

用于防控菜地排水中氮磷污染的缓冲带技术初探^①李伟¹, 王建国^{1*}, 王岩¹, 牟艳军², 薄录吉¹, 杨林章¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 杭州达康环境工程有限公司, 杭州 310030)

摘要: 太湖地区菜地复种指数高、施肥量大, 其排水中 N、P 浓度较高, 容易造成受纳水体的富营养化, 针对这一问题, 在野外构建了不同宽度的缓冲带, 分别研究了缓冲带适宜种植的植物以及缓冲带不同宽度条件下对菜地排水中各形态 N、P 的拦截效果。结果表明, 与水稻、空心菜相比, 狗牙根更适合作为缓冲带植物; 随着缓冲带宽度的增加, 缓冲带对菜地排水中各形态 N、P 的拦截效率在逐渐增加, 但其拦截效率的增幅却在逐渐降低, 综合考虑 N、P 拦截所应达到的效果指标和节约用地的原则, 缓冲带的最佳宽度应设置为 1.5 m, 此时缓冲带对溶解态 N、P 的处理效率分别为 30.3% 和 54.9%, 对颗粒态 N 和 P 的去除效果分别达到 91.2% 和 94.4%, 对总 N(颗粒态 + 溶解态)和总 P(颗粒态 + 溶解态)的去除效果分别达到 56.1% 和 85.9%, 缓冲带宽度为 1.5 m 时菜地和缓冲带面积之比为 100:11。

关键词: 非点源污染; 缓冲带植物; 缓冲带宽度; 拦截效率; 面积比

中图分类号: X703

来自于非点源尤其是农业区的 N、P 污染, 是影响地表水质的重要问题, 农业区已成为非点源 N、P 污染的主要来源之一^[1]。菜地由于复种指数高、施肥量大等原因, 其排水中的 N、P 浓度大, 营养元素流失严重^[2], 容易造成受纳水体的富营养化问题。近年来, 非点源污染的治理已经逐渐由末端治理转向源头控制, 世界各国对农业非点源污染的源头控制进行了大量的研究, 并提出了许多技术措施, 其中最具特色和成效显著的是缓冲带技术^[3-7]。缓冲带, 全称保护缓冲带 (conservation buffer strips), 是指利用永久性植被拦截污染物或有害物质的条带状、受保护的陆地^[8]。目前关于利用缓冲带技术处理农业非点源 N、P 流失问题的研究较多, 其中在确定缓冲带宽度方面存在着较大的差异。合理的缓冲带宽度不仅与土地利用方式 (农田还是菜地) 和土地经营方式 (集约度) 有关, 而且也与防控农业非点源污染的成效及节约用地相关联, 为了达到既能有效防控农业非点源污染又能实现节约用地的目的, 本文针对高集约度菜地, 对防控菜地排水中 N、P 非点源污染的缓冲带技术进行了针对性的研究。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验菜地及其缓冲带位于江苏省宜兴市丁蜀镇以北 5 km 处 (38°18'N, 119°55'E) 距离太湖约 300 m, 年均气温为 15.6℃, 年均降雨量和蒸发量分别为 1 385.5 mm 和 1 223.6 mm, 年均降雨日为 136 天, 降雨集中月份为 6—9 月。

1.2 试验设计

试验处理为菜地 + 缓冲带: 试验菜地宽 6.5 m, 长 13.7 m, 菜地中间是一条宽 0.3 m 的集水沟; 缓冲带长 6.5 m, 宽 2.0 m, 菜地和缓冲带之间设置一条宽 0.3 m 的布水沟, 其作用是将集水沟收集的菜地排水均匀分布到缓冲带中进行处理。图 1 为示意图。

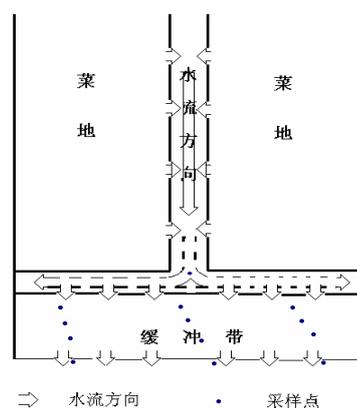


图 1 缓冲带

Fig. 1 Buffer zones

^①基金项目: 国家科技支撑项目 (2006BAD17B03)、国家自然科学基金面上项目 (40771119)、农业科技成果转化资金项目 (2007GB24910479)、江苏省社会发展基金项目 (BS2006093) 和中国科学院知识创新工程领域前沿项目资助。

