

辽宁省大米中无机砷残留的膳食风险评估

蒋莹, 邹淼, 平小红, 韩晓鸥*

(辽宁省疾病预防控制中心, 沈阳 110005)

摘要: 目的 评估辽宁省大米中无机砷暴露对我省居民潜在的健康影响。**方法** 随机选择大型商场和小型农贸市场进行采样, 共采集样品 300 份, 采用高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法测定大米中亚砷酸盐、砷酸盐的含量。基于点评估和概率评估 2 种评估方式对大米中无机砷膳食暴露进行风险评估。**结果** 辽宁省大米中亚砷酸盐、砷酸盐的慢性膳食摄入风险(%ADI)值均远小于 100%, 急性膳食摄入风险(%ARfD)值均远小于 100%。概率评估结果显示, 在 50%、75%、90%、99%暴露量位点下, 大米中亚砷酸盐、砷酸盐的风险商值均远小于 1。**结论** 辽宁省大米中亚砷酸盐、砷酸盐残留量在人体可接受范围内, 无明显膳食风险。

关键词: 大米; 无机砷; 膳食风险评估; 风险商; 点评估; 概率评估

Dietary risk assessment of inorganic arsenic residues in rice in Liaoning Province

JIANG Ying, ZOU Miao, PING Xiao-Hong, HAN Xiao-Ou*

(Center for Disease Control and Prevention of Liaoning Province, Shenyang 110005, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the potential health risk of exposure to inorganic arsenic residues in rice in Liaoning Province. **Methods** A total of 300 samples were randomly selected from large shopping malls and small agricultural markets in Liaoning Province, the content of arsenite and arsenate in rice was determined by high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry. Risk assessment of dietary exposure to inorganic arsenic was conducted based on point assessment and probability assessment. **Results** The detected chronic dietary intake risk (%ADI) values of arsenite and arsenate in rice in Liaoning Province were far less than 100%, and the acute dietary intake risk (%ARfD) values were all far less than 100%. The probability assessment results showed that the hazard quotient values of arsenite and arsenate in rice were far less than 1 at 50%, 75%, 90%, and 99% exposure sites. **Conclusion** The arsenite and arsenate residues in rice in Liaoning Province is within the acceptable range of human body, and there is no obvious dietary risk.

KEY WORDS: rice; inorganic arsenic; dietary risk assessment; hazard quotient; point assessment; probability assessment

0 引言

砷(As)是一种有毒的类金属元素, 广泛存在于土壤、空气和水中。砷的化合物以不同的形态存在于生物体内, 无机砷的毒性要远远高于有机砷, 无机砷包括三价砷和五价砷,

其中三价砷毒性最强。长时间摄入无机砷残留量较高食物会对肠、胃和肝脏等器官会产生一定的损伤^[1-3], 甚至导致癌变。在我国百姓膳食结构中, 大米扮演了重要角色, 属于高消费水平, 成为无机砷最大的单一食物来源。大米与其他农作物相比易积累较高浓度的砷^[4], 主要来自土壤及水中的无机

*通信作者: 韩晓鸥, 副主任技师, 主要研究方向为食品成分分析及食品安全风险监测。E-mail: 147000840@qq.com

*Corresponding author: HAN Xiao-Ou, Associate Chief Technician, Center for Disease Control and Prevention of Liaoning Province, No.242, Shayang Road, Heping District, Shenyang 110005, China. E-mail: 147000840@qq.com

砷污染,会随着食物链进入人体,经消化道吸收,随血液分布于周身,可与血红蛋白结合,继续累积在各个器官,引起变异^[5-7]。因此,应加强对大米中无机砷残留情况的监测^[8-10]。

随着食品安全问题越来越受到重视,以及政府和消费者对农产品和食品中的潜在危害(生物、理化等因素的危害)的高度关注,膳食风险评估逐渐发展为食品质量安全重要的监管手段^[11-15]。膳食风险评估可以用点评估和概率评估 2 种方式进行评估分析,其中点评估是采用某一固定值进行评估,又称为确定性估计。点评估方法简便易行,但具有不能提供暴露可能范围的局限性。概率评估则是通过对全部数据进行大量随机抽样,最终以概率分布的形式呈现风险评估结果^[16],相对于确定性评估,概率评估可以考虑到危害发生的所有可能性,得到更科学准确、更符合实际的评估结果。

