

## 改良剂对镉及铅污染土壤中塌地乌品质的影响

李 鹰 翔<sup>1</sup>, 吕 金 印<sup>2</sup>, 王 帅<sup>2</sup>, 齐 君<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**采用盆栽试验,研究了施用不同改良剂—骨粉、纳米羟基磷、粉煤灰及其两两组合对镉、铅污染土壤中塌地乌叶绿素及维生素 C 含量及品质的影响。结果表明:施入改良剂后,塌地乌叶片叶绿素含量和植株内维生素 C 含量均不同程度增加,硝酸盐和可溶性糖含量降低,叶绿素 a/b 值降低(除单施纳米羟基磷灰石)。因此,添加改良剂可提高镉、铅污染土壤中塌地乌的品质。

**关键词:**改良剂;镉;铅;塌地乌

**中图分类号:**S 156.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)17-0173-03

重金属污染是土壤污染的主要类型之一<sup>[1]</sup>,据统计,全世界平均每年排放的 Hg 约  $1.5 \times 10^4$  t、Cu  $3.4 \times 10^6$  t、Pb  $5.0 \times 10^6$  t、Mn  $1.5 \times 10^7$  t、Ni  $1.0 \times 10^6$  t<sup>[2]</sup>。目前中国受污染的耕地约  $1 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>,其中受 Hg、Cr、Cd、Pb 等重金属污染的耕地面积达 2 000 万 hm<sup>2</sup>,约占总耕地面积的 1/5<sup>[3]</sup>。每年因重金属污染的粮食达 1 200 万 t,造成的直接经济损失超过 200 亿元<sup>[4]</sup>。土壤一旦被重金属污染,生长于这些土壤中的农产品重金属含量将增高,造成农作物品质降低,且重金属还会传递至食物链影响人们的健康。

已有研究表明,高浓度的镉、铅不但抑制作物的生长,还会影响作物品质。土壤有机质含量、孔隙度、酸碱度等理化性质也会影响蔬菜对重金属的吸收与富集。未被植物吸收进入食物链的重金属渗入地下水,最终对生态环境以及人类健康造成威胁。因此,如何通过有效的技术手段减少重金属在蔬菜中的吸收和富集,保障食品安全和农业可持续发展,成为当前研究的热点<sup>[5]</sup>。

改良剂作为一种稳定剂,不仅能钝化重金属,还可以补充土壤缺失的各种营养元素,改善土壤理化性质,使农作物高产、稳产,提高农产品品质。目前的研究主要集中在单一改良剂或多种改良剂单施对重金属污染土壤的修复。有关叶菜类蔬菜对重金属的吸收虽有一些研究<sup>[6-7]</sup>,但对叶菜可食部分重金属含量与品质性状

指标综合分析还鲜见报道。现以塌地乌叶菜为试材,采用骨粉、纳米羟基磷灰石、粉煤灰及其两两组合处理重度镉、铅复合污染土壤,测定塌地乌叶片叶绿素含量及维生素 C、硝酸盐等指标,旨在筛选最佳改良剂改善重金属污染地区的蔬菜品质。

## 1 材料与方法

## 1.1 试验材料

供试土壤取陕西关中地区大田耕作层土(0~20 cm),为微碱性红油土。土壤基本理化性质见表 1。试验选取 3 种不同改良剂,施用量为纳米羟基磷灰石 1.5 g/kg、粉煤灰 20 g/kg、骨粉 15 g/kg。供试材料选用塌地乌(wu-ta-tsai)(小青菜品种之一),是我国西北地区主要叶菜栽培品种。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of soil

pH	有机质 /%	速效氮 /mg · kg <sup>-1</sup>	速效磷 /mg · kg <sup>-1</sup>	速效钾 /mg · kg <sup>-1</sup>	全磷 /mg · kg <sup>-1</sup>	总镉 /mg · kg <sup>-1</sup>	总铅 /mg · kg <sup>-1</sup>
8.02	1.12	86.93	39.13	81.54	1.71	0.13	33.00

