

2016~2018 年苏州市水生蔬菜重金属污染状况 分析及健康风险评估

黄飞飞, 张 宁, 赵敏娴, 郑艳敏*

(苏州市疾病预防控制中心, 苏州 215004)

摘 要: 目的 研究苏州市地方特产水生蔬菜中重金属污染情况, 评价苏州居民经水生蔬菜膳食途径摄入的重金属对人体存在的健康风险。**方法** 2016~2018 年在苏州市 10 个区县连续采集 8 种共 198 份水生蔬菜样品, 采用国家标准方法检测样品中铅、镉、总汞和总砷含量, 按 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》判定重金属超标情况; 利用单因子污染指数和内梅罗综合污染指数评价不同种类水生蔬菜中铅、镉、总汞和总砷的污染程度; 采用暴露情景假设的方法和简单分布模型(确定性评估)的方法评价水生蔬菜中重金属的健康风险。**结果** 水生蔬菜中铅和总砷的超标率分别为 5.29%(10/189)和 0.60%(1/166), 镉和总汞无超标样品, 铅、镉、总汞和总砷检测平均值分别为 0.0518、0.0066、0.0007 和 0.0526 mg/kg。3 个年份样品的重金属污染水平不完全相同, 水生蔬菜总汞水平存在种类间差异; 重金属污染水平之间存在相关性。水生蔬菜中 4 种重金属单项污染指数均小于或等于 0.7, 处于优良水平; 综合污染指数均小于 0.7, 处于安全水平。苏州地区水生蔬菜中的铅污染对成人及 95%的儿童均不会产生健康危害, 但对高食物消费暴露的儿童(5%)可能产生潜在的健康影响; 镉、总汞、总砷污染对成人和儿童均不会产生健康危害。**结论** 苏州市水生蔬菜中重金属污染水平较低; 水生蔬菜铅污染可能对小部分儿童存在潜在健康危害。

关键词: 水生蔬菜; 铅; 镉; 总汞; 总砷; 污染; 健康风险

Analysis of heavy metal pollution status and health risk assessment of aquatic vegetables in Suzhou from 2016 to 2018

HUANG Fei-Fei, ZHANG Ning, ZHAO Min-Xian, ZHENG Yan-Min*

(Suzhou Center for Disease Control and Prevention, Suzhou 215004, China)

ABSTRACT: Objective To study the pollution status of heavy metals in local aquatic vegetables in Suzhou and evaluate the health risks of heavy metals ingested through the dietary pathway of aquatic vegetables by Suzhou residents. **Methods** Totally 198 aquatic vegetable samples of 8 categories were continuously extracted from 10 counties in Suzhou from 2016 to 2018, and the content of lead, cadmium, total mercury and total arsenic in samples was detected using the national standard methods, and the over-limit ratio was counted according to GB 2762-2017 *National food safety standard-Contaminant limit in food*, and the pollution degree of lead, cadmium, total mercury

基金项目: 苏州市卫健委“科教兴卫”青年科技项目(KJXW2016049、KJXW2017053)

Fund: Supported by the "Science, Education and Health" Youth Science and Technology Foundation of Suzhou Health Commission (KJXW2016049, KJXW2017053)

*通讯作者: 郑艳敏, 硕士, 主管医师, 主要研究方向为营养与食品安全。E-mail: 494937525@qq.com

*Corresponding author: ZHENG Yan-Min, Master, Physician, Suzhou Center for Disease Control and Prevention, Suzhou 215004, China. E-mail: 494937525@qq.com

and total arsenic in different kinds of aquatic vegetables were evaluated by the single factor pollution index and Nemerow comprehensive pollution index. Health risks of heavy metals in aquatic vegetables were assessed using exposure scenario hypothesis and simple distribution model (deterministic assessment). **Results** The over-limit rates of lead and total arsenic in aquatic vegetables were 5.29% (10/189) and 0.60% (1/166), respectively. Cadmium and total mercury were below limits for all samples. The mean concentration of lead, cadmium, total mercury and total arsenic were 0.0518, 0.0066, 0.0007 and 0.0526 mg/kg, respectively. The levels of heavy metal pollution in the samples from the 3 years were not exactly the same, and the total mercury levels in aquatic vegetables varied among species, and there was a correlation between the levels of heavy metal pollution. The single pollution index of 4 heavy metals in aquatic vegetables was less than or equal to 0.7, which was at an excellent level, and the comprehensive pollution index was less than 0.7, which was at a safe level. Lead contamination in aquatic vegetables in Suzhou area would not cause health hazard to adults and 95% of children, but might cause potential health impact to children exposed to high food consumption (5%). Cadmium, total mercury and total arsenic pollution would not cause health hazards to adults and children. **Conclusion** The pollution of heavy metals in aquatic vegetables in Suzhou is generally low. Lead contamination of aquatic vegetables may be a potential health hazard for a small number of children.

