

农地生态草沟调控氮磷及削减径流污染物效应

袁培栋, 何丙辉, 冯梦蝶, 张健乐, 王震芳

(西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

摘要: 为研究生态草沟对径流污染物的削减效益, 探究在西南地区农地内运用生态草沟来辅助地块排水和控制面源污染的可行性。试验着眼于地块单元, 与农地地块内传统的土质沟道(CK)相对照, 借助对模拟生态草沟的冲刷试验, 根据不同试验要求调整模拟污水的成分, 通过与清水冲刷对比, 以研究生态草沟对污染物的削减效果。结果表明: (1) 5°农地生态草沟对污水径流中 COD 负荷具有一定的削减作用, 其削减 COD 污染负荷比例在 8.86%~14.00%, 但当生态草沟坡度比降为 10°时反而增加了径流中的 COD 污染负荷, 增加比例达到了 20.38%~33.02%。(2) 分析不同坡度和不同设计冲刷流量下农地生态草沟对污水径流中总氮的去除效率, 发现大部分试验组农地生态草沟相比传统的土质沟道能部分去除径流中的总氮负荷, 去除比例为 2.46%~33.39%。(3) 分析不同坡度和不同设计冲刷流量下农地生态草沟对污水径流中总磷的去除效率, 设计冲刷流量为 4.5 L/min 时农地生态草沟中磷素流失量大于设计径流(3 L/min)时, 二者磷素流失量相差 0.005 9~0.037 7 g/m², 相差比例为 4.71%~25.02%。沟道坡度比降为 5°时, 沟道流失的磷素随径流流失的比例更大, 平均达到 63.32%; 当沟道坡度比降上升为 10°时, 沟道流失的磷素随泥沙流失的比例更大, 平均为 70.95%, 达到较高水平。

关键词: 生态草沟; 模拟冲刷; COD; 氮素; 磷素

中图分类号: TV213.9; TV121.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)02-0052-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.02.008

Effects of Ecological Grass Furrow on Regulation of Nitrogen and Phosphorus and Reduction of Runoff Pollution in Farmland

XI Peidong, HE Binghui, FENG Mengdie, ZHANG Jianle, WANG Zhenfang

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: This study explored the feasibility of ecological grass furrow to assist drainage and control non-point pollution in agricultural land of southwest China. Experiments were conducted in farmland block unit. Traditional soil furrow in farmland plots was taken as CK. Through the scouring test of the ecological grass furrow to explore the benefits of ecological grass furrow to runoff pollutant reduction. This experiment used simulated sewage, according to different requirements to adjust the sewage composition to explore the reduction effect of ecological grass furrow on pollutant. The research results showed: (1) The 5° agricultural land furrow had a certain reduction for the sewage runoff COD load, and the reduction was between 8.86% to 14.00%. However, when the ecological grass furrow gradient reached 10°, the COD pollution load in the runoff increased by 20.38% to 33.02%. (2) For the removal efficiency of total nitrogen, it was found that the total nitrogen load in the runoff was significantly higher in agricultural land furrow than that in the traditional soil furrow, and the removal efficiency ranged between 2.46% and 33.39%. (3) For the total amount of phosphorus loss, when the flow rate was 4.5 L/min, the phosphorus loss in the ecological grass furrow was larger than the designed runoff of 3 L/min, and the difference of phosphorus loss was between 0.005 9 and 0.037 7 g/m², the rate was between 4.71% and 25.02%. When the agricultural land furrow reached 5°, the loss of phosphorus in furrow increased with the increase of runoff, and reached 63.32%. When the agricultural land grass furrow gradient reached 10°, the proportion of phosphorus loss in furrow increased with the sediment loss, and reached 70.95%.

