

# 崇明区食用农产品重金属污染状况及 健康风险评估

马 莉, 陆春胜, 王思佳, 赵舒景\*

(上海市崇明食品药品检验所, 上海 202150)

**摘 要: 目的** 了解上海市崇明区食用农产品中铅、砷、汞、镉等重金属的污染状况及其对人体健康风险评估。**方法** 对全区 290 件食用农产品中的铅、砷、汞、镉等重金属进行监测, 利用单因子污染指数法以及综合污染指数法分析重金属污染特征, 采用健康风险分析法评价农产品中重金属对人体的健康风险。**结果** 290 件样品中的 4 种重金属均未超出标准限量值, 水果中重金属污染水平平均低于 0.6, 属于清洁水平; 蔬菜和稻谷中重金属污染物残留较多, 属于尚清洁水平。谷物和蔬菜中重金属危害系数均小于 1。**结论** 崇明区食用农产品中重金属存在一定的污染残留, 靶标危害系数法分析结果表明未对人体造成健康风险。

**关键词:** 食用农产品; 重金属污染; 健康评价

## Heavy metal pollutions and health risk assessment of edible agricultural products in Chongming district

MA Li, LU Chun-Sheng, WANG Si-Jia, ZHAO Shu-Jing\*

(Shanghai Chongming Institutes for Food and Drug Control, Shanghai 202150, China)

**ABSTRACT: Objective** To understand the pollution status of lead, arsenic, mercury, cadmium and other heavy metals in edible agricultural products in Chongming District, Shanghai, and its risk assessment on human health. **Methods** Heavy metals such as lead, arsenic, mercury and cadmium in 290 edible agricultural products in the whole region were monitored. The characteristics of heavy metal pollution were analyzed by the single factor pollution index method and the comprehensive pollution index method, and the health risk of heavy metals in agricultural products to human body was evaluated by the health risk analysis method. **Results** The contents of four kinds of heavy metals of 290 samples were all not exceed the limit standard. The pollution level of heavy metals in the fruits was under 0.6, which belonged to the cleanliness level. The residuals of heavy metals in the grains and vegetables were more, which still belonged to the cleanliness level. The risks of heavy metals in the grains and vegetables were less than 1. **Conclusion** The heavy metals in the edible agricultural products in Chongming district have some contamination residues, and the results of target hazard coefficient analysis show that there is no health risk to human body.

**KEY WORDS:** edible agricultural products; heavy metal pollutions; health risks

基金项目: 崇明区科学技术委员会科技项目(CKSN2019-9)

Fund: Supported by Scientific and Technological Commission of Chongming District (CKSN2019-9)

\*通讯作者: 赵舒景, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 191136421@qq.com

\*Corresponding author: ZHAO Shu-Jing, Associate Chief Technician, Chongming Institutes for Food and Drug Control, No.109, Binhong Road, Chongming District, Shanghai 202150, China. E-mail:191136421@qq.com

1 引 言

食用农产品作为人们日常重要的摄入食物, 其安全性直接关系人体健康。重金属污染是影响食用农产品安全性的重要因素之一, 重金属元素是指相对密度在 5 以上的金属元素, 天然金属元素有 54 种相对密度大于 5, 其中, 镉、铅、汞、铬和砷对人体健康危害最大<sup>[1]</sup>。重金属可通过食物链蓄积, 半衰期长, 能对人体产生各种急慢性毒性<sup>[2,3]</sup>。随着工业的发展, 农产品的生产环境一定程度上受到了污染, 更是加剧了农产品中重金属的污染。目前有文献报道<sup>[4]</sup>, 上海市城郊蔬菜重金属不存在明显的对人体健康危害风险, 但对于崇明区食用农产品中重金属污染状况分析研究的较少, 为了解崇明区农产品重金属污染状况, 根据 2019 年农产品检测中心所采集的全区范围内的 290 件农产品, 对其进行铅、镉、砷、汞等重金属元素的检测, 并对其运用污染指数法和靶标危害系数法进行污染状况分析, 以期为本区的食用农产品质量安全工作提供一个参考。

