

表土堆置体不同覆盖措施坡面流失特征

邓从¹, 陈为峰¹, 王文中², 刘志全², 胡琴¹

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271000; 2. 山东省土地综合整治服务中心, 济南 250014)

摘要: 通过人工模拟降雨试验, 研究不同覆盖措施对坡面土壤侵蚀的影响。试验表土堆置体坡度比为 1 : 1.5, 进行 3 种覆盖措施(未处理、覆盖土工网和种植白三叶草(*Trifolium repens* L.))处理, 设计 0.5, 1.0, 1.5 mm/min 3 种雨强, 对比分析不同降雨强度条件下表土堆置体不同覆盖措施处理后坡面的径流和产沙规律, 并定量研究覆盖土工网与种植白三叶草在减少坡面径流和侵蚀产沙中的效益。结果表明: 在不同降雨强度条件下, 3 种覆盖措施对坡面侵蚀影响显著, 未处理的试验坡面产生的径流量和含沙量最高, 覆盖土工网次之, 种植白三叶草最低。整个试验过程中覆盖土工网减流效益为 50%, 种植白三叶草的减流效益更显著, 达 82% 以上; 而二者的减沙效益均在 94% 以上。总体来说, 覆盖土工网和种植白三叶草均可控制雨水对坡面土壤的侵蚀, 具有较好的减流、减沙效益, 且种植白三叶草的作用更显著。

关键词: 表土堆置体; 覆盖措施; 降雨强度; 流失特征

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)02-0092-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.02.014

Research on Characteristics of Slope Loss in Topsoil-bank with Different Coverage Measures

DENG Cong¹, CHENG Weifeng¹, WANG Wenzhong², LIU Zhiquan², HU Qin¹

(1. College of Resource and Environment, Shandong Agricultural University, Taian,

Shandong 271000; 2. Shandong Province Center for Land Comprehensive Improvement and Service, Jinan 250014)

Abstract: In order to reveal the effect of different coverage measures on the slope erosion of topsoil-bank, the simulated rainfall experiments were conducted in this study. Three coverage measure treatments, which were non-coverage (CK), geonet-coverage and plant-coverage, were set on the topsoil-bank. The slope ratio of topsoil-bank was 1 : 1.5 and the plant used in this study was *Trifolium repens* L. The rainfall intensities were 0.5, 1.0, 1.5 mm/min, respectively. The runoff and sediment yield law of the slope surface with the different coverage measures under the different rainfall intensities were studied. The results showed that the coverage measures had significant effects on slope erosion compared to CK under different rainfall intensities. The most runoff and sediment were produced in CK, followed by the geonet-coverage, and the least was plant-coverage. During the whole experiment, compared to CK, the geonet-coverage decreased the runoff by about 50%, while plant-coverage gave a more remarkable decrease (82%). Both geonet-coverage and plant-coverage treatments reduced sediment by more than 94%. In conclusion, coverage measures could inhibit the erosion of rain on the slope, and help reduce the runoff and sediment, among which the plant-coverage had a better role than geonet-coverage.

Keywords: topsoil-bank; surface treatment; rainfall intensity; characteristics of loss

作为世界上人口最多的发展中国家,我国当前正处于经济转型的关键时期,随着社会的快速发展和城镇化进程的不断推进,必然不可避免的占用部分耕地,且需求越来越强。通常来讲,表土是指农业耕地中富含作物生长所需的各种矿物质、有机质和微生物等元素的土壤。在生产建设项目施工之前采取工程

手段将占用耕地(包括临时性或永久性占用)所涉及的适合耕种的表层土壤进行剥离,剥离后的表土一般做到“即剥即用”,尽量减少对表层土壤的损耗和破坏。在无法实现“即剥即用”的情况下,实现剥离表土中长期的安全储存就是目前表土剥离利用工作中的一项重要内容^[1-4]。表土堆置体由于前期剥离和人为

收稿日期: 2017-10-15

资助项目: 山东省重点产业关键技术项目(2016CYJS05A02); 山东省财政厅、国土厅项目(2016320016)

