

土壤重金属Pb和Cd在小白菜中的富集特征 及产地环境安全临界值

杨菲¹, 吴琦¹, 季辉¹, 张卫建^{1,2}

(¹南京农业大学应用生态研究所, 南京 210095; ²中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要:探究蔬菜对土壤重金属的富集特征及植株重金属含量与土壤环境含量的关系,对无公害蔬菜生产及其安全产地适宜性评价至关重要。通过盆栽方法,研究了不同土壤条件下(水稻土和潮土)小白菜可食部分对Pb和Cd的富集特征,并探讨了Pb与Cd在产地土壤环境中的安全临界值。结果表明,不同土壤条件下,小白菜可食部分对Pb和Cd的累积量均随处理浓度的增加呈递增趋势。和对照相比,2种土壤中小白菜可食部分Pb的最高含量分别提高了18.31倍和9.49倍,Cd的最高含量分别提高了15.4倍和10.04倍。同一处理水平下,水稻土中的Pb和Cd比潮土中的更易被植物富集。水稻土中小白菜可食部分Pb含量是潮土中的2.54倍,Cd含量则是潮土中的1.92倍。依据国家食品污染物限量标准(GB 2762—2005)进行方程拟合,得出种植小白菜的水稻土中Pb和Cd的安全临界值分别为36.54 mg/kg和0.30 mg/kg,低于或等于国家土壤环境安全标准限制的临界值(HJ 332—2006)。潮土中Pb和Cd的安全临界值分别为110.21 mg/kg和1.09 mg/kg,高于国家土壤环境安全标准限制的临界值(HJ 332—2006)。

关键词:小白菜;土壤重金属;Pb;Cd;富集;临界值

中图分类号:X503.231

文献标志码:A

论文编号:2009-2661

Soil Pb and Cd Accumulation Characteristics of Pakchoi (*Brassica chinensis* L.) and their Environmental Critical Values in Pakchoi Production Area for Food Security

Yang Fei¹, Wu Qi¹, Ji Hui¹, Zhang Weijian^{1,2}

(¹Institute of Applied Ecology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

²Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: It is very important to explore the enrichment characteristics of soil heavy metal by vegetable and the relationship between heavy metal content in vegetable and in soil. The experiment was conducted to study the dose-response relationship of soil lead (Pb) and cadmium (Cd) concentration with their uptakes by Pakchoi (*Brassica chinensis* L.), as well as their environmental critical values in Pakchoi production area for food security. The results showed that: generally, the contents of Pb and Cd in the edible parts of Pakchoi increased along with the concentrations of soil Pb and Cd in two soils (alluvial soil and paddy soil). Compared with the control, the highest contents of Pb in the edible parts of Pakchoi increased by 18.31 and 9.49 times, and the highest contents of Cd increased by 15.4 and 10.04 times in the two types of soil, respectively. Pb and Cd in the paddy soil were easily enriched by the crop than in the alluvial soil. Pb and Cd concentrations in the edible parts of Pakchoi in the paddy soil were 2.54 and 1.92 times higher than those in the alluvial soil, respectively,

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD02A15, 2007BAD89B12);公益性行业(农业)科研专项(200803028)。

第一作者简介:杨菲,女,1984年出生,内蒙古突泉人,硕士研究生,主要从事农产品质量安全产地适宜性评价研究。Tel: 025-84395018, E-mail: w_q_yf@163.com。

通讯作者:张卫建,男,1966年出生,江西分宜人,教授,中国农业科学院作物科学研究所二级研究员,南京农业大学应用生态研究所兼职教授,作物学、生态学博士生导师。研究方向:农田生态与耕作制度,通信地址:210095 江苏南京市卫岗1号 南京农业大学农学院耕作组, Tel: 010-62156856, E-mail: zhangweij@caas.net.cn。

收稿日期:2009-12-14, **修回日期:**2010-03-04。

under the same treatment level. Based on the national standards for maximum levels of heavy metal contaminants in foods (GB 2762-2005), the environmental critical values of soil Pb and Cd in the paddy field were calculated as 36.54 mg/kg and 0.3 mg/kg, respectively, which were equal or lower than those in National standards of soil security (HJ 332-2006). The environmental critical values of soil Pb and Cd in the alluvial field were calculated as 110.21 mg/kg and 1.09 mg/kg, respectively, which were higher than those in national standards of soil security (HJ 332-2006).