Keywords: ecological grass furrow; simulated scour; COD; nitrogen; phosphorus

生态沟道是一种兼顾排水、生态及水资源高效利用的一种新型排水沟道^[1-2]。多年来,各国学者对生态草沟的适用条件及控污效果进行了多方面的探索。Deletic 等^[3]建立了草沟处理暴雨径流模型,探究生态草沟对总悬浮物、总氮、总磷的去除率;章茹等^[4]在对深圳茜坑水库生态草沟的研究中证明生态草沟对悬浮物、生化需氧量、总磷、氨氮具有较高的去除效率;Fu 等^[5]在对农业排水渠道进行不同管理措施以期缓解输送到太湖营养量的研究中发现,与传统的土沟相比,生态沟渠可以显著降低水体铵态氮、总氮及总磷的含量。此外,还有部分研究者认为草沟的节流量为 10%~47%^[3, 6]。目前我国农业面源污染难以在短时间找到根治和控制的方法,控制面源污染需要从一开始对污染的各个环节进行控制^[7],故除了在城市径流污染控制和城市景观设计中灵活运用生态型沟道以外^[8-9],在农业区域使用生态型沟道来控制农业面源污染也是一种高效、节约、生态的污染控制之路^[1]。本试验在紫色土区农地辅助排水沟道的基础上,采用室内模拟的方法,以农地内传统的土质沟道为对照,模拟农地生态草沟在不同坡度比降和径流流量冲刷下,农地生态草沟内土壤养分随径流流失的过程,探究农地生态草沟截污减沙能力,为西南紫色土区零散农地地块内辅助排水方式改变及该区域农业面源污染防治提供参考和思路。

1 材料与设计

1.1 试验材料

人工模拟所用土壤在 2016 年 9 月份采集于西南大学后山实验基地坡中部位进行多年常规耕作的农用地内,耕作方式为玉米、红苕和油菜轮作。采样深度为 30—50 cm,是侏罗系沙溪庙组的砂页岩坡积、残积物母质快速风化形成的中性紫色土,土属为灰棕紫泥土^[10]。

试验选用 PVC 土槽,长 2 m,宽 50 cm,深 40 cm,并

可调节坡度。距离槽底 25 cm 处设有 1 个出水口,用于收集模拟沟道冲刷出来的水样(图 1)。在出水口以下,有密度为 5 cm×5 cm、直径为 5 mm 的小孔,用于壤中流流出。土沟为梯形沟道,深度为 10 cm,下宽 20 cm,上宽 40 cm。选用的草种为百慕大草,草株高度为 8~10 cm。试验用草采用草皮定植的方式,将购买的草皮提前种植在沟道上,适量加水,待草根生长固定后再进行试验。此方式可有效减少草皮生长时间,同时可保证草皮密度均匀。

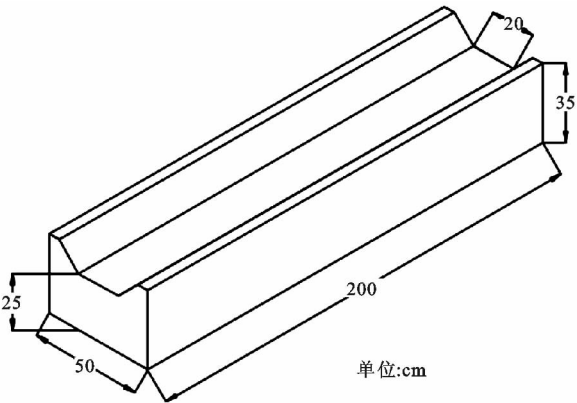


图 1 土壤模拟沟道示意

1.2 试验设计

本试验于 2016 年 9—12 月进行。采用模拟污水,可根据不同的试验要求,适时调整污水成分,改变进水浓度和配比,以研究不同进水浓度下浅草沟对污染物的去除效果。设计径流污水中主要包含的农业面源污染物有泥沙、有机物、氮素和磷素。选取的水体面源污染物对应的指标为 SS(固体悬浮物)、COD—Cr(化学需氧量)、TN(总氮)和 TP(总磷)。根据不同的参考文献,农业径流面源污染物主要含量以及本试验冲刷污水径流面源污染物含量见表 1。本试验中的污水采用即配即用的方式,COD—Cr 采用葡萄糖进行配制,SS 采用硅藻土进行配制,TN 采用硝酸钾进行配制,TP 采用磷酸二氢钾进行配制。冲刷前用搅拌装置将污水充分混匀。

