

壳聚糖辅助下火炬树修复铅污染土壤潜力及其生长

陆秀君¹, 刁诚轩¹, 邹永田², 黄桂凤³

(1. 沈阳农业大学 林学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 抚顺市清源县湾甸子镇林业站, 辽宁 清源 113311;

3. 沈阳市绿化管理处, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要: 采用盆栽试验研究了火炬树(*Rhus typhina*)在土壤铅浓度分别为 900、1 200、1 800 mg/kg, 壳聚糖浓度分别为 0、2.5、5、7.5 mmol/kg 时的生长及其修复能力。结果表明: 不同浓度的铅处理对火炬树出苗率、苗高和地茎的生长均造成了抑制, 并随着土壤铅浓度的增加抑制作用增大。在有壳聚糖辅助下, 对苗高和地茎的抑制效果更强。不同土壤铅浓度间, 火炬树体内铅的积累量随土壤铅含量的增加而显著的增加; 相同土壤铅浓度间, 火炬树体内铅的积累量随壳聚糖含量的增加而增加。在土壤铅浓度为 1 800 mg/kg, 壳聚糖浓度为 7.5 mmol/kg 时, 火炬树地上部分对铅的积累量最大, 达到 339.6 μ g/g。而铅积累总量在土壤铅浓度为 1 200 mg/kg, 壳聚糖浓度为 5 mmol/kg 时达到最大, 约为 1 109.97 μ g/株, 火炬树能正常生长, 积累效果最理想。

关键词: 铅; 火炬树; 壳聚糖; 植物修复

中图分类号: S 791.255 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)14-0034-05

铅是对动植物危害较大的金属元素之一。受铅污染的土壤, 不但影响作物的正常生长, 还能引起人的各种生理异常^[12]。用植物修复土壤重金属污染的方法近年来被国内外学者所广泛重视^[35]。但目前发现自然界能够富集铅的超量积累植物只有少数几种, 并且它们有很强的地域性, 生长速度慢, 植株矮小, 干物质积累量低, 给生产实践带来很大困难^[6]。诱导植物提取法是利用螯合剂来促进植物吸收, 富集土壤中的重金属的修复方法。该法通过螯合剂的诱导能提高一些对重金属本不具有超量积累特性植物的耐重金属能力, 可极大地扩大土壤修复植物的品种, 提高重金属污染土壤的修复效率^[7]。在所有螯合剂中, 发现 EDTA 诱导对铅的植物提取效率最高。不同螯合剂对土壤铅解吸效率为 EDTA > HEDTA > DTPA > EGTA > EDDHA^[8]。Blaylock 等研究表明, 铅的最适螯合剂为 EDTA。陈亚华等研究 EDTA 辅助下油菜修复铅污染土壤的潜力结果表明, EDTA 能显著增加土壤铅的水溶性, 提高油菜地上部铅含量。刘建敏等研究 EDTA 对铅污染土壤上芥菜生长及铅积累特性的影响结果表明, EDTA

处理 14 d 芥菜地上部和根系铅积累量都比不加 EDTA 的对照明显增加。但 EDTA 在促进植物吸收铅的同时也释放了土壤中大量的铅, 增加了铅的流动性, 易对环境造成潜在的二次危害^[9]。壳聚糖是一种天然高分子有机物, 具有较强的螯合吸附能力, 且能够被植物吸收利用, 在环境中易降解, 在诱导植物修复方面具有很大潜力。刘良栋等研究壳聚糖辅助下玉米对铅污染土壤的修复结果表明, 壳聚糖施加后能较大的提高玉米对土壤中铅的吸收从而达到修复效果; 杨智宽等通过向含铅土壤中加入新型壳聚糖衍生物(SCTA-I)的试验结果表明, SCTA-I 加入能增加玉米对铅的吸收量, 促进植物对铅的积累, 提高土壤植物修复的效率。目前将壳聚糖及其衍生物作为促进剂应用到植物修复的研究还很少, 应用到木本植物的更少^[10]。该研究以天然螯合剂壳聚糖为促进剂, 以北方地区广泛栽植的火炬树(*Rhus typhina*)为研究对象, 对壳聚糖辅助下火炬树修复铅污染土壤的能力进行探究, 为木本植物修复铅污染土壤提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自沈阳市东陵区一菜圃地表层土(1~20 cm), 经自然风干, 过 80 目筛, 用于装盆培养。火炬树种子采自沈阳农业大学校园内生长良好的 8~10 a 生树木。种子调制后, 用 80~90 °C 热水烫种,

