

膳食铝暴露评估及食品中铝限量安全标准研究进展

梁雪金

(南宁市兴宁区疾病预防控制中心, 广西 南宁 530011)

摘要: 随着工业和建筑行业的高速发展, 工业废水、酸雨等污染环境, 以及含铝食品添加剂的滥用和铝包装材料的广泛使用, 铝在食品中的含量达到较高水平。人群通过空气、饮水、食品等途径摄入铝, 造成人体内的平均铝含量已严重超标, 膳食铝暴露是主要原因。对居民膳食铝暴露评估结果表明, 居民通过面制食品摄入的铝量较高, 这与使用铝制器具及在食品中添加含铝添加剂有关。本文将对膳食铝暴露评估及食品中铝限量安全标准研究进展进行综述, 为相关部门修订食品中铝安全标准提供参考。

关键词: 铝; 暴露评估; 安全标准

The progress of aluminum in meals exposure assessment and limited aluminum in foods safety standards

Liang Xuejin

(Xingning District,Nanning Center for Disease Prevention and Control,Guangxi Nanning
530011,China)

Abstract: With the rapid development of industry and the construction sector, a series of environment problems, such as industrial wastewater pollution, acid rain are turning worse. Moreover, the use or abuse of aluminum food additives and aluminum packaging materials, increasing the content of aluminum in food .People ingest aluminium by breathing,eating,drinking and so on, causing average aluminum content in human body exceeded the target value seriously, The aluminum exposure is the main result of average aluminum content in human body exceeded the target value . The assessment result of residents' aluminum intake demonstrates that , people intake more aluminum from wheat flour food, on account of using aluminum utensils and aluminum additive added in the food. The present paper focuses on the main advances in exposure assessment and the maximum permitted levels of aluminium in food ,to offer more reference for formulating the safety standard of aluminum in food .

Keywords: aluminum; exposure assessment; safety standards

随着工业和建筑行业的高速发展, 工业废水、酸雨等污染环境, 以及含铝食品添加剂的滥用和铝包装材料的广泛使用, 铝在食品中的含量达到较高水平。人群通过空气、饮水、食品等途径摄入铝, 造成人体内的平均铝含量已严重超标, 铝可能与人类阿尔茨海默病、乳腺肿瘤等疾病有关^[1-2], 铝对人体健康的影响日益突显。造成人体铝含量超标的原因, 除医疗摄入和职业因素外, 膳食铝暴露是主要原因。我国成人铝的摄入水平明显高于发达国家, 主要是我国日常消费的面制食品中铝

作者简介: 梁雪金(1973-), 女, 广西南宁人, 壮族, 学士, 主管医师, 主要研究方向为食品安全监测

含量较高，与在面制食品中添加含铝添加剂有关。我国食品安全国家标准《食品添加剂使用标准》GB2760—2011 对含铝食品添加剂的使用作出严格规定。2014 年 5 月，国家卫生计生委等 5 部门发布公告（2014 年第 8 号），进一步限制并严格执行含铝食品添加剂的使用。本文将对膳食铝暴露评估及食品中铝限量安全标准研究进展进行综述，为相关部门修订食品中铝安全标准提供参考。

1 铝膳食暴露

人体通过含铝大气颗粒物日摄入铝量极少，JECFA 评估认为来自空气的铝暴露量约为 0.04 mg/d^[3]；通过饮水一般摄入铝量约为 0.1mg/d；通过铝制食具溶出的铝迁移到食物而摄铝量为 1.25～1030mg/d。绝大多数的天然食物含铝量少于 5 mg/kg，但有些食物如马铃薯、菠菜、茶叶和海藻类铝含量偏高。

