

水体重金属污染的植物修复研究(II)

——种苗过滤去除水中重金属铅

渠荣遴¹, 李德森², 杜荣骞², 纪明耀³

(1. 天津大学分析中心, 天津 300072; 2. 南开大学生命科学学院, 天津 300071;

3. 大港油田集团团泊洼开发公司, 天津 301607)

摘要:采用室内培养方法,研究了6种作物种苗对水体中铅的去除作用。分析表明,在所选择的实验条件下,采用种苗过滤可以在72 h内使水体中铅由 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 迅速减少至 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下。在向日葵、豌豆、蓖麻等植物幼苗的根中分别积累了高达 $91.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $40.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $52.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 的铅,玉米、高粱也表现出一定的根铅积累与降低水体中铅浓度的作用。基于对实验结果进行的对比和讨论,提出选择具有“重金属超量积累倾向”的传统作物种苗进行环境水体中重金属铅污染的植物修复具有良好的应用前景。

关键词:植物修复; 重金属; 水体; 种苗过滤; 铅

中图分类号:X52 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0267(2002)06-0499-03

Phytoremediation for Heavy Metal Pollution in Water II. The blastofiltration of Pb from water

QU Rong-Lin¹, LI De-Sen², DU Rong-Qian², JI Ming-Yao³

(1. Analysis Center, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. College of Life Sciences, Nankai University, Tianjin 300071, China; 3. Dagang Oil Field, Twanpowa Corporation, Tianjin 301607, China)

Abstract: In this article, six kinds of crop seedlings were researched for removing of Pb from water with blastofiltration method. At the selected experiment conditions, the results showed that in 72 hours, the concentration of $100 \text{ mg Pb} \cdot \text{L}^{-1}$ can be down to below $5 \text{ mg Pb} \cdot \text{L}^{-1}$. In the dry roots of sunflower, pea, castor-oil plant, Pb can be accumulated to 91.6 , 40.7 and $52.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively, while corn, Chinese sorghum exhibited an ability for accumulation of Pb in the roots too. It may be suggested that several traditional crop seedlings with “super-accumulation tendency” have a good blastofiltration application prospects in phytoremediation of Pb pollution in water.

Keywords: phytoremediation; heavy metal; water; blastofiltration; lead

通过各种途径进入环境的重金属,由于其相对稳定性和难降解性,对土壤和水源会造成一定程度的污染。这些重金属经过食物链最终可能会进入人体,并在人体内缓慢积累,造成对人类健康的危害。由于采矿、冶炼过程对环境的污染及多年来含铅油漆、陶瓷、铅酸蓄电池及含铅汽油的广泛使用,使得铅作为最常见到的毒害性重金属元素,对环境的污染与对人类健康的影响,已引起了社会的广泛关注。

治理重金属污染是一件相对困难和代价高昂的

工作。近年来,植物修复技术以其更经济、更适用的特点,逐渐成为环境重金属污染治理的研究热点^[1]。其中重金属超量积累植物(hyperaccumulator)的概念在1977年首先由Brooks提出后^[2],经过科学家们不懈的努力,目前已经发现了360多种植物能够超量积累各种重金属^[3]。这些超量积累植物具有较高的重金属临界浓度,在重金属污染环境能够良好地生长。但是,由于超量积累植物生长缓慢、生物量小,又极大地限制了其在环境治理中的应用价值。如文献报道十字花科遏蓝菜属植物 *Thlaspi rotundifolium* 植株内Pb积累可高达 $8200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干重,但经5个月生长期后,每株干重只有5—50 $\text{mg}^{[4]}$,照此计算每株中Pb积累总量只有41—410 μg ,低于我们实验中生长仅十几

收稿日期: 2002-01-15

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(00360511)

作者简介: 渠荣遴(1947—),男,天津市人,副教授,硕士生导师,主要从事仪器分析及应用化学研究。

天的向日葵或蓖麻幼苗根部 Pb 的积累总量。1997 年 Ilya Raskin 曾指出种苗过滤 (Blastofiltration) 代表了植物修复技术用于含重金属废水处理的发展方向^[5], 本研究工作的目的是在现有文献报道的基础上, 通过考察种苗过滤法的规律, 探索该方法在含 Pb 废水生态修复中的应用可行性。

1 材料与方法

1.1 植物种子

玉米(农大 108)、玉米(高油 115)、春套高粱(抗四)、豌豆(食荚大菜豌 1 号)、蓖麻(841)、向日葵(河北永清)。以上种子购于天津市种子公司和天津市新技术产业园区内种子公司。

