

浙江省毛笋干有害物质污染及健康风险评估

张友青^{1,2}, 李凯利¹, 刘兴泉¹, 王昭君², 吴俊³, 陆品⁴

(1. 浙江农林大学 浙江省农产品品质改良技术研究重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省临安市质量计量监测中心, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省临安市疾病预防控制中心, 浙江 临安 311300; 4. 浙江省金华市质量技术监督检测院, 浙江 金华 321000)

摘要: 对目前浙江省竹笋干中砷、铅、二氧化硫和农药残留污染现状及其食用风险进行研究, 为国家或地方重新制定竹笋干有害污染物标准提供数据和依据。2013-2014年, 采集浙江省市场上毛竹 *Phyllostachys edulis* 笋干(毛笋干)165份, 分析其有害污染物质量分数。结果表明: 毛笋干样品中均未检测到农药残留, 砷、铅和二氧化硫平均质量分数分别达 0.09, 0.42 和 10.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; 从综合污染指数看, 所有毛笋干均为安全等级; 165份毛笋干中有害物质污染程度排序为铅>二氧化硫>砷; 从目标危害系数(target hazard quotient, THQ)看, 重金属砷和铅的最大值对人体具有潜在健康风险的可能, 从总目标危险系数(Q_{TTHQ})最大值看, 毛笋干对人体有产生一定负面影响的可能; 通过人体膳食摄入风险分析, 浙江省毛笋干总体较安全, 只有部分地区居民铅暴露量超出限量。表7参22

关键词: 笋干; 毛竹; 重金属; 二氧化硫; 风险评估

中图分类号: S644.2; S7-05 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2017)01-0178-07

Contamination and health risk assessment of dried bamboo shoots in Zhejiang Province

ZHANG Youqing^{1,2}, LI Kaili¹, LIU Xingquan¹, WANG Zhaojun², WU Jun³, LU Pin⁴

(1. Key Laboratory for Quality Improvement of Agricultural Products of Zhejiang Province, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Lin'an Quality and Measurement Monitoring Center, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Lin'an Center for Disease Control and Prevention, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 4. Jinhua Quality and Technical Supervision and Inspection Institute, Jinhua 321000, Zhejiang, China)

Abstract: This study was conducted to determine the current level of heavy metal (arsenic, lead), sulfur dioxide and pesticide residue pollution risks with dried edible bamboo shoots in Zhejiang Province and to provide hygienic standards. Dried bamboo shoots were collected at markets in Zhejiang Province from 2013-2014. Analysis included a comprehensive pollution index for harmful pollutants, a target hazard quotient (THQ), and a human dietary intake risk analysis. Results showed no pesticide residues with an average content (in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of arsenic (0.09), lead (0.42), and sulfur dioxide (10.58). From the comprehensive pollution index, dried bamboo shoots (*Phyllostachys edulis*) were within safe levels. The degree of contamination for harmful substances of 165 dried bamboo shoots was $\text{Pb} > \text{SO}_2 > \text{As}$. The THQ revealed the possibility of human health risks with maximum levels of As and Pb. From TTHQ, dried bamboo shoots may have a negative impact to the human body. The human dietary intake risk analysis showed that overall, dried bamboo shoots were safe in Zhejiang except resident exposure of Pb beyond recommended limits only in a few areas. [Ch, 7 tab. 22 ref.]

Key words: dried bamboo shoots; *Phyllostachys edulis*; heavy metals; sulfur dioxide; risk assessment

收稿日期: 2016-03-08; 修回日期: 2016-04-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD04B03); 浙江省重中之重林学一级学科开放基金资助项目(KF201306); 浙江省质监系统科研计划项目(20120239)

作者简介: 张友青, 从事食品加工与安全研究。E-mail: zyq1185@116.com。通信作者: 刘兴泉, 教授, 博士, 从事农产品质量与安全等研究。E-mail: liuxq@zafu.edu.cn

