

超富集植物短毛蓼对锰的富集特征

邓 华^{1,2,3,*}, 李明顺^{2,3}, 陈英旭¹

(1. 浙江大学环境与资源学院, 浙江杭州 310029; 2. 广西师范大学环境与资源学院环境工程系, 广西桂林 541004;
3. 广西环境工程与保护评价重点实验室, 广西桂林 541004)

摘要:通过野外调查和营养液培养试验,研究了锰在短毛蓼体内的富集特征和对其生长的影响。在锰含量高达 2.5×10^5 mg/kg 的锰矿废弃地上短毛蓼生长良好,叶锰含量高达 1.66×10^4 mg/kg。营养液培养条件下,随着生长介质中 Mn 浓度的升高,短毛蓼根、茎、叶中的 Mn 含量逐渐增加,当锰供应水平为 1.000 mmol/L 时,叶锰含量超过 10000 mg/kg; 当锰供应水平为 20.000 mmol/L 时,短毛蓼仍能生长,根、茎和叶 3 部分的锰含量均达到最大值,分别为 9923, 18112 mg/kg 和 55750 mg/kg。在所有锰供应水平下,短毛蓼茎和叶中的锰含量都比根部的高。结果表明,短毛蓼是一种锰超富集植物,这一发现为锰污染土壤的植物修复和探讨锰在植物体内的超富集机理提供了一种新的种质资源。

关键词:锰; 超富集植物; 短毛蓼; 植物修复

文章编号:1000-0933(2009)10-5450-05 中图分类号:Q142, X171 文献标识码:A

Accumulating characteristics of manganese by *Polygonum pubescens* Blume

DENG Hua^{1,2,3,*}, LI Ming-Shun^{2,3}, CHEN Ying-Xu¹

1 Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

2 Department of Environmental Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

3 Guangxi Key Laboratory of Environmental Engineering, Protection and Assessment, Guilin 541004, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5450 ~ 5454.

Abstract: Field surveys and hydroponic experiments were conducted to investigate growth responses of *Polygonum pubescens* Blume to Mn and its ability to accumulate this metal. A maximum Mn concentration in leaf dry matter was found to be 16649 mg/kg. The plant grows well on Mn mine wasteland in Guangxi with a Mn concentration as high as 250000 mg/kg. Under hydroponic conditions, the Mn concentration in the tissues of the plants increased with increasing solution concentrations. At 1 mmol/L Mn the Mn concentration in the leaves exceeded 10000 mg/kg. At 20 mmol/L, the plant still survived with maximum Mn concentration in the roots, stems and leaves reaching 9923, 18112 and 55750 mg/kg respectively. The Mn concentrations in the stems and leaves of the plants were greater than in the roots in all the Mn treatments. Our results suggest that *P. pubescens* is a Mn hyperaccumulator. This species may provide a potential new resource for use in the phytoremediation of Mn-contaminated soils and as a tool for exploring the mechanisms of Mn hyperaccumulation in plants.

Key Words: manganese; hyperaccumulator; *Polygonum pubescens* Blume; phytoremediation

锰是人体必需的微量元素,具有多种生理功能,对维持人体生命活动具有重要作用^[1],但摄入过量的锰则会引起锰中毒,对神经系统、生殖系统及免疫系统产生一定影响^[2-4]。近年来,随着环保意识的增强,人类逐渐关注锰的利用及矿山开采对土壤、空气、地表水和地下水造成的锰污染问题^[5-7],锰对人体健康的危害性

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30560032);广西重点实验室基金资助项目(0702k023)。

收稿日期:2008-11-14; **修订日期:**2009-01-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: denghua@mailbox.gxnu.edu.cn

也日益得到人们的重视^[8,9]。

作为一种重金属的锰具有累积性,通过各种途径进入土壤后很难治理,如何经济有效地修复锰污染土壤成为研究者们关注的新课题。植物修复技术是当前国际上兴起的一种治理重金属污染土壤和水体的新技术,它主要是利用富集植物从生长介质中吸收和积累大量重金属,从而达到降低生长介质中的重金属含量的目的,具有高效低耗、保持水土、美化环境等特点^[10]。目前已发现的重金属超富集植物有 400 多种,绝大多数为镍超富集植物,而锰超富集植物仅有 15 种,多数为生长在亚热带地区的木本植物。国内发现的锰超富集植物主要有 4 种,分别为商陆^[11]、美洲商陆^[12]、水蓼^[13]和木荷^[14],除木荷外其它 3 种均为草本植物。

