

文章编号: 1673 - 9620 (2008) 01 - 0051 - 04

不同种类湿地植物吸铜能力差异及规律性研究^{*}

刘建国¹, 李光辉¹, 邵婉晨¹, 徐加宽²

(1. 江苏工业学院 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 常州市农林局, 江苏 常州 213001)

摘要: 为探索不同种类湿地植物在铜污染废水中对铜吸收能力的差异, 在人工湿地池中对 10 种湿地植物的吸铜能力及其规律性进行了研究。结果表明, 不同种类湿地植物间植株铜浓度相差 2 倍, 而植株铜积累量相差 41 倍, 其原因是不同湿地植物间植株生物量 (干重) 相差 51.8 倍。相关性分析表明, 不同种类湿地植物的铜积累量与植株铜浓度无明显关系, 而与植株生物量的相关性达极显著水平 ($P < 0.01$)。该结果说明, 在铜污染废水处理湿地工程技术中, 选择适宜的湿地植物种类对处理效果有很大影响。而在选择对铜积累能力强的湿地植物时, 首要选择指标是植株的生物量, 其次是植株铜浓度。本研究还筛选出了 4 个对废水中铜吸收积累能力强的湿地植物。

关键词: 铜; 废水; 湿地植物; 吸收; 规律

中图分类号: X 703.1 **文献标识码:** A

Variations among Wetland Plant Species in Copper Uptake and the Rules

LIU Jian - guo¹, LI Guang - hui¹, SHAO Wan - chen¹, XU Jia - kuan²

(1. School of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213164, China; 2. Changzhou Agricultural and Forestry Bureau, Changzhou 213001, China)

Abstract: In order to investigate the differences among wetland plant species in the uptake of copper (Cu) from wastewater, Cu accumulation in ten wetland plant species and the rules were studied in constructed wetlands. The results showed that the difference among the plant species was two times for Cu concentrations in the plants, but it was as much as 41 times for Cu accumulation. The reason for this is that the variation among the plant species was more than 50 times for plant biomass (dry weight). Correlation analysis indicates that the accumulations of Cu in wetland plants have no obvious relation with Cu concentrations in the plants, but significantly correlate ($P < 0.01$) with plant biomasses. These results demonstrate that selection of suitable wetland plant species in the wetland for the treatment of Cu - polluted wastewater will greatly affect Cu removal efficiency. The first index for selecting wetland plant species with high Cu accumulating ability is biomass, and the second index is Cu concentration in the plant. Four wetland plant species with high Cu accumulating abilities were screened out.

Key words: Copper (Cu); wastewater; wetland plant; uptake; rule

* 收稿日期: 2007 - 10 - 09

基金项目: 常州市科技计划项目 (CC2007203); 江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人项目

作者简介: 刘建国 (1963 -), 男, 安徽岳西人, 博士, 副教授, 主要从事重金属污染防治研究。

近 30 年来, 随着我国工农业的高速发展, 城市化速度越来越快及人口数量的大幅度增加, 环境的重金属污染负荷越来越重^[1,2]。对于我国的污水、土壤及农田来说, 铜是重金属污染物中的主要一员。据研究, 在我国一些污水灌溉的农田土壤中铜含量达到 $158 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 在水稻稻草、稻壳及糙米中的铜含量分别达到 101.4、133.2 及 $15.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[3,4]。另有研究表明, 铜虽是植物的必需元素, 但在土壤铜含量较高时 ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 会对水稻的生长发育及水稻产量造成显著影响^[5]。所以, 水体、土壤及农作物中铜的积累很可能对环境及人类的健康造成严重威胁。而土壤及作物体内的铜主要来源于污水灌溉。

利用天然及人工湿地来处理污水的技术及实践近年来发展很快, 利用湿地来处理富含重金属的工业及采矿废水也越来越受到重视。在湿地中, 多种物理化学过程在去除污水中的重金属方面发挥作用, 其中湿地植物根际的吸附、吸收、过滤及离子交换等过程有重要作用^[6,7]。

