

土壤铅污染对苋菜生长和矿质元素含量的影响

杨敏文¹, 柯世省²

(1. 台州学院 医药化工学院, 浙江 临海 317000; 2. 台州学院 生命科学学院 浙江 临海 317000)

摘要: 采用土培试验研究了不同水平铅处理下苋菜生长和矿质元素吸收的相关指标。结果表明: 较高浓度(0.4 mmol/kg)铅胁迫下苋菜的生长受到明显抑制, 其中根受到的抑制程度最高。铅对苋菜第3和第4片成熟叶面积扩展的抑制作用比叶干物质的积累大, 导致单位叶面积干重增大。土壤中过量铅明显增加了苋菜各器官中铅的含量并主要积累在根部, 降低了苋菜对铁、钾、钙、镁的吸收和向地上部分运输的速率而导致含量降低。

关键词: 苋菜; 矿质元素; 铅污染; 生长

中图分类号: S 636.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)01-0010-04

重金属引起的环境污染日益引起人们的关注。重金属对含硫的配基有很强的亲和力并与之牢固结合, 当重金属进入细胞后, 它们与蛋白质中的-SH 相互作用, 引起酶的失活, 干扰生理代谢过程^[1]。有些重金属如铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、铁(Fe)是动植物必需的微量营养素, 但铅(Pb)是分布最广、对人类和其他生物体具有巨大风险的非必需重金属之一^[1-3]。铅对植物的毒性作用主要包括: 干扰植物对其他营养素的吸收和转运^[3], 引起生长阻滞^[4], 改变酶的活性^[5], 扰乱呼吸作用^[6]和光合作用^[7], 促进活性氧的形成而导致氧化胁迫^[8]等。铅的毒害具有隐蔽性, 许多植物吸收污染土壤中的铅后并不表现出明显可见的毒害症状, 但经食物链可严重威胁到人和动物的健康^[9-10]。苋菜(*Amaranthus tricolor* L.)是一种广泛种植并深受人们喜爱的蔬菜, 对Pb具有较强抗性^[11], 对Cu、Cd、Hg、As、Pb和Cr具有较强的富集能力^[12-14], 但有关Pb胁迫对其生长生理的影响少有报道。该研究以土培苋菜幼苗为材料, 研究不同水平Pb处理对苋菜生长和矿质元素吸收的影响, 为苋菜种植和探讨Pb对植物毒害的生理机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验用土取自浙江省天台山华顶国家森林公园表层土, 质地为黄壤土。土壤有效氮、磷、钾分别为93.58、78 mg/kg, pH 5.9, 有机质含量2.8%, 离子交换量(CEC)18.3 cmol/kg, 有效铅0.02 mmol/kg。土壤阴干粉碎过2 mm筛后装盆, 每盆装土1.3 kg。塑料盆高

15 cm、上口内径7 cm。供试土壤中加入基础肥料(尿素0.1 g/kg干土, KH₂PO₄ 0.2 g/kg干土)。经试验确定恰好浇透一盆土(没有多余水分沥出)所需用水量, 以3盆用水量配制一个浓度梯度Pb(CH₃COO)₂·3H₂O溶液, 平均浇入3盆土中。使加入土壤中的Pb浓度分别达到0.1、0.2、0.4、0.8、1.6 mmol/kg干土, 以未加Pb处理作为对照(CK), 共计30盆。稳定1周后, 倒出盆土, 单盆土样经充分混匀后再重新装盆。苋菜品种为一点红(杭州良峰蔬菜种子有限公司生产), 种子购于浙江省临海市种子公司。6月上旬, 种子经0.5% NaClO消毒后均匀播于盆中, 每盆10颗, 保持土壤水分含量为最大相对含水量的80%。塑料盆完全随机摆放, 自然光照, 常规管理。幼苗长出1对真叶后间苗, 每盆保留5株。播种后45 d测定各项指标。

1.2 测定方法

1.2.1 生长分析 取不同铅水平处理下苋菜第3和第4片成熟叶(顶部下数), 用WinFOLIA系统测定叶面积, 75℃烘干称重, 计算单位面积干重。在土壤表面将植株剪断, 地上部分区分茎叶。茎叶洗净后105℃杀青10 min, 75℃烘干称重。从盆中取出整土, 用自来水小心冲刷土块, 收集苋菜全部根系, 双蒸水洗净烘干称重。根、茎和叶分别用XA-1型植物样品粉碎机粉碎, 过1 mm尼龙筛, 贮瓶中用于元素分析。

