第 32 卷 第 6 期 西北农林科技大学学报(自然科学版) Vol 32 No. 6
2004 年 6 月 Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri and For. (Nat. Sci. Ed.) June 2004

东南景天对镉、铅的生长反应与积累特性比较*

熊愈辉[1,2], 杨肖娥[1], 叶正钱[1], 何 冰[3]

(1 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310029; 2 湖州师范学院 生命科学学院, 浙江 湖州 313000;
3 广西大学 农学院, 广西 南宁 530005)

[摘 要] 采用营养液培养法, 比较了东南景天(*Sedum alfredii* Hance)在不同的 Cd, Pb 供应水平下的生长反应, 以及对 Cd, Pb 吸收与积累特性的差异。结果表明, 东南景天不仅在生长速度上对不同浓度的 Cd, Pb 处理反应差异显著, 而且在 Cd, Pb 吸收与转运特性上也有明显差异。东南景天对 Cd, Pb 耐受的临界浓度分别为 500 和 1 000 μmol/L, 在此浓度以下, Cd, Pb 对水培条件下的东南景天的生长基本无抑制作用。东南景天地上部的 Cd, Pb 含量均随着 Cd, Pb 供应水平的提高而增加。在 500 μmol/L 的 Cd 水平下, 叶和茎中的 Cd 含量均达到峰值, 分别为 5.677 和 5.274 g/kg; 叶和茎中的最大含 Pb 量出现在供 Pb 200 和 1 500 μmol/L 的水平下, 分别为 0.169 和 1.167 g/kg。根中的 Cd, Pb 含量均在最高的 Cd, Pb 供应水平下(2 500 μmol/L)达到最大值, 分别为 17.820 和 9.437 g/kg。在设定的 Cd, Pb 供应水平条件下, 植株各部位的 Cd 含量均大于 Pb 含量。植株不同部位 Cd 的含量表现为叶> 茎> 根, 而 Pb 含量表现为根> 茎> 叶。Cd 在东南景天地上部的积累量远大于 Pb, 且 Cd 在地上部与根系中积累量的比值均大于 1, 而 Pb 则小于 1。上述结果说明, 东南景天对 Pb 的耐受性大于 Cd, 但对 Cd 的吸收和向地上部的转运能力远大于 Pb。从水培条件下东南景天地上部的 Cd 含量来看, 东南景天是一种 Cd 超积累植物。

[关键词] 东南景天; 镉; 铅; 生长反应; 积累特性; 超积累植物

[中图分类号] X53 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2004)06-0101-06

镉(Cd)和铅(Pb)都是生物毒性较强的重金属元素, 其在环境中移动性大, 积蓄性强, 毒性持久[1]。近年来, 由于工业废物的排放和不合理的农业管理措施, 导致农田土壤中的 Cd, Pb 污染日趋严重[2]。土壤污染中的 Cd, Pb 来源广泛, 除自然因素外, 主要来自于采矿、冶炼、化工、制革等行业排放的废水、废气、废渣, 汽车排放的尾气, 施用的农药、化肥, 以及污水灌溉等[2]。土壤中积累的 Cd, Pb, 不仅对土壤-植物生态系统产生危害, 导致土壤退化、农产品产量和品质降低, 而且通过径流和淋洗作用污染地表水和地下水, 恶化水文环境, 并可能通过直接接触和食物链的富集作用危及人类健康[3]。由于有害的重金属在土壤生态系统中具有隐蔽性、长期性和不可逆性的特点, 传统的土壤修复方法耗资巨大且收效不显著[4]。近年来兴起的植物修复技术(Phytoremediation)具有投入低、环境友好和无二次污染的优点, 已成为当今国内外资源、环境以及生命科学研究的前沿和热点[5,6]。而实施植物修复的前提条件是必须找到对污染重金属有较强吸收能力的超积累植物(Phytoaccumulator), 这种植物的地上部对重金属的积累量一般是普通植物的 100 倍以上[5]。已发现的超积累植物约有 450 种, 广泛分布于植物界的 45 个科, 以 Ni 超积累植物为多, 并且一些植物对 2 种或 2 种以上的重金属具有超积累特性[7]。但大多数超积累植物生长缓慢、生物量小, 难以适应修复污染土壤的需要[8]。东南景天(*Sedum alfredii* Hance)是在我国境内新发现的一种 Zn 超积累植物。这种植物不仅生物量较大、对 Zn 富集能力强, 而且具有多年生、无性繁殖、适于刈割的特点, 是实施植物修复和研究超积累机制的良好材料[9,10]。但东南景天对其他重金属是否也具有超积累特性, 其吸收与积累机理如何, 目前尚不明确。本研究采用营养液培养法, 比较了东南景天对 Cd, Pb 2 种重金属处理的生长反应和耐性差异, 以探索不同重金属在植株体内的吸收、分布和积累规律, 以期为东南景天超积累机理研究及其开发应用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 植物培养