KEY WORDS: aquatic vegetables; lead; cadmium; total mercury; total arsenic; pollution; health risks

1 引言

重金属铅、镉、汞、砷等在自然界中广泛存在, 粮食、蔬菜、水产品等各类食品均不同程度地受到重金属污染。重金属半衰期长, 可在人体内长期蓄积, 对健康造成危害。铅的低浓度长期暴露可影响大脑和神经系统发育, 降低儿童认知能力和智力^[1]; 镉的慢性中毒会损伤肾脏和骨骼^[2]; 汞的长期暴露可导致神经系统损害^[3]; 砷的慢性中毒可引起神经、消化和心血管系统障碍, 无机砷及其化合物已被国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)视为人类 I 类致癌物^[4,5]。各种重金属不仅有各自的毒性作用特点和靶器官, 也会在机体内产生联合毒性作用。

水生蔬菜是指生长在淡水中、产品器官可作为蔬菜食用的维管束植物, 如藕、茭白、茨菇、水芹、水芋和水蕹菜等。由于其发达的维管束组织, 水生蔬菜易从水体、淤泥沉积层及大气环境中吸收或转移重金属, 对水体中重金属的富集能力远远大于土壤, 因此水生蔬菜比陆生蔬菜更容易受到重金属的污染^[6]。苏州地区的水生蔬菜“水八仙”(茭实、茨菇、荸荠、藕、菱角、水芹、茭菜、茭白)是地产特色食品之一, 是本地居民喜爱的时令蔬菜, 水生蔬菜中重金属对居民存在潜在健康影响。目前关于水生蔬菜中重金属污染水平及其健康影响的研究仍较少。范丽丽等^[7]分析了苏州地区“水八仙”中总汞的污染水平, 8 类水生蔬菜总汞含量均值的范围为 0.001~0.044 mg/kg, 未检测其他重金属污染水平。检测水生蔬菜中重金属的污染水平, 是了解水生蔬菜重金属污染情况及评估其健康风险的基础工作。

本研究对 2016~2018 年在苏州市 10 个区县水生蔬菜铅、镉、汞、砷 4 种重金属含量进行检测, 了解水生蔬菜重金属污染状况和食用安全性现状, 为对本地居民重金属膳食暴露评估积累基础数据。

2 材料与方法

2.1 样品、试剂与仪器

2016~2018 年连续 3 年在水生蔬菜收获季节, 在苏州地区所辖 10 个区县采集茭实、茨菇、荸荠、藕、菱角、水芹、茭菜、茭白 8 类水生蔬菜共 198 份。采样环节覆盖流通环节的商店(超市、便利店、专营店)和农贸市场。

硝酸(UP 级, 苏州晶瑞化学股份有限公司); 高氯酸(优级纯, 上海金鹿化工有限公司); 硫酸(优级纯, 南京化学试剂有限公司)。

AX204 电子分析天平[0.3 mg, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; DMA-80 固液相全自动测汞仪(意大利 Milestone 公司, 1.5%RSD); PinAAcle900Z 石墨炉原子吸收光谱仪(美国 PE 公司, 0.1~10 ppb); AFS922 双通道原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司, RSD≤0.8%); Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 检测方法

铅的检测方法采用 GB 5009.12-2017《食品中铅的测定》第一法石墨炉原子吸收光谱法^[8]; 镉的检测方法采用 GB 5009.15-2014《食品中镉的测定》石墨炉原子吸收光谱法^[9]; 总汞的检测方法采用 GB 5009.17-2014《食品中总汞及有机汞的测定》第一法原子荧光光谱分析法^[10]; 总砷的

