

土壤、蔬菜的铅污染相关性分析及土壤铅污染阈值研究*

赵 勇¹ 李红娟² 魏婷婷¹ 孙志强¹

(1. 河南农业大学环境系 郑州 450002; 2. 中铁郑州勘察设计院有限公司 郑州 450052)

摘 要 为探求土壤重金属污染和蔬菜污染的相关性,为绿色蔬菜生产提供技术支持,以郑州市常见的 5 种叶菜类蔬菜[油麦菜(*Lactuca sativa* var. *Asparagina*)、荆芥(*Schizonepeta tenuifolia* Briq)、蕹菜(*Ipomoea aquelica*)、生菜(*Lactuca sativa*)、苋菜(*Amaranthus hypochondriacus*)]为试验材料,采用温室盆栽土培的方法研究了土壤 Pb 浓度与蔬菜污染的相关性,并对绿色蔬菜生产要求的土壤 Pb 污染阈值进行了预测。研究结果表明:低浓度 Pb 污染的土壤对蔬菜生长、产量无明显影响;随着施 Pb 浓度的增加,5 种蔬菜中的 Pb 含量均呈增加趋势,且与土壤中的 Pb 含量相关性显著;模拟得出的 Pb 阈值油麦菜为 $39.909\ 2 \pm 2.446\ 9\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,荆芥 $43.898\ 6 \pm 3.585\ 5\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,蕹菜 $35.293\ 4 \pm 1.787\ 2\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,生菜 $33.696\ 4 \pm 2.151\ 2\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,苋菜 $34.539\ 6 \pm 2.425\ 4\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;对 Pb 富集能力由大到小排序为生菜>苋菜>蕹菜>油麦菜>荆芥。

关键词 叶菜类蔬菜 土壤 Pb 污染 污染阈值

中图分类号: X503.231 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2008)04-0843-05

Relationship between soil Pb pollution and Pb contents in vegetables and pollution threshold of soil Pb

ZHAO Yong¹, LI Hong-Juan², WEI Ting-Ting¹, SUN Zhi-Qiang¹

(1. Department of Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Zhengzhou Reconnaissance, Design and Consultation Company Ltd, China Railway Group, Zhengzhou 450052, China)

Abstract In order to determine the impact of soil heavy metal pollution on vegetable and to enhance quality of green vegetable production, the relationship between soil Pb content and Pb pollution of vegetables was studied under greenhouse conditions using five commonly cultivated foliage vegetables (*Lactuca sativa* var. *Asparagina*, *Schizonepeta tenuifolia* Briq, *Ipomoea aquelica*, *Lactuca sativa*, *Amaranthus hypochondriacus*) in Zhengzhou, Henan Province. Soil Pb pollution threshold for the production of green vegetables was analyzed as well. The results show that low Pb polluted soils have insignificant effect on vegetable growth and output. Pb content in the 5 vegetables increases with increasing density of soil Pb, and no consistent pattern of relationship exists between Pb content in the soil and vegetables. Simulated Pb threshold limit is: *L. sativa* var. *Asparagina* $39.909\ 2 \pm 2.446\ 9\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, *S. tenuifolia* $43.898\ 6 \pm 3.585\ 5\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, *I. aquelica* $35.293\ 4 \pm 1.787\ 2\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, *L. sativa* $33.696\ 4 \pm 2.151\ 2\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, *A. hypochondriacus* $34.539\ 6 \pm 2.425\ 4\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pb concentration (ranked from highest to lowest) is as follows: *L. sativa* > *A. hypochondriacus* > *I. aquelica* > *L. sativa* var. *Asparagina* > *S. tenuifolia*.

Key words Foliage vegetable, Soil, Pb pollution, Pollution threshold

(Received March 20, 2007; accepted June 29, 2007)

随着工业的迅猛发展,农田重金属污染日趋严重^[1-3]。我国各大城市菜园土壤也普遍受到重金属污染,上海市 20 世纪 90 年代初期蔬菜已受到重金属污染,尤以 Cd 和 Pb 污染为甚。沈阳市受重金属污染的面积高达 $3\ 600\ \text{hm}^2$ ^[4-7]。植物具有富集重金属的特点^[8],对蔬菜的污染调查显示,叶菜类

