

几种植物对城市尾水中重金属的去除效果研究

常会庆¹, 徐晓峰¹, 王世华¹, 房郁青²

(1. 河南科技大学, 河南 洛阳 471003; 2. 东南大学 学习科学研究中心, 江苏 南京 210096)

摘要: 为了筛选适合吸收城市尾水中重金属的植物品种, 研究了酸模 (*Rumex acetosa* L.)、莎草 (*Cyperus glomeratus* L.) 和空心菜 (*Ipomoea aquatica* Forsk) 3 种植物对城市尾水中重金属 Zn、Cu、Pb 和 Cd 的去除效果, 并以酸模为材料, 研究其对人工模拟重金属 Cd 和 Pb 污染水体的适应性。结果表明: 酸模、莎草、空心菜 3 种植物对城市尾水中 Zn、Cu、Cd、Pb 的去除率分别为 74.33%、60.43%、45.45%、36.43%, 其中酸模对重金属的去除效果最好, 其次是莎草和空心菜。酸模对尾水中 Zn、Cu、Cd、Pb 的去除率分别达到了 86.63%、90.37%、76.81%、66.67%。Cd 和 Pb 含量分别在 0.5~2.0 mg/L 和 0.2~0.4 mg/L 时酸模有较好的耐性。因此, 酸模更适合于城市尾水中重金属的吸收修复, 且对一定质量浓度 Cd 和 Pb 表现出较好的去除效果。

关键词: 城市尾水; 重金属污染; 植物修复; 去除率

中图分类号: X173 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-3268(2012)10-0089-05

The Removal Effect of Heavy Metal from City Tail Water by Several Plants

CHANG Hui-qing¹, XU Xiao-feng¹, WANG Shi-hua¹, FANG Yu-qing²

(1. Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2. Research Center of Learning Science, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: In order to select suitable plant varieties for absorption of heavy metal from city tail water, the study focused on heavy metals of Zn, Cu, Pb and Cd removal efficiency from city tail water by sorrel (*Rumex acetosa* L.), herb of glomerate galingale (*Cyperus glomeratus* L.) and swamp morningglory (*Ipomoea aquatica* Forsk). The removal efficiency of Cd and Pb was also studied by sorrel from artificial wastewater. The results showed that the removal efficiency of Zn, Cu, Cd, Pb were 74.33%, 60.43%, 45.45% and 36.43%, respectively, by three plants in this experiment. Among the three plants, sorrel had the best removal effect on these heavy metals, followed by herb of glomerate galingale and swamp morningglory. The removal efficiency of Zn, Cu, Cd, Pb by sorrel were 86.63%, 90.37%, 76.81% and 66.67% respectively; when the contents of Cd and Pb were in the range of 0.5—2.0 mg/L and 0.2—0.4 mg/L, respectively, the removal efficiency of Cd, Pb were about 67% and 55% respectively by sorrel. However, high concentration of these heavy metals was toxic to sorrel, resulting in the biomass decrease. As a result, sorrel was more suitable for removing heavy metals from city tail water and had a great tolerance at the low concentration of Cd and Pb.

Key words: city tail water; heavy metal pollution; phytoremediation; removal efficiency

经过污水厂处理后排出的城市尾水除含有较多的营养盐离子外, 还含有一定量的重金属。尾水中

所含重金属会导致河道污泥中重金属积累, 并且最终对河流生态系统造成危害。因此, 有必要采用相

收稿日期: 2012-04-12

基金项目: 河南科技大学博士生基金项目 (2006-09001158)

