
试
验
研
究

植草带对红壤坡耕地面源污染物输出的削减效果

王帅兵¹, 王克勤¹, 李秋芳¹, 刘培静¹, 王萍², 牛红玉¹

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224; 2. 重庆市风景园林科学研究院, 重庆 404447)

摘要: 为探讨植草带对红壤坡耕地面源污染输出的削减效果, 以植草带和裸露红壤坡面作对照, 根据野外观测数据拟定降雨强度和 N、P 等面源污染物浓度, 室内模拟产流产沙及 N、P 输出过程。结果表明, 雨强越小, 植草带的减流和减沙效果越明显; 在同一雨强条件下, 植草带的减沙效果比减流效果明显。与裸地比较, 植草带对全 N 的削减率随雨强和全 N 输入量增大而逐渐减小; 在 20 mm/h 和 35 mm/h 雨强条件下, 植草带对全 P 的削减率随着全 P 输入量的增大而增大, 在同一全 P 输入浓度条件下削减率随雨强增大而逐渐减小; 在 50 mm/h 雨强条件下, 植草带径流中全 N 输出量大于裸地对照。

关键词: 植草带; 红壤坡面; 面源污染物

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0001-07

中图分类号: S157, X703

Reduction Effects of Grass Planting Belt on Non-point Source Pollutants from Cropland in Red Soil Sloping Area

WANG Shuai-bing¹, WANG Ke-qin¹, LI Qiu-fang¹, LIU Pei-jing¹, WANG Ping², NIU Hong-yu¹

(1. Faculty of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China; 2. Chongqing Academy of Landscape Architecture, Chongqing 404447, China)

Abstract: Taking a regular bare slope with red soil as control, the reduction effects of grass planting belt on the non-point source pollutants from red soil sloping cropland were studied by simulating the quantities of runoff, sediment, nitrogen, phosphorus and the erosion processes under the different rainfall intensity conditions integrated with different concentrations of nitrogen, phosphorus and other non-point source pollutants preset by the data observed in the field. Results showed that the reduction effects on runoff and soil were more obvious when rainfall intensity was low. The soil reduction effect was more remarkable than the runoff reduction effect under the same rainfall intensity condition. Compared with the bare red soil area, the reduction rate of the total nitrogen(TN) by the grass planting belt was decreased with increases in both rainfall intensity and the input of the TN. The reduction rate of the total phosphorus(TP) by the grass planting belt was increased with the input increment of the TP under 20 and 35 mm/h rainfall intensities. When the input concentration of the TP was stable, the reduction rate of the TP by the grass planting belt was decreased with the increment of rainfall intensity. When rainfall intensity reached 50 mm/h, the output of the TN in runoff from the grass planting belt plot was more than that from the bare red soil plot.

Keywords: grass planting belt; red soil slope surface; non-point source pollutant

云南是一个多山的省份, 耕地以坡耕地为主。坡耕地水土流失严重, 一方面导致土壤肥力下降, 另一方面氮、磷等养分随地表径流流出农田汇入各种水体, 引起水体的富营养化和污染。滇池污染的重要原因之一就是水土流失造成的农业面源污染, 昆明最重要的松华坝和云龙水库也同样面临着富营养化的威

胁, 而坡耕地水土流失造成的养分流失是农业面源污染的主要来源之一。

植物篱能够有效地增强表层土壤的抗侵蚀能力, 削减地表径流的携沙能力, 从而减轻水土和养分流失, 因此, 种植植物篱是一项重要的水土保持措施^[1]。有研究表明, 坡面植被覆盖影响产流产沙过程, 草地

收稿日期: 2011-12-13

修回日期: 2012-03-23

资助项目: 国家自然科学基金项目“微区域集水系统控制云南山区农业面源污染”(30660037)

作者简介: 王帅兵(1986—), 男(汉族), 河南省偃师市人, 硕士研究生, 主要从事小流域面源污染控制及水土保持研究。E-mail: wsbld257@163.com。

通信作者: 王克勤(1964—), 男(汉族), 甘肃省庄浪县人, 博士生导师, 教授, 主要从事小流域环境综合治理的理论与技术研究。E-mail: wangkeqin7389@sina.com。

