

不同植被缓冲带对坡耕地地表径流中氮磷的拦截效果

王华玲¹, 赵建伟¹, 程东升², 刘玲花², 戢正华³, 贺茂银³, 朱端卫¹

(1.华中农业大学农业部亚热带农业资源与环境重点开放实验室, 武汉 430070; 2.中国水利水电科学研究院水环境研究所, 北京 100038; 3.湖北省十堰市农业生态环境保护站, 湖北 十堰 442000)

摘 要:植被缓冲带是一种控制非点源污染的新型生态工程措施,采用坡地小区试验方法,在构建等高植物篱的坡耕地低处进行了不同植被缓冲带对径流污染物的拦截试验,其处理分别为:(a)普通施肥结合紫穗槐和三叶草;(b)平衡施肥结合紫穗槐和三叶草;(c)普通施肥结合三叶草;(d)平衡施肥结合紫穗槐。结果表明,夏玉米生长期,植被缓冲带对径流量及侵蚀量的拦截作用显著,a、b、c和d处理缓冲带相对于植物篱处理,其径流量分别减少98.0%、97.5%、97.2%和97.5%,侵蚀量分别减少98.8%、98.7%、97.9%和98.0%;植被缓冲带对N、P的拦截效果不同,a、b、c和d处理缓冲带相对于植物篱处理,对 NH_4^+-N 的平均拦截率分别为48.2%、86.2%、90.6%和95.1%,对TP的平均拦截率分别为49.2%、42.4%、41.3%和36.4%。试验结果对山区坡耕地面源污染的控制,重点水源地的水质保护提供了借鉴。

关键词:植被缓冲带;坡耕地;地表径流;拦截率;氮;磷

中图分类号:X522 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)09-1730-07

Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency of Different Vegetative Buffer Strips on Surface Runoff from Sloping Land

WANG Hua-ling¹, ZHAO Jian-wei¹, CHENG Dong-sheng², LIU Ling-hua², ZHE Zheng-hua³, HE Mao-yin³, ZHU Duan-wei¹

(1. Key Laboratory of Subtropical Agriculture and Environment, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Department of Water Environment, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. Shiyan Agricultural Environment Protection Station, Shiyan 442000, China)

Abstract: Vegetative buffer strips (VBS) is a form of catchment management designed to control non-point source pollution. To test the effectiveness of different plants comprising a VBS, we conducted a series of tests on surface runoff characteristics using treatments with (a) normal fertilization with *Amorpha fruticosa* L. and *Trifolium*; (b) balanced fertilization with *Amorpha fruticosa* L. and *Trifolium*; (c) normal fertilization with *Trifolium*; (d) balanced fertilization with *Amorpha fruticosa* L. The tests were conducted on sloping land in the catchment of Danjiangkou Reservoir, Shiyan City. The results showed that the VBS was effective in removal of 85.8%, 95.6%, 61.9% and 82.8% for ammonium-N in the winter wheat-growing season for treatments a, b, c and d, respectively, but had lesser influencing in removing total phosphorus of the surface runoff. During the summer growing season, removal rates were 98.0%, 97.5%, 97.2% and 97.5% for runoff, and 98.8%, 98.7%, 97.9% and 98.0% for erosion, 48.2%, 86.2%, 90.6% and 95.1% for ammonium-N, and 49.2%, 42.4%, 41.3% and 36.4% for total phosphorus for treatments a, b, c and d, respectively. In the mountainous region of reduced farmland, a VBS of only 2 meters width had greater interception effects on ammonium-N than on total phosphorus. The VBS also had significant interception effects on runoff and sediment. Our results suggest that measures to reduce agricultural non-point source pollution in the catchment of Danjiangkou Reservoir area should include the design of VBS systems.

