

风险评估

食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝元素的迁移及风险评估

张泓¹, 李倩云¹, 陈少鸿², 刘在美², 邢航¹, 朱蕾¹

(1. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022; 2. 宁波海关技术中心, 浙江 宁波 315040)

摘要:目的 研究食品接触用铝和铝合金材料及制品中的铝在不同食品模拟物及迁移条件下的迁移规律, 开展来源于食品接触用铝和铝合金材料及制品的铝的风险评估, 评估其膳食暴露风险, 提出安全性管理建议。方法 选择4%乙酸(体积分数)、5 g/L柠檬酸和人造自来水3种食品模拟物, 分别在煮沸0.5 h后室温放置24 h和煮沸2 h两种迁移试验条件下开展3次迁移试验, 采用电感耦合等离子体发射光谱仪检测铝迁移量, 研究铝的迁移规律。结果 食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝元素的迁移量在3次迁移试验中无明显规律, 在4%乙酸(体积分数)及5 g/L柠檬酸中的迁移量远高于人造自来水; 膳食暴露评估结果显示, 通过铝和铝合金制品摄入的铝元素的估计膳食暴露量可达0.65~51.21 mg/(kg·BW·w), 风险较高, 应引起关注。结论 来源于食品接触用铝和铝合金材料及制品的铝膳食摄入存在一定风险, 建议基于更为准确的膳食摄入量数据进一步开展膳食暴露评估, 同时建议采取风险管理措施管控铝元素的迁移, 并通过科普宣传和行业创新等手段控制铝元素的迁移风险。

关键词:食品接触用铝和铝合金材料及制品; 铝元素; 迁移试验; 风险评估

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2022)01-0092-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2022.01.018

Study of migration and safety assessment of aluminum in food contact
aluminum and aluminum alloy materials and articles in China

ZHANG Hong¹, LI Qianyun¹, CHEN Shaohong², LIU Zaimei², XING Hang¹, ZHU Lei¹

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China;

2. Ningbo Customs District Technology Center, Zhejiang Ningbo 315040, China)

Abstract: Objective To analyze aluminum migration in food contact aluminum and aluminum alloy materials and articles on the Chinese market under different migration test patterns, to discuss the differences in aluminum migration under different test conditions and product categories. And to assess the exposure risk of aluminum migration in food contact aluminum and aluminum alloy materials and articles. **Methods** In migration test, 4% (V/V) acetic acid, 5 g/L citric acid and tap water were selected. The migration test conditions were boiling for 0.5 h, room temperature for 24 h, and boiling for 2 h. The aluminum migration was detected by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). According to the migration test result, extreme hypothesis method was used to evaluate dietary exposure. **Results** The migration amount of aluminum in food contact aluminum and aluminum alloy materials and articles had no obvious regularity in the three migration tests, and the migration amount in 4% (V/V) acetic acid and 5 g/L citric acid were much higher than that in the artificial tap water. The result of dietary exposure assessment showed that the estimated dietary exposure of aluminum through aluminum and aluminum alloy products could reach 0.65 to 51.21 mg/(kg·BW·w) and has certain risks. **Conclusion** It is suggested that the risk of aluminum intake from aluminum and aluminum alloy materials and articles for food contact is high, so further exposure assessment should be carried out based on more accurate food consumption data. At the same time, risk management measures should be taken to control the migration of aluminum, and the migration risk of aluminum should be controlled by means of science popularization and industry innovation.

收稿日期: 2021-01-20

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1603206)

作者简介: 张泓 女 助理研究员 研究方向为食品安全国家标准 E-mail: zhanghong@cfsa.net.cn

李倩云 女 硕士生 研究方向为食品安全国家标准 E-mail: liqianyun@cfsa.net.cn

张泓和李倩云为共同第一作者

通信作者: 朱蕾 女 研究员 研究方向为食品安全国家标准与风险评估 E-mail: zhulei@cfsa.net.cn

Key words: Food contact aluminum and aluminum alloy materials and articles; aluminum; migration test; risk assessment

铝是人体非必需微量元素,其过量摄入会对人体心脏、肝、皮肤以及神经系统等产生巨大危害。神经系统是铝作用的主要靶器官,长期过量铝暴露与阿尔茨海默病有一定相关性^[1]。动物实验结果表明,随着铝摄入量的增加,铝在大鼠海马中的富集增加而铁、锌含量下降,由此导致运动行为和短期记忆能力下降^[2]。

