

浙江省7个地区冬笋中铅、镉、铬、砷、汞的含量及风险评价

袁新跃*, 陈 瑜, 张培洪, 周阳元, 胡路平
(杭州市富阳区食品安全检验检测中心, 富阳 311400)

摘 要: **目的** 评价浙江省7个地区冬笋中Pb、Cd、Cr、As、Hg 5种重金属的污染程度。**方法** 采用石墨炉原子吸收光谱法和原子荧光光谱法测定84个冬笋样品中Pb、Cd、Cr、As、Hg 5种重金属的含量, 并与国家标准中的限量值进行比较, 通过计算单因子污染指数和尼梅罗综合污染指数评价冬笋的污染状况。**结果** 所测定的84个冬笋样品中, Pb、Cd、Cr、As、Hg的单因子污染指数平均值分别为0.96、0.59、0.10、0.01、0.03; 尼梅罗综合污染指数评价分析的结果表明, 67份样品处于未污染状态, 占总样本的79.8%; 8份样品处于警戒范围内, 占总样本的9.5%; 8份样品处于轻污染状态, 占总样本的9.5%; 1份样品受到中度污染, 占总样本的0.2%。**结论** 浙江省所采样地区的冬笋样品中的重金属污染风险主要来自Pb, 其次是Cd, Cr、As和Hg的污染风险最低。

关键词: 冬笋; 铅; 镉; 铬; 砷; 汞; 风险评价

Content of Pb, Cd, Cr, As, Hg and risk assessment in winter bamboo shoots in 7 areas of Zhejiang province

YUAN Xin-Yue*, CHEN Yu, ZHANG Pei-Hong, ZHOU Yang-Yuan, HU Lu-Ping
(The Food Safety Inspection Center of Fuyang District in Hangzhou, Fuyang 311400, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the heavy metal pollution level of Pb, Cd, Cr, As and Hg in winter bamboo shoots in 7 areas of Zhejiang province. **Methods** The content of Pb, Cd, Cr, As and Hg in bamboo shoots was detected by graphite furnace atomic absorption spectrometry and atomic fluorescence spectrometry, and the data was compared with the food contaminants in national standards. The contamination status in winter bamboo shoots was evaluated by the single factor pollution index and the Nemerow comprehensive pollution index. **Results** The average values of single factor pollution index of Pb, Cd, Cr, As and Hg in 84 winter bamboo shoots were 0.96, 0.59, 0.10, 0.01 and 0.03, respectively. The analysis result of Nemerow comprehensive pollution index showed that 67 samples were safe and clean, which accounted for 79.8% in the total samples; 8 samples (9.5%) were in the warning area, 8 samples (9.5%) were in the low-grade pollution level, and only one sample (0.2%) was polluted in middle degree. **Conclusion** The pollution risk of heavy metal in bamboo shoots in sampling areas from Zhejiang province is mainly caused by Pb, followed by Cd, and the pollution risks of Cr, As, and Hg are the lowest.

KEY WORDS: winter bamboo shoots; Pb; Cd; Cr; As; Hg; risk assessment

*通讯作者: 袁新跃, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量安全和食品检测技术。E-mail: 116332161@qq.com

*Corresponding author: YUAN Xin-Yue, Master, Engineer, The Food Safety Inspection Center of Fuyang District in Hangzhou, Fuyang 311400, China. E-mail: 116332161@qq.com

1 引言

竹笋是一种含高蛋白、低脂肪、低淀粉、多纤维的食品, 它的肉质细嫩, 松脆爽口, 古往今来被视为菜中珍品。经常食用竹笋不仅能促进肠道蠕动, 帮助消化、去积食、防便秘, 而且对高血压、冠心病、动脉管硬化和糖尿病有一定的食疗作用^[1]。同时竹笋含有丰富的矿物元素和人体所需的 18 种氨基酸, 中医认为竹笋味甘、微寒、无毒, 具有清热化痰、益气和胃、治消渴、利水道、利膈爽胃等功效^[1]。竹笋是浙江省的传统名产, 竹笋的生长土层较厚, 其生长的土壤环境中除了含有各种生长所需的微量元素之外, 还含有一定量的重金属, 特别是随着竹笋集约化经营程度的提高, 土壤中施用的大量有机肥和化肥也可能引入铅、镉、铬、砷、汞等金属^[2-5]。产地土壤中铅、镉、铬、砷、汞等金属污染物的长期积累使土壤环境质量下降, 通过吸附、富集等途径影响竹笋产品的质量安全。随着人们生活水平的提高, 蔬菜的安全问题越来越受到重视, 蔬菜中铅、镉、铬、砷、汞的含量及其健康风险受到广泛关注。