1.2 种苗培育方法

采用直径 20 cm 瓦盆, 内装入酸洗细沙约 13 cm 厚, 播入种子后用水浸湿, 待种子发芽后每 2 d 用自来水浇灌一次。植物培养室温度 21 ℃—24 ℃、自然光照 8 h·d⁻¹。向日葵发芽后 10 d、其余种子发芽后 14 d 将种苗由瓦盆中取出, 用自来水冲净根上沾附的细沙后, 用去离子水冲洗 3 次, 然后用药物天平将每种种苗均分为 4 组, 备用。

1.3 铅标准溶液的配制与铅吸收实验设计

每次准确称取 0.159 9 g Pb(NO₃)₂ (分析纯, 天津化学试剂三厂), 溶于去离子水后转移入 1 000 mL 容量瓶定容, 得 100 mg·L⁻¹ 铅标准溶液。向每个锥形瓶中准确移入 100 mL Pb 标准溶液, 然后将实验用种苗放入锥形瓶并使根部浸入 Pb 溶液中, 在锥形瓶口将种苗轻轻夹住固定。实验开始后 1 h、2 h、4 h、6 h、8 h、10 h、24 h、48 h 和 72 h 分别用移液管各取 1 mL 样品溶液, 利用原子吸收光谱法检测 Pb 的剩余量。实验进行 72 h 后, 将种苗取出并用去离子水冲洗 3 次, 然后将根部剪成约 1 cm 长的小段, 放于 80 ℃ 烘箱中烘干 48 h, 用于根中 Pb 积累量的测定。

1.4 铅的分析条件

采用火焰原子吸收光谱法对溶液及植物根部的 Pb 含量分别进行测定。仪器: 日立 180—80 偏振塞曼原子吸收光谱仪; 测定波长: 283.3 nm; 灯电流: 7.5 mA; 光谱通带: 1.3 nm; 助燃气: 空气 10.0 L·min⁻¹; 燃料气: 乙炔 2.3 L·min⁻¹; 测量方式: 积分(5 s); 背景扣除方法: 塞曼方式。在 0—15 μg Pb·mL⁻¹ 范围内, 工作曲线线性相关系数 $r = 0.999$, 11 次测定的变动系数为 0.33%。

1.5 植物根部 Pb 测定前的样品处理方法

将干燥后的植物根部样品准确称量后放入陶瓷坩埚中, 于马弗炉中加热至 600 ℃ 并在此温度下保温 6 h, 待马弗炉自然冷却至室温后取出坩埚, 向坩埚中加入 5 mL 7 mol·L⁻¹ HNO₃, 微热溶解残渣后, 转移定容于 25 mL 容量瓶待测。

1.6 溶液样品的处理方法

将不同时间由锥形瓶中取出的 1 mL Pb 溶液样品分别定容于 10 mL 容量瓶中, 依据需要稀释适当倍数后待测。

1.7 数据分析和绘图软件

美国 Microcal 公司 Origin 5.0。

2 结果与讨论

2.1 种苗过滤去除水中铅的生态效应

见表 1。

表 1 6 种作物种苗去除水中 Pb 的生态效应

Table 1 The ecological effects of removing Pb from water by 6 crop seedlings

种苗名称	每组种苗重 Pb 总量		Pb 剩余率/%			
	/g	/mg	4 h	8 h	24 h	72 h
豌豆(食荚大菜豌 1 号)	10.7 ± 0.2	10.0	37.5	27.0	11.2	2.60
蓖麻(841)	10.4 ± 0.2	10.0	37.3	28.1	8.40	0.50
玉米(农大 108)	9.5 ± 0.2	10.0	60.9	51.7	44.1	38.0
玉米(高油 115)	9.7 ± 0.2	10.0	54.1	46.6	34.5	20.5
春套高粱(抗四)	3.3 ± 0.2	10.0	57.5	50.1	38.3	28.6
向日葵(河北永清)	13.5 ± 0.2	10.0	43.9	37.9	18.7	4.30

注: 所列数据为 4 组平行实验的测定平均值。

选择一阶指数衰减拟合方法对种苗去除水中 Pb 的作用绘图如图 1、图 2。

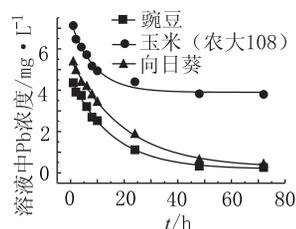


图 1 向日葵、玉米(农大 108)、豌豆种苗去除水中 Pb 的动力学曲线

Figure 1 The dynamics curve of sunflower, corn (Nong Da 108), pea seedlings in removing Pb from water

