

人工湿地植物净化生活污水效果研究

孙海燕¹, 万书波², 赵俊平¹, 彭 民¹

(1. 东北石油大学 经济管理学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 山东省农业科学院, 山东 济南 250100)

摘 要:通过模拟垂直流人工湿地污水系统,研究了湿地植物鸢尾(*Iris pseudacorus*)、菖蒲(*Acorus calamus*)、茭白(*Zizania aquatica*)和芦苇(*Phragmites australis*)对生活污水总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH_4^+-N)、硝氮(NO_2^--N)、生物耗氧量(BOD_5)和化学耗氧量(COD_{Cr})的去除效果。结果表明:4种植物对各种污染物的净化效果存在一定的差异,其净化效果基本表现为鸢尾>菖蒲>芦苇>茭白;4种植物对 BOD_5 、 COD_{Cr} 、TP和TN的去除效果明显高于对 NH_4^+-N 和 NO_2^--N 的去除效果,鸢尾、菖蒲和芦苇对 BOD_5 、 COD_{Cr} 、TP、TN、 NH_4^+-N 和 NO_2^--N 去除率明显高于茭白;各种植物的总生物量为555.7~1899.1 g/m²,除了鸢尾地上地下生物量比(A/U)小于1,其它比值均大于1;4种植物地上部分N和P的浓度高于地下部分,平均N、P积累量分别为11.38 g/m²和0.98 g/m²,地上部分N、P平均积累量分别占61.31%和73.13%。相关性分析表明,湿地植物N、P积累量与浓度和生物量均存在显著线性关系($P<0.05$),生物量可作为筛选适合人工湿地植物的指标。

关键词:人工湿地;植物;净化效果;生活污水

中图分类号:X 171 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)20-0050-06

人工湿地是一种自适应系统,该系统基质、水生植物和微生物等通过一系列物理、化学、生物途径能够对特定污染物高效的去除^[1-4]。人工湿地是近年来发展较为迅速的一种污水处理技术,投资少、去除和净化效果好、易维护、使用方位广等优点被广泛应用于各类不同水体的水质净化,已有不少地区取得了良好的环境效果和经济效益^[5-10]。随着城镇化水平的加快,我国水体污染较为严重,生活污水排放量日益增多,大部分污水未经处理直接排放^[10]。湿地植物是构建人工湿地植物系统的主要类型植物,在净化水质等方面起着重要作用,湿地植物不仅具有同化吸收污染物的功能,还具有拦截、过滤污染物的作用^[5-8],不同湿地植物具有较强的地域性,对污染物的去除能力有较大的差异^[11-14]。潜流式人工湿地面积较小、净化水质能力强、操作和运行方便等优点应用较为广泛,选择适当的湿地植物是构建人工湿地和恢复重建自然湿地的关键措施^[5,7,15]。现以4种常见湿地植物为试材,构建潜流型人工湿地,对比研究

不同植物对生活污水中 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、TN、TP的去除能力,旨在筛选适合生长且净化能力较强的湿地植物用于湿地水质净化和水环境修复,为恢复水生植物和自然湿地、构建人工湿地、净化生活污水、控制水体污染和富营养化提供理论依据和实践措施。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为武汉当地常见鸢尾科鸢尾属的鸢尾(*Iris pseudacorus*)、天南星科菖蒲属的菖蒲(*Acorus calamus*)、禾本科菰属的茭白(*Zizania aquatica*)和禾本科芦苇属芦苇(*Phragmites australis*)。

1.2 试验方法

1.2.1 人工废水的配置 人工废水的配制参照文献^[5-6]的方法,将猪粪水稀释到 COD_{Cr} 80~280 mg/L, BOD_5 50~90 mg/L, TN 10~35 mg/L, TP 1.4~5.6 mg/L, NH_4^+-N 12~34 mg/L, NO_2^--N 10~20 mg/L; pH 7.12~7.78。

1.2.2 人工湿地设计与流程 人工湿地植物:人工湿地位于武汉市江夏区安山街胜利村,复合垂直流人工湿地中试系统由下行流池和上行流池串联而成,两池中间有隔墙,底部连通。选取鸢尾、菖蒲、茭白和芦苇4种植物,1种植物为1个处理,共4个处理,每处理3次重复,种植密度为3~7株/m²,人工湿地床沿对角线埋入直径为