表 1 农业径流面源污染物含量及设计污水浓度

序号	TN/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	COD—Cr/ (mg·L ⁻¹)	SS/ (mg·L ⁻¹)	备注
1	25.52	3.63	714	2396	紫色土丘陵区农村集镇降雨径流 ^[11]
2	19.19	—	—	—	不同农作模式坡耕地氮磷负荷 ^[12]
3	2.35	0.22	—	—	小江流域旱田径流污染负荷 ^[13]
4	3.57	0.99~1.66	—	—	三峡库区典型小流域非点源氮磷污染负荷 ^[14]
5	3.61	1.36	—	—	四川紫色土丘陵区坡地养分流失 ^[15]
6	—	0.38	100	—	巢湖流域农田径流氮磷污染负荷 ^[16]
7	5	1.20~2.94	168	—	宝象河小流域径流污染物负荷 ^[17]
8	5.39~7.82	1.03~1.84	—	2000~3000	植被过滤带对城市非点源污染物净化效果的初步研究污染物负荷设计 ^[18]
9	8.48	1.21	—	—	西南紫色土区农地径流污染负荷
L	3.5	0.8	80	2000	低浓度污水负荷设计
H	7.0	1.4	120	3000	高浓度污水负荷设计

注:“—”为参考文献试验中未测定数据。

为了与污水冲刷进行对比,采用了相同流量的清水冲刷作为对照。调节土槽坡度(5° 和 10°),分别在 3, 4.5 L/min 的流量下使用清水(clean water, C)对农地生态草沟(T)和无草皮的土质沟道(CK)进行冲刷,每个条件下重复冲刷 2 次。在其他条件不变的条件下再使用高浓度污水(H)和低浓度污水(L)对草沟进行冲刷,每个条件下的冲刷试验重复 2 次。

2 结果与分析

2.1 污水径流 COD 污染负荷变化

2.1.1 污水模拟冲刷径流中 COD 污染负荷变化

通过对不同土地利用方式的研究,发现不同源类型地块是农田径流中 COD 负荷大小的关键因素,其中

COD 负荷关系为旱地>水田>果园>林草地^[19]。说明在径流 COD 输出较高的旱地地块内,布置植被密度较大的生态草沟对地表径流进行拦截过滤,会有效减少农田污水径流中 COD 的负荷。

通过模拟冲刷试验,得出污水冲刷径流 COD 含量动态变化情况见图 2 和图 3。从图 2 可以看出,在坡度比降为 5° 时,无论污水中设计 COD 负荷为高(120 mg/L)还是为低(80 mg/L),在采样过程中均有一段时间径流的 COD 负荷小于其冲刷污水的设计负荷。通过对比清水冲刷径流,从 COD 动态变化曲线中可判断出在该次冲刷下农地生态草沟对 COD 有一定的削减作用。

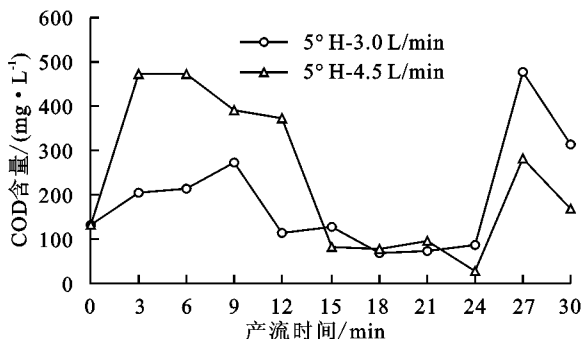


图 2 坡度比降为 5° 时高浓度污水径流、低浓度污水径流 COD 动态变化

另外,在坡度比降为 5° 时,用不同流量的高浓度污水(120 mg/L)进行冲刷,径流 COD 含量的变化均是先增加,然后降低到低于设计浓度,最后在采样后期出现另一个峰值。当污水设计浓度降低时(80 mg/L),虽然与高浓度污水径流类似,但冲刷流量为

