

DOI: 10.5846/stxb201409101783

张丹丹, 王冬梅, 信忠保, 史常青. 漓江滨岸草带对径流泥沙的拦截效果. 生态学报, 2016, 36(21): - .

Zhang D D, Wand D M, Xin Z B, Shi C Q. Preliminary study of runoff reduction and sediment removal by grass strips in riparian zone, Li River. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(21): - .

漓江滨岸草带对径流泥沙的拦截效果

张丹丹¹, 王冬梅^{1,*}, 信忠保¹, 史常青¹

北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

摘要:位于污染源和受纳水体之间的滨岸带对径流泥沙的过滤作用已经得到广泛认可, 滨岸植被的存在能降低径流流速, 增加土壤入渗, 延缓产流时间, 促使径流中的悬浮物质得到沉积。而关于漓江滨岸草带过滤作用的相关定量研究和应用尚未见报导。为探索影响草带过滤效果的影响因素, 本研究在广西漓江滨岸带内按不同植被条件、不同带宽布设 6 个试验小区, 通过小区放水试验测定滨岸草带对径流泥沙的拦截效果。结果表明: 草带能有效拦截径流悬浮物, 对径流、泥沙的拦截率分别达到 66% 和 68%, 当草带宽度增加到 10m 时拦截率均达 90%。带宽是影响径流泥沙拦截的主导因素。植被条件是影响拦截效果的又一重要因素, 而初始含水量和入流泥沙浓度对拦截效果的影响较小。同一草带对泥沙的拦截效果优于径流的拦截效果, 且二者之间存在密切的线性关系。

关键词: 滨岸带; 径流; 泥沙; 拦截效果

Preliminary study of runoff reduction and sediment removal by grass strips in riparian zone, Li River

ZHANG Dandan¹, WAND Dongmei^{1,*}, XIN Zhongbao¹, SHI Changqing¹

School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083

Abstract: The impact of vegetation on pollutant removal from runoff in a riparian zone has been widely recognized. Vegetation on the riparian zone is believed to decrease water turbulence, increase water infiltration, prolong the runoff producing time and enhance the sediment deposition through it. However, to the best of our knowledge, no study has been conducted so far to assess the performance of grass strips grew in riparian zone of the Li River. In this study, six experimental plots with varying plantation modes and vegetation lengths were constructed in the riparian zone of Li river, Guangxi Zhuang Autonomous Region, which were used to determine the effect of runoff reduction and sediment removal by typical vegetation. The results of our study showed that grass strips could effectively intercept runoff and sediment. The average runoff and sediment trapping efficiency (TE) of all six plotted filters were 66% and 68%, respectively. The trapping efficiency reached 90% when the filter length was increased to 10 m. The results indicated that the length of the filter was the most crucial factor affecting sediment deposition. Vegetation type was another important factor, and was found to be more decisive than the initial water content and inflow sediment concentration. The sediment TE was higher than the runoff TE, and appeared a positively linear relationship with the runoff TE in one and the same vegetated filters.

Key Words: riparian zone; runoff; sediment; trapping efficiency

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划项目 (2012BAC16B03)

收稿日期: 2014-09-10; 网络出版日期: 2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dmwang@126.com

滨岸带又称河岸带、岸边带等,是指内陆水生态系统和陆地生态系统之间的界面区^[1-2],是介于河流和高地植被之间的生态过渡带,具有明显的边缘效应^[3]。它的存在可有效拦截、滞留泥沙,改善河道水质,是污染源和水体之间的一道绿色屏障^[4-6]。它的作用类似于半透膜对物质的选择性过滤作用^[1]。

根据国内外的研究实践表明,滨岸带内植被在控制地表径流和土壤流失方面的重要作用已经得到认可^[7-9]。草本类植物由于其生长密集、交错覆盖于地表等特点,在截留径流泥沙方面表现尤为突出^[10-11]。草本植物对径流污染物的净化作用机制主要体现在以下几个方面:a 径流遇到植被的阻挡,流速降低;b 伴随径流流速和运移能力下降,径流中悬浮颗粒大量沉积;c 下渗水量增加;d 植被的杆叶吸附、过滤径流中悬浮物质。这些机制对泥沙沉积和水流输出的影响程度主要取决于以下五个因素^[12-13]:草带宽度;流入草带内的径流含沙量;径流流速(同时受坡度的影响);植被盖度、高度;径流深。国外学者对此作了较多的相关研究,Sang Joon Chung^[14](2010)、J.Wanyama^[15](2012)等人的研究表明草带宽度是影响泥沙悬浮颗粒沉积的主导因素;Majed^[16](2004)等人的研究表明在相同草带宽度下,泥沙拦截率随着径流流速的增加呈现出非线性的降低,植被盖度对泥沙沉积的影响仅次于草带宽度。国内对此研究起步较晚,相关研究报导较少,黄沈发^[17]在上海苏州河上游东风港试验基地内开展不同坡度缓冲带径流污染物净化效果试验,结果表明,坡度与缓冲带径流悬浮固体颗粒物(SS)截留效果显著相关;李怀恩^[18]在陕西小华山水库岸坡上通过建立植被过滤带探究地表径流污染物净化效果的影响因素,研究表明,植被条件、入流流量和入流悬浮固体浓度对净化效果影响显著。然而缺乏在不同地区野外自然条件下,天然草带对坡面径流泥沙的拦截效果研究,而且对漓江滨岸草带的研究尚未见报道。