辽宁省作为我国重要的大米生产基地,系统性评估辽宁省大米中无机砷的膳食暴露风险有着重要意义^[17]。大米中无机砷主要以亚砷酸盐和砷酸盐的形式存在,本研究采用高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法(high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry, HPLC-ICP-MS)对辽宁省随机抽取的 300 份大米样品的亚砷酸盐和砷酸盐残留量进行检测,采用确定性评估和基于蒙特卡罗模拟分析的@risk 软件的概率评估对大米中的亚砷酸盐和砷酸盐进行膳食风险评估,全面分析比较辽宁省大米中无机砷的膳食暴露风险,为辽宁省食品安全风险管理提供有力依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

按照辽宁省的地理位置,分别从山城、内陆、沿海、沿江抽取 4 个城市,于各城市的农贸市场、早市和超市采集大米样品。共采集样品 300,其中内陆 70 份、山城 70 份、沿海 80 份、沿江 80 份。采集样品脱壳后用粉碎机粉碎成大米粉,置于干燥器中备用。

无水乙酸钠、硝酸、硝酸钾、正己烷、无水乙醇、磷酸二氢钠、氨水、乙二胺四乙酸钠(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);亚砷酸根溶液标准物质(GBW08666, 1.011 μmol/g)、砷酸根溶液标准物质(GBW08667, 0.233 μmol/g)(中国计量科学研究院)。

1.2 仪器与设备

UltiMate 3000 高效液相色谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);NexION 300X ICP-MS 电感耦合等离子体质谱仪(美国 PerkinElmer 公司)。

1.3 无机砷的测定方法

无机砷残留量按照 GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定》进行检测。检测结果为 3 次结果平均值。

1.4 风险评估

1.4.1 点评估

利用 Excel 2019 软件对 300 份样品中无机砷残留量的检测结果进行分析统计,其中未检出的样品按照方法检出限的 1/2 替代参加计算,方法检出限为 0.003 mg/kg (GB 5009.11—2014)。通过大米摄入无机砷的风险评估按照公式(1)~(4)进行计算^[18]。

(1)估计每日摄入量

$$NEDI = \frac{\sum (STMR_i \times F_i)}{bw} \quad (1)$$

式中, NEDI (national estimated daily intake)表示估计每日摄入量, μg/(kg·d); STMR_i (supervised trials median residue)为第 *i* 类食品中无机砷的残留中值, mg/kg; *F_i* 表示第 *i* 类食品每日消费量, g/d; 人群平均体重用 bw (body weight)表示, kg。

(2)慢性膳食摄入风险

$$\%ADI = \frac{NEDI}{ADI} \times 100\% \quad (2)$$

式中, 每日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI), μg/(kg·d), 无机砷现行有效的 ADI 值采用联合国粮农组织/世界卫生组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, FAO/WHO)专家委员会的有效数据, 2 μg/(kg·d)^[19]。

%ADI 为慢性膳食摄入风险, %ADI ≤ 100%时,说明通过大米摄入无机砷的慢性膳食风险在人体能接受的范围,其值越小风险越低;反之, %ADI > 100%时,说明通过大米摄入无机砷的慢性膳食风险不能接受,其值越大风险越高。

(3)急性膳食摄入风险

$$IESTI = \frac{LP \times HR}{bw} \quad (3)$$

$$\%ARfD = \frac{IESTI}{ARfD} \times 100\% \quad (4)$$

式中, ARfD (acute reference dose)为急性参考剂量,参考值为无机砷的限量值, 0.2 mg/kg; %ARfD 为急性膳食摄入风险^[20]; IESTI (international estimate short term intake)为估计短期摄入量, μg/kg; LP (large portion)为大米大份量-最大消费量,根据 FAO/WHO 数据库参考值为 2.047 kg^[21]; bw 为体重, kg, 按平均体重 60 kg 计; HR (highest residue)为样品中无机砷最高残留量。

%ARfD ≤ 100%时,说明通过大米摄入无机砷的急性膳食摄入风险在人体能接受的范围,其值越小风险越低; %ARfD > 100%时,说明通过大米摄入无机砷在人体有不能接受的急性膳食风险,其值越大风险越高。

