

汞镉铅复合污染菜地施用石灰对菜心及土壤的影响

赵小虎^{1,3}, 王富华^{1,3}, 张冲^{1,3}, 刘文清², 王纪阳², 刘洪标¹, 宋启道¹, 赵沛华¹

(1. 农业部蔬菜水果质量监督检验测试中心(广州), 广东 广州 510640; 2. 东莞市农业检验检测所, 广东 东莞 523007; 3. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 采用盆栽实验研究了在汞镉铅三级水平复合污染的菜地上施用不同量 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (石灰) 对菜心生长、生理及品质的影响, 同时探讨了汞镉铅在菜心中的富集量及土壤中有效态汞镉铅含量。结果表明, 适量施用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (使得土壤 pH 约为 6.45 左右) 能明显降低重金属对菜心的毒害, 促进菜心较好的生长, 生物量较对照明显提高, 品质也明显优于对照; 但当 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 施用过量致使土壤呈现强碱性时这种效果并不明显甚至有不及对照的趋势; 而汞镉铅在菜心中的富集量以及土壤中有效态汞镉铅含量则随 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 施用量的增加而降低。

关键词: 汞; 镉; 铅; $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 菜心; 土壤; 影响

中图分类号: X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)02-0488-05

Effects of Limestone on *Brassica chinensis* L. and Soil in Vegetable Field Compound Contaminated by Hydrargyrum, Cadmium, Plumbum

ZHAO Xiao-hu^{1,3}, WANG Fu-hua^{1,3}, ZHANG Chong^{1,3}, LIU Wen-qing², WANG Ji-yang², LIU Hong-biao¹, SONG Qi-dao¹, ZHAO Pei-hua¹
(1. Supervision and Testing Center for Vegetable and Fruit Quality Ministry of Agriculture (Guangzhou), Guangzhou 510640, China; 2. Dongguan Agricultural Test and Supervise Institution, Dongguan 523007, China; 3. College of Resources & Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Series of pot experiments were performed to determine the effects of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (limestone) on the growth, the physiology and the quality of *Brassica chinensis* L. in the vegetable field compound contaminated by Hg, Cd, Pb. The accumulation of hydrargyrum (Hg), cadmium (Cd), plumbum (Pb) in *Brassica chinensis* L. and the bio-available content of Hg, Cd, Pb in soil were also analyzed. The results showed that the application of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (made the pH about 6.45) significantly increased soil pH value, reduced the toxicity of the heavy metals and promoted the yield and quality of *Brassica chinensis* L.. But over use of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (made the soil pH > 7) did not reach this effect, even worse than CK. As more $\text{Ca}(\text{OH})_2$ used, the soil pH increased, the contents of Hg, Cd, Pb in *Brassica chinensis* L. and the contents of available Hg, Cd, Pb in soil reduced. Considering the growth, physiology, yield and quality of *Brassica chinensis* L., the accumulation of Hg, Cd, Pb in *Brassica chinensis* L. and the contents of available Hg, Cd, Pb in soil, the best amending effect of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ was to make the pH about 6.45 in the acidity land compound contaminated by Hg, Cd, Pb.

Keywords: Hg; Cd; Pb; $\text{Ca}(\text{OH})_2$; *Brassica chinensis* L.; soil; effect

近年来,随着工业的发展和矿产资源的大规模开发,生态环境尤其是农田受到重金属的污染越来越严重^[1],且土壤重金属污染通常是两种或两种以上元素形成的复合污染^[2]。重金属进入土壤不仅对蔬菜的产量及品质造成影响,而且通过生物积累和食物链传递

对人类健康构成极大威胁^[3]。重金属在蔬菜中的残留已成为蔬菜食用安全的一个重要影响因子,国内外众多学者探索了降低重金属污染菜地蔬菜中重金属残留量的改良措施,但大多改良措施针对的只是单一重金属或只是为降低重金属在蔬菜中的残留而进行的^[4]。然而很多改良措施在降低重金属残留的同时也改变了蔬菜的品质、生长、生理等。笔者认为有必要综合考虑选择最佳的改良剂。

本研究选用南方工业较发达地区东莞典型菜地

收稿日期: 2007-06-29

基金项目: 东莞市科研发展专项基金项目(2005D038)