近年来由于漓江旅游资源大面积的开发以及人为对漓江周边植被资源的破坏,使的漓江滨岸带生态系统受损,泥质岸滩水土流失尤为严重,草带作为拦截泥沙等污染物的过渡带,在滨岸带水土保持方面发挥着不可或缺的作用。本研究通过在野外建立试验小区进行放水试验,旨在探索影响草带过滤效果的影响因素,分析草带宽度、植被条件、土壤初始含水量、入流泥沙浓度对草带净化效果的影响,同时为漓江滨岸带缓冲区域植被恢复及规划设计提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地布设于广西壮族自治区桂林市净瓶山大桥(N25°13'53",E110°19'03")和灵川县省里村(N25°10'15",E110°25'35")滨岸带内,分别位于漓江桂林-阳朔段的上游和中游段,远离城区,植被配置型式为缓坡边滩天然草本型式^[19]。漓江流域属中亚热带湿润季风气候区,全年光照充足,平均气温 17.8—19.1℃,年降雨量 1814—1941mm,年蒸发量 1482.5 mm,雨热基本同期。土壤类型为山地黄壤土(砂粒 58%,粉粒 24%,黏粒 18%),试验地内土壤类型为砂壤土(砂粒 65%,粉粒 24%,黏粒 11%),土壤容重 1.14—1.29(g/cm³)。在漓江缓坡边滩天然草本配置河段,坡度分布在 5°—10°之间,考虑到试验的可实施性以及坡面状况等因素,本试验地所在坡面坡度为 5°—7°。

1.2 草本植物的选择

通过前期对漓江桂林-阳朔段实地调查,常见的草本植物主要包括狗牙根(*Cynodon dactylon*)、水蓼(*Polygonum hydropiper*)、菵草(*Humulus scandens* (Lour.) Merr)、假俭草(*Eremochloa ophiuroides*)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、紫菀(*Aster tataricus* L. f.)、苘草(*Arthraxon hispidus*)、火炭母(*Polygonum chinensis*)、小蓬草(*Conyza canadensis*)、皱叶狗尾草(*Setaria plicata* (Lamk.) T. Cooke)等^[20-22]。本试验地内的植被为其中 4 种岸坡自然生长常见的草本植物:假俭草、空心莲子草、菵草、火炭母。

1.3 试验小区布设

基于影响滨岸草带拦截效果的两个主要因素:带宽、植被条件,为更好的比较不同带宽、植被条件对径流泥沙拦截效果的影响,选择相同带宽不同植被条件和相同植被条件不同带宽两种方式构建试验小区。

选择漓江沿岸 4 种常见的草本分布类型, 构建相同带宽 (5m) 不同植被条件下的试验小区, 按 A、B、C、D 进行编号, 其中 A 是以假俭草与空心莲子草为主导植被的草带, B 是以假俭草为主导植被的草带, C 是以菵草与菵草为主导植被的草带, D 是以菵草与火炭母为主导植被的草带。

根据坡面实际状况, 选择带宽 2m、5m、10m 3 个带宽构建在相同植被条件 (A) 下, 不同带宽的试验小区。

试验小区共建立 6 个, 小区宽度均为 1.5m。试验小区的左右两侧用隔水板围挡, 防止侧渗。在每个小区的出口处设置容量为 200L 的集水池, 用于收集穿过草带的径流、泥沙。试验地内草本生长茂盛, 植被盖度均为 100%, 因此盖度可不作为变量考虑。由于草带较短, 坡度差别不大, 可忽略坡度对试验结果的影响。

1.4 放水装置

试验装置由放水装置、控水装置、缓冲装置、集水装置四部分组成。放水桶容量为 1000L, 并含孔径为 0.05m 的流量调节阀, 用于调节出水流量的大小。在出水口与草带间放置长 1m, 宽 0.3m 的 U 型缓冲槽, 缓冲槽内含凸形波浪纹, 且小区内草本交错覆盖于地表, 水流可平缓均匀的流入小区。试验装置如图 1 所示。