坡面的产流产沙过程不同于裸地坡面^[2]。植物篱可以使坡面产流减小 25%~70%^[3-4],产沙降低 40%~90%^[4-5];狗尾草草篱的保水和保土效益最高可达到 93.71%和 97.78%^[6]。Marques 等^[7]在 8 块标准径流小区进行模拟降雨试验〔降雨强度 21 mm/h,降雨动能 13.5 J/(m²·m)〕,研究了植被覆盖坡面降雨产流过程,结果表明植被覆盖坡面及裸地坡面径流先增大而后保持平稳,但植被覆盖坡面流量达到稳定状态要比裸地坡面快。自然降雨条件下裸地坡面产流产沙比草地坡面快,且显著大于草地^[8]。植物篱控制养分流失的机理是植物篱能够阻止侵蚀泥沙的向下搬运,在植物篱带前形成泥沙堆积,并且对不同粒径的土壤颗粒的流失均有控制效果,对粒径较大的颗粒的流失控制效果更明显^[9]。

然而,在云南山区针对红壤坡耕地种植植物带对地面源污染输出的削减作用的研究比较少,本文通过布设植草带小区和裸地对照小区,利用室内人工模拟降雨实验,研究植草带对红壤坡耕地地面源污染物输出的削减效果。

1 材料与方 法

1.1 试验装置

自制移动变坡式侵蚀槽 2 个,其中一个在红壤上植草,另一个为红壤裸露坡面对照。侵蚀槽长×宽×高=3.0 m×0.5 m×0.5 m,坡度均为 8°。侵蚀槽下端上部设有径流收集口,地表径流由塑料管导入塑料桶并收集;侵蚀槽下端底部设有一个渗漏孔,用来接收渗漏水。供试土壤为滇中地区的农耕地红壤,从红壤坡耕地按实际耕作层分 5 层(每层 10 cm)采样,然后分层装入侵蚀槽,尽量与坡耕地耕作层接近。装土结束后,将土面整平且与槽底平行。侵蚀槽装土时间为 4 月下旬,植草时间为 5 月上旬,草种为常见的黑麦草。在侵蚀槽上部土壤表面均匀安置供水口,按设计配置好 N,P 浓度,2 倍于侵蚀槽面积的坡面产生的径流从供水口均匀地随降雨同时流向坡面。

用 5 点采样法^[10]采集 2 个侵蚀槽表层土壤用于调查土壤养分的背景值(如表 1 所示)。

表 1 植草带和裸地对 照的土壤背景值 g/kg

小 区	有机质	全氮	全磷	水解氮	速效磷
植草带	0.69	0.92	0.29	22.86	34.79
裸地对照	0.70	1.05	0.28	21.41	37.66

1.2 试验设计

试验采用自制模拟降雨装置,降雨装置为下喷式,降雨高度约 1.7 m,降雨供试水为自来水。以滇

中地区的昆明市松花坝水源区迤者小流域历年野外观测的降雨量、降雨强度、径流量和径流中 N,P 浓度为参考,以迤者小流域农田正常的径流量和施肥量产生的径流 N,P 浓度为 1 倍标准施肥浓度(TN 浓度 2.45 mg/L,TP 浓度 0.122 mg/L),每次试验降雨历时为 50 min,降雨强度为 20,35,50 mm/h,施肥浓度 5 个水平(I:0.5 倍;II:1 倍;III:1.5 倍;IV:2 倍;V:2.5 倍),做正交试验。具体试验分组情况如表 2 所示。

表 2 正交试验分组情况 mg/L

N,P 肥力 水平	雨强(20 mm/h)		雨强(35 mm/h)		雨强(50 mm/h)	
	TN 浓度	TP 浓度	TN 浓度	TP 浓度	TN 浓度	TP 浓度
I	2.45	0.122	2.45	0.122	2.45	0.122
II	4.90	0.244	4.90	0.244	4.90	0.244
III	7.35	0.366	7.35	0.366	7.35	0.366
IV	9.80	0.488	9.80	0.488	9.80	0.488
V	12.25	0.610	12.25	0.610	12.25	0.610

1.3 试验过程

测定 2 个小区土壤初始含水率,当 2 个小区土壤初始含水率与试验前基本相同时开始试验。按设计的径流 N,P 浓度和降雨强度,对低浓度向高浓度的每组设计从小雨强到大雨强独立试验。侵蚀槽上部按相应雨强的径流供给与降雨同时开始。试验时记录不同小区产流初始时间,每隔 3 min 记录产流量,并取水样(约 1 500 ml)用作 N,P 分析。记录停止产流时间,量取降雨停止后径流量。测定径流样泥沙含量和径流样中 TN,TP 含量。