检测方法采用 GB 5009.11-2014《食品中总砷及无机砷的测定》第二法氢化物发生原子荧光光谱法^[11]。

2.2.2 质量控制

水生蔬菜样品采集由苏州市市辖 10 个区的疾病预防控制中心严格按照苏州市食品安全风险监测方案^[12]、质量控制手册^[13]等要求逐年进行,保证所采集样本的代表性。实验室检测由苏州市疾病预防控制中心统一进行,严格按照国标中规定的标准操作程序进行检测,内部控制过程中使用有证标准物质,随同样品测试做控制样品的测定,用统计技术、质量控制图等措施对控制样品的测定结果进行评价,同时采用空白蔬菜样品加标回收率实验进行质量控制,保障检测数据准确可靠。

2.2.3 评价方法

按照 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[14]对水生蔬菜中重金属检测结果进行评价。

采用单因子污染指数和内梅罗综合污染指数法评价水生蔬菜中重金属污染程度^[15]。

单因子污染指数法: $P_i = C_i/S_i$ 。 P_i 为蔬菜中 i 污染物的单项污染指数; C_i 为蔬菜中 i 污染物的实测平均值,单位为 mg/kg; S_i 为评价标准中 i 污染物的限值,单位为 mg/kg。 P_i 分为 5 个等级, $P_i \leq 0.7$ 为优良, $0.7 < P_i \leq 1$ 为安全, $1 < P_i \leq 2$ 为轻度污染, $2 < P_i \leq 3$ 为中度污染, $P_i > 3$ 为重度污染。

内梅罗综合污染指数法: $P_{\text{综合}} = [(P_{\text{ave}} + P_{\text{max}})/2]^{1/2}$ 。 $P_{\text{综合}}$ 为内梅罗综合污染指数; P_{ave} 为蔬菜中各重金属单因子污染指数平均值; P_{max} 为蔬菜中各重金属单项污染指数中最大值。 $P_{\text{综合}}$ 分为 5 个等级, $P_{\text{综合}} \leq 0.7$ 为安全; $0.7 < P_{\text{综合}} \leq 1$ 为警戒线, $1 < P_{\text{综合}} \leq 2$ 为轻度污染, $2 < P_{\text{综合}} \leq 3$ 为中度污染, $P_{\text{综合}} > 3$ 为重度污染。

健康风险评价方法:

因无苏州居民水生蔬菜的实际消费量数据,在健康风险评价中,采用暴露情景假设的方法^[16],即以 2010~2013 年中国居民食物消费状况调查中蔬菜消费量替代水生蔬菜的消费量,结合水生蔬菜样品中的铅、镉、总汞、总砷含量均值,采用简单分布模型(确定性评估)的方法,计算每个个体每日每公斤体重因消费水生蔬菜而摄入重金属的量,计算公式为:

$$EXP_j = \frac{F \times C}{BW_j}$$

其中 EXP_j 是调查人群中第 j 个个体每日每公斤体重因消费煎炸油而摄入重金属的量, $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$; F 是该个体蔬菜的每日消费量, g/d ; C 为水生蔬菜中铅、镉、总汞或总砷含量均值, mg/kg ; BW_j 为该个体的体重, kg 。

铅和总砷对健康的有害效应没有确定阈值,因此采用暴露限值(margin of exposure, MOE)的方法评价铅和总砷的健康效应,即用毒性参考点(基准剂量 95%的可信区间下限, 95% bench mark dose lower confidence limit,

BMDL)与人群铅、总砷暴露量的比值计算 MOE 值。通常认为 $\text{MOE} > 1$ 时,健康风险极低,在公共卫生学上不需要给予关注,而 $\text{MOE} < 1$ 时,存在一定的健康风险,需要给予关注。其中铅的儿童神经发育毒性(IQ 值降低)BMDL01 儿童=0.6 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$, 铅对成人心血管的效应(收缩压升高)BMDL01 成人=1.2 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$ ^[17]。无机砷导致人类肺癌为毒性效应终点的基准剂量 BMDL0.5=3 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$ ^[4],由于无机砷的毒性强,国际上以无机砷为依据对砷进行安全评价,食品中无机砷大约占总砷 70%左右^[18],从保守性的角度,本研究中将总砷作为无机砷来进行评价。

$$\text{暴露限值(MOE 铅)} = \frac{\text{毒性参考点(BMDL01)}}{\text{人群铅暴露量}}$$

$$\text{暴露限值(MOE 总砷)} = \frac{\text{毒性参考点(BMDL0.5)}}{\text{人群总砷暴露量}}$$

镉和总汞的健康评价是将人群镉和总汞的暴露量与其有害效应阈值即每月耐受摄入量(provisional tolerable monthly intake, PTMI)或者每周耐受摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI)进行比较,若暴露量低于阈值,则认为是安全的。

