

沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究

姜翠玲, 崔广柏, 范晓秋, 章亦兵

(河海大学水资源环境学院, 南京 210098)

摘要: 沟渠湿地可通过底泥截留吸附、植物吸收和微生物降解净化农田排水汇集的非点源污染物。芦苇 (*Phragmites communis*) 和茭草 (*Zizania latifolia*) 是长江下游地区沟渠中自然生长的 2 种主要挺水植物, 能有效吸收 N、P 营养成分, 是湿地净化非点源污染物的主要机制。芦苇和茭草收割以后, 每年可带走 $463 \sim 515 \text{ kg/hm}^2$ 的 N 和 $127 \sim 149 \text{ kg/hm}^2$ 的 P, 相当于当地 $2.3 \sim 3.2 \text{ hm}^2$ 农田流失的氮肥、 $1.3 \sim 3.0 \text{ hm}^2$ 农田流失的磷肥。茭草的吸收和分解能力明显高于芦苇。收割除带走植株体中的营养成分外, 也改善了湿地光照和曝气条件, 促进营养物质的分解转化。芦苇收割区底泥和水体中的有机质、TN、TP 明显低于未收割区。因此, 定期收割是保证自然湿地净化功能、减轻湖泊富营养化的有效措施。

关键词: 沟渠湿地; 非点源污染; 富营养化; 净化能力

中图分类号: X506 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)02-0125-04

Purification Capacity of Ditch Wetland to Agricultural Non point Pollutants

JIANG Cui-ling, CUI Guang-bo, FAN Xiao-qi, ZHANG Yi-bing

(Water Resources and Environment College, Hehai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Ditch wetlands have the capacity to remove and purify non-point pollutants from agricultural drainage by sediment retention, plant absorption and microorganism decomposition. *Phragmites communis* and *Zizania latifolia* are two kinds of plants growing naturally in ditch wetlands in the lower reaches of the Yangtze River. They can absorb N and P efficiently, which is the main mechanism of non-point source pollutants purification by wetlands. The harvest of *Phragmites communis* and *Zizania latifolia* will take away $463 \sim 515 \text{ kg/hm}^2$ of N and $127 \sim 149 \text{ kg/hm}^2$ of P each year, it equal to N and P discharged from $2.3 \sim 3.2 \text{ hm}^2$ and $1.3 \sim 3.0 \text{ hm}^2$ of fields respectively in this area. The absorption and decomposition capacity of *Zizania latifolia* wetland is higher than *Phragmites communis* wetland. After harvest of plants, wetlands are uncovered to sunlight and oxygen that speeds the transportation and decomposition of nutrients. The amount of organic matters, TN and TP are higher in sediment of harvested area than in that of control. Therefore, seasonal harvest of plants is an efficient measure for wetlands to purify nutrients and alleviate eutrophication of lakes.

Key words: ditch wetlands; non-point pollution; eutrophication; purification

非点源污染已成为世界各国的一种主要污染源。在美国, 60 % 的水环境污染是由非点源污染造成的, 其中农业非点源污染占了 75 % 左右。在我国, 随着对点源污染控制的重视及治理能力的提高, 非点源污染已成为影响水体环境质量的一个重要因素。过量使用化肥是产生非点源污染的主要原因。太湖流域的化肥使用量已从 80 年代中期的 400 kg/hm^2 左右增加到 90 年代末的 800 kg/hm^2 ^[1], 几乎翻了一番, 而氮肥的利用率只有 25 % ~ 35 %^[2], 磷肥的利用率为 10 % ~ 20 %, 20 % ~ 25 % 当季使用的氮肥将随降雨径流和渗漏排入沟渠^[3,4]。

长江下游地区有丰富的湿地资源, 除众多的湖泊、河滩湿地以外, 其沟、渠、塘系统生长着浓密的湿生植物, 这些分割农田的天然湿地能有效截留和去除 N、P 等非点源污染物^[5]。调查表明, 长江下游地区天然湿地中的大型高等植物主要是芦苇 (*Phragmites communis*) 和茭草 (*Zizania latifolia*)。芦苇湿

地对 N、P 污染物的去除能力在国内外已有大量的研究成果, 但对茭草的去除效果还鲜有报道。天然湿地由于缺乏管理, 自生自灭的水生植物在秋冬季节开始腐烂分解, 吸收的 N、P 污染物将重新释放出来, 产生二次污染。本文研究了沟渠湿地对农业非点源污染物的截留和去除能力, 分析二次污染的程度及预防措施。

1 实验方法

实验场地选在南京市浦口区高旺村的一条宽 20 ~ 30 m, 长度 600 m 的天然湿地, 湿地位于农田中央, 是四周农田的汇水地, 湿地主要植物为芦苇和茭草。农田作物为水稻和小麦轮种。施用的化肥主要为

收稿日期: 2003-03-11; 修订日期: 2003-06-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50109001), 国家自然科学基金重点项目 (50239030)

作者简介: 姜翠玲 (1966 ~), 女, 博士研究生, 副教授, 主要从事水生态修复和污染控制研究。

尿素、碳酸氢氨和复合肥,年均施氮肥量为:尿素和碳酸氢铵各 750kg/hm²、复合肥 1275 kg/hm².

