

广州市蔬菜重金属污染现状及对人体健康风险分析

秦文淑^{1,2}, 邹晓锦¹, 仇荣亮¹

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275; 2. 广东轻工职业技术学院, 广东 广州 510300)

摘要:通过测定3个不同采样时期广州市主要蔬菜市场的12种蔬菜共36个样品,分析其中的Pb、Cd、Cr、Ni、Cu、Zn重金属含量水平,对经蔬菜途径摄入的重金属暴露接触人体的健康风险进行了评估。结果显示,Pb、Cr、Cd为广州市蔬菜的主要污染元素,其超标率分别达到22.2%、38.9%和13.9%。根茎类蔬菜的污染程度大于叶菜类和瓜果类。利用单因子污染指数法进行了评价,发现广州市蔬菜的污染比例在50%以上,其中28.9%为轻度污染。广州市居民经食用蔬菜日均Pb、Zn、Cd、Cu、Cr、Ni摄入量(Daily intake, DI)均未超过FAO/WHO人均日摄入可允许限量标准(Provisional tolerable daily intake, PTDI)。THQ(Target hazard quotients)靶标危害系数结果表明几种重金属的THQ值均小于1,其中Pb的THQ为0.447,说明经蔬菜途径摄入重金属对广州市居民健康风险很低,但是与其他几种元素相比,Pb在一定程度上具有潜在风险。

关键词:重金属;健康风险;蔬菜;日人均摄入量;靶标危害系数

中图分类号:X836;X820.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1638-05

Health Risk of Heavy Metals to The General Public in Guangzhou, China via Consumption of Vegetables

QIN Wen-shu^{1,2}, ZOU Xiao-jin¹, QIU Rong-liang¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China)

Abstract: 36 vegetable samples including 12 most popular vegetable types were taken in three different seasons from the Jiangnan Vegetable Wholesale Market—the biggest vegetable consumption market in Guangzhou City, and analyzed for heavy metal contents of Pb, Cd, Cr, Ni, Cu, and Zn. Results showed that Pb, Cr, Cd were the major heavy metal contaminants of vegetables in Guangzhou, with 22.2%, 38.9% and 13.9% of tested samples above the Safety Requirements for Non-environmental Pollution Vegetable respectively, while rhizome vegetables exhibited higher degree of contamination than leaf vegetables and melons. Single-factor contaminant index was utilized for assessment. It was found that over 50% vegetables in Guangzhou were contaminated, of which 28.9% were classified as slightly contaminated. The Health risks associated with these heavy metals were assessed based on the target hazard quotients (THQs), which can be derived from concentrations of heavy metals in vegetables consumed in the inhabitants. The THQs of heavy metals of vegetables in Guangzhou was below 1, which indicated that the health risk via vegetable consumption in Guangzhou was relative low. While compared to other heavy metals, more attention should be pay to Pb, the metal with the highest THQ of 0.447.

Keywords: heavy metal; health risk; vegetables; PTDI; THQ

由于人类活动的影响,环境污染问题不断加剧。而重金属以其毒性和富集特性,在环境中引起特别的关注^[1]。广州市郊区农业土壤由于污水灌溉、固体废物和农药的影响,Cu、Pb、Zn、Cr、Cd和Hg元素的平均

含量都已超过了广东省土壤背景值和全国土壤背景值^[2]。过量的重金属进入土壤环境中,能通过“土壤-植物-人”的途径进入人体,危害人类健康及安全^[3,4]。广州市蔬菜重金属调查已有不少研究报道^[5],但尚未有经食用蔬菜摄入重金属对广州居民健康风险的系统评估。本研究旨在通过不同时期蔬菜样品重金属含量的测定,充分了解广州市蔬菜样品重金属的基本情况,对其污染程度进行分析,同时评价经食用蔬菜重金属暴露接触对广州居民的饮食健康风险。这可为治

收稿日期:2007-12-25

基金项目:广东省自然科学基金重点项目(05101824);教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET04-0790)

作者简介:秦文淑(1969—),女,硕士,讲师,主要从事环境监测方面的研究。E-mail:qinwenshu123@163.com

通讯作者:仇荣亮 E-mail:eesqrl@mail.sysu.edu.cn

理农业环境污染和控制蔬菜质量提供一定的参考,为防止重金属危害人体健康提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析方法