1.4 测定方法

供试小区土壤初始含水率测定采用土壤水分及水势自动监测系统(AZ-DT 型,北京);径流泥沙含量测定采用置换法;TN 测定用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法,TP 测定采用钼酸铵分光光度法。

为了定量分析植草带对坡耕地水土流失面源污染的控制效果,分别引入减流率、减沙率^[2]、TN 削减率和 TP 削减率等概念。

$$C_R = \frac{R_g - R_b}{R_b} \quad (1)$$

$$C_S = \frac{S_g - S_b}{S_b} \quad (2)$$

$$C_{TN} = \frac{TN_g - TN_b}{TN_b} \quad (3)$$

$$C_{TP} = \frac{TP_g - TP_b}{TP_b} \quad (4)$$

式中: C_R, C_S ——植草带的减流率和减沙率; $R_g,$

R_b ——植草带小区和裸地对照小区的产流量; S_g , S_b ——植草带小区和裸地对照小区的产沙量; C_{TN} , C_{TP} ——植草带对 TN 和 TP 的削减率; TN_g , TN_b ——植草带小区和裸地对照小区径流中的 TN 输出量; TP_g , TP_b ——植草带小区和裸地对照小区径流中的 TP 输出量。

采用 Excel 2010 和 SPSS 11.5 软件进行相关统计分析和图表制作。

2 结果与分析

2.1 植草带坡面产流产沙特征

2.1.1 产流时间和产流量 试验布设小区中,植草带和裸地对照的坡度相同,植草带地表盖度约为

80%,裸地对照地表盖度为 0。15 次模拟试验产流过程见表 3 所示。

由表 3 可知,裸地对照第 IV 肥力水平在 50 mm/h 雨强下产流最快,为 2.17 min,且停止产流时间最早,为 54.13 min,而植草带第 1 组在 20 mm/h 雨强下产流时间最长,需要 27.90 min,且停止产流时间最晚,为 61.83 min。产流总量最大的是裸地对照 50 mm/h 雨强下第 V 肥力水平,达 122.96 ml,而植草带 20 mm/h 雨强下第 I 肥力水平时产流总量最小,仅为 14.29 ml。

分别对表 3 中起始产流时间、产流历时、产流量与地表盖度、降雨强度及土壤初始含水率进行偏相关分析,分析结果如表 4 所示。

表 3 不同雨强条件植草带起始产流时间、停止产流时间和产流量

N,P 肥力 水平	因子	植草带			裸地对照		
		20 mm/h 雨强	30 mm/h 雨强	50 mm/h 雨强	20 mm/h 雨强	30 mm/h 雨强	50 mm/h 雨强
I	起始产流时间/min	27.90	15.70	8.75	7.72	3.73	2.67
	停止产流时间/min	61.83	60.51	60.49	58.01	55.13	55.53
	产流总量/m ³	14.29	40.54	109.83	35.56	66.80	120.02
II	起始产流时间/min	25.80	16.58	7.83	7.33	3.78	3.23
	停止产流时间/min	58.12	60.50	61.18	55.37	54.50	56.13
	产流总量/m ³	16.97	39.69	109.17	33.02	65.28	119.72
III	起始产流时间/min	24.58	15.12	7.00	7.05	3.07	2.90
	停止产流时间/min	60.33	60.97	61.47	54.42	54.88	55.83
	产流总量/m ³	17.53	39.36	110.68	37.24	68.47	120.67
IV	起始产流时间/min	25.07	14.67	7.67	7.23	3.53	2.17
	停止产流时间/min	60.57	59.88	60.57	53.97	54.88	54.13
	产流总量/m ³	15.68	40.53	109.62	35.07	74.64	120.23
V	起始产流时间/min	25.23	15.47	7.42	7.70	3.22	2.50
	停止产流时间/min	61.22	60.04	61.10	54.63	55.38	55.83
	产流总量/m ³	15.16	43.24	112.90	37.69	79.02	122.96

表 4 偏相关性分析结果

因子	起始产流时间		产流历时		产流量	
	r	sig	r	sig	r	sig
初始含水率	0.741	0.000	-0.552	0.002	-0.270	0.150
地表盖度	0.735	0.000	-0.497	0.005	-0.258	0.169
降雨强度	-0.577	0.001	0.737	0.000	0.941	0.000