作者简介: 赵小虎(1983—),男,硕士研究生,研究方向为营养与农产品质量安全。E-mail: zhx830827@126.com

通讯作者: 王富华 E-mail: wfhws@163.com

土壤为试验土壤,以本地区污染相对严重的 3 种重金属汞镉铅为研究对象,探索了汞镉铅复合污染土壤中施用石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)对菜心及土壤的调控作用,为其他学者寻找理想的土壤改良剂提供可参考的依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤取自东莞市企石镇,为典型的赤红壤,其基本理化性质见表 1;改良剂为分析纯 $\text{Ca}(\text{OH})_2$;试验蔬菜为菜心。

1.2 盆栽试验设置

取菜地耕作层土壤自然风干后磨碎过 5 mm 筛,将土壤分装入塑料盆,每盆 5 kg,盆的规格为:直径 35.5 cm,深 12 cm。并分别向每盆添加汞镉铅混合溶液: HgCl_2 1.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土、 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 1.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土,人工培养成三级污染土壤。定期向每盆中加入基本等量的自来水(已分析测定未检出重金属),保持土壤水分含量为田间持水量的 60%左右,平衡培养 20 d 后,向每个盆中加入等量的肥料:2.17 g 尿素、0.77 g NaH_2PO_4 、1.02 g K_2SO_4 ,并按 5 个水平添加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 添加量分别为:0、1、3、7、10 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土(分别以 CK、L₁、L₂、L₃、L₄ 表示),各水平设 3 次重复。继续浇水平衡 3 d 后播种。适时浇水,稳定后测得各处理 pH 分别为:4.73、5.10、6.45、7.72、8.10。每盆播种 25 粒,待幼苗生长稳定后间苗,每盆留 10 株。分两次采收,分别于苗期和末收期采集叶片测定生理指标;播种 40 d 后选择每盆中较大的 5 株初收,一周后采收剩余的 5 株,末收时取土壤样品测定其有效态汞、镉、铅含量。

1.3 样品的测定分析

分别记录各时期菜心的外观、初收和末收菜心的生物量(5 株总重)、单株叶片数、株高、茎高、茎切口直径、最大表观叶面积等生长指标(其中表观叶面积=叶长×叶宽,测定每株中最大的叶片);测定苗期和末收期叶片的叶绿素含量和游离氨基酸含量。叶绿素含量的测定采用乙醇提取分光光度法,游离氨基酸含量的测定采用茚三酮溶液显色分光光度法^[5]。

菜心采收后先用自来水冲洗,然后用去离子水清

洗,制成匀浆,分别测定两次采收菜心的亚硝酸盐、硝酸盐、可溶性固形物含量,依 GB/T15401-1994 磺胺-1-萘胺比色法测定亚硝酸盐、硝酸盐,旋光仪法测定可溶性固形物含量。蔬菜汞采用原子荧光分光光度法测定,参照 GB/T 5009.17-2003;蔬菜镉、铅采用等离子体发射光谱法(ICP)测定,参照 GB/T 5009.15-2003、GB/T 5009.12-2003。

土样室内晾干后磨细过 20 目筛,采用 0.1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸浸提,土液比为 1:10,250 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 振荡 120 min,过滤,取滤液添加 3% HNO_3 、5% $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$,石墨炉原子吸收法测定铅、镉;采用 1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4Ac 浸提,土液比为 1:10,250 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 振荡 120 min,过滤,取滤液用硼氢化钾作还原剂、硝酸作载流原子荧光法测定汞^[6,7]。

试验结果为 3 次重复的平均值,测定结果采用 Excel 和 DPS3.01 中文数据统计软件进行方差分析和多重比较。

2 结果与讨论

2.1 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 对菜心表现的影响

从外观来看,苗期各处理菜心的叶色等并无明显差异,仅 CK 和 L₄ 略显矮小;收获期(无论是初收还是末收)CK 和 L₄ 均明显矮小且茎明显纤细,叶片小且少,其次是 L₃;L₁、L₂ 明显高大粗壮、叶大而茂;CK 叶片深绿,叶缘微黄而内卷、皱缩,表现为明显的毒害症状;L₄ 叶片略显嫩绿发黄,L₃ 次之,但 L₃、L₄ 叶形正常;L₁、L₂ 叶片翠绿且生长正常。

2.2 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 对菜心生理的影响

由表 2、3 可知,无论苗期还是收获期,随着 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 施用量的增加,叶绿素 a、a/b 均先增后减,而叶绿素 b、游离氨基酸则先减后增;叶绿素总量并无明显的增减趋势,但可看出 CK 和 L₂ 较高,其次是 L₁、L₃、L₄ 明显较低。综合表明:汞镉铅复合污染促进了叶绿素 b 和总量的合成,也促进了叶片组织蛋白质的分解,游离氨基酸总量的增加; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的施用能够在一定程度上促进叶绿素 a 的合成,使得叶绿素 a/b 增加,抑制游离氨基酸的形成,但这种效果仅在一定的浓度范围内有效,过量施用反而抑制了叶绿素 a 的合成,降