第一作者简介: 陆秀君(1966-), 女, 博士, 教授, 现从事苗木栽培及污染的生理生态研究工作。E-mail: luxiu jun1993@sina.com。

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(20072125); 辽宁省百万人才资助项目(2008921057)。

收稿日期: 2010-04-16

于 15 ~ 20 ℃湿沙中层积催芽。配制土壤所用药品: 析纯, 壳聚糖。
Pb(NO₃)₂ 分析纯, KH₂PO₄ 分析纯, CO(NH₂)₂ 分

表 1 供试土壤基本理化性质					
Table 1 Some physico-chemical properties of experimental soil					
有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	水解氮 Hydrolyze nitrogen	全磷 Total phosphorus	速效磷 Available phosphorus	速效钾 A available potassium
/ g · kg ⁻¹	/ g · kg ⁻¹	/ g · kg ⁻¹	/ g · kg ⁻¹	/ mg · kg ⁻¹	/ g · kg ⁻¹
7. 5	0. 71	0. 15	0. 44	11. 92	0. 18

1.2 试验设计

土壤设置 3 个铅处理水平: 以 Pb(NO₃)₂ 溶液加入土壤中的铅浓度分别为 900、1 200、1 800 mg/kg。以 KH₂PO₄ 溶液的形式施入基肥(P₂O₅: 0. 1 g/kg; K₂O: 0. 75 g/kg)。在各铅处理土壤中补加尿素(CO(NH₂)₂), 使土壤中氮含量均为 0. 15 g/kg, 处理后的土壤风干后备用。

将 3 种水平的铅处理土壤各分装 12 盆(直径×高为 15 cm×18 cm), 每盆装土 3 kg, 同时设置 3 组(每组 4 盆)不加铅的土壤为对照, 用于与各铅处理进行出苗率的比较。2009 年 4 月, 将催芽后的火炬树种子直接播入各盆内, 每盆播种 50 粒, 待种子萌发 1

周后间苗, 每盆留苗 6 株。幼苗生长 90 d 后, 将相同铅处理浓度(12 盆)再分成 4 组(每组 3 盆), 在每个铅处理水平下分别加入浓度为 0、2. 5、5、7. 5 mmol/kg 的壳聚糖(表 2)。未施壳聚糖之前, 每天加去离子水 150 mL, 保持土壤湿润度为田间持水量的 60 % 左右。施加壳聚糖时, 向含铅土壤中 1 次直接加入对应浓度的壳聚糖溶液 50 mL/kg, 代替当天的浇水过程。火炬树种子播入各盆萌发 1 周后, 记录各处理下的出苗率; 幼苗生长 90 d 后(施加壳聚糖前)测定各铅处理下火炬树的苗高和地茎; 施加壳聚糖 20 d 后再次测量其苗高和地茎, 并取根、茎和叶烘干, 测定其含铅量。

表 2 火炬树提取土壤铅试验方案												
Table 2 Experimental design of <i>Rhus typhina</i> remediation to soil Pb												
因素 Factor	编号 Number											
	A-1	A-2	A-3	A-4	B-1	B-2	B-3	B-4	C-1	C-2	C-3	C-4
土壤含铅量 Pb content in soil/mg · kg ⁻¹	900	900	900	900	1 200	1 200	1 200	1 200	1 800	1 800	1 800	1 800
壳聚糖含量 Chitosan content/mm ol · kg ⁻¹	0	2. 5	5	7. 5	0	2. 5	5	7. 5	0	2. 5	5	7. 5