蔬菜富集重金属的能力高于根茎类和花果类,最易受到污染并对人体造成危害^[9,10]。由于蔬菜基地缺乏土壤污染和农产品污染控制技术等原因,市场上所谓的“绿色食品”绝大部分不合格^[11,12]。我国各大城市菜园土壤和蔬菜受重金属污染的现状令人担忧,一些学者将 Pb 列为我国土壤污染的最重要

* 河南省重大科技攻关项目(0322010900)和河南省科技攻关项目(0424007)资助

赵勇(1962~),男,教授,主要从事污染生态及生态评价方面的研究。E-mail: zhaoyongha@sohu.com

收稿日期:2007-03-20 接受日期:2007-06-29

和典型的重金属污染物^[13,14]。

前人对植物吸收重金属进行了较多的研究,普遍认为:各种元素在植物体内的蓄积量存在差异^[15]。已有的研究也证明不同蔬菜品种对各种重金属元素的累积量也各有差异,一般认为土壤重金属元素有效含量与蔬菜中重金属元素含量间有较好的相关性^[16]。重金属在蔬菜中的含量大于瓜果类,而叶菜类蔬菜最容易累积重金属。在水培条件下进行叶类蔬菜对重金属(Pb、Cd 和 Cr)吸收的研究发现,重金属对蔬菜的生长和产量有显著影响,随浓度增大可食部分的重金属含量也提高^[17]。国内外的许多研究都证实,植物种类的差异直接决定了吸收重金属能力的差异;同一植物种类对不同重金属的吸收富集能力不同,不同种类的植物对同一种重金属的吸收富集能力也不同。

目前,绝大多数研究集中在各城市土壤和蔬菜的重金属污染分布和污染程度调查方面,对部分蔬菜与土壤的污染相关性方面也有一些研究,但针对叶菜类蔬菜与土壤重金属污染的相关性和污染阈值方面研究较少。本试验研究了不同浓度 Pb 污染土壤与叶菜类蔬菜污染的相关性,以明确 Pb 在各叶菜类蔬菜内的累积规律,探寻绿色蔬菜生产要求的土壤 Pb 污染阈值,为无公害蔬菜基地的选择和污染土壤的治理提供科学依据。

1 材料和方法

土壤采自河南农业大学试验农场,土壤质地为沙壤。采集耕层土壤(0~20 cm)风干后过 5 mm 筛,土壤理化性状为 pH(H₂O)7.11,有机质 25.72 g·kg⁻¹,全氮 1.30 mg·g⁻¹,全磷 0.38 mg·g⁻¹,全钾 12.60 mg·g⁻¹,阳离子交换量 CEC 9.13 cmol·kg⁻¹,并含痕量的 CaCO₃,Pb 本底值为 18 mg·kg⁻¹。

选取郑州市常见的 5 种叶菜类蔬菜油麦菜(*Lactuca sativa* var. *Asparagina*)、荆芥(*Schizonepeta tenuifolia* Briq)、蕹菜(*Ipomoea aquelica*)、生菜(*Lactuca sativa*)、苋菜(*Amaranthus hypochondriacus*)为试验材料,5 种蔬菜生长期都在 40~45 d 左右,所用种子均来自郑州市经三路种子市场。

每种蔬菜设定相同的 8 个处理,土壤中 Pb 浓度设计分别为 18 mg·kg⁻¹、28 mg·kg⁻¹、38 mg·kg⁻¹、48 mg·kg⁻¹、58 mg·kg⁻¹、68 mg·kg⁻¹、78 mg·kg⁻¹、88 mg·kg⁻¹,其中处理 1 为空白试验,每个处理重复 4 次。盆栽试验采用营养钵(上缘直径 15.0 cm,底面直径 13.0 cm,高 14.0 cm),每盆 1 kg 土。以溶液形式在土壤中加入分析纯 Pb(NO₃)₂,混合均匀后装入营养钵,加水至其含水量为田间持水量

的 60%,保持 1 周后,播入蔬菜种子。各处理的管理方式一致,生长 1 周后间苗,每钵留 4 苗,蔬菜生长期间保持土壤湿度为田间持水量的 60%。生长 45 d 后统一收获整株。

蔬菜 Pb 含量测定:取干样品,用王水(HNO₃:HCl=1:3)消煮至近干,加滴 HClO₄ 至消化完全,火焰原子吸收分光光度计法测定 Pb 含量。

土壤总 Pb 含量测定:取干燥土样,用王水(HNO₃:HCl=1:3)消煮至灰白色,加 5 mL HClO₄ 以消化残渣,1:1 HCl 溶解定容,然后以火焰原子吸收分光光度计测定 Pb 含量。