Keywords: vegetative buffer strip; sloping land; surface runoff; removal effects; nitrogen; phosphorus

收稿日期:2010-04-04

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAD01B08-01)

作者简介:王华玲(1983—),女,湖北襄樊人,硕士研究生,研究方向为水处理生态工程。E-mail: millyyou@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者:朱端卫 E-mail: zhudw@mail.hzau.edu.cn

降雨后产生的地表径流是土壤养分流失的动力。养分的流失,导致部分营养物质的富集和面源污染的产生,因而从控制养分流失途径入手,最大限度地拦截地表径流中的污染物对控制面源污染有重要意义。作为最佳管理措施之一,植被缓冲带在面源污染控制上在国外已得到广泛应用。

植被缓冲带(Vegetative Buffer Strips, VBS)目前还没有一个完全统一的定义,如Phillips将植被过滤带定义为把产生地表径流及污染的区域同地表水体分隔开的植被带^[1]。植被缓冲带是位于污染源与水体之间的植被(乔木、灌木或草地)区域,可有效地拦截、滞留泥沙和减少氮、磷等污染物进入受纳水体的负荷量,显著降低面源污染的影响^[2-8]。本试验在了解国内外缓冲带对径流中控制措施的研究成果基础上,针对南水北调中线工程丹江口库区水源地农用地少和农业面源污染状况,对坡耕地植被缓冲带在控制径流氮磷、拦截径流量等方面进行了试验研究,以此为山区坡耕地面源污染的控制,重点水源地的水质保护提供借鉴。

1 试验处理与测试方法

1.1 试验区概况

试验区设在湖北省十堰市茅箭区茅塔乡廖家村二组(N 32°30'05", E 110°48'17"),坡耕地面积 535 m²。发源于该区的茅塔河总长 35 km,廖家村位于茅塔河中游地段,其下游 13 km 处有一座饮用水和工业用水水库,年蓄水量 400 万 m³,茅塔河年流量 5 000 万 m³。

该地多年平均降雨量 800 mm 以上,主要发生在 4 至 10 月,占全年 83.6%,其中 6 至 8 月雨量充沛,暴雨强度大,每年 100 mm 以上的暴雨有 2~3 次,降水量占全年雨量的 17.7%,最多的年份占 43.2%。其地质多由变质岩和石灰岩构成,因地形起伏、地貌复杂、岩层古老、易于风化、土壤疏松、抗蚀力小,一遇到大暴雨,土壤就会大量流失,是水土流失严重区域。

试验坡耕地土壤 pH 值为 6.2~6.6,有机质含量为 8.97~9.79 g·kg⁻¹,碱解氮含量为 20.1~93.1 mg·kg⁻¹,速效磷含量为 8.7~13.7 mg·kg⁻¹,速效钾含量为 33.5~50.3 mg·kg⁻¹。

1.2 试验处理设置

坡耕地平均坡度约 5.7°,坡向西南,坡东北坡度较高,西南坡度较低。整体设置 4 个小区,每一小区面积 130.8 m²(坡长 24 m,宽 5.45 m)。小区四周及各小区间用砖砌成 60 cm 高隔墙,其向下深度为土地耕作

层以下,地面部分 30 cm,供试坡地平面如图 1。面源污染控制一期工程于 2007 年 12 月在每个小区等高种植了 4 行紫穗槐作为植物篱(行距 6 m,株距 0.8 m),植物篱结合不同的农艺措施对农业面源污染进行防治,得出其对小流域养分和水土流失都显示出很好的防控作用^[11]。

2008 年 12 月在一期工程的基础上,进行坡耕地面源污染二期工程的控制处理,整个坡耕地自东向西 4 个小区的面源污染控制措施为:(a) 普通施肥配合紫穗槐和三叶草缓冲带;(b) 平衡施肥配合紫穗槐和三叶草缓冲带;(c) 普通施肥配合三叶草缓冲带;(d) 平衡施肥配合紫穗槐缓冲带。具体措施如下:在每个小区中部即第二行紫穗槐后 0.3 m 处设 2 根 PVC 管降雨筒收集部分降雨径流,管深 0.6 m,两管中心距 1.8 m。管口加盖,防止雨水进入,管底封闭埋于地下,管口露出地面 0.1 m,在径流流入方向处留一 10 cm 的与地面平齐缺口,以便收集径流,坡耕地自西向东 4 个小区降雨筒编号分别为 S1、S2、S3、S4。在 4 个小区离坡下沿 2 m 内种植三叶草及紫穗槐。在第 1、第 2 小区内紫穗槐(40 株)和三叶草(88 兜)间作,行距为 0.25 m,其中第 1 小区为普通施肥,第 2 小区为平衡施肥;第 3 小区单种三叶草(176 兜),株距 0.1 m,行距

