

河岸带植被对非点源氮、磷以及悬浮颗粒物的截留效应

赵警卫, 胡彬

(中国矿业大学 艺术与设计学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 选取草地河岸带和人工林地河岸带, 开展了人工模拟农田施肥和径流污染物截留效果的现场试验。分别采集地表径流和渗透水水样, 测定分析了总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH₄-N)以及固体颗粒物的浓度。结果表明, 草地河岸带对地表径流 TP 的截留效果显著优于林地河岸带, 草地和林地河岸带对氮元素的截留效果趋于一致; 河岸带对地表径流和渗透水中 TN, TP 和 NH₄-N 的截留率是相似的; 草地河岸带对固体颗粒物的截留效果优于林地河岸带; 河岸带越宽, 其截污功能越强; 人为干扰造成了人工林地河岸带截污能力的减弱。并提出了河岸带管理的相关建议。

关键词: 河岸带; 植被类型; 河岸带宽度; 非点源污染

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0051-05

中图分类号: Q149

Interception of Non-point Source N and P and Suspended Solid Matter by Riparian Vegetation

ZHAO Jing-wei, HU Bin

(School of Art and Design, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: To understand pollutant purification effects of riparian buffer, field experiments with simulated farmland fertilization were conducted on riparian buffer strips of grass and planted forest, respectively. The surface runoff water and seeped water were collected and analyzed for total phosphorus(TP), total nitrogen(TN), ammonia nitrogen(NH₄-N) and suspended solid matter. The results show that the grass riparian buffer were significant better than the planted forest riparian buffer in terms of phosphorus removal in surface runoff water, while both of the buffer strips were similar in terms of nitrogen interception. Planted forest showed similar efficiency for the interception of TN, TP and NH₄-N in both surface runoff and seeped underground water. The grass riparian buffer was superior to the artificial forest in terms of removing suspended solid matter. As expected, more pollutants were removed with wider riparian buffer. Human disturbances might be the main reason of weak pollutant removing ability of artificial forest riparian buffer. Finally, this study provided some practical suggestions for riparian buffer management.

Keywords: riparian buffer strip; types of vegetation; riparian width; non-point pollution

随着经济发展和人口增加, 世界范围内水体污染日趋严重, 已经成为限制经济社会发展和威胁人类健康的重大环境问题。根据污染物来源的形式, 可把水体污染分为点源污染和非点源污染。相对而言, 点源污染一般容易控制和治理, 而非点源污染由于污染源的广域性、影响因素的复杂性, 较难控制和治理^[1]。水体污染物种类繁多, 由氮、磷等营养元素的大量输入导致的水体富营养化是水体污染重要的表现形式之一^[2], 而农业生产活动是氮、磷污染的重要来源, 具有域广、量大、分散、以非点源污染为主等特点。如何

有效地控制氮、磷污染已成为当前水体环境保护的重要任务^[3]。目前, 我国对水体的治理以点源污染为主, 而非点源污染引起的问题越来越突出, 成为导致我国江、河、湖、水库等水体水质不断下降的重要原因^[4-5]。

居于水陆交界处的河岸带对净化河流水质具有重要作用, 对水体非点源污染有较强的控制作用^[6], 尤其对于营养物质的截留具有较高的效率^[7]。河岸带植被对于营养物质的截留效率受到污染物种类、植被类型、河岸带宽度等因素的影响。关于河岸带植被

对于不同的污染物种类的截留效果,学者之间的意见并不完全相同。Palone 和 Todd^[8]研究发现,河岸带植被对氮、磷的截流效果基本相同,而 Mander 等^[9]认为河岸带植被对氮的截流效果要大于对磷的截流作用。学者对于河岸带植被类型对于截污能力的影响主要对比研究了森林和草地,但也没有形成一致的结论,Hefting 等^[10]认为森林河岸带的截污能力要远大于草地河岸带,原因在于森林河岸带具有较多的可利用态有机碳,使得反硝化作用更为强烈,同时森林植被根系分布范围更广,加大了植物吸收范围;而另外一些学者认为森林和草地河岸带的截污能力基本一致^[11-13]。在河岸带宽度对于污染物截留的影响方面,学者的研究结论基本一致。一般认为,在其它条件一致的前提下,河岸带植被越宽,截污能力越强,如 Dillaha 等^[12]在美国弗吉尼亚州的研究发现,9.1 m 宽的草地河岸带可消除 84% 的悬浮颗粒物,但宽度减小到 4.6 m 时,消除率降为 70%,地表径流中总氮的截留率也从 73% 减少到 54%;Vought 等^[14]研究发现,河岸带宽度由 8 m 增加到 16 m 时,地表径流中硝态氮清除率由 20% 增加到 50%。