人们通过进食未加工的食物，摄入的铝量较小，而食用了含铝添加剂加工的食品，摄入的铝量通常增加十几倍甚至上百倍。丘汾等 2010—2011 年从深圳市福田区监测 13 类日常食物，结果各种食物中的含铝量（mg/kg）为：蛋类 0.5，畜肉类 0.5，熟肉制品 0.5，蔬菜类 17.1，粮食 1.9，果汁饮料 0.5，冷冻饮品 3.0，油炸食品 351.2，糕点 123.8^[4]。黄闽燕等^[5]检测杭州市的三类面制品，铝含量的总合格率仅为 20.4%，合格率从低到高分别为油条（3.4%）、发糕（44.4%）、馒头（57.1%），油条铝含量最高值达 1151 mg/kg。梁浩等 2007—2008 年调查深圳市 7 种面制食品的铝含量，结果油条铝含量平均超过国家标准 4.43 倍～5.66 倍，其他种类的食品也存在铝超标的现象^[6]。张磊等 2012 年对大连市食品安全风险监测中，检测 5 份海蜇有 4 份超标，检出范围 93.25～731.66 mg/kg^[7]。据国家食品安全风险评估中心食品监测结果，四成食品铝含量超过国家标准 2—9 倍，市售烘烤面食中铝平均含量为 126 mg/kg、蒸制面食为 149 mg/kg、油条为 495.6 mg/kg、膨化食品为 300 mg/kg^[8]。研究近几年的资料，食品中铝含量超过铝限量标准的主要是海蜇、粉条粉皮、油条、发糕、油炸面制品、蛋糕（糕点）、粉丝、馒头包子类、膨化食品、凉粉凉皮、烘烤食品、茶叶、海藻类，各类食物最高铝含量在 105.1mg/kg～10522 mg/kg^[9-10]。日照市 2011—2012 年市售食品中铝超标含量范围在 105.1 mg/kg～1254.6 mg/kg^[9]，2009—2011 年张家港市市售不合格面制品中约超过 30%铝含量≥400mg/kg^[11]。2011 年深圳市福田区市售不合格面制食品中约超过 50%铝含量≥300mg/kg^[12]。

不仅是明矾等含铝膨松剂在食品中广泛应用，添加一些人工合成色素包括铝色淀也是食品中铝严重超标的原因之一。几年来不断有报道各地对食品中铝含量监测并发现严重超标现象，这应该引起有关部门的高度重视。

2 铝膳食暴露评估

风险评估是对食品、饮料和饲料中的污染物、添加剂、致病菌等对人和动物健康可能造成的不良影响进行科学评价过程，包括危害识别、危害特征描述、暴露评估和风险特征描述四个步骤^[13]，

暴露评估是风险评估中的关键环节^[14]。

自 2009 年，国内外学者陆续对人群膳食中铝暴露进行评估。2012 年欧盟食品安全局（EFSA）对 5 种含铝添加剂膳食暴露评估，结果婴幼儿、儿童、青少年、成年人、老年人 5 个人群含铝食品添加剂的每周暴露量平均值分别介于 2.3~76.9mg/kg b.w./周和 18.6~156.2mg/kg b.w./周，第 95 百分位值分别为 7.4~145.9mg/kg b.w./周和 35.3~286.8mg/kg b.w./周，铝暴露量远超 EFSA 及 JECFA^[15]。

按照 2007 年 JECFA 制定食品铝暂行耐受量 1 mg/kg b.w，蒋琦等 2009 年在广东省监测面制食品，并与 2002 年广东省居民膳食营养与健康状况的调查人群进行铝的暴露评估，结果各年龄、性别组调查人群来自面制食品的铝摄入量平均值和第 97.5 百分位数分别为每日可耐受摄入量（ADI）的 0.61—2.49 倍、3.05—14.78 倍，超出 ADI 倍数最高者为 2—7 岁少年儿童^[16]；杨梅、黄慧萍等 2009—2011 年分别调查深圳市主要食品，与 2008 年深圳市膳食营养状况调查数据进行铝的膳食暴露评估，结果深圳 0~14 岁儿童和一般居民膳食铝摄入量 P50 分别为 1.31mg/d 和 3.20mg/d，而铝摄入量 P97.5 分别为 4.51mg/d 和 9.92mg/d，占 PTWI 的 127%和 122.40%，0~14 岁儿童和居民 P97.5 的膳食铝来源前 3 位的食物种类依次是蔬菜、发酵型面点和豆类^[17-18]；2011 年刘弘等^[19]对上海市居民来自面制食品中的铝暴露评估，结果上海市居民每周来自面制食品铝暴露量平均值和 P90 分别为 3.51mg/kg bw 和 8.26 mg/kg bw，其中<3 岁的婴幼儿、3~17 岁儿童青少年、≥18 岁成人、孕妇每周从面制品中摄入铝平均值和 P90 值分别为 5.93 和 13.86、3.30 和 7.68、1.80 和 4.23、1.78 和 4.12mg/kg bw，摄入铝量以婴幼儿风险最大、儿童青少年次之。

