

辽河上游河岸植被过滤带对地下渗流中氮磷截留效果的影响

汤家喜¹, 何苗苗², 周博文¹, 应博³, 李仁杰¹, 李杨³, 吕刚¹

(1. 辽宁工程技术大学环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 锦州市产品质量监督检验所国家光伏材料质量监督检验中心, 辽宁 锦州 121000;

3. 辽宁省环境监测实验中心, 沈阳 110161)

摘要: 河岸植被过滤带可以有效地截留阻控农业非点源污染物向水体中迁移。选取辽河上游地区, 构建杂草带 T1(对照)、草木犀带(*Melilotus suaveolens* L.) T2 和草木犀与枫杨(*Pterocarya stenoptera* C. DC.) 混合带(T3 林草带)3 种类型人工河岸植被过滤带, 通过野外试验区 2 年的实地观测, 对寒冷地区不同类型及不同宽度植被过滤带截留地下渗流中氮磷的能力进行了初步的研究。结果表明: 各类型河岸植被过滤带对地下渗流中不同形态氮磷中的铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)截留效果最好, 平均截留效率为 18.03%~62.20%。13 m 宽的林草带对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 截留效率最高可达 77.45%。13 m 宽的林草带对总磷(TP)和可溶性磷(DP)的最高截留效率分别为 62.15%和 80.01%。总体上林草带对各形态氮磷截留效果最好, 其次是草木犀带。植被过滤带各植物对氮磷的累积能力大小依次是枫杨>草木犀>杂草, 对草木犀地上部分进行收割, 单次可去除氮的含量范围为 15.21~26.78 g/m², 磷的含量范围为 0.72~1.27 g/m²。

关键词: 河岸植被过滤带; 氮; 磷; 地下渗流; 截留阻控

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2018)01-0039-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.01.007

Ground Water Nitrogen and Phosphorus Retention by Established Riparian Vegetated Filter Strips in the Upstream of Liaohe River

TANG Jiayi¹, HE Miaomiao², ZHOU Bowen¹, YING Bo³, LI Renjie¹, LI Yang³, LÜ Gang¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin,

Liaoning 123000; 2. National Quality Supervision and Inspection Center for Photovoltaic Material,

Jinzhou, Liaoning 121000; 3. Liaoning Environmental Monitoring & Experiment Center, Shenyang 110161)

Abstract: Riparian vegetated filter strips (RVFS) are an efficient approach to reduce agricultural non-point source pollution transported in runoff before the water flows into watercourses. A field scale study was conducted in the upper reaches of Liaohe river for two years to determine the effect of vegetation types and the width on nitrogen and phosphorus retention in subsurface seepage. The experimental site consisted of three plots adjacent to agricultural edge (weeds-T1, sweet clover (*Melilotus suaveolens* L.)-T2 and sweet clover (*Melilotus suaveolens* L.)/China wingnut (*Pterocarya stenoptera* C. DC.)-T3). T2 and T3 were new established filter strips that were compared with weeds (T1). The results showed that all the RVFS did not significantly reduce the concentration of ground water nitrogen and phosphorus except for $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, The average interception efficiency was 18.03%~62.20%. The 13 m T3 had the best retention effect for $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ which was 77.45% T3 had the highest retention efficiency of TP and DP for 62.15% and 80.01% at the 13 m width. The overall T3 on the various forms of nitrogen and phosphorus retention effect is best, followed by melilotic belt. The plant vegetation filter on nitrogen and phosphorus accumulation capacity was *Pterocarya stenoptera* > *Melilotus* > weeds. Taking a harvest for sweet clover, the amount of nitrogen removed by the above-ground part varied in the range of 15.21~26.78 g/m², and the phosphorus was in the range of 0.72~1.27 g/m².

Keywords: riparian vegetated filter strips; nitrogen; phosphorus; ground water; retention

收稿日期: 2017-08-25

资助项目: 国家自然科学基金项目(41501548); 辽宁省教育厅科学研究一般项目(LJYL021)