新鲜竹笋在采收后常温下放置容易老化，并且营养价值容易降低，所以常常将其加工成笋干制品。毛笋 *Phyllostachys edulis* 的笋干肉厚质脆，清香味美，尤其是纤维细嫩且含量丰富，是人们十分喜爱的食品^[1]。二氧化硫超标是现在笋制品质量安全的主要问题之一，时有报道笋制品中的二氧化硫严重超标问题^[2]。二氧化硫作为漂白剂是由于其具有还原性，能与食品中含有的有色物质结合形成不稳定的无色化合物；防腐保鲜，则是由于其可抑制食品中微生物的生长起到防腐保鲜的作用^[3]；抗氧化则主要是因其抑制酶促褐变与非酶褐变防止食品被氧化褐变^[4-5]。基于二氧化硫的上述作用，在食品保藏和加工中被广泛运用^[6-8]。此外，由于工业“三废”（废水、废气、固体废弃物）及汽车尾气排放、化肥和杀虫剂的使用^[9]，导致重金属进入土壤，经过植物根系吸收并最终在体内富集。长期摄入会影响生长发育并引发多种疾病，严重危害人体健康^[10]。由于竹笋干的质量问题，目前中国竹笋干仅 1% 的产品销往国外^[11]。浙江省既是中国竹笋干的生产大区，也是消费大区。本研究根据浙江省居民食用竹笋干情况，对检测结果进行风险评估，能够对食用竹笋制品的居民健康提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料采集及问卷调查

2014 年 5 月初，对浙江省杭州、宁波、丽水等重点生产毛笋干的地区采样。

2014 年 1 月和 7 月，以面对面问卷询问调查的方法，在竹笋加工产品消费集中的地区进行随机调查，收到有效样本量 3 657 份，其中食用毛笋干的有效样本量有 1 494 份。

1.2 试验方法

二氧化硫检测中，先将笋制品取出一定量用匀浆机磨碎。称取 5 g 均匀样品采用蒸馏法蒸馏，之后用碘标准滴定溶液(0.01 mol·L⁻¹)滴定至变蓝色且在 30 s 内不褪色为止。

本研究检测了砷和铅 2 种重金属，样品采用硝酸-高氯酸(HNO₃-HClO₄)加热消解，金属元素采用氢化物发生-原子荧光光谱法(Agilent 7500a 电感耦合等离子体质谱仪)测定，检测条件参考文献[12]。

依据 NY/T 1048-2012《绿色食品笋及笋制品》的要求检测了敌敌畏、甲胺磷、乙酰甲胺磷、氧化乐果、乐果、毒死蜱、甲基对硫磷、马拉硫磷、杀螟硫磷、水胺硫磷、杀扑磷等 11 种有机磷农药；依据 NY/T 761-2008《蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定》的规定检测了联苯菊酯、氯氰菊酯、溴氰菊酯、氰戊菊酯、甲氰菊酯、氯氟氰菊酯、氟氯氰菊酯等 7 种拟除虫菊酯类农药。

1.3 评价标准

本研究采用 GB 2762-2012《食品安全国家标准食品中污染物限量》和 NY/T 1048-2012《绿色食品笋及笋制品》中对砷、铅和二氧化硫规定的限值 0.5, 1.0 和 200.0 mg·kg⁻¹ 作为评价标准。

1.4 笋制品二氧化硫及重金属污染评价方法

笋制品污染等级评价依据 NY/T 398-2000《农、畜、水产品污染监测技术规范》规定进行，采用单因子法。目前，该方法已在蔬菜污染评价方面得到应用^[13-14]。

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式(1)中： P_i 为竹笋干中有害物质的单项污染指数， C_i 为竹笋干中有害物质的实际测量值， S_i 为竹笋干中有害物质的评价标准。当 $P_i \leq 1$ 时，表示笋制品未受污染； $P_i > 1$ 时，表示笋制品收到污染，其值越大表示受污染程度越重^[15]。综合污染指数计算方法如下：