蔬菜重金属含量分级采用上海农业科学院推荐的标准^[18],土壤标准采用国家农业行业标准 NY/T391—2000,具体标准见表 1。

表 1 蔬菜及土壤重金属含量分级标准

Tab. 1 Graduation standard of heavy metal content in vegetables and soils

对象 Object	分级 Grade	Pb (mg·kg ⁻¹)
蔬菜 Vegetables	I (优秀)	0.020
	II (良好)	0.050
	III (安全)	0.100
	IV (临界)	0.200*
	V (警界)	0.500
土壤 Soils	6.5 < pH < 7.5	50

* 为国家食品卫生标准 National standard of food hygiene.

2 结果与分析

2.1 土壤中 Pb 含量对蔬菜株高、生物量的影响

本试验的目的是为了探寻绿色蔬菜生产中的土壤重金属含量限值,因此设计的 Pb 浓度不高,在试验中,测试蔬菜生长正常,外观未出现植株叶片发黄,生长明显受阻等现象,也没有出现由于 Pb 浓度过高对植物产生毒害的现象。对 8 种 Pb 处理土壤中蔬菜生长状况(株高、生物量)的统计结果见表 2。

由表 2 可知,在经重金属 Pb 处理的土壤中生长的蔬菜,随着施 Pb 浓度的增加,油麦菜、蕹菜、生菜的株高整体上无明显变化,苋菜株高有微小增高,荆芥株高有一定幅度的增高,有人把其现象解释为低含量重金属对植物有积极的“刺激作用”,即低浓度重金属促进植物体内的过氧化氢酶、过氧化物酶和酸性磷酸酶等的活性,促进了植物的生长^[13]。5 种蔬菜生物量与株高的规律相似,土壤中 Pb 含量增加对蔬菜生物量影响不明显,油麦菜和蕹菜有极轻微下降,荆芥有增加趋势,整体上 5 种蔬菜未出现产量明显下降。

表 2 不同土壤处理中蔬菜的株高、干重

Tab. 2 Vegetable height and biomass in different soil treatments

蔬菜 Vegetable	指标 Index	处理 Treatment							
		1	2	3	4	5	6	7	8
油麦菜	株高 Height(cm)	21	20	23	21	23	20	20	21
<i>Lactuca sativa</i> var. <i>Asparagina</i>	干重 Biomass(g)	4.55	4.45	4.15	4.05	3.95	4.5	4.1	3.95
蕹菜	株高 Height(cm)	19	20	21	19	23	23	19	21
<i>Ipomoea aquelica</i>	干重 Biomass(g)	4.55	4.54	3.9	3.95	4.05	4.15	3.6	3.85
荆芥	株高 Height(cm)	16	18	20	19	22	22	21	23
<i>Schizonepeta tenuifolia</i> Briq	干重 Biomass(g)	3.59	3.68	3.69	3.75	3.88	4.1	4.1	4.25
生菜	株高 Height(cm)	12	12	10	12	13	13	11	10
<i>Lactuca sativa</i>	干重 Biomass(g)	3.91	3.9	4.05	3.5	3.73	3.65	4.08	3.7
苋菜	株高 Height(cm)	15	16	16	19	20	17	20	18
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	干重 Biomass(g)	2.61	2.55	2.35	2.42	2.5	2.3	2.45	2.72

2.2 土壤中 Pb 含量对蔬菜中 Pb 含量的影响及相关性

8 种不同 Pb 处理土壤中蔬菜的对应 Pb 含量见表 3。根据表 1 的重金属含量分级标准,由表 3 可知,随施 Pb 量的增加,5 种蔬菜可食用部分的 Pb 含量均呈增加趋势。处理 1 的空白试验中,即土壤 Pb 含量为 $18\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 情况下,油麦菜、荆芥 Pb 含量都达到安全浓度,蕹菜、生菜、苋菜 Pb 含量未达到临

界浓度,但均符合国家食品卫生标准;处理 3(Pb 浓度为 $38\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)中,蕹菜 Pb 含量已超过国家食品卫生标准,超标率为 15%;处理 4(Pb 浓度为 $48\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)中,油麦菜、荆芥、蕹菜、生菜、苋菜的 Pb 含量都超过临界浓度,超过国家食品卫生标准,其中油麦菜超标 5%,荆芥超标 41%,蕹菜超标 13%,生菜超标 57.5%,苋菜超标 51%;随着土壤中 Pb 浓度的增大,5 种蔬菜 Pb 含量相继超出警界浓度。

