

AMI (职院刊) 核心期刊

RCCSE中国核心学术期刊 (A)

中国学术期刊影响因子年报统计源期刊

《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊

美国《化学文摘》数据库收录

ISSN 2095-7300

CN 43-1522/Q

湖南生态科学学报

Journal of Hunan Ecological Science

湖南生态科学学报

第十卷 Vol.10
第2期 No.2

二〇二三年六月

2023 第10卷 第2期
VOL.10 NO.2



《湖南生态科学学报》第二届编辑委员会

主任委员：苏 立

副主任委员：庾庐山

主 编：梁忠厚 颜晓元

副主编：蒋一锄

编 委（按姓氏拼音为序）：

白军红 北京师范大学

陈光才 中国林业科学研究院亚热带林业研究所

陈永忠 湖南省林业科学院

丁 凡 沈阳农业大学

范 适 湖南环境生物职业技术学院

付美云 湖南环境生物职业技术学院

胡永灵 湖南环境生物职业技术学院

李芳柏 广东省科学院生态环境与土壤研究所

梁忠厚 湖南环境生物职业技术学院

刘惠芬 天津农学院

刘俊栋 江苏农牧科技职业学院

刘卫东 中南林业科技大学

马锦林 广西壮族自治区林业科学研究院

圣倩倩 南京林业大学

谭志远 华南农业大学

汪 洋 湖北生态工程职业技术学院

王克林 中国科学院亚热带农业生态研究所

王旭军 湖南省林业科学院

温小荣 南京林业大学

吴艳宏 中国科学院成都山地灾害与环境研究所

颜晓元 中国科学院南京土壤研究所

杨 华 湖南农业大学

易 诚 衡阳师范学院

于飞海 台州学院

曾长立 江汉大学

湛方栋 云南农业大学

郑冠宇 南京农业大学

周国英 中南林业科技大学

周顺桂 福建农林大学

朱校奇 湖南省农业科学院

陈功锡 吉首大学

陈旭辉 沈阳农业大学

邓明华 云南农业大学

杜辉辉 湖南农业大学

方 迪 南京农业大学

何铁光 广西壮族自治区农业科学院

姜小文 湖南环境生物职业技术学院

李顺祥 湖南中医药大学

刘爱民 安徽师范大学

刘菊华 海南大学

刘鸣达 沈阳农业大学

柳开楼 江西省红壤及种质资源研究所

彭佩钦 中南林业科技大学

苏 立 湖南环境生物职业技术学院

汪思龙 中国科学院沈阳应用生态研究所

王金龙 天津农学院

王晓明 湖南省林业科学院

魏甲彬 湖南环境生物职业技术学院

文锦芬 昆明理工大学

武攀峰 江苏省南通环境监测中心

杨钙仁 广西大学

杨 宁 湖南环境生物职业技术学院

易镇邪 湖南农业大学

庾庐山 湖南环境生物职业技术学院

曾建国 湖南农业大学

张少良 东北农业大学

钟金凤 湖南环境生物职业技术学院

周立祥 南京农业大学

周尧治 西藏农牧学院

祝遵凌 南京林业大学

目 次

研究论文

褪黑素对 NaOH 胁迫下伞房决明生理特性的影响	许艳婷, 邹乾相, 黄紫琚, 廖飞勇 (1)
杉木无性系叶形态变异研究及相关关系分析	庾庐山, 赵林峰 (11)
基于 PSR 模型的岳阳市景观健康时空演变研究	贺重玉, 曹诗怡, 严娟, 戴阿森, 翁远鑫 (18)
湖南草芍药籽仁蛋白质和脂肪酸的分析研究	彭翠英, 侯艳, 程勇, 王旭军 (29)
藜蒿浸提液对番茄、西瓜种子萌发及幼苗生长的影响	何思晓, 王玉婕, 曾长立, 万何平, 谢倩, 戴希刚 (35)
不同形态铁盐对青花菜幼苗生理及硫苷含量的影响	任玉欣, 邹宜芯, 郭海艳, 闫瑾, 马超超, 李慧 (41)
5 种水生植物对富营养化水体净化效果研究	陈怡, 张乔雨, 郭春兰, 卞阿娜 (48)
铁锰基材料对重度砷污染土壤的稳定化处理研究	吴含章, 彭佩钦, 余志元, 李二平, 奚燕妮, 李子雄, 赵文博, 李益华 (55)
外源硫酸锌对糯玉米种子萌发和幼苗生长的影响	刘玲丽, 杜锦, 向春阳, 丁建文, 张晓辰, 杨兴 (65)
城市湿地对局地小气候的影响	刘德政, 刘柄麟, 谢丽 (71)
武陵山区不同品种雪茄烟发酵后品质特征对比	郭世杰, 谭永浩, 向东, 段淑辉, 全益华, 唐星宇, 王振华 (79)

