

灌木柳对污水氮元素净化的时效及量效

石磊, 王陈路*, 乔出, 黄成, 刘茂松* * (南京大学生命科学学院, 江苏南京 210093)

摘要 [目的]模拟静态人工湿地环境, 移栽灌木柳, 研究其对污水中氮元素的净化效率。[方法]在时效试验中设立半年栽组(HY组)、半月栽组(HM组)和无柳对照组(C组), 在量效试验中设置3棵/箱组、6棵/箱组、9棵/箱组和无柳对照组, 来检测污水浸入后氨氮、硝氮的变化趋势。[结果]时效试验中HY组效果最好, 灌木柳扦插期越长, 对氨氮的净化率越高。量效试验中6棵组和9棵组的净化率均达95%净化目标。[结论]最佳量效和最短时效分别为17棵/m²(6棵/箱)和1d。

关键词 灌木柳; 扦插期; 氨氮; 硝氮; 净化效率

中图分类号 S792.12 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)34-13364-02

Effect of *Salix saposhnikovii* on the Nutrition Removal from Polluted Water

SHI Lei et al (School of Life Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093)

Abstract [Objective] To simulate static artificial wetland environment, transplant shrub willow, the purification efficiency on nitrogen in sewage was studied. [Method] In aging test, setting half year group(HY group), half month group(HM group) and blank control group(C group), in dose response test, setting 3 trees/box, 6 trees/box, 9 trees/box and blank control group, the variation trend of NO₄-N and NO₃-N was determined. [Result] In aging test, HY group has the best effect, the longer of shrub willow cottage period the NO₄-N removal rate is higher. In dose response test, the purification rate of 6 trees/box, 9 trees/box can up to 95%. [Conclusion] The best planting density was 17 trees/m² (6 tree/box) and the shortest purification time was one day.

Key words *Salix saposhnikovii*; Cuttings period; NO₄-N; NO₃-N; Purification efficiency

氮元素是引起水环境富营养化的主要元素之一, 氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮在水中能相互转化, 氨氮和硝氮是水污染检测中的2种重要指标^[1-2]。植被生态修复是湖泊及河流污染修复的重要途径之一, 水生植物有独特的生理形态特征, 其根系能够通过吸收、吸附等方式净化水质, 并且有利于维持湿地环境的生态平衡^[3-4]。国内外存在利用水生植物净化污水氮元素的大量研究, 其中针对挺水植物和沉水植物等的研究较多^[5-9], 而对根系生长在水中的木本植物净化的研究也正日益受到重视^[10-11]。此外, 石磊等^[12]的研究表明灌木根系的庇护作用和营养平衡作用能显著提高克氏原螯虾幼虾的存活率。国外曾报导过柳树对生活污水和农田灌溉用水的净化作用, 瑞典已连续多年开展利用柳树作为植被滤器的研究^[13-14]。

灌木柳泛指杨柳科(Salicaceae)柳属(*Salix* L.)的灌木, 其种类繁多, 适应性强, 分布广泛^[15]。灌木柳生长周期较长, 与其他水生植物相比更易于管理。由此, 笔者利用模拟静态人工湿地的方法, 研究灌木柳对污水中氮元素时效和量效两方面的净化功能, 旨在为灌木柳在污水净化方面的深入研究奠定基础。

1 材料与与方法

1.1 材料

1.1.1 植物材料。取2010年冬季栽培的灌木柳及江苏省林业科学院现有灌木柳品种重新栽培, 修剪灌木柳的枝叶, 设定株高为100cm, 中段直径为1.2cm, 抽样检测干重为

52.6g/株。半年栽培灌木柳组的灌木柳培育时间为6个月, 半月栽培灌木柳组的培育时间为15d。

1.1.2 主要仪器。HACH DR2800水质分析仪和配套的消解仪。

1.2 方法

1.2.1 时效试验。2011年7月底, 在林科院温室内安置规格为(70cm×50cm×50cm)的培养箱9个, 在2个扦插期的时效试验中设立半年栽组(half year group, 即HY组)、半月栽组(half month group, 即HM组)的实验组和对照组(control group, 即C组), 每组3个重复。在每个水箱底部依次铺入碎砂5cm, 泥土15cm, 加水至泥土上沿, 静置, 然后将2个实验组中的灌木柳均匀栽培在培养箱中, 每个培养箱6棵。配制V类水注入培养箱, 每箱50L(约15cm高)。然后于第1、2、3、4、6天取水样, 测定水样中氨氮、硝氮等水质指标。

