

生态浮床处理农村生活污水的植物功能及筛选

敖子强¹, 张 杰², 彭桂群¹, 付嘉琦¹, 江 成¹, 吴九九¹

(1. 江西省科学院 能源研究所, 江西 南昌 330096; 2. 江西省科学院 鄱阳湖研究中心, 江西 南昌 330096)

摘 要:随着新农村建设和人们生活水平的改善,人们逐渐关注目前农村生活污水导致的环境问题。生态浮床技术是处理农村生活污水经济有效的技术之一。根据农村周边环境特点因地制宜构建不同类型的生态浮床,解决农村生活污水治理的同时获得一定的经济效益,运行成本低,管理简单,维护方便。因此生态浮床技术在农村生活污水处理中发展很快,其中浮床植物作用非常大因而植物筛选至关重要。根据农村周边环境及生活污水的特点,因地制宜选用具有景观作用 and 经济效益同时对农村生活污水去污力强的植物,同时考虑植物生长的季节特点进行植物组合使生态浮床技术更好地发挥优势。

关键词:生态浮床;农村生活污水;经济实用;脱氮除磷;植物筛选

中图分类号:X 173 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)11-0195-04

生态浮床是 20 世纪 80 年代在德国发明并被广泛推广应用的人工湿地技术,对污染物的去除效果好,尤其在富营养化水体治理中具有独特的优势。生态浮床是利用人工构建的浮床浮力承托植物,使高等水生植物或者改良的陆生植物在一个固定的区域生长,由此植物通过发达的根系吸收水吸收氮、磷等营养物质,降低化学需氧量(COD);同时人工营造一个各种动物、微生物良好的生长环境,为动物、微生物的大量生长繁殖及降解水体的污染物质创造必要的条件;另外浮床植物的生长能抑制藻类大量生长防止水体富营养化,提高水体的自净能力^[1]。目前生态浮床技术已经广泛应用于包括农村生活污水处理、城市景观水体建设、农村养殖废水及富营养水体治理等各方面^[2-4]。浮床植物是利用生态浮床处理生活污水的核心部分,浮床植物筛选和适应性研

究、生理生态、净化生活污水的机理及净化效果等对于建设生态浮床的成败与否具有重要的意义^[5]。

1 生态浮床处理生活污水的优势

1.1 生态浮床是一种高效的污染水体修复和治理的技术

生态浮床是一种植物、动物和微生物生存繁衍的载体,浮床植物通过发达的根系一方面吸收或吸附水体中的污染物质,另一方面通过泌氧、根系分泌物等促进了动物和微生物大量生长,通过吸收、吞噬、吸附和分解等功能的共同作用多种途径降解水体污染物,从而有效地修复了污染水体。

1.2 生态浮床建设成本低

生态浮床在污染水体中进行原位构建,不需要占用其它土地,减少了建造的成本;同时载体材料多为抗氧化性材质,材料来源广,价格成本低,经久耐用更换时间长;密度小质量轻,制作简单便于运输和组装,从而使生态浮床的投资少,建设成本低。

1.3 生态浮床运行管理费用少,低能耗

生态浮床无需专业的机械设备以及化学药剂的投入,大大的减少费用开支;同时还能够自动适应动态变化的水位,运行性能稳定,可以减少动力、能源的消耗,降低了运行成本;生态浮床日常维护简单,无需投入大量的人力成本进行管理。

第一作者简介:敖子强(1975-),男,博士,副研究员,现主要从事环境科学与工程等研究工作。E-mail: aoziqiang628@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41263006,41661019,2014BAC04B02,21567010);江西省科技厅资助项目(20124ACB01200,20122BBG70086,20142BCB24009);江西省科学院资助项目(赣科院字(2013)19号-06,2016-YCXY-04,2013-XTPH1-14,2013H003)。

