

石菖蒲净化微污染水体中氮和磷的试验研究

马明海, 刘岚英, 赵莎莎, 王金金, 卢欢, 戴珺琪 (黄山学院生命与环境科学学院, 安徽黄山 245041)

摘要 [目的]探究挺水植物石菖蒲在不同生长周期中对微污染水体中氮和磷的去除效率及其在植物体内的富集程度, 以为微污染水体的植物修复提供参考依据。[方法]以黄山学院水西河为研究对象, 考察不同密度石菖蒲对微污染水体中氮、磷的去除行为。[结果]30 d内总氮和总磷的去除率分别为44.3%和50.7%, 不同密度植物的净化能力为: 高密度组>低密度组>对照组。石菖蒲不同部位氮、磷富集量为: 根>茎>叶。[结论]设置适宜的种植密度, 定期收割茎叶可有效去除微污染水体中的氮、磷含量。

关键词 微污染水体; 石菖蒲; 总氮; 总磷; 净化

中图分类号 X52 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)14-0039-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.14.012



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Purification of Nitrogen and Phosphorus from Micro-polluted Water by *Acorus tatarinowii* Schott

MA Ming-hai, LIU Lan-ying, ZHAO Sha-sha et al (College of Life and Environmental Science, Huangshan University, Huangshan, Anhui 245041)

Abstract [Objective] To explore the efficiency of nitrogen and phosphorus removal and the enrichment degree of *Acorus calamus* Schott in the micro-contaminated water in different growth cycles, and provide reference for the phytoremediation of micro-polluted water. [Method] The removal of nitrogen and phosphorus from micro-polluted water by different densities of *Acorus tatarinowii* Schott was investigated in the Shuixi River of Huangshan University. [Result] The results showed that the removal rates of total nitrogen and total phosphorus within 30 days were 44.3% and 50.7%, respectively. The purification capacity of plants with different densities was: high-density group > low-density group > control group. Nitrogen and phosphorus enrichment in different parts of *Acorus tatarinowii* Schott was as follows: root > stem > leaves. [Conclusion] Setting proper planting density and regularly harvesting stems and leaves would be an effective way to remove nitrogen and phosphorus from micro-polluted water.

Key words Micro-polluted water; *Acorus tatarinowii* Schott; Total nitrogen; Total phosphorus; Purification

微污染水体是指受到有机物污染, 部分水质指标超过《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类水体标准的水体^[1]。水西河位于黄山学院率水校区的西北角, 流经东临溪镇部分农田、村庄和黄山学院后进入新安江2个主要支流之一的率水河, 因上游地表径流和面源污染使其出现水质恶化现象^[2]。近年来, 新安江作为全国首个跨省流域生态补偿机制试点^[3], 对上游各支流的水环境质量提出了严格要求。因此, 水西河污染治理势在必行。微污染水体的治理方法中, 生物法^[4]运行成本较高, 光催化法^[5]所需条件苛刻, 植物修复法备受专家学者关注, 不仅可净化水质, 还可以提供景观, 改善生态环境^[6]。

水生植物根系可以吸收水体中的N、P等物质, 贮存于植物细胞中, 并通过木质化作用, 使其成为植物的组成部分^[7]。有关研究^[8]发现, 不同植物对水体中N、P的吸收存在明显差异, 同种植物的不同生长部位对N、P的富集程度也有所不同。另外, 水生植物, 特别是浮叶、漂浮植物在水中的固着能力差^[9], 对天气的适应性不强, 导致水处理效果欠佳。沉水植物在进入衰亡期后, 植物体会逐渐死亡并腐烂分解, 这一过程会对水环境产生较大影响^[10]。而挺水植物较浮

