

# 植物投放密度对富营养化湖水修复效率的影响

王海鸥, 钟广蓉, 刘虎, 王焱, 张纯, 闫海 (北京科技大学应用学院, 北京 100083)

**摘要** [目的] 研究几种植物混种对富营养化水体的净化效果。[方法] 以小瓜子、缎带椒、中柳、皇冠和西瓜草 5 种植物为试材, 以北京市延庆县妫水湖 8 月份富营养化程度最高的湖水为植物生长基质, 设高、中、低 3 个投放密度试验组, 研究植物投放密度对富营养化湖水的修复效率影响; 通过测定水样中总磷酸盐(TP)、总氮(TN)、氨氮和硝态氮的浓度变化, 确定植物修复的最佳效率。[结果] 所有植物试验组对富营养化水中氨氮的净化效果均比较显著。3 个试验组中, 以投放低密度试验组对氨氮吸收的处理效果比较好, 对硝态氮吸收的处理效果较为明显; 投放中密度试验组对于总氮和磷酸盐吸收的处理效果较为明显。[结论] 适当控制植物的投放密度有利于去除富营养物质。

**关键词** 水生植物; 富营养化; 投放密度; 修复效率

**中图分类号** X173 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)23-11124-03

## Impact of Input Density of Aquatic Plants on the Remediation Efficiency of Eutrophic Lake Water

WANG Hai-ou et al (School of Applied Science, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083)

**Abstract** [Objective] The purpose was to research the purifying efficiency of mixed planting of some plants on the eutrophic lake water. [Method] With 5 plants including *Lindernia rotundifolia*, *Cryptocoryne crispata*, *Hygrophila stricta*, *Microrium* sp. and *Peperomia sandersii* as the tested materials and the highest eutrophic lake water from Guishui Lake in Yanqing County in Beijing City as the matrix of plant growth, 3 test groups with high, middle and low input density were set up to study the effect of input density of aquatic plants on the purifying efficiency of the eutrophic lake water. [Result] All the plant test groups had significant purifying efficiency on the ammonia nitrogen in the eutrophic lake water. Among 3 test groups, the test group with low input density got better removal effect on the ammonia nitrogen as well as on the nitrate nitrogen and the test group with middle input density got remarkable removal effect on the total nitrogen and phosphate. [Conclusion] The input density of aquatic plant that was properly controlled could be useful to the removal of the eutrophic matter.

**Key words** Aquatic plants; Eutrophication; Input density; Remediation efficiency

近年来,我国 90% 的湖泊趋于富营养化,国外许多著名的湖泊也都相继不同程度地出现富营养化<sup>[1]</sup>。因此,水体富营养化已经成为全球共同面临的问题。

水生植物修复富营养化水体已经成为研究的热点问题<sup>[2-3]</sup>。目前国内外学者对植物修复富营养化水体进行了诸多研究,并取得了一定的成就,筛选出了一些优势种<sup>[4-5]</sup>,经验证它们对水中的营养物质和污染物都具有很好的吸收作用。许多研究表明,植物修复效果与物种有关,不同的植物生长速率不同,对营养物质的需求和吸收能力不同,对微生物生长的促进作用不同,因而净化水体的能力也各不相同。另外,有些研究还发现,不同富营养化程度的水体中,植物的修复能力也有差异<sup>[6]</sup>。

目前,关于水生植物净化富营养化水体能力的研究主要集中于筛选适合的种类研究中,而对不同投放密度对净化富营养化水体的效果研究较少。水生植物由于其极强的生态适应性和繁殖能力,在水面易产生自屏效应<sup>[7-8]</sup>,造成植株枯萎死亡,单位空间的高生物量在生长后期极易产生二次污染。因此,高密度导致二次污染和高效净化间的矛盾问题一直困扰着人们对植物修复的利用。笔者采用已呈现富营养化妫水湖的湖水作为植物生长介质,控制植物投放密度,研究几种植物混种对富营养化水体的净化效果,以期对富营养化水体生态修复提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 根据钟广蓉等<sup>[9]</sup>的研究结果,该试验以小瓜子、缎带椒、中柳、皇冠、西瓜草 5 种植物作为试验材料。将上述水生植物带回实验室,洗净泥土后待栽培使用。用北

