

李金辉,翁贵英,吴汉福,等. 小酸模对不同浓度铅、锌的富集与转移[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):526-528.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.149

小酸模对不同浓度铅、锌的富集与转移

李金辉^{1,4}, 翁贵英^{2,3}, 吴汉福¹, 熊荣川^{2,3}, 赵由才⁴

(1. 六盘水师范学院化学与化学工程系, 贵州六盘水 553004; 2. 贵州省六盘水市生物研究所, 贵州六盘水 553004;
3. 六盘水师范学院生命科学系, 贵州六盘水 553004; 4. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要:通过人工盆栽试验,研究在不同浓度铅、锌胁迫下,小酸模对铅、锌的富集与转移。结果表明,在单一浓度铅、锌胁迫和铅锌混合胁迫条件下,小酸模地上部分对铅的富集系数为 0.04~0.13,地下部分对铅的富集系数为 0.07~0.22,对铅的转移系数为 0.11~1.08。小酸模地上部分对锌的富集系数为 0.32~4.23,地下部分对锌的富集系数为 0.15~2.25,对锌的转移系数为 1.41~2.62。小酸模在一定浓度的锌、铅锌胁迫下,对锌的富集系数、转移系数均大于 1,地上部分对锌的富集量最大可达 4 201.40 mg/kg。小酸模对锌有较强的富集和转移能力,接近锌的超富集植物,可作为治理和修复铅锌污染土壤的修复植物。

关键词:小酸模;铅锌胁迫;富集系数;转移系数

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0526-03

随着城市的建设、矿山的开采、金属的冶炼、交通运输业的发展等,土壤重金属污染问题日益严重。重金属污染土壤治理难度很大,具有隐蔽性、毒性、长期性、不可逆转性等特点,影响作物产量和品质,还会通过食物链影响人类健康^[1]。植物修复技术是处理土壤重金属污染的新兴生态技术,其机理主要是通过某些植物对重金属元素的吸收、积累和转化,将重金属移出土壤,达到减轻重金属污染的目的。与传统的土壤污染治理方法相比,植物修复技术因具有经济、简单、高效和无二次污染等优点而备受青睐^[2-4],其主要解决的问题是找到超富集植物,目前全球已发现超富集植物 400 多种^[1]。

小酸模(*Rumex acetosella* L.)为酸模属(*Rumex*)多年生草本植物,适应于温暖、半干旱至潮湿的高海拔山区。小酸模具有较强的有性和无性繁殖能力,抗旱性强,对土壤的适应范围较广^[5]。目前已有关于酸模属植物富集重金属的研究报道,小酸模对镉有一定的耐受性^[6],尼泊尔酸模(*R. nepalensis* Spreng.)是锌的耐性植物,对铅富集能力和抗性较强^[7-8]。酸模(*Rumex acetosa*)可作为铅污染土壤的修复植物^[9-10]。皱叶酸模(*Rumex crispus*)对铜有较强的富集能力^[11]。钝叶酸模(*Rumex acetosella* L.)是铅、锌的耐性植物^[12]。本研究采用盆栽试验,研究单一浓度铅、锌胁迫和铅锌混合胁迫条件下,小酸模对铅、锌的富集与转移的特性,探讨其修复铅、锌污染土壤的能力,旨在为铅、锌污染土壤治理和生态环境修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验土壤采自贵州省六盘水师范学院后山,由黄棕壤、腐殖土构成,铅、锌的背景值分别为 154.5、365.2 mg/kg。土壤取回后自然晾干,过 2 mm 筛后备用。小酸模种子于 2013 年 9 月采自贵州省盘县四格彝族乡海拔 2 400 m 山坡。AA-7003 型原子吸收分光光度计(北京东西三维科技公司)、ME104 电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]、Human 超纯水器、EG35B 微控数显电热板(北京莱伯泰科仪器股份有限公司)等。HClO₄、HNO₃、HF 为优级纯;Pb(NO₃)₂ 和 ZnSO₄·7 H₂O 为分析纯;Pb 和 Zn 单元素标准溶液 1 000 ug/mL(国家标准物质研究中心)。