1.4.2 概率评估

将大米中的无机砷残留量数据用基于蒙特卡罗模拟技术的@risk 7.6 软件进行分布拟合。利用卡方统计、科尔莫戈罗夫-斯米尔诺夫统计(K-S)和安德森-达林统计(A-D) 3 种检验方法进行检验,得到拟合效果最佳的分布函数。

从概率分布函数中随机抽样, 进行蒙特卡罗模拟, 生成可能的结果分布, 每个模拟过程迭代 10000 次, 得到模拟结果。本研究中以不同百分位点值所对应的值进行评价。

(1)数据来源

①无机砷含量数据运用检测 300 批次的大米中的无机砷残留的检测数据;

②肠胃吸收系数(absorption factor, ABS): 推荐值为 1;

③暴露频率(exposure frequency, EF): 推荐值为 EPA 风险评估指南中的数据, 350 d/年^[21];

④终身暴露时间(averaging time, AT): 推荐值为暴露持续时间(exposure duration, ED)×365 d/年;

⑤ED: 推荐值为 EPA 风险评估指南中的数据, 7 年^[21];

⑥bw 体重, 推荐值为中国居民平均体重, 60 kg。

(2)暴露评估模型

按照公式(5)计算无机砷日暴露量^[22]:

$$CDI=\frac{C_f\times IR\times ABS\times EF\times ED}{bw\times AT}\tag{5}$$

式中, CDI (chronic day intake)为无机砷日暴露量, μg/(kg·d); C_f为大米中无机砷暴露浓度, mg/kg; IR (ingestion rate)为大米日均摄入量, 辽宁省城乡居民膳食营养与健康状况调查推荐值为 377.61 g/d^[23]。

(3)风险商

按照公式(6)计算大米中的无机砷的风险商值^[24]:

$$HQ=\frac{CDI}{ADI}=\frac{C_f\times IR\times ABS\times EF\times ED}{bw\times AT\times ADI}\tag{6}$$

式中, HQ (hazard quotient)表示无机砷的风险商值。

本研究采用风险商 HQ 评估通过摄入大米中无机砷的健康风险, HQ>1 时, 表示存在一定风险, HQ 值越大, 存在的风险就越大, 人体不可接受; HQ<1 表示不存在风险, HQ 值越小, 风险度越低。

1.5 数据处理

采用 Excel 2019 进行大米中无机砷残留值统计分析、相关参数计算。利用风险模型分析软件@risk7.6 进行风险评估分析, 概率分布结果采用@risk7.6 提供的标准分布函数来显示。

2 结果与分析

2.1 无机砷的残留状况分析

辽宁省采集的 300 份大米样品中亚砷酸盐、砷酸盐残留量检测结果见表 1。300 份样品中亚砷酸盐共检出 16 份, 残留量范围为 0.029~0.093 mg/kg, 中值为 0.048 mg/kg, 平均值为 0.055 mg/kg, 检出率为 5.3%。砷酸盐共检出 14 份, 残留量范围为 0.028~0.060 mg/kg, 中值为 0.036 mg/kg, 平均值为 0.039 mg/kg, 检出率为 4.7%。本次检测样品中无机砷含量远低于 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中规定的无机砷限值 0.2 mg/kg。从检测结果

可以看出, 山城、沿海城市大米产品中无机砷的检出率比内陆、沿江城市中无机砷的检测率高, 可能是由于亚砷酸盐具有较高的降解能力, 随着大米产品在储存及运输环节时间的增加, 亚砷酸盐形态会发生转变, 因此亚砷酸盐的检出率有所下降。但无机砷毒性较大, 有必要进行膳食风险评估。

表 1 样品中无机砷残留
Table 1 Residues of inorganic arsenic in samples

地区	检出样品量/份	
	亚砷酸盐	砷酸盐
内陆	2	2
山城	4	3
沿海	8	7
沿江	2	2
总检出样品量/份	16	14
总检出率/%	5.3	4.7

2.2 无机砷膳食风险评估

2.2.1 点评估

以成年人平均体重 60 kg, 辽宁省人均大米消费量 377.61 g/d 为例, 计算大米中亚砷酸盐、砷酸盐的 NEDI 及%ADI 值, 评估大米中无机砷急性膳食风险及慢性膳食风险。结果显示, 大米中亚砷酸盐、砷酸盐的估计 NEDI 分别为 0.302 和 0.226 μg/(kg·d), 而%ADI 值分别为 15%和 11%, 均远低于 100%, 这表明辽宁省通过大米摄入无机砷的慢性风险很低, 在可以接受的范围之内。