有多项研究表明, 一些种类的湿地植物能富集大量的重金属, 对重金属污染废水有很强的净化能力^[8]。因此, 在处理重金属污染废水的湿地处理技术中, 湿地植物对湿地的净化能力可能有重要影响, 但目前我国在该方面的研究还不够深入, 影响了湿地技术在处理重金属污染废水中的应用。

本研究针对常州市污染较重的铜, 研究不同种类的湿地植物对废水中铜吸收积累能力的差异及其规律性, 为铜污染废水湿地处理的湿地植物选择及有关技术参数选用提供依据。

1 材料与方法

1.1 人工湿地池建设

在常州市农业生态环境保护监测站, 用水泥混凝土建人工湿地池 3 个, 每个面积 2 m^2 ($1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$), 池高 50 cm, 内填 25 cm 无污染土壤。池内灌水浸泡 (保持水面高于土面 5~8 cm) 1 个月后, 栽入湿地植物幼苗。

1.2 湿地植物采集及试验处理

在常州市郊区采集湿地植物幼苗 10 种, 具体科名、科名及学名见表 1。分别栽入 3 个人工湿地池, 每池每种植物 2 株。保持水深 5 cm 左右。

在移栽后 15 d, 幼苗生长稳定后, 在其中 2 个

湿地池加入人工配制的 Cu 污染废水, 每池 160 L, 废水中 Cu 质量浓度为 2.0 mg/L , 以后每隔 7 d 加入 Cu 污染废水一次, 共加入 3 次。另一个湿地池只灌自来水作为对照。

表 1 供试的湿地植物科名及种名

Table 1 Families and species of the wetland plants used in this experiments

代号	科名	种名	学名
A	禾本科	稗	<i>Echinochloa crus-galli</i>
B	禾本科	茭笋	<i>Zizania latifolia</i>
C	莎草科	碎米莎草	<i>Cyperus iria</i>
D	莎草科	日照飘拂草	<i>Fimbristylis miliacea</i>
E	菊科	鳢肠	<i>Eclipta prostrata</i>
F	菊科	钻型紫菀	<i>Aster subulatus</i>
G	蓼科	酸模叶蓼	<i>Polygonum lapathifolium</i>
H	蓼科	辣蓼	<i>Polygonum hydropiper</i>
I	雨久花科	鸭舌草	<i>Monochoria vaginalis</i>
J	苋科	空心莲子草	<i>Alternanthera philoxeroides</i>

1.3 取样与测定

在幼苗移栽后 60 d (Cu 污染废水加入结束后 30 d), 将所有湿地植物 (连同根系) 一起挖出, 先用自来水清洗, 再用去离子水清洗, 在 70 °C 烘干称干重。

植物样品粉碎后过 100 目筛, 取样用国标方法消化, 然后用原子吸收光谱仪测定植株 Cu 浓度。每种植物分株进行测定, 每一种植物有重金属处理植株 4 株, 对照植株 2 株, 然后求平均值。