根据国家食品安全风险评估中心 2012 年发布的《中国居民膳食铝暴露风险评估》^[3],人体摄入铝的来源包括水、食品、空气和含铝药物,其中铝的食品来源主要为食品中天然存在的铝和含铝添加剂的使用。有研究表明,铝可从食品接触材料中迁移入食品,其迁移量与食品加热的温度与时间,食物成分与 pH,食物基质中有机酸、盐和其他离子的含量等因素有关^[4]。在我国,铝和铝合金材料及制品广泛应用于食品和饮料的包装材料、厨房用具,如铝压力锅、铝饭盒、铝箔烧烤纸等。铝为铝和铝合金材质的食品接触材料中的主要合金元素,相比于其他食品接触材料及制品,该类产品中铝迁移的风险更为突出。

目前欧洲药品质量与健康管理局(European Directorate for the Quality of Medicines, EDQM)《关于食品接触材料和制品中使用的金属和合金:制造商和监管机构的实用指南》中规定金属与合金中的铝迁移限量为 5 mg/kg^[5]。而我国 GB 4806.9—2016《食品安全国家标准 食品接触用金属材料及制品》^[6]中并未规定铝的迁移限量要求。

此外,世界各国相关法规或文件资料规定的食品接触用金属制品迁移试验用食品模拟物并不统一。EDQM 采用 5 g/L 柠檬酸和人造自来水^[5],意大利采用 3%(W/V)乙酸和水^[7];法国竞争、消费和反欺诈总局(Direction Générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes, DGCCRF)的 DM/4B/COM/001 文件规定采用 5 g/L 柠檬酸溶液,同时规定对无涂层铝和铝合金制品限制接触高酸性食品,成分要求符合 EN 601:2004 和 EN 602:2004 规定^[8];韩国食品药品管理局食品用器具、容器和包装的标准^[9]以及日本厚生劳动省 370 号公告^[10]均规定无涂层金属制品迁移试验介质为水和 5 g/L 柠檬酸。而我国 GB 4806.9—2016 规定,对于铝和铝合金材料及制品,无论接触酸性食品还是非酸性食品,均采用 4% 乙酸溶液(体积分数)为食品模拟物。而在实际标准执行过程中,有些仅接触非酸性食品的镀铝产品(如蛋糕模)按照

标准规定用 4% 乙酸(体积分数)煮沸后镀层脱落,而实际使用中并不会发生这种情况,说明 GB 4806.9—2016 标准中规定的模拟物和迁移试验条件与实际情况存在一定差异,难以反映实际迁移情况。

此种情况下,亟需针对铝和铝合金制品寻求更为科学合理的迁移试验方案,并在此基础上研究我国食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝元素在不同的接触条件下接触不同类别食品时的迁移规律,评估我国居民通过铝制食品容器摄入铝元素的安全风险,为完善风险管理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品、仪器与试剂

1.1.1 样品

研究所用样品于 2017—2018 年度采购,涵盖我国居民常用的食品接触用铝和铝合金材料及制品,涉及不同质量、不同价格的中高低端商品。样品通过超市、农贸市场、商场等现场购买和网上采购两种方式获得,包括铝材和铝制品两大类,涵盖铝板、铝箔、铝压力锅、铝汤锅、铝饭盒、铝箔烧烤纸、铝烤盘/托架 7 小类,共计 348 件样品,其中铝板材样品 126 件,铝制品样品 222 件。所有样品未与食品接触,且完整、无变形。

1.1.2 仪器

ICP 6500 型电感耦合等离子体发射光谱仪(美国赛默飞世尔科技有限公司);EG35B 电热板(北京莱伯泰科仪器股份有限公司);WNB29/WNB45 水浴锅(德国 Memmert)。

采用 0.5 mg/L 铝标准溶液进行扫描,选择强度高、干扰少、灵敏度高的波长。优化后的工作参数:波长 396.153 nm,射频(Radio frequency, RF)功率 1 150 W,雾化器流量 0.60 L/min,辅助气流量 0.5 L/min,等离子气流量 12.0 L/min,蠕动泵流量 1.50 mL/min,光源稳定延迟 15 s 轴向观测方式。

