

4 种磷肥对土壤-叶菜类蔬菜系统中 镉生物有效性的影响

陈青云¹ 张 晶² 谭启玲¹ 孙学成¹ 赵小虎¹ 胡承孝¹

1. 华中农业大学微量元素中心, 武汉 430070; 2. 华中农业大学理学院, 武汉 430070

摘要 采用连续种植盆栽试验, 以菠菜 (*Spinacia oleracea* L.)、小白菜 (*Brassica rapa* L.) 和 2 种苋菜 (*Amaranthus mangostanus* L.) 为供试作物, 研究 4 种不同磷肥对叶菜类蔬菜产量、吸收累积 Cd 量及对土壤 Cd 生物有效性的影响。结果表明: 施用磷肥显著增加蔬菜产量, 降低植株地上、地下部 Cd 含量, 提高地上部 Cd 累积量, 但施用磷肥处理间累积量差异不大; 土壤有效态 Cd 含量与土壤 pH 呈显著负相关; 4 种磷肥酸化土壤能力大小为过磷酸钙 (SSP) > 磷酸二氢铵 (MAP)、磷酸氢二铵 (DAP) > 磷酸氢钙 (DCP); 施用磷酸氢钙处理在 4 种蔬菜中的增产效果均表现最好, 植株 Cd 含量最低, 土壤 pH 最高, 土壤有效态 Cd 含量最低。

关键词 磷肥; 叶菜类; 镉生物有效性; 菠菜; 小白菜; 苋菜

中图分类号 X 502 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)01-0078-05

镉 (Cd) 作为作物非必需元素, 进入农田后会影
响作物的生长、产量及品质^[1-6], 而且还可以通过食
物链等形式进入到动物和人体内, 危害人体健康^[7]。
全国约 24.1% 的菜地样本中 Cd 含量超过国家土壤
环境质量二级标准^[8], 污灌是导致我国农田 Cd 污
染的主要原因^[9]。近几年来, 有关重金属污染土壤
的研究多集中于化学稳定技术和生物修复技
术^[10-12], 一些研究者^[13-16]发现含磷化合物在稳定重
金属方面有非常明显的效果。目前对于磷肥能否降
低土壤中 Cd 的有效性存在不同观点, 磷肥对植株
吸收累积 Cd 的影响研究更是存在较大分歧^[17]。关
于磷酸盐对稳定重金属 Cd 随植物生长的持续性影
响, 相关报道还很少。本试验以湖北省典型土壤黄
棕壤为供试土壤, 对 Cd 有较强吸收能力^[18]且常见
的 4 种叶菜类蔬菜作为供试作物, 通过连续种植的
盆栽试验, 考察 4 种磷肥对叶菜类蔬菜产量、吸收累
积 Cd 量及对土壤 Cd 生物有效性的影响, 为镉污染
土壤磷肥的合理施用以控制蔬菜产品的镉污染提供
参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试作物为华中地区常见的 4 种叶菜类蔬菜,

分别为春秋大叶菠菜 (*Spinacia oleracea* L.)、小白
菜 (*Brassica rapa* L.) 抗热 605 青菜、青柳叶苋菜
(*Amaranthus mangostanus* L.) 和广东白圆叶苋菜
(*Amaranthus mangostanus* L.)。供试土壤为湖北
省典型土壤黄棕壤, 采自武汉市华中农业大学未受
Cd 污染的撂荒地, 采样深度为 0~20 cm 耕层土壤,
去除植物残体, 风干、过筛备用。土壤基本理化性
状为: pH 5.96, 有机质 0.85%, 全氮 0.63 g/kg, 全磷
0.37 g/kg, 碱解氮 43.06 mg/kg, 速效磷 20.70
mg/kg, 速效钾 85.73 mg/kg, 全 Cd 0.046 mg/kg。

供试 4 种磷肥均为水溶性磷肥, 其基本性质为:
磷酸氢二铵 (DAP), 化学式为 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, 含有效 N、 P_2O_5 分别为 53% 和 21%; 磷酸二氢铵
(MAP), 化学式为 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 含有效 N、 P_2O_5 分
别为 62% 和 12%; 二水合磷酸氢钙 (DCP), 化学式
 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 含有效 P_2O_5 为 42%; 过磷酸钙
(SSP), 化学式 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 含有效
 P_2O_5 为 14%。为排除干扰, 试验所用磷肥除过
磷酸钙为化学纯试剂外其他均为分析纯试剂。