1.2.2 元素含量测定 称植物样品0.2~0.5 g于消化管中, 加5 mL浓硝酸放置过夜, 放于控温式远红外消煮炉中(LWY84B, 四平电子技术研究所), 90℃30 min, 140℃30 min, 180℃30 min, 稍冷却, 加1 mL高氯酸, 180℃120 min, 冷却后定容至50 mL, 两层滤纸过滤, 电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES, Optima 2100 DV, Perkin Elmer, USA)测定Pb、K、Ca、Mg和Fe含量。

1.3 数据分析

第一作者简介: 杨敏文(1965-), 女, 副教授, 现主要从事污染生态学研究。E-mail: ymwyxy@tzc.edu.cn。

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y504256)。

收稿日期: 2008-09-17

用 DPS 软件对数据进行方差分析(ANOVA), $P<0.05$ 表示处理间差异显著。数据均为 5 个重复的平均值±标准误差。

2 结果与分析

2.1 铅处理对苋菜生长的影响

2.1.1 铅处理对苋菜生物量的影响 试验不同浓度铅处理下苋菜种子都能正常萌发, 也没对苋菜生长产生明显的毒害作用(如萎黄症和枯死等), 植株生长较为正常, 但对苋菜生物量产生了明显影响(图 1)。在外加 0.1~0.2 mmol/kg Pb 处理下, 苋菜叶片、茎、根和整株干重变化不大, 但随着铅处理浓度的继续增加, 植株各器官干重明显降低($P<0.05$)。在 1.6 mmol/kg Pb 处理下, 苋菜叶片、茎、根和整株干重比对照(CK)分别降低了 17.5%、41.0%、58.8%和 32.9%, 其中根的生物量降

低幅度最大。

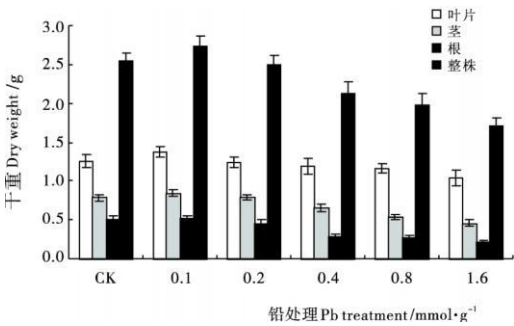


图 1 铅处理对苋菜生物量的影响

Fig.1 Biomass of *Amaranthus tricolor* plants subjected to different concentrations of Pb in soils

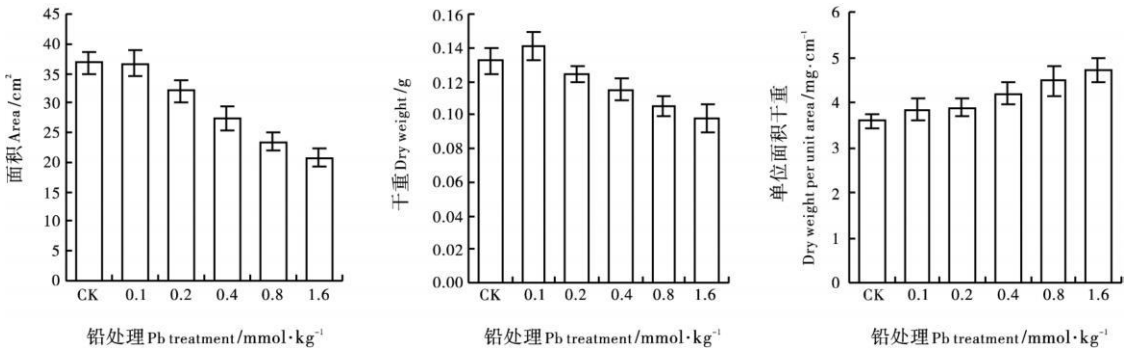


图 2 铅处理对苋菜第 3 和第 4 成熟叶生长的影响

Fig. 2 Development of the third and the fourth mature leaves of *Amaranthus tricolor* plants subjected to different concentrations of Pb in soils

2.1.2 铅处理对苋菜第 3 和第 4 成熟叶生长的影响

从图 2 可以看出, 随着铅处理浓度的增加, 苋菜第 3 和第 4 成熟叶平均叶面积明显减小($P<0.05$), 但叶干重的降低幅度要小得多, 使叶单位面积干重有所增加。在 1.6 mmol/kg Pb 处理下, 叶面积较对照减小了 35.6%, 而叶干重仅减小了 20.5%, 单位叶面积干重增加了 23.5%。