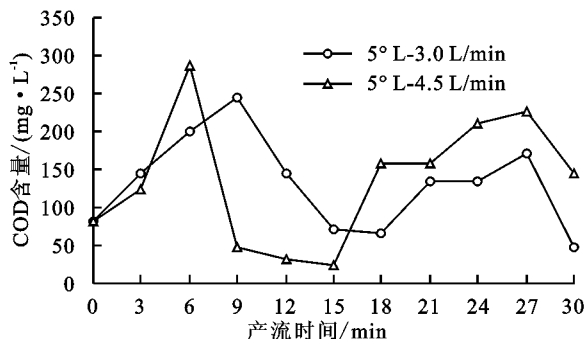
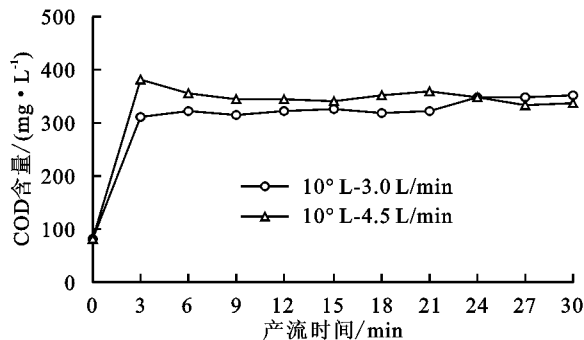


图 3 坡度比降为 10° 时高浓度污水径流、低浓度污水径流 COD 动态变化

在坡度比降为 5° 且设计流量为 3 L/min 时,高浓度污水径流中泥沙变化和 COD 负荷变化达到极显著相关水平;在坡度比降为 10° 且设计流量为 3 L/min 时,高浓度污水径流中泥沙变化和 COD 负荷变化达到显著相关水平,低浓度污水径流中泥沙变化和 COD 负荷变化达到极显著相关水平。在设计冲刷流量为 4.5 L/min 时,2 个坡度比降下沟道中污水径流的含沙量和 COD 污染负荷均无明显的相关关系。表明在设计流量较小时,径流和沟道土壤 COD 负荷污染物存在交换过程,且较大部分增加的 COD 负荷

4.5 L/min 相比于冲刷流量为 3 L/min 具有更早的初期冲刷峰值,其中后期径流 COD 浓度回升也更早一些。当坡度上升为 10° 时(图 3),发现污水径流中 COD 浓度的变化相对平稳,且均高于冲刷所用污水的设计浓度。



可能和流失的土壤颗粒相关。径流中 COD 负荷的削减所依靠的主要途径是污染物质停留在植物和沟道表土上,但流量和流速的增加会加强径流和土壤颗粒的物质交换,使两个过程的复杂程度增加。

2.1.2 农业生态沟道对污水径流 COD 负荷削减效益分析 在农田地块的沟道内密植草本来营造生态草沟,会对农田径流中的 COD 含量有一定的削减作用。本试验中,对生态草沟进行模拟冲刷后,其对污水 COD 的削减效率却有不同结果(表 2)。坡度比降为 5° 的农地生态草沟对于污水径流中 COD 负荷

具有一定的削减作用,但当生态草沟坡度比降为 10° 时生态草沟反而增加了径流中的 COD 污染负荷,使得污水径流水质进一步恶化。造成这种结果的原因有:一是在一定坡度比降的前提下,生态草沟对径流中 COD 负荷有一定的控制作用。研究表明 12° 以下草地缓冲带能有效地控制土壤和养分的流失^[20],但在本试验中,关于草沟控制 COD 负荷的临界坡度比降并没有达到试验设置的 10°。二是在模拟试验时冲刷用污水 COD 负荷表征物质选择的是葡萄糖,但在实际情况中,农业径流的非点源污染 COD 负荷的主要物质除了糖类,更多的是农业种植过程中使用的农药等物质,这些物质和葡萄糖具有一定差异。

表 2 农地生态草沟对污水 COD 削减效益分析

污水处理	单位: %					
	5°			10°		
	均值	SD	SE	均值	SD	SE
H-3	14.00	5.36	1.6	-27.43	7.17	2.26
H-4.5	13.11	5.88	4.35	-33.02	8.70	2.75
L-3	8.86	3.52	1.11	-20.38	8.26	2.62
L-4.5	10.05	5.38	0.92	-26.45	5.30	1.76