1.2 试验方法

1) 污染土壤的制备。以分析纯 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 作为 Cd 源, 以溶液的形式加入供试土壤中, 每千克土壤加入重金属的质量 (以 Cd 记) 为 1 mg,

收稿日期: 2011-11-29

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点项目 (2008BADA7B03)

陈青云, 硕士, 研究方向: 重金属污染土壤农艺修复, E-mail: chen6286367@163.com

通讯作者: 胡承孝, 博士, 教授, 研究方向: 植物营养与农业生态安全, E-mail: hucx@mail.hzau.edu.cn

干湿交替2次,于室温平衡老化3个月。

2)盆栽试验。设5个不同磷肥处理,分别用CK(不施磷肥的对照处理)、DAP、MAP、DCP和SSP表示,各处理重复4次。肥料施用量(有效)分别为 P_2O_5 0.2 g/kg, N用尿素补加到0.2 g/kg, K_2O (硫酸钾)0.15 g/kg。采用连续种植方式,前3种作物在种植前均以拌肥的形式施入不同量的各种肥料,种植第4种作物时为防止磷肥施用过多,种植之前只施入氮肥和钾肥。每盆装土5 kg,种植过程中保证每盆蔬菜株数一致(一般在10株左右)。蔬菜成熟后整株采收,去离子水清洗干净,按地上、地下两部分分开,105℃杀青30 min,75℃烘干,粉碎,备用。在种植下一季蔬菜前,将每盆土壤充分混匀后取10 g左右,风干,磨细,过1 mm筛,备用。

3)蔬菜种植时间。菠菜,2010年2月27日播种,4月4日定苗并取混合样,4月18日收获,生长51 d。小白菜,2010年5月6日播种,6月7日收获,生长32 d。柳叶苋菜,2010年6月24日播种,7月28日收获,生长35 d。圆叶苋菜,2010年8月14日播种,9月11日收获,生长29 d。

1.3 测定方法

土壤pH采用水土质量比2.5:1,pHS-3C测定。植物样经硝酸-高氯酸消化后,以火焰原子吸收测定其Cd含量^[19]。土壤中有有效态Cd含量用0.1 mol/L氯化钙进行提取,以火焰原子吸收(AAS)测定^[20]。为确保Cd含量测定的准确性,对植物样品做加标回收率试验,所用标准物质为GBW10015(菠菜),加标回收率在80.5%~118.4%之间,并且每批均有20%的样品做平行。

1.4 数据分析

数据以SAS 8.1进行方差显著性分析,采用Duncan法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同磷肥处理对蔬菜地上部产量的影响

4种磷肥处理均显著提高4种蔬菜地上部产量(表1),其中每种蔬菜以施用DCP处理产量最高,且DCP处理在菠菜和小白菜中与其他磷肥相比达到显著差异。未施磷肥的CK处理,出苗率低、植株长势矮小,而施磷处理的蔬菜均长势正常,施磷处理的增产幅度在5~20倍之间。

2.2 不同磷肥处理对蔬菜吸收累积Cd的影响

由表1可知,除柳叶苋菜外,不同磷肥处理均显著降低蔬菜地上部Cd含量,且以施用DCP处理的效果最好,降低幅度分别为41.52%、84.03%、47.71%。4种蔬菜在CK处理时生长缓慢、植株矮小,收获时其含水率均高于长势正常的施磷处理,其中以柳叶苋菜差异最大。在4种蔬菜的CK处理地上部干质量Cd含量均显著高于施磷处理情况下,换算出的柳叶苋菜鲜质量Cd含量却低于施磷处理。小白菜各施磷处理地上部Cd含量差异显著,次序为DCP<DAP<MAP<SSP,菠菜和2种苋菜不同施磷处理间地上部Cd含量无显著差异。4种蔬菜各处理地上部Cd含量均超出国家标准规定的限定值0.2 mg/kg(FW)^[21],尤其是小白菜,超标数十倍,如果食用会对人体健康造成潜在危害。