第一作者: 汤家喜(1986—), 男, 讲师, 主要从事环境保护和生态工程研究。E-mail: tangjiayi@lntu.edu.cn

通信作者: 吕刚(1979—), 男, 副教授, 主要从事土壤侵蚀与流域治理研究。E-mail: lvgang2637@126.com

随着社会经济的发展,水污染问题日益严重,有效解决水污染问题已经成为全球性的环境问题^[1]。目前,点源污染已经得到有效控制和管理,而非点源污染成为当今水环境污染所要解决的首要问题^[2]。在农业方面,无机肥的大量使用,农田氮磷大量积累,氮磷等非点源污染物质的流失风险大大提高^[3]。郑培生等^[4]研究表明,农田氮磷径流排放是辽河干流流域非点源污染的主要来源。河岸植被过滤带可有效截留阻控水土流失和农业污染物向水体迁移,且不同类型河岸植被过滤带对农业非点源污染有着不同程度的阻控效果,在国内外已有较多研究报道^[5-10]。大量的农田径流主要是通过下渗作用或者侧渗作用进入地下水或进入地表水体^[11]。而目前大多数研究多集中于河岸植被过滤带对地表径流中氮磷的截留转化作用^[6-10,12-13],对经垂直下渗流中的氮磷阻控效应的研究较少^[14],尤其是对辽河干流流域河岸植被过滤带的研究还未见报道。因此,本研究通过现场小区试验,研究人工构建的河岸植被过滤带对地下渗流中氮磷浓度的影响,并分析其对氮磷阻控作用的原因。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验区域位于辽河保护区上游地区,试验区域长 37 m,宽 13 m,将其分为 3 个小区,每个小区长 12 m,宽 13 m,每个区域之间用 0.5 m 的杂草带进行隔离,相邻区域之间铺有地膜,防止区域之间渗流的相互影响。第 1 小区设置为杂草植被过滤带(T1)作为对照小区,杂草植被过滤带主要由水蒿、茵陈蒿和抓根草组成。第 2 小区设置为草本植被过滤带(T2),由草木犀(*Melilotus suaveolens* L.)组成,也称为草木犀河岸植被过滤带。第 3 小区设置为草本/乔木混合河岸植被过滤带(T3),由草木犀和枫杨(*Pterocarya stenoptera* C. DC.)的草本和乔木组合,如图 1 所示。为减少试验误差,在植被种植之前,现将试验小区进行土地整理,清理原有杂草,翻整土地,将试验区域设置为统一试验条件。试验区域紧邻农田一边区域的前 5 m 坡度为 10%~15%,剩余部分的坡度为 1%~2%,如图 2 所示。农田面积约为 0.96 hm²,平均坡度约为 1%,种植作物主要为玉米。每年仅施 1 次掺混肥(N、P₂O₅、K₂O 含量比为 30:12:10),施肥量为 450 kg/hm²。作物生长期无人工灌溉,靠雨水补给。全年降水较少,主要集中在 7—8 月。

1.2 作物的种植

在 2011 年 9 月,种植 2~3 a 生枫杨,行距为 1 m,株距为 1.5 m。在 2012 年 4 月和 2015 年 4 月,种植草本植物草木犀,种植密度为 15 g/m²,在枫杨植

被过滤带内,以同样的种植密度相应种植草木犀,建立草木犀河岸植被过滤带和枫杨/草木犀混合植被过滤带。

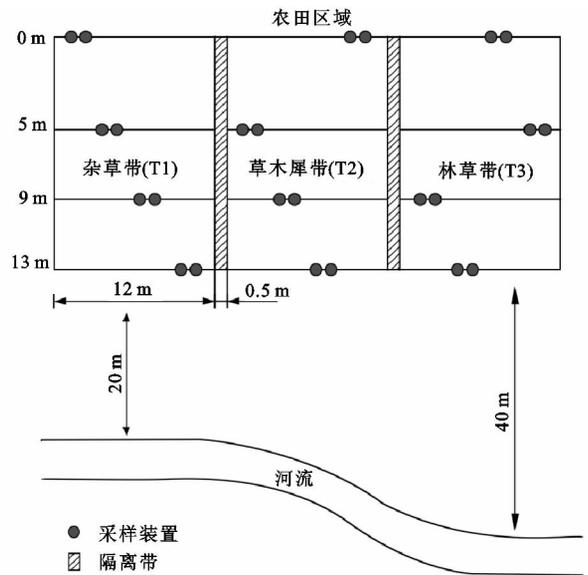


图 1 河岸植被过滤带建立及采样布点示意

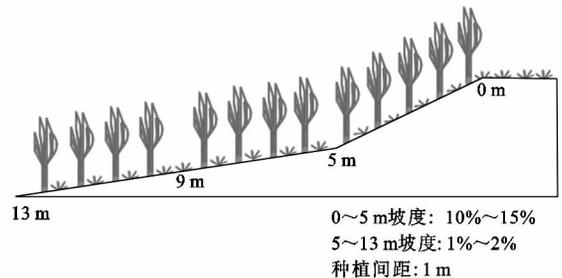


图 2 河岸植被过滤带坡度示意

1.3 样品采集

分别在农田和河岸植被过滤带区域采集 0—20 cm 表层土壤,进行土壤理化性质的分析,详见表 1。在 2013 年 5 月 23 日进行采样点位的布置,分别在距农田边缘 0.5,9,13 m 的试验小区内布设地下渗流采样点,每条植被过滤带均随机设置 2 个采样点,每 2 个采样点的间距为 1 m,采样深度为 45 cm,共计 24 个点位,如图 1 所示。根据气象部门的预报,在每次降雨之前的 1~2 d 内,将土壤溶液取样器抽成负压状态,待降雨结束后,采集地下渗流。2013 年和 2016 年采样频次分别为 8,3 次。土壤溶液取样器采用的是杭州汇尔仪器设备有限公司生产的压气式土壤溶液取样器。随后将样品转移到 500 mL 的样品瓶中,放入便携式冷藏箱中(温度保持在 0~4 ℃)冷藏,然后带回实验室放置冰箱内,并在 48 h 内对监测指标进行分析测试。