收稿日期:2016-12-06

1.4 生态浮床能产生一定的经济价值

利用生态浮床种植水生经济作物获得一定经济收入,同时还能够与水生生物及微生物处于一个良好的自然生态平衡环境,生物种类多样性,水体活性好,水生生物的产量和质量都得到提高,产生的经济价值就越大,从另一个角度也就降低了生活污水的治理成本和维护费用。

1.5 生态浮床具有景观效果

生态浮床应用于修复生活污水,将水体修复和景观设计相结合对所处水体环境破坏小,同时改变了原来周边环境的整体印象,美化了当地的水域环境,提升了周围生活和工作的环境。

2 生态浮床净化生活污水的植物功能

2.1 对氮、磷吸收转化和吸附固定

生活污水中的氮、磷等是导致水体富营养化的主要物质,同时也是植物生长和繁殖所必需的营养元素,植物通过吸收转化这些可利用的营养物质如物质铵态氮、速效磷等转变为植物体的组成部分。浮床植物吸收生活污水中铵态氮和硝态氮,铵态氮和硝态氮在植物体内进行转化形成氨基酸等含氮化合物,最后通过同化作用转化为植物体的组成部分,通过植物的收割从生活污水处理系统中去除^[6-7]。磷是植物生长需要的大量元素之一,以正磷酸盐的形式被植物主动吸收,合成植物的 ATP 等构成植物体的组成部分被固定下来。祝宇慧^[8]选用水葱、千屈菜、水序等 8 种湿地植物对污水中总氮和铵态氮的去除率的污水净化试验,结果发现各植物对总氮和铵态氮的去除率高达 80%~90%。定期对浮床植物进行收割不仅可以从生活污水中带走氮、磷等营养元素,同时回收的植物还有一定经济价值,如用作牲畜饲料、食用蔬菜、造纸原料、燃料等^[9]。

植物对水体中氮磷减少的另一种方式是通过植物根系的吸附固定作用。浮床植物降低水流速度,生活污水中的污染物质会被浮床植物根系吸附,从而降低了污染物质的浓度使生活污水得以净化^[10]。植物对污染物质吸附量的多少与植物根系生物量与形态有着密切的关系,不同植物根系的分布范围也存在明显的差异。SMITH 等^[11]利用浮床植物对酸性矿井废水中固体物质进行吸附试验,结果发现浮床植物吸附固体物质的能力达 $2.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

2.2 根系泌氧改变氧化还原条件

浮床植物普遍具有发达的通气组织,其茎和根部的细胞间相互贯通形成一个通气系统,植物叶片通过光合作用产生的氧气可以通过这个系统运送到

根部,从而改变浮床植物根部的氧化还原条件。植物根系周围构成好氧区、兼氧区和厌氧区,不同的根系环境条件下生活污水中的污染物质转化程度不同,多样化的条件有利于污染物质的分解。付融冰等^[12]构建芦苇湿地处理富营养化的河水时发现芦苇根系泌氧从而使根系表面的氧化能力显著高于周边水体。水生植物根系的好氧区硝化亚硝化作用,同时其厌氧区反硝化作用,为污染物质的多样化降解提供了必要场所^[13-15]。凌云等^[16]发现芦苇泌氧作用形成的根际好氧区域的硝化亚硝化作用明显高于非根际。

