

不同植被过滤带对农田径流泥沙和氮磷拦截效果与途径

李晓娜, 张国芳, 武美军, 杨可伟, 史瑞双

(北京市农林科学院, 北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097)

摘要: 在我国农业面源污染已经成为水环境质量恶化和湖泊富营养化的重要原因, 其中氮磷对地表水富营养化的贡献超过了50%。通过浑水冲刷试验, 研究了3种禾本科植被过滤带((黑麦草 *Lolium perenne* Linn.)、偃麦草((京草2号) *Elytrigia repens* (L.) Nevski)、无芒雀麦(*Bromus inermis* Leyss.)对径流、泥沙以及氮磷的拦截效果, 同时分析了3种植被过滤带拦截氮磷的主要途径。结果表明:(1)与裸地相比, 3种植被过滤带均能显著提高径流与氮磷的拦截率。3种植被过滤带之间对径流、氮磷拦截率没有显著差异。黑麦草过滤带泥沙流失量显著低于无芒雀麦过滤带; 同时径流、泥沙与氮磷拦截率之间存在显著正相关关系, 表明植被对径流和泥沙的拦截一定程度上决定对氮磷的拦截量;(2)径流过程中磷的流失量均低于氮的流失量。氮的流失主要以溶解态氮为主, 占总氮流失量的90%以上; 磷的流失则主要以颗粒态磷为主;(3)植被过滤带拦截氮磷的途径不同, 氮主要通过增加土壤入渗的途径来拦截, 磷则主要通过植物茎秆基部进行物理拦截;(4)京草2号对氮的拦截效果优于黑麦草和无芒雀麦, 而黑麦草则在磷的拦截方面表现突出。因此在植被过滤带的优化设计方面可以考虑黑麦草与京草2号2者混播以达到最佳的拦截吸附效果。

关键词: 农业面源污染; 氮磷流失; 植被过滤带; 拦截率

中图分类号: S157.4

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0039-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.03.007

Interception Ways and Effects of Grass Filter Strips on Sediment, Nitrogen and Phosphorus in Agricultural Runoff

LI Xiaona, ZHANG Guofang, WU Meijun, YANG Kewei, SHI Ruishuang

(Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing Research & Development Center for Grass and Environment, Beijing 100097)

Abstract: In China, agricultural non-point source pollution has become an important reason for water environmental deterioration and lake eutrophication, with the contribution of nitrogen and phosphorus to the eutrophication of surface water being more than 50%. This study was conducted to evaluate the effects of herbaceous grass filter strips established by perennial ryegrass (*Lolium perenne* Linn), Jingcao No. 2 (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) and smooth brome grass (*Bromus inermis* Leyss.) on the interception of runoff, sediment, nitrogen, and phosphorus in a simulated experiment in soil boxes with runoff generators. The results showed that: (1) The runoff, nitrogen, and phosphorus loss on the plot were significantly reduced by the three types grass filter strips. The sediment loss of ryegrass filter strip was significantly less than that of Jingcao No. 2 and smooth brome grass. The result of correlation analysis showed that the nitrogen, phosphorus interception rate was significantly correlated with the runoff, and sediment interception rate. (2) The loss of phosphorus in four kinds of treatments were lower than that of nitrogen, with more than 90% of nitrogen being lost in dissolved nitrogen, and phosphorus being mainly lost in particulate phosphorus. (3) Nitrogen was mainly intercepted by soil infiltration, and phosphorus was mainly intercepted by plant stem. (4) The nitrogen loss of Jingcao No. 2 filter strip was less than that of ryegrass and smooth brome grass filter strip, and the phosphorus loss of ryegrass filter strip was less than that of Jingcao No. 2 and smooth brome grass filter strip. Therefore, in order to improve the interception of nitrogen and phosphorus, ryegrass and Jingcao No. 2 can be planted in a mixing way when building the herbaceous filter strips.

收稿日期: 2016-11-24

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503106); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20161502-1); 北京市农林科学院院级科技创新团队(TNKYT201605)

第一作者: 李晓娜(1977—), 女, 博士, 副研究员, 主要从事农业面源污染生态阻控技术研究。E-mail: lxn1977@126.com

Keywords: agricultural non-point source pollution; nitrogen and phosphorus loss; vegetation filter strip; interception rate

我国耕地水土流失面积达 $4.54 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占耕地总面积的 35%, 每年由于水土流失造成的氮、磷损失总量分别为 $1.28 \times 10^7 \text{ t}$ 和 $7.65 \times 10^6 \text{ t}$, 对地表水富营养化的贡献率超过了 50%^[1-2]。因此, 迫切需要加强耕地的水土保持, 阻控氮、磷和农药等向水体输入, 防止土地和水体质量进一步恶化。