已有的对于河岸带植被截污能力的研究多是对自然植被而开展的。而在我国,尤其是我国的人口稠密地区,自然河岸带植被多被改造成具有一定经济功能的人工河岸带植被,如以生产木材为主要目的的人工林河岸带。这些深受人类活动影响的人工河岸带植被截污能力如何等方面研究还开展的较少。本研究选择发源于江苏省徐州市的奎河的河岸带植被为研究对象,人工模拟农田施肥,比较人工林和自然草地两种植被类型对氮、磷的截留效率,以期为河流生态系统恢复及河岸带植被的保护、管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地选择

选择江苏省徐州市铜山区三堡镇奎河东侧的河岸带为试验地,该地位于徐州市主城区南侧,距离市区约 10 km。徐州市年平均气温 14 °C,全年无霜期 220 d,多年平均降雨量 880 mm,且主要集中在 6—9 月份,约占全年总降雨量的 56%。奎河发源于江苏省徐州市云龙湖,全长 76 km,流域面积 1 231 km²。试验场地所在的河段,2009 年 6 月底河道水面宽为 34 m,单侧河岸带宽 37 m(自水陆交界线至防洪堤中心线),河岸带的坡度约为 1.8%。

1.2 试验样地

奎河河岸带的植被主要为人工栽植的意大利杨

(*Populus euramevicana*),试验地所在的位置有一输电线路的高压走廊,高压走廊下方(宽度约 150 m)是自然生长的草本植物。在两种典型植被区域分别设置 3 个样地,记为林地和草地,共 6 个样地,任何 2 个样地相距均大于 30 m。林地的植被状况为:意大利杨(4 年生,平均胸径为 7.4 cm,株行距为 4 m×4 m,2009 年 6 月底的郁闭度为 55%);下层草本的覆盖度平均为 75%,主要种类有:狗牙根(*Cynodon dactylon*),一年蓬(*Erigeron annuus*),律草(*Humulus scandens*),茅草(*Imperata cylindrica*)。草地的植被状况为:有少量意大利杨植物幼苗(覆盖度低于 5%),植被总的覆盖度为 90%,主要草本植物有:狗牙根、一年蓬、律草、马唐(*Digitaria sanguinalis*)。

1.3 试验方法

1.3.1 样地设置 在 6 个样地中分别设置横向的 4 个 4 m×5 m 的模拟施肥区,4 个施肥区的高程完全一致,同时施肥区之间用防渗膜隔离,以保证各施肥区的相互独立。在每个施肥区靠近河流的一侧纵向设置宽度为 1 m,长度分别为 0,5,10 和 15 m 的缓冲带,缓冲带边缘用防渗膜隔离,以防缓冲带外水流的影响。在每个缓冲带末端开挖一长宽深为 1.4 m×1.0 m×0.6 m 收集池,以收集地表径流,为避免渗透水的影响,收集池底部和四周都作了防渗处理;在模拟施肥区的下方 0,5,10 和 15 m 处,每处设置一个土壤渗透水采集器,埋深为 50 cm。为了尽量减轻试验地设置对环境的干扰,在试验场地布置好后,静置 2 周后在施肥区进行施肥,施肥后即进行采样分析。试验进行期间设专人看护,避免人为或动物对试验场地的干扰和破坏。

1.3.2 施肥处理 在施肥区深挖 30 cm,并将植物体全部弃置,以点施的方法在每个施肥区(20 m²)分别施入尿素 CO(NH₂)₂ 8kg 和磷酸二铵(NH₄)₂PO₄ 6 kg。

