

水稻组合生态浮床治理污染河流及其综合效果分析

蒋媛¹, 刘福兴², 杨宏伟³ (1. 无锡恒诚水利工程有限公司, 江苏无锡 214000; 2. 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403; 3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏南京 210008)

摘要 采用水稻组合生态浮床治理污染河道, 该技术优化了河道的微生物结构, 增加了水体的自净能力, 从而有效去除了水体的主要污染物, 提高了水体透明度; 试验结果表明水稻组合生态浮床能在污染河道条件下, 保证工程植物水稻的正常生长, 产量达 7 500 kg/hm² 以上, 通过收获植物体的形式, 可直接从河道水体中去除的 N、P 总量分别达 31.57、14.89 kg。试验区对 TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD_{Mn} 的平均去除率分别为 6.51%、18.75%、15.64% 和 13.55%。该技术是一种新型的生态浮床技术, 使经济效益与生态效益有机结合, 可为我国污染河道治理提供科学依据。

关键词 污染河流; 水稻组合生态浮床; 微生物; 综合效果

中图分类号 X 173; X 522 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)09-0085-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.09.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Treatment on Polluted Rivers by Rice Combination Ecological Floating Bed and Its Comprehensive Benefit Analysis

JIANG Yuan¹, LIU Fu-xing², YANG Hong-wei³ (1. Hengcheng Water Conservancy Engineering Construction Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu 214000; 2. Institute of Eco-Environment Protection, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403; 3. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008)

Abstract The technology of rice combination ecological floating bed was used to treat polluted river, optimized the microbial structure, increased the self-purification ability, effectively removed the main pollutants, and improved the transparency of water body. The experimental results showed that the technology could ensure the normal growth of engineering plant rice under polluted river conditions, and the yield could reach 7 500 kg/hm². Above all, the total amount of nitrogen and phosphorus that can be directly removed from river water by harvesting plant body reached 31.57 kg and 14.89 kg, respectively. The average removal rates of TN, TP, NH₄⁺-N and COD_{Mn} were 6.51%, 18.75%, 15.64% and 13.55%, respectively. This technology is a new type of ecological floating bed technology, which combines economic benefits with ecological benefits, and provides a scientific basis for the treatment of polluted rivers in China.

Key words Polluted rivers; Rice combination ecological floating bed; Microorganisms; Comprehensive effects

20 世纪 80 年代以来我国经济得到快速发展, 由于环保意识与环境治理技术的相对落后, 加之污染企业废水的直接排放, 市政污水管网建设的滞后性, 导致城市接纳水体污染状况日益严重, 造成河道水体的富营养化, 季节性水体黑臭状况时有发生。数据表明, 我国黑臭水体污染严重, 共有 1 900 多个黑臭水体, 当前国家正积极推进黑臭水体治理, 针对黑臭水体的生态浮床技术是比较有效的生态治理方法之一, 它是一种将现代农艺和生态工程措施综合集成的水面无土种植技术^[1-4], 生态浮床具有良好的水质净化效果^[5-8], 然而传统的生态浮床经济成本相对较高。

水稻浮床早在 20 世纪末进行了少量研究^[9], 该试验是在原有水稻浮床的基础上加以改进, 增加了包括半软性填料和沸石基质的辅助填料系统, 选取粮食作物—水稻作为浮床植物, 通过植物吸收、填料吸附、微生物降解及协同作用, 达到降低水体污染物浓度的目的^[9-10], 同时, 获得一定程度的经济利益, 弥补了传统生态浮床处理效率不稳定、应用过程中成本无法部分补偿的缺点(图 1), 实现了环境效益和经济效益的高度统一, 从而探索一种新的水环境治理之路。

1 试验设计与样品采集

1.1 试验设计 浮床载体采用传统的发泡塑料材质, 水稻为移栽, 移栽时秧龄 39 d, 单本水稻的株高平均为 43 cm, 分

蘖 6.5 个, 苗龄 7.8, 干物质重 1.11 g。移栽时行株距为 25.0 cm×21.4 cm, 合 18.67 丛/m²、186 675 丛/hm², 水稻品种为早优湘晴; 每平方米浮床辅助填料悬挂 1.5 kg 沸石、0.15 m³ 半软性填料。设计水稻组合生态浮床的河段长度为 280 m, 该河段内浮床覆盖度约为 25%, 共计 1 000 m²。试验地点为无锡市某郊区河道(总长 850 m), 河道的水流方向不定, 属往复流且流速较慢。试验开始前 4—6 月进行河道采样, 共采集 3 个采样点 4 次水样, 水体主要水质指标 TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD_{Mn} 平均分别为 6.96、0.27、2.71、11.50 mg/L。整个试验周期为 5—10 月。