按照 2011 年 JECFA 制定的铝 PTWI 2 mg/kg b.w，孙延斌^[20]等 2011—2012 年监测济南市 4 类食品的铝残留量，以 2002 年山东省居民营养与健康状况调查的居民平均消费量数据进行铝暴露点评估，结果居民来自 4 类食品中铝平均每周摄入量为 9.07 mg/kg b.w，其中面制食品铝的暴露量最高，干腌制水产品次之，铝每周平均摄入量分别为 6.33 和 2.24 mg/kg b.w；2010 年庞洁^[21]等按分层抽样方法采集广西南宁市 6 类面制食品，参考 2002 年广西居民膳食营养调查数据，评估居民面制食品中铝的暴露量，结果南宁市居民从面制食品中平均铝暴露量为每人每周 1.41mg，相当于 PTWI 的 70.5%，铝暴露量 P90 值为每人每周 4.10 mg，为 PTWI 的 205%。

对照铝 PTWI 7mg/kg bw，丘汾等 2010—2011 年在深圳市福田区随机抽检 13 类日常食物，与 2002 年居民膳食营养调查数据进行铝的膳食暴露量评估，结果提示部分面制食品中的铝含量超标较严重，居民每日通过日常食物摄入的铝量为 13.4mg，比 FAO/WHO 的 ADI（60mg/d）值低，但已超过铝耐受量为 1 mg/kg b.w/周（即 8.57mg/d）^[4]。

沈向红等^[22]连续 5 年监测粮食制品，并根据 2008 年浙江省膳食营养调查的食物消费量进行点评估。结果：铝的平均值从 2006 年 541.3 mg/kg 下降到 2010 年的 126.0 mg/kg，超标率为 50.7%；

油条油饼类铝超标率呈下降趋势，馒头、其他粮食类超标率呈上升趋势；成人每日从馒头中摄入的铝从 2006 年的 3.32mg 上升到 2010 年的 14.77mg，摄入比例占每日容许摄入量的 5.53% 上升到近 25%。

广东、上海、济南、浙江省、广西对居民膳食铝暴露评估结果，以面食为主的北方居民膳食铝暴露量较高，但深圳福田区居民通过日常食品摄入的铝量较高，超过了 PTWI 为 1 mg/kg b.w 标准；广东省和上海 2-7 岁儿童通过面食摄入的铝量较高；浙江省通过连续 5 年粮食制品监测，成人从馒头摄入的铝量呈数倍上升。主食面食居民和婴幼儿等人群为膳食铝暴露的高风险人群，且摄入铝量呈上升趋势。

暴露评估往往存在不确定性，比如选用数据的不确定性、暴露评估模型和参数估计的不确定性^[23]。膳食消费量一般来自膳食调查，选用的膳食调查方法不同，食物消费量可能被低估或高估，这都是暴露评估中的不确定性的来源^[24]。在膳食铝暴露评估过程中，还要注意铝含量检测方法和其他因素对数据评估的影响。选用精确的检验方法，建立概率评估软件，将有利于我国食品安全风险评估工作的顺利开展。