表 3 不同土壤处理中蔬菜的 Pb 浓度

Tab. 3 Pb contents of vegetables in different soil treatments

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

蔬菜 Vegetable	处理 Treatment							
	1	2	3	4	5	6	7	8
油麦菜	$0.071\pm$	$0.174\pm$	$0.104\pm$	$0.210\pm$	$0.474\pm$	$0.405\pm$	$0.630\pm$	$0.835\pm$
<i>Lactuca sativa</i> var. <i>Asparagina</i>	0.019	0.025	0.036	0.029	0.042	0.054	0.039	0.068
荆芥	$0.071\pm$	$0.185\pm$	$0.101\pm$	$0.282\pm$	$0.211\pm$	$0.470\pm$	$0.402\pm$	$0.790\pm$
<i>Schizonepeta tenuifolia</i> Briq	0.023	0.049	0.028	0.062	0.093	0.084	0.059	0.072
蕹菜	$0.141\pm$	$0.105\pm$	$0.230\pm$	$0.226\pm$	$0.480\pm$	$0.550\pm$	$0.813\pm$	$1.147\pm$
<i>Ipomoea aquelica</i>	0.062	0.052	0.065	0.094	0.070	0.074	0.046	0.064
生菜	$0.142\pm$	$0.127\pm$	$0.199\pm$	$0.315\pm$	$0.450\pm$	$0.681\pm$	$0.656\pm$	$0.654\pm$
<i>lactuca sativa</i>	0.046	0.057	0.062	0.019	0.053	0.045	0.064	0.053
苋菜	$0.144\pm$	$0.110\pm$	$0.142\pm$	$0.302\pm$	$0.573\pm$	$0.990\pm$	$0.990\pm$	$1.050\pm$
<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	0.047	0.082	0.073	0.088	0.048	0.064	0.038	0.079

为探寻土壤中 Pb 浓度和叶菜类蔬菜中 Pb 含量之间的关系,确定土壤中 Pb 对绿色叶菜类蔬菜的污染阈限值,利用土壤和蔬菜重金属的检测数据,用建立数学模型来寻找土壤污染阈值。本研究以土壤 Pb 污染浓度和蔬菜 Pb 含量为对象,采用回归分析的方法,建立土壤 Pb 含量(y)与蔬菜 Pb(x)的线性、多项式、对数、乘幂、指数 5 个回归模型,并进行筛选。通过比较各方程的相关系数(R^2)和相关显著性检验(P 值),最后确定采用拟合性最高(最大 R^2 值和最小 P 值)的回归方程为拟合公式,

见表 4。

由表 4 可以看出,油麦菜、荆芥、蕹菜、生菜、苋菜 5 种蔬菜中的 Pb 含量均与土壤中的 Pb 含量存在较好的相关性,经检验二者呈极显著正相关,即随着土壤中 Pb 含量的增大,5 种蔬菜的 Pb 含量均呈增加趋势,但响应程度表现不一。为简便起见,只列出了油麦菜的相关曲线图,见图 1。

根据国家食品卫生标准中对蔬菜 Pb 污染的限值为 $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,即 $x=0.2$ 代入表 4 拟合公式,可得 5 种叶菜类蔬菜种植过程中对应土壤的 Pb 污

表 4 土壤、蔬菜 Pb 含量关系

Tab. 4 Relationship between Pb contents in soil and vegetables

蔬菜 Vegetable	拟合公式 Fitting formula	R^2	P
油麦菜 <i>Lactuca sativa</i> var. Asparagina	$y = -62.147x^2 + 138.49x + 14.967$	0.908 5	0.000 48 **
荆芥 <i>Schizonepeta tenuifolia</i> Briq	$y = -118.21x^2 + 191.33x + 10.361$	0.846 0	0.003 72 **
蕹菜 <i>Ipomoea aquelica</i>	$y = -54.914x^2 + 128.73x + 11.744$	0.941 6	0.000 57 **
生菜 <i>lactuca sativa</i>	$y = -84.824x^2 + 167.15x + 3.659 4$	0.917 9	0.000 27 **
苋菜 <i>Amaranthus hypochondriacus</i>	$y = -26.119x^2 + 85.767x + 18.431$	0.901 4	0.000 38 **