水、浮叶、沉水植物生长周期更长, 吸收的氮磷可通过植物收割直接去除^[11], 实际应用性较强。笔者以水西河为对象, 探究挺水植物石菖蒲在不同生长周期中对微污染水体中氮和磷的去除效率及其在植物体内的富集程度, 以为微污染水体的植物修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验装置 试验装置为长方形透明塑料箱(图1), 长宽高为33 cm×23 cm×21 cm, 最大储水体积约15 L。设2个密度梯度组和1个对照组, 即低密度组(80株/m²)、高密度组(320株/m²)和对照组(0株/m²)。将带有预留孔的聚苯乙烯发泡板置于试验装置中, 把石菖蒲插入预留孔中, 起加固作用。

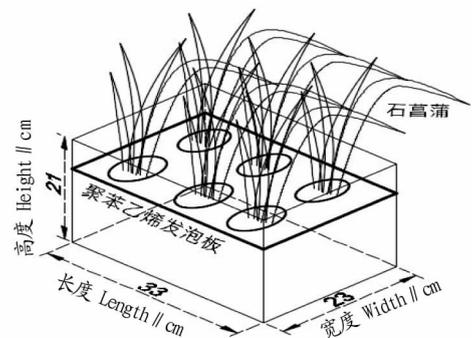


图1 试验装置

Fig.1 The experimental device

1.2 试验材料

1.2.1 受试植物的选取。试验所用石菖蒲取自于黄山学院率水校区水西河人工湿地, 从中选取生长状态良好且处于生

基金项目 安徽省质量工程项目(2018jyxm0208, 2018jxtd149, 2016jyxm0967); 安徽省大学生创新训练计划项目(201810375071, AH201310375039); 安徽省自然科学研究重大项目(KJ2019ZD42); 黄山学院人才启动项目(2019xkjq007); 黄山学院重点学科与科研平台(kypt201802)。

作者简介 马明海(1981—), 男, 安徽灵璧人, 副教授, 博士, 从事水环境治理与修复研究; 刘岚英(1999—), 女, 安徽淮北人, 本科, 专业: 水污染控制。马明海和刘岚英为共同第一作者。

收稿日期 2019-10-31; **修回日期** 2019-12-06

长期(株高约25 cm)、长势相似的石菖蒲植株,在实验室环境下,用蒸馏水冲洗干净,去除黄叶和腐根,在自来水中临窗培养数天,使其适应实验室环境后待用。

1.2.2 试验用水 微污染水体取自水西河入水口处,去除可见杂质,作为待净化水体。其余试验用水均为新鲜去离子水。

1.3 试验设计 将受试植物分别放入低密度组装置和高密度组装置,空白对照组装置中不移栽受试植株。向所有装置中注入12 L水西河水,其水质情况为pH 6.79、总氮(TN) 2.29 mg/L、总磷(TP) 0.26 mg/L、 COD_{Cr} 23.45 mg/L。将各试验组置于通风、有光且不受雨水影响的环境下,以5 d为一个周期,连续培养30 d,监测试验前后受试植株组织各部位氮磷的变化及试验水体中TN、TP含量的变化情况。试验过程中,用新鲜去离子水定期补充因蒸发等消耗的水分以保证装置中水样体积一致。

1.4 分析方法 试验水体的总氮和总磷的监测参考《水和废水监测分析方法》(第4版),根据《植物氮磷钾的测定方法 NY/T2017-2011》将受试植株进行微波消解(WX-8000),然后使用UV752N紫外可见光光度计测定计算消解液中氮磷的含量。

2 结果与分析

2.1 不同密度石菖蒲对微污染水体中TN的净化效果 由图2可知,用石菖蒲处理水西河湿地微污染水体的方法具有脱氮功效,且脱氮效果与石菖蒲的种植密度以及在水体中的培养时间有关。同一装置中,随着培养时间的增加,植物对水体中TN的去除效率增大;不同装置中,对TN的去除率为高密度装置>低密度装置>空白装置。因将石菖蒲移栽到污染水体中,需要对新介入的水环境有一定的适应过程,故在培养初期试验组对TN的去除率效果均不明显。低密度装置去除率仅为5.94%,高密度装置为11.10%。第2个周期后,试验组除氮效果开始凸显,且在10~15 d期间石菖蒲除氮速率增加最快。因此在选用石菖蒲处理微污染水体时,可考虑在室内利用需处理的微污染水体培养石菖蒲10 d左右,再大面积移植到微污染水体环境。

