

化肥对薄层黑土中镉、铅活性及小白菜生长的影响

王 冰¹, 慕 姝¹, 秦 治 家², 高 云 航³, 娄 玉 杰³, 刘 淑 霞¹

(1. 吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省东辽县足民农业站, 吉林 东辽 136615; 3. 吉林农业大学 动物科技学院, 吉林 长春 130118)

摘 要:在食品安全领域,重金属污染已经对人类的健康造成了严重的威胁。以小白菜和薄层黑土为研究对象,通过盆栽试验,分别模拟被镉和铅污染的土壤,通过施入不同类型的化肥,研究被镉、铅污染的薄层黑土中,化肥对镉、铅活性及日常生活中食用的小白菜生长的影响。结果表明:在镉、铅污染的土壤中,不同施肥处理对土壤中镉、铅存在形态所占比例的影响不同;不同施肥处理对小白菜地上部鲜重、干重及叶长的影响不同,其中硝酸钙、骨粉和硝酸钾处理的小白菜上述3项指标值相对较高,而在氯化铵、普钙和氯化钾处理中,上述3项指标值则相对较低;不同施肥处理对小白菜对镉、铅的吸收量影响不同。

关键词:化肥;镉;铅;小白菜;薄层黑土

中图分类号:S 143 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)20-0168-06

近年来,我国关于重金属引起土壤污染的问题已有很多报道^[1-3]。由于重金属不能被生物降解,且在环境中仅能发生各形态间的相互转化,所以消除重金属污染对于环境治理十分困难^[4]。Cd和Pb均属于对环境污染较严重的污染物^[5],它们进入土壤后会引引起土壤理化性质的改变,造成土壤质地的降低。它们还会在一定的浓度范围内引起植物中毒,造成植株形态、结构的变化^[6]。除此以外,土壤中所含的重金属可通过食物链被植物、动物数十倍的富集^[7],并最终通过食物链进入人

体进而对人类的健康产生危害^[8]。Cd和Pb是造成我国蔬菜污染的主要重金属元素^[9],且蔬菜中的镉污染具有一定的隐蔽性,一般不会发生急性中毒,但会通过食物链,在人体中不断累积,因此对人类的健康有巨大的潜在危害性^[10]。小白菜是人们经常食用的蔬菜品种之一,其可食用的地上部分较易受到土壤重金属的影响^[9]。该研究以薄层黑土为供试土壤,分析了盆栽试验条件下,化肥在被镉、铅污染的薄层黑土中对镉、铅活性及小白菜生长的影响,以期土壤重金属污染的防治和无公害蔬菜的生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蔬菜:小白菜;供试药品:重金属镉为 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$,重金属铅为 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$,2种试剂均为分析纯;供试肥料:尿素、硫酸铵、氯化铵、硝酸钙、磷酸二铵、过磷酸钙、骨粉、硫酸钾、氯化钾、硝酸钾;供试土壤:薄层黑土,采自吉林农业大学试验田土壤(0~20 cm),经风干后过筛备用,基本理化性状见表1。

第一作者简介:王冰(1991-),女,北京人,硕士研究生,研究方向为植物营养与环境生态。E-mail:wangbingyajd@126.com

责任作者:刘淑霞(1969-),女,硕士,教授,现主要从事施肥与生态环境及废弃物资源化利用和面源污染防治技术等研究工作。E-mail:liushuxia2005824@163.com

基金项目:吉林省教育厅“十二五”科学技术研究资助项目(216-172);吉林省科技发展计划资助项目(20110202);吉林省科技引导计划资助项目(201205057);现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目(nycytx-38)。

收稿日期:2014-05-22

Pseudomonadales sp., 4 strains were *Microbacterium* sp., 1 strain was *Bacillus* spp. and 1 strain was *Agrobacterium* sp., *Pseudomonadales* sp. was dominant group. In degraded DDVP experiments, compared with pure DDVP, the degradation effect of dichlorvos was lower. Mixture the 4 strains with same proportion could enhance the degradation effect of dichlorvos, which may be due to every strains' different roles in the complex degrading process of organic phosphorus. After the dichlorvos degradation, the percentage of each strain of mixture was significantly changed. *Pseudomonadales* sp. was still dominant species. This study would provide strong support for further study of degraded mechanism.

