

石灰和泥炭配施对叶菜吸收 Cd 的阻控效应

王艳红, 李盟军, 唐明灯, 艾绍英*, 余丹妮

(农业部南方植物营养与肥料重点实验室, 广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广东省农业科学院农业资源与环境研究所, 广州 510640)

摘要:为寻求有效阻控污染土壤上叶菜对镉的吸收、实现叶菜安全生产的技术方法,采用盆栽试验比较研究了石灰与不同用量的泥炭配施对 Cd 污染土壤上 3 茬叶菜吸收累积 Cd 的影响,并分析了土壤 pH 值和 DTPA 提取态 Cd 含量的变化。结果表明:与不施改良剂对照相比,石灰与不同用量的泥炭配施对第 2 茬生菜和第 3 茬红苋菜的生长具有促进作用,使土壤 pH 值升高了 0.76~1.14 个单位,土壤 DTPA 提取态 Cd 含量降低了 7.55%~32.0%,叶菜地上部 Cd 含量降低了 35.5%~67.2%。与单施石灰处理相比,石灰泥炭配施效果进一步提升,土壤 pH 值提高了 0.04~0.32 个单位,第 2 茬土壤 DTPA 提取态 Cd 含量降低了 2.06%~20.6%,前两茬叶菜地上部 Cd 含量降低了 11.1%~24.6%。综合 3 茬结果,石灰、泥炭具有协同作用,两者配比为 1:5 时对 Cd 的阻控效果最好,且后效可持续到第 3 茬叶菜。因此,石灰泥炭合理配施可以作为降低中轻度污染土壤上叶菜 Cd 含量的有效措施之一。

关键词:石灰;泥炭;配施;叶菜;镉

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2013)12-2339-06 doi:10.11654/jaes.2013.12.005

Combined Application of Lime and Peat Reduced Cadmium Uptake by Leafy Vegetables

WANG Yan-hong, LI Meng-jun, TANG Ming-deng, AI Shao-ying*, YU Dan-ni

(Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer in South Region, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: So far there still lacks of effective means to reduce cadmium uptake by leafy vegetables from soils. A pot experiment was carried out to compare the effects of different doses of peat with lime application on shoot Cd concentrations in leafy vegetables. Changes in soil pH and DTPA-extractable cadmium contents were also determined. Compared with the control without soil amendment, lime application with different doses of peat promoted the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and red spinach (*Amarantus mangestrus* L.) for the second and the third cropping, increased soil pH by 0.76~1.14 units, and reduced the concentrations of available Cd in soils by 7.55%~32.0% and the shoot Cd concentrations in leafy vegetables by 35.5%~67.2%. Combined application of lime with peat enhanced soil pH by 0.04~0.32 units, and decreased soil DTPA extractable Cd by 2.06%~20.6% after the second crop, and shoot Cd concentrations in leafy vegetables by 11.1%~24.6% for the first two crops, as compared with lime alone. In summary, lime and peat exhibits synergistic effect, with the most effects at the ratio of 1:5 (lime:peat). Such effects of the treatment could last up to the third cropping. Therefore, applying lime and peat at a proper ratio is an effective measure to reduce shoot Cd contents in leaf vegetables in moderately contaminated soils.

Keywords: lime; peat; combined application; leafy vegetables; cadmium

近年来,随着城市化和工业化进程的加快,城市生活废弃物和工业“三废”排放日益增多,加之污泥、

农药、垃圾肥等的不合理施用,造成城郊菜地土壤重金属超标现象日趋严重^[1-2]。我国南方地区土壤 pH 值普遍偏低,重金属活性较高,以致 Cd 等重金属的潜在生态风险水平较高^[3-4]。城郊菜地往往以种植叶菜类为主,叶菜是最易受重金属污染且在体内大量积累的蔬菜类型,造成了叶菜镉超标现象最为突出^[5-6],严重影响叶菜的安全生产和蔬菜地的可持续安全利用。因

收稿日期:2013-04-26

基金项目:广东省农业攻关项目(2012A020100003);广东省社会发展项目(2012A030700010)

