

广州市郊区蔬菜中铅的含量特征及其健康风险评估

付万军¹, 李 勇², 何 翔²

(1.东北电力大学建筑工程学院, 吉林 吉林 132012; 2.中山大学地球科学系, 广州 510275)

摘 要:对广州市郊区某蔬菜生产基地的蔬菜样品铅元素的含量进行分析测定,评价其污染程度,并评估人群经食用蔬菜摄入铅的健康风险。结果表明,蔬菜铅的平均含量为 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超过《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求》所规定铅的限量值($0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的比率为 12.9%。蔬菜铅的单项评价指数均小于 1,辣椒除外(2.05),这表明除个别蔬菜品种外,广州市郊区蔬菜铅的等级为安全。蔬菜铅含量表现为叶菜类>瓜果类,与其他种类相比,叶菜类蔬菜对珠江三角洲地区人体健康造成的风险较大。据广东省不同地区、家庭经济收入水平每标准人经食用蔬菜日均铅摄入量(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*),铅的 *THQ*(Target hazard quotients)靶标危害系数均小于 1,表现为 $THQ_{\text{城市}}=THQ_{\text{高}}>THQ_{\text{中}}>THQ_{\text{低}}=THQ_{\text{农村}}$,这说明城市人群经蔬菜暴露途径摄入铅的潜在健康风险较高。

关键词:铅;健康风险;蔬菜;日均摄入量;靶标危害系数

中图分类号:X820.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)05-0875-06

The Content Characters and Health Risk Assessment of Vegetable Lead in Guangzhou Suburbs, China

FU Wan-jun¹, LI Yong², HE Xiang²

(1.School of Civil Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China; 2.Department of Earth Science, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: In order to evaluate pollution degree of lead in vegetables, and to assess the human health risks through vegetables for the general population, a large scale survey of lead levels in vegetables planted in Guangzhou suburbs was conducted. 163 vegetable samples were collected from certain vegetable production base, and lead concentrations were measured using graphite furnace atomic absorption spectrophotometer (GF-AAS). Results showed that the average content of vegetable lead was $0.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fresh weight, with 12.9% of tested samples above the Safety Requirements for Non-environmental Pollution Vegetable of $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ fresh weight. Single-factor contaminant index was utilized for assessment. It was found that the single-factor contaminant index of all vegetables lead were less than one except hot pepper (2.05), indicating that the lead in vegetable in Guangzhou suburbs was safe. The concentrations of lead in vegetable decreased in the following order: leaf vegetables>fruit vegetables, dark vegetables>light vegetables, which implied that leaf vegetables were larger contribution than fruit vegetables to health risk for the general population in the Pearl River Delta. The average daily intakes (*DI*) of lead by per standard person in urban and rural were 21.6 and $18.7 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$, respectively and the *DI* of different family economical levels of Guangdong ranged from high to low were 22.1 , 20.2 and $18.3 \mu\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$, respectively, which belowed the provisional tolerable daily intake (*PTDI*) established by FAO/WHO. The health risks associated with lead were assessed based on the target hazard quotients (*THQs*), which could be derived from concentrations of lead in vegetables consumed in the inhabitants. The *THQs* of vegetables lead were below 1, according to the different areas and the different levels of family economic income in Guangdong. Moreover, it showed that $THQ_{\text{urban}}=THQ_{\text{high}}>THQ_{\text{medium}}>THQ_{\text{low}}=THQ_{\text{rural}}$, indicating the health risk via vegetable consumption in rural was relative low, more attentions should be paid to urban and high level of family economic incomes.

Keywords: lead; health risk; vegetable; *PTDI*; *THQ*

食品安全是关系到人类健康的首要问题,也是当

前人们普遍关注的重要问题,而重金属污染又是食品安全的重要问题之一^[1]。随着社会经济的迅速发展,环境污染不断恶化,工业“三废”的排放,城市垃圾、污泥、废弃物以及含重金属的农药、化肥的不合理使用等均造成农业环境污染。蔬菜主要通过根系从土壤吸

收稿日期:2009-10-27

作者简介:付万军(1956—),男,吉林九台人,研究员,主要从事环境化学方面的研究。E-mail:fuwanjun2002@163.com

通讯作者:李 勇 E-mail:liyn8@mail2.sysu.edu.

