

# 烟台市售蔬菜的重金属含量及食用安全性评价

董峰光\*, 王朝霞, 宫春波, 刘泽静, 孙兆鹏, 孙月琳

(烟台市疾病预防控制中心食品营养科, 烟台 264003)

**摘要:** **目的** 对烟台市售蔬菜重金属食用安全性进行评价。**方法** 根据 GB5009.12-2010、GB/T5009.15-2003、GB/T 5009.17-2003、GB/T 5009.11-2003 分别对烟台市售蔬菜中的铅(plumbum, Pb)、镉(cadmium, Cd)、总汞(total mercury, Hg)、总砷(total arsenic, As)的含量进行检测, 采用单因子污染指数法、综合污染指数法和目标危害系数法对蔬菜的食用安全性进行评价。**结果** 烟台市蔬菜中 Pb、Cd、Hg 和 As 含量平均值依次为 0.028、0.0044、0.00036、0.011 mg/kg, 均低于蔬菜卫生标准。单因子污染指数法和综合污染指数法评价结果表明, 蔬菜各元素为清洁水平, 各类蔬菜均为安全等级。蔬菜中各重金属的目标危害系数(target hazard quotient, THQ)均值大小为: Pb > Cd > As > Hg, 均小于 1, 单一重金属对人群健康风险不明显。复合健康风险指数从高到低依次为: 鳞茎蔬菜、叶菜类蔬菜、茎类蔬菜、甘蓝类/芸薹类、块根和块茎类蔬菜、鲜豆类蔬菜、非葫芦科茄果类蔬菜及瓜菜类(葫芦科)。**结论** 各类市售蔬菜对人群健康风险不大, 但是儿童的健康风险要高于成人。

**关键词:** 蔬菜; 重金属; 食用安全性; 健康风险

## Heavy metals content and edible safety evaluation of vegetables in Yantai market

DONG Feng-Guang\*, WANG Zhao-Xia, GONG Chun-Bo, LIU Ze-Jing,  
SUN Zhao-Peng, SUN Yue-Lin

(Food Nutrition Department, Yantai Center for Disease Control and Prevention, Yantai 264003, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the edible safety of heavy metals in vegetables in Yantai market. **Methods** According to GB5009.12-2010, GB/T5009.15-2003, GB/T 5009.17-2003 and GB/T 5009.11-2003, the content of plumbum (Pb), cadmium (Cd), total mercury (Hg), and total arsenic (As) were determined. The methods of single factor pollution index, comprehensive pollution index and target hazard quotient were used to assess the food safety of heavy metals in vegetables. **Results** The average concentrations of Pb, Cd, Hg and As element in vegetables were respectively 0.028, 0.0044, 0.00036 and 0.011 mg/kg, which were lower than the hygiene standards of vegetables. The single factor pollution index assessment showed that all elements could be regarded as clean levels, and the comprehensive pollution index evaluation method showed that all kinds of vegetables were at safe levels. The average of target hazard quotient (THQ) of heavy metals in vegetables was as follows: Pb > Cd > As > Hg, which were all less than 1. The danger of single heavy metal on people was not obvious. The compound health risk index ranked from great to small was as follows: bulb vegetable, leaf vegetable, stem vegetables, cabbage/*Brassica campestris* vegetables, root and tuber vegetables, legume vegetables, solanaceous vegetables and cucurbitaceae

基金项目: 2014年烟台市科学技术发展计划项目(2014WS051)

**Fund:** Supported by the 2014 Science and Technology Development Program of Yantai Project (2014WS051)

\*通讯作者: 董峰光, 主管技师, 主要研究方向为食品安全、食品卫生检验。E-mail: veradfg@163.com

\*Corresponding author: DONG Feng-Guang, Associate Chief Technician, Food Nutrition and Student Health Care Department of Yantai Center for Disease Control and Prevention, No.17, Fuhou Road, Laishan District, Yantai 264003, China. E-mail: veradfg@163.com

vegetables. **Conclusion** There are no evident risks in eating vegetables, while the health risks of vegetables for children are larger than that for adults.

