

文章编号: 1000-5692(2006)04-0400-06

商陆对镉的富集特征

聂发辉^{1,2}, 吴彩斌², 吴双桃³

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 3. 韩山师范学院 环境化学应用技术研究所, 广东 潮州 521041)

摘要: 超积累植物的确证对成功实施重金属污染环境植物修复是必不可少的。对位于湖南省株洲冶炼厂厂区的植物进行了一系列的野外调查, 以着力寻找镉的超积累植物。结果表明, 商陆科 Phytolaccaceae 植物商陆 *Phytolacca acinosa* 对镉具有明显的富集特性, 商陆在镉质量分数最高达 $106.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 厂区土壤中依然生长良好, 茎叶中镉质量分数高达 $63.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。盆栽条件下, 商陆对生长介质中的镉具有很强的耐性和累积能力。当生长介质中镉质量分数为 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 其生物量与对照相比有所增加。随着生长介质中镉质量分数的升高, 虽然其生物量与对照相比有所降低, 但植株仍生长良好。其地上和地下部分镉的质量分数逐渐增加, 生物富集系数则逐渐降低。当土壤中镉的质量分数达到 $200.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 商陆仍能完成整个生命周期。此外, 还利用吸收量系数对商陆对镉的去除能力和富集特征进行了评价, 进一步验证了商陆的镉超积累特性。图 3 表 5 参 12

关键词: 植物学; 商陆; 植物修复; 镉; 超富集植物

中图分类号: S718.3; Q948 **文献标识码:** A

土壤重金属污染是国内外普遍关心的环境问题。利用超富集植物富集重金属技术即植物修复技术, 以其投入低, 成本低, 工程小, 无二次污染, 能减少土壤侵蚀和美化景观等优点在清除土壤重金属污染方面有着广泛的应用前景, 因此被誉为廉价的“绿色修复技术”^[1]。自从 20 世纪 80 年代问世以来, 植物修复已经成为国际学术界研究的热点问题^[2-9]。超富集植物是植物修复的基础。目前全世界发现的重金属超富集植物有 400 多种, 以富集镍的最多。而超富集镉的植物仅 2 种, 其地上部积累镉最高可达 $1800 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[2]。但这 2 种植物生长缓慢, 植株矮小, 地上部生物量小, 成了实际应用中最大的限制。因此, 寻求生物量大且生长快的超富集镉的植物就成为笔者的研究重点。该研究在开展野外调查和盆栽实验的基础上, 分期测定不同镉质量分数处理土壤中植物的生物量和各部位的镉质量分数, 以期发现生物量大且富集度高的植物, 并且初步探讨了超富集植物商陆 *Phytolacca acinosa* 修复能力的评价系数及其富集特征, 为将它应用于土壤治理提供理论依据和技术指导。

1 实验材料与方法

1.1 具有镉超积累特征植物的筛选

1.1.1 野外调查与采样 筛选实验地点在湖南省株洲冶炼厂。该厂始建于 1956 年 12 月, 是全国最大

收稿日期: 2005-10-21; 修回日期: 2006-03-06

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(02JJY4058); 华东交通大学科研基金资助项目(304109)

作者简介: 聂发辉, 讲师, 博士研究生, 从事城市污水处理等研究。E-mail: wyyinh@yahoo.com.cn

的冶炼厂之一。冶炼厂以镉、铅和锌污染最为严重。1974 年中国医科院卫生研究所调查, 厂区土壤含镉最高达 $106.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值为 $14.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 一般在 2 000 m 内污染较重。2003 年 5 月, 在冶炼厂生产区采集植物样品。调查区域面积约为 3 km^2 。调查时选取不同镉污染程度的调查点(生产车间门口和厂区外花池), 选择分布较多, 生长相对好的草本植物, 分别采集植物的不同部位(根、茎、叶)。与此同时, 采集未受污染区域的植物样本进行对照。在冶炼厂采集的材料有: 商陆, 一年蓬 *Phytolacca acinosa*, 白苏 *Paraphlomis albida*, 荨麻 *Urtica fissa*, 吉祥草 *Reineckea carnea*, 野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia*, 红花三叶草 *Oxalis rubra*, 土荆芥 *Chenopodium ambrosioides* 和乌菘莓 *Cayratia japonica*, 在室内分别制成植物样分析样品。