收、富集重金属,但是也可通过叶片上的气孔从空气中吸收气态或生态的重金属元素^[2]。蔬菜中的重金属元素含量的高低,主要取决于环境中重金属污染的轻重。蔬菜中累积的重金属通过食物链途径进入人体,从而给人类健康带来潜在的危害^[3]。据报道,我国儿童铅中毒发病率高达 51.6%,铅会对儿童带来多方面不良影响,并且铅对儿童发育的毒性作用可持续到成人,短期内不可逆转^[4]。因此,对蔬菜中铅的积累量进行研究有着极其重要的实际意义。

广州市郊区的农业土壤是珠江三角洲重要的蔬菜、粮食生产用地,这些土壤的环境质量与当地居民的健康有密切的联系。由于污水灌溉、固体废物和农药的影响,广州市郊区农业土壤中有毒有害重金属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^[5]。本研究通过对广州市郊区蔬菜生产基地的蔬菜样品中铅元素含量进行分析测定,并对其污染程度进行评价,同时评价经食用蔬菜铅暴露接触对人群的饮食健康风险,可为政府有关部门治理农业环境污染,控制蔬菜质量提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

根据广州市郊区蔬菜生产基地的生产情况,本着点面结合且分布比较均匀的原则,分别于 2008、2009 年采集了广州郊区某大型蔬菜生产基地的蔬菜样品,每份样品采集 1~2 kg,共采集 15 种蔬菜 163 个样品,其中叶菜类 114 个,瓜果类 49 个。每种蔬菜样品带回实验室后进行预处理,去除虫咬、老残部分,用自来水冲洗去除污泥等,再用蒸馏水洗净,并用纱布揩干水分,75℃烘干,磨碎备用。将蔬菜分为 2 类,其中叶菜类蔬菜包括白菜、菜心、番薯叶、芥菜、通菜、苋菜、蕹菜和油麦菜。瓜果类蔬菜包括豇豆、苦瓜、水瓜、丝瓜、茄子、辣椒和葫芦瓜,采集回来的样品分别测定样品中含水率以及铅含量,铅含量测定依据国家标准分析方法(GB/T5009.12—1996),采用石墨炉原子吸收分光光度计(Z5000, Hitachi)测定。测试过程中插入 8% 的一级标准物质 GSB5、GSB6、GSB7 以进行分析质量控制,质控样测定均值都在规定要求范围内。

1.2 数据分析与评价方法

评价方法采用单因子污染评价指数法^[6],单因子污染评价指数表达式如下:

$$Pi = \frac{Ci}{Si} \quad (1)$$

式中: Pi 为所计算出的重金属单项污染指数; Ci 为该重金属的实测值; Si 为各项评价标准值。如 $Pi < 1$ 则表明未受污染, $Pi > 1$ 则表明已受污染, Pi 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。

1.3 重金属接触人体的健康风险评估方法

重金属的日人均摄入量与食物中重金属的含量和对应食物的消耗量有关。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:

$$DI = C_{\text{metal}} \times W_{\text{food}} \quad (2)$$

式中: C_{metal} 为食物中重金属的含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。 W_{food} 为食物的消耗量,根据广东省标准人日均食物摄入量调查^[7],城市人口和农村人口日均蔬菜摄入量分别为 313.8 、 $273.8 \text{ g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$;按照家庭人均年经济收入的高低,高中低收入家庭标准人日均蔬菜摄入量分别为 322.5 、 294 、 $270.3 \text{ g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

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]建立的风险分析方法。 THQ 方法公式表达如下:

$$THQ = \frac{EF_r \times ED \times FI \times MC}{RfDo \times BW \times AT} \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: EF_r 为接触频率, $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$; ED 为平均人寿, 70 a; FI 为消化食物的比率, $\text{g} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; MC 为食物中重金属含量, $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,湿重; $RfDo$ 为参比剂量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{person}^{-1}$,铅为 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (US EPA, 2000)^[8]; BW 为人体平均体重,标准人为 56 kg; AT 为平均接触时间, $365 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1} \times$ 暴露年数(本研究设定为 70 a)。计算结果 $THQ < 1$ 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 蔬菜铅的含量特征

广州市郊区 163 个蔬菜样品中铅的统计结果见表 1。由表 1 可知,服从正态分布的蔬菜品种有:白菜、油麦菜、豇豆、水瓜、丝瓜、茄子和葫芦瓜,其平均值分别为 0.12 、 0.07 、 0.05 、 0.05 、 0.05 、 $0.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;服从对数正态分布的蔬菜品种有:菜心、番薯叶、苦瓜,其平均值分别为 0.06 、 $0.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;既不服从正态分布也不服从对数正态分布的蔬菜种类为芥菜、通菜、苋菜和蕹菜,其平均