亚砷酸盐和砷酸盐的估计短期摄入量 IESTI 分别为 3.2 和 2.0 μg/kg, 亚砷酸盐和砷酸盐的急性膳食摄入风险分别 1.6%和 1.0%, 均远低于 100%。这表明辽宁省大米中无机砷的急性膳食摄入风险很低, 在可以接受的范围之内。亚砷酸盐和砷酸盐的最高残留量分别为 0.093、0.060 mg/kg, 也远低于安全界限, 进一步表明大米中无机砷的急性膳食摄入风险是非常低的。

2.2.2 概率评估

(1)无机砷残留分布

利用@Risk7.6 软件对 300 份大米样品的亚砷酸盐、砷酸盐残留量进行分布模拟, 每次模拟过程迭代 10000 次。亚砷酸盐残留量模拟分布函数为 RiskTriang (0.025, 0.053, 0.1), 结果显示, 50%、75%、90%、99%位点的暴露量分别为 0.058、0.070、0.081、0.093 mg/kg, 表明各位点亚砷酸盐暴露量均未超过允许最大使用量。砷酸盐残留量模拟分布函数为 RiskTriang (0.028, 0.047, 0.088), 结果显示 50%、75%、90%、99%位点的暴露量分别为 0.053、0.063、0.072、0.082 mg/kg, 表明各位点砷酸盐暴露量均未超过允许最大使用量。由此表明, 辽宁大米中无机砷残留量处于安全水平。

(2)CDI 概率分布

将无机砷残留量数据及其他相关暴露参数代入 1.4.2 中的公式(5), 利用@risk 对大米摄入亚砷酸盐、砷酸盐的日均暴露量进行分布模拟, 每次模拟过程迭代 10000 次, 得到相应的概

率分布,结果以不同百分位点所对应的暴露量进行评价。

通过大米摄入亚砷酸盐的日均暴露量模拟分布函数为 RiskTriang (0.025, 0.053, 0.1), 平均值为 $0.036 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, 中位数为 $0.035 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, 50%、75%、90%、99%位点的 CDI 分别为 0.035、0.043、0.050、 $0.057 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 。砷酸盐的日均暴露量模拟分布函数为 RiskTriang (0.171, 0.288, 0.538), 平均值为 $0.033 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, 中位数为 $0.032 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$, 50%、75%、90%、99%位点的 CDI 分别为 0.032、0.039、0.044、 $0.050 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 。结果表明,通过大米摄入亚砷酸盐和砷酸盐的日均暴露量在 50、75、90、99 百分位均小于 ADI。

(3) 风险结果与分析

同样将亚砷酸盐和砷酸盐残留量数据及其他相关暴露参数代入 1.4.2 中的公式(6), 利用@Risk7.6 对无机砷的膳食暴露风险商进行分布模拟, 每次模拟过程迭代 10000 次, 得到相应的概率分布, 结果以不同百分位点所对应的风险商进行评价^[25-26]。

通过大米摄入亚砷酸盐的风险商模拟分布函数为 RiskTriang (0.000765, 0.001621, 0.003059), 如图 1, 平均值为 0.00182, 中位数为 0.00177, 50%、75%、90%、99%位点的 HQ 分别为 0.00177、0.00215、0.00248、0.00286。砷酸盐的风险商模拟分布函数为 RiskTriang (0.000857, 0.001438, 0.002692), 如图 2, 平均值为 0.00166, 中位数为 0.00162, 50%、75%、90%、99%位点的 HQ 分别为 0.00186、0.00193、0.00221、0.00254。结果表明, 通过大米摄入亚砷酸盐和砷酸盐的膳食暴露风险商在 50、75、90、99 百分位均远小于 1, 进一步说明辽宁省大米中无机砷残留量在人体可接受范围内, 无明显膳食风险。