PTMI 镉=25 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$ ^[2], PTWI 总汞-儿童=1 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$, PTWI 总汞-成人=4 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}/\text{d}$ ^[3]。

2.3 数据处理与分析

水生蔬菜中重金属污染水平数据采用 Excel 2010 进行整理,污染水平数据统计分析采用 SPSS 19.0 统计分析软件进行分析。根据 WHO(World Health Organization)对未检出数据的处理原则:未检出数据的比例高于 60%时,所有未检出数据用检出限(limit of detection, LOD)替代;未检出数据的比例小于等于 60%时,所有未检出数据用 1/2LOD 替代^[19]。

3 结果与分析

3.1 水生蔬菜中重金属污染状况

全部水生蔬菜样品中,铅的检出率最高,为 85.2%(161/189),其次是镉,检出率为 84.8%(168/198)。从重金属超标情况来看,仅少数样品中铅和总砷超标,超标率分别为 5.29%(10/189)和 0.60%(1/166)。全部样品中,镉和总汞均未超标,如表 1。

水生蔬菜中重金属水平数据不符合正态分布,因此采用非参数检验中的 Kruskal-Wallis 检验分析不同采样年份间的差别,结果显示 3 个年份样品的重金属污染水平不完全相同,进一步用 Dunn 法进行成对比较结果显示,2017 年样品铅、镉、和总砷水平平均高于 2016 年和 2018 年样品, $P < 0.01$, 差异极显著;2016 年样品总汞水平高于 2018 年样品, $P < 0.05$, 差异有显著性。不同采样年份水生蔬菜中重金属污染水平见表 2。

表 1 水生蔬菜中重金属污染总体情况
Table 1 General situation of heavy metal pollution in aquatic vegetables

	样品数	检出率/%	均值/(mg/kg)	P50/(mg/kg)	P75/(mg/kg)	P90/(mg/kg)	检测值范围/(mg/kg)	超标率/%
铅	189	85.2	0.0518	0.034	0.068	0.1182	ND~0.33	5.29
镉	198	84.8	0.0066	0.005	0.01	0.015	ND~0.025	0
总汞	163	79.8	0.0007	0.00039	0.00085	0.0015	ND~0.0083	0
总砷	166	63.3	0.0526	0.014	0.0415	0.096	ND~2.19	0.60

注: P50 为超过 50%的个体, P75 为超过 75%的个体, P90 为超过 90%的个体, ND 为未检出。

表 2 不同采样年份水生蔬菜中重金属污染水平比较
Table 1 Comparison of heavy metal levels in aquatic vegetables from different sampling years

年份	2016 年			2017 年			2018 年		
统计量	样品数	均值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	样品数	均值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)	样品数	均值/(mg/kg)	中位数/(mg/kg)
铅	60	0.03222	0.02100	51	0.08631	0.06800**	78	0.04428	0.03200
镉	60	0.00373	0.00400	60	0.01217	0.01200**	78	0.00444	0.00300
总汞	60	0.00100	0.00057*	26	0.00066	0.00035	77	0.00046	0.00033
总砷	60	0.02087	0.00850	28	0.19161	0.08650**	78	0.02710	0.01100

注: **为 $P < 0.01$, *为 $P < 0.05$ 。

同样采用 Kruskal-Wallis 检验分析了不同种类水生蔬菜中重金属污染水平(见表 3), 结果显示, 不同种类水生蔬菜之间铅、镉和总砷水平无差异, 而总汞水平存在种类间差异。Dunn 法成对比较结果显示, 茭实中的总汞水平高于莼菜($P < 0.05$)和藕($P < 0.05$), 差异有显著性。茭实为睡莲科植物茭的成熟种仁, 藕是莲科植物地下茎, 莼菜是睡莲科的一种水草的嫩叶, 三者是水生蔬菜的不同器官, 有研究表明不同种类的水生蔬菜^[7]或者水生蔬菜的不同器官对重金属元素的吸收能力不同^[20]。应用 Spearman 相关性检验水生蔬菜中重金属污染水平的相关性, 结果显示总砷水平与铅、镉、总汞之间均具有相关性(Spearman's rho 总砷-铅=0.302, $P < 0.01$; Spearman's rho 总砷-镉=0.233, $P < 0.01$; Spearman's rho 总砷-总汞=0.167, $P < 0.05$), 铅和镉之间具有相关性(Spearman's rho 铅-镉=0.403, $P < 0.01$), 总汞与铅、镉之间无相关性。重金属污染水平之间的相关性表明水生蔬菜的重金属污染可能具有相似的来源^[21]。