试验全程均使用玻璃或聚乙烯器皿,避免使用可能有铝元素迁移造成干扰的金属器皿等容器、工具。

1.1.3 试剂

铝标准储备液(1 000 μg/mL,国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院),冰乙酸、柠檬酸(优级纯,国药集团化学试剂有限公司),二水合氯化钙(优级纯,MACCLIN),碳酸氢钠、硫酸镁(优级纯,阿拉丁),实验室用纯水(18.2 MΩ·cm, 25 ℃)。

5 g/L 柠檬酸溶液、4% 乙酸溶液(体积分数)和人造自来水按照 GB 5009.156—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则》^[11]的要求配制。

1.2 方法

1.2.1 标准溶液的配制

准确移取适量铝标准储备液,分别用 4% 乙酸溶液(体积分数)和 5 g/L 柠檬酸溶液、人造自来水逐级稀释,标准系列浓度:0、0.5、1.0、2.0、5.0、10.0 mg/L。所有玻璃器皿均需硝酸溶液(1+5)浸泡 48 h 以上,用纯水反复冲洗,再用高纯水冲洗干净、晾干备用。

1.2.2 食品模拟物与迁移试验条件选择

参考 GB 4806.9—2016 和其他国家的相关规定,分别选择铝和其他金属对应的最严苛食品模拟物和迁移试验条件组合,确定组合一为 4% 乙酸(体积分数)(所有食品)、煮沸 30 min 后室温放置 24 h;组合二为 5 g/L 柠檬酸、煮沸 2 h(酸性食品),人造自来水、煮沸 2 h(其他食品)。选择 4% 乙酸(体积分数)、煮沸 2 h 组合作为对照组,分别比较不同食品模拟物或不同迁移试验条件对于铝元素迁移水平的影响。

将采集的铝制品样品按照其预期使用情况选择相应的食品模拟物与迁移试验条件组合开展迁移试验;对于铝板材样品,由于其预期可能加工成各种类型的产品,因此选择所有可能的食品模拟物与迁移试验条件组合开展迁移试验。

1.2.3 迁移试验浸泡方法

按照 GB 5009.156—2016 对于扁平制品和空心制品的定义,将采集的铝和铝合金材料及制品按照形状与用途进行分类,铝箔、铝箔烧烤纸、铝烤盘/托架等归为扁平物品,铝汤锅、铝压力锅、铝饭盒等归为空心制品,按照 GB 5009.156—2016 规定的方法浸泡。对于空心制品,采用灌装法,将食品模拟物加入到空心制品中;对于扁平物品和板材,采用全浸没法或迁移测试池法,将试样完全浸没在食品模拟物中,按规定的试验条件(温度、时间)进行迁移试验。

对于可重复使用的食品接触材料及制品,按照 GB 31604.1—2015《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则》^[12]规定,对同一测试样品或其同一试样应进行 3 次迁移试验,每次均使用一份新的食品模拟物。预处理完成后得到浸泡液,由于聚乙烯瓶不含重金属和无机成分,且耐腐蚀、质量轻、抗冲击、易携带,因此将浸泡液储存在聚乙烯瓶中,采用 ICP-OES 测定平行样品(两个测试样品作为平行样)。

1.2.4 迁移量结果换算与分析方法

采用样品与食品实际接触情形下的面积体积比(S/V)对各样品浸泡液中铝含量的检测结果进行换算,得到迁移量结果。根据 GB 31604.1—2015 进行迁移试验时,食品接触材料及制品的接触面积(S)与食品或食品模拟物体积(V)的比(S/V)应反映实际的使用情形,应取可预见使用情形下的最大 S/V (如最小包装)。

本研究中,对于空心容器类样品,如容器有刻度或标称容量、无最低容量要求, S 和 V 分别以最大刻度或标称容量对应的内表面积和容积计;如容器有刻度且有最低容量要求, S 和 V 分别以最小刻度对应的内表面积和容积计;如容器无刻度且无标称容量,应按照 GB 5009.156—2016 中 7.2 的规定,选择食品模拟物与空心制品上边缘的距离为 1 cm 或者需加热煮沸的空心制品的 4/5 容积对应的 S/V 进行迁移试验结果计算。扁平物品,如刀叉及餐盘等制品,通常无法估算 S/V ,一般采用 6 dm² 食品接触材料及制品接触 1 kg 的食品或食品模拟物。各种液态食品的密度通常以 1 kg/L 计。