值分别为 0.10、0.09、0.16 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 0.10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。各大类和各品种蔬菜间铅浓度变异很大,各品种蔬菜的铅平均浓度均低于《农产品安全质量无公害蔬菜安全要求》所规定的限量值(0.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[9],但白菜、菜心、番薯叶、芥菜、通菜、苋菜、蕹菜、苦瓜和辣椒等品种中共有 21 个样本铅浓度超过该卫生标准。蔬菜铅的单项评价指数均小于 1,辣椒除外(2.05),这表明广州市郊区蔬菜铅的等级为安全。其中,苋菜的单项评价指数为 0.8,介于优良与安全之间,其余蔬菜品种为优良。

1993 年,FAO/WHO 建议,每周允许铅摄入量(暂定)为 25 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\text{DW}$ ^[10]。中国成年人平均体重以 56 kg 计^[11],则铅的 ADI 值人均分别为 200 $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。一般来讲,饮用水和食品是普通人群铅暴露的主要途径。若考虑其他的铅摄入途径,将蔬菜铅摄入量占人群铅 ADI 值的贡献率设为 30%^[12],则对城市和农村人口而言,蔬菜铅浓度分别超过 193.6 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 222.2 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 即为超标,此时分别有 21 和 18 个蔬菜样本超标;对于不同家庭人均年经济收入的低、中、高而言,蔬菜铅浓度分别超过 222.0、204.1 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 186 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 即为超标,此时分别有 18、19 和 23 个蔬菜样本超标。

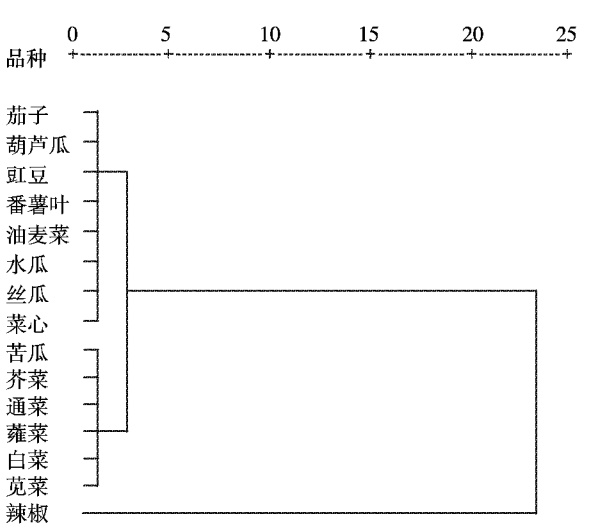


图 1 基于蔬菜铅均值的层级聚类分析结果
Figure 1 Hierarchical cluster analysis based on means of lead in vegetables

根据对各主要品种的蔬菜铅浓度的均值(表 1)进行层级聚类分析(图 1),可将蔬菜分为 3 类:辣椒铅浓度最高,可单独划为 I 类;Ⅱ类蔬菜铅浓度次之,包括苦瓜、芥菜、通菜、蕹菜、白菜和苋菜;Ⅲ类蔬菜的铅浓度最低,包括茄子、葫芦瓜、豇豆、番薯叶、油麦

表 1 各种蔬菜铅的统计性描述(鲜重)
Table 1 Summary statistics for lead concentrations in vegetable(FW)