2 材料与方法

2.1 样品采集与制备

对 2019 年崇明区全区范围内的食用农产品进行采样收集, 全年总计采样 290 件, 包括各类蔬菜水果以及稻谷。样品进行四分法取样, 研磨, 密封保存待测。

2.2 试剂与仪器

2.2.1 试剂与标准品

硝酸(优级纯, 安谱有限公司); 汞单元素标准溶液、镉单元素标准溶液、砷单元素标准溶液、三价砷、五价砷(1000 mg/L, 美国 O2Si 公司); 铅单元素标准溶液(1000 mg/L, 中国计量科学研究院)。

2.2.2 仪 器

AFS-9700 原子荧光光谱仪(北京海光仪器有限公司); AA240Z 原子吸收光谱仪(美国安捷伦有限公司); U3000-ICAPQ 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞世尔科技公司); ME104E 万分之一分析天平(瑞士 METTLER TOLEDO 公司); MARS 6 微波消解仪(美国 CEM 公司)。

2.3 检测方法及评价依据

2.3.1 检测方法

重金属的检测及评价按照 GB 2762-2017《食品中污染物限量》<sup>[5]</sup>进行检测和评价。铅和镉使用石墨炉原子吸收法进行检测, 总砷和总汞使用原子荧光法进行检测, 无机砷使用高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱(high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry, HPLC-ICP-MS)进行检测。依据的国家标准有 GB/T 5009.15-2014《食品安全国家标准 食

品中镉的测定》<sup>[6]</sup>、GB 5009.12-2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》<sup>[7]</sup>、GB/T 5009.17-2014《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》<sup>[8]</sup>、GB/T 5009.11-2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》<sup>[9]</sup>。

2.3.2 质量控制

本次检测采用空白样品、平行试样、加标回收进行待测样品的质量控制。每批样品的检测均做 2 个平行试样, 2 个试样的实测差均在 20%以内, 同步进行空白试样的处理, 以减少误差; 每批样品同步处理加标回收样品, 加标回收在 80%~110%范围之内, 从而确保数据的准确性。

2.3.3 食用农产品中重金属污染评价方法

参照 NY/T 398-2000《农、畜、水产品污染监测技术规范》<sup>[10]</sup>, 对各重金属元素进行单因素的污染指数评价和综合污染指数的评价。

(1) 单因子污染指数评价

单因子污染指数评价是指产品中单一重金属元素污染程度进行评价, 其计算公式(1)如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中:  $P_i$  为单因子的污染指数;  $C_i$  为重金属实测结果值, mg/kg;  $S_i$  为重金属元素标准限量值, mg/kg。其中重金属标准限量值按照 GB 2762-2017《食品中污染物限量》<sup>[5]</sup>规定的标准限量值。评价指标详见表 1。

表 1 单因子污染指数评价指标  
Table 1 Evaluation standard of single factor pollution index

| 单因子污染指数              | 等级 | 污染水平                        |
|----------------------|----|-----------------------------|
| $P_i \leq 0.6$       | 一级 | 有污染物残留, 污染物含量接近或略高于背景值      |
| $0.6 < P_i \leq 1.0$ | 二级 | 污染物残留较多                     |
| $P_i \geq 1.0$       | 三级 | 污染物含量超过食品安全国家标准, 品质下降, 影响食用 |

(2) 综合污染指数评价

综合污染指数评价法兼顾单因子污染指数的平均值和最高值, 全面反映样品中各重金属的平均污染水平, 计算公式(2)如下:

$$P_{z\text{综}} = \sqrt{P_{\max}^2 + P_{\text{ave}}^2} \quad (2)$$

式中:  $P_z$  为重金属元素的综合污染指数;  $P_{\max}$  为各重金属单项污染指数  $P_i$  的最大值;  $P_{\text{ave}}$  为各重金属单项污染指数  $P_i$  的平均值。综合污染评价指标<sup>[11-13]</sup>见表 2:

(3) 健康风险评估

评估人体通过摄入谷物或蔬菜产生的重金属元素的健康风险, 运用靶标危害系数法<sup>[14,15]</sup>(target hazard quotients, THQ), 对蔬菜、谷物和水果的重金属元素的健康风险进行分析, 该方法用于评价单一重金属元素的健康风险及多种重金属元素的复合健康风险, THQ 按式(3)计算, TTHQ 按式(4)计算。

表 2 综合污染指数的评价指标

| Table 2 Evaluation standard of comprehensive pollution index |      |         |
|--------------------------------------------------------------|------|---------|
| 综合污染指数                                                       | 污染等级 | 污染水平    |
| $P_z \leq 0.7$                                               | 安全   | 清洁      |
| $0.7 < P_z \leq 1.0$                                         | 警戒线  | 尚清洁     |
| $1.0 < P_z \leq 2.0$                                         | 轻度污染 | 开始受污染   |
| $2.0 < P_z \leq 3.0$                                         | 中度污染 | 受中度污染   |
| $P_z > 3.0$                                                  | 重度污染 | 污染已相当严重 |

$$THQ = \frac{E_f \times E_d \times F_{ir} \times C}{R_{fd} \times W_{ab} \times T_a} \tag{3}$$

$$TTHQ = \sum_{i=1}^n THQ \tag{4}$$

式中:  $THQ$  为单一重金属元素的靶标危害系数;  $TTHQ$  为多种重金属元素的复合危害系数;  $E_d$  为重金属元素暴露年限, 取值 76.1 a<sup>[15]</sup>;  $E_f$  为重金属元素暴露天数, 为 365 d/a;  $F_{ir}$  为 人均日消耗量, kg/(d·人); 成人蔬菜消耗量为鲜重 0.355 kg/(d·人)<sup>[15]</sup>, 成年人的谷物类消耗量为干重 189.6 kg/(d·人)<sup>[16]</sup>;  $C$  为样品中重金属元素的含量平均值, 大于检出限小于定

量限的样品按定量限的一半计算, mg/kg(以鲜重计);  $R_{fd}$  为参考剂量, mg/(kg·d), 其中,  $R_{fd}(\text{Hg})=0.0001 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ <sup>[17]</sup>,  $R_{fd}(\text{As})=0.05 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ <sup>[13-19]</sup>,  $R_{fd}(\text{Cd})=0.001 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ <sup>[14-20]</sup>,  $R_{fd}(\text{Pb})=0.004 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ <sup>[14-20]</sup>;  $T_a$  为暴露的平均时间, 365 d/a×76.1 a=27776.5 d;  $W_{ab}$  为 人均平均体重, kg, 一般成人 为 60 kg<sup>[16]</sup>。当  $THQ$  小于 1 时, 重金属元素的摄入健康风险不明显; 当  $THQ$  大于 1 时, 重金属元素存在摄入健康风险,  $THQ$  越大健康风险越大<sup>[15-25]</sup>。

以上的 As 指总砷, 本文中谷物所测定的是无机砷。据报道<sup>[17,18]</sup>, 谷类中无机砷大约占总砷的 26.8%, 故本文以此标准将无机砷含量换算成总砷后再进行评估。

3 结果与分析

3.1 数据结果

由结果(表 3)可见, 本次检测共计 290 件食用农产品, 以 GB 2762-2017《食品中污染物限量》<sup>[5]</sup>为评价依据, 290 件样品中的 4 种重金属均未超出标准限量值, 蔬菜和谷物中的镉以及谷物中的无机砷检出率较高。