作者简介:王艳红(1975—),女,硕士,助理研究员。

E-mail: yanhongw@126.com

* 通信作者:艾绍英 E-mail: shaoyingai@21cn.com

此,如何通过有效的技术手段减少重金属在蔬菜中的吸收和富集,保障食品安全和农业的可持续发展,成为当前的研究热点^[7]。

许多研究表明,施用适宜的土壤改良剂能改变土壤重金属行为,降低重金属的水溶态和植物有效性,是实现重金属污染土壤安全利用的重要途径之一^[8]。Singh 等^[9]发现,不同浓度的污泥对重金属污染土壤中豇豆的生长、产量、营养价值及重金属积累均有影响,但单一改良剂对降低重金属的效果均不明显。王长伟等^[10]认为,海泡石与磷酸盐复合处理对土壤 Cd、Pb 复合污染的钝化修复效果优于单一海泡石处理。郭利敏等^[11-12]研究发现,单施石灰可显著降低土壤中有效态镉和小白菜体内镉含量,单施泥炭降低土壤有效态镉作用效果不显著,但显著降低小白菜体内镉含量。然而,在实际应用中,大量施用石灰可能会恶化土壤理化性质,而泥炭有机质含量高,具有明显改善土壤理化性质的作用。两者合理配施可消除重金属的毒害症状,显著促进小白菜的生长,抑制小白菜对重金属的吸收,达到既抑制作物对土壤重金属的吸收,又提高土壤肥力的效果^[13]。但上述研究只关注配施对当季效果,缺少后茬效果的观察。为了解石灰泥炭配施对降低土壤镉活性的后茬效果,为改良剂的配合施用并提高其修复效果提供新的思路,进行了连续 3 茬的盆栽试验,并对 3 茬结果进行了综合评价。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试植物:生菜(*Lactuca sativa* L.)和红苋菜(*Amaranthus mangestnus* L.),购自广州市天河区五山农科院种子市场。

供试土壤:广州市近郊菜地 Cd 污染土壤,其基本理化性质为:pH 值 6.20,有机质 22.2 g·kg⁻¹,碱解 N 160 mg·kg⁻¹,有效 P 131 mg·kg⁻¹,速效 K 129 mg·kg⁻¹,全 Cd 0.61 mg·kg⁻¹,DTPA-Cd 0.264 mg·kg⁻¹。

供试泥炭:购自新疆双龙腐植酸有限公司,其 pH 值 8.48,有机碳 424 g·kg⁻¹,全 Cd 0.046 mg·kg⁻¹。

供试石灰:购自广州建材市场,其 pH 值 9.76,全 Cd 未检出。

1.2 试验设计与实施

试验于 2012 年 4 月—8 月在广东省农业科学院农业资源与环境研究所网室内进行。试验设置石灰与不同用量的泥炭配施,配比分别为:4:5(4 g 石灰+5 g 泥炭,配比 1)、4:10(4 g 石灰+10 g 泥炭,配比 2)、4:15

(4 g 石灰+15 g 泥炭,配比 3)、4:20(4 g 石灰+20 g 泥炭,配比 4)、4:25(4 g 石灰+25 g 泥炭,配比 5),另设单施石灰 4.0 g 的处理及不施改良剂的对照^[12]。共 7 个处理,每个处理 4 次重复。

供试土壤分别与改良剂混匀后装盆,每盆装土 5.0 kg,浇水至田间最大持水量的 75%左右,平衡 1 d 后直播生菜种子。肥料用量为 N 0.20 g·kg⁻¹ 土、P₂O₅ 0.08 g·kg⁻¹ 土、K₂O 0.16 g·kg⁻¹ 土,分别以尿素、磷酸氢二铵和硫酸钾(均为农用化肥)施入。整个生育期追肥 3 次,先后按设计施用量的 30%、35%、35%溶于水后淋施浇施。每盆定苗 3 株,生长 45 d 后收获地上部和根部,先后用自来水、去离子水冲洗干净,擦干、称鲜重,打浆,混酸消解,测定其 Cd 含量。同时采集盆栽土壤,风干后过 20 目尼龙网筛,备用。然后每盆松土后种植第 2 茬生菜,生菜收获后种植第 3 茬红苋菜,施肥与管理同上。

1.3 分析与测定方法

叶菜地上部和根系 Cd 含量采用 HNO₃-HClO₄ (V:V=10:1)消解,原子吸收分光光度法进行测定,土壤有效态 Cd 含量用 DTPA 浸提-原子吸收分光光度法测定^[14],pH 值采用电位法(水土质量比=2.5:1)。