品种	样本数/N	范围/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	中值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	算术均值/标准差/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	几何均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	分布类型	单项评价指数	超标率/%
白菜	10	0.03~0.25	0.09	0.12/0.08	0.09	正态分布	0.6	20
菜心	14	0.01~0.64	0.07	0.12/0.16	0.06	对数正态分布	0.3	14.3
番薯叶	22	0.01~0.56	0.06	0.13/0.15	0.07	对数正态分布	0.35	27.3
芥菜	14	0.01~0.70	0.10	0.14/0.17	0.10	偏态分布	0.5	7
通菜	27	0.04~0.72	0.09	0.14/0.16	0.10	偏态分布	0.45	12.5
苋菜	15	0.09~0.70	0.16	0.22/0.20	0.17	偏态分布	0.8	14.3
蕹菜	9	0.05~1.0	0.10	0.20/0.30	0.12	偏态分布	0.5	11.1
油麦菜	3	0.04~0.11	0.07	0.07/0.04	0.07	正态分布	0.35	0
叶菜类	114	0.01~1.00	0.09	0.15/0.17	0.10	偏态分布	0.45	14.9
豇豆	13	0.01~0.13	0.04	0.05/0.04	0.04	正态分布	0.2	0
苦瓜	13	0.01~0.67	0.05	0.12/0.18	0.06	对数正态分布	0.3	15.4
水瓜	3	0.01~0.12	0.01	0.05/-	0.03	正态分布	0.25	0
丝瓜	11	0.01~0.15	0.05	0.05/0.05	0.03	正态分布	0.25	0
茄子	4	0.01~0.06	0.05	0.04/0.02	0.03	正态分布	0.2	0
辣椒	1	0.41	0.41	0.41	0.41	—	2.05	100
葫芦瓜	4	0.03~0.05	0.03	0.04/0.01	0.04	正态分布	0.2	0
瓜果类	49	0.01~0.67	0.05	0.07/0.11	0.04	对数正态分布	0.2	6.1
浅色蔬菜	42	0~0.64	0.06	0.09/0.11	0.05	对数正态分布	0.25	11.9
深色蔬菜	121	0.01~1.0	0.08	0.14/0.17	0.08	偏态分布	0.4	11.6
全部蔬菜	163	0~1.0	0.08	0.12/0.16	0.07	偏态分布	0.4	12.9

蔬菜铅标准^[9] 0.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

菜、水瓜、丝瓜和菜心。

2.2 不同种类蔬菜铅的富集程度

深色蔬菜是指深绿色、红色、橘红色、紫红色等蔬菜,反之,为浅色蔬菜。本研究中,深色蔬菜包括番薯叶、芥菜、通菜、苋菜、蕹菜、油麦菜、豇豆、茄子和辣椒;浅色蔬菜包括白菜、菜心、水瓜、丝瓜和葫芦瓜。

若按不同种类蔬菜进行分类,本次调查所采集的蔬菜样品包括了叶菜类和瓜果类 2 大类 15 种。各大类蔬菜中铅浓度存在很大差异,具有叶菜类>瓜果类、深色蔬菜>浅色蔬菜的趋势(图 2)。

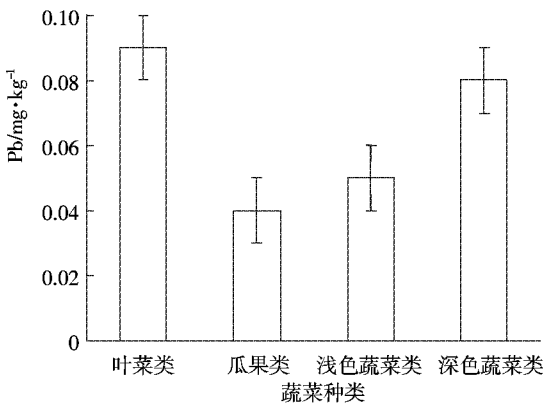


图 2 不同蔬菜种类铅的平均含量

Figure 2 Average contents of lead in different vegetable species

2.3 经蔬菜途径摄入铅的人体健康风险

人体通过摄入蔬菜摄取铅的含量与摄入蔬菜的量以及蔬菜中铅的含量有关。表 2 是广东省不同地区、家庭经济收入水平每标准人蔬菜铅日摄入量($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)。本研究假设烹调不影响蔬菜中的铅含量,即蔬菜中的铅含量与人体摄入蔬菜铅的量相等。从表 2 可看出,广州城市及郊区居民经食用蔬菜途径日摄入铅量未超过 *PTDI* 标准($60\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)^[12]。总体上,人群摄入深色蔬菜类的铅含量要比浅色蔬菜类高;对于不同地区而言,城市人群摄入铅含量为 $21.6\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$,农村为 18.7

表 2 广东省不同地区、经济水平人群每标准人蔬菜铅日摄入量

Table 2 *DI* for lead caused by consuming vegetable depended on different areas, levels of family economical incomes in Guangdong

食物	地区 / $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$		家庭人均年经济收入 / $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$			合计/ $\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$
	城市	农村	低	中	高	
深色蔬菜类	15.6	13.4	12.8	14.8	15.9	14.3
浅色蔬菜类	6	5.3	5.5	5.4	6.2	5.6
总计	21.6	18.7	18.3	20.2	22.1	19.9