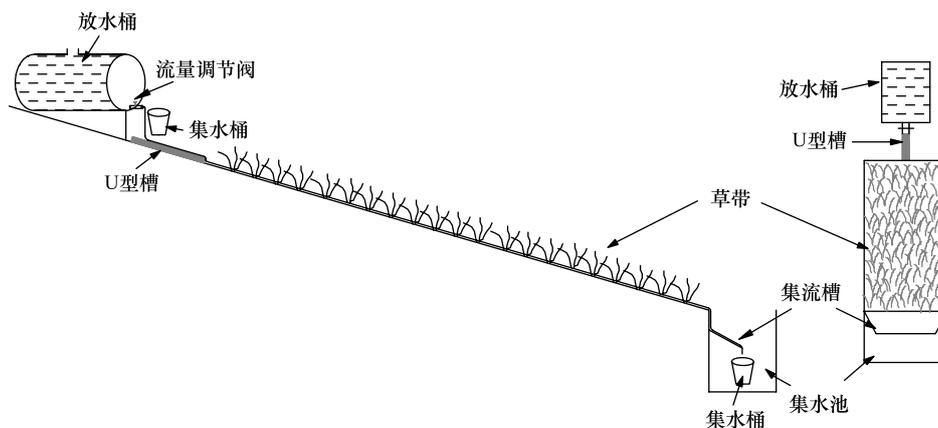


图 1 试验装置示意图 (左侧为侧视图, 右侧为俯视图)

Fig.1 Schematic presentation of experimental device: left, side view; right, front view

1.5 放水方案

每个小区进行放水试验前采集草带内土样分析土壤初始含水量、机械组成等指标。放水桶内加入泥沙土样模拟漓江暴雨径流, 据资料显示, 暴雨径流含沙量在 $0.9\text{--}2.5\text{kg}/\text{m}^3$ 之间^[23], 多次溶液配比试验表明, 放水桶内需加入 5kg 过筛后的表层土, 可使流入小区内的泥沙浓度保持在 $1.4\text{--}2.0\text{kg}/\text{m}^3$ 范围内。出水流量大小根据桂林近 50 年 24h 最大降雨强度^[24] 确定。

通过放水试验采集入水口、出水口径流水样。水样中的泥沙含量使用长春吉大·小天鹅公司 GDYS-201M 多参数水质分析仪测定。

每个小区进行 4 场放水试验, 共计 24 场, 放水方案如表 1 所示, 放水试验在 2013 年 5—8 月间进行, 此期间草被植被已完成全部生长发育, 试验期间无明显变化。放水间隔由小区的初始含水量确定。

2 数据分析

为定量分析草带对径流、泥沙的去除效果, 用径流、泥沙的拦截率 (trapping efficiency, TE) 作为去除效果的评价指标^[18]。TE 按下式进行计算:

$$\text{径流 TE} = \frac{V_{\text{in}} - V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{泥沙 TE} = \frac{C_{\text{in}} V_{\text{in}} - C_{\text{out}} V_{\text{out}}}{C_{\text{in}} V_{\text{in}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中, V_{in} 为流入试验小区的径流体积 (L), V_{out} 为流出试验小区的径流体积 (L)。公式 (2) 中 C_{in} 为入流泥沙

浓度(mg/L), C_{out} 为出流泥沙浓度(mg/L)。

表 1 放水试验方案

Table 1 The experimental scheme for dewatering test

试验序号 Test number	草带 Grass strips	土壤容重 Soil bulk density/ (g/cm ³)	坡度/(°) Slope	初始含水量/% Initial moisture content	放水水量/L Water flowage	泥沙用/kg 量 Sediment quality	流量/(L/s) Flow rate
1-1	A2	1.24	7	30.0±.780a	1000	0	0.5
2-1	A5	1.26	7	28.0±1.215a	1000	0	0.5
3-1	A10	1.29	7	28.6±.440a	1000	0	0.5
4-1	B5	1.28	6	25.5±.200a	1000	0	0.5
5-1	C5	1.21	5	27.3±.205a	1000	0	0.5
6-1	D5	1.14	6	28.4±.560a	1000	0	0.5
1-2	A2	1.24	7	28.5±.673a	1000	5	0.5
2-2	A5	1.26	7	28.9±.240a	1000	5	0.5
3-2	A10	1.29	7	29.0±.794a	1000	5	0.5
4-2	B5	1.28	6	27.0±1.043a	1000	5	0.5
5-2	C5	1.21	5	26.6±1.103a	1000	5	0.5
6-2	D5	1.14	6	25.0±1.718a	1000	5	0.5
1-3	A2	1.24	7	39.8±.622b	1000	5	0.5
2-3	A5	1.26	7	27.5±.283a	1000	5	0.5
3-3	A10	1.29	7	39.7±.290b	1000	5	0.5
4-3	B5	1.28	6	28.6±.792a	1000	5	0.5
5-3	C5	1.21	5	26.2±1.346a	1000	5	0.5
6-3	D5	1.14	6	28.4±.480a	1000	5	0.5
1-4	A2	1.24	7	37.4±1.589b	1000	5	0.5
2-4	A5	1.26	7	27.9±.443a	1000	5	0.5
3-4	A10	1.29	7	40.9±.751b	1000	5	0.5
4-4	B5	1.28	6	28.0±.932a	1000	5	0.5
5-4	C5	1.21	5	27.1±.887a	1000	5	0.5
6-4	D5	1.14	6	27.2±.073a	1000	5	0.5