对蔬菜产量与地上部Cd含量的相关性分析($n=6$)表明,除柳叶苋菜外,3种蔬菜产量与地上部Cd含量均呈现极显著($P<0.01$)负相关,相关性(r)分别为-0.9601、-0.9476和-0.9828,这说明磷肥对蔬菜体内的Cd含量均存在“稀释”效应。施磷对降低蔬菜地下部Cd含量也有显著影响。与对照相比(表1),4种蔬菜的施磷处理地下部Cd含量均显著低于CK处理;但不同磷肥处理间差异不大,降低幅度分别约为50%、75%、75%、80%,仅小白菜施用DCP处理显著低于其他磷肥处理,是CK处理的10.02%。增施磷肥提高蔬菜产量的同时也增加了蔬菜对Cd的累积量(表1),但4种蔬菜不同磷肥处理间的Cd累积量差异不大,分别增加约2.3、3.6、7.4、10.2倍。4种蔬菜对Cd的累积量大小次序为小白菜,菠菜>柳叶苋菜>圆叶苋菜。

2.3 不同磷肥处理对土壤pH和有效态Cd含量的影响

随4种蔬菜的生长收获,盆栽土壤pH值呈整体下降趋势(表2)。每种蔬菜都是施用DCP处理的pH值显著高于其他处理。4种蔬菜盆栽土中有有效态Cd含量的变化趋势与土壤pH值相反,施用DCP处理的4种蔬菜的有效态Cd含量最低,且在小白菜和圆叶苋菜中达到显著水平。

土壤pH(x)和土壤有效态Cd含量(y)的回归分析($n=20$)表明,二者呈极显著($P<0.01$)负相关,决定系数 $R^2=0.7289$,模拟方程为 $y=2.71-0.44x$,可见土壤pH值对土壤中有有效态Cd含量起着决定性作用。

表 1 4 种磷肥处理的蔬菜产量、植株 Cd 含量及累积量(鲜质量)¹⁾

Table 1 The vegetable yield, Cd content and accumulative quantities in plant under four phosphate fertilizers

蔬菜种类 Varieties	处理 Treatment	每株产量/g Yield per plant	地上部 Cd 含量/(mg/kg) Shoot Cd content	地下部 Cd 含量/(mg/kg) Root Cd content	地上部每株 Cd 累积量/ μg Shoot Cd accumulative
菠菜 Spinach	CK	1.90(0.18) d	2.24(0.23) a	3.07(0.49) a	4.80(0.24) c
	DAP	8.73(0.19) b	1.34(0.20) b	1.29(0.04) b	11.57(1.45) ab
	MAP	7.29(0.22) c	1.33(0.13) b	1.57(0.17) b	9.15(0.89) b
	DCP	9.79(0.15) a	1.31(0.10) b	1.38(0.07) b	13.71(0.78) a
	SSP	7.63(0.28) c	1.50(0.18) b	1.71(0.23) b	10.75(1.30) ab
小白菜 Pakchoi	CK	0.30(0.02) d	11.96(0.14) a	54.64(10.71) a	3.59(0.16) c
	DAP	3.61(0.26) b	3.49(0.19) d	11.22(0.57) b	13.15(0.58) b
	MAP	3.17(0.18) bc	4.56(0.07) c	11.63(1.23) b	13.23(0.98) b
	DCP	5.91(0.39) a	1.91(0.08) e	5.35(0.27) b	11.27(0.75) b
	SSP	2.59(0.22) c	6.04(0.20) b	15.22(0.65) b	16.80(0.40) a
柳叶菟菜 Willow leaf amaranth	CK	0.90(0.06) c	1.14(0.13) b	6.44(0.44) a	1.02(0.06) b
	DAP	5.80(0.76) a	1.49(0.05) a	1.55(0.09) c	8.64(1.27) a
	MAP	5.13(0.25) ab	1.62(0.10) a	1.59(0.15) c	8.39(0.91) a
	DCP	5.92(0.27) a	1.41(0.04) a	1.19(0.03) c	8.39(0.51) a
	SSP	3.75(0.65) b	1.63(0.09) a	2.21(0.01) b	5.78(1.02) a
圆叶菟菜 Round leaf amaranth	CK	0.24(0.03) b	2.18(0.09) a	5.58(0.40) a	0.53(0.04) b
	DAP	3.97(0.56) a	1.20(0.06) b	0.97(0.12) b	5.87(0.50) a
	MAP	4.14(0.42) a	1.23(0.07) b	0.90(0.11) b	4.56(0.66) a
	DCP	5.20(0.36) a	1.14(0.05) b	0.83(0.08) b	5.89(0.33) a
	SSP	4.23(0.31) a	1.25(0.08) b	0.71(0.09) b	5.25(0.28) a

1)表中数据为 3 次重复的平均值(标准误),不同字母表示它们之间达到显著性差异($P < 0.05$),下同。Average of three replicates (SD). Different letters means the significant level at $P < 0.05$, the same as follow.