本研究对浙江省 7 个冬笋主产县市进行取样, 对其中的 5 种重金属(铅、镉、铬、砷、汞)的污染状况进行调查, 采用单因子污染评价法和尼梅罗综合污染指数评价法对毛竹冬笋中的 5 种重金属进行污染风险评价, 为毛竹冬笋的食用安全提供依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

ICE 3500 AA 原子吸收光谱仪(配备石墨炉, 美国热电公司); AFS-9800 原子荧光分光光度计(北京科创海光公司); MARS40 微波消解仪(美国 CEM 公司); 硝酸(优级纯, 美国默克公司); 30% 双氧水(北京化学试剂厂); 铅(Pb, GSB 04-1742-2004)、镉(Cd, GSB 04-1721-2004)、铬(Cr, GSB 04-1723-2004)、砷(As, GSB 04-1714-2004)、汞(Hg, GSB 04-1729-2004)标准物质均(中国计量科学研究院); 其他玻璃器皿均经 30% 硝酸浸泡 24 h 以上。

2.2 样品处理

2015 年 12 月~2016 年 2 月, 在浙江余杭区、临安市、建德市、安吉县、德清市、遂昌县和龙游县等主要产笋地区采样, 每个地区各取 12 个点进行采样, 每个采样点采集样品 1 份, 共采集新鲜冬笋样品 84 份。

样品前处理: 洗净-去壳-取可食部分-打碎-冷冻保存。

2.3 实验方法

2.3.1 重金属测定方法

分别按照 GB 5009.12-2010《食品安全国家标准 食品中铅的测定》^[6]、GB 5009.15-2014《食品安全国家标准 食

品中镉的测定》^[7]、GB 5009.123-2014《食品安全国家标准 食品中铬的测定》^[8]、GB 5009.11-2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》^[9]、GB 5009.17-2014《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》中的方法对样品进行检测^[10]。

2.3.2 污染评价依据

依据 GB 2762-2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[11]中蔬菜类别中其他新鲜蔬菜的限量要求进行判定。

2.3.3 污染评价方法

采用单因子污染指数(P_i)法和尼梅罗综合污染指数($P_{\text{尼梅罗}}$)法^[12]评价冬笋样品中 5 种重金属的污染情况。

单因子污染指数计算公式: $P_i = C_i/S_i$ 。其中 C_i 为该元素的实测值, S_i 为该元素的标准限量值。 $P_i \leq 0.7$ 为未污染; $0.7 < P_i \leq 1.0$ 为警戒限; $1.0 < P_i \leq 2.0$ 为轻污染; $2.0 < P_i \leq 3.0$ 为中污染; $P_i > 3.0$ 为重污染。

尼梅罗综合污染指数计算公式: $P_{\text{尼梅罗}} = [(P_{\text{平均}}^2 + P_{\text{max}}^2)/2]^{1/2}$ 。其中 $P_{\text{平均}}$ 为冬笋中 5 种元素单因子污染指数 P_i 的平均值; P_{max} 为冬笋中 5 种元素单因素污染指数的最大值。 $P_{\text{尼梅罗}} \leq 0.7$ 为未污染, 表明样品安全; $0.7 < P_{\text{尼梅罗}} \leq 1.0$ 为警戒限, 表明样品尚清洁; $1.0 < P_{\text{尼梅罗}} \leq 2.0$ 为轻污染, 表明样品开始受到污染; $2.0 < P_{\text{尼梅罗}} \leq 3.0$ 为中污染, 表明样品受中度污染; $P_{\text{尼梅罗}} > 3.0$ 为重污染, 表明样品受污染已相当严重。