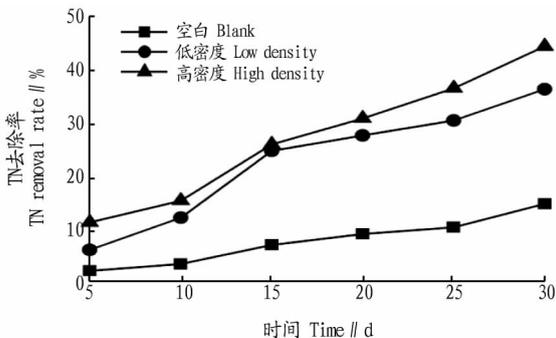


图2 不同密度的石菖蒲装置对微污染水体中TN的去除率

Fig.2 Removal rate of TN in micro-polluted water by *Acorus tatarinowii* Schott of different densities

2.2 不同密度石菖蒲对微污染水体中TP的净化效果 在试验期间不同密度石菖蒲对微污染水体中总磷的去除效果

变化见图3。由图3可知,不同装置中,TP的去除效率由高到低依次为:高密度装置>低密度装置>空白装置,且每个装置中总磷的去除效率同总氮相似,在10~15 d去除效率增加最快。若采用石菖蒲去除微污染水体中总磷含量,可采用上述办法处理。在空白装置中10~15 d和20~25 d时TP去除率增加为负值,可能原因是试验过程中环境中磷元素在水体中的溶解导致^[12]。

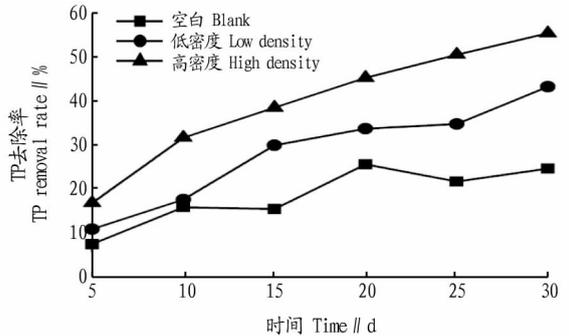


图3 不同密度的石菖蒲装置对微污染水体中TP的去除率

Fig.3 Removal rate of TP in micro-polluted water by *Acorus tatarinowii* Schott of different densities

2.3 石菖蒲不同部位氮的含量及其变化情况 试验前后不同密度实验装置中植物不同部位磷的净增量及其变化趋势见表1和图4。由表1分析知,植物不同部位氮的净增量不同,其大小关系依次是:根>茎>叶,根部氮的净增量中,低密度装置和高密度装置分别为3.71 mg/g和4.82 mg/g,分别是叶部氮富集量的1.73和1.81倍。表明石菖蒲主要依靠根吸收氮营养元素,后输送至茎、叶部位供其生长代谢所需。由图4可知,不同密度装置中植物不同部位氮含量为低密度小于高密度,表明高密度氮的去除效果更好;另外石菖蒲叶中氮含量最高,说明其依靠叶片的挥发作用消耗的氮较少。若采用石菖蒲去除微污染水体中氮的含量,在一定的种植密度范围内,种植高密度的石菖蒲有利于氮的去除,利用其去除水体中氮时,应定期打捞落叶或定期收割叶片以避免枯枝落叶对水体的二次污染^[13]。

表1 试验前后不同密度植物不同部位氮净增量

Table 1 Net increase of nitrogen in different parts of plants with different densities before and after the experiment mg/g

试验装置 Experiment setting	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
低密度 Low density	3.71	3.44	2.14
高密度 High density	4.82	4.31	2.66