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

式(2)中： $P_{\text{综合}}$ 为综合污染指数， P_{max} 为单项污染指数最大值， P_{ave} 为各单项污染指数 P_i 的平均值。通常设定综合污染指数 $P_{\text{综合}} \leq 0.7$ 为安全等级， $P_{\text{综合}} = 1.0$ 为警戒限， $P_{\text{综合}} \leq 2.0$ 为轻污染， $P_{\text{综合}} \leq 3.0$ 为中污染， $P_{\text{综合}} > 3.0$ 为重污染。

1.5 健康风险评价方法

竹笋加工产品中二氧化硫及重金属的暴露量评估计算公式^[2]：

$$D_{\text{EED}} = [(C \times R_{\text{FIR}} \times P_i \times E_i) \times S_{\text{ABS}} \times f_{\text{EF}} \times t_{\text{ED}}] / (W_{\text{BW}} \times t_{\text{AT}}) \quad (3)$$

式(3)中： D_{EED} 为竹笋加工产品中有害物质(即二氧化硫和重金属)的暴露量($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)， C 为竹笋加工产

品中有害物质的暴露质量分数($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), R_{FIR} 为竹笋加工产品的日摄入量($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$), P_i 为竹笋加工产品的加工处理因子, E_i 为竹笋加工产品的可食用部分因子, S_{ABS} 为肠胃对竹笋加工产品的吸收系数, f_{EF} 为食用竹笋加工产品的暴露频率($\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$), t_{ED} 为食用竹笋加工产品的暴露持续时间(a), W_{BW} 为样本人群的体重(kg), t_{AT} 为拉平时间($t_{\text{ED}}\times 365 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$)。

1.6 目标危害系数

目标危害系数 Q_{THQ} 是美国环境保护署推荐采用的健康风险评价模型, 计算方法^[16]:

$$Q_{\text{THQ}}=D_{\text{EED}}/D_{\text{RFD}} \quad (4)$$

式(4)中: Q_{THQ} 为目标危险系数, D_{EED} 为竹笋加工产品中有害物质的暴露量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), D_{RFD} 为口服参考剂量($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$)。

污染物对人体健康的影响往往是多种元素共同作用的, 用总目标危险系数 Q_{THQ} 表示为^[17]:

$$Q_{\text{THQ}}=Q_{\text{THQ}1}+Q_{\text{THQ}2}+\dots+Q_{\text{THQ}n} \quad (5)$$

若 $Q_{\text{THQ}}\leq 1.0$, 则表示没有明显的负面影响; 若 $Q_{\text{THQ}}> 1.0$, 则表示对人体健康产生负面影响的可能性很大; 若 $Q_{\text{THQ}}> 10.0$, 则表明存在慢性毒性效应^[18]。

目前, 联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)对部分重金属提出了人均日摄入可允许限量标准(provisional tolerable daily intake, PTDI), FAO 和 WHO 食品添加剂联合专家委员会(JECFA)还对部分重金属提出了人体最大允许摄入量限值^[19]。

2 结果与分析

2.1 毛笋干中有害物质

检测结果表明: 165 份毛笋干中均未检测到农药残留, 且不同地区之间重金属和二氧化硫之间存在差异。只有杭州地区毛笋干中砷和铅超标, 超标率分别为 13.16%和 7.89%, 且最大值分别为限量标准的 2.76 和 15.07 倍。具体情况见表 1。

表 1 不同地区毛笋干中砷、铅和二氧化硫质量分数

Table 1 Concentrations of heavy metals and SO₂ in bamboo products in different areas

