

植物修复镉污染土壤的差异性研究

韦良焕¹, 赵先贵²

(1. 喀什师范学院 生命与环境科学系, 新疆 喀什 844000; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 以茶花凤仙和百日草为供试植物, 对不同镉浓度条件下两种植物的生物量、镉含量及其对镉的吸收、富集状况进行了研究。结果表明, 不同程度镉浓度处理的土壤中生长的茶花凤仙和百日草对镉的吸收和富集特性不同, 生物量随土壤镉浓度的升高而升高, 但达到一定浓度时, 生物量又随土壤镉浓度的升高而降低。茶花凤仙在低浓度区域, 富集镉的能力要强于百日草, 但是在高浓度区域时, 茶花凤仙富集镉的效果却低于百日草的富集效果。本试验中所选的两种植物, 百日草和茶花凤仙均没有达到超积累植物要求的标准。

关键词: 植物修复; 土壤污染; 镉

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0099-04

中图分类号: X53

Phytoremediation Differences in Cadmium Polluted Soil

WEI Liang-huan¹, ZHAO Xian-gui²

(1. Department of Life and Environmental Science, Kashi Teacher's College, Kashi, Xinjiang 844000, China;

2. College of Tourism and Environmental Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: This article studies the biomass and the content, absorbance, and enrichment of cadmium of the two tested plants of *Impatiens balsamica* and *Zinnia elegans* Jacq under different conditions of cadmium concentration. Results show that by the two plants growing in soil have the different characteristics of cadmium absorbance and enrichment under the different conditions of cadmium concentration. The biomass increases with the increase in cadmium concentration and then decreases at a certain concentration. The enrichment ability of cadmium for *Impatiens balsamica* is stronger than *Zinnia elegans* Jacq at the low concentration, but it converses in the high concentration. So, neither of the two tested plants reaches the standard of the hyper-accumulator.

Keywords: phytoremediation; soil contamination; cadmium

土壤是人类社会赖以生存和发展的重要自然资源,但是随着经济的迅速发展、城市化进程的加剧以及人类对于自然资源的不合理利用,向土壤中排放了大量的污染物质,造成了土壤不同程度的污染。其中,土壤重金属污染是一个全球关注的问题,而当前的重金属污染主要集中在 Cd, Hg, Pb, Cr, As 等生物毒性显著的元素污染;镉以在土壤移动性大、毒性高成为最受关注的元素^[1-2]。因此,近年来,如何控制和减轻重金属镉对环境的污染和危害已成为国内外学者研究的热点问题。

目前土壤重金属污染的修复主要包括工程治理措施、化学治理方法以及生物修复技术 3 种。以超积累植物吸收富集土壤中的重金属为基础发展起来的植物修复(Phytoremediation)技术是近年来国际上兴

起的一种治理重金属污染土壤的新技术^[3],因其廉价、就地、土壤免遭扰动的优点而倍受关注^[4]。本研究通过盆栽实验,测定和分析了两种植物体内的镉含量以及在不同镉浓度条件下植物对镉的吸收和富集状况,并对这两种植物修复镉污染的能力进行了比较分析。

1 材料和方法

1.1 供试材料

试验中的供试植物为:茶花凤仙(*Impatiens balsamica*)和百日草(*Zinnia elegans* Jacq.)。供试土壤为褐土,取 0—20 cm 表层土壤,自然风干,混合均匀,土壤 pH 值为 8.06,有机质含量为 10.74 g/kg。试验供试试剂为: Cd(NO₃)₂·4H₂O,含量不少于

99.0%, 分子量为 308.49; 65% 浓 HNO_3 ; 5% 稀 HNO_3 ; 30% H_2O_2 ; 浓高氯酸。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 本试验分为盆栽试验和室内分析两部分。试验设计的镉处理浓度梯度分别为 5, 25, 50, 75 和 100 mg/kg 的系列; 每个处理浓度设两个重复, 同时设不施镉的处理为对照。

根据所设镉的浓度梯度, 供试土壤经过风干粉碎后, 每盆准确称量 5 kg, 拌入 0.222 4 mol/L Cd (NO_3)₂ · 4H₂O 标准溶液, 装盆, 加入的体积分别为 1, 5, 10, 15 和 20 ml; 放置 5~7 d。

