3种观赏水草对水体镉污染修复效果的比较研究

申 华,黄鹤忠,张 皓,吴小松

(苏州大学生命科学学院生态与环境教研室,江苏 苏州 215123)

摘要: 在实验条件下,研究了斯必兰(*Gymnocorovis spilanthoides*)、羽毛草(*Myriophyllum aquaticm*)和水芹(*Oenanthe javanica*)3种观赏水草对不同浓度的镉污染水体(Cd^{2+} 0.5、1.0、5.0、10.0 mg/L)的修复效果以及镉对这3种观赏水草生长的影响。研究结果表明:3种观赏水草均对水体镉污染有一定程度的抗性并能不同程度地去除水体中的镉,其抗性和去除效率的大小均表现为斯必兰>水芹>羽毛草;3种观赏水草对镉的富集能力也为斯必兰>水芹>羽毛草。以上实验结果表明,在3种观赏水草中斯必兰对水体镉污染的耐性最高、修复能力最强。

关键词: 观赏水草;镉;去除率;富集量;斯必兰;羽毛草;水芹

中图分类号: X703.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2008)01-0052-04

各种工业(如采矿、冶炼、电镀等)废水和固体废弃物的渗出液直接排入江湖、水库等水体,致使水体中有毒重金属元素的含量越来越高,这给人们的身体健康带来了极大的威胁,传统的水体重金属修复技术投资大、操作难,且效果不是太理想(周启星和孙铁珩,2000)。植物修复(phytoremediation)技术具有投资和维护成本低、操作简便、不造成二次污染、具有潜在或显在经济效益等优点,更适应环境保护的要求,越来越受到人们的重视(韦朝阳和陈同斌,2001)。相对于土壤重金属的植物修复技术,水域重金属污染的植物修复技术研究起步较晚(李华等,2005),仅见于采用芦苇、香蒲、凤眼莲等挺水和漂浮植物应用于重金属水体污染的治理(蔡顺香等,2005)。而目前利用沉水植物来修复水体中的重金属污染的报道甚少。本次实验研究采用斯必兰、羽毛草和水芹3种观赏水草为实验材料,以Cd^{2+}重金属离子为污染因子,研究这3种不同观赏性水草对Cd^{2+}污染水体的修复效果、对Cd^{2+}的富集量以及Cd^{2+}对这3种观赏水草的生长的影响,以期为利用观赏水草进行水体重金属污染修复的实际应用提供理论参数。

1 材料和方法

1.1 实验材料

实验选用观赏水草斯必兰(*Gymnocorovis spilanthoides*)、羽毛草(*Myriophyllum aquaticm*)和水芹(*Oenanthe javanica*)为实验材料,它们均来自淮阴水产研究所实验场。将采集来的水草在含有水草沙的玻璃缸中进行预培养,水温保持在25℃左右,调节pH在6.0左右,光照条件为12 h∶12 h(D∶L,12 000 lx),每隔3 d更换Hoagland营养液,早晚各搅拌1次营养液,养根14 d,选择生活力强、大小一致的健壮植株作为实验材料,称重进行分组实验。

1.2 实验处理

实验采用5个镉浓度梯度,即在完全Hoagland营养液基础上添加Cd^{2+} 0、0.5、1.0、5.0、10.0 mg/L,重金属Cd^{2+}以$CdCl_2$的形式添加,每个梯度设3个重复。在每瓶营养液(500 mL)中放入体积相似、鲜重等同的观赏水草15 g,根部和1/2茎部浸入水体,其余部分露出水面。每天早晚摇晃营养液,培养的水温、pH、光照条件均与水草预培养时相同,在培养后的第1、3、5、9、14天取水样,密封保存待测。各植株在含有不同浓度的镉处理营养液中培养14 d后收获,经自来水和蒸馏水反复冲洗后,于烘箱120℃杀青0.5 h,80℃烘干至恒重,称取干重。将烘干样品粉碎后备用。