3.2 水生蔬菜中重金属污染状况评价

8 类水生蔬菜中铅、镉、总汞、总砷的单项污染指数均小于或等于 0.7, 处于优良水平。茭菇和茭白中铅和总砷单项污染指数高于其他种类水生蔬菜; 荸荠中镉单项污染指数最高; 茭实中总汞单项污染指数最高。8 类水生蔬菜中 4 种重金属综合污染指数均小于 0.7, 处于安全水平, 表明水生蔬菜中 4 种重金属总体污染程度较轻。茭菇和茭白中 4 种重金属综合污染指数高于其他类水生蔬菜。具体评

价结果见表 4。

3.3 水生蔬菜重金属健康风险评价

全人群经水生蔬菜中 4 种重金属的暴露量以及健康风险评价结果见表 5。儿童组经水生蔬菜铅和总汞的平均暴露量(均值)和高食物消费暴露量(P95)均高于成人组。儿童组经水生蔬菜铅的高食物消费暴露的 MOE < 1 , 儿童组铅的平均暴露、成人组铅暴露、全人群总砷暴露的 MOE 均 > 1 。结果表明苏州地区水生蔬菜中的铅污染对成人及 95%的儿童均不会产生健康危害, 但对高食物消费暴露的儿童(5%)可能产生潜在的健康影响。苏州地区水生蔬菜中的总砷污染对成人和儿童均不会产生健康危害。

全人群经水生蔬菜镉的平均暴露量占 PTMI $< 5\%$, 高食物消费暴露量(P95)占 PTMI $< 10\%$ 。儿童组经水生蔬菜总汞的暴露量占 PTWI $< 10\%$, 成人组总汞暴露量占 PTWI $< 2\%$ 。苏州地区水生蔬菜中的镉和总汞污染对成人和儿童均不会产生健康危害。

4 结论与讨论

随着现代工农业的发展, 工业“三废”废水、废渣和废气的不合理排放, 农药、化肥的不合理使用, 环境重金属污染问题日益严峻。铅、镉、汞、砷和铬被称为重金属污染“五毒”, 可通过食物链在动植物体内富集, 直接或间接危害人体健康。

表 3 不同种类水生蔬菜中重金属污染水平比较
Table 3 Comparison of heavy metal levels in different species of aquatic vegetables

样品种类	统计量	铅	镉/(mg/kg)	总汞/(mg/kg)	总砷/(mg/kg)
荸荠	样品数	12	13	9	10
	均值/(mg/kg)	0.05258	0.00946	0.00059	0.08160
	中位数/(mg/kg)	0.04500	0.00800	0.00054	0.00950
莼菜	样品数	24	24	18	18
	均值/(mg/kg)	0.03169	0.00504	0.00035	0.02544
	中位数/(mg/kg)	0.02500	0.00450	0.00029	0.01100
茨菇	样品数	8	10	7	6
	均值/(mg/kg)	0.07125	0.00910	0.00066	0.10733
	中位数/(mg/kg)	0.06600	0.00900	0.00073	0.01950
茭白	样品数	42	43	32	34
	均值/(mg/kg)	0.07101	0.00799	0.00054	0.09314
	中位数/(mg/kg)	0.04900	0.00800	0.00034	0.01005
菱角	样品数	15	16	15	15
	均值/(mg/kg)	0.05958	0.00431	0.00053	0.02147
	中位数/(mg/kg)	0.04200	0.00350	0.00039	0.01200
藕	样品数	34	36	29	30
	均值/(mg/kg)	0.05077	0.00746	0.00033	0.03140
	中位数/(mg/kg)	0.03050	0.00600	0.00026	0.01300
芡实	样品数	44	46	44	44
	均值/(mg/kg)	0.04282	0.00497	0.00131	0.04968
	中位数/(mg/kg)	0.02050	0.00400	0.00091*	0.03150
水芹	样品数	10	10	9	9
	均值/(mg/kg)	0.03410	0.00560	0.00039	0.02178
	中位数/(mg/kg)	0.02500	0.00550	0.00022	0.00500

