

不同水稻、菜心品种和化肥形态 对作物吸收累积镉的影响*

吴启堂¹ 王广寿¹ 谭秀芳¹ 陈 卢¹ 何林昌²

(1 华南农业大学土化系, 2 华南农业大学农学系, 广州, 510642)

摘要 本文主要用盆栽试验研究华南地区水稻和菜心的不同品种对 Cd 的吸收累积以及不同形态氮、磷、钾化肥对植物吸 Cd 的影响。结果表明, 在同一污染土壤上, 汕优 63、汕优 64、二四九等水稻品种米 Cd 含量较高, 野奥丝苗、增城丝苗、华二、五七选等品种含量较低, 四九菜心 19 号不论是秋植还是春植都比迟菜心 2 号含 Cd 量为低, 特青菜心 60 天春植时 Cd 浓度也明显较低。作物品种间差异可达 1 倍以上。不同形态氮、磷、钾化肥中, 硝酸钙、碳酸氢铵、钙镁磷肥、磷酸二氢钙、硫酸钾比尿素、过磷酸钙, 氯化钾等更合适施用于污染土壤上。本试验也初步探讨了造成这些差异的原因。

关键词 镉; 水稻; 菜心; 品种差异; 化肥形态

中图分类号 X53; S146.1

重金属, 如 Cd, 在人体中的累积可直接危害人体健康 (Oehme, 1978; Adriano, 1986)。对于一般人群, 它们主要通过食物即农副产品进入人体 (Adriano, 1986)。据报道, 我国农业用地的重金属污染现状不容乐观, Cd 污染已达 20 余万亩 (陈怀满, 1990), 重庆、广州等城市郊区 Cd、Pb 污染比较严重, 广州地区稻米和菜心重金属含量超标现象比较普遍 (蔡汉泉, 1984)。

降低植物产品重金属浓度可以从二个方面入手, 一是改变土壤重金属的浓度和活性, 如客土、换土、清洗、电化法和施用石灰、有机物、粉煤灰、粘土矿物等 (华珞等, 1991; Adriano, 1986); 二是选用在食用部位累积量小的作物品种。本文针对重金属 Cd, 研究常用氮、磷、钾化肥的不同形态和华南地区水稻和菜心的不同品种对植物吸收累积 Cd 的影响, 以找出适合污染地区种植的作物品种和相应的肥料种类。

1 材料和方法

1.1 土壤样品

土壤取自广州天河区华南农业大学农场, 一为冲积性水稻土 (0 ~ 15 cm), 另一为花岗岩赤红壤 (0 ~ 40 cm)。水稻土经风干、压碎和过 5mm 孔径筛, 用于盆栽试验。赤红壤经混匀后装入 1m×1m×1m 水泥池, 用于种植试验。两种土壤的基本理化性质分析结果见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性质

土壤 名称	质 地	有机质	全 N	全 P	全 K	碱解 N	速效 P	速效 K	全 Cd	pH
		g/kg					mg/kg			
水稻土	中壤土	21.3	0.87	0.61	17.2	86.5	48.9	52.4	0.10	6.1
赤红壤	中壤土	7.0	0.37	0.21	14.6	22.3	5.0	85.6	0.03	6.3

1993-08-23 收稿

* 国家和广东省自然科学基金资助项目部分结果

1.2 不同形态氮、磷、钾化肥菜心盆栽试验

每盆装水稻土2.5 kg, 以溶液形式加入 2 mg Cd/kg 土的 CdCl_2 , 混匀再入 0.20 g N/kg, 0.15 g P_2O_5 /kg 土和 0.20 g K_2O /kg 的氮、磷、钾化肥, 重新混匀。供试的氮肥形态有尿素、硫酸铵、碳酸氢铵、硝酸铵、硝酸钙; 磷肥有过磷酸钙、磷矿粉、钙镁磷肥、磷酸二氢钙; 钾肥有氯化钾和硫酸钾。盆栽试验每个处理设 4 次重复(下同)。