表 1 供试土壤的基本理化性质和重金属含量

Table 1 Physical and chemical properties and the contents of heavy metals in the tested soil

pH	有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	重金属全量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$			有效态重金属含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		
					铅	镉	汞	铅	镉	汞
4.72	17.89	91.72	79.94	8.71	105.16	0.378	0.313	10.27	0.064	0.001

表 2 苗期 Ca(OH)₂ 对菜心叶绿素和游离氨基酸含量的影响

Table 2 Effect of Ca(OH)₂ on the content of chlorophyll and FAA of *Brassica chinensis* L. at seedling stage

处理	叶绿素含量				游离氨基酸/mg · g ⁻¹
	叶绿素 a/mg · g ⁻¹	叶绿素 b/mg · g ⁻¹	叶绿素 a/b	叶绿素总量/mg · g ⁻¹	
CK	0.93±0.08Bb	0.32±0.01Bb	2.98±0.12Cc	1.26±0.10Aa	1.40±0.02Aa
L ₁	0.95±0.05ABb	0.22±0.01Cd	4.31±0.23Bb	1.17±0.06Ab	0.69±0.04Bb
L ₂	1.06±0.03Aa	0.20±0.01Cd	5.41±0.28Aa	1.25±0.04Aab	0.34±0.02Cc
L ₃	0.74±0.02Cc	0.29±0.01Bc	2.63±0.09CDc	1.03±0.03Bc	0.41±0.02Cc
L ₄	0.80±0.03Cc	0.38±0.01Aa	2.14±0.15Dd	1.18±0.02Aab	1.38±0.07Aa

注: (平均值±标准差)同一列同一组中不同大写字母表示在 $P<0.01$ 水平上差异极显著;不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。下同。

表 3 收获期 Ca(OH)₂ 对菜心叶绿素和游离氨基酸含量的影响

Table 3 Effect of Ca(OH)₂ on the content of chlorophyll and FAA of *Brassica chinensis* L. at harvest

处理	叶绿素含量				游离氨基酸 /mg · g ⁻¹
	叶绿素 a/mg · g ⁻¹	叶绿素 b/mg · g ⁻¹	叶绿素 a/b	叶绿素总量/mg · g ⁻¹	
CK	1.07±0.06BCb	0.46±0.04Aa	2.30±0.13Cd	1.54±0.09ABab	0.66±0.06Aa
L ₁	1.18±0.05ABb	0.22±0.02Bc	5.44±0.33Ab	1.39±0.06ABbc	0.47±0.02Bb
L ₂	1.36±0.10Aa	0.22±0.02Bc	6.09±0.35Aa	1.59±0.11Aa	0.32±0.01Cc
L ₃	1.04±0.08BCb	0.29±0.02Bb	3.66±0.17Bc	1.33±0.10Bc	0.32±0.03Cc
L ₄	0.88±0.02Cc	0.42±0.03Aa	2.11±0.14Cd	1.29±0.03Bc	0.46±0.02Bb

表 4 初收 Ca(OH)₂ 对菜心生长的影响

Table 4 Effect of Ca(OH)₂ on the growth of of *Brassica chinensis* L. at the first harvest

处理	稳定后土壤 pH	5 株总重/g	单株叶片数/片	株高/cm	最大表观叶面积/cm ²	单株茎高/cm	茎切口直径/mm
CK	4.73	38.22±1.04Cc	5.67±0.58Bb	22.49±2.17Bb	31.44±1.22Cd	20.07±0.45Ab	6.11±0.19Cc
L ₁	5.10	112.70±6.03Aa	7.67±0.58Aa	25.32±1.49 ABa	73.78±8.70Aa	22.42±1.94Aab	9.45±0.69Aa
L ₂	6.45	126.80±15.24Aa	8.00±0.00Aa	26.44±0.10Aa	79.57±2.60Aa	23.90±0.25Aa	9.56±0.51Aa
L ₃	7.72	69.17±4.51Bb	5.67±0.58Bb	26.80±0.92Aa	53.56±1.45Bb	24.52±2.24Aa	7.45±0.39Bb
L ₄	8.10	32.61±3.05Cc	5.00±0.00Bb	17.09±1.57Cc	44.11±1.71Bc	12.30±2.17Bc	5.78±0.19Cc