试验序号的第一个数字为小区编号,第二个数字为放水场次;数据为平均值±SE,不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平下差异显著

所有试验数据采用 Microsoft office Excel 2007 并结合 SPSS18.0 软件对数据进行整理及统计分析。

3 结果与分析

3.1 带宽对径流、泥沙拦截效果的影响

在植被条件(A)、入流泥沙浓度相似的条件下载宽 2、5、10 对径流泥沙的拦截效果如图 2 所示。即 A2、A5、A10 的第二、三、四场放水试验结果。

由图 2(a)看出径流的拦截效果呈现出随草带宽度增加而增加的趋势,这是由于草本植被的存在,使得水流速度降低,入渗水量增加进入土壤内部;另一方面草带内的枯落物在径流的流动过程中起到一部分的阻滞作用,从而延长入渗时间。带宽 5m 的径流 TE 为 65%,表明在草带的前 5m 径流已被大量拦截,随着草带宽度的增加拦截效果趋于平缓,当宽度增加到 10m 时,已有 90%的径流被拦截,拦截效果显著。通过对比不同带宽草带对径流的拦截效果发现带宽对径流的削减影响显著。

泥沙的拦截效果与径流表现出相同的趋势如图 2(b)所示,2m 泥沙 TE 为 33%,5m 泥沙 TE 为 65%,10m 泥沙 TE 为 90%,这是因为泥沙的运移需要借用水流的动力,径流的减少,使得径流的携沙能力下降,径流中较大颗粒的泥沙在草带的前段被大量拦截沉积下来,径流中细小的悬浮颗粒随径流的流动继续前移,所以当

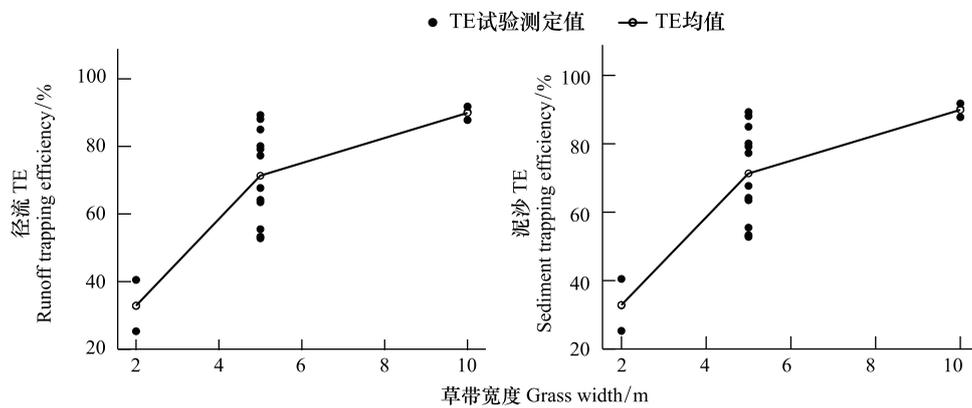


图2 草带宽度对径流、泥沙拦截效果的影响

Fig.2 Effect of filter length on average runoff and sediment trapping efficiency

草带宽度由 5m 增加至 10m 时,泥沙的拦截效果呈现减缓的趋势。

3.2 植被条件对径流、泥沙拦截效果的影响

在带宽(5m)、入流泥沙浓度、土壤初始含水量相似的条件 下植被条件对径流泥沙的拦截效果如图 3 所示。即 A5、B5、C5 的第二、三、四场放水试验结果,分析 4 条草带在相似试验条件下,植被条件对径流泥沙拦截效果的影响。

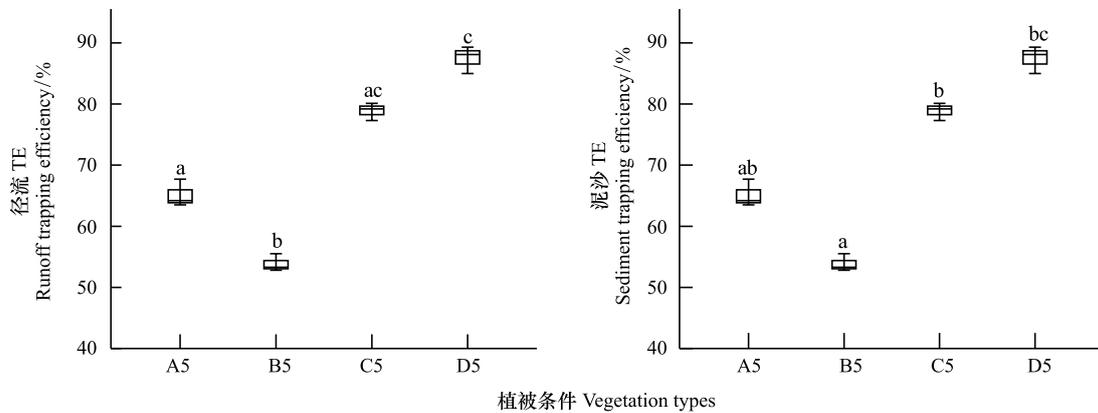


图3 不同植被条件下径流、泥沙的拦截效果

Fig.3 Variation of runoff and sediment trapping efficiency with types of vegetation