作者简介: 常会庆 (1974—), 男, 山西太谷人, 博士, 主要从事污染水体修复研究。E-mail: hqchang@126.com

应的深度处理技术去除其中重金属,目前常用的方法主要是膜技术的深度处理^[1-4],但是膜技术处理成本相对较高,而且维护比较困难。采用植物吸收污水水体中的重金属效果较好,目前主要是应用湿地植物来除去污水中重金属^[5-7],而针对城市尾水中重金属的植物深度处理研究较少,尤其是利用莎草、酸模和空心菜作为供试材料研究其对城市尾水中重金属的去除效果还未见报道。因此,以城市尾水和模拟污水为研究对象,利用莎草、酸模、空心菜对城市尾水和模拟污水中重金属去除效果进行研究,旨在为筛选适用于城市尾水中重金属修复处理的植物材料提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试尾水:供试尾水取自洛阳市某污水处理厂二级沉淀池。该污水处理厂采用 A²/O 处理工艺。该污水厂尾水中 Zn、Cu、Cd、Pb 4 种重金属含量分别为 0.187、0.019、0.022、0.013 mg/L。

供试植物:选取当地植物品种莎草、酸模和空心菜 3 种供试植物,其中酸模、莎草 2 种湿地植物采自当地河道中,先用自来水洗净,然后再用去离子水冲洗干净后培养。空心菜购于菜市场,培养数周待根系长约 10 cm 后备用。

1.2 处理设置

选取生长一致的酸模、莎草和空心菜 3 种植物,用去离子水冲洗干净,待水分蒸发完全,每种植物称取 124 g 为 1 份,栽植在装有 12 L 上述尾水的培养桶中,用泡沫板使其浮在水面上。每种植物设置 3 个重复,对照为不加植物的城市尾水,使用蒸馏水作为空白。

研究酸模对不同含量 Cd、Pb 重金属的去除效果时,分别在城市尾水基础上添加 Pb 0.2、0.4、

0.8、2.0 mg/L,编号依次为 1、2、3、4,添加 Cd 0.5、2.0、5.0、10.0 mg/L,编号依次为 5、6、7、8,模拟重金属污水,然后对酸模进行适应性培养,研究其对 2 种重金属的去除效果。称取酸模 124 g 为 1 份栽植在 12 L 尾水培养桶中。对照为只栽酸模的城市尾水,每个处理重复 2 次。试验污水 pH 值为 7.39,试验期间空气和水的温度保持在 25~27 ℃。

1.3 重金属含量的测定

每 5 d 测定 1 次尾水样中重金属含量,植物样重金属含量在用水样培养前和培养 20 d 收获后分别测定 1 次。尾水样重金属含量测定采用硝酸法,具体为:取处理水样 50 mL 加 1 mL 优级纯硝酸处理,在可调电热板上加热,直至三角瓶中水蒸发干,然后加去离子水冲洗三角瓶,定容到 50 mL 容量瓶中待测。植物样重金属含量测定则采用硝酸-高氯酸消煮法,把处理过的植物用蒸馏水洗净(由于空心菜根系质量与地上部质量比相对较少,因此采用全植株进行测定),放到 65 ℃ 烘箱中烘干,取大约 1 g 左右样品,放到消煮管中,加 5 mL 优级纯硝酸处理,用弯径漏斗盖住,24 h 后补加 1 mL 高氯酸,在消煮炉中消煮。消煮完全后,定容到 50 mL 的容量瓶中待测。所有待测样品中重金属含量都使用原子吸收分光光度法(仪器型号 AA240)进行测定。

2 结果与分析

2.1 水体及植物体中重金属含量

由表 1 可知,供试尾水中的 Zn、Cu 含量最高,Pb 含量最低。酸模和莎草根系中重金属含量分别高于叶片中的含量,说明 2 种植物的根系对重金属有较强的富集作用。空心菜体内除铜外,其他 3 种重金属含量都低于供试尾水,这主要是与不同植物所处的生长环境有关。

表 1 供试尾水和植物中重金属初始含量

重金属	尾水/ (mg/L)	空心菜/ (mg/kg)	莎草/(mg/kg)		酸模/(mg/kg)	
			根	叶	根	叶
Zn	0.187	0.127	0.305	0.136	0.449	0.160
Cu	0.019	0.249	0.648	0.304	0.543	0.400
Cd	0.022	0.010	0.021	0.009	0.025	0.012
Pb	0.013	0.012	0.088	0.011	0.099	0.018

