

# 坑塘湿地对生源要素氮的净化效果

王艳颖<sup>1,2</sup>,王沛芳<sup>1,2</sup>,徐海波<sup>1,2</sup>

( 1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点试验室,江苏 南京 210098 ;  
2. 河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098 )

摘要 :为研究坑塘湿地对氮的净化效果,依据降雨状况,对太湖入湖小流域河网区一小型坑塘进行了 3 次降雨径流后生源要素氮的净化效果试验研究.结果表明,3 个试验期内塘中 TN 的净化效率分别为 54.0%、51.4%和 23.8%, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  的净化效率分别为 85.8%、67.0%和 52.6%,说明坑塘湿地系统能显著降低流域进入临近地表水体中的氮源负荷.该塘在 3 次降雨过程中对径流进入的总氮截留量分别达到 788.9 g、2432.7 g、416.2 g,表明试验塘对湖泊水体的富营养化缓解发挥了明显的作用.

关键词 :入湖小流域;坑塘;湿地系统;净化;截留  
中图分类号 :X506 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2006)06-0627-04

随着湖泊富营养化的加剧,国内外对引起水体富营养化的生源要素氮的控制技术研究不断深入<sup>[1-2]</sup>.其中,湿地系统由于具有相对完整的生态群落,对氮、磷等污染物可通过生物同化吸收、微生物降解、物理吸附及化学的综合作用进行净化,目前的研究成果应用较为广泛<sup>[3-4]</sup>.在入湖小流域的河网区,存在着大量尺度不同的坑塘湿地系统,这些湿地可通过水量调蓄和坑塘生态系统调控实现对生源要素氮进行净化和截留,从而降低流域进入湖泊水体的污染负荷.本文结合国家重大基础研究项目,在太湖河网入湖小流域选择一小型坑塘,开展了生源要素氮的净化效果研究,为缓解水体富营养化,进而研究入湖小流域中氮的输移提供理论基础.

## 1 试验坑塘概述

试验选择的小型坑塘位于太湖入湖小流域河网地区.坑塘为废弃的鱼塘,无上游来水,属降水补给型.汇流区植被主要为水稻田.在水量较丰时,塘水面面积约为 680 m<sup>2</sup>,此时塘中水位在 0.9 m 以上,枯水期水位和水面面积均有降低.该塘在 1.62 m 水位时存在溢流出口,向临近河道水体排泄.试验期为 2004 年 7 月~2005 年 4 月.

试验塘中水生植物群落结构较为简单,主要以沿岸挺水植物芦苇为主,覆盖度也较低.另外,塘护岸边坡上还分布有狗牙根.根据植物生长季节并结合自然降水过程,试验分 3 个时期对塘中水生植物种类和生物量进行调查统计,调查结果见表 1.

该坑塘中挺水植物以芦苇为优势物种,最大覆盖率在 7 月仅为 2.2%,岸坡植物以狗牙根为主,覆盖率为 2%左右.在冬季 12 月,芦苇和狗牙根基本枯败,塘中水生植物基本消亡.

## 2 试验方法

本次试验主要监测项目包括:水位、水面面积、水中总氮(TN)和 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、水生生物种类及数量.水质分析采用 GB11893—89 中总氮和氨氮分析方法.

由于本试验针对小型坑塘,故水质采样点位于水面下 0.5 m 处,监测点共 4 个,其中 3 个沿塘周边距岸

表 1 试验塘中水生植物调查情况

Table 1 Categories and amounts of riparian plants in the natural pond

| 调查时间        | 优势种类 | 密度                   | 覆盖度/% |
|-------------|------|----------------------|-------|
| 2005 年 3 月  | 芦 苇  | 32 株/m <sup>2</sup>  | 2.1   |
|             | 狗牙根  | 670 丛/m <sup>2</sup> | 2.3   |
| 2004 年 7 月  | 芦 苇  | 38 株/m <sup>2</sup>  | 2.2   |
|             | 狗牙根  | 560 丛/m <sup>2</sup> | 2.0   |
| 2004 年 12 月 | 无    |                      |       |

0.5 m 处布置,另 1 个设在塘中靠近中央的部分.监测时间为每日 9 时、12 时和 16 时.数据分析时取 4 个监测点的平均值,采用 Prism4 软件进行分析.

