

文章编号: 1673-9469 (2018) 01-0084-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.01.019

水生植物组合对受污水体的原位修复研究

邢秀敏¹, 曲超², 支青³, 林佳琪⁴

(1. 邯郸市第一医院, 河北 邯郸 056002; 2. 邯郸市环保局, 河北 邯郸 0560383; 3. 北方发展投资有限公司, 陕西 西安 710201; 4. 河北工程大学 能源与环境工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 为进一步验证狐尾藻、金鱼藻及菹齿眼子菜三种水生植物组合对实际污染水体的处理效果, 建立了植物围栏, 研究原位条件下植物组合对受污染水体中营养盐类的去除效果。结果表明, 原位状态下, 围隔内各组水生植株组合均能对水体中污染物具有一定去除作用。相对于对照组, 狐尾藻+金鱼藻组合去除氮类营养盐效果最好; 菹齿眼子菜+狐尾藻组合对水体中溶解性磷类营养盐去除效果最好; 菹齿眼子菜+狐尾藻的植物组合水体中溶解性 COD_{Mn} 去除效果最好, 而综合来看, 狐尾藻+金鱼藻的组合对各位营养盐的去除效果最好。

关键词: 水生植物; 原位修复; 水体污染; 植物组合

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

Study of the in-situ repair on polluted water by aquatic plants

XING Xiumin¹, QU Chao², ZHI Qing³, LIN Jiaqi⁴

(1.Hanhan First Hospital, Handan, Hebei, 056002; 2.Handan Municipal Environmental Protection Bureau, Hebei Handan, couege of energy and enriromedal eugiaeer 0560383; 3.North dere lop meut inrestmeut co, LTD, 710201; 4. College of energy and environmental engineering,Hebei University of Engineering, Handan, 056038)

Abstract: The previous batch experiments have verified that three kinds of aquatic plants(Myriophyllum, Ceratophyllum and Potamogeton pectinatus)can obviously absorb and decompose the nutrients and pollutants in water body. In order to further verify the treatment effect of the selected aquatic plants' combination on the actual polluted water, a plant fence was established to study the removal of the nutrients in polluted water under in-situ conditions. The results showed that the combination of aquatic plants in the fence could remove the pollutant in water under in-situ conditions. Compared to the control group, the combination of Myriophyllum and Ceratophyllum showed the best removal effect of nitrogen nutrients, the combination of Potamogeton pectinatus and Myriophyllum showed the best removal effect of dissolved phosphorus nutrients in the water, while the combination of grate tooth eye and the fox tail algae showed the best removal effect of the dissolved COD_{Mn}. In a comprehensive view, the combination of the Fox tail algae + Ceratophyllum is the best for the removal of nutrients.

Key words: aquatic plants; In-Situ Repair; River Pollution; Plant combination

当前我国城市河流污染问题日益突出, 河流污染的程度远超其自净能力, 水体富营养化愈加显著, 水体的社会功能及生态功能持续地削弱, 已严重影响了城市及流域的生产生活和生态环境^[1-4]。水体富营养化主要原因是水体中N、P等营养盐类含量超标, 促使水体中藻类等浮游植物过度滋生^[5-8]。植物修复技术是一种低成本、无污染的原位生态治理技术,

可以通过植株及根系微生物的代谢活动将水体中的污染物吸收、降解或转化^[9-11]。植物修复技术已在多种水体修复实践中广泛应用^[12-16]。在植物修复技术中, 物种的选择和群落的配置是影响水环境恢复效果的关键因素之一^[17-20]。本研究在前期实验室批次试验筛选的基础上, 确定出狐尾藻、金鱼藻以及菹齿眼子菜是三种能够较好吸收、分解水体中营养

收稿日期: 2017-12-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51508149); 邯郸市科学研究与发展计划(1623209044-2); 河北省教育厅项目(QN2016259)

作者简介: 邢秀敏(1981-), 女, 河北邯郸人, 硕士, 工程师, 主要从事医院基础建设以及污水处理工艺的设计研究。

盐及污染物的水生植物。为进一步检验所遴选植物对改善水体的实际表现，在实际水体中设置了5组植物围隔，通过设计水生植物的不同组合，研究组合植物对受污染水体中营养盐类的去除效果，进而验证其工程价值。