3 食品中铝限量标准

联合国粮食及农业组织/世界卫生组织（FAO/WHO）于 1989 年提出铝暂定每周容许摄入量（PTWI）为 7mg/kgB.W，FAO/WHO 联合食品添加剂专家制定委员会（JECFA）2006 年评估铝的安全性时把 PTWI 降至 1mg/kgB.W，2008 年 EFSA 设定为 1mg/kg b.w，2011 年 JECFA 设定为 2 mg/kg b.w/周。

国际食品法典委员会（CAC）的食品添加剂法规（Codex Stan 192-1995）中规定，含铝添加剂不能用于面制食品中；欧盟食品安全局也规定，饮食中铝的每周允许摄入量每公斤体重 1mg，面制品中铝含量不能超过 10 mg/kg；美国 FDA 规定，矾只允许从包装纸和纸板迁入食品，也就是不允许制作食品时加入矾。

我国自 1994 年实施含铝食品添加剂的限量标准 GB15202-1994《面制食品中铝限量卫生标准》，2004 年被 GB15202-2003 替代，2005 年实施 GB2762-2005 代替并废止 GB15202-2003、GB15202-1994，2013 年又被 GB2762-2012 替代。为避免 GB2762 和 GB2760 对面制食品中铝残留限量管理的重复及交叉，面制食品中铝的限量纳入 GB2760 管理。GB2760—2011《食品添加剂使用标准》规定，明矾作为膨松剂和稳定剂，可在豆制品、小麦粉及其制品、虾片、焙烤食品、膨化食品、水产品及其制品中，按生产需要适量添加，铝残留量 $\leq 100\text{mg/kg}$ （干样品，以铝计），铝残留量并没有被修改。2014 年 5 月，国家卫生计生委等 5 部门发布公告（2014 年第 8 号），进一步限制并严格执行含铝食品添加剂的使用，铝残留量仍没有被修改。

4 建议食品中铝安全限量

近年来，随着工业和建筑行业的高速发展，污水、酸雨等污染环境，以及含铝食品添加剂的滥用和铝包装材料的广泛使用，食品中铝含量大约在 $<0.1\sim10522.0\text{ mg/kg}$ 。

含铝泡打粉中铝含量一般在 $3\%\sim5\%$ （有的铝含量高达 67868mg/kg ^[25]），在面制食品中泡打粉的使用量在 $1\%\sim3\%$ 。若用铝含量 2% 的泡打粉按 1% 添加量使用，加工后的食品铝残留量至少在 200mg/kg 。要从根本上控制食品中铝的污染，重点在控制含铝膨松剂的使用^[26]。杨梅等对深圳市学校食堂制作糕点调查发现，使用低铝或无铝膨松剂的糕点类食品的合格率高于使用高铝膨松剂制作的糕点^[27]。厨师使用高铝膨松剂时，难以做到严格按照规定用量标准添加。

海蜇产品中铝残留量更高，一般铝残留量在 $491\sim1735\text{ mg/kg}$ ，均值在 $904.3\sim1035.8\text{ mg/kg}$ 。按农业部 SC/T3210-2001 规定的明矾含量范围，推算出铝含量应在 $683.5\sim1253.2\text{ mg/kg}$ 。而卫生部 GB2760—2011 规定，水产品及其制品中明矾的最大使用量为按生产需要适量使用，要求铝残留量应 $\leq 100\text{ mg/kg}$ （干样品，以铝计），两者之间存在衔接断层的问题^[28]。

由于目前我国市场个体摊贩经营分散而难于管理，制作即食即卖的油炸食品存在生产不规范，使用明矾随意性强甚至滥用，经过培训后仍普遍存在不规范使用现象^[29]。

据我国食品安全风险评估铝含量检测结果显示，我国居民中有 32.5% 的人从饮食中摄入的铝超标，北方居民的平均摄铝量为每周每公斤体重 2.935mg ，是南方居民的 4.6 倍。我国多地对居民膳食铝暴露评估结果，显示北方居民和儿童通过面食摄入的铝量较高，为膳食铝暴露的高风险人群，且摄入铝量呈上升趋势。因此，对于以面食为主的北方居民、喜爱油炸膨化食品和低年龄组的人群及孕妇来说，修改现行的铝限量标准十分必要。