分析结果表明,起始产流时间和初始含水率、地表盖度呈显著正相关,和降雨强度呈负相关;产流历时和初始含水率、地表盖度呈负相关,和降雨强度呈正相关;产流量和降雨强度呈高度正相关,但是与初始含水率、地表盖度没有显著相关性。

2.1.2 产流产沙过程 本次模拟试验设计了 3 个不

同雨强,分别为 20,35 和 50 mm/h,每个雨强分别做 5 组试验。根据表 3 可知,同一小区相同雨强条件下初始含水率相差不大,植被盖度相同,因此每个雨强选择用 5 组肥力水平的平均值进行分析。不同雨强下单位时间产流量和产沙量随时间变化曲线如图 1—3 所示。

由图 1—3 可以看出,植草带和裸地对照的单位时间产流量最初增长较快,之后逐渐变慢,到后期基本稳定。随着雨强增大,植草带产流时间大幅提前,20 mm/h 雨强时产流时间在约 27 min,在 50 mm/h 雨强下约 9 min,相差约 20 min,而裸地对照不同雨强下产流时间相差较小。在 20 mm/h 和 35 mm/h 雨强时,植草带单位时间产流量远远小于裸地对照,随着雨强增大,植草带和裸地对照单位时间产流量相差越来越小,在 50 mm/h 雨强下甚至和裸地对照基本持平,这说明植草带在雨强较小时对泥沙的削减效果较明显,而雨强较大时则不明显。

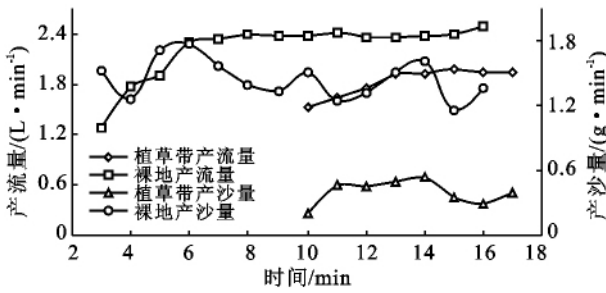


图 1 20 mm/h 雨强下产流产沙过程

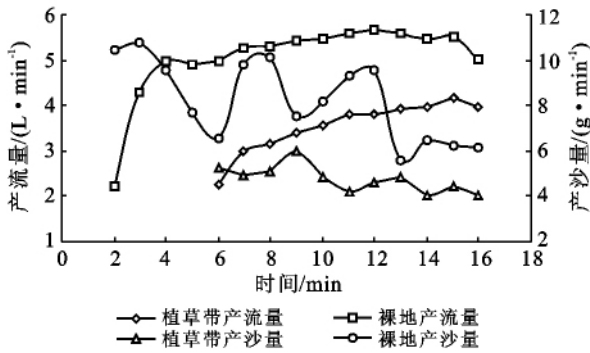


图 2 35 mm/h 雨强下产流产沙过程

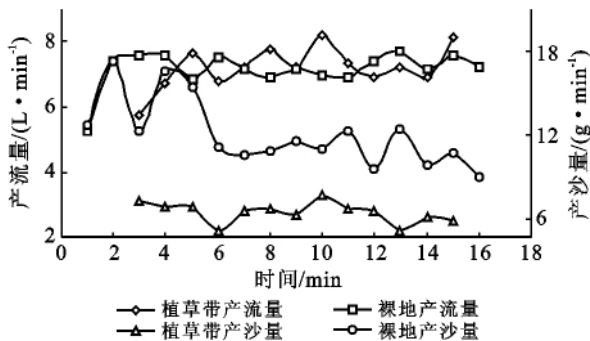


图 3 50 mm/h 雨强下不同小区产流产沙过程

在植草带中,在 20 mm/h 雨强时产沙量极小,随着雨强增大,产沙量明显增大,且在 35 mm/h 雨强和 50 mm/h 雨强条件下产沙量相差不大,而在裸地对

照中,产沙量随着雨强增加呈阶梯状上升。另外,裸地对照在产流后,开始阶段单位时间产沙量较高,然后逐渐降低,到一定阶段又开始升高,然后逐渐降低并趋于稳定;植草带在产流过程中单位时间产沙量变化则不太明显。