1.3 样品分析方法

密封保存的水样用等离子发散光谱仪测量水体中重金属的含量;另外称量已粉碎的各处理植株烘干样品0.5 g,放置在坩埚中,在电炉上炭化至无烟。将炭化好的样品放在消化炉内,于550℃的高温下消化4 h,将消化好的样品用4∶1(*V*/*V*)的硝酸和高氯酸混合液10 mL进行溶解,然后在电炉上加热挥发,再加入15 mL蒸馏水,等挥发至5 mL左右的体积时再定容至50 mL,密封保存后用等离子发射光

收稿日期: 2007-10-27

基金项目: 江苏省社会发展项目(BS2002016)经费资助。

通讯作者: 黄鹤忠。E-mail:suda-shui@163.com

作者简介: 申华,1981年生,江苏姜堰人,硕士研究生,主要从事水产养殖和环境保护学研究。E-mail:shtb1102@163.com

谱仪测量各样品中镉离子的含量。

2　结果

2.1　3 种水草在镉污染水体中耐受性的比较

3 种水生植物经营养液预培养后,均生长良好。但经不同浓度的镉处理一定时间后,植株的生长状况及表型特征便发生了较大的变化(表 1)。由表 1 可看出,镉对植物有相当强的毒害作用,高浓度的镉会影响植物的正常生长,甚至导致植物死亡。比较而言,在同样浓度的重金属镉处理下,斯必兰表现出中毒症状的时间要迟于羽毛草和水芹,说明其对镉的耐受能力较强。

2.2　3 种水草干物质积累量的比较

经过 14 d 的生长实验,斯必兰、羽毛草、水芹的植株干重变化情况如图 1 所示。从图中可知,与对照(Cd^{2+} 0 mg/L) 相比,各处理组植株的干物质积累量均呈现明显的被抑制状态。且随着镉处理浓度的升高其植株的干重量逐渐降低,镉浓度在 5 mg/L 以上时呈现出显著降低现象($P<0.05$),其中羽毛草和水芹的影响要高于斯必兰。

表 1　3 种水生植物在不同镉浓度环境下培养一定时间后的表观特征

Tab. 1　The presentational character of three ornamental aquatic plants in different concentrations Cd^{2+} contaminated water during different days

实验材料 Experiment stuff	Cd^{2+} 浓度　Cd^{2+} concentration			
	0.5 mg/L	1 mg/L	5 mg/L	10 mg/L
斯必兰 *Gymnocorovis spilanthoides*	14 d 生长正常	14 d 生长正常	8 d 叶片稍有发黄	12 d 有叶片发黄变暗
羽毛草 *Myriophyllum aquaticm*	14 d 生长正常	7 d 后开始发黄	12 d 开始枯萎	10 d 开始枯萎
水芹 *Oenanthe javanica*	14 d 生长正常	14 d 生长基本正常	6 d 稍有发黄变暗	10 d 开始枯萎

2.3　3 种水草对水体镉污染去除率的比较

3 种水生植物对水体中不同浓度镉的吸收实验结果见图 2 ~ 图 4。图中显示了水体重金属镉离子浓度随着 3 种水生植物培养时间的延长而变化的情况。实验表明,这 3 种水生植物都能一定程度地吸收水体中的镉离子,并且随着时间的变化,水体中镉离子的浓度呈下降趋势,但去除水体中镉的能力与植物种类有关,并且对于不同浓度的镉表现出不同的吸收能力。其中斯必兰表现了较强的吸受能力,羽毛草最弱。在高浓度的镉处理 1 d 后,水体中镉离子的浓度呈明显的下降趋势,之后继续下降,但趋势逐渐平稳。在高浓度镉(10 mg/L)培养液处理后,斯必兰、羽毛草、水芹对水体中镉的去除速率在短期内均最高,1 d 后即分别达到了 60%、24%、54%。至后对水体中镉的去除速率有所减缓,在处理 14 d 后,3 种水生植物的累计去除率分别达到 78%、30%、74%;而 3 种水生植物对水体中低镉离子浓度的吸收情况基本相同,在 Cd^{2+} 0.5 mg/L 的镉培养液处理 1 d 后,斯必兰、羽毛草、水芹对水体中镉的去除率分别为 18%、24%、19%;在处理 14 d 后,累计去除率分别达到 30%、30%、40%。以上结果表明,在高浓度镉(10 mg/L)污染时,斯必兰和水芹去除水体中的镉离子的能力明显大于羽毛草($P<0.01$)。

