

外源 Cd 胁迫对不同类型土壤中蔬菜生长的影响及其残留效应

韩 梅¹, 李发生¹, 卢桂兰¹, 刘 锋¹, 赵秉强², 张夫道²

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘 要:采用盆栽试验,通过在 3 种理化性质不同的土壤中添加不同浓度的 Cd,研究了 Cd 对白菜、萝卜等蔬菜生长的影响及其残留效应。结果表明, Cd 添加浓度为 0 ~ 1.5 mg · kg⁻¹ 土范围内, 3 种土壤中蔬菜的残留量与土壤添加量均呈良好的相关性。在上述添加量范围内,白菜、萝卜没有明显的减产现象,但在高浓度区蔬菜中含 Cd 量已超过食品限量安全值。对于试验的 3 种土壤,白菜、萝卜 Cd 残留水平分别为湖南红壤> 河南潮土> 吉林黑土。依据食品限量安全值与相关方程确定的 3 种土壤的临界含量分别为: 湖南红壤为 0.21 mg · kg⁻¹(白菜)、0.19 mg · kg⁻¹(萝卜), 河南潮土为 0.97 mg · kg⁻¹(白菜)、0.93 mg · kg⁻¹(萝卜), 吉林黑土为 1.08 mg · kg⁻¹(白菜)、1.08 mg · kg⁻¹(萝卜)。

关键词: Cd; 土壤; 白菜; 萝卜; 残留; 临界含量

中图分类号: S131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2004)02 – 0213 – 04

Effects of Added Cadmium on Growth and Metal Accumulation of Vegetables in Different Types of Soil

HAN Mei¹, LI Fa-sheng¹, LU Gui-lan¹, LIU Feng¹, ZHAO Bing-qiang², ZHANG Fu-dao²

(1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Institute of Soil and Fertilizer, China Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: By using pot experiments, the effects of cadmium on the growth of vegetables, such as cabbage and radish, and the residuals were researched in three types of soil with added Cd in a range of 0 ~ 1.5 mg · kg⁻¹. The results showed that Cd concentrations in edible parts of the tested vegetable crops were significantly linearly correlated to the added Cd levels in the soil. No obvious decreased yields of cabbage and radish were observed in these added levels, but Cd contents of vegetables growing in high Cd concentration regions went beyond the safety limits of food. The order of the three tested soils for cadmium accumulation in edible parts of cabbage and radish was Hunan red soil > Henan fluvo – aquic soil > Jilin black soil. Based on the regression equations established and the limit of cadmium concentration in vegetable products, the thresholds of Cd concentration in the soil were calculated as follows: 0.21 and 0.19 mg · kg⁻¹ in Hunan red soil, both 1.08 mg · kg⁻¹ in Jilin black soil, 0.97 and 0.93 mg · kg⁻¹ in Henan fluvo – aquic soil for cabbage and radish respectively.

Keywords: cadmium; soil; cabbage; radish; accumulation; threshold

Cd 作为有害重金属,其环境行为一直受到关注。据统计,我国仅 Cd 污染的农田就超过 1.09 × 10⁴ hm²^[1],而且还有不断上升的趋势。蔬菜遭受重金属 Cd 污染后,不但严重影响蔬菜的产量和质量,而且进一步通过食物链影响人畜健康。有关重金属 Cd 污染

对蔬菜的影响,国内外曾进行过一些研究^[2~4],但多数都集中在单一土壤或以培养液为基材,而且依据蔬菜限量安全值确定土壤重金属 Cd 临界含量的报道甚少^[5]。本研究选择湖南红壤、吉林黑土、河南潮土 3 种不同理化性质的典型土壤为培育介质,研究了 Cd 对白菜、萝卜生长的影响及残留和毒害效应,并确定了蔬菜受 Cd 污染的临界含量。

1 材料与方法

1.1 材料

收稿日期: 2003 – 07 – 18

基金项目:科技部国家社会公益性研究基金资助项目(2000 – 177 – 2)

作者简介: 韩 梅(1963—),女,硕士,副研究员,主要从事环境化学、环境污染控制等研究。

联 系 人:李发生, E – mail: ligulax@vip.sina.com

供试土壤由中国农业科学院国家土壤肥力与肥 污染的撂荒地。其理化性质及 Cd 背景含量见表 1。

料效益野外台站提供,土壤采自近十年来未受重金属

表 1 供试土壤理化性质及 Cd 背景含量

Table 1 Physical and chemical properties and heavy metal contents of tested soils