Keywords: pear orchard; soil; biodegradation; DDVP; soil bacteria

表 1

供试土壤的基本理化性状

Table 1

The basic physicochemical status of soil

pH	有机质 Organic matter /%	碱解氮 Available nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Rapidly available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Rapidly available potassium /(mg·kg ⁻¹)	全铅 Total Pb /(mg·kg ⁻¹)	全镉 Total Cd /(mg·kg ⁻¹)
6.41	18.2	128	38.8	116	35.2	1.92

1.2 试验方法

采用模拟污染盆栽方式,2 kg 风干土放入聚乙烯塑料盆中,共设 2 个 Pb、Cd 处理,浓度分别为 700、3 mg/kg,施入后平衡放置 2 周,以便盆内重金属浓度尽量保持均匀。小白菜于 5 月 20 日播种,6 月 20 日收获,生育期 30 d。每处理 3 次重复。

氮肥试验:采用制备的 Cd、Pb 污染土样,分别设 5 个氮肥副处理,即:不施氮肥、施尿素、施硫酸铵、施氯化铵以及施硝酸钙处理,且氮肥施用量为(N)0.2 g/kg。磷肥和钾肥用普钙和氯化钾补入,施用量分别为 P₂O₅ 0.1 g/kg;K₂O 0.2 g/kg。各处理 3 次重复。

磷肥试验:采用制备的 Cd、Pb 污染土样,分别设 4 个磷肥副处理,即:不施磷肥、施磷酸二铵、施过磷酸钙及施骨粉处理,且磷肥施用量为(P₂O₅)0.1 g/kg,氮肥和钾肥以尿素和硫酸钾补入,施用量分别为 N 0.2 g/kg;K₂O 0.2 g/kg。各处理 3 次重复。

钾肥试验:采用制备的 Cd、Pb 污染土样,分别设 4 个钾肥副处理,即:不施钾肥、施硫酸钾、施氯化钾及施硝酸钾处理,且钾肥施用量为(K₂O)0.2 g/kg,氮肥和磷肥以尿素和磷酸二铵补入,施用量分别为 N 0.2 g/kg;P₂O₅ 0.1 g/kg。各处理 3 次重复。

1.3 项目测定

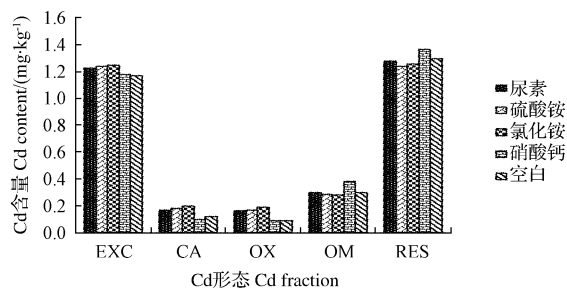
采回植株样品后,立即用去离子水将其冲洗干净。沥去水后,沿根轴处将根和茎分开,分别称取鲜重。后将样品在 105℃下杀酶 15 min,并在 60℃下烘干至恒重,最后称重。风干后的土壤过 20 目和 100 目筛备用。土壤重金属铅和镉的盆量采用王水—高氯酸消煮,原子吸收分光光度计测定;土壤中铅和镉形态采用 Tessier 五步连续提取法^[11]测定;土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量采用土壤农化常规分析方法测定。

2 结果与分析

2.1 化肥对于 Cd、Pb 污染土壤中 Cd、Pb 存在形态的影响

2.1.1 氮肥对于土壤中 Cd、Pb 存在形态的影响 氮肥对于土壤中 Cd 存在形态的影响:由于氮肥中的盐基阳离子与土壤重金属的交换作用,以及长期施用氮肥均会使土壤理化性质有所改变,因此重金属在土壤中的存在形态也会随之变化。因氮肥种类不同,所以作用程度也不同。从图 1 可以看出,4 种氮肥施用条件下,土壤中各形态 Cd 的含量都是以残渣态 Cd 最高,铁锰氧化物结合态 Cd 最低。由各形态 Cd 的含量可以得出:残渣态 (RES)Cd>交换态(EXC)Cd>有机态(OM)Cd>碳酸盐