注:削减效益均值为正表示草沟对污染物有削减效果;反之,削减效益均值为负表示草沟导致径流污染物增加。

2.2 污水径流氮磷负荷变化

2.2.1 污水模拟冲刷径流中氮素含量变化 植被过滤带对面源污染物的作用是多方面的,它能够滞缓径流、沉降泥沙、强化过滤和增强对径流污染物的吸附^[21],这一过程包含了复杂的沉降过程、过滤过程、化学作用和吸附作用。农地生态草沟对径流氮素的作用包含了污水径流中氮素沉降吸附和土壤中氮素流失两个关键过程。

径流中总氮含量的变化有一定的波动性,但整体变化相对平稳,且其波动是在设计污水氮素浓度上下波动。污水径流中可溶态氮素由污水中原有氮素经过沉降吸附后剩余的量和径流对沟道土壤浸提出溶解态氮素两部分构成。当设计浓度小时,径流中可溶态氮素含量的波动范围也小,因此农地生态草沟对污水径流的溶解态氮素含量具有吸附削减的作用;径流污水中颗粒态氮素含量主要来自径流泥沙,其大小在各个试验组中有较大波动性。通过表 3 可以看出,不论农地生态草沟坡度比降为 5° 还是 10°,在设计污水下,不同冲刷流量的氮素流失量表现为 4.5 L/min > 3 L/min,即氮素流失量受农地生态草沟中冲刷流量的影响,冲刷流量越大,氮素的流失量也越大。除了 10° 时低浓度污水冲刷(L)试验组,其他试验组均表现出冲刷径流量增加导致更多的氮素流失。另外,随着冲刷流量的增加,土壤泥沙流失的氮素量也增加。其中坡度为 10°,冲刷流量设计为 4.5 L/min 时,高浓度

污水流失的氮素总量最大,达到 0.874 3 g/m²,同时其随径流流失的氮素量也最高,达到 0.508 2 g/m²。随着泥沙流失的氮素量最大出现在坡度为 5°、流量为 4.5 L/min 的试验组,流失量达到 0.464 6 g/m²。

表 3 不同污水冲刷下径流与泥沙氮素流失比较

坡度/ (°)	污水处理	氮素流失量/(g·m ⁻²)			氮素流失百分比/%	
		总量	径流	泥沙	径流	泥沙
5	H-3	0.6559	0.2996	0.3563	45.67	54.33
	H-4.5	0.7915	0.3269	0.4646	41.30	58.70
	L-3	0.5044	0.1648	0.3394	32.68	67.32
	L-4.5	0.6179	0.3055	0.3126	49.43	50.57
10	H-3	0.5012	0.1775	0.3237	35.41	64.59
	H-4.5	0.8743	0.5082	0.3658	58.13	41.87
	L-3	0.6192	0.4088	0.2102	66.02	33.98
	L-4.5	0.7126	0.2590	0.4538	36.35	63.65

总体来说,各污水径流中随着径流和泥沙流失的氮素含量相差不大,随泥沙流失氮素(54.38%)略多于随径流流失的量(45.62%),这与多地坡耕地氮素流失^[22-23]的结果类似,但在某些地区或某些土地利用方式下,坡地氮素流失也可能由以溶解态为主^[19]。

2.2.2 农地生态草沟对污水氮素的削减效益分析 植被覆盖能通过减少泥沙侵蚀的方式减少土壤氮素的流失,但有研究发现,植被的覆盖会增加土壤矿质态氮素的流失程度,但仍然不可忽略植被缓冲对径流中养分流失的控制作用^[24]。在农地地块内运用种植草本的生态草沟去除径流中氮素负荷的可能性仍需要讨论。

通过表 4 分析不同坡度和不同设计冲刷流量下农地生态草沟对污水径流中总氮的去除效率,发现在设计流量为 4.5 L/min 的高浓度试验组和设计流量为 3 L/min 的低浓度试验组中,农地生态草沟相比于原本常用的土质辅助排水沟道,能削减径流中的总氮含量。但是在坡度为 5° 设计流量为 4.5 L/min 的低浓度试验组和坡度为 10° 设计流量为 3 L/min 的高浓度试验组中,发现农地生态草沟不仅没有削减污水径流中的总氮含量,反而增加了径流中总氮的负荷。

