产沙状态则变为随降雨历时先增大然后稳定波动,这主要是因为随着生长期增加,裸坡基本无植被覆盖,直播草本边坡上植物的生长状况还处于幼苗阶段,植被盖度等指标还很低,对雨滴的拦截能力很差,致使雨滴直接击打地表,土壤易被剥离带走,产沙量便会增大且不稳定;而植物纤维毯护坡措施中植物纤维毯的覆盖能够减少或避免雨滴直接打击表土,减少土壤溅蚀和雨滴对表土的破碎作用^[13],但是由于在铺设植物纤维毯时,为保证种子顺利发芽和生长,铺设植物纤维毯后在植物纤维毯上进行了少量的覆土,便导致铺设植物纤维毯的边坡在前期经历降雨时会产生较多的泥沙。

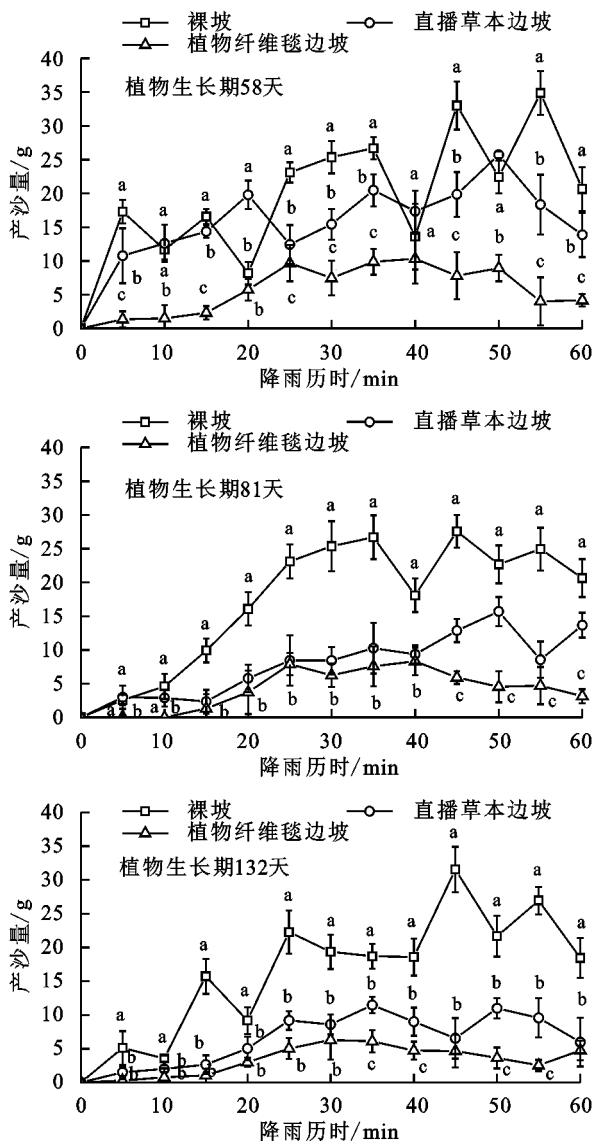


图 4 不同植物生长期各边坡的产沙过程

通过图 4 还可发现,随着植物生长期的增加,裸

坡、直播草本边坡和植物纤维毯边坡的产沙量均不同程度的减小。当植物生长期由 58 天增长至 132 天时,裸坡的产沙量由 253.42 g 降至 211.14 g,直播草本边坡由 201 g 降至 82.54 g,植物纤维毯边坡由 73.14 g 降至 42.85 g,这是因为随着生长期的增加,植被生长状况不断变好,盖度、密度等也不断增加,植被对雨滴的拦截能力大大增强,减少了雨滴对表土的直接打击,同时禾本科发达的须根系有助于改善土壤的物理性质,增加土壤团聚体含量,进而增强了土壤的抗蚀性,产沙量逐渐减小。