2 结果与分析

2.1 不同湿地植物铜浓度及铜积累量

不同种类湿地植物体内铜积累浓度的差异见图 1, 铜积累量的差异见图 2。

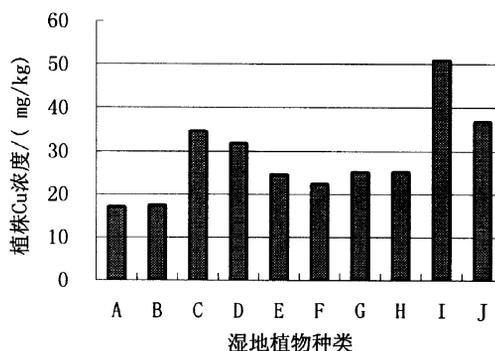


图 1 不同湿地植物植株 Cu 浓度的差异

Fig 1 Variations among wetland plant species in Cu concentrations

从图 1 可以看出, 不同湿地植物间, 植株的铜浓度有较大差异。铜浓度最高的植物为鸭舌草, 植

株铜浓度达 50.8 mg/kg, 最低的是稗, 植株铜浓度只有 16.9 mg/kg, 前者为后者的 3 倍。

从图 2 可以看出, 不同湿地植物间, 植物铜积累量的差异幅度比铜浓度的差异幅度要大得多, 不同植物间的差异达 41 倍 (积累量最高的植物比积累量最低的植物高出的倍数)。铜积累量最高的植物是空心莲子草, 每株达到 12.20 mg, 积累量最低的植物是钻型紫菀, 每株积累量只有 0.29 mg。另外, 茭笋的铜积累量也很高, 每株达到 11.94 mg。还有两种植物对铜的积累能力也较强, 稗和鸭舌草的积累量都达到每株 5 mg 以上。

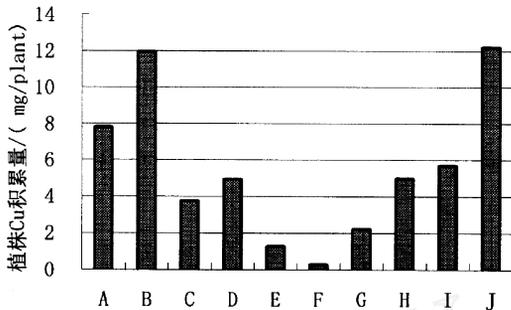


图 2 不同湿地植物植株 Cu 积累量的差异

Fig 2 Variations among wetland plant species in Cu accumulations

2.2 不同湿地植物间植株生物量的差异

不同湿地植物间植株生物量的差异见图 3。

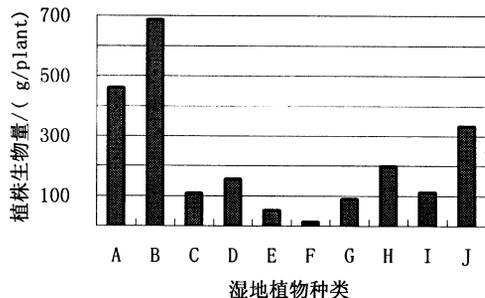


图 3 不同湿地植物植株生物量的差异

Fig 3 Variations among wetland plant species in plant biomasses

可以看出, 这 10 种湿地植物间, 植株生物量的差异也很大。不同种类植物间差异幅度达到 51.8 倍 (生物量最大的植物比生物量最小的植物高出的倍数), 比铜积累量的差异幅度还要大。植株生物量最大的植物是茭笋, 达到每株 686.5 g; 生物量最小的植物是钻型紫菀, 每株只有 13.0 g。