* 通讯作者 (jgwang@issas.ac.cn)

作者简介: 李伟 (1983—), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事面源污染治理技术研究。E-mail: liwei@issas.ac.cn

1.3 样品采集及分析方法

当下雨产生径流时,分别在缓冲带进水处及距离进水处 0.5、1.0、1.5 和 2.0 m 处采集水样,在每个缓冲带宽度下采集 3 个水样,分析结果取平均值。水样的分析项目为 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、溶解态总 N、颗粒态 N、总 N (颗粒态 + 溶解态)、溶解态总 P、颗粒态总 P 以及总 P (颗粒态 + 溶解态)。水样中溶解性 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和总 N 采用荷兰 Skalar 公司的 SA24000 型 N、P 流动分析仪分析;水样总 N 采用碱性过硫酸钾氧化、紫外分光光度法分析;总 P 和溶解态总 P 采用过硫酸钾氧化、钼锑抗分光光度法分析;颗粒态 N 和 P 由下列公式计算而来:

水样颗粒态 N = 总 N (颗粒态 + 溶解态) - 溶解态总 N

水样颗粒态 P = 总 P (颗粒态 + 溶解态) - 溶解态总 P

2 结果与讨论

2.1 缓冲带植物的筛选结果

本试验先后选取了水稻、空心菜和狗牙根 3 种适合当地种植的植物作为缓冲带拦截植物。缓冲带于 2008 年 6 月 28 日种植水稻,不施肥。起始阶段由于水源不足,每天浇灌两次,后仍长势不佳,于 2008 年 7 月 5 日改种空心菜。由于缓冲带进行过深挖,下层土肥力不足,而且缓冲带中不施肥,缓冲带中空心菜因土地太过贫瘠长势不佳,生物量达不到要求,于 2009 年 3 月改种狗牙根。狗牙根由于生命力强、繁殖快,它既喜湿润,又耐干旱、耐贫瘠,在缓冲带中播种一段时间后,长势较好,所以本试验选取狗牙根作为缓冲带拦截植物。

2.2 不同缓冲带宽度对菜地排水中溶解态氮和磷的去除效果

不同的缓冲带宽度对菜地排水中溶解态 N 和 P 的去除效果见图 2 和图 3。由图中可以看出,缓冲带中, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、溶解态总 N 和溶解态总 P 浓度都随缓冲带宽度的增加而降低;在缓冲带宽度分别为 0.5、1.0、1.5 和 2.0 m (菜地面积与缓冲带面积之比分别为 100:3.65、100:7.3、100:11 和 100:14.6) 时,对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的平均去除率分别为 7.3%、29.3%、30.5% 和 42.6%,对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的平均去除率分别为 4.84%、22.0%、34.4% 和 45.2%;对溶解态总 N 的平均去除率分别为 2.5%、19.4%、30.3% 和 33.7%;对溶解态总 P 相应的去除率分别为 14.4%、46.8%、54.9% 及 66.3%。上述缓冲带