第一作者: 邓从(1993—),男,汉族,山东东营人,硕士研究生,主要从事土地生态利用规划设计研究。E-mail: dengbrabus@outlook.com

通信作者: 陈为峰(1969—),男,汉族,山东日照人,教授,博士,博士生导师,主要从事土壤与植物生态、草坪及绿地水管理和土地生态整治研究。E-mail: chw@sdau.edu.cn

堆积等对表土原有结构造成剧烈扰动,抗蚀能力大幅下降,且在堆积后形成较陡的坡面,稳定性极差,遇到雨水天气会带来严重的水土流失,久而久之,就会造成土壤质量的下降^[5]。

近年来,国内外众多学者对于自然堆土或各种工程堆积体的流失特征进行了大量的相关研究,并取得许多重要的成果^[6-13]。但多数研究侧重于土堆的坡度、堆置类型及下垫面组成状况等因素对于不同降雨强度下的侵蚀响应,并且研究对象主要针对于矿区、水电站、隧道涵洞等产生的弃渣弃土。当前对于建设占用耕地剥离出的表土安全储存堆放的相关研究较少,采用物理措施或者生物措施对表土堆置体进行覆盖保护后水土流失特征的探讨更是鲜有考虑。鉴于上述情况,本研究通过自主研发模拟降雨装置进行模拟降雨,对比分析不同降雨强度条件下对剥离表土堆置体坡面3种不同覆盖措施后的径流、产沙规律,并定量研究覆盖土工网与种植三叶草在减少坡面径流和侵蚀产沙中的效益,为开发建设项目剥离表土堆置体采取物理措施或生物措施与坡面侵蚀响应提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

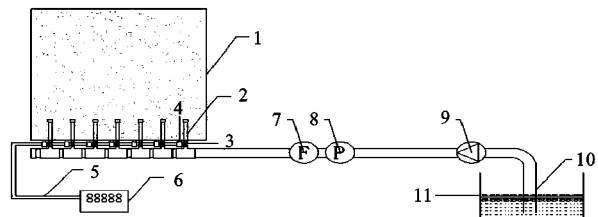
本试验于2017年4—6月在山东农业大学资源与环境学院综合试验基地(36°10'15"N, 117°08'55"E)内进行,试验区所在地属于温带半湿润大陆性季风气候区,气候温和,年平均气温12.8℃,南部、西部气温较高,东部、北部较低,无霜期平均195 d。多年平均降水量680 mm,受季风气候影响,年际降水变幅大,年内降水分布很不均衡,夏季降水最多,占年降水量的65%,冬季最少,仅占3.6%;受地形地貌影响,东部降水多于西部,山区降水多于平原,总趋势是自东北向西南逐渐减少。

1.2 试验设计

试验表土堆置体表层用土为泰安市泰山区周边生产建设项目占用耕地表层30 cm土壤,将剥离后的表土运回山东农业大学资源与环境学院综合试验基地待用^[14]。试验前去除表土中的杂草、碎石和较大土块,在试验地就地挖取一定的土用做下垫面,用机械堆置成四棱台型,并将处理后的试验表土自然、均匀地覆盖在表面,使得整体的堆置坡度比为1:1.5(垂直高度2.2 m,水平宽度3.3 m),将堆置体试验面整平并不做压实处理后划分为9个宽度各为1 m的小区,小区之间进行阻隔处理,保证互不干扰,其中3个小区试验面不做任何处理,保持自然堆置状态,3个小区用(8×6)mm±2 mm小孔径土工网进行表面覆盖,另外3个小区试验面按照15 g/m²的播种量种植白三叶草,9个小区相间对照设置。

1.3 雨强设计

模拟降雨试验采用0.5, 1.0, 1.5 mm/min 3种设计雨强;模拟降雨设备采用山东农业大学课题组自主研发的一种野外用动态变化仿真模拟降雨自动控制系统(图1)^[15-18]。该设备为喷嘴式,采用多射线角度可凋旋转喷头,调节角度为0~360°。各个喷头独立可控,通过调节管道压力和调控各个喷头不同启闭状态及不同规格型号喷头的组合形式实现动态变化的任意雨强、不同历时的人工模拟降雨过程,压力表最大量程为1 MPa。同时,该系统模拟降雨均匀度高,喷洒稳定,通过调整喷头喷射角度和射程,降雨强度保持不变。降雨高度为2.5 m时,水滴粒径及终点速度基本满足自然降雨要求。在每个小区的下方用隔板进行集流处理,以保证堆土平台上的径流产沙全部汇入出水口处径流桶内。试验前在堆置体试验面各小区随机布置9个雨量筒对雨强进行率定,待雨强达到试验要求后,开始试验,并记录产流时间,降雨时间为自产流起开始计时。