植被过滤带是耕地水土流失和面源污染防治的主要生物屏障措施, 是成本低廉且富有成效的一种生态工程措施^[3], 作为陆地与河岸之间的过滤带, 在控制氮磷等面源污染方面发挥着重要作用, 可以通过植物茎秆的拦截、土壤的渗透及微生物的分解等多重作用实现挡水、挡土、降流、减污, 减缓和控制农业区域的水、土、营养元素及污染物向水体的迁移。已有研究表明, 南方草本品种香根草的水土保持效果显著, 其对红壤坡耕地径流和泥沙阻控率达到 29%~72% 和 56.25%~97.4%^[4-5], 对紫色土坡耕地径流和泥沙减少率达 75% 和 83%^[6], 对径流速度的延缓能力略低于百喜草, 优于萱草, 对泥沙的拦截能力与百喜草和萱草相当^[7]。在浙江丘陵地区红壤坡地种植牧草黑麦草草篱对总氮和总磷的拦截率分别为 60.8% 和 46.9%^[8]。在江西红壤种植 3 行香根草草篱对总氮流失的阻控率为 69.2%~90.4%^[4]。研究者们还考察了植物过滤带宽度对阻控效果的影响。Takahiro 等^[9]得出小牛鞭草对泥沙的拦截效果随宽度增加而增加。Castelle 等^[10]研究发现, 随着过滤带宽度从 4.6 m 增加到 22.4 m, 对泥沙的拦截率从 70% 增加到了 90%, 但是, 进一步将过滤带宽度增加到 26.2 m 和 91.5 m, 拦截效果反而降低为 80%。也有报道指出, 1 m 过滤带对磷的去除率即达到 60%~80%, 2 m 过滤带的去除率降为 31%^[11]。综上所述, 目前的研究集中于植物篱和滨岸缓冲带拦截效果与适宜宽度方面, 对于不同草地过滤带的拦截效果比较, 及其对氮磷的拦截途径及氮磷的归趋尚未见报道。本研究通过浑水冲刷试验, 比较了黑麦草、京草 2 号、无芒雀麦 3 种植被过滤带入流和出流的径流、泥沙以及径流中的氮磷形态与总量, 定量评价了植被过滤带对氮磷的拦截效率, 同时分析了不同植被过滤带通过物理拦截、土壤入渗及植物吸收等途径拦截的氮磷量, 揭示了不同植被过滤带的拦截途径, 其结论可为农业氮磷面源污染防控过程中植被过滤带优化设计提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试植物为黑麦草 (*Lolium perenne* Linn.)、偃

麦草 (京草 2 号) (*Elytrigia repens* (L.) Nevski)、无芒雀麦 (*Bromus inermis* Leyss.)。在北京市昌平区小汤山镇取土壤含水量低于 10% 的耕层 0—30 cm 土作为供试土壤, 用铁锹轻拍使土壤中大的颗粒物破碎并过 2 mm 筛以除去植物残体, 保证土壤的均一性。然后以 5 cm 分层装填土槽, 装填容重为 1.2 g/cm^3 。参考欧洲标准, 使用 SEDIMAT4—12 土壤粒径分析系统测定装填土壤颗粒组成为砂粒为 30.81%, 粉粒为 39.58%, 黏粒为 29.61%。有机质含量为 20.3 g/kg , 全氮含量为 1.13 g/kg , 全磷含量为 0.51 g/kg , pH 为 7.77, 田间持水量为 26.45%。

1.2 试验设计

试验共设裸地、黑麦草、偃麦草 (京草 2 号)、无芒雀麦 4 个处理, 3 次重复。试验在 12 个相同规格的土槽中进行, 土槽及冲刷装置详见图 1。在每个土槽中埋设土壤水分探测器 5 个 (10 cm 间距)。土槽装填完毕后于 2016 年 5 月 4 日播种黑麦草与无芒雀麦, 京草 2 号扦插。种植密度为无芒雀麦 40 g/m^2 、黑麦草 30 g/m^2 、京草 2 号行距 10 cm, 间距 2 cm。播种完成后每天早晚喷水直至出苗, 出苗后定期观测生长情况, 待株高超过 25 cm 时刈割以促进分蘖。以《地表水环境质量标准》(GB 3828-2002)^[12]中规定的 3 类水硝酸盐限值 10 mg/L , 总磷限值 0.4 mg/L 为基准, 试验中硝酸盐与总磷浓度分别取 1 000, 40 mg/L。泥沙浓度取 40 g/L , 泥沙用土同土槽装填土壤。于 2016 年 7 月 26-27 日进行冲刷试验。