研究综述

城市绿地生态效益测度研究进展	圣倩倩, 季亚欧, 祝遵凌 (91)
生物炭添加对根际土壤微生物群落影响研究进展	魏甲彬, 李有清 (101)
生防菌在植物病害领域的研究进展	李雨欣, 戴欣宇, 曹雪梅, 李二峰 (109)

CONTENTS

Research paper

- Effects of Melatonin on the Physiological Characteristics of *Senna corymbosa* Under NaOH Stress
..... XU Yanting,ZOU Qianxiang,HUANG Zijun,LIAO Feiyong(1)
- Study on Leaf Morphological Variation and Correlation Analysis of *Cunninghamia lanceolata* Clones
..... YU Lushan,ZHAO Linfeng(11)
- Study on Spatiotemporal Evolution of Landscape Health in Yueyang City Based on PSR Model
..... HE Chongyu,CAO Shiyi,YAN Juan,DAI Amiao,WENG Yuanxin(18)
- Analysis of Protein and Fatty Acid of Seed of *Paeonia obovata* in Hunan Province
..... PENG Cuiying,HOU Yan,CHENG Yong,WANG Xujun(29)
- The Effect of Extracts from *Artemisia selengensis* on Seed Germination and Seedling Growth of Tomato and Watermelon HE Sixiao,WANG Yujie,ZENG Changli,WAN Heping,XIE Qian,DAI Xigang(35)
- Effects of Different Forms of Iron Salts on the Physiology and Glucosinolate Content of Broccoli Seedlings
..... REN Yuxin,ZOU Yixin,WU Haiyan,YAN Jin,MA Chaochao,LI Hui(41)
- Study on the Purification Effect of Five Aquatic Plants on Eutrophic Water
..... CHEN Yi,ZHANG Qiaoyu,GUO Chunlan,BIAN A'na(48)
- Study on Stabilization of Heavy Arsenic Contaminated Soil by Fe-Mn-based Materials
..... WU Hanzhang,PENG Peiqin,YU Zhiyuan,LI Erping,XI Yanni,LI Zixiong,ZHAO Wenbo,LI Yihua(55)
- Effects of Exogenous Zinc Sulfate on Seed Germination and Seedling Growth of Waxy Maize
..... LIU Lingli,DU Jin,XIANG Chunyang,DING Jianwen,ZHANG Xiaochen,YANG Xing(65)
- The Effect of Urban Wetlands on Local Microclimate LIU Dezheng,LIU Binglin,XIE Li(71)
- Comparison of Quality Characteristics of Different Varieties of Cigars after Fermentation in Wuling Mountain Area
..... GUO Shijie,TAN Yonghao,XIANG Dong,DUAN Shuhui,
QUAN Yihua,TANG Xingyu,WANG Zhenhua(79)

Research review

- Research Status of Ecological Benefit Measurement of Urban Green Space
..... SHENG Qianqian,JI Yaou,ZHU Zunling(91)
- Research Progress on the Effects of Biochar Addition on Rhizosphere Soil Microbial Communities
..... WEI Jiabin,LI Youqing(101)
- Research Progress of Microbial Antagonists in the Field of Plant Diseases
..... LI Yuxin,DAI Xinyu,CAO Xuemei,LI Erfeng(109)

5种水生植物对富营养化水体净化效果研究

陈怡, 张乔雨, 郭春兰, 卞阿娜*

(闽南师范大学 生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000)

摘要:【目的】通过比较闽南本土常见的5种水生植物对富营养化水体的净化能力,筛选出适合闽南气候条件的净水型水生草本植物,为闽南水质净化植物的选用和搭配方式提供实践依据。【方法】通过室外环境模拟与实验室测定,分析单种植物和5种植物组合组[菖蒲(*Acorus calamus*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、梭鱼草(*Pontederia cordata*)、美人蕉(*Canna indica*)和铜钱草(*Hydrocotyle vulgaris*)]的净化能力,并对其净化能力进行对比。【结果】选用的水生植物的总氮(total nitrogen, TN)去除率由高到低为组合组>梭鱼草>美人蕉>菖蒲>狐尾藻>铜钱草,其中5种植物组合搭配的TN去除率最高,其TN去除率高达99.7%。水生植物的总磷(total phosphorus, TP)去除率由高到低为美人蕉>组合组>狐尾藻>梭鱼草>铜钱草>菖蒲,其中5种水生植物搭配的TP去除率最高值可达89.1%。5种水生植物的化学需氧量(COD)去除率由高到低为:组合组>梭鱼草>美人蕉>菖蒲>铜钱草>狐尾藻。【结论】水生植物混合运用能够加快水体中氮磷污染物质的去除,且能够有效提高TN、TP和COD的去除率。选用的植物当中,美人蕉和梭鱼草对污水中TN、TP和COD的净化效果相对较好。建议以美人蕉和梭鱼草为主,多种植物组合,构建净水草本植物体系。