注:1为待测坡面;2为喷头;3为电磁阀;4为解码器;5为电源线;6为控制器;7为流量计;8为压力表;9为变频恒压自吸泵;10为供水管道;11为水源。

图1 模拟降雨设备示意

1.4 取样观测

每场试验开始前,测定堆置体坡面的表层容重及含水量。当堆置体试验面开始产流后立即计时并取样,为保证每次径流桶都能够收集到足够多并且不至于过多的径流和产沙量,在不同降雨强度下,合理缩短前几次取样时间,并根据该时间段内的径流量和变化趋势适当调整后期取样时间,直至径流量稳定。最终确定取样时间为:0.5 mm/min降雨强度下,产流后每隔4 min取1次样,共计64 min;1.0 mm/min降雨强度下,产流后每隔2 min取1次样,共计32 min;1.5 mm/min降雨强度下,产流后每隔1 min取1次样,共计16 min。试验后先用量筒测量所接各径流样的体积,然后静置24 h后倒去上清液,放入烘箱内烘干,称量产沙量。

1.5 数据处理与分析

为定量分析覆盖土工网和种植三叶草处理在减少坡面侵蚀过程中的贡献率,按照甘卓亭等^[19]的研究方法计算覆盖土工网和种植白三叶草对表土堆置体坡面表层土壤侵蚀的调控作用。

$$\begin{cases} CR = \frac{R-R'}{R} \times 100\% \\ CS = \frac{S-S'}{S} \times 100\% \end{cases}$$

式中: CR 和 CS 分别表示减流效益和减沙效益(%); R 和 S 分别表示未做处理试验小区的总径流量(mL)和总产沙量(g); R' 和 S' 分别表示其他处理后试验小区的总径流量(mL)和总产沙量(g)。

应用 Excel 2016 和 SPSS Statistics 22.0 软件进行数据统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 径流规律分析

由于对堆置体表面用小孔径土工网和白三叶草进行了覆盖处理,导致土壤物理性质发生了变化,与表面不做任何处理的试验小区相比,土壤的入渗性能、持水能力及抗侵蚀能力都发生了较大的变化^[12]。从图 2 可以看出,在 0.5 mm/min 降雨强度条件下,3 种试验小区的径流率均呈现出先增加后基本趋于稳定的趋势。整体来看,未处理、覆盖土工网和种植白三叶草处理试验小区的径流率依次递减,且差异显著。分析其原因,主要为模拟降雨初期,降雨以土壤入渗为主,土壤坡面并未产生径流,随着降雨历时的增加,土体含水量增加,导致产流大于入渗,堆置体试验坡面开始产生径流,且径流率逐渐增大直至基本稳定,并在一定范围内呈上下波动。对表土堆置体进行覆盖土工网处理后,降低了雨滴与表层土壤的直接接触面积,只有部分雨水可以透过网的孔隙渗入土壤,延迟了坡面表层土壤径流的产生;种植白三叶草则是通过其茂密的冠层对雨水的截留作用,对坡面径流产生较强的抑制作用。整个试验过程中,种植白三叶草的减流效应最为明显。

随着后期降雨强度的增大,各试验小区呈现出的径流规律越来越明显。在 1.0 mm/min 降雨强度条件下未处理试验的小区和在 1.5 mm/min 降雨强度条件下覆盖土工网处理的试验小区的径流率随降雨历时均呈波动式上升的规律(图 2)。分析其原因,主要为较大的降雨强度加速了试验坡面表层土壤径流的产生,此后相同时间内,留在坡面的雨水更多,进而导致径流率增加更明显;径流率呈现出波动式上升是因为较大的雨强容易使土壤表层暂时性形成一层薄的结皮,该结皮比其下层土壤具有更大的密度,导致入渗通道间断性的堵塞与联通,雨强越大规律越明显。同时,表层土壤含水量达到饱和状态后,在重力和毛管力作用下,水分会向更深的土层移动,是导致径流率出现波动的另一原因。由于覆盖土工网的保护作用,此规律在更大的雨强条件下表现得更明显。在 $1.0, 1.5 \text{ mm/min}$ 降雨强度条件下,种植白三叶草

