

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.03.012

赵盈丽,游少鸿,刘杰,等. 商陆对锰污染土壤的修复实验研究[J]. 广西植物, 2014, 34(3): 344-347

Zhao YL, You SH, Liu J, et al. Experimental research of phytoremediation properties about *Phytolacca acinosa* on Mn-contaminated soil[J]. *Guihaia*, 2014, 34(3): 344-347

商陆对锰污染土壤的修复实验研究

赵盈丽¹, 游少鸿^{1*}, 刘杰¹, 芦晓燕², 杨明匀¹, 何昌杰¹

(1. 桂林理工大学 广西矿冶与环境科学实验中心, 广西 桂林 541004; 2. 广西华蓝设计(集团)有限公司, 南宁 530000)

摘要: 商陆是在中国境内发现的多年生、草本型锰超积累植物。通过室内土培试验, 评价商陆对土壤中锰的去除潜力, 确定最佳收获时间, 以期达到最佳的重金属污染土壤植物修复效果。结果表明: 商陆能将土壤中的锰转运到地上部位, 叶片中 Mn 含量最高, 平均值为 17 043 mg/kg DW, 远远大于茎和根的锰含量均值; 单株的平均富集量在浓度为 500 mg/kg DW 时达最高, 一棵商陆可富集平均 13 mg 的 Mn; 动态修复中确定的最佳收获时间为 60 d, 不同时间收获的商陆地下部分生物量差异不明显 ($P > 0.05$), 地上部分则差异较大。连续收获不改变其锰生物富集能力。这表明商陆对锰有较强的富集能力, 是一种优良的修复锰污染土壤的物种, 对土壤重金属污染的治理及植物修复领域数据库的完善具有重要意义。

关键词: 商陆; 锰; 植物修复; 土壤

中图分类号: Q948.116 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2014)03-0344-04

Experimental research of phytoremediation properties about *Phytolacca acinosa* on Mn-contaminated soil

ZHAO Ying-Li¹, YOU Shao-Hong^{1*}, LIU Jie¹,
LU Xiao-Yan², YANG Ming-Yun¹, HE Chang-Jie¹(1. *Guangxi Scientific Experiment Center of Mining, Metallurgy and Environment, Guilin University of Technology*, Guilin 541004, China; 2. *Guangxi Hualan Design Group Co. Ltd.*, Nanning 530000, China)

Abstract: *Phytolacca acinosa* found in the territory of China is a kind of perennial and herbaceous manganese hyper-accumulator plant. In order to achieve the best effect of repairment, the potential of *P. acinosa* for removal of manganese in soil were evaluated, and confirmed the optimal harvest time, used by the indoor test of earth culture. The results showed that *P. acinosa* could transport Mn in soil to its aerial part. The Mn concentration in its leaves was the maximum, its average value was 17 043 mg/kg DW, and much greater than the average value of Mn concentration in its stems and roots separately. The average enrichment capacity of single plant reached the highest value when the concentration was 500 mg/kg DW. One *Phytolacca acinosa* could enriched 13 mg Mn averagely. It was determined that its best harvest time was 60 d in the dynamic experiment, the foot end's biomass of *P. acinosa* which was reaped in different time had unobvious diversity ($P > 0.05$), while the aerial part had a bigger diversity. Sequential harvest wouldn't change the biological concentration ability of *P. acinosa* to Mn. These results indicated that *P. acinosa* had a strong accumulation ability to manganese, and it was a kind of excellent species to repair Mn-contaminated soil. This was significant for the treatment of heavy metal pollution of soil and the improvement of database in the field of phytoremediation.