冲刷试验前, 测定土槽中植物基本生长情况 (茎秆密度、茎秆直径、株高、地上生物量), 分层 (10 cm) 采集土壤样品, 测定全氮、全磷含量, 同时采集土壤水分探测器数据以获取试验前土壤分层体积含水量。然后按照实验设计将土槽坡度统一调整为 5%, 将水、泥沙以及硝酸钙和磷酸二氢铵混合均匀, 充分混匀的浑水以 0.58 L/s 的流速均匀进入土槽, 流经植被过滤带后由出水口流出。自水流进入植被过滤带时开始计时, 记录土槽出水口的初始出流时间。每分钟收集出流样品, 收集的样品经沉淀、过滤、分离后测定径流量和泥沙量, 同时测定径流中的硝态氮、铵态氮、磷酸盐、溶解态氮、颗粒态氮、溶解态磷及颗粒态磷含量。冲刷试验结束后采集 5 mm 表层泥沙及按 10 cm 分层采集土壤样本测定其全氮、全磷含量。试验结束后对植物过滤带进行刈割 (留茬高度 5 cm), 生长 15 d 后采集植物过滤带地上部测定生物量及氮磷含量。

1.3 数据分析

使用拦截率评价植被过滤带对径流、泥沙以及氮磷的拦截效果, 其计算公式为: 径流拦截率 (%) =

(入流流量－径流量)/入流流量×100,泥沙拦截率(%)=(泥沙输入量－泥沙流失量)/泥沙输入量×100,氮磷拦截率(%)=(氮磷输入量－氮磷流失量)/氮磷输入量×100。同时,不同植被过滤带的径流量、泥沙量、氮磷含量及植物对氮磷的吸收量使用 SPSS 10.0 进行统计分析,以评价不同植被过滤带对径流、泥沙及氮磷的拦截效果。文中所有数据处理及绘图使用 Excel 2010。

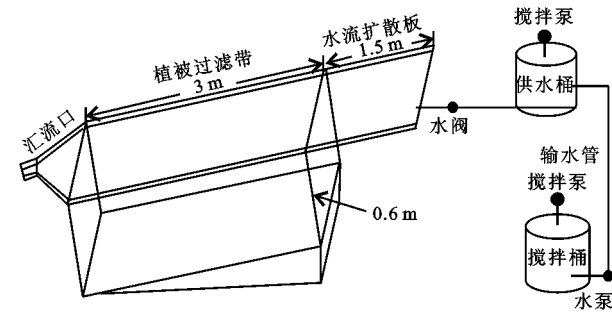


图 1 试验装置示意

表 1 试验前植物生长与土壤水分基本情况

处理	植物生长				土壤质量含水量/%				
	株高/	直径/	密度/	鲜重/	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	30—40 cm	40—50 cm
	cm	cm	(株·m ⁻²)	(kg·m ⁻²)					
黑麦草	18.6	0.17	14467	0.9	38.33	34.22	29.55	30.40	24.16
京草 2 号	36.8	0.21	4447	2.3	41.16	36.89	29.40	24.16	26.00
无芒雀麦	34.2	0.18	4400	1.4	38.90	37.05	31.58	28.41	26.69
裸地					37.48	29.48	35.14	28.27	19.49

2.2 植被过滤带对径流的拦截效果

由表 2 可知,裸地最先产流,在入流 1 min 后即产生径流,黑麦草、京草 2 号与无芒雀麦初次产流时间较裸地均稍有延迟。径流在裸地、黑麦草、京草 2 号和无芒雀麦 4 种处理中的出流流速分别为 0.20,0.13,0.16,0.16 L/s。与裸地相比,3 种草地过滤带均能明显降低

2 结果与分析

2.1 试验前植物生长与土壤水分基本情况

草本植物因其生长迅速、茎秆密集、可有效覆盖地表等特点,能显著拦截地表径流及径流中污染物,从而防止其进入河溪湖泊。因此植被过滤带地上部分茎秆直径与密度是影响其物理拦截污染物效果的关键。由表 1 可知,冲刷试验开始前各土槽不同的草本植物基本生长情况存在显著差异,其中黑麦草茎秆密度最大,达到 14 467 株/m²,京草 2 号次之为 4 447 株/m²;3 种草本植物中京草 2 号平均茎秆直径、株高及生物量均表现为最大。土壤初始含水量对植被过滤带拦截污染物的效果有一定影响,在土壤含水量较低时能拦截较多的地表径流^[13]。在进行冲刷试验前因持续降雨各处理 0—40 cm 土壤含水量均大于田间持水量,土壤处于较为湿润的状态,但裸地在 50 cm 深度土壤含水量明显低于 3 种植被过滤带。

