

4种植物对铅、镉和砷污染土壤的修复作用研究

钟珍梅¹, 王义祥¹, 杨冬雪², 黄毅斌¹

(1. 福建省农科院农业生态研究所, 福州 350013; 2. 福建省环境监测中心站, 福州 350003)

摘要:通过盆栽试验从野生和栽培的植物中筛选具有吸收重金属 Cd、As 和 Pb 的超富集植物。结果表明, 重金属 Cd、As 和 Pb 处理对所选的 4 种植物的株高均无显著影响, 但显著降低皱叶狗尾草和百喜草的生物量, As 胁迫显著降低辣蓼的生物量。4 种植物地上部重金属含量均未超过临界指标含量, 其中辣蓼地下部 Cd 含量、香根草地下部 Pb 含量和皱叶狗尾草地下部 Pb 含量超过临界指标含量, 具有修复污染土壤的潜能。

关键词:富集植物; 重金属污染土壤; 生物量; 吸收

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0123-04

Phytoremediation Effects of Four Plants on Contaminated Soils by Heavy Metal Lead, Cadmium and Arsenic

ZHONG Zhen-mei¹, WHANG Yi-xiang¹, YANG Dong-xue², HUANG Yi-bin¹

(1. Agricultural Ecology Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China; 2. Fujian Environmental Monitoring Central Station, Fuzhou 350003, China)

Abstract: A pot experiment was developed to screen hyperaccumulator which can extract heavy metal lead, cadmium and arsenic from contaminated soils in the wild and cultivated plants. The experiment showed that of four plants hadn't be significant affected by heavy metals, however the biomass of wrinkledleaf bristlegrass and bahia grass was decreased significantly, the biomass of polygonum hydropiper had the same result by arsenic. The heavy metal content of four plants above-ground part didn't exceed critical values, however there of lead in under-ground part of wrinkledleaf bristlegrass and vetiver grass and that of cadmium in under-ground of polygonum hydropiper were exceed critical values. Our results indicate polygonum hydropiper, wrinkledleaf bristlegrass and vetiver grass have phytoremediation potential.

Keywords: hyperaccumulator; heavy metals contaminated soils; biomass; absorption

土壤重金属污染是非常严重的环境问题, 近十几年来, 利用绿色植物清除土壤重金属污染物的修复技术(Phytoremediation)已成为热点^[1], 该技术具有不破坏土壤结构、无二次污染、成本较低、操作简单等优点, 是一种可靠的、易于被接受且具有发展潜力的污染土壤修复技术^[2]。常用的植物修复法有两种^[3]: 一种方法是通过超富集植物吸收 1 种或 2 种重金属, 这

种植物虽然仅具备很低的生物量, 但在植物枝叶中重金属含量很高^[4]; 另一种方法是利用生物量大的植物, 这种植物对某种重金属没有吸收的专一性, 枝叶中重金属的含量不高, 但它有可观的生物量, 因此也能吸收大量重金属。在研究、应用和推广植物修复技术的过程中, 筛选吸收重金属的植物是成功实施和运用该方法的前提和基础。

目前, 在超积累植物筛选方面, 我国已发现数十种具有超富集能力的植物^[5], 并利用这些植物开展了土壤及水体污染的植物修复工作^[6-7], 但多数植物单一性强, 且适宜于南方土壤污染治理的较少。为丰富既适应南方生态环境条件又能超富集重金属的植物

收稿日期: 2009-09-10

基金项目: 福建省科技厅项目(2007Y0003); 福建省自然科学基金项目(2008J0257)

作者简介: 钟珍梅(1975—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业生态研究。

通讯作者: 黄毅斌 E-mail: ecology@public.fz.fj.cn

品种资源,本研究采用野外调查和室内人工栽培相结合的方法,测定重金属胁迫下植物生长状况的变化及重金属在植物体内的含量,通过植物对重金属的耐性和吸收效果筛选超富集植物,旨在丰富我国超富集植物品种资源,并为植物修复技术的顺利开展提供植物资源和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