其相应的拟合函数方程分别为:

$$Y_{\text{豌豆}} = 0.17914 + 4.41859e^{-x/15.46316}$$

$$Y_{\text{蓖麻}} = 5.49702e^{-x/12.16562}$$

$$Y_{\text{玉米(农大 108)}} = 3.8 + 3.50428e^{-x/9.44531}$$

$$Y_{\text{玉米(高油 115)}} = 2.05 + 4.3752e^{-x/17.03885}$$

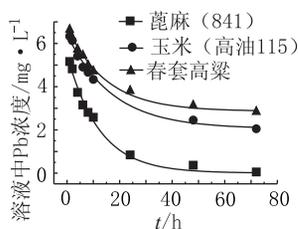


图 2 蓖麻、玉米(高油 115)、春套高粱(抗四)种苗去除水中 Pb 的动力学曲线

Figure 2 The dynamics curve of casto - oil plant, corn (Gao You 115), Chinese sorghum (Kang Si) seedlings in removing Pb from water

$$Y_{\text{春套高粱(抗四)}} = 2.86 + 3.90927e^{-x/14.74597}$$

$$Y_{\text{向日葵}} = 0.43 + 5.13707e^{-x/18.16407}$$

2.2 铅在种苗根部的积累

见表 2。

表 2 重金属 Pb 在根中的积累

Table 2 The accumulation of Pb in the roots of seedlings

种苗品种	根中 Pb 的积累量 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
豌豆(食茱大菜豌豆 1 号)	40.7
蓖麻(841)	52.8
玉米(农大 108)	19.9
玉米(高油 115)	42.6
春套高粱(抗四)	16.7
向日葵(河北永清)	91.6

注:所列数据为 4 组平行实验的测定平均值。

2.3 单位质量植物种苗去除水体中 Pb 的生态效应对比

经实验 72 h 后,在 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度的 Pb 溶液中每克种苗对 Pb 的去除量由大到小的排列顺序依次为:春套高粱(抗四) 2.16 mg 、蓖麻(841) 0.96 mg 、豌豆(食茱大菜豌豆 1 号) 0.91 mg 、玉米(高油 115) 0.82 mg 、向日葵(河北永清) 0.71 mg 和玉米(农大 108) 0.65 mg 。

2.4 讨论

实验表明,种苗过滤去除水中 Pb 的生态效应与

植物种类有关。在不同种类植物之间以及在相同植物的不同亚种之间,存在着对 Pb 积累程度上较明显的差异。由表 2 数据看出,在相同体积(100 mL)、相同浓度($100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)的 Pb 溶液中处理 72 h 后,向日葵、蓖麻、玉米(高油 115)和豌豆(食茱大菜豌豆 1 号)均获得了较高的根 Pb 积累。其中向日葵根 Pb 积累高达 $91.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、蓖麻、玉米(高油 115)和豌豆根 Pb 积累也分别达到了 $52.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $42.6 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $40.7 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,证实了部分传统作物种苗可以在较短时间内在其根部积累较高量的重金属 Pb,达到对重金属的近超量积累效果。在所选择实验条件下,使含 Pb 水质经植物修复后达到国家排放标准。

3 结论

通过对种苗过滤的实验考察,发现该方法具有良好的去除水体中重金属 Pb 的生态效应。在所选择的实验条件下,72 h 内向日葵和蓖麻根铅积累量分别达到每克干根中 91.6 mg 及 52.8 mg ,并使水中铅去除率分别达到 95.7% 和 99.5%,表现出种苗过滤在含 Pb 废水处理中具有良好的生态效益与应用前景。

参考文献:

- [1] 桑伟莲,孔繁翔. 植物修复研究进展[J]. 环境科学进展, 1999, 7(3):40-44.
- [2] Brooks R R, Lee J, Reeves R D, et al. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants[J]. *Geochem Explor*, 1977, 7: 49-57.
- [3] 沈振国,刘友良. 重金属超量积累植物研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(2):133-139.
- [4] Scott D Cunningham and David W Ow. Promises and Prospects of Phytoremediation[J]. *Plant Physiol*, 1996, 110: 715-719.
- [5] Ilya Raskin, Robert D Smith and David E Salt. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 1997, 8(2): 221-226.

本刊学术论坛栏目征稿启事

科技期刊被称为永不闭幕的学术研讨会。对于科技工作来说,科技期刊既是龙尾,又是龙头。为更好地发挥本刊对农业环境科学的传播、引导和推动作用,活跃学术氛围,本刊从 2002 年第 1 期起特开辟“学术论坛”栏目,就农业环境科学领域的各类问题展开讨论。不论资深专家还是科技新秀,“学术论坛”都将是您畅所欲言的阵地,来稿力求短小,观点明确。欢迎大家踊跃投稿,各抒己见,并对本刊及本栏目提出宝贵意见和建议。