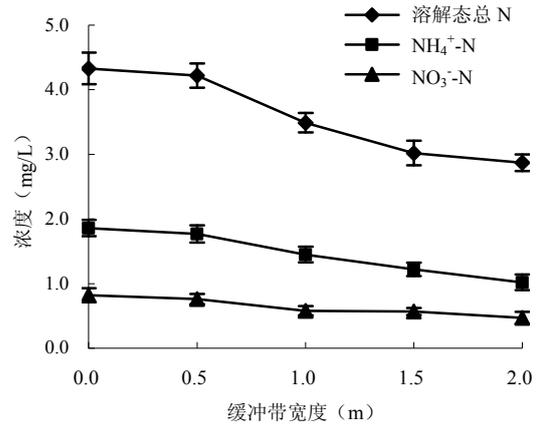


图 2 缓冲带对菜地排水中溶解态 N 的去除效果

Fig. 2 Removal effects of buffer zones on soluble-N in vegetable drainage

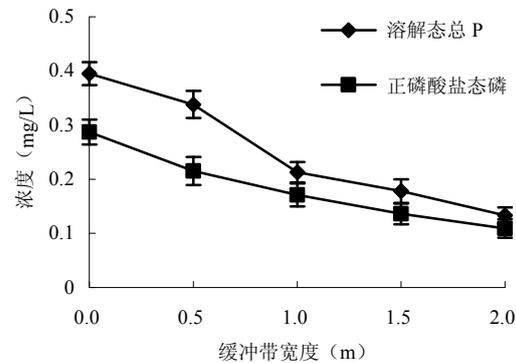


图 3 缓冲带对菜地排水中溶解态 P 的去除效果

Fig. 3 Removal effects of buffer zones on soluble-P in vegetable drainage

对总 P 的净化效果好于总 N,这与倪九派等^[9]的结果相近似。

缓冲带对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果明显好于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,可能原因为:① $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 作为缓冲带中的拦截植物直接营养源更容易被吸收;②拦截植物和土壤基质带负电荷,更易吸附带正电荷的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$;③缓冲带中的微生物在好养状态下将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 部分转化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,从而使 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度降低,使 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度有所升高。在各个宽度的缓冲带对 P 的去除效果好于 N,可能原因是一方面 P 更容易被拦截植物所吸收,另一方面 P 容易被土壤基质吸附而拦截。

2.3 不同缓冲带宽度对颗粒态氮和磷的去除效果

不同宽度的缓冲带对颗粒态 N 和 P 的去除效果见图 4。由图中可以看出,颗粒态 N 和 P 浓度都随缓冲带宽度的增加而降低,在缓冲带宽度分别为 0.5、1.0、1.5 和 2.0 m 时,对颗粒态 N 的去除效果分别达到

15.7%、73.0%、91.2% 和 93.7%；对颗粒态 P 的去除效果分别达到 22.1%、85.5%、94.4% 和 95.3%。在 0 ~ 0.5 m 宽度下，缓冲带对颗粒态 N 和 P 的处理效果不佳，原因是前段径流速度较快，颗粒得不到充分沉降；在 0.5 ~ 1 m 宽度下，由于缓冲带内拦截植物的阻流、扰流作用使径流流速降低，增加了颗粒的沉降，从而提高了对颗粒态 N、P 的拦截效率；在 1 ~ 2 m 宽度下，对颗粒态 N 和 P 的拦截效果显著降低，主要原因是径流中粗颗粒已被充分拦截，而细颗粒较难沉降去除。

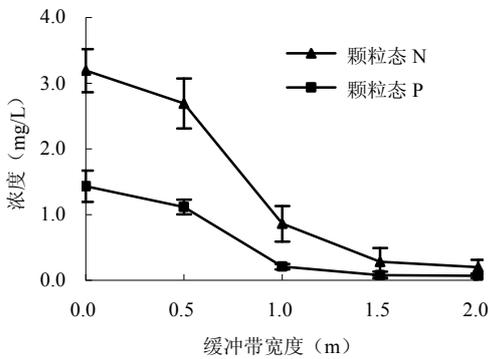


图 4 缓冲带对颗粒态 N 和 P 的去除效果

Fig. 4 Removal effects of buffer zones on particulate -N and -P in vegetable drainage

2.4 不同缓冲带宽度对连续降雨时菜地排水中溶解态氮和磷的去除效果

连续降雨时，不同时间、不同宽度缓冲带对溶解态总 N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的处理效果见图 5、图 6 和图 7。由图中可以看出，随着降雨的持续，菜地排水中各形态 N 的浓度都有所降低；不同宽度缓冲带对 N 的处理效果也随降雨的持续而降低，缓冲带对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的最大处理效果由第一天上午的 48.0% 降低到下午和第二天的 42.9% 和 18.6%，对总 N 最大处理效果由第一天上午的 40.1% 降低到下午和第二天的 39.3% 和 19.9%。

菜地排水中 N 浓度降低的原因可能是菜地土壤中 N 较容易淋溶，降雨初期菜地土壤活性 N 大量淋溶而减少，从而使降雨后期菜地径流中 N 浓度降低；而缓冲带处理效果随降雨的持续而降低的原因可能是：①拦截植物对 N 的吸收效果随径流中 N 浓度的降低而降低；②降雨后期，缓冲带中的拦截植物对 N 的吸收已接近饱和，对各形态 N 的吸收减少，从而降低了吸收效率。

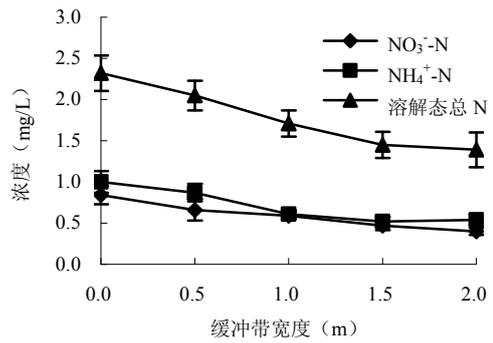


图 5 第一天上午缓冲带对菜地排水中溶解态 N 的处理效果
Fig. 5 Removal effect of buffer zones on soluble-N in vegetable drainage (the 1st morning)