盆栽试验在农业生态研究所网室进行。盆栽用土取自山地红壤,其基本理化性质为:全氮 0.005%,全磷 0.160%,全钾 2.336%,有机质 0.755%,pH 值 5.23,速效氮 $7\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,速效磷痕量,速效钾 $32.05\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。从野外尾矿周围采集的植物材料在农业生态研究所苗圃育苗培育,从中选择皱叶狗尾草和辣蓼两种植物进行实验室盆栽试验。另外,从该所植物种质资源圃中选出2种植物(香根草、百喜草)同时进行盆栽试验。

1.2 试验设计

准备84个口径为25cm的塑料盆每盆装土7.7kg,施入基肥 $\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1377.88mg、KCl 656.589mg、 $\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1753.157mg、 $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ 2200.8mg,拌匀。分别选取长势比较一致的4种植物幼苗移栽到塑料盆中,缓苗两周后进行重金属胁迫处理。共设4个处理:对照(CK),不加重金属;100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的Cd胁迫,以 $\text{CdCl}_2\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 的形式每盆加入1564.18mg;300 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的As胁迫,以 $\text{Na}_2\text{HAsO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的形式每盆加入9620.17mg;1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的Pb胁迫,以 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 的形式每盆加入12308.48mg。这3种重金属处理的土壤污染程度均远远超过国家规定的三级污染土壤标准(GB15618—1995),每个处理设置3次重复。将3种重金属分别按每个处理配成1000mL的溶液装入小喷壶,均匀喷洒在土壤中,植株生长期间补充水分。待植株生长两个月后收割植物,用自来水洗净根系泥土,然后用蒸馏水清洗整个植株,用吸水纸吸干表面水分,在干燥通风处快速晾置10min,分离地上部和地下部,茎、叶、根分开称重,然后置于90℃干燥箱中杀青20min,于60℃下烘至恒重,用电子天平称取各部分干重,烘干样品用万能粉碎机粉碎,用于铅、镉和砷含量的测定。

1.3 测定方法

植物生物量、株高用常规方法测定,叶片和根中

金属铅、砷和镉含量送至福建省分析检测中心检测,采用的测定方法分别为GB/T5009.12—2003、GB/T5009.11—2003和GB/T5009.15—2003。

1.4 数据分析

采用Excel和SPSS进行数据处理和统计分析,生物量数据采用“平均数±标准误”,重金属含量为三次重复的混合样进行测定。

2 结果与分析

2.1 重金属胁迫下植物株高、生物量的变化

重金属胁迫下4种植物株高、生物量的变化如表1所示。重金属Cd、As和Pb胁迫对皱叶狗尾草的株高无显著影响,但皱叶狗尾草地上部干重分别比对照显著降低了20.74%、35.04%和26.66%,处理间差异不显著,As处理后皱叶狗尾草的地下部干重显著低于对照38.68%,但Cd和Pb处理与对照之间差异不显著。3种重金属胁迫对香根草的株高、地上部干重和地下部干重均无显著影响,对百喜草和辣蓼的株高也无显著影响。Cd、As和Pb处理分别使百喜草地上部干重比对照显著降低34.13%、24.63%和22.69%,但处理间无显著差异,Cd处理使百喜草地下部的干重显著降低36.60%。As胁迫使辣蓼地上部干重比对照显著降低了54.41%,其他两处理与对照相比差异不显著,地下部干重显著低于Cd处理,但与对照及Pb胁迫相比差异不显著。表明重金属胁迫对植株的株高影响不大,但对生物量有影响。

2.2 植物对土壤中Cd、Pb和As的吸收效果分析

超积累植物(Hyperaccumulator)一词最初是由Brooks等提出的,一般认为超积累植物最显著的特征是其茎或叶富集重金属的含量达到临界指标,其中Cd、Pb和As的临界分别为100、1000和1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,且植物地上部重金属含量大于其根部重金属含量^[8]。