Key words: pakchoi (*Brassica chinensis* L.); soil heavy metal; Pb; Cd; accumulation; critical value

0 引言

近20年来,随着经济的迅猛发展和各种化学产品、农药及化肥的广泛使用,土壤重金属污染越来越严重。蔬菜是人们不可缺少的重要食品,它为人类提供了各种丰富的维生素、纤维素和矿物质,在食物的结构中占有重要地位。由于人们对蔬菜的摄入量较大,因此食入重金属超标的蔬菜将对人体健康造成极大危害。不同种类蔬菜对重金属的积累能力不同,一般叶菜类蔬菜是最易受污染的蔬菜类型^[1-3]。铅(Pb)和镉(Cd)是对人体有较大危害的重金属。李廷亮等^[4]研究发现,Pb在一定浓度处理下对各蔬菜生长发育和品质影响不明显,而Cd对叶菜类蔬菜的生长情况和品质影响较严重。同时,植物对重金属的吸收和累积不仅与其种类有关,还受到土壤中重金属含量和土壤基本理化性质等的影响^[5-9]。研究表明土壤重金属的有效性或植物对重金属的吸收与土壤pH成反比^[10]。但也有研究认为,植物中重金属的含量与土壤pH存在正相关性,这可能是由于植物种类对重金属有效性的不同引起的^[11-12]。然而目前关于重金属的研究主要集中在单一土壤或水培基质下,对不同土壤条件下植株重金

属富集情况的研究,尤其是针对叶菜类蔬菜与土壤重金属污染临界值方面的研究较少。为此,笔者选取2种不同理化性质的土壤(水稻土、潮土)为研究对象,以Pb和Cd这2种典型重金属为污染源,设计不同的浓度梯度,通过盆栽试验研究小白菜在不同土壤条件下对Pb和Cd的富集特征,并探讨了这2种重金属的产地土壤环境安全临界值,旨在为无公害蔬菜生产和农产品质量安全产地适宜性评价提供理论依据和技术参数。

1 材料与方法

1.1 时间与地点

盆栽试验于2008年在南京农业大学牌楼温网室试验基地进行。

1.2 材料

以江苏省分布面积最大的2种理化性质差异显著的土壤:潮土和水稻土为供试土壤,它们分别取自江苏省涟水县和江苏省无锡市的稻田耕层土壤(0~20 cm)。经风干、磨碎后,过5 mm孔径筛,混匀备用。土壤基本理化性质及原土中重金属的含量见表1。

供试蔬菜品种为小白菜(*Brassica chinensis* L.)('矮脚黄'),种子购自南京市蔬菜种子子公司。

表1 供试土壤的基本理化性质

土壤类型	pH	有机质/(mg/kg)	阳离子交换量/(cmol/kg)	总氮/(g/kg)	重金属含量	
					Cd/(mg/kg)	Pb/(mg/kg)
潮土	8.04	26.37	7.23	1.23	0.31	13.31
水稻土	4.75	30.62	8.53	1.52	0.31	23.87

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用盆栽方法,不同重金属的处理水平见表2。重金属Pb和Cd以Pb(NO₃)₂和CdCl₂溶液的形式施入土壤,充分混匀。称取过5 mm筛的风干土1.5 kg入直径为30 cm、高45 cm的塑料盆内,每盆盛土1.5 kg。稳定1周后播种,每钵15粒。出苗后,每钵定株5株。每个处理重复5次,水肥管理一致。35天后收获,分别测定各项指标。

1.3.2 测定方法 采样植株成熟后地上部可食部分,先用自来水洗去表面灰尘,再用蒸馏水冲洗3遍,用吸水

纸吸干植株表面的水分,鲜样称重、磨碎。采用密闭系统的微波消解法对植株样品进行消解处理。具体步骤:首先称取各处理样品0.3 g置于消化管中,加入优级纯浓硝酸5 mL,然后放入微波消解仪内进行消煮。先在120℃左右预煮5 min,再升至160℃消煮15 min,直至植株样品完全消解为止。消化后的溶液用高纯水定容至25 mL并过滤。植株消煮后的溶液用原子吸收光谱仪测定Pb、Cd含量(参照GB/T 5009.12—2003及GB/T 5009.15—2003方法)。土壤样品和蔬菜样品分析过程中分别加入国家标准物质样品GSS-16、GSV-4

