

垂柳幼苗秋季去除富营养化污水中的氮磷能力的研究

童丽丽¹, 张娟², 阮宏华²

(1. 金陵科技学院 园艺学院, 江苏 南京 210008 2. 南京林业大学 森林资源与环境学院 江苏 南京 210037)

摘要: 研究了垂柳 1 a 生幼苗秋季 84 d 在 TN 浓度含量分别为 2.0、30.0、40.0 和 80.0 mg/L, TP 浓度分别为 0.4、8.0、15.0 和 25.0 mg/L 的模拟富营养化污水中的生长状况、形态变化, 及其对不同浓度富营养化水中的总氮、总磷的净化效果。结果表明: 垂柳对富营养化水适应性较强, 在各种浓度的富营养化水中生长状况一般至良好, 株高、叶片数均有不同的增长, 但基径变细, 对各组污水中 TN、TP 均有较好的净化作用, 平均去除率分别为 15.61% 和 26.91%, 是值得大力推广应用的净化富营养化水中氮磷的湿生树种。

关键词: 垂柳幼苗; 富营养化污水; 形态变化; 氮磷去除率

中图分类号: S 792.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)22-0096-03

氮、磷含量过高是造成水体富营养化的主要原因。利用植物对氮、磷的吸附作用是净化富营养化污水的可持续性的有效途径之一。目前, 国内外研究对木本植物净化水体的研究报道相对较少, 主要有对池杉(*Taxodium ascendens*)、水翁(*Cleistocalyx operculatus*)和秋茄(*Kandelia candel*)、桐花树(*Aegiceras corniculata*)和白骨壤(*Avicennia marina*)等湿生木本植物净化水质的研究^[1-4]。

垂柳(*Salix babylonica* L.)为杨柳科柳属落叶乔木, 特耐水湿, 是集观赏价值、生态价值和经济价值于一体的多功能树种, 分布在长江流域及其以南各省区海拔 1 300 m 以下平原地区, 亚洲、欧洲及美洲许多国家都有悠久的栽培历史。国外研究表明, 柳树能生物修复轻中度重金属污染土壤^[5], 瑞典报道了在 76 hm² 柳树林地中, 每年在夏季 120 d 内处理 200 000 m³ 生活污水中的 TN 和 TP 分别是 30 t 和 1 t^[6], 丹麦农村地区运行了一种由柳树构建的人工湿地系统, 用于污水的处理^[7-8]。国内对柳树的研究集中在对垂柳的嫁接育苗技术、茎段组培试验及抗性研究^[9-13], 而对其去除富营养化污水中的氮、磷效果的研究目前还是空白。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试垂柳为当年生扦插苗, 购自南京紫金山苗圃。

第一作者简介: 童丽丽(1970-), 女, 南京人, 博士, 副教授, 研究方向为园林植物应用。E-mail: jittonglili@yahoo.com.cn。

基金项目: 金陵科技学院博士科研启动基金资助项目(JIT-B-2009002)。

收稿日期: 2010-08-23

移植前用去离子水对垂柳进行清洗(不损伤根系), 选择株型大小基本一致, 生物量相当的垂柳幼苗于 2009 年 6 月 30 日植入有珍珠岩基质的塑料盆(高 15 cm, 直径 18 cm, 盆底有透水孔)花盆中, 每盆 2 株, 放入南京林业大学树木园的半封闭塑料大棚内, 并隔日浇自来水共 2 个月, 进行调整性培养。

1.2 试验方法

1.2.1 人工模拟富营养化污水配置 根据国家地表水质量标准以及南京市排水监测站提供的南京市生活污水 TN、TP 浓度多年监测结果, 参考改良 Hogland 和 Snyder 的营养液配方^[14], 采用 Ca(NO₃)₂、KNO₃、KH₂PO₄ 和 MgSO₄ 按比例配置 1~4 组不同浓度(轻度、中轻度、中度、重度)的富营养化模拟污水, 各组 TN 浓度分别为 2.0、30.0、40.0 和 80.0 mg/L, TP 浓度分别为 0.4、8.0、15.0 和 25.0 mg/L。