1.3.3 样品采集和分析 在每一次降雨停止后的 12 h 内采集地表径流收集池内的水样,放进便携式冷藏箱中(温度保持在 0~4 °C),带回实验室放置于冰箱中,并在 24 h 内对样品进行分析。渗透水的采集每 10 d 进行一次。分别将草地和林地内的 3 个重复相应距离的样品等量混合后进行各种指标的测定和分析。

测定指标主要有 TP, TN, NH₄-N 和固体颗粒物浓度。水样中 TP, TN, NH₄-N 的测定分别采用钼酸铵分光光度法、碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法、水杨酸分光光度法进行。固体颗粒物的测定采用

过滤纸过滤,烘干后,测量滤纸过滤前后的重量变化值,此值与水样体积的比值即为颗粒物浓度。所有测定均重复 3 次,取均值。

本试验选择在当地的雨季(2009 年 6—9 月)进行,6 月上旬样地布置完成,6 月下旬施肥并开始采样分析。共分析地表径流水样 8 次,渗透水水样 7 次。

1.4 数据分析

数据采用 Excel 软件对数据进行整理及统计分析,并用 SPSS 17.0 软件进行不同处理的差异性分析。所有数据取多次重复的平均值(地表径流 8 次水样,渗透水 7 次水样均作为重复处理)。

2 结果分析

2.1 不同河岸带植被类型对径流中 TP, TN 和 NH₄-N 的截留

如图 1 所示,林地和草地河岸带在 0,5,10 和 15 m 宽度的河岸带上,它们的地表径流 TN, NH₄-N 以及渗透水 NH₄-N 无论是浓度还是截留率,其变化均较为接近;与林地相比,草地河岸带对渗透水 TP 的截留率除在 15 m 时差异较明显外,其他宽度上是相似的;草地河岸带对渗透水 TN 的截留率在 5 m 宽河岸带上小于林地,而在 10 和 15 m 宽的河岸带上大于林地,通过单因素 ANOVA 分析,林地和草地河岸带对于地表径流 TN, NH₄-N 以及渗透水

TN, TP, NH₄-N 的截留率没有显著差异(表 1)。林地和草地河岸带最大的区别在于对地表径流 TP 的截留效果上,草地河岸带对于地表径流 TP 的截留率在 5,10 和 15 m 时均显著大于林地,且在 10 m 时相差最大,单因素 ANOVA 分析显示,林地和草地河岸带对地表径流 TP 的截留效果存在显著差异(表 1)。

2.2 河岸带植被对地表径流和渗透水中 TP, TN, NH₄-N 的截留

如图 1 所示,在不同宽度的河岸带上,无论草地还是林地,其地表径流 TP 的浓度均大于渗透水 TP 的浓度,而地表径流 TN 和 NH₄-N 的浓度均小于渗透水 TN 和 NH₄-N 的浓度。从截留率来看,林地河岸带对地表径流 TN 的截留率在 5 和 10 m 时大于对渗透水 TN 的截留率,在 15 m 时基本相同;林地河岸带对地表径流 TP, NH₄-N 的截留率在各宽度河岸带上均小于对渗透水 TP, NH₄-N 的截留率。草地河岸带对地表径流 TN, NH₄-N 的截留率在各宽度河岸带上均小于对渗透水 TN, NH₄-N 的截留率;草地河岸带对地表径流 TP 的截留率在各宽度河岸带上均大于对渗透水 TP 的截留率。不过,单因素 ANOVA 分析显示,无论对于林地还是草地河岸带,地表径流中污染物的截留与渗透水中污染物的截留率都没有显著差异(表 2)。

