

坡耕地不同物种植物篱对面源污染物的拦截效率及影响因素

田 潇^{1,2,3}, 周运超^{1,2*}, 蔡先立¹, 马礼平¹, 刘晓芸¹

(1.贵州大学林学院, 贵阳 550025; 2.贵州省森林资源与环境研究中心, 贵阳 550025; 3.贵州省惠水县水务局, 贵州 惠水 550600)

摘要:在红枫湖上游 15°的坡耕地上设置 30 个植物篱径流小区, 小区水平投影面积 100 m², 顺坡长 20 m, 横坡宽 5 m。在小区内横坡等距种植三带植物篱, 植物篱带呈双行“品”字型种植模式, 带长 5 m, 带宽 0.15 m。通过监测该年度天然降雨下每个径流小区产生的地表径流、泥沙和养分情况, 探讨了在相同种植模式下 9 种不同物种植物篱对坡耕地面源污染物的拦截效率及其影响因素。结果表明: 灰毛豆植物篱截流效应最佳, 相对径流拦截率为 91.75%; 紫花苜蓿植物篱减沙效应最佳, 相对泥沙拦截率为 69.25%。灰毛豆植物篱能更有效地抑制湖泊水体氮、磷元素的富集进程, 其中, 对坡耕地氮相对拦截量为 283.03 g·hm⁻², 相对拦截率为 70.08%; 对坡耕地磷相对拦截量为 185.92 g·hm⁻², 相对拦截率为 80.21%。胡枝子植物篱能更有效地抑制湖泊水体钾元素的富集进程, 对坡耕地钾相对拦截量为 135.11 g·hm⁻², 相对拦截率为 86.08%; 灰毛豆次之, 对坡耕地钾相对拦截量为 125.13 g·hm⁻², 相对拦截率为 79.72%。

关键词:面源污染物; 相对拦截率; 植物篱; 坡耕地; 红枫湖

中图分类号: X52 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2015)03-0494-07 doi:10.11654/jaes.2015.03.011

Effects of Different Plant Species Hedgerows on Interception of Non-point Source Pollutants in Sloping Cultivated Land

TIAN Xiao^{1,2,3}, ZHOU Yun-chao^{1,2*}, CAI Xian-li¹, MA Li-ping¹, LIU Xiao-yun¹

(1.College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2.Research Center of Forest Resources and Environment in Guizhou Province, Guiyang 550025, China; 3.Huishui Water Conservancy Bureau in Guizhou Province, Huishui 550600, China)

Abstract: Hedgerows play important roles in control over the spread of pollutants in the environment. To investigate the effect of plant species of hedgerows on the intercepting efficiency of non-point source pollutants, a field experiment was conducted in a sloping cultivated land in the upstream of Hongfeng Lake, Guizhou. Thirty runoff plots (20 m long × 5 m width) with three banded hedgerows at equal distance were established in 15 degree sloping cultivated land. The hedgerows was planted in a criss-crossed double rows with 5 m length and 0.15 m width. Quantity of surface runoff, silt and nutrient was monitored in each runoff plot under natural raining in 2010. Results showed that there were only five surface runoffs observed after rainfall in 2010, of which two were stronger while three weaker but lasted for longer time. The greatest runoff interception was observed in the plot with *Tephrosia purpurea* (L.) Pers. hedgerows, with relative surface runoff interception rate of 91.75%, and the greatest silt interception was found in the plot of *Medicago sativa* L. hedgerows, with relative interception rate of 69.25%. *Tephrosia purpurea* (L.) Pers. could effectively reduce N and P loss, with interception rate about 70.08% for N (283.03 g·hm⁻²) and 80.21% for P (185.92 g·hm⁻²). However, the greatest K interception was measured in the plot with *Lespedeza bicolor* Turcz and followed by *Tephrosia purpurea* (L.) Pers. Their relative interception rates were 86.08% (135.11 g·hm⁻²) and 79.72% (125.13 g·hm⁻²), respectively. The present results show that hedgerows would be of great significance in controlling non-point source pollution in sloping farming area.