根据具体的实际情况分别在 2012 年 7 月 14 日、2013 年 7 月 13 日和 2016 年 7 月 20 日,对现场植物样品进行采集。采样方法选用随机采样。草本植物的采集方法选用收获法,对植物的地上部分和地下部分进行采集,地下部分需将根部全部取出,然后将样品分别装入

自封袋内进行编号带回实验室,室内进行清洗干净,选择阴凉处进行自然风干,然后再 105 °C 烘箱内烘 30 min,对植物进行杀青,然后 65 °C 烘至恒重,并计算单位面积

的总生物量、地上部分和地下部分的生物量。最后将烘干的样品磨碎,过 80 目尼龙筛,放入自封袋中,标号保存待测,分析其地上和地下部分氮磷含量。

表 1 农田及河岸植被过滤带土壤理化性质

试验区域	pH	有机质/ (mg · kg ⁻¹)	沙粒/ %	黏粒/ %	粉粒/ %	总氮/ (mg · kg ⁻¹)	总磷/ (mg · kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	有效磷/ (mg · kg ⁻¹)
农田	6.5	2.01	33.81	9.21	56.98	1770	577	101	30
河岸植被过滤带	6.7	2.47	39.16	8.32	52.52	1510	416	98	32

1.4 测定方法与数据处理

水样中总氮(TN)、总磷(TP)、铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)和可溶性磷(DP)的测定均采用荷兰产连续流动分析仪(SKALAR SAN++)进行检测,铵氮在 24 h 内完成测定,其余指标在 48 h 内完成样品测定。植物样品先用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解后,用流动分析仪测定全氮含量,用钼锑抗比色法测定全磷含量。

地下渗流各形态氮磷浓度的截留效率计算公式为:

$$R = (1 - \frac{C_i}{C_0}) \times 100 \quad (1)$$

式中:R 为截留效率(%);C₀ 为各形态氮磷的初始浓度(mg/L);C_i 为不同宽度处各形态氮磷的浓度(mg/L)。

使用 SPSS 19.0 软件对检测结果进行统计分析。由于数据并不属于正态分布,因此采用非参数数据分析。分析采用 Kruskal-Wallis 多重比较和 Mann-Whitney Wilcoxon U 检验。采用 Excel 2003 进行图表的制作。

2 结果与分析

2.1 河岸植被过滤带对地下渗流中不同形态氮磷浓度的影响

2013 年和 2016 年采集渗流样品中不同形态氮磷的平均浓度如图 3 所示。由图 3 可知,两年份流经各类型河岸植被过滤带渗流样品中 NH₄⁺-N 的浓度随着过滤带宽度的增加呈下降趋势,其中草木犀带 NH₄⁺-N 的浓度显著降低。河岸植被过滤带中的 TN 和 NO₃⁻-N 的浓度变化差异不显著。5 m 处 TN 和 NO₃⁻-N 的浓度有不同程度的上升趋势,这可能是由于受过滤带地形坡度的影响,该区域前 5 m 坡度较大,在植被过滤带宽度相同的条件下,渗透到土壤剖面中的 TN 和 NO₃⁻-N 的浓度较缓坡过滤带的浓度高^[15]。这也说明了径流的渗入作用增加了土壤中氮素流失的风险。随着河岸植被过滤带距离的增加,林草带中 TN 和 NO₃⁻-N 的浓度逐渐降低。这主要是过滤带内土壤的吸附、植物根系的吸收等一系列的生物化学反应,对氮素起到了一定的净化作用。林草带 13 m 处 TP 和 DP 的浓度明显降低,

而其他两种类型植被过滤带两者的浓度无明显变化规律,草木犀过滤带部分点位 TP 和 DP 的浓度有一定升高趋势,尤其是 5 m 处,浓度变化较为明显,这说明坡度对浓度的变化有一定的影响。

