

华中地区3种蔬菜对Cd的耐性和累积特性差异研究

周建利¹, 黄芬肖¹, 吴启堂², 卫泽斌², 丘锦荣³

(1 长江大学 农学院, 湖北 荆州 434025; 2 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642;

3 中华人民共和国环境保护部 华南环境科学研究所, 广东 广州 510655)

摘要:通过对华中地区3种常见蔬菜进行种子萌发试验和盆栽试验, 对其在不同Cd浓度胁迫下的耐性和累积特性进行了比较研究. 结果表明: 蔬菜幼苗对过量Cd毒害的耐性强弱顺序是: 萝卜 *Raphanus Sativus* > 小白菜 *Brassica campestris* ssp. *chinensi* S. > 苋菜 *Amaranthus tricolor*; Cd的施加质量比为5~10 mg·kg⁻¹时, 可促进小白菜和萝卜的生长, 显著抑制苋菜的生长; 蔬菜对Cd的富集系数为小白菜>苋菜>萝卜. 因此, 萝卜具有较强的抗土壤Cd污染的能力, 比小白菜和苋菜更适合在Cd污染的农田上种植.

关键词: Cd; 蔬菜; 土壤; 耐性; 富集系数

中图分类号: S158.4; X171.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2011)02-0021-04

Cadmium Tolerance and Accumulation in Three Vegetables in Central China

ZHOU Jian-li¹, HUANG Fen-xiao¹, WU Qi-tang², WEI Ze-bin², QIU Jin-rong³

(1 College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China;

2 College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3 South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Guangzhou 510655, China)

Abstract: Cd stress tolerance and Cd accumulation in three vegetable species in central China were studied by seed germination test and pot experiment. Results showed that the sequence of the tolerance to Cd stress was radish, Chinese cabbage and amaranth. When the added Cd reached 5~10 mg·kg⁻¹, the biomass of Chinese cabbage and radish increased significantly, while that of amaranth was obviously reduced. The order of Cd bio-concentration factors was as follow: Chinese cabbage, amaranth and radish, Cd was absorbed less by radish than by Chinese cabbage and by amaranth in same added Cd concentration, which indicated that the radish is more suitable to be planted in Cd-contaminated soils than the other two vegetables in central China for reducing Cd contamination risk in food web.

Key words: cadmium; vegetables; soil; tolerance; bio-concentration factors

随着采矿业和工农业的发展, 大量重金属被排放到环境中, 从而出现了重金属污染问题. 据粗略统计, 过去50年中全球排放到环境中的Cd达到 2.20×10^4 t, Cu 9.39×10^5 t, Pb 7.83×10^5 t 和 Zn 1.35×10^6 t^[1]. 其中有相当部分进入了土壤, 使许多地区的土壤遭受污染, 且破坏了生态系统的正常功能. 我国受Cd、As、Cr、Pb等重金属污染的耕地面积近2 000

万hm², 约占总耕地面积的1/5, 每年因重金属污染而减产粮食1 000多万t, 合计经济损失200亿元^[2]. 目前, 我国许多地区的蔬菜已经遭受到Cd不同程度的污染. 北京市郊菜地及批发市场的蔬菜Cd的综合超标率为0.58%, 蔬菜Cd对北京市部分人群存在一定的潜在健康风险^[3]. 陕西省大中城市郊区的蔬菜Cd超标率为2.0%^[4]. 郑州地区蔬菜Cd超标率为

收稿日期: 2010-03-11

作者简介: 周建利(1971—), 男, 壮族, 讲师, 博士, E-mail: zhj1233@163.com

基金项目: 国家自然科学基金(40801115); 广东省科技计划项目(2006A20601001)

4.1%,超标蔬菜全部为叶菜类^[5].天津市郊区蔬菜Cd综合超标率为7.4%^[6].长沙市郊几大主要蔬菜基地的蔬菜Cd的超标率达10.4%,超标蔬菜全部为叶菜类,叶菜Cd的超标率为50%^[7].南宁市售蔬菜Cd超标率高达24.3%^[8].由此可见,在地理分布上表现为南方蔬菜遭受Cd的污染比北方更严重.

