

美洲商陆(*Phytolacca americana* L.) ——一种新的 Mn 积累植物

铁柏清, 袁 敏, 唐美珍

(湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要:通过野外调查和水培试验,研究了锰在美洲商陆体内积累情况及其生长发育的影响,发现并鉴定出美洲商陆(*Phytolacca americana* L.)是一种新的 Mn 积累植物。调查结果发现,美洲商陆对土壤中高含量的锰有很强的忍耐、吸收和积累能力,叶片中 Mn 含量为 5 160~8 000 mg·kg⁻¹,平均为 6 490 mg·kg⁻¹。营养液培养试验证明,美洲商陆对生长介质中的 Mn 有很强的忍耐能力,当生长介质中 Mn 浓度高达 10 mmol·L⁻¹,叶片中 Mn 含量达到 11.76 g·kg⁻¹,植株仍生长正常。地上部 Mn 含量及其积累量均随生长介质中 Mn 浓度的增加而增加,当生长介质中 Mn 浓度为 50 mmol·L⁻¹时,叶片中 Mn 含量达到 47.06 g·kg⁻¹。结果表明,美洲商陆是我国发现的一种新的 Mn 积累植物,为今后探明植物积累 Mn 的机理和 Mn 污染土壤的植物修复提供了一种新的种质资源。

关键词:美洲商陆; Mn; 积累植物

中图分类号:S432.21 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2005)02-0340-04

Phytolacca americana L.: A New Manganese Accumulator Plant

TIE Bo-Qing, YUAN Min, TANG Mei-Zhen

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: A series of field trials and nutrition culture tests were conducted to select new manganese accumulator plant. The results showed that *Phytolacca americana* L. exhibited as a new manganese accumulator. It was discovered that *Phytolacca americana* L. has a high tolerance, absorption and accumulation ability on high concentration of manganese in soil from Xi-angtan manganese mine. Manganese content in the plant was in a range of 5 160~8 000 mg·kg⁻¹ in leaves in dry weight, with an average of 6 490 mg·kg⁻¹. Water culture experiment proved that *Phytolacca americana* L. was highly tolerant to manganese in the medium, while manganese concentration up to 10 mol·L⁻¹ in growing medium, manganese concentration was found to be 11.76 g·kg⁻¹ in the leaf in dry matter and the plant grew normally and its biomass remarkably increased compared to the control. The manganese concentration and accumulating amount in *Phytolacca americana* L. increased with increasing concentration of manganese in the medium. When manganese concentration was at 50 mol·L⁻¹ in the medium, its content reached up to 47.06 g·kg⁻¹ in the leaf in dry weight. This species provides a new plant to explore the mechanism of manganese accumulation and a potential new plant to in use in phytoremediation of contaminated soil with manganese.

Keywords: *Phytolacca americana* L.; manganese; accumulator

植物修复(phytoremediation)技术是指利用植物修复和消除由有机毒物和无机废弃物造成的土壤环境污染^[1]。根据植物整治重金属污染土壤的作用过程和机理,重金属污染土壤的植物修复可分为以下 4

种类型:

(1) 植物提取(Phytoextraction)是指利用超累积植物对重金属的吸收作用,结合土壤改良技术,把污染物由地下转移到地上部分,随后收割其地上部分进行集中处理,达到降低土壤中重金属含量的目的。如在以硫酸盐和磷酸盐为肥料的情况下,遏蓝菜属的一些栽培变种的茎秆对重金属具有较强的富集能力^[2]。

(2) 植物挥发(Phytovolatilization)是指土壤中重

收稿日期: 2004-09-03

基金项目: 中日丰田基金项目(Toyota Fund D01-B3-010)

作者简介: 铁柏清(1963—),男,汉族,湖南常德人,硕士,主要从事环境污染治理、环境毒理学等方面的研究工作。

联系人: 袁 敏, E-mail: yzm80112004@yahoo.com.cn

金属通过植物作用产生毒性小的挥发态物质。如 Se 在植物的作用下产生挥发性的 Se。湿地上某些植物可清除土壤中的 Se, 其中单质占 75%, 挥发态占 20%~25%^[3]。印度芥菜有较高的吸收和积累 Se 的能力, 在种植这一植物的第一年和第二年可使土壤中全硒量减少 48%和 13%^[4]。