1.2.2 试验设计 在圆柱形塑料桶(高 35 cm, 直径 25 cm)中灌入 1~4 组不同浓度的 4 L 模拟污水, 将栽有垂柳的花盆置于桶中的塑料支架上, 控制花盆 1/2 浸入污水中。5 次重复。另设置空白盆为对照组。为防止蒸发, 用塑料薄膜盖在塑料桶上, 中间留出植物生长的空隙。试验地点为上述大棚内, 时间为 2009 年 9 月 5 日至 11 月 28 日。共进行 6 个周期试验, 每周期 14 d, 每 14 d 更换污水, 每第 1、7、14 天采集水样并进行指标分析, 每次取样时间为上午 8:30~9:00, 水样采集按照中国环境监测标准进行^[14]。每 14 d 对植物生长状况进行观测。

1.2.3 主要指标测定 污水测试指标包括 TN、TP, 其中 TN 采用过硫酸钾消解和紫外分光光度法测定, TP 采用过硫酸钾消解和钼锑抗分光光度法测定^[15]。观测

植物的高度、地径、叶片数、生长状况等级(设定等级 1~5, 分别代表生长水平差、较差、一般、较好、好)。用 SPSS 对试验数据进行分析绘图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度富营养化水体对垂柳形态的影响

试验运行期间, 垂柳幼苗对不同浓度的富营养化污水适应性较强, 株高、叶片数都有了不同程度增长, 但基径随着氮磷浓度的增加, 呈负增长趋势, 但总体生长状况较好, 未出现明显的不适应症状。

由图 1 可看出, 垂柳的株高、叶片数和生长状况平均增长率分别为 59.10%、25.31%和 42.82%。其中, 株高组 2、3 和 4 增幅达 60%以上; 叶片数组 2、3 增幅达 70%以上; 生长状况由最初的一般转为好, 组 2、3 增幅达 80%以上; 而对照组(自来水)各指标的增长率均不高, 可见垂柳对一定浓度的污水较为适应, 生长较为迅速, 中度或中高度浓度的氮、磷(如组 2、3)对垂柳的生长起到促进作用。

垂柳对照组(自来水)叶片数呈-44.2%的负增长, 说明植物生长所必须养分的缺乏导致了叶片早落现象。组 4、对照组的生长状况水平增长率为 9.40%和 14.30%, 远低于组 2、3, 说明氮、磷元素浓度过高或缺少均不利于垂柳幼苗的正常生长。组 3、4 和对照组的基径均出现-20%左右的负增长, 主要与扦插枝条的生长发育营养运输机制有关, 但扦插主干基径部分的减少并不影响地上总生物量的增加。

经过不同处理的垂柳叶片数随时间推移, 叶片数大

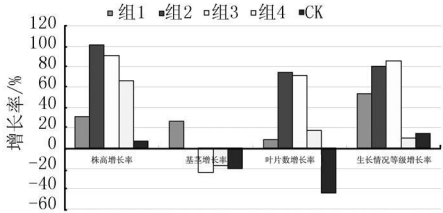


图 1 不同污水处理后垂柳幼苗形态指标值的变化(CK 为自来水)

体呈先增后减趋势, 其中组 2、3 和 4 叶片数量较多, 生长较为茂盛, 但氮磷浓度过低或过高均会促使植物叶片的凋落日期提前, 这种趋势垂柳比枫杨更明显些。

2.2 垂柳幼苗对富营养水体中总氮的去除效果

试验结果表明, 垂柳幼苗在整个试验过程中, 对不同浓度的富营养化污水中的 TN 的平均去除率为 15.61%。这是由于植物通过促进根际微生物吸收、根系滞留、根际周围硝化反硝化等作用, 提高了模拟人工湿地的去氮效果^[16]。垂柳幼苗对 4 组不同浓度的富营养化污水中的 TN 吸收均随时间及气温的下降呈下降趋势。这与试验期间季节由夏、秋季逐渐转变到秋冬季、气温逐渐降低而使植物及污水中的微生物的生理活性降低密切相关。