Cd是有害的金属元素,但许多植物均能从Cd污染的水和土壤中摄取Cd,并在体内蓄积^[9].植物对Cd的吸收和蓄积与其生长的土壤中Cd的浓度、土壤理化性质、Cd在土壤中的活性、植物的种属类型和其他环境因素有关^[10-11].因此作物种类不同,其蓄积的Cd量不同,甚至同一作物不同品种也存在很大差异.汪雅各等^[12]曾筛选出了一些富集Cd程度不同的蔬菜,并且提出利用蔬菜富集特性防止蔬菜Cd污染的可能性.后来进行的田间试验结果表明,通过低富集轮作,可明显减少Cd进入食物链^[13].吴启堂等^[14]提出通过选育食用部位重金属含量明显较低的品种种植在轻度污染的土壤上是有可能的.本文通过种子萌发试验和盆栽试验,比较华中地区3种常见的蔬菜品种对Cd的耐性强弱及累积特性,为减少重金属Cd进入食物链提供理论依据和实践经验.

1 材料与方法

1.1 供试蔬菜

供试的小白菜 *Brassica campestris* ssp. *chinensi* S. 品种为中其小白菜,萝卜 *Raphanus Sativus* L. 品种为短叶十三萝卜,苋菜 *Amaranthus tricolour* 品种为红圆叶苋菜.均购于武汉九头鸟种子分公司.

1.2 供试土壤

盆栽试验的供试土壤采自长江大学西校区农场的水稻土,其基本理化性质为:土壤pH 7.95,有机质、全氮、全磷、全钾质量比分别为13.0、1.08、1.13、21.9 g·kg⁻¹,碱解氮、速效磷、速效钾、Cd质量比分别为52.4、8.81、170.0、2.20 mg·kg⁻¹,阳离子交换量为35.5 cmol·kg⁻¹.供试土壤的采样点没有明显的重金属污染来源,但其Cd含量已超过了《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)中的3级标准(1.0 mg·kg⁻¹)^[15],其污染来源有待查明.但不影响3种蔬菜对Cd的耐性和累积特性的差异研究.

1.3 种子萌发试验

用Cd(NO₃)₂溶液设置4个处理(0、25、50、200 mg·L⁻¹),每个处理3次重复.采用直径为9 cm的培养皿,加入不同浓度Cd溶液10 mL,事先将3种蔬菜种子用φ为1%的甲醛消毒10 min,用蒸馏水浸泡

过夜.每个培养皿加入10粒饱满的蔬菜种子,用双层纱布覆盖于种子表面,置于温室内,于28℃、黑暗、相对湿度为75%的条件下培养6 d,测定萌发率和苗长.

1.4 盆栽试验

土壤风干,粉碎,过3 mm筛.采用高22 cm、盆口直径20 cm的塑料盆钵,每盆装土4 kg.土壤分别施Cd(NO₃)₂为0、1、5、10 mg·kg⁻¹,每个处理4次重复.按照重量法浇水,使土壤湿度保持在田间持水量的60%.平衡1周后播种,并加入底肥(尿素2 g/盆,过磷酸钙7 g/盆,氯化钾1.5 g/盆).培养到植株长出4~6片真叶后间苗,使每个盆钵内的蔬菜为10株且长势均匀,萝卜最后定苗为每盆1株.小白菜和苋菜培养33 d,萝卜培养78 d.

将收获的蔬菜样品用自来水洗干净,再用去离子水漂洗.用不锈钢刀将蔬菜分成地上部分和地下部分,分别置于信封中,在85℃下杀青20 min,在65℃下烘干、粉碎备用.

1.5 样品分析

蔬菜Cd的测定采用KI-MIBK萃取火焰原子吸收分光光度计(日立Z-5300)法^[16].试验数据用SAS 9.0软件进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 施加不同质量浓度Cd对蔬菜种子发芽及幼苗生长的影响

由表1可知,各种质量浓度的Cd对3种蔬菜的发芽率没有显著影响.但较高Cd质量浓度会影响蔬菜幼苗的生长.苋菜在Cd质量浓度为50 mg·L⁻¹时,其苗长显著低于对照;200 mg·L⁻¹处理的小白菜和萝卜苗长显著低于对照.李锋民等^[17]采用耐性指数(Tolerance index)反映植物对重金属的耐性,耐性指数是指金属处理的苗长与对照苗长的比值.由表1可知,Cd质量浓度为25~200 mg·L⁻¹时,萝卜的耐性指数最高,小白菜次之,苋菜最低;在200 mg·L⁻¹处理时,3种蔬菜的耐性指数均大幅低于其他浓度的处理,表明Cd质量浓度为200 mg·L⁻¹时已严重影响蔬菜幼苗的伸长.由此可知,蔬菜幼苗对过量Cd毒害的耐性强弱是:萝卜>小白菜>苋菜.