** 极显著相关 Significant correlation at the 0.01 level.

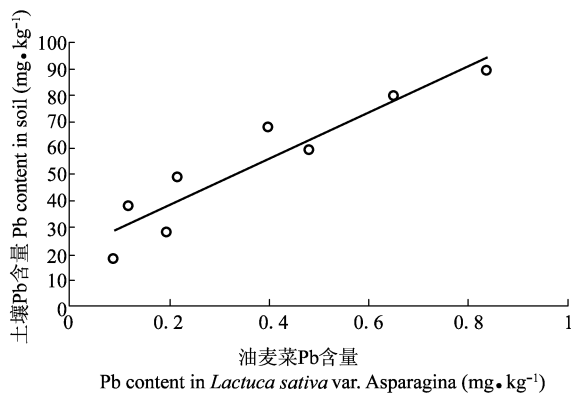


图 1 油麦菜土壤 Pb 含量相关曲线图

Fig. 1 Regression curve between Pb content of soil and *lactuca sativa* var. Asparagina

染阈限值,计算结果油麦菜为 $39.909 2 \pm 2.446 9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,荆芥 $43.898 6 \pm 3.585 5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,蕹菜 $35.293 4 \pm 1.787 2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,生菜 $33.696 4 \pm 2.151 2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,苋菜 $34.539 6 \pm 2.425 4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从模拟得出的重金属阈限值可知,荆芥对 Pb 的富集能力最小,土壤污染阈限值最高,其次是油麦菜、蕹菜、苋菜,生菜的 Pb 污染阈限值最低,表明生菜对 Pb 的富集能力最强。土壤污染阈限值反映出植物对重金属 Pb 富集能力的大小,各种蔬菜对 Pb 富集能力由大到小为生菜 > 苋菜 > 蕹菜 > 油麦菜 > 荆芥。

3 讨论与结论

许多研究表明,植物对 Pb 的生理反应不很明显,作物在 Pb 含量 $4 000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的土壤中未出现宏观病症^[13]。本试验条件下也得到相似的结论。试验过程中,蔬菜生长良好,未出现叶片失绿、发白,生长严重受阻等现象,部分蔬菜长势在 Pb 处理土壤中比空白处理好,例如荆芥的株高随 Pb 处理浓度的增加而增加,增幅达 43.75%。本次试验中 5 种蔬菜的生物量均无明显下降现象也证明了这一点。

蔬菜种类不同,吸收重金属的能力存在较大差异^[9]。试验中水溶性铅进入土壤后,会与土壤发生

一定作用,生物有效性不可避免的发生部分转变,但各处理中 Pb 设计浓度相差不大,5 种蔬菜生长、管理条件一致,因此认为可以进行同步比较。试验中 5 种蔬菜在相同条件下,对 Pb 表现出不同的富集能力和污染相关性,初步解释这可能与蔬菜根系表面积大小有关,也可能与其对各重金属耐性强弱有关^[13]。

根据试验结果可知,5 种叶菜与土壤中的 Pb 含量都存在较好的相关性,前人的研究有的支持本结果^[19],有的与本结果相反^[6],反映出土壤 Pb 污染与叶菜类蔬菜的关系复杂性。许多大田研究结果认为土壤 Pb 污染与蔬菜含量无相关性^[6,7]。这可能与空气中的 Pb 含量对叶菜类蔬菜中 Pb 含量有较大影响有关^[19]。由于大田中生长的蔬菜受空气中 Pb 污染影响较重(与汽车工业的发展和含 Pb 汽油的使用密切相关),故表现出土壤蔬菜相关性较差;而本研究在温室条件下,Pb 污染较轻,因此土壤 Pb 污染和 5 种蔬菜 Pb 含量都呈较好的相关性,这种良好的相关性应从光合、呼吸、蒸腾和气孔导度等生理生态指标来揭示。

探明植物对土壤重金属污染的关系是食品安全的重要基础性工作。本试验土壤的 Pb 设定值以国家农业标准为基础上下波动,可在一定范围内探寻不同 Pb 污染土壤与叶菜类蔬菜累积相关性规律及不同种绿色蔬菜生产需要的 Pb 污染的阈限值,通过研究,模拟得出的阈限值显示,荆芥对土壤质量的要求相对较低,可在轻度 Pb 污染土壤上生产出安全可食用的蔬菜;而生菜对土壤要求较高,只能在相对清洁的土壤上进行生产。因此,根据不同作物对 Pb 的吸收效应,针对土壤 Pb 污染程度的不同,有区别、有选择地种植作物,有利于降低土壤 Pb 对农产品的污染,使受污染农田得到合理的开发利用。