由图 2 可看出, 垂柳幼苗在不同浓度污水中去氮率顺序为组 1>组 2>组 3>组 4, 说明垂柳幼苗在轻度污水中对 TN 的去除率最高, 平均去除率为 34.64%, 在第 1 个周期末达到峰值, 为 52.59%, 随后呈下降趋势, 第 6 个周期末降到最低, 只有 6.20%。随着污水中 TN 浓度的增高, 垂柳的去除率均明显下降, 在中轻度、中度、重度处理的污水中, 垂柳的 TN 去除率相对较低, 平均值分别只有 14.02%、8.90%和 4.89%, 组 2 与 4 均在第 1 个周期末时达到峰值, 分别为 20.85%和 8.89%, 随后呈下降趋势, 在第 6 个周期末降到最低, 仅为 3.51%和 2.25%; 组 3 在第 2 个周期末时达到峰值, 为 14.97%, 随后呈下降趋势, 在第 6 个周期末降到最低, 仅为 4.50%。

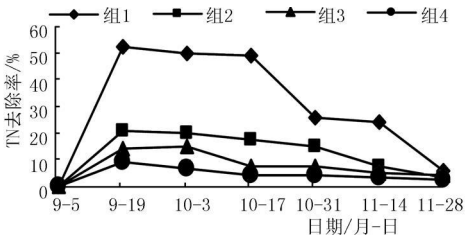


图 2 各组垂柳幼苗总氮去除率

同浓度的富营养化污水中的 TP 去除能力平均为 26.91%, 约为其去除 TN 的平均去除率的 1.72 倍。

由图 3 可看出, 垂柳幼苗在不同浓度的污水中去磷率为组 1>组 2>组 3>组 4, 说明垂柳幼苗在轻度污水中对 TP 的去除率最高, 平均去除率为 43.55%, 在第 2 个周期末达到峰值, 为 66.26%, 随后呈下降趋势, 第 6 个周期降到最低, 只有 23.17%。在组 2、3、4 中, TP 去除率均在第 1 个周期末达到峰值, 随后随时间呈下降趋势, 这可能是试验后期基质对可溶性磷的吸附作用趋于

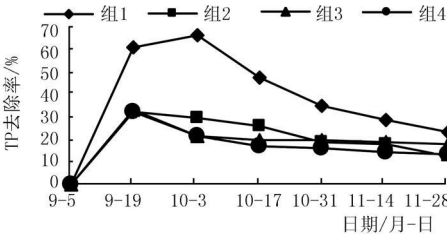


图 3 各组垂柳幼苗总磷去除率

2.3 垂柳幼苗对富营养水体中总磷的去除效果

试验结果表明, 垂柳幼苗有较好的去磷效果, 4 组不

饱和所致。在组 4 中对 TP 的去除率最低, 平均去除率为 19.21%, 比组 1 的一半还少, 说明高浓度的总磷含量不利于植物的吸收。

3 结论与讨论

试验结果表明, 垂柳幼苗对不同浓度的富营养化污水中的 TN、TP 均具有较好的去除效果, TN、TP 的去除率一般在第 1 个或第 2 个周期末达到峰值, 随后随着温度的下降总体呈下降趋势, 平均去除率为 15.61% 和 26.91%。

垂柳幼苗对不同浓度的富营养化污水适应性较强, 含有一定浓度的 TN、TP 的富营养化的污水对垂柳的生长起到了促进作用, 在中轻度、中度污水中生长状况良好。垂柳幼苗株高、叶片数、生长情况等级在各组污水中的平均生长率为 72.13%、42.68% 和 57.10%, 比对照组分别高 65.33%、86.88% 和 42.80%, 基径的平均生长率为 -3.7%, 比对照组高 16.30%, 说明缺乏植物生长所必须的养分及大量元素会导致植物生长不良。