地区	样本数/个	砷/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		铅/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		二氧化硫/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	
		范围值	均值±标准差	范围值	均值±标准差	范围值	均值±标准差
杭州市	38	0.00~1.38	0.20 ± 0.32	0.00~15.07	0.73 ± 2.43	0.95~29.00	10.77 ± 6.89
宁波市	16	0.01~0.15	0.07 ± 0.04	0.03~0.91	0.39 ± 0.31	7.60~18.00	12.84 ± 3.54
湖州市	23	0.02~0.15	0.06 ± 0.03	0.02~0.99	0.35 ± 0.28	1.00~28.00	6.83 ± 6.32
金华市	11	0.01~0.28	0.06 ± 0.07	0.00~0.99	0.28 ± 0.36	2.00~21.00	11.13 ± 5.55
绍兴市	22	0.02~0.13	0.07 ± 0.04	0.05~1.00	0.35 ± 0.25	0.96~21.00	9.53 ± 5.14
台州市	10	0.02~0.05	0.04 ± 0.01	0.00~0.98	0.18 ± 0.30	4.80~22.00	11.05 ± 5.65
温州市	8	0.02~0.12	0.07 ± 0.04	0.02~0.95	0.52 ± 0.34	3.20~23.00	13.56 ± 8.24
衢州市	18	0.00~0.08	0.04 ± 0.02	0.00~0.93	0.25 ± 0.24	0.86~23.00	8.77 ± 6.84
丽水市	19	0.01~0.25	0.06 ± 0.06	0.03~0.62	0.33 ± 0.17	1.50~24.00	13.92 ± 7.00
总体	165	0.00~1.38	0.09 ± 0.17	0.00~15.07	0.42 ± 1.19	0.86~29.00	10.58 ± 6.49

2.2 毛笋干中有害物质污染评价

结合式(1)和式(2), 计算得到不同地区毛笋干中各有害物质的单项污染指数均值。从表 2 的结果可以看出: 杭州、宁波、湖州、金华、绍兴、台州、温州、衢州和丽水等地的毛笋干都没有受到重金属和二氧化硫的污染, 且综合指数表明均为安全等级产品。

2.3 居民健康风险评估

根据调查问卷的统计结果, 得到不同地区人群毛笋干的日摄入量。从摄入量平均值看温州地区最多, 达 $81.87 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$, 其次多到少依次为丽水、绍兴、嘉兴、金华、湖州、舟山、宁波、杭州、台州、衢州和省外地区。具体结果见表 3。

由表 1 得到: 毛笋干中砷、铅和二氧化硫质量分数平均值/最大值分别为 0.09/1.38, 0.42/

表 2 竹笋加工产品中重金属和二氧化硫污染评价结果

Table 2 Single factor index and integrated pollution index of heavy metals and SO₂ of contaminated bamboo products

地区	单项平均污染指数			综合指数
	砷	铅	二氧化硫	
杭州市	0.40	0.73	0.05	0.59
宁波市	0.13	0.39	0.06	0.31
湖州市	0.12	0.35	0.03	0.27
金华市	0.12	0.28	0.06	0.23
绍兴市	0.14	0.35	0.05	0.28
台州市	0.07	0.18	0.06	0.15
温州市	0.14	0.52	0.07	0.41
衢州市	0.07	0.25	0.04	0.20
丽水市	0.11	0.33	0.07	0.26
总体	0.18	0.42	0.21	0.35

表 3 不同地区样本人群毛笋干日摄入量

Table 3 Sample population intake

地区	样本数/个	日摄入量/(g·d ⁻¹)				
		范围	均值±标准差	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₀
杭州市	172	0.07~757.58	15.05 ± 82.50	0.83	7.14	10.71
宁波市	56	0.83~75.76	23.08 ± 29.24	7.14	25.00	75.76
金华市	208	0.07~454.55	30.96 ± 81.21	2.50	21.43	75.76
丽水市	300	0.14~454.55	37.68 ± 97.03	2.5	5.00	100.00
湖州市	66	0.07~150.00	26.69 ± 44.00	0.83	50.00	50.00
嘉兴市	12	0.07~150.00	36.67 ± 56.52	0.83	50.00	150.00
衢州市	85	0.07~75.76	8.06 ± 18.07	0.28	7.14	21.43
绍兴市	107	0.07~700.00	37.32 ± 102.72	7.14	8.33	100.00
台州市	219	0.07~233.33	14.54 ± 41.13	0.83	5.00	42.86
温州市	133	0.07~757.58	81.87 ± 192.45	7.14	50.00	250.00
舟山市	131	0.07~227.27	24.07 ± 39.62	3.57	50.00	75.76
省外地区	5	0.14~7.14	3.13 ± 3.67	0.83	7.14	7.14
总体	1 494	0.07~757.58	30.62 ± 92.17	2.50	10.71	75.76