2.2 河岸植被过滤带对地下渗流中污染物的截留阻控效果

由表 2 可知,不同植被过滤带对 NH₄⁺-N 的阻控效果差异显著,其阻控效果大小顺序为草木犀带 > 林草带 > 杂草带。草木犀带对 NH₄⁺-N 的平均截留效率分别可达到 55.76% 和 62.20%,13 m 宽的草木犀带对 NH₄⁺-N 的截留效果最好,平均截留率可达 73.52%~77.45%。主要是草木犀为豆科草本直立型植物,且主根系发达,有根瘤,对氮的吸收较大,所以对河岸植被过滤带内的土壤渗流起到了一定的截留作用。杂草带对 TN 的阻控效果不明显,其平均截留效率分别达到 -5.64% 和 -4.97%。草木犀带和林草带在 2013 年的平均截留效率分别是 -5.07% 和 4.56%,2016 年平均截留效率分别是 14.87% 和 6.91%,两种植被过滤带对 TN 的截留效率明显提高,这可能与植被生物量有关,植物生长密度增加,减缓了雨水流动的速度,延长渗流下渗时间,增加了对 TN 的截留作用。河岸植被过滤带对地下渗流中 NO₃⁻-N 的阻控效率较差,由于坡度的影响,5 m 宽的植被过滤带对其截留效率均为负值。2013 年和 2016 年林草带对其的平均截留效率分别仅为 3.12% 和 4.60%,2013 年杂草带对其的平均截留效率仅为 4.82%,其余截留效率均为负值。

不同类型的植被过滤带对 TP 和 DP 的阻控效果存在着差异,9 m 宽草木犀带对 TP 和 DP 的截留效率最大,两年截留效率最大分别为 38.92% 和 17.09%;杂草带随着宽度的增加,对 TP 和 DP 的两年的截留效率逐渐增大;单一的草本植物种植模式的阻控效果要低于草本与木本植物的混合种植模式,林草带对 TP 的截留效率最好,2013 年和 2016 年的平均截留效率分别为 20.70% 和 21.02%。3 种类型河岸植被过滤带中,仅 2013 年的数据显示,林草带对 DP 的截留效率为 24.30%,其余均为负值。宽度达到 13 m 时,林