东南景天采自浙江衢州一古老铅锌矿山, 根据

* [收稿日期] 2003-11-25
[基金项目] 国家自然科学基金项目(20277035); 科技部 973 项目(2002CB410804)
[作者简介] 熊愈辉(1965-), 男, 安徽芜湖人, 讲师, 在读博士, 主要从事植物营养与环境生态学研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

当地地形和植被分布特点, 采集有代表性的植株地上部分, 并参照文献[9, 10]的方法, 选择生长良好、粗细基本一致的植物材料, 用去离子水冲洗后, 截取含顶芽的 5 cm 长带叶枝条, 进行营养液培养。

营养液中含 $Ca(NO_3)_2$ 2 000 μmol/L, KH_2PO_4 100 μmol/L, $MgSO_4$ 500 μmol/L, KCl 100 μmol/L, K_2SO_4 700 μmol/L, H_3BO_3 10 μmol/L, $MnSO_4$ 0.50 μmol/L, $ZnSO_4$ 1 μmol/L, $CuSO_4$ 0.20 μmol/L, $(NH_4)_6Mo_7O_{24}$ 0.01 μmol/L, Fe-EDTA 100 μmol/L。培养期间, 每 4 d 更换 1 次营养液, 每 2 d 用 0.1 mol/L NaOH 或 0.1 mol/L HCl 调节营养液 pH 至 5.8, 保持 24 h 通气, 待长出比较旺盛的根系之后, 开始进行 Cd, Pb 处理(以 $CdCl_2$, $Pb(NO_3)_2$ 的形态加入至上述营养液中)。2 种处理均设对照(不加 Cd, Pb)和 25, 50, 100, 200, 500, 1 000, 1 500, 2 000, 2 500 μmol/L 共 10 个处理水平, 并用 KNO_3 补齐 Cd, Pb 处理液中的 NO_3^- 含量。每个 Cd, Pb 处理水平均设置 3 次重复, 每重复 1 盆, 每盆 18 株。植物在处理液中生长 20 d 后收获。

1.2 植物样品分析

收获的样品先用去离子水冲洗干净, 再将根浸入 20 mmol/L EDTA 溶液中交换 15 min, 以去除表面吸附的金属离子, 最后再用去离子水冲洗干净, 吸干植株表面的水分, 分根、茎、叶 3 部分烘干至恒重, 分别测定干物质量, 最后将样品磨细, 过 0.246 mm (60 目)尼龙网筛, 用干灰化-氢火焰原子吸收法(AA-6800 型原子分光光度计, 岛津公司产)测定 Cd, Pb 的含量。数据采用 SPSS10.0 统计分析包进行处理。

2 结果与分析

2.1 生长反应

由图 1a 可见, 营养液中低水平的 Cd 含量(< 500 μmol/L)对东南景天地上部的生长表现出一定的促进效应。当 Cd 供应水平为 100 μmol/L 时, 植株地上部干重达到峰值(687 mg/株); 进一步提高营养液中的 Cd 含量, 植株地上部干重呈下降趋势; 在 500 μmol/L 处理水平下, 植株地上部干重与对照大致相等; 当 Cd 供应水平提高到 1 000 μmol/L 时, 东南景天植株地上部干重下降至 424 mg/株, 显著低于对照地上部干重($P < 0.01$), 并从处理的第 6 天起, 植株地上部表现出萎蔫、叶片黄化、顶叶脱落的中毒现象, 其症状随着处理浓度的升高和时间的延长而加重。由图 1b 可见, 在 0~100 μmol/L Cd 供应水平下, 各处理根部干重与对照相比, 均无显著差异($P > 0.05$); 在 500 μmol/L 时, 植株根系干重低于对照, 但差异仍不显著($P > 0.05$); 但当 Cd 供应水平达到 1 000 μmol/L 以上时, 根系干重显著低于对照($P < 0.01$), 并从处理的第 4 天起, 根尖伸长明显受阻, 色泽逐步加深, 最终变为黑色, 且表现出腐烂的症状。综合分析来看, 东南景天忍耐 Cd 胁迫的临界浓度为 500 μmol/L, 在此浓度以下, Cd 对东南景天的生长基本无抑制作用。