第一作者简介:孙海燕(1979-),女,博士研究生,研究方向为农业生态与生态经济。E-mail:sunhaiyan425@163.com。

责任作者:万书波(1963-),男,研究员,博士生导师,研究方向为农业生态与生态经济。E-mail:fhgreat@126.com。

基金项目:湖南省研究生科研创新资助项目(CX2012B310)。

收稿日期:2014-06-10

15 mm 的 PVC 管,使人工湿地中的循环水能够流入 PVC 管,便于采集。人工湿地结构:设置 4 个平行人工湿地处理单元,每个单元长 8.0 m、宽 2.0 m、深 0.8 m (根据植物的根系衡量),每个处理单元间用 1 m 宽的土埂隔开,底部为集水区,其上铺设尼龙网,防止填料下漏。2013 年 5 月 20 日先用微污染水对 4 种植物驯化 1 个月再进行净化能力试验,选择株型大小、生物量基本一致的 4 种湿地植物,一部分用于测定 N、P 等元素的含量,另一部分栽于人工湿地砂子基质上,植物栽上后,加自来水至砂子基质饱和,地下水培养 1 个月,并保持其上 2~3 cm 薄水层,稳定 15 d,其间换水 3 次。2013 年 7 月 20 日将污水经配水池缓慢放入人工湿地(水深 78~83 cm),由于水流通过水管均匀流入人工湿地,污水通过布设在人工湿地的布水管流入,缓慢向下渗滤,放水 12 h 后,停止注水,水力负荷控制 $0.9 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,保证其具有相似的生长环境。进水为上述配置的生活污水,经过人工湿地处理后的水从底部 PVC 管排出,取进水口与出水口水样在实验室进行化验分析。人工湿地填料:底层大粒径砾石作为排水层,上部填砂,其主要成分为 SiO_2 ,基质铺设相同,底层均选用砾石,直径为 1~5 cm,厚度为 20 cm,中层选用当地较好的炉渣,直径为 0.5~1.0 cm,厚度为 20 cm,上层选用当地的泥沙,直径为 0.1~0.5 cm,厚度为 25 cm(炉渣和泥沙能够避免土壤系统表面的短流现象,多孔特性增加了表面积,有利于微生物的代谢活动)。

1.3 项目测定

分别于 2013 年 6—8 月进行水样采集与测试,统计每种人工湿地 1 m^2 样方中植株数目、株高等生长性状,并将其收割分为地上和地下部分,置烘箱中 65°C 烘至恒重并测定其生物量,分别对地上和地下植物样品粉碎后用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮制备成溶液,植物 TN 用过硫酸钾氧化分光光度法测定,TP 用钼钼蓝法测定^[10]。

水质中 BOD_5 测定采用稀释接种法; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 测定采用纳氏试剂分光光度法; $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 测定采用 N-(1-萘

基)-乙二胺分光光度法;TN 测定采用过硫酸钾-紫外分光光度法;TP 测定采用钼锑抗分光光度法; COD_{Cr} 测定采用重铬酸钾氧化法^[9-10]。

N 和 P 去除率(R)的计算公式: $R = (A - B) / A \times 100\%$,B 为 TN 或 TP 的出水口浓度,A 为 TN 或 TP 的进水口浓度;植物 N、P 积累量(PA)=植物体内 N、P 浓度(PC)×植物生物量(PB)。

1.4 数据分析

采用 SPSS 18.0 统计分析软件分别对试验数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),多重比较采用 LSD,Origin 7.5 作图,利用植物 N、P 积累量与植物生物量、N、P 浓度进行线性回归建立,由原始数据拟合线性回归关系经统计学检验得到拟合度参数 R^2 ,并检验相关系数的显著性($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同湿地植物的生物量及其分配