按照均匀分散多点的原则分别于 2005 年 2 月 19 日、4 月 13 日、8 月 25 日采集广州市主要蔬菜销售市场——江南蔬菜批发市场的 12 种蔬菜共 36 个样品,每种蔬菜样品 1 kg 带回实验室后,用自来水冲洗、蒸馏水洗净,烘干,磨碎备用。将蔬菜分为 3 类,其中根茎类蔬菜包括胡萝卜、土豆和白萝卜,瓜果类蔬菜包括青椒、茄瓜、西红柿和青瓜,叶菜类蔬菜包括椰菜花、绍菜、芥菜、小塘白菜、菜心。采集回来的样品分别测定样品中含水率以及 Cd、Pb、Cr、Cu、Ni、Zn 含量,重金属含量测定采用硝酸+高氯酸(4+1)消解法,消解后蔬菜中重金属含量用火焰原子吸收分光光度计(Z5000, Hitachi)测定。Cd 和 Pb 含量采用石墨炉原子吸收分光光度计(Z5000, Hitachi)测定。以中国环境监测总站西红柿 ESP-1 进行分析质量控制,质控样测定均值都在规定要求范围内。所得数据应用统计软件 SPSS10.0 和 EXCEL2003 进行统计分析。

1.2 数据分析与评价方法

数据分析与评价方法采用单因子污染评价指数^[6]和尼梅罗综合评价指数,单因子污染评价指数表达式如下

$$P_i = C_i / S_i$$

式中: P_i 为所计算出的重金属单项污染指数; C_i 为该重金属的实测值; S_i 为各项评价标准值。如 $P_i < 1$ 则表明未受污染, $P_i > 1$ 则表明已受污染, P_i 数值越大,说明受到的重金属污染越严重。蔬菜评价结果划分 5 个等级:蔬菜单项污染指数 ≤ 0.7 为优良; ≤ 1.0 为安全; ≤ 2.0 为轻污染; ≤ 3.0 为中污染; > 3.0 为重污染。

为突出不同蔬菜类型中不同重金属的最高污染指数的作用,引入蔬菜综合评价指数,即在单项污染指数的基础上采用尼梅罗污染指数法对蔬菜进行综合的评价。其计算公式如下:

$$P_{\text{综}} = [(P_{\text{平均}}^2 + P_{\text{max}}^2) / 2]^{1/2}$$

$P_{\text{平均}}$ 为蔬菜各单项污染指数 P_i 的平均值, P_{max} 为蔬菜各单项污染指数中最大值。

1.3 重金属接触人体健康风险评价方法

广州市居民经蔬菜摄入重金属量采用日人均摄入量(Daily intake, DI)来计算。公式表达如下:

$$DI = F_{IR} C$$

式中: F_{IR} 为消化食物的比率,为 $345 \text{ g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ^[7]; C 为食物中重金属含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

THQ(Target hazard quotients)靶标危害系数方法是一种用于评估人体通过食物摄取重金属风险的方法,该方法是依据 US EPA(2000)^[8]提出的按成人及儿童的平均体重建立的风险分析方法,对于不同年龄的人群参数不同。本研究采用的 F_{IR} 参数及 W_{AB} 参数按照文献^[9]方法通过调查问卷获得。

THQ 方法公式表达如下:

$$\text{THQ} = \frac{E_F E_D F_{IR} C}{R_{FD} W_{AB} T_A} \times 10^{-3}$$

式中: E_F 为接触频率, $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$; E_D 为平均人寿, 70 a; F_{IR} 为消化食物的比率, $\text{g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; C 为食物中重金属含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; R_{FD} 为参比剂量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{person}^{-1}$, (US EPA, 2000); W_{AB} 为人体平均体重, 成人为 55.9 kg, 儿童为 32.7 kg; T_A 为平均接触时间, 计算结果 $\text{THQ} < 1$ 则认为人体负荷的重金属对人体健康造成的影响不明显。

2 结果与分析

2.1 广州市主要蔬菜种类重金属含量分析结果

广州市主要蔬菜重金属含量见表 1。由表 1 可知所调查蔬菜的 Pb 平均浓度为 $0.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 超过《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求》(GB18406.1.2001)^[10]中重金属 Pb 的最高允许浓度 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 这说明广州市的蔬菜受到 Pb 污染的威胁。而 Zn、Cu 含量并未超标。土豆的 Cd、Zn、Cu、Cr 的含量在所有调查样品中呈现最大值,说明土豆受到重金属的威胁较大。根据调查蔬菜的不同类型,将采集的蔬菜分为根茎类、瓜果类以及叶菜类。通过分析不同蔬菜类型的重金属含量,反映不同类型蔬菜对重金属的吸收情况。由表 1 可知,除 Ni 在叶菜中含量最高外,根茎类蔬菜 Pb、Cd、Zn、Cu、Cr 含量均高于瓜果类及叶菜类重金属含量。