(3)植物稳定(*Phytostabilization*)是指植物通过根系过滤、固定和钝化使重金属吸附于土壤的表面, 从而降低重金属在土壤中的有效态, 达到减轻重金属污染的效果。目前 Cotter-Howells 和 Caporn^[5]报告施磷酸盐可以促使 Pb 在 *Agrostis capillaris* 根际土壤中形成磷氯铅矿, 但形成机理目前仍不清楚。

(4)植物转化(*Phytotransformation*)是指利用植物根部及其他部位通过新陈代谢作用改变重金属的形态, 从而降低其危害性。

目前, 世界上共发现了 400 多种超富集植物^[6], 并且多在欧洲开展^[7]。鉴于上述现状, 国内对调查、鉴定和发现生长速率相对较快、生物量较大的超积累植物尤为关注。我国有关科学家已开展了重金属富集植物和植物修复领域的研究。迄今为止, 关于我国境内的重金属超积累植物资源的调查、鉴定和研究报道甚少, 已报道的在中国境内发现的超累积植物有以下 4 种: 中国科学院陈同斌等人在境内发现的 As 超积累植物——蜈蚣草(*Pteris vittata* L.)^[8]; 浙江大学杨肖娥等人在浙江发现的 Zn 超积累植物——东南景天(*Sedum alfredii* Hance)^[9]; 中科院韦朝阳等人在湖南省发现的 As 超积累植物——大叶井口边草(*Pteris cretica* L.)^[10]; 薛生国等人在湖南省发现的锰超积累植物——商陆(*Phytolacca acinosa* Roxb)^[11]。因此, 本文通过对我国湘潭锰矿区主要耐性植物的调查, 以期鉴别出目前我国原生的锰积累生态型植物。

1 材料与方法

1.1 矿区概况

调查区位于湖南省湘潭市雨湖区鹤岭镇红旗锰矿废弃的尾矿区。矿区地处丘陵地带, 属于中亚热带季风性湿润气候, 气候温湿、四季分明, 年均气温 17.4 ℃, 年均降雨量 1 431.4 mm, 年均蒸发量 1 321.7 mm。矿山的废渣包括高炉炉渣、高炉瓦斯灰、洗矿尾矿、尾泥砂等。在调查的尾矿区, 主要草本植物有美洲商陆、商陆、早熟禾、窃衣、小飞蓬、蕨类等, 美洲商陆常成群分布生长在尾矿废弃地上。各采样点的土

壤 pH 值为 7.46~7.65。土壤含锰浓度为 93 575~141 775 mg·kg⁻¹(平均值为 117 830 mg·kg⁻¹)。

1.2 尾矿区植物及土壤中锰含量调查

根据所调查的 Mn 尾矿区的地形及植被分布特点, 采集代表性植物样品及对应的表层土壤样品(深度为 0~20 cm)供植物分类鉴定和分析测定。

1.3 营养液培养

采用 Hoagland 营养液培养^[12]。供试植物为美洲商陆(*Phytolacca americana* L.), 于 2004 年 4 月 20 日从野外采集。将植株用自来水冲洗干净, 预培养 12 d (长出比较旺盛的根系) 后选择大小一致的植株进行 Mn 处理, 共设 7 个处理, Mn 的浓度分别为 0.1(CK)、1、2.5、5、10、25 和 50 mmol·L⁻¹, Mn 以 MnSO₄·H₂O 形态加入。每个处理设 3 个重复, 每缸 2 株。每天用 pH 计(PHS 3B 型)测定营养液 pH, 并用 0.1 mol·L⁻¹NaOH 或 0.1 mol·L⁻¹HCl 调营养液 pH 至 5.8, 保持 24 h 连续通气, 每 4 d 更换一次营养液, 处理 12 d 后收获。于进行 Mn 处理之前和收获时取样。样品反复用自来水冲洗干净, 去除表面吸附的 Mn²⁺, 最后用去离子水冲洗干净, 用吸水纸把表面水吸干。将样品分为地上部分和根系, 测定其株高和各部分鲜重。鲜样在 105 ℃下杀青 30 min, 然后在 70 ℃下烘干至恒重, 测定其干物质量, 最后用不锈钢粉碎机磨细, 过 60 目尼龙网筛, 供分析测定用。