种植植物, 露天栽培, 无遮雨或遮阳设施, 定期观察植株生长状况, 根据盆中缺水情况, 不定期的给植物补充水分, 60 d 后, 收获取样分析测定不同处理下植物体内不同部位的镉含量。试验结果均采用平均值处理。

1.2.2 样品预处理 (1) 处理期间观察记录植株长势, 收获时将植物分根、茎、叶共 3 个部分, 分别用自来水充分冲洗, 以去除黏附于植物样品上的泥土和其它污染物, 再用蒸馏水清洗, 沥去水分, 在烘箱中于 65 °C~70 °C 恒温烘烤 15~24 h 至完全干燥。(2) 将干燥的植物样品称重以计算生物量, 然后置于研钵内, 研成粉末状, 备用。(3) 称取 1.000 0 g 左右的样品, 放到微波消解专用的烧杯中, 加入 15 ml 65% 浓 HNO_3 和 2 ml 30% H_2O_2 , 静置 1 h, 然后进行微波消解。(4) 取出样品, 将其移置塑料烧杯中, 同时加入 0.5 ml 高氯酸, 在电热板上加热消解, 直到溶液接近无色透明且无油层时, 取下样品, 冷却, 并加入 3 ml 5% HNO_3 溶解。(5) 将样品定容至 50 ml 的容量瓶中, 待测。同时做空白对照。

1.2.3 镉含量的测定 配置镉的标准溶液, 绘制标准曲线, 在原子吸收分光光度计(北京 TAS-990 型)上, 波长为 228.8 nm 时测定溶液中的镉含量。

2 试验原理

植物修复(Phytoremediation)是指是指将某种特定的植物(包括草、灌、乔)种植在重金属污染的土壤上, 而该种植物对土壤中的污染元素具有特殊的吸收富集能力, 将植物收获并进行妥善处理(如灰化回收)后可将该重金属移出土壤, 达到污染治理与生态修复的目的^[5,6]。而超积累植物是进行土壤植物修复的基础部分。

超积累植物(Hyperaccumulator)也叫超富集植物, 特指在地上部分能超量积累一种或几种重金属的一类植物。一般认为超积累植物应具有以下特征^[7]:

(1) 超积累植物地上部分的重金属含量是同等生境条件下其他普通植物含量的 100 倍以上;(2) 在污染土壤生长旺盛, 生物量大, 能正常完成生活史;(3) 一般而言, 植物体内重金属临界含量为 Zn 1000 mg/kg, Cd 100 mg/kg, Au 1 mg/kg; Pb, Cu, Ni, Co 均为 1 000 mg/kg。富集系数(BCF)和转运系数(TF)是衡量植物是否为超积累植物的重要指标, 其计算式为:

$$\text{高集系数} = \frac{\text{地上部器官中重金属含量}}{\text{土壤中重金属含量}}$$

$$\text{转运系数} = \frac{\text{茎叶中重金属含量}}{\text{根部重金属含量}}$$

一般认为, 超积累植物其富集系数和转运系数都应该大于 1。

3 结果与分析

从植物播种到收获期间, 历经 60 d, 定期观察各盆中的植株长势, 由于生长时间不断增加, 与对照相比, 不同浓度镉植物生长也发生着不同的变化。

图 1 为茶花凤仙在土壤镉浓度为 25 和 100 mg/kg 时的长势情况。很明显, 当土壤镉浓度为 100 mg/kg 时, 茶花凤仙的生长缓慢, 植株矮小, 茎细, 叶片较小, 且老叶已经死亡, 与低浓度盆中的植株长势有着明显的区别。

图 2 为百日草在镉浓度为 5, 50, 100 mg/kg 时的长势情况, 同样, 在不同镉浓度处理下, 各植株的长势情况也有着明显的区别, 说明随着土壤镉浓度的不断升高, 植物受镉的迫害程度也越大, 表现在它们各自的长势、生物量、吸镉量以及富集系数和转运系数等各个方面。

3.1 对植物生物量的影响

从表 1 可以看出, 茶花凤仙、百日草这两种植物在土壤镉浓度为 5, 25 mg/kg 时根、茎、叶的生物量与对照相比都有增加, 但当土壤中镉浓度的不断升高, 植物各部位的生物量与对照相比开始下降。这表明土壤镉浓度在 5~25 mg/kg 之间时, 镉对这 3 种植物的生长都起到积极的促进作用, 镉的存在有利于它们的生长; 而在 75~100 mg/kg 之间时镉对这 3 种植物的生长起到了抑制作用, 表现为其生物量与对照相比逐渐减少。当土壤中镉浓度达到 100 mg/kg 时, 茶花凤仙根、茎、叶的生物量分别比对照降低了 14.29%, 40.49%, 43.63%; 百日草根、茎、叶的生物量分别比对照降低了 54.73%, 51.96%, 50.32%。