取 2 个平行样本的平均值作为该组的迁移结果,未检出的样品被赋值为检出限(Limit of detection, LOD, $LOD = 0.001 \text{ mg/kg}$)的 1/2,即 0.000 5 mg/kg。根据不同的迁移试验情况,分别计算每组平均值、最大值、最小值。

1.2.5 标准曲线的线性范围、相关系数、检出限和定量限

在仪器工作条件(1.1.2)下,测定铝标准系列溶液,外标法定量,得到浓度含量(x)与光强度值(y)的线性方程及相关系数;连续($n=11$)测定空白溶液,以测定结果的标准偏差的 3 倍作为方法检出限;以检出限的 3 倍作为方法定量限。通过标准溶液(0.5 mg/L)进行精密度测定,相对标准偏差(Relative standard deviation, RSD)为 2.80,在线性范围内,具有良好的线性相关性,且精密度良好。线性范围为 0.05~10 mg/L,线性相关系数为 0.999 8,方法检出限为 0.02 mg/L,定量限为 0.05 mg/L, RSD 为 2.80%。

1.2.6 风险评估方法

本研究采取极端假设法开展膳食暴露评估。假定一个 60 kg 体质量的人每天摄入 1 kg 与铝和铝合金材料及制品接触的食品,膳食暴露量计算公式如下所示:

$$\begin{aligned} & \text{估计每日膳食暴露量} [EDI, \text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{BW} \cdot \text{d})] \\ &= \frac{\text{迁移量}(\text{mg}/\text{kg}) \times 1 \text{ kg}/\text{d}}{60 \text{ kg} \cdot \text{BW}} \end{aligned}$$

据相关研究^[13],《食品安全国家标准 食品添加

剂使用标准》(GB 2760—2014)标准调整了含铝添加剂在部分食品类别中的使用要求,标准修订后我国北方地区通过添加了含铝食品添加剂的食品摄入的铝平均摄入量为每周 0.416 mg/(kg·BW),占联合国粮农组织和世界卫生组织下的食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)修订的暂定每周耐受摄入量(Provisional tolerable weekly intake, PTWI)值 2 mg/(kg·BW·w)^[14]的 20.8%;全人群的铝平均摄入量为每周 0.258 mg/(kg·BW),占 PTWI 值的 12.9%。考虑到食品中天然来源、饮用水来源及其

他污染来源的铝,对食品接触用铝和铝合金材料及制品中的铝进行暴露评估时,本研究参考国际通行做法,假设来源于铝和铝合金材料及制品的铝元素的暴露量贡献率为 20%。

2 结果与讨论

2.1 食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝的总体迁移情况

在不同食品模拟物及迁移试验条件下食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝的总体迁移情况如表 1 所示。

表 1 食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝的总体迁移情况(mg/kg)

Table 1 Aluminum migration in food contact aluminum and aluminum alloy materials and articles (mg/kg)

组合条件	食品模拟物/迁移条件	样本量	试验次数	平均值	最大值	最小值	
组合一	4%乙酸(体积分数)/煮沸 0.5 h, 室温 24 h	45	1	221.58	1 394.00	7.81	
			2	208.63	780.00	7.21	
			3	216.37	547.00	15.98	
	人造自来水/煮沸 2 h	36	1	6.14	16.40	0.65	
			2	6.10	14.00	0.11	
			3	5.56	14.10	1.50	
组合二	5 g/L 柠檬酸/煮沸 2 h	65	1	438.97	2757.43	8.10	
			2	294.89	2548.38	6.45	
			3	200.63	2257.00	4.69	
	对照组	4%乙酸(体积分数)/煮沸 2 h	7	1	470.20	560.40	237.40
				2	475.54	531.25	268.25
				3	478.77	536.60	247.60

如表 1 所示,食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝元素在人造自来水/煮沸 2 h 情况下迁移水平相对较低,3 次试验迁移量结果的平均值分别为 6.14、6.10、5.56 mg/kg;而在酸性溶液中,包括 5 g/L 柠檬酸和 4%乙酸(体积分数),铝的迁移量整体较高。相关试验结果提示铝及铝合金材料及制品在接触酸性食品时确有较高的迁移风险,且其迁移量数值远高于其他食品类别。

2.2 重复使用铝制品中铝元素的迁移规律

按照 GB 31604.1—2015 的规定,重复使用制品应进行 3 次迁移试验,以第 3 次试验测定结果为合规性判定依据。该规定是基于重复使用制品在开展多次迁移试验时,迁移量逐次降低且逐渐达到平衡的前提下,综合考虑试验成本及保守原则,选择第 3 次迁移试验结果代表长期使用中的迁移情况。