表 5 末收 Ca(OH)₂ 对菜心生长的影响

Table 5 Effect of Ca(OH)₂ on the growth of of *Brassica chinensis* L. at the last harvest

处理	稳定后土壤 pH	5 株总重/g	单株叶片数/片	株高/cm	最大表观叶面积/cm ²	单株茎高/cm	茎切口直径/mm
CK	4.73	24.85±1.50Dd	5.33±0.58Bb	18.49±2.17Ab	26.08±0.84Ee	16.06±0.15Bc	4.34±0.19Cc
L ₁	5.10	82.75±7.33Bb	7.33±0.58Aa	22.32±3.20Aa	63.07±5.00Bb	18.91±1.48ABb	7.66±0.58Aa
L ₂	6.45	100.57±2.63Aa	7.33±0.58Aa	22.01±0.70Aa	70.08±0.50Aa	19.92±0.18Aab	7.56±0.30Aa
L ₃	7.72	51.29±11.16Cc	5.00±0.00Bbc	18.16±1.06Ab	47.97±1.82Cc	20.95±1.70Aa	5.89±0.19Bb
L ₄	8.10	27.16±0.42Dd	4.33±0.58Bc	13.33±0.67Bc	38.83±0.94Dd	10.90±0.92Cd	4.16±0.25Cc

表 6 初收、末收 Ca(OH)₂ 对菜心品质的影响

Table 6 Effect of Ca(OH)₂ on the quality of of *Brassica chinensis* L. at the first and last harvest

处理	稳定后土壤 pH	初收			末收		
		硝酸盐含量(以硝酸钠计/mg · kg ⁻¹)	亚硝酸盐含量(以亚硝酸钠计/mg · kg ⁻¹)	可溶性固形物含量/%	硝酸盐含量(以硝酸钠计/mg · kg ⁻¹)	亚硝酸盐含量(以亚硝酸钠计/mg · kg ⁻¹)	可溶性固形物含量/%
CK	4.73	2 450.76±53.14Aa	1.21±0.07Aa	2.93±0.12Bcd	2 327.48±30.14Aa	1.28±0.05Aa	3.07±0.15Bc
L ₁	5.10	2 114.52±38.09ABbc	1.11±0.04Aabc	3.93±0.15Aa	1 989.24±33.51CDc	1.19±0.07ABab	4.07±0.15Aa
L ₂	6.45	1 909.74±19.80Bc	0.99±0.04Ac	3.67±0.12Ab	1 875.12±35.06Dd	1.07±0.05Bbc	3.70±0.10Ab
L ₃	7.72	2 181.64±240.57ABb	1.00±0.18Abc	3.13±0.15Bc	2 049.41±73.06BCc	1.02±0.08Bc	3.23±0.15Bc
L ₄	8.10	2 307.19±146.00Aab	1.18±0.07Aab	2.80±0.17Bd	2 181.74±57.39ABb	1.18±0.08ABab	3.10±0.10Bc

表 7 初收、末收菜心重金属含量及土壤有效态重金属含量

Table 7 The content of heavy metal in *Brassica chinensis* L. and the available heavy metal in soil at harvest

元素	处理	稳定后土壤 pH	菜心中全量重金属含量/mg · kg ⁻¹ 鲜重		土壤中有有效态重金属含量/mg · kg ⁻¹
			初收	末收	
汞	CK	4.73	0.002 7±0.000 3Aa	0.003 0±0.000 5Aa	0.068 3±0.011 5Aa
	L ₁	5.10	0.002 4±0.000 2ABab	0.002 5±0.000 4Aab	0.063 3±0.016 1Aab
	L ₂	6.45	0.002 5±0.000 5ABab	0.002 4±0.000 5Aab	0.058 3±0.017 6Aab
	L ₃	7.72	0.002 1±0.000 2Bbc	0.002 1±0.000 3Ab	0.053 3±0.007 6Aab
	L ₄	8.10	0.001 9±0.000 2Bc	0.002 0±0.000 3Ab	0.046 7±0.002 9Ab
铅	CK	4.73	0.21±0.01Aa	0.23±0.03Aa	557.74±32.83Aa
	L ₁	5.10	0.19±0.03ABab	0.20±0.04ABab	523.63±51.11ABab
	L ₂	6.45	0.19±0.02ABab	0.19±0.01ABabc	497.05±17.06ABabc
	L ₃	7.72	0.15±0.04ABbc	0.16±0.03ABbc	475.01±46.90ABbc
	L ₄	8.10	0.13±0.03Bc	0.14±0.03Bc	425.01±29.30Bc
镉	CK	4.73	0.13±0.01Aa	0.14±0.02Aa	0.90±0.02Aa
	L ₁	5.10	0.11±0.01ABb	0.11±0.02ABb	0.88±0.06ABa
	L ₂	6.45	0.10±0.01ABb	0.10±0.01ABbc	0.84±0.08ABab
	L ₃	7.72	0.11±0.01ABb	0.11±0.01Bb	0.77±0.05BCbc
	L ₄	8.10	0.08±0.02Bc	0.08±0.02Bc	0.69±0.07Cc