3.2 对植物体内镉含量的影响

植物对于镉污染土壤的修复, 其体内镉含量是最

关键的指标之一。只有能够大量吸收富集镉的植物才有可能修复被镉污染的土壤。表 2 为不同镉浓度

条件下各植物体内地上部分和地下部分重金属镉的含量。



图 1 镉浓度为 25 和 100 mg/kg 时茶花凤仙的长势情况



图 2 镉浓度为 5, 50, 100 mg/kg 时百日草的长势情况

表 1 不同镉浓度下植物不同部位的生物量 g/盆

植物种类	处理 Cd 浓度/(mg · kg ⁻¹)						
	0	5	25	50	75	100	
茶花凤仙	根	0.63	0.98	0.82	0.78	0.61	0.54
	茎	1.21	1.83	1.59	1.42	1.07	0.72
	叶	2.59	4.25	3.36	2.06	1.77	1.46
百日草	根	2.01	2.85	2.03	1.49	1.07	0.91
	茎	4.33	7.85	5.53	2.66	2.30	2.08
	叶	10.79	17.41	12.60	6.87	5.81	5.36

表 2 不同镉浓度下植物不同部位镉含量 mg/kg

植物种类	Cd 处理浓度/(mg · kg ⁻¹)						
	0	5	25	50	75	100	
茶花凤仙	地下	0	24.23	54.52	76.14	96.09	120.49
	地上	0	15.40	36.99	48.46	51.99	61.65
百日草	地下	0	9.25	62.62	110.79	111.71	345.45
	地上	0	9.12	40.84	49.56	70.24	94.51

从表 2 可以看出, 茶花凤仙、百日草这两种植物各部位的镉含量随土壤中镉处理浓度的升高而增加, 说明了不同植物对镉的耐受程度不同, 相同植物不同镉处理浓度下对镉的耐受程度也不相同, 而且这两种植物地上部分和地下部分的镉含量符合大部分植物对重金属的富集规律, 即地下部 > 地上部。

表 2 数据显示, 茶花凤仙与百日草对镉的吸收能力差异比较大。在土壤镉浓度为 5 mg/kg 时, 地下部分和地上部分镉含量均是茶花凤仙 > 百日草; 在土壤镉浓度为 25, 50, 75, 100 mg/kg 时, 地下部分和地上部分镉含量均是百日草 > 茶花凤仙, 表明在低浓度区域范围内茶花凤仙吸收镉的能力大于百日草, 但随着土壤镉浓度不断升高, 茶花凤仙对镉的吸收能力明

显低于百日草, 而当土壤镉浓度为 100 mg/kg 时, 百日草的地上部吸收镉含量达到 94.51 mg/kg, 接近镉超积累植物地上部含量的要求。因此, 总体来看, 百日草对于镉的吸收能力要大于茶花凤仙。

3.3 对植物富集镉能力的影响

富集系数也是衡量一种植物对重金属富集能力大小的指标之一。如图 3 所示, 为供试的两种植物茶花凤仙与百日草的地上部分富集系数随土壤镉浓度变化曲线图。

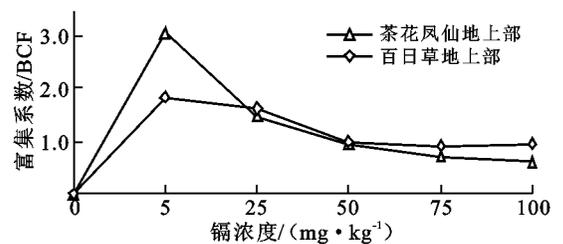


图 3 富集系数随镉浓度变化曲线

图 3 看出: 茶花凤仙和百日草地上部分的富集系数随土壤镉浓度的升高而降低。在土壤镉浓度为 5~25 mg/kg 时, 供试的两种植物其地上部分富集系数均大于 1, 分别为 3.08, 1.85 和 1.47, 1.63; 说明在低浓度区域时, 这两种植物对镉的富集能力都比较好; 随着土壤镉浓度的升高, 当土壤镉浓度为 50~100 mg/kg, 茶花凤仙和百日草地上部分的富集系数均小于 1, 最小值分别为 0.62 和 0.94。这表明, 在高浓度区域时, 供试的两种植物对镉的耐受性远低于低浓度区域时的耐受性, 而且从图中可以看出, 在高浓度区域时, 百日草的耐镉能力要大于茶花凤仙的耐镉能力。

