

3 种挺水植物对农村生活污水的净化效果比较

郭杏妹¹, 王代容^{2*}, 曾春山², 罗一帆¹, 张秋云¹, 林境华¹, 乔莹怡¹ (1. 华南师范大学化学与环境学院, 广东广州 510006; 2. 广东省农业科学院环境园艺研究所, 广东省园林花卉种质创新综合利用重点实验室, 广东广州 510006)

摘要 [目的] 筛选对农村生活污水净化效果较好的挺水植物。[方法] 选用花叶芦竹(*Arundo donax*)、翠芦莉(*Ruellia brittoniana*)、水葱(*Scirpus tabernaemontani*) 3 种植物模拟潜流人工湿地处理生活废水, 研究 3 种植物对氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)的净化效果。[结果] 花叶芦竹、翠芦莉、水葱对水体中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、COD 的去除效果明显, 168 h 后 3 种植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效率达到 94.6%, 而最低的 COD 的去除效率也达到 89.8%。[结论] 采用湿地植物处理农村生活污水具有投资成本少、处理效果好、出水水质好等特点。

关键词 生活废水; 挺水植物; 去除效率; 净化效果

中图分类号 S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)20-0070-03

Comparative Study on the Purification Effects of Three Kinds of Emergent Plants on Rural Domestic Sewage

GUO Xing-mei¹, WANG dai-rong^{2*}, ZENG chun-shan² et al (1. School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510006; 2. Environmental Horticulture Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangdong Provincial Key Lab of Ornamental Plant Germplasm Innovation and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract [Objective] To screen the emergent plants which have better purifying effect on rural sewage. [Method] Subsurface flow constructed wetland for treatment of domestic wastewater by simulation of *Arundo donax*, *Ruellia brittoniana*, *Scirpus validus*. The purification effects of three plants on $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TP and COD were studied. [Result] The results showed that the removal rate of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TP and COD in the water of the three plants was obvious. After 168 hours, the removal rate of ammonia nitrogen for the three plants reached 94.6%, while the minimum COD removal rate was 89.8%. [Conclusion] The treatment of rural domestic sewage with wetland plants has the characteristics of low investment cost, good treatment effect and good effluent quality.

Key words Domestic sewage; Emergent plants; Disposal rate; Cleansing effect

在社会经济迅猛发展的背景下, 农村水污染问题日益突出^[1]。近年来, 伴随一系列环境问题的出现, 全社会的环境意识随之加强, 我国大力加强环境保护工作的力度取得了一定成效, 但由于种种因素制约, 农村水污染问题不容乐观^[2-3]。农村水污染影响环境的同时, 还严重损害了群众的身体健康和农村经济的可持续发展。因此, 解决农村水环境现状成为刻不容缓的问题。目前, 国内应用于生活污水的处理技术大致可归为 2 类, 第一类是“污水处理厂”工艺, 第二类是“自然处理系统”^[4-5], 如土壤渗滤、生物滤池和人工湿地技术。另外, 还有一些示范工程采用 2 种工艺混合技术。人工湿地技术处理农村生活污水具有广泛的应用前景^[6-7], 其中, 植物是人工湿地的核心。因此, 寻找生长快、生物量大、去污能力强的挺水植物是人工湿地技术处理农村生活污水的重要环节^[8-9]。目前, 国内应用于实际湿地工程的植物种类较少。笔者通过静态试验, 筛选具有较高污水净化能力的湿地植物, 研究植物密度和停留时间对污染物去除率的影响, 旨在为今后的实际应用提供参考。

1 材料与方

1.1 系统组成 该试验采用自制的栽培箱, 规格为 65 cm × 46 cm × 40 cm, 每个箱子的同一侧在 23 cm × 25 cm 处(进水口)和底部(出水口)均开孔, 安装可开关控制的水龙头。试

验装置如图 1 所示。试验采用的模块化人工生态填料是一种多孔透水混凝土, 主要是粗骨科、粉煤灰、水泥、化学添加剂和水等搅拌而成, 是一种不含细骨科, 表面包裹一层胶结材料的紧密镶嵌、随机堆叠、相互粘结而成的均匀连续分布的蜂窝状沙琪玛结构, 为 10 cm × 10 cm × 10 cm 的立方体模具。每个培养箱整齐均匀置入 12 块人工生态填料, 把 10 个培养箱分为 4 组, 前 3 组培养箱每组分别栽种 3 种植物, 即花叶芦竹(*Arundo donax*)^[10]、翠芦莉(*Ruellia brittoniana*)^[11]、水葱(*Scirpus tabernaemontani*)^[12]。3 种植物均来源于中山绿草原花木场, 平均株高 8 ~ 15 cm, 栽种密度分别为每槽 4、6、8 株。最后 1 组只放模拟湿地材料, 作为空白对照(CK)。