1.2 试验设计

盆栽试验处理见表 1^[12]。P 代表不同浓度铅处理:P₀(0 mg/kg)、P₁(100 mg/kg)、P₂(200 mg/kg)、P₃(400 mg/kg)、P₄(800 mg/kg);Z 代表不同浓度锌处理:Z₀(0 mg/kg)、Z₁(100 mg/kg)、Z₂(200 mg/kg)、Z₃(400 mg/kg)、Z₄(800 mg/kg);对照为 P₀Z₀(CK)。

表 1 盆栽试验设计

不同处理	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Z ₀	P ₀ Z ₀ (CK)	P ₁ Z ₀	P ₂ Z ₀	P ₃ Z ₀	P ₄ Z ₀
Z ₁	P ₀ Z ₁	P ₁ Z ₁	P ₂ Z ₁	P ₃ Z ₁	P ₄ Z ₁
Z ₂	P ₀ Z ₂	P ₁ Z ₂	P ₂ Z ₂	P ₃ Z ₂	P ₄ Z ₂
Z ₃	P ₀ Z ₃	P ₁ Z ₃	P ₂ Z ₃	P ₃ Z ₃	P ₄ Z ₃
Z ₄	P ₀ Z ₄	P ₁ Z ₄	P ₂ Z ₄	P ₃ Z ₄	P ₄ Z ₄

称取试验土壤每份 5 kg 放入塑料花盆中,加入不同浓度的铅、锌处理液混匀,每个盆栽处理 3 个重复。14 d 后,将小酸模种子用超纯水浸泡 24 h,每个花盆种 50 粒,待幼苗长出 2 张真叶后,每盆留 3 株长势基本一致的植株,放在楼顶屋檐下,自然生长,90 d 后整株取样。

收稿日期:2016-02-29

基金项目:贵州省科学技术基金[编号:黔科合 J 字 LKLS(2013)10 号];贵州省重点支持学科建设计划[编号:黔学位合字 ZDXK(2014)24 号]。

作者简介:李金辉(1972—),女,河北南皮人,高级实验师,主要从事仪器分析化学与环境污染教学研究。E-mail:lpssyljinhui@163.com。

1.3 样品处理和分析

将采集的样品用自来水洗净后用超纯水冲洗干净,分成地上部分(茎、叶)、地下部分(根),于 75 ℃烘箱中烘干至恒质量,粉碎后过 100 mm 筛备用。采集植物样品后,采用四分法采集土壤样品,风干,玛瑙研钵研细后过 100 mm 筛备用。称取植物样品 0.500 0 g,采用硝酸-高氯酸(体积比 4:1)混合消解。称取土壤样品 0.500 0 g,采用硝酸-氢氟酸-高氯酸(体积比 4:1:1)混合消解。消解完全后冷却,用 1% 硝酸定容至 50 mL 容量瓶中作为待测液,同时作植物与土壤的样品空白,用原子吸收分光光度计测定。富集系数、转移系数计算公式如下:

富集系数 = 植物中重金属富集量 / 土壤中重金属富集量; (1)

转移系数 = 地上部分重金属富集量(茎和叶) / 地下部分重金属富集量(根)。 (2)

植物的富集系数越大,表明植物对重金属的富集能力越强,越有利于植物修复污染土壤。

植物转移系数越大,表明植物从根部向地上部分运输重金属能力越强^[13-14],越有利于植物从土壤中移除重金属。

1.4 数据统计分析

用 Excel 2007 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 小酸模在不同浓度铅、锌胁迫下对铅锌的富集

2.1.1 铅的富集 由表 2 可知,在单一铅与混合铅锌的胁迫下,小酸模地上部分对铅的富集量为 16.67~87.76 mg/kg,地下部分对铅的富集量为 18.28~162.95 mg/kg,均大于 CK 的富集量,且对铅的富集规律一致,均随着铅锌胁迫浓度的升高,对铅的富集量呈增加趋势。在 P₄Z₄(施铅 800 mg/kg、锌 800 mg/kg)胁迫处理下,小酸模地上部分和地下部分对铅的富集量最大,分别为 87.76、162.95 mg/kg,大于 P₄Z₀(单一施铅 800 mg/kg)的富集量 31.64、118.54 mg/kg,表明施锌能促进小酸模地上部分和地下部分对铅的富集。

