

镉胁迫下 2 种钾肥对油麦菜品质及土壤的影响

王艳红, 李盟军, 艾绍英, 姚建武, 余丹妮

(广东省农业科学院 土壤肥料研究所, 广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:采用盆栽试验,研究了 Cd 胁迫下不同用量的 K_2SO_4 和 KCl 对油麦菜 *Lactuca sativa* L. 品质及土壤的影响. 结果表明: Cd 胁迫下, 适量的 K_2SO_4 可提高油麦菜产量, 降低可食部分 Cd 含量, 同时油麦菜的硝酸盐含量显著增加, 营养品质有所降低; 而 KCl 则表现出相反的趋势. 随着钾用量水平的提高, K_2SO_4 和 KCl 均提高了土壤速效 K 含量, K_2SO_4 对碱解 N 和有效 P 含量影响不显著; 在施钾 (K_2O) 水平为 400 mg/kg 时, 2 种钾肥处理的土壤 pH 较不施钾处理有显著降低, 土壤 DTPA-Cd 含量则明显增加. 总体上看, 在降低油麦菜可食部分 Cd 含量方面 K_2SO_4 优于 KCl, 提高油麦菜营养品质方面则 KCl 优于 K_2SO_4 , 但 KCl 增加土壤 DTPA-Cd 含量的风险亦大于 K_2SO_4 .

关键词: 镉胁迫; 钾肥; 油麦菜; 营养品质; 土壤

中图分类号: X53

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)03-0316-05

Effect of K_2SO_4 and KCl on *Lactuca sativa* Quality and Soil Under Cadmium Stress

WANG Yan-hong, LI Meng-jun, AI Shao-ying, YAO Jian-wu, YU Dan-ni

(Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to study the influence of different doses of potassium fertilizers (K_2SO_4 and KCl) on lettuce, *Lactuca sativa*, quality and soil under Cd stress. The results showed that application of proper dose of K_2SO_4 could increase the fresh mass of lettuce and decrease Cd content of lettuce shoots, while nitrate contents increased significantly and the nutrient quality decreased at the same time. KCl showed the opposite tendency. Soil available K increased with doses of K_2SO_4 and KCl increasing, and K_2SO_4 had no obvious influence on soil available N and P. At the application level of 400 mg · kg⁻¹, K_2SO_4 and KCl both decreased soil pH and increased soil DTPA-Cd contents. Basically, K_2SO_4 had better effects on decreasing shoot Cd contents of lettuce than KCl, while KCl had better effects on improving nutritional quality of lettuce than K_2SO_4 and a higher risk of increasing DTPA-Cd contents in soil than K_2SO_4 at the same time.

Key words: Cd stress; potassium fertilizer; *Lactuca sativa*; nutritional quality; soil

蔬菜含有多种矿物质、维生素和膳食纤维, 对维持人体正常生理功能和增进健康具有非常重要甚至不可替代的价值, 是家庭日常饮食中必不可少的植物性食品, 其品质受到广大消费者的关注. 近年来, 由于工业“三废”不合理的排放、农业化学投入品的不合理使用、汽车尾气排放等, 菜地土壤受到重金属

镉(Cd)不同程度的污染, 致使蔬菜 Cd 含量呈增加趋势, 蔬菜特别是叶菜 Cd 超标现象时有发生, 严重影响了人们的健康^[1]. Cd 对蔬菜的毒害, 不仅表现在外在的危害症状, 如生长缓慢、矮小、减产等, 还可以通过其内在的性状表现出毒害特征, 如重金属吸收量的增加, 植物蛋白质、叶绿素、糖、维生素 C 含

收稿日期: 2011-12-01

作者简介: 王艳红(1975—), 女, 助理研究员, 硕士; 通信作者: 艾绍英(1968—), 女, 研究员, 博士, E-mail: shaoyingai@21cn.com

基金项目: 广东省社会发展项目(2007A032303001, 2010B031800013); 广东省农业领域重点专项(2009A0201005)

量的降低等^[2-3],并最终影响蔬菜产品品质.如何通过不同调控措施改良镉污染土壤,降低重金属对作物的毒害,对于改善产品品质,保障人体健康具有重要意义.