超富集植物筛选仍是目前植物修复技术的具有重大现实意义的基础工作。为了获得新的锰超富集植物,拟对广西锰矿废弃地上的优势植物开展调查、取样和实验室分析,并结合室内营养液培养试验,以期筛选出理想的锰超富集植物,为锰污染土壤植物修复和探讨锰在植物体内的富集机制提供新的种质资源。

1 材料与方法

1.1 野外采样

调查区域位于广西全州县两河乡某锰矿区,距桂林市 125km,地理坐标:北纬 25°29' ~ 26°23',东经 110°37' ~ 111°29'之间,矿区属属中亚热带季风气候,气候温和,雨量充沛,日照充足,四季分明,多年平均气温 17.7℃,年积温 6465℃,年降雨量 1492.2mm,土壤沙粘适中,多为壤土或沙壤土适宜植物生长。锰矿的长期开采对矿区周围的环境造成了较大的影响,生态破坏严重,土壤锰含量高,特别是尾矿区锰含量异常高,植物生长受限。在矿区范围内根据地形和植物的分布情况确定了 5 个采样区域,分别采集矿区植物(整株)及相应的表层土壤(深度为 0 ~ 30cm)进行重金属含量调查与分析。

1.2 室内营养液培养

在矿区范围内采集生长一致的短毛蓼幼苗,用自来水冲洗干净后采用 Hoagland 营养液进行预培养,长至一定高度后截取上端 5cm 长左右的带叶枝条进行第二次预培养,在枝条长出比较旺盛的根系后,选取生长一致的植株开始加锰处理,每盆种 3 株,培养溶液体积为 3L。共设置 10 个锰浓度水平:0.0091(CK)、0.500、1.000、2.000、5.000、8.000、10.000、12.000、15.000、20.000mmol/L,锰以 $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 的形式加入,每个处理设 3 个重复,培养 45d。培养期间每天 14h 的光照,保持 24h 连续通气,温度控制在 25 ~ 30℃,每天调 pH 值,每 4d 更换 1 次营养液。

1.3 土壤与植物样品分析

取自矿区的土壤样品自然风干后研磨,过 100 目筛后供分析使用。植物样品先用自来水冲洗干净,然后将根浸入 20mmol/L EDTA-Na 溶液中交换 15min,以去除根系表面吸附的金属离子,最后再用去离子水冲洗 3 次,用吸水纸吸干表面水分,将植物分为根、茎、叶 3 部分放至烘箱内,在 105℃ 下杀青 30min,然后在 70℃ 下烘 48h,测定植物各部分干质量,最后用不锈钢粉碎机磨细,过 60 目尼龙网筛。

土壤样品用 $HNO_3 + HF + HClO_4$ 消解,植物样品用 $HNO_3 + H_2O_2$ 消解,均采用微波消解法。重金属含量的测定均采用火焰原子吸收分光光度法(WFX-110)。

2 结果与分析

2.1 矿区调查结果

野外调查发现,矿区废弃地上生长的草本植物主要有短毛蓼(*P. pubescens* B.)、杠板归(*Polygonum perfoliatum* L.)、鸡眼草(*Kummerowia striata*)、飞蓬(*Erigeron acer* L.)、白花败酱(*Patrinia villosa* Juss.)、铺地黍(*Panicum repens* L.)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)、盐肤木(*Rhus chinensis* Mill.)、博落回(*Macleaya cordata*),其中短毛蓼分布广泛,在废矿堆和矿渣上亦生长较多。

野外生长条件下短毛蓼对 Mn 的富集情况见表 1。很明显,短毛蓼对 Mn 有很强的富集能力,5 个采样点的短毛蓼叶中的锰含量均超过 Baker 和 Brooks 提出的 Mn 超富集植物含量临界值(10000mg/kg 干重)^[15],相应的土壤样品锰含量 21076.8 ~ 250000mg/kg。叶/根比值最大为 5.28,最小也有 3.78,茎/根也都大于 1,这