土壤类型	土壤理化性质								土壤 Cd 背景含量		
	pH 值	有机质 /g · kg ⁻¹	全氮 /g · kg ⁻¹	速效氮 /mg · kg ⁻¹	全磷 /g · kg ⁻¹	速效磷 /mg · kg ⁻¹	全钾 /g · kg ⁻¹	速效钾 /mg · kg ⁻¹	全量 /mg · kg ⁻¹	有效态 /mg · kg ⁻¹	有效态占全量比例 /%
红壤	4.57	18.0	1.322	58.15	0.562	18.64	13.115	185.23	0.436	0.20	46.0
黑土	8.00	28.1	1.329	79.40	0.605	6.60	20.90	79.40	0.225	0.00	0
潮土	8.36	10.6	1.01	68.00	0.66	4.97	16.9	150.6	0.221	0.00	0

注:表中红壤、黑土和潮土分别为湖南邵阳红壤、吉林公主岭黑土及河南郑州潮土。

1.2.1 盆栽试验

盆栽试验在温室内进行。外源 Cd 为 CdCl₂ · 2.5H₂O,设计 4 个 Cd 浓度水平,即 0,0.5,1.0 和 1.5 mg · kg⁻¹ 土。将过 2 mm 筛的风干土 1 kg 和作基肥的 N, P, K 肥分别与不同浓度的 Cd 溶液充分混匀,装入直径为 30 cm、高为 40 cm 的塑料盆中。每个处理重复 3 次,浇水至田间持水量的 60%,陈化一周。

供试植物小杂 65 白菜 (*Brassica campestris*)、樱桃萝卜 (*Raphanns sativns*)购自北京市种子公司。将植物种子在 25℃ 温水中浸泡 1~2 h, 暴芽后播种在盆土中,每盆播 5 粒,在相同的环境条件下栽培管理(人工控制水分、间苗并播撒农药)。出苗 2 周后定苗,每盆留 2 株。定时观察记载蔬菜生长阶段的长势,并测定株高和叶宽。2 个月后按盆收获植物可食部分,分别分析测定各项指标。

1.2.2 测定方法

蔬菜运回实验室后,称鲜重,测定水分含量^[6],蔬菜样品用酸消化,待测液中 Cd 含量采用原子吸收—石墨炉法测定^[7],仪器型号为 Z-8200 Hitachi(日本)。

2 结果与讨论

2.1 Cd 对植物(白菜、萝卜)生长的影响

2.1.1 Cd 对蔬菜株高的影响

Cd 对蔬菜(白菜、萝卜)株高、产量的影响见表 2。表中数据为 3 个样品的平均值。

从表 2 可以看出,当 Cd 量添加至 1.0 mg · kg⁻¹ 时,3 种土壤中种植的两种蔬菜株高均未受到明显抑制,与对照样比较,还表现出一定的促进作用,株高平均增加 7.1%~32.1% 左右,表明低浓度的 Cd 对植物生长有一定的促进作用。当 Cd 添加浓度大于 1.0 mg · kg⁻¹ 时,随 Cd 浓度增加,各处理的蔬菜株高降低,但与空白点基本持平,降幅在 2.9%~5.4% 范围

表 2 Cd 对蔬菜(白菜、萝卜)生长的影响

Table 2 Effects of added cadmium on the growth of cabbage and radish

供试土壤	蔬菜	项目	Cd 处理浓度/mg · kg ⁻¹			
			0	0.5	1.0	1.5
红壤	白菜	株高/cm	8.9	9.5	9.1	8.7
		相对产量/%	100	137.3	104.8	89.1
	萝卜	株高/cm	7.4	7.3	7.2	6.9
		相对产量/%	100	125.4	112.1	91.4
黑土	白菜	株高/cm	10.3	12.4	13.6	10.2
		相对产量/%	100	140.2	129.9	97.0
	萝卜	株高/cm	8.5	9.5	9.1	8.3
		相对产量/%	100	129.2	113.8	92.6
潮土	白菜	株高/cm	7.5	7.8	7.5	7.3
		相对产量/%	100	120.5	110.1	93.3
	萝卜	株高/cm	6.8	7.0	7.3	6.6
		相对产量/%	100	130.1	108.2	93.7

内。

2.1.2 Cd 对蔬菜产量的影响

3 种土壤中添加不同 Cd 量时白菜、萝卜的相对产量见图 1。

与 Cd 对蔬菜株高的影响相类似,土壤中添加 Cd 量至 1.0 mg · kg⁻¹ 时,3 种土壤中种植的 2 种蔬菜均表现出增产的趋势,Cd 量至 1.5 mg · kg⁻¹ 时,产量略有下降,其中红壤中白菜、萝卜降幅分别为 10.9% 和 8.6%,黑土中降幅分别为 3.0% 和 7.4%,潮土中降幅分别为 6.7% 和 6.3%。相对而言,Cd 对蔬菜产量的影响呈现出:红壤> 潮土> 黑土,这可能因为红壤呈酸性的缘故。另外,土壤中添加 Cd 量至 1.5 mg · kg⁻¹ 时,没有观察到蔬菜生长受到明显抑制的现象。