装盆后每盆播入约 10 粒四九菜心 19 号种子, 长至 3~4 叶时定苗为 3 株, 11 月 18 日播种, 12 月 25 日收获。第 2 造在加入相同化肥后改种迟菜心 2 号(次年 2 月 29 日至 4 月 18 日)。

1.3 盆栽不同品种水稻试验

每盆装土 6 kg, 每公斤土加入相当于 1 mg Cd 的 CdCl_2 溶液混匀, 再加入 0.10 g N/kg 土的尿素、0.10 g P_2O_5 /kg 土的过磷酸钙和 0.10 g K_2O /kg 土的 KCl, 重新混匀。装盆后泡水一星期, 再移植不同品种水稻。1991 年早稻的供试品种为: 特三矮 2 号、华二、野奥丝苗和汕优 63。1992 年供试品种为: 二四九、澳青、增城丝苗、五七选、汕优 64 和七山占。待稻谷成熟后收割、晒干、脱粒, 稻谷碾出糙米后粉碎, 以供化学分析用。

1.4 水泥池种植不同品种菜心试验

池内赤红壤为一年以前重金属污染试验用土, 原加 Cd 量为 1 mg Cd/kg 土, 池内土壤分为 4 小块, 对角小块种植一个品种, 重复 3 次。供试品种为四九菜心 19 号和迟菜心 2 号。菜心于 8 月 25 日播种, 10 月 2 日第 1 次收获, 10 月 24 日第 2 次收获。

1.5 盆栽不同品种菜心试验

在第 1 年水泥池中种植菜心试验的基础上, 扩大试验品种。使用前一菜心盆栽试验(1.2)污染的水稻土, 再加一半新土, 使 Cd 污染水平降为 1 mg Cd/Kg 土。装盆和种植管理与前一试验相同。供试的菜心品种有四九菜心 19 号; 迟菜心 2 号、29 号; 特青菜心 60 天、80 天。

对于四九菜心 19 号和迟菜心 2 号还另做一试验, 测定其吸水量、根系重量(Mullins et al, 1986), 并用隔网法收集 2 mm 厚的根际土壤(Kuchenbuch et al, 1982), 测定根际土壤 pH 和水溶性 Cd 浓度(土水比为 1:2.5)。

所有菜心地上和地下部分收获后洗净, 测鲜重和干重, 然后再粉碎。

植株 Cd 采用灰化、酸溶和原子吸收光谱测定(吴启堂等, 1993)。

1.6 土壤镉分析

均匀采取不同化肥形态菜心盆栽试验的土样, 风干, 用连续浸提法测定土壤中不同存在形态 Cd 的含量(Garcia-Miragaya, 1984)。水溶态用去离子水浸提(土水比=1:5)。浸出液中的 Cd 用石墨炉原子吸收光谱测定。

2 结果和讨论

2.1 不同形态化肥对菜心吸Cd的影响

不同形态化肥在施肥量一致的情况下对菜心产量影响不很大(表 2)。但是, 化肥的不同形态对菜心 Cd 含量有显著影响。对于不同形态的 N 肥, 两造的结果均表明, 施用硫酸铵的处理显著高于尿素、硝酸铵处理, 施用硝酸钙和碳酸氢铵的处理则较低。在 4 种磷肥中, 以钙镁磷肥处理的菜心含 Cd 量最低, 磷酸二氢钙次之, 施用过磷酸钙和磷矿粉的则显著较高。与氯化钾相比, 硫酸钾具有降低菜心 Cd 浓度的作用。