1.3 试验方法

1.3.1 土壤理化性质 速效磷含量采用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定; 全磷含量采用 H₂SO₄-HClO₄ 分解—钼锑抗比色法测定; 有机质含量采用重铬酸钾容量法测定; 水解氮含量采用碱解扩散法测定; 全氮含量采用 H₂SO₄-HClO₄ 消煮—奈氏比色法测定; 速效钾含量采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定^[11]。

1.3.2 植物及土壤样品铅含量测定 植物样品用去离子水洗清, 105 ℃烘干, 与土壤样品分别研磨过 80 目筛。用 V(HNO₃): V(HClO₄) = 3 : 1 的混合液加盖浸泡过夜后, 在温度为 230 ℃的消煮炉上消煮, 至消化液呈无色透明 放冷将试样消化液洗入 50 mL 容量瓶中, 用 Varian 原子吸收 AA240 测定铅元素含量。采用 Excel 和 SPSS17. 0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 壳聚糖处理前后火炬树的生长状况

2.1.1 火炬树出苗率 火炬树种子在 3 种铅含量土壤 A、B 和 C 上均能出苗, 出苗率分别为 86. 83 %、75. 67 % 和 66. 5 %, 与之对应的 3 组对照种子的平均出苗率分别

为 100 %、98 %和 100 %, 说明不同浓度的铅对火炬树种子的萌发有不同的抑制作用, 随着土壤铅含量的增加抑制作用增强。

2.1.2 壳聚糖处理前后火炬树苗高、地茎和生物量的变化 火炬树种子萌发后至幼苗生长 3 个月时, 地上部均未出现肉眼可见的伤害症状(如萎蔫、失绿和坏死斑点等), 但苗高与地茎出现了不同的差异。各处理幼苗长势如表 3 所示。重金属毒害植物的症状之一是通过抑制植物细胞的分裂和伸长使其矮化。由表 3 可知, 火炬树生长 3 个月后, 壳聚糖处理前, 3 种铅含量土壤 A、B 和 C 的平均苗高分别为 21. 09、18. 2、14. 47 cm, 平均地茎分别为 5. 74、5. 19、4. 08 mm, 说明在土壤含铅量不同的各处理水平下, 苗高和地茎的生长均差异显著。土壤含铅量相同的各处理间, 苗高和地茎的生长均无明显差异。壳聚糖处理后土壤出现不同程度的板结。苗高的生长和叶片外观随着壳聚糖施加量的不同在各组内和组间呈现了不同的变化。壳聚糖施加后的第 9 天, 处理 B-4 的幼苗叶片呈现轻微的失绿发黄。在 C 组土壤上, 各壳聚糖处理下的幼苗均出现了失绿发黄和坏死斑点。高浓度壳聚糖处理下的幼苗生长明显受到抑制, 如表 3

中8月30日苗高所示。与8月9日的苗高相比,土壤含铅量相同的各处理间,随着壳聚糖浓度的增大,苗高长势有显著差异,其增值呈现逐渐降低的趋势,说明壳聚糖的施加对火炬树的苗高产生了影响。在土壤含铅量不同的各处理下,随着土壤铅含量的增加,苗高长势呈

现显著差异,苗高增值呈现降低的趋势,说明土壤铅浓度对苗高的生长也产生了抑制作用。对于地茎而言,土壤含铅量相同的各处理间,不同浓度的壳聚糖对地茎的生长抑制作用不明显。在土壤含铅量不同的各处理下,随着土壤铅含量的增加,地茎生长差异显著。

表 3 不同的铅和壳聚糖水平对火炬树苗高、地茎和生物量的影响

Table 3 Effects of lead and chitosan at different concentrations on the plant height diameter growth process the shoot dry weight and root dry weight of Rhus typhina