钾是肥料三要素之一,参与了植物生长发育中几乎所有的生物物理和生物化学过程,对提高农作物产量和改善农产品品质均有明显的作用,而且还能提高植物适应外界不良环境的能力,有品质元素和抗逆元素之称.在珠江三角洲地区,由于复种指数的不断提高,土壤含钾量明显偏低,供钾能力不足,作物对钾的需求量明显增加,增施钾肥已越来越显得重要^[4].在受重金属污染的土壤上,钾肥的施用尤为重要.研究表明,适量的 K_2SO_4 可降低根际、非根际土壤交换态 Cd 的含量,缓解重金属 Cd 及 Cd、Pb 复合污染对小麦的毒害作用^[5],而 KCl 则提高了土壤水溶性交换态或碳酸盐结合态铅,增加铅的植物有效性^[6].另有研究表明, K_2SO_4 改善叶菜维生素 C (Vc) 和糖品质的作用要优于 KCl,但在降低硝酸盐的作用上不如 KCl^[7].本研究采用 Cd 污染土壤开展盆栽试验,探讨不同用量 K_2SO_4 和 KCl 对叶菜产量、品质及土壤质量的差异,进一步明确在重金属污染土壤上钾肥对蔬菜的品质效应及对土壤质量的作用机理,以期为叶菜类蔬菜安全生产中合理施用钾肥提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物油麦菜,购自广东省农业科学院种子市场.供试土壤取自广州市郊水稻-蔬菜轮作农田土壤,为赤红壤发育而成.土壤自然风干后,过 5 mm 筛,把 108 kg 土壤装入大塑料箱中,添加 0.456 4 g $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ (分析纯,以溶液形式加入),使得土壤中总 Cd 含量约为 2 mg/kg,与土壤充分混匀后加入去离子水使土壤保持田间持水量的 60%~70%,进行土壤老化.老化 16 周后,过 5 mm 筛,备用.土壤基本理化性质为:pH 5.88,有机质 25.4 g/kg,全氮 1.52 g/kg,碱解氮 169 mg/kg,有效磷 12.6 mg/kg,速效钾 86.8 mg/kg.土壤全 Cd 2.02 mg/kg, DTPA 提取态 Cd 1.39 mg/kg.

1.2 盆栽试验

试验设 2 个钾肥品种: K_2SO_4 和 KCl, 4 个施钾 (K_2O) 水平(按风干土计):100、200、300、400 mg/kg,以只施磷、氮肥作为对照,共 9 个处理,每个处理重复 4 次.每个处理均以等量的磷肥作基肥,磷 (P_2O_5) 施用量为 100 mg/kg,以 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$

形态添加,与土壤充分混匀后装盆,每盆装土 3.0 kg.氮(N)施用量为 200 mg/kg,以 $CO(NH_2)_2$ 形态添加,钾肥与氮肥均追施,整个生育期追肥 4 次,分别按设计用肥量的 15%、25%、30%、30% 的比例撒施并淋水.植物生长期,根据植物生长需要浇水.播种 70 d 后收获植物体(地上部和根系),测定地上部分 Cd、硝酸盐、可溶性糖、Vc、N、P、K 等指标;同时取土壤样品,土样于室内风干后过 20 目筛,分析有效态 Cd 含量、pH、碱解 N、有效 P、速效 K 等.

1.3 分析与测定方法

油麦菜地上部 Cd 含量采用 HNO_3-HClO_4 消解-火焰原子吸收光谱法测定^[8];Vc 用 2,6-二氯酚滴定法;可溶性糖用蒽酮比色法;硝酸盐用紫外分光光度法;N、P、K 用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化,凯氏定氮法测定全 N 含量,钼锑抗比色法测定全 P 含量,火焰光度计法测定全钾含量.pH 采用电位法(水土质量比为 2.5:1.0),碱解 N 采用碱解扩散法,有效 P 采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效 K 采用乙酸铵提取-火焰分光光度法进行测定^[9].土壤有效态 Cd 含量用 DTPA 浸提-火焰原子吸收分光光度法测定^[10].

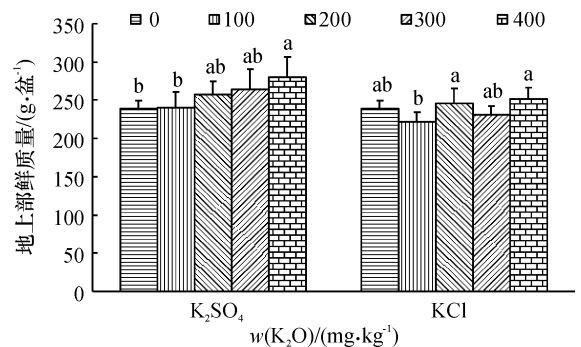
1.4 数据处理

采用 Excel 2003 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 Cd 胁迫下施钾对油麦菜生长的影响