土壤化学分析结果表明(表 3), 菜心含 Cd 量较低的化肥处理通常具有较高的 pH 值、较低

表 2 不同形态化肥对菜心产量和镉含量的影响⁽¹⁾

肥料品种	茎叶鲜量/g·pot ⁻¹		茎叶Cd含量/mg·(kg 干重) ⁻¹	
	第 1 造	第 2 造	第 1 造	第 2 造
氮肥:				
尿素	25.6 ab	23.2 a	10.42 b	21.38 b
硫铵	28.7 ab	15.8 ab	20.06 a	35.90 a
碳铵	40.8 a	19.5 ab	6.92 c	14.64 c
硝铵	39.2 a	19.1 ab	9.79 b	18.84 b
硝钙	23.4 b	18.8 ab	6.55 c	10.26 cd
磷肥:				
过磷酸钙	25.6 ab	23.2 a	10.42 b	21.38 b
磷矿粉	30.5 ab	15.0 b	9.16 bc	15.51 bc
钙镁磷肥	31.4 ab	20.2 a	8.12 c	9.78 d
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	27.4 ab	18.0 ab	8.94 c	11.54 cd
钾肥:				
氯化钾	25.6 ab	23.2 a	10.42 b	21.38 b
硫酸钾	24.9 b	16.0 ab	7.61 c	14.14 c

(1) 第 1 造的品种为四九菜心 19 号,第 2 造为迟菜心 2 号。根据 Duncan 氏检验 ($P=0.05$),同一参数带有相同字母的平均值间无显著差异。表 4~6 同。

表 3 不同形态化肥对土壤 Cd 形态的影响

肥料品种	水溶态	交换态	碳酸盐态	氧化物态	有机态	残渣态	土壤
	/μg·L ⁻¹	% (Total Cd)					pH
氮肥:							
尿素	31.14	58.2	22.5	6.5	7.6	5.2	5.71
硫铵	70.35	59.1	18.0	6.2	6.3	10.4	4.80
碳铵	10.63	57.8	23.0	6.0	7.0	6.2	5.73
硝铵	31.01	61.8	21.5	1.6	6.0	9.1	5.35
硝钙	8.14	39.1	32.0	7.2	5.8	15.9	6.31
磷肥:							
过磷酸钙	31.14	58.2	22.5	6.5	7.6	5.2	5.71
磷矿粉	3.09	37.2	30.0	7.6	9.6	15.6	6.40
钙镁磷肥	0.48	21.5	35.5	5.1	6.4	31.5	6.57
Ca(H ₂ PO) ₂	1.60	67.7	23.0	4.1	5.3	0	6.12
钾肥:							
氯化钾	31.14	58.2	22.5	6.5	7.6	5.2	5.71
硫酸钾	18.85	55.5	27.5	9.5	5.6	2.7	5.41

的水溶态和交换态 Cd,这与化肥的酸碱性或生理酸碱性是一致的。但是尿素与碳酸氢铵相比,氯化钾与硫酸钾相比,只是在水溶性Cd上有明显差异。

华南地区土壤多呈酸性,钙镁磷肥等热法磷肥肥效也较好(吴启堂,1991),且其含 Cd 量较低(鲁如昆等,1992),应增加调入和使用。

2.2 不同品种水稻对Cd的吸收累积

两年的试验结果都表明,在土壤中加入 1 mg Cd/kg 没有对水稻生长和产量产生明显的影响(数据略)。但糙米中 Cd 的含量随加 Cd 处理而显著提高(表 4),且均超过了 0.2 mg/kg 食品卫生标准。不同品种水稻其糙米含 Cd 量具有明显差异。加 Cd 污染的土壤上,以汕优 63、汕优 64 和二四九的米 Cd 含量较高,但其茎叶含 Cd 量较低,可能与这些高产或早熟(二四九)品种干物质迁移率较高有关。野奥丝苗、增城丝苗、特三矮 2 号、华二、五七选等优质或常规稻的米 Cd 含量则较低。

		表 4 不同品种水稻植株含 Cd 量				mg/kg 干重
作物品种	对 照	1 mg Cd/kg 处理				
	糙米	糙米	茎 叶	根		
1991 年	特三矮 2 号	0.10 a	0.68 ab	1.00	7.00	
	华 二	0.09 a	0.56 ab	1.50	11.75	
	野奥丝苗	0.04 b	0.48 b	1.33	3.80	
	汕优 63	0.12 a	1.12 a	0.60	5.40	
1992 年	二四九	0.07 ab	1.04 a	0.39	4.08	
	澳 青	0.14 a	0.81 a	1.20	5.72	
	增城丝苗	0.16 a	0.72 ab	0.65	5.75	
	年汕优 64	0.12 a	1.17 a	0.49	5.34	
	七山占	0.17 a	0.97 a	0.41	9.37	
	五七选	0.12 a	0.64 ab	0.43	3.18	