Keywords: non-point source pollutants; relative interception rate; hedgerow; sloping cultivated lands; Hongfeng Lake

收稿日期: 2014-09-12

基金项目: 国家重大科学研究计划(2013CB956702); 中国科学院战略性先导科技专项重大课题(XDA05070405); 贵阳“两湖一库专项”项目([2009]筑科农合同字第 3-042 号)

作者简介: 田 潇(1987—), 男, 贵州沿河人, 硕士研究生, 助理工程师, 从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: xtian2008@163.com

* 通信作者: 周运超 E-mail: fc.yczhou@gzu.edu.cn

湖泊是人类的天然水缸,储存着大量的淡水资源,保障了当地及周边的人畜饮水问题。但随着我国全面建成小康社会步伐的推进,淡水资源已受到外界污染源的不断入侵,水质随着污染物的输入而逐渐恶化^[1-2],严重威胁着人类的健康与安全。外界污染源主要通过横向坡地径流、河流输送、纵向大气干湿沉降等方式向湖泊水环境输入污染物,导致湖泊水环境的富营养化^[3-5]。坡耕地因在农业生产中大量施用化肥、农药等而成为湖泊水体污染的一个重大污染源^[6],因此,从坡耕地源头控制泥沙、养分的排放是治理下游水环境的重要途径之一。

植物篱已受到国内外学术界的广泛关注^[7-11],但主要集中于植物篱的拦截功能^[9]、对土壤理化性质的影响^[10]及其效益评价^[11]等方面的研究。当前,面临农业面源污染影响下游水环境恶化的问题,学术界也进行了生态拦截技术等方面研究,从而控制污染物的蔓延^[12]。但通过在坡耕地设置9种不同乔、灌、草物种植物篱径流小区,探讨不同物种植物篱对坡耕地地表径流、泥沙和养分的拦截效率及其影响因素,筛选出对坡耕地地表径流、泥沙和养分的截留效果最佳的植物篱物种的研究鲜见报道。

因此,在贵州省清镇市红枫湖上游坡耕地设置径流小区,探讨了9种不同物种植物篱对坡耕地地表径流、泥沙和养分的拦截效率及其影响因素,以期为今后黔中高原全面推广植物篱生态措施,拦截坡耕地面源污染物、控制坡耕地农业面源污染蔓延、有效保护下游湖泊水环境等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贵阳“两湖一库”之红枫湖位于贵州省贵阳市以西33 km处,设计正常水位高程1 240.0 m,水域面积57.2 km²,库容6.0亿m³,是以城市供水为主,以灌溉、发电、旅游为辅的大型人工水库,是贵阳市民的“天然水缸”。研究区位于贵州省清镇市红枫湖镇大冲村,106°43′15″E,26°52′12″N,海拔1 246.0 m。属黔中高原地貌,亚热带高原季风湿润气候,年均气温13.6℃,无霜期275 d,年降雨量1 093.4~1 415.7 mm,雨热同期,利于植被生长。2010年出现干旱气候,清镇市年降雨量为918.1 mm,比往年小很多。试验径流小区设置于红枫湖上游坡耕地,坡度15°,土属为黄泥土,横坡种植玉米(*Zea mays* L.)。

1.2 试验设计

1.2.1 小区布置

本试验采用完全随机区组设计,在研究区坡耕地设置3个区组,每个区组含10个径流小区(无植物篱对照小区1个CK,乔、灌、草植物篱小区各3个),共30个径流小区。小区四周用聚氯乙烯塑料膜设置挡水墙,埋土深度80 cm,高出地面30 cm,防止小区外坡面径流汇入。小区集雨和产沙水平投影面积100 m²,顺坡长20 m,横坡宽5 m,下方配设集流、分流及沉砂池设施。开展正常的农业生产,监测期间横坡种植玉米,本底状况基本一致。

1.2.2 物种选用

本试验采用的植物篱物种包括乔、灌、草3个层次,其中,乔木类:香椿(*Toona sinensis* A. Juss.)、桑树(*Morus alba* L.)、构树[*Broussonetia papyrifera* (L.)];灌木类:灰毛豆[*Tephrosia purpurea* (L.) Pers.]、胡枝子(*Lespedeza bicolor* Turcz.)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.);草本类:紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、香根草(*Vetiveria zizanioides* L.)、黄花菜(*Hermerocallis citrina* Baroni)。

1.2.3 种植模式

选择生长状况基本一致的1年生幼苗,草本类不足1年,分3带等高种植于径流小区的上、中、下部,植物篱带按株距10 cm、行距15 cm“品”字型双行种植(图1)。植物篱正常生长约10个月后,散生型的紫花苜蓿和黄花菜株高约50 cm,直立生长的香根草株