关键词: 闽南地区;水生植物;净化能力;总氮;总磷

中图分类号: X522

文献标志码: A

文章编号: 2095-7300(2023)02-0048-07

Study on the Purification Effect of Five Aquatic Plants on Eutrophic Water

CHEN Yi, ZHANG Qiaoyu, GUO Chunlan, BIAN A'na*

(School of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China)

Abstract:【Objective】This paper aimed to study the purification of five common aquatic plants of southern Fujian province on eutrophic water.【Methods】In this experiment, the ability of different plants to purify water was analyzed through outdoor environment simulation and laboratory measurement. The purification ability of a single plant and five plant combinations (*Acorus calamus*, *Myriophyllum verticillatum*, *Pontederia cordata*, *Canna indica*, *Hydrocotyle vulgaris*) was analyzed.【Result】It showed that the

收稿日期: 2022-10-03

基金项目: 福建省科协创新战略研究项目(FJKX-A2111);福建省教育厅中青年项目(科技类)“景观植物对水体净化研究”(JAT200296)。

作者简介: *为通信作者: 卞阿娜, 博士, 教授, 研究方向: 植物研究, E-mail: BAN@163.com; 陈怡, 硕士, 研究方向: 污水处理, E-mail: aerithchen@outlook.com。

引文格式: 陈怡, 张乔雨, 郭春兰, 等. 5种水生植物对富营养化水体净化效果研究[J]. 湖南生态科学学报, 2023, 10(2): 48-54. CHEN Y, ZHANG Q Y, GUO C L, et al. Study on the purification effect of five aquatic plants on eutrophic water[J]. Journal of Hunan Ecological Science, 2023, 10(2): 48-54.

total nitrogen (TN) removal efficiency of the five types of aquatic plants from strong to weak was combination of plants $>P. cordata >C. indica >A. calamus >M. verticillatum >H. vulgaris$. Meanwhile, the 5 types of aquatic plants combined with the cultivation has the highest removal rate of TN, the TN removal rate was 99.7%; The total phosphorus (TP) removal rate of 5 plants from high to low was combination of plants $>C. indica >M. verticillatum >P. cordata >H. vulgaris >A. calamus$, and the highest TP removal rate of 5 types of aquatic plants combined with the cultivation was 89.1%. The removal rates of chemical oxygen demand (COD) of the five aquatic plants were as follows: combination of plants $>P. cordata >C. indica >A. calamus >H. vulgaris >M. verticillatum$. 【Conclusion】The results show that the combined use of aquatic plants can increase the removal rate of nitrogen and phosphorus pollutants in water, and can effectively increase the removal rates of TN, TP and COD. The selected plants, *C. indica* and *P. cordata*, have relatively good purification effects on TN, TP and COD. Therefore, it will be better to use *C. indica* and *P. cordata* combination with other plants to purified eutrophic water. It provides practical basis for the selection and collocation of plants.

Keywords: southern Fujian province; aquatic plant; water purification; total nitrogen; total phosphorus

水体富营养化是目前水体污染中常见的问题之一^[1]。而水体中过高浓度的氮和磷是造成水体富营养化的主要原因^[2]。为降低水体中过高的氮、磷浓度,人们提出了如人工湿地、生态浮床等修复和控制富营养化水体的生态工程,在这些生态工程中植物是重要的组成部分^[3]。且随着我国“海绵城市”建设的加快,净水型水生植物被运用到雨水花园等场景的构建当中^[4-5],因此利用水生植物进行水质净化逐渐受到关注。水生植物净化法与传统的物理、化学和微生物处理方式相比较,其优势在于低能耗、低投资、处理过程与自然生态系统的兼容性更强,且具有一定的景观效果^[6]。水生植物对污染物的去除机制包括植物吸收^[7]、微生物降解^[8]和物化作用^[9],净化过程中植物起到直接或间接的作用。不同植物对污染物的吸收、微生物的附着效果不同,导致不同植物的净化效果不同,因此对于植物本身的净化效果的研究和探讨尤为重要。

目前关于水生植物在水体污染治理上的研究众多,但缺乏结合闽南地域性气候特点的水生植物净化研究。本研究按照植物的生活型,以挺水植物为主结合沉水植物的方式,选用美人蕉、梭鱼草、菖蒲、铜钱草和狐尾藻5种水生植物进行移植栽种试验。试验通过检测水质中总氮(total nitrogen, TN)、总磷(total phosphorus, TP)和化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)这三个指标,探讨5种水生植物的水质净化能力,提高水质,美化水体环境,为闽南地区净水型水生植物的选用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

选用5种适应闽南气候特征的草本植物:菖蒲(*Acorus calamus*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、梭鱼草(*Pontederia cordata*)、美人蕉(*Canna indica*)和铜钱草(*Hydrocotyle vulgaris*)。试验于闽南师范大学生物科学与技术学院温室大棚进行,并选取长势优良的植株进行种植。