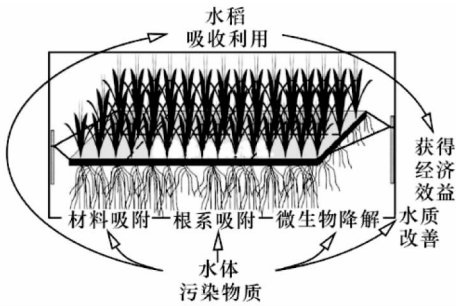


图 1 水稻组合生态浮床原理与结构示意图

Fig. 1 Principle and structure of rice combination ecological floating bed

1.2 样品采集与测定方法 选取试验区 3 个采样点, 区外选择 1 个采样点作为对照, 在水稻不同生长阶段, 共计采集 5 次水质与生物指标。水体中总氮(TN)含量测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894—1989), 总磷(TP)

基金项目 国家水专项太湖项目(2012ZX07101-004)。
作者简介 蒋媛(1979—), 女, 江苏无锡人, 副研究员, 工程师, 从事水环境治理。
收稿日期 2019-06-21

含量测定采用钼酸铵分光光度法(GB 11893—1989),铵态氮(NH_4^+-N)采用纳氏试剂法测定。

2 结果与分析

2.1 水稻的生育状况分析 水稻的各生育期:于5月25日播种,7月3日移栽,9月5日抽穗,10月28日成熟,全生育期为156 d,与当地水稻生产相比,除移栽期较当地水稻生产推迟10 d左右外,其他节点基本相同。其中,水稻的工程运行期,即在河道中生育周期为117 d。试验结果显示,工程水稻每丛的基本苗为6.5株,最高苗为25.8株,有效穗12.5个,与当地水田水稻生产相比均偏高约20%。基本苗重207.30 kg/hm²,根茎叶枝梗重19 647.00 kg/hm²,谷粒重9 352.50 kg/hm²,总重28 999.50 kg/hm²,净重28 792.20 kg/hm²,生长186 675.00 丛/hm²,株高105.3 cm,穗长15.2 cm,结实率65.6%,理论产量7 611 kg/hm²。

2.2 水稻组合生态浮床对水体微生物的影响 从表1可知,水稻浮床明显促进了水体中好氧细菌和真菌生长,其中水稻浮床附近水体中好氧细菌和真菌数量分别是无浮床处水体的2.58倍和2.24倍,水稻根系及辅助填料中好氧细菌

和真菌数量更是高达72.0×10⁶、390.0×10² CFU/g,分别是对照水体的8.1倍和5.1倍。水稻浮床促进了水体中亚硝化菌生长,而对氨化菌和反硝化菌的影响不大,但水稻根系及辅助填料系统中的氮循环细菌数量远远高于水体,氨化菌、亚硝化菌和反硝化菌数量分别是对照水体的4.8倍、100.0倍和33.3倍。

试验结果表明,水稻浮床明显优化了处理河道的微生物结构,提高了河道系统净化水体的能力。这是由于水稻根系拥有巨大的表面积和良好的生物相容性^[11],同时辅助填料系统的设置为微生物提供了良好的附着和繁衍场所,成为各种微生物的重要载体。

水稻根区形成的有氧区域和厌氧或嫌氧区域为不同功能的微生物提供了不同的生境条件,水稻浮床根系所截留的有机污染物和分泌物中的有机碳源,如糖类、有机酸、氨基酸、酚类化合物等^[12],又给微生物提供了丰富的营养物质^[13],并且粗大的根系有利于均匀布水,防止水体对微生物冲刷,能够大大扩展生态浮床净化污水的空间,有利于微生物特别是硝化菌和亚硝化菌等好氧细菌向水体深部分布。

表1 水稻浮床水体和根系中微生物数量
Table 1 Number of microorganisms in water and roots of rice floating bed CFU/g

样品 Sample	好氧细菌 Aerobic bacteria ×10 ⁶	真菌 Fungus ×10 ²	氨化菌 Ammoniated bacteria ×10 ⁵	亚硝化菌 Nitrosation bacteria ×10 ²	反硝化菌 Denitrifying bacteria ×10 ²
对照点水体 Water body of control point	8.9	7.6	2.0	2.0	7.5
试验区水体 Water body in experimental area	23.0	17.0	2.0	15.0	7.5
水稻根系内部 Inside of rice root system	72.0	390.0	9.5	200.0	250.0