表 4 农地生态草沟对污水总氮削减效益分析

污水处理	单位: %					
	5°			10°		
	均值	SD	SE	均值	SD	SE
H-3	26.00	8.35	3.27	-3.05	2.69	0.81
H-4.5	33.39	11.18	3.35	28.51	6.39	5.18
L-3	2.46	1.16	8.59	5.32	0.74	0.28
L-4.5	-4.88	2.39	0.46	8.89	6.25	2.77

注:削减效益均值为正表示草沟对污染物有削减效果;反之,削减效益均值为负则表示草沟导致径流污染物增加。

出现这种现象的原因有两点:一是在试验设计中,设计污水的氮素形式本身与自然状态下农业径流有所差别。在模拟试验中,径流总氮负荷中颗粒态氮素的部分在实际操作中难以找到合适的物质来进行

量化,参考国内外相关研究后将 TN 负荷全部用 DN 来表示,故在试验模拟中,由于污水径流缺乏颗粒态氮素,草本植物对颗粒的拦挡作用而导致的总氮负荷降低在试验数据中反映不全面。另外出现该现象的原因可能是由于植被盖度的增大,在增加雨水入渗和减少产流的同时,加剧了径流与表层土壤的相互作用,结果加速了土壤溶液中矿质氮向径流释放,导致土壤中更多矿质态氮素随径流流失^[24]。

2.2.3 污水模拟冲刷径流中磷素含量变化 农地生态草沟对径流磷素的作用包含了污水径流中磷素沉降吸附和土壤中磷素流失 2 个关键过程,沟道内草本植物对污水径流起到滞缓径流、沉降泥沙、强化过滤和增强对径流污染物的吸附^[16]等作用。通过室内模拟试验,得到农地生态草沟内农业污水径流中磷素随产流时间变化的过程。

通过分析污水径流总磷随产流时间的动态变化,发现在坡度比降为 5°时径流中 TP 含量基本趋于稳定;当坡度比降升高到 10°时,TP 含量随着时间的变化出现较大幅度的波动。除 H-3 试验组以外,径流过程中 TP 含量均出现了峰值,坡度比降为 10°时径流总磷含量波动范围大于 5°时(表 5)。

本试验中,配置的污水径流中颗粒态磷素难以找到合适的物质进行量化,故污水中磷素(总磷)负荷以溶解态磷素表示。通过分析污水径流 DP 的动态变化,发现各试验组径流 DP 浓度均小于设计污水的 DP 浓度,说明农地生态草沟中的植物对污水中磷素有较明显的吸附作用。同时也发现径流中 DP 浓度在采样末期有增加趋势,这是由于沟道中草本植物对于配置污水中磷素的吸附作用有一定限度,当植物吸附磷素负荷接近饱和时,草本植物对溶解态磷素含量的控制能力明显下降。

对模拟试验来说,径流中颗粒态磷素的变化意味着污水冲刷导致的颗粒态磷素的增加。除了坡度比降为 5°时的 H-3 试验组,径流中 PP 浓度均在冲刷的第一时间达到了较高水平,随着产流时间的增加,污水径流中 PP 浓度逐渐降低。

表 5 不同污水冲刷下径流与泥沙磷素流失比较

坡度/ (°)	污水处理	磷素流失量/(g·m ²)			磷素流失百分比/%	
		总量	径流	泥沙	径流	泥沙
5	H-3	0.1195	0.0702	0.0463	58.78	41.22
	H-4.5	0.1254	0.0763	0.0491	60.84	39.16
	L-3	0.0855	0.0530	0.0325	61.99	38.01
	L-4.5	0.1061	0.0760	0.0300	71.68	28.32
10	H-3	0.1130	0.0496	0.0634	43.92	56.08
	H-4.5	0.1507	0.0448	0.1059	29.74	70.26
	L-3	0.0992	0.0198	0.0794	19.93	80.07
	L-4.5	0.1218	0.0275	0.0943	22.61	77.39