1.2 试验设计

试验用水为福建漳州九龙江西溪实际水样,原水水样中TN、TP和COD的浓度为 9.50 ± 1.98 、 0.55 ± 0.49 和 5.47 ± 0.19 mg/L。为模拟富营养化水体环境,在原水样中加入 NH_4Cl 和 KH_2PO_4 进行水样配制,模拟污染液中TP、TN和COD的浓度,其浓度分别为2.50、10.00和6.00 mg/L。

试验组分为5种植物组(美人蕉、菖蒲、狐尾藻、铜钱草、梭鱼草)和组合组,共6组,每组设置3个重复。水箱长宽高为(52 cm×38 cm×17 cm),用铁丝将水箱水面等分成10块,每个分区放置一株大小均匀、长势良好的植株,即每个水箱中分别放置10株。组合组中每种植物各放2株。单种植物组和组合组,植物株数一致。试验同时设置一组空白对照组。试验周期为28 d,每隔7 d进行一次采样。每次取样时用超纯水补充蒸发、蒸腾、采样所耗的水量。

1.3 试验方法

总磷(TP)、总氮(TN)和化学需氧量(COD)的测定分别采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—89)、纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009)和高锰酸盐指数法(GB/T 11892—89),仪器选用 T6 新世纪紫外可见分光光度计^[10]。

各水体指标的去除率(L)^[11]按以下公式计算:

$$L = (C_0 - C_i) / C_0 \times 100\%$$

式中, C_0 为初始浓度, C_i 为处理后浓度。

待试验处理结束后,取出完整植株,采集植物根系部分,自然风干,,在 105 ℃ 下杀青 20 min,然后在 60 ℃ 下烘干,称量不同类型的根系重量,计算根系生物量^[12]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019 软件进行数据处理、作图和分析。

2 结果与分析

2.1 五种水生植物生长状况

通过对比 5 种水生植物的根系,发现不同植物

的根系生长情况不同(表 1)。美人蕉的根系发达,总体生长方向向下延伸^[13],且根系有许多侧根(图 1a),美人蕉属于须根型水生植物,其根数可达 $1\,349 \pm 53$ 条/株。菖蒲的根状茎粗壮,根系光滑且没有明显的侧根(图 1b),菖蒲属于根茎型水生植物,其根数为 549 ± 64 条/株。梭鱼草的根系较于上述两者,根状茎较细,但是根系较为发达(图 1c),其根数可达 $1\,587 \pm 92$ 条/株。狐尾藻根状茎发达,节部生根,根茎较为纤细,多分枝,但延展性较差(图 1d),其根数可达 462 ± 33 条/株。铜钱草茎细长,节上生根,走茎发达(图 1e),其根数可达 398 ± 42 条/株。

表 1 5 种水生植物的根数及根部生物量

Table 1 The number of roots and root biomass per plant of five aquatic plants

种类	植物根数/(条/株)	根生物量/(克/株)
菖蒲	549 ± 64	6.2 ± 1.2
狐尾藻	462 ± 33	4.8 ± 1.3
梭鱼草	$1\,587 \pm 92$	13.6 ± 2.1
美人蕉	$1\,349 \pm 53$	11.56 ± 3.2
铜钱草	398 ± 42	5.9 ± 1.6

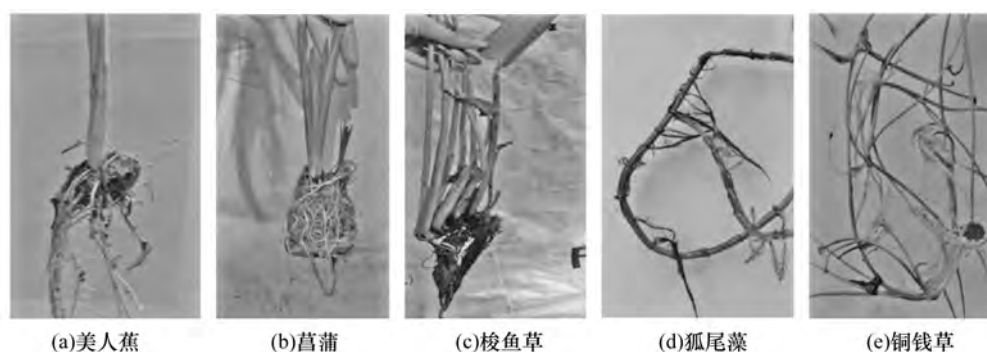


图 1 植物根系结构情况

Figure 1 The structure of plant root

2.2 五种水生植物净化效果

28 d 后,5 种水生植物对模拟污染水体中 TN 和 TP 的去除率见表 2。组合组的 TN 去除率最高,去除率可达 99.0% 以上,能够有效去除水中的含氮有

机物。梭鱼草、美人蕉和菖蒲的 TN 去除率无显著差异,其去除率分别达到 97.7%、94.1% 和 90.9%。狐尾藻和铜钱草的 TN 去除率处于同一水平,TN 去除率分别为 86.6% 和 82.9%。通过对比植物对污水中 TP 的去除率得出,美人蕉对模拟污染水样中