径流流速,径流量与径流拦截率与裸地相比差异均达显著水平,其径流拦截率比裸地提高近 1 倍,其原因为草地种植能改变坡面的微地形,减缓坡度,从而改变径流的产生过程,明显降低径流流速,减少侵蚀。3 种植被过滤带之间表现为京草 2 号径流拦截率最大、黑麦草次之、无芒雀麦最小,但差异并不显著。

表 2 不同草地过滤带径流泥沙拦截效果比较

植被类型	产流时间/min	径流流速/(L·s ⁻¹)	径流量/L	径流拦截率/%	与裸地相比径流拦截效益提高率/%	泥沙流失量/g	泥沙拦截率/%	与裸地相比泥沙拦截效益提高率/%
裸地	1	0.20	153±5a	27.02±2.38b		1149±32a	86.32±0.38a	
黑麦草	2	0.13	98±2b	53.38±0.95a	97.56	550±27c	93.45±0.32a	8.26
京草 2 号	2	0.16	97±8b	53.98±3.81a	99.78	749±20bc	91.08±0.24a	5.51
无芒雀麦	2	0.16	102±6b	51.40±2.86a	90.23	822±24b	90.21±0.29a	4.51

注:不同小写字母表示不同处理之间差异显著(p<0.05)。下同。

86.3%,93.5%,91.1%,90.2%,3 种植被过滤带泥沙拦截率均高于裸地,但差异并不显著。

2.4 植被过滤带对氮磷的拦截效果

由表 3 可知,裸地、黑麦草、京草 2 号、无芒雀麦 4 种处理中硝酸盐氮随径流流失率分别为 64.29%,43.79%,38.16%,43.72%;铵态氮的总输入量为 7.89 g,裸地、黑麦草、京草 2 号、无芒雀麦 4 种处理中铵态氮随径流流失率分别为 63.98%,47.85%,37.94%,43.34%;总氮流失率分别达 73.5%,49.3%,45.6%,50.7%;3 种草地过滤带硝酸盐氮、铵态氮、溶解态氮与

2.3 植被过滤带对泥沙的拦截效果

由表 2 可知,径流通过裸地时,因流速的减缓及水分的入渗,亦会产生大量颗粒物的沉积。3 种植被过滤带泥沙流失量显著低于裸地,其原因应是 3 种植被过滤带能显著降低径流流速及根系生长改善土壤的入渗性能,因而颗粒物被拦截的程度更高。3 种植被过滤带之间泥沙流失量总体表现为无芒雀麦>京草 2 号>黑麦草,且黑麦草的泥沙流失量最小且与无芒雀麦差异达显著水平。但与总输入泥沙量相比,裸地、黑麦草、京草 2 号、无芒雀麦的泥沙拦截率分别为

总氮的流失率均显著低于裸地。黑麦草植被过滤带颗粒态氮的流失量显著低于裸地,京草 2 号与无芒雀麦植被过滤带颗粒态氮流失量与裸地相比差异不显著。4 种处理氮的流失均以溶解态氮为主,其占氮总流失量的比例分别为 94.1%,95.0%,91.2%,93.5%。

本研究中磷的总输入量为 17.50 g,京草 2 号植被过滤带磷酸盐的流失量显著低于裸地,黑麦草与无芒雀麦植被过滤带磷酸盐流失量与裸地相比差异不显著;4 种处理之间溶解态磷的流失量无显著差异;黑麦

草植被过滤带颗粒态磷的流失量显著低于裸地,京草 2 号与无芒雀麦植被过滤带颗粒态磷的流失量亦低于裸地,但差异并不显著;裸地、黑麦草、京草 2 号、无芒雀麦 4 种处理中总磷的流失率分别为 39.3%,26.2%,33.1%,30.1%,3 种植被过滤带总磷的流失量均显著低于裸地。与氮的流失相反,磷的流失主要以颗粒态磷为主,4 种处理颗粒态磷的流失量占总磷流失量的 90%以上,这一结论与喻定芳等^[14]在狼尾草与野古草草篱对坡耕地的氮磷流失防治的研究结果相同。