不同小写字母表示差异显著, $P < 0.01$

图 3(a) 显示在其他条件相似的条件 下,植被条件不同时,径流的拦截效果存在差异。在 $P < 0.01$ 条件下,带宽 5m 的植被条件 A、植被条件 B、植被条件 D 两两之间差异显著。C5 与 A5、D5 之间无显著差异。在植被为 C、D 的条件下对径流的拦截效果优于 A、B,分析其原因可能是由于植被高度差异造成的,菵草、荇草、火炭母的植被平均高度约 20cm,空心莲子草、假俭草的植被高度约 5cm,当植被较低时,草本植被刚度较小,径流漫过植被,形成淹没流,引起粗糙度下降,草带对径流的拦截效果降低,水流加速,下渗的水量随之减少,产生的径流相应增加。然而,在植被高度相同的条件下,A5 的径流 TE 为 64%,B5 为 50%,拦截效果存在显著差异,分析其原因是由于不同草种混交(A5)对径流的拦截效果优于纯种草本(B5)的拦截效果,因此在滨岸带植被恢复时建议采用不同草本的混交方式撒播,可有效拦截流入河流的悬浮物质。

由图 3(b)可知,在 $P < 0.01$ 条件下,D5 与 A5、B5 之间存在显著差异,植被对泥沙的截留效果与径流的截留效果一致,泥沙的运移过程伴随着径流的输送过程实现,因此相同带宽下 D 的拦截效果最好,C 次之,A 较差,B 最差。

3.3 初始含水量对径流、泥沙拦截效果的影响

A2、A10 草带第二场放水试验前测草带土壤初始含水量约 29%，第三、四场放水试验前测草带含水量约 39%，除土壤初始含水量之外，A2、A10 草带的第二场与三、四场的其他放水条件基本相似，几次放水试验结果如表 2 所示。

表 2 不同初始含水量对径流、泥沙拦截效果影响

Table 2 The runoff and sediment trapping efficiency in different initial soil water content

试验序号 Test number	草带 Grass strips	初始含水量 Initial moisture content/%	入流流量 Inflow rate /L	出流流量 Outflow rate /L	径流 TE Runoff trapping efficiency/%	入流泥沙浓度 Inflow sediment concentration/(mg/L)	入流泥沙量 Inflow sediment quality/g	出流泥沙浓度 Outflow sediment concentration/(mg/L)	出流泥沙量 Outflow sediment quality/g	泥沙 TE Sediment trapping efficiency/%
1-2	A2	28.5	1000	651	34.9	1551.9	1551.9	1419.2	923.9	40.5
1-3	A2	39.8	1000	767	23.3	1527.3	1527.3	1486.9	1140.5	25.3
1-4	A2	37.4	1000	701	29.9	1512.8	1512.8	1450.0	1016.5	32.8
3-2	A10	29.0	1000	82	91.8	1735.8	1735.8	1631.9	133.8	92.3
3-3	A10	39.7	1000	101	89.9	1514.0	1514.0	1524.7	154.0	89.8
3-4	A10	40.9	1000	115	88.5	1428.7	1428.7	1517.3	174.5	87.8

可以看出，在入流流量相同的情况下，同一试验小区，不同初始含水量，出流水量存在差异。对于 A2 草带，在 $\theta=28.5\%$ 时的出流流量分别是 $\theta=39.8\%$ 、 37.4% 时出流流量的 84.9%、92.9%，A10 草带，在 $\theta=29.0\%$ 时的出流流量分别是 $\theta=39.7\%$ 、 40.9% 时出流流量的 80.2%、71.3%，表明当土壤初始含水量较少时，对径流的拦截效果更为明显，且拦截效果表现出随带宽增加而增加的趋势。这是由于在土壤较干燥时下渗水量较多，截留更多的地表径流，出流断面产生的径流相应较少。另外表 2 显示同一小区的 3 次放水试验对泥沙的拦截效果与径流的拦截效果相似，而随着带宽增加初始含水量对径流泥沙拦截效果的影响作用减小。

由于试验区位于亚热带湿润季风气候区，降水量较多，加之植被生长繁茂，因此草带内土壤初始含水量较大，随着草带内土壤含水量的增加，径流泥沙拦截率的变化幅度较小。就本试验而言，初始含水量作为影响因素相较草带、植被条件此两种影响因素对径流泥沙的影响程度小。