1.2.2 量效试验。2011年9月, 在林科院温室内安置与时效试验相同规格的培养箱12个, 分别为3棵/箱组、6棵/箱组、9棵/箱组和对照组, 所用灌木柳皆为半年栽培柳树, 每组3个重复。操作方法与时效试验一致, 测定氨氮、硝氮等水质指标。

1.2.3 V类水的配制。依据国家GB 3838-2002地表水环境质量标准配制V类水, 配方为:KNO₃:4.92mg/L(其中氮含量为0.68mg/L);NH₄Cl:7.64mg/L(其中氮含量为2mg/L);KH₂PO₄:1.76mg/L(其中磷含量为0.4mg/L)。

1.2.4 净化率的计算。净化率=(初始浓度-实际浓度)/初始浓度。

1.2.5 数据分析。以SPSS18.0对试验结果进行统计分析, 采用独立样本T检验分析灌木柳对氨氮等的净化率的差异性。

2 结果与分析

2.1 时效试验 由表1和2可知, 对氨氮的净化方面:净化1和6d后, 半年栽组和对照组均有显著性差异($P < 0.05$), 净化2d, 半年栽组与半月栽组有显著性差异($P < 0.05$);对

基金项目 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07210-003-004)子课题;国家自然科学基金委项目(NSFCJ1103512)。

作者简介 石磊(1987-), 女, 回族, 山东泰安人, 硕士, 研究方向:水生生物学。*并列第一作者:王陈路(1991-), 女, 江苏南京人, 硕士, 研究方向:动物学。**通讯作者, 副教授, 从事生态学方面的研究。

收稿日期 2013-11-01

硝氮的净化方面:5 d 之内,半年栽组、半月栽组、对照组的净化效果之间均无显著性差异。

表 1 不同试验处理组不同时间氨氮质量浓度

试验处理组	不同时间氨氮浓度//mg/L					
	2011.7.29	2011.7.30	2011.7.31	2011.8.1	2011.8.2	2011.8.4
半年栽组	2	0.18 ± 0.05	0.11 ± 0.04	0.09 ± 0.05	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.01
半月栽组	2	0.66 ± 0.24	0.31 ± 0.03	0.22 ± 0.11	0.23 ± 0.12	0.22 ± 0.11
对照组	2	0.81 ± 0.15	0.34 ± 0.15	0.25 ± 0.10	0.25 ± 0.11	0.27 ± 0.07

表 2 不同试验处理组不同时间硝氮质量浓度

试验处理组	不同时间硝氮浓度//mg/L					
	2011.7.29	2011.7.30	2011.7.31	2011.8.1	2011.8.2	2011.8.4
半年栽组	0.68	0.37 ± 0.25	0.27 ± 0.06	0.27 ± 0.15	0.17 ± 0.12	0.13 ± 0.06
半月栽组	0.68	0.50 ± 0.10	0.13 ± 0.15	0.13 ± 0.23	0.17 ± 0.21	0.10 ± 0.17
对照组	0.68	0.50 ± 0.17	0.47 ± 0.41	0.23 ± 0.40	0.20 ± 0.26	0.13 ± 0.23

2.2 量效试验 从表 3 可看出,对氨氮净化方面:3 d 之内,各实验组氨氮浓度与对照组均有显著性差异($P < 0.05$),实验组之间则无显著性差异。由此可见,栽种灌木柳对氨氮有显著的净化效果,从净化 1 d 的数值上来看,6 棵组和 9 棵组净化氨氮的效果分别大于 3 棵组的 4 倍和 7 倍。从表 4 可看出,对硝氮净化方面:第 1 天,3 棵组和 6 棵组之间有显著性差异。其他各组之间在 2 d 之内对硝氮的净化效果均无显著性差异。