2.2 Cd 在蔬菜中的积累及临界含量的确定

2.2.1 Cd 在蔬菜(白菜、萝卜)中的积累

Cd 在 3 种土壤、2 种蔬菜中的残留量及依据蔬菜中残留量与土壤添加量计算的残留率见表 3, Cd 在 3 种土壤、2 种蔬菜中的残留量与土壤添加量的关系

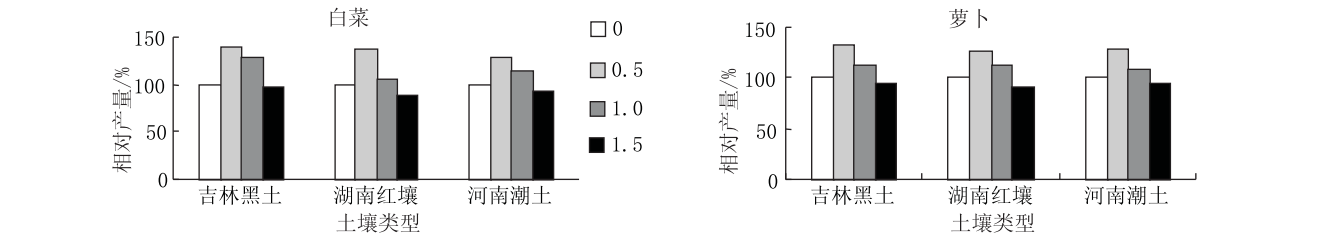


图 1 3 种土壤中不同浓度 Cd 处理下白菜和萝卜的相对产量

Figure 1 Relative yield of cabbage and radish in three kinds of soil treated with different doses of cadmium

见图 2。图中每一数据点均为 3 个样品的均值。

从表 3、图 2 可以看出,不同土壤中白菜、萝卜 Cd 含量均随着 Cd 添加量的增加而增加,呈较显著的正相关性,其相关回归方程见表 4。

通过表 4 方程的斜率可以看到:同一负荷条件下,白菜、萝卜吸收 Cd 量和土壤类型有关,湖南红壤、吉林黑土、河南潮土中吸收 Cd 量有较明显的差异,其中湖南红壤吸收量最大,河南潮土、吉林黑土次之。即不同土壤中白菜、萝卜对 Cd 的吸收量由大到小的顺序为;湖南红壤> 河南潮土> 吉林黑土。

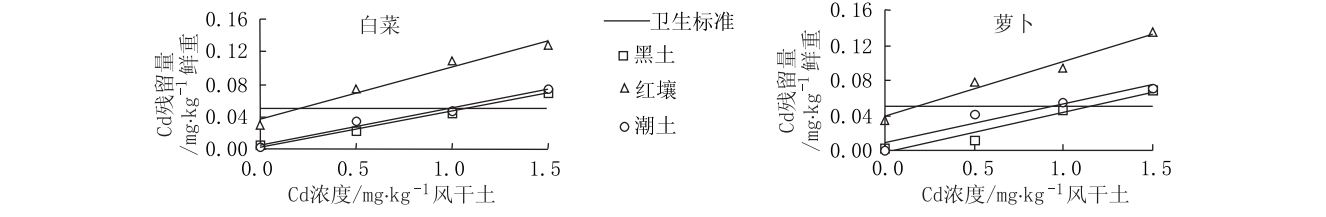


图 2 3 种土壤中不同浓度 Cd 处理下白菜和萝卜的残留量

Figure 2 The residual quantity of Cd in cabbage and radish in three kinds of soil treated with different doses of cadmium

表 3 Cd 在蔬菜中的残留量与吸收率

Table 3 The residual quantity and accumulation rate of Cd in tested vegetables

土壤类别 蔬菜类别		项目	Cd 处理浓度/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土			
			0	0.5	1.0	1.5
红壤	白菜	残留量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜重	0.030	0.075	0.109	0.127
		残留率/%	—	15.00	10.90	8.47
	萝卜	残留量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜重	0.035	0.078	0.093	0.134
		残留率/%	—	15.60	9.30	8.93
黑土	白菜	残留量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜重	0.005	0.023	0.045	0.070
		残留率/%	—	4.60	4.50	4.67
	萝卜	残留量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜重	0.003	0.012	0.046	0.068
		残留率/%	—	2.40	4.60	4.53
潮土	白菜	残留量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜重	0.003	0.034	0.048	0.075
		残留率/%	—	6.80	4.80	5.00
	萝卜	残留量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜重	0.001	0.042	0.055	0.070
		残留率/%	—	8.40	5.50	4.67

