

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.05.003

坡度对入渗河岸带表土层氮素截留效果的影响

钱进^{1,2},王超^{1,2},王沛芳^{1,2},侯俊^{1,2},高越超²

(1.河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室,江苏 南京 210098;

2.河海大学环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:利用自制的土槽装置,室内模拟入渗氮素在不同坡度河岸带表土层中的运移过程.通过观测取样点在不同坡度条件下渗流水体出流时间以及水体中 TN, NH_4^+-N 浓度,探讨不同坡度河岸带土壤水分运移特性以及坡度对入渗河岸带表土层氮素截留效果的影响.试验结果表明:河岸带坡度越小,入渗水流在表土层中的停留时间越长,河岸带表土层对氮素的截留效果越好,但土层深度不同,截留效果差别较大.坡度越大,河岸带表土层对氮素的截留效果越差,但土层深度不同,净化效果差别不大.坡度大小与 NH_4^+-N, TN 截留率之间存在极其显著的指数相关关系.

关键词:河岸带 表土层 坡度 氮素 截留率

中图分类号: S152.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2011)05-0489-05

河岸带对地表径流以及入渗表土层壤中流中的非点源污染物有显著的截留净化作用^[1-5].可溶态非点源污染物的去除主要发生在河岸带表土层.渗透到河岸带表土层土壤中的氮磷,可通过植物吸收、微生物固定、反硝化作用以及土壤吸附等过程实现截留与转化^[6].坡度作为影响河岸带对径流及壤中流中氮磷截留效果的重要变量备受关注.近年来,国内外众多学者通过野外试验研究了坡度与河岸带氮磷截留效果之间的相互关系,并取得了大量的研究成果^[7-14].但这些研究野外试验较多而室内模拟较少,针对地表径流较多而壤中流较少,探索不同坡度条件下截留效果差异性的较多而寻求坡度与截留效果之间响应关系的较少.

为了减少野外试验不可预见因素的影响,笔者自制土槽装置,室内模拟河岸带‘土壤-植物-微生物’系统,在分析水分非饱和入渗运移特性的基础上,剖析坡度对入渗河岸带表土层氮素截留效果的影响,寻求坡度与入渗河岸带表土层氮素截留效果之间的响应关系,为河岸带适宜宽度的确定以及河岸带综合治理、修复与设计提供理论依据.

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

本文试验由 4 个土槽并联组成,每个土槽尺寸均为 120 cm × 40 cm × 30 cm(图 1),且种植不同的植物.土

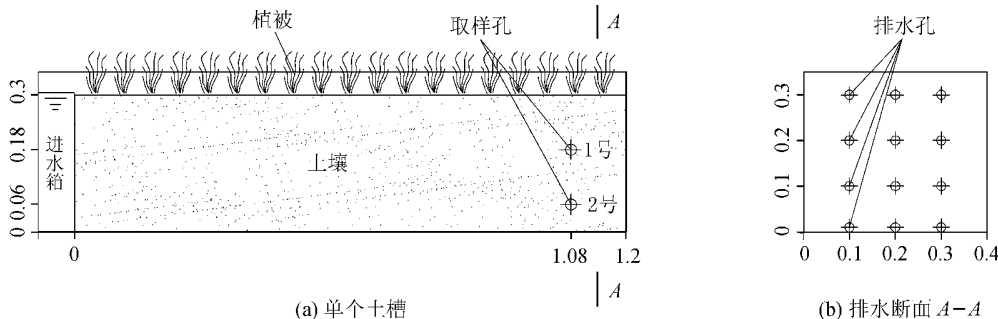


图 1 单个土槽及排水断面示意图(单位:m)

Fig. 1 Sketch of a soil tank and drainage section (units :m)

收稿日期:2011-03-19

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2008CB418203) 国家自然科学基金(50909035) 江苏省自然科学基金(BK2010076) 中央高校基本科研业务费专项资金(2009B17214)

作者简介:钱进(1974—),男,江苏海安人,讲师,博士,主要从事水污染控制与水生态修复研究. E-mail: qhj@hhu.edu.cn

槽由聚乙烯焊接而成,土槽前端的进水箱与主体土槽连成一体,后端边壁上开排水孔,侧端边壁上开取样孔.试验时人工配置污水在流量计和蠕动泵的控制下,通过进水箱漫流进入土槽中.根据试验需要,抬高土槽进水端,可形成试验要求的不同坡度.