结合态(CA)Cd>铁锰氧化物结合态(OX)Cd。硫酸铵和氯化铵处理的交换态 Cd、碳酸盐结合态 Cd 和铁锰氧化物结合态 Cd 的含量较高,有机态 Cd 和残渣态 Cd 的含量较低;硝酸钙处理的交换态 Cd 含量较低,而有机态和残渣态 Cd 的含量相对较高。氮肥施入土壤后对 Cd 的存在形态所产生的影响主要是由于施入氮肥后土壤的 pH 发生改变,进而影响了土壤中 Cd 的存在形态;另外不同的氮肥施入土壤后带入不同离子,与重金属离子之间发生沉淀-溶解、吸附-解析等过程,导致了土壤镉形态所占比例的变化,因此也就导致了作物对镉吸收的差异。氮肥对于土壤中 Pb 存在形态的影响:从图 2 可以看出,4 种氮肥施用条件下,土壤中各形态 Pb 的含量都是以交换态 Pb 含量最少,残渣态 Pb 含量最高,由各形态 Pb 的含量可以得出:残渣态 Pb>铁锰氧化物结合态 Pb>有机态 Pb>碳酸盐结合态 Pb>交换态 Pb。硫酸铵和氯化铵处理的交换态 Pb、碳酸盐结合态 Pb 和铁锰氧化物结合态 Pb 的含量较高,有机态 Pb 和残渣态 Pb 的含量较低;硝酸钙处理的交换态 Pb 含量较低,而有机态和残渣态 Pb 的含量相对较高。



注:EXC 为交换态,CA 为碳酸盐结合态,OX 为铁锰氧化物结合态,OM 为有机态,RES 为残渣态。以下同。

Note:EXC:exchange state,CA:carbonate combination state,OX:iron manganese oxide combination patterns,OM:organic material,RES:residue state. The same below.

图 1 不同氮肥对于土壤中 Cd 存在形态的影响

Fig. 1 The effect of different nitrogenous fertilizers on the fractions of Cd in soil

2.1.2 磷肥对于 Cd、Pb 污染土壤中 Cd、Pb 存在形态的影响 磷肥对于土壤中 Cd 存在形态的影响:从图 3 可以看出,3 种磷肥施用条件下,土壤中各形态 Cd 的含量都是以残渣态 Cd 最高,铁锰氧化物结合态 Cd 最低。由各形态 Cd 的含量可以得出:残渣态 Cd>交换态 Cd>有机态 Cd>碳酸盐结合态 Cd>铁锰氧化物结合态 Cd。过磷酸钙处理的交换态 Cd、碳酸盐结合态 Cd 和铁锰氧化物结合态 Cd 的含量最高,而有机物结合态 Cd 和残渣态 Cd 的含量最低;骨粉处理的交换态 Cd 含量最低,残

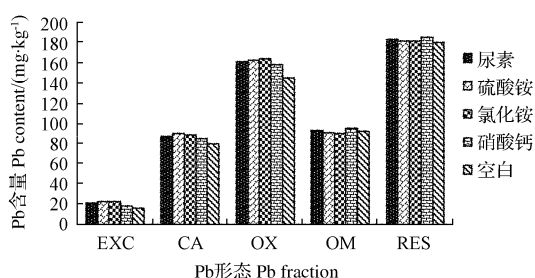


图2 不同氮肥对于土壤中 Pb 存在形态的影响
Fig.2 The effect of different nitrogenous fertilizers on the fractions of Pb in soil

渣态 Cd 含量最高;磷酸二铵对于土壤中 Cd 存在形态的影响不如过磷酸钙和骨粉明显。相对于氮肥对土壤中 Cd 存在形态的影响,磷肥处理的交换态 Cd 和碳酸盐结合态 Cd 的含量都略有提高。磷肥对于土壤中 Pb 存在形态的影响:从图 4 可以看出,3 种磷肥施用条件下,土壤中各形态 Pb 的含量都是以交换态 Pb 含量最少,残渣态 Pb 含量最高。由各形态 Pb 的含量可以得出:残渣态 Pb>铁锰氧化物结合态 Pb>有机态 Pb>碳酸盐结合态 Pb>交换态 Pb。过磷酸钙处理的交换态 Pb、碳酸盐结合态 Pb 和铁锰氧化态 Pb 所占比例最高,而有机态 Pb 和残渣态 Pb 的含量相对较低;骨粉处理的交换态 Pb 含量最低,残渣态 Pb 的含量最高;磷酸二铵对于土壤中 Pb 存在形态的影响不如过磷酸钙和骨粉明显。相对于氮肥对土壤中 Pb 存在形态的影响,磷肥处理的交换态 Pb 和碳酸盐结合态 Pb 的含量明显降低。不同形态磷肥能改变土壤胶体的表面性质、土壤 pH 等一系列性质的变化,从而进一步影响土壤中 Pb 的存在形态。