收稿日期: 2013-08-03 修回日期: 2013-10-11

基金项目: 国家自然科学基金(41001186); 广西自然科学基金(2011GXNSFF018003, 2013GXNSFBA019210)。

作者简介: 赵盈丽(1986-), 女, 黑龙江齐齐哈尔市人, 硕士, 研究方向为重金属污染修复, (E-mail)mei_li_zhao@126.com。

*通讯作者: 游少鸿, 硕士, 副教授, 研究方向为重金属污染修复, (E-mail)646761963@qq.com。

Key words: *Phytolacca acinosa*; manganese; phytoremediation; soil

植物修复技术于 1983 年由美国科学家 Chaney *et al.* (1997) 首次提出, 并以其工程量小、成本低、治理效果好且无二次污染等优点成为环境科学领域研究的一个热点(韦朝阳等, 2001)。1995—2011 年, 相关研究论文在《Nature》和《Science》上共发表了 5 篇, 1999 年美国 CRC 出版社开始出版有关植物修复的国际期刊(周宁, 2011)。由此可见, 该技术越来越受到社会各界的普遍关注, 具有广阔的发展前景。在发达国家, 植物修复这种“绿色技术”已在一定程度上缓解了土壤重金属污染问题(Gratão *et al.*, 2005)。该技术的关键在于找到能大量富集重金属的超富集植物, 国内外学者在超积累植物筛选方面做了大量研究, 且已被报道的超积累植物已有 400 多种, 包括紫菀科、十字花科、石竹科、莎草科、南蔷薇科、豆科、大风子科、唇形华科、禾本科、堇菜科和大戟科等植物(Prasad *et al.*, 2003)。

目前报道的锰超积累植物有 11 种(Reeves *et al.*, 2000) 并进行了更深入的研究, 如王华等(2008) 通过营养液模拟试验, 研究超积累植物水蓼吸收锰的生理与分子机制; 唐秀梅等(2009) 采用水培, 研究锰超积累植物杠板归根系分泌金属离子的特性; 任立民等(2007) 采用水培试验研究不同锰营养水平下, 水蓼、小飞蓬、杠板归的生理响应, 通过对不同的指标进行分析比较, 揭示它们的耐锰性差异。商陆(*Phytolacca acinosa*) 是国际上报道的第一例多年生草本型锰超积累植物, 对锰具有很强的耐受和积累能力, 有助于修复锰污染土壤, 已被报道为锰的超积累植物(袁敏等, 2007; 薛生国等, 2004), 因其具有多年生、生长迅速、适应性强等特点, 因此被认为是修复锰污染土壤的理想超富集植物(刘云国, 2006)。本研究从静态和动态两个方面研究商陆对土壤中锰金属的吸收效果, 评价其修复性能。

1 材料与方 法

1.1 植物与土壤材料

研究所用的商陆植株是由人工培养种子发芽而得到的, 该种子采集于桂林市雁山镇野外; 所用的土壤采用市售的河沙, 酸泡洗净, 晒干备用。

1.2 培养方法

锰元素以 $MnCl_2$ 形式溶于水加入土壤中混合搅

拌均匀, 晒干后加水再混合, 如此反复 3 次, 晒干。

1.2.1 静态实验 选取生长一致的商陆植株, 培养于混有重金属锰的河沙内, 其重金属浓度梯度为 0、125、250、500、750 和 1 000 mg/kg DW(干重), 其中 0 mg/kg DW 浓度的为空白对照实验, 每个处理设 5 个重复。隔天观察记录各株商陆的表现。30 d 后, 收获植物, 洗净分离根、茎、叶测定各部分生物量, 然后用原子吸收法测定植物各部分的重金属含量, 确定商陆的修复情况。

1.2.2 动态实验 通过静态实验确立的土壤重金属浓度—生物富集系数的数学关系, 选择一适宜浓度或拐点处浓度处理商陆植株, 分别在处理的 0、30、60、90 和 120 d 收获植物, 测其生物量和重金属含量, 确立最佳收获时间, 同样每个处理设 5 个重复。在确定最佳收获时间的基础上, 连续种植 3~5 次, 分别测定每次收获植物的重金属蓄积量。

1.3 样品的处理及测定

收获植物, 自来水洗净, 地上部分直接用去离子水洗净, 然后用吸水纸把表面水吸干, 地下部分则用 0.5 mmol 冰冷的 $CaCl_2$ 浸泡 30 min, 再用去离子水洗净。将洗净的新鲜样品放在 105 °C 的烘箱内杀青保持 30 min, 再转到 70 °C 下烘干至恒重, 测定各部分干物质量, 之后磨成粉末, 供分析测定使用。测定采用 $HNO_3 + HClO_4$ 体系消解, 原子吸收火焰法(PE-AA700)测定重金属含量。