而由表 1 可知,在不同模拟物及不同迁移试验条件下,食品接触用铝和铝合金材料及制品样品中铝在第 1、2、3 次重复试验中的总体迁移趋势并不一致,无统一规律。根据具体的迁移试验数据分析可知,铝的迁移趋势呈现不规则波动状态,有的呈下降或上升趋势,有的先下降再上升,有的先上升再下降,所占比例各有差异,其中呈上升趋势的样品数量占比为 36.6%,呈下降趋势的占比为

22.9%,先上升再下降的占比为 18.9%,先下降再上升占比 21.6%。相关迁移趋势的波动情况与食品模拟物的种类及迁移试验条件均无相关性。因此,对于重复使用的铝及铝合金制品中的铝元素,第 3 次迁移试验结果并不能代表其长期使用过程中的迁移情况,其安全性评估应综合考虑每次迁移试验结果,以最大限度地评价重复使用过程中铝元素的安全风险。

2.3 铝板材中铝元素的迁移情况

2.3.1 相同迁移试验条件,不同食品模拟物

本研究分别检测了铝板材在煮沸 2 h 条件下,在 4%乙酸(体积分数)、5 g/L 柠檬酸和人造自来水 3 种食品模拟物中铝的迁移量,由于人造自来水中铝迁移量远低于酸性模拟物,故仅比较了 2 种酸性食品模拟物中铝元素的迁移情况(3 次迁移试验结果的平均值),具体见图 1。

由图 1 可以看出,在相同的迁移试验条件下(煮沸 2 h),铝材在 5 g/L 柠檬酸和 4%乙酸(体积分数)两种食品模拟物中的铝的迁移情况存在较大差异,4%乙酸(体积分数)中的铝迁移量明显高于在 5 g/L 柠檬酸模拟物中的迁移量,甚至高出 3 倍以上。由检测后的样品外观来看(图 2),使用 4%乙酸(体积分数)开展迁移试验后,样品表面多出现大

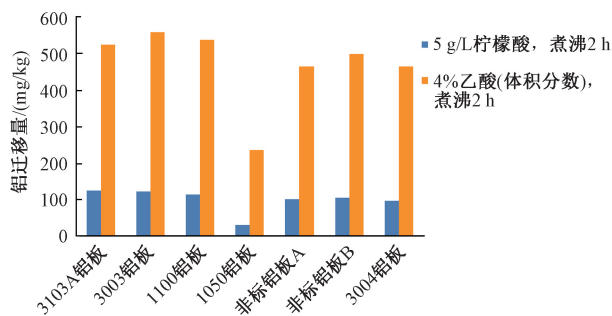


图1 相同迁移试验条件不同食品模拟物中铝板材中铝的迁移情况(3次迁移试验结果的平均值)

Figure 1 Migration of aluminum material in different food simulants under same migration test condition (mean value of 3 migration tests)

量腐蚀性锈斑;而5 g/L柠檬酸则较少出现该种情况。相关试验结果提示,4%乙酸(体积分数)对于铝板材的腐蚀性过强,多数样品会出现实际使用过程中不会出现的锈蚀现象,从而造成迁移量结果过高。参考其他国家的相关法规,欧盟、韩国、日本等国家和地区也多采用5 g/L柠檬酸作为酸性食品模拟物对金属材料及制品开展迁移试验。综上所述,相较于4%乙酸(体积分数),采用5 g/L柠檬酸作为酸性食品模拟物评价铝和铝合金材料及制品中的铝元素的迁移是较为合适的选择。

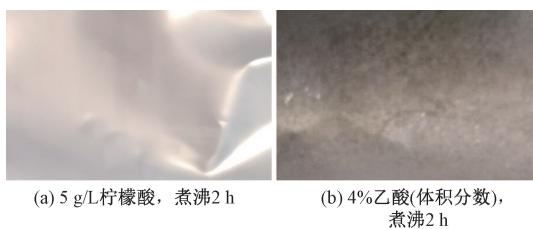


图2 铝箔采用酸性食品模拟物开展迁移试验后表面腐蚀情况

Figure 2 Corrosion of aluminum foil after migration test with acidic food simulants