1.4 数据处理

采用 Excel 软件整理数据,利用 SAS 8.1 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理的 3 茬叶菜地上部生物量和 Cd 含量

各处理中,3 茬叶菜长势良好。多重比较结果表明,石灰泥炭配施较不施改良剂的对照及单施石灰处理对第 1 茬生菜地上部生物量影响不显著(表 1),增加了第 2 茬生菜地上部生物量,其中石灰泥炭配施处理较单施石灰处理增幅达 14.6%~22.2%,但差异未达到显著水平;石灰泥炭配施较单施石灰增加了第 3 茬红苋菜地上部生物量,以配比 3 处理最高,增幅达 20.8%,其余各处理间无显著差异。

与对照相比,改良剂的施用显著降低了 3 茬叶菜地上部 Cd 含量(表 1),而石灰泥炭配施较单施石灰进一步降低了两茬生菜地上部 Cd 含量,第 1 茬降幅达 11.1%~20%,以配比 1 和配比 2 处理降幅最大,第 2 茬降幅达 16.9%~24.6%,但各配施处理间差异不显著。第 3 茬红苋菜地上部 Cd 含量以配比 1 处理最低,配比 2 较单施石灰显著增加了红苋菜地上部 Cd 含量,其余各配施处理间差异不显著。可见,石灰泥炭

配施与单施石灰一样,对第 3 茬叶菜具有明显后效。

2.2 不同处理的 3 茬土壤 pH 值和 DTPA-Cd 含量

单施石灰及石灰泥炭配施对土壤 pH 值影响显著(表 2)。单施石灰及石灰泥炭配施处理土壤 pH 值较对照处理的土壤 pH 值显著增加,而石灰泥炭配施较单施石灰进一步提高了土壤 pH 值,且随着泥炭用量的增加土壤 pH 值呈增加趋势,第 1 茬增幅达 0.12~0.27 个单位,第 2 茬 0.11~0.32 个单位,第 3 茬 0.04~0.19 个单位,表明石灰泥炭配施较单独施用石灰更有利于提升土壤 pH 值。随着种植时间的延长,土壤 pH 值有下降趋势,但仍显著高于对照处理。

石灰泥炭配施对土壤 DTPA-Cd 含量影响显著(表 2)。对于第 1 茬生菜收获后的土壤,以单施石灰处理 DTPA-Cd 含量最低,石灰泥炭配施较单施石灰显著提高了第 1 茬土壤 DTPA-Cd 含量,但仍显著低于未施改良剂的对照处理;单施石灰及石灰泥炭配施均显著降低了第 2 茬和第 3 茬土壤 DTPA-Cd 含量,而石灰泥炭配施较单施石灰处理进一步降低了土壤 DTPA-Cd 含量,第 2 茬以配比 5 处理最低,较单施石

灰处理降低 20.6%,但与配比 4 处理间差异不显著;第 3 茬以配比 3 处理最低,较单施石灰处理降低 8.3%,但与配比 1、4、5 处理间无明显差异。

2.3 各指标间的相关性分析

对叶菜地上部鲜重、地上部 Cd 含量、石灰泥炭配比、土壤 pH 值、DTPA-Cd 含量之间进行相关性分析(表 3)。结果表明,第 1 茬生菜和第 3 茬红苋菜地上部 Cd 含量与地上部鲜重无显著相关性;第 2 茬生菜地上部 Cd 含量与地上部鲜重呈显著负相关(相关系数 $r=-0.431$, $P<0.05$)。3 茬叶菜地上部 Cd 含量与土壤 DTPA-Cd 含量呈显著正相关(3 茬相关系数分别为 0.420、0.824、0.830),与土壤 pH 值均呈极显著负相关(3 茬相关系数分别为 -0.716、-0.955、-0.892),而土壤 DTPA-Cd 含量与 pH 值呈显著负相关(3 茬相关系数分别为 -0.626、-0.860、-0.902),表明 3 茬叶菜地上部 Cd 含量的降低,主要原因是石灰泥炭配施显著提高土壤 pH 值、降低土壤 Cd 活性,进而降低植株地上部对 Cd 的吸收累积所致,与石灰泥炭配施引起叶菜地上部鲜重的增加关系不大。3 茬