由表 2 和表 5 可知磷素流失总量比氮素流失小

得多,这与在紫色土区的研究结果一致^[25]。对于沟道中磷素流失形式,除了 5°时低浓度污水冲刷外,其他试验组磷素随径流流失的大小和磷素随泥沙流失的大小均类似于磷素流失总量。对比通过径流和泥沙流失的磷素比例,通过径流流失的为 46.18%,通过泥沙流失的为 53.82%,这与坡地中磷素流失主要以颗粒态磷素流失的结果一致^[14,26]。从表 5 还可看出,在沟道坡度比降为 5°时,沟道流失的磷素随径流流失的比例增大,高浓度试验组中,当径流流失量从 0.076 2 g/m² 增加到 0.076 3 g/m² 时,沟道流失的磷素从 0.119 5 g/m² 增加到 0.125 4 g/m²;低浓度试验组中,当径流流失量从 0.053 0 g/m² 增加到 0.076 0 g/m² 时,沟道流失的磷素从 0.085 5 g/m² 增加到 0.106 1 g/m²;当沟道坡度比降升到 10°时,沟道流失的磷素随泥沙流失的比例更大。可知在坡度比降较小时,农地生态草沟能有效地减小冲刷造成的泥沙流失,但与氮素流失^[12]类似,植物滞缓径流的作用也会使土壤中矿质态磷素的流失量增加。随着坡度的上升,径流冲刷将造成泥沙流失量增加,从而增加随泥沙流失的磷素比例。

2.2.4 农地生态草沟对污水磷素的削减效益分析 通过表 6 可知,与传统的土质排水沟道相比,不同坡度和不同设计冲刷流量下农地生态草沟对污水径流中总磷的去除效率为对高浓度试验组的污水径流磷素含量具有削减作用,对低浓度试验组的污水径流磷素含量没有表现出削减作用,径流磷素含量减小比率为-12.45%~5.34%。

表 6 农地生态草沟对污水总磷削减的效益分析

污水处理	5°			10°		
	均值	SD	SE	均值	SD	SE
H-3	2.10	0.33	0.04	-6.84	3.11	0.98
H-4.5	5.25	2.24	0.71	5.34	8.14	2.57
L-3	-1.12	0.90	0.13	4.19	1.71	0.23
L-4.5	-12.45	5.15	1.63	0.54	0.44	0.08

注:削减效益均值为正表示草沟对污染物有削减效果;反之,削减效益均值为负则表示草沟导致径流污染物增加。

3 结论与讨论

农地生态草沟中径流养分的变化表现为径流中物质沉降吸附和沟道土壤养分流失。当坡度比降为 5°时,农地生态草沟出水口出径流 COD 的变化与径流冲刷初期的效应一致。5°的生态草沟对污水径流中 COD 负荷具有一定的削减作用,其削减 COD 污染负荷比例为 8.86%~14.00%;当坡度比降为 10°时,农地生态草沟可增加径流中 COD 污染负荷,增加比例为 20.38%~33.02%。各处理下,污水径流中随径流和泥沙流失的氮素含量相差不大,随泥沙流失氮

素(45.62%)略高于随径流流失的氮素量。分析不同坡度和不同设计冲刷流量下农地生态草沟对污水径流中总氮的去除效率,发现在大部分试验组农地生态草沟相比于土质辅助排水沟道,能部分去除径流中的总氮负荷,去除比例为2.46%~33.39%,但在5°L-4.5和10°H-3试验组径流中总氮的负荷有所增加。试验中磷素流失总量比氮素流失总量小得多,设计冲刷流量为4.5 L/min时农地生态草沟中磷素流失量大于设计径流3 L/min,二者磷素流失量相差0.005 9~0.037 7 g/m²,相差比例4.71%~25.02%。沟道坡度比降为5°时,沟道流失的磷素随径流流失的比例平均达63.32%;当沟道坡度比降为10°时,沟道流失的磷素随泥沙流失的比例平均达70.95%,流失比例更高。可知在坡度比降较小时,农地生态草沟能有效减少冲刷造成的泥沙流失,但与氮素流失类似,植物滞缓径流的作用会使土壤中矿质态磷素的流失量增加。

农地生态草沟可通过拦截径流泥沙的方式来减少颗粒态磷素的流失^[26]。本研究通过室内模拟冲刷试验,探讨了农地生态草沟对径流污染物的削减效益,初步获得关于农地生态草沟在紫色土区进行推广的可行依据,但由于客观条件的原因,在试验过程中仍有不尽人意之处:(1)关于农地生态草沟控制COD负荷的临界坡度比降并没有达到试验设置的10°,导致径流中的COD污染负荷有所增加;(2)试验中设计污水的形式本身与自然状态下的农业径流有所差异,同时设计的沟道长度为2 m,但实际的辅助排水沟道的长度却变化不等,导致试验结果与野外的试验结果存在一定的差异。