注: *为 $P < 0.05$

表 4 水生蔬菜重金属污染评价结果
Table 4 Pollution assessment of heavy metals in aquatic vegetables

水生蔬菜种类	单项污染指数				单项污染指数评价结果	综合污染指数	综合污染指数评价结果
	P 铅	P 镉	P 总汞	P 总砷			
荸荠	0.53	0.19	0.06	0.16	优良	0.41	安全
莼菜	0.32	0.10	0.04	0.05	优良	0.24	安全
茨菇	0.71	0.18	0.07	0.21	优良	0.54	安全
茭白	0.71	0.16	0.05	0.19	优良	0.54	安全
菱角	0.60	0.09	0.05	0.04	优良	0.44	安全
藕	0.51	0.15	0.03	0.06	优良	0.38	安全
芡实	0.43	0.10	0.13	0.10	优良	0.33	安全
水芹	0.34	0.11	0.04	0.04	优良	0.26	安全
全部	0.52	0.13	0.07	0.11	优良	0.39	安全

表5 全人群经水生蔬菜重金属暴露量及健康风险评估
Table 5 Assessment of heavy metal exposure and health risk through aquatic vegetables in the whole population

	人数	暴露量($\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{d}$)			MOE(铅、总砷)			PTMI%(镉) 或 PTWI%(总汞)		
		均值	P50	P95	均值	P50	P95	均值	P50	P95
铅(2-12岁儿童组)	1286	0.354	0.310	0.775	1.70	1.94	0.77	—	—	—
铅(≥ 13 岁成人组)	22362	0.257	0.226	0.541	5.06	5.74	2.40	—	—	—
镉	23648	0.033	0.029	0.071	—	—	—	3.99	3.50	8.51
总汞(2-12岁儿童组)	1286	0.005	0.004	0.010	—	—	—	3.29	2.88	7.20
总汞(≥ 13 岁成人组)	22362	0.003	0.003	0.007	—	—	—	0.60	0.53	1.26
总砷	23648	0.266	0.234	0.568	11.3	12.8	5.3	—	—	—

重金属对水生蔬菜能够产生明显的毒害作用,影响水生蔬菜的正常生长发育,并影响水生蔬菜的品质和产量^[20]。水生蔬菜因独特的形态结构及生长环境,更容易受到重金属的污染,从而对进食水生蔬菜的人产生潜在健康危害。浙中地区水生蔬菜莲藕、茭白中重金属污染调查结果显示,调查的4个区县水生蔬菜中铅污染水平均值的范围为0.540~0.792 mg/kg,镉为0.011~0.046 mg/kg,总砷为0.100~0.215 mg/kg。铅、镉、总砷的单项污染指数分别为2.95、0.53、0.27^[22]。成人铬和儿童铅、铬的单一重金属目标危害系数(target hazard quotient, THQ)值均超过1,表明食用浙中地区样品水生蔬菜,成人存在铬暴露健康风险,儿童存在铅、铬暴露健康风险^[23]。本研究结果与该研究比较可见,苏州地区水生蔬菜中铅、镉和总砷的污染水平和单项污染指数均低于浙中地区,苏州地区儿童经水生蔬菜铅的高食物消费暴露也存在潜在健康影响,与浙中地区类似。

相比而言,普通蔬菜中重金属污染的研究较为全面,国内多个地区都有蔬菜中铅、镉、汞、砷等重金属污染的相关研究与报道。杨丽等^[15]调查了2013~2014年河南省新鲜蔬菜中重金属污染状况,铅、镉、总汞、总砷4种重金属在蔬菜中的超标率分别为3.73%、1.34%、3.29%、0.28%,检测平均值分别为0.036、0.012、0.0027和0.031 mg/kg,各类蔬菜中单项污染指数和综合污染指数均小于0.7。王北洪等^[24]研究了北京市本地蔬菜中重金属污染水平,铅、镉、总汞、总砷的均值分别为0.033、0.007、0.002、0.020 mg/kg,无超标样品,部分韭菜中的总砷经膳食途径摄入后会对儿童健康构成潜在威胁。广州市蔬菜中重金属铅超标率高达35.71%,镉超标率达31.25%,四类蔬菜铅污染水平的均值范围为0.031~0.119 mg/kg,镉为0.017~0.061 mg/kg,经口摄入蔬菜重金属对儿童可能造成的暴露风险要高于成年人^[25]。华北地区蔬菜中铅和镉也存在超标现象,超标率分别为6.18%、1.96%,华北地区蔬菜总重金属铅、镉和总砷含量均值分别为0.066、0.023、0.035 mg/kg,铅、镉和铬是引起蔬菜复合风险的最主要因素,其中茎菜类蔬菜中重金属对于人体存在明显的健康风险^[26]。程家丽等^[21]汇总了