1.1.2 样品处理与分析 植物样品先用自来水冲洗, 再用蒸馏水洗净, 将鲜样在 $80 \sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$ 鼓风干燥箱中烘干, 称干质量。植物经粉碎机磨碎处理后, 过 0.5 mm 尼龙筛。试样采用干灰化法, 称 2.0000 g 植物样品于瓷坩埚中, 在电热板上进行预灰化处理。待试样大部分炭化后移入高温电炉, 逐步升温至 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 灰化(若灰分中残余的炭较多, 于冷却后加入几滴 $1:1$ (体积比) 硝酸。蒸发至干后, 在高温电炉中继续完全灰化), 灰化时间为 12 h 。加入 $3 \text{ mL } 1:1$ (体积比) 盐酸溶解灰分, 必要时过滤, 用蒸馏水定容至 50 mL ^[9]。

1.1.3 仪器与试剂 采用原子吸收分光光度法测定土样和植物样中的重金属。所用仪器主要有: WYX402B 原子吸收分光光度计(沈阳分析仪器厂), 镉空心阴极灯。镉元素的分析条件是波长 228.8 nm , 夹缝宽度为 0.3 nm , 灯电流 2 mA , 炔流量 $1.8 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 负高压 301 V 。

1.2 盆栽质量分数梯度试验

1.2.1 供试植物与土壤 2003 年 5 月, 进行盆栽实验。除商陆外还有其他几种植物, 选择对象是湖南省分布较广, 生物量大, 生长速率快, 具有一定观赏或经济价值的植物。供试土壤为无污染红壤, 采自中南林学院林阴下表土, 取 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 表层土。由于土壤质地较黏重, 故装盆前适当混沙, 掺沙比例为 50% 。供试土壤基本理化性质见表 1。

1.2.2 装盆与栽培 实验用塑料盆(底部打洞), 长 \times 宽 \times 高为 $50 \text{ cm} \times 36 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$ 。为提高水的渗透性, 每个塑料盆底部铺 5 cm 左右的小石头, 然后装入 25 kg 干燥土壤, 掺 50% 沙以增加土壤的透气性。中南林学院校园内采

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Elementary physico-chemical properties of tested soil

pH (H ₂ O)	有机质/ (g \cdot kg ⁻¹)	土壤重金属元素背景值/ (mg \cdot kg ⁻¹)		
		镉	锌	铅
5.10	1.48	0.28	131.31	52.81

集供试植物。将野生植物连根挖出, 剪去地上部分, 仅留 $1 \sim 2$ 个芽苞。将植物种植在未受镉污染的土壤中, 覆土压实, 灌足水, 以便植物根系与土壤紧密接触。先培育 30 d , 直至成活。

每天以生活污水灌溉, 补充植物生长所需的氮和磷等营养元素。采用中南林学院教职工单身宿舍生活污水, 其水质情况如表 2 所示。其中镉、锌和铅均未超标, 且含有丰富的氮和磷等营养元素, 因此可作为灌溉用水。在浇水灌溉的同时需消灭虫害。为避免农药对植物及试验结果可能产生的不良影响, 主要使用人工方法杀虫。植物生长时间从 5 月 15 日到 10 月 15 日。

表 2 灌溉用水水质

Table 2 Quality of irrigation water

铵态氮/ (mg \cdot L ⁻¹)	总磷/ (mg \cdot L ⁻¹)	pH	镉/ (mg \cdot L ⁻¹)	锌/ (mg \cdot L ⁻¹)	铅/ (mg \cdot L ⁻¹)
33.06~46.19	6.62~12.19	7.0~8.0	未检出	0.08	0.05

1.2.3 样品处理与分析 待植物成活后, 在土壤表面直接淋加镉溶液。溶液采用 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 配制。共有 7 个处理水平, 施镉量分别为: $5, 20, 50, 100, 150, 200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (干土) 以及 1 个空白试验。每个水平设定 3 个重复(即种植 3 株植物)。