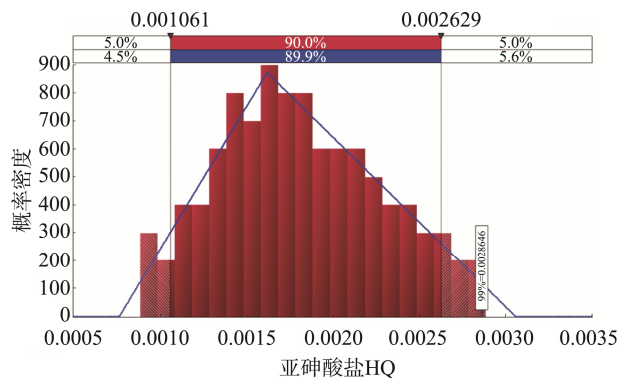


图 1 通过大米摄入亚砷酸盐风险商概率分布

Fig.1 Hazard quotient probability distribution of arsenite by dietary consumption of rice

3 讨论与结论

我国约有 65%以上的人口以大米为主食, 而大米一直是我国居民无机砷膳食暴露的主要来源之一^[27-28], 辽宁省作为我国重要的大米主产区, 辽宁大米的质量安全十分重

要, 但尚缺乏对辽宁省大米进行系统的风险评估。因此, 本研究采用 2 种风险评估方法即点评估和概率评估对辽宁省大米中无机砷的膳食风险进行综合评估, 点评估结果表明辽宁大米中亚砷酸盐和砷酸盐慢性膳食摄入风险%ADI 值均远低于 100%; 急性膳食摄入风险%ARfD 也均远低于 100%。说明经检测的辽宁省大米中无机砷的膳食风险在可接受的范围内, 而且很低。以蒙特卡罗方法为基础, 运用 @risk 软件进行的概率评估, 结果表明辽宁大米中亚砷酸盐和砷酸盐的风险商 HQ 在多个高端暴露百分位点(50%, 75%, 90%, 99%)的值均远小于 1。进一步表明, 辽宁省大米中无机砷残留量在人体可接受范围内, 无明显膳食风险。

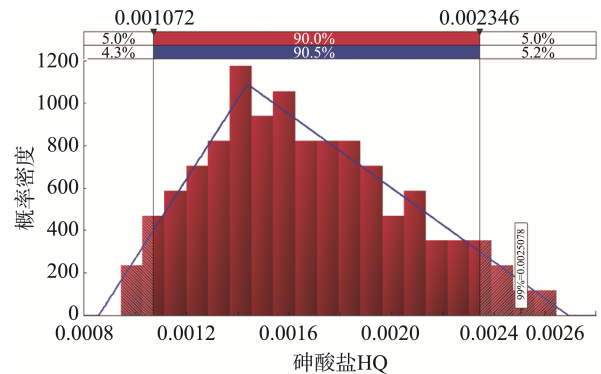


图 2 通过大米摄入砷酸盐风险商概率分布

Fig.2 Hazard quotient probability distribution of arsenate by dietary consumption of rice

本研究为促进辽宁省食品安全, 以及不断提升省内各级有关部门食品安全风险管理水平提供了有力依据。但是, 风险评估具有一定的不确定性, 本研究中样品采集数量偏少, 未覆盖所有地区, 并不能充分体现实际污染水平。随着时间的推移, 居民的膳食结构发生变化, 本研究采用的风险评估参数如消费量主要源于相关文献报道, 并未进行膳食消费调查, 可能存在一定的差异。此外, 本研究仅以大米作为无机砷的唯一暴露来源, 但如谷类、水产等也是无机砷膳食暴露风险的贡献者^[29-30]。因此, 评估结果可能存在不确定性。随着实际测量数据的不断累积, 风险评估参数将更科学、更准确, 将进一步完善风险评估模型, 使评估结果更可靠。

参考文献

- [1] 范云燕, 欧嵩凤, 唐琼, 等. 南宁市主要食品中砷污染及居民健康风险评估[J]. 现代预防医学, 2020, 47(10): 1781-1784.
FAN YY, OU SF, TANG Q, et al. Arsenic contamination in main foods and health risk assessment for residents in Nanning City [J]. Mod Prev Med, 2020, 47(10): 1781-1784.
- [2] World health organization. Arsenic [M]. Geneva: World Health Organization, 2017.
- [3] 王婧莹, 闫培生. 无机砷污染稻米的去毒研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(4): 299-301.
WANG JY, YAN PS. Research progress of rice detoxification on inorganic arsenic contamination [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(4): 299-301.
- [4] 刘文菊, 朱永官, 胡莹, 等. 来源于土壤和灌溉水的砷在水稻根及其体内的富集特性[J]. 环境科学, 2008, 29(4): 862-868.
LIU WJ, ZHU YG, HU Y, et al. Effects of arsenic from soil and irrigation