处理的小区均呈现出较稳定的低径流率,主要是因为茂密的植物冠层对雨水起到了较强的截留作用,雨水很少能够透过植物冠层接触到土壤表层,较好地控制了坡面径流的产生,减流效应明显。

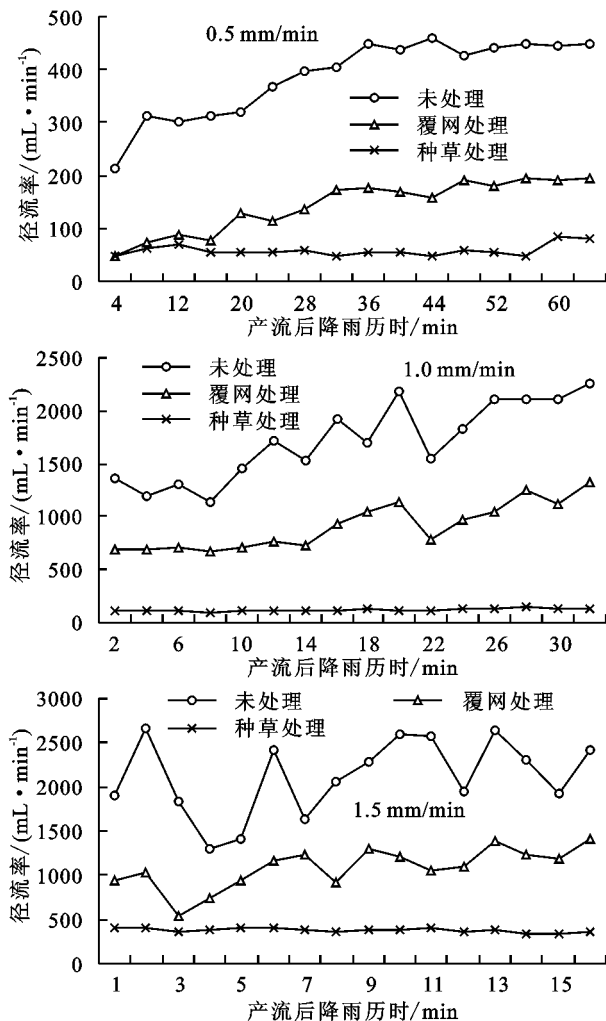


图 2 不同覆盖措施坡面径流率随降雨历时的变化

2.2 产沙规律分析

土壤的侵蚀产沙是一个复杂的过程,主要受降雨强度、历时和下垫面等多种因素的影响,径流含沙量的变化对于探讨降雨过程中的侵蚀产沙规律至关重要。从图 3 可以看出,在 0.5 mm/min 降雨强度条件下,3 种试验小区的产沙量均呈现出先减小后基本趋于稳定的趋势。整体来讲,未处理、覆盖土工网和种植白三叶处理的试验小区的含沙量依次递减,并且差异显著。其主要原因可能为降雨初期,表土堆置体坡面土壤较为松散,降雨过程中以溅蚀和面蚀为主,沟蚀尚未发育,雨滴打击和表层径流的侵蚀对象主要为质量小或可悬浮的细小颗粒,随着降雨时间的增加,坡面表层易蚀性颗粒逐渐减少,径流含沙量相应减少。对表土堆置体表面进行了覆盖土工网处理以后,一方面降低了雨水的直接击打侵蚀能力,同时由于其粗糙表面内的摩擦力作用,对泥沙起到一定的截留作用。相较覆盖土工网而言,种植白三叶草对泥沙的截留作用更为明显,首先