2.2 不同浓度铅处理下苋菜各器官元素含量

2.2.1 铅含量 苋菜根、茎、叶各器官的铅含量随铅处理浓度的增加而剧烈增加($P<0.05$)(图 3)。植物吸收的铅大部分积累在根部 茎和叶中铅的含量相对较低($P<0.05$)。对照植株叶片和茎铅含量分别为 0.19、0.24 mg/kg, 当铅处理浓度为 0.1 mmol/kg 时, 叶和茎铅含量即达到对照的 10.7 和 18.2 倍。铅处理浓度达到 1.6 mmol/kg 时, 根中铅的含量比茎和叶分别高 6.9 和 30.7 倍。

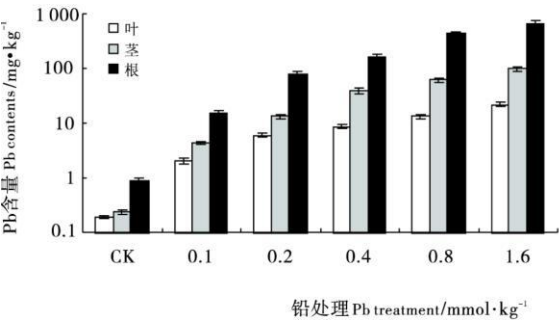


图 3 铅处理对苋菜不同器官铅含量的影响

Fig. 3 Pb contents in the different organs of *Amaranthus tricolor* plants subjected to different concentrations of Pb in soils

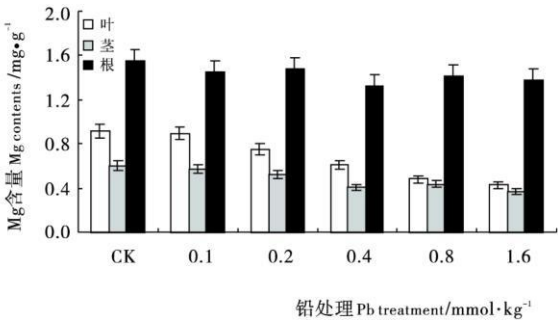


图 4 铅处理对苋菜不同器官镁含量的影响

Fig. 4 Mg contents in the different organs of *Amaranthus tricolor* plants subjected to different concentrations of Pb in soils

2.2.2 镁含量 苋菜叶和茎的镁含量随土壤中铅浓度的增加显著降低($P<0.05$),但对根镁含量影响却不大(图4)。在1.6 mmol/kg 铅处理下,叶和茎镁含量分别

比对照降低了53.4%和38.2%,根中镁含量降低了11.1%,根中镁的含量比叶和茎分别高3.2和3.7倍。

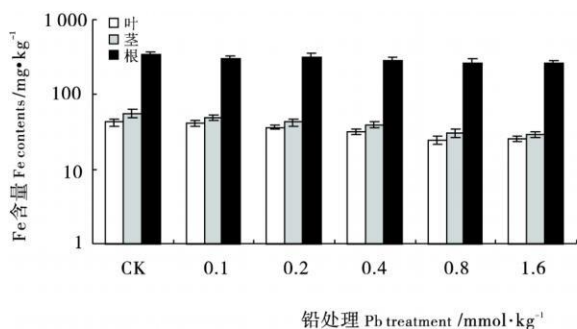


图5 铅处理对苋菜不同器官铁含量的影响

Fig.5 Fe contents in the different organs of *Amaranthus tricolor* plants subjected to different concentrations of Pb in soils

2.2.3 铁含量 苋菜叶和茎的铁含量随土壤中铅浓度的增加显著降低($P<0.05$),但对根铁含量影响却不大(图5)。在1.6 mmol/kg 铅处理下,叶和茎铁含量分别比对照降低了38.5%和48.9%,根中铁含量降低了22.9%,根中铁的含量比叶和茎分别高10.3和9.2倍。

2.2.4 钾含量 随着铅处理浓度的增加,苋菜根、茎和叶中钾含量显著降低($P<0.05$)(图6)。在1.6 mmol/kg 铅处理下,根、茎和叶的钾含量分别比对照降低了39.1%、34.0%和31.3%,根中钾的含量比叶和茎分别高1.9和2.3倍。