表明短毛蓼不仅对土壤中过量的锰有很强的耐性,而且能够超量富集锰。

表 1 矿区短毛蓼和土壤中的 Mn 含量

Table 1 Manganese bioconcentration and translocation of *P. pubescens* B1. under field conditions in Quanzhou Manganese Mine, in Guangxi, South China

样号 No.	土壤锰含量 Mn in soil (mg/kg)	叶锰含量 Mn in leaves (mg/kg)	茎锰含量 Mn in stems (mg/kg)	根锰含量 Mn in roots (mg/kg)	叶/土 L/S ^A	叶/根 L/R ^B	茎/根 S/R ^C
1	144184.7	13916.3	2883.7	2745.0	0.10	5.07	1.05
2	117475.4	14632.2	3024.9	2769.7	0.12	5.28	1.09
3	133548.4	10970.7	2983.0	2901.7	0.08	3.78	1.03
4	59300.0	13028.8	4210.7	3222.6	0.22	4.04	1.31
5	250000.0	16649.9	3746.6	3545.9	0.07	4.70	1.06

A: 叶锰含量与土壤锰含量之比 Ratio of Mn concentrations in leaves to that in soils; B: 叶锰含量与根锰含量之比 Ratio of Mn concentrations in leaves to that in roots; C: 茎锰含量与根锰含量之比 Ratio of Mn concentrations in stems to that in roots

2.2 不同浓度的锰处理对短毛蓼生长的影响

营养液培养结果表明,短毛蓼在含锰浓度为 0.0091 ~ 20.000mmol/L 的营养液中都能存活,这说明短毛蓼对锰具有很强的耐性。当锰浓度小于 8.000mmol/L 时,短毛蓼生长基本正常;当锰处理浓度大于 10.000mmol/L 时,处理 28d 时,短毛蓼老叶中部开始出现淡淡的黄斑,而且随着时间的增加斑块逐渐明显,但新叶仍不断萌发,仅生长速度相对变缓;处理时间超过 35d 后,锰浓度为 15.000mmol/L 和 20.000mmol/L 的生长明显受到抑制,新芽长出速度变慢,部分老叶边缘有枯萎现象。

随着锰供应水平的增加,不同处理的短毛蓼干物质质量差异不是很明显,锰供应水平小于 5.000mmol/L 的各处理下的短毛蓼的干重之间均不存在显著差异,其它供应水平下的短毛蓼的干重与对照之间虽然存在显著差异,但即使是最大供应水平 20.000mmol/L 下的短毛蓼地上部分和根系的干重也仅比对照分别减少 33% 和 45.4%。

2.3 不同锰处理浓度下短毛蓼对锰的富集

由图 1 可知,在营养液培养条件下,短毛蓼各部分锰含量始终为:叶 > 茎 > 根。随着锰供应水平的增加,短毛蓼根、茎、叶的锰含量逐渐增加。当锰浓度小于 8.000mmol/L 时,各处理之间的差异达显著或极显著水平;

锰浓度超过 10.000mmol/L 时,短毛蓼地上部分(叶和茎) Mn 含量虽然继续升高,但增加态势变缓。当锰处理浓度为 20.000mmol/L 时,叶片锰含量高达 55750.4mg/kg,茎锰含量高达 18112.2mg/kg。

由表 2 可知,当营养液锰含量为 0.0091mmol/L 时,短毛蓼的生物富集系数(叶 Mn 含量与营养液 Mn 含量之比)高达 3750;随着生长介质锰供应水平的升高,生物富集系数呈下降趋势,这主要是因为锰是植物生长必须的微量元素,当生长介质锰供应超过植物必需的水平时,短毛蓼则可能依靠某种机制富集锰。短毛蓼叶锰含量始终比根系高,这与野外采样分析结果一致,符合超富集植物累积重金属的一般特性。随着锰供应水平的增加,短毛蓼叶锰含量与根系锰含量的比值呈上升趋势,当 8.000mmol/L 时达到最大值 9.21,之后开始下降,直至 20.000mmol/L 时的 5.62,茎锰含量与根锰含量的比值也呈相似变化。

3 讨论

植物叶片或地上部分(干重)中含 Cd 达到 100mg/kg,含 Co、Cu、Ni、Pb 达到 1000mg/kg,含 Mn、Zn 达到 10000mg/kg 以上的植物称为超富集植物^[15],同时还应满足 $S/R > 1$ 的条件(S 和 R 分别指植物地上部分和根