表 1 石灰泥炭配施对叶菜地上部鲜重的影响

Table 1 Effects of combinations of lime and peat on fresh weight of leafy vegetables

处理	地上部鲜重/g·盆 ⁻¹			地上部 Cd 含量/mg·kg ⁻¹ FW		
	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬
对照	175±40a	182±9a	119±5ab	0.062±0.004a	0.107±0.007a	0.061±0.006a
单施石灰	159±16a	185±25a	106±4b	0.045±0.008b	0.065±0.002b	0.023±0.001c
配比 1	179±12a	224±39a	110±7ab	0.036±0.006c	0.054±0.002c	0.020±0.001d
配比 2	168±24a	217±37a	123±14ab	0.036±0.005c	0.053±0.005c	0.027±0.003b
配比 3	151±22a	217±36a	128±15a	0.038±0.007bc	0.054±0.004c	0.024±0.001c
配比 4	180±14a	212±33a	116±12ab	0.040±0.006bc	0.049±0.001c	0.024±0.003c
配比 5	174±14a	226±39a	113±12ab	0.038±0.009bc	0.049±0.004c	0.023±0.001cd

注:表中数据为 4 次重复平均值±标准差;同列数据后小写英文字母不同者表示经 LSD 法检验差异显著($P<0.05$)。表 2 同。

Note: Data in the table are means±SD (standard deviation) of four replicates; Values followed by different letters within the same column are significantly different according to LSD test at 0.05 level. The same in Table 2.

表 2 石灰泥炭配施对土壤 pH 值、DTPA-Cd 含量的影响

Table 2 Effects of combinations of lime and peat on soil pH and DTPA-Cd concentration

处理	pH 值			DTPA-Cd/mg·kg ⁻¹		
	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬	第 1 茬	第 2 茬	第 3 茬
对照	6.11±0.28c	5.66±0.12d	5.73±0.07b	0.265±0.007a	0.284±0.012a	0.262±0.007a
单施石灰	6.75±0.05bc	6.48±0.12c	6.65±0.21a	0.219±0.005d	0.243±0.009b	0.216±0.020b
配比 1	6.88±0.09ab	6.61±0.06bc	6.69±0.08a	0.227±0.002cd	0.238±0.006b	0.214±0.004bc
配比 2	6.89±0.09ab	6.62±0.08bc	6.73±0.13a	0.245±0.009b	0.233±0.010b	0.217±0.004b
配比 3	6.87±0.06ab	6.59±0.09c	6.84±0.15a	0.239±0.009b	0.231±0.009b	0.198±0.017c
配比 4	7.02±0.10a	6.74±0.07ab	6.84±0.08a	0.234±0.008bc	0.201±0.016c	0.208±0.005bc
配比 5	7.02±0.12a	6.80±0.12a	6.77±0.34a	0.239±0.009b	0.193±0.008c	0.211±0.015bc

表 3 叶菜地上部鲜重、地上部 Cd 含量、石灰泥炭配比、土壤 pH 值、DTPA-Cd 含量之间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis among fresh weight of leafy vegetables, shoot Cd concentrations, proportion of lime and peat, soil pH and soil DTPA-Cd concentrations

		地上部鲜重	地上部 Cd 含量	泥炭用量	pH 值	DTPA-Cd
第 1 茬	地上部鲜重	1.00	-0.058 4	0.071 4	0.064	0.025 3
	地上部 Cd 含量		1.00	-0.480**	-0.716***	0.420*
	泥炭用量			1.00	0.649***	-0.051 5
	pH 值				1.00	-0.626***
	DTPA-Cd					1.00
第 2 茬	地上部鲜重	1.00	-0.431*	0.423*	0.530**	-0.393*
	地上部 Cd 含量		1.00	-0.657***	-0.955**	0.824***
	泥炭用量			1.00	0.662***	-0.848***
	pH 值				1.00	-0.860*
	DTPA-Cd					1.00
第 3 茬	地上部鲜重	1.00	0.149	0.160	-0.110	0.135
	地上部 Cd 含量		1.00	-0.462*	-0.892***	0.830***
	泥炭用量			1.00	0.557**	-0.517**
	pH 值				1.00	-0.902***
	DTPA-Cd					1.00

注: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$ 。

Note: * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$.