2013 年 5 月开始,对 4 种植物进行记录和观察,并了解它们存活及生长情况。至 2013 年 8 月,除了芦苇生长一般以外,其余 3 种湿地植物均生长旺盛,鸢尾、菖蒲、茭白和芦苇的株高分别为 174.6、153.2、136.7、79.8 cm。4 种植物生长一段时间后,平均总生物量在 $555.7 \sim 1899.1 \text{ g/m}^2$,表现为鸢尾>菖蒲>茭白>芦苇,种间差异显著($P < 0.05$),地上生物量在 $312.6 \sim 836.7 \text{ g/m}^2$,表现为菖蒲>茭白>鸢尾>芦苇,且菖蒲和茭白差异不显著($P > 0.05$),地下生物量在 $243.1 \sim 1142.7 \text{ g/m}^2$,表现为鸢尾>菖蒲>茭白>芦苇,且种间差异显著($P < 0.05$);除鸢尾外,其它 3 种植物地上、地下生物量比(A/U)均大于 1,比值为 1.03~1.29。4 种植物地下生物量占总生物量的 40%以上,鸢尾高达 60.17%。生长在相似条件下人工湿地中的植物,其生物量差异显著($P < 0.05$),这是植物内在的生长特性,也表现了物种对这种环境的适应能力。

表 1 不同湿地植物的生物量及其分配

Table 1 Biomass and allocation of different wetland plants

植物	地上生物量	地下生物量	总生物量	地上生物量/地下生物量 A/U
鸢尾 <i>Iris pseudacorus</i>	756.3±26.6 b	1142.7±35.6 a	1899.1±38.9 a	0.66
菖蒲 <i>Acorus calamus</i>	836.7±39.5 a	812.9±26.1 b	1649.6±31.8 b	1.03
茭白 <i>Zizania aquatica</i>	813.5±32.4 a	745.8±30.2 c	1559.3±25.6 c	1.09
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	312.6±14.8 c	243.1±19.8 d	555.7±18.7 d	1.29

注:同列相同小写字母表示在 0.05 水平差异不显著,下同。

Note: The same lowercase letters within a column show no significant differences at 0.05 level, the same below.

2.2 不同湿地植物对生活污水的净化效果比较

从图 1 可以看出,除了 TP 以外,不同植物对 TN、

$\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 BOD_5 、 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果存在差异,均表现为鸢尾>菖蒲>芦苇>茭白,4 种湿地植物对

TN、TP、 NO_2^- -N、 BOD_5 、 COD_{Cr} 和 NH_4^+ -N的去除率分别为48.2%~92.8%, 41.3%~91.6%, 28.7%~49.3%, 53.6%~78.5%, 51.2%~73.8%和22.7%~43.8%。鸢尾、菖蒲和芦苇对TN的净化效果差异不显著($P>0.05$),但显著高于茭白($P<0.05$);鸢尾和芦苇对TP的净化效果差异不显著($P>0.05$),但显著高于菖蒲和茭白($P<0.05$);鸢尾和菖蒲对硝氮(NO_2^- -N)和

BOD_5 的净化效果差异不显著($P>0.05$),但显著高于茭白($P<0.05$);芦苇和茭白对 COD_{Cr} 的净化效果差异不显著($P>0.05$),但显著低于鸢尾和菖蒲($P<0.05$);鸢尾对氨氮(NH_4^+ -N)的净化效果显著高于其它3种植物($P<0.05$),菖蒲和芦苇对氨氮(NH_4^+ -N)的净化效果差异不显著($P>0.05$)。