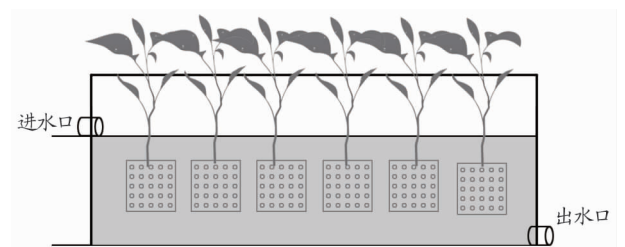


图 1 模拟人工湿地设计

Fig. 1 The design of simulated artificial wetlands

1.2 试验材料和原水水质 试验原水主要是人工配水, 取自然污水作为实际研究, 人工配水为实验室配水, 配制方法: 往 300 L 清水中加入硝酸铵 42.70 g、磷酸二氢钾 5.27 g、邻苯二酸氢钾 102.00 g, 以及一定量的硝酸钾和硝酸镁。自然污水取自华南师范大学大学城校区理一栋附近水闸前, 该处污水主要来源为大学城校区的部分生活污水。试验期间模

基金项目 华南师范大学青年教师科研培育基金项目(15KJ03); 广东省科技计划项目(2012B050500015)。

作者简介 郭杏妹(1981—), 女, 广东广州人, 实验师, 从事环境监测、生态治理教学与科研工作。* 通讯作者, 研究员, 从事花卉、园林植物与应用、农村水环境生态修复技术研究。

收稿日期 2017-05-10

拟潜流人工湿地系统进水水质指标见表 1。

表 1 处理前污水初始水质浓度

项目 Item	COD	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TP
自然污水 Natural sewage	129.75	8.53	0.65
人工配水 Artificial water distribution	358.00	11.75	1.11

1.3 试验方法

1.3.1 植物适应性培养。每个培养箱中加入约 20 L 清水进行适应性培养,培养时间约 30 d,每 5~7 d 更换 1 次水,以保持水质清洁。30 d 后将培养箱中的清水完全倾倒在干净后,向每个培养箱加入约 20 L 人工污水。

1.3.2 污水处理。人工污水处理过程中,每隔 24 h 取 1 次水样,并分析污水中各种污染物的含量,得出模拟潜流人工湿地系统处理结果。试验水质常规检测项目的测定方法参照《水和废水监测分析方法(第 4 版)》。

2 结果与分析

2.1 模拟潜流人工湿地系统对污水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、COD 的净化效果

在人工湿地系统中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除途径主

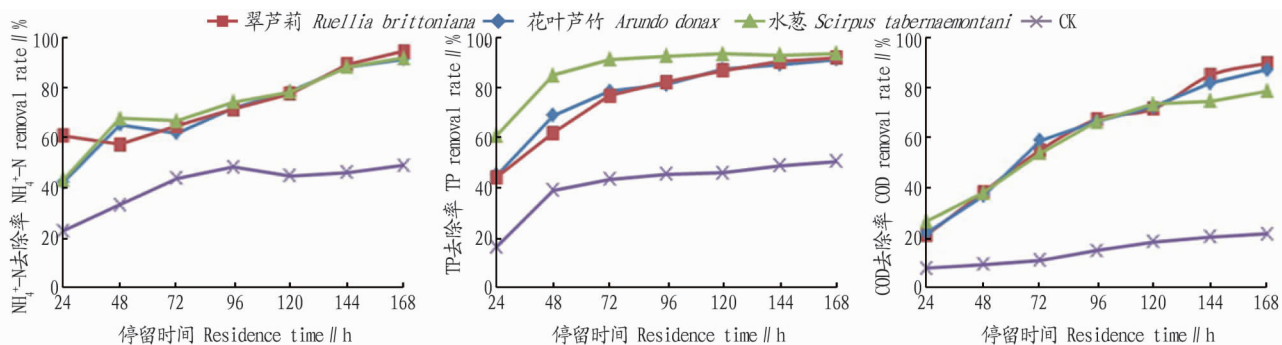


图 2 3 种挺水植物对污水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、COD 的去除效果

Fig. 2 Removal efficiency of three kinds of emergent plants for $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TP and COD in sewage