表 3 不同试验处理组不同时间硝氮质量浓度

试验处理组	不同时间氨氮质量浓度//mg/L			
	2011.9.23	2011.9.24	2011.9.25	2011.9.26
3 棵组	2	0.46 ± 0.40	0.18 ± 0.23	0.15 ± 0.05
6 棵组	2	0.09 ± 0.03	0.09 ± 0.07	0.12 ± 0.01
9 棵组	2	0.06 ± 0.03	0.10 ± 0.04	0.11 ± 0.04
对照	2	1.21 ± 0.11	0.85 ± 0.13	0.55 ± 0.11

表 4 不同试验处理组不同时间硝氮质量浓度

试验处理组	不同时间硝氮质量浓度//mg/L			
	2011.9.23	2011.9.24	2011.9.25	2011.9.26
3 棵组	0.68	0.47 ± 0.21	0.33 ± 0.06	/
6 棵组	0.68	0.33 ± 0.06	0.33 ± 0.15	/
9 棵组	0.68	0.17 ± 0.29	0.20 ± 0.17	/
对照	0.68	0.53 ± 0.15	0.53 ± 0.15	/

3 讨论

3.1 关于检测指标和方法的选择 栽植半月的灌木柳根系的发育程度不及栽植半年的,但也可达到净化水质的目的。有研究发现嵩柳能有效降低污水中的总氮含量,总氮包括氨氮、硝氮、亚硝氮等成分^[10],而氨氮对水中的水生动物有危害^[12-17]。鉴于氨氮、硝氮等成分在水中可相互转化,所以,笔者在试验中研究了灌木柳对氨氮和硝氮的净化作用。林惠风等^[11]通过测定柳树根茎叶中总氮含量的方法来推算柳树对总氮的净化作用,但无法得知短时间内的净化效果。笔者在试验中采取每天测定水环境中氮元素含量的方法,获得短时间内灌木柳对氮元素的去除率,以作为分析时效基础。

3.2 时效分析 植物对污水净化的时间效果尚无专题性的文献报道,黄子贤等^[7]利用 4 种沉水植物进行氮磷的去除研究,试验时间是 30 d。任文君等^[17]在利用 4 种沉水植物对富营养化水体的氨氮净化试验中发现菹齿眼子菜第 9 天对氨

氮的去除率接近 100%,而其他 3 种则在 50%,21 d 后 4 种沉水植物的氨氮去除率均小于 80%。但目前城市污水多采用集中处理的方法,如何迅速净化大量污水是人们关注的焦点。为得到净化的最佳时效(即尽可能短的时间),该试验每天检测 1 次,直至时效不明显。

从对氨氮的净化方面来分析:净化 1 d 后,半年栽组就能达 90% 的净化效果,且与对照组的氨氮有显著性差异。净化 2 d 后,半年栽组对氨氮的净化效率为 95% 且显著大于半月栽组。在净化 3 d 后 3 组数据逐渐趋于平缓,彼此之间已没有差异。结果表明时间过长效果并不好,也不符合迅速净化的要求。

从对硝氮的净化方面来分析:1 d 后半年栽组对硝氮的净化效率(45.6%)为半月栽组和对照组净化率(均为 26.5%)的 1.7 倍;2 d 后半年栽组(60.3%)和半月栽组(80.9%)的净化率均约为对照组的 2.0~2.7 倍,净化 6 d 后各组硝氮的去除率几乎相同。而在硝氮绝对值统计检验中,净化 1~6 d 期间,各组之间均无显著性差异($P > 0.05$),可能是由于重复太少,误差太大。虽然从数值上看,半月栽组在 2 天后对硝氮的净化效果最好,但为达到最短时效的目的,可选择用半年栽组对硝氮净化 1 d 时间。