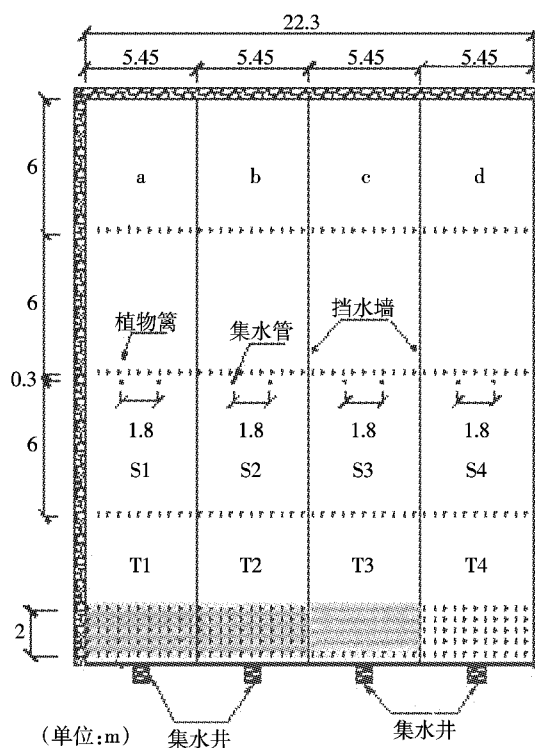


图1 供试坡地的平面设计图

Figure 1 Plan view of the sloping

0.25 m, 本小区为普通施肥; 第4 小区单独种紫穗槐(40 株), 株距 0.5 m, 行距 0.5 m, 本小区为平衡施肥。在每个小区底部设置集水井, 集水井朝上坡向设有一个长为 30 cm 的进水口以收集径流, 集水井大小为 0.8 m(长)×0.8 m(宽)×0.5 m(深)。坡耕地自西向东 4 个小区所收集径流编号分别为 T1、T2、T3、T4。

试验区植物篱之间种植冬小麦(2008 年 11 月—2009 年 5 月 31 日)和夏玉米(2009 年 6 月—2009 年 10 月), 小区 1 和小区 3 进行普通施肥, 小区 2 和小区 4 进行平衡施肥。小麦普通施肥为每小区基肥 10.53 kg 碳铵, 13.34 kg 过磷酸钙; 平衡施肥为在普通施肥的基础上, 每小区增施 2 kg 氯化钾, 0.2 kg 硫酸锌, 0.2 kg 硫酸锰。玉米普通施肥为每小区基施 2.38 kg 尿素, 12.10 kg 过磷酸钙; 平衡施肥为在普通施肥的基础上, 每小区增施 4.63 kg 氯化钾, 0.19 kg 硫酸锌。出苗后通过间苗使各小区玉米株数保持一致, 约为 510 株。在拔节期和喇叭期分别对玉米进行追肥, 主要追施氮肥, 拔节期追肥量占剩余施肥量的主要部分。于 2009 年 7 月 9 日进行第一次追肥, 每个小区追施 3.2 kg 尿素; 于 2009 年 8 月 6 日进行第二次追肥, 每个小区追施 1.6 kg 尿素。

1.3 测试方法

径流量和侵蚀量的测定: 于每次降雨结束后测量蓄水池的水位高度, 计算降雨产生的地表径流量, 并记录降雨历时和降雨量。

地表径流养分流失量测定: 每次降雨后收集 PVC 管及径流池内地表径流和流失泥沙样品, 采用标准方法^[10]及时分析地表径流水样。将每次降雨过程中产生的泥沙和地表径流中养分含量乘每次产流产沙量可得各种植小区养分流失量。

试验数据采用 SAS 统计软件进行分析, 对试验数据进行 *t* 检验, 利用 LSD 法对不同处理在不同降雨量下的径流量、侵蚀量和氮磷流失量进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 冬小麦生长期的降雨及养分流失情况

由于当地降雨主要发生在 4 至 10 月, 6 至 8 月雨量充沛, 故在小麦生长期(2008 年 11 月—2009 年 5 月 31 日), 仅收集到 3 次水样。此间降雨情况及养分流失量如表 1。