TP 的去除率最高,可达到 88.6%。组合组对含磷物质也表现出良好的去除效果,TP 去除率高达 80.3%。狐尾藻和梭鱼草的 TP 去除能力较弱,分别为 44.2% 和 41.8%。菖蒲与铜钱草的 TP 去除率分别为 7.0% 和 22.4%,对水体中 TP 的去除效果表现较差。

表 2 水生植物 TN、TP 的去除率
Table 2 The removal rate of TN and TP in aquatic plants

种类	TN 去除率/%	TP 去除率/%
菖蒲	90.9±3.62	7.0±3.18
狐尾藻	86.6±4.65	44.2±5.92
梭鱼草	97.7±0.97	41.8±3.98
美人蕉	94.1±3.22	88.6±2.96
铜钱草	82.9±7.37	22.4±5.98
组合	99.7±0.15	80.3±3.65
空白	65.4±1.11	33.8±1.87

2.3 对总氮的去除效果比较

试验组 TN 的去除率随着时间的推移呈现递增趋势(见图 2)。通过比较得出 TN 去除效果由高到低为:组合组>梭鱼草>美人蕉>菖蒲>狐尾藻>铜钱

草。由于自然水样中,存在少量藻类或微生物膜附着于水体表面,所以空白组的 TN 去除率随时间增长而先降后升。试验后期,5 种水生植物的 TN 去除率均高于对照组,表明 5 种植物均能对水体中的含氮化合物表现出良好的去除效果。

试验分为初期(0~7 d)、中期(7~21 d)和后期(21~28 d)。初期菖蒲和狐尾藻的 TN 去除率较低。中期菖蒲和狐尾藻均表现出良好的净化效果,且净化速度显著增加。后期,五种水生植物均有较高的 TN 去除率。从去除率增长速度来看,中期五种供试植物的去除率增长最快,而后期净化效果达到饱和,五种供试植物去除率的增长速度逐渐变缓。初期梭鱼草的 TN 去除率较美人蕉的 TN 去除率低,而后期梭鱼草的 TN 去除率高于美人蕉的 TN 去除率,表明梭鱼草相对于美人蕉需要更长的水力停留时间才能更好地发挥作用。植物组合搭配的 TN 去除率高于单种植物的 TN 去除率,且在初期植物组合的 TN 去除率已达到 63.5%,能够较快地对污染水体起净化作用。

综上所述,试验中的 TN 去除作用起效最快且去除率最高的是植物组合搭配。而单种植物中美人蕉和梭鱼草的 TN 去除效果最好,其余三种水生植物在生长稳定后均能展现出良好的 TN 去除效果。

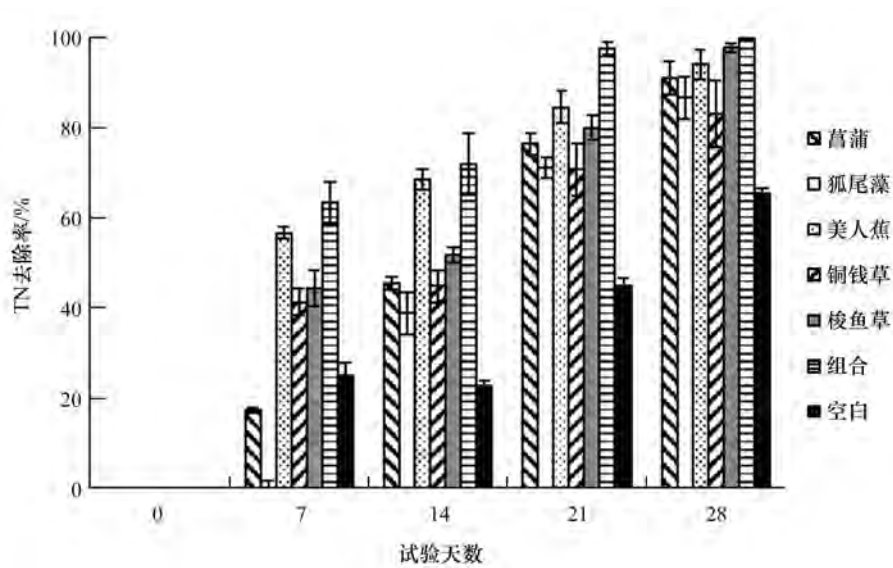


图 2 总氮(total nitrogen, TN)的去除率
Figure 2 The removal rate of total nitrogen (TN)

2.4 对总磷的去除效果比较

TP 去除率由高到低为美人蕉>植物组合>狐尾藻>梭鱼草>铜钱草>菖蒲。如图 3 所示,试验初期检测的结果显示,菖蒲、梭鱼草和铜钱草对水样中的 TP 几乎没有去除效果;但试验中期,三组植物对污水中 TP 的去除率均有所增加。其余各试验组的 TP 去除率也表现出上升趋势,其中组合组搭配的 TP 去除率上升最快,其 TP 去除率在试验中期达到