钾肥品种和用量对油麦菜地上部鲜质量的影响见图 1.施用 K_2SO_4 的处理中,油麦菜地上部鲜质量随钾肥施用水水平的提高呈增加趋势,但仅 400 mg/kg 处理较 100 mg/kg K_2SO_4 处理和不施钾处理达显著水平($P < 0.05$).施用 KCl 的各处理中,油麦菜地上部鲜质量无规律性变化,且与不施钾处理无显著差异.2 种钾肥中, K_2SO_4 对油麦菜的增产效果优于 KCl.



同种钾肥不同用量间凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法).

图1 钾肥对油麦菜地上部鲜质量的影响

Fig. 1 Effects of potassium fertilizers on shoot fresh mass of lettuce

2.2 Cd胁迫下钾肥对油麦菜品质的影响

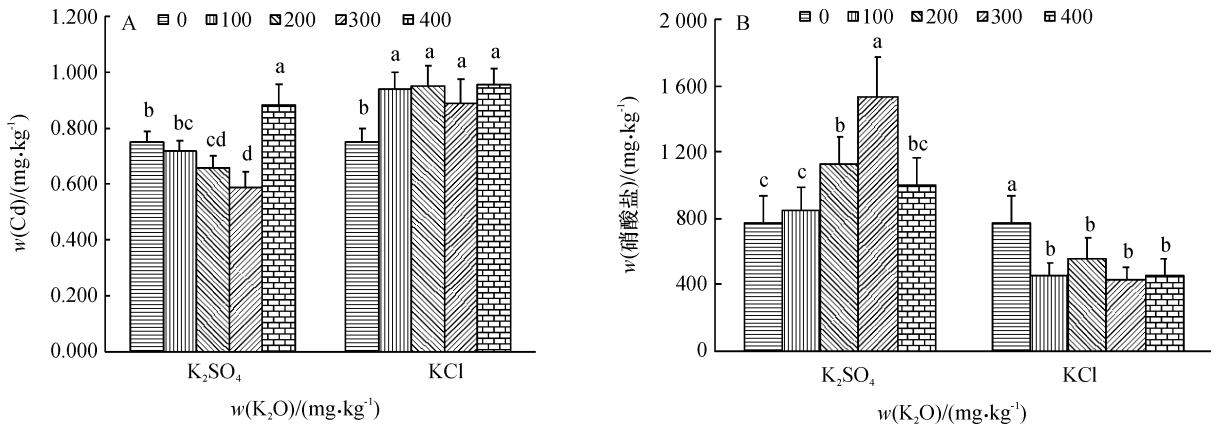
2.2.1 对油麦菜地上部Cd和硝酸盐含量的影响

施钾对油麦菜地上部Cd含量产生明显影响(图2A). 施钾(K_2O)量 ≤ 300 mg/kg时, K_2SO_4 处理的油麦菜地上部Cd含量随着钾用量的增加而降低,且在300 mg/kg时达到最低,比不施钾处理降低21.5%,说明施钾肥可减少污染土壤中油麦菜对Cd的吸收,但并非钾肥用量越多越好;当施用量 > 300 mg/kg时, K_2SO_4 则显著增加油麦菜地上部Cd含量. 施用KCl的各处理均显著增加油麦菜地上部Cd含量,这与前人的研究有相对统一的结论,即KCl可促进植物对Cd的吸收,如增加大麦籽粒中Cd的含量^[11],明显提高小麦植株对Cd的吸收^[12],增加水稻茎、叶、谷壳、糙米中Cd含量^[13].

相同施钾水平下, K_2SO_4 在减少油麦菜吸收Cd方面明显优于KCl($P < 0.01$),以300 mg/kg K_2SO_4 用量的效果最佳. 这与吴启堂等^[14]报道的 K_2SO_4 具有降低菜心Cd浓度的作用结果一致. 陈苏等^[5]也认为 K_2SO_4 可减少小麦茎、叶和籽粒对镉的吸收,而

Zhao等^[12]研究结果显示, K_2SO_4 的加入明显提高了2种基因型小麦对Cd的吸收. 究其原因,一方面可能与供试土壤、作物品种有关,另一方面可能与土壤钾含量有关,本研究和陈苏等^[5]研究中供试土壤速效K分别为86.8和66.9 mg/kg,属于中下水平,施钾提高了作物生物量,而Zhao等^[9]研究中供试土壤速效K为198.7 mg/kg,属于较丰富水平,施钾对作物增产效果不明显. 此外,还可能与植物的生长期有关,不同生长期的同种植物对Cd的吸收累积能力会有所差异,Zhao等^[9]研究中小麦于幼苗时收获,陈苏等^[5]研究中小麦则于成熟期收获.