由表 1 可以看出, 建成仅 6 个月, 缓冲带已经显示出对 NH_4^+-N 的拦截效果, 平均拦截率为 80% 以上, 分别为 85.8%、95.6%、61.9% 和 82.8%; 对 TP 的平均拦截效果却不及 NH_4^+-N , 甚至出现负值。2009 年 4 月 20 日为工程建成以后第一次收集到径流, 由于前期对地块的扰动, 缓冲带植被还不稳定, 工程在这个时期对 TP 还未显示出拦截效果。随着作物的生长及缓冲带种植植被的生长, 在 5 月 13 日及 5 月 24 日降雨中, 缓冲带对 NH_4^+-N 的拦截趋于稳定, 对 TP 也有不同程度的拦截。

2.2 夏玉米生长期径流量及侵蚀量的变化

试验期间, 在试验小区安装有雨量器, 测定每次降水发生的降雨量大小。玉米生长期为 2009 年 6 月至 10 月, 该期间降雨总量为 374.1 mm, 较往年少。试验期间降雨情况如表 2。

表 3 为坡耕地各试验小区的地表径流量和泥沙侵蚀量。由表 3 得出, 在同一小区可比较中部紫穗槐与下部植被缓冲带对径流和土壤侵蚀的拦截效果。统计分析得出, 相对于中部紫穗槐, 下部缓冲带无论是对径流量还是侵蚀量其拦截效果都极显著 ($P < 0.01$), 其对径流量拦截率分别为 98.0%、97.5%、97.2% 和 97.5%, 对侵蚀量拦截率分别为 98.8%、98.7%、97.9% 和 98.0%。

不同施肥处理情况下, 各小区径流量大小顺序为 $S_2 < S_1 < S_3 < S_4$ 。统计表明, 各小区径流量没有显著性差异, 其中 S_4 径流量最大, 可能是因为第 4 小区坡度

表 1 坡耕地冬小麦生长期降雨及养分流失情况(2009 年)

Table 1 Rainfall and nutrient loss during the winter wheat growth periods in 2009

Rainfall date/ month-day	Rainfall/ mm	Rainfall duration/h	Community 1 Removal/% ^①		Community 2 Removal/%		Community 3 Removal/%		Community 4 Removal/%	
			NH_4^+-N	TP	NH_4^+-N	TP	NH_4^+-N	TP	NH_4^+-N	TP
4-20	90	22.8	66.1	-200.7	91.9	87.0	76.9	-204.0	57.5	-277.9
5-13	68.5	33	94.9	98.0	97.0	91.9	76.3	33.9	96.6	63.4
5-24	140.4	41.5	96.5	68.2	97.9	78.0	32.5	-40.0	94.4	50.3
Average	99.6	32.4	85.8	-11.5	95.6	85.6	61.9	-70.1	82.8	-54.7

注: ①拦截率=(S-T)/S×100%, S, T 分别为两种不同处理条件下氮磷浓度; NH_4^+-N 和 TP 单位均为 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

表 2 坡耕地玉米生长期降雨情况				
Table 2 Rainfall during the summer corn growth periods				
Rainfall frequency	Rainfall date	Rainfall/mm	Rainfall duration/h	Notes
1	2009-06-08	30	11	The date of corn top dressing fertilizer; Jul. 9 2009 (elongation stage) and Aug. 7 2009 (bell stage)
2	2009-07-08	61.4	6.8	
3	2009-07-12	55.3	36	
4	2009-08-01	122	72	
5	2009-08-10	19.3	4	
6	2009-08-28	51.8	11.5	
7	2009-09-19	34.3	4	

较其他小区大,从而导致径流量大;各小区侵蚀量顺序为 S4<S2<S1<S3, 尽管效果不显著,但平衡施肥后植物本身对径流侵蚀的拦截效果优于普通施肥后的情况,这可能是平衡施肥能合理、均衡地供给作物生长发育所需要的各种大量、微量元素,促进作物正常生长,提高了作物对径流的抗蚀力^[9],效果不显著可能是因为紫穗槐的存在一定程度上掩盖了这种关系。在不同缓冲带处理情况下,各小区径流量顺序为 T1 < T2 < T3 < T4; 侵蚀量顺序为 T2<T1<T4<T3。结合径流量与侵蚀量,其总体趋势为灌草缓冲带优于单独种三叶草缓冲带或紫穗槐缓冲带。对于单独种三叶草或紫