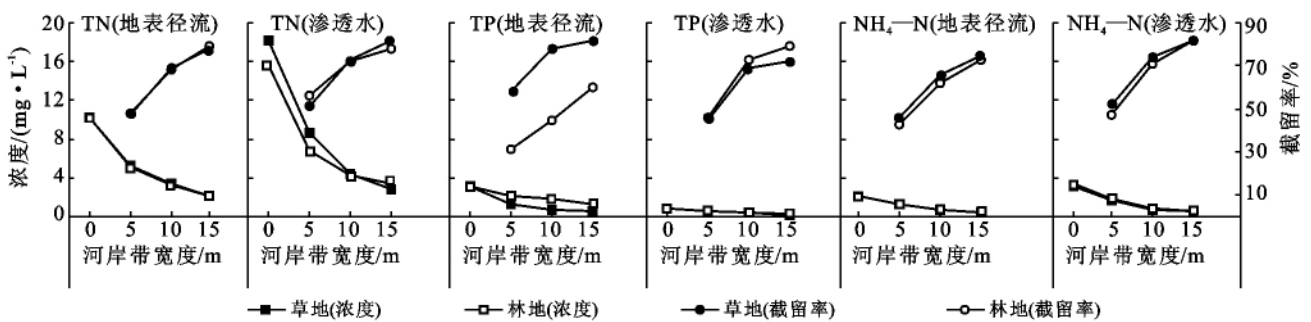


图 1 河岸带植被类型和河岸带宽度对 TP, TN, NH₄-N 浓度以及截留率的影响

表 1 草地河岸带与林地河岸带对污染物过滤效果的差异性分析(单因素 ANOVA)

项目	F 值	显著性
TN(地表径流)	0.001	0.981 > 0.05
TN(渗透水)	0.000	1.000 > 0.05
TP(地表径流)	8.787	0.041 < 0.05
TP(渗透水)	0.091	0.778 > 0.05
NH ₄ -N(地表径流)	0.060	0.819 > 0.05
NH ₄ -N(渗透水)	0.038	0.855 > 0.05

表 2 不同径流方式(地表径流、渗透水)污染物过滤效果的差异性分析

项目	F 值	显著性
TN(草地)	0.094	0.774 > 0.05
TN(林地)	0.107	0.760 > 0.05
TP(草地)	1.096	0.354 > 0.05
TP(林地)	2.809	0.169 > 0.05
NH ₄ -N(草地)	0.318	0.603 > 0.05
NH ₄ -N(林地)	0.293	0.617 > 0.05

2.3 不同宽度河岸植被带对 TP, TN, NH₄-N 的截留

由图 1 可知,无论哪种径流方式和污染物种类,随着河岸带植被宽度的增加,污染物浓度表现为不断降低,而河岸带植被对污染物的截留率表现为不断提高,说明草地和林地河岸带都能起到了截留非点源污染的作用。在不考虑径流方式和植被类型的情况下,5 m 宽的河岸带对 TP, TN, NH₄-N 的平均截留率超过了 46%, 10 m 达到 66%, 而 15 m 接近 80% 的污染物被河岸带植被截留(图 2)。由图 2 可知,在仅考虑宽度一个因素时,河岸带对 TP, TN 和 NH₄-N 这 3 种污染物的截留率差异不大。

2.4 不同河岸带植被对固体颗粒物的截留

由图 3a 可知,随着河岸带植被宽度的增加,固体颗粒物的浓度逐渐降低,表明两种河岸带植被对固体颗粒物均有一定的截留作用。相比较而言,在 0 m 时,草地河岸带的颗粒物浓度大于林地河岸带,而在

5, 10 和 15 m 时,草地河岸带的颗粒物浓度均小于林地河岸带,这表明草地河岸带对固体颗粒物的截留效果要优于林地河岸带。由图 3b 可知,15 m 时,草地河岸带可以截留 83.7% 的固体颗粒物,而林地河岸带的这一数值仅为 51.7%。对草被和林地河岸带对于固体颗粒物的截留效率进行单因素 ANOVA 分析,结果显示两者存在显著差异($p=0.046$)。