89.1%;试验后期菖蒲、狐尾藻、铜钱草和植物搭配的 TP 去除率均有所下降。试验过程中,对比单种植物组与组合组的 TP 去除率,组合组净化效果整体高于单种植物的净化效果,但试验后期 TP 去除率下降后,其值略低于美人蕉的 TP 去除率。

综上所述,美人蕉和组合组对水样中的 TP 去除效果表现较好。建议优先使用美人蕉,或选择以美人蕉为主的多种植物组合的方式净化水样中的含磷物质。

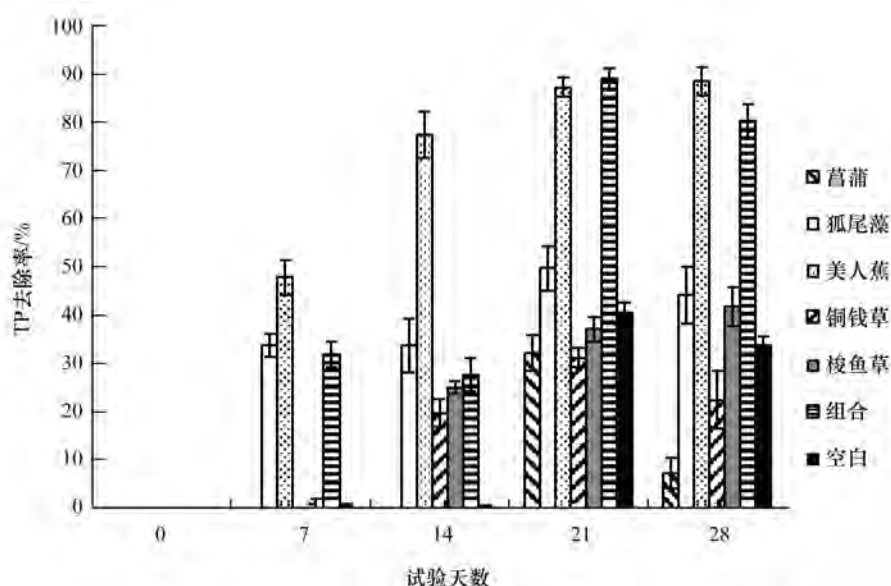


图 3 总磷(total phosphorus, TP)的去除率

Figure 3 The removal rate of total phosphorus (TP) during the experiment

2.5 对 COD 的去除效果比较

如图 4 所示,由于本试验采用静水试验,种植植物的底泥中的有机质会随着时间的增加不断析出^[14],通过将植物组与空白组进行比较可以发现,美人蕉、梭鱼草、菖蒲和铜钱草的 COD 去除率均高于空白组,且美人蕉和梭鱼草对 COD 的降解效果较好。试验后期由于狐尾藻生长过快,植物根系部分区域发生老化、枝叶凋零等现象,残叶分解导致水样中 COD 的测量值增高,因此判断狐尾藻对 COD 的去除效果较差。

3 讨 论

水生植物的生长需要大量的营养物质^[15],其中

氮(N)、磷(P)化合物主要以离子形式,通过富集吸收等方式固定在植物体内^[16],以确保植物的正常生长、发育和繁殖。研究发现,水生植物净化污水的能力与植物根系、茎和叶的生长发育情况相关^[17-18],且根系的生物量也是净化效率的指标之一^[19]。根据试验后期植物根系的生长情况(图 1),根系数量最多的梭鱼草,其生物量为 13.6 ± 2.1 克/株。须根型植物如美人蕉,其根系的平均生物量为 11.56 ± 3.2 克/株。而根茎型植物如菖蒲,其根系的平均生物量为 6.2 ± 1.2 克/株。其余两种水生植物铜钱草和狐尾藻的平均生物量分别为 5.9 ± 1.6 克/株和 4.8 ± 1.3 克/株。植物根数越多其根生物量也相应增多,同时生物量的增多也促进了 TN 的去除,与试验结果相符合。