2 结果与分析

2.1 静态处理结果与分析

不同锰浓度的土培实验 30 d, 收获商陆植株后根、茎、叶中重金属锰含量见图 1。商陆单株富集的平均 Mn 含量情况见图 2。从图 1 看出, 虽然实验时间较短, 但商陆仍表现出较强的 Mn 富集能力, 根、茎、叶中仍能富集较高含量的 Mn, 尤其是商陆叶片中 Mn 含量最高可达 28 202 mg/kg DW, 平均值 17 043 mg/kg DW, 茎和根的平均锰含量分别为 3 138 和 2 189 mg/kg DW, 远远小于叶片的含量。

随着处理 Mn 浓度的增加, 各组商陆根茎叶中富集 Mn 浓度都随之增加。在处理 Mn 浓度低于 500 mg/kg DW 时, 根茎叶中 Mn 浓度迅速增加; 浓度高于 500 mg/kg DW 时, 其 Mn 浓度增加渐缓; 当

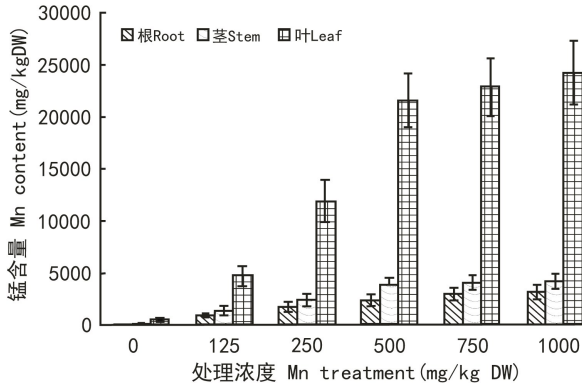


图1 商陆植株根、茎、叶中重金属锰含量
Fig. 1 Contents of Mn in roots, stems and leaves of *P. acinosa*

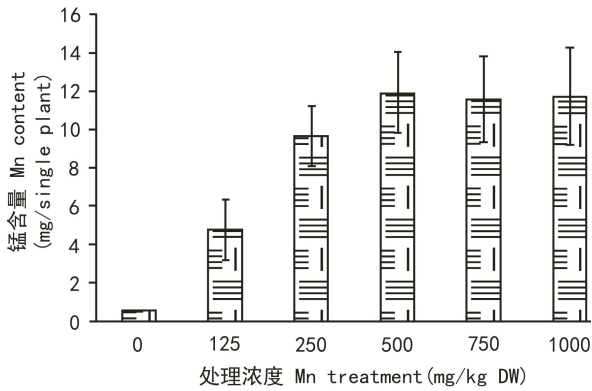


图2 单株商陆富集的 Mn 含量

Fig. 2 Content of Mn in single plant of *P. acinosa*

Mn 处理浓度高达 750 mg/kg DW 或者更高时,植株叶片中平均 Mn 浓度可达 24 174 mg/kg DW,此时虽然叶片的浓度继续增加,但叶片均已出现明显的锰毒症状,同时生物量也有所减少。

从图 2 看出,单株植物的平均富集量在浓度为 500 mg/kg DW 时达最高,一颗商陆可富集 13 mg 左右的 Mn。因此,根据单株植物的富集量可以得出,在受 500 mg/kg DW 锰污染的土壤上,每 1 kg 的土壤约需种植 39 株商陆。

2.2 动态处理结果与分析

通过上述静态实验,选择 500 mg/kg DW 的锰浓度进行动态吸附研究。分别于处理后 0、30、60、90 和 120 d 收获植物测量其生物量和根茎叶中锰含量,确定最佳收获时间,每个处理设 5 个重复。其 Mn 含量变化情况见图 3。