2003 年 8 月 15 日和 2003 年 10 月 15 日对植物采样, 测定根、茎、叶干质量和各部位镉质量分数。

植物样品先用自来水冲洗,再用蒸馏水洗净,将鲜样在80~90℃鼓风干燥箱中烘干,称干质量。植物样品经粉碎机磨碎处理后,过0.5 mm尼龙筛。试样采用干灰化法。

2 实验结果与讨论

2.1 厂区超富集植物选择

2.1.1 不同植物富集镉的能力比较 不同污染程度土壤中生长的不同植物对各种重金属的富集能力各有差别。有的植物在高质量分数重金属胁迫下有较大的富集量,接近超累积植物的标准。冶炼厂8种草本植物体内重金属测定结果见表3。表3说明,对镉吸收富集能力较强的有一年蓬、白苏、野艾蒿、土荆芥和商陆。与无污染区植物进行实验对照,结果测得未受污染区内的植物体内的镉含量极低,其平均质量分数低于 $1.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。这说明未受污染土壤镉的背景值很低,重金属镉只是植物体内微量元素;同时说明植物对污染区的重金属产生了富集效应。从表3可以发现,商陆(1)和商陆(2)同一种植物体内的镉的质量分数相差很大,分别为41.4和63.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。前者采自厂门口,距电解车间距离较远,且处于上风向,而后者采自电解车间,因电解车间从事重金属的电解工作,周围土壤和空气均污染严重,因此两者土壤对植物的影响程度不同。可见商陆在不同的环境胁迫条件下有不同的富集反应,但不是代谢利用。

表3 植物体内镉质量分数

Table 3 Contents of Cd in eight plant species

植物种类	镉质量分数/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		植物种类	镉质量分数/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		植物种类	镉质量分数/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	
	茎叶	根		茎叶	根		茎叶	根
商陆(1)	41.4	34.8	吉祥草	20.5	15.6	白苏	65.7	55.8
土荆芥	46.6	43.8	商陆(2)	63.8	42.1	荨麻	17.6	15.4
乌菘莓	29.3	30.0	一年蓬	62.1	58.6	野艾蒿	51.2	32.0

2.1.2 植物地下部与地上部的富集规律 从表3可以看出,白苏、土荆芥、荨麻、野艾蒿和商陆的茎叶中镉较根中要高出许多。这与有关文献报道地下器官富集能力通常强于地上器官不同。出现这种情况的原因有二:第一,这几种植物吸收重金属,其体内由地下部分向地上部分转移率较高,从而使茎叶中含量高于根中的。第二,由于冶炼厂附近空气中重金属污染严重,冶炼厂排放的金属颗粒物尘降和叶面吸附是造成土壤和植物污染的重金属污染源。观察发现,前4种植物叶片粗糙,表面可分泌黏性物质,可归纳为第二种原因。商陆的叶片较光滑,叶片对镉的吸附量不可能太大,究其原因则可能是镉在其体内的运输能力较高,商陆对镉有较大的转运率和富集能力。当然这还需要通过进一步实验来验证,在这里不做详细讨论。此外,一年蓬根茎的镉质量分数虽然也很高,且在正常生长条件下,其茎直立,高30~100 cm,生物量较大,但从污染区采集的一年蓬植株与正常情况下的相比明显矮小,并呈现病虫害特征。由此推断,在镉污染环境条件下,一年蓬生长受到抑制,生物量明显减小,不具备修复土壤中镉的条件。因此,实验筛选出的商陆是一种具有较高镉质量分数的植物。其根系发达,枝叶繁茂,高可达1.3~1.5 m,地上部分生物量大。一般地,植物生物量乘以重金属质量分数即为去除的重金属总量。因此,认为商陆去除总量较大,可对它进行下一步盆栽实验。