3.4 入流泥沙浓度对泥沙拦截效果的影响

小区的第一场放水试验均是未加泥沙的水样，初始泥沙浓度较小，在 81.5—220.4mg/L 范围内。考虑到配置含沙量过高的入流水样，不利于泥沙与水的充分混合，本试验中入流泥沙浓度在 1428.7—2014.5mg/L 范围内。草带对不同泥沙浓度的径流拦截效果如图 4 所示。

由图 4 可以看出，在泥沙浓度较小时，草带对泥沙的拦截效果较差，甚至伴随着水流的冲刷，呈现出拦截效果为负值的现象，这是由于第一次放水时，水样中泥沙含量较少，土壤抗冲能力弱，粘结性能差，在植被拦截泥沙的同时会带走坡面表层松散的土壤，以及植被上的浮尘颗粒，增加径流中的泥沙含量，导致拦截效果差。

对于同一个草带而言，水流条件和泥沙综合条件（密度、沉速）相同的条件下水流携沙能力是一定的^[16]，因此，在同一个草带内进行不同泥沙浓度的放水试验，泥沙浓度较高的水流会沉积更多的泥沙，对泥沙的拦截效果更为显著。

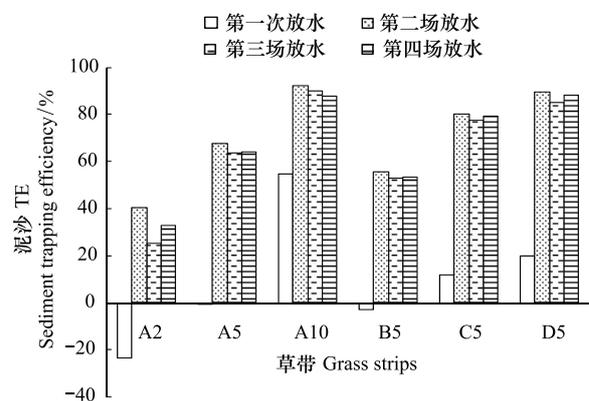


图 4 入流水流中不同泥沙浓度对泥沙拦截效果的影响

Fig. 4 The runoff and sediment trapping efficiency in different flow sediment concentration

另外从图 4 中可以发现,第一场放水,在其他放水条件相似的前提下,不同带宽,不同植被条件下对泥沙的去除效果存在较大差异。在相同植被条件下 A2、A5、A10 泥沙 TE 分别为-23.4%、-0.7%、54.8%,表明在泥沙浓度较小时,随着草带宽度的增加拦截率增加,这与试验结果 3.1 结论一致。对于相同带宽 A5、B5、C5、D5 泥沙 TE 分别为-0.7%、-2.8%、11.8%、19.7%,D 的泥沙去除效果最好,B 的效果最差,这与试验结果 3.2 结论相吻合。

入流泥沙浓度影响泥沙拦截效果表现在两方面:一方面,入流泥沙浓度较小,草带较短时,水流中泥沙浓度较小容易携带土壤表层以及植被上的泥沙颗粒,水流中的泥沙含量呈不减反增的趋势;另一方面,入流泥沙浓度较大时,水流中会有较多的泥沙在草带内沉积,草带对泥沙的拦截效果相对显著。

4 讨论

径流 TE 与泥沙 TE 呈显著正相关($r_s = 0.98, P < 0.01$),径流拦截率(自变量)与泥沙拦截率(因变量)之间有密切的线性关系($y = 0.98x + 10.5, R^2 = 0.96$),表明随着径流拦截率增加,泥沙拦截率随之增加,这与 Abu-Zreig(2004)^[16]、Weihsang, D.(2011)^[25] 等人的研究结果一致。另外,从图 5 可以看出草带对泥沙的拦截效果要高于径流。因此,同一场放水试验草带对泥沙的拦截效应比径流的拦截效应更为显著。由此,为提高草带对泥沙的截留效应,可在草带上面部分采取良好的管理措施如增加植被覆盖,建立截排水沟或小型湿地,减少径流,切断土壤流失的输送工具。

本研究通过在漓江滨岸草地坡面上进行放水试验,探究草带对径流泥沙拦截效果及其影响因素。结果显示草带对径流的拦截率平均为 66%,对泥沙的拦截率平均为 68%(每个小区的第一场放水除外),表明草带措施对坡面产流产沙有很好的削减作用,因此,在漓江沿岸构建草带能有效减少随径流入河的陆域污染物。2m 的泥沙拦截率为 33%,5m 的为 71%,10m 的为 90%,带宽对泥沙的拦截效果影响最为显著,这与前人^[15-16]的研究结果相似,同时也表明随着草带宽度的增加,对径流泥沙的拦截效果也相应增加,因此,在有条件构建滨岸草带的河段,最大限度的增加草带的宽度,使草带拦截径流泥沙的能力达到最佳。然而本研究草带宽度等级设置较少,并未涉及 >10m 的带宽,所以无法筛选出拦截效果最好的草带宽度。在植被选择方面,本文通过对比在 4 种当地常见的植被条件下径流泥沙的拦截率,筛选出菵草与火炭母为主导植被混合的草带拦截效果最为显著,因此,在漓江沿岸建设滨岸草带时可优先考虑菵草和火炭母。