2.2 不同Cd施加量对蔬菜生物量的影响

由表2可知:在土壤Cd的施加量为5和10 mg·kg⁻¹的处理中,小白菜的生物量显著高于对照,分别是对照的1.7和2.1倍,在Cd的施加量为10 mg·kg⁻¹的处理中,萝卜的生物量显著高于对照,是对照的1.2倍,表明Cd施加量为5~10 mg·kg⁻¹时

可促进小白菜和萝卜的生长;苋菜在Cd施加量为1、5和10 mg·kg⁻¹时,其生物量显著低于对照,分别为对照的65%、57%和26%。因此,从对蔬菜生物量的影响来看,小白菜和萝卜对过量Cd毒害的耐性强于苋菜。

表1 施加不同质量浓度Cd对蔬菜种子发芽率、幼苗苗长和耐性指数的影响¹⁾

Tab.1 Effects of different Cd concentrations on seed germination percentages and shoot length and tolerance index of vegetables

$\rho(\text{Cd})/$ (mg·L ⁻¹)	发芽率/%			苗长/mm			耐性指数		
	小白菜	萝卜	苋菜	小白菜	萝卜	苋菜	小白菜	萝卜	苋菜
0(CK)	100±0a	97±6a	70±10a	26±3a	49±8a	20±3a	100	100	100
25	100±0a	93±12a	67±21a	27±2a	53±12a	19±5a	104	108	95
50	100±0a	90±10a	83±15a	23±3a	54±6a	11±2b	88	110	55
200	93±12a	87±23a	60±0a	9±4b	31±7b	3±1c	35	63	15

1)表中数据为平均值±标准差(n=3);同列数据后凡具有一个相同英文字母,表示5%水平差异不显著(Duncan's法);耐性指数=处理苗长/对照苗长×100。

表2 Cd不同施加量对蔬菜干生物量的影响¹⁾

Tab.2 Effects of different added Cd concentrations on dry biomass of vegetables

$w(\text{Cd})/$ (mg·kg ⁻¹)	干生物量/(g·盆 ⁻¹)		
	小白菜	萝卜	苋菜
0(CK)	4.98±0.83b	200±10b	23.98±5.25a
1	4.93±1.82b	195±22b	15.59±1.08b
5	8.54±2.15a	223±9ab	13.57±3.82b
10	10.44±1.98a	249±33a	6.19±1.87c

1)表中数据为平均值±标准差(n=4);同列数据后凡具有一个相同英文字母,表示5%水平差异不显著(Duncan's法)。

2.3 不同Cd施加量对蔬菜Cd含量及富集系数的影响

由表3可知,3种蔬菜的地上部和地下部Cd含量均随着施加量的增加而提高。在所有处理中,3种

蔬菜地上部的Cd含量均接近或超过国家标准《食品中污染物限量》(GB 2762—2005,叶类蔬菜 $w(\text{Cd}) \leq 0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[18],甚至对照也不例外。原因可能是添加Cd前供试土壤本身就受到Cd污染,其Cd质量比为 $2.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,已超过《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)中的3级标准($1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[15]。3种蔬菜的地上部和地下部,在Cd施加量为1、5和10 mg·kg⁻¹的处理中,其Cd含量大小顺序均是小白菜>苋菜>萝卜;萝卜的地下部(主要食用部位)在施加量为0和1 mg·kg⁻¹的处理中,其Cd含量均低于国家标准《食品中污染物限量》(GB 2762—2005,根茎类蔬菜 $w(\text{Cd}) \leq 0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[18],尽管其生长的土壤为Cd污染土壤。因此,在Cd污染的农田上,种植萝卜比小白菜和苋菜更有利于减少Cd进入食物链。