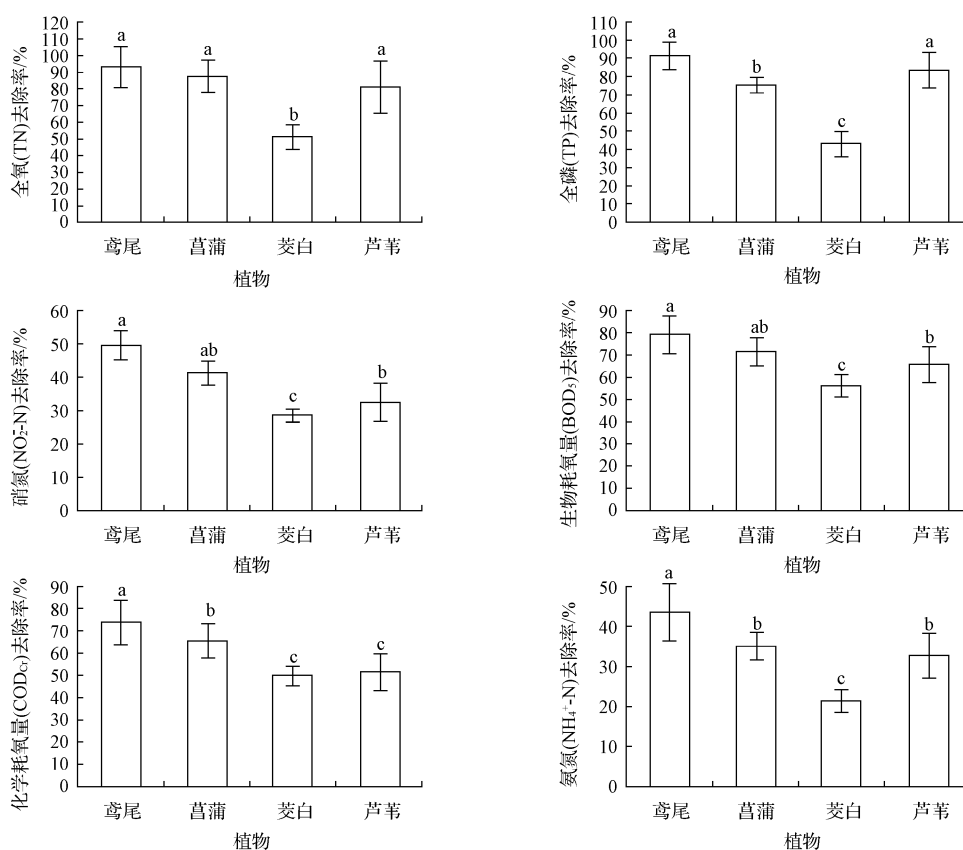


图1 不同湿地植物对生活污水的净化效果比较

Fig. 1 Comparison of pollutant removal efficiencies of different wetland plants

2.3 不同湿地植物地上地下N、P浓度及积累量

由图2可知,4种植物地上和地下N、P浓度和N、P积累量具有一致的变化规律,表现为鸢尾>菖蒲>芦苇>茭白,局部有所波动。鸢尾地上和地下N积累量分别为29.76 g/m²和28.35 g/m²,P积累量分别为3.12 g/m²和3.93 g/m²,菖蒲地上和地下N积累量分别为27.38 g/m²和16.57 g/m²,P积累量分别为3.07 g/m²和2.78 g/m²,二者均超过4种植物平均N、P积累量,属于高积累植物功能群;茭白和芦苇N、P积累量最低,茭白地上和地下N积累量分别为9.37 g/m²和5.38 g/m²,P积累量分别为0.78 g/m²和0.43 g/m²,二者属于低积累功能群。4种植物平均N、P积累量为18.56 g/m²和1.34 g/m²,其中地上部分平均N、P积累量为11.38 g/m²和0.98 g/m²,分别占61.31%和73.13%。

2.4 湿地植物N、P积累量与生物量和N、P浓度的相关关系

图3由原始数据拟合得到回归关系,经统计学检验得到拟合度参数 R^2 ,并在 $P<0.05$ 水平检验相关系数的显著性,从而发现了湿地植物N、P积累量与生物量和N、P浓度的相关关系。由图3可知,湿地植物生物量分别与N、P积累量呈显著的线性关系($P<0.001$),N、P积累量与生物量的相关系数分别达到0.6856和0.7179,N、P积累量与N、P浓度的相关系数分别达到0.5272和0.6664。因而,可以通过生物量和植物N、P浓度来评价湿地植物对N、P去除的作用,经对比分析可知,湿地植物N、P积累量与生物量相关关系更好,因此,湿地植物生物量更能评价植物对N、P去除的作用。