## 1.2 试验方法

采用人工培育的镉、铅复合污染土壤,加入 CdCl<sub>2</sub> · 3/2H<sub>2</sub>O,使镉含量达到 40 mg/kg;加入 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,使铅含量达到 1 200 mg/kg,土壤镉、铅含量均超出国家三级标准(GB 15618-2008;Cd≤1.0 mg/kg, Pb≤500 mg/kg),放置平衡 1 个月后装盆。盆栽试验设 7 个处理,分别为:CK(不施改良剂);HA(纳米羟基磷灰石);FL(粉煤灰);BM(骨粉);HA+FL(纳米羟基磷灰石和粉煤灰);HA+BM(纳米羟基磷灰石和骨粉);FL+BM(粉煤灰和骨粉)。每盆装土 4.5 kg,施入相应的改良剂,按 1 kg 土 CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 分别为 0.65、0.39、0.13 g 的用量施入底肥,4 次重复。播种前用温水

**第一作者简介:**李鹰翔(1986-),女,甘肃武威人,在读硕士,研究方向为植物微量元素吸收代谢机理。

**责任作者:**吕金印(1960-),男,陕西岐山人,博士,教授,硕士生导师,现主要从事植物抗逆生理及核农学等研究工作。

**基金项目:**农业部公益性行业科研专项资助项目(201103007)。

**收稿日期:**2012-05-29

(25℃)浸泡塌地乌种子,并放入 25℃培养箱内过夜,捞出后将种子平铺于湿润的纱布上放入 25℃培养箱,露白时播种,每盆种点播 20 粒。出苗 3 叶期后间苗,每盆保留 10 株。整个生长过程用去离子水浇灌,不再施用化肥。

### 1.3 项目测定

塌地乌生长 50 d 后收获,植株按地上部和根部分别收获。地上部分为 2 部分,分别用于鲜样和干样测定。鲜样测定部分保存于冰箱冷冻室,干样测定部分和根部用去离子水洗净后在 105℃杀青,70℃烘干<sup>[8]</sup>,研碎待用。塌地乌组织中叶绿素含量采用 80%丙酮浸提,分光光度法测定;维生素 C 含量用钼蓝比色,分光光度法测定;可溶性糖含量用硫酸-萘酚比色法测定;硝酸盐含量用硝基水杨酸比色法测定<sup>[9]</sup>。

### 1.4 数据分析

所有测定数据均 3 次重复,采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 17.0 统计软件进行数据处理、统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 施用改良剂对镉、铅污染土壤中塌地乌叶绿素含量的影响

由表 2 可知,施入改良剂后,塌地乌叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量与对照相比均增加,增幅分别为 6.09%~64.35%、8.70%~45.65%和 4.35%~59.01%。除纳米羟基磷灰石单施,其它改良剂处理下塌地乌叶绿素 a/b 均高于对照。植物叶片叶绿素含量的高低反映了光合作用的强弱。严重玲等<sup>[10]</sup>和 Woolhouse<sup>[11]</sup>认为随着叶片的衰老,植物叶绿素含量逐渐下降,叶绿素 a 比叶绿素 b 下降的更快,叶绿素 a/b 可作为叶片衰老的标志,同时也是衡量叶片感受重金属污染相对敏感的一个生理指标。该试验中,添加改良剂后,镉、铅污染土壤中塌地乌叶片叶绿素含量的升高及叶绿素 a/b 的变化,表明施用改良剂(除纳米羟基磷灰石单施)可缓解土壤重金属对塌地乌叶片的毒害,提高叶片光合作用,促进生长,减缓衰老。

表 2 不同改良剂对塌地乌叶片叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of different amendments on chlorophyll content of wuta-tsai

不同处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a /mg·g <sup>-1</sup>	叶绿素 b Chlorophyll b /mg·g <sup>-1</sup>	叶绿素 a+b Chlorophyll a+b /mg·g <sup>-1</sup>	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
CK	1.15±0.01f	0.46±0.00c	1.61±0.01e	2.50±0.04de
HA	1.28±0.06de	0.55±0.05b	1.83±0.11d	2.35±0.11e
FL	1.22±0.00ef	0.46±0.04c	1.68±0.04e	2.66±0.25cd
BM	1.74±0.08b	0.54±0.04b	2.28±0.11b	3.22±0.06a
HA+FL	1.89±0.06a	0.67±0.05a	2.56±0.01a	2.84±0.30bc
HA+BM	1.56±0.01c	0.51±0.00bc	2.07±0.01c	3.05±0.00ab
FL+BM	1.31±0.02d	0.50±0.03bc	1.81±0.05d	2.61±0.13cde

注:同列数据不同字母的表示处理间差异达到 5%显著水平。

Note: Different letters in the same column mean significant at 5% level.