2.3 根系微生物的吸收转化

生活污水中污染物质的降解与浮床植物根系微生物的吸收转化有很大的关系。浮床植物发达的根系具有巨大的表面积,可以为各种微生物和水中悬浮态污染物提供良好的载体。浮床植物根系区域微生物的种类和数量大于非根际区域,此区域为微生物的生存和生长繁殖提供了附着基质和栖息场所。大量的微生物一方面通过吸收同化降解污染物质转化自身的生物组成部分。如周元清等^[17]发现水芹根是固氮菌与氨化菌、硝化菌、亚硝化菌和反硝化菌等氮循环细菌种类和数量非常多,主要通过水芹的吸收同化和氮循环细菌的生物脱氮降低污染水体的氮含量。微生物对污染物质的降解另一个方面是通过微生物自身的活动完成脱氮除磷的过程,如氮的去除主要靠微生物的硝化与反硝化作用来完成^[18]。植物根系泌氧在根系周围形成好氧区、兼氧区、厌氧区的微环境,相应生长和繁殖对应的各种好氧、兼氧、厌氧的微生物。唐莹莹等^[19]研究发现空心菜根际的氮循环细菌、硝化菌、氧化菌、亚硝化菌等的数量和种类明显高于空白对照,硝化菌和反硝化菌集中分布位置不同。由不同植物组合的生态浮床可以提高根际微生物群落的多样性,促进了生态浮床对污染物质降解,如魏成等^[20]发现美人蕉、芦苇和旱伞草组合系统对污染物的 COD、BOD、TN 和 TP 去除明显高于单一植物构成的处理单元。

2.4 根系分泌物的促进降解作用和抑藻作用

浮床植物在生长过程中能够分泌有机酸、糖类、氨基酸、酶等,根系分泌物能够促进污染物的降解。一方面根系分泌物能够改变植物根际物理、化学及生物学特性,如有机酸通过对根际难溶性养分的 pH 变化、配位交换及还原作用等提高了根际养分的有效性,增加了植物对根际氮、磷营养元素的吸收,在植物根际微生态系统中物质迁移和调控起了重要的

作用,从而促进了浮床植物对生活污水中污染物的降解^[21]。吴振斌等^[22]研究水生植物根际脲酶的活性与污水净化效果的关系,结果发现脲酶的活性与总氮的去除率具有显著正相关关系。江福英等^[23]发现美人蕉、香蒲、垂穗莎草、玉带草的根际比非根际能够分泌更多的酶脲酶、磷酸酶、硝酸还原酶、亚硝酸还原酶等。另一方面根系分泌物创造了植物根际特殊的微环境,同时为微生物的生长提供碳源等营养和能量物质,在生活污水充足的氮、磷等条件下促进了根际微生物的种类和数量的大量增加,微生物的生长和代谢活动促进了植物根际对生活污水中污染物质的降解。另外根系分泌物还具有一定的抑藻作用,在减少藻类的生长防止水体富营养化方面起到一定的作用。NAKAI 等^[24-25]研究发现浮床植物旱伞草、风车草及美人蕉的根系分泌物能够抑制蓝绿藻的大量生长,黄花鸢尾、金钱蒲、水烛、水葱和芦苇根系等能够分泌抑制铜绿微囊藻生长的物质,以及水烛、水葱和芦苇根系分泌能够抑制蓝绿藻生长的物质。

3 生态浮床植物的筛选

生态浮床对生活污水中氮、磷等营养物质的吸收作用、根系附着微生物对污染物的降解能力,与植物的种类、生长速度、生物量的大小、光合作用、呼吸作用及向水体泌氧能力等密切相关。浮床净化的主体是浮床植物,因此生态浮床植物的筛选非常重要^[26]。植物筛选时需要考虑的因素主要有以下 4 个方面。

3.1 选择去污效果好、耐污染能力强的植物

生态浮床主要目的是去除生活污水中的氮、磷等污染物质,因而选择去污效果好、耐污染能力强的植物作为首选植物。目前主要常用的浮床植物有水雍菜(*Ipomoea aquatica* Forsk.)、空心莲子草(*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)等。这些植物通常具有发达的根系,生长速度快,生物量大。

3.2 选择具有一定景观效果的植物

生态浮床在处理生活污水的同时还选择具有一定景观效果的植物进行搭配,起到美化环境的作用。常用的景观植物有水生美人蕉(*Canna glauca*)、菖蒲(*Acorus calamus* L.)、鸢尾(*Iris tectorum* Maxim.)等。