低了叶绿素 a/b,促进了游离氨基酸的形成。

2.3 Ca(OH)₂ 对菜心生长的影响

表 4、表 5 可知,无论初收还是末收,随着 Ca(OH)₂ 施用量的增加,生物量(5 株总重)、单株叶片数、株高、茎高、茎切口直径、最大表观叶面积等生长指标均表现为先增后减; L₁、L₂ 各项均比较接近且明显高于 CK,单从生物量(5 株总重)来看, L₂ 约为 CK 的 4 倍左右,而当 Ca(OH)₂ 施用量在 L₃ 水平时,虽较 CK 仍有所提高,但菜心的生长状况不及 L₁、L₂,且差异达显著水平。表明:当 Ca(OH)₂ 施用量控制在 L₁、L₂ 两个水平时,能明显促进菜心的生长,其中 L₂ 最佳,过量效果较差甚至抑制生长。

2.4 Ca(OH)₂ 对菜心品质的影响

由表 6 分析可知,无论初收还是末收,随着 Ca(OH)₂ 施用量的增加,菜心硝酸盐和亚硝酸盐含量先减少然后增加,其中 L₂ 两者含量均最低,初收、末收 L₂ 硝酸盐含量较 CK 分别降低 28.33%、19.44%,亚硝酸盐含量较对照分别降低 46.28%、39.84%,而 L₃、L₄ 两者含量均较高, L₄ 甚至高过对照,因此认为适量施用 Ca(OH)₂ 可降低菜心硝酸盐、亚硝酸盐含量,但过量并未达到降低的效果,甚至有上升之势;菜心可溶性固形物含量呈先上升后下降的趋势,其中 L₁ 含量最高,初收、末收 L₁ 可溶性固形物含量较 CK 分别降低 34.13%、32.57%,当施用量为 L₄ 时可溶性固形物含量与 CK 相当或有下降之势。综合考虑 Ca(OH)₂ 的施用对菜心品质的影响,应选择施用量为 L₁、L₂,更

侧向于选择 L₂,过量施用并不能明显改良菜心的品质,甚至有降低的趋势。

2.5 Ca(OH)₂ 对菜心汞镉铅含量及土壤有效态汞镉铅含量的影响

由表 7 可知,初收末收基本一致表现为菜心中汞、镉、铅含量随 Ca(OH)₂ 施用量的增加而降低,汞、镉、铅的最大降幅分别为 29.63%、57.27%、39.13%;土壤中有有效态重金属含量也基本表现为随 Ca(OH)₂ 施用量的增加而降低,汞、镉、铅 3 种元素有效态含量的最大降幅分别为 31.63%、23.33%、23.80%;得到以上结果可能是因为一方面 Ca(OH)₂ 的加入提高了土壤 pH,镉等的溶解度降低,增加了土壤表面可变负电荷而增加对金属离子的吸附,或是使重金属离子生成沉淀,如 Cd²⁺水解成 Cd(OH)⁺,同时生成 CdCO₃ 沉淀^[8];另一方面,Ca(OH)₂ 的施用带入了大量的钙离子,弥补了南方土壤中钙离子的不足,钙离子与铅等金属离子之间存在离子拮抗作用,降低了其生物有效性,这一点与陈宏等的研究结果基本一致^[8-10];综合来看,当 Ca(OH)₂ 的施用量达 L₂ 水平时,可有效降低菜心中汞、镉、铅的含量,同时可降低土壤中有有效态汞、镉、铅的含量;从表 7 的数据还可看出,外源汞在土壤中易于被吸附,有效态含量较低,而外源铅、镉在土壤中的有效态含量较高。