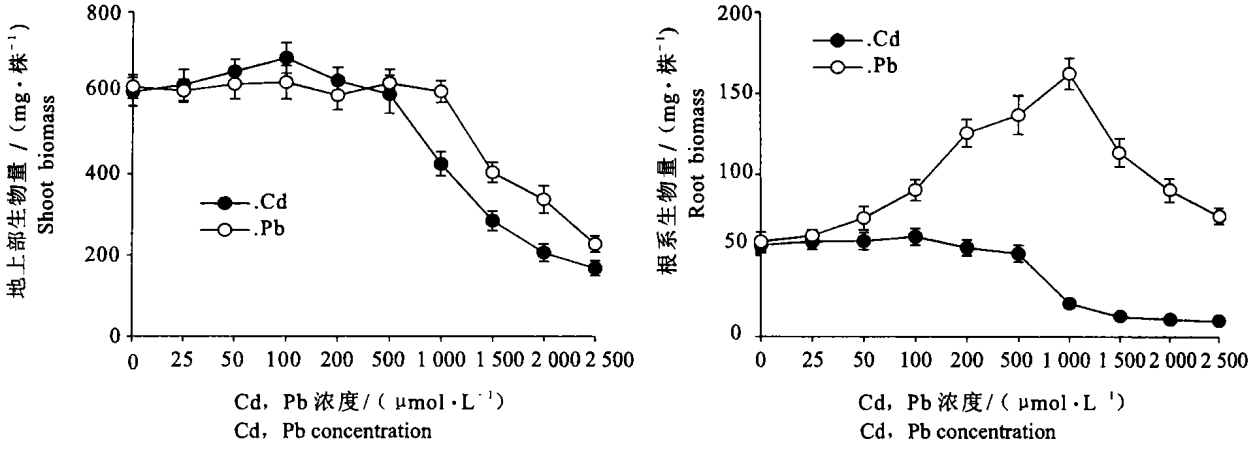

图 1 Cd, Pb 浓度对东南景天地上部和根系生长的影响

Fig. 1 Effects of Cd and Pb concentrations on growth of shoots and roots in *S. alfredii*

Pb 胁迫条件下, 东南景天地上部与根部的生长表现出不同的反应趋势。由图 1a 可见, 在 0~1 000 μmol/L 的 Pb 供应水平下, Pb 浓度提高对东南景天植株地上部生长基本无显著影响($P > 0.05$); 当 Pb 的供应水平继续提高时, 地上部干重则迅速下降; 在 Pb 水平达 1 500 μmol/L 时, 植株地上部干重

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

明显小于对照和 1 000 μmol/L Pb 处理的对应值, 其差异均达到极显著水平($P < 0.01$), 同时叶片显示出皱缩、失绿的受害症状。由图 1b 可以看出, 当 Pb 浓度≤100 μmol/L 时, 根部干重随供 Pb 水平提高而缓慢增长; 当 Pb 浓度≥200 μmol/L 时, 植株根部干重则迅速升高, 在 1 000 μmol/L 时达到峰值(172 mg/株), 是对照的 2.8 倍, 而且植株根部的须根数目增多, 长度增加明显, 但主根的生长状态与对照差异不大; 再进一步提高 Pb 供应水平, 植株根部干重则迅速下降, 但在 2 500 μmol/L 的供 Pb 水平下, 植株根部干重与对照仍无显著差异($P > 0.05$)。说明东南景天根系对高 Pb 胁迫的适应性较强, 一定浓度的高 Pb 胁迫反而能刺激根系的生长。