2.2 株数对 3 种挺水植物去除污水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 和 COD 的影响 水生植物对水体环境中污染物的富集量和净化效率与植物生物量密切相关,因而提高水生植物净化效率的一个重要途径就是提高植物密度量^[18]。由图 3 可知,3 种植物的株数对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率的影响在前 72 h 有较为明显的规律,从大到小依次为 8 株、6 株、4 株,但是 72 h 以后 3 种植物的株数对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率的影响明显变小。这说明植物对于 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果主要在试验前期,随着停留时间的延长,植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的吸附和吸收逐渐饱和,并且其饱和值相当接近。

不同株数的花叶芦竹、翠芦莉和水葱对 TP 的去除率不是随生物量增多而增高的一般规律,花叶芦竹、翠芦莉对 TP 的去除率从大到小依次为 8 株、4 株、6 株,这说明并非株数栽种与去除率一定成正比,还与植物本身净光合速率有关,株数越多,同等空间占比较小,影响光合作用导致降低净化作用。3 种植物对污水中 TP 的去除效果以水葱为最佳,停留时间为 168 h,去除率达到 93.8%,而花叶芦竹、翠芦莉的

要有挥发氨化、硝化、反硝化、植物摄取和基质吸附^[13]。由图 2 可知,3 种植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率随着停留时间的延长而增大,符合正常规律。在 144 h 以内,3 种植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率相当,当停留时间达到 168 h 时,翠芦莉比另外 2 种植物的去除率稍高,达到 94.6%,花叶芦竹和水葱为 92.0%。花叶芦竹处理效果稍差的原因是其根系活力相对较低,导致其吸收与转化污染物的能力较弱^[14]。

对于 3 种植物对 TP 的去除率,72 h 以内从大到小依次为水葱、花叶芦竹、翠芦莉。水葱有较高去除率的原因可能是其茎具有蜡质,能吸附较多的磷^[15]。

人工湿地对 COD_c 的去除主要是依靠污水中有机物的沉淀、基质吸附和植物根系微生物的降解作用^[16]。在 120 h 内 3 种植物对 COD 的去除率相当,但停留时间为 120~168 h 时,3 种植物对 COD 的去除率从大到小依次为翠芦莉、花叶芦竹、水葱。水葱对 COD 的去除率低于前两者的原因是试验过程中水葱的生物量并未明显增大,可判断其对水中有机污染物的吸收量较少,且生长周期较短^[17],枯萎脱落的器官使污染物容易返回水中。因此,应定期对水葱采取收割措施,以防净化的污水被重新污染。