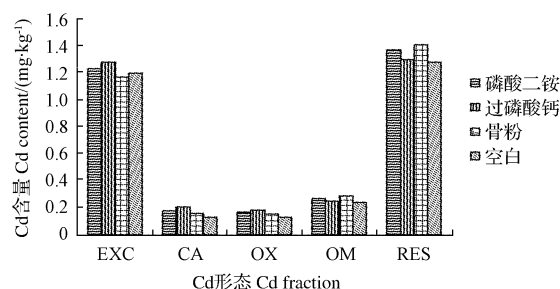


图3 不同磷肥对于土壤中 Cd 存在形态的影响
Fig.3 The effect of different phosphorus fertilizers on the fractions of Cd in soil

2.1.3 钾肥对于 Cd、Pb 污染土壤中 Cd、Pb 存在形态的影响 钾肥对于土壤中 Cd 存在形态的影响:从图 5 可以看出,3 种磷肥施用条件下,土壤中各形态 Cd 的含量都是以残渣态 Cd 最高,铁锰氧化物结合态 Cd 最低。由各形态 Cd 的含量可以得出:残渣态 Cd>交换态 Cd>有机态 Cd>碳酸盐结合态 Cd>铁锰氧化物结合态 Cd。硝酸钾处理的交换态 Cd、碳酸盐结合态 Cd 和铁锰氧化

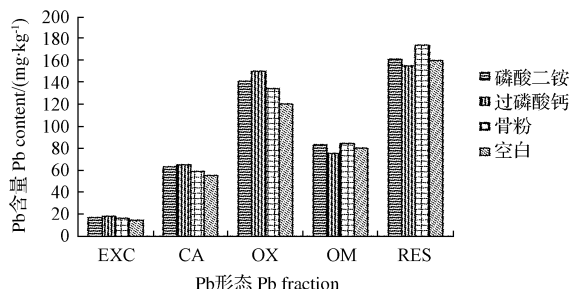


图4 不同磷肥对于土壤中 Pb 存在形态的影响
Fig.4 The effect of different phosphorus fertilizers on the fractions of Pb in soil

物结合态 Cd 的含量最低,有机态 Cd 和残渣态 Cd 的含量最高;氯化钾处理的交换态 Cd 含量最高,而残渣态 Cd 的含量最低。硫酸钾对于土壤中 Cd 存在形态的影响不如氯化钾和硝酸钾明显。钾肥对于土壤中 Pb 存在形态的影响:从图 6 可以看出,3 种钾肥施用条件下,土壤中各形态 Pb 的含量都是以交换态 Pb 含量最少,残渣态 Pb 含量最高。由各形态 Pb 的含量可以得出:残渣态 Pb>铁锰氧化物结合态 Pb>有机态 Pb>碳酸盐结合态 Pb>交换态 Pb。硝酸钾处理的交换态 Pb、碳酸盐结合态 Pb 和铁锰氧化物结合态 Pb 的含量最低,有机态 Pb 和残渣态 Pb 的含量最高;氯化钾处理的交换态 Pb 含量最高,而残渣态 Pb 的含量最低。硫酸钾对于土壤中 Pb 存在形态的影响不如氯化钾和硝酸钾明显。

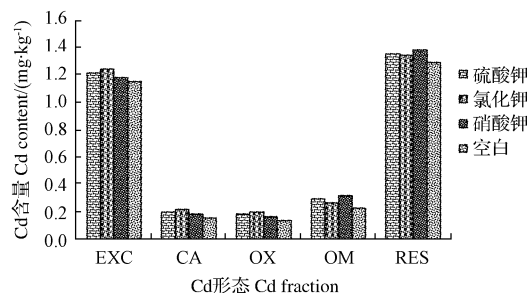


图5 不同钾肥对于土壤中 Cd 存在形态的影响
Fig.5 The effect of different potassium fertilizers on the fractions of Cd in soil

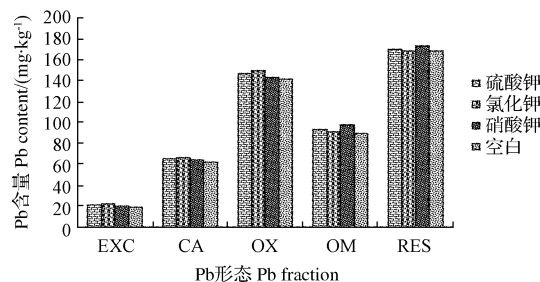


图6 不同钾肥对于土壤中 Pb 存在形态的影响
Fig.6 The effect of different potassium fertilizers on the fractions of Pb in soil