说明：P₅₀，P₇₅，P₉₀分别表示第 50 百分位数，第 75 百分位数，第 90 百分位数的摄入量。

15.07，10.58/29.00 μg·g⁻¹。中国男性人均期望寿命为 69.6 岁，女性为 73.3 岁，以两者的平均值 71.4 岁作为期望寿命^[20]；将期望寿命作为暴露年限^[21]，取 t_{ED}=71.4 a，则 t_{AT}=71.4×365 d·a⁻¹；口服参考剂量 D_{RFD}对砷、铅^[22]和二氧化硫分别取 0.3，4.0 和 700.0 μg·kg⁻¹·d⁻¹(表 4)。

由表 3 和式(3)以及结合模型(表 4)得出样本人群食用竹笋加工产品的暴露量(表 5 和表 6)。

联合食品添加剂专家委员会(JECFA)和 FAO/WHO 分别提出砷最大允许摄入量和铅人均日摄入可允许限量(PTDI)分别为 2.00 μg·kg⁻¹·d⁻¹和 200.00 μg·d⁻¹，以 60.0 kg 成人体质量计算，得出铅最大允许摄入量为 3.33 μg·kg⁻¹·d⁻¹。FAO，WHO 和 JECFA 对二氧化硫类物质作为食品添加剂的危险性评估为：二氧化硫的日容许摄入量(ADI)为 0~0.70 mg·kg⁻¹·d⁻¹，人体少量摄取亚硫酸盐时，会在体内迅速氧化成硫酸盐，排出体外，1 d 摄取 1.00 g 也未发现任何障碍，若摄取 4.00~6.00 g，对肠胃有损坏，能造成激烈腹泻、头痛。二氧化硫取 700.00 μg·kg⁻¹·d⁻¹。结合表 5 和表 6 从平均值看，样本人群食用毛笋干砷、铅和二氧化硫的暴露量远远低于限量标准。从最大值看，只有杭州、嘉兴和舟山地区铅超出最大允许摄入量，分别为标准的 1.2，3.5 和 1.6 倍，且在 P₇₅ 和 P₉₀ 之间暴露量跨越非常明显，表明大致有 1/3 的人群食用毛笋干存在铅食用过多的危险。

根据上述参数及式(4)和式(5)可以计算得到长期食用这些毛笋干可能带来的身体受损风险(表 7)，其中从有害物质实际检测的平均值来看砷、铅和二氧化硫可造成的目标危害系数 Q_{THQ} 总体为 0.17，0.06

表4 样本人群风险评估模型参数

Table 4 The model parameters of sample population risk assessment

参数	单位	定义	计算结果
C (竹笋干)	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	笋制品中重金属砷(As), 重金属铅(Pb)和二氧化硫(SO_2)暴露质量分数。	C_{As} 上限值=1.38, C_{As} 平均值=0.09。 C_{Pb} 上限值=15.07, C_{Pb} 平均值=0.42。 C_{SO_2} 上限值=29.00, C_{SO_2} 平均值=10.58。
P_i		具体食物在从原料加工成食品过程中的转化系数。	笋制品从保鲜竹笋、方便竹笋和竹笋干加工成可以食用的笋时基本无损耗, 故 $P_i=1$ 。
E_i		食品在食用时能完全被人食用部分的系数。	$E_i=1$ 。
S_{ABS}		重金属砷(As)和重金属铅(Pb)随着食品的食用最后能被人体肠胃吸收的系数。	$S_{\text{ABS}}=1$ 。
t_{ED}	a	暴露年限。	$t_{\text{ED}}=71.4$ 。
f_{EF}	$\text{d}\cdot\text{a}^{-1}$	暴露频率。	$f_{\text{EF}}=365$ 。
t_{AT}	d	拉平时间。	$t_{\text{AT}}=71.4\times 365$ 。
D_{RND}	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$	口服参考剂量。	$D_{\text{RNDAs}}=3\times 10^{-4}$, $D_{\text{RNDPb}}=3\times 10^{-4}$ 。