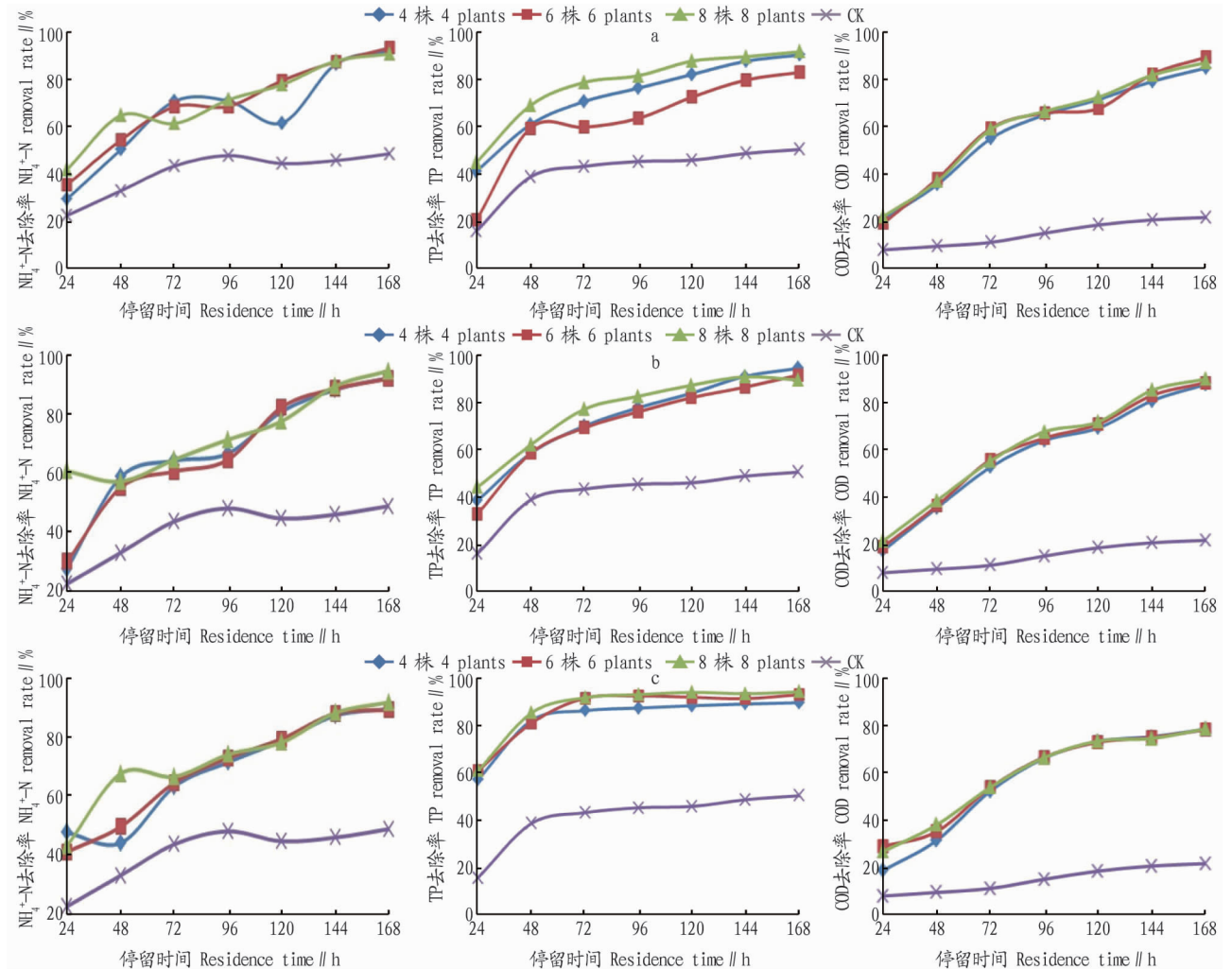
处理效果次之。对于 TP 的去除主要是化学吸附和沉积去除两者的结合,并在过程中伴随植物本身释放的磷酸酶产生抑制作用。

试验过程中,停留时间 96 h 以内不同株数的 3 种植物对 COD 的去除率基本符合“8 株 > 6 株 > 4 株”的一般规律。而 96 h 之后,3 种植物的株数对 COD 去除率的影响小。3 种植物对 COD 的去除能力从大到小依次为翠芦莉、花叶芦竹、水葱,株数为 8 时,去除率分别为 89.8%、81.7%、78.7%。通过构建微型潜流人工湿地,发挥挺水植物和湿地基质的共同净污效应,发现 3 种植物中翠芦莉对污水中 COD 总体表现出较高的净污能力。

2.3 停留时间对 3 种挺水植物去除污水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、COD 的影响 由图 4 可知,168 h 内 3 种植物对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、COD、TP 的去除率总体呈前期上升、后期平缓趋势,这符合一般规律。污水进入反应系统初期,基质和根系的吸附作用、微生物的分解作用及植物的吸收作用三者共同存在,且植物与微生物均处于快速生长或繁殖阶段,利用了大量污染物,

使得污染物的去除速率较大。后期因为基质和根系的吸附作用已经逐渐饱和,根系生长也趋于成熟,微生物由于最大生物量的限制,其繁殖速率也有所减慢,这些因素均导致污

染物的去除速率有所减慢。污水处理后的水质可以满足广东省水污染物排放限(DB 44/26—2001)第2时段一级标准,说明该研究具有良好的实际应用前景。



注:a. 花叶芦竹;b. 翠芦莉;c. 水葱

Note:a. *Arundo donax*, b. *Ruellia brittoniana*, c. *Scirpus tabernaemontani*

图3 挺水植物不同株数对去除污水中NH₄⁺-N、TP和COD的影响

Fig. 3 The effects of different number emergent plants on removal of NH₄⁺-N, TP and COD in sewage