表2 重金属浓度处理水平

重金属	CK	处理1	处理2	处理3	处理4
Pb	0	150	300	600	900
Cd	0	1.0	3.0	5.0	7.0

作为未知样品的测定以进行分析质量控制。

1.3.3 数据处理及统计 采用Microsoft Excel软件进行数据预处理,用SPSS11.5软件进行数据统计分析,用LSD法检测差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同土壤条件下小白菜可食部分对Pb的富集特征

从图1可见,当Pb处理浓度为150~600 mg/kg时,不同土壤条件中小白菜可食部分的Pb含量均随土壤中Pb处理浓度增大而增加。和对照相比,水稻土中Pb处理浓度为600 mg/kg的小白菜可食部分Pb的富集量提高了18.32倍;潮土中该处理水平的小白菜可食部分Pb的富集量提高了9.49倍。而当Pb处理浓度为900 mg/kg时,小白菜可食部分Pb含量突然下降,这可能是生长受到严重抑制所致。

不同土壤条件中小白菜可食部分Pb的含量差异很大,各处理下水稻土Pb被植株富集的程度显著高于潮土($P<0.05$)。水稻土中小白菜可食部分Pb的平均含量是潮土中的2.54倍。

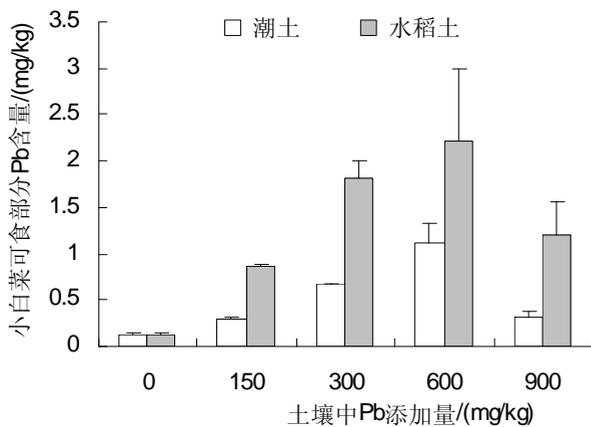


图1 不同土壤条件下小白菜可食部分中的Pb含量

2.2 不同土壤条件下小白菜可食部分对Cd的富集特征

从图2中可以看出,在水稻土环境下,随着Cd处理浓度的增加,小白菜可食部分Cd含量总体上呈现增加的趋势,只在7 mg/kg Cd处理时有所下降,这可能是由于此时小白菜生长受到了严重抑制。当Cd处理浓

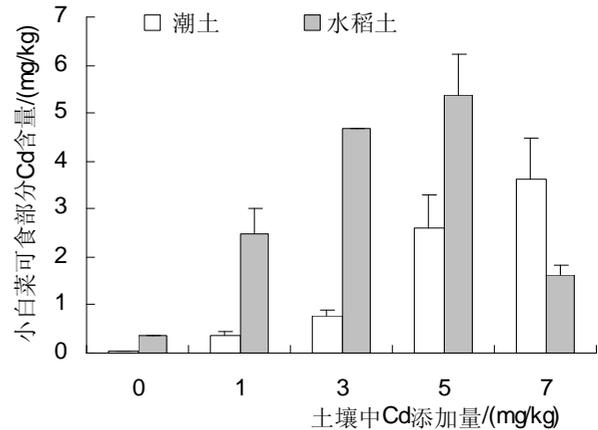


图2 不同土壤条件下小白菜可食部分中的Cd

度为5 mg/kg时,小白菜可食部分Cd的富集量达最大(即5.358 mg/kg),和对照相比,提高了15.4倍;在潮土环境下,小白菜可食部分对Cd的富集量随土壤中Cd处理浓度的增加而增加。在最大处理浓度下(即7 mg/kg),小白菜可食部分的富集量也最多(即3.63 mg/kg),和对照相比提高了10.04倍。

不同土壤条件中小白菜可食部分Cd的含量差异很大,各处理下水稻土Cd被植株富集的程度显著高于潮土($P<0.05$)。水稻土中小白菜可食部分Cd的平均含量是潮土中的1.92倍。

2.3 产地土壤环境中Pb和Cd安全的临界值

近年来,国家发布的一些无公害食品产地环境标准均参考《中华人民共和国国家标准——食品中污染物限量》进行制定。笔者根据国家食品污染物限量标准GB 2762—2005(GB 2762—2005)规定:叶菜Pb≤0.3, Cd≤0.2(单位:mg/kg),以此食品中污染物含量为依据,将Pb的限量(0.3 mg/kg)和Cd的限量(0.2 mg/kg)分别代入试验研究结果:土壤-作物重金属含量相关方程中,从而求得小白菜安全种植下产地土壤环境中Pb和Cd的临界含量值(表3)。