2.3 水质改善效果分析

2.3.1 植物对水体氮磷的富集效果。生态浮床的植物收获期N、P营养盐积累量的多少是关键参数之一。植物对N、P

的吸收去除能力,即去除效果主要决定于试验期间植物对N、P的吸收积累量。由表2可知,通过收获水稻植物体的形式,直接从水体中去除了31.57 kg的N和14.89 kg的P。

表2 生物体中的N、P含量
Table 2 Content of N and P in organism

元素 Element	根茎叶枝梗 Rhizome, stem, leaf, branch, japonica		谷粒 Grain		平均 Average//%	合计 Total//kg
	含量 Content//%	含量 Content//kg	含量 Content//%	含量 Content//kg		
N	0.95	18.66	1.38	12.91	1.17	31.57
P	0.42	8.25	0.71	6.64	0.57	14.89

注:水稻面积1 000 m²
Note:Rice area 1 000 m²

2.3.2 水体主要污染物的去除效果。试验期间,试验区内河道水体中的主要污染物呈不同程度的下降趋势(图2),水体透明度有较大幅度的增加,较对照点提高了32 cm,达135 cm。表3显示试验区内的水质得到了一定程度的改善,试验工程运行后,植物进入正常生长期,水体改善效果明显,水体中TN、TP、 NH_4^+-N 和COD_{mn}的平均去除率分别为6.51%、18.75%、15.64%和13.55%。

3 结论与讨论

(1)试验结果表明水稻组合生态浮床能在污染河道条件下,保证工程植物水稻的正常生长,产量达7 500 kg/hm²以上,获得了一定的经济效益;干物质收获量达28 792.0 kg/hm²,通过收获植物体的形式,可直接从河道水体中去除的N、P总

量分别达31.57和14.89 kg。

(2)水稻组合生态浮床能有效促进水体以及植物根系微生物生长和分布,优化微生物结构,分解污染物能力增强,增加水体的自净能力。结果表明试验区对TN、TP、 NH_4^+-N 和COD_{mn}的平均去除率分别为6.51%、18.75%、15.64%和13.55%。

(3)从相关经济性状和干物质生产量来看,与该水稻品种的种性潜力和在水田种植时的表现相比,除其中的有效穗数表现偏高外,其他性状指标均为偏低,可能受河道两岸遮阴的影响,影响植物的光合作用而导致结实率偏低;同时由于河道中不能使用农药,浮床植物水稻的病虫草害也是研究中值得关注的问题。