2.1.2 锌的富集 由表 3 可知,在单一锌与混合铅锌的胁迫下,对锌的富集量为 125.91~4 201.40 mg/kg,地下部分对锌的富集量为 70.40~2 881.36 mg/kg,均大于 CK 的富集量。随着铅胁迫浓度的升高,小酸模地上部分对锌的富集量先增加后下降趋势。在 P₃Z₄(施铅 400 mg/kg、锌 800 mg/kg)胁迫处理下,小酸模地上部分对锌的富集量最大,为 4 201.40 mg/kg,大于 P₀Z₄(单一施锌 800 mg/kg)胁迫处理下的富集量 3 680.00 mg/kg;随着铅胁迫浓度的升高,小酸模地下部分对锌的富集量增加,在 P₄Z₄(施铅 800 mg/kg、锌 800 mg/kg)胁迫处理下,小酸模地下部分对锌的富集量最大,为 2 881.36 mg/kg,大于 P₀Z₄(单一施锌 800 mg/kg)的富集量 1 990.00 mg/kg。由此可知,施铅能促进小酸模地上部分、地下部分对锌的富集,当铅的浓度较高时(施铅 800 mg/kg),会影响地上部分锌的富集,随着铅浓度的升高,铅会滞留在小酸模地下部分。

2.2 小酸模对重金属铅、锌富集系数与转移系数

2.2.1 铅的富集系数与转移系数 由表 4 可知,小酸模地上部分对铅的富集系数为 0.04~0.13,富集系数最大为 0.13;

表 2 小酸模在不同浓度铅、锌胁迫下对铅的富集量

处理	茎叶铅含量 (mg/kg)	根铅含量 (mg/kg)	土壤铅含量 (mg/kg)
P ₀ Z ₀	14.00	11.86	108.70
P ₀ Z ₁	16.67	18.28	244.00
P ₀ Z ₂	19.88	25.76	351.00
P ₀ Z ₃	29.50	49.81	530.60
P ₀ Z ₄	31.64	118.54	847.00
P ₁ Z ₁	22.56	25.76	319.94
P ₁ Z ₂	22.56	26.29	312.55
P ₁ Z ₃	26.82	27.89	293.57
P ₁ Z ₄	29.50	27.36	326.27
P ₂ Z ₁	32.71	42.86	393.78
P ₂ Z ₂	32.71	43.93	407.49
P ₂ Z ₃	32.17	50.88	393.50
P ₂ Z ₄	31.64	36.99	403.27
P ₃ Z ₁	44.46	56.76	414.60
P ₃ Z ₂	49.81	61.56	382.90
P ₃ Z ₃	45.53	79.74	360.00
P ₃ Z ₄	43.93	55.24	435.70
P ₄ Z ₁	70.12	155.63	825.90
P ₄ Z ₂	71.19	109.66	794.30
P ₄ Z ₃	63.70	112.34	804.90
P ₄ Z ₄	87.76	162.95	773.20

表 3 小酸模在不同浓度铅、锌胁迫下对锌的富集量

处理	茎叶锌含量 (mg/kg)	根锌含量 (mg/kg)	土壤锌含量 (mg/kg)
P ₀ Z ₀	92.04	67.55	314.00
P ₀ Z ₁	125.91	70.40	369.50
P ₀ Z ₂	170.89	83.66	540.00
P ₀ Z ₃	2 969.00	1 370.00	732.90
P ₀ Z ₄	3 680.00	1 990.00	1 124.60
P ₁ Z ₁	1 594.90	748.90	583.50
P ₁ Z ₂	1 960.90	807.60	695.60
P ₁ Z ₃	2 840.00	1 085.40	782.40
P ₁ Z ₄	3 885.80	1 890.30	1 224.50
P ₂ Z ₁	1 687.50	901.30	450.00
P ₂ Z ₂	2 051.30	1 120.00	677.30
P ₂ Z ₃	3 150.00	1 460.00	846.00
P ₂ Z ₄	3 995.30	2 070.00	1 175.00
P ₃ Z ₁	1 757.10	8 69.50	567.50
P ₃ Z ₂	2 269.40	1 080.00	673.70
P ₃ Z ₃	3 140.60	1 380.00	910.00
P ₃ Z ₄	4 201.40	2 050.00	1 201.70
P ₄ Z ₁	2 050.00	960.00	663.10
P ₄ Z ₂	2 380.00	1 197.70	681.00
P ₄ Z ₃	3 630.00	1 662.00	858.60
P ₄ Z ₄	4 070.00	2 881.36	1 279.90