叶菜地上部 Cd 含量与泥炭用量均呈显著负相关(3 茬相关系数分别为 -0.480、-0.657、-0.462), 表明在本试验用量范围内, 石灰泥炭配施时泥炭比例的增大有助于降低叶菜地上部 Cd 含量。第 1 茬土壤 DTPA-Cd 含量与泥炭用量无显著相关性, 第 2 茬和第 3 茬均呈显著负相关。土壤 pH 值与泥炭用量呈显著正相关(3 茬相关系数分别为 0.649、0.662、0.557), 表明石灰泥炭配施时, 泥炭用量所占比例越大, 土壤 pH 值越大, 土壤 DTPA-Cd 含量越低, 这也表明了石灰与泥炭配施时两者对提高土壤 pH 值和降低土壤 DTPA-Cd 含量表现为协同作用。

3 讨论

pH 值是影响土壤有效态重金属含量和植物吸收重金属的主要影响因素^[15]。施用石灰可显著提高土壤 pH 值, 增加土壤表面的可变电荷, 增强土壤对 Cd^{2+} 的吸附作用; 同时, 石灰的加入会促使重金属生成碳酸盐、氢氧化物沉淀, 降低重金属在土壤中的有效性和迁移能力^[16-17], 泥炭在一定程度上也可提高土壤 pH 值, 促进土壤镉的水解沉淀, 但泥炭中丰富的有机质、腐植酸等与镉形成有机结合物的能力强于 pH 值升高引起的土壤镉水解沉淀的能力^[12]。本研究结果显示, 在 Cd 污染土壤上, 石灰与不同用量的泥炭配施较单施石灰不同程度地提高了土壤 pH 值, 降低了土

壤有效态镉含量, 减少叶菜体内镉含量, 而且后效显著, 表明石灰与泥炭配合施用表现为明显的协同作用。陈晓婷等^[18]也认为, 石灰、石灰加低量泥炭、石灰加高量泥炭均显著抑制小白菜对重金属的吸收, 泥炭对石灰的效果没有负面影响。而詹绍军等^[19]则认为石灰与泥炭配合施用表现为正的交互作用, 会在一定程度上促进小麦对镉的吸收。产生上述差异的原因可能与土壤类型、石灰、泥炭用量等因素有关。

石灰泥炭配施与单施石灰处理相比不同程度地提高了第 2 茬生菜和第 3 茬红苋菜地上部鲜重, 表明石灰泥炭配施对提高叶菜生物量后效显著, 至少可以维持 3 茬后效。两者配施显著降低了 3 茬叶菜对镉的吸收, 若以 GB 2762—2012《食品中污染物限量标准》为依据^[20], 所有处理中 3 茬叶菜 Cd 含量均未超出标准中规定的限值 ($0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); 若以要求更高的 GB18406.1—2001《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求》为评价标准^[21], 未施改良剂处理的 3 茬叶菜地上部 Cd 含量均超过规定的限值 ($0.05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。但施用改良剂的各处理叶菜地上部 Cd 含量显著降低, 其中第 1 茬和第 3 茬中石灰泥炭配施处理及第 2 茬配比 4 和配比 5 处理的叶菜地上部 Cd 含量均低于该限值, 说明石灰泥炭配施降 Cd 后效显著, 但第 3 茬时降低叶菜地上部 Cd 含量的后效与单施石灰相当。邵乐等^[22]研究发现, 在酸性重金属复合污染土壤上, 石

灰后效的持续时间为一年半左右。本研究中单施石灰对第 3 茬红苋菜仍有显著的降 Cd 效果,而石灰泥炭配施处理的红苋菜地上部 Cd 含量与单施石灰处理相比总体上降 Cd 效果不显著,表明石灰泥炭配施的协同作用下降,两者配施有一定的后效期,要想保持较好的效果,在石灰泥炭配施 3 茬后继续配施才能使叶菜地上部 Cd 含量更低。