2.2.5 钙含量 随着铅处理浓度的增加,苋菜茎和叶中钙含量显著降低($P<0.05$),而根中钙含量变化不大(图7)。在1.6 mmol/kg 铅处理下,茎和叶的钙含量分别比对照降低了25.7%和45.0%,根的钙含量降低了14.8%。

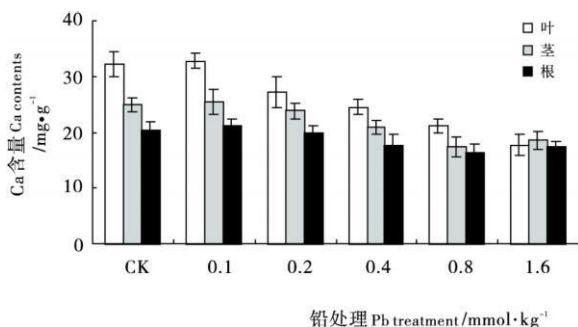


图7 铅处理对苋菜不同器官钙含量的影响

Fig.7 Ca contents in the different organs of *Amaranthus tricolor* plants subjected to different concentrations of Pb in soils

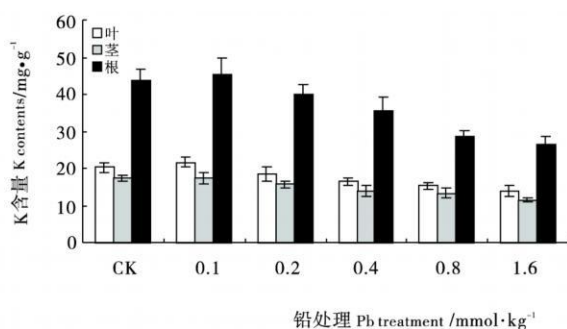


图6 铅处理对苋菜不同器官钾含量的影响

Fig.6 K contents in the different organs of *Amaranthus tricolor* plants subjected to different concentrations of Pb in soils

3 小结与讨论

试验结果表明,较高浓度(0.4 mmol/kg)铅胁迫下苋菜的生长受到明显影响,其中根受到的影响最大。植物根的生长通常比其他器官更易受铅的毒害作用,这与根作为植物从污染土壤中摄取铅的最初部位并大量积累有关^[4]。铅对苋菜叶面积扩展的影响比对叶干物质的积累大,导致单位叶面积干重增大。所以铅的影响首先表现为对叶片扩展的抑制而不是干物质的积累,这与Cook等^[15]的研究结果一致,他们的研究表明,菜豆属植物体内铜含量增高时,叶片面积的减小比干物质积累的减少更明显。

土壤中过量铅明显促进了苋菜根、茎、叶中铅的积累,土壤中施加0.1 mmol/kg 铅使叶片和茎(均为可食用部分)中铅含量增加到对照的10.7和18.2倍(即2.04 mg/kg和4.37 mg/kg)。我国国家标准《食品中污染物限量》(GB2762—2005)规定,叶菜类蔬菜中铅限量为0.3 mg/kg。苋菜对铅的抗性较强,在铅污染土壤中种植苋菜供食用存在较高的安全风险。

铅处理降低了苋菜对铁、钾、钙、镁的吸收和向地上部分运输的速率而导致含量降低。低铁影响叶绿素的合成和叶绿体的结构,进而减弱光合作用强度^[16]。钾是植物组织中含最丰富的阳离子,它在维持液泡的渗透势和细胞膨压中起着重要作用,为叶片扩展所必需,叶片细胞的伸长与钾含量有密切的关系^[17]。铅处理导致苋菜叶片钾含量下降引起细胞渗透势降低,进而减少细胞的伸长,使叶片扩展受阻。钙是细胞壁的一种元素,细胞壁的胞间层由果胶钙组成,缺钙时,细胞壁形成受到阻碍,影响细胞增大或分裂,或者不能形成新的细胞壁。铅结合到细胞壁直接或置换钙改变了细胞壁的弹性。因此缺钙时叶片的扩展也受到抑制。菜豆(*Phase-*

olus vulgaris) 在镁缺乏时其同化物在叶片中积累, 导致光合速率因反馈抑制而降低^[8], 此外, 镁在 RuBP 羧化酶的活性调节中起着关键作用^[19]。铅处理使苋菜叶片镁含量降低, 可能导致光合产物在叶片中积累并降低光合速率, 向茎和根输出的同化物减少, 影响其生长和生物量的积累。