表3 Cd不同施加量对蔬菜(鲜)不同部位Cd含量的影响¹⁾

Tab.3 Effects of different added Cd concentrations on Cd content of vegetables

$w(\text{Cd})/$ (mg·kg ⁻¹)	地上部			地下部		
	小白菜	萝卜	苋菜	小白菜	萝卜	苋菜
0(CK)	0.22±0.06d	0.18±0.08b	0.33±0.08c	0.59±0.09d	0.09±0.02b	0.33±0.03c
1	0.68±0.11c	0.18±0.05b	0.52±0.11c	1.23±0.13c	0.06±0.01b	0.59±0.11c
5	2.04±0.17b	0.95±0.15a	1.14±0.18b	2.03±0.20b	0.26±0.09a	0.92±0.16b
10	2.69±0.31a	1.14±0.17a	1.65±0.26a	3.19±0.39a	0.31±0.10a	1.49±0.22a

1)表中数据为平均值±标准差(n=4);同列数据后凡具有一个相同英文字母,表示5%水平差异不显著(Duncan's法)。

蔬菜中重金属含量受到土壤重金属含量的影响,因此,可用富集系数来衡量蔬菜吸收重金属元素能力的强弱。蔬菜Cd的富集系数是指蔬菜中Cd含量(烘干样含量)与相应土壤Cd含量的比值,它可以大致反映蔬菜在相同土壤Cd含量条件下蔬菜对Cd的吸收能力^[19]。富集系数越小,则表明蔬菜吸收重金属的能力越差,抗土壤重金属污染的能力则较强^[3,20]。由表4可知,在Cd的不同施加量下,蔬菜可

食部位Cd富集系数大小顺序均是小白菜>苋菜>萝卜,小白菜和苋菜的富集系数均大于1,而萝卜小于1。表明在3种蔬菜中小白菜对Cd的吸收累积能力最强,抗土壤Cd污染的能力最弱;而萝卜对Cd的吸收累积能力最弱,抗土壤Cd污染的能力最强。在Cd的不同施加量处理中,小白菜的富集系数均显著高于对照,以5 mg·kg⁻¹处理最高;而萝卜以对照处理的富集系数最高;苋菜的富集系数与Cd的施加量

多少没有关系,基本维持在 1.3 左右.表明小白菜和萝卜的 Cd 富集系数存在较大的波动.

表 4 Cd 不同施加量对蔬菜可食部位 Cd 富集系数的影响¹⁾

Tab.4 Effects of different added Cd concentrations on Cd bioconcentration factors in vegetables

$w(\text{Cd})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	富集系数		
	小白菜	萝卜	苋菜
0(CK)	$1.42 \pm 0.41\text{c}$	$0.85 \pm 0.21\text{a}$	$1.25 \pm 0.29\text{a}$
1	$3.03 \pm 0.50\text{ab}$	$0.38 \pm 0.09\text{b}$	$1.48 \pm 0.33\text{a}$
5	$3.54 \pm 0.30\text{a}$	$0.72 \pm 0.24\text{ab}$	$1.32 \pm 0.21\text{a}$
10	$2.76 \pm 0.32\text{b}$	$0.50 \pm 0.16\text{ab}$	$1.35 \pm 0.21\text{a}$

1)表中数据为平均值 $\pm$ 标准差($n=4$);同列数据后凡具有一个相同英文字母,表示 5% 水平差异不显著(Duncan's 法).

3 讨论与结论

刘传娟等^[21]通过水培试验发现 Cd 质量浓度低于 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可促进萝卜幼苗的生长.宗良纲等^[22]的研究表明,在 Cd 施加量小于 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,蔬菜(青菜、白菜和菠菜)的生物量可增加近 20%,而高施加量($500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)时蔬菜生物量才显著下降.本研究也发现,Cd 的施加量为 $5 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时可促进小白菜和萝卜的生物量提高.

吴晓等^[23]的研究表明,对 Cd 的抗性指数的大小顺序是:苋菜>萝卜>小白菜.与本研究结果存在差异,这可能与供试的蔬菜品种不同有关.吴晓等^[23]所使用的萝卜是早萝卜和红萝卜,小白菜是上海青,苋菜没有标出具体品种,而本研究所使用的萝卜是短叶十三萝卜,小白菜是中其小白菜,苋菜是红圆叶苋菜,由于所使用的蔬菜品种不同,可能得出不同的试验结果.因为蔬菜对重金属的富集和耐性与蔬菜的种、属和类型有关^[10-11].段云青等^[24]采用 4 个小白菜品种的盆栽试验表明,小白菜对 Cd 的累积和耐性存在基因型差异.