3.3 选择具有一定经济价值的植物

浮床植物在处理生活污水后,为防止植物腐烂后带来二次污染,其后续处理也是植物选择的一个

重要条件。选择具有一定的食用价值、药用价值、观赏价值等经济价值的植物更容易被人们接受。常用于生态浮床的经济价值的植物有水雍菜(*Ipomoea aquatica* Forsk.)、水芹(*Oenanthe javanica* (Blume) DC)、泽泻(*Alisma orientale* (Sam.) Juz.)等。

3.4 选择能够在冬季生长的植物进行组合配置

植物生长具有明显的季节性,大多数植物在冬季枯萎死亡,使生态浮床处理生活污水不能常年稳定的运行,因而考虑秋冬季节温度低、生态浮床植物的越冬问题,常选择冬季能够生长的植物进行组合配置,常用的植物种类有西伯利亚鸢尾(*Iris sibirica*)、酸模(*Rumex acetosa* Linn.)、水芹(*Oenanthe javanica* (Blume) DC)等。根据当地的气候特点和生活污水的处理要求选择合适的植物组合作为生态浮床植物,如果主要考虑生活污水的去污效果常选用“狐尾藻+酸模”组合模式等;如主要考虑生态浮床与周边环境协调、美化环境等景观效果则可以选择“美人蕉+常绿鸢尾”组合模式等;如主要考虑浮床植物的经济效益常用“水雍菜+水芹”组合模式,具体选用什么类型的植物组合方式可以根据实际情况,因地制宜选择适应当地环境、去污能力强的植物作为备选植物。

4 结论

生态浮床技术逐渐被广泛用于农村生活污水处理工程中,根据浮床植物在生活污水处理中的功能作用、生活污水的特点及周边环境协调的要求,因地制宜选用去污能力强、具有一定的景观效果和经济效益的植物进行组合构建生态浮床,同时考虑植物生长的季节特点使生态浮床在农村生活污水处理中发挥巨大的作用。

参考文献

- [1] 辛在军. 水芹生态浮床净化功能影响因素与生态化学计量研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2013.
- [2] BILLORE S K, PRASHANT, SHARMA J K. Treatment performance of artificial floating reed beds in an experimental mesocosm to improve the water quality of river Kshipra[J]. Water Sci Technol, 2009, 60(11): 2851-2859.
- [3] TANNER C C, HEADLEY T R. Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants[J]. Ecological Engineering, 2011, 37(3): 474-486.
- [4] Van de MOORTELE A M K, DU L G, de PAUW N, et al. Distribution and mobilization of pollutants in the sediment of a constructed floating wetland used for treatment of combined sewer overflow events[J]. Water Environment Research, 2011, 83(5): 427-439.
- [5] 许声毓. 海水生态浮床技术: 书水域生态修复新华章[J]. 中国科技财富, 2011(1): 40-41.