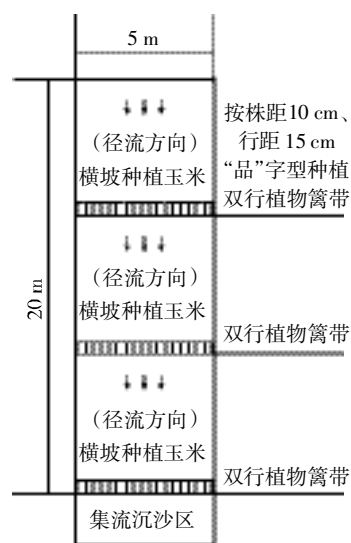


图1 植物篱种植示意图

Figure 1 Diagram of planted hedgerows

高约 80 cm,乔、冠类木本植物篱株高均大于 100 cm。为了减小植物篱的占地面积和对农业生产的影响,对乔、冠类木本植物篱进行修枝整形,控制株高约 80 cm,篱带冠幅宽约 50 cm。开始监测采样时,植物篱带内盖度约为 80%,且不同物种植物篱间差异不大。植物篱定植 1 年后,开始开展野外降雨动态监测与采集工作。

1.3 试验方法

1.3.1 野外降雨监测与样品采集

2010 年 1 月至 12 月,在试验区开展动态监测工作,共 5 场降雨产生地表径流,其他降雨均未产生地表径流,直接在径流小区内入渗。当次降雨在径流小区产生地表径流时,雨后需按径流小区分别采集水样,共采集径流水样 5 批,每批 30 个样品,共 150 个样品,每个样品约 500 mL;监测后期,采集土样 1 批,共 30 个样品,每个样品约 1 kg。

1.3.2 室内样品处理与测定

样品测定方法参考《土壤分析技术规范》^[13]。在水样测定过程中,先过滤水样适量,用滤液测定水样中的全氮、全磷、全钾含量;在土样测定过程中,先制备土壤样品,用制备好的土壤样品测定土壤中的全氮、全磷、全钾。用开氏法测定全氮,用硫酸-高氯酸氧化-钼蓝比色法测定全磷,用火焰光度计法测定全钾。

1.3.3 数据分析与计算

试验数据采用 Excel2007 软件计算制图,采用 SPSS17.0 进行多重比较分析。小区内产生的地表径流、泥沙、养分流失量及截留量均用单位面积表示,地表径流和泥沙的单位面积为 1 m²,养分的单位面积 1 hm²。

径流量(L·m⁻²)=∑_{n=1}⁵次降雨下小区径流量/100

泥沙量(g·m⁻²)=∑_{n=1}⁵次降雨下小区泥沙量/100

养分流失量(g·hm⁻²)=∑_{n=1}⁵次降雨下小区养分流失量×100

相对拦截量(g·hm⁻²)=CK 养分流失量-不同处理养分流失量

相对拦截率(%)=
CK养分流失量-不同处理养分流失量
CK养分流失量 ×100%

n 指降雨场次,共 5 场降雨。

2 结果与分析

2.1 不同物种植物篱的截流减沙效应

2.1.1 降雨特征分析

研究区产生地表径流的 5 场降雨,分别为 7 月份 1 场,9 月份 3 场,10 月份 1 场;1 月份至 6 月份、11 月份至 12 月份均为小雨,降雨受坡耕地覆盖的农作物截留后,部分蒸发,剩余降水直接在坡耕地入渗,未产生地表径流。其间,2 场在白天降雨,3 场在夜间降雨,且降雨量、降雨时长和平均雨强差异较大(表 1)。

表 1 监测期间产生地表径流的降雨情况

Table 1 Surface runoffs recorded after rainfall during experimental period

降雨日期	降雨量/ mm	降雨时长/ min	平均雨强/ mm·h ⁻¹	降雨时段
19-Jul-2010	55.5	192	17.3	白天
07-Sep-2010	20.1	305	4.0	夜间
09-Sep-2010	45.4	237	11.5	白天
22-Sep-2010	26.8	354	4.5	夜间
09-Oct-2010	21.3	469	2.7	夜间

每场降雨的降雨量随降雨时长而不断增加,但降雨强度在不断发生变化。第 1 场和第 3 场降雨降雨量较大、降雨时长较短,30 min 降雨量呈先增加后减小的趋势,而其余 3 场降雨前期 30 min 降雨量逐渐增加,后期 30 min 降雨量则变化不定,无明显规律(图 2)。

2.1.2 次降雨下径流量

随着次降雨量的增加,各处理小区次降雨下径流量均有不同程度的增加;第 1 场和第 3 场降雨平均雨强较大、降雨时长较短,各处理小区次降雨下径流量比其余 3 场降雨大得多;同一场降雨下各处理小区次降雨下径流量差异较大(表 1、表 2)。这说明降雨强度、降雨时长对径流量的影响很大。对照径流小区次降雨下径流量明显多于不同物种植物篱处理小区(表 1、表 2),说明不同物种植物篱具有不同程度的截流作用,能够有效抑制坡耕地地表径流向下游湖泊水环境的输入。