表5 不同地区样本人群的暴露量

Table 5 Exposure of the sample population in different regions

地区	样本数/个	砷/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$		铅/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$		二氧化硫/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$	
		平均	最大	平均	最大	平均	最大
杭州市	172	0.05	0.36	0.19	3.97	2.84	7.65
宁波市	56	0.04	0.08	0.20	0.46	6.53	9.15
金华市	208	0.03	0.15	0.15	0.53	5.92	11.16
丽水市	300	0.03	0.13	0.17	0.32	7.08	12.20
湖州市	66	0.03	0.08	0.19	0.55	3.77	15.44
嘉兴市	12	0.07	1.07	0.33	11.72	8.23	22.56
衢州市	85	0.01	0.01	0.04	0.14	1.31	3.44
绍兴市	107	0.04	0.08	0.22	0.64	6.06	13.35
台州市	219	0.01	0.01	0.05	0.27	3.05	6.07
温州市	133	0.09	0.16	0.70	1.28	18.21	30.88
舟山市	131	0.03	0.49	0.15	5.36	3.76	10.32
省外地区	5	0.01	0.09	0.03	0.95	0.67	1.84
总体	1 494	0.05	0.75	0.23	8.22	5.77	15.81

表6 不同位点样本人群的暴露量

Table 6 Exposure of the sample population at different point

重金属和 二氧化硫	暴露量/ $(\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1})$							
	P_{30} 平均	P_{50} 最大	P_{75} 平均	P_{75} 最大	P_{90} 平均	P_{90} 最大	P_{95} 平均	P_{95} 最大
砷	0.00	0.05	0.02	0.25	0.12	1.88	0.21	3.18
铅	0.02	0.58	0.08	2.69	0.57	20.55	0.97	34.78
二氧化硫	0.41	1.11	1.89	5.18	14.43	39.55	24.42	66.92

和 0.01, 总目标危害系数 Q_{THQ} 为 0.24, 均不对人体产生任何负面影响。从最大值看, Q_{THQ} 总体为 2.50, 2.06 和 0.02, 表明毛笋干中的砷和铅可能对人体健康产生影响(即 $P_i > 1$), 其中杭州产毛笋干中的砷为 1.20, 嘉兴砷和铅分别为 3.57 和 2.93, 舟山砷和铅分别为 1.63 和 1.34。从 Q_{THQ} 最大值来看总体(4.58), 杭州(2.20), 嘉兴(6.53)和舟山(2.98)均可能对人体健康产生负面影响。

3 结论

在浙江省采样的 165 份毛笋干中未检测到有农药的残留, 且这些毛笋干中只有杭州地区砷和铅超标, 超标率分别为 13.16% 和 7.89%, 且最大值分别为限量标准的 2.76 倍和 15.07 倍, 其余均在限量范围之内。

表 7 竹笋干中有害物质造成的危害目标系数

Table 7 Dried bamboo shoots target hazards caused by harmful substances coefficient

地区	样本数/个	Q_{THQ} 平均			Q_{THQ} 最大			Q_{THQ}	
		砷	铅	二氧化碳	砷	铅	二氧化碳	平均	最大
杭州市	172	0.17	0.05	0.00	1.20	0.99	0.01	0.22	2.20
宁波市	56	0.13	0.05	0.01	0.27	0.12	0.01	0.19	0.40
金华市	208	0.10	0.04	0.01	0.50	0.13	0.02	0.15	0.65
丽水市	300	0.10	0.04	0.01	0.43	0.08	0.02	0.15	0.53
湖州市	66	0.10	0.05	0.01	0.27	0.14	0.02	0.16	0.43
嘉兴市	12	0.23	0.08	0.01	3.57	2.93	0.03	0.32	6.53
衢州市	85	0.03	0.01	0.00	0.03	0.04	0.00	0.04	0.07
绍兴市	107	0.13	0.06	0.01	0.27	0.16	0.02	0.20	0.45
台州市	219	0.03	0.01	0.00	0.03	0.07	0.01	0.04	0.11
温州市	133	0.30	0.18	0.03	0.53	0.32	0.04	0.51	0.89
舟山市	131	0.10	0.04	0.01	1.63	1.34	0.01	0.15	2.98
省外地区	5	0.03	0.01	0.00	0.30	0.24	0.00	0.04	0.54
总体	1 494	0.17	0.06	0.01	2.50	2.06	0.02	0.24	4.58