2.2 蔬菜重金属含量污染评价

根据单因子评价指数方法,广州市蔬菜重金属污染不同污染级别比例如图 1 所示。由图 1 可知,广州市蔬菜轻污染级别比例为最高,达到 28.9%;其次为安全和优良级别,比例分别为 26.3%、21.1%;再次为重污染级别 10.5%和中污染级别 13.2%。虽然重污染和中污染所占比例不高,但轻污染级别所占的比例为最高,这说明广州市蔬菜受到重金属污染的严重威胁。而在不同类型蔬菜中,根茎类的重污染和中污染级别的比例高于其他 3 个级别,分别达到 22.2%、

表 1 广州市主要蔬菜重金属含量(mg·kg⁻¹,鲜重)
Table 1 Heavy metal content of different vegetable in Guangzhou (mg·kg⁻¹,FW)

类别	项目	含水率/%	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr
根茎类	胡萝卜	90.7±0.6	1.5±2.2	0.03±0.01	2.3±1.3	0.52±0.02	0.19±0.07	0.81±0.28
	土豆	75.0±1.7	0.2±0.3	0.05±0.04	3.9±2.4	1.26±1.16	0.23±0.12	1.26±0.9
	白萝卜	95.0±0	0.08±0.05	0.01±0.02	1.2±0.8	0.17±0.05	0.10±0.06	0.30±0.13
	根茎类均值	86.9±0.8	0.59±0.85	0.03±0.02	2.5±1.5	0.65±0.4	0.17±0.08	0.79±0.44
叶菜类	椰菜花	92.7±0.6	0.16±0.18	0.02±0	3.1±0.3	0.24±0.11	0.09±0.11	0.18±0.16
	绍菜	95.3±0.6	0.09±0.02	0.03±0.02	1.3±1.2	0.29±0.12	0.24±0.28	0.24±0.15
	芥菜	95.0±1.0	0.16±0.21	0.03±0.02	1.4±0.8	0.38±0.15	0.06±0.05	0.20±0.19
	小塘白菜	94.7±0.6	0.13±0.06	0.03±0.02	2.6±0.3	0.28±0.04	2.06±3.50	0.31±0.15
	菜心	93.0±0	0.13±0.06	0.03±0.03	3.0±0.4	0.42±0.05	0.12±0.09	0.95±0.51
	叶菜类均值	94.1±1.1	0.13±0.11	0.03±0.02	2.3±0.6	0.32±0.1	0.51±0.81	0.38±0.23
瓜果类	青椒	92.3±0.6	0.16±0.2	0.03±0.02	2.0±1.6	0.95±0.37	0.21±0.06	0.59±0.20
	茄瓜	92.3±0.6	0.09±0.07	0.04±0.01	1.6±0.6	0.48±0.17	0.08±0.07	0.42±0.24
	西红柿	95.7±0.6	0.04±0.05	0.01±0.01	1.3±0.8	0.50±0.15	0.11±0.11	0.28±0.23
	青瓜	96.0±0	0.12±0.15	0.02±0.02	1.3±0.6	0.37±0.17	0.14±0.13	0.30±0.29
	瓜果类均值	94.1±0.5	0.10±0.12	0.03±0.02	1.6±0.9	0.58±0.2	0.14±0.09	0.40±0.24
	总超标率/%	—	22.2	13.9	0	0	2.7	38.9
	总平均值	92.3	0.24	0.03	2.1	0.49	0.30	0.49
	蔬菜卫生标准限值	—	0.2	0.05	20.0	10.0	0.6	0.5

