

## 紫茎泽兰对煤渣污染土壤重金属的富集·修复特性

侯洪波, 刘忆明, 杨保海, 许志敏 ( 保山学院资源环境学院, 云南保山 678000 )

**摘要** [目的]为了检测紫茎泽兰对煤渣污染土壤中重金属的富集、修复特性。[方法]采用火焰原子吸收法测定样品中重金属含量。[结果]土壤中金属含量大小顺序为  $Fe > Mg > Cu > Ni > Cr > Mn > Ni$ , Cr 污染达到 II 级标准; 紫茎泽兰对重金属有一定的富集作用, 特别是对 Mg、Cr、Ni、Pb 的富集系数均大于 1, 对 Cr 的转运系数为 1.333。[结论]紫茎泽兰可以作为煤渣污染土壤 Cr 的修复植物。

**关键词** 火焰原子吸收; 紫茎泽兰; 煤渣; 重金属

**中图分类号** S141.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)01-00106-01

### Enrichment and Phyto-remediation Characteristics of Heavy Metals in Cinder Contaminated Soil for *Eupatorium adenophorum*

HOU Hong-bo et al (Department of Biology and Chemistry, Baoshan College, Baoshan, Yunnan 678000)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the enrichment and phyto-remediation characteristics of heavy metals in cinder contaminated soil for *Eupatorium adenophorum*. [Method] 6 kinds of heavy metals were measured by atomic absorption. [Result] The order of the heavy metal content was  $Fe > Mg > Cu > Ni > Cr > Mn > Ni$ . The content of Cr reached the country's II standard. *Eupatorium adenophorum* could enrich heavy metals. EFs of Mg, Cr, Ni and Pb were above 1.0. TF of Cr was 1.333. [Conclusion] *Eupatorium adenophorum* could be used as a plant of phyto-remediation in cinder contaminated soil.

**Key words** AAS; *Eupatorium adenophorum*; Coal cinders; Heavy metal

煤作为现代工农业生产中的一种重要的能源被广泛地使用。煤燃烧后的煤渣成为一种较常见的固体垃圾。近年来,有研究者将煤灰作为重金属的固定剂<sup>[2-3]</sup>、土壤结构的改良剂<sup>[2]</sup>等。未作处理的煤渣富含多种重金属元素,会对土壤、水体造成一定的污染。重金属污染因其具有不可降解、迁移性强、毒害性大而备受关注。目前,研究重金属污染的热点是植物修复技术。紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)是一种菊科泽兰属多年生草本植物。它生长能力强,产量高,具有用于污染修复植物的多种优点<sup>[4-5]</sup>。笔者利用紫茎泽兰的这一生长性质,研究它对煤渣污染土壤中重金属的富集、修复特性。

## 1 材料与方

**1.1 试验材料** 煤渣污染土壤、紫茎泽兰采自云南省保山市隆阳区。Mg、Mn、Fe、Cu、Pb、Ni 标准液(1 000 mg/L)购于百灵威公司。所用的玻璃容器均用浓度 5% 硝酸浸泡过夜,再依次用蒸馏水、去离子水清洗。

**1.2 样品处理** 分离植株与土壤,用蒸馏水清洗植株,再用去离子水清洗 4~5 次,将土壤、植株根、茎、叶放入干燥箱中,105 ℃ 恒温干燥至恒重,冷却后,用植物粉碎机粉碎后过 80 目筛,装入塑料袋,密封待用。

分别用分析天平称取 0.5 g(精确到 0.000 1 g)植株根、茎、叶和土壤样品,于 50 ml 烧瓶中,加入硝酸 10 ml,静置 2 h,加热硝化至近干,冷却后加入 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>(3:1)混酸 10 ml,加热硝化至白烟冒尽,溶液近干,冷却后用浓度 0.5% HNO<sub>3</sub> 20 ml 溶解,转入 50 ml 容量瓶,用超纯水洗烧瓶 3 次,合并入容量瓶,定容。3 次重复,同时做空白。