**KEY WORDS:** vegetables; heavy metals; edible safety; health risk

## 1 引言

重金属具有毒性、易富集<sup>[1]</sup>, 能通过“土壤-植物-人”的途径进入人体, 严重危害人类健康<sup>[2,3]</sup>。蔬菜较易吸收和富集重金属<sup>[4]</sup>。过量的重金属铅(plumbum, Pb)、镉(cadmium, Cd)、总汞(mercury, Hg)及类金属元素砷(arsenic, As)在人体富集超过暴露剂量, 会产生不同程度的致癌、致畸毒性, 如铅能影响大脑代谢, 导致神经元和轴突的损伤或消失, 对记忆和视觉产生影响<sup>[5]</sup>, 镉是一种内分泌干扰物, 可经呼吸被体内吸收积存于肝或肾脏造成危害, 还可导致骨质疏松和软化<sup>[6]</sup>。

全国多地如陕西省<sup>[7]</sup>、山东省鱼台地区<sup>[8]</sup>、广州市<sup>[9]</sup>以及中国香港地区<sup>[10]</sup>等都曾出现关于蔬菜重金属污染的相关报道, 但是关于烟台市售蔬菜重金属污染的研究鲜见报道, 近几年只有水产品中重金属含量的研究。为了解烟台市市售食品中重金属污染情况, 本研究针对烟台市市售蔬菜中重金属的分布, 开展污染水平、污染途径的监测, 具有重大的现实意义。

单因子污染指数法适用于单因子污染特定区域的评价。指数值的大小直接反映了单因子的污染程度。内梅罗(Nemerow)综合污染指数法兼顾单因子污染指数平均值和极值的加权型多因子质量指数, 反映了各污染物对产品的综合污染水平, 重点突出了高浓度污染物对产品质量的影响。本研究旨在通过各类蔬菜样品重金属含量的测定, 充分了解烟台市市售蔬菜样品重金属的含量情况, 利用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法评价蔬菜受重金属污染状况, 并采用目标危害系数法对蔬菜食用安全性进行评价。

## 2 材料与方法

### 2.1 样本

2012~2015 年间, 在烟台市 14 个县市区随机采集 270 份样本, 涉及非葫芦科茄果类蔬菜、甘蓝类/芸薹类、瓜菜类(葫芦科)、茎类蔬菜、块根和块茎类蔬菜、鳞茎蔬菜、鲜豆类蔬菜及叶菜类蔬菜。

### 2.2 仪器与试剂

pinAAcle-900Z 原子吸收光谱仪(美国 PerkinElmer 公司); AFS-9230 原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司); MARS 6 CLASSIC 微波消解仪(美国 CEM 公司); DRA-4 数显恒温电热板(龙口市先科仪器公司)。

硝酸、高氯酸(优级纯, 北京化学试剂研究所); Pb、Cd、Hg 及 As 标准溶液(1000 mg/L, 均购于国家标物中心); 水(一级水, 纯水机自制)。

### 2.3 实验方法

#### 2.3.1 检测方法与评价

根据 GB5009.12-2010《食品安全国家标准 食品中铅的测定》<sup>[11]</sup>测定样品中铅含量, 检测限(limit of detection, LOD)为 0.005 mg/kg; GB/T 5009.15-2003《食物中镉的测定方法》<sup>[12]</sup>测定样品中镉含量, 检测限为 0.0001 mg/kg; GB/T 5009.17-2003《食品中总汞及有机汞的测定》<sup>[13]</sup>中规定的石墨炉原子荧光光谱法检测样品中的汞含量, 检测限是 0.00015 mg/kg。GB/T 5009.11-2003《食品中总砷及无机砷的测定》<sup>[14]</sup>中规定的氢化物原子荧光光度法检测样品中的砷含量, 检测限是 0.01 mg/kg。依据 GB 2762-2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[15]</sup>对样品中铅、镉、总汞、总砷含量进行评价。

#### 2.3.2 蔬菜重金属污染评价方法与标准

采用单因子污染指数法和内梅罗(Nemerow)综合污染指数法对蔬菜的污染情况进行评价<sup>[16]</sup>。

单因子污染指数计算方法为:

$$P_i = C_i / S_i \quad \text{式(1)}$$

式中,  $P_i$  为某种重金属的单因子污染指数;  $C_i$  为某种蔬菜中该种重金属的实测浓度;  $S_i$  为某种蔬菜中该种重金属的评价标准(不同种类蔬菜的同一种重金属的评价价值有可能不一样)。分级标准为:  $P_i = 1$  为清洁;  $1 < P_i \leq 2$  为轻污染;  $2 < P_i \leq 3$  为中污染;  $P_i > 3$  为重污染。

内梅罗(Nemerow)综合污染指数法全面反映各污染物的作用, 突出高浓度重金属对蔬菜品质的影响, 计算方法为:

$$P_{\text{综合}} = \sqrt{(P_{\text{max}}^2 + P_{\text{ave}}^2) / 2} \quad \text{式(2)}$$