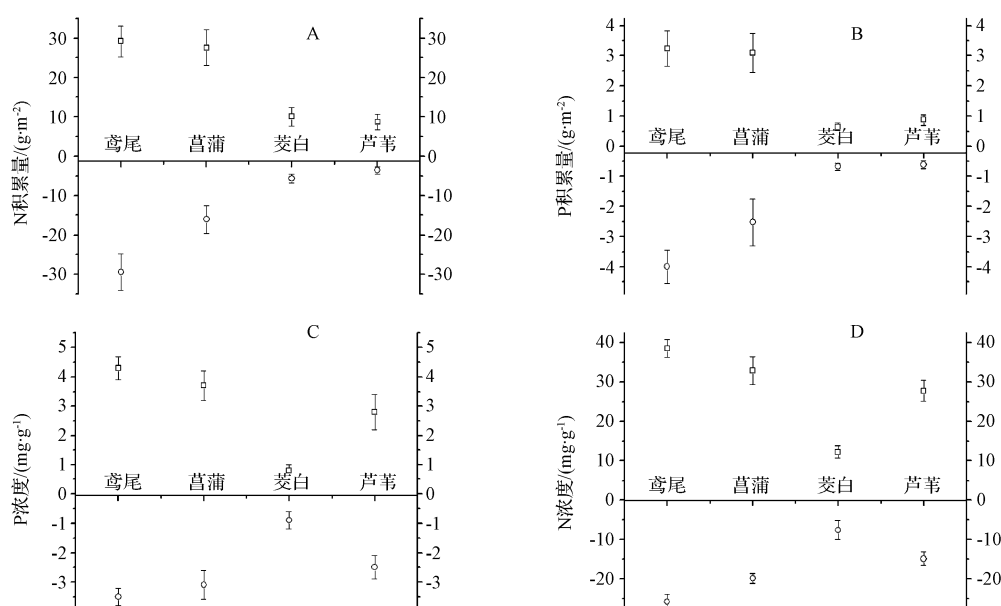


图2 不同湿地植物地上地下的 N、P 浓度及积累量

Fig. 2 Aboveground and underground concentrations and accumulation of nitrogen and phosphorus of different wetland plants

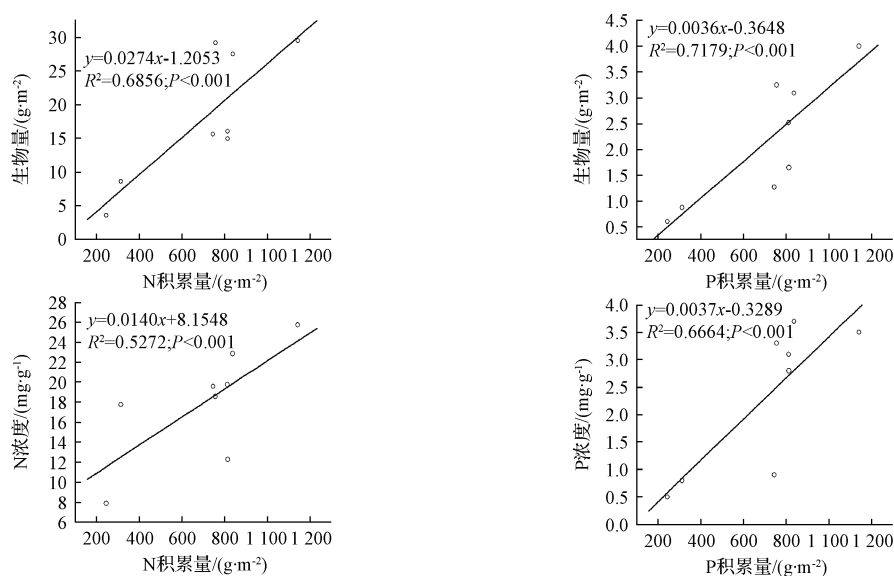


图3 湿地植物 N、P 积累量与生物量、N、P 浓度的相关关系

Fig. 3 Relationship between plant nitrogen and phosphorus accumulation and biomass, plant nitrogen and phosphorus concentration