**1.3 分析测定条件及方法** 将原标准溶液逐级稀释到所需浓度,用原子吸收分光光度计在最优条件(表 1)下测量,

采用标准曲线法,分别平行测定 3 次根茎叶及土壤中 Mg、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、Pb 7 种金属元素的含量。其中, Mg 含量在稀释样品 100 倍后测量, Fe 含量在稀释样品 50 倍后测定。

表 1 原子吸收分光光度计的测定条件

| 元素 | 波长<br>nm | 狭缝宽<br>度//nm | 灯电流<br>mA | 乙炔<br>L/min | 空气<br>L/min | 燃烧器<br>高度//mm |
|----|----------|--------------|-----------|-------------|-------------|---------------|
| Fe | 248.3    | 0.2          | 5.0       | 2.00        | 13.30       | 0             |
| Mg | 285.2    | 0.5          | 4.0       | 2.00        | 13.50       | 0             |
| Cr | 357.9    | 0.2          | 4.0       | 2.90        | 13.50       | 0             |
| Mn | 279.5    | 0.2          | 5.0       | 2.00        | 13.50       | 0             |
| Ni | 232.0    | 0.2          | 4.0       | 2.00        | 13.50       | 13.5          |
| Cu | 324.8    | 0.5          | 4.0       | 2.00        | 13.50       | 13.5          |
| Pb | 217.0    | 1.0          | 4.0       | 2.00        | 13.50       | 13.5          |

## 2 结果与分析

由表 2 可知,煤渣污染土壤中各种重金属含量大小顺序为  $Fe > Mg > Cu > Ni > Cr > Mn > Ni$ , 其中 Fe 含量高达 25 382.833 mg/kg, Cu 和 Cr 含量接近或高于国家土壤环境质量标准<sup>[6]</sup> II 类土壤标准,属于中度污染水平,而 Pb 含量小于自然背景含量(35 mg/kg)。紫茎泽兰各部位的重金属元素含量有一定的差异, Mg、Mn 含量的大小顺序为根部 > 茎 > 叶, Fe、Cu、Pb、Ni 含量大小顺序为根部 > 叶 > 茎, Cr 含量大小顺序为茎 > 叶 > 根。由横向比较可知,植株重金属含量与基质中该重金属含量呈正相关。

表 2 样品中各种金属元素的含量

| 样品    | Mg        | Cr      | Mn      | Fe         | Ni     | Cu     | Pb     |
|-------|-----------|---------|---------|------------|--------|--------|--------|
| 土壤    | 1 842.636 | 208.845 | 206.528 | 25 382.833 | 37.880 | 44.832 | 24.179 |
| 根     | 6 324.360 | 200.544 | 90.744  | 3 841.500  | 80.964 | 27.122 | 33.273 |
| 茎     | 2 810.052 | 301.784 | 27.198  | 848.564    | 5.222  | 28.938 | 5.440  |
| 叶     | 4 270.139 | 216.535 | 50.474  | 444.175    | 4.846  | 16.657 | 5.047  |
| 茎叶混合样 | 3 400.142 | 267.331 | 36.605  | 685.132    | 5.070  | 23.975 | 5.281  |

**基金项目** 保山学院青年科研基金重点项目(09B001K)。  
**作者简介** 侯洪波(1979-),男,河南开封人,讲师,硕士,从事天然产物及化学教学工作, E-mail: hhh826@163.com。  
**收稿日期** 2012-11-05