试号 Number		项目 Item					
		8月9日		8月30日			
		苗高 Seedling	地茎 Ground	苗高 Seedling	地茎 Ground	地上干重 Aboveground	地下干重 Underground
		height/ cm	diameter/ mm	height/ cm	diameter/ mm	dry weight/ g	dry weight/ g
A	A-1	21.46a	5.85a	23.99a(a)	6.16a(a)	3.31a(a)	1.85a(a)
	A-2	20.81a	5.72a	22.84a(b)	5.98a(a)	2.82a(b)	1.76a(b)
	A-3	21.15a	5.69a	22.35a(c)	5.88a(a)	2.72a(b)	1.72a(b)
	A-4	20.95a	5.7a	22.03a(d)	5.46a(a)	2.48a(b)	1.69a(b)
B	B-1	19.32b	5.31b	20.87b(a)	5.46b(a)	3.05b(a)	1.81b(a)
	B-2	18.37b	5.3b	19.6b(b)	5.4b(a)	2.23b(b)	1.63b(b)
	B-3	17.71b	5.3b	18.75b(c)	5.39b(a)	2.15b(b)	1.61b(b)
	B-4	17.42b	4.86b	18.45b(d)	4.93b(a)	1.95b(b)	1.56b(b)
C	C-1	15.54c	4.1c	16.78c(a)	4.18c(a)	2.81c(a)	1.78c(a)
	C-2	14.75c	4.1c	15.6c(b)	4.15c(a)	1.72c(b)	1.52c(b)
	C-3	13.87c	3.94c	14.73c(c)	4.07c(a)	1.63c(b)	1.49c(b)
	C-4	13.72c	4.16c	14.45c(d)	4.2c(a)	1.42c(b)	1.44c(b)

注:表中数据采用S-N-K(S)法统计,同一列中不同的小写字母表示各处理之间有显著差异($P<0.05$)。括号外的字母表示土壤之间,括号内的字母表示壳聚糖之间。
Notes: Using S-N-K(S) standard, small letter expresses $P<0.05$ level significant differences among treatments in the same column are indicated by different letters, letters outside the brackets showed between the soil, letters within the brackets showed between the chitosan.

对受试含铅土壤进行壳聚糖处理后,火炬树地上与地下部位的生长均受到了不同程度的抑制。在含铅量相同的土壤上,添加不同浓度的壳聚糖使地上部和地下部干重与对照相比均显著降低,并随着壳聚糖浓度的升高,各处理地上部和地下部干重均呈逐渐减少的趋势,但不同浓度的壳聚糖处理间差异不显著。在土壤含铅量不同的3种土壤上,地上部与地下部降低的干重均差异显著,并随着土壤铅含量的增加,各处理地上部和地下部干重均呈逐渐减少的趋势。低浓度的铅和壳聚糖处理A-2地上部和地下部干重减少的最少,分别为0.49、0.09 g;高浓度的铅和壳聚糖处理C-4地上部和地下部干重减少的最多,分别为1.39、0.34 g。

2.2 壳聚糖对火炬树铅积累的影响

在含铅土壤中施加壳聚糖20 d后,各组内未施壳聚糖的对照A-1、B-1和C-1其根部和地上部铅的积累量均随着土壤中铅浓度的增加而增大,并且根部铅的积累量均高于地上部分。含铅量相同施加壳聚糖浓度不同的各处理,其根部和地上部铅的积累量均随着壳聚糖浓度的增加而增大,但地上部铅的积累量明显上升并高于根部。

土壤含铅量相同时,施加不同浓度壳聚糖的各处理其地上部分与地下部分铅的积累量与对照相比均显著

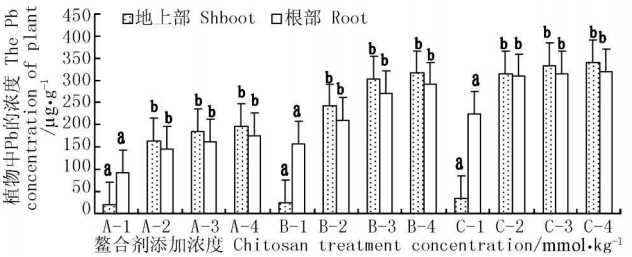


图 1 壳聚糖对不同处理下火炬树吸收 Pb 的影响(8月30日)

Fig. 1 Effects of Chitosan on Pb concentrations of Rhus typhina in different treatments

注:图中数据用S-N-K(S)法统计,不同的小写字母表示壳聚糖各处理之间有显著差异($P<0.05$)。以下同。

Notes: Using S-N-K(S) standard, small letter expresses $P<0.05$ level significant differences among treatments in the same column are indicated by different letters, the following same.