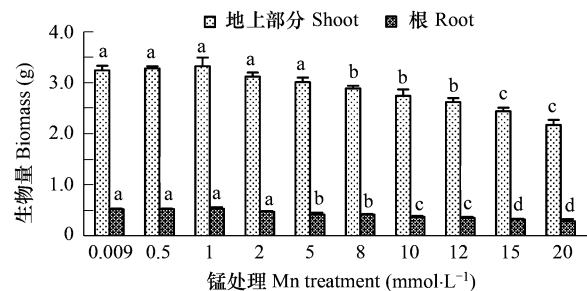


图 1 锰处理对短毛蓼生物量的影响

Fig. 1 Effects of Mn treatment on the biomass of *P. pubescens* grown under hydroponic conditions

相同字母表示同一列数值之间的差异不显著($p < 0.05$)

部重金属的含量)^[16]。野外调查结果表明(表 1),5 个采样点的短毛蓼叶锰含量均超过 10000mg/kg,最高达 16649.9mg/kg,说明它是一种锰超富集植物。室内营养液培养试验进一步证明了短毛蓼对锰的超富集能力,当锰供应水平为 1.000mmol/L 时,叶锰含量就超过了 10000mg/kg;当锰供应水平为 8.000mmol/L 时,茎锰含量亦超过了 10000mg/kg,而叶锰含量已达到 40880mg/kg;当锰供应水平为 20.000mmol/L 时,茎和叶的锰含量分别高达 18112 和 55750mg/kg;同时,在试验条件下,所有处理浓度下的植物地上部分比根的锰含量都高,即 $S/R > 1$ 。

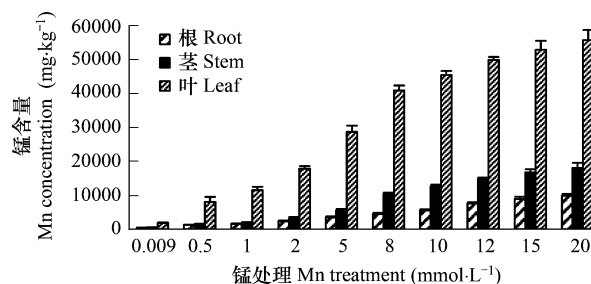


图 2 营养液培养条件下短毛蓼体内的锰含量

Fig. 2 Mn concentration of *Polygonum pubescens* Blume in nutrient solution

表 2 营养液培养条件下短毛蓼对锰的富集作用

Table 2 Manganese bioconcentration and translocation of *P. pubescens* grown in nutrient solution

处理 Treatment (mmol·L ⁻¹)	叶/营养液 L/N	根/营养液 L/N	叶/根 L/R	茎/根 S/R
0.0091	3750	823	4.56	1.47
0.5	292	22	6.20	1.13
1	210	29	7.27	1.19
2	163	21	7.73	1.39
5	104	13	8.30	1.60
8	93	10	9.21	2.34
10	83	10	8.23	2.29
12	76	11	6.59	1.96
15	64	11	5.95	1.88
20	51	9	5.62	1.83

短毛蓼在锰含量高达 250000mg/kg 的矿区废弃矿堆上依然可以正常生长,在营养液锰浓度高达 20.000mmol/L 时仍能不断长大,28d 才出现中毒症状,直至培养周期结束仍有新芽长出,表明短毛蓼是一种优良的锰超富集植物,不仅有极强的锰富集能力,而且表现出极高的忍耐锰毒害的能力。锰矿废弃地上生长的短毛蓼体内锰含量比营养液培养条件下的低,可能与生长介质的 pH 值和有效锰浓度存在差异有关,而且锰矿废弃地土壤的理化性质和其它重金属的存在可能对短毛蓼吸收锰也有一定的影响。

短毛蓼是在广西北部锰矿区新发现的锰超富集植物,是一种 1 年生草本植物,茎直立,高 60~90cm,疏生短硬伏毛;叶卵状披针形或宽披针形,长 5~10cm,宽 1~2.5cm,上面绿色,中部具黑褐色斑点,两面密被短硬伏毛,边缘具缘毛;生沟边、水旁、田边湿地,在辽宁、陕西、甘肃、华东、华南和西南等地均有分布^[17]。此外,短毛蓼生命力较强,扦插即可成活。因此,短毛蓼对锰污染环境实施植物修复具有很大的潜力,为深入探讨锰在植物体内的超富集机理提供了一种新的种质资源。