3.3 量效分析 从对氨氮的净化方面来分析:3 个实验组第 1 天净化的效率最高,之后基本不变。3 d 时间里,3 个实验组的氨氮浓度与对照组均有显著性差异($P < 0.05$),但是 3 棵组、6 棵组、9 棵组之间无显著性差异,这说明各组灌木柳均对氨氮有净化效果,从数值上看,净化 1 d 后,6 棵组和 9 棵组高于 3 棵组,说明灌木柳的数量对净化氨氮的效果有影响,但为达到资源利用节约化,最佳的栽培密度应为 17 棵/m²(6 棵/箱)。

从对硝氮的净化方面来分析:净化 1 d 后 3 棵组和 6 棵组之间在统计检验中有显著性差异($P < 0.05$)。从数值上看,对照组、3 棵组、6 棵组、9 棵组的净化效果依次升高,但 6 棵、9 棵组的净化效果相差不明显,表明本次试验模拟的人工湿地系统中柳树为 6 棵时,数量已达到饱和,再增加密度并不能提高其净化效果。

柳树净化水体,其效果与其初始生物量有关,崔丽娟

(下转第 13389 页)

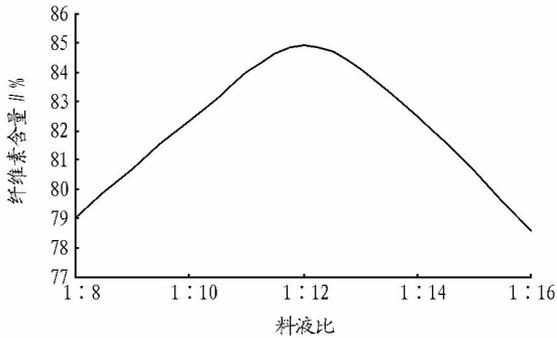


图4 料液比对玉米秸秆纤维素含量的影响

0.7 MPa, 恒温时间为 60 min, 料液比为 1:12。在此最佳工艺条件下, 提取的玉米秸秆纤维素的含量可达 84.94%。

表2 $L_9(3^4)$ 正交试验结果

序号	因素				纤维素含量/%
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	77.80
2	1	2	2	2	84.76
3	1	3	3	3	72.29
4	2	1	2	3	81.75
5	2	2	3	1	74.12
6	2	3	1	2	82.85
7	3	1	3	2	76.30
8	3	2	1	3	77.84
9	3	3	2	1	76.26
K_1	78.28	78.62	79.50	76.06	
K_2	79.57	78.91	80.92	81.30	
K_3	76.80	77.13	74.24	77.29	
R	2.77	1.78	6.69	5.24	

(上接第 13365 页)

等^[10]研究蒿柳对重度富营养化水体中氮磷的去除效果时已考虑到该因素, 采用初始生物量为株长 30 cm, 密度 4 棵/ m^2 的蒿柳, 但该试验未设置不同的生物量梯度, 而笔者在试验中设计了 3 个不同的生物量梯度, 探索了灌木柳的最佳栽培密度。

由时效和量效试验的结论可知, 灌木柳对治理氮元素污染方面有很好的效果。灌木柳扦插期越长, 对氨氮的净化率越高, 时效越短。用扦插期为半年的灌木柳净化污水, 灌木柳的最佳栽培密度为 17 棵/ m^2 (6 棵/箱), 最短净化时效为 1 d。同时, 可有效的利用氮元素的营养, 实现灌木柳的经济生产价值。

参考文献

[1] 谢建华, 刘海静, 王爱武. 浅析氨氮、总氮、三氮转化及氨氮在水污染评价及控制中的作用[J]. 内蒙古水利, 2011(5): 34-36.
 [2] 许海, 刘兆普, 焦佳国, 等. 太湖上游不同类型过境水氮素污染状况[J]. 生态学杂志, 2008, 27(1): 43-49.
 [3] 杨晏, 吴小刚, 张维昊, 等. 富营养化水体生态修复中水生植物的应用研究[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(7): 98-102.
 [4] 种云霄, 胡洪营, 钱易. 大型水生植物在水污染治理中的应用研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(2): 36-40.
 [5] JANJIT IAMCHATURAPATR, SU WON YI, JAE SEONG RHEE. Nutrient removals by 21 aquatic plants for vertical free surface - flow (VFS) con-