1 材料与方法

1.1 实验材料

如图1所示，项目示范区搭建在滏阳河邯鄲段赵苑点，共装置5组1.5 m×1.0 m×1.0 m不锈钢原位围隔(外衬防水布)，编号依次为1~5，其中5号为对照组，其他四组为实验组，1~4号各组从左至右种植沉水植物依次为篦齿眼子菜、狐尾藻以及金鱼藻的组合，具体如表1所示。

1.2 实验设计

选择培养生长较好的沉水植物篦齿眼子菜、狐尾藻以及金鱼藻种植于围隔中，表1、表2为各个围隔中具体种植情况：

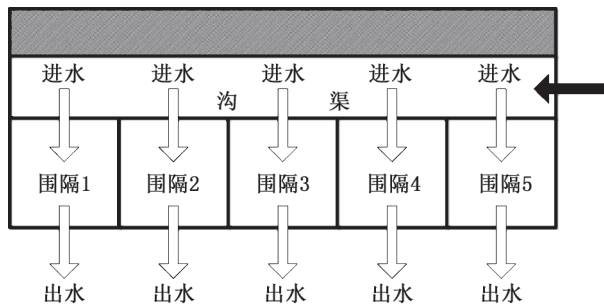


图1 水生植物种植图

Fig. 1 Plant map of aquatic plants

表1 围隔中具体种植表

Tab.1 The specific planting table

围隔1	围隔2	围隔3	围隔4	围隔5
狐尾藻 金鱼藻	金鱼藻 篦齿眼子菜	篦齿眼子菜 狐尾藻	篦齿眼子菜 狐尾藻 金鱼藻	对照

表2 沉水植株基本情况表

Tab.2 Basic Condition of Submerged Plants

沉水植株	平均高度/cm	重量/g
金鱼藻	16.3	52.4
狐尾藻	13.5	52.4
篦齿眼子菜	17.2	50.5

1.3 监测指标和分析方法

每天对5组围隔水取样监测，每天上午10:00取样一次，周期为30 d(雨天不取样)，通过分析COD_{Mn}、NH₃-N、NO₃-N、TN、TP的浓度及去除率变化趋势，区分各类植物组合实用性效果。

水质总氮：碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法；水质总磷：钼酸铵分光光度法；氨氮：纳氏试剂法；硝氮消解法(GB11893-89)。

2 各围隔组对水体污染物的去除效果

2.1 各组围隔对溶解性硝氮的去除效果

图2反应的是溶解性硝氮随时间推移在各组围隔中的浓度变化情况，根据图2的数据可得出以下结论：在第10 d时，对照组中溶解性硝氮的浓度降低至第1 d浓度的87%，而围隔1到围隔4四组中溶解性硝氮浓度分别降低至第1 d浓度的95%、77%、97%及73%；在第20 d时，对照组水体中溶解性硝氮的浓度降低至第1 d浓度的79%，而围隔1到围隔4四组中溶解性硝氮浓度分别降低至第1 d浓度的76%、70%、68%及73%；根据第30 d天的实验数据来看，对照组中溶解性硝氮的浓度降低至第1 d浓度的89%，而围隔1到围隔4四组中溶解性硝氮浓度分别降低至第1 d浓度的56%、67%、60%及67%。通过对比以上三次实验结果能得出：溶解性硝氮在对照水体中较为不稳定，在短时间内，金鱼藻+篦齿眼子菜的组合、金鱼藻+篦齿眼子菜+狐尾藻的组合能够较好地降低水体中溶解性硝氮浓度；但长期培养后，狐尾藻+金鱼藻以及齿眼子菜+狐尾藻的植群落物组合对水体中溶解性硝氮去除效果更好。这是因为水体中的硝态氮等主要是通