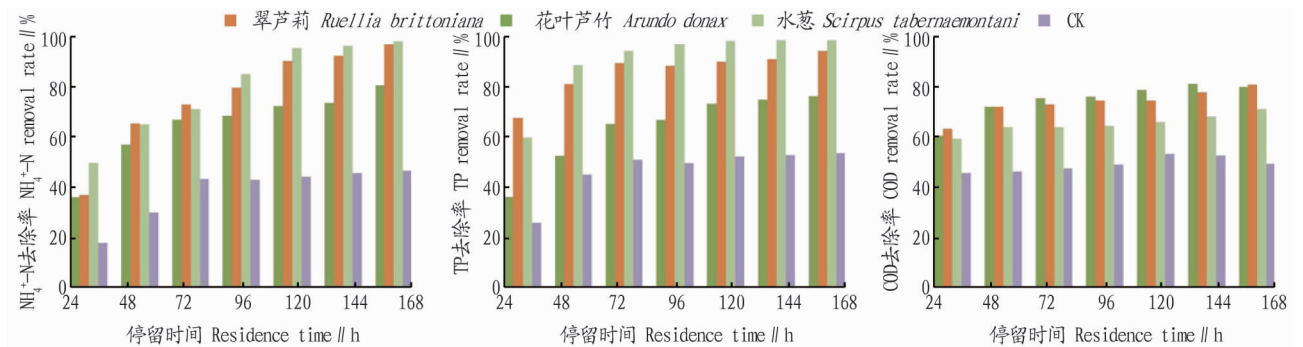


图4 停留时间对3种挺水植物去除污水中NH₄⁺-N、TP、COD的影响

Fig. 4 Effects of residence time on removal of NH₄⁺-N, TP, COD in sewage by three kinds of emergent plants

3 结论

(1) 该研究结果表明,翠芦莉、花叶芦竹、水葱3种挺水植物对水中污染物的去除率均较高,但是对不同污染物的处

理能力不尽相同,植物株数为8时,3种植物对NH₄⁺-N的去除能力从大到小依次为翠芦莉、水葱、花叶芦竹,去除率分
(下转第80页)

- synthesis in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) stands [J]. Ecological modelling, 2002, 148(3): 213–232.
- [8] 冷寒冰, 秦俊, 叶康, 等. 不同光照环境下荷花叶片光合光响应模型比较[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2855–2860.
- [9] MASSACCI A, NABIEV S M, PIETROSANTI L, et al. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging [J]. Plant physiology and biochemistry, 2008, 46(2): 189–195.
- [10] EFEÖĞLU B, EKMEKÇI Y, ÇIÇEK N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery [J]. South African journal of botany, 2009, 75(1): 34–42.
- [11] 裴斌, 张光灿, 张淑勇, 等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1386–1396.
- [12] 袁东海, 高士祥, 任全进, 等. 几种挺水植物净化生活污水总氮和总磷效果的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 77–80, 92.
- [13] 李琳, 刘娜娜, 达良俊, 鸢尾和菖蒲不同器官对富营养化水体中氮磷的积累效应[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(12): 901–903, 907.
- [14] FARQUHAR G D, VON C S, BERRY J A. Models of photosynthesis [J]. Plant physiology, 2001, 125(1): 42–45.
- [15] 蔡艳飞, 李世峰, 解玮佳, 等. 不同光照环境对‘薇安’铁线莲光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(7): 1377–1384.
- [16] 杨婷, 许琨, 严宁, 等. 三种高山杜鹃的光合生理生态研究[J]. 植物分类与资源学报, 2013, 35(1): 17–25.
- [17] 蒋馥蔚, 江洪, 李巍, 等. 酸雨胁迫下黑壳楠 *Lindera megaphylla* Hemsl. 幼苗在夏季和秋季的生理生态特性[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2374–2380.
- [18] BILGER W, BJÖRKMANN O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis* [J]. Photosynthesis research, 1990, 25(3): 173–185.
- [19] ROHÁČEK K. Chlorophyll fluorescence parameters: The definitions, photosynthetic meaning and mutual relationships [J]. Photosynthetica, 2002, 40(1): 13–29.
- [20] TARTACHNYK I I, BLANKE M M. Effect of delayed fruit harvest on photosynthesis, transpiration and nutrient remobilization of apple leaves [J]. New phytologist, 2004, 164(3): 441–450.
- [21] 许大全. 光合作用效率 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 33–51.
- [22] 张淑勇, 周泽福, 夏江宝, 等. 不同土壤水分条件下小叶扶芳藤叶片光合作用对光的响应[J]. 西北植物学报, 2007, 27(12): 2514–2521.
- [23] 伍维模, 李志军, 罗青红, 等. 土壤水分胁迫对胡杨、灰叶胡杨光合作用-光响应特性的影响[J]. 林业科学, 2007, 43(5): 30–35.
- [24] 韩刚, 赵忠. 不同土壤水分下4种沙生灌木的光合光响应特性[J]. 生态学报, 2010, 30(15): 4019–4026.
- [25] 张小勤. 几种水生植物对污水胁迫的生理响应[D]. 昆明: 西南林业大学, 2012.
- [26] 成水平, 况琪军, 夏宜铮. 香蒲、灯心草人工湿地的研究: I. 净化污水的效果[J]. 湖泊科学, 1997, 9(4): 351–358.
- [27] CLARKE E, BALDWIN A H. Responses of wetland plants ammonia and water level [J]. Ecological engineering, 2002, 18(3): 257–264.