研究还发现在本试验中土壤初始含水量不同,径流泥沙拦截效果的差异较小(带宽 10m,含水量 29%,径流 TE 91.8%;含水量 40%,径流 TE 89.2%,泥沙的拦截效果与径流表现一致),这与李怀恩等^[18]研究结果(带宽 10m,含水量 20.6%,水量消减率 81.5%;含水量 41.8%,水量消减率 76.3%,悬浮物削减率随含水量的增加无明显减小)略存差异,究其原因可能是由于本研究在漓江流域开展,属于亚热带湿润季风气候区,降水量较多,试验地内地表松散土壤较少,含水量变化幅度较小,而李怀恩研究的试验区位于陕西省华县,属于暖温带半湿润气候区,降水较少,试验地内干燥松散的土壤较多,导致土壤初始含水量对悬浮颗粒拦截效果呈现出两重性。在本研究开展的基础上,之后探究影响漓江滨岸草带径流泥沙拦截效果影响因素时可忽略土壤初始含水量对试验研究的影响。

本试验利用放水试验用于模仿天然降水,而放水过程中只从小区上方流出模拟径流,小区内部没有降雨,

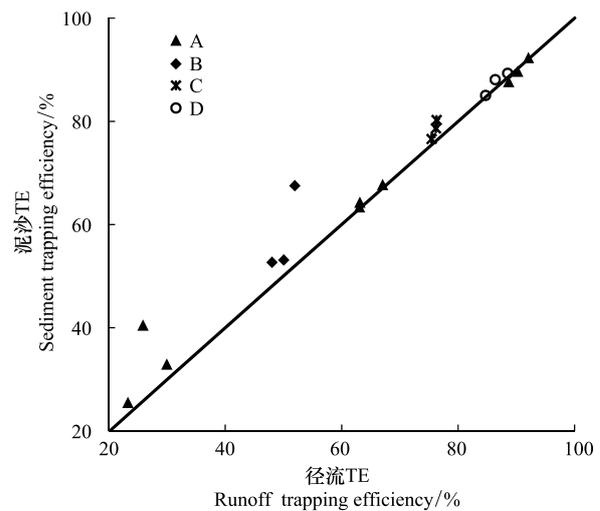


图 5 不同草带宽度、不同植被类型下径流 TE 与泥沙 TE 对比
Fig. 5 Sediment trapping efficiency (TE) versus runoff TE values for all filter lengths and vegetation types

这是与天然降水之间存在的主要差距。因此忽略了降水对草带对径流泥沙拦截效果的影响。其次,放水过程中入流流速不同于天然降水下产生的地表径流流速,可能水流过急,从而影响到下渗过程,对泥沙的沉积也造成影响。由于试验是在野外原状坡面进行,坡面上或多或少的存在不平整情况,对水流流速产生影响,导致水流流向的不稳定。因此下阶段应注重于天然降水下草带对径流污染物的拦截效果研究,同时还需考虑季节、植物根系等其他影响因素,因此需要开展长期的深入研究,确定影响草带拦截效果的影响因素。

5 结论

1) 本研究表明滨岸草带能有效拦截径流悬浮物,对径流、泥沙的拦截率分别为66%、68%,带宽2m时径流和泥沙的拦截率分别为28%和33%,当草带宽度增加至10m径流泥沙的拦截效果均达90%,拦截效果最为显著。拦截率随着带宽的增加而增加,增长趋势随着带宽增加而趋于平缓。因此,带宽是影响草带对径流中悬浮物净化效果的最重要因子。

2) 其他放水条件相似,植被条件不同对径流、泥沙的拦截效果有显著差异($P < 0.01$)。植被高度影响草带的拦截效果,且多种草种混合搭配时径流泥沙拦截效果更佳。

3) 土壤初始含水量对径流泥沙拦截效果的影响作用较小。草带在初始含水量较小时,对径流、泥沙具有较强的削减能力。

4) 入流泥沙浓度对草带的拦截效应具有双重性。一方面入流泥沙浓度较小时,出流断面的悬浮物质呈现出不减少反而增加的趋势,不利于径流悬浮物质的沉积;另一方面入流泥沙浓度较大时,水流中会有较多的泥沙在草带内沉积,草带对泥沙的拦截效果相对显著。

5) 同一草带对泥沙的拦截效果高于径流的拦截效果,且径流拦截率与泥沙拦截率之间有密切的线性关系($y = 0.98x + 10.5, R^2 = 0.96$)。

参考文献 (References):