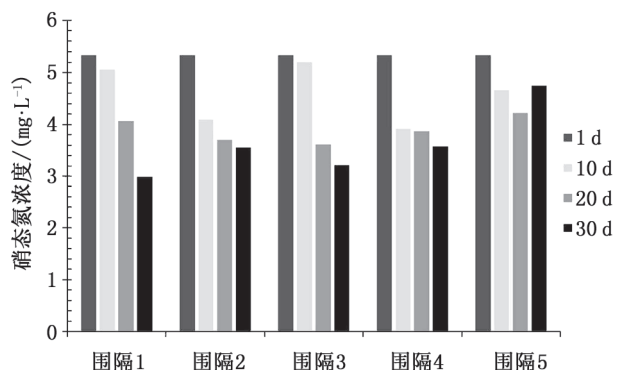


图2 各组围隔对溶解性硝氮的去除效果

Fig. 2 Effect of different groups on the removal of dissolved nitrate

过反硝化细菌的代谢作用被去除,而反硝化菌一方面要求较为严格的缺氧环境,另一方面又需要硝态氮提供电子受体,因此对氧浓度要求较高,图3可以看出狐尾藻+金鱼藻围隔中具有更好的硝化效果,因而可提供更为充足的电子受体,因此,围隔1对硝态氮的去除效果最佳。

2.2 各组围隔对溶解性氨氮的去除效果

图3反应的是溶解性氨氮随时间变化在各组围隔中的浓度变化情况,根据图3可以看出,溶解性氨氮在各组水体中的初始浓度为2.75 mg/L;在第10 d的检测结果中,对照组中溶解性氨氮的浓度降低至第1 d浓度的85%,而围隔1到围隔4四组中溶解性氨氮浓度分别降低至第1 d浓度的82%、94%、92%及96%;在第20 d的检测结果中,对照组中溶解性氨氮的浓度降低至第1 d浓度的78%,而围隔1到围隔4四组中溶解性氨氮浓度分别降低至第1 d浓度的70%、88%、86%及95%;在第30 d的检测结果中,对照组中溶解性氨氮的浓度降低至第1 d浓度的84%,而围隔1到围隔4四组

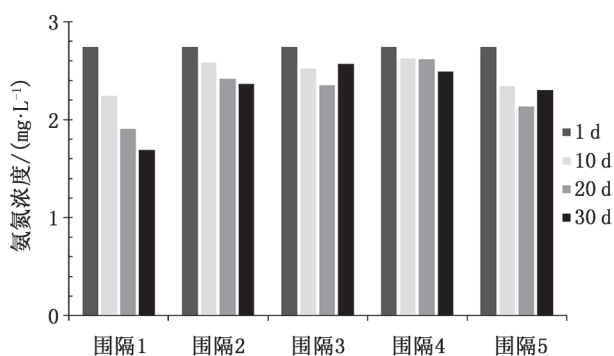


图3 各组围隔对溶解性氨氮的去除效果

Fig.3 Effect of different groups on the removal of dissolved ammonia nitrogen

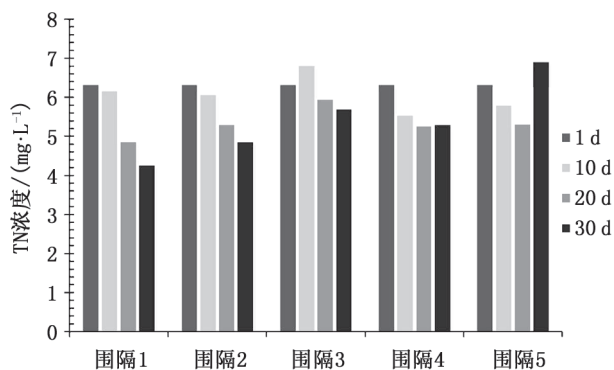


图4 各组围隔对溶解性总氮的去除效果

Fig.4 Effect of different groups on the removal of dissolved total nitrogen

中溶解性氨氮浓度分别降低至第1 d浓度的62%、86%、94%以及91%。对比上述三次测量数据可知:狐尾藻+金鱼藻组合能够较好地降低水体中的溶解性氨氮浓度。这是因为,河道中的氨氮主要是通过附着与植物根系及茎叶植物表面的生物膜中的硝化细菌的硝化作用去除,而硝化作用受溶解氧浓度控制,一般情况下,溶解氧浓度越高,硝化效率越高,围隔1中狐尾藻+金鱼藻组合能提供更好富氧效果,因而其硝化效率较高。