式中,  $P_{\text{综合}}$  为某种蔬菜的内梅罗综合污染指数;  $P_{\text{max}}$  为某种蔬菜的 4 种重金属单因子指数( $P_i$ )中的最大值;  $P_{\text{ave}}$  为某种蔬菜的 4 种重金属单因子指数( $P_i$ )的平均值。分为 5 个污染等级:  $P_{\text{综合}} \leq 0.7$  为安全;  $0.7 < P_{\text{综合}} \leq 1$  为警戒线;  $1 < P_{\text{综合}} \leq 2$  为轻污染;  $2 < P_{\text{综合}} \leq 3$  为中污染;  $P_{\text{综合}} > 3$  为重污染。

#### 2.3.3 蔬菜食用安全性评价方法与标准

采用美国环保局于 2000 年发布的目标危害系数法(target hazard quotient, THQ)<sup>[17]</sup>对蔬菜食用安全性进行评价。THQ  $\leq 1$  说明暴露人群没有明显的健康风险; THQ  $> 1$  则存在健康风险。THQ 值越大表明该污染物对人体健康风险越严重。

单一重金属风险计算公式:

$$THQ = \frac{E_F \times E_D \times F_{IR} \times c}{R_{FD} \times W_{AB} \times AT_n} \times 10^{-3} \quad \text{式(3)}$$

多种重金属复合风险计算公式:

$$TTHQ = \sum THQ \quad \text{式(4)}$$

式(3)中各参数名称和取值见表 1。

### 2.4 统计分析

用 SPSS 13.0 软件对主要食物中铅、镉、总汞、总砷含量进行统计分析。根据 WHO 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 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<sup>[22]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 总体情况

烟台市售各种蔬菜中 Pb、Cd、Hg 和 As 含量均值分别为 0.028、0.0044、0.00036 及 0.011 mg/kg,不同重金属元素在各类蔬菜中的含量差异较大,见表 2。与蔬菜卫生标准<sup>[11]</sup>相比,仅有两份蔬菜样品(均为韭菜)存在铅元素超标现象,其他样品均不存在重金属超标现象。蔬菜样品重金属超标率为 0.74%。从表 2 也可以看出,蔬菜样品中铅的均值和检出率都是最高的,证明烟台市售蔬菜中重金属 Pb

累积相对较为严重。

### 3.2 不同类别市售蔬菜重金属含量分析

不同类别市售蔬菜之间各重金属元素含量差异不大,均低于食品卫生标准的限值,见表 3。瓜菜类(葫芦科)的 Pb、Cd 元素含量较少;块根和块茎类蔬菜的 Hg、As 元素含量较少;叶菜类蔬菜更容易富集 Pb 元素;鳞茎蔬菜更容易富集 Cd 元素;鲜豆类蔬菜更容易富集 Hg 元素;瓜菜类(葫芦科)更容易富集 As 元素。总体来说,烟台市售蔬菜中瓜菜类(葫芦科)和块根块茎类蔬菜重金属含量较少。

### 3.3 蔬菜重金属污染评价

烟台市售蔬菜重金属的单因子污染指数( $P_i$ )和 4 种重金属的综合污染指数( $P_{综合}$ ),见表 4。

表 4 的单因子污染指数表明,各种蔬菜各重金属元素均为清洁水平。综合污染指数表明,各种蔬菜均为安全等级;茎类蔬菜和鳞茎蔬菜综合污染指数显著高于其他蔬菜。归纳来说,烟台市售蔬菜中茎类蔬菜和鳞茎蔬菜较容易受到重金属污染,这可能与其生长特性有一定的关系。

### 3.4 蔬菜重金属食用安全性评价

烟台地区成人和儿童通过市售蔬菜摄入重金属的 THQ 值和 TTHQ 值结果见表 5、表 6。

表 1 蔬菜健康风险分析参数取值  
Table 1 Values of the parameters used in the calculation of THQ for heavy metals

参数符号	$E_F(d/a)$	$E_D(a)$	$F_{IR}(g/d)$	$c(mg/kg)$	$W_{AB}(kg)$	$AT_n(d)$	$R_{FD}(mg/(kg \cdot d))$
参数名称	暴露频率	暴露时间	蔬菜摄入量	蔬菜中重金属质量比	平均体重	非致癌平均暴露时间	参考剂量
指标取值	365	70	231.5 (儿童) 301.4 (成人)		32.7 (儿童) 55.9 (成人)	25550	$R_{FD}(Pb) = 4 \times 10^{-3}$ $R_{FD}(Cd) = 1 \times 10^{-3}$ $R_{FD}(Cr) = 3 \times 10^{-3}$ $R_{FD}(As) = 3 \times 10^{-3}$ $R_{FD}(Hg) = 5 \times 10^{-4}$
来源	[17]	[18]	[19] [20]	本研究	[19] [19]	[17]	[17] [17] [21] [21] [21]