草带对 DP 的截留效果最好,两年的平均截留效率分别为 80.01% 和 31.81%。总体上,各河岸植被过滤

带对 TP 和 DP 的阻控效果大小顺序为林草带 > 杂草带 > 草木犀带。

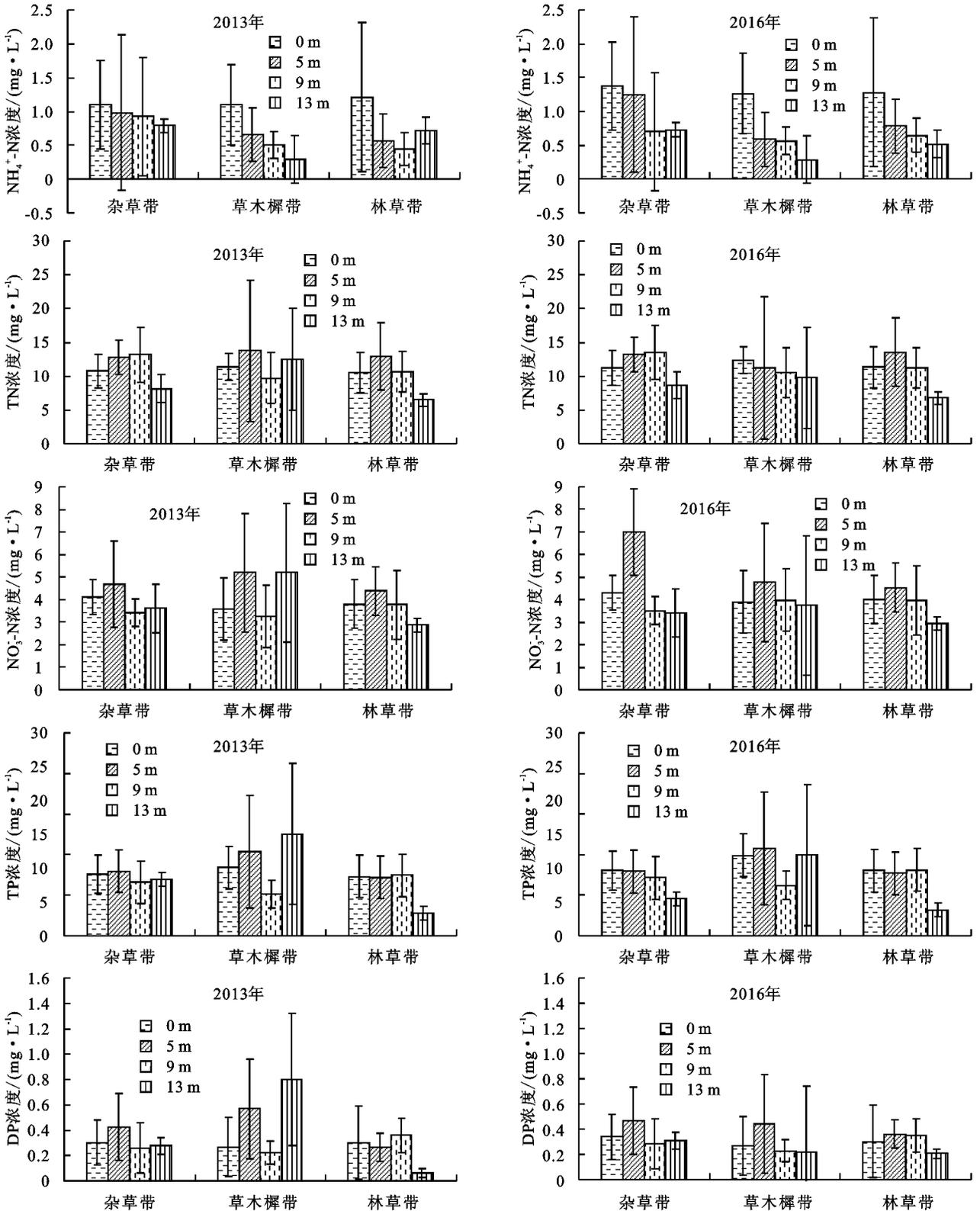


图 3 流经不同宽度河岸植被过滤带内地下渗流中非点源污染物的平均浓度

2.3 不同植物的生物量及其分配

由表 3 可知,不同类型河岸植被过滤带的植被生物量存在显著性差异($P < 0.05$)。通过 3 次的采样可知,各类型河岸植被过滤带内的植物,在不同的采样时间内,三者的生物量也有着明显的不同。杂草

的地上部分生物量和地下部分生物量分别为 0.64~0.74, 0.27~0.29 kg/m^2 , 不同采样时间,其地上部分生物量之间和地下部分之间并无显著性差异。草木犀的地上部分生物量和地下部分生物量分别为 0.71~0.91, 0.42~0.55 kg/m^2 , 2012 年地上部分的

生物量与其他年份地上部分的生物量间有显著性差异,地下部分差异不显著。枫杨的地上部分生物量和地下部分生物量分别为 6.59~12.88,2.14~7.21 kg/m²。三者之间枫杨的生物量变化最大,生物量随

着时间的增加在增长,这体现了木本植物较强的生长能力。在草本植物中草木犀的地上部分生物量和地下部分生物量都大于杂草。总体上,各植物地上部分的生物量均高于地下部分生物量。

表 2 不同类型河岸植被过滤带对污染物的截留效率

单位: %

监测项目	植被过滤带 类型	5 m		9 m		13 m		平均截留效率	
		2013 年	2016 年	2013 年	2016 年	2013 年	2016 年	2013 年	2016 年
NH ₄ ⁺ -N	杂草带	10.56	9.69	15.48	49.04	28.05	47.18	18.03	35.30
	草木犀带	39.88	53.88	53.88	55.28	73.52	77.45	55.76	62.20
	林草带	53.11	38.70	63.32	49.50	41.08	59.71	52.50	49.30
TN	杂草带	-18.88	-17.88	-22.14	-20.14	24.09	23.11	-5.64	-4.97
	草木犀带	-20.45	8.96	14.74	14.74	-9.49	20.92	-5.07	14.87
	林草带	-22.70	-20.01	-1.69	0.69	38.05	40.05	4.56	6.91
NO ₃ ⁻ -N	杂草带	-14.24	-62.75	16.81	18.56	11.88	20.42	4.82	-7.92
	草木犀带	-44.31	-22.13	8.96	-1.86	-44.44	4.20	-26.60	-6.60
	林草带	-15.47	-13.34	0.64	0.78	24.20	26.37	3.12	4.60
TP	杂草带	-4.49	1.49	12.73	11.24	8.19	43.31	5.48	18.68
	草木犀带	-23.08	-7.98	38.92	37.79	-48.74	-0.25	-10.97	9.86
	林草带	2.03	3.98	-2.07	-1.07	62.15	60.15	20.70	21.02
DP	杂草带	-40.35	-38.35	14.00	16.00	8.18	9.18	-6.04	-4.39
	草木犀带	-111.79	-63.88	17.09	15.09	-199.44	18.67	-98.05	-10.04
	林草带	11.88	-20.13	-19.00	-17.22	80.01	31.81	24.30	-1.85

表 3 各类型河岸植被过滤带内不同植物地上和地下部分生物量

植物 类型	采样 时间	地上部分 生物量	地下部分 生物量	总生物量	地上生物量/ 地下生物量
杂草	2012 年 7 月 14 日	0.64±0.13a	0.28±0.04a	0.92±0.07a	2.29a
	2013 年 7 月 13 日	0.69±0.12ab	0.27±0.06a	0.96±0.14a	2.56ad
	2016 年 7 月 20 日	0.74±0.12a	0.29±0.04a	1.03±0.06a	2.55a
草木犀	2012 年 7 月 14 日	0.71±0.09b	0.42±0.17b	1.13±0.21b	1.69b
	2013 年 7 月 13 日	0.84±0.13c	0.49±0.11b	1.33±0.19c	1.71b
	2016 年 7 月 20 日	0.91±0.04c	0.55±0.13b	1.46±0.07c	1.65b
枫杨	2012 年 7 月 14 日	6.59±1.34A	2.14±0.99A	8.73±2.14A	3.08A
	2013 年 7 月 13 日	9.97±1.78B	4.02±0.48B	13.99±2.08B	2.48B
	2016 年 7 月 20 日	12.88±1.75C	7.21±0.42C	20.09±2.01C	1.79B