2.3 各组围隔对溶解性总氮的去除效果

根据图4可以看出,第1 d各组水体中溶解性TN的初始浓度为6.18 mg/L。在第10 d的检测结果中,对照组中溶解性TN的浓度降低至第1 d浓度的92%,而围隔1到围隔4四组中溶解性TN浓度分别降低至第1 d浓度的98%、96%、1.08%及88%;在第20 d的检测结果中,对照组中溶解性TN的浓度降低至第1 d浓度的84%,而围隔1到围隔4四组中溶解性TN浓度分别降低至第1 d浓度的77%、84%、94%及83%;在第30 d的检测结果中,对照组中溶解性TN的浓度降低至第1 d浓度的109%,而围隔1到围隔4四组中溶解性TN浓度分别降低至第1 d浓度的68%、77%、90%及84%。对照组溶解性TN的异常升高可能因为河道地歩污泥内源污染物质的释放,而通过对比上述三次测量数据可知:狐尾藻+金鱼藻以及金鱼藻+篦齿眼子菜的植物组合能够明显地降低水体中的溶解性总氮浓度。这是因为TN去除过程冗长,需通过硝化细菌的硝化作用及反硝化细菌的反硝化作用方可去除,围隔1中对氨氮的硝化作用及硝态氮的反硝化作用均较好,因此其对TN的去除作用较强。

2.4 各组围隔对溶解性TP的去除效果

由图5显示,第1 d各组水体中的初始溶解性TP浓度为17 mg/L。在第10 d的检测结果中,对照组中溶解性TP的浓度降低至第1 d浓度的85%,而围隔1到围隔4四组中溶解性TP浓度分别降低至第1 d浓度的78%、105%、90%及78%;在第20 d的检测结果中,对照组中溶解性TP的浓度降低至第1 d浓度的74%,而围隔1到围隔4四组中溶解性TP浓度分别降低至第1 d浓度的59%、70%、59%及56%;在第30 d的检测结果中,对照组中溶解性TP的浓度降低至第1 d浓度的67%,而围隔1到围

隔4四组中溶解性TP浓度分别降低至第1d浓度的54%、63%、71%及49%；三次的对比试验中可以发现，狐尾藻+金鱼藻的植物组合、金鱼藻+篦齿眼子菜的植物组合以及篦齿眼子菜+狐尾藻的植物组合均能够较好地降低水体中溶解性TP浓度，其中，篦齿眼子菜+狐尾藻的植物组合处理效果最好。从图5还可以看出，各组围隔对TP相对去除效果较好，但实际去除量较少，这主要是因为TP的去除主要是通过微生物的吸释磷作用完成，但对照组相与实验组所在环境并不能支持微生物的吸释磷作用，因此TP只能通过吸附及同化作用去除，但植物及微生物对TP的需求量较少，因此各组围隔对TP均有一定的去除作用，但去除量有限。

2.5 各组围隔对溶解性COD_{Mn}的去除效果

图6显示，各个围隔中第1d的溶解性COD_{Mn}的浓度为71 mg/L。在第10d的检测结果对比中，对照组中溶解性COD_{Mn}的浓度为第1d水样结果的95%，而在围隔1到围隔4四组试验组中，其溶解性COD_{Mn}的浓度分别为第1d测量数据的49%、45%、43%及45%；第20d的测量结果显示，对照组中溶解性COD_{Mn}的浓度为第1d水样结果的