- water on as accumulation on the root surfaces and in mature rice plants (*Oryza sativa* L.) [J]. *Environ Sci*, 2008, 29(4): 862–868.
- [5] 吴建美, 尹幸念, 姜华, 等. 90 天饮用水暴露对大鼠的肝脏、肾脏和心脏的毒性损伤作用[J]. *医学动物防治*, 2019, 35(8): 213–216.
- WU JM, YIN XN, JIANG H, *et al*. The toxic damage of arsenic exposure to 90 days drinking water on liver, kidney and heart of rats [J]. *J Med Pest Control*, 2019, 35(8): 213–216.
- [6] 刘秀丽, 汪倩, 宋超, 等. 不同砷形态在水产品中的毒理及转化研究进展[J]. *农学学报*, 2019, 9(12): 33–38.
- LIU XL, WANG Q, SONG C, *et al*. Arsenic forms in aquatic products: Progress research on toxicology and transformation [J]. *J Agric*, 2019, 9(12): 33–38.
- [7] B'HYMER C, CARUSO JA. Arsenic and its speciation analysis using high-performance liquid chromatography and inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *J Chromatogr A*, 2004, 1045(1–2): 1–13.
- [8] 董晓丽, 王步军. 江西省稻米中总砷和无机砷含量的测定与分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 37(6): 124–128.
- DONG XL, WANG BJ. Determination and analysis on total arsenic and inorganic arsenic in rice of Jiangxi Province [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 37(6): 124–128.
- [9] 严红梅, 杜丽娟, 丽忠. 云南省不同产地大米重金属砷污染风险分析[J]. *食品质量安全检测学报*, 2017, 8(9): 3654–3663.
- YAN HM, DU LJ, LI Z. Risk analysis of arsenic pollution in rice from different areas in Yunnan Province [J]. *J Food Qual Saf*, 2017, 8(9): 3654–3663.
- [10] 应轩宇, 蔡强, 王涛. 大米中无机砷风险评估方法学研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2020, 32(2): 196–200.
- YING XY, CAI Q, WANG T. Study on methodology for risk assessment of inorganic arsenic in rice [J]. *Chin J Food Hyg*, 2020, 32(2): 196–200.
- [11] 韩晓鸥, 李颜岩, 张媛媛, 等. 辽宁省大米中甲基汞的安全性评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(24): 9541–9547.
- HAN XOU, LI YY, ZHANG YY, *et al*. Safety evaluation of methylmercury in rice in Liaoning Province [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(24): 9541–9547.
- [12] 叶倩, 朱富伟, 王富华, 等. 氰霜唑及其代谢物 4-氯-5-(4-甲基)-1H 咪唑-2-基在苦瓜中的残留降解动态及膳食安全性评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(18): 6537–6542.
- YE Q, ZHU FW, WANG FH, *et al*. Residual degradation dynamics and dietary safety assessment of cyazofamid and its metabolite (4-chloro-5-(4-tolyl)-1 H-imidazole-2-carbonitrile in balsam pear [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(18): 6537–6542.
- [13] 孙玲, 黄健祥, 邓义才, 等. 广东省主要叶菜农药残留膳食暴露风险评估研究[J]. *食品科学*, 2017, 38(17): 223–227.
- SUN L, HUANG JX, DENG YC, *et al*. Risk assessment of dietary exposure to pesticide residues in staple leaf vegetables in Guangdong Province [J]. *Food Sci*, 2017, 38(17): 223–227.
- [14] PARK HW, YOON WB. A quantitative microbiological exposure assessment model for bacillus cereus in pasteurized rice cakes using computational fluid dynamics and monte carlo simulation [J]. *Food Res Int*, 2019, 125: 108562.
- [15] 叶孟亮, 裴继云, 徐国锋, 等. 苹果中 4 种常用农药残留及其膳食暴露评估[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(7): 1289–1302.
- YE ML, NIE JY, XU GF, *et al*. Residue and dietary exposure risk assessment of four pesticides in apple [J]. *Sci Agric Sin*, 2016, 49(7): 1289–1302.
- [16] 丁运华, 郑颖, 李甜甜, 等. 惠州市苦瓜中氯氰菊酯的膳食风险评估[J]. *惠州学院学报*, 2018, 38(3): 43–47.
- DING YH, ZHENG Y, LI TT, *et al*. Dietary risk assessments of cypermethrin in bitter melon of Huizhou [J]. *J Huizhou Univ*, 2018, 38(3): 43–47.