通过盆栽试验,对小白菜可食部分重金属含量与土壤中重金属处理浓度(含背景值)进行相关性分析,得到了土壤与植株重金属含量的相关方程,并得出种植小白菜的水稻土Pb和Cd的安全临界值分别为36.54 mg/kg和0.30 mg/kg,潮土Pb和Cd的安全临界

表3 土壤中重金属Pb和Cd的安全临界含量

重金属种类	不同土壤条件	相关方程	R ²	临界含量/(mg/kg)
Pb	水稻土	$y=-7E-06x^2+0.0083x+0.01697$	0.9812**	36.54
	潮土	$y=-4E-06x^2+0.0037x-0.02$	0.8331*	110.21
Cd	水稻土	$y=-0.3478x^2+2.8771x-0.633$	0.9718**	0.30
	潮土	$y=0.5294x-0.3768$	0.9484**	1.09

注:临界含量分别根据Pb的蔬菜卫生标准0.3 mg/kg和Cd的蔬菜卫生标准0.2 mg/kg计算。

值分别为110.21 mg/kg和1.09 mg/kg。从表3可以看出,2种土壤条件下的安全临界值差异很大,水稻土中的Pb的安全临界值要低于潮土中的,这是因为水稻土中的重金属更易被植株所富集的缘故。另外,比较Pb和Cd的安全临界值可知,植株对Cd的富集能力要显著高于对Pb的富集能力。

3 讨论

研究结果表明,同一种重金属在不同土壤条件下,植株的富集能力有显著差异,水稻土中的Pb和Cd更易被小白菜所富集。这可能是由以下2方面原因造成的:一是由于土壤的物理性质差异引起的,土壤颗粒大小导致疏松程度差异,试验中选取的2种土壤理化性质差异很大,水稻土为颗粒大的疏松壤土土质,而潮土是由当地河床底泥翻上来做耕地,经过几十年的耕种,土壤比较贫瘠,为土壤颗粒很小的沙壤淤土土质,易板结。这导致重金属在这2种土壤中被吸附固定的能力不同。另一个原因是由于2种土壤pH不同。水稻土为典型的酸性土,而潮土为典型的碱性土。随pH减小,重金属被解吸,而使活性增强,致使土壤溶液中重金属离子的浓度增加,从而使得水稻土中的Pb和Cd更易于被植株吸收。廖敏等^[13]研究表明,当pH>7.5时,Cd的毒性就会下降。韩盛等^[14]研究结果表明,随着pH升高,土壤对Pb的吸附作用增加,以上研究结果与笔者所得结论一致。

研究还发现同一土壤类型下小白菜对Pb与Cd的富集特征也有差异。水稻土中Pb和Cd的安全临界值分别为36.54 mg/kg和0.30 mg/kg,潮土Pb和Cd的安全临界值分别为110.21 mg/kg和1.09 mg/kg。这说明小白菜对Cd的富集能力明显大于对Pb的富集能力。这可能是由于重金属的物理性质不同所造成的。重金属性质决定了其在土壤中的迁移性,而迁移性大小又决定了重金属的生物有效性和对生态环境的危害程度^[15-16]。Pb最高处理浓度下,小白菜可食部分Pb含量下降,这可能是因为土壤Pb处理中的外源Pb为Pb(NO₃)₂,而盆栽试验过程中未施入氮肥,由于氮肥效应,使得在低浓度的Pb污染下,植株仍能保持良好的生长状态,但当

Pb处理浓度达到900 mg/kg时,生长受到严重抑制,使得小白菜可食部分Pb含量急剧下降。

随着中国农业生产结构进入战略性调整阶段,生产高质量、高效益的蔬菜已成为调整目标^[17]。由于中国土壤地方性差异较大,对于蔬菜的产地安全评价标准尚无统一标准。试验中,水稻土中小白菜可食部分重金属含量达到食品污染物限量标准时,对应的土壤Pb和Cd含量分别为36.54 mg/kg、0.30 mg/kg,低于或等于国家土壤安全标准(HJ332—2006):pH<6.5时,土壤总镉≤0.3mg/kg、总铅≤50mg/kg;pH>7.5时,土壤总镉≤0.4 mg/kg、总铅≤50 mg/kg;而潮土中对应的Pb和Cd临界值分别为1.09 mg/kg、110.21 mg/kg,均高于国家标准。由此可以看出,对于一些基准值高的土壤来讲,污染物超标不一定有危害。而对于基准值低的土壤来说,即使不超标也会产生一定的危害。由于采用的是盆栽的方法,所添加的水溶性Pb和Cd离子进入土壤后,会和土壤发生一些反应,2种重金属的生物有效性不可避免的发生部分转变^[6],对产地环境安全临界值的估算具有一定的局限性。因此,关于产地土壤环境安全与作物产品安全的标准统一问题,需要进一步研究,以便科学地指导产地环境安全划定。