2.2 化肥对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜生长的影响

2.2.1 氮肥对于 Cd、Pd 污染土壤上小白菜生长的影响

氮肥对于 Cd 污染土壤上小白菜生长的影响:从表 2 可以看出,硝酸钙处理的 Cd 污染土壤上,小白菜单株地上部鲜重、叶长和单株地上部干重最高;硫酸铵处理的小白菜单株地上部鲜重最低;氯化铵处理的小白菜单株叶长和干重最低;尿素处理对于小白菜的生长的影响不如其它 3 种氮肥的效果明显。上述现象的产生主要是由于 Cd 污染的土壤中,施入不同形态的氮肥后,影响了土壤的 pH,且引入的不同离子与重金属离子会发生相互作用,改变了土壤镉形态所占比例,造成了作物对镉吸收的差异,也就导致了小白菜生物量的差异。氮肥对于 Pb 污染土壤上小白菜生长的影响:从表 3 可以看出,硝酸钙处理的 Pb 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重最高;硫酸铵处理的小白菜单株地上部干重最低;氯化铵处理的小白菜单株叶长和鲜重最低;尿素处理对于小白菜的生长的影响不如其它 3 种氮肥的效果明显。同 Cd 污染土壤上生长的小白菜相比,Pb 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重都较低,这也是由于土壤中 Pb 的存在形态发生改变,进而影响了 Pb 的植物有效性。

表 2 不同氮肥对 Cd 污染土壤上小白菜生长的影响

Table 2 The effect of several nitrogenous fertilizers on the growth of pakchoi

氮肥种类 Nitrogenous fertilizers	单株地上部鲜重 Fresh weight of aboveground per plant/g	叶长 Leaf length /cm	单株地上部干重 Dry weight of aboveground per plant/g
尿素	32.6	24.6	2.35
硫酸铵	31.4	24.0	2.29
氯化铵	31.6	23.7	2.28
硝酸钙	33.2	24.9	2.36
空白	29.8	22.9	2.23

表 3 不同氮肥对 Pb 污染土壤上小白菜生长的影响

Table 3 The effect of several nitrogenous fertilizers on the growth of pakchoi

氮肥种类 Nitrogenous fertilizers	单株地上部鲜重 Fresh weight of aboveground per plant/g	叶长 Leaf length /cm	单株地上部干重 Dry weight of aboveground per plant/g
尿素	26.8	20.2	2.18
硫酸铵	25.7	19.5	2.14
氯化铵	25.6	19.3	2.12
硝酸钙	27.0	20.4	2.19
空白	25.0	18.7	2.06

2.2.2 磷肥对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜生长的影响

磷肥对于 Cd 污染土壤上小白菜生长的影响:从表 4 可以看出,过磷酸钙处理的 Cd 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重最低;骨粉处理的 Cd 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重最高;磷酸二铵处理对于小白菜的生长的影响不如过磷酸

钙和骨粉的效果明显。Cd 污染的土壤上,磷肥对于小白菜的生长所产生的影响低于氮肥。无论是小白菜的单株地上部鲜重、叶长还是干重都低于氮肥处理的小白菜。产生这种情况的主要原因是由于磷肥中含有一定量的 Cd,尤其是过磷酸钙。骨粉中含有一定量的钙会对土壤的 pH 产生影响,进而影响土壤中 Cd 的存在形态,这也就影响了土壤中 Cd 的植物效应,固对小白菜的生长产生影响。磷肥对于 Pb 污染土壤上小白菜生长的影响:从表 5 可以看出,骨粉处理的 Pb 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重最高;过磷酸钙处理的 Pb 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重最低;磷酸二铵处理对于小白菜生长的影响不如过磷酸钙和骨粉的效果明显。Pb 污染的土壤上,磷肥对于小白菜的生长所产生的影响高于氮肥,无论是小白菜的单株地上部鲜重、叶长还是干重都高于氮肥处理的小白菜,这说明 Pb 污染土壤上施用磷肥可以降低土壤中 Pb 的植物有效性。产生这种情况的原因也是由于骨粉中含有一定量的钙,在影响土壤的 pH 的同时对土壤中 Pb 的存在形态产生影响,进而影响土壤中 Pb 的植物效应,固对小白菜的生长产生影响。