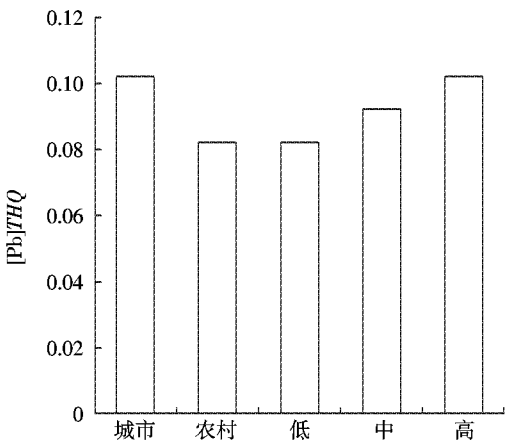


图 3 不同区域、家庭经济收入的 THQ

Figure 3 *THQ* of different areas and levels of family economical incomes

$\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$;按照家庭人均年经济收入水平的不同,摄入铅的量与家庭经济收入水平呈正相关关系。

经蔬菜途径摄入铅的 *THQ* 值不超过 0.1(图 3)。如图 3 所示,按照城市、农村地区划分,广州市居民通过蔬菜途径进入人体铅的暴露接触的 *THQ* 值分别为 0.1、0.08,按照家庭经济收入水平的低、中、高,其值分别为 0.08、0.09 和 0.1。

3 讨论

本研究结果表明,广州市郊区蔬菜基地种植的蔬菜铅超标率为 12.9%,低于广州市集主要蔬菜销售市场出售蔬菜铅的超标率 22.2%^[13],高于北京市蔬菜铅含量超标率 9.2%的报道^[12]。蔬菜中铅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,从而导致蔬菜的铅含量出现超标的可能。郑路等在研究蔬菜铅吸收时认为,大气中的铅 50%以上可被蔬菜叶片直接吸收^[2]。有关研究表明含铅汽油使用的不良后果将在未来相当一段时间内持续,可能会造成蔬菜铅含量的超标^[14-15]。这也说明供试蔬菜的种植土壤应该在一定程度上受到了重金属的污染,大气沉降可能是污染的一个重要原因。

各大类蔬菜中铅浓度存在明显的趋势:叶菜类>瓜果类、深色蔬菜>浅色蔬菜。大量研究表明,不同蔬菜品种受污染的程度由大到小的次序为:叶菜类>瓜果类^[16-19],这可能与蔬菜的生理特性、生长期长短以及对重金属敏感程度等因素有关^[6],同时,也与蔬菜叶片直接暴露于大气重金属有关。如杨国义等对广东省典型区域湛江市、中山市、珠海市、东莞市、惠州市和佛

山市顺德区的大型蔬菜基地生产中多种蔬菜样品重金属元素进行检测,得出叶菜类铅含量大于瓜果类的结论^[9],与本研究结果是一致的。这说明叶菜类蔬菜重金属在珠江三角洲地区对人体健康有较大风险。师荣光等也发现深色蔬菜镉含量大于浅色蔬菜^[20],这与本研究的结果相符,说明深色蔬菜富集重金属的能力比浅色蔬菜强。

经蔬菜途径摄入铅的 THQ 值总体表现为: $THQ_{城市}=THQ_{高}>THQ_{中}>THQ_{低}=THQ_{农村}$,这说明经蔬菜途径摄入铅的量对城市居民及经济收入水平高的家庭有较高的潜在健康风险。经蔬菜途径摄入铅的 THQ 值不超过 1, 其他研究也得出相同的结论: Ping 等分析了大宝山矿区附近蔬菜和大米铅的 THQ , 发现铅的 $THQ_{大米}>1$, $THQ_{蔬菜}<0.5$ ^[21]; 秦文淑等对广州市主要蔬菜市场的蔬菜重金属进行了健康风险评估, 其中, 经蔬菜途径摄入的铅的 THQ 为 0.447^[13]。这说明与其他暴露途径相比, 经蔬菜途径摄入铅对人群健康风险相对较低。因此, 有必要进一步研究其他暴露途径对人群健康风险。

4 结论

蔬菜铅的平均含量为 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 超标率为 12.9%。蔬菜铅含量表现为叶菜类>瓜果类, 与其他种类相比, 叶菜类蔬菜对珠江三角洲地区人体健康的风险较大。广东省不同地区、经济水平人群每标准人经食用蔬菜日均铅摄入量 (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, $PTDI$)。根据不同地区以及家庭经济收入的水平, 铅的 THQ (Target hazard quotients) 靶标危害系数均小于 1。人体对重金属摄入量与其饮食结构密切相关, 通过蔬菜-人体摄入暴露途径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, 了解研究区蔬菜的重金属含量对于指导人群健康饮食, 减少重金属对人体健康的威胁有现实意义。