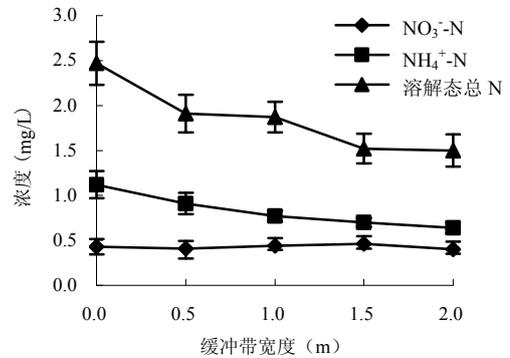


图 6 第一天下午缓冲带对菜地排水中溶解态 N 的处理效果
Fig. 6 Removal effect of buffer zones on soluble-N in vegetable drainage (the 1st afternoon)

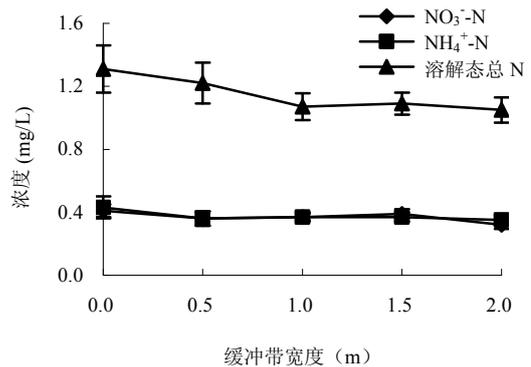


图 7 第二天缓冲带对菜地排水中溶解态 N 的处理效果
Fig. 7 Removal effect of buffer zones on soluble-N in vegetable drainage (the 2nd day)

连续降雨时，缓冲带对菜地排水中溶解态总 P 的去除效果见图 8、图 9 和图 10。由图中可以看出，与 N 的情况有所不同，随着降雨的持续，菜地排水中 P 的浓度无明显降低；不同宽度缓冲带对 P 的处理效果

和降雨的持续也没有显著的相关性, 第一天上午、下午和第二天缓冲带对溶解态总 P 的最大处理效果分别为 48.9%、57.6% 和 50.7%。

由上可见, 相对于 N 元素, 一方面菜地土壤中的 P 较不易随降雨径流流失, 另一方面随降雨的持续而表现为缓慢释放, 缓冲带对 P 有较持续的吸收效果。

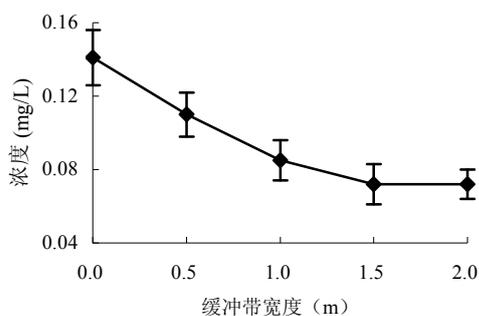


图 8 第一天上午缓冲带对菜地排水中溶解态 P 的处理效果

Fig. 8 Removal effect of buffer zones on soluble-P in vegetable drainage (the 1st day morning)

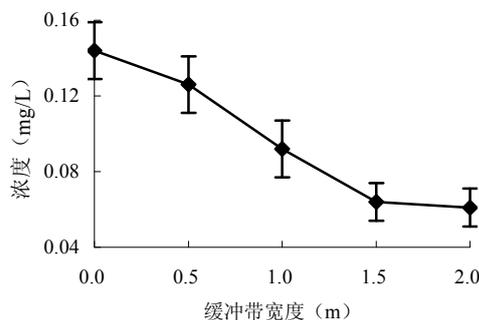


图 9 第一天下午缓冲带对菜地排水中溶解态 P 的处理效果

Fig. 9 Removal effect of buffer zones on soluble-P in vegetable drainage (the 1st day afternoon)

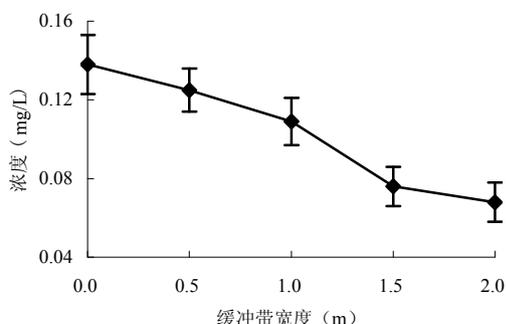


图 10 第二天缓冲带对菜地排水中溶解态 P 的处理效果

Fig. 10 Removal effect of buffer zones on soluble-P in vegetable drainage (the 2nd day)