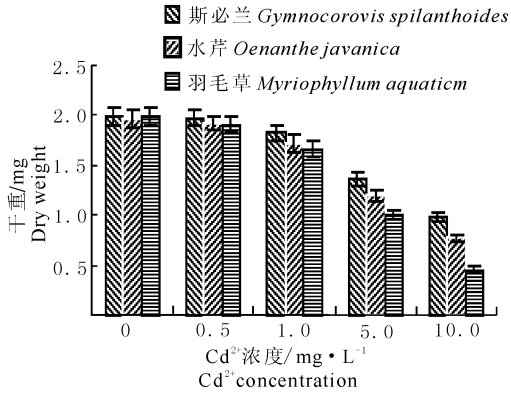

图 1　不同 Cd^{2+} 浓度水体中 3 种水草干重的变化

Fig. 1　The dry weight of three ornamental aquatic plants in different concentrations Cd^{2+} contaminated water

2.4　3 种水草对镉富集效率的比较

不同镉浓度处理对植物体内镉富集量的影响如图 5 所示。结果表明,植株体内的镉富集量随着镉处理浓度的增加而增加,其中斯必兰最强。数据表明,在 Cd^{2+} 10 mg/L 的高浓度下处理 14 d 后,斯必兰体内镉的富集量达到了 846.40 mg/kg,远远高于羽毛草(62.94 mg/kg)和水芹(92.98 mg/kg)的富集量($P<0.01$)。在 Cd^{2+} 0.5 mg/L 的低浓度处理下 14 d 后,斯必兰体内镉的富集量达到 76.10 mg/kg,也大大高于羽毛草(10.45 mg/kg)和水芹(13.31 mg/kg)的富集量($P<0.01$)。

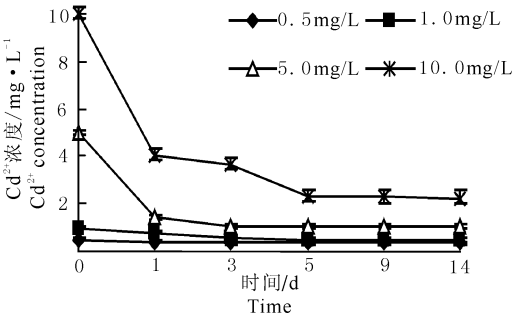

图2 斯必兰对不同 Cd^{2+} 浓度的吸收情况

Fig. 2 Absorb Cd^{2+} of *Gymnocorovis spilanthoides* in different concentrations Cd^{2+} contaminated water

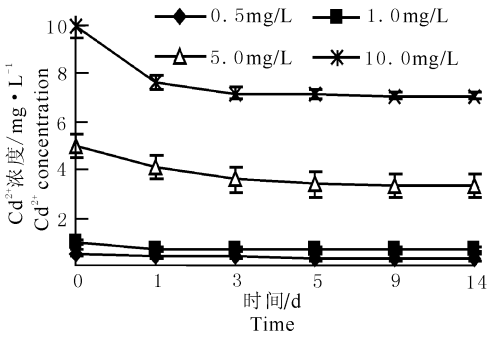

图3 羽毛草对不同 Cd^{2+} 浓度的吸收情况

Fig. 3 Absorb Cd^{2+} of *Myriophyllum aquaticm* in different concentrations Cd^{2+} contaminated water