2.1.3 径流量与泥沙量

对照径流小区径流量最多,各处理小区径流量均有不同程度的减少(图 3a),说明不同乔、灌、草植物篱均具有较强的截流保水作用。不同物种植物篱处理下径流量大小为灰毛豆<紫花苜蓿<香根草<香椿<黄花菜<胡枝子<紫穗槐<桑树<构树(图 3a),对地表径

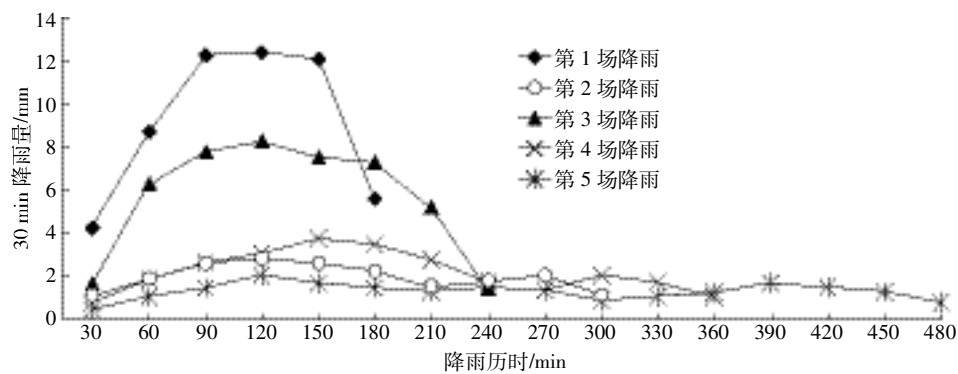


图 2 5 场降雨 30 min 降雨量随降雨历时的变化
Figure 2 Changes of 30 min rainfall with rainfall duration

表 2 不同处理方式次降雨下径流量($L \cdot m^{-2}$)
Table 2 Runoff after each rainfall under different hedgerows($L \cdot m^{-2}$)

降雨场次	CK	乔			灌			草		
		椿	桑	构	灰	胡	槐	苕	香	菜
第 1 场	6.99±0.76	1.31±0.26	3.62±0.35	4.68±0.41	0.51±0.09	2.18±0.33	2.44±0.32	0.78±0.13	0.93±0.13	1.58±0.28
第 2 场	0.92±0.17	0.22±0.08	0.47±0.09	0.56±0.13	0.11±0.02	0.38±0.12	0.40±0.01	0.14±0.04	0.19±0.01	0.26±0.05
第 3 场	6.36±0.71	1.05±0.24	3.08±0.34	3.86±0.37	0.40±0.06	1.47±0.26	1.94±0.29	0.42±0.06	0.69±0.11	1.22±0.25
第 4 场	1.92±0.27	0.44±0.13	1.07±0.22	1.28±0.24	0.24±0.02	0.68±0.12	0.83±0.14	0.28±0.03	0.35±0.07	0.59±0.14
第 5 场	1.22±0.24	0.31±0.07	0.63±0.11	0.72±0.13	0.17±0.03	0.49±0.10	0.53±0.11	0.23±0.02	0.25±0.04	0.32±0.04

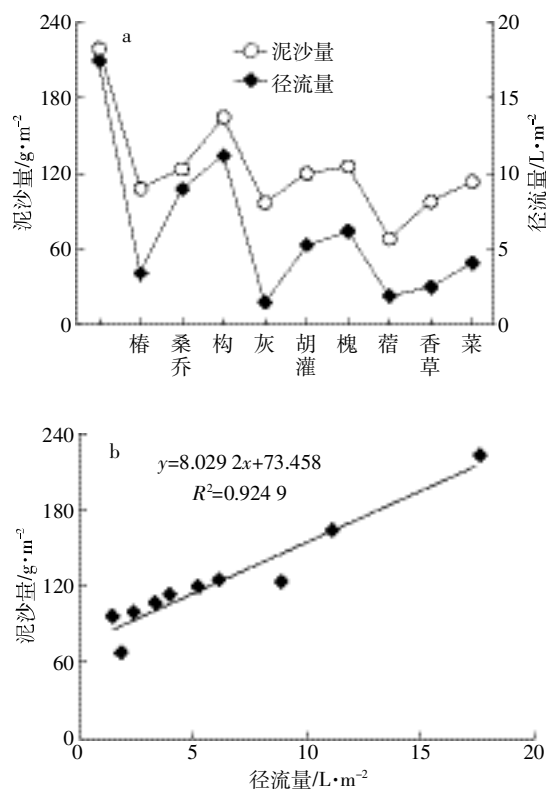


图 3 不同处理方式泥沙量与径流量
Figure 3 Amounts of silt and runoff from plots with different species hedgerows