2.4 不同植物生长期的减流减沙效益

由表 3 可知,在不同植物生长期下,植物纤维毯护坡措施的减流、减沙效益表现较好,均大于直播草本护坡措施,减流效益均在 55% 以上,减沙效益均在 70% 以上,其中植物生长期为 132 天时最好,减流效益为 77.49%,减沙效益为 89.42%。而直播草本护坡措施的减流、减沙效益较差,在植物生长期为 58 天时,减流效益为 13.65%,减沙效益为 20.69%,与植物纤维毯护坡措施相同,植物生长期为 132 天时直播草本护坡措施的减流、减沙效益最大,但减流效益也仅为 41.08%,减沙效益仅为 60.91%,2 项指标均低于植物生长期为 58 天时植物纤维毯护坡措施的减流、减沙效益。由此也可说明,植物纤维毯护坡措施在植物生长初期便能有效抑制径流产沙,并且在不同植物生长期减流减沙的效果都更显著。

表 3 不同植物生长期 2 种护坡措施的减流、减沙效益
单位:%

生长期/ d	ZB		ZBT	
	减流效益	减沙效益	减流效益	减沙效益
58	13.65	20.69	55.68	71.14
81	27.09	54.43	72.22	84.36
132	41.08	60.91	77.49	89.42

从表 3 还可以看出,随着植物生长期的增加,直播草本和植物纤维毯护坡措施的减流、减沙效益都有不同程度的增加,当植物生长期为 132 天时,植物纤维毯护坡措施的减流效益较植物生长期为 58 天时增长了 21.81%,减沙效益增长了 18.28%;直播草本护坡措施的减流效益较植物生长期为 58 天时增长了 27.43%,减沙效益增长了 40.22%,减流、减沙效果逐步提升。

2.5 植被生长状况对径流产沙量的影响

通过对直播草本边坡、植物纤维毯边坡径流产沙量与植被生长状况进行相关性分析(表 4)得出,直播草本边坡和植物纤维毯边坡径流产沙量与高度、盖度呈显著负相关($P < 0.01$),与密度的相关性不显著。

表 4 2 种护坡措施径流量、产沙量与植被生长状况各项指标的相关性

指标	ZB		ZBT	
	径流量	产沙量	径流量	产沙量
高度	-0.818**	-0.831**	-0.905**	-0.909**
盖度	-0.937**	-0.874**	-0.924**	-0.869**
密度	0.094	-0.244	-0.491	-0.119

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

从植被生长状况各项指标与直播草本边坡、植物纤维毯边坡径流产沙的相关性分析得出,坡面植被的高度、盖度是植被生长状况中影响径流产沙的主要因子,通过多元线性回归分析,径流量、产沙量与高度和盖度呈多元线性函数关系,表达式为: $y = a - bx_1 - cx_2$ 。式中: y 为径流量(mL)或产沙量(g); x_1 为高度(cm); x_2 为盖度(%),方程决定系数 R^2 均在 0.8 以上。由表 5 可知,当植物生长期不断增加,坡面植被的高度和盖度也不同程度的增加,便会导致 2 种护坡措施的径流量和产沙量不断减少。并且直播草本护坡措施的常数 a 明显大于植物纤维毯护坡措施,当植物生长初期或植被状况较差时,便会出现直播草本护坡措施的径流产沙量大于植物纤维毯护坡措施的现象,从而也可说明植物纤维毯护坡措施对径流产沙的抑制作用更好。

表 5 2 种护坡措施径流量、产沙量与盖度和高度的关系

护坡措施	指标	方程	R^2
ZB	径流量-高度、盖度	$y = 43412.613 - 279.931x_1 - 472.89x_2$	0.930
	产沙量-高度、盖度	$y = 411.064 - 4.664x_1 - 4.878x_2$	0.867
ZBT	径流量-高度、盖度	$y = 17151.131 - 150.195x_1 - 129.608x_2$	0.863
	产沙量-高度、盖度	$y = 99.354 - 0.106x_1 - 1.626x_2$	0.827

注: y 为径流量(mL)或产沙量(g); x_1 为高度(cm); x_2 为盖度(%)。

3 讨论

从减流、减沙效益来看,本研究中的植物纤维毯具有良好的减流、减沙效果,减流效益均在 55% 以上,减沙效益均在 70% 以上。这与李宏钧等^[13]得出植物纤维毯可以有效减少水土流失量,相比裸地减少产沙量 56%~98%,减少径流 26%~81% 的结论相似。与 Bhattacharyya 等^[14]在东南亚地区试验发现植物纤维毯可降低土壤侵蚀 67%~98% 得到相互印证。而刘宏远等^[12]研究 3 种植物纤维毯在室内模拟降雨下的径流量和侵蚀泥沙量时也发现,植物纤维毯能有效降低侵蚀和减少产流,平均减蚀效益分别为 94.92%, 86.06%, 83.42%, 平均减流效益分别为 31.59%, 45.02%, 52.44%, 使植物纤维毯减少产流、