2.4 石菖蒲不同部位磷的含量及其变化情况 在试验周期内不同密度试验装置中植物不同部位的磷净增量及其变化趋势见表2和图5。由表2可知,与氮的富集类似,植物不同部位磷的净增量大小关系依次是:根>茎>叶。根部磷的净增量最大,低密度组为0.136 mg/g,高密度组为0.138 mg/g。不同密度装置中植物不同部位磷含量总体为低密度组小于高密度组,可能是因为在一定时间后植物吸收磷的能力达到了饱和状态,磷含量超过某一值将影响植物自身生长,植物不

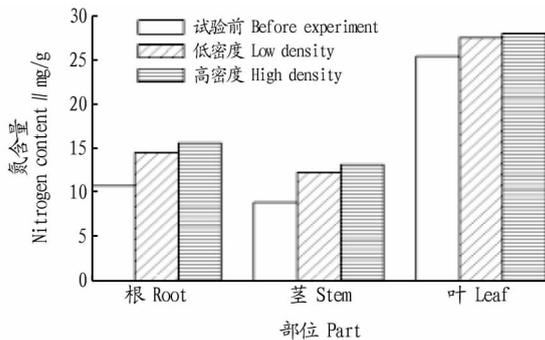


图4 试验前后石菖蒲不同部位氮含量的变化

Fig.4 Variation of nitrogen content in different parts of *Acorus tatarinowii* Schott before and after the experiment

再吸收水体中的磷元素^[14]。由图5可知,磷在石菖蒲茎中含量最高,若利用石菖蒲去除水体中的磷,应定期收割。

表2 试验前后不同密度植物不同部位磷净增量

Table 2 Net increase of phosphorus in different parts of plants with different densities before and after the experiment mg/g

试验装置 Experiment setting	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
低密度 Low density	0.136	0.125	0.049
高密度 High density	0.138	0.131	0.041

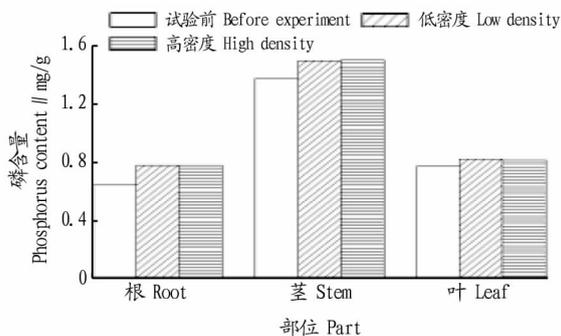


图5 试验前后石菖蒲不同部位磷含量的变化

Fig.5 Variation of phosphorus content in different parts of *Acorus tatarinowii* Schott before and after the experiment

3 结论与讨论

以高校微污染水体——黄山学院水西河为研究对象,考察2种不同密度石菖蒲对微污染水体中氮、磷的去除行为,为微污染水体的净化提供了科学依据。

石菖蒲对微污染水体中氮、磷表现出了较好的吸收净化能力,总磷的去除率(50.7%)略高于总氮去除率(44.3%),与程丽芬等^[15]的研究结果中石菖蒲的净化能力较吻合,略低于黄菖蒲对于北京河道中总氮和总磷的去除效率^[16],均高于风车草及其与水葱、千屈菜组合的去除效率^[17],挺水植物组合后的净化效率并没有比单一种植的效果显著提高^[18]。单一种植石菖蒲,30 d内可以使实现水体中TN和TP质量浓度由地表水(GB 3838-2002)V类标准提高到IV类标准。

增加石菖蒲种植密度,可一定程度上提高其净化水中氮、磷的效率。试验表明,石菖蒲密度由80株/m²增加至320株/m²时,水体总氮和总磷的去除率分别增加了8.1%和11.1%。石菖蒲对微污染水体总氮、总磷的去除效率在10~15 d增加最快,这与江秀朋等^[7]的试验结果中石菖蒲的净化规律较一致。