注:杂草和草木犀氮磷累积量单位为 kg/m²;枫杨生物量以单株计算(kg/株);同列不同小写字母表示草本植物间差异显著(P<0.05);同列不同大写字母表示枫杨采样之间差异极显著(P<0.01)。下同。

2.4 不同植物对氮磷的累积量

由表 4 可知,杂草的地上部分 TN 和 TP 的累积量变化范围分别为 8.13~9.19,0.66~0.72 g/m²,地下部分 TN 和 TP 的累积量变化范围分别为 1.88~2.33,0.19~0.26 g/m²;草木犀的地上部分 TN 和 TP 的累积量变化范围分别为 15.21~26.78,0.72~1.27 g/m²,地下部分 TN 和 TP 的累积量变化范围分别为 5.39~

7.64,0.33~0.53 g/m²。两者地上部分的累积量明显高于地下部分的累积量。通过数据可知,草木犀地上部分与地下部分对 TN 和 TP 的累积量要远远大于杂草对其的累积量。这与草木犀的生物量大于杂草生物量有关。三者之间,枫杨的地上部分与地下部分对 TN 和 TP 的累积量最大,这主要是因为净生物量的增加,提高了枫杨对氮磷的累积能力。

表 4 各类型河岸植被过滤带内不同植物地上和地下部分氮磷累积量

植物 类型	采样 时间	TN 累积量		TP 累积量	
		地上部分	地下部分	地上部分	地下部分
杂草	2012 年 7 月 14 日	9.19±1.12a	2.33±0.19a	0.72±0.09a	0.26±0.04a
	2013 年 7 月 13 日	8.13±1.03a	1.95±0.24b	0.68±0.21a	0.19±0.08b
	2016 年 7 月 20 日	8.01±1.11a	1.88±0.21b	0.66±0.17a	0.19±0.06b
草木犀	2012 年 7 月 14 日	15.21±2.13b	5.39±0.71c	0.72±0.26a	0.33±0.10c
	2013 年 7 月 13 日	23.66±3.01c	6.98±1.22d	1.02±0.05b	0.42±0.14d
	2016 年 7 月 20 日	26.78±2.87c	7.64±0.96d	1.27±0.10c	0.53±0.33d
枫杨	2012 年 7 月 14 日	77.89±5.76A	18.38±3.16A	11.14±1.21A	2.59±0.84A
	2013 年 7 月 13 日	152.24±8.44B	44.98±2.37B	20.24±2.53B	6.07±1.19B
	2016 年 7 月 20 日	178.59±5.22C	60.87±3.23C	26.89±3.47C	9.33±0.55C

注:杂草和草木犀氮磷累积量单位为 g/m²;枫杨氮磷累积量以单株计算(g/株)。

3 讨论

河岸植被过滤带是一个土壤—植物—微生物复合的生态系统,它依据自然生态系统的物理、化学和生化反应协同作用来发挥其生态效应。它可以通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等物理、化学和生物功能使进入地表和地下水的污染程度减小^[16-17]。本研究表明,各类型河岸植被过滤带对地下渗流中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 截留效果最好,平均截留效率为 18.03%~62.20%。这可能是由于植被和土壤共同作用的结果。土壤颗粒和土壤胶体表面带有负电荷,对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 具有较强的吸附能力,使水体中大部分可交换态 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸附于土壤表面,不易发生迁移^[18-19]。此外,研究区域属人工改造河岸植被过滤带,人为干扰较大,深层土壤氮有效性较低,土壤的吸附能力并未达到饱和,在入渗作用下, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 并不易发生解吸作用^[20]。豆科植物草木犀固氮能力较强,且根系稠密发达,使径流速度减慢,延长了入渗时间,给植物—土壤—微生物足够的时间进行协同作用,增大了对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的截留作用^[21]。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的截留效果较差,主要是由于土壤的电负性其对 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的吸附能力有限;且硝态氮易发生淋失作用,是氮素淋失的主要形态^[22];另外,硝态氮必须经过转化作用才可成为植物吸收可利用的养分^[23]。河岸植被过滤带宽度为 5.9 m 时,地下渗流中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 TN 的浓度有不同程度的上升,其坡度对其截留效果有一定影响。这表明坡度的增加,养分流失量增大。河岸植被过滤带对地下渗流中磷素的截留作用并不显著,尤其对 DP 的截留作用,宽度较大时才起到一定截留效果,且草本和乔木混合的种植模式截留效果高于单一草本种植模式。已有研究^[24]表明,河岸带土壤对磷素具备很强的吸持能力,大量的磷素可被固持在土壤颗粒中。而本研究河岸植被过滤带内地下渗流中磷素主要以可溶性磷酸盐的形态存在,可溶性磷是径流水中磷流失的主要成分,这与吴建军等^[25]、Jenkins 等^[26]的研究一致。林草带对地下渗流中磷素有一定截留作用,这归结于枫杨与草木犀的叠加作用,发达的根系能够有效阻滞径流,增加地上部分对其拦截,减少入渗,并通过吸收减少磷素淋失。