参考文献

- [1] Seregin I V, Ivanov V B. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2001, 48: 523-544.
- [2] 杜兰芳, 郁建锋, 屠云霞. 镉对铅胁迫下豌豆幼苗生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2007(12): 14-18.
- [3] Gopal R, Rizvi A H. Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish[J]. Chemosphere, 2008, 70: 1539-1544.
- [4] Uveges J L, Corbett A L, Mal T K. Effects of Pb contamination on the growth of *Lythrum salicaria*[J]. Environmental Pollution, 2002, 120: 319-323.
- [5] Geebelen W, Vangronsveld J, Adriano D C, et al. Effect of Pb-EDTA and EDTA in oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*[J]. Physiologia Plantarum, 2002, 115: 377-384.
- [6] Romanowska E, Igamberdiev A U, Parys E, Gardestron P. Stimulation of respiration by Pb^{2+} in detached leaves and mitochondria of C_3 and C_4 plants[J]. Physiologia Plantarum, 2002, 116: 148-154.
- [7] Rulley A T, Shanna N C, Sahi S V, et al. Effects of lead and chelators on growth, photosynthetic activity and Pb uptake in *Sesbania drummondii* grown in soil[J]. Environmental Pollution, 2006, 144: 11-18.
- [8] Qureshi M I, Abidin M Z, Qadir S, et al. Lead-induced oxidative stress

- and metabolic alterations in *Cassia angustifolia* Vahl[J]. Biologia Plantarum, 2007, 51: 121-128.
- [9] Body P E, Dolan P R, Mulcahy D E. Environmental lead: a review[J]. Critical Reviews in Environmental Control, 1991, 20: 299-310.
 - [10] 孙光闻, 朱祝军, 方学智, 等. 我国蔬菜重金属污染现状及治理措施[J]. 北方园艺, 2006(2): 66-67.
 - [11] 吴晓, 熊治廷. 不同品种苋菜对铅抗性的研究[J]. 武汉大学学报(理学版), 2005, 51(S2): 294-296.
 - [12] Ke S S. Effects of copper on the photosynthesis and oxidative metabolism of *Amaranthus tricolor* seedling[J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(10): 1182-1192.
 - [13] 黄灼, 刘光德, 李其林, 等. 农产品对土壤中重金属的富集能力研究[J]. 中国农学通报, 2004, 20(6): 285-289.
 - [14] 杜应琼, 何江华, 陈俊坚, 等. 铅、镉和铬在叶类蔬菜中的累积及其生长的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(1): 51-55.
 - [15] Cook C M, Kostidou A, Vardaka E. Effects of copper on the growth, photosynthesis and nutrient concentration of *Phaseolus* plants[J]. Photosynthetica, 1997, 34: 179-193.
 - [16] Siedlecka A, Krupa Z. Cd/Fe interaction in higher plants its consequences for the photosynthetic apparatus[J]. Photosynthetica, 1999, 36: 321-331.
 - [17] 郭英, 孙学振, 宋宪亮, 等. 钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 363-368.
 - [18] Fischer E S, Bremer E. Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation, and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*[J]. Physiologia Plantarum, 1993, 89: 271-276.
 - [19] 刘厚诚, 陈细明, 陈日远, 等. 缺镁对菜薹光合作用特性的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(2): 311-316.

Effects of Lead Contamination on the Growth and Content of Mineral Elements of *Amaranthus tricolor*

YANG Min-wen¹, KE Shi-sheng²

(1. School of Pharmaceutical and Chemical Engineering, Taizhou University, Linhai, Zhejiang 317000, China; 2. School of Life Science, Taizhou University, Linhai, Zhejiang 317000, China)

Abstract: *Amaranthus tricolor* seedlings were subjected to different Pb levels in soils during the whole experimental period. The parameters of growth and mineral elements contents were investigated. Excess Pb (0.4 mmol/kg) reduced the dry weight of leaves, stems and roots of *Amaranthus tricolor* plants pronouncedly with the maximum depression range in the roots. The inhibition effects of Pb on area expanding of the third and fourth mature leaf were stronger than on dry weight resulted in increases of leaf mass area (LMA). Excess Pb in the soils significantly promoted Pb accumulation in *Amaranthus tricolor* plants, moreover Pb was sequestered primarily in the roots. The ions (Iron, potassium, calcium and magnesium) distribution in *Amaranthus tricolor* plants suggested that the uptake and the upward translocation of these ions could be reduced by Pb excess.

Key words: *Amaranthus tricolor*; Mineral element; Lead contamination; Growth