石菖蒲不同部位氮、磷富集量顺序为:根>茎>叶,且茎叶富集氮和磷的总量分别为根富集量的1.45和1.25倍。因此,定期收割石菖蒲的茎和叶可有效去除微污染水体中氮、磷含量,同时避免因植物茎叶的腐败对水体造成二次污染^[19]。

试验中石菖蒲对微污染河水中氮和磷的净化取得了一定的效果。但要充分了解石菖蒲的净化规律,还需延长试验周期;此外,及时判断石菖蒲的收割时间点还需要进一步探究和完善。

参考文献

- [1] 周曼舒,李冬梅,马艳,等.人工湿地作为微污染源水预处理技术的研究进展[J].江苏水利,2018(9):16-18,25.
- [2] 陆宏宇,马明海,郭赛赛,等.黄山学院水西湿地氮磷时空变化特征研究[J].广州化工,2019,47(14):145-148,151.
- [3] 方子恒.新安江流域生态补偿机制运行及政策完善建议[J].中国政府采购,2018(9):62-65.
- [4] HU J Y, SHANG R, DENG H P, et al. Effect of PAC dosage in a pilot-scale PAC-MBR treating micro-polluted surface water [J]. Bioresource technology, 2014, 154: 290-296.
- [5] GUO Y Q, YAO C J, DU E D, et al. Pretreatment of micro-polluted raw water by the combined technology of photocatalysis-biological contact oxidation [J]. Advances in control and communication, 2012, 137: 357-363.
- [6] SALVATO M, BORIN M, DONI S, et al. Wetland plants, micro-organisms and enzymatic activities interrelations in treating N polluted water [J]. Ecological engineering, 2012, 47: 36-43.
- [7] 江秀朋,张翠英,刘焕然,等.不同湿地植物对污染水体的净化效果[J].工业水处理,2019,39(1):53-56.
- [8] 李林峰,年跃刚,蒋高明.植物吸收在人工湿地脱氮除磷中的贡献[J].环境科学研究,2009,22(3):337-342.
- [9] 卓燕,苏宏智,秦良,等.水生植物应用于富营养化控制的研究趋向[J].污染防治技术,2010,23(2):51-53.
- [10] 平云梅,潘旭,崔丽娟,等.沉水植物分解对人工湿地水质的影响[J].水利水电技术,2017,48(9):24-28,53.
- [11] 王彬彬,许光耀,杨军中.华北地区常见九种挺水植物氮磷净化效果优选[J].黑龙江农业科学,2018(5):100-104.
- [12] 王晓利,姜德娟,张华.水体中氮、磷营养盐来源与输移研究进展[J].海岸科学,2014,1(2):1-9.
- [13] 李丽.11种湿地植物在污染水体中的生长特性及对水质净化作用研究[D].广州:暨南大学,2011.
- [14] 李诗奇,李政,王仙宁,等.植物对氮磷元素吸收利用的生理生态学过程研究进展[J].山东农业科学,2019,51(3):151-157.
- [15] 程丽芬,张欣.5种水生植物对煤矿废水的适应性及净化效果[J].浙江农林大学学报,2019,36(4):801-809.
- [16] 杨洪云,王永刚,李焕利,等.两种浮床植物对水体中氮磷吸收能力及其水质净化效果[J].净水技术,2017,36(3):63-67.
- [17] 杨文焕,廖晨霞,王智超,等.人工浮岛种植水生植物对包头南海湿地水质净化效果研究[J].灌溉排水学报,2019,38(9):122-128.
- [18] 仇涛,许培欢,朱高飞,等.三种挺水植物及其组合净化微污染水体的研究[J].环境科学与管理,2015,40(9):90-93.
- [19] 赵丽君,陈刚新,张文超,等.2种漂浮植物对再生水水质净化能力比较[J].环境工程,2019,37(6):58-63.