在 2002 年 9、11 月、2003 年 1 月分别取 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80cm 深的农田土壤和湿地底泥,分析有机质、pH、TN(总氮)、TP(总磷)、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 的含量,取淹水芦苇地和茭草地的水样,分析有机质、pH、TN、TP、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 的浓度,水稻、芦苇、茭草样品分析根、茎叶和稻籽中的 N、P 含量.

土壤和底泥样品分析采用国家标准方法,TP: GB7852-87; TN: GB7173-87; 有机质和 pH 值: GB7859-87; NH₄⁺-N: 氯化钾浸提后, GB7479-87; NO₃⁻-N: GB7480-87. 水样参数分析方法: COD(化学需氧量): GB11914-89; TN: GB11894-89; TP: GB11893-89; NH₄⁺-N: GB7479-87; NO₃⁻-N: GB7480-87; pH: GB7859-87. 植物样品分析方法: 植物用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化后,加碱蒸馏测氮,用钼兰比色法测磷.

2 实验结果

2.1 湿地植物的吸收能力

实验沟渠的芦苇和茭草湿地相毗邻,但分界很明显,两者接受同样农田的排水.2002 年 9 月对农田土壤和湿地底泥样品分析表明,芦苇湿地底泥(40cm 以上)的有机质、TN 含量显著高于水稻田土壤和茭草湿地,相邻的茭草湿地表层(20 cm 以上)底泥的有机质、TN 含量不仅比芦苇湿地低,而且低于水稻田(图 1、图 2).对植株样品分析发现,茭草的 N、P 平均含量分别为 20.21 和 4.95g/kg,高于芦苇和水稻(表 1、表 2).因此,与芦苇相比,由于茭

草对非点源污染物有更强的吸收能力,在生长季节,可显著降低底泥中营养物质的含量.

长江下游天然湿地水生植物生长茂盛,鲜芦苇年产量达 90 000kg/hm²,鲜茭草年产量 60 000kg/hm². 每年秋季芦苇和茭草收割以后,可带走 463~515kg/hm² 的 N,127~149 kg/hm² 的 P,茭草对 N、P 的吸收能力高于芦苇.按当地每年 800 kg/hm² 的氮肥、250 kg/hm² 的磷肥使用水平,20%~25% 的 N 和 20%~40% 的 P 流失量^[3],则每年每 hm² 的天然湿地植物可截留和消除 2.3~3.2 hm² 农田流失的氮肥、1.3~3.0 hm² 农田流失的磷肥.因此,湿地植物是净化农业非点源污染物的有效因子.

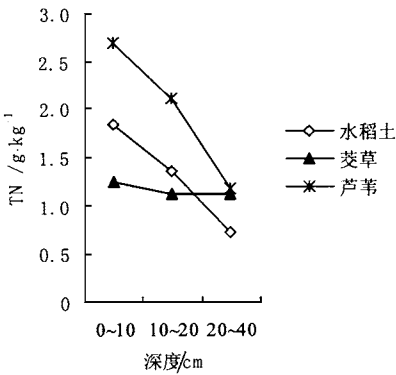


图 2 农田土壤及芦苇、茭草湿地中的 TN 含量
Fig.2 Content of TN in field soil and wetlands sediment

表 1 TN 在农田和湿地植物中的含量/g·kg⁻¹

Table 1 Content of TN in plants growing in field and wetlands /g·kg⁻¹

部位	水稻	茭草	芦苇
茎、叶	11.80	14.68	6.60
根	8.77	25.74	17.61
籽粒	17.75		
平均	12.80	20.21	12.11

表 2 TP 在农田和湿地植物中的含量/g·kg⁻¹

Table 2 Content of TP in plants growing in field and wetlands /g·kg⁻¹

部位	水稻	茭草	芦苇
茎、叶	2.19	3.93	2.53
根	1.69	5.96	5.16
籽粒	6.40		
平均	3.43	4.95	3.85

2.2 湿地对 P 的截留和转化

在芦苇和茭草生长季节,湿地底泥中的 TP 含量高于水稻田,因此,湿地对 P 有很好地吸附截留作用^[6].随湿地植物的枯萎,植株体内 P 含量开始

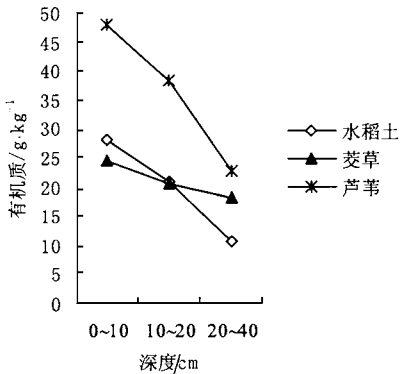


图 1 农田土壤及芦苇、茭草湿地中的有机质含量
Fig.1 Content of organic matters in field soil and wetlands sediment