2.3.2 相同食品模拟物,不同迁移试验条件

本研究检测了在两种不同的迁移试验条件下(煮沸2 h和煮沸0.5 h再室温放置24 h),食品接触用铝板材在4%乙酸(体积分数)中铝的迁移情况(3次迁移试验结果的平均值),结果见图2。

如图3所示,当模拟物均为4%乙酸(体积分数)时,铝元素在煮沸2 h和煮沸0.5 h再室温放置24 h两种迁移试验条件下的迁移量差距较大。煮沸2 h条件下的迁移量远超过在煮沸0.5 h再室温放置24 h条件下的迁移量,均相差2倍以上。据此推测,在酸性条件下,铝元素的迁移水平受加热温度及时间的影响较大,铝制品在不同温度及不同时间下接触酸性食品时的迁移量结果可能有较大差

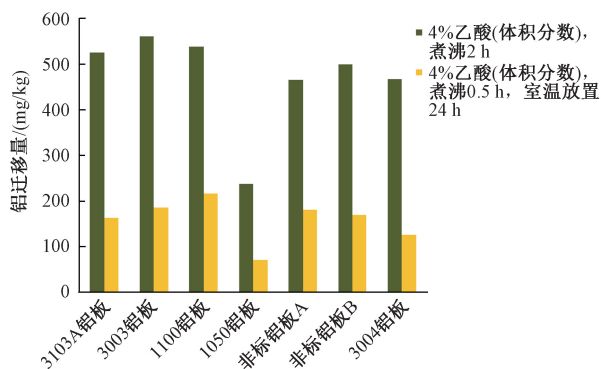


图3 相同食品模拟物不同迁移试验条件下铝板材中铝的迁移情况(3次迁移试验结果的平均值)

Figure 3 Aluminum migration in the same food simulant under different migration test conditions (mean value of 3 migration tests)

异。而按照现行国标GB 4806.9—2016中的规定仅选择固定的迁移试验条件并不能反映所有接触情形下的迁移情况。因此,按照铝制品的实际使用情形,选择不同的接触温度和接触时间开展迁移试验更能反映铝元素的实际迁移情况。

2.4 食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝的风险评估

2.4.1 危害识别与危害特征描述

铝不仅具有生殖毒性和发育毒性,还有神经毒性与神经发育毒性。研究表明,长期低剂量给予铝可导致大鼠端脑皮质和海马神经细胞损伤,端脑皮质雌激素受体亚型表达量异常,血液雌激素水平降低等,这些变化与阿尔茨海默病变化类似^[15]。另外,铝对人体骨骼也有健康危害,当食物中铝含量超过5~10倍时,可以降低饮食中磷的吸收率和吸收量,导致血磷及机体总磷量减少,骨骼含钙量降低,引起骨软化及骨折^[16]。2011年6月,在JECFA的第74次大会上,委员会依据一项通过饮水将柠檬酸铝暴露于大鼠的发育和慢性神经毒性研究显示,铝的主要毒效应为肾损害和握力减小,可获得的最大无毒性反应剂量(No-observed-adverse-effect level, NOAEL)值为30 mg/kg·BW,综合考虑100倍的不确定系数,将铝的PTWI重新修订为2 mg/(kg·BW·w)^[14],同时撤销先前执行的1 mg/(kg·BW·w)的PTWI^[17]。

2.4.2 膳食暴露评估和风险特征描述

根据迁移试验结果及相关分析,食品接触用铝和铝合金材料及制品中的铝迁移风险很高,尤其在酸性模拟物中的迁移量更高。采用4%乙酸(体积分数)作为酸性食品模拟物过于苛刻,因此选择5 g/L柠檬酸及人造自来水条件下铝迁移量的平均值进行评估。当选择5 g/L柠檬酸作为食品模拟物

时,3次迁移试验中铝的迁移量平均值分别为438.97、294.89、200.63 mg/kg,经计算,估计膳食暴露量分别为每周51.21、34.40、23.41 mg/(kg·BW),分别占铝的健康指导值PTWI的2560.5%、1720.0%、1170.5%;当选择人造自来水作为食品模拟物时,3次迁移试验中铝的迁移量平均值分别为6.14、6.10、5.56 mg/kg,经计算,估计膳食暴露量分别为每周0.72、0.71、0.65 mg/kg·BW,分别占铝的健康指导值PTWI的36.0%、35.5%、32.5%。