2.2 3 种植物对城市尾水中重金属去除效果

由图 1 可知,城市尾水经过植物处理后,其中的 Zn 含量在前 5 d 降幅最大,随后呈缓慢下降的趋

势,对照和空白处理中 Zn 含量也呈下降趋势,但其下降速度要明显低于有植物处理的系统。3 种植物对 Zn 去除效果从强到弱顺序为酸模>莎草>空心

菜,20 d 收获时,3 种植物处理中 Zn 含量由 0.187 mg/L 分别降到 0.025、0.047、0.048 mg/L;由于自然沉降作用,空白中 Zn 含量降至 0.013 mg/L。从尾水中 Zn 含量变化趋势可以看出,3 种植物对城市尾水中重金属 Zn 都有一定程度的去除作用,酸模去除率为 86.63%,莎草为 74.87%,空心菜为 74.33%,3 种植物处理的尾水在第 20 天时 Zn 含量都达到地表 I 类水质标准。

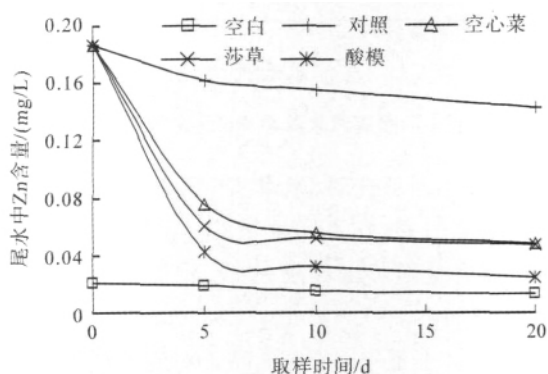


图 1 3 种植物对尾水中 Zn 的去除效果

由图 2 可以看出,城市尾水中 Cu 含量在植物系统处理后明显降低。20 d 收获时,空心菜、莎草和酸模各处理 Cu 含量分别由 0.019 mg/L 下降至 0.007 4、0.004 2、0.001 8 mg/L,此时 Cu 含量都可达到地表 I 类水质标准。3 种植物对 Cu 的去除效果从强到弱顺序为酸模>莎草>空心菜,其中酸模去除率为 90.37%,莎草为 77.54%,空心菜为 60.43%。

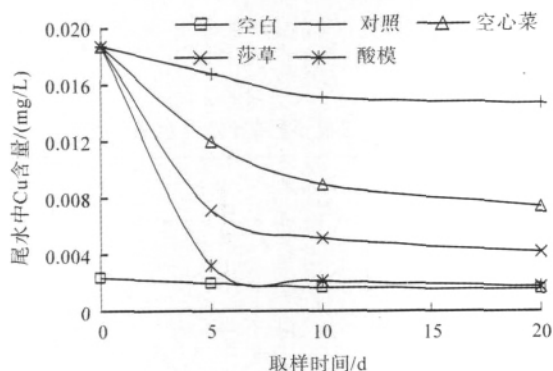


图 2 3 种植物对尾水中 Cu 的去除效果

由图 3 可知,城市尾水中的 Cd 含量在植物处理系统中都呈减少趋势,在前 5 d 降幅较大,之后 Cd 含量变化趋缓,3 种植物对 Cd 去除效果从强到弱顺序为酸模>莎草>空心菜。酸模、莎草、空心菜 3 种植物对尾水中重金属 Cd 的去除率分别为 76.81%、57.27%、45.45%。空心菜对 Cd 的处理

效果未达到地表 V 类水水质标准,莎草处理后 Cd 含量优于地表 IV 类水水质标准,而酸模处理后尾水中 Cd 含量只有 0.005 1 mg/L,接近于地表 II 类水水质标准。