表 3 290 件食用农产品中重金属含量检测结果  
Table 3 Content of heavy metals in 290 edible agricultural products

| 农产品种类 | 污染物            |          |          |          |          |
|-------|----------------|----------|----------|----------|----------|
|       | 铅              | 镉        | 总砷       | 汞        | 无机砷      |
| 蔬菜    | 产品数量/件         | 104      | 104      | 104      | -        |
|       | 标准限量值/(mg/kg)  | 0.1~0.3  | 0.05~0.2 | 0.5      | 0.01     |
|       | 检测含量范围/(mg/kg) | ND~0.3   | ND~0.14  | ND~0.067 | ND       |
|       | 检出率/%          | 28.8     | 89.4     | 5.8      | 3.9      |
|       | 超标率/%          | 0        | 0        | 0        | -        |
|       | 产品数量/件         | 79       | 79       | 79       | -        |
| 水果    | 标准限量值/(mg/kg)  | 0.1~0.2  | 0.05     | -        | -        |
|       | 检测含量范围/(mg/kg) | ND~0.065 | ND~0.027 | ND       | ND       |
|       | 检出率/%          | 11.4     | 10.1     | 0        | 0        |
|       | 超标率/%          | 0        | 0        | 0        | -        |
|       | 产品数量/件         | 107      | 107      | -        | 107      |
|       | 标准限量值/(mg/kg)  | 0.2      | 0.2      | -        | 0.02     |
| 谷物类   | 检测含量范围/(mg/kg) | ND~0.2   | ND~0.019 | -        | ND~0.015 |
|       | 检出率/%          | 45.8     | 90.7     | -        | 50.5     |
|       | 超标率/%          | 0        | 0        | -        | 0        |
|       | 总计检出率/%        | 30.3     | 71.7     | 2.7      | 19.7     |
|       | 总计超标率/%        | 0        | 0        | 0        | 0        |
|       | 总计超标率/%        | 0        | 0        | 0        | 0        |

注: ND 表示未检出; 无机砷项目只对谷物样品进行检测。

3.2 食用农产品重金属污染评价

利用单因子污染指数法、综合污染指数法的评价方法和 GB 2762-2017《食品中污染物限量》<sup>[5]</sup>中规定的标准限量值, 计算食用农产品中单项污染指数和综合污染指数, 结果见表 4。由表 4 可得出, 水果中重金属污染水平均低于 0.6, 属于清洁水平; 蔬菜和稻谷中重金属污染物残留较多, 属于尚清洁水平, 存在安全隐患, 需进一步进行人体健康评估分析。

3.3 食用农产品健康风险评估

运用靶标危害系数法对谷物和蔬菜中重金属的污染进行人体健康评估, 结果见表 5。结果表明, 谷物和蔬菜中重金属靶标危害系数均小于 1, 蔬菜和谷物中的重金属危害系数存在一定差异, 其中, 蔬菜中重金属对成人的危害系数大小顺序为 Cd > Pb > Hg > As, 谷物中重金属对成人的危害系数大小顺序为 Pb > Cd > Hg > As。谷物和蔬菜中多种重金属复合危险系数均小于 1, 表明不同重金属之间产生的复合污染水平较低, 不存在明显的复合健康风险。

表 4 食用农产品中重金属污染水平评价  
Table 4 Pollution index of heavy metals in edible agricultural products

| 农产品种类 | Pi      |         |         |         |         | P <sub>z</sub> | 综合污染水平 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|--------|
|       | 铅       | 镉       | 总砷      | 总汞      | 无机砷     |                |        |
| 蔬菜    | ND~1.00 | ND~0.70 | ND~0.13 | ND      | -       | 0.85           | 尚清洁    |
| 水果    | ND~0.54 | ND~0.54 | ND      | ND      | -       | 0.53           | 清洁     |
| 谷物    | ND~1.00 | ND~0.01 | -       | ND~0.75 | ND~0.75 | 0.77           | 尚清洁    |

注: ND 表示未检出。

表 5 谷物和蔬菜中重金属危害系数  
Table 5 Hazard factor of heavy metals in grains and vegetables

| 农产品种类 | THQ   |       |       |       | TTHQ  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 铅     | 镉     | 总砷    | 总汞    |       |
| 蔬菜    | 0.028 | 0.089 | 0.000 | 0.011 | 0.128 |
| 谷物    | 0.023 | 0.013 | 0.005 | 0.101 | 0.142 |