1.2 试验材料

1.2.1 土壤

土槽中填置的土壤为人工扰动土,采自长江江心洲河滩的细砂和河海大学花房里用于花卉栽培的壤土.两者分别晒干筛分后,以 1:10 的比例混合均匀,分层填入土槽,每填 10 cm 压实 1 次,使得土壤均匀分布.填土时特别注意边壁上土壤的压实程度,不留孔隙,避免污水从大孔隙直接流出.试验土壤为均质砂壤土,土粒相对密度为 2.63,有机质含量较高.装填土壤颗粒组成为:粒径 2~5 mm 的质量分数为 4.18%,粒径 1~2 mm 为 2.20%,粒径 0.5~1 mm 为 17.07%,粒径 0.25~0.5 mm 为 14.25%,粒径 0.1~0.25 mm 为 29.21%,粒径 0.075~0.1 mm 为 7.06%,粒径 0.005~0.075 mm 为 23.22%,粒径小于 0.005 mm 为 2.81%.

1.2.2 植物的选择及生长情况

选择种植狗牙根、黑麦草、高羊茅 3 种河岸带常见植物进行对比试验.狗牙根播种量为 15 g/m²,黑麦草播种量为 25 g/m²,高羊茅播种量为 35 g/m².试验时,三者长势良好,种植狗牙根的土槽植被覆盖度约 75%,种植黑麦草和高羊茅的土槽植被覆盖度达到 95% 以上.试验时 3 种植物的根系平均长均约 10 cm.

1.3 试验方法

试验正式开始前,向土槽中连续以小负荷进自来水渗流 14 d,使土壤充分饱水,以改善土壤的孔隙结构,同时使得土槽中土壤各部分氮的本底浓度接近.然后停止进水 7 d 后开始试验.试验前土壤初始含水率约为 10%.试验时室温 22~27℃.

设置土槽坡度分别为 1:10,1:5,1:3,1:2 进行试验.试验开始时,调节流量计,保持每个土槽进水流量为 7.5 L/h.在试验过程中,将每个取样点的活动夹打开,记录每个取样点水样首次流出水体的时间.当 2 号点开始流出水体时停止进水,试验 11 h 时将每个土槽 1 号、2 号取样点的活动夹打开放水 2 min,然后取水样化验.水样检测指标为氨氮(NH₄⁺-N)、总氮(TN),分析方法参照《水和废水监测分析方法》^[15].实测进水水质见表 1.

表 1 试验污水主要污染物质量浓度
Table 1 Main pollutant concentrations of experimental water

坡度	$\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
1:10	5.86	12.27
1:5	5.04	11.56
1:3	5.29	12.13
1:2	5.55	11.88

2 试验结果与分析

2.1 不同坡度土壤水分运移特性

种植高羊茅的土槽在不同坡度条件下 1 号、2 号取样点初始出流时间见图 2.从图 2 可以看出,距土壤表面不同深度的 1 号、2 号取样点,其初始出流时间均表现为坡度越小,出流时间越长.如 1 号点,坡度 1:10 条件下初始出流时间约为坡度 1:2 条件下的 3 倍.该现象表明,在入渗流量、植被等其他因素不变的情况下,坡度影响入渗水流在土槽中的停留时间,进而影响了各取样点的初始出流时间.

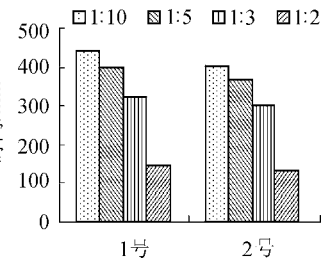


图 2 高羊茅土槽不同坡度取样点初始出流时间
Fig. 2 Initial outflow time of sampling points in tall fescue soil tank under different slopes

2.2 不同坡度条件下氮素的截留效果

不同坡度条件下,NH₄⁺-N,TN 的截留效果如图 3 所示.从图 3 可以看出,无植被裸地以及种植狗牙根、黑麦草、高羊茅的 4 个土槽 NH₄⁺-N,TN 的截留率均随坡度的增大而降低.如种植黑麦草的土槽,在坡度 1:10 条件下,1 号取样点 NH₄⁺-N,TN 的截留率分别高达 72.12%,76.37%,而坡度 1:2 条件下则分别为 18.77%,19.79%.而且,NH₄⁺-N,TN 截留率的变化与坡度的变化不呈线性关系,表现为 NH₄⁺-N,TN 截留率降低的幅度随坡度的变大而增加.