升高,但各壳聚糖处理间差异不显著。处理A-2、A-3和A-4与对照A-1相比地上部分铅的积累量显著增高,分别是对照的7.7、8.6、9.2倍,但A-2、A-3和A-4之间差异不显著;B组各处理分别是对照的9.6、12、12.5倍,各处理间差异不显著;C组各处理分别是对照的8.8、9.4、9.5倍,各处理间差异不显著。以上分析表明,土壤含

铅量相同时, 随着壳聚糖浓度的增大其催化植物地上部分积累铅的能力也随之增大; 土壤含铅量不同时, 地上部与地下部铅的积累量均随着土壤铅含量的升高而显著升高。壳聚糖催化植物地上部分积累铅的效果在 B 组时最好, 最高的是处理 B-4, 约为 315. 25 $\mu\text{g/g}$, 为对照的 12. 5 倍。

总体上而言, 加入壳聚糖能增加土壤中铅的有效性, 提高火炬树地上部铅的积累量。这可能是壳聚糖与土壤中的铅形成可溶性重金属螯合物, 增加了土壤中铅的浓度, 但在催化植物积累土壤中铅的同时也加剧了对植物的伤害。Vassil 等研究表明, 植物可以吸收螯合态的铅并通过木质部向地上部运输积累^[12]。所以, 植物很可能是直接吸收螯合态的铅并积累在体内^[13]。

2.3 土壤含铅量的变化及壳聚糖对火炬树积累铅总量的影响

从图 2 可看出, 在含铅量相同的土壤上, 随着壳聚糖含量的增加, 各处理下土壤含铅量均成递减的趋势, 并且土壤含铅量的变化与植物提取铅含量的变化呈负相关。当土壤中的铅含量减少时, 植物体内铅的积累量随之升高, 符合植物修复土壤铅污染的规律。

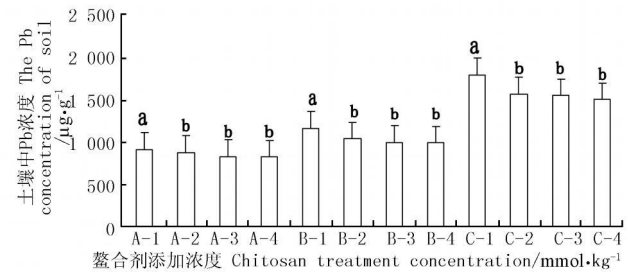


图2 土壤含铅量的变化(8月30日)

Fig. 2 The changes of the total Pb concentrations of soil in different treatments

从图 3 可以看到, 处理 A-2、A-3 和 A-4 与对照 A-1 相比铅积累总量显著增高, 分别是对照的 3. 09、3. 32、3. 29 倍, 但 A-2、A-3 和 A-4 彼此间差异不显著。火炬树在处理 A-3 处铅积累总量最高, 约为 808. 56 $\mu\text{g/g}$ 株, 此处植株生长良好, 叶片嫩绿, 未出现肉眼可见的伤害症状; 处理 B-2、B-3 和 B-4 与对照 B-1 相比铅积累总量显著增高, 分别是对照的 2. 45、3. 04、2. 97 倍, B-2、B-3 和 B-4 彼此间差异也不显著。火炬树在处理 B-3 处铅积累总量最高, 约为 1 109. 97 $\mu\text{g/g}$ 株。虽然苗高和地茎的生长受到了一定的抑制, 但火炬树的叶片未出现肉眼可见的伤害症状; 处理 C-2、C-3 和 C-4 与对照 C-1 相比铅积累总量显著增高, 分别是对照的 2. 05、2. 05、1. 91 倍, C-2、C-3 和 C-4 彼此间差异不显著。火炬树在处理 C-2 处铅积累