从单项污染指数来看, 砷的范围为 0.07~0.40, 铅的范围为 0.18~0.73, 二氧化硫的范围为 0.03~0.07, 综合污染指数为 0.15~0.59, 均未受到污染。

成人食用毛笋干进入人体的有害物质砷和二氧化硫的暴露量远远低于 2.00 和 700.00 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 的限量标准, 处于安全范围。铅的最大值表明有部分人群存在铅摄入过量的可能。

毛笋干中有害污染物砷和铅相应的目标危害系数 Q_{THQ} 的平均值和最大值对人体具有潜在健康风险 ($Q_{THQ}>1$) 的可能。从总目标危害系数 Q_{THQ} 看, 毛笋干对人体可能会产生一定负面影响 (即 $Q_{THQ}>1$)。

4 参考文献

- [1] 李安平, 谢碧霞, 郑仕宏, 等. 毛竹笋干微波干燥工艺的研究[J]. 经济林研究, 2002, **22**(2): 14 - 16.
LI Anping, XIE Bixia, ZHENG Shihong, et al. Study on drying technique of bamboo shoot [J]. *Nonwood For Res*, 2002, **22**(2): 14 - 16.
- [2] 方志飞. 笋制品中二氧化硫的风险评估[D]. 海口: 海南大学, 2010.
FANG Zhifei. *Study on Risk Assessment of Sulfur Dioxide in Bamboo Shoots* [D]. Haikou: Hainan University, 2010.
- [3] 周德庆, 张双灵, 辛胜昌. 亚硫酸盐在食品加工中的作用及其应用[J]. 食品科学, 2004, **25**(12): 198 - 201.
ZHOU Deqing, ZHANG Shuangling, XIN Shengchang. Review on the function and application of sulphite in food processing [J]. *Food Sci*, 2004, **25**(12): 198 - 201.
- [4] 宁正祥. 食品生物化学[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2013.
- [5] 黄邦彦, 杨谦. 果蔬采后生理与贮藏保鲜[M]. 北京: 农业出版社, 1990.
- [6] 龚平. 竹笋干无硫护色技术的研究[J]. 农产品加工·学刊, 2010(1): 46 - 48.
GONG Ping. Study on the anti-browning technology for dried bamboo shoot slices without sulfur dioxide [J]. *Acad Period Farm Prod Proc*, 2010(1): 46 - 48.
- [7] 刘兆敏, 马林, 何洁仪, 等. 广州市河粉中二氧化硫残留量的调查[J]. 中国热带医学, 2004, **4**(6): 1052 - 1053.
LIU Zhaomin, MA Lin, HE Jieyi, et al. Survey of the residue of sulfate dioxide in the wetted rice powder in Guangzhou [J]. *China Trop Med*, 2004, **4**(6): 1052 - 1053.
- [8] 张娟. 果脯蜜饯中二氧化硫残留的检验与分析[J]. 口岸卫生控制, 2002, **7**(6): 20 - 21.
ZHANG Juan. Inspection and analysis of sulfur dioxide residues in preserved fruits [J]. *Port Health Control*, 2002, **7**(6): 20 - 21.
- [9] 孔晓乐, 吴重阳, 曹靖, 等. 干旱地区设施土壤和蔬菜重金属含量及人体健康风险: 以白银市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2014, **28**(1): 92 - 96.