4 结 论

崇明区食用农产品中不同重金属的含量存在较大差异, 其中蔬菜中铅和谷物中的无机砷均未超出标准限量值, 但含量较高。水果中的重金属均未超出标准限量值, 均属于安全水平。

单因子污染指数和综合污染指数结果表明, 水果中重金属污染水平较低, 属于安全等级。蔬菜和谷物中的重金属存在一定的污染, 其中蔬菜和谷物中的铅以及谷物中的无机砷残留较严重, 所以应重点关注铅和无机砷的污染。

靶标危害系数法的结果表明, 谷物和蔬菜中 THQ 和 TTHQ 均小于 1, 不存在明显的人体健康风险, 但是为进一步提升崇明区食用农产品的质量安全, 仍需采取相应的改善措施, 并加大监管力度。

参考文献

[1] 徐连伟, 刘庆武, 吴昊, 等. 哈尔滨市农产品重金属污染风险评价[J]. 河南农业, 2017, (35): 60–61.

[2] 余超, 何洁仪, 李迎月, 等. 广州市 2008 年部分食品重金属污染情况分析[J]. 华南预防医学, 2009, 35(3): 62–64.

[3] Yu C, He JY, Li YY, et al. Analysis of heavy metal pollution of some foods in Guangzhou in 2008 [J]. South China J Prev Med, 2009, 35(3): 62–64.

[4] Smithsr. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge [J]. Environ Int, 2009, 35(1): 142–156.

[5] 袁文悦. 上海城郊土壤及蔬菜重金属污染情况研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2017.

[6] Yuan WY. Study on heavy metal pollution of soils and vegetables in suburbs of Shanghai [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2017.

[7] GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. GB 2762-2017 National food safety standard-Maximum levels of contaminants in foods [S].

[8] GB/T 5009.15-2014 食品安全国家标准 食品中镉的测定[S]. GB/T 5009.15-2014 National food safety standard-Determination of cadmium in foods [S].

[9] GB/T 5009.12-2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S]. GB/T 5009.12-2017 National food safety standard-Determination of lead