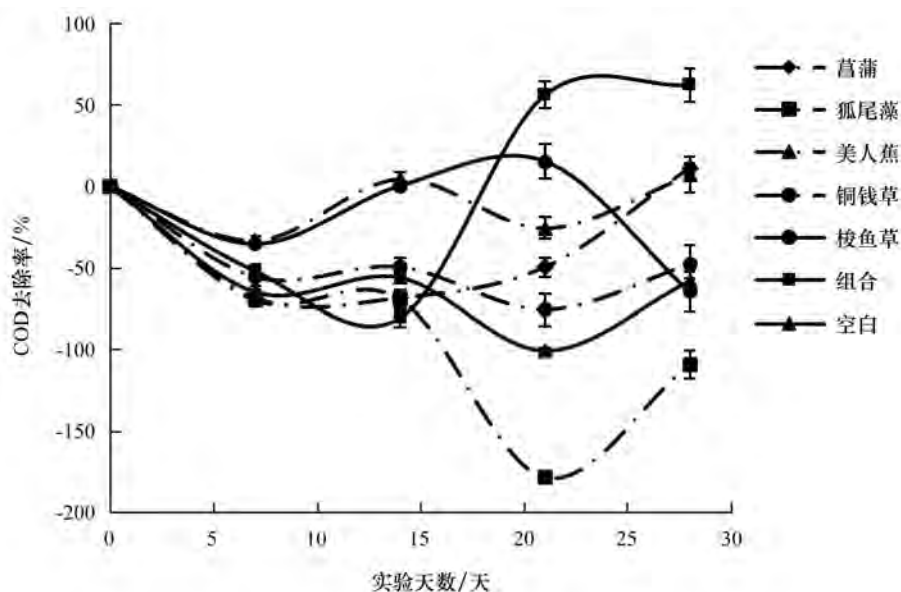


图4 COD 的去除率

Figure 4 The removal rate of COD during the experiment

水体中 TP 的去除主要有三种途径:①植物腐败组织的沉积引起的对磷的捕集;②植物的直接吸收;③微生物的转化吸收作用^[20]。而多数水生植物对磷直接吸收的能力较弱,主要依赖于微生物菌群的种类和数量^[21],因此部分植物(如菖蒲、狐尾藻、梭鱼草、铜钱草)对水体中 TP 的去除效果不佳。植物净化污水过程中,TP 去除率先升后降,分析其原因有:①植物对水体中的含磷物质的吸收达到饱和状态,之后植物中的含磷化合物随着植物的腐解而逐渐析出^[14];②与水体中微生物和藻类的繁殖数量、根系生长情况有关^[22],微生物繁殖数量增长有益于植物去除 TP,但微生物繁殖过多会造成水体缺氧^[23],植物腐烂而产生含磷腐殖质,造成水体 TP 上升。

数据表明,水生植物对水体中的氮磷化合物均表现出良好的去除效果,但在试验前期对系统中 COD 的去除效果表现较差。试验前期 COD 浓度上升后逐渐下降又复上升,表明植物生长过程中有 COD 析出^[24]。静置试验中,生物的代谢、腐解都发生在试验装置中。由于采用实际水体配置水样,水样中含有部分微生物和藻类,存在其降解产生 COD 的情况。但后期随着植物生长的稳定,部分植物对水体中 COD 的去除逐渐发挥作用。

由于本试验是静水试验,其水力停留时间相较于流动的水体来说时间更长,试验中污水跟植物有

充足的接触时间,而水生植物与污水的接触时间往往较短。因此在实际水体中,净水作用越快的植物,在实际水体中的作用效果越明显,净化效果越好。因此建议在含氮量和含磷量高的水体中,优先推荐以美人蕉和梭鱼草为主,多种植物搭配的方式进行植物栽植,能够加快水体中含氮含磷物质的去除。

4 结 论

本研究于 2021 年 9 月在室外静水条件下,对 5 种水生植物的氮、磷吸收和水质净化能力进行比较研究,可以得出如下结论:

(1) 5 种供试水生植物根系生长不同,植物根系数量从多到少为梭鱼草>美人蕉>菖蒲>狐尾藻>铜钱草,植物根系数量越多,其根生物量越多,对 TN 的去除率越高。

(2) 不同水生植物的水质净化能力存在较大差异。水生植物对水体中总氮和总磷的去除率分别为 65.4% ~ 99.7% 和 7.0% ~ 88.6%。5 种植物净化效果对比,梭鱼草和美人蕉对 TN 和 COD 的去除率优于其他三种供试植物。美人蕉对 TP 去除效果表现最好,狐尾藻和梭鱼草次之。植物组合组对 TN、TP 和 COD 的去除效果均优于单种植物的去除效果,且植物组合组能够较快地对富营养化水体起

到净化作用。

参考文献:

- [1] 邵帅,刘丽雯. 中国水污染治理的政策效果评估——来自水生态文明城市建设试点的证据[J]. 改革, 2022, 348(2): 75-92.
- [2] 武晗琪,李琦晖,李琪,等. 太湖北部蓝藻集聚区水体富营养化时空变化研究[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(7): 926-932.
- [3] 王秀璞,张慧,王语萱,等. 水生植物-微生物联合去除水体有机污染物的研究进展[J]. 微生物学通报, 2021, 48(12): 4918-4931.
- [4] 王佳,王思思,车伍,等. 雨水花园植物的选择与设计[J]. 北方园艺, 2012(19): 77-81.
- [5] 马明海,罗毅,陈然,等. 4种水生植物腐解对人工湿地净化水西河的影响[J]. 环境保护科学, 2022, 48(6): 116-120.
- [6] 李晓红. 水生植物在水污染治理中的应用——评《水体净化与景观水生植物工程应用》[J]. 人民黄河, 2021, 43(9): 178.
- [7] 张靖雨,汪邦稳,龙昶宇,等. 湿地植物对农村生活污水中氮磷的净化作用[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 15-22+114.
- [8] 王丽莎,李希,李裕元,等. 亚热带丘陵区绿狐尾藻人工湿地处理养猪废水氮磷去向[J]. 环境科学, 2021, 42(3): 1433-1442.
- [9] TONG X N, MOHAPATRA S, ZHANG J J, et al. Source, fate, transport and modelling of selected emerging contaminants in the aquatic environment: Current status and future perspectives [J]. Water Research, 2022, 217: 118418.
- [10] 申禹,李玲. 钼酸铵分光光度法测定磷浓度实验方法的改进[J]. 实验技术与管理, 2013, 30(1): 56-59.
- [11] 袁杰,董立新,杨洁,等. 六种挺水植物对富营养化河水氮磷净化效果研究[J]. 环境科学与管理, 2017, 42(4): 75-78.
- [12] 苟小林,周青平,涂卫国,等. 高寒半湿润沙地土壤水分与根系生物量对植被恢复的响应[J]. 中国草地学报, 2022, 44(7): 53-60+86.
- [13] 罗固源,郑剑锋,许晓毅,等. 4种浮床栽培植物生长特性及吸收氮磷能力的比较[J]. 环境科学学报, 2019, 29(2): 285-290.
- [14] 李旭,崔康平,汤海燕,等. 沉水植物苦草腐解对水体水质的影响[J]. 中国给水排水, 2020, 36(7): 60-67.
- [15] 张玉华,高新红. 水生植物在水污染治理中的净化机理及应用[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(11): 199-201.
- [16] 王敬富,陈敬安,濮培民,等. 红枫湖富营养化水体生态修复中水生植物化学成分[J]. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2312-2318.
- [17] 黄晓龙,李松阳,李宽意. 基于L系统的水生植物根系动态生长模型构建[J]. 湖泊科学, 2022, 34(6): 2083-2094.
- [18] ZHOU X H, HE Z L, KIMBERLY D., et al. Dominating aquatic macrophytes for the removal of nutrients from waterways of the Indian River Lagoon basin, South Florida, USA[J]. Ecological Engineering, 2017, 101: 107-119.
- [19] 程丽芬,张欣,樊兰英,等. 人工湿地水生植物根系研究进展[J]. 山西林业科技, 2017, 46(2): 40-45.
- [20] 张靖雨,汪邦稳,龙昶宇,等. 湿地植物对农村生活污水中氮磷的净化作用[J]. 水土保持通报, 2021, 41(5): 15-22+114.
- [21] ZHOU T C, ZONG N, SUN J, et al. Plant nitrogen concentration is more sensitive in response to degradation than phosphorus concentration in alpine meadow[J]. Ecological Engineering, 2021, 169: 106323.
- [22] 李锋民,陈琳,姜晓华,等. 水质净化与生态修复的水生植物优选指标体系构建[J]. 生态环境学报, 2021, 30(12): 2411-2422.
- [23] 吴明丽,李叙勇. 光衰减及其相关环境因子对沉水植物生长影响研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7202-7212.
- [24] 周卿伟,梁银秀,阎百兴,等. 冷季不同植物人工湿地处理生活污水的工程实例分析[J]. 湖泊科学, 2018, 30(1): 130-138.

责任编辑:罗小宁

英文校对:王芬

公益广告

世界地球日

WORLD EARTH DAY



珍爱地球 | 人与自然和谐共生

湖南生态科学学报

(季刊 1995年创刊)

2023年 第10卷 第2期

主管单位：湖南省教育厅

主办单位：湖南环境生物职业技术学院

编辑出版：《湖南生态科学学报》编辑部

(湖南省衡阳市石鼓区望城路165号 邮编：421005)

电话：0734-8591122

邮箱：2514634782@qq.com

主编：梁忠厚 颜晓元

副主编：蒋一锄

印刷：长沙市和一印刷设备有限公司

发行订阅：《湖南生态科学学报》编辑部

学报官网：www.hnstkxxb.com

投稿网址：hnhs.cbpt.cnknet

出版日期：2023年6月25日

Journal of Hunan Ecological Science

(Quarterly, Started in 1995)

Vol.10 No.2 2023

Supervisor: Education Department of Hunan Province

Sponsor: Hunan Polytechnic of Environment and Biology

Edited and Published by: Editorial Department of Journal of Hunan Ecological Science

(165 Wangcheng Road, Shigu District, Hengyang 421005, China)

Tel.: 0734-8591122

E-mail: 2514634782@qq.com

Editor-in-chief: Liang Zhonghou, Yan Xiaoyuan

Associate Editor-in-chief: Jiang Yichu

Printed by: Changsha Heyi Printing Equipment Co., Ltd.

Distributed by: Editorial Department of Journal of Hunan Ecological Science

Journal official website: www.hnstkxxb.com

Submission website: hnhs.cbpt.cnknet

Published date: 25 Jun, 2023

ISSN 2095-7300



国内定价：10.00元