2.2 径流中 N,P 浓度变化过程

为了研究在不同降雨强度下氮、磷浓度的变化过程,选取第 II 肥力水平下 3 组试验过程进行分析。3 种不同雨强下植草带和裸地对照径流中 TN 和 TP 浓度变化过程见图 4—5。

在图 4 中,同一雨强条件下,裸地对照中 TN 浓度呈逐渐递减的规律,且前期递减明显,后期递减较缓慢;在 20 mm/h 和 35 mm/h 雨强条件下,裸地对照中 TN 浓度递减速率比较接近,而在 50 mm/h 雨强条件下,递减速率较 20 mm/h 和 35 mm/h 雨强时要大。植草带 TN 浓度在不同降雨强度几乎没什么变化,而且在降雨过程中变化也不明显。另外,裸地对照中 TN 浓度大多数都高于上方径流中 TN 初始浓度 4.90 mg/L,最高时可达 13.38 mg/L,为上方径流中 TN 初始浓度的 2.73 倍;而植草带 TN 浓度均在 2.421~2.965 mg/L,均低于上方径流中 TN 的初始浓度。

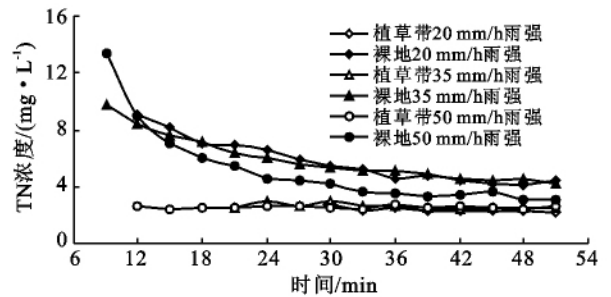


图 4 不同雨强下 TN 浓度变化过程

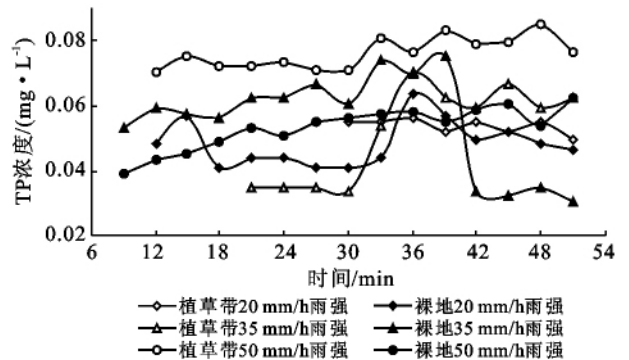


图 5 不同雨强下 TP 浓度变化过程

由图 5 可以看出,在雨强 20 mm/h 和 50 mm/h 时,植草带和裸地对照的 TP 输出浓度变化过程均为

小幅度波动,而在雨强 35 mm/h 时,在降雨历时初期,TP 增加较小,在降雨中期增加较明显,达到高峰后开始下降,裸地对照下降幅度最大。

在雨强 20 mm/h 和 50 mm/h 时,植草带和裸地对照的 TP 输出浓度变化过程均为小幅度波动稳定状态,而在雨强 35 mm/h 时,变化情况较复杂,植草带和裸地对照 TP 浓度产流前期较稳定,而在降雨中期增加较明显,达到高峰后开始下降,裸地对照下降幅度最大。

2.3 植草带对 N,P 输出的削减效果

2.3.1 植草带的减流率与减沙率 植草带对 N,P 的削减通过调控产流产沙来实现。为分析植草带对坡耕地 N,P 的削减效果,首先需要分析其对产流产沙的调控作用。通过对不同降雨强度下产流总量和产沙总量进行分析,根据式(1)–(2)计算得到相应的

减流率和减沙率,具体结果如表 5 所示。

由表 5 可以看出,在 20 mm/h 雨强条件下,植草带的减流率和减沙率最高,分别为 50.12%~59.81%和 87.99%~88.94%,而在 35 mm/h 雨强条件下,植草带的减流率和减沙率分别为 39.20%~45.71%和 81.80%~82.84%,减流和减沙效果也比较显著;在 50 mm/h 雨强条件下,植草带的减流率和减沙率仅为 8.18%~8.82%和 39.64%~41.06%,减流和减沙效果均不明显。这表明雨强越小,植草带的减流和减沙效果越明显。在同一雨强条件下,植草带的减沙效果比减流效果明显。另外,减流率和减沙率的变异系数都比较小,说明植草带减流和减沙效果是稳定的,而且减沙率的变异系数普遍小于减流率变异系数,说明植草带的减沙效果比减流效果更加稳定。