1.4 土壤和植物样品分析

采自矿区的土壤样品自然风干后, 用王水消煮法测定其全 Mn 含量。土壤有效 Mn 用 NH₄OAc 溶液浸提, 用原子吸收分光光度法测定。植物样品用 HNO₃-HClO₄ 消化, 用原子吸收分光光度计(AA-646, 日本岛津)测定其中 Mn 含量。

2 结果与分析

2.1 尾矿区美洲商陆体内 Mn 的积累情况

在调查的尾矿区, 主要草本植物有美洲商陆、商陆、早熟禾、窃衣、小飞蓬、蕨类等。其中在废矿堆和矿渣上, 以美洲商陆生长最多。由表 1 可知, 美洲商陆地上部(叶片、茎、果)Mn 含量高于地下部, 尤其以叶片中 Mn 含量最高, 最高达 8 000 mg·kg⁻¹, 最低也达到 5 160 mg·kg⁻¹, 平均 Mn 含量为 6 490 mg·kg⁻¹; 而根部最高 Mn 含量却只有 544 mg·kg⁻¹, 平均含量为 510.5 mg·kg⁻¹; 叶/根比值最大可达 15.56, 茎/根比值最小也有 1.03。这些结果表明美洲商陆在高 Mn 含量状态下, 不但可以正常生长, 而且还能从土壤环境

中大量吸收 Mn、并从根部转运到地上部,尤其以叶片积累量最大。从美洲商陆地上部的 Mn 含量以及 Mn 从根向茎和叶的转运系数来看,美洲商陆均具有明显的超积累植物特性。但是,叶锰/土壤锰比值介于 0.046~0.066 之间,均小于 1,这主要是由于废弃地土壤锰含量过高所致,而有待修复的锰污染土壤锰含

量远低于尾矿锰含量。美洲商陆不仅对土壤中超量的锰具有很强忍耐能力,而且其体内能积累超量的 Mn,因而可将其作为 Mn 污染土壤植物修复的优先选择物种,这对于研究污染土壤的植物修复、矿山土壤的复垦或修复及环境污染净化等都具有一定的价值。

表 1 野外生长条件下美洲商陆对土壤 Mn 的积累作用(湘潭锰矿)

Table 1 Bioconcentration and translocation of manganese in *Phytolacca americana* L. growing under natural conditions in Xiangtan Manganese Mine, China

样品	土壤锰含量	叶锰含量	茎锰含量	果实锰含量	根 Mn 含量	叶/土	叶/根	茎/根
SM1	123000	7180	620	730	542	0.058	13.25	1.14
SM2	120850	8000	648	712	514	0.066	15.56	1.26
SM3	141775	6980	578	654	521	0.049	13.39	1.11
SM4	93575	5220	523	610	485	0.056	10.76	1.08
SM5	112025	5160	484	597	457	0.046	11.29	1.06
SM6	115755	6400	560	640	544	0.055	11.76	1.03

注:表中数据均为 3 次重复的平均值。①为叶 Mn 含量与土壤锰含量之比。②为叶 Mn 含量与根锰含量之比。③为茎 Mn 含量与根锰含量之比。

2.2 营养液培养条件下 Mn 对美洲商陆生长发育和产量的影响

营养液培养试验结果表明,当 Mn 浓度小于 10 mmol·L⁻¹,美洲商陆的生长基本正常,未表现出任何中毒症状;当 Mn 浓度为 25、50 mmol·L⁻¹ 时,美洲商陆植株叶片出现黄化、发皱、卷曲,有的甚至凋萎,故于培养 6 d 后收获。在 Mn 浓度小于 10 mmol·L⁻¹ 时,地上部分和根系的干物质重量随着 Mn 供应水平的增加而增加,当 Mn 浓度为 10 mmol·L⁻¹ 时,其地上部干物质重量约比对照增加 21%。其原因可能是该植物对 Mn 的需求量比一般植物要大。但当生长介质中 Mn 浓度大于 25 mmol·L⁻¹,美洲商陆生长开始受到抑制,地上部和根系的干物质重量随着 Mn 供应水平的增加而显著下降;与对照相比,50 mmol·L⁻¹ 处理的植株地上部的干物质重量约减少了 19%,见表 2。