表 2 烟台市售蔬菜重金属质量比(mg/kg)  
Table 2 Mass ratio of heavy metals in market vegetables of Yantai city (mg/kg)

元素	范围(mg/kg)	平均值(mg/kg)	标准差(mg/kg)	P50(mg/kg)	P95(mg/kg)	P97.5(mg/kg)	镉检出率(%)	超标率(%)
Pb	0.0051~0.17	0.028	0.032	0.016	0.090	0.10	63.33	0.74
Cd	0.00018~0.034	0.0044	0.0066	0.0016	0.018	0.029	59.63	0
Hg	0.0023~0.0093	0.00036	0.0010	0.00015	0.00015	0.0048	4.44	0
As	0.013~0.055	0.011	0.0039	0.01	0.01	0.018	4.44	0

表 3 不同类别蔬菜的重金属含量(mg/kg)  
Table 3 Heavy metal content in different types of vegetables (mg/kg)

蔬菜类别	份数	元素			
		Pb	Cd	Hg	As
非葫芦科茄果类蔬菜	43	0.015	0.0012	0.00046	0.011
甘蓝类/芸薹类	26	0.022	0.0040	0.00069	0.011
瓜菜类(葫芦科)	28	0.010	0.00034	0.00033	0.011
茎类蔬菜	23	0.044	0.0046	0.00015	0.010
块根和块茎类蔬菜	31	0.018	0.0034	0.00015	0.01
鳞茎蔬菜	44	0.037	0.0098	0.00028	0.011
鲜豆类蔬菜	21	0.017	0.0012	0.00089	0.01
叶菜类蔬菜	54	0.049	0.0066	0.00021	0.010

表 4 烟台市售不同蔬菜重金属的单因子污染指数( $P_i$ )和综合污染指数( $P_{综合}$ )

Table 4 Single factor pollution index ( $P_i$ ) and comprehensive pollution index ( $P_{综合}$ ) of heavy metals in different types of vegetables in Yantai market

蔬菜	单因子污染指数( $P_i$ )				综合污染指数( $P_{综合}$ )	污染等级
	Pb	Cd	Hg	As		
非葫芦科茄果类蔬菜	0.15	0.024	0.046	0.022	0.11	安全
甘蓝类/芸薹类	0.073	0.079	0.069	0.022	0.071	安全
瓜菜类(葫芦科)	0.10	0.0067	0.033	0.023	0.077	安全
芹菜(茎类蔬菜的一种)	0.46	0.023	0.015	0.020	0.34	安全
其他茎类蔬菜	0.36	0.051	0.015	0.020	0.27	安全
薯类蔬菜	0.069	0.046	0.015	0.020	0.056	安全
其他块根和块茎类蔬菜	0.21	0.025	0.015	0.020	0.15	安全
鳞茎蔬菜	0.37	0.20	0.028	0.022	0.28	安全
鲜豆类蔬菜	0.085	0.012	0.089	0.020	0.073	安全
叶菜类蔬菜	0.16	0.033	0.021	0.020	0.12	安全

表 5 蔬菜中单一重金属摄入的健康风险  
Table 5 Health risks of single heavy metal in vegetables

项目	Pb	Cd	Hg	As	
范围	0.0068~0.23	0.0010~0.18	0.025~0.10	0.023~0.099	
成人 THQ	均值	0.038	0.024	0.0039	0.019
THQ > 1 比例(%)	0	0	0	0	
范围	0.012~0.39	0.0017~0.31	0.042~0.17	0.040~0.17	
儿童 THQ	均值	0.065	0.041	0.0067	0.033
THQ > 1 比例(%)	0	0	0	0	

表 6 不同种类蔬菜重金属摄入的健康风险  
Table 6 Health risks of heavy metals intake from different kinds of vegetables