注:表中数值为 3 次调查平均值±标准差。

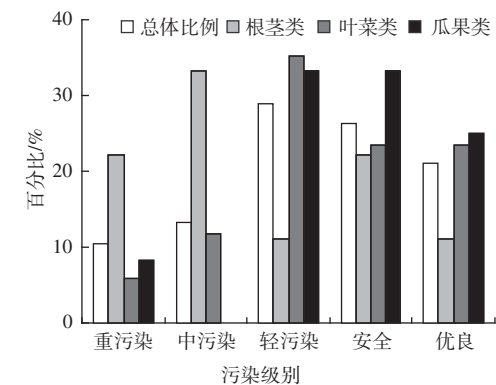


图 1 广州市蔬菜重金属污染评价结果

Figure 1 Evaluation of heavy metal in different species vegetable

33.3%,而叶菜类和瓜果类的轻污染级别在统计中也处于 5 个级别的最大值,分别为 35.3%、33.3%。特别对于根茎类蔬菜胡萝卜和土豆,在评价中未有优良或安全的级别出现。对于叶菜类,除绍菜的评价结果未出现超标外,其他叶菜样品在 3 次采样中均出现超标的污染样品。瓜果类样品西红柿的评价结果较好,未出现污染级别的评价,而其他样品均出现了污染级别的评价。表2 为不同类型蔬菜重金属的综合污染指数。

从表 2 可看出,对于根茎类蔬菜,不同金属的综合污染指数为:Pb>Cr>Cd >Ni>Zn>Cu,对于叶菜类蔬菜,不同金属的综合污染指数 Ni>Cr>Pb>Cd>Zn>Cu;

表 2 不同类型蔬菜重金属的综合污染指数

Table 2 Integrated coefficient of heavy metals in different species vegetable

蔬菜类型	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr
根茎类	14.5	1.48	0.21	0.19	0.64	3.17
叶菜类	1.33	0.97	0.16	0.09	7.23	2.17
瓜果类	1.49	0.85	0.15	0.11	0.37	1.28

对于瓜果类蔬菜,其顺序为:Pb>Cr>Cd>Ni>Zn>Cu。由此可见,Pb、Cr 对蔬菜的重金属污染贡献较大,而 Cd 的污染也不可忽视,蔬菜样品中 Zn、Cu 的污染则较小。根茎类蔬菜的 Pb 和叶菜类的 Ni 综合污染指数较高,分别达到 14.5 和 7.23,这主要是由于在调查中这两类蔬菜中有异常值出现所致。

2.3 广州市居民经蔬菜途径摄入重金属对人体健康风险

广州市居民经食用蔬菜途径日摄入重金属量均未超过 PTDI 标准(表 3)。Zn、Cd、Cu 的 R_{FD} 依据 US EPA(2000)标准分别为:0.3、0.001、0.04 mg·kg⁻¹·d⁻¹, Pb 和 Cr(US EPA1997)分别为 0.004 和 1.5 mg·kg⁻¹·d⁻¹[8,11]。广州市居民通过蔬菜途径进入人体 Pb、Cd、Zn 和 Cu 暴露接触的 THQ 值分别为 0.447、0.105、0.033、0.059,Cr 的 THQ 值为 0.000 2。蔬菜中几种重金属的 THQ 值均小于 1,说明经蔬菜途径摄入重金属对广州

市居民健康风险比较低。但 Pb 的 THQ 值达到 0.447, 具有潜在的重金属接触暴露健康风险。Zn、Cu 和 Cr 的 THQ 均远小于 1, 说明广州市居民经蔬菜途径暴露接触这 3 种重金属的风险很小。

表 3 广州市居民通过蔬菜途径日摄入重金属量($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)

Table 3 DI for metals caused by consuming vegetable in

Guangzhou($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)

	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr
DI	0.083	0.011	0.725	0.169	0.104	0.169
PTDI ^[14]	0.2	0.072	33	6.5	1.2	0.498

3 讨论

本研究结果表明,广州市蔬菜的主要污染元素是 Pb、Cd,超标率分别 22.2%、13.9%。与周建利^[12]报道在我国蔬菜重金属污染中,Pb、Cd、Hg 是 3 种最主要的污染元素的研究结果一致。广州市蔬菜出现了 52.4% 的污染样品(包括了轻污染、中污染和重污染),高于东莞市的蔬菜污染比例 31.3%^[13],其中以 Pb 污染的超标率为最大,Pb 平均值超出标准 1.2 倍,达到 $0.24 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (鲜重),超标率达到 22.2%,高于北京市蔬菜 Pb 含量超标率 9.2%的报道^[14]。昆明市蔬菜可食部分 Pb、Cd、Cu、Zn 的含量均在不同程度上超过国家食品卫生标准,其中以 Pb 最严重^[15]。蔬菜中 Pb 污染可能与人为的影响有关,主要包括工业废水的排放以及汽油的燃烧等,从而导致蔬菜的 Pb 含量出现超标的可能。郑路在研究蔬菜 Pb 吸收时认为,大气中的 Pb 50%以上可被蔬菜叶片直接吸收^[16]。有关研究表明含 Pb 汽油使用的不良后果将在未来相当一段时间内持续,可能会造成蔬菜 Pb 含量的超标^[12,17]。这也说明供试蔬菜的种植土壤应该在一定程度上受到重金属的污染,污灌可能是污染的一个重要原因。