本研究表明,小白菜和萝卜的 Cd 富集系数存在较大的波动.这与宗良纲等^[22]研究结果相似,蔬菜在不同重金属浓度污染下富集系数呈现差异性,富集系数最大数值出现的浓度范围因蔬菜品种而异.汪雅各等^[13]的研究也表明,蔬菜的富集系数明显受气候、土壤及栽培条件的影响.

综上所述,不同浓度的 Cd 对 3 种蔬菜的发芽率没有显著影响,但较高 Cd 浓度会影响蔬菜幼苗的生长.蔬菜幼苗对过量 Cd 毒害的耐性强弱顺序是:萝卜>小白菜>苋菜. Cd 的施加量为 $5 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时可促进小白菜和萝卜的生物量提高,而此时苋菜

的生物量已严重下降.因此,小白菜和萝卜耐 Cd 毒害的能力强于苋菜.3 种蔬菜的地上部和地下部 Cd 含量均随着施加量的增加而提高.在施加量为 1、5 和 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的处理中,蔬菜地上部和地下部 Cd 含量大小顺序均是小白菜>苋菜>萝卜.在相同的 Cd 施加量下,蔬菜可食部位 Cd 富集系数大小顺序是小白菜>苋菜>萝卜.结果表明,萝卜抗土壤 Cd 污染的能力最强,比小白菜和苋菜更适合在 Cd 污染的农田上种植,以减少 Cd 进入食物链.

参考文献:

- [1] SINGH O V, LABANA S, PANDEY G, et al. Phytoremediation: An overview of metallic ion decontamination from soil[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2003, 61: 405-412.
- [2] 陈同斌. 重金属对土壤的污染[J]. 金属世界, 1999(3): 10-11.
- [3] 宋波, 陈同斌, 郑袁明, 等. 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] 段敏, 马往校, 李岚. 17 种蔬菜中铅铬镉元素含量分析研究[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(4): 74-80.
- [5] 郭智广, 符建伟, 徐为霞, 等. 郑州地区蔬菜中镉污染状况调查与分析[J]. 微量元素与健康研究, 2007, 24(5): 35-37.
- [6] 师荣光, 周启星, 刘凤枝, 等. 天津郊区土壤-蔬菜系统中 Cd 的积累特征及污染风险[J]. 中国环境科学, 2008, 28(7): 634-639.
- [7] 李明德, 汤海涛, 汤睿, 等. 长沙市郊蔬菜土壤和蔬菜重金属污染状况调查及评价[J]. 湖南农业科学, 2005(3): 34-36.
- [8] 覃志英, 唐振柱, 吴祖军, 等. 广西南宁市蔬菜铅镉污染监测分析[J]. 广西医学, 2006, 28(10): 1505-1507.
- [9] 衣纯真, 付桂平, 张福锁, 等. 施用钾肥(KCl)的土壤对作物吸收累积镉的影响[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(5): 79-84.
- [10] GARATE A, RAMOS I, MANZANARES M, et al. Cadmium uptake and distribution in three cultivars of *Lactuca* sp. [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1993, 50: 709-716.
- [11] CABRERA D, YONG S D, ROWELL D L. The toxicity of Cadmium to barley plants as affected by complex formation with humic acid[J]. Plant Soil, 1988, 105: 195-204.
- [12] 汪雅各, 章国强. 蔬菜区土壤镉污染及蔬菜种类选择[J]. 农业环境保护, 1985(4): 7-10.
- [13] 汪雅各, 卢善玲, 盛沛麟, 等. 蔬菜重金属低富集轮作[J]. 上海农业学报, 1990, 6(3): 41-49.

(下转第 47 页)

3 讨论与结论

在多种农药残留测定中,一般采用混合溶剂提取,自制填充柱或者固相萃取(SPE)小柱净化,操作过程较复杂,消耗的有机溶剂量大,成本高^[9]。已报道的研究在采用分散固相萃取技术进行农药残留检测时,多数采用单一的PSA吸附剂进行净化,这对于基质复杂的水果样品,净化效果并不理想^[10-13]。本文在此基础上进行了改进,采用PSA和C₁₈2种吸附剂混合净化,利用GC-ECD同时测定水果中多类农药残留,该方法能更好地吸附样品基质中的有机酸、色素、糖类等杂质,方法简单,操作方便、快速,同时也达到了很好的净化效果,实现了样品的快速制备。本研究经过一系列试验,优化了分散固相萃取前处理方法和仪器检测条件,方法回收率和方法灵敏度高,方法检出限为0.000 2~0.002 0 mg/kg,平均回收率在74.4%~115.9%之间,相对标准偏差小于13.7%。各项指标均符合农药残留分析检测的要求,适用于水果中多种痕量农药残留的分析。