- in foods [S].
- [8] GB/T 5009.17-2014 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定 [S].  
GB/T 5009.17-2014 National food safety standard-Determination of mercury and organic-mercury in foods [S].
- [9] GB/T 5009.11-2014 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定 [S].  
GB/T 5009.11-2014 National food safety standard-Determination of arsenic and abio-arsenic in foods [S].
- [10] NY/T 398-2000 农、畜、水产品污染监测技术规范[S].  
NY/T 398-2000 Procedural regulations regarding monitoring of pollutants in the produces of agriculture, animal husbandry and fishery [S].
- [11] 张瑞宁, 谢婧, 蒲晓, 等. 河北燕郊地区市售常见蔬菜重金属含量与健康风险评估[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(23): 221-225.  
Zhang RN, Xie J, Pu X, *et al.* Heavy metal content and health risk assessment of common vegetables sold in Yanjiao, Hebei [J]. Jiangsu Agric Sci, 2018, 46(23): 221-225.
- [12] 李如忠, 潘成荣, 徐晶晶, 等. 典型有色金属矿业城市零星菜地蔬菜重金属污染及健康风险评估[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 1076-1085.  
Li RZ, Pan CR, Xu JJ, *et al.* Contamination and health risk for heavy metals via consumption of vegetables grown in fragmentary vegetable plots from a typical nonferrous metals mine city [J]. Environ Sci, 2013, 34(3): 1076-1085.
- [13] 程家丽, 张贤辉, 唐阵武. 淮南煤矿区蔬菜重金属污染特征及其健康风险[J]. 环境与健康杂志, 2016, 33(2): 127-130.  
Chen JL, Zhang XH, Tang ZW. Contamination and health risk of heavy metals in vegetables from coal mining area in Huai'an [J]. J Environ Health, 2016, 33(2): 127-130.
- [14] USEPA. Risk-based concentration table [R]. Philadelphia PA: United States Environmental Protection Agency, Washington DC, 2000.
- [15] 王燕云, 林承奇, 黄华斌, 等. 厦门市售蔬菜、茶叶重金属含量及健康风险评估[J]. 食品工业, 2018, 39(12): 190-194.  
Wang YY, Lin CQ, Huang HB, *et al.* Concentrations and health risk evaluation of heavy metals in vegetables and teas in xiamen markets [J]. Food Ind, 2018, 39(12): 190-194.
- [16] 石春红, 曹美萍, 胡桂霞. 松江区消费环节大米重金属污染状况及安全评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(21): 7240-7244.  
Shi CH, Cao MP, Hu GX. Contamination status and safety assessment of heavy metals in rice consumed in Songjiang district [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(21): 7240-7244.
- [17] 沈体忠. 天门市绿色食品大米重金属污染现状与潜在健康风险评估[J]. 湖北植保, 2013, (6): 53-56.  
Shen TZ. Heavy metal pollution status and potential health risk assessment of green food rice in Tianmen [J]. Hubei Plant Prot, 2013, (6): 53-56.
- [18] 李筱薇, 高俊全, 王永芳, 等. 2000 年中国总膳食研究-膳食砷摄入量 [J]. 卫生研究, 2006, 35(1): 63-66.  
Li XW, Gao JQ, Wang YF, *et al.* 2000 Chinese total dietary study -the dietary arsenic intakes [J]. J Hyg Res, 2006, 35(1): 63-66.
- [19] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. Geneva: World Health Organization, 1993.
- [20] 任艳军, 马建军. 秦皇岛市蔬菜中重金属污染状况及健康风险分析[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(2): 79-84.  
Ren YJ, Ma JJ. Concentration analysis in vegetables of Qinhuangdao city and their health-threatening hazards assessment of heavy metals [J]. J Saf Environ, 2013, 13(2): 79-84.
- [21] 孙清斌, 尹春芹, 邓金锋, 等. 大冶矿区土壤-蔬菜重金属污染特征及健康风险评估[J]. 环境化学, 2013, 32(4): 671-677.  
Sun QB, Yi CQ, Deng JF, *et al.* Characteristics of soil-vegetable pollution of heavy metals and health risk assessment in Daye mining area [J]. Environ Chem, 2013, 32(4): 671-677.
- [22] 马瑾, 周永章, 窦磊, 等. 汕头韩江三角洲南部蔬菜重金属污染及因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 71-77.  
Ma J, Zhou YZ, Dou L, *et al.* Investigation of heavy metals pollution in vegetables and influencing factors in south Hanjiang delta, Shantou [J]. J Agro-Environ Sci, 2008, 27(1): 71-77.
- [23] 王彩霞, 郭蓉, 程国霞, 等. 陕西省谷物中重金属污染状况及健康风险评估[J]. 卫生研究, 2016, 45(1): 35-38, 44.  
Wang CX, Guo R, Cheng GX, *et al.* Dietary exposure and health risk assessment of heavy metal in grains of Shanxi province [J]. J Hyg Res, 2016, 45(1): 35-38, 44.
- [24] 陆素芬, 宋波, 伏凤艳, 等. 南丹矿业活动影响区蔬菜重金属含量及健康风险[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(3): 478-485.  
Lu SF, Song B, Fu FY, *et al.* Heavy metal content in vegetable and its health risk as affected by mining activities in Nandan county [J]. J Ecol Rural Environ, 2016, 32(3): 478-485.
- [25] 陈志良, 黄玲, 周存宇, 等. 广州市蔬菜中重金属污染特征研究与评价 [J]. 环境科学, 2017, 38(1): 389-398.  
Chen ZL, Huang L, Zhou CY, *et al.* Characteristics and evaluation of heavy metal pollution in vegetables in Guangzhou [J]. Environ Sci, 2017, 38(1): 389-398.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



马莉, 助理工程师, 主要研究方向为食品农产品质量检测。

E-mail: malisjy@163.com



赵舒景, 副主任技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 191136421@qq.com