京延庆县妫水湖 8 月份的富营养化程度最高的湖水作为植物生长的介质。

**1.2 试验方法** 选用塑料桶(上部内径 30 cm,下部内径 26 cm,桶高 30 cm)作为试验容器。底部采用消毒后的石英石作为固定植物的基质。选择生长良好的植株,移入塑料桶中,在自然光条件下培养。试验按照表 1 分组;以不种植物为空白对照,其他条件一致。

测定水中 TP、TN、氨氮的浓度。试验期间记录水温、pH 值等常规指标监测植物的生长条件。为补充蒸发减少的水分,每天补充自来水 20 ~ 100 ml,视水体蒸发量决定,该试验持续 28 d。

**1.3 水质指标分析方法**<sup>[9]</sup> 总氮(TN):采用过硫酸钾消解法测定;氨态氮:采用水杨酸-次氯酸盐光度法(420 nm)测定;硝态氮:采用紫外分光光度法(220 和 275 nm)测定;磷酸盐:钼锑抗分光光度法测定。

## 2 结果与分析

**2.1 水生植物对氨态氮浓度的影响** 图 1 显示,所有试验组植物对富营养化水中氨氮的净化效果都比较显著。试验开始后的前 8 d,各试验组氨氮的去除率为 26.5% ~ 77.4%;第 10 天,各水体中氨氮的浓度均下降到不可检测,这表明氨氮是水体中优先转化和植物吸收的氮形态。但数据的变化趋势表明,水体中接种植物的生物量对氨氮的去除效率有一定的影响。对所有试验组的植物来说,投放密度最低的 3 号处理组的除氨氮效果较为明显,意味着单位体积的水体中,接种较少的植物更利于去除氨氮。

**2.2 水生植物对硝态氮浓度的影响** 图 2 显示,投放密度最低的 3 号效果较好,投放密度高的 1 号效果较差。硝态氮的浓度在试验初期有下降,然后开始出现波动,这与黄亚<sup>[10]</sup>等发现富营养化溶液经过植物处理之后硝态氮有不同程度

**基金项目** 北京市教委共建项目资助。

**作者简介** 王海鸥(1975-),女,天津人,博士,副教授,从事水污染植物修复研究。

**收稿日期** 2009-04-15

表 1 植物分组和投放密度

Table 1 The grouping of plants and inputting density

| 编号<br>No. | 水体积//L<br>Water volume | A                             |                            | B                      |                      | C                            |                           |                     |
|-----------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------|
|           |                        | 小瓜子                           | 西瓜草                        | 小瓜子                    | 皇冠                   | 椴带椒                          | 中柳                        | 西瓜草                 |
|           |                        | <i>Lindernia rotundifolia</i> | <i>Peperomia sandersii</i> | <i>L. rotundifolia</i> | <i>Microrium sp.</i> | <i>Cryptocoryne crispata</i> | <i>Hygrophila stricta</i> | <i>P. sandersii</i> |
| 1         | 4.5                    | 9.0                           | 13.0                       | 9.0                    | 9.0                  | 8.0                          | 10.0                      | 13.0                |
| 2         | 9.0                    | 9.0                           | 13.0                       | 9.0                    | 9.0                  | 8.0                          | 10.0                      | 13.0                |
| 3         | 9.0                    | 4.5                           | 6.5                        | 4.5                    | 4.5                  | 4.0                          | 5.0                       | 6.5                 |

注:表内 A、B、C 处理均为鲜重 (g)。

Note: The data in treatments of A, B and C are fresh weight (g).