3 结果与讨论

3.1 冬笋中 5 种重金属的含量分析

表 1 是冬笋样品中 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的含量检测结果, 从表 1 可以看出, 样品中 5 种所测元素的含量总体平均值从大到小依次为 Pb(0.097 mg/kg)、Cr(0.052 mg/kg)、Cd(0.029 mg/kg)、As(0.004 mg/kg)、Hg(<0.001 mg/kg)。对照冬笋中各元素的限量标准要求: Pb、Cr、Cd、As、Hg 的限量要求分别为 0.1、0.5、0.05、0.5、0.01 mg/kg, 所测定样品中有 11 批次样品超标, 其中 6 批次样品 Pb 超标, 5 批次样品 Cd 超标。而从地区来看, 龙游县的 3 份样品超标, 安吉县和建德市各有 2 份样品超标, 德清市和遂昌县各有 1 份样品超标, 余杭和临安地区的样品未出现超标。因此, 各采样地区样品的超标率由高到低依次为: 龙游地区 > 安吉地区、建德地区 > 遂昌地区、德清地区 > 余杭地区、临安地区。

3.2 冬笋中 5 种重金属的单因子污染评价

采用单因子污染评价分析, 对所测定的 84 份冬笋样品的评价结果见表 2。由表 2 可知, 冬笋样品中污染比较严重的元素是 Pb 和 Cd, Pb 元素含量高于限量标准的样品有 6 份, 占总样本数的 7.1%, 含量达到中污染的样品有 2 份, 占总样本的 2.4%; 受到 Cd 污染的样品有 5 份, 占总样本

数的 6.0%, 含量达到中度污染水平的样品有 1 份, 占总样本的 1.2%。冬笋样品受到 Cr、As 和 Hg 污染的较少, 仅有 1 份样品中的 Cr 含量达到警戒限, 占总样本的 1.2%。单元素污染程度由大到小依次为: Pb > Cd > Cr > Hg > As。

表 1 冬笋中 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的含量分析($n=12$)
Table 1 Content analysis of Pb, Cd, Cr, As, Hg in winter bamboo shoots ($n=12$)

地区	元素	含量范围 (mg/kg)	超标样品数 (份)	超标率 (%)
余杭	Pb	0.011~0.051	0	0.0
	Cd	0.001~0.005	0	0.0
	Cr	0.042~0.122	0	0.0
	As	0.001~0.006	0	0.0
	Hg	< 0.001	0	0.0
临安	Pb	0.006~0.046	0	0.0
	Cd	0.001~0.004	0	0.0
	Cr	0.040~0.107	0	0.0
	As	0.001~0.009	0	0.0
	Hg	< 0.001	0	0.0
安吉	Pb	0.006~0.046	0	0.0
	Cd	0.021~0.144	2	16.7
	Cr	0.027~0.075	0	0.0
	As	0.002~0.011	0	0.0
	Hg	< 0.001	0	0.0

续表 1

地区	元素	含量范围 (mg/kg)	超标样品数 (份)	超标率 (%)
德清	Pb	0.004~0.149	1	8.3
	Cd	0.001~0.004	0	0.0
	Cr	0.033~0.183	0	0.0
	As	0.002~0.013	0	0.0
	Hg	< 0.001	0	0.0
建德	Pb	0.012~0.163	1	8.3
	Cd	0.010~0.055	1	8.3
	Cr	0.014~0.035	0	0.0
	As	0.001~0.002	0	0.0
	Hg	< 0.001	0	0.0
遂昌	Pb	0.023~0.128	1	8.3
	Cd	0.016~0.032	0	0.0
	Cr	0.022~0.067	0	0.0
	As	0.001~0.004	0	0.0
	Hg	< 0.001	0	0.0
龙游	Pb	0.061~0.186	3	25.0
	Cd	0.020~0.104	2	16.7
	Cr	0.028~0.101	0	0.0
	As	0.002~0.010	0	0.0
	Hg	< 0.001	0	0.0

表 2 冬笋中 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的单因子污染评价
Table 2 Single factor pollution evaluation of Pb, Cd, Cr, As, Hg in winter bamboo shoots