表 3 不同处理条件下,各试验小区的径流量及侵蚀量					
Table 3 Runoff and sediment yield in different treatment plots					
Community	Treatment ^①	Runoff/ m ³ ·hm ⁻² ^②	Erosion/ kg·hm ⁻²	Removal/% ^③	
				runoff	erosion
1	S	47.06A	40.66A	98.0	98.8
	T	0.96B	0.47B		
2	S	45.62A	33.80A	97.5	98.7
	T	1.14B	0.44B		
3	S	49.15A	44.64A	97.2	97.9
	T	1.36B	0.92B		
4	S	59.01A	26.38A	97.5	98.0
	T	1.49B	0.54B		

注:①为 7 次下雨的各小区相同处理的平均值;②同一列所标字母之间即 S 和 T 处理间具有极显著差异($P<0.01$);③拦截率计算方法为拦截率=(S-T)/S×100%。

穗槐,径流量顺序为 T3<T4,而侵蚀量顺序为 T4<T3。

2.3 夏玉米生长期缓冲带对养分的拦截效果

本试验首先对 NH₄⁺-N 的拦截效果进行研究,通过对 S 和 T 两个不同处理水样中 NH₄⁺-N 浓度进行测定,从而得到其变化情况(表 4)。当水流经缓冲带后,可以在一定程度上减少 NH₄⁺-N 含量,且第 1 次各个缓冲带拦截率较低,有的甚至出现负值(如小区 1)。但随着时间推移,各缓冲带拦截率趋于稳定,各小区拦截率分别在 54.52%~98.07%、72.99%~99.89%、

表 4 不同处理 NH ₄ ⁺ -N 变化情况(mg·L ⁻¹)												
Table 4 The changes of the concentration of NH ₄ ⁺ -N in different plots(mg·L ⁻¹)												
Times	Community 1			Community 2			Community 3			Community 4		
	S	T	Removal/%	S	T	Removal/%	S	T	Removal/%	S	T	Removal/%
1	8.13	9.18	-12.9	2.32	2.23	4.2	1.23	0.66	46.2	1.17	0.57	51.6
2	6.15	2.78	54.9	1.94	0.37	81.0	3.23	0.53	83.7	1.11	0.23	79.6
3	3.70	0.07	98.1	3.85	0.16	95.9	5.90	0.03	99.5	11.57	0.09	99.2
4	2.68	0.16	94.1	3.36	0.91	73.0	3.80	0.65	83.0	7.82	0.52	93.4
5	23.70	10.78	54.5	15.12	0.02	99.9	10.61	0.47	95.6	14.58	0.36	97.5
Average	8.87	4.59	48.2	5.32	0.73	86.2	4.95	0.47	90.6	7.25	0.35	95.1

表 5 降雨期间 TP 变化情况(mg·L ⁻¹)												
Table 5 The changes of the concentration of total phosphorus in different plots(mg·L ⁻¹)												
Times	Community 1			Community 2			Community 3			Community 4		
	S	T	Removal/%	S	T	Removal/%	S	T	Removal/%	S	T	Removal/%
1	2.54	1.04	58.9	1.44	0.80	44.2	1.94	0.40	79.6	0.58	0.45	22.3
2	0.99	0.80	19.0	0.69	0.39	43.6	0.76	0.42	45.4	0.35	0.34	1.9
3	1.75	0.47	72.9	1.34	0.37	72.4	2.26	0.33	85.4	2.67	0.36	86.4
4	0.73	0.58	21.3	0.68	0.87	-28.0	0.68	0.76	-12.4	0.66	0.72	-8.9
5	16.61	4.37	73.7	8.79	1.78	79.7	4.22	3.87	8.3	17.50	3.41	80.5
Average	4.52	1.45	49.2	2.59	0.84	42.4	1.97	1.15	41.3	4.35	1.06	36.4

83.00%~99.51%、79.63%~99.22%之间波动。在整个降雨期,各缓冲带对 NH_4^+-N 的平均拦截率顺序为 $\text{T1}<\text{T2}<\text{T3}<\text{T4}$,分别达到 48.2%、86.2%、90.6%、95.1%。

表 5 为 S 和 T 两个不同处理的径流中 TP 浓度变化情况,当径流经过缓冲带时,TP 浓度虽有一定程度的减少,但减少幅度不大。T1、T2、T3、T4 四个缓冲带对 TP 的平均拦截率分别为 49.2%、42.4%、41.3%、36.4%。