广州市蔬菜的污染程度以根茎类比例为高,这可能与蔬菜根系吸收金属后,并未能有效向上运输而储存在根部有关。如 Michalik 等^[18]发现不同种类胡萝卜在不同重金属污染的地方,其根中的 Pb、Ni、Cr、Cu、Mn 等重金属含量均为最高。有研究报道胡萝卜根系中的 Pb、Cd 高于其他部位^[19]。陈同斌等^[14]在分析北京市蔬菜 Pb 含量时,得出了根茎类>瓜果类>叶菜类的结论,与本调查结果是一致的。这说明虽然有些植物可以将重金属积累于茎和衰老的叶中,但是更多的植物是将重金属积累于根部^[20]。

与其他国家及地区相比,广州市居民经蔬菜途径

日摄入 Pb 含量低于中国白银地区,而与西班牙加纳利群岛和中国葫芦岛地区居民饮食摄入量相近,高于韩国居民(表 4)。Cd 的摄入量则与西班牙加纳利群岛居民相似,低于中国其他两个地区。Zn 的摄入量则远远低于其他地区的摄入量。Cu 的摄入量高于上海低于其他几个地区。人体通过食物摄入重金属途径还包括米类、面类及饮用水,本研究仅研究了经蔬菜摄入的重金属途径,尽管 DI 未超出 PTDI 标准,但是 Pb 的 THQ 值达 0.447,这说明广州市居民饮食摄入的重金属 Pb 已具有潜在的健康威胁。

表 4 其他国家与地区及中国有关地区居民蔬菜

日摄入重金属含量 DI($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)

Table 4 Dietary intake of heavy metals in different areas($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)

国家和地区	暴露途径	Pb	Zn	Cd	Cu
西班牙加纳利群岛 ^[21,22]	日常饮食摄入	0.072 8	—	0.011 16	—
中国葫芦岛 ^[23]	蔬菜及其他食物	0.081 5	12.258	0.041 88	2.729
韩国 ^[24]	日常饮食摄入	0.024 4	—	0.014 3	—
中国白银 ^[25]	蔬菜摄入	0.990	6.290	0.050	2.150
中国上海 ^[26]	饮用水摄入	—	1.830	—	0.021 12

广州市居民的重金属摄入量与居民饮食结构密切相关,其中通过蔬菜摄入是重金属进入人体的主要途径之一,这与蔬菜的重金属含量有关。因此,了解广州市蔬菜的重金属含量对于指导居民健康饮食,减少重金属对人体健康的威胁有着重要的意义。

参考文献:

- [1] Omgbu J A, Kokogbo M A. Determination of Zn, Pb, Cu and Hg in soils of Ekpan Nigeria[J]. *Environment International*, 1993, 19:611-612.
- [2] 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.
- [3] Hussein H, Farag S, Kandil K, et al. Tolerance and uptake of heavy metals by Pseudomonads[J]. *Process of Biochemistry*, 2005, 40:955-961.
- [4] Granero S, Domingo J L. Levels of metals in soils of Alcaa de Henares, Spain; human health risks [J]. *Environment International*, 2002, 28: 159-164.
- [5] 何江华,柳 勇,王少毅,等.广州市菜园土主要蔬菜重金属背景含量的研究[J]. 生态环境, 2003, 12(3):269-272.
HE Jiang-hua, LIU yong, WANG Shao-yi, et al. Studies on the background levels of heavy metals in major vegetables in Guangzhou vegetable garden soils [J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12 (3):269-272.
- [6] 姚春霞,陈振楼,张 菊,等.上海浦东部分蔬菜重金属污染评价[J].