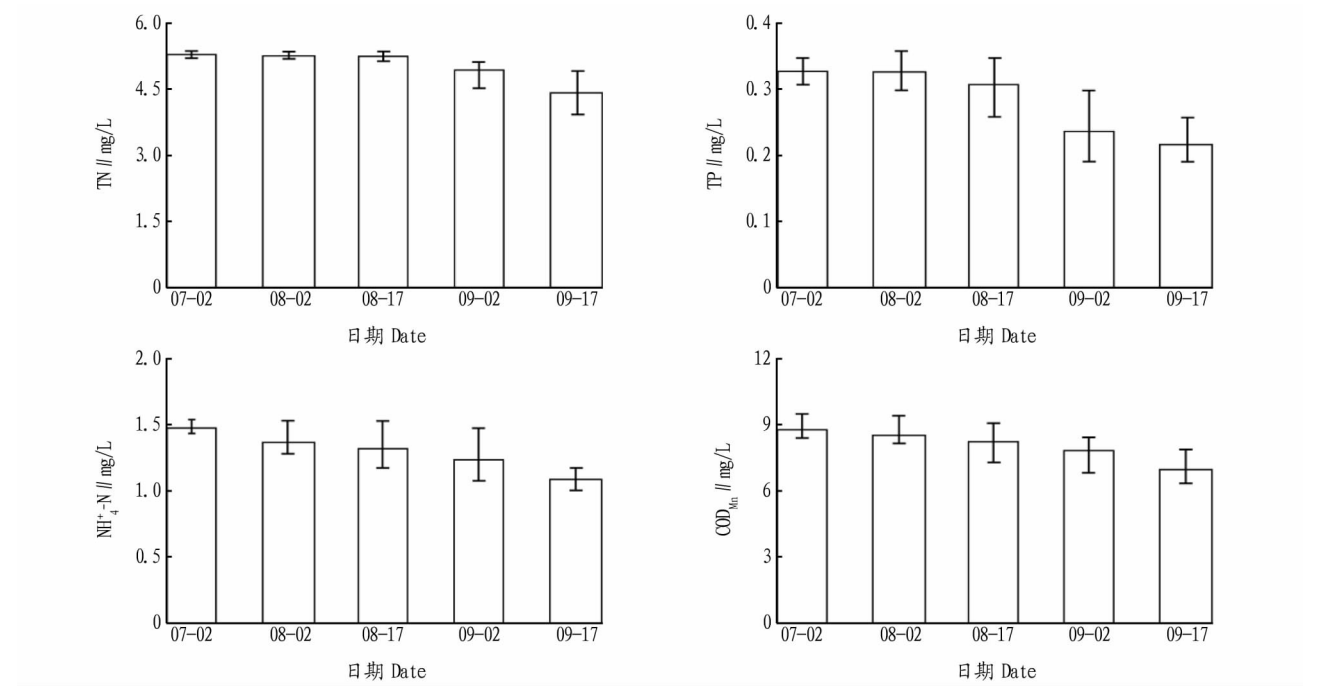


图2 水稻生育期水体主要污染物变化

Fig. 2 Changes of main pollutants in water during rice growing period

表3 示范区水体主要水质指标及其去除率比较

区域 Area	TN mg/L	TP mg/L	NH ₄ ⁺ -N mg/L	COD _{Mn} mg/L	透明度 Transparency//cm
对照点 Control point	5.22	0.32	1.47	8.78	103
试验区 Experimental area	4.88	0.26	1.24	7.59	135
去除率 Removal rate//%	6.51	18.75	15.64	13.55	—

注:试验区为3个采样点平均
Note:The experimental area is the average of three sampling points

总之,水稻组合生态浮床作为一种新型的生态浮床技术,使经济效益与生态效益有机结合,为我国污染河道治理提供了科学依据。

参考文献

[1] 刘福兴,宋祥甫,付子斌,等.不同覆盖度生态浮床净化污染水体的效果[J].上海农业学报,2014,30(5):66-69.

[2] VOLLENWEIDER R A. Elemental and biochemical composition of plankton biomass;Some comments and explorations [J]. Hydrobiol,1985,105:11-29.

[3] WU Q T,GAO T,ZENG S C,et al. Plant-biofilm oxidation ditch for *in situ* treatment of polluted waters[J]. Ecological engineering,2006,28(2):124-130.

[4] WEN L,RECKNAGEL F. In situ removal of dissolved phosphorus in irrigation drainage water by planted floats: Preliminary results from growth chamber experiment[J]. Agriculture ecosystems & environment,2002,90(1):9-15.

[5] 郭培章,宋群.中外水体富营养化治理案例研究[M].北京:中国计划出版社,2003.

版社,2003.

[6] 陈荷生,宋祥甫,邹国燕.利用生态浮床技术治理污染水体[J].中国水利,2005(5):50-53.

[7] 王俭,吴阳,王晶彤,等.生态浮床技术研究进展[J].辽宁大学学报(自然科学版),2016,43(1):50-55.

[8] 任照阳,邓春光.生态浮床技术应用研究进展[J].农业环境科学学报,2007,26(1):261-263.

[9] 宋祥甫,邹国燕,吴伟明,等.浮床水稻对富营养化水体中氮、磷的去除效果及规律研究[J].环境科学学报,1998,18(5):489-494.

[10] 范洁群,邹国燕,宋祥甫,等.浮床黑麦草对城市生活污水氮循环细菌繁衍和脱氮效果的影响[J].生态学报,2010,30(1):265-271.

[11] 葛滢,常杰,王晓月,等.两种程度富营养化水中不同植物生理生态特性与净化能力的关系[J].生态学报,2000,20(6):1050-1055.

[12] DIERBERG F E,DEBUSK T A,JACKSON S D,et al. Submerged aquatic vegetation-based treatment wetlands for removing phosphorus from agricultural runoff:Response to hydraulic and nutrient loading[J]. Water research,2002,36(6):1409-1422.

[13] 黄薇,张劲,桑连海.生物浮岛技术的研发历程及在水体生态修复中的应用[J].长江科学院院报,2011,28(10):37-42.

(上接第84页)

[12] NEMANI R R,RUNNING S W. Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal Thermal-IRAVHRRR data [J]. Journal of applied meteorology,1989,28(4):276-284.

[13] 乌兰吐雅,于利峰,乌兰,等.基于 Landsat 8 TVDI 的河套灌区旱情分析:以临河区为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(5):123-127.

[14] 冯强,田国良,王昂生,等.基于植被状态指数的全国干旱遥感监测试验研究(II)——干旱遥感监测模型与结果分析部分[J].干旱区地理,2004,27(4):477-484.

[15] 薄燕飞,白建军,刘永林,等.基于 TVDI 及气象干旱指数的河北省春旱时空变化特征[J].兰州大学学报(自然科学版),2016,52(2):188-195.