- KONG Xiaole, WU Chongyang, CAO Jing, *et al.* A survey of heavy metal concentrations in soils and vegetables in Baiyin greenhouse production and their health risk [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2014, **28**(1): 92 – 96.
- [10] 沈玫, 王琪, 赵宇瑛, 等. 外源草酸对冷藏绿竹笋的保鲜效果及其生理基础[J]. 园艺学报, 2013, **40**(2): 355 – 362.
- SHEN Mei, WANG Qi, ZHAO Yuying, *et al.* Physiological roles of exogenous oxalic acid in preservation of bamboo shoots during cold storage [J]. *Acta Horti Sin*, 2013, **40**(2): 355 – 362.
- [11] 薛山, 赵国华. 竹笋无硫加工与贮藏技术研究进展[J]. 食品工业, 2012(1): 127 – 130.
- XUE Shan, ZHAO Guohua. Research progress on the none-sulfuric processing and storage of bamboo shoots [J]. *Food Ind*, 2012(1): 127 – 130.
- [12] 李博斌, 孙颀, 吴坚, 等. 小舜江水酿制绍兴酒的可行性研究[J]. 酿酒科技, 2008(5): 71 – 73.
- LI Bobin, SUN Qi, WU Jian, *et al.* Feasibility of brewing Shaoxing rice wine by Xiaoshun River water [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2008(5): 71 – 73.
- [13] 崔旭, 葛元英, 张小红. 晋中市部分蔬菜中重金属含量及其健康风险[J]. 中国农学通报, 2009, **25**(21): 335 – 338.
- CUI Xu, GE Yuanying, ZHANG Xiaohong. Contents of heavy metals in some vegetables and their potential risks to human health in Jinzhong City [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, **25**(21): 335 – 338.
- [14] 陈其元. 白牦牛放牧地土壤—牧草—肉奶产品重金属污染研究及风险性评估[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- CHEN Qiyuan. *Heavy Metals Pollution Research and Risk Assessment on Grazing Soil-Forage-Meat and Milk Products of White Yak* [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005.
- [15] 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 Ruzhong, PAN Chengrong, XU Jingjing, *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.
- [16] STORELLI M M. Potential human health risks from metals (Hg, Cd, and Pb) and polychlorinated biphenyls (PCBs) via seafood consumption: estimation of target hazard quotients (THQs) and toxic equivalents (TEQs) [J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, **46**(8): 2782 – 2788.
- [17] 郑娜, 王起超, 郑冬梅. 基于THQ的锌冶炼厂周围人群食用蔬菜的健康风险分析[J]. 环境科学学报, 2007, **27**(4): 672 – 678.
- ZHENG Na, WANG Qichao, ZHENG Dongmei. Health risk assessment of heavy metals to residents by consuming vegetable irrigated around zinc smelting plant based THQ [J]. *Acta Sci Circumst*, 2007, **27**(4): 672 – 678.
- [18] PAUSTENBACH D J. *Human and Ecological Risk Assessment: Theory and Practice* [M]. New York: John Wiley and Sons, 2002: 85 – 150.
- [19] OSTAPCZUK P, VALENTA P, RÜTZEL H, *et al.* Application of differential pulse anodic stripping voltammetry to the determination of heavy metals in environmental samples [J]. *Sci Total Environ*, 1987, **60**(2): 1 – 16.
- [20] 李如忠, 周爱佳, 童芳, 等. 合肥市城区地表灰尘重金属分布特征及环境健康风险评估[J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2661 – 2668.
- LI Ruzhong, ZHOU Aijia, TONG Fang, *et al.* Distribution of metals in urban dusts of Hefei and health risk assessment [J]. *Environ Sci*, 2011, **32**(9): 2661 – 2668.
- [21] ZHENG Na, WANG Qichao, ZHENG Dongmei. Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao Zinc Plant in China via consumption of vegetables [J]. *Sci Total Environ*, 2007, **383**(1/3): 81 – 89.
- [22] FERRÉ-HUGUET N, MARTI-CID R, SCHUHMACHER M, *et al.* Risk assessment of metals from consuming vegetables, fruits and rice grown on soils irrigated with waters of the Ebro River in Catalonia, Spain [J]. *Biol Trace Elem Res*, 2008, **123**(1/3): 66 – 79.