总量最高, 约为 1 028. 69 $\mu\text{g/g}$ 株, 但此处植株的叶片出现失绿发黄和坏死斑点。从图 3 还可以看出, 随着土壤含铅量和壳聚糖含量的增加, 各处理下火炬树积累铅的总量先呈现逐渐递增趋势, 在 B-3 处达最大值, 约为 1 109. 97 $\mu\text{g/g}$ 株, 而后, 随着土壤含铅量和壳聚糖含量的增加, 各处理下火炬树积累铅的总量又呈现逐渐递减的趋势。这与图 1 所呈现的火炬树地上部铅的积累量呈逐渐递增趋势有所不同, 原因是高浓度的含铅土壤在有壳聚糖辅助下对火炬树的生长影响较大, 生物量减小所致。由此可知, 加入壳聚糖后能够明显提高火炬树的铅积累总量, 但在高浓度的含铅土壤上施加壳聚糖会对火炬树的生长造成抑制和毒害, 从而影响火炬树对土壤中铅的整株提取效果。

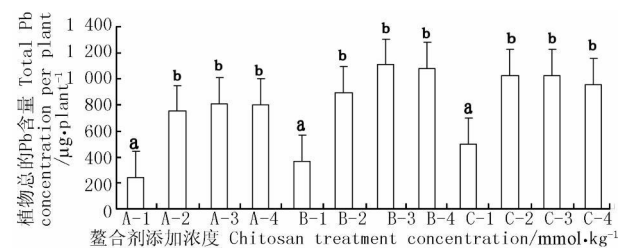


图3 壳聚糖对火炬树提取 Pb 总量的影响(8月30日)

Fig. 3 Effects of chitosan on the total Pb content of *Rhus typhina* in different treatments

3 结论与讨论

重金属可抑制种子的萌发, 其抑制作用随含量和作用时间的增大而增大^[14]。未施壳聚糖之前, 不同浓度的铅处理对火炬树的出苗率有不同程度的影响, 呈现了随着土壤含铅量增高出苗率减小的趋势, 这可能与种子酶活性受到抑制有关。

施加壳聚糖之后, 各铅处理水平下火炬树的苗高和地茎的生长受到不同程度的抑制, 呈现出随着土壤含铅量的增高, 苗高和地茎的增量逐渐减少的趋势。这可能是因为土壤中的铅抑制了火炬树幼苗细胞的分裂和伸长, 使其矮化。虽然个别处理下苗木叶片出现了轻微的失绿发黄甚至是坏死斑点, 但各组火炬树幼苗均能正常生长。

壳聚糖施加到含铅土壤中时, 活化了土壤中的铅并增加了土壤的生物有效性。试验结果表明, 施加壳聚糖 20 d 后, 各组内未施壳聚糖的对照其根部铅的积累量均高于地上部分, 说明火炬树根部积累铅的能力大于地上部分, 这是由于铅在植物体内的活性较低, 植物吸收土壤中的铅后大多数被固定在了根部, 向上运输的较少。同时, 含铅量相同施加壳聚糖浓度不同的各处理, 地上

部铅的积累量明显上升并高于根部,这是因为壳聚糖加入后使土壤中的铅活化,提高了土壤中铅的浓度,螯合态的铅能直接被根吸收并向上运输^[15],促进了铅从根部向地上部的迁移,使根部积累铅的含量相应减少。

壳聚糖的施加明显的增加了火炬树地上部分对土壤中铅的积累能力。在土壤铅浓度为 1 800 mg/kg,壳聚糖浓度为 7.5 mmol/kg 时,火炬树地上部分对铅的积累量最大,达到 339.6 $\mu\text{g/g}$ 。而积累总量在土壤铅浓度为 1 200 mg/kg,壳聚糖浓度为 5 mmol/kg 时达到最大,约为 1 109.97 $\mu\text{g/g}$ 株。由于高浓度的含铅土壤施加壳聚糖后,对火炬树的生长有毒害作用,在土壤铅浓度为 1 200 mg/kg,壳聚糖浓度为 5 mmol/kg 时,火炬树积累铅的总量最大,且此处植株生长良好,积累效果最理想。

参考文献

- [1] Pastorelli G, Andreottola G, Canziani R, et al. Pilot-plant experiment with moving bed biofilm reactor[J]. Wat. Sci. and Tech, 1997, 36(1): 43-50.
- [2] Sze C, Wong C, Li X D. Pb contamination and isotopic composition of urban soils in Hong Kong[J]. Science of the total environment, 2004, 319(1-3): 185-195.
- [3] Salt D E, Blaylock M, Kumar N P B A, et al. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants[J]. Biotechnology, 1995, 13(5): 468-474.
- [4] 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.