表 5 四九菜心 19 号和迟菜心 2 号吸Cd特征的差异			
测定项目	四九菜心 19 号	迟菜心 2 号	
第 1 次收获			
水泥池秋植	茎叶鲜重 /g·(pot) ⁻¹	67.3 a	33.9 b
	茎叶Cd浓度 /mg·(kg 干重) ⁻¹	3.07 a	5.06 b
	第 2 次收获		
	茎叶鲜重 /g·(kg 干重) ⁻¹	86.4	70.6
盆栽春植	茎叶Cd浓度 /mg·(kg 干重) ⁻¹	4.54	8.58
	茎叶鲜重 /g·(pot) ⁻¹	26.57	25.70
	根/冠比	0.106	0.124
	吸水量 /mL·(g 干物质) ⁻¹	113	150
	根际土壤 pH	5.44	5.35
	根际土壤Cd浓度 ⁽¹⁾ /mg·L ⁻¹	0.021	0.020
	茎叶Cd浓度 /mg·(kg 干重) ⁻¹	6.40	7.83
	根 Cd 浓度 /mg·(kg 干重) ⁻¹	25.08	17.60

(1) 水溶性镉(土水比 =1:2.5), 非根际土壤该值为 0.045 mg/L。

2.3 不同品种菜心对Cd的吸收累积

在同一土壤上不同时间种植已表现出四九菜心 19 号比迟菜心 2 号含 Cd 量较低 (表 2)。同一时间水泥池种植试验结果也表明 (表 5), 在同一污染土壤上秋植, 四九菜心 19 号比迟菜心 2 号产量较高, 茎叶含Cd量明显较低。

盆栽春植试验表明 (表 6), 适合春植的迟菜心 2 号产量反而稍高于四九菜心 19 号, 这时, 前者茎叶 Cd 含量也较近于后者, 变得差异不显著。同时还发现, 特青菜心茎叶Cd含量较低, 特别是特青菜心 60 天其含量不及四九菜心和迟菜心的一半, 而其根的含量则较高, 可能与其迁移率低有关。

四九菜心 19 号和迟菜心 2 号的对比试验表明, 春植时, 四九菜心 19 号根冠比较小, 单位干物质耗水量较低, 但其根系含 Cd 量较高, 即 Cd 迁移率较低, 从而可能造成其茎叶含 Cd 量较低 (表 6)。两个品种的根际土壤其 pH 和水溶性 Cd 浓度都很接近, 表明其根系分泌物和根际土壤性质对 Cd 迁移吸收差异的影响可能较小。

表 6 不同品种菜心对镉的吸收累积

测定项目	四九菜心 19 号	迟菜心 2 号	迟菜心 29 号	特青菜心 60 d	特青菜心 80 d
茎叶鲜重/g·(pot) ⁻¹	78.9 b	83.3 ab	76.4 b	80.1 ab	90.9 a
Cd浓度/mg·(kg 干重) ⁻¹					
茎 叶	10.33 a	10.54 a	6.69 b	3.21 c	6.26 b
根	7.39	8.79	7.31	12.14	8.60

3 小结

通过盆栽和水泥池种植试验配合土壤化学分析, 研究华南地区常用的水稻和菜心的不同品种以及常用化肥的不同形态对植株吸收累积 Cd 的影响, 得出以下初步结论:

(1) 水稻和油菜心的不同品种对 Cd 的吸收累积具有明显差异, 食用部位含 Cd 量可相差 1 倍以上。国外研究结果表明, 其他植物品种也存在这种差异 (Adriano,1986)。因此, 选育食用部位重金属含量明显较低的品种种植在轻污染土壤上是可能的。

(2) 本试验进一步表明, 造成植物耗水量增加, 根冠比增大, 生长减慢的环境和品种因素可能造成植物产品重金属浓度增加 (吴启堂等, 1993,1994)。因此, 在污染土壤上种植农作物应创造条件使其速生速长, 以减少重金属的累积。