参考文献:

- [1] 张莹,王绪卿,赵丹宇,等. GB2763—2005,食品中农药最大残留限量[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [2] ANASTASSIADES M, LEHOTAY S J, STAJNBAHER D, et al. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase” for the determination of pesticide residues in produce[J]. Journal of AOAC International, 2003, 86(2): 412-431.
- [3] 于彦彬,万述伟,谭培功,等. PSA分散固相萃取液相色谱荧光法测定蔬菜和水果中的灭定威[J]. 分析测试学报, 2005, 24(5): 75-77.
- [4] 刘敏,端裕树,宋苑苑,等. 分散固相萃取-液相色谱-质谱检测蔬菜水果中氨基酸酯和有机磷农药[J]. 分析化学, 2006, 34(7): 941-945.
- [5] 胡江涛,盛毅,方智,等. 分散固相萃取-高效液相色谱法快速检测猕猴桃中的氯吡脞[J]. 色谱, 2007, 25(3): 441-442.
- [6] 牟仁祥,谢绍军,闵捷,等. PSA分散固相萃取和离子对液相色谱测定蔬菜中苯并咪唑类残留的研究[J]. 分析测试学报, 2008, 27(3): 280-283.
- [7] 于彦彬,谭丕功,曲璐璐,等. PSA分散固相萃取液相色谱柱后衍生荧光法测定蔬菜和水果中的13种氨基酸酯[J]. 分析试验室, 2009, 28(11): 97-101.
- [8] 董静,潘玉香,朱莉萍,等. 果蔬54种农药残留的QuEChERS/GC-MS快速分析[J]. 分析测试学报, 2008, 27(1): 66-69.
- [9] 朱莉萍,朱涛,潘玉香,等. 气相色谱法同时测定蔬菜及水果中多种农药残留量[J]. 分析化学研究简报, 2008, 36(7): 999-1003.
- [10] 董爱军,杨鑫,马莺,等. 食用菌中多菌灵残留的分散固相萃取/高效液相色谱法测定[J]. 分析测试学报, 2010, 29(6): 573-577.
- [11] 张丹,王俊红,曾正红. 分散固相萃取-气相色谱法测定水果中多种有机磷农药残留[J]. 分析化学, 2009, 37: 94.
- [12] 刘浩,周芳,李月娥. 分散固相萃取法对果蔬中农药残留前处理的优化[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(5): 137-141.
- [13] 王太全,曾正宏,张丹,等. 分散固相萃取-气相色谱-质谱法测定肉制品中残留的扑草净、禾草丹[J]. 肉类工业, 2009(4): 43-45.

【责任编辑 李晓卉】

(上接第24页)

- [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] 国家环境保护局. GB15618—1995 土壤环境质量标准[S]. 北京:中国标准出版社, 1995.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000: 380-382.
- [17] 李锋民,熊治廷,郑振华. 7种高等植物对铅的耐性及其生物蓄积研究[J]. 农业环境保护, 1999, 18(6): 246-250.
- [18] 中华人民共和国卫生部,国家标准化委员会. GB2762—2005 食品中污染物限量[S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- [19] 黄泽春,宋波,陈同斌,等. 北京市菜地土壤和蔬菜的锌含量及其健康风险评估[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 439-448.
- [20] 郑袁明,宋波,陈同斌,等. 北京市菜地土壤和蔬菜中铜含量及其健康风险[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1093-1101.
- [21] 刘传娟,刘凤枝,蔡彦明,等. 不同种类蔬菜苗期对镉的敏感性研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(9): 1789-1794.
- [22] 宗良纲,孙静克,沈倩宇,等. Cd、Pb污染对几种叶类蔬菜生长的影响及其毒害症状[J]. 生态毒理学报, 2007, 2(1): 63-68.
- [23] 吴晓,熊治廷,马晓敏. 12种蔬菜作物对铅、铜、镉抗性的研究[J]. 武汉大学学报:理学版, 2005, 51(S2): 291-293.
- [24] 段云青,王艳,雷焕贵. 小白菜镉积累的基因型差异[J]. 河南农业科学, 2005(11): 74-77.

【责任编辑 李晓卉】