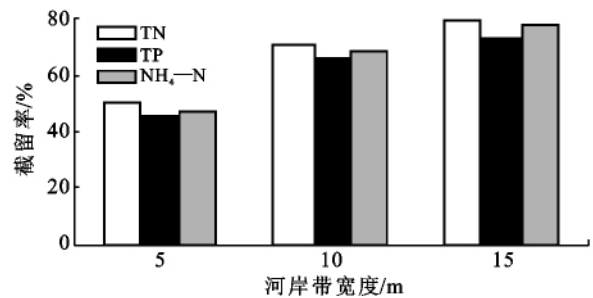


图 2 不同河岸带宽度对 3 种污染物截留作用的比较

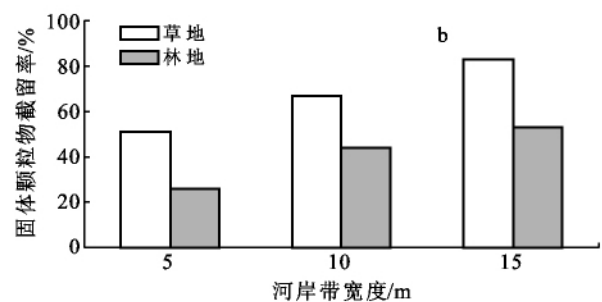
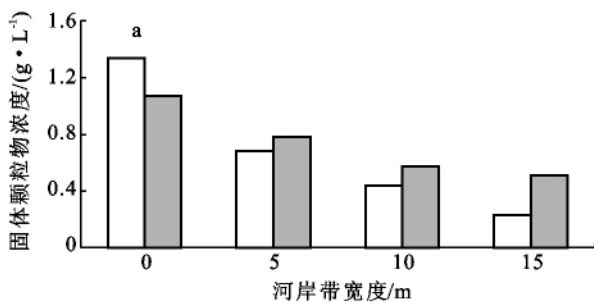


图 3 河岸带植被类型对固体颗粒物截留的影响

3 结论与讨论

(1) 河岸带植被宽度是影响其截污能力的重要因素之一,河岸带在 5 m 时,对氮、磷的截留率超过了 46%, 而到 15 m 时,截流截留率达到 80%。此结论与一些前人的研究结果相似^[11, 13-14]。因此,仅从截流氮、磷的角度来说,15 m 宽的河岸带基本能够满足需要。当然对于污染物的截留,河岸带越宽越好,不过随着河岸带宽度的增加,单位宽度的河岸带的截留效率不断降低^[13],这就要求在做河岸带宽度设计时,要做好综合平衡,既要保持河岸带一定截留污染物的能力,也要尽量对社会经济系统产生较少的干扰。

(2) 林地和草地河岸带对地表径流 TN, NH₄-N 以及渗透水 TN, NH₄-N 的截留效应基本相同。此结论与一些前人^[11-13]的研究结论也是一致的。

(3) 草地河岸带对地表径流 TP 和固体颗粒物的截留效果优于林地。与氮相比,磷元素移动性差,相当数量的磷被吸附在固体颗粒物上^[15-16],因此对固体颗粒物的截留较好的草地河岸带对地表径流 TP 的

截留效果也会较好。然而 Syversen^[13] 研究认为,林地河岸带对磷的截留效果要好于草地河岸带,这与本研究的结论恰恰相反。其原因可能在于 Syversen 的研究对象是自然生长状态的草地和林地河岸带,而本研究的林地河岸带,植被均为人工栽植,树种比较单一,仅有乔木层和草本层两层,并且为了使乔木尽快成才,草本植物经常遭到人为的清除。因此本研究中的林地河岸带的生态功能相对于自然林地河岸带是不健全的,从而造成对固体颗粒物和地表径流总磷截留能力较低,而高压走廊之下的草地河岸带较少受到人为的干扰,植物种类相对比较丰富,覆盖率高。这也说明,河岸带植被的人工化是造成河岸带生态功能弱化的重要因素。

(4) 无论草地还是林地,其地表径流中 TP 的浓度均大于渗透水中 TP 的浓度,而地表径流 TN 和 NH₄-N 的浓度均小于渗透水 TN 和 NH₄-N 的浓度。该结论提示我们对于磷污染的控制,重点应放在地表径流的控制上,尤其要控制住地表径流中固体颗粒物的数量,即做好水土保持工作。针对这一点,使