4 结论

(1)在同一处理水平下,水稻土中的Pb和Cd比潮土中的更易被植物富集。水稻土环境下小白菜可食部分Pb含量是潮土环境下2.54倍,Cd含量则是潮土环境下的1.92倍。

(2)小白菜对Pb和Cd的富集,因重金属种类不同而有明显差异,小白菜对Cd的富集能力明显大于对Pb的富集能力。

(3)依据国家食品污染物限量标准(GB 2762—2005),进行方程拟合,得出的种植小白菜的水稻土Pb和Cd的安全临界值为36.54 mg/kg、0.30 mg/kg,潮土Pb和Cd的安全临界值分别为1.09 mg/kg、110.21 mg/kg。在实践生产中,同一个安全标准不能指导所有的土壤类型;同时,在一些污染区域,可以通过改变土壤pH的方法来降低作物对重金属的富集量。

参考文献

- [1] 李其林,黄昀.重庆市近郊蔬菜基地蔬菜中重金属含量变化及污染情况[J].农业环境与发展,2000,17(2):42-44.
- [2] 凌乃规.蔬菜品种重金属元素含量差异性分析[J].广西农业科学,2000(1):13-15.
- [3] 祖艳群,李元,陈海燕,等.蔬菜中铅镉铜锌含量的影响因素研究[J].农业环境科学学报,2003,22(3):289-292.
- [4] 李延亮,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.
- [5] 郑春荣,孙兆海,周东美,等.土壤PbCd污染的植物效应(I)染的植物污染对水稻生长和Pb含量的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(3):417-421.
- [6] 孙兆海,郑春荣,周东美,等.土壤Cd污染对青菜和蕹菜生长及Cd含量的影响[J].农业环境科学学报,2005,24(3):417-420.
- [7] 赵勇,李红娟,魏婷婷,等.土壤、蔬菜的铅污染相关性分析及土壤铅污染阈值研究[J].中国生态农业学报,2008,16(4):843-847.
- [8] 王爱霞,张敏,黄利斌,等.南京市14中绿化树种对空气中重金属的累积能力[J].植物研究,2009,29(3):368-374.
- [9] 沈佳,纪桂琴,许文,等.沉水植物菹草在低温条件下对重金属Cu、Pb、Zn的吸附和富集[J].植物研究,2009,29(5):585-591.
- [10] Kelly J J, Haggblom M, Tate R L. Changes in soil microbial communities over time resulting from one time application of zinc: a laboratory microcosm study[J]. Soil Biol Biochem, 1999, 31(10): 1455-1465.
- [11] Mclaughlin M J, Palmer L T, Tiller K G, et al. Increased salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers[J]. Journal of Environmental Quality, 1994, 23:1013-1018.
- [12] Mclaughlin M J, Lambrechts R M, Smolders E, et al. Effects of sulfate on cadmium uptake by Swiss chard: II. Effects due to sulfate addition to soil[J]. Plant and Soil, 1998, 202(2):217-222.
- [13] 廖敏,陈雪花,陈承利,等.土壤-青菜系统中铅污染对土壤微生物活性及多样性的影响[J].环境科学学报,2007,27(2):220-227.
- [14] 韩盛,努尔加义,刘雪梅,等.pH值对土壤中Pb的缓冲影响[J].干旱环境监测,1999,13(2):116-117.
- [15] Xan X. Effect of chemical forma of cadmium, zinc, and lead in polluted soil on their uptake by cabbage plants[J]. Plant and soil, 1989, 113(2):257.
- [16] Sroerbeck D R. The nickel uptake from different soils and its prediction by chemical extractants[J]. Water Air and Soil Pollution, 1991, 57/58(1/4):861.
- [17] 胡文友,祖艳群,李元.无公害蔬菜生产中重金属含量的控制技术[J].农业环境科学学报,2005,24(增刊):353-357.