3 结论与讨论

3.1 不同湿地植物对生活污水净化效果分析

人工湿地净化污水中的污染物机理极为复杂,不少学者对其展开了广泛研究^[1-4,6-9]。湿地植物在净化水质中具有重要作用,不仅可以直接摄取和利用污水中的营养物质和有机物,还能提高人工湿地的渗透系数,增强根际微生物活性、溶解性氧含量等,有利于各类微生物在湿地繁殖与扩散,强化人工湿地净化能力,也可延长湿地基质的使用期限^[5-8,16-17]。综合来看,该研究中4种

湿地植物构成的人工湿地净化污水效果存在着一定差异,鸢尾净化污水中各项指标明显高于其它3种植物,充分体现在对 TN、TP、NO₂⁻-N、BOD₅、COD_{Cr} 和 NH₄⁺-N 的去除率,这与人工湿地中特定植物生长状况和根系发达程度密切相关,同时,该研究中4种湿地植物对 TN、TP、NO₂⁻-N、BOD₅、COD_{Cr} 和 NH₄⁺-N 的去除率的标准差较大,说明环境因子对进水中各项指标的去除率有较大的影响。湿地植物能显著增加人工湿地系统去除 TN、TP、NO₂⁻-N、BOD₅、COD_{Cr} 和 NH₄⁺-N 的能力,

对不同污染物的去除效果和机理不同,4种湿地植物均表现为对TN、TP、BOD₅和COD_{Cr}的去除效果较好,对NO₂⁻-N和NH₄⁺-N的去除效果较差,说明湿地植物对生活污水中TN、TP、BOD₅和COD_{Cr}的吸收效果较好,这一过程主要是通过人工湿地植物的截流、过滤以及微生物的新陈代谢过程得以去除,与前人的研究结果一致^[5,7,9,15]。

一般来说,在不同的运行条件下,人工湿地对有机物的去除效果比较稳定,但对N、P的去除效果容易受各种因素的影响而不稳定,所报道的数据往往变化范围比较大^[12-13,15,18-20]。该研究人工湿地基质选用砂子(SiO₂),对N的吸附能力较弱,容易达到饱和,可以忽略不计,而N的循环条件较为复杂,湿地植物不仅通过植物吸收,还通过基质吸附、硝化和反硝化及氨的挥发等途径净化污水中的N^[5-9,12-13,19-20]。为了探讨植物在人工湿地系统的净化污水中N的机制,该研究监测了湿地植物生物量和植物体内N、P含量的变化,从而阐述植物自身吸收同化污水中N水平以及植物根系微生物作用有关。

有研究表明,人工湿地中污水pH<8时,氨的挥发净化途径基本上可以忽略,该研究中人工湿地进口污水和出口污水pH值接近中性,除了植物吸收和基质吸附的N净化途径以外,N的净化途径基本上是N的硝化和反硝化途径^[6,9,12-13,19-20]。鸢尾新生根系的须根较多,根系生物量较大,有利于根际微生物的着生,茭白根系生物量相对较少,依赖于根际环境的根际微生物数量相对较少,根际微生物硝化和反硝化作用相对较弱,通过硝化和反硝化途径净化的N数量相对较少^[6,9,19-20],从长期角度出发,微生物硝化和反硝化作用是人工湿地净化N的主要途径,优选根系发达的植物是提高该系统N去除率的重要措施之一。

3.2 不同湿地植物地上地下N、P浓度及积累量分析

对于生长条件相同4种湿地植物生物量及分配变化较大,地上和地下部分生物量所占的比例也各不相同,大部分湿地植物地上部分生物量等于或大于地下部分生物量。就植物体内N、P而言,4种湿地植物的地上部分N、P基本高于地下部分,这符合N、P元素主要供给营养生长部位的分配特点,属于植物内在生长特性,另一方面也体现了植物对环境的适应^[6,12-13]。湿地植物N、P积累量能够反映植物对N、P的直接去除能力,营养物质的分配特点也会涉及到采取什么收割方式,就该研究中的菖蒲、茭白和鸢尾而言,通过对植物地上部分的收割,可以去除大部分的N、P积累量,对于芦苇,地下部分生物量和N、P积累量高于地上部分,在适宜时进行全面收获,使其移出系统。