由评估结果可知,食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝的估计膳食暴露量占PTWI的比例均已超过20%的贡献率,存在一定的风险,有必要采取相应风险管理措施进行管控。建议进一步开展更为精确的暴露评估,并根据评估结果制定相应的限量要求。此外,还应通过科普宣传引导消费者正确使用铝及铝合金制品,避免无涂层铝和铝合金制品长期接触酸性食品;同时通过行业创新改良产品类型、提升产品质量,更好地控制铝元素的迁移。

3 不确定性分析

本研究存在一定的不确定性。本研究采集的食品接触材料及制品的样品仅考虑了我国居民常用的铝和铝合金材料及制品,并未考虑食品生产过程中可能接触的铝制机械、加工工具等。研究所采集的样品种类基本能够涵盖我国居民常用食品接触用铝和铝合金材料及制品,但采样量有限,一定程度影响了评估结果的代表性。在膳食暴露评估部分,基于保守原则假设成人每天摄入1 kg接触铝和铝合金材料及制品的食物,也导致一定程度高估了膳食暴露评估结果。

4 结论

根据3次迁移试验结果,铝和铝合金材料及制品中铝元素的迁移量在3次迁移试验中无明显规律,因此对于重复使用的铝和铝合金材料及制品,其安全性评估及合规性判定并不能仅依据第3次迁移试验的结果。在相同的迁移试验条件下,4%乙酸(体积分数)中铝元素的迁移水平远高于5 g/L柠檬酸,且存在严重腐蚀现象,提示4%乙酸(体积分数)作为铝和铝合金材料及制品的酸性食品模拟物不够合理。铝元素迁移量随沸腾时间的增长显著增加,采用统一的迁移试验条件并不能代表实际使用情形或最严苛的使用情况。根据初步风险评估结果,食品接触用铝和铝合金材料及制品中铝元素的迁移风险较高,存在一定的安全风险。

参考文献

- [1] 甘莲莲,赵康,马林云. 食品中的铝与人体健康的分析[J]. 中国食品添加剂, 2010(6): 183-186.
- [2] 贾宜昌,钟才云,王颖明,等. 长期摄铝对大鼠海马铝、铁、锌含量和脂质过氧化物的影响[J]. 卫生研究, 2001, 30(3): 132-134.
- [3] 国家食品安全风险评估中心. 中国居民膳食铝暴露风险评估[R]. 国家食品安全风险评估中心, 2012.
- [4] Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). Safety of aluminium from dietary intake[J]. The EFSA Journal, 2008, 754: 1-34.
- [5] European Directorate for the Quality of Medicines & Healthcare (EDQM). Metals and Alloys Used in Food Contact Materials and Articles: A practical guide for manufacturers and regulators [S]. 2013.
- [6] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品接触用金属材料及制品: GB 4806.9—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [7] Italian Ministry of Health. No. 195 Regulation updating limited to stainless steels to the Minister of Health March 21, 1973, entitled: "Regulation of hygiene of packaging, containers and utensils intended to come into contact with foodstuffs or with substances for personal use"[Z]. 2015.
- [8] French General Directorate of Competition, Consumption and Fraud Repression (DGCCRF). Information Notice 2004/64 on Materials in Contact with Foodstuffs[S]. 2004.
- [9] Korean Ministry of Food and Drug Safety. Standards and Specifications for Utensils, Containers and Packages[S]. 2019.
- [10] Japanese Ministry of Health, Labor and Welfare. Public Notice No. 370: Specifications and Standards for Food, Food Additives, Etc. [S]. 2020
- [11] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则: GB 5009.156—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [12] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则: GB 31604.1—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [13] ZHANG H, ZHANG J Y, WANG H L, et al. The revision of aluminum-containing food additive provisions in China [J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2016, 29(6): 461-466.
- [14] The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants: seven-fourth report of Joint FAO/WHO expert committee on food additives[R]. Geneva: WHO, 2011: 7-18.
- [15] 赵长安,王淑秀,李恩,等. 慢性铝染毒大鼠脑及其雌激素受体的变化[J]. 卫生毒理学杂志, 2003, 17(3): 139-142.
- [16] 郑新. 铝对人体健康的影响及食品中铝含量的测定[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2007, 9(1): 36-37.
- [17] Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO). Summary report of the seventy-fourth meeting of JECFA (Seventy-fourth meeting Rome, 14-23 June 2011).