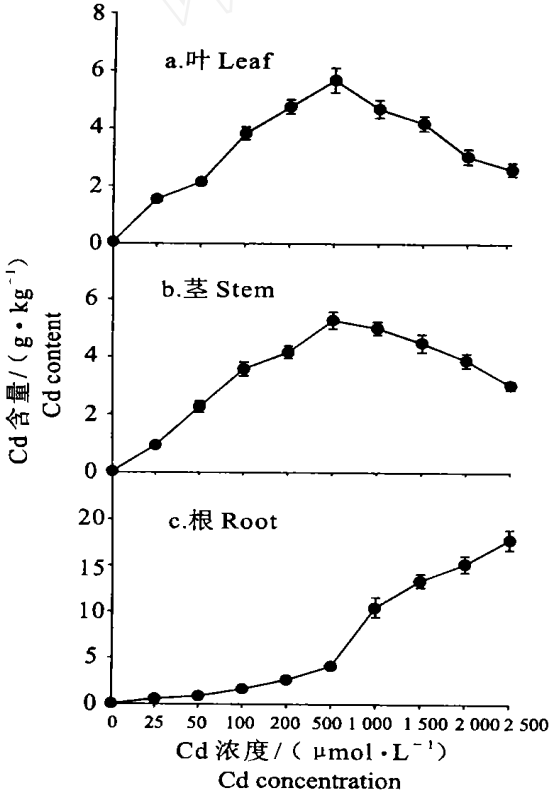

图 2　不同 Cd 供应水平下东南景天叶、茎和根中的 Cd 含量

Fig. 2　Cd contents in leaves, stems and roots of *S. alfredii* at different concentration of Cd

由图 3a 和图 3b 可以看出, 东南景天叶和茎中的 Pb 含量分别在供 Pb 水平为 200 μmol/L 和 1 500 μmol/L 时达到峰值 0.169 和 1.167 g/kg, 供 Pb 水平更高时, 叶和茎中的 Pb 含量均下降。由图 3c 可见, 在 Pb 供应水平≤100 μmol/L 时, 各处理间根部 Pb 含量均无显著差异($P > 0.05$), 而当 Pb 浓度为 200～1 000 μmol/L 时, 根部 Pb 含量迅速增加; 在更高的供 Pb 水平下, 根部的 Pb 含量又呈缓

2.2　Cd, Pb 含量和积累量

由图 2a 和图 2b 可见, 随着 Cd 供应水平的提高, 东南景天叶、茎中的 Cd 含量迅速增加, 至 500 μmol/L 时达到峰值, 分别为 5.677 和 5.274 g/kg; 进一步提高 Cd 的供应水平, 叶和茎中 Cd 含量则迅速下降。由图 2c 可以看出, 在 Cd 供应水平≤500 μmol/L 时, 根部的 Cd 含量随着 Cd 供应水平的提高, 呈缓慢增长的趋势; 而当 Cd 供应水平≥1 000 μmol/L 时, Cd 含量迅速增加, 至 2 500 μmol/L 时, 达到最大值 17.820 g/kg。当 Cd 供应水平≤500 μmol/L 时, 植物不同部位的 Cd 含量表现为叶> 茎> 根; 而当 Cd 供应水平≥1 000 μmol/L 时, 则表现为根> 茎> 叶。

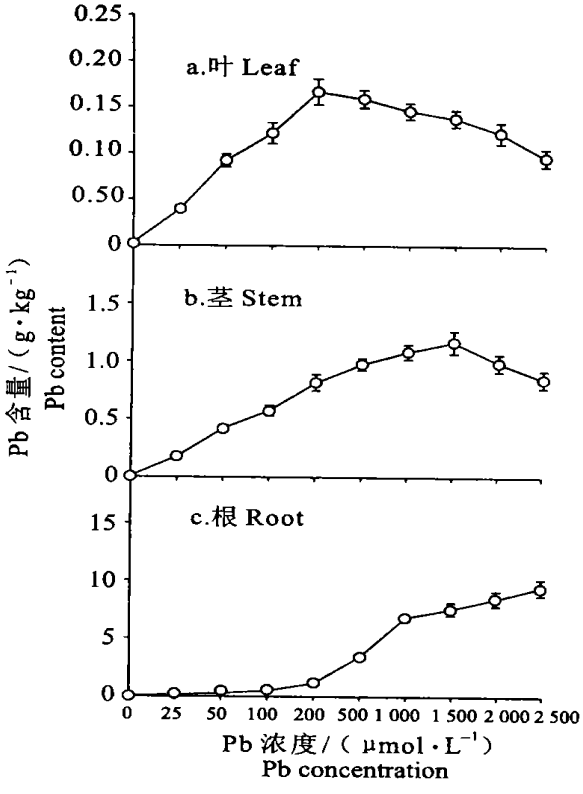

图 3　不同 Pb 供应水平下东南景天叶、茎和根中的 Pb 含量

Fig. 3　Pb contents in leaves, stems and roots of *S. alfredii* at different concentrations of Pb