其茂密的冠层对于雨水有一定的拦蓄作用,使得更少的雨水直接接触到土壤表层,减少径流形成和对坡面的冲刷作用;再者其根系深入到土壤下层,将土壤颗粒穿插缠绕在一起,改善土壤结构,极大地提高了土壤的抗侵蚀能力,表现出明显的减沙效应^[12],这种效应在较大的雨强条件下表现更为明显。

在 1.0, 1.5 mm/min 降雨强度条件下,未处理的坡面产沙量随降雨历时均呈多峰值变化趋势,覆盖土工网和种植白三叶处理的坡面均保持较稳定的低产沙量(图 3)。随着降雨强度的增加,试验坡面的表层土壤水分在更短的时间内达到饱和状态,雨强大于土壤的入渗能力而产生的超渗径流逐渐增大,对表层土壤的侵蚀、搬运能力越来越强,降雨过程中除了溅蚀和面蚀外,沟蚀也开始发生。沟蚀对于坡面的侵蚀能量及搬运侵蚀物质的能力要远超溅蚀和面蚀。在较大的雨强冲刷下,未处理的坡面由于得不到有效的保护,随着降雨时间的增加很快会在坡面形成微地形,成汇水面积并冲刷出无数条或大或小的纵向沟壑,产生优势流。较大的径流量带来的直接影响就是较大的产沙量,即“水沙同步”。

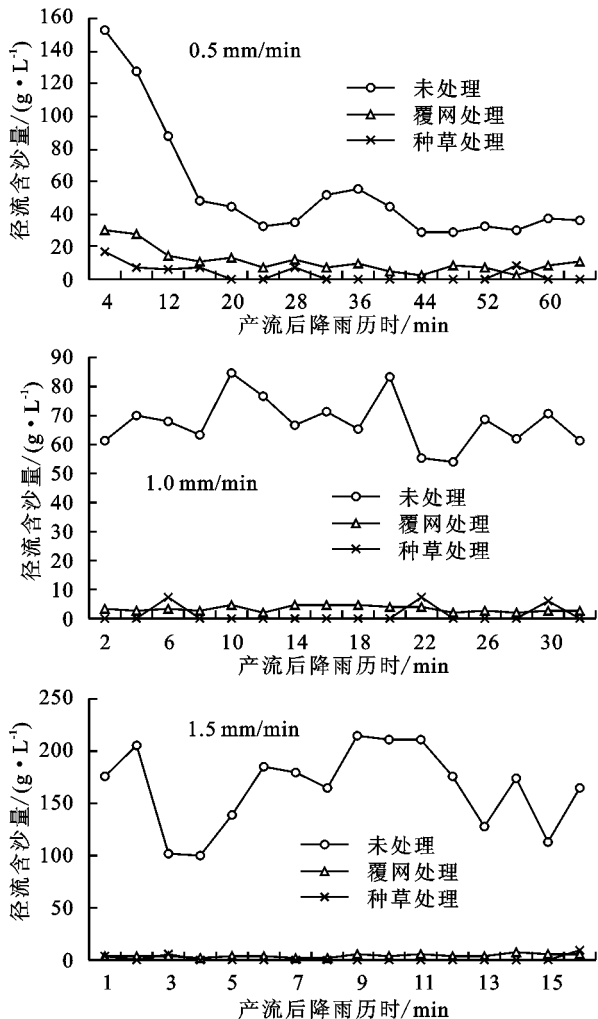


图3 不同覆盖措施坡面径流含沙量随降雨历时的变化

在较大的雨强条件下,未处理的试验小区产沙量随降雨历时呈现多峰值的变化,这与相同雨强条件下径流率表现的规律相呼应,较大的雨强容易使土壤表层暂时性形成一层薄的结皮,该结皮比其下层土壤具有更大的密度,导致入渗通道间断性的堵塞与联通,径流量增加,同时在较强的雨水侵蚀能量及搬运侵蚀物质的能力下,薄的结皮很快被雨滴破坏掉并随着径流带走,产沙量随之增加。