表 4 不同磷肥对 Cd 污染土壤上小白菜生长的影响

Table 4 The effect of several phosphorus fertilizers on the growth of pakchoi

磷肥种类 Phosphorus fertilizers	单株地上部鲜重 Fresh weight of aboveground per plant/g	叶长 Leaf length /cm	单株地上部干重 Dry weight of aboveground per plant/g
磷酸二铵	32.2	23.5	2.28
过磷酸钙	31.2	22.6	2.21
骨粉	32.8	23.7	2.30
空白	30.7	21.5	2.00

表 5 不同磷肥对 Pb 污染土壤上小白菜生长的影响

Table 5 The effect of several phosphorus fertilizers on the growth of pakchoi

磷肥种类 Phosphorus fertilizers	单株地上部鲜重 Fresh weight of aboveground per plant/g	叶长 Leaf length /cm	单株地上部干重 Dry weight of aboveground per plant/g
磷酸二铵	27.2	20.6	2.21
过磷酸钙	26.8	20.1	2.19
骨粉	27.8	21.2	2.24
空白	25.4	19.3	2.13

2.2.3 钾肥对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜生长的影响

钾肥对于 Cd 污染土壤上小白菜生长的影响:从表 6 可以看出,硝酸钾处理的 Cd 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重最高;氯化钾处理的 Cd 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重、叶长和干重最低;硫酸钾处理对于小白菜生长的影响不如氯化钾和硝酸钾的效果明显。Cd 污染土壤上,钾肥处理生长的小白菜在上述 3 项指标中均高于磷肥。这也是由于不

同钾肥施入土壤后所发生的一系列土壤性质的变化,使得土壤中 Cd 存在形态发生变化的原因。钾肥对于 Pb 污染土壤上小白菜生长的影响:从表 7 可以看出,硝酸钾处理的 Pb 污染土壤上生长的小白菜单株地上部干重和叶长最高;氯化钾处理的 Pb 污染土壤上生长的小白菜单株地上部干重、叶长最低;硫酸钾处理的 Pb 污染土壤上生长的小白菜单株地上部鲜重最高。Pb 污染土壤上,钾肥处理生长的小白菜在上述 3 项指标中均低于磷肥。这也是由于不同钾肥施入土壤后所发生一系列变化,使土壤中 Pb 存在形态发生改变,导致小白菜生物量有所差异。

表 6 不同钾肥对 Cd 污染土壤上小白菜生长的影响

Table 6 The effect of several potassium fertilizers on the growth of pakchoi

钾肥种类 Potassium fertilizers	单株地上部鲜重 Fresh weight of aboveground per plant/g	叶长 Leaf length / cm	单株地上部干重 Dry weight of aboveground per plant/g
硫酸钾	32.3	24.3	2.31
氯化钾	31.7	24.2	2.29
硝酸钾	32.9	24.8	2.33
空白	31.0	23.8	2.25

表 7 不同钾肥对 Pb 污染土壤上小白菜生长的影响

Table 7 The effect of several potassium fertilizers on the growth of pakchoi

钾肥种类 Potassium fertilizers	单株地上部鲜重 Fresh weight of aboveground per plant/g	叶长 Leaf length / cm	单株地上部干重 Dry weight of aboveground per plant/g
硫酸钾	26.5	20	2.17
氯化钾	25.3	19.6	2.14
硝酸钾	26.2	20.7	2.20
空白	24.7	18.4	2.10

2.3 化肥对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 吸收的影响

2.3.1 氮肥对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 吸收的影响 从表 8 可以看出,以尿素为对照,硫酸铵处理、氯化铵处理均增加了小白菜体内镉含量,增幅分别为 0.14、0.29 mg/kg,对小白菜体内镉的含量起促进作用,氯化铵处理显著大于硫酸铵处理;硝酸钙处理相对于尿素处理下降 0.03 mg/kg,各氮肥处理间小白菜体内镉含量均呈极显著差异。另外,以尿素为对照,硫酸铵处理、氯化铵处理均增加了小白菜体内铅含量,增幅分别为 0.05 mg/kg、0.10 mg/kg,对小白菜体内镉的含量起促进作用,氯化铵处理显著大于硫酸铵处理;硝酸钙处理相对于尿素处理下降 0.03 mg/kg,各氮肥处理间小白菜体内镉含量均呈极显著差异。

2.3.2 磷肥对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 吸收的影响 从表 9 可以看出,以磷酸二铵为对照,过磷酸