### 2.2 施用改良剂对重金属污染土壤中塌地乌品质的影响

由图 1 可知,未添加改良剂处理的塌地乌维生素 C 含量只 13.20 mg/100g,添加改良剂处理的塌地乌维生素 C 含量与对照相比,均显著增加( $P<0.05$ )。骨粉处理下塌地乌维生素 C 含量达到最高 29.31 mg/100g,是对照的 2.22 倍。表明,在镉、铅污染土壤中添加改良剂可提高塌地乌的维生素 C 含量。

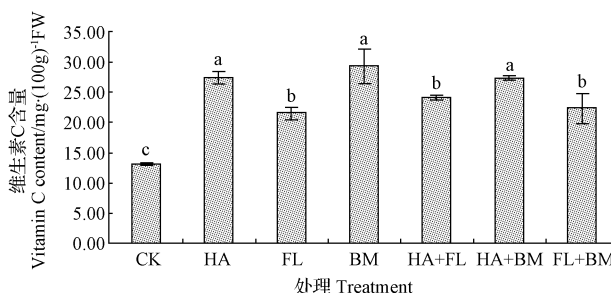


图 1 不同改良剂处理下塌地乌维生素 C 含量

注:柱上不同字母的表示处理间差异达到 5%显著水平。下同。

Fig. 1 Effect of different amendments on wuta-tsai vitamin C content

Note: The bars with different letters mean significant at 5% level.

The same as below.

可溶性糖既是植物体内渗透调节物质,又可作为蔬菜品质指标<sup>[12]</sup>。由图 2 可知,未添加改良剂处理的塌地乌中可溶性糖含量为 1.85% (鲜重基),添加改良剂后,塌地乌中可溶性糖含量与对照相比,均降低。纳米羟基磷灰石和骨粉配施处理下塌地乌中可溶性糖含量达到最低 1.74%。这表明改良剂可缓解重金属对塌地乌的毒害作用,降低塌地乌中的可溶性糖含量。

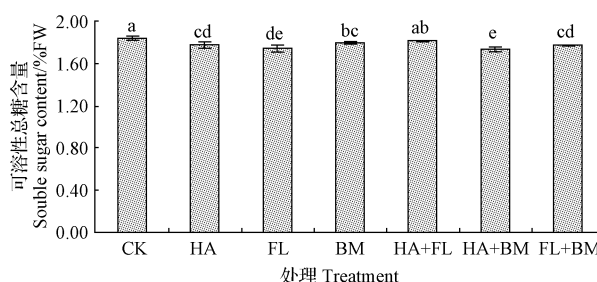


图 2 不同改良剂处理下塌地乌可溶性糖含量

Fig. 2 Effect of different modifiers on wuta-tsai soluble sugar content

蔬菜硝酸盐含量是评价蔬菜卫生安全品质标准的一个重要标志<sup>[13]</sup>。该研究中,未添加改良剂处理的塌地乌硝酸盐含量最高,但与国家标准叶菜类硝酸盐含量(GB 18406.1-2001)相比,并未超标。添加改良剂后,塌地乌硝酸盐含量均降低,降幅最大的为粉煤灰和骨粉配施处理(图 3)。可能是添加改良剂有

效的抑制了塌地乌叶片中  $\text{Cd}^{2+}$  的浓度,缓解了  $\text{Cd}^{2+}$  对硝酸还原酶活性的抑制,从而使硝酸盐含量降低。

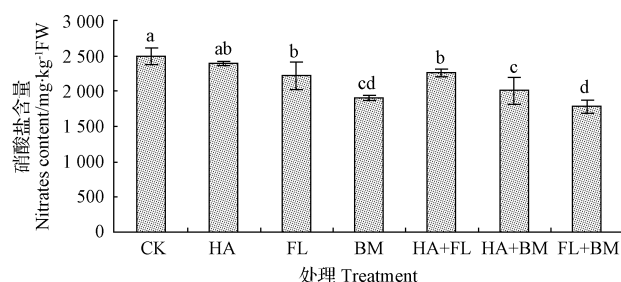


图3 不同改良剂处理下塌地乌硝酸盐含量

Fig. 3 Effect of different modifiers on wuta-tsai nitrates content

改良剂能促进 Cd、Pb 污染土壤中塌地乌的生长,降低塌地乌对 Cd、Pb 的吸收,提高塌地乌的品质。可能是因为骨粉能有效降低污染土壤中重金属的生物有效性,减缓其对植物的毒害<sup>[14]</sup>。而纳米羟基磷灰石可以和土壤中的重金属离子生成溶解性很小的  $\text{M}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (M 是 Cu, Zn, Pb 或 Cd 等二价金属离子),降低植物对重金属的吸收、积累<sup>[15]</sup>。此外,该研究中所采用的粉煤灰中含有大量的硅和其它金属元素,可通过离子间的拮抗作用以及与土壤中的重金属离子形成硅酸盐,在一定程度上抑制植物对  $\text{Cd}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸收<sup>[16]</sup>。