该研究还表明,湿地植物N、P积累量与植物的生物量和N、P浓度存在显著的线性关系,生物量对N、P积累量的影响大于植物N、P浓度的影响,与前人的研究结果一致^[6,9,12-13,19-20]。大量关于不同湿地植物N、P净化效果的研究表明生物量越大,N、P净化功能越好^[6,12-13,15,21]。此外,湿地植物对污染物的净化效果与植物的生长速度、生长阶段、植物的生物量、植物自身N、P积累量以及植物根际微生物有关^[6,12-13,15]。在今后利用湿地植物净化污水时,要根据所处理污水的污染状况、景观需要及当地的气候特点,结合当地的本身条件有针对性地选择合适的湿地植物,考虑合理搭配,最大限度地发挥湿地植物的作用^[6,19-20,22]。该研究所选择的4种湿地植物,鸢尾是对N、P具有高吸收功能、生命力强的植物种类,生物量也最大,可作为构建人工湿地植物的首选,而茭白具有较低的生物量和N、P去除率等,由于人工湿地需要遵循植物多样性原则和景观配置原则,茭白也可在人工湿地中适当使用。

人工湿地整合协调了基质-微生物-植物的净化机理,由于基质吸附净化能力有一定限度,尽管一些学者提出了基质强化净化能力的方法,但随着时间的推移,基质的吸附净化容量将达到饱和,一旦基质的吸附容量饱和,一般情况下不能重复利用,而人工湿地生态系统中具有净化污染物能力的植物资源可以重复利用,通过收获、刈割和换茬等方式可以延续利用植物系统的净化能力,选择生物量较大、富集污染能力较强的植物,也是提高植物系统净化能力和人工湿地净化效果的关键措施。对于人工湿地选用净化污水能力较强的植物,一方面可以提高人工湿地对污染物的去除效率;另一方面可以减少引用外来植物的投资成本,还可以避免引用外来植物造成的生物入侵危险,但人工湿地植物的构建不是靠单一类型的植物,建议依据生物多样性协同净化作用原理来提高系统的净化能力,在参考前人研究成果的基础上,构建各种植物组合的人工湿地充分发挥其各成分的协同作用以提高净化污水能力,同时在选择和利用的基础上,各种湿地植物间的生态效应和物种变异是构建人工湿地的难点。

由于试验条件有限,该研究的人工湿地为定期灌溉地下水,湿地系统处于相对静止状态,与实际运行的垂直潜流人工湿地有一定差别。另外,人工湿地的净化作用随着植物的生长可能发生变化,该研究只是反映了特定生长阶段的净化效果,长期的净化效果仍待进一步研究。此外,对于污染物浓度较高的污水要经过前置处理达到人工湿地处理污水等级后,才能最大程度发挥人工湿地的净化作用。