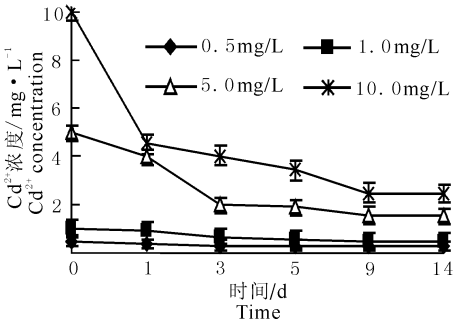

图4 水芹对不同 Cd^{2+} 浓度的吸收情况

Fig. 4 Absorb Cd^{2+} of *Oenanthe javanica* in different concentrations Cd^{2+} contaminated water

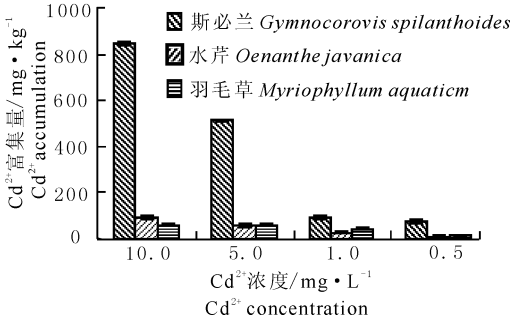

图5 3种水草对不同 Cd^{2+} 浓度的富集量

Fig. 5 The enrichment quantity of three ornamental aquatic plants in different concentrations Cd^{2+} contaminated water

3 讨论

利用挺水植物(芦苇、香蒲等)、沉水植物(轮藻属、金鱼藻等)、漂浮植物(水葫芦等)来治理水体重金属污染已有不少报道。挺水植物往往生长在积水的还原性土壤中,重金属大多与土壤中的硫化物结合,形成沉淀,不易被植物吸收;而沉水植物虽然能较强地吸收水体中的多种重金属离子,但由于其容易死亡并沉入水底,从而形成了二次污染,加大了水体重金属污染治理的难度(张建梅等,2003)。用漂浮植物之一的水葫芦来治理水体重金属污染,虽然有一定的效果(蔡顺香等,2005),但由于其繁殖力太强、生物量不易控制等特点,难以在实践中应用。本次实验所选用的3种观赏水草抗逆行较强、易生长,且具有一定的观赏价值,可达到修复水体污染和美化环境的双重效果,具有较好的实际推广应用前景。本研究通过比较3种观赏水草对水体镉污染修复效果、生长情况和耐受力以及富集能力后发现,斯必兰都明显强于其他2种观赏水草。Baker(1981)根据植物对重金属的吸收、转移和积累机制,把植物分为3类:积累型、指示型和排斥型。以往的实验表明,遏蓝菜体内镉的含量高达1 800 mg/kg,属于镉超积累植物(Brown S L et al,1994;Brown S L et al,1995);香蒲、水葫芦对镉的最大富集量一般也可达1 500 mg/kg左右(蔡顺香等,2005)。本次对斯必兰镉积累的实验结果显示,在高浓度(10 mg/L)镉污染水体中,斯必兰最高积累量可达到846.40 mg/kg。虽然对镉的积累量比上述超积累植物较低,但由于斯必兰属于菊科植物,其根系发达、生长快、易繁殖、插枝即可成活、挺水和沉水种植均可、回收方便,并且具有观赏和经济价值。由此可见,我们可将斯必兰用于人工湿地工程和氧化塘工程来综合治理水体重金属污染;也可在污染水域中采用人工浮筏栽培,人工控制其生长和收获,从而达到治理镉污染水体的目的。

4 结论

斯必兰、羽毛草和水芹等3种观赏水草均对重金属 Cd^{2+} 表现出一定的适应能力和耐受性,其中斯必兰的适应能力和耐镉性最强,水芹其次,羽毛草最差。

斯必兰、羽毛草和水芹等3种观赏水草均对镉污染水体具有一定的修复作用,其中斯必兰对 Cd^{2+} 的去除率最大(在 Cd^{2+} 10 mg/L水体中培养14 d后