流的相对拦截率达 36%以上,灰毛豆植物篱对地表径流的相对拦截率最高达到 91.74%。不同乔、灌、草类型之间、同一类型不同物种之间的差异明显,这证实了不同植物篱具有不同程度的截流功能,而富含养分的泥沙在湖床堆积是导致湖泊底质污染的主要形式之一,植物篱通过截流拦沙,有效地减少了土壤中养分随着地表径流对下游水环境的输入,进而控制下游湖泊水体养分富集进程。

对照径流小区泥沙量最多,各处理小区泥沙量均有不同程度的减少(图 3a),说明不同乔、灌、草植物篱对坡耕地泥沙均具有较强的截留作用。不同物种植物篱处理下泥沙量大小为紫花苕苕<灰毛豆<香根草<香椿<黄花菜<胡枝子<桑树<紫穗槐<构树(图 3a),对泥沙的相对拦截率达 25%以上,紫花苕苕植物篱对泥沙的相对拦截率最高达到 69.25%。不同乔、灌、草物种植物篱拦沙截留效应明显,坡耕地泥沙在植物篱拦截下堆积于篱前,从而减少了对湖泊的泥沙输入量,抑制了湖泊底质养分富集进程。

泥沙量与径流量呈显著相关, $R^2=0.924\ 9$,回归方程式为 $y=8.029\ 2x+73.458$ (图 3b),即泥沙量随着地表径流量增大而增大。植物篱的截流减沙效应主要通过地上部分机械阻拦降低地表径流的流速,使得大量

泥沙在篱前堆积；地下部分根系改善坡耕地土壤孔性,增加地表径流在篱前篱后下渗。9 种植物篱均具有较好的截流减沙效应,灰毛豆植物篱的截流效应相对最佳,紫花苜蓿植物篱的拦沙减沙效应相对最佳,能有效减少坡耕地地表径流和泥沙向下游湖泊水环境的输入量。

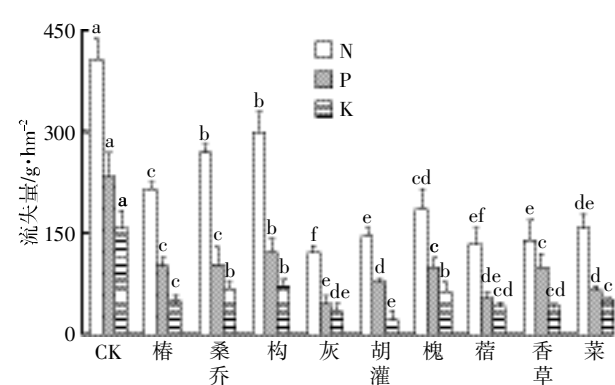
2.2 不同物种植物的养分拦截效应

2.2.1 养分流失量

对照径流小区氮、磷、钾的流失量比不同物种植物篱处理下氮、磷、钾的流失量都大很多(图 4),说明植物篱具有明显的拦截、吸收养分的功能,从而抑制土壤中的养分向下游湖泊水环境的输入。土壤中的养分以地表径流和泥沙为介质,逐渐向下游移动,在植物篱机械阻拦下,部分养分被固定在篱前篱后的土壤中,部分被植物根系篱吸收利用,部分直接穿过植物篱继续向下游移动。经过 *F* 检验和多重比较,不同物种植物篱处理下氮、磷、钾的流失量与对照处理均存在显著($P<0.05$)的差异,养分流失量明显少于对照;氮、磷、钾流失量在各处理间的差异显著性如图 4 所示。

2.2.2 相对拦截量和相对拦截率

不同物种植物篱对氮的相对拦截量及相对拦截率大小为灰毛豆>紫花苜蓿>香根草>胡枝子>黄花菜>紫穗槐>香椿>桑树>构树,对氮的相对拦截率达 26%以上,灰毛豆植物篱对氮的相对拦截率最高达到 70.08%,相对拦截量为 $283.03\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 3),这说明灌木类中灰毛豆植物篱对氮的拦截效应最好,是有效减少坡耕地向下游湖泊水环境的氮输入量的最佳物种,草本类中紫花苜蓿植物篱其次,乔木类中构树植物篱最差。



不同字母表示同一养分流失量指标下不同植物间差异显著($P<0.05$)

