

白宏锋, 李晓明. 超积累植物壶瓶碎米荠的镉富集[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(1): 76-79.

## 超积累植物壶瓶碎米荠的镉富集

白宏锋, 李晓明

(湖州师范学院, 浙江 湖州 313000)

**摘要:** 通过野外调查和人工栽培试验, 研究了壶瓶碎米荠(*Cardamine hupingshanensis*) 植株的镉含量。在自然条件下, 壶瓶碎米荠植株平均镉含量随着生长时间的推移而增加; 地上部镉含量变化范围为189~3 800 mg/kg, 地上部与地下部镉含量的比值为1.13, 变化范围为0.83~1.42; 富集系数的平均值为209.10, 变化范围为42.28~913.50。在人工栽培条件下, 壶瓶碎米荠地上部镉含量随土壤中镉浓度的增加而增加, 当土壤中镉含量超过50.00 mg/kg, 生物产量开始降低。在相同的土壤条件下, 大棚栽培条件下壶瓶碎米荠植株富集镉能力和生物产量均好于露天栽培条件。表明, 壶瓶碎米荠是一种生物产量高、富集镉能力强的超积累新材料, 在土壤镉污染修复方面具有比较好的应用前景。

**关键词:** 壶瓶碎米荠; 富集植物; 镉; 植物修复

**中图分类号:** S647 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2012)01-0076-04

## Cadmium accumulation in hyper accumulator *Cardamine hupingshanensis*

BAI Hong-feng, LI Xiao-ming

(Huzhou Normal College, Huzhou 313000, China)

**Abstract:** Under wild condition and artificial cultivation condition, the cadmium (Cd) concentration in *Cardamine hupingshanensis* was studied. In wild condition, the Cd content in the upground plant of *C. hupingshanensis* was increased gradually, the range being 189 to 3 800 mg/kg. The average ratio of upground Cd to underground Cd of *C. hupingshanensis* was 1.13, the range being 0.83 to 1.42. The average bioaccumulation factor was 209.10, the range being 42.28 to 913.50. In artificial cultivation condition, the Cd concentration in *C. hupingshanensis* was increased with the increase of Cd concentration in soil. When the Cd content in soil exceeded 50.00 mg/kg, the yield of *C. hupingshanensis* began to decrease. Under the same soil condition, the Cd accumulation ability and yield of *C. hupingshanensis* in greenhouse were much better than those in field. The results indicated that *Cardamine hupingshanensis* had considerable application potential for phytoremediation of Cd contamination.

**Key words:** *Cardamine hupingshanensis*; hyper accumulator; Cd; phytoremediation

超富集植物(Hyper accumulator)一词最初是由Brooks等<sup>[1]</sup>提出的,指能超量富集一种或几种重金属元素的植物。通过超富集植物进行植物提取并将其用于修复污染土壤具有工程投资低廉、不破坏土壤生态环境、减少二次污染等优点,但由于植物提

取、修复技术还不成熟,很多超积累植物的修复效率比较低,在实际修复中很难得到有效的应用。近年来,用转基因植物进行基因生物学功能方面的研究有了较大发展,例如印度芥菜已逐渐成为一种模式植物,但迄今为止,转基因植物应用于植物修复的成果还远未能达到商业化水平<sup>[2]</sup>。就植物修复而言,在已有的植物资源中筛选抗性强、生物量大、吸收量多且能切断污染食物链的超积累植物仍是植物修复领域的基础与核心问题。

收稿日期: 2011-08-26

基金项目: 浙江省湖州市科技计划项目(2010YS20)

作者简介: 白宏锋(1970-),男,河南开封人,硕士,研究方向为植物学。(E-mail) baixiaoxuan2000@yahoo.com.cn

壶瓶碎米芥<sup>[3]</sup>(*Cardamine hupingshanensis*)属于十字花科碎米芥属,株高 30~90 cm,单株质量多达 400 g,是中国特有的植物,因分布于湘鄂交界的壶瓶山一带而得名。王玉兵等<sup>[4]</sup>2010 年通过调查发现,在湖北恩施一带也有该植物的生长。本试验试图通过野外调查和人工栽培的方法,研究不同条件下壶瓶碎米芥镉的含量和对镉的富集特征,以期为壶瓶碎米芥成为修复镉污染土壤的有效植物提供依据和方法。