表 3 不同处理氮磷流失量

单位:g

处理	硝酸盐氮	铵态氮	溶解态总氮	颗粒态氮	总氮流失量	磷酸盐磷	溶解态总磷	颗粒态磷	总磷流失量
裸地	50.79±3.60a	5.05±0.24a	60.10±0.16a	3.74±0.53a	63.84±0.38a	0.49±0.08a	1.22±0.08a	5.65±1.35a	6.87±1.38a
黑麦草	34.59±0.87b	3.78±0.43b	40.75±4.98b	2.13±0.30b	42.88±5.20b	0.27±0.14ab	0.85±0.41a	3.73±0.38b	4.58±0.78b
京草 2 号	30.15±0.97b	2.99±0.27b	36.17±2.31b	3.47±0.36a	39.64±2.67b	0.15±0.09b	0.53±0.32a	5.27±0.55ab	5.80±0.55b
无芒雀麦	34.54±5.53b	3.42±0.36b	41.18±7.20b	2.84±0.69ab	44.02±6.50b	0.20±0.12ab	0.65±0.30a	4.62±0.39ab	5.27±0.36b

2.5 径流、泥沙和氮磷拦截率之间相关性分析

为进一步探讨植被过滤带对径流、泥沙的拦截效果与氮磷拦截之间的相关关系,本研究对试验数据进行了相关性分析。由表 4 可知,氮与径流、泥沙均呈显著正相关关系,磷与径流、泥沙均呈极显著正相关关系。说明植被过滤带对径流与泥沙的拦截效果一定程度上决定了其对氮磷的拦截效果,初步证明了植被过滤带对氮磷的拦截途径主要是通过拦截径流与泥沙从而使氮磷随径流下渗进入土壤或随颗粒物沉积于地表。

表 4 径流、泥沙与氮磷拦截率相关性分析

因素	径流	泥沙	总氮	总磷
径流	1.00			
泥沙	0.93*	1.00		
总氮	0.56*	0.58*	1.00	
总磷	0.90**	0.94**	0.68*	1.00

注: * 表示在 5% 水平显著; ** 表示在 1% 水平显著; 样本数 n=12(相关系数临界值 $r_{0.05}=0.532, r_{0.01}=0.661$)。

2.6 植被过滤带对氮磷的拦截途径分析

2.6.1 植物茎秆的物理拦截 植物茎秆通过减缓流速使颗粒物沉积,从而达到阻碍其迁移的目的。本文通过检测冲刷后各土槽 5 mm 表层泥沙氮磷含量,来表示植被过滤带对氮磷的物理拦截作用。由图 2 可知,4 种处理表层 5 mm 泥沙中氮的含量表现为裸地最低,黑麦草最高,京草 2 号次之。4 种处理表层 5 mm 泥沙中磷变化较小,且磷的含量均低于氮的含量。已有研究表明,粗糙的大颗粒更易被拦截,小牛鞭草几乎无法拦截 0.002 mm 以下的颗粒^[15],而粗沙颗粒(>63 μm)中磷含量较低,与细颗粒结合的磷含量较高^[16]。这也进一步印证了本研究径流中颗粒态磷含量较高,而 5 mm 表层泥沙磷含量较低的结果。

2.6.2 土壤入渗 由图 3 可知,在冲刷前黑麦草、京

草 2 号与无芒雀麦 3 种植被过滤带土壤各层的全氮含量均低于对照。黑麦草在 20 cm 土层土壤总氮含量明显低于其他土层土壤总氮含量,无芒雀麦在 30 cm 土层土壤总氮含量明显低于其他土层土壤总氮含量,初步说明在种植当年黑麦草的根系主要分布在 20 cm 土层内,无芒雀麦则主要分布在 30 cm 土层。京草 2 号表现为 0—50 cm 土层内土壤全氮均低于其他处理。

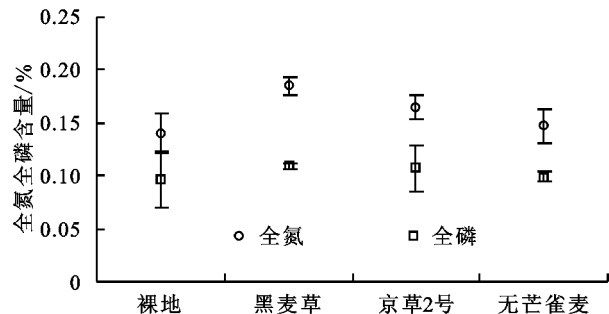


图 2 不同处理氮磷物理拦截量

冲刷试验结束后,各处理不同土层土壤中总氮的含量发生了变化。裸地表现为随着深度的增加土壤全氮含量逐渐降低,直至在 50 cm 土层时总氮含量与冲刷前相同。而 3 种植被过滤带不同深度土壤中的全氮含量均高于裸地,且在根系主要分布层以下土壤中的全氮含量有一个明显上升,之后逐渐降低。3 种植被过滤带在 50 cm 土层时土壤全氮含量仍然高于冲刷前,初步说明氮随着水分还在进一步向下入渗。