- [6] SUN G,ZHAO Y,ALLEN S. Enhanced removal of organic matter and ammoniacal-nitrogen in a column experiment of tidal flow constructed wetland system[J]. *Journal of Biotechnology*,2005,115(2):189-197.
- [7] SEO D C,CHO J S,LEE H J,et al. Phosphorus retention capacity of filter media for estimating the longevity of constructed wetland[J]. *Water Research*,2005,39(11):2445-2457.
- [8] 祝宇慧. 人工湿地植物筛选及其对营养型污水的净化效果研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [9] 蔡佩英. 水生植物对城市污水的生物净化效果研究[D]. 福州:福建农林大学,2008.
- [10] 宋海亮,吕锡武,李先宁,等. 水生植物滤床预处理微污染源水[J]. *中国给水排水*,2004,20(11):6-9.
- [11] SMITH M P,KALIN M. Floating wetland vegetation covers for suspended solids removal[Z]. Canada:CH2MHILL,2000.
- [12] 付融冰,朱宜平,杨海真,等. 连续流湿地中 DO、ORP 状况及与植物根系分布的关系[J]. *环境科学学报*,2008,28(10):2036-2041.
- [13] LI J,WEN Y,ZHOU Q,et al. Influence of vegetation and substrate on the removal and transformation of dissolved organic matter in horizontal subsurface-flow constructed wetlands[J]. *Bioresource Technology*,2008,99(11):4990-4996.
- [14] GAGNON V,CHAZARENC F,COMEAU Y,et al. Influence of macrophyte species on microbial density and activity in constructed wetlands[J]. *Water Science & Technology*,2007,56(3):249-254.
- [15] TRUU J,NURK K,JUHANSON J,et al. Variation of microbiological parameters within planted soil filter for domestic wastewater treatment[J]. *Journal of Environmental Science and Health*,2005,40(6-7):1191-1200.
- [16] 凌云,丁浩,徐亚同. 芦苇人工湿地根际微生物效应研究[J]. *农业系统科学与综合研究*,2008,24(2):214-216.
- [17] 周元清,李秀珍,唐莹莹,等. 不同处理水芹浮床对城市河道黑臭污水的脱氮效果及其机理研究[J]. *环境科学学报*,2011,31(10):2192-2198.
- [18] 周红菊,尚忠林,王学东,等. 湿地净化污水作用及其机理研究进展[J]. *南水北调与水利科技*,2007,5(4):64-66.
- [19] 唐莹莹,李秀珍,周元清,等. 浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响[J]. *生态学报*,2012,32(9):2837-2846.
- [20] 魏成,刘平. 人工湿地污水净化效率与根际微生物群落多样性的相关性研究[J]. *农业环境科学学报*,2008,27(6):2401-2406.
- [21] 张锡洲,李廷轩,王永东. 植物生长环境与根系分泌物的关系[J]. *土壤通报*,2007,38(4):785-789.
- [22] 吴振斌,梁威,成水平,等. 人工湿地植物根区土壤酶活性与污水净化效果及其相关分析[J]. *环境科学学报*,2001,21(5):622-624.
- [23] 江福英,陈昕,罗安程. 几种植物在模拟污水处理湿地中根际微生物功能群特征的研究[J]. *农业环境科学学报*,2010,29(4):764-768.
- [24] NAKAI S,ZOU G,SONG X,et al. Release of anti-cyanobacterial allelochemicals from aquatic and terrestrial plants applicable for artificial floating islands[J]. *Journal of Water and Environment Technology*,2008,6(1):55-63.
- [25] NAKAI S,ZOU G,OKUDA T,et al. Anti-cyanobacterial allelopathic effects of plants used for artificial floating islands[J]. *Allelopathy Journal*,2010,26(1):113-121.
- [26] 周晓红,王国祥,杨飞,等. 刈割对生态浮床植物黑麦草光合作用及其对氮磷等净化效果的影响[J]. *环境科学*,2008,29(12):3393-3399.

Function and Screening of Plants in Ecological Floating Bed Applied in Treating Rural Domestic Waste Water

AO Ziqiang¹,ZHANG Jie²,PENG Guiqun¹,FU Jiaqi¹,JIANG Cheng¹,WU Jiujui¹

(1. Institute of Energy,Jiangxi Academy of Sciences,Nanchang,Jiangxi 330096;2. Poyang Lake Research Center,Jiangxi Academy of Sciences,Nanchang,Jiangxi 330096)

Abstract: With the construction of new countryside and the development of people's living standard, the environmental problems caused by rural domestic waste water gradually received more attention. Ecological floating bed was one of the effective techniques treating rural domestic waste water. Building different types of the ecological floating bed according to the surrounding environment characteristics in rural area could treat rural domestic waste water with low operation cost, simple management and convenient maintenance, and could obtain a certain economic benefit as well. Therefore, ecological floating bed got fast development in treating rural domestic waste water. The screening of plants would be vital as an important role. Assembling different plants by choosing those with ornamental function, economic benefit and strong decontamination ability according to the surrounding environment and characteristics of domestic waste water along with the seasonal features of plants growth could take full advantages of ecological floating bed.

Keywords: ecological floating bed; rural domestic waste water; economical and practical; nitrogen and phosphorus removal; plant screening