(上接第72页)

别为94.6%、91.9%、91.4%；3种植物对TP的去除能力从大到小依次为水葱、翠芦莉、花叶芦竹，去除率分别为93.8%、92.0%、91.3%；对COD的去除能力从大到小依次为翠芦莉、花叶芦竹、水葱，去除率分别为89.8%、81.7%、78.7%。通过构建微型潜流人工湿地，发挥挺水植物和湿地基质的共同净污效应，发现3种植物中翠芦莉对污水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP、COD总体表现出较高的净污能力^[19]。

(2) 当种植株数为8时，植物对污染物的去除率总体最高，这表明污染物的去除率一般随植物株数的增多而增大。

(3) 污染物的去除率随停留时间的延长而增大，且前96 h的去除速率明显比后72 h要大，这与介质的吸附和植物与微生物的生长有关。

(4) 2种污水处理后的水质均满足广东省水污染物排放限(DB 44/26—2001)第2时段一级标准，说明该研究具有广阔实际应用前景。

参考文献

- [1] 高松. 农村水污染特征及治理分析[J]. 绿色科技, 2016(24): 55–56.
- [2] 严岩, 孙宇飞, 董正举, 等. 美国农村污水管理经验及对我国的启示[J]. 环境保护, 2008(15): 65–67.
- [3] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报[R]. 2010.
- [4] 李娟, 张龙庄, 段亮, 等. 人工湿地废水处理技术的研究现状及展望[J]. 南方农业学报, 2011, 42(1): 69–73.
- [5] 徐德福, 李映雪. 用于污水处理的人工湿地的基质、植物及其配置[J]. 湿地科学, 2007, 5(1): 32–38.
- [6] 何云晓, 陈娟, 艾明. 农村污水治理中人工湿地植物系统的研究[J]. 江苏农业科学, 2010(5): 498–500.
- [7] 刘晓璐, 牛宏斌, 闫海, 等. 农村生活污水生态处理工艺研究与应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(9): 184–191.
- [8] 裴亮, 孙莉英. 水生植物在人工湿地处理农村生活污水中的应用研究[J]. 中国农村水利水电, 2014(10): 26–29.
- [9] 高廷耀, 顾国维, 周琪. 水污染控制工程: 下册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 267.
- [10] 谢龙, 汪德耀. 花叶芦竹潜流人工湿地处理生活污水的研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(5): 89–91.
- [11] 蔡汉, 王小明. 园林新优宿根花卉——翠芦莉[J]. 中国花卉园艺, 2008(10): 24–25.
- [12] 刘旭富, 石青. 五种水生植物对富营养化水体净化能力的研究[J]. 北方园艺, 2012(22): 54–56.
- [13] 刘文杰, 许兴原, 何欢, 等. 4种植物对人工湿地净化生活污水的影响比较[J]. 环境工程学报, 2016, 10(11): 6313–6319.
- [14] 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(S1): 261–263.
- [15] 胡勇有, 王鑫, 张太平, 等. 用低浓度生活污水筛选适于华南人工湿地的植物[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006, 34(9): 111–116.
- [16] 李龙山, 倪细炉, 李志刚, 等. 5种植物生理生长特性变化及其对污水净化效果的研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(8): 1625–1632.
- [17] 张晓斌. 植物修复在水环境污染治理中的研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2007.
- [18] 聂磊, 贺漫媚. 观赏挺水植物在河涌污水中的生长及净化效果研究[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(4): 832–838.
- [19] 聂磊, 贺漫媚, 代色平. 十种植物净化广州河涌污水的生理生态效应分析[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(9): 1776–1780.