由图 4 可知,冲刷前各处理全磷在不同深度土壤中的含量变化较小,3 种植被过滤带不同深度土壤全磷含量与裸地相比没有显著变化。但是冲刷后,裸地中土壤全磷含量到 30 cm 深度后即没有再增加,而 3 种植被过滤带在 50 cm 深度时土壤全磷仍然高于冲刷前。冲刷后 3 种植被过滤带不同深度土壤全磷含量均高于裸地。

已有研究表明,种植 4 a 的铁刀木植物篱系统能增加 94% 的水分入渗,狼尾草草篱能使土壤容重降低 7.0%,稳定入渗率和总孔隙度分别增加 157.1% 和 11.0%^[17]。本研究通过冲刷前后氮磷在土壤中的

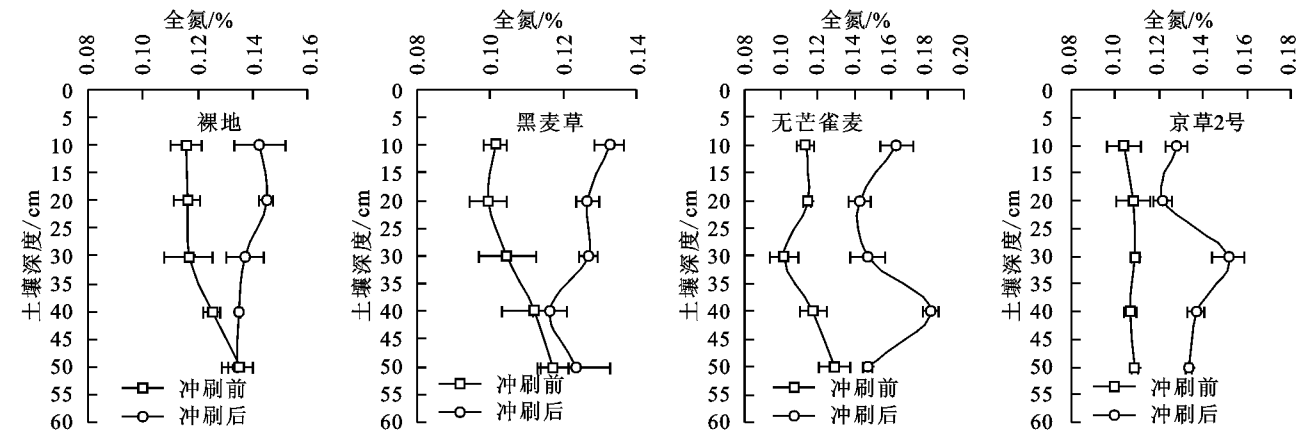


图 3 冲刷前后不同处理氮在土壤剖面中的分布

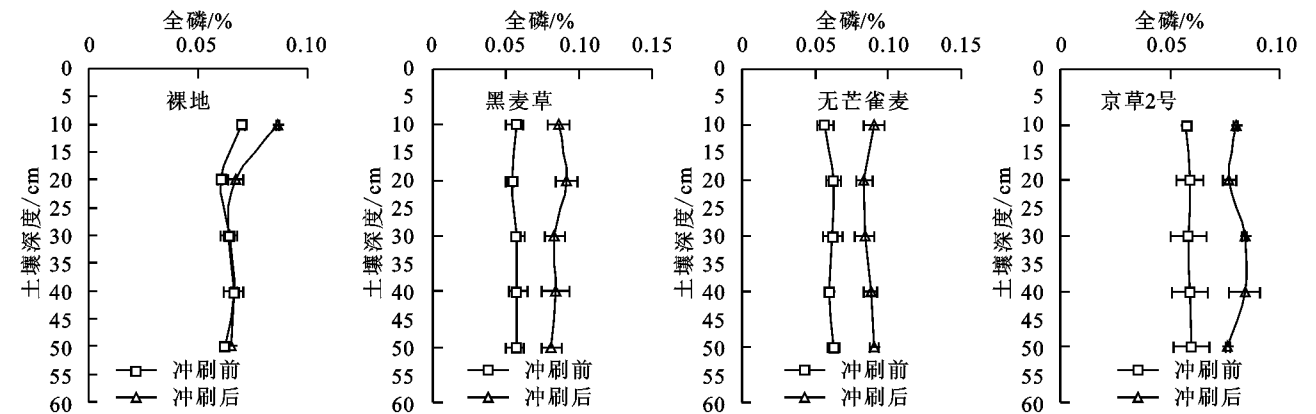


图 4 冲刷前后不同处理磷在土壤剖面中的分布

2.6.3 植物对氮磷的吸收储存作用 Julien 等^[18]研究表明,不同类型的河岸植被过滤带对氮磷的储存能力不同,对水质的净化功能也不同。由表 5 可知,3 种植物中京草 2 号的含氮量显著高于黑麦草与无芒雀麦,3 种植物的磷含量没有显著差异。但是结合生物量计算 3 种植物对氮磷的吸收总量,可以看出在冲刷 15 d 后,黑麦草生长速度最快,其吸收的氮磷总量均高于京草 2 号和无芒雀麦。

表 5 不同植物对氮磷的吸收量

处理	含氮量/%	含磷量/%	全氮—以 N 计/g	全磷—以 P 计/g
黑麦草	4.31±0.49b	0.319±0.008a	20.98±8.82a	1.54±0.62a
京草 2 号	5.01±0.29a	0.303±0.014a	14.52±3.10ab	0.87±0.15a