钾肥品种和用量对油麦菜地上部硝酸盐含量(以 $NaNO_3$ 计)亦有不同影响(图2B). 施用 K_2SO_4 普遍提高了油麦菜的硝酸盐含量,且以300 mg/kg处理明显高于其他处理. 施用KCl的各处理中,油麦菜地上部硝酸盐含量显著低于不施钾肥的处理,且各施钾处理间无显著差异. 说明KCl降硝酸盐含量的效果优于 K_2SO_4 ,可能因为氯离子对硝酸根离子有拮抗作用和取代效应^[15].



同种钾肥不同用量间凡是有有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's法).

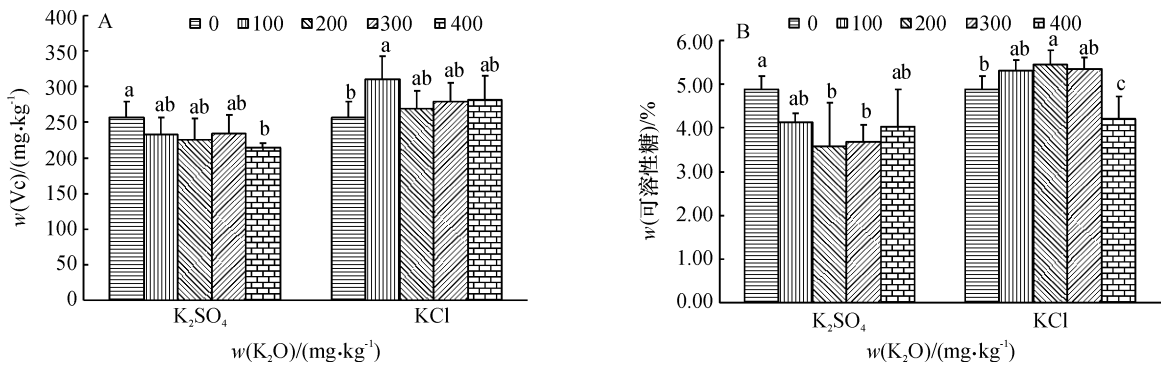
图2 钾肥对油麦菜地上部Cd和硝酸盐含量的影响

Fig. 2 Effects of potassium fertilizers on Cd and nitrate contents of lettuce shoots

2.2.2 对营养品质的影响 大多数研究结果表明,施用钾肥可以明显提高蔬菜产品中Vc、总糖和还原糖含量^[16-18]. 本研究中,Cd胁迫下,施钾对油麦菜地上部Vc和可溶性糖含量产生一定的影响(图3). 施用 K_2SO_4 的各处理中,油麦菜地上部Vc含量较不施钾处理有所降低,但仅在400 mg/kg时达显著水平;施用 K_2SO_4 亦降低了油麦菜地上部可溶性糖含量,且仅在200和300 mg/kg时较不施钾处理达显著水平($P < 0.05$). KCl则不同程度地提高了两者含量(400 mg/kg时Vc含量降低除外),且在200 mg/kg时较不施钾处理有明显差异. 相同施钾水平下,KCl提高蔬菜营养品质的功效优于 K_2SO_4 . 郎文培等^[7]

认为,在未受污染的赤红壤上, K_2SO_4 改善生菜Vc和糖品质的作用要优于KCl,并将这一现象解释为 K_2SO_4 中S的作用. 本试验条件下, K_2SO_4 处理的油麦菜地上部Vc和可溶性糖降低可能是由于增产产生稀释效应及Cd的胁迫所致.

2.2.3 对矿质营养的影响 施钾对油麦菜地上部矿质养分含量的影响不同(表1). 施用 K_2SO_4 的各处理中油麦菜地上部N、P含量与不施钾处理没有显著差异($P > 0.05$),而K含量则随着钾用量水平的提高明显递增. 施用KCl的处理中油麦菜地上部P、K含量与施用 K_2SO_4 有类似趋势,但地上部N含量在200 mg/kg时较不施钾处理明显增加.



同种钾肥不同用量间凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's 法).