3.4 对植物转运镉能力的影响

要评判一种植物能不能用来修复重金属镉, 除了

要求植物生物量比较大、地上部分镉含量 $> 100 \text{ mg/kg}$ 、富集系数 > 1 之外,还要求植物对镉的迁移转运能力比较好。通常用转运系数来评价植物对重金属从地下部向地上部的运输和富集能力^[8]。图 4 为茶花凤仙和百日草转运系数随土壤镉浓度变化的曲线图。

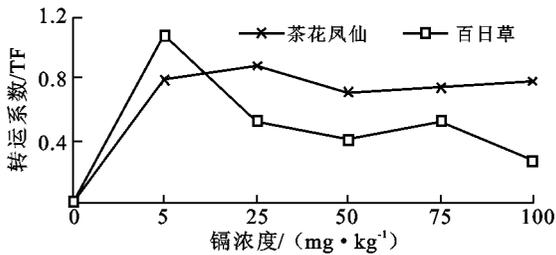


图 4 转运系数随镉浓度变化曲线

从图 4 可以看出,在土壤镉浓度为 5 mg/kg 时,茶花凤仙和百日草的转运系数都出现了最大值,分别是 0.80 和 1.08,而且百日草在此浓度的转运系数大于 1,说明在此浓度,这两种供试植物能够较好的将镉从植物地下部分转运到地上部分,达到了修复的目的;但是,随着土壤镉浓度的继续升高,这两种植物由于受到镉的毒害不断加深,对于镉的运输和富集能力也不断降低,只是茶花凤仙的运输和富集能力要快于百日草。

4 结论

(1) 土壤中镉处于低浓度范围时,植物体内各部分的生物量随土壤镉浓度的升高而增加,随着镉浓度不断升高,达到某一浓度时,生物量又随土壤镉浓度的升高而降低。说明在低浓度范围时重金属镉对植物生长产生了一种积极的促进作用,使得其生物量有所增加,但是随着镉浓度的继续增加,植物受镉的毒害不断加深,植物则表现出不同程度的中毒症状,生

物量也随之减少。

(2) 不同镉浓度处理不同种植物对镉的吸收和富集特性不同。茶花凤仙在低浓度区域,富集镉的能力要强于百日草,但是在高浓度区域时,茶花凤仙富集镉的效果却低于百日草的富集效果。

(3) 两种植物在低浓度区域时对于镉的富集转运能力较好,但随着土壤镉浓度的继续升高,受到重金属镉的迫害,富集转运能力也不断下降。

(4) 综合植物各部位的生物量、镉的含量、富集系数以及转运系数来看,参试的两种植物都没有达到超积累植物的标准,不能应用于镉污染土壤的修复。

[参 考 文 献]

- [1] Simon L. Cadmium accumulation and distribution in sunflower plant [J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21 (2): 341-352.
- [2] Moreno C J, Moral R, Perez E A, et al. Cadmium accumulation and distribution in cucumber plant [J]. Journal of Plant Nutrition, 2000, 23(2): 243-250.
- [3] 杨肖娥,龙新宪,倪吾钟,等. 东南景天(*Sedum alfredii* H.): 一种新的锌超积累植物 [J]. 科学通报, 2002, 47 (13): 1003-1006.
- [4] 孙铁珩,李培军,周启星,等. 土壤污染形成机理与修复技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [5] 韦朝阳,陈同斌. 重金属超积累植物及其植物修复技术的研究进展 [J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1196-1203.
- [6] Salt D E, Smith R D, Raskin I, et al. Phytoremediation [J]. Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mol Biol, 1998, 49: 643-668.
- [7] 李法云,曲向荣,吴龙华,等. 污染土壤中生物修复理论基础与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [8] 吴双桃. 镉污染土壤超富集植物选择和镉-锌复合污染试验研究 [D]. 长沙: 中南林学院, 2003.