蔬菜种类	成人 THQ 值					儿童 THQ 值				
	Pb	Cd	Hg	As	TTHQ 值	Pb	Cd	Hg	As	TTHQ 值
鳞茎蔬菜	0.05	0.0528	0.003	0.0194	0.1252	0.0656	0.0693	0.004	0.0255	0.1643
叶菜类蔬菜	0.0667	0.0358	0.0023	0.0182	0.1231	0.0876	0.0471	0.003	0.024	0.1616
茎类蔬菜	0.0598	0.025	0.0016	0.0183	0.1047	0.0785	0.0329	0.0021	0.024	0.1375
甘蓝类/芸薹类	0.0295	0.0214	0.0075	0.0199	0.0782	0.0387	0.0281	0.0098	0.0261	0.1027
块根和块茎类蔬菜	0.0249	0.0182	0.0016	0.018	0.0627	0.0327	0.0239	0.0021	0.0236	0.0823
鲜豆类蔬菜	0.0228	0.0066	0.0096	0.018	0.0569	0.03	0.0086	0.0126	0.0236	0.0748
非葫芦科茄果类蔬菜	0.0203	0.0065	0.005	0.0198	0.0516	0.0267	0.0085	0.0065	0.0261	0.0678
瓜菜类(葫芦科)	0.0135	0.0018	0.0035	0.0206	0.0394	0.0178	0.0024	0.0046	0.027	0.0518

由表 5 可知, 烟台市售蔬菜中重金属 THQ 均值大小依次为: Pb > Cd > As > Hg, THQ 值均小于 1, 说明烟台市售蔬菜中单一重金属对人群暴露健康风险不明显。不同重金属对复合健康风险的贡献率存在明显差异。烟台市售蔬菜重金属健康暴露风险主要由 Pb、Cd 和 As 引起, 成人的贡献率分别为 44.85%、28.05% 和 22.49%; 儿童的贡献率分别为 44.84%、28.03% 和 22.49%。Hg 的暴露风险较低, 对成人和儿童的贡献率均在 5% 以下。不同重金属对成人和儿童的复合健康风险贡献率基本一致。

从表 6 可以看出, 不同种类蔬菜的单一和复合健康风险指数均小于 1; 复合健康风险指数依次为: 鳞茎蔬菜 > 叶菜类蔬菜 > 茎类蔬菜 > 甘蓝类/芸薹类 > 块根和块茎类蔬菜 > 鲜豆类蔬菜 > 非葫芦科茄果类蔬菜 > 瓜菜类(葫芦科)。健康风险指数儿童高于成人 30% 以上, 表明市售蔬菜重金属污染对儿童造成的健康风险高于成人。

#### 4 结 论

本研究首次全面了解了烟台市售蔬菜中重金属的分布特征, 探索其污染源和污染途径, 并进行了烟台市售蔬菜中重金属的定量风险评估。通过获得烟台市售蔬菜中重金属污染种类以及污染趋势和规律, 可为生产、贮运以及销售环节提供有效的防控措施, 进而为市售蔬菜的标准修订以及生产、流通监管和风险预警提供科学依据。

烟台市售蔬菜总体情况良好, 均为安全等级。Pb、Cd、Hg 和 As 的含量均值均低于蔬菜卫生标准值。Pb 元素的超标率为 0.74%, 其他 3 种重金属元素均不超标。蔬菜中 Pb 累积相对较严重。叶菜类、茎类蔬菜、鳞茎蔬菜更容易富集铅, 鳞茎和叶菜类更容易富集镉, 鲜豆类和甘蓝类/芸薹类更容易富集汞, 而砷的含量在各类菜中无明显差别。瓜菜类(葫芦科)和块根块茎类蔬菜重金属含量较少。鳞茎类、

叶菜类和茎类重金属的污染比其他种类的更严重。各类蔬菜风险指数由大到小依次为鳞茎蔬菜 > 叶菜类蔬菜 > 茎类蔬菜 > 甘蓝类/芸薹类 > 块根和块茎类蔬菜 > 鲜豆类蔬菜 > 非葫芦科茄果类蔬菜 > 瓜菜类(葫芦科)。健康风险指数儿童高于成人 30% 以上, 表明市售蔬菜重金属污染对儿童造成的健康风险高于成人。