表 8 不同氮肥对 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 吸收的影响

Table 8 The effect of several nitrogenous fertilizers on Cd and Pb of pakchoi

氮肥种类 Nitrogenous fertilizers	尿素 Urea	硫酸铵 (NH ₄) ₂ SO ₄	氯化铵 NH ₄ Cl	硝酸钙 Ca(NO ₃) ₂
小白菜中 Cd 含量/(mg·kg ⁻¹)	10.44aA	10.58bB	10.73cC	10.41dD
小白菜中 Pb 含量/(mg·kg ⁻¹)	2.68cC	2.73bB	2.78aA	2.65dC

表 9 不同磷肥对 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 吸收的影响

Table 9 The effect of several phosphorus fertilizers on Cd and Pb of pakchoi

磷肥种类 Phosphorus fertilizers	磷酸二铵 (NH ₄) ₂ HPO ₄	过磷酸钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	骨粉 Bone meal
小白菜中 Cd 含量/(mg·kg ⁻¹)	11.21aA	13.53bB	10.30cC
小白菜中 Pb 含量/(mg·kg ⁻¹)	2.42aA	2.58bB	2.26cC

钙处理增加了小白菜体内镉含量,增加量为 2.32 mg/kg;骨粉处理降低了小白菜体内镉含量,降低量为 0.91 mg/kg。各磷肥处理间小白菜体内镉含量呈极显著差异。同样,以磷酸二铵为对照,过磷酸钙处理增加了小白菜体内铅含量,增加量为 0.16 mg/kg;骨粉处理降低了小白菜体内铅含量,降低量为 0.16 mg/kg。各磷肥处理间小白菜体内铅含量呈极显著差异。结果表明,过磷酸钙对小白菜体内镉、铅含量也起促进作用;骨粉对小白菜体内镉、铅含量起抑制作用。相对于氮肥处理,各磷肥处理对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 的吸收量,小白菜体内的铅含量有所下降;而镉含量却呈现上升。

2.3.3 钾肥对于 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 吸收的影响 从表 10 可以看出,氯化钾处理小白菜体内镉含量高于硫酸钾处理和硝酸钾处理,硝酸钾处理的小白菜体内镉含量最低。以硫酸钾为对照,氯化钾处理使得小白菜体内镉含量增加了 1.38 mg/kg;硝酸钾处理使小白菜体内镉含量降低了 0.35 mg/kg。各钾肥处理间小白菜体内镉含量呈显著差异。此外,氯化钾处理小白菜体内铅含量高于硫酸钾处理和硝酸钾处理,硝酸钾处理的小白菜体内铅含量最低。以硫酸钾为对照,氯化钾处理使小白菜体内铅含量增加 0.06 mg/kg;硝酸钾使小白菜体内铅含量降低了 0.37 mg/kg。各钾肥处理间小白菜体内铅含量呈极显著差异。在镉污染土壤中,硫酸铵和氯化铵会增加镉的有效性,且氯化铵的作用效果相对于硫酸铵明显。以尿素为对照,氯化铵处理、硫酸铵处理,硝酸钙处理均增加了小白菜体内镉的含量,对小白菜体内镉含量的促进作用,氯化铵处理显著大于硫酸铵处理。以磷酸二铵为对照,过磷酸钙处理增加了小白菜体内镉含量,骨粉处理降低了小白菜体内镉的含量。过磷酸钙对小白菜体内镉含量起促进作用;骨粉对小白菜体内镉含量起抑制作用。且磷肥处理的镉污染土壤上生

长的小白菜中镉含量高于氮肥,尤其是过磷酸钙处理。以硫酸钾为对照,氯化钾处理增加了小白菜体内镉含量;硝酸钾处理降低了小白菜体内镉含量。

表 10 不同钾肥对 Cd、Pb 污染土壤上小白菜 Cd、Pb 吸收的影响

Table 10 The effect of several potassium fertilizers on Cd and Pb of pakchoi

钾肥种类 Potassium fertilizers	硫酸钾 K ₂ SO ₄	氯化钾 KCl	硝酸钾 KNO ₃
小白菜中 Cd 含量/(mg · kg ⁻¹)	10.58bB	11.96aA	10.23cC
小白菜中 Pb 含量/(mg · kg ⁻¹)	2.72bA	2.78aA	2.35cB