慢增加的趋势, 并在 2 500 μmol/L 的供 Pb 水平下达到最大值 9.437 g/kg。在 Pb 供应水平≤100 μmol/L 时, 东南景天各部位的 Pb 含量表现为茎> 根> 叶; 而 Pb 供应水平≥200 μmol/L 时, 则表现为根> 茎> 叶。

由表 1 知, 东南景天地上部的 Cd 积累量在 500 μmol/L 的供 Cd 水平下达到最大值(3.29 mg/株), 此时, 地上部与根系中 Cd 积累量的比值为16.18。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

东南景天地上部和根系的 Pb 积累量均在供 Pb 1 000 μmol/L 的水平下达到峰值, 分别为 0.32 和 1.11 mg/株, 两者之比为 0.30。

表 1 不同 Cd, Pb 供应水平下东南景天地上部和根系中的 Cd, Pb 积累量

Table 1 Cd and Pb accumulation in shoots and roots of *S. alfredii* at different supply levels of Cd and Pb mg/株

Cd, Pb 供应水平/($\mu mol \cdot L^{-1}$) Cd, Pb supply levels	Cd 积累量 Cd accumulations			Pb 积累量 Pb accumulations		
	地上部 Shoots	根系 Roots	地上部/根系 Shoots/Roots	地上部 Shoots	根系 Roots	地上部/根系 Shoots/Roots
对照(CK)	0.03	0.00	-	0.00	0.00	-
25	0.81	0.03	25.68	0.06	0.01	6.78
50	1.43	0.05	28.48	0.14	0.02	6.76
100	2.59	0.10	28.33	0.18	0.05	4.06
200	2.85	0.14	20.58	0.25	0.15	1.78
500	3.29	0.21	16.18	0.30	0.47	0.71
1 000	2.04	0.22	9.83	0.32	1.11	0.30
1 500	1.22	0.17	7.44	0.22	0.86	0.26
2 000	0.69	0.16	4.40	0.16	0.76	0.21
2 500	0.46	0.17	2.82	0.09	0.70	0.13
F 值 *F* value	51.19***	17.71***	10.94***	16.97***	40.81***	24.10***
LSD ($P<0.05$)	0.46	0.05	9.30	0.07	0.20	1.71
LSD ($P<0.01$)	0.63	0.07	12.81	0.10	0.27	2.36

注: *** 表示 $P<0.001$。

Note: *** indicates $P<0.001$.

3 讨 论

3.1 东南景天对 Cd, Pb 耐性的差异

由于 Cd, Pb 对植物的毒害作用较强, 多数植物发生 Cd, Pb 中毒的临界浓度较低。据报道[11], 当营养液中的 Cd 浓度达到 8 μmol/L 时, 三叶草和玉米即发生中毒现象, 而卷心菜和黑麦草分别在 14 和 28 μmol/L 的 Cd 水平下发生中毒现象。土壤中的 Pb ≥ 50 mg/kg 时, 作物根系即受到毒害, Pb ≥ 100 mg/kg时, 一些作物的生长受到抑制, 产量受到影响[12]。营养液培养条件下, 40～80 mg/kg 的 Pb 即明显地抑制了辣椒幼苗的生长以及超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)的活性[13]。本研究中, 东南景天在供 Cd 水平达 500 μmol/L, 供 Pb 水平达 1 000 μmol/L 时, 植株体内的 Cd, Pb 积累量达到最大值, 但东南景天仍可正常生长, 并无明显外部中毒症状, 且 Pb 处理下的根部干重显著高于对照, 该结果说明东南景天对 Cd, Pb 具有较强的耐受力。这可能是由于东南景天长期生活于高 Cd, Pb 土壤环境中, 因而已具有了一定的适应性。

进一步比较东南景天对 2 种重金属的生长反应可以发现, 在 Cd, Pb 供应水平 ≤ 500 μmol/L 时, 2 种重金属对东南景天地上部生长的影响无明显差异; 而 Cd, Pb 供应水平 ≥ 1 000 μmol/L 时, Pb 对东南景天地上部生长的抑制作用明显小于 Cd(图 1), 且在设定的供应水平内, Pb 对东南景天根系的生长表现出不同程度的促进作用; 而当外部 Cd 浓度 ≤ 500 μmol/L 时, Cd 对东南景天根系的生长基本无显著性影响, 高于 500 μmol/L 的 Cd 对根系的生长则产生明显的抑制作用。综合分析来看, 东南景天对 Pb 的耐受力明显大于 Cd。