2011~2017年我国部分地区(湖南、广东、贵阳、浙江、山东、山西、武汉、北京、上海、兰州、西安等地)蔬菜中重金属累积特征,根茎类、叶菜类、茄果类三类蔬菜中铅的污染水平均值分别为0.140、0.136、0.070 mg/kg,镉分别为0.034、0.045、0.022 mg/kg,总汞分别为0.005、0.004、0.003 mg/kg,总砷分别为0.040、0.038、0.029 mg/kg,叶菜类蔬菜中铅对成人和儿童存在潜在非致癌风险,且儿童非致癌风险较成人高。

本研究中结果与其他普通蔬菜中重金属污染水平研究结果比较可见,苏州地区水生蔬菜铅、镉、总汞、总砷污染总体处于较轻水平,与河南^[15]、北京^[24]、华北地区^[26]普通蔬菜相当,低于广州^[25]蔬菜和程家丽等^[21]研究结果。重金属超标率与河南^[15]、华北地区^[26]相当,但低于广州^[25]。

本研究健康风险评估结果显示,苏州市水生蔬菜中的铅污染可能对部分儿童产生潜在健康影响。儿童生长发育速率处于较高水平,其单位体重能量和营养素的需要量相对高于成年人,单位体重食物摄入量也高于成年人,因此食物中的有害污染物对儿童的不利健康影响多高于成年人。

本研究中是用蔬菜的消费量替代水生蔬菜消费量,因此对重金属的暴露量是高估的;但比较水生蔬菜和普通蔬菜中重金属污染水平,二者基本相当,因此本研究中的暴露量可与人群经蔬菜的重金属暴露量相当。

由于重金属污染广泛存在,在进一步研究中,人群通过其他食物(如谷类、肉类等等)和其他途径(如呼吸道、皮肤等)摄入的重金属也须全面考虑,方可对重金属对人体造成的健康风险进行全面评估。

参考文献

- [1] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain food additives and contaminants-Lead, JECFA/73/SC [R]. 2011.
- [2] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain food additives and contaminants-Cadmium, JECFA/73/SC [R]. 2011.
- [3] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain contaminants in food-Mercury, JECFA/72/SC [R]. 2011.
- [4] Joint FAO/WHO Expert Committee. Safety evaluation of certain