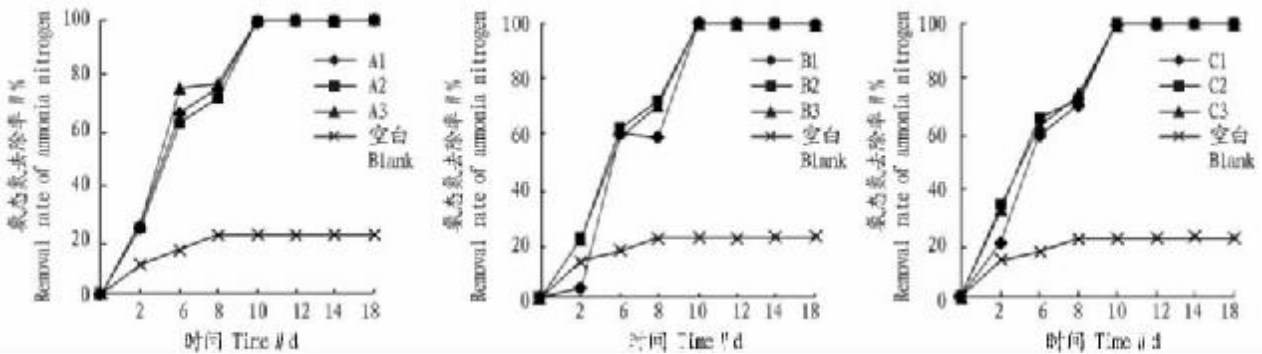


图 1 各投放密度组氨态氮浓度的变化

Fig. 1 Change of ammonia nitrogen concentration in each inputting density group

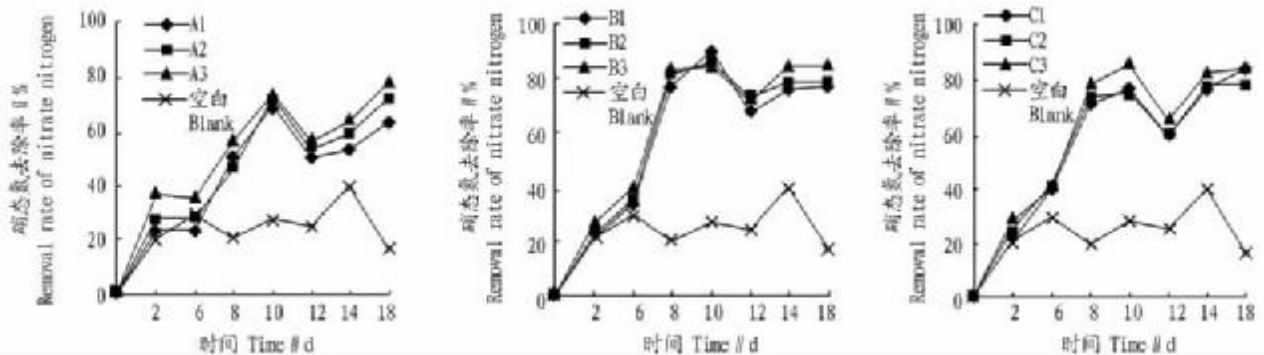


图 2 各投放密度组硝态氮浓度的变化

Fig. 2 Change of nitrate nitrogen concentration in each inputting density group

的上升是一致的。硝态氮主要依靠微生物的反硝化作用将  $\text{NO}_3\text{-N}$  还原为  $\text{N}_2$  去除。研究表明,湿地系统中只有 4% ~ 11% 的氮是通过植物吸收去除,89% ~ 96% 通过反硝化去除。水体中硝态氮浓度上升是由氨盐的硝化作用造成的。当氨盐的硝化作用强于硝态盐的反硝化作用时,水中硝态氮的浓度就会上升,当氨氮浓度下降到一定程度,反硝化作用强于硝化作用时,水中的硝态氮浓度就会下降。所以硝态氮

上升的原因可能是植物生长不好,植物的残骸被微生物分解,有机氮被硝化,重新释放出硝态氮。该试验中 3 号植物组与水的比例最大,一方面吸收少量的硝氮,另一方面也减少了硝化作用。

2.3 水生植物对总氮浓度的影响 图 3 所示,各组总氮浓度均有显著下降,总氮浓度的变化趋势大体相同,处理 10 d 后总氮浓度低于检测线。试验 A、B、C 组均是投放密度中等