去除率达到 78%);水芹次之,达 74%;羽毛草最弱,为 30%。

斯必兰、羽毛草和水芹等 3 种观赏水草对镉的富集量不同,其中斯必兰对 Cd^{2+} 的富集量最大,在 Cd^{2+} 10 mg/L 水体中处理 14 d 后,其对 Cd^{2+} 的富集量分别是水芹的 9 倍、羽毛草的 13 倍。

斯必兰根系发达、生长快、易繁殖,插枝即可成活,挺水和沉水种植均可,且回收方便,并且具有观赏和经济价值,是一种具有较大开发潜力与应用前景的水体镉污染修复植物。

参考文献:

蔡顺香,颜明娟,黄东风,等. 2005. 水葫芦富集砷、汞、铅、镉、铬含量分析[J]. 福建农业科技,(3):49 – 50.

李华,程芳琴,王爱英,等. 2005. 三种水生植物对 Cd 污染水体的修复研究[J]. 山西大学学报:自然科学版, 28(3):325 – 327.

韦朝阳,陈同斌. 2001. 重金属超积累富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报,21:1 196 – 1 203.

张建梅,韩志萍,王亚军. 2003. 重金属废水的生物处理技术[J]. 环境污染治理技术与设备,4(4):75 – 78.

周启星,孙铁珩. 2000. 污染生态化学:现状与展望[J]. 应用生态学报,11 (5) : 795 – 798.

Baker A J M. 1981. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals[J]. Plant Nutria, 3: 643 – 654.

Brown S L, Chaney R L, Angle J S, et al,1994. Phyloremediation potential of Thlaspi carelessness and Bladder champion for zinc – and cadmium – contaminated soil[J]. Environ Qual, 23:1 151 – 1 157.

Brown S L, Chaney R L, Angle J S, et al,1995. Zinc and cadmium uptake by hyper – accumulator Tulips carelessness and metal tolerant Silence vulgarism grown on sludge – amended soil[J]. Environ Sic Techno, 29:1 581 – 1 585.

(责任编辑　杨春艳)

Compare Analysis for Phytoremediation of Cd^{2+} Contaminated Water by Three Ornamental Aquatic Plants

SHEN Hua, HUANG He-zhong, ZHANG Hao, WU Xiao-song

(Dept of Environment and Ecology, School of Life Sciences, Soochow University, Suzhou　215123, China)

Abstract: Experiments of phytoremediation of Cd^{2+} contaminated water by ornamental aquatic plants including *Gymnocorovis spilanthoides*, *Myriophyllum aquaticm* and *Oenanthe javanica* were carried out. The results shown that different ornamental aquatic plants differently remove Cd^{2+} from different concentrations Cd^{2+} contaminated water (Cd^{2+} 0.5、1.0、5.0、10.0 mg/L). The efficiency of removal Cd^{2+} is *Gymnocorovis spilanthoides* > *Oenanthe javanica* > *Myriophyllum aquaticm*. Cd^{2+} was harmful to those plants badly and the high concentration of Cd^{2+} can disturb the plants natural growth. Sensitivity to Cd^{2+} of these ornamental aquatic plants is *Myriophyllum aquaticm* > *Oenanthe javanica* > *Gymnocorovis spilanthoides*; In the water with different concentrations of Cd^{2+} contaminated, the ability to absorb Cd^{2+} of these plants are *Gymnocorovis Spilanthoides* > *Oenanthe javanica* > *Myriophyllum aquaticm*; In a word, *Gymnocorovis spilanthoides* was the best phytoremediational plant in Cd^{2+} contaminated water among these three ornamental aquatic plants.

Key words: Ornamental aquatic plants; cadmium; removal rate; enrichment; *Gymnocorovis spilanthoides*; *Myriophyllum aquaticm*; *Oenanthe javanica*