下降,表明植株分解过程中 P 元素释放出来,但芦苇湿地表层底泥中的 P 及水体中的 P 含量明显降低,而农田由于播种小麦施肥及水稻残株的分解(水稻收割时秸秆还田),表层土壤中 P 含量增加.造成源区 P 增加和汇区 P 减少的原因,一方面是降雨径流减少,汇入湿地的量下降;另一方面是湿地对 P 的降解^[7].从 2002-09 ~ 2003-01,湿地水位虽然从 80cm 降至 30cm,但却一直处于淹水状态,P 发生厌氧分解转化为 PH_3 气体而逸失,含量降低.

2.3 湿地 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化及影响因素

农田排水中的主要污染物是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ^[8,9],而 9 月湿地水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度非常低,几乎测不出, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 平均含量也低,在芦苇和茭草湿地中分别为 0.03 mg/L 和 0.05 mg/L.这是由于植物生长大量吸收 NH_4^+ 和 NO_3^- 离子及 NO_3^- 发生反硝化作用造成的^[5,10].2002-11,植物停止吸收,其残体开始分解,水体中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度上升^[11], 2003-01 在芦苇湿地 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量分别达 0.14 mg/L 和 1.33 mg/L,茭草湿地分别为 0.14 mg/L 和 0.28 mg/L.

2.4 植物收获对湿地营养物质分解转化的影响

在 10 月中旬将一部分芦苇收割,20d 后,收割区的湿地水质在颜色和浑浊度上明显好于未收割区(颜色黑,有大量悬浮物质),水样分析表明,收割区湿地水中的有机质和 TN 的含量分别为 21.33 mg/L 和 1.04 mg/L,均低于未收割区(分别为 28.45 mg/L 和 1.22 mg/L).2003-01,未收割区芦苇湿地 40cm 以上底泥中的有机质、TN、TP 含量明显高于收割区,而 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量在未收割区低于已收割区,因此,高大而生长茂密的湿地植物收割以后,即去除了内源污染物的恶性分解循环,同时由于光照条件和曝气作用的改善,加快了有机质和有机氮的分解.

2.5 pH 值变化与湿地营养物质转化的关系

环境中的 pH 值变化与氧化还原电位有一定的正相关关系.pH 值高时,氧化还原电位高,有利于氨化细菌和硝化细菌的生长和繁殖,成氨和硝化作用速度加快^[12].9 月沟渠湿地植物生长茂密,水位高,湿地曝气能力差,pH 值和氧化还原电位低.1 月份芦苇地上部分枯萎以后,湿地曝气条件改善,pH 值上升(图 3),这对氮元素转化是有利的,湿地水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量上升.在芦苇未收割区,其水体和底泥表层的 pH 值都低于收割区(图 3、图

4),这会影响成氨和硝化作用的速度,因此,虽然 40cm 以上底泥中的有机质和 TN 含量高于已收割区(图 5),但底泥及水体中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量都低于收割区.