植物重金属富集系数(EF)是植物体内重金属含量与土壤中重金属含量的比值。转运系数是重金属在植株地上部

表 2 菌株液体发酵试验结果 g/L

| 编号     | 生物量            | 胞外多糖产量        |
|--------|----------------|---------------|
| PI 105 | 24.6 ± 0.3 aA  | 4.2 ± 0.3 bAB |
| PI 113 | 23.7 ± 0.2 aA  | 7.5 ± 0.2 aA  |
| PI 126 | 23.7 ± 0.1 aA  | 7.6 ± 0.1 aA  |
| PI 106 | 21.6 ± 0.2 aA  | 6.5 ± 0.1 aA  |
| PI 135 | 20.7 ± 0.1 aB  | 7.0 ± 0.2 aA  |
| PI 129 | 14.1 ± 0.3 aA  | 4.2 ± 0.3 aB  |
| PI 107 | 13.8 ± 0.3 aAB | 4.5 ± 0.3 aAB |
| PI 121 | 12.0 ± 0.2 bB  | 3.8 ± 0.2 bB  |
| PI 130 | 11.8 ± 0.1 bB  | 3.5 ± 0.1 bB  |
| CK     | 12.1 ± 0.1     | 3.8 ± 0.1     |

注:数据为平均值和标准差(n=3);同列数据后不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平差异显著。

**2.4 遗传稳定性试验结果** 由表 3 可见,新菌株 PI 106 和 PI 126 在传代至第 5、10 代后,以液体发酵生物量、多糖产量等参数均未出现显著降低,遗传性状稳定,而 PI 126 的各项试验参数均优于 PI 106。

表 3 遗传稳定性试验结果(n=3) g/L

| 菌株     | 生物量   |       |        | 多糖产量  |       |        |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|        | 第 1 代 | 第 5 代 | 第 10 代 | 第 1 代 | 第 5 代 | 第 10 代 |
| PI 106 | 21.6  | 21.3  | 21.4   | 6.5   | 6.5   | 6.6    |
| PI 126 | 23.7  | 23.6  | 23.4   | 7.6   | 7.0   | 7.1    |

### 3 讨论

离子束注入诱变具有质量、能量双重诱变效应的特征,不同于射线辐射,离子注入引发的生物效应既有能量沉积和动量传递,又有元素质量沉积,注入离子的不同电荷数、质量数、能量、剂量组合提供了众多诱变条件,通过这种电、能、质的联合作用,强烈影响生物细胞的生理生化特性,以引起基因突变,所以变异幅度大,有较高的突变率和较广的突变谱,突变体的遗传性能较稳定,回复突变率低。

(上接第 106 页)

分(茎叶、果实)质量分数和地下部分(根)质量分数的比值。富集系数用来衡量植株对生产环境中某种元素的吸收富集能力。转运系数用来衡量植株对生产环境中某种元素的迁移转运能力。由表 3 可知,紫茎泽兰对 Mg、Ni、Pb 有较强的富集能力,根部的富集系数都大于 1,但是茎叶对这 3 种元素的富集系数均小,使得其转运系数较小。紫茎泽兰对 Cr 的富集系数、转运系数均大于 1,可以用于煤渣污染土壤重金属 Cr 的修复治理。

表 3 富集系数和转运系数

| 系数   | 部位 | Mg    | Cr    | Mn    | Fe    | Ni    | Cu    | Pb    |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 富集系数 | 根  | 3.432 | 0.960 | 0.439 | 0.151 | 2.137 | 0.605 | 1.376 |
|      | 茎  | 1.525 | 1.445 | 0.132 | 0.033 | 0.138 | 0.645 | 0.225 |
|      | 叶  | 2.317 | 1.037 | 0.244 | 0.017 | 0.128 | 0.372 | 0.209 |
| 转运系数 |    | 0.538 | 1.333 | 0.403 | 0.178 | 0.063 | 0.884 | 0.159 |