表 2 4 种磷肥处理对土壤有效态 Cd 含量和 pH 值的影响

Table 2 Effects of four phosphate fertilizers on soil available Cd and pH

蔬菜种类 Varieties	处理 Treatments	土壤有效态镉/(mg/kg) Soil available Cd content	土壤 pH Soil pH
菠菜 Spinach	CK	0.58(0.01) a	5.05(0.04) c
	DAP	0.50(0.05) a	5.18(0.01) b
	MAP	0.28(0.02) b	5.19(0.03) b
	DCP	0.21(0.03) b	5.58(0.03) a
	SSP	0.29(0.03) b	5.08(0.03) c
小白菜 Pakchoi	CK	0.69(0.01) b	4.62(0.05) b
	DAP	0.63(0.02) b	4.57(0.02) b
	MAP	0.66(0.01) b	4.54(0.02) b
	DCP	0.51(0.02) c	5.03(0.01) a
	SSP	0.84(0.01) a	4.53(0.01) b
柳叶菟菜 Willow leaf amaranth	CK	0.65(0.03) a	4.71(0.03) bc
	DAP	0.63(0.01) a	4.70(0.04) c
	MAP	0.58(0.01) b	4.78(0.01) b
	DCP	0.57(0.02) b	5.23(0.02) a
	SSP	0.60(0.01) ab	4.69(0.01) c
圆叶菟菜 Round leaf amaranth	CK	0.75(0.01) a	4.61(0.04) bc
	DAP	0.65(0.02) b	4.70(0.04) b
	MAP	0.65(0.02) b	4.48(0.06) d
	DCP	0.60(0.01) c	4.86(0.02) a
	SSP	0.67(0.01) b	4.50(0.04) cd

3 讨 论

试验中 4 种蔬菜的 CK 处理在生长期均出现出苗率低、生长迟缓、植株矮小、叶片发黄等现象,小白菜还出现了叶边缘卷曲等类似 Cd 中毒症状^[22],严重影响其生物产量,而施磷处理植株均能正常生长,且增产效果显著,说明增施磷肥除为作物生长提供必需的营养物质外,还提高了植株对 Cd 的耐受浓度,增强了抗逆性,此结果与罗承辉等^[23]和张皓等^[24]研究结果类似。4 种叶菜类蔬菜均表现出施用 DCP 的处理产量最高,其原因还不清楚,需做进一步的研究。施加磷肥显著降低蔬菜体内 Cd 含量,且蔬菜产量与地上部 Cd 呈显著负相关,说明施磷后显著增产而引起的“稀释”效应是降低植株体内 Cd 含量的主要原因,该结果与张宏彦等^[17]结论一致。磷肥进入土壤后,可通过促进或抑制植物生长、影响作物根系和地上部的生理代谢过程、络合或沉淀土壤和植物体内的重金属、影响土壤 pH 以及带入竞争离子等方式影响重金属的吸收累积。

盆栽种植过程中土壤出现不同程度酸化,4 种磷肥酸化土壤能力为 $\text{SSP} > \text{MAP} > \text{DAP} > \text{DCP}$ 。土壤 pH 值与有效性态 Cd 含量呈极显著负相关, pH