- 农业环境科学学报, 2005, 24(4):761-765.
- YAO Chun-xia, CHEN Zhen-lou, ZHANG Ju, et al. Heavy metal pollution assessment of vegetables in Pudong Zone of Shanghai [J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2005, 24(4):761-765.
- [7] Wang X L, Sato T, Xing B S, et al. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish[J]. *Science of the Total Environment*, 2005, 350:28-37.
- [8] US EPA. Risk-based concentration table[R]. Philadelphia PA: Washington DC; 2000.
- [9] Xu P, Huang S B, Wang Z J, et al. Daily intakes of copper, zinc and arsenic in drinking water by population of Shanghai, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 362:50-55.
- [10] GB18406.1. 农产品安全质量无公害蔬菜安全要求[S]. GB18406.1. Safety requirements for non-environmental pollution Vegetable[S].
- [11] U. S. EPA. Mercury study report to congress health effects of mercury and mercury compounds, vol. V[R]. Washington(DC); 1997. EPA-452/R-97-007.
- [12] 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.
- ZHOU Jian-li, CHEN Tong-bin. Situation and prospect of research on heavy metal pollution in vegetables and soils for vegetable cultivation in urban areas of China[J]. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2002, 22(5):476-490.
- [13] 马瑾, 万洪富, 杨国义, 等. 东莞市蔬菜重金属污染状况研究[J]. 生态环境, 2006, 15(2):319-322.
- MA Jin, WAN Hong-fu, YANG Guo-yi, et al. Assessment of pollution of heavy metals on vegetables in Dongguan city [J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(2):319-322.
- [14] 陈同斌, 宋波, 郑袁明, 等. 北京市菜地土壤和蔬菜铅含量及其健康风险评估[J]. 中国农业科学, 2006, 39(8):1589-1597.
- CHEN Tong-bin, SONG Bo, ZHENG Yuan-ming, et al. A survey of lead concentrations in vegetables and soils in Beijing and their Health risks[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(8):1589-1597.
- [15] 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, 22:55-57.
- ZU Yan-qun, LI Yuan, CHEN Hai-yan, et al. Concentration and evaluation on pollution of Pb, Cd, Cu and Zn in vegetable farm soil and vegetable of Kunming [J]. *Yunnan Environmental Science*, 2003, 22:55-57.
- [16] 郑路. 合肥市菜园蔬菜和土壤铅污染调查 [J]. 环境污染与防治, 1989, 11(5):33-35.
- ZHENG Lu. Investigation on Pb pollution of vegetables and soil in Hefei City[J]. *Environmental Pollution and Control*, 1989, 11(5):33-35.
- [17] 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 等. 北京市不同土地利用方式下土壤铅的积累[J]. 地理学报, 2005, 60:791-797.
- ZHENG Yuan-ming, CHEN Tong-bin, CHEN Huang, et al. Lead accumulation in soils under different land use types in Beijing City[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60:791-797.
- [18] Michalik B, et al. International symposium on quality of fruit and vegetables influence of post-harvest factors and technology, Chania, Greece[J]. *Acta-Horticulturae*, 1995, 379:213-219.
- [19] 金国贤, 薛锐, 潘春龙. 植物根过滤作用对重金属的富集研究[J]. 江苏环境科技, 2000, 13(2):4-6.
- JIN Guo-xian, XUE Rui, PAN Chun-long. Research on heavy metal enrichment by plant root filtration [J]. *Jiangsu Environmental Science and Technology*, 2000, 13(2):4-6.
- [20] 薛艳, 沈振国, 周东美, 蔬菜对土壤重金属吸收的差异与机理[J]. 土壤, 2005, 37(1):32-36.
- XUE Yan, SHEN Zhen-guo, ZHOU Dong-mei. Difference in heavy metal uptake between various vegetables and its mechanism[J]. *Soil*, 2005, 37(1):32-36.
- [21] Rubio C, Hardisson A, Reguera J I, et al. Cadmium dietary intake in the Canary Islands [J]. *Spain Environmental Research*, 2006, 100:123-129.
- [22] Rubio C, González I T, Reguera J I, et al. Lead dietary intake in a Spanish population (Canary Islands)[J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53:6543-6549.
- [23] Zheng N, Wang Q C, Zheng D M. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables[J]. *Science of the Total Environment*, 2007, doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.05.002.
- [24] Haeng-Shin Lee, Yang-Hee Cho, Seon-Oh Park, et al. Dietary exposure of the Korean population to arsenic, cadmium, lead and mercury[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2006, 19:531-537.
- [25] Li Y, Wang Y B, Gou X, et al. Risk assessment of heavy metals in soils and vegetables around non-ferrous metals mining and smelting sites, Baiyin, China[J]. *Journal of Environmental Science*. 2006, 18(6):1124-1134.