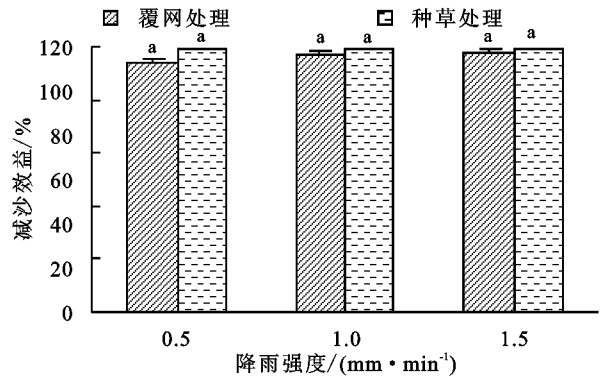
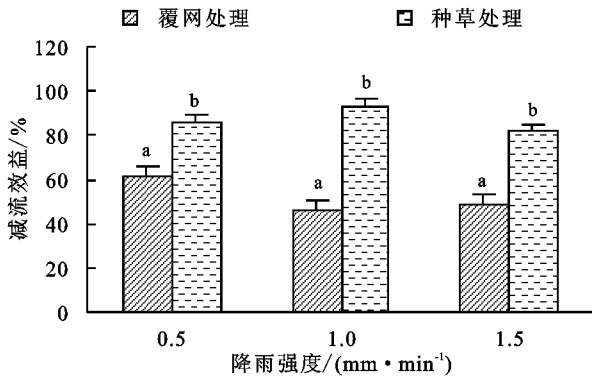
小雨强所具备的雨滴动能难以有效地分散、悬浮和搬运侵蚀物质,易蚀物质减少后径流中携带的泥沙量也随之减少;大雨强具备较高的雨滴动能,对坡面表层土壤打击分散能力强,坡面由超渗产流致使坡面径流量增大,同时坡面冲刷出的微地形汇水后对坡面产生较大的侵蚀,在这些因素共同作用下大大增加对坡面的侵蚀能量及搬运侵蚀物质的能力,径流中含沙量迅速增大。随着降雨时间的增加,坡面表层经过严重冲刷后还可能出现局部坍塌现象,这无疑增加了土壤的侵蚀量。进行覆盖土工网和种植白三叶草处理后的试验坡面由于土工网和植物根系、冠层的拦蓄作用,削弱了雨滴的侵蚀能力,增强了表层土壤的持土能力,表现出较好的减沙效应。

2.3 减流减沙效益分析

从图4可以看出,在 0.5, 1.0, 1.5 mm/min 雨强条件下,覆盖土工网的减流效益分别为 61%, 46% 和 49%, 种植白三叶草的减流效益分别为 86%, 93% 和 82%。显然,种植白三叶草的减流效益比同一雨强条件下覆盖土工网处理的减流效益更明显。

两种覆盖处理的减流机制存在一定差异,白三叶草具有较高的叶面积指数,其茂密的冠层可以在很大程度上拦蓄雨水,比较完全地控制坡面径流。与此相比,覆盖土工网具有较为稀疏的孔隙,对雨水的拦截和保持能力较差,其试验小区的径流量较大。因此,种植白三叶草可以发挥更明显的减流效应。

在 0.5, 1.0, 1.5 mm/min 3 种雨强条件下,覆盖土工网和种植白三叶草均表现出较高的减沙效益,且无明显差异,最低保持在 94% 以上,最高可达到 98% 和 99%, 这与甘卓亭等^[19]的研究结果类似。草本植被的覆盖可深刻影响降雨侵蚀的动力能^[11], 显著降低雨滴能量, 增加土壤入渗, 减少径流量与泥沙量^[20]。白三叶草冠层茂密且叶面积指数大, 加之其根系深入到土壤下层将土壤颗粒进行穿插缠绕, 形成更为紧密的土壤结构, 有效地控制了坡面侵蚀的发生。通过覆盖土工网, 可在一定程度削弱雨水的部分动能, 降低对坡面的直接击打能力, 同时其紧密且粗糙的网格状结构可有效阻断易蚀物质的搬运途径, 因此也表现出较强的减沙效益。