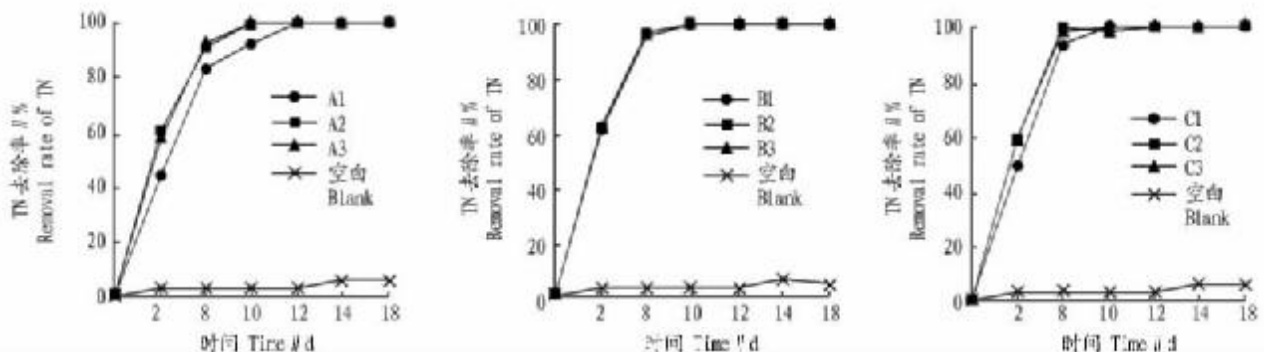


图 3 各投放密度组 TN 浓度的变化

Fig. 3 Change of total nitrogen concentration in each inputting density group

的2号去除效果较好。植物组织及根际微生物吸收、根系滞留、根际周围硝化反硝化等作用植物去除TN的主要途径,植物种类、气候、温度及水停留时间等均影响植物TN去除效果。与无植物对照相比,植物分泌根际物质促进介质内微生物活动,促进根际微生物吸收、根系滞留、根际周围硝化反硝化等作用,提高氮去除效果。为防止氮素从植物地上组织向地下组织转移,应在植物成熟后及时收割,防止植物吸收累积的氮素再释放。

**2.4 水生植物对总磷浓度的影响** 由图4可见,各组前期(前10d)对总磷的吸收效果并不理想,但后期去除效果明显。总体趋势可以看到,试验期间,空白对照组TP浓度维持

在稳定水平,试验结束时TP含量为1.12 mg/L,相比初始值1.19 mg/L下降了5.4%。植物组对TP具有快速吸收的特性,每组的中等投放密度2号试验的效果相对较好。A2组TP含量在第12天去除量为11.15%,最高去除率达59.6%;B2组第12天去除率为14.4%,最高去除率达52.4%;C2组第12天去除率为9.6%,最高去除率达63.8%。试验表明控制水生植物的投放密度对富营养化水体的净化效果有非常重要的影响。据观察,各处理植物均有枝叶掉落,加上微生物分解作用,导致后期TP浓度上升。但是,所有试验植物组均较空白对照组净化率高。