- [17] 韩晓鸥, 平小红, 依萍, 等. 辽宁地区大米中亚砷酸盐 As(III) 和砷酸盐 As(V) 含量的风险评估[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(8): 146–152.
- HAN XOU, PING XH, YI P, *et al*. Assessment of arsenite(III) and arsenate(V) content in rice of Liaoning [J]. *J Chin Cere Oil Ass*, 2020, 35(8): 146–152.
- [18] 钱永忠, 李耘. 农产品质量安全风险评估-原理、方法和应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- QIAN YZ, LI Y. Risk assessment for quality and safety of agro-foods: Principles, methodologies and applications [M]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [19] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Submission and evaluation of pesticide residues data for the estimation of maximum residue levels in food and feed [M]. Rome: FAO, 2009.
- [20] 王冬群, 华晓霞. 慈溪市葡萄农药残留膳食摄入风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(3): 1018–1024.
- WANG DQ, HUA XX. Dietary intake risk assessment of pesticide residues on grape in Cixi City [J]. *J Food Qual Saf*, 2017, 8(3): 1018–1024.
- [21] World Health Organization. A template for the automatic calculation of the IESTI [EB/OL]. [2020-06-18]. www.who.int/entity/food_safety/chem/IESTI_calculation_13e.xlt [2021-07-06].
- [22] US Environmental Protection Agency. Guidelines for Exposure Assessment, EPA/600/Z-92/001 [R]. Washington DC: Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, 1992.
- [23] 李绥晶, 李欣, 李辉, 等. 辽宁省城乡居民膳食营养与健康状况调查[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 status of urban and rural residents in Liaoning province [J]. *Chin J Public Health*, 2005, 21(11): 1308–1309.
- [24] 刘兆平, 李凤琴, 贾旭东. 食品中化学物风险评估原则和方法[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- LIU ZP, LI FQ, JIA XD. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012.
- [25] 王艳红, 安宇, 张敏, 等. 人参中二氧化硫残留分析与健康风险评估[J]. *食品科学*, 2015, 36(24): 214–219.
- WANG YH, AN Y, ZHANG M, *et al*. Analysis and health risk assessment of sulfur dioxide residue in ginseng roots [J]. *Food Sci*, 2015, 36(24): 214–219.
- [26] 刘冰, 王怡, 朱艳杰, 等. 膳食摄入水产品中重金属的风险评估[J]. *中国食品学报*, 2021, 32(7): 267–275.
- LIU B, WANG Y, ZHU YJ, *et al*. Risk assessment about the dietary intake of heavy metals in aquatic products [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2021, 32(7): 267–275.
- [27] 潘浩. 中国大米无机砷暴露评估研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2012.
- PAN H. Exposure assessment studies for inorganic arsenic in Chinese rice [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2012.
- [28] 黄亚涛. 我国稻米中无机砷的污染分布研究及风险评估[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- HUANG YT. Study on contamination distribution of inorganic arsenic in rice from China and the associated risk assessment [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Master Dissertation, 2014.
- [29] 张荣旭, 宋扬, 于红卫, 等. 青岛市市售海产品砷污染状况及无机砷暴露风险评估[J]. *现代预防医学*, 2020, 47(6): 1016–1027.
- ZHANG RC, SONG Y, YU HW, *et al*. Arsenic pollution and risk assessment of inorganic arsenic from seafood in Qingdao [J]. *Mod Prev Med*, 2020, 47(6): 1016–1027.
- [30] TAYLOR V, GOODALE B, RAAB A, *et al*. Human exposure to organic arsenic species from seafood [J]. *Sci Total Environ*, 2017, 580: 266–282.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



蒋莹, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品成分分析及食品安全风险监控。
E-mail: florazi@126.com

韩晓鸥, 副主任技师, 主要研究方向为食品成分分析及食品安全风险监控。
E-mail: 147000840@qq.com