值是土壤所有参数中影响 Cd 有效性的最重要因素^[25],这与廖敏等^[26]的研究结果是一致的。因土壤负电荷的变化与土壤 pH 值的变化趋势是一样的^[13,27],而土壤负电荷减少导致土壤颗粒对 Cd 的吸附作用变弱,土壤 Cd 有效性增强,土壤中有效态 Cd 含量不断增大。SSP 水溶液呈酸性,且含有少量的游离酸,使土壤 pH 值降低。MAP 和 DAP 均含 NH_4^+ ,理论上 1 mol NH_4^+ 在土壤微生物作用下经硝化后可释放 2 mol 的 H^+ ,同样也可使土壤酸化^[17]。DCP 水溶液呈微碱性,对土壤 pH 值影响不大,但同时施入的硫酸钾属于生理酸性肥,所以土壤出现较弱程度的酸化。4 种蔬菜中均以 DCP 处理土壤 pH 值最高,且有效态 Cd 含量最低,当然还存在其他原因导致土壤 Cd 有效性的变化。磷肥施入土壤中的化学行为是一个复杂的过程,部分研究者^[12,28-29]认为,磷酸盐可钝化 Cd,其作用机制主要有 Cd 离子直接被难溶性磷酸盐表面吸附、土壤负电荷增加诱导土壤对 Cd 的吸附强度增大及 Cd^{2+} 与土壤溶液中的磷酸根形成磷酸盐沉淀等。研究表明,磷肥进入土壤后其溶解过程会引起局部土壤酸化,增加 Cd 的溶解度及活性^[17];磷肥中的钙镁等离子与重金属 Cd 离子竞争土壤吸附位点,从而活化土壤中铬^[30]。宋正国等^[31]研究表明施加钙后,土壤溶液中 Cd 浓度较对照显著增加,但小油菜体内 Cd 含量却显著降低,其原因是钙施入土壤后,首先与土壤 Cd 发生竞争吸附,部分 Cd 从土壤颗粒表面被解吸下来,土壤溶液中 Cd^{2+} 增多,当土壤溶液中的 Ca^{2+} 、 Cd^{2+} 等扩散至小油菜根系表面后,二者在根表细胞壁吸收位点同样进行竞争,在土壤溶液 Ca^{2+} 增加到一定程度时,吸附作用对小油菜吸收 Cd 的影响减弱,根系竞争吸收作用增强,导致小油菜降低对 Cd 的吸收。笔者推荐在 Cd 污染农田中,应尽量控制施用可促进土壤酸化的磷肥,如磷酸二氢铵、磷酸氢二铵和过磷酸钙的用量,或选用以 DCP 为主要成分的磷酸氢钙等。

参 考 文 献

- [1] 何江华,杜应琼,周晓洪,等. Cd 对叶菜生长和产量的影响及其在叶菜体内的积累[J]. 农业环境科学学报,2006,25(3):597-601.
- [2] 孙建云,沈振国. 镉胁迫对不同甘蓝基因型光合特性和养分吸收的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2605-2610.
- [3] 于方明,仇荣亮,汤涛涛,等. Cd 对小白菜生长及氮素代谢的影响研究[J]. 环境科学,2008,29(2):506-511.
- [4] 徐宏林,祝莉玲,杨军,等. 嘉鱼蔬菜基地土壤重金属污染状况调查与评价[J]. 湖北农业科学,2011,51(7):1347-1349.
- [5] 何璐君,王修俊. 嘉鱼蔬菜基地土壤重金属污染状况调查与评价[J]. 湖北农业科学,2011,50(7):1350-1353.
- [6] 刘茵. Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 对黑麦草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 湖北农业科学,2011,50(18):3798-3800.
- [7] NAKAGAWA H, NISHIJO M. Environmental cadmium exposure, hypertension and cardiovascular risk[J]. Journal Cardiovasc Risk, 1996, 3:11-17.
- [8] 曾希柏,李莲芳,梅旭荣. 中国蔬菜土壤重金属含量及来源分析[J]. 中国农业科学,2007,40(11):2507-2517.
- [9] 王凯荣. 我国农田镉污染现状及其治理利用对策[J]. 农业环境保护,1997,16(6):274-278.
- [10] 周世伟,徐明岗. 磷酸盐修复重金属污染土壤的研究进展[J]. 生态学报,2007,27(7):3043-3050.
- [11] 焦帅,阮榕生,刘玉环,等. 米糠和光皮树籽粕对平菇受铅、汞毒害的缓解作用[J]. 华中农业大学学报,2011,30(1):115-120.
- [12] 谢枫,樊在军,张青林,等. 柿单宁在重金属吸附中的应用研究进展[J]. 华中农业大学学报,2012,31(3):391-396.
- [13] CHANG O H, DO K L, PIL J K. Feasibility of phosphate fertilizer to immobilize cadmium in a field[J]. Chemosphere, 2008,70:2009-2015.
- [14] BASTA N T, MCGOWEN S L. Evaluation of chemical immobilization treatments for reducing heavy metal transport in a smelter-contaminated soil[J]. Environmental Pollution, 2004, 127(1):73-82.
- [15] HETTIARACHCHI G M, PIERZYNSKI G M, RANSOM M D. In situ stabilization of soil lead using phosphorus[J]. Journal of Environmental Quality, 2001, 30(4):1214-1221.
- [16] 陈姣,辉建春,杨海滨,等. 改良剂对镉胁迫蔬菜养分吸收的影响[J]. 湖北农业科学,2012,51(12):2439-2442.
- [17] 张宏彦,刘全清,张福锁. 养分管理与农作物品质[M]. 北京:中国农业出版社,2009:216-230.
- [18] 魏秀国,何江华,王少毅,等. 广州市菜园土和蔬菜中镉含量水平及污染评价[J]. 土壤与环境,2002,11(3):252-254.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [20] 肖振林,王果,黄瑞卿,等. 酸性土壤中有有效态镉提取方法研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):795-800.
- [21] 中华人民共和国卫生部和中国国际标准化管理委员会. GB 2762-2005, 食品中污染物限量[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [22] 康浩,石贵玉,潘文平,等. 镉对植物毒害的研究进展[J]. 安徽农业科学,2008,36(26):11200-11201.
- [23] 罗承辉,廖柏寒,曾敏,等. 磷对镉胁迫下黄豆生理生化特性的影响[J]. 湖南农业大学学报,2005,31(4):431-433.
- [24] 张皓,黄鹤忠,何华敏,等. 不同 N、P 浓度条件下龙须菜对镉胁迫的生理响应[J]. 海洋科学,2009,33(5):74-79.
- [25] MCBRIDE M B. Cadmium uptake by crops estimated from soil total Cd and pH[J]. Soil Science, 2002, 167(1):62-67.
- [26] 廖敏,黄昌勇,谢正苗. pH 对镉在土水系统中的迁移和形态的影响[J]. 环境科学学报,1999,19(1):81-86.