## 1 材料和方法

### 1.1 野外采样

采样区域为湖北省恩施市鱼塘坝硒矿床壶瓶碎米芥的野生地。于 2011 年 3 月、4 月、5 月、6 月和 7 月,选择沿鱼塘坝溪水分布的生长健壮的植株,分别每隔 10 m 左右采样一次,每次采样 10 株,共采集 12 次样品,检测所采植株鲜重、单株镉的含量和植株根部附近土壤镉的含量。

### 1.2 人工栽培试验

于 2010 年 6 月底,采集湖北省恩施市鱼塘坝硒矿床壶瓶碎米芥种子,育苗后进行 2 种人工栽培处理。浙江省湖州市普通农田栽培:于 2010 年 10 月,将壶瓶碎米芥幼苗直接移栽到普通农田,株距 20 cm×20 cm,粗放式管理,定期除草。温室大棚栽培:于 2010 年 9 月,将供试的浙江省湖州市地区的土壤风干并过 4 mm 筛后,称取 6 份各为 80 kg 的土壤,分别与 0.56 g、1.30 g、3.91 g、6.52 g、9.13 g 和 13.04 g 氯化镉均匀混合,将混合后的土壤分别装盆(直径为 20 cm,高为 15 cm)(分别表示为大棚盆栽 1、大棚盆栽 2、大棚盆栽 3、大棚盆栽 4、大棚盆栽 5、大棚盆栽 6),处理后使土壤中镉的含量分别为 4.3 mg/kg、10.0 mg/kg、30.0 mg/kg、50.0 mg/kg、70.0 mg/kg 和 100.0 mg/kg。选择生长一致的壶瓶碎米芥幼苗移栽至盆中。于 2010 年 10 月底将盆栽的壶瓶碎米芥移入塑料大棚,棚高 2 m,宽 4 m,不定期浇自来水。以不加氯化镉试剂作为大棚盆栽对照。在露天条件下,称取 0.56 g 氯化镉试剂与 1 份风干的 80 kg 土壤混合后,使土壤中镉的含量为 4.3 mg/kg 作为露天盆栽对照。计算 3 种人工栽培处理下壶瓶碎米芥开花结实后的平均生物产量,即称取 10 株壶瓶碎米芥的总质量,再根据株距计算每平方米的生物产量。

## 1.3 测定方法

将采集的土壤经室内风干,粉碎,过 2 mm 筛后进行化学分析。所采集的植物用大量自来水冲洗后,于 80 °C 烘箱内干燥后进行检测。土壤和植物的镉含量均用原子荧光吸收光谱法<sup>[5-6]</sup>测定。

## 2 结果

### 2.1 自然条件下壶瓶碎米芥植株镉的含量

野生壶瓶碎米芥 3 月中旬开始抽薹,4 月开花,5 月结籽,6 月下旬成熟,7 月下旬植株地上部开始死亡。从图 1 可以看出,野生壶瓶碎米芥植株镉含量随着生长期的推移而增加。由图 2 可知,壶瓶碎米芥植株镉含量与植株鲜重的变化趋势一致。

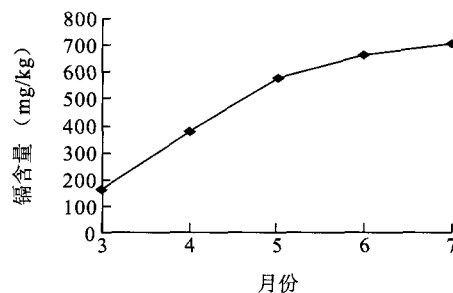


图 1 不同生长时期壶瓶碎米芥植株地上部镉的含量

Fig. 1 The average Cd content in *C. hupingshanensis* at different growing period

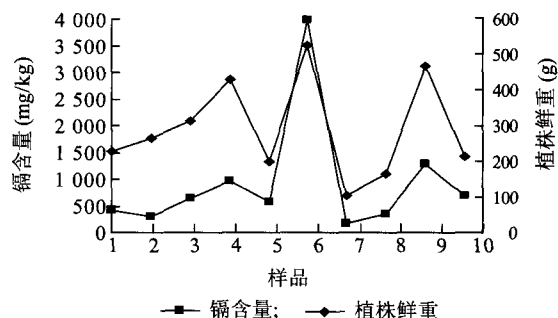


图 2 不同地点壶瓶碎米芥植株鲜重和镉含量

Fig. 2 The fresh weight and Cd content of *C. hupingshanensis* in different sample sites