### 3 讨论

煤渣污染可以造成土壤中多种重金属含量超标。植物修复技术是治理重金属污染的重要手段。该研究检测了煤

渣污染土壤中重金属含量,进一步研究了紫茎泽兰对受污染土壤重金属的富集、修复特性。结果表明,受煤渣污染土壤中重金属含量大小顺序为 Fe > Mg > Cu > Ni > Cr > Mn > Ni,其中 Cr 污染达到 II 级标准。紫茎泽兰对多种重金属有一定的耐受性,能够在较高浓度的重金属污染土壤上生长,而且对多种重金属有一定的富集作用,特别是对 Mg、Cr、Ni、Pb 的富集系数均大于 1,对 Cr 的转运系数为 1.333,可以作为煤渣污染土壤 Cr 的修复植物。

### 参考文献

- [1] 陈士瑜,陈惠. 菇菌栽培手册[K]. 北京:科学技术出版社,2003:270-271.
- [2] 周村山,马海乐. 桑黄及其药理作用研究进展[J]. 食用菌,2003(2):50-51.
- [3] IKEKAWA T, NAKANISHI M, UEHARA N, et al. Antitumor action of some basidiomycetes, especially *phellinus linteus*[J]. Gann, 1968, 59:155-157.
- [4] 郑立军,沈业寿,李俊虬,等. 桑黄胞外多糖药理活性的初步研究[J]. 食品科学,2007,28(1):318-321.
- [5] 吴丽芳,李红,余增亮. 离子束在生命科学中的应用[J]. 激光生物学报,1999,8(4):298-304.
- [6] 黄晨阳,张金霞,陈强,等. 食用菌菌种真实性鉴定酯酶同工酶电泳法(NY/T1097-2006)[S]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [7] 林兴生,李开本,陈体强,等. 11 个灵芝菌株的栽培性状和酯酶同工酶研究[J]. 江西农业大学学报,2001,23(1):80-84.
- [8] 中华人民共和国药典委员会. 中华人民共和国药典(第 1 部)[S]. 北京:电子工业出版社,2005:130.
- [9] 宋道军,姚建铭,邵春林,等. 离子注入微生物产生马鞍型存活曲线的可能作用机制[J]. 核技术,1999,22(3):130-132.
- [10] LI S C, YAO J M, YU Z L. Studies on mutation breeding of high-yielding xylanase strains by low energy ion beam implantation[J]. Plasma Science and Technology, 2007, 9(2):248-251.
- [11] LIU G J, MENG Y T, YANG S L, et al. Screening of biocontrol strain *Bacillus subtilis* by N<sup>+</sup> ion beam implantation[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(8):1658-1663.
- [12] 孙国琴,邢丽萍,王玉芬,等. 离子束注入技术在食用菌育种上的应用进展[J]. 内蒙古农业科技,2011(3):103-104,112.
- [13] 王创云,王陆军,秦作霞,等. N<sup>-</sup>离子束注入玉米自交系变异的生物学效应与分子标记分析[J]. 华北农学报,2011(5):131-134.
- [14] 孙鸿举,刘倩,张娜. 低能离子注入对仙客来幼苗生长发育的影响[J]. 内蒙古农业科技,2011(6):26-29.
- [15] 王凯荣,张玉烛,胡荣贵. 不同改良剂对降低重金属污染土壤上水道糙米铅镉含量的作用[J]. 农业环境科学学报,2007,26(2):476-481.
- [16] 赵文霞,冯辉. 粉煤灰中重金属元素分布规律的研究[J]. 粉煤灰综合利用,2002(2):38-39.
- [17] 刘莉,杨尽,苏小丽. 粉煤灰在土壤改良中机理研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(31):166-167,179.
- [18] 鲁平,桑卫国,马克平. 外来入侵种紫茎泽兰研究进展与展望[J]. 植物生态学报,2005,29(6):1029-1037.
- [19] 李雪瑶,应浩. 紫刺泽兰的危害、防治及综合利用[J]. 生物化学工程,2009,43(1):57-60.
- [20] 国家环境保护局南京环境科学研究所. 中华人民共和国国家标准. 土壤环境质量标准(GB15618-1995)[S]. 北京:中国标准出版社,2006.