### 3 结论

添加改良剂可有效抑制塌地乌对镉、铅的吸收,显著提高塌地乌叶片叶绿素含量,降低叶绿素 a/b 值,促进塌地乌生长,减缓衰老。同时,植株内维生素 C 含量的升高及硝酸盐、可溶性糖含量的降低又保证了塌地乌的品质。

### 参考文献

- [1] 杨海征,胡红青,黄巧云,等.堆肥对重金属污染土壤 Cu、Cd 形态变化的影响[J].环境科学学报,2009,29(9):1842-1848.
- [2] 李法云,曲向荣,吴龙华.土壤生物修复理论基础与技术[M].北京:化学工业出版社,2005:55.
- [3] 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):1197-1203.
- [4] Li P J, Sun T H, Gong Z Q, et al. An approach to the theoretical meaning of ecological remediation of contaminated soil [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 747-750.
- [5] 刘维涛,周启星.不同土壤改良剂及其组合对降低大白菜镉和铅含量的作用[J].环境科学学报,2010,30(9):1846-1853.
- [6] 陈琰,李廷强,杨肖娥,等.不同品种小白菜对镉的吸收积累差异[J].应用生态学报,2009,20(3):736-740.
- [7] Alexander P D, Alloway B J, Dourado A M. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables [J]. Environmental Pollution, 2006, 144: 736-745.
- [8] 华南农业大学根系生物学研究中心.根系生物学常规试验指南[M].广州:华南农业大学根系生物学研究中心,2005:46-47.
- [9] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [10] 严重玲,李瑞智,钟章成.模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特性的影响[J].应用生态学报,1996,7(增刊):124-131.
- [11] Woolhouse H W. Longevity and senescence in plant [J]. Sci Prog Oxford, 1974, 61: 23.
- [12] 郑健,蔡焕杰,陈新明,等.调亏灌溉对温室小型西瓜水分利用效率及品质的影响[J].核农学报,2009,23(1):159-164.
- [13] 李廷亮,谢英荷,刘子娇. Cd、Cr、Pb 对几种叶类蔬菜生长状况及品质的影响[J].山西农业科学,2008,36(4):20-22.
- [14] Lee S H, Park H, Koo N M, et al. Evaluation of the effectiveness of various amendments on trace metals stabilization by chemical and biological methods[J]. J Hazard Mater, 2011, 188: 45-51.
- [15] Laperche V, Logan T J, Gaddam P A, et al. Effect of apatite amendments on plant uptake of lead from contaminated soil [J]. Environmental Science and Technology, 1997, 31(10): 2745-2753.
- [16] Gu H H, Qiu H, Tian T, et al. Mitigation effects of silicon rich amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on multi-metal contaminated acidic soil [J]. Chemosphere, 2011, 83: 1234-1240.

## Effects of Amendments on the Quality of Wuta-tsai Planted in Cd and Pb Contaminated Soil

LI Ying-xiang<sup>1</sup>, LV Jin-yin<sup>2</sup>, WANG Shuai<sup>2</sup>, QI Jun<sup>1</sup>

(1. College of Science, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Life Sciences, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** A pot experiment was carried out, the effects of three different kinds of amendments (bone mill, nano hydroxyapatite and bottom ash) and their two combinations on the chlorophyll content, vitamin C content and other qualities of wuta-tsai planted in Cd, Pb contaminated soil were studied. The results showed that the chlorophyll and vitamin C content increased in various degrees after amendments application, while the content of soluble sugar and nitrates decreased. The chlorophyll a/b value decreased under all treatments except treatment of applied nano hydroxyapatite. Therefore, add amendments to the Cd, Pb polluted soil could improve the quality of wuta-tsai.

**Key words:** amendments; Cd; Pb; wuta-tsai