地下部分对铅的富集系数为 0.07~0.22,富集系数最大为 0.22。小酸模地上部分和地下部分对铅的富集系数均小于 1,表明在单一铅与混合铅锌的胁迫下,小酸模地上部分和地下部分对铅的富集能力较弱。小酸模对铅转移系数为 0.27~1.08,均小于 CK(1.18)。在单一施铅胁迫下,随着铅浓度的升高,转移系数减小,且转移系数均小于 1;在 P₁Z₄(施铅 100 mg/kg、锌 800 mg/kg)胁迫处理下,小酸模对铅转移系

数最大为 1.08,其他转移系数均小于 1,表明小酸模地上部分、地下部分从土壤移除铅的能力较弱。

2.2.2 锌的富集系数与转移系数 由表 4 可知,小酸模地上部分对锌的富集系数为 0.32 ~ 4.23,在 P_4Z_3 (施铅 800 mg/kg、锌 400 mg/kg) 胁迫处理下,富集系数最大,为 4.23,大于单一施锌胁迫处理 P_0Z_4 (3.27),大于 CK (0.29);小酸模地下部分对锌的富集系数为 0.15 ~ 2.25,在 P_4Z_4 (施铅 800 mg/kg、锌 800 mg/kg) 胁迫处理下,小酸模地下部分对锌的富集系数最大,为 2.25,大于单一施锌胁迫处理 P_0Z_4 (1.77),大于 CK (0.22)。在单一锌与混合铅锌的胁迫下,小酸模地上部分对锌的富集系数大于地下部分,表明小酸模在一定浓度的铅胁迫下,富集锌的能力较强,但铅浓度较高时,会抑制锌的富集。小酸模对锌转移系数为 1.41 ~ 2.62,在 P_1Z_3 (施铅 100 mg/kg、锌 400 mg/kg) 胁迫处理下,转移系数最大,为 2.62,大于 CK (1.36),表明小酸模在低浓度铅的胁迫下,转移锌的能力增强。小酸模在单一锌与混合铅锌胁迫下其转移系数均大于 1,表明小酸模从土壤移除锌的能力较强。植物的转移系数大于 1,可以进行植物修复^[15]。小酸模可作为锌污染土壤的修复植物。

表 4 小酸模对重金属铅、锌富集系数与转移系数

处理	铅			锌		
	地上富集系数	地下富集系数	转移系数	地上富集系数	地下富集系数	转移系数
P_0Z_0	0.13	0.11	1.18	0.29	0.22	1.36
P_0Z_1	0.07	0.07	0.91	0.34	0.19	1.79
P_0Z_2	0.06	0.07	0.77	0.32	0.15	2.04
P_0Z_3	0.06	0.09	0.59	4.05	1.87	2.17
P_0Z_4	0.04	0.14	0.27	3.27	1.77	1.85
P_1Z_1	0.07	0.08	0.88	2.73	1.28	2.13
P_1Z_2	0.07	0.08	0.86	2.82	1.16	2.43
P_1Z_3	0.09	0.10	0.96	3.63	1.39	2.62
P_1Z_4	0.09	0.08	1.08	3.17	1.54	2.06
P_2Z_1	0.08	0.11	0.76	3.75	2.00	1.87
P_2Z_2	0.08	0.11	0.74	3.03	1.65	1.83
P_2Z_3	0.08	0.13	0.63	3.72	1.73	2.16
P_2Z_4	0.08	0.09	0.86	3.40	1.76	1.93
P_3Z_1	0.11	0.14	0.78	3.10	1.53	2.02
P_3Z_2	0.13	0.16	0.81	3.37	1.60	2.10
P_3Z_3	0.13	0.22	0.57	3.45	1.52	2.28
P_3Z_4	0.10	0.13	0.80	3.50	1.71	2.05
P_4Z_1	0.08	0.19	0.45	3.09	1.45	2.14
P_4Z_2	0.09	0.14	0.65	3.49	1.76	1.99
P_4Z_3	0.08	0.14	0.57	4.23	1.94	2.18
P_4Z_4	0.11	0.21	0.54	3.18	2.25	1.41