3 结论

在镉污染土壤中,硫酸铵和氯化铵会增加镉的有效性,且氯化铵的作用效果相对于硫酸铵明显。以尿素为对照,氯化铵处理、硫酸铵处理,硝酸钙处理均增加了小白菜体内镉的含量,对小白菜体内镉含量有促进作用,氯化铵处理显著大于硫酸铵处理。以磷酸二铵为对照,过磷酸钙处理增加了小白菜体内镉含量,骨粉处理降低了小白菜体内镉的含量。过磷酸钙对小白菜体内镉含量起促进作用;骨粉对小白菜体内镉含量起抑制作用。且磷肥处理的的镉污染土壤上生长的小白菜中镉含量高于氮肥,尤其是过磷酸钙处理。以硫酸钾为对照,氯化钾处理增加了小白菜体内镉含量;硝酸钾处理降低了小白菜体内镉含量。

在铅污染土壤中,硫酸铵和氯化铵会增加铅的有效性,且氯化铵的作用效果相对于硫酸铵明显。以尿素为对照,氯化铵处理、硫酸铵处理,硝酸钙处理均增加了小白菜体内铅的含量,对小白菜体内铅含量的促进作用,

氯化铵处理显著大于硫酸铵处理。以磷酸二铵为对照,过磷酸钙处理增加了小白菜体内铅含量,骨粉处理降低了小白菜体内铅的含量。且磷肥处理的铅污染土壤上生长的小白菜中铅含量都低于氮肥处理。以硫酸钾为对照,氯化钾处理增加了小白菜体内铅含量;硝酸钾处理降低了小白菜体内铅含量。

参考文献

- [1] 张民,龚子同.我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布[J].土壤学报,1996,33(1):85-93.
- [2] 周建利,陈同斌.我国城郊菜地土壤和蔬菜重金属污染研究现状与展望[J].湖北农学院学报,2002,22(5):476-480.
- [3] 宋波.北京市菜地土壤和蔬菜镉含量及其健康风险分析[J].环境科学学报,2006,26(8):1343-1353.
- [4] 马榕.重视磷肥中重金属镉的危害[J].磷肥与复肥,2002,17(6):5-6.
- [5] Friberg J, Piscator M, Nordberg G F, et al. Cadmium in the Environment[M]. Cleveland CRC Press, 1974:47-53.
- [6] Shah K, Dubey R S. Cadmium elevates level of protein, amino acids and alters activity of proteolytic enzymes in germinating rice seeds[J]. Acta Physiol Plant, 1998, 20:189-196.
- [7] Mustafa K, Sukru D, Ersin G, et al. Heavy metal accumulation in wheat plants irrigated by waste water[J]. Cellulose Chemistry And Technology, 2006, 40(7):575-579.
- [8] 彭浩,张兴昌,邵明安.黄土区土壤钾素径流流失试验研究[J].水土保持学报,2004,18(1):70-73.
- [9] 赵建忠,李冉.镉在小白菜体内的累积规律及其生物效应的研究[J].中国土壤与肥料,2009(4):40-43.
- [10] 王浩,顾国平.土壤铅、镉污染对小白菜生长与积累的影响[J].浙江农业科学,2009(2):398-400.
- [11] Tessier A, Campbell P G C, Bisson M, et al. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals[J]. Analytical Chemistry, 1979, 51(7):844-851.

Effect of Fertilizers on the Activity of Cadmium, Lead and Pakchoi Growth in the Black Thin-layer Soil

WANG Bing¹, MU Shu¹, QIN Zhi-jia², GAO Yun-hang³, LOU Yu-jie³, LIU Shu-xia¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. Zumin Agriculture Stands in Dongliao County of Jilin Province, Dongliao, Jilin 136615; 3. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract: In the area of food security, heavy metal pollution has posed a severe threat of people's health. The test simulated the soil which contaminated by cadmium and lead through pot experiment to investigated the effects of different kinds of fertilizers on the activity of cadmium, lead and pakchoi growth in the black thin-layer soil. The results showed that: different treatments of fertilizers had different impact on the proportion of form of cadmium and lead in soil; Different treatments of fertilizers had different effect on the shoot fresh weight, dry weight and leaf length of pakchoi. The three indexes above showed a relatively high values when pakchoi was treated with calcium nitrate, potassium nitrate and bone meal. But when pakchoi treated with ammonium chloride, superphosphate and potassium chloride, the values of three indexes were relatively low; the absorption amounts of pakchoi to cadmium and lead were various by different treatments of fertilizers.

Keywords: fertilizers; cadmium; lead; pakchoi; black thin-layer soil