2.2 盆栽质量分数梯度试验

2.2.1 土壤中不同质量分数镉对商陆生长的影响 表4和表5为不同质量分数镉处理下,给出的商陆各部位干质量镉的质量分数。商陆具有单株生物量很大的特点。在各质量分数水平上,商陆的生物量会随土壤镉质量分数增大而减小,由于其本身生物量大的特点,即使生长受阻后仍能保持较大生物量。这使得以往超富集植物生物量太小的缺点有望得以解决。商陆在 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 镉处理上的生长良好,其生物量较空白水平有一定量增加,因而实验再次说明 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 镉是大多数植物能够积极接受的一个质量分数。与其他植物类似的,在镉污染土壤中生长时间的长短将影响其生物量的变化。3个月时地上部干质量比空白降低,但降低量较5个月时的要小很多。此后,随着土壤中镉质量分数的增加,

它的吸收系数和转运系数大体呈现一个下降的趋势。这可能是由于根部积累重金属, 根部的代谢和吸收机能受到抑制^[7-9]。

表 4 8 月商陆各部位的生物量和镉质量分数

Table 4 Biomass and Cd mass fraction of different organs of *Phytolacca acinosa* in August

土壤中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	吸收 系数	转运 系数	根中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	茎中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	茎干质量/ (g·株 ⁻¹)	叶中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	叶干质量/ (g·株 ⁻¹)
0		1.55	6.21	7.63	41.0	12.00	33.59
5	18.92	3.05	30.98	25.99	45.3	183.83	34.82
20	7.49	3.08	48.57	54.72	39.6	294.22	26.06
50	4.55	2.65	85.90	106.82	38.5	407.47	25.75
100	2.86	2.28	125.48	158.25	36.4	485.99	23.28
150	2.26	1.89	179.14	219.25	33.7	512.95	23.08
200	2.02	1.67	241.92	312.65	29.8	523.72	22.48

表 5 10 月商陆各部位的生物量和镉质量分数

Table 5 Biomass and Cd mass fraction of different organs of *Phytolacca acinosa* in October

土壤中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	吸收 系数	转运 系数	根中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	茎中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	茎干质量/ (g·株 ⁻¹)	叶中的镉/ (mg·kg ⁻¹)	叶干质量/ (g·株 ⁻¹)
0		2.26	11.73	12.46	42.5	43.08	35.86
5	24.75	2.97	41.69	55.17	43.4	223.41	29.85
20	9.97	2.54	78.59	82.80	40.9	365.44	28.71
50	5.52	2.65	104.22	127.67	38.7	482.51	27.84
100	3.72	2.35	158.04	189.82	37.5	620.36	27.50
150	2.88	2.04	211.58	254.10	34.8	661.42	26.90
200	2.41	1.78	270.87	362.42	31.2	668.81	20.04

2.2.2 土壤不同质量分数镉在商陆体内的累积与分布情况 商陆各部位镉的质量分数与土壤中镉的质量分数关系见图 1 和图 2。图中各质量分数曲线表明, 商陆对镉有很强的吸收富集能力, 且当土壤

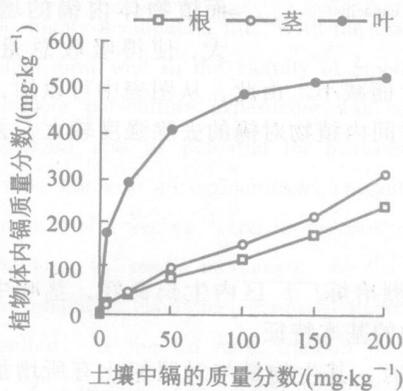


图 1 8 月商陆镉的质量分数曲线
Figure 1 Mass fraction profile of Cd accumulated by *Phytolacca acinosa* in August

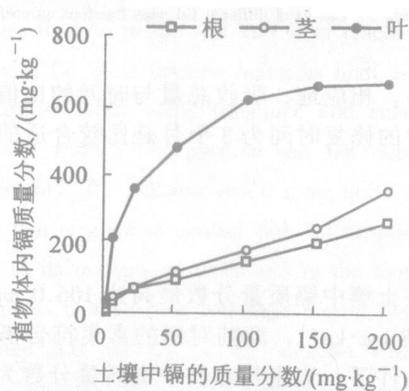


图 2 10 月商陆镉的质量分数曲线
Figure 2 Mass fraction profile of Cd accumulated by *Phytolacca acinosa* in October