图 4 不同处理方式养分流失量

Figure 4 Amounts of nutrient losses from plots with different species hedgerows

表 3 不同处理方式养分拦截效应分析结果

Table 3 Effectiveness of nutrient interception by 9 different species hedgerows

处理方式		相对拦截量/ $\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$			相对拦截率/%		
		氮	磷	钾	氮	磷	钾
乔	椿	190.02	130.30	109.38	47.05	56.21	69.69
	桑	135.58	128.45	89.49	33.57	55.41	57.01
	构	106.26	111.27	85.77	26.31	48.00	54.64
灌	灰	283.03	185.92	125.13	70.08	80.21	79.72
	胡	260.24	155.23	135.11	64.44	66.96	86.08
	槐	219.20	134.31	93.61	54.27	57.94	59.64
草	苜	271.07	178.83	115.69	67.12	77.14	73.71
	香	265.49	133.24	116.12	65.73	57.48	73.98
	菜	248.97	167.12	106.01	61.64	72.09	67.54

不同物种植物篱对磷的相对拦截量及相对拦截率大小为灰毛豆>紫花苜蓿>黄花菜>胡枝子>紫穗槐>香根草>香椿>桑树>构树,对磷的相对拦截率达 48%以上,灰毛豆植物篱对磷的相对拦截率最高达到 80.21%,相对拦截量为 $185.92\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 3),这说明灌木类中灰毛豆植物篱对磷的拦截效应最好,是有效减少坡耕地向下游湖泊水环境的磷输入量的最佳物种,草本类中紫花苜蓿植物篱其次,乔木类中构树植物篱最差。

不同物种植物篱对钾的相对拦截量及相对拦截率大小为胡枝子>灰毛豆>香根草>紫花苜蓿>香椿>黄花菜>紫穗槐>桑树>构树,对钾的相对拦截率达 54%以上,胡枝子植物篱对钾的相对拦截率最高达到 86.08%,相对拦截量为 $135.11\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$,灰毛豆对钾的相对拦截率次之为 79.72%(表 3),这说明灌木类中胡枝子植物篱对钾的拦截效应最好,是有效减少坡耕地向下游湖泊水环境的钾输入量的最佳物种,灰毛豆植物篱其次,乔木类中构树植物篱最差。

2.2.3 相对平均拦截量

不同乔、灌、草物种植物篱对氮、磷、钾均具有不同程度的拦截效应,对氮、磷的相对平均拦截量大小为草本类>灌木类>乔木类,对钾的相对平均拦截量大小为灌木类>草本类>乔木类,草本类植物篱对养分的相对平均拦截量略大于灌木类植物篱,且差异不明显,但灌、草两类植物篱的平均拦截量明显大于乔木类植物篱(图 5),这说明灌、草两类植物篱适合种植于黔中高原坡耕地,以保护下游湖泊水环境安全。

综上所述,灰毛豆植物篱对坡耕地面源污染物的拦截效应相对最好,是一种适合种植于坡耕地截流减沙以控制下游湖泊水环境富营养化进程的最佳物种,

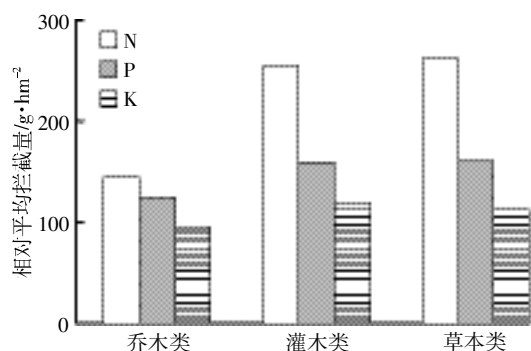


图5 不同物种植物篱养分相对平均拦截量

Figure 5 Average relative interception amounts of nutrients by different specie hedgerows

可能原因有:(1)灰毛豆生长较快,地径较粗,植物篱带内植基盖度较大,能有效地机械阻拦地表径流,降低流速,使更多的泥沙固定在篱前、篱后和篱带间;(2)灰毛豆根系较为发达,扎根较深,深入改善了土壤孔性,增大了径流在篱前、篱后和篱带间的入渗量;(3)灰毛豆地上生物量最大,拦截吸收的养分较多。总之,草本类植物篱对养分的拦截效应相对最好,灌木类植物篱次之,乔木类植物篱相对最差。因此,在坡耕地种植植物篱保护下游湖泊水环境过程中,可优先选择草本类和灌木类植物篱物种。

3 讨论

植物篱主要以其拦截、吸收功能把坡耕地泥沙和养分固定在篱前、篱后、篱带间和篱上,抑制养分随地表径流和泥沙向下游湖泊水环境的输入,从而达到保护水环境的目的。首先,植物篱以“生态绿墙”横向截断坡耕地,机械拦截坡耕地地表径流、泥沙及其携带的养分,把养分固定在篱前篱后的土壤中;其次,植物篱通过根系吸收部分养分,供应自身的生长,从而把养分固定在植物篱上。