3 结论与讨论

超富集植物应同时具备 3 个基本特征^[16]:植物地上部分富集重金属达到一定量时,重金属含量是普通植物在同一生长条件下的 100 倍,目前采用较多的是 Brooks 和 Baker 提出的参考值,Cd 含量达到 100 mg/kg,Co、Cu、Ni、Pb 含量分别达到 1 000 mg/kg,Mn、Zn 含量分别达到 10 000 mg/kg 以上;植物的富集系数、转移系数均大于 1;在满足上述 2 个条件下,植物没有出现明显的毒害症状。本试验中,小酸模对铅的转移系数在 P_1Z_4 处理下最大,为 1.08,其余处理下,小酸模对铅的富集系数、转移系数均小于 1,表明小酸模从土壤移除铅

的能力较弱,但在试验设计的铅、锌浓度范围内,小酸模未表现明显的毒害症状,表明其在铅胁迫下具有一定的耐受性。除了在 P_0Z_1 、 P_0Z_2 胁迫下小酸模对锌的富集系数小于 1 外,其余富集系数均大于 1。在 P_3Z_4 胁迫处理下,小酸模地上部分对锌的富集量最大,为 4 201.40 mg/kg;在 P_4Z_3 胁迫处理下,小酸模地上部分对锌的富集系数最大,为 4.23;在 P_1Z_3 胁迫处理下,小酸模对锌的转移系数最大,为 2.62。小酸模对铅、锌具有一定耐受性,具有较强的锌富集能力和转移能力,加之其具有适应环境能力强、繁殖能力强、生物量大等特点^[5],可作为富集植物用于铅锌污染土壤修复,对锌污染土壤修复潜力大。

参考文献:

[1] 黄益宗,郝晓伟,雷 鸣,等. 重金属污染土壤修复技术及其修复实践[J]. 农业环境科学学报,2013,32(3):409-417.

[2] 刘小宁,马剑英,张慧文,等. 植物修复技术在土壤重金属污染中应用的研究进展[J]. 中国沙漠,2009,29(5):859-865.

[3] 陈玉真,王 峰,王 果,等. 土壤镉污染及其修复技术研究进展[J]. 福建农业学报,2012,27(8):901-908.

[4] 王松良,郑金贵. 土壤重金属污染的植物修复与金属超富集植物及其遗传工程研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(1):190-194.

[5] 毕玉芬,车伟光,杨允菲,等. 小酸模生物学特性及危害规律的研究[J]. 草业科学,2004,21(12):84-87.

[6] 易 锋,王宏铭,高建培,等. 砷矿区植物对重金属的吸收和富集特征[J]. 安全与环境学报,2011,11(4):14-22.

[7] 赵玉红,牛歆雨,魏学红,等. 藏中矿区珠芽蓼和尼泊尔酸模中重金属含量分析[J]. 植物资源与环境学报,2013,22(4):113-115.

[8] 彭 毅. 尼泊尔酸模铅锌富集特性及其生理生化研究[D]. 雅安:四川农业大学 2013.

[9] 任秀娟,朱东海,吴大付,等. 湖南南部铅锌矿区铅锌富集植物筛选研究[J]. 生态环境学报,2014,23(4):669-672.

[10] 刘秀梅,聂俊华,王庆仁. 6 种植物对 Pb 的吸收与耐性研究[J]. 植物生态学报,2002,26(5):533-537.

[11] 刘 刚,薛喜成. 中华结缕草和皱叶酸模对重金属的吸收以及地理分布差异研究[J]. 西南农业学报,2015,28(5):2249-2254.

[12] 翁贵英,李金辉,孙爱群,等. 钝叶酸模对铅锌的富集特征[J]. 贵州农业科学,2015,43(9):219-222.

[13] Baker A J M. Brooks R R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulated metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry[J]. Biorecovery,1989,1,81-126. .

[14] Shi X,Zhang X,Chen G,et al. Seedling growth and metal accumulation of selected woody species in copper and lead/zinc mine tailings[J]. Journal of Environmental Sciences,2011,23(2):266-274.

[15] Baker A M,Brooks R R,Pease A J,et al. Studies on copper and cobalt tolerance in three closely related taxa with in the genus *Scelene* L. (Caryophyllaceae) From Zaïre[J]. Plant and Soil,1983,73(3):377-385.

[16] 蒋先军,骆永明,赵其国,等. 重金属污染土壤的植物修复研究 I. 金属富集植物 *Brassica juncea* 对铜、锌、镉、铅污染的响应[J]. 土壤,2000,32(2):71-74.