- [1] 尹澄清. 内陆水-陆地交错带的生态功能及其保护与开发前景. 生态学报, 1995, 15(3): 331-335.
- [2] 白军红, 邓伟, 朱颜明, 王国平, 徐晓锋. 水陆交错带土壤氮素空间分异规律研究—以月亮泡水陆交错带为例. 环境科学学报, 2002, 22(3): 343-348.
- [3] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 吴文春, 邵国凡. 河岸植被缓冲带与河岸带管理. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954.
- [4] 李怀恩, 张亚平, 蔡明, 王清华, 李越. 植被过滤带的定量计算方法. 生态学杂志, 2006, 25(1): 108-112.
- [5] 王敏, 吴建强, 黄沈发, 吴健. 不同坡度缓冲带径流污染净化效果及其最佳宽度. 生态学报, 2008, 28(10): 4951-4956.
- [6] 邓娜, 李怀恩, 史冬庆, 汪磊. 径流流量对植被过滤带净化效果的影响. 农业工程学报, 2012, 28(4): 124-129.
- [7] Mankin K R, Ngandu D M, Barden C J, Hutchinson S L, Geyer W A. Grass-shrub riparian buffer removal of sediment, phosphorus, and nitrogen from simulated runoff. Journal of the American Water Resources Association, 2007, 43(5): 1108-1116.
- [8] 赵警卫, 胡彬. 河岸带植被对非点源氮、磷以及悬浮颗粒物的截留效应. 水土保持通报, 2012, 32(4): 51-55.
- [9] 肖波, 萨仁娜, 陶梅, 王庆海. 草本植被过滤带对径流中泥沙和除草剂的去除效果. 农业工程学报, 2013, 29(12): 136-144.
- [10] Dvid L C. Principles of planning and establishment of buffer zones. Ecological Engineering, 2005, 24(5): 433-439.
- [11] 黄沈发, 吴建强, 唐浩, 吴健, 王敏. 滨岸缓冲带对面源污染物的净化效果研究. 水科学进展, 2008, 19(5): 722-728.
- [12] Wilson L G. Sediment removal from flood water by grass filtration. Transactions of the ASAE, 1967, 10(1): 35-37.
- [13] Vandijk P M, Kwaad F J P M, Klapwijk M. Retention of water and sediment by grass strips. Hydrological Process, 1996, 10(8): 1069-1080.
- [14] Chung S J, Ahn H K, Oh J M, Choi I S, Chun S H, Choung Y K, Song I S, Hyun K H. Comparative analysis on reduction of agricultural non-point pollution by riparian buffer strips in the Paldang Watershed, Korea. Desalination and Water Treatment, 2010, 16(1/3): 411-426.
- [15] Wanyama J, Herremans K, Maetens W, Isabirye M, Kahimba F, Kimaro D, Poesen J, Deckers J. Effectiveness of tropical grass species as sediment filters in the riparian zone of Lake Victoria. Soil Use and Management, 2012, 28(3): 409-418.
- [16] Abu-Zreig M, Rudra R P, Lalonde M N, Whitely H R, Kaushik N K. Experimental investigation of runoff reduction and sediment removal by vegetated filter strips. Hydrological Process, 2004, 18(11): 2029-2037.
- [17] 黄沈发, 唐浩, 鄢忠纯, 熊丽君, 吴建强. 三种草皮缓冲带对农田径流污染物的净化效果及其最佳宽度研究. 环境污染与防治, 2009, 31(6): 53-57.

- [18] 李怀恩, 庞敏, 杨寅群, 杨方社, 孙晓丽. 植被过滤带对地表径流中悬浮固体净化效果的试验研究. 水力发电学报, 2009, 28(6): 176-181.
- [19] 任远, 王冬梅, 信忠保. 漓江流域水陆交错带植被配置型式分类及生态特征. 生态学报, 2014, 34(15): 4423-4434.
- [20] 李扬, 王冬梅, 信忠保, 任远, 李青山. 漓江水陆交错带不同淹没区植物多样性与土壤特征研究. 生态学报, DOI: 10.5846/stxb201312172967, 2015, 35(15).
- [21] 李青山, 王冬梅, 信忠保, 李扬, 任远. 漓江水陆交错带典型灌木群落根系分布与土壤性质的关系. 生态学报, DOI: 10.5846/stxb201312253026, 2015, 35(15).
- [22] 杨文彬, 耿玉清, 王冬梅. 漓江水陆交错带不同植被类型土壤酶活性研究. 生态学报, DOI: 10.5846/stxb201401140107; 2015, 35(14).
- [23] 黄月群, 程亚平. 漓江流域含沙量变化研究. 泥沙研究, 2008, (3): 58-62.
- [24] 赵华荣, 夏北成, 江学顶. 桂林市近 50 年降雨变化特征分析. 桂林理工大学学报, 2011, 31(2): 202-206.
- [25] Ding W H, He X Y, Chen W. Runoff and sediment reduction by riparian buffer filters on steep slopes // International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM). Changsha: IEEE, 2011: 998-1001.