图3 钾肥对油麦菜地上部Vc和可溶性糖的影响

Fig. 3 Effects of potassium fertilizers on Vc and soluble sugar contents of lettuce shoots

表1 钾肥对油麦菜地上部矿质养分含量的影响¹⁾

Tab. 1 Effects of potassium fertilizers on mineral nutrients contents of lettuce shoots

$w(K_2O)/$ ($mg \cdot kg^{-1}$)	$w(N)/(g \cdot kg^{-1})$		$w(P)/(g \cdot kg^{-1})$		$w(K)/(g \cdot kg^{-1})$	
	K ₂ SO ₄	KCl	K ₂ SO ₄	KCl	K ₂ SO ₄	KCl
0	2.07 ± 0.23a	2.07 ± 0.23b	0.159 ± 0.016a	0.159 ± 0.016a	1.05 ± 0.09e	1.05 ± 0.09e
100	2.16 ± 0.16a	2.05 ± 0.21b	0.155 ± 0.003a	0.162 ± 0.011a	1.75 ± 0.21d	1.86 ± 0.08d
200	2.08 ± 0.25a	2.44 ± 0.10a	0.149 ± 0.003a	0.154 ± 0.003a	2.24 ± 0.22c	2.21 ± 0.13c
300	2.28 ± 0.35a	2.03 ± 0.20b	0.148 ± 0.008a	0.152 ± 0.011a	2.90 ± 0.18b	2.86 ± 0.22b
400	1.98 ± 0.13a	2.26 ± 0.13ab	0.155 ± 0.012a	0.152 ± 0.008a	3.34 ± 0.06a	3.24 ± 0.24a

1)表中数据为4次重复的平均数±标准误,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, LSD法).

2.3 施钾对土壤的影响

2.3.1 对土壤速效养分含量的影响 不同钾肥处理土壤有效N、P、K含量存在一定差异(表2).施用K₂SO₄的各处理中土壤碱解N和有效P含量与不施钾处理没有显著差异($P > 0.05$),施用KCl的处理中

土壤碱解N随钾肥用量的增加呈递减趋势,且在高用量时(300和400 mg/kg)与不施钾处理达显著水平;有效P含量也有递减趋势,但与不施钾处理之间差异不显著.2种钾肥处理的土壤速效K含量均随着施钾水平的提高明显递增.

表2 钾肥对土壤速效养分含量的影响¹⁾

Tab. 2 Effects of potassium fertilizers on available nutrient contents in soils

$w(K_2O)/$ ($mg \cdot kg^{-1}$)	$w(\text{碱解N})/(mg \cdot kg^{-1})$		$w(\text{有效P})/(mg \cdot kg^{-1})$		$w(\text{速效K})/(mg \cdot kg^{-1})$	
	K ₂ SO ₄	KCl	K ₂ SO ₄	KCl	K ₂ SO ₄	KCl
0	186 ± 18a	186 ± 18a	15.9 ± 1.6a	15.9 ± 1.6ab	57.1 ± 1.9c	57.1 ± 1.9c
100	173 ± 6a	187 ± 18a	14.0 ± 1.8a	16.6 ± 1.7a	64.9 ± 1.2c	72.6 ± 7.1b
200	174 ± 6a	178 ± 8ab	13.8 ± 1.3a	15.4 ± 1.4ab	79.2 ± 4.1b	72.0 ± 5.3b
300	176 ± 17a	164 ± 12b	14.3 ± 2.3a	15.1 ± 1.1ab	86.1 ± 6.4b	89.8 ± 8.8a
400	181 ± 17a	162 ± 11b	14.1 ± 1.9a	14.0 ± 1.7b	109.0 ± 11.0a	94.0 ± 4.6a

1)表中数据为4次重复的平均数±标准误,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, LSD法).

2.3.2 对土壤有效态Cd含量及pH的影响 钾肥的施入均不同程度地增加了土壤DTPA-Cd含量(表3).对于施用K₂SO₄的处理,当 $w(K_2O) \leq 200$ mg/kg时,土壤DTPA-Cd含量较不施钾处理增加不明显;当 $w(K_2O) \geq 300$ mg/kg时,土壤DTPA-Cd含量较不施

钾处理才表现出显著增加趋势.KCl则显著增加了土壤DTPA-Cd含量,但不同用量之间差异不显著.2种钾肥处理中,土壤pH均较不施钾处理有所降低,在 $w(K_2O)$ 为400 mg/kg时,2种钾肥处理的土壤pH均显著降低.