减少产沙的作用亦得到相关研究的证实。

通过以往的研究^[12,15-16]可以发现,影响植物纤维毯保持水土能力的因素有很多,如岳桓陞等^[15]研究发现,不同材料和质量的植物纤维毯护坡效果存在较大差异,其中 200~300 g/m² 的植物纤维毯具有更好的保水效果;刘宏远等^[12]研究发现,降雨强度对植物纤维毯减沙效益、减流效益有较大的影响,植物纤维毯减蚀效益和减流效益均在 47 mm/h 雨强最高,随降雨强度进一步增大表现出不同程度的降低;郭宇等^[16]研究发现,边坡坡度也是影响植物纤维毯产流产沙的重要因素之一,降雨强度为 35, 46.93 mm/h,坡度在 30°~40°时,边坡产流量和产沙量随坡度增加呈增加趋势,坡度在 40°~45°时,植物纤维毯边坡产流量和产沙量随坡度增加呈减少趋势,即在 40°附近出现临界坡度。本研究还发现,植被生长状况也会影响植物纤维毯保持水土的能力,植物纤维毯的减流、减沙效益随植物生长期的增加而增加,当植物生长期从 58 天增加 132 天时,植物纤维毯的减流效益由 55.68% 增加至 77.49%,减沙效益由 71.14% 增加至 89.42%。通过对植物纤维毯边坡径流产沙量与植被生长状况进行相关性分析还得出,植物纤维毯边坡径流产沙量与植被高度、盖度呈显著负相关($P < 0.01$),坡面植被高度、盖度是植被生长状况中影响植物纤维毯护坡措施径流产沙的主要因子,径流量、产沙量与高度和盖度呈多元线性函数关系,表达式为: $y = a - bx_1 - cx_2$ 。式中: y 为径流量(mL)或产沙量(g); x_1 为高度(cm); x_2 为盖度(%),方程决定系数 R^2 均在 0.8 以上(表 5)。这是由于植物纤维毯保持水土的作用是多方面过程的综合体现,除了覆盖在坡面的毯状结构可以持续保护坡面抑制产流、产沙^[14,17-19],在植被充分发育后,形成茂密的地表植被覆盖,也可以保护坡面,提升对坡面的防护能力^[20],进一步减少径流和泥沙的产生,在植物纤维毯降解之前,植物纤维毯与植被共同起到保持水土的作用,所以植物生长状况对植物纤维毯保持水土有很大的影响。

目前对植物纤维毯的研究大量集中于减少侵蚀、保水固土方面,对植物纤维毯改良土壤和促进植物生长方面的研究还相对缺乏,改善土壤理化性质、促进植被恢复也是植物纤维毯的主要功能,在以后的研究中,可在植物纤维毯对植物恢复和改良土壤的作用进行研究,从而才能整体的系统的评价植物纤维毯的水土保持效益。

4 结论

(1) 植物纤维毯护坡措施可显著延长边坡产流时

间,并且产流时间随着植物生长期的增加而增加。在植物生长期为 58,81,132 天时,植物纤维毯边坡产流时间分别为 86,110,243 s,明显大于裸坡(50,70,111 s)和直播草本边坡(73,83,123 s)。

(2)在不同植物生长期,植物纤维毯护坡措施都对边坡径流产沙的抑制作用最好。即使在植物生长初期,植物生长状况较差的情况下,植物纤维毯护坡措施都能显著抑制径流产沙。在植物生长期为 58,81,132 天时,植物纤维毯边坡径流量和产沙量明显低于裸坡和直播草本边坡,径流量和产沙量大小及排序为裸坡>直播草本边坡>植物纤维毯边坡。