试验期内共形成降雨径流 3 次,分别为 2004 年 7 月 6~7 日,2005 年 1 月 20~26 日,2005 年 3 月 23~24 日.采样周期按研究目的不同分为两类:一类针对 3 次降雨历程塘中生源要素氮的净化过程进行监测,研究试验塘对氮的净化效应;另一类是对降雨结束后塘水体中氮的总量变化进行监测,分析塘对因降雨径流进入其中的生源要素氮的综合截留作用.具体监测日期见表 2.

表 2 试验期塘中 TN 质量浓度和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度变化统计

Table 2 Concentrations of TN and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in the natural pond during each experimental period

| 采样时间       | $\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | TN 净化率/% | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 净化率/% | 采样时间       | $\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{NH}_4^+-\text{N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | TN 净化率/% | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N 净化率/% |
|------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|
| 2004-07-07 | 2.085                                           | 0.270                                                        | 0        | 0                                     | 2005-01-19 | 3.577                                           | 1.689                                                        | 40.4     | 54.6                                  |
| 2004-07-08 | 1.554                                           | 0.026                                                        | 25.4     | 90.5                                  | 2005-01-20 | 2.914                                           | 1.226                                                        | 51.4     | 67.0                                  |
| 2004-07-09 | 1.041                                           | 0.013                                                        | 50.1     | 95.1                                  | 2005-03-08 | 2.495                                           | 1.262                                                        | 0        | 0                                     |
| 2004-07-12 | 1.107                                           | 0.047                                                        | 46.9     | 82.8                                  | 2005-03-09 | 2.525                                           | 1.379                                                        | -1.2     | -9.3                                  |
| 2004-07-14 | 0.959                                           | 0.038                                                        | 54.0     | 85.8                                  | 2005-03-12 | 1.746                                           | 0.334                                                        | 30.0     | 73.6                                  |
| 2005-01-14 | 6.002                                           | 3.716                                                        | 0        | 0                                     | 2005-03-13 | 2.025                                           | 0.230                                                        | 18.8     | 81.8                                  |
| 2005-01-15 | 5.630                                           | 3.349                                                        | 6.2      | 9.9                                   | 2005-03-14 | 1.902                                           | 0.599                                                        | 23.8     | 52.6                                  |
| 2005-01-16 | 4.306                                           | 2.836                                                        | 28.3     | 23.7                                  |            |                                                 |                                                              |          |                                       |

3 试验结果与分析

3.1 TN 的净化规律

3 次监测周期内塘中水体 TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度值统计结果见表 2. 根据监测数据绘制 TN 在 3 个试验期中浓度值的衰减规律和净化效率,见图 1 和图 2.