由表 1 可知,不同采样点的壶瓶碎米芥植株镉的含量差异较大,其镉的含量变化范围为 189~3800 mg/kg。地上部镉含量与地下部镉含量的比值相对稳定,变化范围为 0.83~1.42,平均值为

1.13;富集系数(地上部分镉含量与土壤中总镉含量的比值)变化较大,最低值为42.3,最高值为913.5,平均值为209.1,远远超过宝山莖菜和龙葵的富集系数<sup>[7-8]</sup>,表明壶瓶碎米荠具有超强的富镉能力。

表1 鱼塘坝地区土壤中和壶瓶碎米荠植株镉的含量

Table 1 The Cd content in soil and *C. hupingshanensis* in Yutang ba area

样品	植株镉的含量 (mg/kg)		土壤中总镉的含量 (mg/kg)	地上部镉含量与地下部镉含量的比值	富集系数
	地上部	地下部			
1	532	508	3.40	1.05	156.5
2	413	387	3.33	1.07	124.0
3	736	671	5.21	1.10	141.3
4	1 034	1 252	5.34	0.83	193.6
5	672	643	3.76	1.05	178.7
6	3 800	3 100	4.16	1.23	913.5
7	289	203	3.34	1.42	86.5
8	462	387	4.47	1.19	103.4
9	1 320	1 124	3.96	1.17	333.3
10	779	646	5.88	1.21	132.5
11	189	147	4.47	1.29	42.3
12	578	583	5.56	0.99	104.0

## 2.2 人工栽培条件下壶瓶碎米荠植株镉的含量

不同人工栽培条件下,壶瓶碎米荠植株平均镉的含量差异较大。从表2可知,在大棚栽培条件下,随着土壤镉含量的增加,植株镉含量升高;当土壤镉的含量超过50.00 mg/kg,植株镉的含量继续增加,但生物产量开始降低;当土壤镉的含量达到100.00 mg/kg时,植株平均镉含量为3 120 mg/kg,但生物产量仅为大棚盆栽条件下最高生物产量的一半左右,甚至出现个别植株死亡现象。从镉的富集系数来看,在大棚栽培条件下,土壤镉浓度为10.00 mg/kg时,地上部镉的富集系数最高,达到131.0,当土壤镉含量继续增加,富集系数反而下降。另外,土壤条件相似条件下,露天栽培的植株富集镉能力和生物产量均低于大棚盆栽。

表2 不同栽培条件下壶瓶碎米荠植株镉含量和生物产量

Table 2 The Cd content and yield of *C. hupingshanensis* in different cultivation condition

栽培条件	土壤中镉的含量 (mg/kg)	平均生物产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	地上部镉的含量 (mg/kg)	富集系数
湖州普通农田	0.14	1.294	3.3	23.6
露天盆栽对照	4.31	0.780	217.0	50.3
大棚盆栽对照	0.14	1.875	10.6	75.7
大棚盆栽1	4.31	1.829	465.0	107.9
大棚盆栽2	10.00	1.758	1 310.0	131.0
大棚盆栽3	30.00	1.841	1 738.0	57.9
大棚盆栽4	50.00	1.434	2 134.0	42.7
大棚盆栽5	70.00	1.261	2 460.0	35.1
大棚盆栽6	100.00	0.947	3 120.0	31.2

大棚盆栽1~6表示将0.56 g、1.30 g、3.91 g、6.52 g、9.13 g和13.04 g氯化镉分别与80 kg风干土壤混合后的处理。

## 3 讨论

近年来,人们陆续发现了一些具有镉污染修复作用的超富集植物,而对于镉超积累的标准很多专家看法不同。Chaney等<sup>[9]</sup>研究认为镉超积累植物的临界含量标准是100 mg/kg。Wenzel等<sup>[10]</sup>认为由于镉超积累植物比较少,镉超积累植物的临界含量标准应降为50 mg/kg。更为严格的标准则要求植物地上部的重金属含量要高于根部<sup>[11]</sup>。根据野外调查结果来看,鱼塘坝的野生壶瓶碎米荠地上部镉的含量远远超过100 mg/kg,并且地上部镉的含量与地下部镉的含量的比值大于1,符合镉超积累植物的标准。壶瓶碎米荠是浅根系、一年生的植株,其根茎比例小(旱生略大于湿生),自身生物产量比较高,并且镉积累量又比较大,有镉超富集植物拟南芥、遏蓝菜和宝山莖菜无法相比的先天条件,即使不考虑地上部与地下部镉含量的比值,壶瓶碎米荠也应该被看做是镉超积累植物。