References:

- [1] Yang X L, Wang G L, Zhang Z C. Manganese and Health of Human Body. *Medical Recapitulate*, 2006, 12(18): 1134—1136.
- [2] Erikson K M, Aschner M. Manganese neurotoxicity and glutamate_GABA interaction. *Neurochem Int*, 2003;43:475—80.
- [3] Zhu C C, Zhu G X. Effects of manganese exposure on male sexual hormone. *China Public Health*, 1999;15(1):63—64
- [4] Vartanian J P, Sata M, Henry M, Hobson S W, Meyerhans A. Manganese cations increase the mutation rate of human immune deficiency virus type 1 ex vivo. *Journal of General Virology*, 1999, 80: 1983—1986.
- [5] Aydinalp C, Marinova S. Distribution and forms of heavy metals in some agricultural soils. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2003, 12(5): 629—633.
- [6] Cai G P, Ge X X, Zeng G M. Investigation and evaluation of the pollution of manganese sulphate in Huangxing Town. *Environmental Monitoring in*

- China, 2003, 19(4): 56—59.
- [7] Li M S, Luo Y P, Su Z Y. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China. *Environmental Pollution*, 2007, 147: 168—175.
- [8] Levy B S, Nassetta W J. Neurologic effects of manganese in humans; a review. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 2003, 9(2): 153—163.
- [9] Takser L, Mergler D, Hellier G, Sahuquillo J, Huel G. Manganese, monoamine metabolite levels at birth, and child psychomotor development. *Neurotoxicology*, 2003, 24(4): 667—674.
- [10] Singh O V, Labana S, Pandey G, Budhiraja R, Jain R K. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology Biotechnology*, 2003, 61: 405—412.
- [11] Xue S G, Chen Y X, Luo Y M, Reeves R D, Lin Q. Manganese tolerance and hyperaccumulation of *Phytolacca acinosa* Roxb. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(6): 889—895.
- [12] Tie B Q, Yuan M, Tang M Z. *Phytolacca Americana* L.: a new manganese accumulator plant. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 340—343.
- [13] Wang H, Tang S M, Liao X J, Cao Q M, Yang A F, Wang T Z. A new manganese-hyperaccumulator: *Polygonum hydorpiper* L.. *Ecology and Environment*, 2007, 16(3): 830—834.
- [14] Yang S X, Deng H, Li M S. Manganese uptake and accumulation in a woody hyperaccumulator, *Schima superba*. *Plant Soil and Environment*, 2008, 54(10): 441—446.
- [15] Baker A J M, Brooks R R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, 1989, 1: 81—126.
- [16] Reeves R D, Baker A J M. Metal-accumulating plants. In: Raskin, I., Ensley, B D eds. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000. 193—229.
- [17] Li A R. *Chinese plants will*. Beijing: Science Press, 1998. 25(1): 9.

参考文献:

- [1] 杨心乐, 王桂兰, 张忠诚. 锰与人体健康. *医学综述*, 2006, 12(18): 1134~1136.
- [3] 朱长才, 朱国兴. 锰对接触男工性激素的影响. *中国公共卫生*, 1999, 15(1): 63~64.
- [6] 蔡固平, 葛晓霞, 曾光明. 黄兴镇硫酸锰企业污染调查与评价. *中国环境监测*, 2003, 19(4): 56~59.
- [11] 薛生国, 陈英旭, 骆永明, Reeves R D, 林琦. 商陆(*Phytolacca acinosa* Roxb.)的锰耐性和超积累. *土壤学报*, 2004, 41(6): 889~895.
- [12] 铁柏清, 袁敏, 唐美珍. 美洲商陆(*Phytolacca Americana* L.)——一种新的Mn积累植物. *农业环境科学学报*, 2005, 24(2): 340~343.
- [13] 王华, 唐树海, 廖香俊, 曹启明, 杨安富, 王汀忠. 锰超积累植物——水蓼. *生态环境*, 2007, 16(3): 830~834.
- [17] 李安仁. *中国植物志*. 北京: 科学出版社, 1998. 25(1): 29.