表 5 植草带减流率和减沙率

降雨量/ (mm·h ⁻¹)	N,P 肥 力水平	产流总量/L		减流率/ %	变异 系数	产沙总量/g		减沙率/ %	变异 系数
		裸地 对照	植草带			裸地 对照	植草带		
20	I	35.56	14.29	59.81	0.076	51.81	5.83	88.75	0.003
20	II	34.02	16.97	50.12	0.098	50.96	6.12	87.99	0.010
20	III	37.24	17.53	52.93	0.048	51.04	5.99	88.26	0.006
20	IV	35.07	15.68	55.29	0.005	51.65	5.74	88.89	0.006
20	V	37.69	15.16	59.78	0.075	52.27	5.78	88.94	0.007
35	I	66.80	40.54	39.31	0.073	195.08	34.42	82.36	0.000
35	II	65.28	39.69	39.20	0.076	194.82	34.61	82.23	0.003
35	III	68.46	39.36	42.51	0.002	196.53	35.76	81.80	0.013
35	IV	74.64	40.52	45.71	0.078	197.79	33.94	82.84	0.012
35	V	79.02	43.23	45.29	0.068	195.21	34.23	82.47	0.003
50	I	120.02	109.83	8.49	0.003	205.29	123.44	39.87	0.013
50	II	119.72	109.17	8.81	0.035	206.70	123.08	40.45	0.001
50	III	120.67	110.68	8.28	0.028	208.62	122.97	41.06	0.016
50	IV	120.23	109.62	8.82	0.036	206.31	124.52	39.64	0.019
50	V	122.96	112.90	8.18	0.039	209.51	123.67	40.97	0.014

2.3.2 植草带对 N,P 的削减效果 植草带对于 N,P 的削减效果可用 TN 削减率— C_{TN} 和 TP 削减率— C_{TP} 来表示,分别根据式(3)–(4)来计算。

从表 6 中可以看出,在 20 mm/h 雨强下,TN 输入量为 116.645 mg 时植草带对 TN 的削减率最大,为 82.98%,而在 50 mm/h 雨强下,TN 输入量为 2 469.600 mg 时植草带对 TN 的削减率最小,仅为 28.29%,两者相差 54.69%。试验结果表明,植草带对于 TN 的削减率随着雨强和 TN 输入量增大而逐渐减小。

在 20 mm/h 雨强下,TP 输入量为 29.042 mg 时

植草带对 TP 的削减率最高,为 73.97%,而在 50 mm/h 雨强下,TP 输入量为 122.976 mg 时植草带对 TP 的削减率最小,仅为 -30.26%,两者相差 104.23%。试验结果表明,在 20 mm/h 和 35 mm/h 雨强条件下,植草带对 TP 的削减率随着 TP 输入量的增大而增大;在同一 TP 输入浓度条件下,植草带对 TP 的削减率随着雨强增大而逐渐减小;而在 50 mm/h 雨强条件下,植草带径流 TP 输出量大于裸地对照的径流 TP 输出量,植草带对 TP 的削减率为负值,这可能是由于在大雨强条件下,植草带中的腐殖质部分被径流带走,腐殖质中的 TP 进入径流导致的。

表 6 TN,TP 输入输出量及削减率

降雨量/ (mm·h ⁻¹)	N,P 肥 力水平	TN 输入 量/mg	径流 TN 输出总量/mg		C _{TN} / %	TP 输入 量/mg	径流 TP 输出总量/mg		C _{TP} / %
			植草带	裸地对照			植草带	裸地对照	
20	I	116.645	17.989	105.682	82.98	5.808	0.816	1.439	43.29
20	II	233.289	33.953	159.432	78.70	11.617	0.785	1.511	48.05
20	III	349.934	42.254	173.700	75.67	17.425	0.859	2.050	58.10
20	IV	466.578	51.877	189.698	72.65	23.234	0.769	2.438	68.46
20	V	583.223	62.867	224.676	72.02	29.042	0.991	3.807	73.97
35	I	273.567	54.054	183.711	70.58	13.623	1.959	2.679	26.88
35	II	547.134	89.839	304.370	70.48	27.245	1.815	3.430	47.08
35	III	820.701	106.822	364.807	70.72	40.868	2.654	4.614	42.48
35	IV	1 094.268	126.076	431.516	70.78	54.490	2.553	8.477	69.88
35	V	1 367.835	220.989	577.628	61.74	68.113	5.301	10.799	50.91
50	I	493.920	156.179	270.852	42.34	24.595	4.733	3.792	-24.82
50	II	987.840	261.128	402.973	35.20	49.190	7.867	7.412	-6.14
50	III	1 481.760	310.772	599.211	48.14	73.786	9.047	7.470	-21.11
50	IV	1 975.680	419.210	658.928	36.38	98.381	11.544	11.928	3.22
50	V	2 469.600	641.287	894.224	28.29	122.976	22.240	17.074	-30.26