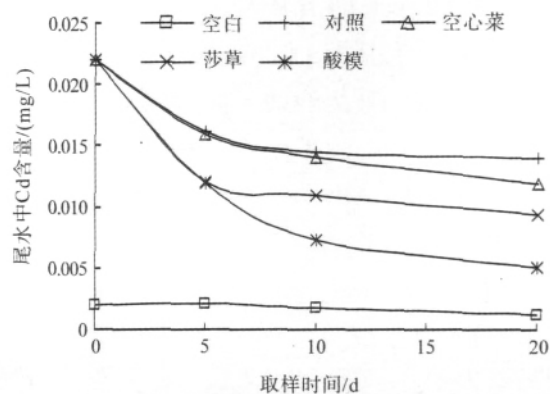


图 3 3 种植物对尾水中 Cd 的去除效果

由图 4 可知,经过植物系统处理之后,尾水中的 Pb 含量总体呈下降的趋势,但尾水 Pb 含量变化没有其他 3 种重金属的变化明显。3 种植物对 Pb 的去除效果从强到弱为:酸模>莎草>空心菜。其中酸模去除率为 66.67%、莎草为 50.38%、空心菜为 36.43%、对照为 22.48%。3 种植物处理在第 20 天 Pb 含量均达到地表 I 类水质标准。

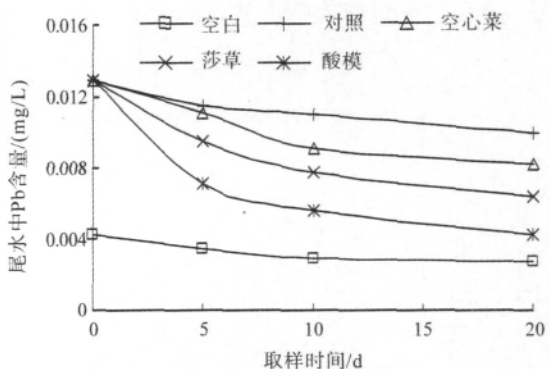


图 4 3 种植物对尾水中 Pb 的去除效果

上述研究表明,3 种植物对城市尾水中 Zn、Cu、Cd 和 Pb 4 种重金属都有一定的去除作用,其中酸模对 Zn、Cu、Cd、Pb 的去除作用最明显,而空心菜去除效果最差,原因在于酸模和莎草采自长期有污水流过的河道中,而空心菜并没有进行这样的驯化。因此可以使用酸模、莎草对重金属污染水体进行重金属去除,特别是酸模在尾水中的适应性和吸附能力强,生物量大更适合对含上述重金属的城市污水进行重金属修复。

2.3 3 种植物不同部位重金属积累量

由表 2 可知,20 d 收获时,酸模、莎草和空心菜

体内的重金属含量都有一定程度增加,而且酸模和莎草根对重金属的吸收富集作用要高于叶部,与多数研究中重金属在水生植物根部的沉积要高于植物其他部位研究结果相符^[5,8]。其中酸模根际积累重金属 Zn、Cu、Cd、Pb 含量为最高,分别为 0.478 0、0.653 0、0.027 9、0.114 0 mg/kg。

表 2 20 d 收获时植物中重金属含量 mg/kg

重金属	空心菜	莎草		酸模	
		根	叶	根	叶
Zn	0.158 0	0.353 0	0.143 0	0.478 0	0.161 0
Cu	0.251 0	0.547 0	0.305 0	0.653 0	0.402 0
Cd	0.013 0	0.025 4	0.011 6	0.027 9	0.013 5
Pb	0.012 6	0.093 2	0.013 5	0.114 0	0.020 1

2.4 酸模对水体中不同含量 Cd、Pb 的去除作用

观察发现,在试验的前 5 d,酸模在不同含量 Cd 的培养液中生长良好,而后在 Cd 含量为 5.0、10.0 mg/L 的培养液中出现死亡现象。试验前期,酸模处理对不同 Cd 含量的培养液中的 Cd 均有明显的去除效果。培养 10 d 以后,在 Cd 含量为 5.0、10.0 mg/L 水体中重金属的含量又有所增加,这可能是由于高含量的 Cd 对酸模的毒害作用而导致植物体内 Cd 向水体重新释放造成的(图 5)。