注:图中不同字母表示处理间差异显著($p < 0.05$)。

图 4 覆盖土工网与种植白三叶草处理的减流效益与减沙效益

3 结论

与坡面表层土壤不进行任何覆盖措施处理相比较,对表层土壤进行覆盖土工网或者种植白三叶草,在不同的降雨强度条件下,均可以比较完全地控制雨水对坡面土壤的侵蚀能力,表现出较好的减流、减沙效益。整个试验过程中覆盖土工网减流效益为 50%,种植白三叶草的减流效益显著,保持在 82% 以上;而两者的减沙效益均在 94% 以上。总体来讲,覆盖土工网和种植白三叶草在减少坡面侵蚀产沙方面都发挥了巨大作用,后者的减流减沙效益优于前者。在实际操作中,可根据土体体积大小和存放时间长短等综合考虑选取不同的覆盖措施,确保表土安全。

本试验未进行不同规格的土工网和不同植被类型及其覆盖度的研究,研究中也未考虑到白三叶草茎秆流对坡面土壤侵蚀的影响,这在一定程度上存在不足,今后应加强这方面的相关研究。

参考文献:

- [1] 万玉洁,陈瑶,李道林.耕作层堆放保护与培肥措施对土壤有机质变化的研究[J].安徽农学通报,2016,22(7):56-60.
- [2] 王春秋,徐长生.山东省建设占用耕地与经济增长的脱耦分析[J].中国人口·资源与环境,2012,22(8):128-132.
- [3] 王帮胜.浅谈建设占用耕地表土剥离存在的问题与对策[J].低碳世界,2016(9):93-94.
- [4] 敖显明.建设占用耕地表土层的再利用[J].绿色科技,2010(7):145-147.
- [5] 苏芳莉,林佳旭,乔琳,等.模拟降雨条件下自然堆土流失特征研究[J].沈阳农业大学学报,2015,46(2):198-203.
- [6] 苏芳莉,范昊明,安晓奇,等.辽宁棕壤区开发建设项目弃土流失特征研究[J].水土保持学报,2011,25(2):63-66.
- [7] 吕钊,王冬梅,王文静,等.生产建设项目弃渣(土)场水

土流失特征与防治措施[J].中国水土保持科学,2009,11(3):118-126.

- [8] 柴亚凡,周波,刘敏,等.人工模拟降雨法在隧道弃渣坡面水土规律研究中的应用[J].中国水土保持,2012(2):33-35.
- [9] 张家铭,左鸿鹏,邵晓泉,等.三峡库区野外模拟降雨条件下弃渣场土壤侵蚀特性[J].水土保持通报,2015,35(5):7-11.
- [10] 陈磊,谢永生,田飞,等.模拟降雨条件下不同土石比例弃土堆置体产流产沙研究[J].水土保持研究,2014,21(3):6-10.
- [11] 王雪松,谢永生,田飞,等.模拟降雨条件下赣北地区弃土堆置体侵蚀产沙试验研究[J].水土保持学报,2014,28(2):8-14.
- [12] 赵暄,谢永生,王允怡,等.模拟降雨条件下弃土堆置体侵蚀产沙试验研究[J].水土保持学报,2013,27(3):1-9.
- [13] 李勇,徐晓琴,朱显谟,等.黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J].科学通报,1992,37(4):366-369.
- [14] 国土资源部.耕作层土壤剥离利用技术规范(TD/T 1048—2016)[S].北京:中国环境出版社,2016:4-7.
- [15] 陈文亮,王占礼.人工模拟降雨特性的试验研究[J].水土保持通报,1991,11(2):55-59.
- [16] 王洁,胡少伟,周跃.人工模拟降雨装置在水土保持方面的应用[J].水土保持研究,2005,12(4):188-189.
- [17] 徐向舟,张红武,朱明东.雨滴粒径的测量方法及其改进研究[J].中国水土保持,2004(2):22-25.
- [18] 叶海英.雨量等级[EB/OL].(2012-04-23)[2017-01-07].http://www.cma.gov.cn/2011xzt/2013zhuant/20130417/2013041716/201304/t20130423_211758.html.
- [19] 甘卓亭,叶佳,周旗,等.模拟降雨下草地植被调控坡面土壤侵蚀过程[J].生态学报,2010,30(9):2387-2396.
- [20] Zhou Z C, Shanguan Z P. Effects of ryegrasses on soil runoff and sediment control[J].Pedosphere,2008,18(1):131-136.