2.4 夏玉米生长期地表径流养分流失特征

地表径流养分流失过程实际是表层土壤养分与降雨、径流相互作用的过程,养分流失的多少主要受相互作用的限制^[11]。本试验对各小区氮磷养分流失情况进行了监测分析。

表 6、表 7 为玉米生长不同时期降雨过程中,各小区水溶性氮磷随降雨径流的流失量。统计分析得出,各小区氮磷流失量差异性显著,但是,由于坡地养分流失受到地面坡度、降雨强度、降雨时间、土壤性质和地表状况等多方面的影响因素^[12-14],故规律并不明显。

对表 6 总体分析比较,第 4 次降雨各小区水溶性

总氮流失量较多。第 4 次降雨中,各小区氮素流失量顺序为 $\text{T4}>\text{T3}>\text{T1}>\text{T2}$,由此得出在降雨量大且降雨时间长的情况下,不同缓冲带对氮素的拦截效果为灌草结合缓冲带>三叶草缓冲带>紫穗槐缓冲带。这可能是因为灌草结合缓冲带,一方面灌草结合减缓了雨滴对土壤的直接冲击,且能最有效地滞缓径流,截留地表径流污染物^[6],另一方面紫穗槐根系发达增加了对径流的蓄截。由径流中氮素含量 $\text{T1}>\text{T2}$ 进一步得出,在缓冲带结合方式相同的情况下,平衡施肥增加了作物对氮素的利用率,从而减少了氮素流失。

表 7 为各小区总磷流失量,各小区不同时期降雨比较得出,单独种植三叶草和紫穗槐缓冲带的小区,总磷流失量要大于灌草结合缓冲带。这一方面可能是因为磷随地表径流的流失从形态上分为颗粒态和溶解态两部分,颗粒态磷的流失主要是通过沉积物对磷的吸附作用而进行,而磷的径流流失量与土壤的物理结构、植被覆盖度、降雨量等有密切的关系;另一方面,可能受到各小区土壤背景值的影响。

3 讨论

在二期工程构建完成初期(冬小麦生长期),一方面由于工程构建时引起的土壤扰动;另一方面由于植被(三叶草和紫穗槐)处于生长发展初期,其叶片较小,长势一般,缓冲带单位面积生物量较小,抗击雨滴溅蚀力较弱,故其缓冲带能力尚未完全展出。但由于三叶草和紫穗槐均属豆科植物,对氮拦截作用已初步显现,表现为对 NH_4^+-N 的拦截效果优于 TP(表 1)。

在夏玉米生长期,同时也是三叶草及紫穗槐生长旺盛时期。在夏季其叶面面积增大,缓冲带单位面积上生物量大幅度增加,两种植被根系具有较强的繁殖性,且根系发达具有根瘤菌,能改善土壤结构和土壤理化性质。当降雨径流流经植被缓冲带时,由于植被的存在,使缓冲带土壤表面被植物根茎所覆盖,并且植物根系对土壤的固定作用,可防止水流冲击引起地表土壤扰动,避免因此产生的土壤颗粒随径流迁移。同时缓冲带植被增加了径流的阻力,降低了水流速度,延长了水流流动时间,使径流下渗量增加^[15-16],从而减少了降雨径流量和土壤侵蚀量(表 3)。

大量研究表明,植被缓冲带对径流中氮磷表现出较高的去除率。本试验植被缓冲带对 NH_4^+-N 和 TP 也表现出了较好的拦截效果(表 4,表 5)。缓冲带对氮磷的拦截其主要原因有:通过种植的植被,滞缓径流,截留泥沙,从而降低径流搬运土壤颗粒的能力,致使一

表 6 各小区水溶性总氮流失量($\text{kg}\times 10^{-2}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 6 Water-solubility N loss in different plots

Rainfall frequency($\text{kg}\times 10^{-2}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Rainfall frequency	T1	T2	T3	T4
1	0.21±0.01a	0.09±0.01c	0.12±0.01b	0.09±0.01c
2	1.12±0.03a	0.48±0.01b	0.34±0.07c	0.21±0.01d
3	0.24±0.01b	0.22±0.01b	0.34±0.04a	0.32±0.05a
4	1.12±0.02c	0.67±0.05d	2.23±0.02b	3.88±0.06a
5	0.12±0.01a	0.06±0.01c	0.03±0.01d	0.10±0.00b
6	1.49±0.00a	0.16±0.01c	0.72±0.01b	0.12±0.00d
7	1.00±0.28a	0.18±0.01b	0.09±0.01b	0.27±0.01b