由于试验条件所限, 该研究的模拟人工湿地为定期人工灌水, 湿地系统处于相对静止状态, 与实际运行的潜流型人工湿地有一定差别。由于垂柳在不同生长阶段的净化作用可能会有较大的差别, 该研究只说明了垂柳 1 a 生扦插苗秋季阶段的净化效果, 其长期的净化效果有待进一步研究。

参考文献

- [1] 胡焕斌, 周化民, 王桂珍 等. 人工湿地处理矿山炸药污水[J]. 环境科学与技术, 1997(3): 17-19.
- [2] 靖元孝, 杨丹菁, 陈章和 等. 两栖榕在人工湿地的生长特性及其对

污水的净化效果[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 614-619.

- [3] 杨丹菁, 靖元孝, 陈兆平 等. 水翁对富营养化水体氮磷去除效果及规律研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 637-639.
- [4] 陈桂珠, 陈桂葵, 谭凤仪 等. 白骨壤模拟湿地系统对污水的净化效应[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(4): 24-26.
- [5] Greger M, Landberg T. Use of willow in phytoremediation[J]. International Journal of Phytoremediation, 1999, 1(2): 115-123.
- [6] Dimitriou I, Aronsson P. Wastewater phytoremediation treatment systems in Sweden using short rotation willow coppice; short Rotation Crops for Bioenergy [M]. New Zealand 2003.
- [7] Brix H, Gregersen P. Water balance of willow dominated constructed wetlands[J]. Proc Int Conf Wetland Syst Water Pollut Control, 2002(8): 669-670.
- [8] Gregersen P, Brix H. Zero-discharge of nutrients and water in a willow dominated constructed wetland[J]. Water Sci Technol, 2001, 44: 407-412.
- [9] 郭建和, 李雁, 王春雷 等. 垂柳雄株嫁接育苗技术[J]. 林业实用技术, 2005(1): 28.
- [10] 朱美秋, 李燕玲, 杜克久. 垂柳组织培养初步研究[J]. 河北林果研究, 2006, 21(3): 269-271.
- [11] 王彦芝, 郭伟珍, 禹兰景. 城市污泥对金丝垂柳生长和土壤理化性状的影响[J]. 林业科技, 2008, 33(5): 10-12.
- [12] 徐爱春, 陈益泰, 王树凤 等. 锡胁迫下柳树 5 个无性系生理特性的变化[J]. 生态环境, 2007, 16(2): 410-415.
- [13] 于晓章, 周朴华, 唐雅雯 等. 柳树对亚铁氰化物的吸收、代谢及其毒性研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2006, 14(1): 1-6.
- [14] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 280-285.
- [15] 杨立红, 卓丽环. 水生植物对富营养化水体净化能力的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(6): 663-666.
- [16] Vymazal J. Uptake of nutrients in various types of constructed wetlands[J]. Science of the Total Environment, 2007, 380(123): 48-65.

Research on *Salix babylonica* Removal Effect on Nitrogen and Phosphorus in Eutrophic Water in Autumn

TONG Li-li¹, ZHANG Juan², RUAN Hong-hua²

(1. College of Horticulture, Jinling Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu 210038; 2. College of Environment and Forest Resources, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037)

Abstract: The one-year seedlings of *Salix babylonica* were put in 4 groups of simulated eutrophic water with various concentration of total nitrogen as 2.0, 30.0, 40.0 and 80.0 mg/L and total phosphorus as 0.4, 8.0, 15.0, 25.0 mg/L during 84-day experiment in autumn, and their morphology changes as well as their removal effect on total nitrogen and total phosphorus in eutrophic water were studied. The results showed that *Salix babylonica* had rather strong adaptability to the eutrophic water, and they grew as usual or even better with their height, leaves growing respectively, while the stem diameters grew thinner. They had rather good total nitrogen and total phosphorus removal capacities and the average uptake rate were 15.61% and 26.91% respectively, showing that *Salix babylonica* was a very good wetland species to be applied in the eutrophic water.

Key words: seedlings of *Salix babylonica*; eutrophic water; morphology changes; removal rate of TN and TP