2.3 营养液培养条件下美洲商陆对 Mn 的吸收

图 1 表明,当 Mn 浓度小于 50 mmol·L⁻¹ 时,美洲商陆地上部 Mn 含量随着 Mn 供应水平的增加而增加;当生长介质中 Mn 浓度为 50 mmol·L⁻¹ 时,叶片中 Mn 含量达 47.06 g·kg⁻¹,但此时植株生长受到了严重的抑制。在本研究中,美洲商陆地上部 Mn 含量始终比根系高,这符合超积累植物积累金属的一般特性。锰在美洲商陆地上部和根系中的分布存在显著差异,其中整个植株吸收的 Mn 有 86%~95%分布在地上部,说明该植物根系吸收的 Mn 有很强的向地上部运输的能力。

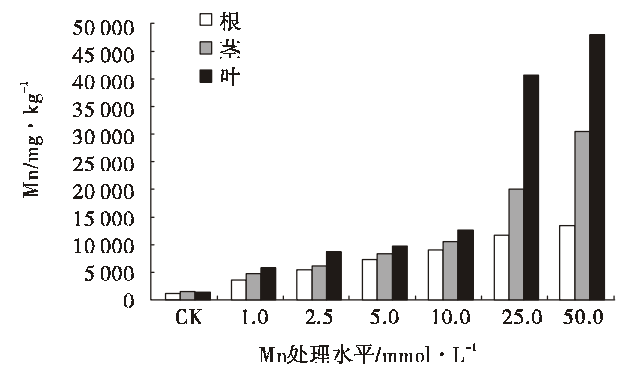


图 1 不同锰处理水平美洲商陆地上部和根系中锰含量

Figure 1 Bioconcentration in the shoots and roots of *phytolacca americana* L. growing in different treatments

3 讨论

Baker 和 Brooks^[13]最初提出 Mn 超积累植物的临界标准为 10 000 mg·kg⁻¹(干重),但一些学者对此提出异议,认为该标准过于严格,因为在富含 Mn 土壤上生长的大部分植物地上部 Mn 含量为 100~1 000 mg·kg⁻¹(干重),所以提出 Mn 超积累植物的临界标准应低于 10 000 mg·kg⁻¹(干重)将更加合理,其具体的临界值还有待于进一步研究。野外调查的结果表明(表 1),美洲商陆叶片中 Mn 含量高 8 000 mg·kg⁻¹,因此,证明它对土壤中的 Mn 具有极强的积累能力,可被认为是一种新的 Mn 积累植物。而且,营养液培养试验也证明,当 Mn 处理浓度为 10 mmol·L⁻¹ 时,美洲商陆叶片中 Mn 含量达 11.76 g·kg⁻¹,当生长介质 Mn 浓度为 50 mmol·L⁻¹ 时,叶片中 Mn 含量高达

表 2 不同锰处理水平对美洲商陆生物量和锰积累的影响(平均值±标准差)

Table 2 The biomass and manganese concentrations in <i>Phytolacca americana</i> L. growing in different treatments (mean ±SD)						
处理 /mmol·L ⁻¹	干重/g·株 ⁻¹			Mn 积累/mg·株 ⁻¹		
	叶	茎	根系	叶	茎	根系
CK	1.870±0.064	0.429±0.045	0.460±0.048	1.152±0.038	0.206±0.013	0.150±0.005
1	1.980±0.073	0.440±0.052	0.473±0.055	10.043±0.535	1.625±0.295	1.270±0.014
2.5	2.058±0.088	0.453±0.055	0.495±0.061	16.252±0.654	2.385±0.350	2.303±0.033
5	2.137±0.110	0.482±0.060	0.508±0.063	19.293±0.783	3.536±0.415	3.211±0.125
10	2.292±0.135	0.501±0.065	0.643±0.071	26.954±1.193	4.840±0.493	5.365±0.183
25	1.678±0.053	0.415±0.040	0.394±0.045	66.348±2.030	7.848±0.705	4.275±0.145
50	1.469±0.045	0.403±0.038	0.325±0.042	69.131±2.393	11.860±0.898	4.117±0.132
LSD _{0.05}	0.152	0.085	0.097	2.352	0.937	0.156
LSD _{0.01}	0.211	0.117	0.134	3.264	1.301	0.216