- contaminants in food-Arsenic, JECFA/72/SC [R]. 2011.
- [5] International Agency for Research on Cancer. A review of human carcinogens: Arsenic, metal, fibres and dusts (Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human) [R]. 2012.
- [6] 王方园, 谢晓君, 龙珠, 等. 砷和汞在水生蔬菜及其生长环境中的迁移富集[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2017, 40(2): 214-220.
Wang FY, Xie XJ, Long Z, *et al.* Study on migration and enrichment of arsenic and mercury in two aquatic vegetables and their surroundings [J]. J Zhejiang Normal Univ (Nat Sci Ed), 2017, 40(2): 214-220.
- [7] 范丽丽, 傅春玲, 丁薇薇. 苏州地产水生蔬菜和大湖水产品总汞含量分析[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 273-275.
Fan LL, Fu CL, Ding WW. Analysis of total mercury in aquatic vegetables cultivated in Suzhou and aquatic products in Taihu lake [J]. Food Sci, 2012, 33(12): 273-275.
- [8] GB 5009.12-2017 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].
GB 5009.12-2017 National food safety standard-Determination of lead in foods [S].
- [9] GB 5009.15-2014 食品安全国家标准 食品中镉的测定 [S].
GB 5009.15-2014 National food safety standard-Determination of cadmium in foods [S].
- [10] GB 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 5009.17-2014 National food safety standard-Determination of total mercury and organic mercury in foods [S].
- [11] GB 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 5009.11-2014 National food safety standard-Determination of total and inorganic arsenic in foods [S].
- [12] 苏州市疾病预防控制中心. 苏州市食品安全风险监测方案[Z].
Suzhou Center for Disease Control and Prevention. Suzhou food safety risk monitoring program [Z].
- [13] 苏州市疾病预防控制中心. 理化实验室质量控制手册(重金属检测分册)[Z].
Suzhou Center for Disease Control and Prevention. Quality control manual for physical and chemical laboratories (heavy metal detection sub-volume) [Z].
- [14] 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-Limit contaminants in food [S].
- [15] 杨丽, 李杉, 袁蒲, 等. 2013-2014 年河南省新鲜蔬菜中重金属污染状况调查[J]. 中国卫生产业, 2019, 16(2): 143-147.
Yang L, Li S, Yuan P, *et al.* Investigation on heavy metal pollution in the fresh vegetables in Henan province from 2013 to 2014 [J]. China Health Ind, 2019, 16(2): 143-147.
- [16] 陈君石, 樊永祥. 食品安全风险分析[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
Chen JS, Fan YX. Food safety risk analysis [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2008.
- [17] 国家食品安全风险评估中心. 中国居民膳食铅暴露风险评估[Z]. 2005.
China National Center for Food Safety Risk Assessment. Risk assessment of dietary exposure to lead in Chinese population [Z]. 2005.
- [18] 刘思洁, 王慧, 王博, 等. 吉林省主要食品中砷污染状况及居民膳食暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(6): 645-649.
Liu SJ, Wang H, Wang B, *et al.* Arsenic contamination in main foods and the dietary exposure assessment for the population of Jilin province, China [J]. Chin J Food Hyg, 2018, 30(6): 645-649.
- [19] WHO. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [R]. Rome: WHO, 1995.
- [20] 熊春晖, 卢永恩, 欧阳波, 等. 水生蔬菜重金属污染与防治研究进展[J]. 长江蔬菜, 2012, (16): 1-6.
Xiong CH, Lu YE, Ou YB, *et al.* Research progress on pollution and prevention of heavy metals in aquatic vegetables [J]. J Changjiang Veget, 2012, (16): 1-6.
- [21] 程家丽, 任硕, 刘婷婷, 等. 2001-2017 年我国部分地区蔬菜中砷和重金属累积特征及膳食暴露风险[J]. 中国食品卫生杂志, 2018, 30(2): 187-192.
Chen JL, Ren S, Liu TT, *et al.* Accumulation and dietary exposure risk of arsenic and heavy metals in the vegetables from some areas of China, 2001-2017 [J]. Chin J Food Hyg, 2018, 30(2): 187-192.
- [22] 王方园, 龙珠, 徐金玲, 等. 浙中地区水生蔬菜及其生长环境重金属污染调查与评价[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2016, 39(3): 338-345.
Wang FY, Long Z, Xu JL, *et al.* Investigation and evaluation of the heavy metal pollution for aquatic vegetables and its growing environment in the middle area of Zhejiang [J]. J Zhejiang Normal Univ (Nat Sci Ed), 2016, 39(3): 338-345.
- [23] 龙珠, 徐金玲, 王方园, 等. 浙中地区水生蔬菜及其生长环境重金属风险评价[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(10): 1580-1585.
Long Z, Xu JL, Wang FY, *et al.* Risk assessment of heavy metals in aquatic vegetables and their growing environment in central Zhejiang province [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2016, 57(10): 1580-1585.
- [24] 王北洪, 马智宏, 冯晓元, 等. 北京市蔬菜重金属含量及健康风险评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2736-2745.
Wang BH, Ma ZH, Feng XY, *et al.* Concentrations and health risk evaluation of heavy metals in vegetables in Beijing [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(7): 2736-2745.
- [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.
- [26] 冯宇佳, 赵全利, 孙洪欣, 等. 华北地区菜田土壤—蔬菜重金属污染状况和健康风险评价[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(1): 1-7.
Feng YJ, Zhao QL, Sun HX, *et al.* Assessment of soil-vegetable contamination and health risk of heavy metals in vegetables around north China [J]. J Agric Univ Hebei, 2017, 40(1): 1-7.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



黄飞飞, 硕士, 主管医师, 主要研究方向为营养与食品安全。
E-mail: hff_0928@126.com



郑艳敏, 硕士, 主管医师, 主要研究方向为营养与食品安全。
E-mail: 494937525@qq.com