从图 3 看出,0~30 d 时,商陆根、茎和叶均以较快速度吸收富集 Mn,尤其是叶片,Mn 含量可达

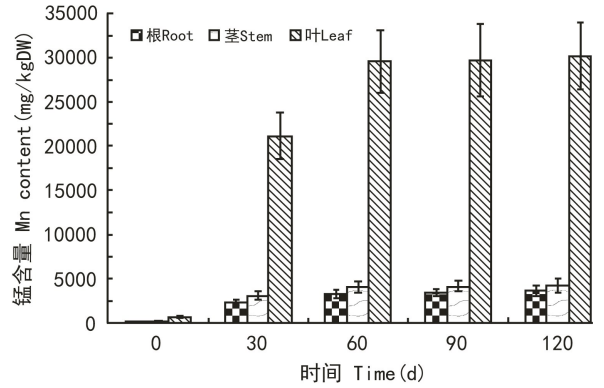


图3 商陆各部分动态吸收情况

Fig. 3 Dynamic absorption in the parts of *P. acinosa*

21 146 mg/kg DW,富集速度每天达 704.867 mg/kg DW。随着时间的增加,根茎叶中富集的 Mn 都随之增加。30~60 d 时,叶片锰含量有所增加,但平均富集速度每天降到 237.001 mg/kg DW,60~120 d 时,富集的速度虽仍在增加,但速度明显减缓,每天仅 101.682 mg/kg DW,基本维持着缓慢增长的趋势,富集量已基本稳定。在第 120 天收获时植株的部分叶片已出现轻微锰毒症状。

不同时间收获的商陆生物量差异并不明显,通过研究我们确定商陆的最佳收获时间为 60 d,在此基础上,连续种植收获 3 次,分别测定每次收获植物的生物量和重金属蓄积量,连续 3 次收获之后商陆的根茎叶平均锰含量分别达 3 469、4 687、30 928 mg/kg DW,各部分生物量差异均不明显 ($P > 0.05$)。收获及其相互关系并没有显著影响商陆的收获量,连续收获不改变商陆的锰生物富集能力,可能不会减少商陆对锰的提取效率。

3 结论

商陆叶片中 Mn 含量最高可达 28 202 mg/kg DW,平均值 17 043 mg/kg DW,超过 Baker 和 Brooks 描述的临界值。商陆对锰的高积累表明,商陆具有从土壤中提取锰金属的巨大潜力,在高浓度和低浓度锰水平下,利用商陆进行植物吸收都是可行的。商陆在很短时间内也能以很快的速度吸收重金属并富集于植物体内。叶片是 Mn 在商陆体内累积的主要器官,这是由于植物的蒸腾作用,把从介质中吸收的 Mn 经过茎输送到叶部而富集,输送的 Mn 主要被蒸腾作用力保留在叶子里。

对于商陆的实际应用,根据我们的研究及计算,单株植物的平均富集量在浓度为 500 mg/kg DW 时达最高,一颗商陆可富集 13 mg 左右的 Mn。因此,在受 500 mg/kg DW 锰污染的土壤上,每 1 kg 的土壤约需种植 39 株商陆。

要从土壤中提取重金属锰,有必要对植物进行多次收获。商陆属草本型、增长速度快、易成活。本研究中不同时间收获的商陆生物量差异并不明显,商陆的最佳收获时间为 60 d,在此基础上,连续种植收获 3 次及其相互关系并没有显著影响商陆的收获量,连续收获不改变商陆的锰生物富集能力,可能不会减少商陆对锰的提取效率。

不同时间收获的商陆生物量差异并不明显,本研究是在人工温室培养条件下对锰的植物吸收进行评估的,与自然界的条件还存在一些差异,在此领域未来的研究中,有必要根据实际的自然条件对植物的提取效率进行评估。

致谢 本研究受广西矿冶与环境科学实验中心项目资助,同时广西环境污染控制理论与技术重点实验室为本成果提供了支持,在此特别鸣谢。

参考文献:

Chaney RL, Minnie M, Li YM, *et al.* 1997. Phytoremediation of soil metals (土壤重金属植物修复)[J]. *Curr Opin Biotechnol* (生物技术时论), **8**:279-284

Gratão PL, Prasad MNV, Cardoso PF, *et al.* 2005. Phytoremediation: green technology for the clean-up of toxic metals in the environment (植物修复: 清除环境中有毒重金属的绿色技术)[J]. *Braz J Plant Physiol* (巴西植物生理学期刊), **17** (1):53-64

Liu YG(刘云国), Zhang HZ(张会芝), Zeng GM(曾光明), *et al.* 2006. Heavy metal accumulation in plants on Mn mine tailings (锰矿尾渣植物中重金属的积累)[J]. *Pedosphere* (土壤圈),

16(1):131-136

Prasad MNV, Freitas H. 2003. Metal hyperaccumulation in plants- Biodiversity prospecting for phytoremediation technology [J]. *Elec J Biotechnol*, **6**:275-321