2.3 湿地植物植株铜积累规律

不同湿地植物植株铜积累量与植株铜浓度的关系见图 4, 植株铜积累量与植株生物量的关系见图

5。

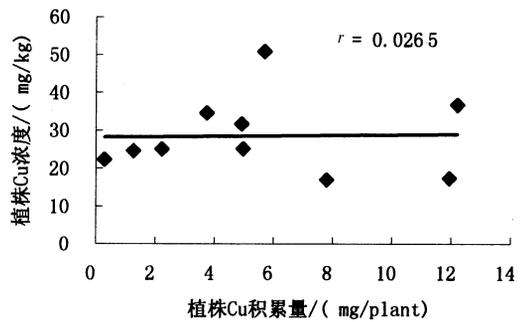


图 4 植株铜积累量与植株铜浓度的关系

Fig 4 Correlation between Cu accumulations and concentrations in plants

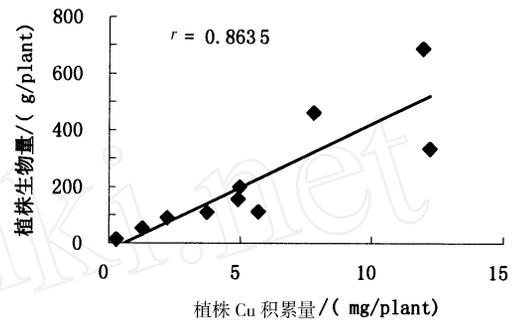


图 5 植株铜积累量与植株生物量的关系

Fig 5 Correlation between Cu accumulations and plant biomasses

湿地植物体内的铜积累量取决于两个方面, 一个是湿地植物体内的铜浓度, 另一个是湿地植物的生物量。本研究中的相关性分析表明, 不同湿地植物的铜积累量与植物体内的铜浓度相关性很差, 相关系数只有 0.0265, 远远达不到显著水平 (图 4)。说明植物体的铜浓度高, 并不意味着植物体的铜积累量也高。而不同湿地植物的铜积累量与植物体的生物量 (干重) 相关性非常好, 相关系数达到极显著水平 ($P < 0.01$)。这说明, 湿地植物的铜积累能力与植物体的生物量具有很高的一致性, 植物体生物量高的植物, 其体内积累的铜也多。

3 讨论与结论

本研究表明, 不同种类的湿地植物对废水中重金属的吸收积累能力差异很大。虽然湿地植物种类间植株体内的铜浓度只相差 2 倍, 但由于不同种类的湿地植物生物量相差非常大, 达到 50 多倍, 结果造成湿地植物种类间对铜的积累能力相差 40 多倍。该结果表明, 不同的湿地植物对废水中重金属的吸收净化能力差异非常大, 湿地中种植的湿地植物种类不同, 对废水中重金属的净化效果差异很

大^[9,10]。

在本研究中，有 2 种湿地植物对废水中铜的积累量很高，还有 2 种植物对铜的积累能力也较强，这 4 种植物中，空心莲子草是匍匐植物，鸭舌草较矮而散生，稗直立丛生，茭笋高大而直立。所以，如果将这 4 种湿地植物种植于湿地，不但对废水中铜的吸收净化能力很强，而且能充分利用生长空间，形成一个旺盛生长的植物群落，进一步提高对废水中铜的净化效果。但本研究还表明，湿地植物的铜积累量与物体内的铜浓度无明显关系，而与植物体的生物量（干重）相关性非常好。这说明，湿地植物对重金属的吸收积累能力主要取决于植物体的生物量。所以，在重金属污染废水的湿地处理工程技术中，选择适宜湿地植物种类的首要指标，是植物在污染废水中的生长状况和植物体的生物量，其次才是植物体内重金属的积累浓度。

参考文献：

[1] Li X D, Wai O W H, Li Y S, et al. Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl River estuary, South China [J]. *Appl Geochem*, 2000, 15 (5): 567 - 581.

[2] Ji G L, Wang J H, Zhang X N. Environmental problems in soil and groundwater induced by acid rain and management strategies in China [A]. Huang P M, Iskandar I K. *Soils and*

groundwater pollution and remediation: Asia, Africa and Oceania [C]. London: CRC Press, 2000. 201 - 224.

[3] Luo Y, Jiang X, Wu L, et al. Accumulation and chemical fractionation of Cu in a paddy soil irrigated with Cu - rich wastewater [J]. *Geoderma*, 2003, 115 (1 - 2): 113 - 120.

[4] Cao Z H, Hu Z Y. Copper contamination in paddy soils irrigated with wastewater [J]. *Chemosphere*, 2000, 41 (1 - 2): 3 - 6.

[5] Xu J, Yang L, Wang Z, et al. Toxicity of copper on rice growth and accumulation of copper in rice grain in copper contaminated soil [J]. *Chemosphere*, 2006, 62 (4): 602 - 607.

[6] Dunbabin J S, Bowmer K H. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals [J]. *Sci Total Environ*, 1992, 111 (2): 151 - 168.

[7] Wright D J, Otte M L. Wetland plant effects on the biogeochemistry of metals beyond the rhizosphere, biology and environment [J]. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, 1999, 99 (2): 3 - 10.

[8] Zayed A, Growthaman S, Terry N. Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: Duckweed [J]. *J Environ Qual*, 1998, 27 (3): 715 - 721.

[9] Deng H, Ye Z H, Wong M H. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal - contaminated sites in China [J]. *Environ Pollut*, 2004, 132 (1): 29 - 40.

[10] Gambrell R P. Trace and toxic metals in wetlands - a review [J]. *J Environ Qual*, 1994, 23 (5): 883 - 891.