3.2 东南景天对 Cd, Pb 吸收和积累特性的差异

在本研究设定的 Cd, Pb 供应水平下, 东南景天叶中的 Cd 含量均在 1.5 g/kg 以上, 而叶中的 Pb 含量均在 0.2 g/kg 以下, 前者大约是后者的 20～40 倍; 茎中的 Cd 含量均在 0.9 g/kg 以上, 是 Pb 含量的 3～6 倍; Cd, Pb 在根中的含量差异较小, 但前者仍是后者的 1～3 倍; 且 Cd 在单株中的积累量也远大于 Pb。从 2 种重金属在植株不同部位的含量次序来看, 在植株能正常生长的 Cd, Pb 供应水平下, Cd 含量主要表现为叶> 茎> 根, 而 Pb 含量大多表现为根> 茎> 叶, Cd 积累量在地上部与根系中的比值均大于 1, 而 Pb 均小于 1(图 2, 表 1)。这些结果说明, 东南景天根对 Cd 的吸收和向地上部的转运能力均大于 Pb。

根据 Baker 等[14]的经验标准: 凡地上部 Cd 含量超过干重 0.01% 的植物为 Cd 超积累植物; 地上部 Pb 含量超过干重 0.1% 的植物为 Pb 超积累植物。因此, 从营养液培养结果来看, 东南景天是一种 Cd 超积累植物。尽管东南景天茎中的 Pb 含量在 1 000 和 1 500 μmol/L 的供 Pb 水平下超过了 1 g/kg, 但地上部的茎叶平均 Pb 含量最高不到

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0.7 g/kg, 且根系中的 Pb 含量和积累量均大于地上部, 所以东南景天不属于 Pb 超积累植物。不过, 自然界中大部分植物对 Pb 的吸收能力较低, 普通植物的正常 Pb 含量仅为 0.05～3 mg/kg[15], 即使在 4 000 mg/kg 外源 Pb 处理条件下, 植物地上部的 Pb 含量也不超过 100 mg/kg[16]。因此, 与普通植物相比, 东南景天又具有较高的 Pb 富集能力。以往的研究[8,9]证明, 东南景天是一种 Zn 超积累植物, 其地上部 Zn 含量可高达 21 g/kg。由于东南景天对 Zn、Cd 和 Pb 都具有较高的忍耐和富集能力, 从植物修复重金属污染土壤的实践来看, 这种植物的确是一种良好的候选材料。由重金属导致的污染大多为复合污染, 尤其是 Cd, 其在环境中一般不单独出现, 而是伴生于锌矿、铅锌矿和铅铜锌矿中作为客体金属出现, 一般由采矿、冶炼、电镀等行业排放的废物而造成的土壤重金属污染大多为 Zn, Cd, Pb 复合污染[12], 东南景天应该比较适用于对这类污染土壤的修复。

[参考文献]

[1] 郭笃发. 环境中铅和镉的来源及其对人和动物的危害[J]. 环境科学进展, 1994, 2(3): 71-76.

[2] Nriagu J Q, Pacyna J M. Quantitative assessment of world-wide contamination of air, water and soils by trace metals[J]. Nature, 1988, 333: 134-139.

[3] 许嘉琳, 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 40-55, 333-342.

[4] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 1-17.

[5] Salt D E, Smith R D, Raskin I. Phytoremediation[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1998, 49: 643-668.

[6] Cunningham S D, Ow D W. Promise and prospects of phytoremediation[J]. Plant Physiology, 1996, 110: 715-719.

[7] 沈振国, 刘友良. 超量积累重金属植物研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(2): 133-139.

[8] Raskin I, Kumar P B A N, Dushenkow S, et al. Phytoremediation of metals: using plant to remove pollutants from the environment[J]. Current Opinion in Biotechnology, 1997, 8: 221-226.

[9] 杨肖娥, 龙新宪, 倪吾钟, 等. 东南景天(*Sedum alfredii* H)——一种新的锌超积累植物[J]. 科学通报, 2002, 47(3): 1003-1006.