该试验结果与吴建强^[12]在上海野外进行的试验结果一致,这种现象的产生主要是由不同坡度条件下入渗水流在土槽中停留时间的不同引起的.入渗水流在土槽中的停留时间影响污染物的截留效果,坡度越小,停留时间越长,截留效果越好.

□1:10 ▨1:5 ▩1:3 ▪1:2

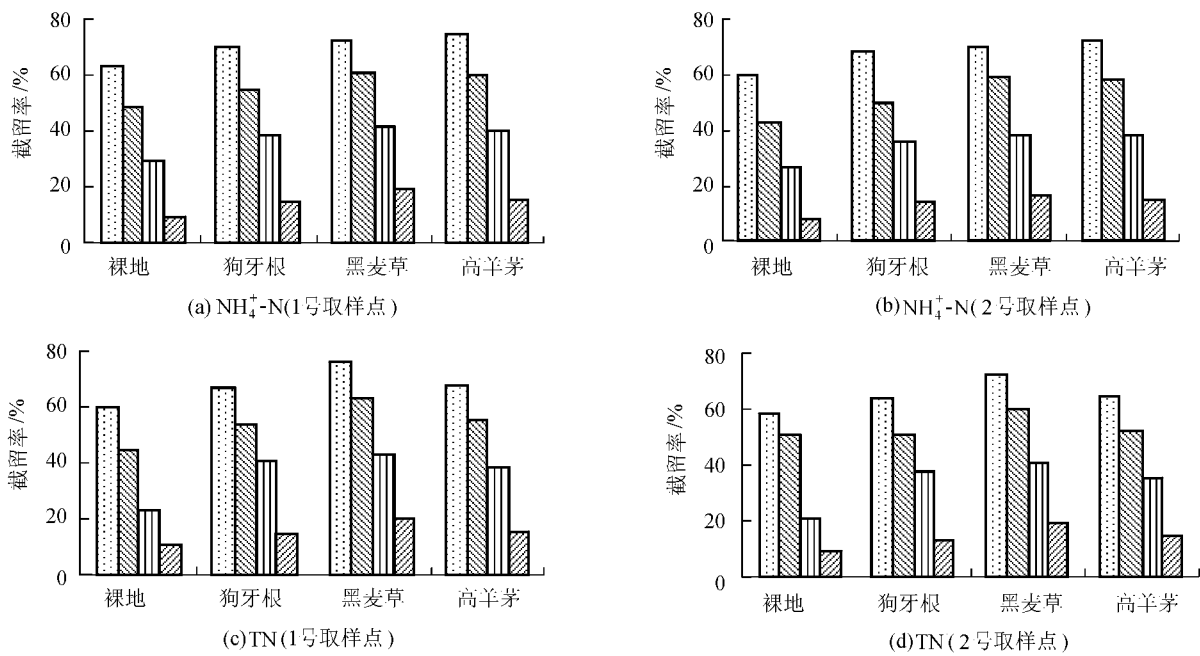


图 3 不同坡度对氮素的截留效果

Fig. 3 Nitrogen retention rates under different slopes

2.3 坡度对不同深度氮素截留效果的影响

无植被裸地以及种植狗牙根、黑麦草、高羊茅的 4 个土槽 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 在 1 号、2 号取样点的截留率平均值见表 2.

从表 2 可以看出,坡度越小,氮素的截留效果越好,但不同土层深度的截留效果差别较大.坡度越大,氮素的截留效果较差,但不同土层深度的净化效果差别却较小.

该结果可以进一步说明坡度是影响入渗氮素在河岸带表土层中截留效果的重要因素,同时也表明,在表土层,坡度对氮素截留效果的影响远远大于土层深度对氮素截留的影响.