重金属As胁迫后4种植物地上部和地下部As含量变化如表2所示。对As的吸收均表现为根>叶,辣蓼地上部对As的吸收最大(36.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),皱叶狗尾草次之(9.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),最小的为百喜草(6.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);百喜草地下部对As的吸收最大(130 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),最小的是辣蓼(28.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),均小于As的临界含量1000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,说明这4种植物不具备富集重金属As的潜能,但对As有一定的耐性。4种植物地上部对As的吸收大小顺序为辣蓼>皱叶狗尾草>香根草>百喜草,地下部对As的吸收

表 1 重金属胁迫下 4 种植物株高、生物量的变化

Table 1 The variety of height and biomass of four plants under heavy metal stress

植物名称	项目	CK	As 胁迫	Cd 胁迫	Pb 胁迫
皱叶狗尾草	株高/cm	71.33 ± 6.96a	81.67 ± 4.41a	77.33 ± 11.85a	64.33 ± 4.33a
	地上部干重/g	104.17 ± 2.41a	67.67 ± 6.93b	82.57 ± 3.37b	76.40 ± 4.5b
	地下部干重/g	24.57 ± 2.55a	15.07 ± 0.64b	17.37 ± 1.74ab	18.40 ± 3.63ab
香根草	株高/cm	162.00 ± 2.00a	162.33 ± 1.45a	161.50 ± 1.50a	161.00 ± 6.00a
	地上部干重/g	158.30 ± 20.18a	144.17 ± 4.31a	156.37 ± 7.03a	141.47 ± 11.87a
	地下部干重/g	20.63 ± 2.31a	26.83 ± 4.39a	21.70 ± 0.51a	28.70 ± 1.70a
百喜草	株高/cm	62.00 ± 2.00a	55.00 ± 5.00a	55.33 ± 2.91a	59.33 ± 2.67a
	地上部干重/g	110.47 ± 2.17a	83.27 ± 2.99b	72.77 ± 10.07b	85.40 ± 4.01b
	地下部干重/g	52.05 ± 2.85a	43.93 ± 7.22ab	33.00 ± 5.58b	54.43 ± 3.07a
辣蓼	株高/cm	64.50 ± 6.50a	58.50 ± 1.50a	60.00 ± 0.00a	61.00 ± 3.00a
	地上部干重/g	57.3 ± 0.9a	25.55 ± 2.25b	61.5 ± 5.9a	60.93 ± 4.85a
	地下部干重/g	5.9 ± 0.30ab	1.05 ± 0.25b	8.07 ± 2.03a	6.07 ± 1.22ab

注:表中数据同行字母不同的表示差异显著,相同的表示差异不显著,显著性水平为 0.05。
Note: The different letter following data in the table mean significant differences, the same in contrary($P < 0.05$).

大小顺序与地上部相反,为百喜草>香根草>皱叶狗尾草>辣蓼,表明将重金属 As 从地下部运输至地上部的能力大小顺序为皱叶狗尾草>香根草>百喜草>辣蓼。

重金属 Cd 胁迫后 4 种植物地上部和地下部 Cd 含量变化如表 2 所示。地上部对 Cd 吸收最大的植物是辣蓼($68\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),其地下部 Cd 含量($200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)虽超过 Cd 临界含量($100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),但地下部含量大于地上部含量,表明辣蓼根具有积累重金属 Cd 的能力,但不具备从地下运输至地上的能力。地上部对 Cd 吸收最小的是香根草($11\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),皱叶狗尾草及百喜草地上部 Cd 含量分别为 60 和 $36\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。4 种植物地下部 Cd 含量最高的为辣蓼,最小的为百喜草($5.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),香根草和皱叶狗尾草根 Cd 含量分别为 55 和 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在这 4 种植物中,皱叶狗尾草地下部 Cd 含量达到 Cd 临界含量,但地上部