中施加镉量达到最大时, 其体内镉质量分数也达到最大。根据超富集植物的定义: 要求植物叶片或地上部(干质量)中含镉达到 100 mg·kg⁻¹, 且满足 S/R > 1 (S/R) 指植物地上部和地下部重金属的比值^[10]。图表中数据均表明, 商陆地上部的含镉量和 S/R 值均符合或接近国际上公认的超富集植物的标准, 因此认为商陆在该研究中具备镉超富集植物的一些特点, 在植物修复应用中具有一定的应用前景, 可对之作进一步的实验研究。与其他植物不同的是, 商陆对镉的储存多集中在茎叶中, 地上部

分镉远远大于地下部分。图中曲线表明,各部分的含镉量以叶最高,根最低,茎处于中间,可见商陆对镉有极强的耐性和独特的富集能力,镉在该植物体中容易向上运输和富集。有研究表明,植物耐重金属排斥机理主要是通过向地上部运输来实现^[11]。因而,商陆的这种特性可以解释为:超富集植物将根中重金属运送到地上部分,通过区室化或络合反应减弱重金属毒性并储存起来。

2.2.3 吸收量系数 传统的超富集植物的评价系数最大的缺陷是忽略了对植物生物量的讨论,聂发辉^[12]曾提出植物吸收量系数的定义为:给定生长期内,单位面积上植物地上部分吸收的污染元素总量与土壤含量之比,即:生物富集量系数=(地上部植物重金属质量分数×地上部植物生物量)/土壤中重金属质量分数。植物生物富集量系数不仅能够较好地指示污染元素富集能力,同时也能反映植物对污染环境的适应性。在文章数据中,吸收量系数采用下面公式计算:吸收量系数= n ×单株生物量×地上部质量分数/(盆面积×生长期×土壤中重金属质量分数)。其中:生长期以月为单位, n 表示生长期为 n 个月。

吸收量系数以评价植物地上部去除重金属总量能力为目标。通过分析该系数可以确定植物的最佳生长时间(本实验选择为3个月),以及植物可应用的合理的镉质量分数的范围。图3是商陆的吸收量系数随不同质量分数镉的变化曲线。

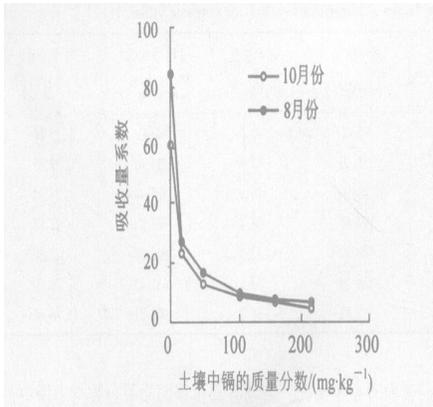


图3 不同质量分数镉对商陆吸收量系数的影响

Figure 3 Effects of different Cd mass fractions on coefficient absorption capacity

从图3可以看出,商陆吸收量系数随生长时间的延长而下降,并随土壤中镉质量分数增加亦出现下降的趋势,呈现出快速下降、缓慢和趋于平缓的特点。因此可看出,土壤中镉质量分数的增加和处理时间的延长,对商陆的生长抑制是很明显的。这是由于一定时期后,植物生物量增长达到一个稳定状态,而植物体内镉的增长幅度不大,使得吸收总量随之也达

到稳定状态,相应地,吸收总量与时间的比值随时间增大而减小。由此,从图表中可以知,商陆在镉污染土壤中的修复时间为3个月是比较合适的,在这个时间内植物对镉的去除强度较大,去除总量也较高。

3 结论

商陆在土壤中镉质量分数最高达 $106.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的株洲冶炼厂厂区内生长良好,茎叶中镉质量分数高达 $63.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,商陆对镉的富集符合镉超积累植物的基本特征。