- [5] Kramea U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils[J]. Current Opinion in Biochemistry, 2005, 16(2): 133-141.
- [6] 陈亚华, 李向东, 刘红云, 等. EDTA 辅助下油菜修复铅污染土壤的潜力[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(4): 15-18.
- [7] 王校常. 重金属植物修复-绿色清洁的污染治理技术[J]. 核农学报, 2000, 14(5): 315-320.
- [8] Huang J W, Chen J, Berti W R, et al. Phytoremediation of Pb contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction[J]. Environ Sci Technol, 1997, 31: 800-805.
- [9] 杜连彩. 铅污染土壤植物修复中螯合诱导技术的应用现状与前景[J]. 潍坊学院学报, 2006, 6(4): 88-89.
- [10] 刘良栋, 张伟安, 舒俊林, 等. 壳聚糖辅助下玉米修复铅污染土壤能力的研究[J]. 生态毒理学报, 2006, 3(1): 271-277.
- [11] 北京林业大学. 土壤理化分析实验指导书[M]. 北京: 北京林业大学, 2002.
- [12] Vassil A D, Kapulnik Y, Raskin, et al. The role of EDTA in lead transport and accumulation by Indian mustard[J]. Plant Physiol, 1998, 117: 447-453.
- [13] Epstein A L, Gussman C D, Blaylock M J, et al. EDTA and Pb-EDTA accumulation in Brassica juncea grown in Pb-amended soil[J]. Plant and Soil, 1999, 208: 87-94.
- [14] 王国娟, 陆秀君. 不同浓度铅处理对两种木本植物种子萌发的影响[J]. 辽宁林业科技, 2006, 6(1): 11-13.
- [15] Huang J W, Chen J J, William R B, et al. Phytoremediation of lead contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction[J]. Environ Sci Technol, 1997, 31: 800-805.

The Potential of *Rhus typhina* for Phytoremediation of Pb-Contaminated Soils and the Growth with the Aid of Chitosan Addition

LU Xiu-jun¹, DIAO Cheng-xuan¹, ZOU Yong-tian², HUANG Gui-feng³

(1. College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161; 2. Forestry Station of Qingyuan County Wandianzi Town, Qingyuan, Liaoning 113311; 3. Shenyang Virescence Management Office, Shenyang, Liaoning 110016)

Abstract: A pot study was conducted to investigate the potential of *Rhus typhina* for phytoremediation of Pb-contaminated soils (total soil Pb concentration 900, 1 200, 1 800 mg/kg) and the growth with the aid of chitosan addition (chitosan concentration 0, 2.5, 5, 7.5 mmol/kg). The results showed that the rate of germination, the plant height and the diameter growth process were restrained by different treatments of Pb concentration. The figures decreased when the Pb concentrations increased. Chitosan addition to soil significantly restrained the plant height and the diameter growth process. When the Pb concentrations were different, the figures of total Pb concentration in plant significantly went up when the Pb concentrations increased. When the Pb concentrations were the same, the figures of total Pb concentration in plant raised when the chitosan concentrations increased. When concentrations of Pb and chitosan were 1 800 mg/kg and 7.5 mmol/kg respectively, its shoot Pb concentration was the highest and could reach 339.6 $\mu\text{g/g}$. When concentrations of Pb and chitosan were 1 200 mg/kg and 5 mmol/kg, respectively, the total Pb concentration in plant was the highest and could reach 1 109.97 $\mu\text{g/g}$ plant, and it indicated that, in this treatment, *Rhus typhina* could grow normally and the effects of accumulation was the best, it may provide a effective soil decontamination strategy.

Key words: Pb; *Rhus typhina*; chitosan; phytoremediation