(3) 常用氮、磷、钾化肥的不同品种对植物吸 Cd 有明显影响, 这种影响不仅表现在硝态氮与铵态氮的差别 (Wu et al,1989), 而且其它氮肥以及磷肥和钾肥的不同形态也存在明显差异。较适合施用于 Cd 污染土壤上的化肥品种可有: 硝酸钙、碳酸氢铵、钙镁磷肥、磷酸二氢钙、硫酸钾。

参 考 文 献

华 珞, 陈承慈, 刘全义. 1991. 土壤污染的治理方法研究. 农业工程学报, 8(Supplement): 90 ~ 99

吴启堂. 1991. 应用 P 稀释法研究土壤磷和磷肥的有效性. 核农学通报, 12:178~182

吴启堂, Morel J L, Guckert A. 1993. 用同位素稀释法研究土壤—植物系统镉的迁移. 核农学报, 7: 110~116

吴启堂, Morel J L, Guckert A. 1994. 一个定量植物吸收土壤重金属的原理模型. 土壤学报, 31: 68~76

陈怀满. 1990. 我国土壤污染现状、发展趋势及对策建议. 土壤学进展, 18: 53~56

- 鲁如昆,时正元,熊礼明.1992.我国磷矿磷肥中镉的含量及其对生态环境影响的评价.土壤学报,29:150~156
- 蔡汉泉.1984.为什么广州近郊土壤污染严重.环境,(9):20~21
- Adriao D C.1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. New York: Springer-Verlag, Inc, 1~21, 107~154
- Garcia-Miragaya J.1984. Levels, chemical fractionation and solubility of lead in roadside soil of caracas, Venezuela. Soil Sci. 138:147~152
- Oehme J S.1978. Toxicity of the Heavy Metals in Environment. New York: Dekker Jne.199~260
- Mullins G L, Sommers L E, Barber S A.1986. Modeling the plant uptake of cadmium and zinc from soils treated with sewage sludge. J Environ Qual. 50:1245~1255
- Wu Q T, Morel J L, Guckert A.1989. Effect of nitrogen source on cadmium uptake by plants. C R Acad Sci Serie III, 309: 215~220

EFFECT OF CROP CULTIVARS AND CHEMICAL FERTILIZERS ON THE CADMIUM ACCUMULATION IN PLANTS

Wu Qitang¹ Wang Guangshou¹ Tan Xiufang¹ Chen Lu¹ He Linchang²

(1Dept.of Soil Sci. & Agrochemistry, 2 Dept.of Agronomy,
South China Agr.Univ., Guangzhou, 510642)

Abstract

Pot experiments were conducted to study the differences of some rice (*O.Sativa*) and Chinese flowering cabbage (*Brassica chinensis* L.) cultivars on cadmium accumulation in plants and the effect of chemical fertilizer sources on cadmium bioavailability. The results showed that the source of fertilizers affected significantly the cadmium content in plants. Nitrogen fertilization with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NH_4HCO_3 reduced the cadmium content compared with that using NH_4NO_3 or $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ resulted in an inverse effect. The phosphate fertilizers decreased the cadmium content in the order: $\text{Ca}-\text{Mg}-\text{phosphate} > \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 > \text{rock phosphate} \geq \text{superphosphate}$. K_2SO_4 was preferred to KCl in order to limit cadmium accumulation in plants. Among 10 rice cultivars in south China, Shanyou-63, Shanyou-64 and 249 accumulated a high amount of cadmium in rice grains, while that of Yeasimiao, Zhengchengsimiao, Huaer and Wuqixuan were relatively low. For 5 cultivars of Chinese flowering cabbage, the cadmium content in shoots decreased as following at spring crop: Teqing-60 < Teqing-80 $\leq$ Chi-29 < Sijiu-19 $\leq$ Chi-2. At autumn crop, Sijiu-19 resulted in a higher yield and lower cadmium content than Chi-2. The mechanisms causing these differences were preliminarily studied.

Key words cadmium; rice; Chinese flowering cabbage; cultivars; chemical fertilizers