植物篱拦截效率的影响因素较多,从坡耕地面源污染物运移动力、阻力和过程等角度来看,影响因素主要包括降雨量、降雨强度、降雨时长,植物篱带种植宽度、行数、基盖度、抗冲能力、根系,坡耕地坡度、坡位,监测时间等,但这些因素需进一步研究验证。降雨量或降雨强度越大,同一径流小区产生的径流量越多(表1和表2)。降雨时长越长,同一径流小区产生的径流量越多(图2和表2),但径流增加量与降雨强度有关。面源污染物沿径流小区向下运移过程中,首先会受到小区内覆盖物的截留,部分径流在小区内逐渐入渗;其次部分面源污染物继续向下运移,其通过植

物篱带时会受到植物篱带基部的机械拦截,削弱其运移速率,将部分泥沙固定在篱前、篱后和篱带间;最后剩余部分面源污染物穿过植物篱带基部缝隙,继续向下运移。植物篱带种植宽度越宽、行数越多、基盖度越大,面源污染物越难以穿过植物篱带,更能有效进行机械拦截面源污染物;植物篱带抗冲能力越强,能有效承受地表径流的冲击,拦截较大的地表径流,且自身不会遭到地表径流的毁灭性破坏;植物篱根系越发达,能有效固结土体,改善土壤孔性,增强地表径流在篱前、篱后和篱带间入渗,也增强自身的抗冲能力。坡度和坡位影响坡耕地地表径流的汇流,也是影响植物篱拦截效率的重要因素。监测时间足够长,篱前堆积了大量泥沙,篱前篱后微地形发生变化,其拦截效率或许会发生一定的变化。

在实际推广植物篱生态措施的过程中,应考虑以下几点:(1)植物篱物种选择。物种选择既需遵循实地实树原则,选择乡土树种,又应考虑当地农民群众的接受程度。(2)植物篱种植。植物篱种植应考虑配置模式和种植位置两个方面。灌草、乔草物种配置植物篱具有较好的截流减沙效应^[14],沿坡耕地坡面自上而下种植“2行草本+2行木本”的4行植物篱带对养分的拦截效应最佳^[15],植物篱配置应采取乔草组合、灌草组合或乔灌草组合模式。植物篱带应少占坡耕地,可以“2行草本+2行木本”模式带状种植于坡耕地边坎区。(3)植物篱效益。植物篱种植应给农民群众带来一定的经济效益,以便得到农民群众的支持。因此,植物篱效益评价既要考虑生态效益和社会效益,更要考虑经济效益。

9种植物篱对坡耕地面源污染物具有不同程度的拦截效应,其中,灰毛豆对面源污染物的拦截效应相对最好,构树的拦截效应相对最差,这对今后发展生态农业,用植物篱防治坡耕地水土流失,抑制农业面源污染,保护下游水库、湖泊淡水资源,保障人类和牲畜健康与生命安全等提供理论依据。植物篱根系对坡耕地养分的拦截吸收机理有待进一步深入研究。因此,在黔中高原坡耕地开展不同物种植物篱对面源污染物的拦截效应的研究具有十分重要的理论和现实意义。

4 结论

(1)9种植物篱均具有较好的截流减沙效应,能有效地减少地表径流和泥沙向下游湖泊水环境的输入量,其中,灰毛豆植物篱截流效应最佳,紫花苜蓿植

物篱减沙效应最佳。

(2) 9种植物篱均具有明显的养分拦截效应,能有效地抑制下游湖泊水环境富营养化进程,其中,灰毛豆植物篱能更有效地抑制湖泊水体氮、磷元素的富集进程;胡枝子植物篱能更有效地抑制湖泊水体钾元素的富集进程,灰毛豆植物篱次之。

(3) 在开展植物篱治理下游湖泊水环境工作中,最佳的物种选择为灰毛豆和紫花苜蓿,最佳的物种配置模式为“2行草本+2行木本”,最佳的空间布局为带状种植于坡耕地边坎区。

参考文献:

- [1] 刘倩纯, 余 潮, 张 杰, 等. 鄱阳湖水体水质变化特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(6): 1232-1237.
LIU Qian-chun, YU Chao, ZHANG Jie, et al. Water quality variations in Poyang Lake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(6): 1232-1237.
- [2] 冯业强, 夏品华, 张明时, 等. 贵州高原红枫湖水富营养化特征分析[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2011, 29(3): 29-35.
FENG Ye-qiang, XIA Pin-hua, ZHANG Ming-shi, et al. Analysis on eutrophication features of Hongfeng reservoir on Guizhou plateau[J]. *Journal of Guizhou Normal University(Natural Sciences)*, 2011, 29(3): 29-35.
- [3] 程 波, 张 泽, 陈 凌, 等. 太湖水体富营养化与流域农业面源污染的控制[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊1): 118-124.
CHENG Bo, ZHANG Ze, CHEN Ling, et al. Eutrophication of Taihu lake and pollution from agricultural non-point sources in lake Taihu[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(Suppl1): 118-124.
- [4] 毛光君, 杨丽标, 晏维金, 等. 河流污染物输送对巢湖水质影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(1): 141-147.
MAO Guang-jun, YANG Li-biao, YAN Wei-jin, et al. The influence of pollutant inputs from the major tributaries on water quality of Chao Lake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(1): 141-147.
- [5] 杨龙云, 秦伯强, 胡维平, 等. 太湖大气氮、磷营养元素干湿沉降率研究[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(2): 104-110.
YANG Long-yun, QIN Bo-qiang, HU Wei-ping, et al. The atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus nutrients in Taihu Lake[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(2): 104-110.
- [6] 叶延琼, 章家恩, 李逸勉, 等. 基于GIS的广东省农业面源污染的时空分异研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(2): 369-377.
YE Yan-qiong, ZHANG Jia-en, LI Yi-mian, et al. Spatial-temporal variation of agricultural non-point source pollution based on GIS technology in Guangdong Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(2): 369-377.
- [7] Grimaldi C, Fossey M, Thomas Z, et al. Nitrate attenuation in soil and shallow groundwater under a bottomland hedgerow in a European farming landscape[J]. *Hydrological Processes*, 2012, 26(23): 3570-3578.
- [8] Donjatee S, Tingsanchali T. Reduction of runoff and soil loss over steep slopes by using vetiver hedgerow systems[J]. *Paddy and Water Environment*, 2013, 11(1-4): 573-581.
- [9] 申小波, 陈传胜, 张 章, 等. 不同宽度模拟植被过滤带对农田径流、泥沙以及氮磷的拦截效果[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(4): 721-729.
SHEN Xiao-bo, CHEN Chuan-sheng, ZHANG Zhang, et al. Interception of runoff, sediment, nitrogen and phosphorus by vegetative filter strips with different width in a simulated experiment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(4): 721-729.
- [10] 吕文星, 张洪江, 程金花, 等. 三峡库区植物篱对土壤理化性质及抗蚀性的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 69-73, 78.
LÜ Wen-xing, ZHANG Hong-jiang, CHENG Jin-hua, et al. Effects on soil physicochemical properties and anti-erosion caused by plant hedgerows in Three Gorges Reservoir area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(4): 69-73, 78.
- [11] 王 幸, 张洪江, 程金花, 等. 三峡库区坡耕地植物篱模式效益评价研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 692-698.
WANG Xing, ZHANG Hong-jiang, CHENG Jin-hua, et al. Merits of hedgerows in slope farmlands in Three Gorges Reservoir area[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(3): 692-698.
- [12] 施卫明, 薛利红, 王建国, 等. 农村面源污染治理的“4S”理论与实践: 生态拦截技术[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(9): 1697-1704.
SHI Wei-ming, XUE Li-hong, WANG Jian-guo, et al. A reduce-retain-reuse-restore technology for controlling rural non-point pollution in China: Eco-retain technology[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(9): 1697-1704.
- [13] 全国农业技术推广服务中心. 土壤分析技术规范[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
National Agricultural Technology Extension and Service Center. Technical specification for soil analysis[M]. Beijing: Chinese Agricultural Publishing House, 2006.
- [14] 田 潇, 周运超, 刘晓芸, 等. 物种配置植物篱对坡耕地营养元素拦截效应[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 89-93.
TIAN Xiao, ZHOU Yun-chao, LIU Xiao-yun, et al. Effects of hedgerow of species configuration on interception of nutrition elements in sloping cultivated lands[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(6): 89-93.
- [15] 蔡先立, 周运超, 刘晓芸, 等. 不同行数植物篱对红枫湖坡耕地养分的拦截效应[J]. 中国水土保持科学, 2012, 10(5): 36-42.
CAI Xian-li, ZHOU Yun-chao, LIU Xiao-yun, et al. Nutrient blocking effects of plant hedgerow with various rows on slope farmland nearby Hongfeng Lake[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2012, 10(5): 36-42.