(3)随着植物生长期的增加,植物纤维毯和直播草本边坡的径流产沙量也不同程度降低。随着植物生长期从 58 天增加 132 天,植物纤维毯边坡径流量从 13 125 mL 降至 5 478 mL,产沙量从 73 g 降至 22 g;直播草本边坡径流量从 25 573 mL 降至 14 340 mL,产沙量从 201 g 降至 82 g。

(4)在减流、减沙效益分析中,不同植物生长期下,植物纤维毯护坡措施的减流、减沙效益都表现良好,均大于直播草本护坡措施,减流效益均在 55% 以上,减沙效益均在 70% 以上,并且减流、减沙效益随植物生长期的增加而增加。

(5)坡面植被高度、盖度是植被生长状况中影响径流产沙的主要因子,径流量、产沙量与高度和盖度呈多元线性函数关系,满足 $y = a - bx_1 - cx_2$ 。式中: y 为径流量(mL)或产沙量(g); x_1 为高度(cm); x_2 为盖度(%)。

参考文献:

- [1] 朱燕琴,赵志斌,齐广平.黄土丘陵区植被类型和降雨对坡面侵蚀产沙的影响[J].水土保持学报,2019,33(2):9-16.
- [2] 孙婷婷,李柏,刘慧博.三种生态护坡形式的水土保持效果研究[J].中国水土保持,2017(2):10-12.
- [3] 荣浩,珊丹,刘艳萍,等.草原工程侵蚀区植被恢复模式的水土保持效应[J].水土保持研究,2017,24(3):24-28.
- [4] Kalibova J, Jacka L, Petru J. The effectiveness of jute and coir blankets for erosion control in different field and laboratory conditions[J]. Solid Earth, 2016, 7(2): 469-479.
- [5] Jankauskas B, Jankauskiene G. Soil conservation on road embankments using palm-mat geotextiles: Field studies in Lithuania[J]. Soil Use and Management, 2012, 28(2): 266-275.
- [6] 李绵绵.黄土丘陵沟壑区植被护坡的适宜性评价[D].西安:长安大学,2019.
- [7] 陈学平,简丽,贾献卓,等.植物纤维毯覆盖对公路边坡植被重建的影响[J].公路交通科技,2017,34(2):143-148.
- [8] 刘治兴.高速公路边坡植物不同生长期防护效果研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [9] 李洪丽,韩兴,张志丹,等.东北黑土区野外模拟降雨条件下产流产沙研究[J].水土保持学报,2013,27(4):49-52,57.
- [10] 田野.堆渣边坡两种护坡措施的水土保持效益研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [11] 温永福,高鹏,穆兴民,等.野外模拟降雨条件下径流小区产流产沙试验研究[J].水土保持研究,2018,25(1):23-29.
- [12] 刘宏远,刘亮,李秀军,等.植物纤维毯道路边坡防护技术综合效益评价[J].水土保持学报,2019,33(1):345-352.
- [13] 李宏钧,孔亚平,张岩.植物纤维毯生态防护效益研究述评[J].中国水土保持科学,2016,14(3):146-154.
- [14] Bhattacharyya R, Yi Z, Yongmei L, et al. Effects of biological geotextiles on aboveground biomass production in selected agro-ecosystems[J]. Field Crops Research, 2012, 126: 23-36.
- [15] 岳桓陞,杨建英,杨阳,等.不同降雨强度条件下植被毯护坡技术的产流特性[J].中国水土保持科学,2015,13(1):35-41.
- [16] 郭宇,王树森,马迎梅,等.植被毯对内蒙古清水河县黄土丘陵沟壑区黄土边坡产流产沙量的影响[J].水土保持学报,2019,33(6):61-71.
- [17] Bhattacharyya R, Fullen M A, Booth C A. Using palm-mat geotextiles on an arable soil for water erosion control in the UK [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2011, 36(7): 933-945.
- [18] Bhattacharyya R, Fullen M A, Booth C A, et al. Effectiveness of biological geotextiles for soil and water conservation in different agro-environments [J]. Land Degradation & Development, 2011, 22(5): 495-504.
- [19] 马文宝,姬慧娟,宿以明,等.植被毯边坡防护特点及其研究应用[J].中国水土保持,2013(1):30-33.
- [20] 颜春水.植物纤维毯生态防护技术的工程应用[J].公路交通科技(应用技术版),2013,9(2):217-219.