本试验通过温室盆栽方法研究了土壤在不同浓度 Pb 污染下与叶菜类蔬菜污染的相关性及 Pb 在各叶菜类蔬菜内累积的规律,在国家食品卫生标准下找出了 5 种绿色蔬菜生产要求的土壤 Pb 污染阈限值,研究结果表明:低浓度 Pb 污染的土壤对蔬

菜生长、产量影响不明显,对苋菜株高生长具有一定的促进作用;随土壤 Pb 浓度的增加,蔬菜中的 Pb 含量呈增加趋势,大部分蔬菜与土壤 Pb 含量存在很好的相关性;模拟得出的土壤 Pb 污染阈限值油麦菜为 $39.9092 \pm 2.4469 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 荆芥 $43.8986 \pm 3.5855 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 蕹菜 $35.2934 \pm 1.7872 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 生菜 $33.6964 \pm 2.1512 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 苋菜 $34.5396 \pm 2.4254 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;蔬菜富集 Pb 的能力由大到小排序为生菜 > 苋菜 > 蕹菜 > 油麦菜 > 荆芥。

参考文献

- [1] Luis M., Encarnacion D. B., Fernando M. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville[J]. Chemosphere, 2002, 49: 1301-1308
- [2] Ho T. L., Carlton S. C., Chambers B. J., et al. Heavy metal status of agricultural soils in Tuliem and Thanhtri Districts of Hanoi City[J]. J. Fac. Agr. Kyushu Univ., 1999, 43(3/4): 489-497
- [3] Sterckeman T., Douay F., Proix N., et al. Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soil near Smelters in the North of France[J]. Environmental Pollution, 2000, 107: 377-389
- [4] 樊小林, 姜井军, 张一平, 等. 土壤和蔬菜中重金属含量的研究[J]. 西北农业大学学报, 1993, 21(3): 103-106
- [5] 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
- [6] 马往校, 段敏, 李岚. 西安市郊区蔬菜中重金属污染分析与评价[J]. 农业环境保护, 2000, 19(2): 96-98
- [7] 魏秀国, 何江华, 陈俊坚, 等. 广州市蔬菜地土壤重金属污染状况调查及评价[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 252-254
- [8] 张乃明. 土壤-植物系统重金属污染研究现状与展望[J]. 环境科学进展, 1998, 7(4): 30-33
- [9] 祖艳群, 李元, 陈海燕, 等. 昆明市蔬菜及其土壤中铅、镉、铜和锌含量水平及污染评价[J]. 云南环境科学, 2003, 22(增刊): 55-57
- [10] Nicholson F. A., Smith S. R., Alloway B. J., et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. The Science of the Total Environment, 2003, 311: 205-219
- [11] 韩爱民, 陈克平, 蔡继红, 等. 综合食品基地土壤和蔬菜中重金属的调查[J]. 污染防治技术, 2003, 16(1): 27-28
- [12] 陆贻通, 叶健. 上海市绿色食品的发展前景与测量[J]. 上海环境科学, 2000, 19(3): 95-97
- [13] 杜应琼, 何江华, 陈俊坚, 等. 铅、镉和铬在叶菜类蔬菜中的积累及其生长的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(1): 51-55
- [14] 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
- [15] 韩爱民, 蔡继红, 屠锦河, 等. 水稻重金属含量与土壤质量的关系[J]. 环境监测管理与技术, 2002, 14(3): 27-28
- [16] 温志良, 莫大伦. 土壤污染研究现状与趋势[J]. 重庆环境科学, 2000, 22(3): 55-57
- [17] 武淑华, 韩爱民, 蔡继红, 等. 蔬菜中重金属含量与土壤质量的关系[J]. 长江蔬菜, 2002(学术专刊): 41-43
- [18] 汪雅谷, 吴其乐. 上海地区绿色食品蔬菜中若干污染物容许限量的初步探讨[J]. 上海农业学报, 1997, 13(3): 16-20
- [19] 李其林, 王显军. 汽车尾气对土壤和蔬菜中铅含量的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 17-18