参考文献:

- [1] 孙春敏,陈子平. 新型生态排水沟的试验研究与应用探讨[J]. 广东水利水电, 2013(3): 44-46.
- [2] 张轶. 生态草沟处理技术设计总结[J]. 城市道桥与防洪, 2011(7): 140-143.
- [3] Deletic A, Fletcher T D. Performance of grass filters used for stormwater treatment: A field and modelling study[J]. Journal of Hydrology, 2006, 317(3/4): 261-275.
- [4] 章茹,周文斌,金可礼. 深圳茜坑水库生态草沟对非点源污染物去除效率的评价[J]. 南昌大学学报(理科版), 2009, 33(1): 56-60.
- [5] Fu D, Gong W, Xu Y, et al. Nutrient mitigation capacity of agricultural drainage ditches in Tai Lake basin[J]. Ecological Engineering, 2014, 71: 101-107.
- [6] Rushton B T. Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2001, 127(3): 172-179.
- [7] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [8] 刘燕,尹澄清,车伍. 植草沟在城市面源污染控制系统的应用[J]. 环境工程学报, 2008, 2(3): 334-339.
- [9] 张新颖. 浅草沟系统对城市暴雨径流的控制试验研究[D]. 重庆:重庆大学, 2008.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组,中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索[M]. 3 版. 合肥:中国科技大学出版社, 2001.
- [11] 罗专溪,朱波,汪涛,等. 紫色土丘陵区农村集镇降雨径流污染特征[J]. 环境科学学报, 2008, 28(9): 1823-1831.
- [12] 蒲玉琳. 植物篱—农作模式控制坡耕地氮磷流失效应及综合生态效益评价[D]. 重庆:西南大学, 2013.
- [13] 吴磊. 三峡库区典型区域氮、磷和农药非点源污染物随水文过程的迁移转化及其归趋研究[D]. 重庆:重庆大学, 2012.
- [14] 朱波,汪涛,王建超,等. 三峡库区典型小流域非点源氮磷污染的来源与负荷[J]. 中国水土保持, 2010(10): 34-36.
- [15] 崔元文. 四川紫色土丘陵区不同耕作和覆盖方式下坡地养分流失研究[D]. 重庆:西南大学, 2012.
- [16] 张浏,施超,丁芳芳,等. 巢湖流域农田氮磷污染物径流流失及淋溶特性[J]. 环境工程, 2013, 31(1): 251-254.
- [17] 吕文龙. 宝象河小流域径流污染物沉降特性与颗粒粒径分布特征研究[D]. 昆明:云南大学, 2012.
- [18] 杨寅群. 植被过滤带对非点源污染物净化效果的初步研究[D]. 西安:西安理工大学, 2009.
- [19] 闫丽珍,石敏俊,王磊. 太湖流域农业面源污染及控制研究进展[J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20(1): 99-107.
- [20] Gilley J E, Eghball B, Kramer L A, et al. Narrow grass hedge effects on runoff and soil loss[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 55(2): 190-196.
- [21] 倪九派,傅涛,卢玉东,等. 缓冲带在农业非点源污染防治中的应用[J]. 环境污染与防治, 2002, (4): 229-231, 251.
- [22] 黄欢. 不同控制截排水布置方式下坡面产流—产沙过程的模拟研究[D]. 重庆:西南大学, 2015.
- [23] 陈玲,刘德富,宋林旭,等. 香溪河流域坡耕地人工降雨条件下土壤氮素流失特征[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(6): 616-621.
- [24] 张兴昌,邵明安. 植被覆盖度对流域有机质和氮素径流流失的影响[J]. 草地学报, 2000, 8(3): 198-203.
- [25] 何丙辉,黄巍,郭甜,等. 不同施肥处理对紫色土坡耕地地表径流磷素流失的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2012, 29(3): 47-52.
- [26] 雷沛,曾祉祥,张洪,等. 丹江口水库农业径流小区土壤氮磷流失特征[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 44-48.