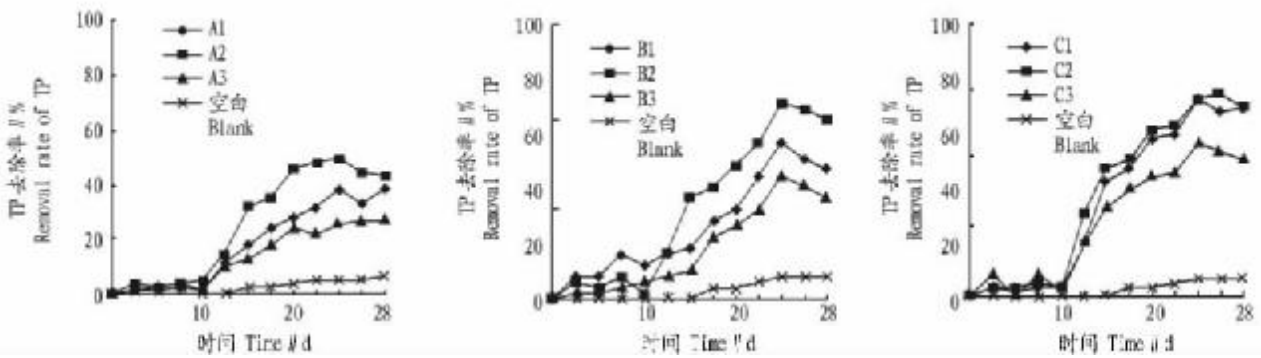


图4 各投放密度组TP浓度的变化

Fig. 4 Change of total phosphorus concentration in each inputting density group

### 3 讨论

试验表明,植物投放密度对水体中氮磷的去除效果存在明显差异,低屏密度组(2和3组)体现了较好的净水效果,而高屏密度组(1组)对水质的净化效果不太理想。原因可从植物对TN、TP的2种主要去除途径来分析:途径之一是水生植物能分泌克藻物质,对水体中藻类的生长繁殖有明显的克制作用,唐萍等研究发现水花生根系分泌的抑藻物质对水体中的栅藻有抑制作用<sup>[11]</sup>。陈广等研究发现水花生能有效降低藻类浓度,由于水池内藻类的死亡沉淀作用,使得以藻类形式存在的TN、TP得以去除<sup>[12]</sup>;途径之二是植物与微生物的协同降解作用,污水中对有机污染物起降解作用的主要是微生物,Gerssgerg等的研究表明,TN的主要去除途径是硝化、反硝化作用而不是水生植物的吸收作用。但水生植物群落的存在,为微生物和微型动物提供了附着基质和栖息场所,其浸没在水中的根、茎、叶为形成生物膜提供了巨大的表面空间,使得水生植物机体上寄居着稠密的细菌和原生动物群落,这些生物的新陈代谢作用能大大加速截留在根系周围的有机胶体或悬浮物的分解<sup>[13]</sup>。温度、气候、植物种类、地上与地下植物组织间磷素转移及释放等因素均影响植物TP的去除性能。植物可强化根系和介质对磷的滞留,促进根际微生物对有机磷的矿化吸收、植物自身组织吸收及介质对磷的吸附滞留等过程,进而提高TP去除率。随着植物生长成熟,植物吸收贮存的磷会从地上组织向地下组织转移,此时应对成熟植物及时收割。

在富营养化程度相同的水体中,植物投放密度不同得到

的修复效率也不同,适当增加湖水的体积和降低投放密度反而有助于植物吸收氮和磷。考虑到多篇文献中报道,富营养化水体中磷是植物、藻类及微生物的生长限制因子,因此,在水体修复实践活动中,应该重点考虑在保持氮元素修复效率的情况,以磷元素的去除率最高为原则。

### 参考文献

- [1] 于世龙,韩玉林,付佳佳,等.富营养化水体植物修复研究进展[J].安徽农业科学,2008,36(31):13811-13813,13818.
- [2] 方云英,杨肖娥.利用水生植物原位修复污染水体[J].应用生态学报,2008,19(2):407-412.
- [3] 王国祥,濮培民,张圣照,等.人工复合生态系统对太湖局部水域水质的净化作用[J].中国环境科学,1998,18(5):410-414.
- [4] 李睿华,管运涛,何苗,等.河岸芦苇、茭白和香蒲植物带处理受污染河水中试验研究[J].环境科学,2006,27(3):493-497.
- [5] 田琦,王沛芳,欧阳萍,等.5种沉水植物对富营养化水体的净化能力[J].研究水资源保护,2009,25(1):14-17.
- [6] 刘海琴,高运强,宋伟,等.水花生去除富营养化水体中氮磷及抑藻效果的试验研究[J].现代农业科学,2008,15(12):89-92.
- [7] 陈锡涛,叶春芳,杉辛野.水生维管束植物自屏对水质净化资源化效应的研究[J].环境科学与技术,1994(2):1-4.
- [8] 朱泽聪,胡春华,胡维.水花生投放密度对富营养化湖水净化效果影响的试验研究[J].海洋湖沼通报,2008(4):49-55.
- [9] 钟广蓉,王海鸥,陶兴足.筛选能用于修复污染富营养化水体植物的研究[J].环境污染与防治,2008(8):110.
- [10] 黄亚.植物修复富营养化及有机农药污染水体技术研究[D].上海:同济大学,2006.
- [11] 唐萍,吴国荣,陆长梅,等.太湖水域几种高等水生植物的克藻效应[J].农村生态环境,2001,17(3):42-44.
- [12] 陈广,黄翔峰,何少林.水花生塘去除高效藻类塘出水中藻类的研究[J].中国给水排水,2006(9):43-45.
- [13] GERSBERG R M, ELDKINS V. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetland[J]. Water Research, 1988(3):363-368.