2.5 缓冲带最佳宽度的确定

由上述试验结果可知: 当缓冲带宽度分别为 0.5、1.0、1.5 和 2.0 m 时, 对总 N (颗粒态 + 溶解态) 的处理效果分别为 8.1%、42.2%、56.1% 和 59.2%; 对总 P (颗粒态 + 溶解态) 的处理效果分别为 20.4%、76.9%、85.9% 和 89.0%。可见, 随着缓冲带宽度的增加, 缓冲带对菜地排水中 N、P 的拦截效率在逐渐增加, 但其拦截效率的增幅却在逐渐降低。综合考虑 N、P 拦截所应达到的效果指标和节约用地的原则, 缓冲带的最佳宽度应设置为 1.5 m, 即菜地和缓冲带面积之比为 100:11。

3 结论

(1) 利用缓冲带技术不仅能有效控制高集约度菜地排水中的 N、P 污染负荷, 而且既易于管理又能创造一定的经济效益。

(2) 综合考虑 N、P 拦截所应达到的效果指标和节约用地的原则, 菜地和缓冲带最佳面积比应为 100:11。

(3) 与水稻、空心菜相比, 狗牙根更适合作为缓冲带植物。

参考文献:

- [1] 杨林章, 王德建, 夏立忠. 太湖地区农业面源污染特征及控制途径. 中国水利, 2004(20): 29-30
- [2] 李国栋, 胡正义, 杨林章, 王彩绒, 林天, 金峰. 太湖典型菜地土壤氮磷向水体径流输出与生态草带拦截控制. 生态学杂志, 2006, 25(8): 905-910
- [3] Daniels RB, Gillam JW. Sediment and chemical load reduced by grass and riparian filters. Soil Science Society of America Journal, 1996, 60: 246-251
- [4] Young RA, Huntrods T, Anderson W. Effectiveness of vegetated buffer strips in controlling pollution from feedlot runoff. Journal of Environmental Quality, 1980, 9: 483-487
- [5] Nieswand GH. Buffer strips to protect water supply reservoirs: A model and recommendations. Water Resources Bulletin, 1990, 26: 959-966
- [6] Snyder NJ. Impacts of riparian forest buffers on agricultural non-point source pollution. Journal of American Water Resource Association, 1998, 34: 385-395
- [7] Hill AR. Nitrate removal in stream riparian zones. Journal of Environment Quality, 1996, 25: 743-755
- [8] USDA. Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C: Buffer Strips: Common Sense Conservation, 1998
- [9] 倪九派, 付涛, 卢玉东, 魏朝富. 缓冲带在农业非点源污染防治中的应用. 环境污染与防治, 2002, 24(4): 229-231

Pre-test of Buffer Zones for Preventing Nitrogen and Phosphorus Pollution from Vegetable Drainage

LI Wei¹, WANG Jian-guo¹, WANG Yan¹, MOU Yan-jun², BO Lu-ji¹, YANG Lin-zhang¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *Hangzhou Dakang Environment Engineering Co.,Ltd, Hangzhou 310030, China*)

Abstract: Due to high cropping index, high fertilization load and some other factors, the nitrogen and phosphorus concentrations in the drainage of vegetable fields were high, which was more likely to cause eutrophication to the receiving water bodies. In response to such problem, the experiment constructed the buffer zones, firstly explored the appropriate species of the interception plants in the buffer strip, and then studied the removal efficiency of different forms of nitrogen and phosphorus in the vegetable drainage of different widths of the buffer strip. The results showed that, compared with *oryza sativa* and *ipomoea aquatica*, *cynodon dactylon* was more suitable to be interception plants in the buffer zones; with the width of buffer zones increased, the removal efficiency of different forms of nitrogen and phosphorus in the vegetable drainage of the buffer zones increased, but the increase rate of the removal efficiency reduced gradually. When the target removal efficiency of nitrogen and phosphorus and the principle of land conservation were considered, the optimal width of buffer zones should be set to be 1.5 m, while the vegetable land area and buffer zones area ratio was 100:11.

Key words: Non-point source pollution, Plants in the buffer zones, Width of the buffer zones, Removal efficiency, Ratio of area