3 结论

(1) 适量施用 Ca(OH)₂ 能够显著或极显著减小汞

镉铅复合污染对菜心的毒害,包括减小生物量、株高、最大表观叶面积、茎高、茎切口直径等;改良菜心品质,降低硝酸盐和亚硝酸盐含量,增加可溶性固形物含量;降低了汞镉铅对菜心生理的破坏,虽未能明显增加叶绿素总量,甚至有降低的趋势,但极显著地增加了叶绿素 a 的含量,增大了叶绿素 a/b,同时减少了叶片组织中游离氨基酸含量,降低汞镉铅对叶片细胞的破坏,因此保证了菜心正常的生长。这种改良效果在适量的范围内有效,当 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的施入使得土壤 pH 为 6.45 时,效果最为明显,至 pH7.72 时效果开始降低,pH8.10 时几乎没有改良效果,甚至开始破坏菜心叶片组织生理,抑制生长,降低品质等,因此在汞镉铅复合污染土壤中并不能过量施用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

(2)单从降低菜心中汞镉铅总量以及降低土壤中有效态汞镉铅含量来看, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的施用量越多越有利。

(3)综合考虑菜心的生长、品质、汞镉铅含量及土壤中有效态汞镉铅含量等因素,依结论(1)、(2)及表 4~7,建议在汞镉铅复合污染达三级水平的酸性土壤菜地,施用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 调节 pH 至 6.45 左右为宜。

参考文献:

- [1] 李其林,何九江,刘光德,等.菜地土壤和蔬菜中几种重金属的分布特性[J].矿物学报,2004,24(4):373-377.
LI Qi-lin, HE Jiu-jiang, LIU Guang-de, et al. Study on the distribution rules of heavy metals in soil and vegetables on vegetable farms[J]. *Acta Mineralogical Sinica*, 2004, 24(4):373-377.
- [2] 林大松,徐应明,孙国红,等.土壤重金属污染复合效应对小白菜生长及重金属积累的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(增刊):72-75.
LIN Da-song, XU Ying-ming, SUN Guo-hong, et al. Combined Effects and Bioaccumulation of Heavy Metals in Pakchoi Grown in Polluted Soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006,25(增刊):72-75.
- [3] Yujiang Cui, Yong-Guan Zhu, Rihong Zhai, et al. Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning, China[J]. *Environment International*, 2005, 31: 784-790.
- [4] 肖振林,李 延.几种改良剂对蔬菜镉吸收的影响[J].闽西职业大学学报,2003,11(4):64-66.
XIAO Zheng-lin, LI Yan. Effects of amendments on absorption of Cadmium in vegetables[J]. *Journal of MinXi Vocational College*, 2003,11(4): 64-66.
- [5] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
LI He-sheng. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [6] 徐亚平,刘凤枝,蔡彦明,等.土壤中铅镉有效态提取剂的选择[J].农业环境与发展,2005,04:46-48.
XU Ya-ping, LIU Feng-zhi, CAI Yan-ming, et al. The choice on extractants of soil available Cd, Pb [J]. *Agro-Environment and Development*, 2005,04:46-48.
- [7] 尹 君,刘文菊,谢建治,等.土壤中有效态镉、汞浸提剂和浸提条件研究[J].河北农业大学学报,2000,23(2):25-28.
YIN Jun, LIU Wen-ju, XIE Jian-zhi et al. The study on extraction conditions and extractants of soil available Cd, Hg[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2000,23(2):25-28.
- [8] 廖 敏,黄昌勇,谢正苗.施加石灰降低不同母质土壤中镉毒性机理研究[J].农业环境保护,1998,17(3):101-103.
LIAO Ming, HUANG Chang-yong, XIE Zheng-miao. Research on the Mechanism of using Limestone to Reduce Cd Toxicity in Different Parent Materials[J]. *Agro-Environment Protection*, 1998,17(3):101-103.
- [9] 陈 宏,陈玉成,杨学春.石灰对土壤中 Hg Cd Pb 的植物可利用性的调控研究[J].农业环境科学学报,2003, 22(5):549-552.
CHEN Hong, CHEN Yu-cheng, YANG Xue-chun. Regulation of Phyto-Availability of Hg, Cd, Pb in Soil by Limestone[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003,22(5):549-552.
- [10] 陈 宏,陈玉成,杨学春.化学添加剂对重金属在植物体内分配的影响研究[J].农业环境科学学报,2004, 23(2):288-291.
CHEN Hong, CHEN Yu-cheng, YANG Xue-chun. Effects of Chemical Additives upon the Distribution of Heavy Metals in Plants[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(2):288-291.