无芒雀麦	4.37±0.55b	0.311±0.025a	9.33±6.51b	0.64±0.42b

2.6.4 径流、入渗、物理拦截中的氮磷含量分析 本研究通过浑水冲刷试验,对比分析了不同植被类型对径流量、泥沙量及氮磷的拦截效果,结果表明,黑麦草、京草 2 号与无芒雀麦均能有效拦截径流以及径流中的泥沙与氮磷污染物。在植被过滤带作用机理方面,通常认为植被过滤带拦截污染物是通过多种作用协同实现的:植物茎秆能够阻碍径流,降低流速,实现

分布可以看出尽管黑麦草、京草 2 号与无芒雀麦为当年种植,但随水分入渗进入土壤中的氮磷均高于裸地,进一步证明植物生长能够改善土壤渗透性、增加径流入渗率,从而减少地表径流量及氮磷流失。

缓流和分流^[19];能通过植物根系作用维持土壤良好的渗透性,从而增加径流的入渗率,减少地表径流量^[17]。由图 5 可知,3 种植物过滤带氮的入渗量显著高于裸地,通过植物茎秆直接拦截于地表的氮量亦高于裸地,但差异并不显著。3 种植物过滤带均表现为氮的入渗量大于植物茎秆直接拦截的氮量。Pansak 等^[20]的研究证实了这点,他认为泰国北部山区中等坡度(21%~28%)种植香根草、新银叶合欢等,改变了氮的迁移途径,氮由地表径流损失转变为渗漏。本研究表明,黑麦草等植物在冲刷 15 d 后通过快速生长可吸收 9~21 g 的氮量,采取及时刈割方式,不仅可以降低渗漏的风险,还可防止凋落物进入土壤引起氮养分二次流失。

由图 6 可知,磷的流失量低于氮的流失,且植物茎秆直接拦截的磷量显著高于磷的入渗。初步说明颗粒态的磷被阻控的机制主要是植物茎秆的拦截,而入渗的磷元素通常也只渗透到土壤表层,进入土壤并快速被土壤固定吸附,进行缓慢的解吸和沉淀,并最终被固持在土壤。而部分入渗到土壤中的磷可以通