用草地河岸带显然要比林地河岸带效果要好得多。对于氮污染的控制应重点放在地下径流上,而对于地下径流水中的氮污染的过滤效果,草地和林地河岸带功能相似。

综上所述,草地河岸带在整体上优于林地河岸带。然而河岸带的功能是多方面的,如就经济功能而言,林地河岸带要明显优于草地河岸带,因此针对目前林地河岸带的管理,本研究提出并不需要把林地河岸带大规模地改成草地河岸带,关键应保护好林下植被,不能仅把它们视为树木生长的竞争者而肆意破坏。同时对草本植物地上部分进行定期收割,这样可以有效提高河岸带的截留污染物的能力^[10]。本试验是在野外进行的,不可避免地会受到一些与河岸带植被自身特点无关的因素的影响,如人为的踩踏、野生动物及其昆虫对植被的侵害等。此外,试验中每次降雨的量和强度都不一样,这些因素都可能对试验结果产生影响。在以后的相关试验中应采取措施来减弱或消除这些因素的影响,使试验结果与河岸带特性之间建立起更加严密的逻辑关系。本试验仅就河岸带宽度、植被类型、污染物种类以及径流方式进行了研究,其它如河岸带坡度、土壤类型、水文过程、污染物浓度、季节变化以及植被配置方式^[13,17]等因素也会对河岸带的截污能力产生影响,这些研究也将进一步逐步开展。

[参 考 文 献]

- [1] Leeds-Harrison P B, Quinton J N, Walker M J, et al. Grassed buffer strips for the control of nitrate leaching to surface waters in headwater catchments[J]. *Ecological Engineering*, 1999, 12(3/4): 299-313.
- [2] 谢红梅,朱波. 农业生态系统中 N 素在土水界面的迁移转化研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2004, 12(4): 122-125.
- [3] 王超,王沛芳,唐劲松,等. 河道沿岸芦苇带对氨氮的削减特性研究[J]. *水科学进展*, 2003, 14(3): 311-316.
- [4] 韩凤朋,郑纪勇,王云强,等. 黄河支流非点源污染物(N、P)排放量的估算[J]. *环境科学学报*, 2006, 26(11): 1893-1899.
- [5] 马立珊. 苏南太湖水系农业非点源氮污染及其控制对策[J]. *应用生态学报*, 1992, 3(4): 346-354.
- [6] Borin M, Bigon E. Abatement of NO₃-N concentration in agricultural water by arrow buffer strips [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 117(1): 165-168.
- [7] Lane R R, Mashriqui H, Kemp G P, et al. Potential nitrate removal from a river diversion into a Mississippi delta forested wetland [J]. *Ecological Engineering*, 2003, 20(3): 237-249.
- [8] Palone R S, Todd A H. Chesapeake Bay Riparian Handbook: A Guide for Establishing and Maintaining Riparian Forest Buffers[M]. US: Dept. of Agriculture (USDA), Forest Service, 1997: 124-128.
- [9] Mander U, Kuusemets V, Ivask M. Nutrient dynamics of riparian ecotones: A case study from the Porijogi River catchment, Estonia [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 31(1/3): 333-348.
- [10] Hefting M, Clenert J C, Bienkowski P, et al. The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones (in Europe) [J]. *Ecological Engineering*, 2005, 24(5): 465-482.
- [11] Dillaha T A, Reneau R B, Mostaghimi S, et al. Vegetative filter strips for agricultural non-point source pollution control [J]. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1989, 32(2): 513-519.
- [12] Daniels R B, Gilliam J W. Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60(1): 246-251.
- [13] Syversen N. Effect and design of buffer zones in the Nordic climate: The influence of width, amount of surface runoff, seasonal variation and vegetation type on retention efficiency for nutrient and particle runoff [J]. *Ecological Engineering*, 2005, 24(5): 483-490.
- [14] Vought L B M, Dahl J, Pedersen C L, et al. Nutrient retention in riparian ecotones [J]. *Ambio*, 1994, 23(2): 342-348.
- [15] 王晓燕,王一岫,王晓峰,等. 密云水库小流域土地利用方式与氮磷流失规律[J]. *环境科学研究*, 2003, 16(1): 30-33.
- [16] Lowrance R, Leonard R, Sheridan J. Managing riparian ecosystems to control non-point pollution [J]. *Soil and Water Conservation*, 1985, 40(1): 87-97.
- [17] 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.