3 讨论

降雨初期,雨水主要消耗于土面浸润和地表土层大空隙的填充,所以从降雨开始至地表径流产生有一个明显的滞后时间,即起始产流时间^[11]。对于本次模拟试验来讲,由于坡度已经固定,因此起始产流时间主要受地表盖度、土壤初始含水率和降雨强度的影响。地表盖度主要是通过植被枝叶截流、根系改善土壤理化性质等影响水分入渗进而影响产流^[12]。土壤初始含水率直接影响雨水入渗^[13],降雨是水土流失的原动力,降雨强度是影响产流过程的关键因子。因此,地表盖度越高,土壤初始含水率越低,降雨强度越小,土壤产流时间越长,停止产流时间越晚。

径流中养分含量取决于径流侵蚀土壤的程度、径流量以及土壤中可溶性养分含量等因素^[14]。植草带径流中 TN 浓度均低于上方径流中 TN 的初始浓度,而裸地对照的 TN 浓度均高于上方径流中 TN 初始浓度,这可能是由于裸地对照小区地表裸露,土壤侵蚀严重,使土壤中的大量 TN 进入径流,而植草带小区地表为草本所覆盖,土壤侵蚀较轻,土壤中的 TN 进入径流较少,且被降雨稀释,因此 TN 浓度低于上方径流中 TN 初始浓度。植草带对 TN 的削减率随着雨强和 TN 输入量增大而逐渐减小,这与林超文等^[15]的研究结论基本一致。

另外,植草带和裸地对照中 TP 浓度均较低,远低于上方径流中 TP 初始浓度。由于试验测得的 TP 浓度主要是径流中的 TP 的浓度,因此说明磷素养分在径流中较少,这与喻定芳等^[16]以及李裕元等^[17]的研究结果一致。他们的研究指出,磷素损失的主要途

径是随泥沙流失,其损失量与土壤流失量成正比,而径流携带所造成的磷素损失几乎可以忽略。

关于不同雨强下植草带和裸地氮、磷输出随时间变化过程的影响是一个复杂的问题,受诸多因素的影响,在不同的试验条件下得到的试验结果可能会有所不同。例如王晓龙等^[18]指出,氮含量在产流初期相对较高,随后有一个明显的下降过程,而有机态养分含量高和地表覆盖好的土壤养分流失则相对平缓。石德坤等^[19]研究得出,TN 浓度在小雨强下产流开始时浓度较高,随着产流历时延长和产流量的增加逐渐降低;在暴雨下先快速降低,而后又缓慢上升;中雨强 TN 浓度变化平缓。单保庆等^[20]研究得出,表层无作物覆盖的土壤 TP 浓度曲线呈波浪状递减过程,而有作物覆盖的土壤其曲线则呈均匀缓慢的递减趋势。张志玲等^[21]研究得出,随着产流时间的延长,径流中磷素质量浓度呈递减趋势。高扬等^[22]研究得出,地表径流 TP 浓度输出变化受降雨强度影响较小。

由于试验条件限制,植草带布设时间较短,对土壤理化性质的改善作用不明显,因此本试验得出的黑麦草植草带对面源污染物输出的削减效果可能偏低,这有待今后进一步研究。植草带对面源污染物的削减效果和草带布设时间较短有关,另外,不同的草种、不同的种植密度和植草带的水土保持效益关系也较密切。

4 结论

(1) 产流历时随降雨强度的增强而延长,随地表盖度增加而缩短。产流量随降雨强度增加而增加,而与地表盖度没有相关性。

(2) 在同一雨强条件下,裸地中 TN 浓度递减速率随雨强增大而增大,而植草带 TN 浓度在不同降雨强度下差异不大。在雨强 20 mm/h 和 50 mm/h 时,植草带和裸地对照的 TP 输出浓度变化过程均处于小幅度波动稳定状态,而在雨强 35 mm/h 时,变化情况较复杂。