一些研究结果<sup>[12-16]</sup>表明,不同生长条件下的天蓝遏蓝菜对重金属的富集能力有较大差异,可能是植物生态型不同的缘故。本试验结果表明,不同人工栽培条件下的壶瓶碎米荠植株镉的含量差别较大。在土壤镉含量相同条件下,露天栽培和大棚栽培条件下壶瓶碎米荠植株平均镉的含量竟相差2倍之多,表明生态条件影响了植株对镉的吸收和积累。野生状态下,沿鱼塘坝溪水分布的壶瓶碎米荠生态

条件差别不是很大,但不同壶瓶碎米芥植株地上部镉含量变化范围为189~3 800 mg/kg,相差20倍之多,表明植株生理和遗传因素也影响其对镉的积累。因此,如果将壶瓶碎米芥实际应用于土壤修复,进一步筛选高效和稳定的超富镉壶瓶碎米芥品种是非常必要的。

在以往发现的镉超积累植物中,作为镉污染环境修复试材的研究比较多,但由于条件限制,在实际修复中没有得到有效应用。本研究中中国特有植物——壶瓶碎米芥,具有较强的富镉能力,露天生长的生物产量远远高于拟南芥、遏蓝菜和宝山堇菜<sup>[12]</sup>。同时,在大棚栽培条件下,其富集镉能力好于露天,周期短于露天栽培条件,生物产量也高于露天栽培条件。因此,采用保护地栽培壶瓶碎米芥进行土壤镉污染修复应该是一种比较可行的办法。

#### 参考文献:

- [1] BROOKS R R, LEE J, REEVES R D. Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium species of indicator plants[J]. *J Geochem Explor*, 1977, 7: 49-77.
- [2] 代全林. 植物修复与超富集植物[J]. *亚热带农业研究*, 2007(1): 51-56.
- [3] BAI H F, CHEN L B, LIU K M. A new species of *Cardamine* (Brassicaceae) from Hunan, China[J]. *Novon*, 2008, 18(2): 135-137.
- [4] 王玉兵, 陈发菊, 梁宏伟. 湖北省碎米芥属一新记录种——壶瓶碎米芥[J]. *湖北农业科学*, 2010, 49(9): 2160-2161.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 中国农业出版社, 2000: 167-205.
- [6] GB/T5009.15-2003 食品中镉的测定[S].
- [7] 刘威, 束文圣, 蓝崇钰. 宝山堇菜——一种新的镉超富集植物[J]. *科学通报*, 2003, 48(19): 2046-2049.
- [8] 魏树和, 周启星, 王新, 等. 超积累植物龙葵及其对镉的富集特征[J]. *环境科学*, 2005, 23(3): 167-171.
- [9] CHANEY R L, MALIK M, LI Y M. Phytoremediation of soil metals[J]. *Curr Opin Biotechnology*, 1997, 8: 279-284.
- [10] WENZEL W W, JOCKWER F. Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralized soils of the Austrian Alps[J]. *Environmental Pollution*, 1999, 104: 145-155.
- [11] BAKER A J M, BROOKS R R. Terrestrial higher plants which hyper-accumulate metallic elements—a review of their distribution[J]. *Ecology and Phytochemistry*, 1989, 1: 81-126.
- [12] BAKER A J M, REEVES R D, HAJAR A S M. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl (Brassicaceae)[J]. *New Phytologist*, 1994, 127: 61-68.
- [13] BROWN S L, CHANEY R L, ANGLE J S, et al. Phytoremediation potential of *Thlaspi caerulescens* and bladder campion for zinc-and-cadmium-contaminated soil[J]. *J Environ Quality*, 1994, 23: 1151-1157.
- [14] LOMBI E, ZHAO F J, DUNHAM S J, et al. Cadmium accumulation in population of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense* [J]. *New Phytologist*, 2000, 145: 11-20.
- [15] ZHAO F J, HAMON R E, LOMBI E, et al. Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* [J]. *J Exper Botany*, 2002, 53: 535-543.
- [16] 白宏锋, 周江菊, 陈良碧. 壶瓶碎米芥的异地栽培比较[J]. *湖州师范学院学报*, 2004, 26(1): 60-62.

(责任编辑:袁伟)