参考文献:

- [1] 李学德, 花日茂, 岳永德, 等. 合肥市蔬菜中铬、铅、镉和铜污染现状评价[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(2): 143-147.
LI Xue-de, HUA Ri-mao, YUE Yong-de, et al. Evaluation on contamination of Cr, Pb, Cd and Cu in vegetables of Hefei region[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2004, 31(2): 143-147.
- [2] 郑路, 常江. 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.
- [3] ZHENG Lu, CHANG Jiang. Investigation on Pb pollution of vegetables and soil in Hefei City[J]. *Environmental Pollution and Control*, 1989, 11(5): 33-35.
- [4] Granero S D J L. Levels of metals in soils of Alcaa de Henares, Spain: human health risks[J]. *Environment International*, 2002, 28: 159-164.
- [5] 孙冬韦, 刘丽, 郝滨. 孕妇与儿童铅中毒研究进展[J]. 中华妇幼保健, 2001, 16(6): 386-387.
SUN Dong-wei, LIU Li, HAO Bin. Research progress of lead poisoning from maternal and children[J]. *China Maternal and Child Health*, 2001, 16(6): 386-387.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 马文军, 邓峰, 许燕君, 等. 广东省居民膳食营养状况研究[J]. 华南预防医学, 2005, 31(1): 1-5.
MA WEN-jun, DENG Feng, XU Yan-jun, et al. The study on dietary intake and nutritional status of residents in Guangdong [J]. *South China Journal of Preventive Medicine*, 2005, 31(1): 1-5.
- [10] EPA U A. Risk-based concentration table[R]. Washington DC: Philadelphia PA, 2000.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. GB18406.1 农产品安全质量无公害蔬菜安全要求[S]. 2001.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of P.R.C. GB18406.1 Safety requirements for non-environmental pollution vegetable[S]. 2001.
- [12] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. Geneva: World Health Organization, 1993.
- [13] Wang X, Sato T, Xing B, 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.
- [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] 秦文淑, 邹晓锦, 仇荣亮. 广州市蔬菜重金属污染现状及对人体健康风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1638-1642.
QIN Wen-shu, ZOU Xiao-jin, QIU Rong-liang. Health risk of heavy metals to the general public in Guangzhou, China via consumption of vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4): 1638-1642.
- [16] 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.
- [15] 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(5): 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(5): 791–797.
- [16] 谢华, 刘晓海, 陈同斌, 等. 大型古老锡矿影响区土壤和蔬菜重金属含量及其健康风险[J]. 环境科学, 2008, 29(12): 3503–3507.
- XIE Hua, LIU Xiao-hai, CHEN Tong-bin, et al. Concentration and health risk of heavy metals in vegetables and soils in region affected by an ancient tin ore[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(12): 3503–3507.
- [17] 谢华, 廖晓勇, 陈同斌, 等. 污染农田中植物的砷含量及其健康风险评估——以湖南郴州邓家塘为例[J]. 地理研究, 2005, 24(1): 151–159.
- XIE Hua, LIAO Xiao-yong, CHEN Tong-bin, et al. Arsenic in plants of farmland and its healthy risk: A case study in an As-contaminated site in Dengjatang, Chenzhou City, Hunan Province[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 151–159.
- [18] 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.
- [19] 杨国义, 罗薇, 高家俊, 等. 广东省典型区域蔬菜重金属含量特征与污染评价[J]. 土壤通报, 2008, 39(1): 133–136.
- YANG Guo-yi, LUO Wei, GAO Jia-jun, et al. Heavy metal contents and pollution evaluation in vegetables in Guangdong Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, 39(1): 133–136.
- [20] 师荣光, 赵玉杰, 彭胜巍, 等. 不同土地利用类型下土壤-作物镉含量积累及其健康风险分析[J]. 资源科学, 2008, 30(12): 1904–1909.
- SHI Rong-guang, ZHAO Yu-jie, PENG Sheng-wei, et al. Cadmium accumulation in soil and crops and pollution risks to human health under different land use types[J]. *Resources Science*, 2008, 30(12): 1904–1909.
- [21] Zhuang P, McBride M B, Xia H P, et al. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China[J]. *Science of the Total Environment*, 2009, 407(5): 1551–1561.