污染物	污染分级(份)					平均单因子 污染指数(\bar{P}_i)
	未污染 ($P_i \leq 0.7$)	警戒限 ($0.7 < P_i \leq 1.0$)	轻污染 ($1.0 < P_i \leq 2.0$)	中污染 ($2.0 < P_i \leq 3.0$)	重污染 ($P_i > 3.0$)	
Pb	67	11	4	2	0	0.96
Cr	83	1	0	0	0	0.10
Cd	69	10	4	1	0	0.59
As	84	0	0	0	0	0.01
Hg	84	0	0	0	0	0.03

表 3 冬笋中 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的综合污染评价
Table 3 Comprehensive pollution evaluation of Pb, Cd, Cr, As, Hg in winter bamboo shoots

采样区域	单因子污染指数(\bar{P}_i)					综合污染指数 \bar{P} _{尼梅罗}	污染水平
	Pb	Cd	Cr	As	Hg		
余杭($n=12$)	0.22	0.04	0.13	0.01	0.02	0.17	未污染, 安全
临安($n=12$)	0.17	0.23	0.13	0.01	0.01	0.25	未污染, 安全
安吉($n=12$)	0.28	1.44	0.10	0.01	0.00	0.94	警戒限, 尚清洁
德清($n=12$)	0.31	0.05	0.16	0.01	0.05	0.25	未污染, 安全
建德($n=12$)	0.53	0.59	0.05	0.01	0.01	0.56	未污染, 安全
遂昌($n=12$)	0.73	0.49	0.07	0.01	0.03	0.59	未污染, 安全
龙游($n=12$)	1.86	1.21	0.08	0.01	0.10	1.87	轻污染, 开始受到污染

3.3 冬笋中 5 种重金属的综合污染评价

对各采样区域样品中的 Pb、Cd、Cr、As、Hg 进行单项污染指数分析, 结果如表 3 所示。从表 3 可以看出, 龙游县的样品 Pb 单项污染指数达 1.86, 处于轻污染水平, 安吉和龙游地区样品的 Cd 单项污染指数分别达 1.44 和 1.21, 处于轻污染水平, 这可能是由于样品种植区域的工业较为发达, 农业生产过程中使用大量的化肥所致。从综合污染指数来看, 各采样地区样品的综合污染指数由大到小依次为: 龙游 > 安吉 > 遂昌 > 建德 > 临安、德清 > 余杭, 其中龙游地区冬笋的综合污染指数达 1.87, 处于轻度污染水平, 安吉地区冬笋的综合污染指数为 0.94, 处于尚清洁水平, 其他区域均处于未污染水平。

采用尼梅罗综合污染指数评价方法对所测定的 84 份冬笋中的 Pb、Cd、Cr、As 和 Hg 进行了污染综合评价, 评价结果显示, 其中的 67 份样品处于未污染状态, 占总样本的 79.8%; 8 份样品处于警戒范围内, 占总样本的 9.5%; 8 份样品处于轻污染状态, 占总样本的 9.5%; 1 份样品受到中度污染, 占总样本的 0.2%。

4 结论与讨论

本研究测定了浙江省 7 个冬笋主产区冬笋样品中 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的污染状况, 首次采用尼梅罗综合污染指数来评价冬笋中 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的污染水平。结果表明, 冬笋中的综合污染指数贡献来自于 Pb 和 Cd 的污染。柴振林^[13]和丁明等^[14]关于浙江省食用竹笋产地土壤中主要污染物的研究结果表明, 竹笋产地的 Pb 和 Cd 超标较严重, 二者是土壤综合污染指数的主要贡献者。因此冬笋中 Pb 污染水平较高的可能是由于土壤中较高含量铅的存在^[15], 导致冬笋在其生长过程中不断在体内富集所致, 还可能由车辆尾气及扬尘带来。冬笋中 Cd 污染水平较高的可能原因是竹笋产地的复种指数高、农业投入品使用量大以

及大型农场有机肥的施用^[15]。铬、砷、汞在冬笋中的风险最低, 一方面与本地土壤中砷、汞的低含量有关, 另一方面也说明在此次研究的 3 个区域内, 外源输入性的铬、砷、汞污染极小。

虽然本研究采用的评价模型都是比较成熟的模型, 但其已在很多研究中得到了应用, 所获得的结果具有一定的可信度和说服力。如果能加大各区域的采样点密度, 增加样本量, 分析结果会更加可靠, 更能体现浙江省冬笋中 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的真实污染水平。浙江省为竹笋生产大省, 省内竹笋加工企业较多, 本研究可为竹笋加工企业在生产过程中做好原材料的选取和加工工艺的改进等质量控制提供一定的参考依据。

参考文献

[1] Singhal P, Bal LM, Satya S, *et al.* Bamboo shoots: a novel source of nutrition and medicine [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2013, 53(5): 517–534.