注:各小区进行横向比较,同一行中不同字母表示处理在 $P=0.05$ 水平上差异显著(LSD),下同。

表 7 各小区总磷流失量($\text{kg}\times 10^{-2}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 7 Loss total phosphorus in different plots

Rainfall frequency($\text{kg}\times 10^{-2}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Rainfall frequency	T1	T2	T3	T4
1	0.03±0.00c	0.03±0.00b	0.04±0.00a	0.03±0.00b
2	0.12±0.01b	0.08±0.01c	0.15±0.01a	0.06±0.01d
3	0.04±0.00c	0.04±0.00b	0.06±0.00a	0.06±0.00a
4	0.11±0.01c	0.13±0.01b	0.10±0.00d	0.18±0.01a
5	0.008±0.00a	0.005±0.00b	0.003±0.00c	0.008±0.00a
6	0.21±0.00b	0.13±0.00d	0.28±0.01a	0.17±0.01c
7	0.30±0.02a	0.17±0.00b	0.03±0.00c	0.31±0.01a

部分营养物质随颗粒物被截留;植物自身直接吸收利用径流和土壤中的无机氮,供其生长发育;植被的存在,能增加有机物来改善土壤结构,并通过其根系来增加土壤的渗透能力,在渗透过程中,泥沙所挟带的营养物质可以通过土壤剖面从水中过滤出来;植物通过其发达的根系向土壤中输送出好氧微生物降解有机物所需的氧,从而有效分解有机物质。

不同植被,由于其生长习性、状态、种植密度、成长周期的不同,导致对农田径流水中营养物质、颗粒物、农药等污染物的截留、吸收效果有较大的差异^[7]。同时因设计和现场条件的不同,对草和树木两种缓冲带很难进行精确的比较。本试验在玉米生长不同时期的降雨过程中,各小区水溶性氮磷随降雨径流的流失量差异显著。但是,不同植被缓冲带之间对氮磷的拦截规律并不显著(表6,表7)。

4 结论

(1)在工程构建完成仅6个月,即在冬小麦生长期,缓冲带已经显示出对 NH_4^+-N 的拦截效果,平均拦截率为80%以上,分别为85.8%、95.6%、61.9%和82.8%;对TP的平均拦截效果却不及 NH_4^+-N ,甚至出现负值。随着作物的生长及缓冲带种植植被的生长,在5月13日及5月24日降雨中,缓冲带对 NH_4^+-N 的拦截趋于稳定,对TP也有不同程度的拦截。

(2)缓冲带在拦截径流和泥沙方面效果明显,4个小区底部缓冲带处理相对于中部植物篱处理,其对径流量拦截率分别为98.0%、97.5%、97.2%、97.5%,对侵蚀量拦截率分别为98.8%、98.7%、97.9%、98.0%。不同缓冲带对径流量及泥沙拦截方面效果不同,其总体趋势为灌草缓冲带优于单独种三叶草缓冲带或紫穗槐缓冲带,单种三叶草和紫穗槐缓冲带对径流及泥沙拦截效果没有明显差异。

(3)当径流经过缓冲带时,各缓冲带对 NH_4^+-N 及TP的拦截效果不同。其对 NH_4^+-N 拦截率高且稳定,分别达到48.2%、86.2%、90.6%、95.1%;对TP有一定的拦截作用,但效果没有对 NH_4^+-N 明显,拦截率分别为49.2%、42.4%、41.3%、36.4%。

(4)玉米生长不同时期的降雨过程中,各小区水溶性氮磷随降雨径流的流失量差异显著。但是,由于坡地养分流失受到地面坡度、降雨强度、降雨时间、土壤性质和地表状况等多方面的影响因素,故各缓冲带对氮磷的拦截规律并不显著。

参考文献:

- [1] Phillips J D. An evaluation of the factors determining the effectiveness of water quality buffer zones[J]. *Journal of Hydrology*, 1989, 107: 133-145.
- [2] 李怀恩, 张亚平, 蔡明, 等. 植被过滤带的定量计算方法[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(1): 108-112.
LI Huai-en, ZHANG Ya-ping, CAI Ming, et al. Quantitative calculation methods for vegetative filter strips[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(1): 108-112.
- [3] Marc Duchemin, Richard Hogue. Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year following establishment of an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada)[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2009, 131: 85-97.
- [4] 李世锋. 关于河岸缓冲带拦截泥沙和养分效果的研究[J]. *水土保持科技情报*, 2003(6): 41-43.
LI Shi-feng. Study of sediment and nutrient removal efficiency of riparian buffer strips[J]. *Scientific and Technical Information of Soil and Water Conservation*, 2003(6): 41-43.
- [5] 黄沈发, 吴建强, 唐浩, 等. 滨岸缓冲带对面源污染物的净化效果研究[J]. *水科学进展*, 2008, 19(5): 722-728.
HUANG Shen-fa, WU Jian-qiang, TANG Hao, et al. Study of clarification for riparian-buffer to non-point pollution[J]. *Advances in Water Science*, 2008, 19(5): 722-728.
- [6] 吴建强, 黄沈发, 吴健, 等. 缓冲带径流污染物净化效果研究及其与草皮生物量的相关性[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(6): 761-765.
WU Jian-qiang, HUANG Shen-fa, WU Jian, et al. Pollutant removal efficiency of sward buffers to runoff and the correlation with biomass[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(6): 761-765.
- [7] Maurizio Borin, Matteo Passoni, Mara Thiene, et al. Multiple functions of buffer strips in farming areas[J]. *Europ J Agronomy*, 2010, 32: 103-111.
- [8] Maurizio Borin, Elisa Bigon. Abatement of NO_3^--N concentration in agricultural waters by narrow buffer strips[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 117: 165-168.
- [9] 张丽, 刘玲花, 程东升, 等. 不同农艺措施对坡耕地水土及氮磷流失的控制[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 21-25.
ZHANG Li, LIU Ling-hua, CHENG Dong-sheng, et al. Impact of different agronomic measures on control of nitrogen, phosphorus, soil and water loss on sloping land[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 23(5): 21-25.
- [10] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Agency. Monitoring and analysis methods for water and waste water[M]. 4th Edition. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2002.
- [11] 邵明安, 张兴昌. 坡面土壤养分与降雨、径流的相互作用机理及模型[J]. *世界科技研究与发展*, 2001, 23(2): 7-12.
SHAO Ming-an, ZHANG Xing-chang. The interacting models and mechanisms of soil nutrient with rainfall and runoff[J]. *World Sci-tech R & D*, 2001, 23(2): 7-12.
- [12] 郑剑英, 吴瑞俊, 翟连宁. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤养分的分布

- 特征[J]. 水土保持通报, 1996, 16(4):26-30.
- ZHENG Jian-ying, WU Rui-jun, ZHAI Lian-ning. Distribution of soil fertility in zhifang gully watershed of the loess hilly region[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, 16(4):26-30.
- [13] 王百群, 刘国彬. 黄土丘陵区地形对坡地土壤养分流失的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2):18-22.
- WANG Bai-qun, LIU Guo-bin. Effects of relief on soil nutrient losses in sloping fields in hilly region of loess plateau[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(2):18-22.
- [14] 孟庆华, 杨林章. 三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6):1028-1033.
- MENG Qing-hua, YANG Lin-zhang. Nutrient losses in different land use types in the Three Gorge Reservoir Area(TGRA)[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6):1028-1033.
- [15] Gburek W J, Sharply A N, Heathwaite L, et al. Phosphorus management at the watershed scale: A modification of the phosphorus index[J]. *Environ Qua*, 2000, 29(1):130-144.
- [16] Schmitt T J, Dosskey M G, Hoagland K D. Filter strip performance and processes for different vegetation, widths and contaminants[J]. *Environ Oual*, 1999, 28(5):1479-1489.
- [17] 李贵宝, 李建国, 毛战坡, 等. 白洋淀非点源污染的生态工程技术控制研究[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(1):41-43.
- LI Gui-bao, LI jian-guo, MAO Zhan-po, et al. Control of non-point sources pollution in Baiyangdian Lake by eco-engineering techniques [J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2005, 3(1):41-43.