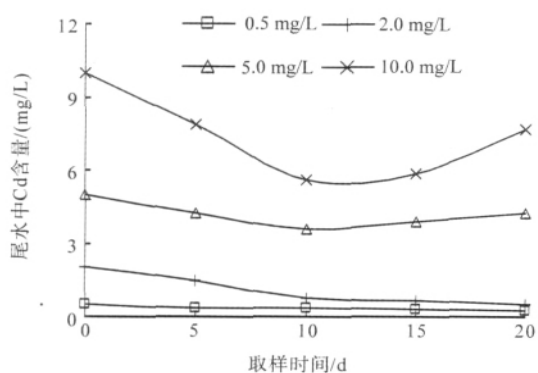


图 5 酸模对水体中 Cd 的去除效果

在不同含量 Pb 处理的试验条件下,酸模除在 2.0 mg/L 的 Pb 处理液中有死亡现象以外,其他的处理中均生长状况良好。由图 6 可知,0.2~0.4 mg/L 处理液中 Pb 含量一直呈下降趋势,至 5 d 后下降趋势变缓,两处理水体中 Pb 含量接近;在 0.8~2.0 mg/L 的处理中,表现为前 10 d 降低,以后又出现增加的现象。原因是由于水体中 Pb 含量超过 0.8 mg/L 后会对酸模造成毒害作用,因此,酸模体内吸收的 Pb 会重新释放到水体中,造成其水体中 Pb 含量增加,并且水体中 Pb 含量达 2.0 mg/L 时会导致

酸模死亡。

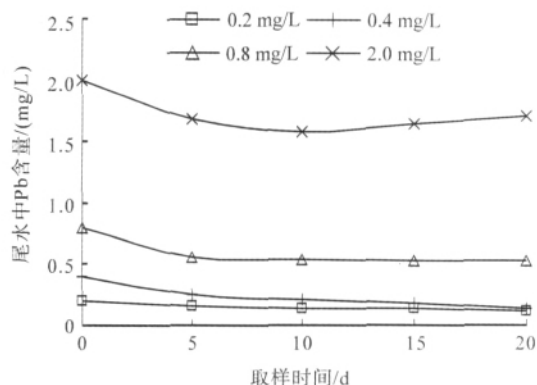


图 6 酸模对水体总 Pb 的去除效果

2.5 酸模不同部位对 Cd 和 Pb 积累作用

由表 3 可知,在不同含量 Cd 培养液中,酸模体内重金属含量随着培养液中 Cd 质量浓度的升高而增加,其大小顺序为 10 mg/L > 5 mg/L > 2 mg/L > 0.5 mg/L。根系中 Cd 含量高于对应处理下叶片中 Cd 含量,在 10 mg/L 培养液中酸模根系积累的 Cd 含量增加的量最大。但是由于在 Cd 含量大于 5.0 mg/L 的水体中可以造成酸模的死亡。因此,可以得出酸模可以用于 Cd 0.5~2.0 mg/L 的污染水体的修复。

由表 4 可知,酸模体内 Pb 含量与所对应的培养液中 Pb 质量浓度的大小顺序为 2.0 mg/L > 0.8 mg/L > 0.4 mg/L > 0.2 mg/L。酸模根系中 Pb 含量同样高于叶片中 Pb 含量,并在 Pb 2.0 mg/L 的培养液中积累量最大,但由于在 0.8 mg/L 时就会对酸模产生毒害作用,因此酸模对重金属 Pb 去除的适宜范围为 0.2~0.4 mg/L。

表 3 酸模不同部位 Cd 含量 mg/kg

处理		叶	根
编号	Cd 添加量/(mg/L)		
对照	0	0.169	0.354
5	0.5	0.186	0.379
6	2.0	0.465	0.857
7	5.0	1.202	1.522
8	10.0	2.192	3.385