河岸植被过滤带在阻控农业非点源污染过程中植物的吸收起着至关重要的作用^[27]。氮磷是植物生长所必需的营养元素,其吸收截留径流和土壤中残留的可利用化合物,能够降低土壤污染负荷^[28]。不同植物对氮磷的吸收能力不同,对氮磷等元素的累积量亦有不同差异,已有研究表明,这种差异主要来自植物的生物量,在一定的条件内,生物量越大,对氮磷的积累就越强^[29]。本研究表明,草木犀有较高的氮磷累积量,除其有较大的生物量外,其植物本身各组织器官对氮磷素吸收

作用亦有差异,这主要是豆科植物本身的固氮能力所致。分析认为林草带渗流中氮素和磷素的浓度的降低,枫杨对氮磷的积累量有较高的贡献率,这与张娟^[30]的研究结果相一致。这一现象说明,河岸植被过滤带对地下渗流中氮磷的截留过程,其中植物对氮磷的累积能力对其截留效果有显著影响。

本研究还表明,草本和木本植物地上部分对 TN 和 TP 的累积量均大于地下部分对 TN 和 TP 的累积量。这表明杂草、草木犀和枫杨对氮磷的截留作用主要取决于地上部分的生物量以及植物本身的累积能力。因此,适时对植物地上部分进行收割是将部分氮磷从河岸植被过滤带体系中去的有效途径。将植物地上部分进行收割可促进植物的再生,增大植物对氮磷等元素的积累量,同时能够有效避免植物枯萎物分解释放氮磷等对水体的二次污染^[31]。本研究中,每年 7 月份对草木犀的收割,单次可去除氮的含量范围为 15.21~26.78 g/m²,可去除磷的含量范围为 0.72~1.27 g/m²。总体上,河岸植被过滤带植被对氮磷的累积能力与面源污染物氮磷的截留效果有着密切的关系。枫杨的加入,使得林草带对氮磷的累积能力更加突出,这也是林草带对径流中氮磷有较强的截留作用的原因。

事实上,不同植被类型对氮磷的阻控作用,不仅仅涉及到植物的吸收作用,土壤吸附和根际微生物转化作用也不容忽视。植物根系及其分泌物影响土壤结构和组成,进而影响土壤对氮磷的吸收;如何区分土壤吸收及其受植被的影响是值得关注的的问题。另外,不同植被根际环境中存在有不同的功能微生物群落,微生物对氮磷转化、及其对植物生物可利用性起着关键的作用。

4 结论

(1)各类型河岸植被过滤带对地下渗流中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 截留效果最好,平均截留效率为 18.03%~62.20%。各类型河岸植被过滤带对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 截留能力大小依次为草木犀带>林草带>杂草带。13 m 宽的林草带对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 截留效率最高可达 77.45%。

(2)河岸植被过滤带对磷素截留效果不显著,13 m 宽的林草带对 TP 和 DP 的最高截留效率分别为 62.15%和 80.01%。总体上林草带对各形态氮磷截留效果最好,其次是草木犀带。

(3)各类型植被过滤带中植物对氮磷的累积能力大小依次是枫杨>草木犀>杂草。这与植被过滤带对各形态氮磷截留效率的大小顺序基本一致,这说明植物在截留面源污染物发挥了一定的作用。7 月份对草木犀地上部分进行收割,单次可去除氮的含量范围为 15.21~26.78 g/m²,磷的含量范围为 0.72~1.27 g/m²。

参考文献:

- [1] Volk M, Bosch D, Nangia V, et al. SWAT: Agricultural water and nonpoint source pollution management at a watershed scale [J]. *Agricultural Water Management*, 2016, 175:1-3.
- [2] 李贵圆,范昊明. 冻融作用对农田磷素转化迁移影响研究进展[J]. *中国水土保持科学*, 2011, 9(6):114-120.
- [3] 高海鹰,刘佳,徐进. 湖滨带复合型人工湿地氮磷的去除效果[J]. *生态环境学报*, 2007, 16(4):94-99.
- [4] 郑培生,金福杰,问青春. 辽河流域农业面源污染结构与格局特征分析[J]. *科技创新导报*, 2012(29):154-156.
- [5] Schoonover J E, Williard K W J, Zaczek J J, et al. Agricultural sediment reduction by giant cane and forest riparian buffers [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2006, 169(1):303-315.
- [6] Owens P N, Duzant J H, Deeks L K, et al. Evaluation of contrasting buffer features within an agricultural landscape for reducing sediment and sediment associated phosphorus delivery to surface waters [J]. *Soil Use and Management*, 2007, 23(S1):165-175.
- [7] 马建,鲁彩艳,史奕,等. 辽河流域上游农田水土流失非点源污染生态拦截控制技术与效果[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2009, 25(3):299-301.
- [8] Helmers M J, Zhou X, Asbjornsen H, et al. Sediment removal by prairie filter strips in row-cropped ephemeral watersheds [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2012, 41(5):1531-1539.
- [9] Yang F, Yang Y, Li H, et al. Removal efficiencies of vegetation-specific filter strips on nonpoint source pollutants [J]. *Ecological Engineering*, 2015, 82:145-158.
- [10] Peak S, Gil K. Correlation analysis of factors affecting removal efficiency in vegetative filter strips [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(1):1-8.
- [11] 钱进,王超,王沛芳,等. 坡度对入渗河岸带表土层氮素截留效果的影响[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(5):489-493.
- [12] 李晓娜,张国芳,武美军,等. 不同植被过滤带对农田径流中泥沙和氮磷的拦截效果与途径[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(3):39-44.
- [13] Pan D, Gao X, Dyck M, et al. Dynamics of runoff and sediment trapping performance of vegetative filter strips: Run-on experiments and modeling [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 593:54-64.
- [14] 何聪,刘璐嘉,王苏胜,等. 不同宽度草皮缓冲带对农田径流氮去除效果研究[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(4):55-58.
- [15] 王敏,吴建强,黄沈发,等. 不同坡度缓冲带径流污染净化效果及其最佳宽度[J]. *生态学报*, 2008, 28(10):4951-4956.
- [16] Shin J, Gil K. Determination of removal efficiency using vegetative filter strips based on various efficiency evaluation methods [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(10):6437-6444.
- [17] 汤家喜,孙丽娜,孙铁珩,等. 河岸缓冲带对氮磷的截留转化及其生态恢复研究进展[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(8):1514-1520.
- [18] 张鹏,黄玲玲,魏远,等. 河岸缓冲带硬头黄竹人工林对降水再分配及氮、磷养分的影响[J]. *西南林业大学学报*, 2010, 30(3):1-5.
- [19] 孟鲁伟. 河岸植被土壤系统对氮素削纳的研究[D]. 厦门:厦门大学, 2009.
- [20] Iqbal J, Parkin T B, Helmers M J, et al. Denitrification and nitrous oxide emissions in annual croplands, perennial grass buffers, and restored perennial grasslands [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2015, 79(1):239.
- [21] Heinen M, Noij I G, Heesmans H I, et al. A novel method to determine buffer strip effectiveness on deep soils [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2012, 41(2):334-347.
- [22] 高海鹰,黄丽江,张奇,等. 不同降雨强度对农田土壤氮素淋失的影响及 LEACHM 模型验证[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4):1346-1352.
- [23] Handley L L, Raven J A. The use of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology [J]. *Plant Cell & Environment*, 2006, 15(9):965-985.
- [24] 刘超,毕春娟,陈振楼,等. 河岸带土壤对不同 pH 雨水中截留磷的影响[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(5):3233-3238.
- [25] 吴建军,李娟,李荣斌,等. 施肥措施及灌木缓冲带对雷竹林不同形态磷流失及雷笋产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2015, 29(6):53-58.
- [26] Jenkins J G, Sims J T. Characterizing the potential of vegetated filter strips to retain dissolved phosphorus using rapid measures of soil P saturation [J]. *Journal of Soil & Water Conservation*, 2012, 67(2):134-145.
- [27] Warsaw A L, Fernandez R T, Dan R K, et al. Remediation of metalaxyl, trifluralin, and nitrate from nursery runoff using container-grown woody ornamentals and phytoremediation areas [J]. *Ecological Engineering*, 2012, 47(5):254-263.
- [28] Benoit P, Barriuso E, Vidon P, et al. Isoproturon movement and dissipation in undisturbed soil cores from a grassed buffer strip [J]. *Agronomie*, 2001, 20(3):297-307.
- [29] 余红兵,肖润林,杨知建,等. 5 种水生植物生物量及其对生态沟渠氮、磷吸收效果的研究[J]. *核农学报*, 2012, 26(5):798-802.
- [30] 张娟. 枫杨、垂柳对水体中氮磷污染的净化效果研究[D]. 南京:南京林业大学, 2011.
- [31] 姜翠玲,范晓秋,章亦兵. 非点源污染物在沟渠湿地中的累积和植物吸收净化[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(7):1351-1354.