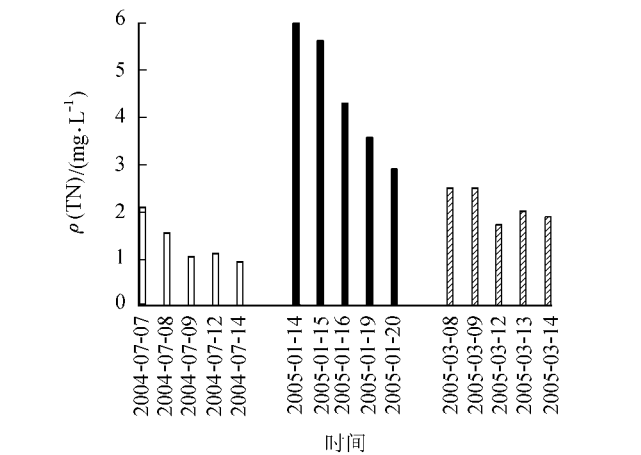


图 1 塘水体中 TN 质量浓度值变化

Fig.1 Variation of TN concentration in the natural pond

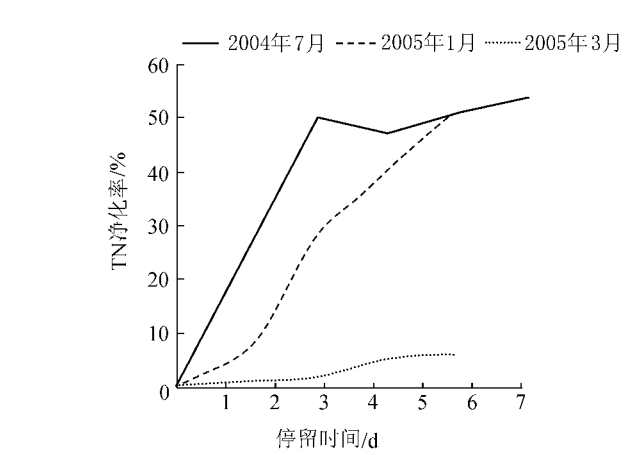


图 2 塘水体中 TN 净化效率

Fig.2 Purification efficiency of TN in the natural pond

由图 1 可知,2005 年 1 月试验塘水体中 TN 浓度最高,达到 6.002 mg/L,2005 年 3 月和 2004 年 7 月较低.根据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》评价,均为劣 V 类水质.1 月总氮值最高的原因一方面是由于枯水期塘中水量较少,因而氮浓度值表现较高;另一方面,塘中水生植物芦苇等在冬季枯败,产生生源要素氮的释放,引起总氮浓度的升高.3 月,塘中水生植物开始发芽,表现出对氮的同化吸收,狗牙根生长茂盛,对降雨径流产生的面源污染物有一定的截留净化作用<sup>[5]</sup>,因此试验塘中 TN 浓度较低.7 月 TN 浓度最低,这主要是因为 7 月降雨量较大,塘中水量最高,因而 TN 浓度值表现最低.

图 2 分析表明,3 个试验期内塘水体 TN 净化作用均很明显.其中净化效率 7 月最高,1 月其次,3 月最低.其中 7 月停留时间(HRT)为 7d 时 TN 累积去除率为 54.0%,3 月 HRT 为 6d 时累积去除率为 23.8%,可见 7 月的累计去除率远高于 3 月,这主要是因为 7 月水温较高,植物生命力旺盛,对生源要素氮的需求量较大,

因此可同化吸收水体中氮类物质.同时,7月塘中微生态系统活跃,微生物对氮的同化、降解和转化能力较强.1月尽管水生植物枯败,水温较低,不利于微生物的生长,但由于1月试验塘水深较浅,水体复氧条件较好,并且冬季塘底部下渗对硝酸盐氮具有较强的净化作用<sup>[6]</sup>,从而使TN浓度仍有较大程度的降低,故1月TN6d的累积去除率可高达51.4%.

3.2 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的净化效果

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N离子是阳离子,易被带负电荷的土壤颗粒所吸附,因此在岸坡和塘底易被土壤吸附去除.另外,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>在碱性土壤中将转化为气态NH<sub>3</sub>而挥发.同时,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N亦是植物吸收氮的一种主要形式,在夏、秋季节,成为植物组织的一部分.曹向东等<sup>[6]</sup>在实验中发现,芦苇对氨氮的吸收作用是系统净化氮元素的一个主要过程,并且在芦苇根系统内部发育着大量的硝化细菌,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>可在硝化细菌的作用下发生氧化,形成NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

根据表3中的监测数据,绘制坑塘中氨氮在3个试验期内浓度值的衰减规律和净化效率,见图3和图4.由图3可知,2005年1月水体中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N质量浓度最高,达3.716mg/L,2004年7月最低,仅为0.270mg/L.停留7d后NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N质量浓度均降低显著,1月最高也仅为1.226mg/L,说明试验塘对水体中氨氮净化作用显著.综合考虑2005年1月水体中TN和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N浓度值及其变化规律,可发现1月水体中氮组成中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N比例较高,说明此时塘中氨化作用较为明显.但是在1月16~19日NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N下降的速率较TN下降趋势快,表明部分NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N发生硝化反应,转化为硝态氮.3月NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N在HRT为3d时浓度下降较缓慢.7月塘水体中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N质量浓度较低,随着停留时间的增加,其质量浓度值迅速降低,至试验结束时降为0.038mg/L.