#### 参考文献

- [1] Omgbu JA, Kokogbo MA. Determination of Zn, Pb, Cu and Hg in soils of Ekpan Nigeria [J]. Environ Int, 1993, 19(6): 611-612.
- [2] Hussein H, Farag S, Kandil K, *et al.* Tolerance and uptake of heavy metals by Pseudomonads [J]. Process Biochem, 2005, 40(2): 955-961.
- [3] Granero S, Domingo JL. Levels of metals in soils of Alcaa de Henares, Spain: human health risks [J]. Environ Int, 2002, 28(3): 159-164.
- [4] Xue Y, Shen ZG, Zhou DM. Difference in heavy metal uptake between various vegetables and its mechanism [J]. Soils, 2005, 37(1): 32-36.
- [5] Hsieh TJ, Chen YC, Li CW, *et al.* A proton magnetic resonance spectroscopy study of the chronic lead effect on the Basal ganglion and frontal and occipital lobes in middle-age adults [J]. Environ Health Perspect, 2009, 117(6): 941-945.
- [6] Yan LJ, Hua WG, Ping L, *et al.* Effects of maternal cadmium exposure during late pregnant period on testicular steroidogenesis in male offspring [J]. Toxicol Lett, 2011, 205(1): 69-78.
- [7] 张建新, 杜双奎, 纳明亮. 陕西省主要蔬菜产区蔬菜重金属污染状况分析与评价[J]. 西北植物学报, 2005, 25(11): 2301-2306.  
Zhang JX, Du SK, Na ML. Analysis and appraisal of heavy metal pollution of main vegetables production area in Shaanxi province [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2005, 25(11): 2301-2306.
- [8] 高宗军, 成世才, 代杰瑞, 等. 山东省鱼台地区蔬菜重金属污染现状及选择性种植研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(7): 3685-3687.  
Gao ZJ, Cheng SC, Dai RJ, *et al.* Heavy metal pollution status of vegetable cultivation in Yutai Shandong and study on the selective cultivation [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(7): 3685-3687.

- [9] 王晓波, 陈海珍, 刘冬英, 等. 广州市蔬菜重金属污染状况及健康风险评估[J]. 中国公共卫生, 2011, 27(5): 549-551.  
Wang XB, Chen HZ, Liu DY, *et al.* Contents of heavy metal in vegetables and their potential risks to human health in Guangzhou city [J]. Chin J Public Health, 2011, 27(5): 549-551.
- [10] Hu JL, Wu FY, Wu SC. Bioaccessibility, dietary exposure and human risk assessment of heavy metals from market vegetables in Hong Kong revealed with an in vitro gastrointestinal model [J]. Chemosphere, 2013, 91: 455-461.
- [11] GB 5009.12-2010 食品安全国家标准 食品中铅的测定[S].  
GB 5009.12-2010 National food safety standard-Determination of lead in foods [S].
- [12] GB/T 5009.15-2003 食品中镉的测定[S].  
GB/T 5009.15-2003 Determination of cadmium in foods [S]
- [13] GB/T 5009.17-2003 食品中总汞及有机汞的测定[S].  
GB/T 5009.17-2003 Determination of total mercury and organic-mercury in foods [S].
- [14] GB/T 5009.11-2003 食品中总砷及无机砷的测定[S].  
GB/T 5009.11-2003 Determination of total arsenic and abio- arsenic in foods [S].
- [15] GB 2762-2012 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].  
GB 2762-2012 National food safety standard-limits of contaminants in foods [S].
- [16] NY/T 398-2000 中华人民共和国农业行业标准 农、畜、水产品污染监测技术规范[S].  
NY/T 398-2000 Proceduralr egulations regarding monitoring of pollutants in the produces of agriculture, animalh usbandry and fisher [S].
- [17] US EPA. Risk-based concentration table [R]. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, 2000.
- [18] Bennett DH, Kastenber WE, Mckone TE. A multimedia, multiple pathway risk assessment of atrazine: the impact of age differentiated exposure including joint uncertainty and variability [J]. Reliab Eng Sys Safe, 1999, 63(2): 185-198.
- [19] Wang X, Sato T, Xing B, *et al.* Health risk of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish [J]. Sci Total Environ, 2005, 350(1-3): 28-37.
- [20] 李绥晶, 李欣, 李辉, 等. 辽宁省城乡居民膳食营养与健康调查[J]. 中国公共卫生, 2005, 21(11): 1308-1309.  
Li SJ, Li X, Li H, *et al.* Investigation on dietary nutrition and health of urban and rural residents in Liaoning province [J]. Chin J Public Health, 2005, 21(11): 1308-1309.
- [21] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants [R]. Geneva: World Health Organization, 1993.
- [22] WHO. Second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food [R]. Rome: WHO, 1995.

(责任编辑: 姚 菲)

#### 作者简介



董峰光, 主管技师, 主要研究方向为  
食品安全、食品卫生检验。  
E-mail: veradfg@163.com