- [27] 王孝堂. 土壤酸度对重金属形态分配的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 103-107.
- [28] COTTER-HOWELLS J, CAPORN S. Remediation of contaminated land by formation of heavy metal phosphates[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11(1/2): 335-342.
- [29] RAICEVIC S, KALUDJEROVIC-RADOICIC T, ZOUBOULIS A I. *In situ* stabilization of toxic metals in polluted soils using phosphates; theoretical prediction and experimental verification [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, 117(1): 41-53.
- [30] ZHU B, ALVA A K. Different adsorption of trace metals by soils as influenced by exchangeable cations and ionic strength [J]. Soil Science, 1993, 155(1): 61-66.
- [31] 宋正国, 徐明岗, 李菊梅, 等. 钙对土壤镉有效性的影响及其机理[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1705-1710.

Effects of four phosphorus fertilizers on cadmium bioavailability in soil-leaf vegetables systems

CHEN Qing-yun¹ ZHANG Jing² TAN Qi-ling¹
SUN Xue-cheng¹ ZHAO Xiao-hu¹ HU Cheng-xiao¹

1. *Microelement Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*
2. *College of Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

Abstract A pot experiment was conducted to study the influences of four phosphorus on yield, cadmium (Cd) absorption and accumulation in leaf vegetables (spinach, pakchoi, willow leaf and round leaf amaranth) and the Cd availability in soil. Results showed that phosphate treatments could significantly promote vegetables growth, reduce the Cd concentrations in vegetable shoots and roots and increase Cd accumulation in four vegetables shoots compared with the control treatment. However, the Cd accumulation in the shoots didn't varied significantly with the phosphate treatments. A significantly negative linear relationship was found between soil pH and the available Cd. The capability of four phosphates in acidifying soil varied in following order: SSP (superphosphate) > MAP (monoammonium phosphate), DAP (diammonium phosphate) > DCP (dicalcium phosphate). The DCP treatment exhibited the highest yield, the lowest content of Cd in vegetable, the highest pH and the lowest soil available Cd.

Key words phosphorus; vegetable; soil cadmium bioavailability; spinach; pakchoi; amaranth

(责任编辑: 陆文昌)