总体上看,石灰与不同用量的泥炭配施,均能较好地提升土壤 pH 值,降低土壤 Cd 活性,进而降低污染土壤上叶菜可食部分 Cd 含量,但不同配比之间存在一定的差异,以 3 茬叶菜的地上部鲜重、地上部 Cd 含量、土壤 pH 值、DTPA-Cd 含量等为评价指标,其中叶菜地上部鲜重、土壤 pH 值为极大型指标,叶菜地上部 Cd 含量、土壤 DTPA-Cd 含量为极小型指标,采用功效系数法将数据无量纲化,然后采用线性加权综合模型对不同配比的修复效果进行综合评价。各处理的排序结果为配比 4>配比 5>单施石灰>配比 3>配比 2>配比 1>对照,表明配比 4 效果最好,不施改良剂的处理最差。因此,石灰与泥炭配比为 4:20(即 1:5)时,对阻控叶菜吸收累积 Cd 的效果最好。

4 结论

(1)与单施石灰相比,石灰与不同用量的泥炭配施对生菜和红苋菜的生长具有促进作用。

(2)石灰泥炭配施显著降低叶菜地上部 Cd 含量,对前两茬叶菜的降 Cd 效果优于单施石灰处理,对第 3 茬红苋菜也有一定的后效,但与单施石灰总体上差异不大。

(3)石灰泥炭配施可升高土壤 pH 值,降低土壤 DTPA 提取态 Cd 含量,效果可持续到第 3 茬叶菜。

(4)石灰、泥炭具有协同作用,两者配比为 1:5 且用量分别为 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,对叶菜吸收 Cd 的阻控效果最好。

参考文献:

- [1] 王守经,胡 鹏,杜方岭.我国城郊地区农用地重金属污染与农产品质量安全[J].中国食物与营养,2010,7:8-10.
WANG Shou-jing, HU Peng, DU Fang-ling. Heavy metal pollution of farmland in suburbs in China and its quality security of agro-products [J]. *Food and Nutrition in China*, 2010, 7:8-10.
- [2] 席晋峰,俞杏珍,周立祥,等.不同地区城郊用地土壤重金属含量特征比较[J].土壤,2011,43(5):769-775.
XI Jin-feng, YU Xing-zhen, ZHOU Li-xiang, et al. Comparison of soil heavy metal pollution in suburb fields of different regions[J]. *Soil*, 2011,

- 43(5):769-775
- [3] 柴世伟,温琰茂,韦献革,等.珠江三角洲主要城市郊区农业土壤的重金属含量特征[J].中山大学学报(自然科学版),2004,43(4):90-94.
CHAI Shi-wei, WEN Yan-mao, WEI Xian-ge, et al. Heavy metal content characteristics of agricultural soils in the Pearl River Delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43(4):90-94.
- [4] 袁 波,傅瓦利,蓝家程,等.菜地土壤铅、镉有效态与生物有效性研究[J].水土保持学报,2011,25(5):130-134.
YUAN Bo, FU Wa-li, LAN Jia-cheng, et al. Study on the available and bioavailability of lead and cadmium in soil of vegetable plantation[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5):130-134.
- [5] 袁思平,孙绣华,纪爱民,等.我国部分大中城市蔬菜中重金属污染状况分析[J].安徽农业科学,2013,41(1):247-248,251.
YUAN Si-ping, SUN Xiu-hua, JI Ai-min, et al. Analysis on heavy metal pollution in vegetables of big and middle city in China[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2013, 41(1):247-248, 251
- [6] 杨国义,罗 薇,高家俊,等.广东省典型区域蔬菜重金属含量特征与污染评价[J].土壤通报,2008,39(1):133-136.
YANG Guo-yi, LUO Wei, GAO Jia-jun, et al. Heavy metal contents and pollution evaluation in vegetables in Guangdong Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1):133-136.
- [7] 刘维涛,周启星.不同土壤改良剂及其组合对降低大白菜镉和铅含量的作用[J].环境科学学报,2010,30(9):1846-1853.
LIU Wei-tao, ZHOU Qi-xing. Effectiveness of different soil ameliorants in reducing concentrations of Cd and Pb in Chinese cabbage[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(9):1846-1853.
- [8] Kumpiene J, Lagerkvist A, Maurice C. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments: A review[J]. *Waste Management*, 2008, 28:215-225.
- [9] Singh R P, Agrawal M. Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop; Metal uptake by plant[J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(7):969-972.
- [10] 王长伟,徐应明,王 林,等.海泡石与磷酸盐对镉铅复合污染土壤的钝化修复效应[J].安全与环境学报,2010,10(4):42-45.
WANG Chang-wei, XU Ying-ming, WANG Lin, et al. Amendment effects of cadmium and lead to the co-contaminated soils through sepiolite and phosphate[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2010, 10(4):42-45.
- [11] 郭利敏,艾绍英,唐明灯,等.不同改良剂对镉污染土壤中小白菜吸收镉的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(3):654-658.
GUO Li-min, AI Shao-ying, TANG Ming-deng, et al. Effect of amendment on Cd uptake by *Brassica chinensis* in Cd-contaminated soils[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3):654-658.
- [12] 郭利敏,艾绍英,唐明灯,等.不同改良剂对土壤-叶菜系统 Cd 迁移累积的调控作用[J].农业环境科学学报,2010,29(8):1520-1525.
GUO Li-min, AI Shao-ying, TANG Ming-deng, et al. Effect of different amendments on translocation and accumulation of cadmium in the soil-*Brassica chinensis* system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(8):1520-1525.
- [13] 陈晓婷,王 果,张亭旗,等.石灰与泥炭配施对重金属污染土壤上