表3 钾肥对土壤有效态Cd含量及pH的影响¹⁾

Tab.3 Effects of potassium fertilizers on available Cd contents and pH in soils

$w(\text{K}_2\text{O})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$w(\text{Cd})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		pH	
	K_2SO_4	KCl	K_2SO_4	KCl
0	1.33 ± 0.04b	1.33 ± 0.04b	5.99 ± 0.05a	5.99 ± 0.05a
100	1.36 ± 0.03ab	1.45 ± 0.05a	5.95 ± 0.07a	5.94 ± 0.09ab
200	1.39 ± 0.02ab	1.46 ± 0.05a	5.95 ± 0.03a	5.94 ± 0.03ab
300	1.41 ± 0.09a	1.44 ± 0.06a	5.91 ± 0.08a	5.93 ± 0.01ab
400	1.41 ± 0.03a	1.46 ± 0.04a	5.82 ± 0.05b	5.89 ± 0.10b

1)表中数据为4次重复的平均数±标准误,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$, LSD法).

3 结论

1)在提高油麦菜营养品质方面以KCl优于 K_2SO_4 ,且以施钾(K_2O)水平为100 mg/kg的KCl处理效果最好.

2)Cd胁迫下, K_2SO_4 和KCl对土壤碱解N、速效K及pH的影响没有显著差异;在增加土壤有效P方面,KCl优于 K_2SO_4 ,但KCl增加土壤DTPA-Cd含量的风险大于 K_2SO_4 .

3)相同施钾水平下, K_2SO_4 提高油麦菜产量和降低其可食部分Cd含量的效果优于KCl,且以施钾(K_2O)水平为300 mg/kg的 K_2SO_4 处理效果最好.

4)从降低叶菜Cd食物链风险的角度出发,建议在Cd污染土壤上施用 K_2SO_4 .

参考文献:

- [1] 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(2):129-132.
- [2] 谢建治,刘树庆,刘玉柱,等.保定市郊土壤重金属污染对蔬菜营养品质的影响[J].农业环境保护,2002,21(4):325-327.
- [3] 谢建治,张书廷,刘树庆,等.潮褐土重金属Cd污染对小白菜营养品质指标的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(4):678-682.
- [4] 广东省土壤肥料总站.珠江三角洲耕地质量评价与利用[M].北京:中国农业出版社,2007:109-128.
- [5] 陈苏,孙丽娜,孙铁珩,等.钾肥对镉的植物有效性的影响[J].环境科学,2007,28(1):182-188.
- [6] 刘平,徐明岗,李菊梅,等.不同钾肥对土壤铅植物有效性的影响及其机制[J].环境科学,2008,29(1):202-206.
- [7] 郎文培,艾绍英,王朝辉,等.钾肥种类及用量对生菜生长和品质效应的影响研究[J].农业环境科学学报,2008,27(5):1946-1950.
- [8] 中国国家标准.GB/T 5009.15—2003食品中镉的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [9] 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.
- [10] 中国国家标准.GB/T 23739—2009土壤质量有效态铅和镉的测定原子吸收法[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [11] GRANT C A, BAILY L D, THERRIEN M C. The effect of N, P and KCl fertilizers on grain yield and Cd concentration of malting barley [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1995, 45(2):153-161.
- [12] ZHAO Zhong-qiu, ZHU Yong-guan, LI Hui-ying, et al. Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Environment International, 2004, 29(7):973-978.
- [13] 衣纯真,傅桂平,张福锁.不同钾肥对水稻镉吸收和转移的影响[J].中国农业大学学报,1996,1(3):65-70.
- [14] 吴启堂,王广寿,谭秀芳,等.不同水稻、菜心品种和化肥形态对作物吸收累积镉的影响[J].华南农业大学学报,1994,15(4):1-6.
- [15] 李会合.氮钾对酸性菜园土壤莴笋品质的效应及机理研究[D].重庆:西南农业大学,2005.
- [16] 倪吾钟,章永松,林咸永.不同钾肥对几种主要蔬菜作物产量和品质的影响[J].浙江农业学报,1997,9(3):32-37.
- [17] 吴文强,贺建德,曲明山,等.钾对生菜产量和品质的影响[J].华北农学报,2006,21(Z1):119-121.
- [18] 郭熙盛,朱宏斌,王文军,等.不同氮钾水平对结球甘蓝产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2004,10(2):161-166.

【责任编辑 周志红】