过植物吸收转化为有机磷,通过刈割带走。

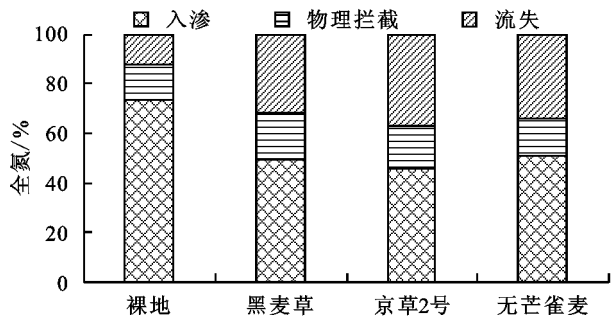


图 5 4 种处理径流、入渗、物理拦截中的含氮量

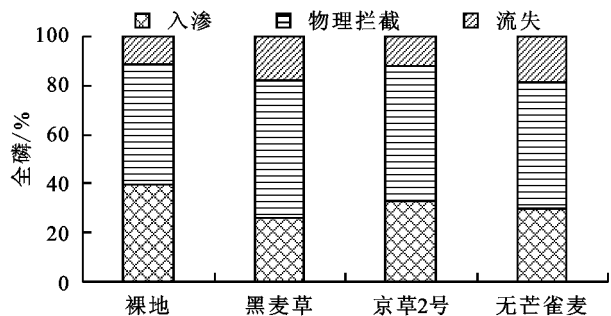


图 6 4 种处理径流、入渗、物理拦截中的含磷量

3 结论

(1)3 种植被过滤带均能有效拦截径流,平均拦截率达 53%;并能显著降低泥沙的流失量,对泥沙的拦截率均达 90%以上。与裸地相比,3 种植被过滤带均能显著提高氮磷的拦截率,对氮的拦截率达 49%以上,对磷的拦截率达 66%以上。3 种植被过滤带中黑麦草与京草 2 号对径流和泥沙的拦截效果优于无芒雀麦。

(2)裸地与 3 种植被过滤带氮的流失主要以溶解态氮为主,占总氮流失量的 90%以上;磷的流失主要以颗粒态磷为主。4 种处理磷的流失量均低于氮的流失量。植被过滤带对氮磷的拦截途径亦不同,对于氮的拦截主要通过增加土壤入渗实现,对磷则主要通过植物茎秆的物理拦截。

(3)径流、泥沙拦截率与氮磷拦截率存在显著正相关关系,表明草地过滤带对径流与泥沙的拦截效果一定程度上决定了其对氮磷的拦截效果。

(4)植物根系的生长可以增加土壤入渗能力,因而氮磷在 3 种植被过滤带土壤中的入渗深度均大于裸地,在降低地表径流损失的同时,增加了渗漏的风险。通过植物的快速生长可以吸附部分氮磷,从而降低氮磷的渗漏,黑麦草在氮磷的吸收方面表现出了较强的优势,其在冲刷 15 d 之后吸收的氮磷量显著高于无芒雀麦。

(5)京草 2 号对氮的拦截效果优于黑麦草和无芒雀麦,而黑麦草则在磷的拦截方面表现突出,其原因可能是黑麦草在播种当年分蘖速度快,茎秆密度大,

对颗粒态氮磷拦截效果较好。因此在植被过滤带的优化设计方面可以考虑黑麦草与京草 2 号二者混播以达到最佳的拦截吸附效果。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[EB/OL]. [2016-10-20]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2012/indexch.htm>.
- [2] 中华人民共和国水利部. 中国水土保持公报[EB/OL]. [2016-10-20]. <http://www.mwr.gov.cn/zwzc/hygb/zgstbcgb/200902/U020160627481119687233.pdf>.
- [3] 袁金柱,李利华. 我国农业面源污染对水体的影响及防治措施[J]. 内蒙古农业科技, 2009(1): 29-31.
- [4] 黄欠如,章新亮,李清平,等. 香根草篱防治红壤坡耕地侵蚀效果的研究[J]. 江西农业学报, 2001, 13(2): 40-44.
- [5] 范洪杰,黄欠如,秦江涛,等. 稻草覆盖和草篱对红壤缓坡旱地水土流失及作物产量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3): 550-554.
- [6] 许峰,蔡强国,吴淑安,等. 高植物篱控制紫色土坡耕地侵蚀的特点[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 71-80.
- [7] Cao L X, Zhang Y G, Lu H Z. Grass hedge effects on controlling soil loss from concentrated flow: A case study in the red soil region of China[J]. Soil and Tillage Research, 2015, 148(5): 97-105.
- [8] 许开平,吴家森,黄程鹏,等. 不同植物篱在减少雷竹林氮磷渗漏流失中的作用[J]. 土壤学报, 2012, 49(5): 980-987.
- [9] Shiono T, Yamamoto N, Haraguchi N. Performance of grass strips for sediment control in Okinawa[J]. Jaro-Japan Agricultural Research Quarterly, 2007, 41(4): 291-297.
- [10] Castelle A J, Johnson A W, Conolly C. Wetlands and stream buffer size requirements-a review[J]. Journal of Environmental Quality, 1994, 23(5): 878-882.
- [11] Abu-Zreig M, Ruda R P, Whiteley H R, et al. Phosphorus removal in vegetated filter strips[J]. Journal of Environmental Quality, 2003, 32(2): 613-619.
- [12] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002,地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2002: 1-6.
- [13] 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.
- [14] 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, 24(6): 11-15.
- [15] Shiono T, Yamamoto N, Haraguchi N. Performance of grass strips for sediment control in Okinawa[J]. Jaro-Japan Agricultural Research Quarterly, 2007, 41(4): 291-297.