2.3 验证试验 按上述工艺进行 3 次平行试验, 测得纤维素含量分别为 83.52%、85.32%、84.74%。表明纤维素含量无显著性差异, 玉米秸秆纤维素的提取工艺重现性好。

3 结论

该研究应用单因素考察和正交试验, 得到高压蒸煮法提取玉米秸秆纤维素的最佳工艺条件: NaOH 溶液的质量分数为 12%, 压力为 0.7 MPa, 恒温时间为 60 min, 料液比为 1:12, 此工艺组合下提取的秸秆纤维素含量达 84.94%, 具有巨大的社会经济效应。该研究为提高秸秆纤维素的利用率提供了试验基础, 为后期研究玉米秸秆纤维复合材料提供了参考依据。

参考文献

[1] 陈洪章. 生物质科学与工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
 [2] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211-217.
 [3] 李丹丹, 周杰, 刘文红. 响应面优化玉米秸秆纤维素提取工艺[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(30): 18781-18783.
 [4] 万顺. 天然植物秸秆制取两性纤维素的研究[D]. 太原: 华北工学院, 2003.
 [5] 刘淑新. 利用稻草、玉米皮生产羧甲基纤维素纳新工艺[J]. 中国农村小康科技, 2002(3): 36.
 [6] 程士润, 黄晨, 张璐. 碱煮法提取稻秸秆纤维的工艺及性能探讨[J]. 产业用纺织品, 2010(7): 16-19.
 [7] 李春光, 董令叶, 吉洋洋, 等. 花生壳纤维素提取及半纤维素与木质素脱除工艺探讨[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 350-354.
 [8] 王立华, 王永利, 赵晓胜, 等. 秸秆纤维素提取方法比较研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(20): 130-134.
 [9] 鹿保鑫, 曹龙奎, 乌春华. 微波法提取稻草纤维素的工艺研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2008, 20(5): 73-77.

structed wetland[J]. Ecological Engineering, 2007, 29(3): 287-293.
 [6] 王丹, 张银龙, 庞博. 金鱼藻对不同程度污染水体的水质净化效果[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 83-86.
 [7] 黄子贤, 张饮江, 马海峰, 等. 4 种沉水植物对富营养化水体氮磷的去除能力[J]. 生态科学, 2011, 30(2): 102-106.
 [8] 余红兵, 肖润林, 杨知建, 等. 五种水生植物生物量及其对生态沟渠氮、磷吸收效果的研究[J]. 核农学报, 2012, 26(5): 798-802.
 [9] 刘伟龙, 胡维平, 翟水晶, 等. 水深对马来眼子菜生长及氮磷去除效果的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(4): 11-16.
 [10] 崔丽娟, 李伟, 张曼胤, 等. 不同湿地植物及其组合对污染物的净化效果比较[J]. 生态科学, 2011, 30(3): 327-333.
 [11] 林惠凤, 黄婧, 朱联东, 等. 浮床栽培柳树在富营养化水体中的生长特性及水质净化效果研究[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2009, 31(2): 210-212.
 [12] 石磊, 高倩, 王磊, 等. 水培灌木柳在克氏原螯虾育苗中的作用[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(8): 4605-4606, 4731.
 [13] IOANNIS DIMITRIOU, PÄR ARONSSON. Wastewater phytoremediation treatment systems in Sweden using short rotation willow coppice[M]. New Zealand: Short Rotation Crops for Bioenergy, 2003: 225-228.
 [14] SUNE ELOWSON. Willow as a vegetation filter for cleaning of polluted drainage water from agricultural land[J]. Biomass and Bioenergy, 1999, 16(4): 281-290.
 [15] 关庆义. 灌木柳丰产栽培技术的研究[J]. 辽宁林业科技, 1986(3): 22-26, 60.
 [16] 王甜, 杜劲松, 高攀, 等. 氨氮对白斑狗鱼幼鱼的急性毒性研究[J]. 水产学杂志, 2010, 23(3): 37-39.
 [17] 任文君, 田在峰, 宁国辉, 等. 4 种沉水植物对白洋淀富营养化水体净化效果的研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(2): 345-352.