2.4 坡度与氮素截留率的响应关系

从本文分析发现,坡度的大小对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率有着重要的影响.现将不同植物土槽每个取样点同一坡度的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率进行算术平均,将所得平均截留率视作每个取样点该坡度下 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 的截留率,然后寻求坡度与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率之间的响应关系.坡度与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率的响应关系见图 4.

表 2 不同土槽取样点氮素平均截留率
Table 2 Average nitrogen retention rates of sampling points in different soil tanks

坡度	取样点	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$		TN	
		平均截留率/%	差值/%	平均截留率/%	差值/%
1:10	1 号	69.8	2.6	67.9	2.8
	2 号	67.2		65.1	
1:5	1 号	55.8	3.5	54.7	1.4
	2 号	52.3		53.3	
1:3	1 号	37.3	2.7	36.8	3.2
	2 号	34.6		33.6	
1:2	1 号	14.7	1.3	15.2	1.2
	2 号	13.4		14.0	

◇1号取样点 □2号取样点

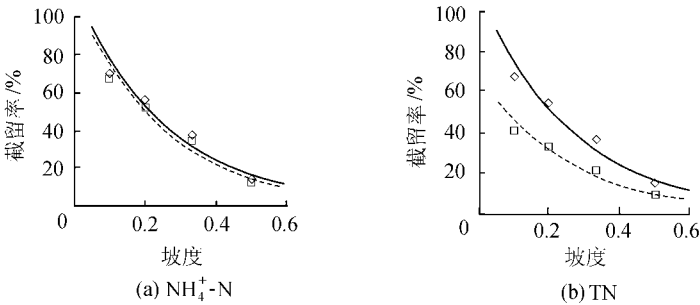


图 4 坡度与氮素截留率的响应关系

Fig. 4 Response relationship between slope and nitrogen retention rate

通过趋势线分析发现,每个取样点坡度大小与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率之间均存在极其显著的指数相关关系. 1号取样点 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 截留率(y)与坡度(x)的相关关系为

$$y = 115.28e^{-3.8981x} \quad (R^2 = 0.9599)$$

2号取样点 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 截留率(y)与坡度(x)的相关关系为

$$y = 111.75e^{-4.0268x} \quad (R^2 = 0.9643)$$

1号取样点 TN 净化率(y)与坡度(x)的相关关系为

$$y = 109.67e^{-3.7479x} \quad (R^2 = 0.9625)$$

2号取样点 TN 净化率(y)与坡度(x)的相关关系为

$$y = 67.412e^{-3.8559x} \quad (R^2 = 0.9673)$$

当坡度大于 1:2 时, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率变化不大, 当坡度小于 1:10 时, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率增大幅度有限.

3 结 论

a. 坡度影响入渗水流在土壤表土层中的停留时间, 坡度越小, 入渗水流在表土层中的停留时间越长.

b. 坡度越小, 河岸带表土层对氮素的截留效果越好, 但不同土层深度的截留效果差别较大. 坡度越大, 河岸带表土层对氮素的截留效果越差, 但不同土层深度的净化效果差别不大.

c. 河岸带表土层对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 的截留率随坡度的增加而降低, 坡度大小与 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN 截留率之间存在极其显著的指数相关关系.

参考文献:

- [1] 夏继红, 严忠民. 生态河岸带研究进展与发展趋势[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2004, 32(3): 252-255. (XIA Ji-hong, YAN Zhong-min. Advances in research of ecological riparian zones and its trend of development[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2004, 32(3): 252-255. (in Chinese))
- [2] 岳隽, 王仰麟. 国内外河岸带研究的进展与展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(5): 33-40. (YUE Jun, WANG Yang-lin. Progresses and perspectives in the study of riparian zone[J]. Progress in Geography, 2005, 24(5): 33-40. (in Chinese))
- [3] 钱进, 王超, 王沛芳, 等. 河湖滨岸缓冲带净污机理及适宜宽度研究进展[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 139-144. (QIAN Jin, WANG Chao, WANG Pei-fang, et al. Research progresses in purification mechanism and fitting width of riparian buffer strip[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(1): 139-144. (in Chinese))
- [4] MAHESH S, ROY R G. Modeling the effects of riparian buffer zone and contour strips on stream water quality[J]. Ecological Engineering, 2009, 35: 1167-1177.
- [5] RATY M, UUSI-KAMPPA J, YLI-HALLA M, et al. Phosphorus and nitrogen cycles in the vegetation of differently managed buffer zones[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86(1): 121-132.
- [6] 王庆成, 于红丽, 姚琴, 等. 河岸带对陆地水体氮素输入的截流转化作用[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2611-2617. (WANG Qing-cheng, YU Hong-li, YAO Qin, et al. Retaining and transformation of incoming soil N from highland to adjacent terrestrial waterbody in riparian buffer zone[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2611-2617. (in Chinese))
- [7] 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. (in Chinese))
- [8] 张鹏, 张旭东, 黄玲玲. 不同宽度硬头黄竹林河岸缓冲带对地表径流的拦截效应[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 23-27. (ZHANG Peng, ZHANG Xu-dong, HUANG Ling-ling, et al. Interception effect of surface runoff on different width Bambusa rigida Keng riparian buffer strips[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(6): 23-27. (in Chinese))
- [9] 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研究[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 1-6. (WANG Min, WU Jian-qiang, HUANG Shen-fa, et al. Effects of slope and width of riparian buffer strips on runoff purification[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 1-6. (in Chinese))
- [10] LU Hai-ming, YIN Cheng-qing. Shallow groundwater nitrogen responses to different land use managements in the riparian zone of Yuqiao Reservoir in North China[J]. Journal of Environmental Science, 2008, 20(6): 652-657.
- [11] DUCHEMIN M, HOGUE R. 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 & Environment, 2009, 131(1/2): 85-97.

[12] 吴建强.不同坡度缓冲带滞缓径流及污染物去除量化[J].水科学进展,2011,22(1):112-117. (WU Jian-qiang. Quantitative study of the damping effect of buffer strips with different slopes on runoff and pollutant removal efficiency[J]. Advances in Water Science, 2011,22(1):112-117. (in Chinese))

[13] 钱进,王超,王沛芳,等.基于层次分析法的河湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价[J].水资源保护,2008,24(6):76-79. (QIAN Jin,WANG Chao,WANG Pei-fang,et al. Evaluation of width suitability of riparian buffer strip based on AHP[J]. Water Resources Protection,2008,24(6):76-79. (in Chinese))

[14] 杨士红,彭世彰,徐俊增,等.不同水肥处理对稻田土壤中氮素剖面分布与氨挥发损失的影响[J].水利水电科技进展,2010,30(1):44-48. (YANG Shi-hong,PENG Shi-zhang,XU Jun-zeng,et al. Influences of different water and fertilizer treatments on distribution of nitrogen profiles and loss of ammonia volatilization in soils of paddy fields[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2010,30(1):44-48. (in Chinese))

[15] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].北京:中国环境科学出版社,2002:243-258.

Influence of slope on retention effect of nitrogen infiltrated into topsoil layer of riparian zones

QIAN Jin^{1, 2}, WANG Chao^{1, 2}, WANG Pei-fang^{1, 2}, HOU Jun^{1, 2}, GAO Yue-chao²

(1. *Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China* ;
2. *College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract : Experimental simulation of transport process of nitrogen infiltrated into the topsoil layer of riparian zones was performed using self-made soil tanks. Through monitoring the outflow time series and nitrogen concentrations in different sampling points under different slopes, the transport characteristics of soil water and the influence of slope on the retention rates of total nitrogen (TN) and ammonia (NH₄⁺-N) in the topsoil layer of riparian zones were studied. The results indicate that the less the slope of the riparian zone, the more the detention time of water in topsoil layer, the better the retention effect of TN and NH₄⁺-N in the topsoil layer of riparian zones, and there are great differences in retention effects between TN and NH₄⁺-N in different depths of the topsoil layer, and vice versa. In addition, there is a significant exponential correlation between the slope and the retention rates of TN and NH₄⁺-N.

Key words : riparian zone ; topsoil layer ; slope ; nitrogen ; retention rate