参考文献

- [1] Wu H, Zhang J, Li P, et al. Nutrient removal in constructed microcosm wetlands for treating polluted river water in northern China[J]. Ecological Engineering, 2011, 37(4): 560-568.
- [2] Vymazal J. Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic[J]. Ecological Engineering, 2011, 37(1): 54-63.
- [3] Soda S, Hamada T, Yamaoka Y, et al. Constructed wetlands for advanced treatment of wastewater with a complex matrix from a metal-processing plant: Bioconcentration and translocation factors of various metals in *Acorus gramineus* and *Cyperus alternifolius* [J]. Ecological Engineering, 2012, 39: 63-70.
- [4] Fuchs V J, Mihelcic J R, Gierke J S. Life cycle assessment of vertical and horizontal flow constructed wetlands for wastewater treatment considering nitrogen and carbon greenhouse gas emissions[J]. Water Research, 2011, 45(5): 2073-2081.
- [5] 聂志丹, 年跃刚, 金相灿, 等. 3 种类型人工湿地处理富营养化水体中试比较研究[J]. 环境科学, 2007, 28(8): 1675-1680.
- [6] 崔丽娟, 李伟, 张曼胤, 等. 不同湿地植物对污水中氮磷去除的贡献[J]. 湖泊科学, 2011, 23(2): 203-208.
- [7] 陈永华, 吴晓芙, 蒋丽鹃, 等. 处理生活污水湿地植物的筛选与净化潜力评价[J]. 环境科学学报, 2008, 28(8): 1549-1554.
- [8] 夏汉平. 人工湿地处理污水的机理与效率[J]. 生态学杂志, 2002, 21(4): 51-59.
- [9] 靖元孝, 李晓菊, 杨丹菁, 等. 红树植物人工湿地对生活污水的净化效果[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2365-2374.
- [10] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 82-284.
- [11] 袁东海, 任全进, 高士祥, 等. 几种湿地植物净化生活污水 COD, 总氮效果比较[J]. 应用生态学报, 2005, 15(12): 2337-2341.
- [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.
- [13] 陈永华, 吴晓芙, 蒋丽鹃, 等. 处理生活污水湿地植物的筛选与净化潜力评价[J]. 环境科学学报, 2008, 28(8): 1549-1554.
- [14] 宋志文, 毕学军, 曹军. 人工湿地及其在我国小城市污水处理中的应用[J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 74-78.
- [15] 徐德福, 徐建民, 王华胜, 等. 湿地植物对富营养化水体中氮、磷吸收能力研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 597-601.
- [16] 王悬, 徐祖信, 李怀正. 潜流湿地处理生活污水时的强化方法[J]. 环境科学, 2006, 27(12): 2432-2438.
- [17] 徐和胜, 付融冰, 褚衍洋. 芦苇人工湿地对农村生活污水磷素的去除及途径[J]. 生态环境, 2007, 16(5): 1372-1375.
- [18] 廖新伟, 骆世明, 吴银宝, 等. 人工湿地植物筛选的研究[J]. 草业学报, 2004, 13(5): 39-45.
- [19] 李晓东, 孙铁珩, 李海波, 等. 人工湿地除磷研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1226-1232.
- [20] 卢少勇, 金相灿, 余刚. 人工湿地的氮去除机理[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2670-2677.
- [21] 蒋跃平, 葛滢, 岳春雷, 等. 人工湿地植物对观赏水中氮磷去除的贡献[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1720-1725.
- [22] 熊飞, 李文朝, 潘继征, 等. 人工湿地脱氮除磷的效果与机理研究进展[J]. 湿地科学, 2005(3): 228-234.

Research on Purification Efficiency of Plants Removal From Constructed Wetland in the Domestic Sewage

SUN Hai-yan¹, WAN Shu-bo², ZHAO Jun-ping¹, PENG Min¹

(1. College of Economics and Management, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318; 2. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100)

Abstract: Four kinds of wetland plants, including *Iris pseudacorus*, *Acorus calamus*, *Zizania aquatica* and *Phragmites australis* were selected to study the removal efficiencies of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), nitrate nitrogen ($\text{NO}_2^- - \text{N}$), biological oxygen consumption (BOD_5) and chemical oxygen consumption (COD_{Cr}) in domestic sewage by the vertical flow wetland. The results showed that the purification efficiency of four kinds of wetland plants were different which showed that *Iris pseudacorus* > *Acorus calamus* > *Phragmites australis* > *Zizania aquatica*. The purification efficiency to BOD_5 , COD_{Cr} , TP and TN of four kinds of wetland plants were higher than the $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_2^- - \text{N}$ purification efficiency, and the purification efficiency to all these index of *Iris pseudacorus*, *Acorus calamus* and *Phragmites australis* were higher than *Zizania aquatica*. Total biomass of different plants were from 555.7 g/m² to 1 899.1 g/m². Ratios of most plant biomass aboveground (A/U) varied between 1 and 2, except for *Iris pseudacorus* (0.66). The concentrations of nitrogen and phosphorus of aboveground biomass was higher than belowground biomass, while the average plant accumulations of nitrogen and phosphorus were 11.38 g/m² and 0.98 g/m², which the aboveground accounted for 61.31% and 73.13%. Correlation analysis showed that plant accumulations of nitrogen and phosphorus displayed significantly positive linear correlation with plant biomass and concentrations of nitrogen and phosphorus ($P < 0.05$), and biomass could be used as an indicators to screening appropriate artificial wetland plants.

Keywords: constructed wetland; plants; purification efficiency; domestic sewage