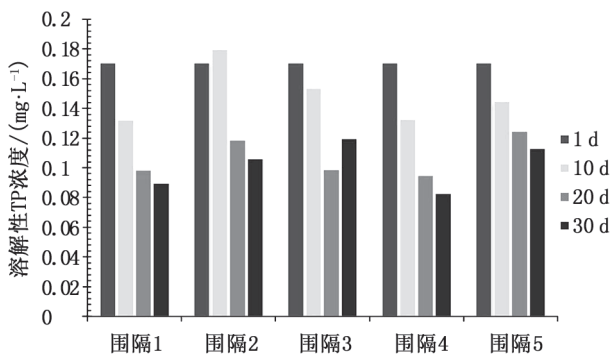


图5 各组围隔对溶解性TP的去除效果

Fig.5 Effect of different groups on the removal of dissolved TP

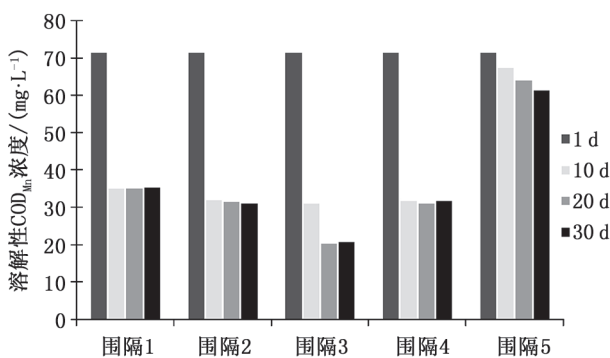


图6 各组围隔对COD_{Mn}的去除效果

Fig. 6 The effect of codmn on the isolation of different groups

90%，而其它四组实验组数据分别为第1d测量结果的50%、44%、29%以及43%；第30d测量结果表明，对照组中溶解性COD_{Mn}的浓度为第1d水样结果的87%，而其它四组实验组数据分别为第1d测量结果的49%、44%、29%及45%。通过对比上述三次测量数据可知：各组水生植物组合均能够在一定程度上降低水体中溶解性COD_{Mn}浓度；在三次的对比试验中可以发现，狐尾藻、金鱼藻及篦齿眼子菜的植物组合均能够较好地降低水体中溶解性COD_{Mn}浓度，其中，篦齿眼子菜+狐尾藻的植物组合处理效果最好。这是由于潜水植物的根系及茎叶植物表面附着的生物膜上存在大量细菌、真菌、原生动、后生动物等微生物，而COD_{Mn}主要是通过微生物新陈代谢作用被去除，篦齿眼子菜+狐尾藻的植物组合具有更大的比表面积，因此去除效果较好。

3 结论

1) 围隔内各组水生植物组合均能够在一定程度上降低水体中的各种营养盐浓度。

2) 相对于对照组，狐尾藻+金鱼藻以及齿眼子菜+狐尾藻的植群落物组合对水体中溶解性硝氮浓度有较强的去除能力；狐尾藻+金鱼藻以及金鱼藻+篦齿眼子菜的植物组合能够较好地降低水体中的溶解性氨氮浓度；狐尾藻+金鱼藻以及金鱼藻+篦齿眼子菜的植物组合能够明显地降低水体中的溶解性总氮浓度；篦齿眼子菜+狐尾藻的植物组合能够较好的去除水体中溶解性TP；篦齿眼子菜+狐尾藻的植物组合能够较好的去除水体中溶解性COD_{Mn}。而综合来看，狐尾藻+金鱼藻的组合对各位营养盐的去除效果最好。

参考文献：

- [1] 李爱民. 基流匮乏型城市黑臭河流的治理模式及其主要技术方法——以贾鲁河为例 [J]. 环境保护, 2015(13): 20-23.
- [2] 冀峰. 太湖流域农村黑臭河流表层沉积物营养盐的污染特征 [J]. 水土保持通报, 2016(3): 81-87.
- [3] 冀峰. 太湖流域农村黑臭河流表层沉积物中磷形态的分布特征 [J]. 农业环境科学学报, 2015(9): 1804-1811.
- [4] 冀峰. 太湖流域农村黑臭河流沉积物中磷形态的垂向分布特征 [J]. 环境科学学报, 2016(1): 55-63.
- [5] 郑金秀. 富营养化对浅水湖泊轮虫种群结构影响研究 [J]. 生态环境学报, 2014(12): 1964-1971. (下转第93页)

换单元的传热传质性能, 需要适当提高空气与水的温差。

4 结论

1) 本文的唯象研究与实际工程的参数变化趋势基本吻合, 说明该理论模型基本可靠, 可用于湿空气与喷淋水的传热传质研究。

2) 影响换热效果主要来自于空气和水的温差, 为了增强夏季工况下热湿交换单元的传热传质性能, 需要适当增大空气与水的温差。

参考文献:

- [1] 曾丹苓. 工程非平衡热动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [2] 普利高津, 斯唐热. 从混沌到有序: 人与自然的新对话 [M]. 曾庆宏译. 上海: 上海译文出版社, 2005.
- [3] 史静, 孔祥伟, 王国栋, 等. 工作辊横移对工作辊温度场及热凸度的影响 [J]. 轧钢, 2002 (4): 7-9.
- [4] 德格鲁托, 梅休尔. 非平衡态热力学 [M]. 陆全康译. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
- [5] CAPLAN S R, ESSIG A. Bioenergetics and linear nonequilibrium thermodynamics: the steady state[M]. Harvard University Press, 1983.
- [6] BATTLE E H. The development of direct and indirect methods for the study of the thermodynamics of microbial growth[J]. Thermochemica Acta, 1998, 309(1-2): 17-37.
- [7] SPIEGLER K S, KEDEM O. Thermodynamics of hyperfiltration (reverse osmosis): criteria for efficient membranes[J]. Desalination, 1966, 1(4): 311-326.
- [8] 张旭, 陈沛霖. 空气热湿处理的不可逆热力学分析及研究 [J]. 同济大学学报, 1999, 27(5): 561-566.
- [9] 许为权. 热质交换过程与设备 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [10] JICHA M, BAKLIK J, KARKI K C, et al. Numerical study on direct contact evaporative cooling using Lagrangian approach[C]//IMEchE Transactions-D4th UK National Conference on Heat Transfer, 1995: 392-397(C510/101/95).
- [11] 李莎. 高速空调喷水室典型处理过程的工程实验研究 [D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [12] 王志国. 基于非平衡态热力学理论的油藏多孔介质复杂渗流过程耦合机制研究 [C]// 中国力学学会, 上海交通大学. 中国力学大会 2015 论文摘要集. 2015: 1.
(责任编辑 王利君)
- (上接第 87 页)
- [6] 陈藜藜, 金腊华. 湖泊富营养化的改进型模糊综合评价方法研究 [J]. 中国环境科学, 2014(12): 3223-3229.
- [7] 刘建伟. 三种挺水植物对富营养化景观水体的净化效果 [J]. 湿地科学, 2015(1): 7-12.
- [8] 李俊龙. 中国河口富营养化对营养盐负荷的敏感性分类 [J]. 中国科学: 地球科学, 2015(4): 455-467.
- [9] 李晶. 水生植物修复重金属污染水体研究进展 [J]. 世界林业研究, 2015(2): 31-35.
- [10] 丁自立. 植物修复土壤重金属污染机制与应用研究 [J]. 湖北农业科学, 2014(23): 5617-5623.
- [11] 王庆海, 却晓娥. 治理环境污染的绿色植物修复技术 [J]. 中国生态农业学报, 2013(2): 261-266.
- [12] 钱嫦萍. 人工湿地技术削减雨水初期径流污染负荷研究进展 [J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2011(1): 55-62.
- [13] 岳晓彩. 生态浮床原位修复对海水养殖池塘底栖动物群落结构的影响 [J]. 水生态学杂志, 2014(1): 22-27.
- [14] 邓玉, 倪福全. 污染水体的生态浮床修复研究综述 [J]. 环境科技, 2014(1): 52-57.
- [15] 赵安娜. 沉水植物氧化塘对污水厂尾水深度净化效果与机制的小试研究 [J]. 湖泊科学, 2010(4): 538-54.
- [16] 赵安娜. 复合型人工湿地模型对污水厂尾水的深度净化效果 [J]. 生态与农村环境学报, 2010(6): 579-585.
- [17] 胡旭. 富营养化湖泊围隔中重建水生植被及其生态效应 [J]. 湖泊科学, 2014(3): 349-357.
- [18] 胡小兰. 淮河流域 3 个小流域不同植物群落下土壤粒径分布与分形特征 [J]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- [19] 刘颖. 秦岭北麓太平河平原段植物群落配置模式研究 [J]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [20] 于志会, 赵红艳. 校园绿地植物群落配置模式的抑菌功能 [J]. 湖北农业科学, 2014(8): 1832-1834.
(责任编辑 王利君)