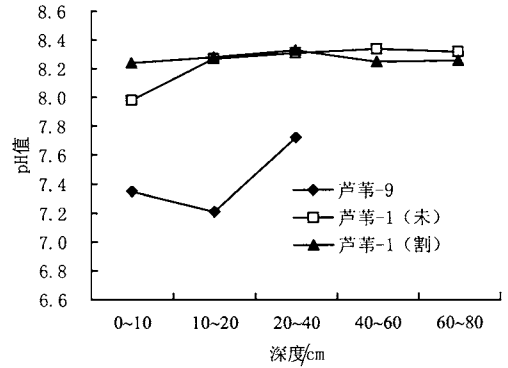


图 3 芦苇湿地底泥 pH 值的变化

Fig.3 Variation of pH value in sediment of *Phragmites communis* wetland

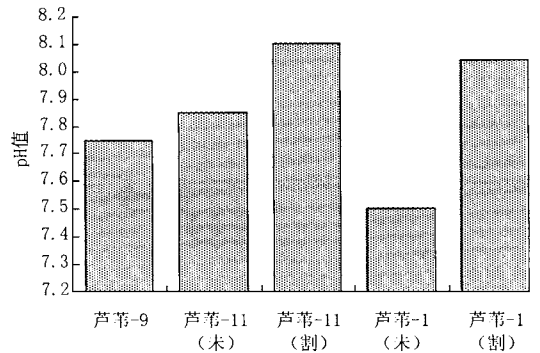


图 4 芦苇湿地水体 pH 值变化

Fig.4 Variation of pH value in water of *Phragmites communis* wetland

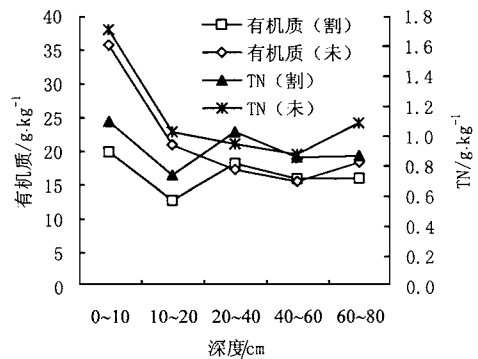


图 5 收割和未收割区芦苇湿地底泥中有机质和 TN 含量

Fig.5 Contents of organic matters and TN in *Phragmites communis* wetland of harvested and control areas

3 结论

(1) 自然沟渠湿地是农田流失的 N、P 营养物质的汇聚场所,底泥中积累了丰富的有机质和 N、P 营养物质,湿地植物的吸收是净化非点源污染物的主要因素,茭草对 N、P 的吸收量高于芦苇,因此,茭草湿地对非点源污染物的截留和净化能力比芦苇高。

(2) 湿地植物如果秋季不及时回收,在冬季尤其是初夏将产生严重的二次污染^[13]。秋冬季节植物残体开始分解,释放出营养成分,通过沟渠进入河道和湖泊,是来年水体富营养化的潜在污染源。湿地植物收割后,透光和曝气条件改善,将加快底泥中积累的有机质、N、P 营养成分的转化分解。芦苇有一定的经济价值,在有些地区农民会主动回收利用,但茭草利用价值低,需在秋季人为收割,以防夏季形成严重污染的茭黄水。

(3) 湿地底泥对 P 有很好的截留和吸附作用,秋末及冬季,尽管农田土壤 P 含量增加,但由于降雨径流减少,汇入沟渠的 TP 大大下降。在淹水条件下,底泥和水体中的 P 发生厌氧降解,产生 PH_3 ,也降低了其在湿地生态系统中的含量。

(4) 湿地 pH 值变化影响氨化和硝化反应的速度。芦苇未收割区 40cm 以上底泥中的有机质和 TN 含量高于收割区,但 pH 值却比收割区低,成氨和硝化作用的速度慢,因此水体和底泥中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均低于已收割区。

参考文献:

[1] 高超,朱建国,窦贻俭.农业非点源污染对太湖水质的影响:发展态势与研究重点[J].长江流域资源与环境,2002,11(3):

260 ~ 263.

- [2] 李世鹏,李建民.氮肥损失研究进展[J].农业环境保护,2001,20(5):377 ~ 379.
- [3] 黄漪平,范成新,濮培民,等.太湖水环境及其污染控制[M].北京:科学出版社,2001.259 ~ 265.
- [4] 徐谦.我国化肥和农药非点源污染状况综述[J].农村生态环境,1996,12(2):39 ~ 43.
- [5] David A K, Mark B D, Lowell E G, *et al.* Effectiveness of Constructed Wetlands in Reducing Nitrogen and Phosphorus Export from Agricultural Tile Drainage[J]. J. Environ. Qual., 2000,29(4):1262 ~ 1274.
- [6] Rickerl D H, Janssen L L, Woodland R. Buffered Wetlands in Agricultural Landscapes in the Prairie Pothole Region: Environmental, Agronomic, and Economic Evaluations[J]. J. of Soil and Water Conservation, 2000,55(2):220 ~ 225.
- [7] Braskerud B C. Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution[J]. Ecological Engineering, 2002,19(6):41 ~ 61.
- [8] Borin M, Bonaiti G, Giardini L. Controlled Drainage and Wetlands to Reduce Agricultural Pollution: A Lysimetric Study[J]. J. Environ. Qual., 2001,30(4):1330 ~ 1340.
- [9] 朱铁群.我国水环境农业非点源污染防治研究简述[J].农村生态环境,2000,16(3):55 ~ 57.
- [10] 曹向东,王宝贞,蓝云兰,等.强化塘-人工湿地复合生态塘系统中氮和磷的去除规律[J].环境科学研究,2000,13(2):15 ~ 19.
- [11] Donald F B, Russel B B, Robert E M. Chesapeake Bay Eutrophication: Scientific Understanding, Ecosystem Restoration, and Challenges for Agriculture[J]. J. Environ. Qual., 2001,30(2):303 ~ 320.
- [12] 姜翠玲,崔广柏.湿地对农业非点源污染的去除效应[J].农业环境保护,2002,21(5):471 ~ 473.
- [13] 李文朝.东太湖茭黄水发生原因与防治对策探讨[J].湖泊科学,1997,9(4):364 ~ 368.