盆栽条件下,当生长介质中镉质量分数为 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,其生物量与对照相比有所增加。这表明当土壤中镉质量分数较低时,能促进商陆的生长。随着生长介质中镉质量分数的升高,当镉污染水平大于 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,商陆茎及叶的镉质量分数接近甚至超过了 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 这一公认镉超积累植物应达到的临界标准,其地上部镉质量分数大于其根部,且地上部镉富集系数大于1。同时,与对照相比,植物的生长未受到明显抑制。因此,商陆是一种很好的镉修复植物,在植物修复应用中具有一定的应用前景,可对之作进一步的实验研究。

参考文献:

- [1] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1196-1203.
- [2] NADAN KUMAR P B A, DUSHENKOV V, MOTTO H, *et al.* Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from

- soils [J]. *Environ Sci Technol*, 1995, **29** (5): 1 233—1 239.
- [3] 沈振国, 陈怀满. 土壤重金属污染生物修复的研究进展 [J]. 农村生态环境, 2000, **16** (2): 39—44.
- [4] SAUERBECK D R. Plant, element and soil properties governing uptake and availabilities of heavy metals derived from sewage sludge [J]. *Water Air Soil Pollu*, 1991, **57—58**: 52—58.
- [5] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1—15.
- [6] 王新, 吴燕玉. 改性措施对复合污染土壤重金属行为影响的研究 [J]. 应用生态学报, 1995, **6** (4): 440—444.
- [7] 吴燕玉, 余国营, 王新, 等. Cd, Pb, Cu, Zn, As 复合污染对水稻的影响 [J]. 农业环境保护, 1998, **17** (2): 49—54.
- [8] 赵志强, 牛学峰, 全燮, 等. 环境中有害金属植物修复的生理机制及进展 [J]. 环境科学研究, 2000, **13** (5): 54—57.
- [9] 张玉秀, 柴团耀, BURKARD G, 等. 植物耐重金属机理研究进展 [J]. 植物学报, 1999, **41** (5): 453—457.
- [10] FRIBERG J, PISCATOR M, NORDBERG G F, et al. *Cadmium in the Environment* [M]. 2 nd. Cleveland: CRC Press, 1974: 86—92.
- [11] 宋菲, 郭玉文, 刘孝义, 等. Cd, Zn, Pb 复合污染对菠菜的影响 [J]. 农业环境保护, 1996, **15** (1): 9—14.
- [12] 聂发辉. 关于超富集植物的新理解 [J]. 生态环境, 2005, **14** (1): 136—138.

Characteristics of *Phytolacca acinosa* accumulating Cd

NIE Fa-hui^{1,2}, WU Cai-bin², WU Shuang-tao³

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 3. Research Institute of Environmental Chemistry and Technology, Hanshan Normal College, Chaozhou 521041, Guangdong, China)

Abstract: Identification of new hyperaccumulators is of great importance to successful phytoremediation of the environment contaminated with heavy metal. A series of field investigations was conducted in the vicinity of Zhuzhou Pb-Zn Smelting Factory to search for new Cd hyperaccumulators. The results showed that *Phytolacca acinosa* could highly accumulate Cd. With the maximum Cd mass fraction in the leaf and stem reaching 63.8 mg ° kg⁻¹, the plant grew well in the vicinity of Smelting Factory with Cd mass fraction being as high as 106.0 mg ° kg⁻¹. An outdoor pot-culture experiment was conducted to further study metal tolerance and accumulation by *Phytolacca acinosa* and its potential for phytoremediation. As a result, this species had not only remarkable tolerance to Cd, but also an extraordinary capacity for this element, *P. acinosa* could grow quite well with Cd supplied at a level of 5 mg ° kg⁻¹ and its biomass was more than that of plant in control with Cd supplied. With the Cd concentration in the media increasing, the Cd concentration in its overground parts and in the roots increased, but the bioaccumulation coefficient gradually decreased, although its biomass was less than that of plant in control with Cd supplied. As the Cd mass fraction in the soil reached 200 mg ° kg⁻¹, *P. acinosa* still grew well. Furthermore, *P. acinosa* was judged whether it was hyperaccumulator with coefficient absorption capacity. It further proved that *P. acinosa* had the great capacity of transporting Cd from the roots to the aerial parts. [Ch, 3 fig. 5 tab. 12 ref.]

Key words: botany; *Phytolacca acinosa*; phytoremediation; Cd; hyperaccumulator