[10] 杨肖娥, 龙新宪, 倪吾钟, 等. 古老铅锌矿区生态型东南景天对锌耐性及超积累特性的研究[J]. 植物生态学报, 2001, (6): 670-677.

[11] Yang X E, Baligar V C, Martens D C, et al. Influx, transport, and accumulation of cadmium in plant species grown at different Cd^{2+} activities[J]. Environmental Science & Technology, 1995, B30: 569-583.

[12] 王　云, 魏复盛. 土壤环境元素化学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 60-207.

[13] 唐　咏. 铅污染对辣椒幼苗生长及 SOD 和 POD 活性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(1): 26-28.

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

[15] 何振立, 周启星, 谢正苗. 污染及有益元素的土壤化学平衡[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 278.

[16] 匡少平. 玉米对铅的吸收及阴离子影响效应[J]. 青岛科技大学学报, 2003, 24(3): 222-224.

Comparing the characteristics of growth response and accumulation of cadmium and lead by *Sedum alfredii* Hance

XIONG Yu-hui[1,2], YANG Xiao-e[1], YE Zheng-qian[1], HE Bing[3]

(1 *College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang* 310029, *China*;
2 *School of life science, Huzhou Teachers College, Huzhou, Zhejiang* 313000, *China*;
3 *College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi* 530005, *China*)

Abstract: Characteristics of plant growth and uptake and accumulation of cadmium (Cd) and lead (Pb) by *Sedum alfredii* Hance in response to Cd and Pb concentration were compared by hydroponic experiments and significant differences were found between the two heavy metals. Results showed that growth of root dry matter weight of the plants was slightly affected by Cd up to 500 μmol/L, whereas growth of shoot dry matter weight increased slightly and peaked at 100 μmol/L Cd. In contrast, growth of

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

shoot dry matter weight was slightly affected by Pb till 1 000 μmol/L, but growth of root dry matter weight enhanced significantly by Pb supply and peaked at 1 000 μmol/L Pb. The thresholds for the plant growth response to external Cd and Pb were 500 and 1 000 μmol/L respectively. Cd contents in different parts were higher than Pb, especially in leaves. At Cd ≤ 500 μmol/L, plant Cd contents among various parts, the order was recorded as leaf > stem > root, whereas an adverse order of plant Pb contents, i.e. root > stem > leaf was observed at Pb ≥ 200 μmol/L. Shoot Cd contents increased with external Cd supply, and reached maximum at 500 μmol/L Cd, being 5.677 and 5.274 g/kg in leaves and stems, respectively. Similarly, shoot Pb contents increased by external Pb, which maximum Pb content in leaves appeared at 200 μmol/L Pb, being 0.169 g/kg; whilst maximum Pb content in stems reached at 1 500 μmol/L Pb, being 1.167 g/kg. Root maximum contents of Cd and Pb both were at 2 500 μmol/L Cd (Pb), being 17.820 g/kg (Cd) and 9.437 g/kg (Pb), respectively. In addition, at 500 μmol/L Cd the plant obtained its maximum shoot Cd accumulation of 3.29 mg/plant, whilst the ratio of shoot/root Cd accumulation reached 16.18. On the contrary, maximum shoot Pb accumulation was 0.32 mg/plant at 1 000 μmol/L Pb and the ratio of shoot/root Pb accumulation was 0.30. It is suggested that *Sedum alfredii* has higher tolerance to Pb than to Cd, whereas its abilities to uptake and transport Cd were greatly higher than to Pb, and is a Cd hyperaccumulator in terms of its shoot Cd contents.

Key words: *Sedum alfredii* Hance; cadmium; lead; growth response; accumulating characteristics; hyperaccumulator

(上接第 100 页)

Studies on chemical constituents of *Hypericum perforatum* L.

WU Ying-chun[1], **ZHANG Zun-ting**[2], **ZHEN Bao-qin**[1], **LIU Qian-guang**[2]

(1 *Department of Chemistry, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi* 723001, *China*;
2 *School of Chemistry and Material Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*)

Abstract: Six crystals were isolated from the methnol extracts of *Hyperium perforatum* L.. Four of them were identified by chemical and spectral methods, they are, (Ⅰ) quercetin, (Ⅱ) hesperidin, (Ⅲ) rutin, (Ⅳ) hypericin, the others were not identified because of their little quantity.

Key words: *Hyperium perforatum* L.; chemical constituent; hesperidin

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net