(3) 对植草带,随着雨强增加减流率和减沙率减少,雨强越小减流和减沙效果越明显。在同一雨强条件下,减沙效果比减流效果要显著。

(4) 对植草带,TN 的削减率随着雨强、TN 输入量增大而逐渐减小,TP 的削减率随着随雨强增大而逐渐减小。在 20 mm/h 和 35 mm/h 雨强条件下,TP 的削减率随着 TP 输入量的增大而增大;在 50 mm/h 雨强条件下,植草带径流中 TN 输出量大于裸地对照,植草带的 TP 的削减率为负值。

[参 考 文 献]

- [1] 董月群,李淑芹,原翠萍,等.黑麦草对黄土坡面降雨产流产沙过程的影响[J].中国农业大学学报,2011,16(4):67-73.
- [2] 张光辉,梁一民.模拟降雨条件下人工草地产流产沙研究[J].土壤侵蚀与水土保持研究,1996,2(3):56-59.
- [3] Van Dijk P M, Kwaad F J P M, Klapwijk M. Retention of water and sediment by grass strips [J]. Hydrological Processes, 1996,10(3):1069-1080.
- [4] Pan Chengzhong, Shanguan Zhouping. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions[J]. Journal of Hydrology, 2006,331(1/2):178-185.
- [5] Zhou Zhengchao, Shanguan Zhouping, Effect of ryegrasses on soil runoff and sediment control[J]. Pedosphere, 2008,18(1):131-136.
- [6] 孟广涛,方向京,李贵祥,等.人工模拟降雨条件下 3 种多年生牧草水土保持能力分析[J].水土保持研究,2010,17(2):49-53.
- [7] Marques M J, Bienes R, Jimenez L, et al. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events; rainfall simulation over USLE plots [J]. Science of the Total Environment, 2007, 378 (1/2): 161-165.
- [8] Chatterjea K. The influence of tropical rainstorms on sediment and runoff generation from bare and grass-covered surfaces: A plot study from Singapore [J]. Land Degradation and Development, 1998,9(2):143-157.
- [9] 朱远达,蔡强国,张光远,等.植物篱对土壤养分流失的控制机理研究[J].长江流域资源与环境,2003,12(4):345-351.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978:62-93.
- [11] 吴发启,赵西宁,余雕.坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[J].水土保持通报,2003,23(1):17-19.
- [12] 潘成忠,上官周平.牧草对坡面侵蚀动力参数的影响[J].水利学报,2005,36(3):371-377.
- [13] 赵西宁,吴发启.土壤水分入渗的研究进展和评述[J].西北林学院学报,2004,19(1):42-45.
- [14] 杨红薇,张建强,唐家良,等.紫色土坡地不同种植模式下水土和养分流失动态特征[J].中国生态农业学报,2008,16(3):615-619.
- [15] 林超文,庞良玉,罗春燕,等.平衡施肥及雨强对紫色土养分流失的影响[J].生态学报,2009,29(10):5552-5559.
- [16] 喻定芳,戴全厚,王庆海,等.北京地区等高草篱防治坡耕地水土及氮磷流失效果研究[J].水土保持学报,2010,12(6):11-15
- [17] 李裕元,邵明安.土壤翻耕影响坡地磷流失试验研究[J].应用生态学报,2004,15(3):443-448.
- [18] 王晓龙,李辉信,胡锋,等.红壤小流域不同土地利用方式下土壤 N,P 流失特征研究[J].水土保持学报,2005,19(5):31-34.
- [19] 石德坤.模拟降雨条件下坡地氮流失特征研究[J].水土保持通报,2009,29(5):98-101.
- [20] 单保庆,尹澄清,于静,等.降雨—径流过程中土壤表层磷迁移过程的模拟研究[J].环境科学学报,2001,21(1):7-12.
- [21] 张志玲,郭成久,范昊明.模拟降雨条件下坡面径流、泥沙与磷素质量浓度变化特征[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,29(9):245-247.
- [22] 高扬,朱波,王玉宽,等.自然和人工模拟降雨条件下紫色土坡地的磷素迁移[J].水土保持学报,2006,20(5):34-37.