Reeves RD, Baker AJM. 2000. Metal-accumulating plants [M]// Raskin I, Ensley BD (eds). *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*. New York: John Wiley & Sons, Inc:193-229

Tang XM(唐秀梅), Gong CF(龚春峰), Liu P(刘鹏), *et al.* 2009. Study on characteristic of metal ion in root exudates of Mn hyperaccumulator *Polygonum perfoliatum* L. under Mn stress (锰超积累植物杠板归根系分泌金属离子特性研究) [J]. *J Guangxi Univ* (广西大学学报), **34**(z1):381-383

Ren LMC(任立民), Liu P(刘鹏), Cai MZ(蔡妙珍), *et al.* 2007. Physiological response of *Polygonum hydropiper*, *Comniza canadensis*, *Polygonum perfoliatum* and *Phytolacca americana* to manganese toxicity (水蓼、小飞蓬、杠板归和美洲商陆对锰毒的生理响应) [J]. *J Soil & Water Conserv* (水土保持学报), **21**(3):82-85

Wang H(王华), Tang SM(唐树梅), Liao XJ(廖香俊), *et al.* 2008. Physiological and molecular mechanisms of Mn uptake by hyperaccumulating plant *Polygonum hydropiper* (Polygonaceae) (超积累植物水蓼吸收锰的生理与分子机制) [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), (4):489-495

Wei CY(韦韦朝), Chen TB(陈同斌). 2001. Hyperaccumulators and phytoremediation of heavy metal contaminated soil: a review of studies in China and abroad (重金属超富集植物及植物修复技术研究进展) [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **21**(7):1 196-1 203

Xue SG(薛生国), Chen YX(陈英旭), Reeves RD, *et al.* 2004. Manganese uptake and accumulation by the hyperaccumulator plant *Phytolacca acinosa* Roxb. (Phytolaccaceae) (商陆科超富集植物商陆对锰的吸收和积累) [J]. *Environ Pollut* (环境污染), **131**:393-399

Yuan M(袁敏), Tie BQ(铁柏清), Tang MZ(唐美珍), *et al.* 2007. Accumulation and uptake of manganese in a hyperaccumulator *Phytolacca americana* (锰在超富集植物美洲商陆中的吸收和积累) [J]. *Miner Eng* (矿物工程), **20**:188-190

Zhou N(周宁). 2011. Review on the phytoremediation of contaminated soil (利用植物修复污染土壤的研究综述) [J]. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), **39**(6):3 390-3 391, 3 404

(上接第 407 页 Continue from page 407)

flammatory compound from *Ehretia dicksonii* [J]. *Biosci, Biotechnol Biochem*, **64**:882-886

Mi JL(米君令), Wu CJ(吴纯洁), Sun LG(孙灵根), *et al.* 2013. Chemical constituents from *Ampelopsis japonica* (Thunb.) Makino (白蔹化学成分研究) [J]. *Chin J Experim Tradit Med Form* (中国实验方剂学杂志), **19**(18):280-284

Sungran HUH, Young-Soo KIM, Eunsun JUNG, *et al.* 2010. Melanogenesis inhibitory effect of fatty acid alkyl esters isolated from *Oxalis triangularis* [J]. *Biol Pharm Bull*, **33** (7):1 242-1 245

Wang XH(王夕红), Han GQ(韩桂秋). 1993. The chemical constituents of *Aristolochia kunmingensis* (昆明马兜铃的化学成分) [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **15**(3):306-308

Yuan ZH(袁兆惠), Han LJ(韩丽君), Fan X(范晓), *et al.* 2006. Chemical constituents from red alga *Corallina pilulifera* (红藻小珊瑚藻化学成分研究) [J]. *Chin J Chin Mat Med* (中国中药杂志), **31**(21):1 787-1 790

Zhang YF(张云峰), Wei D(魏东), Guo SY(郭祀远), *et al.* 2006. Studies on chemical constituents of *Poa cynosuroides* (大花罗布麻的化学成分研究) [J]. *Nat Prod Res & Develop* (天然产物研究与开发), **18**:954-957

Zhang XP(张喜萍), Yang Y(杨雁), Wu M(吴明), *et al.* 2010. Chemical constituents of *Rhaponticum uniflorum* (祁州漏芦根的化学成分研究) [J]. *Chin Trad & Herb Drug* (中草药), **41** (6):859-862