小于 Cd 临界含量,说明其具有吸收重金属 Cd 的潜能,但不具备超富集的特征,而香根草和百喜草吸收重金属 Cd 的能力较差。4 种植物地上部对 Cd 的吸收大小顺序为辣蓼>皱叶狗尾草>百喜草>香根草,地下部对 Cd 的吸收大小顺序为辣蓼>皱叶狗尾草>香根草>百喜草。

重金属 Pb 胁迫后 4 种植物地上部和地下部 Pb 含量变化如表 2 所示。辣蓼地上部对 Pb 吸收最大($369\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),最小的为香根草($24.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),均小于 Pb 临界含量 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;地下部 Pb 含量最大的是百喜草($1\,150\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),其次皱叶狗尾草($1\,050\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),最小的是香根草($136\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),百喜草和皱叶狗尾草地下部 Pb 含量均超过临界含量,但地下部含量小于地上部,说明不具备超积累植物的潜能,但对重金属 Pb 有一定的吸收能力和耐受力。4 种植物地上部对 Pb 的吸收大小顺序为辣蓼>百喜草>皱叶狗尾草>香根草,地下部对 Pb 的吸收大小顺序为百喜草>皱叶狗尾草>辣蓼>香根草。

2.3 植物对土壤中 Cd、Pb 和 As 的吸收总量分析

有些植物对某种重金属没有吸收的专一性,在植物的枝叶中重金属的含量不高,但它有大量的生物量,也能吸收大量重金属,因此将重金属单位含量乘植物的生物量可得出表 3 的数据。4 种植物对重金属 Pb 吸收总量最大,其中辣蓼吸收重金属 Pb 总量在 4 种植物中又达到最大值(23.73 mg),其后依次为皱叶狗尾草、百喜草和香根草。皱叶狗尾草对重金属 Cd 的吸收总量最大,生长一季可从土壤中带走 7.30 mg

表 2 重金属胁迫下 4 种植物地上部和地下部
重金属含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 2 Aboveground and underground heavy metal content
of four plants under heavy metal stress($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

植物	As 含量		Cd 含量		Pb 含量	
	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
皱叶狗尾草	9.6	50.6	60	100	34	1 050
香根草	8.4	69	11	55	24.8	136
百喜草	6.6	130	36	5.9	69.1	1 150
辣蓼	36.6	28.6	68	200	369	206

表3 4种植物吸收的重金属总量(mg)
Table 3 Heavy metals total content of four plants(mg)

植物种类	As			Cd			Pb		
	地上部	地下部	合计	地上部	地下部	合计	地上部	地下部	合计
皱叶狗尾草	0.65	0.76	1.41	5.28	2.02	7.30	2.60	19.32	21.92
香根草	1.28	1.85	3.13	1.76	1.25	3.01	3.94	4.13	8.07
百喜草	0.55	5.71	6.26	0.80	1.82	2.62	2.75	7.40	10.15
辣蓼	0.93	0.037	0.967	4.18	1.61	5.79	22.48	1.25	23.73

注:表中数据是通过重金属含量和植物的生物量相乘所得。

Note: Data in the table were multiplication of the heavy metal content and plant biomass.

的Cd,4种植物对重金属Cd吸收总量大小顺序为皱叶狗尾草>辣蓼>香根草>百喜草。4种植物对As的吸收总量最小,其对As吸收总量大小顺序为百喜草>香根草>皱叶狗尾草>辣蓼。单位重量的皱叶狗尾草中重金属Pb和Cd含量并不大,但由于其生物量较大,吸收总量也较大,表明植物对重金属的修复作用也受其生物量的影响。