表 4 酸模不同部位 Pb 含量 mg/kg

处理		叶	根
编号	Pb 添加量/(mg/L)		
对照	0	0.011	0.019
1	0.2	0.056	0.088
2	0.4	0.125	0.257
3	0.8	0.223	0.332
4	2.0	0.302	0.455

3 结论与讨论

本研究结果表明,酸模、莎草和空心菜 3 种植物对城市尾水中 4 种重金属 Cu、Zn、Pb 和 Cd 都有一定的去除作用,酸模显示了对重金属的高效吸收能力。酸模对不同含量重金属 Cd 和 Pb 去除作用表明,2 种重金属含量分别高于 20 mg/L 和 0.8 mg/L 时会对酸模产生毒害作用。本研究表明,酸模可作为城市尾水中重金属修复材料,但应该注意重金属修复浓度限值,浓度过高会造成植物的毒害并使植物吸附的重金属又会释放到水体中,影响修复效果。

植物对污水中重金属的去除效率除由植物种类决定外,还与污染物的浓度有关。另外,水体 pH 值不同,植物对重金属离子的吸附能力也不同。许多水生植物如凤眼莲、浮萍、水花生等对水体中重金属均有明显的去除效果^[8-10]。而本研究所涉及的 3 种植物酸模、莎草和空心菜对重金属去除的研究报道较少。植物吸收重金属能力大小一般表现为根系发达的植物大于根系不发达的植物。同一种植物的净化能力也与其生长周期和新陈代谢有关。各种植物的不同组织、器官吸收的有毒成分也不一样。在一定浓度范围内,水生高等植物对重金属的富集量随水体中重金属浓度的升高而升高,但当废水中重金属离子的浓度过高时便对植物有明显的毒害作用,从而使吸收的重金属又重新释放到水体中^[11]。在本研究中,由于选用的城市尾水重金属含量较低,并未对 3 种植物造成毒害,而选取酸模对添加不同量的 Pb、Cd 重金属的研究表明,Pb、Cd 在较高浓度下

对酸模会产生毒害作用。因此,在今后选择酸模为材料进行尾水中重金属修复时,首先要确定水体中重金属的浓度范围。

参考文献:

- [1] 李清雪,梁晓,李曼,等. MCM/RO 工艺对二级出水的深度处理效果[J]. 中国给水排水,2008,24(3):92-99.
- [2] 李清雪,梁晓,李曼. 反渗透膜截留二级出水中重金属离子试验研究[J]. 山西建筑,2008,37(7):5-6.
- [3] Hani A Q, Hassan M. Removal of heavy metals from wastewater by membrane process: A comparative study [J]. De-salination, 2004(164):105-110.
- [4] 李清雪,肖伟,吴伟,等. 纳滤组合工艺深度处理微量污染物[J]. 膜科学与技术,2010(5):103-106.
- [5] 单丹. 人工湿地水生植物对氮磷吸收及对重金属镉去除效果的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [6] 徐德福,李映雪,赵晓莉,等. 3 种湿地植物对锌的吸收分配及其与根表铁氧化物胶膜的关系[J]. 西北植物学报,2009,29(1):116-121.
- [7] 李硕,刘云国,李永丽,等. 水葱对镉的超富集作用及其用于植物修复的潜力[J]. 广西植物,2007(2):182-185.
- [8] 达良俊,陈鸣. 凤眼莲不同部位对重金属的吸收、吸附作用研究[J]. 上海环境科学,2003,22(11):765-768.
- [9] 谷兆萍. 复合污染下浮萍(*Lemna minor* L.)对重金属吸收、富集特征和机理[D]. 昆明:昆明理工大学,2011.
- [10] 吴传兵. 不同 pH 值和重金属浓度对水花生生根的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(19):5695-5696,5709.
- [11] 王忠全,温琰茂,黄兆霆,等. 几种植物处理含重金属废水的适应性研究[J]. 生态环境,2005,14(4):540-544.