- 小白菜生长和营养元素吸收的影响[J]. 农业环境保护, 2002, 21(5): 453-455.
- CHEN Xiao-ting, WANG Guo, ZHANG Ting-qi, et al. Incorporation of lime with peat on growth and nutrient elements uptake of pakchoi (*Brassica chinensis*) grown in heavy metal contaminated soil[J]. *Agro-environmental Protection*, 2002, 1(5): 453-455.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- LU Ru-kun. Analysis of soil and agro-chemicals[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [15] Eriksson J E. The influence of pH, soil type and time on adsorption and uptake by plants of Cd added to the soil[J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 1989, 48(3-4): 317-335.
- [16] 曹心德, 魏晓欣, 代革联, 等. 土壤重金属复合污染及其化学钝化修复技术研究进展[J]. 环境工程学报, 2011, 5(7): 1441-1453.
- CAO Xin-de, WEI Xiao-xin, DAI Ge-lian, et al. Combined pollution of multiple heavy metals and their chemical immobilization in contaminated soils: A review[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2011, 5(7): 1441-1453.
- [17] 汤 民, 张进忠, 张 丹, 等. 土壤改良剂及其组合原位钝化果园土壤中的 Pb、Cd[J]. 环境科学, 2012, 33(10): 3569-3576.
- TANG Min, ZHANG Jin-zhong, ZHANG Dan, et al. In situ immobilization of Pb and Cd in orchard soil using soil ameliorants[J]. *Environmental Science*, 2012, 33(10): 3569-3576.
- [18] 陈晓婷, 王 果, 梁林洲, 等. 石灰与泥炭配施抑制小白菜对重金属的吸收[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2002, 31(3): 392-396.
- CHEN Xiao-ting, WANG Guo, LIANG Lin-zhou, et al. Effect of lime with peat addition on heavy metal uptake by pakchoi[J]. *Journal of Fujian Agricultural University(Natural Science)*, 2002, 31(3): 392-396.
- [19] 詹绍军, 喻 华, 冯文强, 等. 不同有机物料与石灰对小麦吸收镉的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 214-217, 231.
- ZHAN Shao-jun, YU Hua, FENG Wen-qiang, et al. Effects of different organic material and lime on wheat grow and cadmium uptake[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(2): 214-217, 231.
- [20] GB2762—2012, 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- GB2762—2012, Maximum permeable levels of contaminants in foods [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [21] GB18406. 1—2001, 农产品安全质量 无公害蔬菜安全要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- GB18406. 1—2001, Safety qualification for agricultural product: Safety requirements for pollution-free vegetables[S]. Beijing: Standards Press of China, 2001.
- [22] 邵 乐, 郭晓方, 史学峰, 等. 石灰及其后效对玉米吸收重金属影响的田间实例研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10): 1986-1991.
- SHAO Le, GUO Xiao-fang, SHI Xue-feng, et al. Effect of lime on heavy metals uptake by *Zea mays* and the persistence of the liming effect[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(10): 1986-1991.