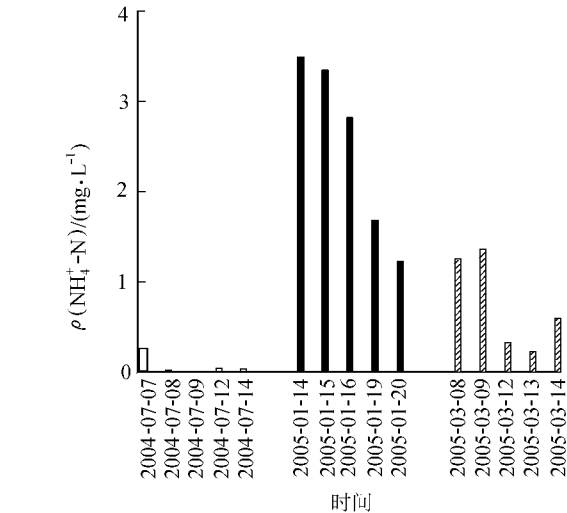


图3 塘水体中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N质量浓度值变化  
Fig.3 Variation of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N concentrations in the natural pond

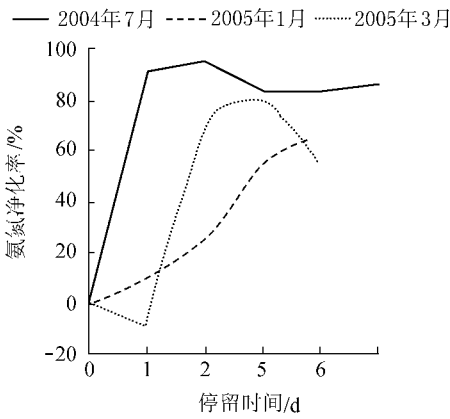


图4 塘水体中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N净化效率  
Fig.4 Purification efficiency of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N in the natural pond

由图4可知,2004年7月芦苇生长最旺盛,对氨氮的吸收同化作用最强,而且通过芦苇根际微生物的作用,氨氮在好氧条件下发生硝化反应,因此7月NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N去除率增长最快.1月水生植物枯亡,对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的吸收作用较低,而且1月水温低,微生物活性较弱,总去除率较低.但由于冬季水面较浅,塘边坡和塘底部土壤对水中氨氮的吸附、络合、离子交换等作用显著<sup>[7]</sup>,故随着停留时间的增加,氨氮的去除率不断升高.3月是芦苇发芽时期,植物及其根系对氨氮净化的作用逐渐增强,因此6d停留时间内氨氮的净化作用也较为明显,累计净化率可达52.6%.

4 坑塘湿地对氮的截留效应

根据3次降雨过程,选择降雨开始前与停止后的时间段,监测塘中水位和总氮的浓度,分析该塘对降雨径流汇入氮的截留效应.具体监测值见表3.