从植物营养吸收理论来看,可溶态离子易被植物吸收,同其它形态相比较,交换态中重金属具有最高的溶解度,因而有较高的潜在生物有效性。红壤中白菜、萝卜吸收 Cd 量最高,是由于红壤为酸性土壤(pH 值为 4.35),土壤中随 pH 值减小,重金属被解吸,而

表 4 Cd 处理浓度与蔬菜(白菜、萝卜)残留的相关及土壤临界含量

Table 4 The relationship between Cd concentration in vegetables and extractable Cd content in soil and the critical criteria of Cd

土壤类别	蔬菜品种	相关回归方程式	相关系数	临界含量
				$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土
红壤	白菜	$Y = 0.065 X + 0.036$	0.966	4
黑土		$Y = 0.0434 X + 0.0032$	0.994	8
潮土		$Y = 0.046 X + 0.0055$	0.981	8
红壤	萝卜	$Y = 0.0624 X + 0.0382$	0.970	7
黑土		$Y = 0.0458 X + 0.0021$	0.959	5
潮土		$Y = 0.044 X + 0.009$	0.918	8

使活性增强,从而导致白菜、萝卜中 Cd 吸收量增大。朱亮^[2]等人的研究表明,植物对 Cd 的吸收明显受到土壤 pH 值的影响,本研究所得结论符合这一规律。

从 3 种土壤的理化性质及 Cd 的背景含量分析,湖南红壤 Cd 全量及有效态含量均高于其他 2 种土壤,这亦表明 Cd 是一种在酸性土壤中较活泼的元素。吉林黑土与河南潮土 pH 值相近,而黑土有机质含量高,腐殖质含有大量的负电荷,对 Cd^{2+} 交换量贡

献大,导致蔬菜中 Cd 残留量的降低。

通过表 3 对残留率的比较可以进一步看到,红壤中白菜、萝卜的残留率与黑土、潮土有较大的差异,前者为后者的 2 倍。同一土壤、同一 Cd 负荷条件下,白菜与萝卜残留率基本一致,没有显著性差异。

2.2.2 土壤中 Cd 的临界含量

国内外学者就各元素对植物生长产生危害的临界含量问题进行过一定的试验研究,但以小白菜、萝卜为试验基材的甚少。在判别土壤临界含量时必须首先确定其判别标准,本试验以食品中 Cd 限量卫生标准(GB15201-94)中蔬菜 Cd 限量 $\leq 0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 鲜重(以 Cd 计)为依据,根据蔬菜中残留量与土壤添加量的相关方程,求得的土壤临界含量见表 4。红壤中白菜、萝卜的临界含量仅为 $0.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,潮土和黑土的临界含量较为一致,潮土中白菜、萝卜的临界含量分别为 $0.97 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,黑土中白菜、萝卜的临界含量分别为 $1.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。同一土壤不同品种间的临界含量差别不大,只是萝卜略低于白菜。在 3 种理化性质不同的土壤中添加 Cd 量至 $0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,白菜、萝卜没有明显的减产现象,但在高浓度区蔬菜中含 Cd 量已超过食品限量安全值,这在 pH 值为

酸性的湖南红壤中表现更加突出。

参考文献:

- [1] References1. Qin T C, Wu Y S. Effects of cadmium, lead single and combination pollution on the contents of ascorbic acid in Brassica[J]. *Chin J of Ecol*, 1997, 16(3): 31-34
- [2] 朱 亮,邵孝侯. 耕作层中重金属 Cd 形态分布规律植物有效性研究[J]. 河海大学学报, 1997, 25(3): 50-56.
- [3] 秦天才,吴玉树,王焕校. 铅及其相互作用对小白菜生理生化特性的影响[J]. 生态学报, 1994, 14(1): 46-50.
- [4] 任安芝,高玉葆,刘 爽. 铬、镉、铅胁迫对青菜叶片几种生理生化指标的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(2): 112-116.
- [5] Ni WZ, Long XX, Yang XE. Studies on the criteria of cadmium pollution in growth media of vegetable crops based on the hygienic limit of cadmium in food[J]. *J of plant nutrition*, 2002, 25(5): 957-968.
- [6] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社, 1996.
- [7] 南京农业大学. 土壤农化分析(第二版)[M]. 北京:农业出版社, 1996.

致谢: 本研究得到了中国农业科学院湖南红壤实验站徐明岗、王伯仁老师,河南省农业科学院土壤肥料研究所宝德俊、黄绍敏、皇甫湘荣老师,吉林省农业科学院土壤肥料研究所朱平、彭畅老师的支持与帮助,在此一并表示感谢。