47.06 g·kg⁻¹,进一步证实美洲商陆是一种对 Mn 具有强吸收能力的超积累植物（如果以生长在培养液中的植物叶片中 Mn 的积累量为超积累植物的临界标准）。尾矿区生长的植株体内 Mn 含量之所以比水培条件下低,其原因可能在于尾矿山土壤中有效 Mn 含量低,限制了美洲商陆对 Mn 的吸收。

目前已知的绝大多数用于植物修复的超累植物由于植株矮小、生长速度慢和生物量少等缺点而限制了其大规模应用。鉴于此,国内外对筛选生物量较大、生长较快的超积累植物表现出浓厚兴趣。作者发现的美洲商陆为多年生草本植物,高 1~2 m,适应性强。全国均有分布,朝鲜、日本、中南美洲也有分布。美洲商陆以根茎及种子繁殖,在较短生长期可形成良好的地面覆盖,其覆盖度几乎可达 100%。而且,目前已发现的超积累植物主要分布在欧洲等地(如法国、英国),适应低温气候,如果把这些超累植物直接引入我国,能否适应我国的气候环境还是一个疑问,而且物种的引入有可能会造成新的生态环境问题。因此,美洲商陆的发现,为利用积累植物对大面积污染土壤实施植物修复提供了可能,对锰污染土壤的修复将具有很大的潜力,为探讨锰在植物体中的积累机理和锰污染土壤植物修复的理论研究和技术实施提供了一种新的种质资源。

参考文献:

[1] Anderson T A, Guthie E A, Walton B T. Bioremediation in the

rhizosphere[J]. *Environ Sci Technol*, 1993, 27 (13): 2630–2636.
[2] Kumar N. PBA, *Environ Sci Technol*, 1995, 29 (5): 1232–1238.
[3] 韩润平, 陆雍森. 用植物清除土壤中的重金属. 江苏环境科技,2000, 13 (1): 28–29.
[4] Banuelos G S, Cardon G, Macckey B, et al. Boron and selenium removal in boron-laden soils by 4 sprinkler irrigated plant-species[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1993, 22:786–792.
[5] Cotter-Howells J D, Caporn S.Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates[J]. *Applied Geochemistry*, 1996,11:335–342.
[6] 沈振国, 刘友良. 超积累重金属植物研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34 (2): 133–139.
[7] Khan A G, Kuek C, Chaudhry T M,et al.Hayes. Role of plants, macrorhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation[J]. *Chemisphere*, 2000, 41(1–2): 197–207.
[8] Chen T B, Wei C Y, Huang Z C et al. Arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. andits arsenic accumulation[J]. *Chinese Sci Bull*, 2002, 47 (11): 902–905.
[9] Yang X, Long X X, Ni W Z, et al. *Sedum alfredii* H: A new Zn hyperaccumulating plant first found in China[J]. *Chinese Sci Bull*, 2002, 47 (19): 1634–1637.
[10] Wei C Y, Chen T B, Huang Z C et al. Cretan Brake (*Pteris cretica* L.): an Arsenic- accumulating Plant[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (5): 777–778.
[11] 薛生国, 陈英旭, 林琦, 等. 中国首次发现的锰超积累植物——商陆[J].生态学报, 2003, 23 (5): 935–937.
[12] 上海植物生理学会编. 植物生理学实验手册. 上海科学技术出版社, 1985, 60–64.
[13] Baker A J M, Brooks R R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements[J]. *Biorecovery*, 1989,1:81–97.