[2] 刘树堂, 赵永厚, 孙玉林, 等. 25 年长期定位施肥对非石灰性潮土重金属状况的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 164–167.

Liu ST, Zhao YH, Sun YL, *et al.* Effects of 25 years long-term located fertilization on status of heavy metals in non-calcareous fluoro-aquic soil [J]. J Soil Water Conserv, 2005, 19(1): 164–167.

[3] 邢维芹, 冉永亮, 梁爽. 施肥对土壤重金属的影响研究进展[J]. 河南农业科学, 2010, 19(1): 123–133.

Xing WQ, Ran YL, Liang S, *et al.* Research progress about the effect to heavy metals residue in soil after fertilization [J]. J Henan Agric Sci, 2010, 19(1): 123–133.

[4] 姜培坤, 叶正钱, 徐秋芳. 高效栽培雷竹林土壤重金属含量的分析研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 61–65.

Jiang PK, Ye ZQ, Xu QF, *et al.* Changes in heavy metal elements of soil in ecosystem of phyllostachys praecox under intensive management [J]. J Soil Water Conserv, 2003, 17(4): 61–65.

[5] 姜培坤, 徐秋芳, 罗煦钦, 等. 雷竹笋重金属含量及其与施肥的关系[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 424–427.

Jiang PK, Xu QF, Luo XQ, *et al.* Changes in heavy metal amount of bamboo shoots of phyllostachys praecox responsive to nitrogen rate [J]. J

- Zhejiang Forestry Coll, 2004, 21(4): 424–427.
- [6] 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].
- [7] 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].
- [8] GB 5009.123-2014 食品安全国家标准 食品中铬的测定[S].
GB 5009.123-2014 National food safety standard-Determination of chromium in foods [S].
- [9] 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 arsenic and inorganic arsenic 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 5009.17-2010 National food safety standard-Determination of total mercury and organic mercury in foods [S].
- [11] 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-Maximum levels of contaminants in foods [S].
- [12] 王海萍, 秦鹏, 陈建文. 日照市部分蔬菜中铅、镉、铬、汞、砷含量及健康风险评价[J]. 中国卫生检验杂志, 2016, 26(5): 748–752.
Wang HP, Qin P, Chen JW. Content of Pb, Cd, Cr, Hg, As and health risk assessment in some vegetables in Rizhao [J]. Chin J Health Lab Technol, 2016, 26(5): 748–752.
- [13] 柴振林, 吕爱华, 尚素微, 等. 浙江省食用笋产地土壤主要污染物含量及质量安全评价[J]. 林业科技开发, 2010, 24(6): 82–85.
Chai ZL, Lv AH, Shang SW, *et al.* The contaminant levels of soils and its evaluation of quality and safety in bamboo shoots production areas in Zhejiang [J]. J Forestry Eng, 2010, 24(6): 82–85.
- [14] 丁明, 倪张林, 莫润宏, 等. 浙西南竹笋主产区土壤重金属环境质量分析与评价[J]. 中国农学通报, 2015, 31(33): 236–242.
Ding M, Ni ZL, Mo RH, *et al.* Analysis and evaluation of heavy metal environmental quality in bamboo shoot producing areas in south-west Zhejiang province [J]. Chin Agric Sci Bull, 2015, 31(33): 236–242.
- [15] 陈林华, 倪吾钟, 李雪莲, 等. 常用肥料重金属含量的调查分析[J]. 浙江理工大学学报, 2009, 26(2): 223–227.
Chen LH, Ni WZ, Li XL, *et al.* Investigation of heavy metal concentrations in commercial fertilizers commonly-used [J]. J Zhejiang Sci-Tech Univ, 2009, 26(2): 223–227.

(责任编辑: 刘 丹)

作者简介



袁新跃, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量安全和食品检测技术。
E-mail: 116332161@qq.com