3 结论和讨论

植物对重金属的吸收效率取决于其耐性、地上部重金属含量、生物量、生长速度及生物富集系数^[8-11],其中,耐性是一个关键因素^[12]。根据我国土壤环境质量标准(GB15618—1995),重金属Cd、Pb、As含量分别超过1.0、500、40 mg·kg⁻¹的土壤属于三级土壤,即这类土壤重金属含量已经达到保障农林业生产和植物正常生长的土壤临界值,超过该值将抑制植物的生长,对植物和农林业生产产生危害。本研究施入土壤的重金属Cd、Pb、As含量分别为100、1 000和300 mg·kg⁻¹,均属于重度污染土壤。在所选择的几种植物中,重金属Cd、As和Pb胁迫后皱叶狗尾草和百喜草生长受到抑制,表现为生物量降低,但生长仍居正常,表明这4种植物对重金属Cd、Pb和As均有一定的耐性。

除耐性外,超积累植物还应达到3个基本标准^[9-10]:(1)临界含量特征标准,即植物茎或叶中重金属含量要大于一定的临界值,其中Cd为100 mg·kg⁻¹、Pb和As均为1 000 mg·kg⁻¹;(2)转移特征标准,即植物地上部(主要是指茎或叶)重金属含量大于其根部重金属含量;(3)富集系数特征标准,即植物地上部富集系数大于1.0(茎、叶、籽实部分的平均数),至少当土壤中重金属浓度与超积累植物应达到的临界含量标准相当时,植物地上部富集系数大于1.0。目前,关于吸收重金属的植物的筛选研究一般通过两

种方法完成,一种方法是通过野外调查,尤其在重度污染区域周边寻找超富集植物;另外一种方法是在实验室条件下测定植物的各项指标以确定其修复能力,筛选具有修复潜力的植物。本试验采用两种方法相结合筛选的的几种植物均未达到超富集植物的标准,但由于其对重金属有一定的耐性,且辣蓼地下部Cd含量、香根草地下部Pb含量和皱叶狗尾草地下部Pb含量超过了临界指标含量,笔者以为在实际应用中也可以用于污染土壤的植物修复。

参考文献:

- [1]Kramer U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2005, 16: 133-141.
- [2]钟珍梅, 杨冬雪, 黄勤楼, 等. 土壤重金属污染的植物修复技术研究进展[J]. 福建农业学报. 2006, 21(增刊): 145-151.
- [3]Mcgrath S P, Zhao F J, Lombi E. Phytoremediation of metals, metalloids and radio nuclides[J]. *Adv Agron*, 2002, 75: 156.
- [4]Keller C, Hammer D, Kayser A, et al. Root development and heavy metal phytoextraction Efficiency: Comparison of different plant species in the field[J]. *Plant Soil*, 2003, 249(1): 67-81.
- [5]王庆仁, 崔岩山, 董艺婷. 植物修复——重金属污染土壤整治有效途径[J]. 生态学报, 2001, 21(2): 326-331.
- [6]陈同斌, 范稚莲, 雷梅, 等. 磷对超富集植物蜈蚣草吸收砷的影响及其科学意义[J]. 科学通报, 2002, 47(15): 1156-1159.
- [7]陈同斌, 韦朝阳, 黄泽春, 等. 砷超富集植物蜈蚣草及其对砷的富集特征[J]. 科学通报, 2002, 47(3): 207-210.
- [8]魏树和, 周启星, 王新. 18种杂草对重金属的超积累特性研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2003, 11(2): 152-160.
- [9]周启星, 魏树和, 刁春燕. 污染土壤生态修复基本原理及研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 419-424.
- [10]魏树和, 周启星, 刘睿. 重金属污染土壤修复中杂草资源的利用[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 432-440.
- [11]韦朝阳, 陈同斌. 重金属污染植物修复技术的研究与应用现状[J]. 2002, 17(6): 833-839.
- [12]Chancy R L, Minnie M, Li Y M, et al. Phytoremediation of soil metals[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 1997, 8: 279-284.