表3 3次降雨前后水位及总氮质量浓度统计

Table 3 Water levels and TN concentrations in the natural pond before and after three times of precipitation

| 降雨时间                    | 降雨前<br>水位/m | 降雨后<br>水位/m | 降雨前总氮质量<br>浓度/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 降雨后总氮质量<br>浓度/(mg·L <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 2004-07-06 ~ 2004-07-07 | 1.20        | 1.29        | 1.5265                              | 2.0846                              |
| 2004-01-20 ~ 2004-01-26 | 0.52        | 0.63        | 2.9143                              | 6.2893                              |
| 2004-03-23 ~ 2004-03-24 | 0.72        | 0.80        | 1.7133                              | 2.1075                              |

这3次降雨无水量溢流,汇流进入塘中的氮部分被塘生态系统净化而总量减少,但对临近入湖河流,降雨径流产生的汇流区的全部生源要素氮被完全截流在塘中,较大程度地降低了入湖的氮负荷量。根据表3,采用塘对氮截留的计算方法<sup>[8]</sup>,计算得出试验塘对氮的截留量分别为788.9 g、2432.7 g、416.2 g。由此可知,试验选择的小型坑塘对降雨径流产生的生源要素氮具有显著截留效应,能明显减少氮进入临近河流和湖泊的总量,缓解了水体的富营养化。

## 5 结 论

入湖流域河网区存在的小型坑塘对降雨汇流进入的氮污染物具有明显的净化和截留效应,即使在冬季水生植物枯败的情况下,停留6 d时,TN净化率也能达到51.4%, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 净化率高达67.0%。这表明该类坑塘水生生态系统对进入塘中的生源要素氮可通过生物生态功能调节进行吸收、吸附、降解等,从而降低水体中总氮负荷量。同时,塘在不同生态特征情况下对氮类物质的净化效果也存在差异。7月水温高,植物生长旺盛,微生物系统活跃,因此对氮的净化效率最高,TN去除率可达54.0%。另外,该类坑塘能通过自身的调蓄容量,实现对降雨径流汇入氮的截留,进而降低生源要素氮进入临近河流、湖泊等地表水体的总量,缓解水体的富营养化。但由于野外试验影响因素较多,阐明氮净化的机理需要大量和全面的试验,因此试验还需进一步完善和深入。

## 参考文献:

- [1] BOOTSMA M C, BARENDREGT A, A van ALPHEN J C. Effectiveness of reducing external nutrient load entering a eutrophicated shallow lake ecosystem in the Naardermeer nature reserve, the Netherlands[J]. *Biological Conservation*, 1999, 90: 193-201.
- [2] 马立珊, 张水铭. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. *环境科学学报*, 1997, 17(1): 39-47.
- [3] JING S-R. Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetland[J]. *Bioresource Technology*, 2001, 76(2): 131-135.
- [4] ROMERO J A, FRANCISCO A. Restored wetlands as filters to remove nitrogen[J]. *Chemosphere*, 1999, 39(2): 323-332.
- [5] 葛滢, 王小月, 常杰. 不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究[J]. *环境科学学报*, 1999, 19(6): 690-692.
- [6] 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.
- [7] 姜翠玲, 崔广柏. 湿地对农业非点源污染的去除效应[J]. *农村环境保护*, 2002, 2(5): 471-473, 476.
- [8] 王沛芳, 王超, 徐海波. 自然水塘湿地系统对农业非点源氮的净化截留效应研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 20(3): 782-785.

## Purification effects of nitrogen nutrients in natural pond

WANG Yan-ying<sup>1,2</sup>, WANG Pei-fang<sup>1,2</sup>, XU Hai-bo<sup>1,2</sup>

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

2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract** Experimental study was performed to study the purification effects of nitrogen nutrients in a small natural pond in a sub-basin of the Taihu Lake after three times of precipitation. The results showed that the purification efficiencies of total nitrogen(TN) in three experimental periods were 54.0%, 51.4% and 23.8%, respectively, while the values were 85.8%, 67.0%, and 52.6%, respectively for ammonia( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ). It is demonstrated that the small natural pond can purify the nitrogen nutrient pollution and remarkably reduce its concentration in adjoining surface water. It was also obtained that the amounts of TN intercepted by the small pond from the runoff during the three experimental periods were 788.9 g, 2432.7 g, and 416.2 g, respectively, demonstrating that the eutrophication of water body was obviously alleviated.

**Key words** sub-basin of lake; pond; wetland system; purification; interception