环境污染和铝制容具的广泛应用使得食品中铝含量增高，含铝添加剂没有在包装上标明含量和使用量、使用范围，食品制作者随意添加甚至滥用含铝添加剂，食品安全的监管存在困难甚至出现盲点，而农业部和卫生部对含铝明矾制定标准不衔接等等问题，造成当前食品中铝含量严重超标。根据王林等 1996 年研究，我国居民从日常食物摄入的铝量为 $9\sim12\text{mg/人}\cdot\text{日}$ ，加上铝制炊具加工食物而摄入铝量 $4\text{mg/人}\cdot\text{日}$ ，结果已接近 JECFA 设定的铝成人每天耐受量为 17mg 。所以，应不允许在食品中添加含铝添加剂和用铝包装材料盛装食品，或者更进一步限制含铝添加剂的使用。

因此，建议在全国范围内，制定一个有代表性的食品风险监测计划，测定日常生活食品包括配方奶粉、婴儿食品、海产品、膨化食品、方便食品、炸薯条（片）、瓜子、果脯蜜饯类、蔬菜类、腌菜、罐装饮料、调味品、饮用水等，全面掌握含铝高的食品，估算居民日摄铝量，从而科学制定食品中铝限量安全标准。同时，建立食品安全与健康信息网，定期公布食品质量报告，并向人群提出健康饮食指导。建议在食品包装上标明食品的食用限量。

综上所述，建议不允许含铝添加剂添加到食品中以及用铝材料作食品包装，或者进一步限制含铝添加剂的使用，并且降低食品中铝残留量标准。

5 小结

人体通过空气和饮水摄入铝量很少，造成人体铝含量超标的原因主要是膳食铝暴露，这与使用铝制器具及在食品中添加含铝添加剂有关。国内外学者对居民膳食铝暴露评估结果显示，居民通过面制食品摄入的铝量较高，超过了超过了 PTWI 为 1 mg/kg b.w 标准。暴露评估存在不确定性，主要包括选用数据和暴露评估模型及参数估计不确定性。虽然我国自 1994 年来对含铝食品添加剂的使用标准进行多次修改，但铝残留量标准没有变，鉴于 2011 年 FAO/WHO 食品添加剂专家委员会已将铝元素暂行耐受量改为 2 mg/kg b.w/周，而我国居民铝摄入量已接近 JECFA 设定的铝成人每天耐受量为 17mg。所以，应不允许在食品中添加含铝添加剂和用铝包装材料盛装食品，并且降低食品中铝残留量。有关铝生物毒性报导不断增加，铝的生物利用率和体内除铝的研究不断深入，研究如何排出体内的铝，以及铝与氟、钙、铁、锌、硅、磷等元素在机体内的相互作用有待进一步探讨，这对确定铝与各种疾病的相关关系以及各类膳食营养补充剂对铝在体内代谢平衡的影响有重要意义。

参考文献

- [1]Campdelacreu J.Parkinson disease and Alzheimer disease:environmental risk factors[J/OL].Neurologia,2012[2012-07-13].<http://www.ncbi.nlm.gov/pubmed>.
- [2]Darbre PD,Pugazhendhi D,Mannello F.Aluminium and human breast diseases[J].J Inorg Biochem,2011,105(11):1484-1488.
- [3] WHO.Aluminum (Environmental Health Criteria 194),Geneva:International Programme on Chemical Safety(IPCS)[EB/OL].[2012-04-05].<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc194.htm>.
- [4] 丘汾,黄慧萍,李可,等.深圳市福田区日常食物的铝含量及居民暴露评估 [J].中国卫生检验杂志,2012,22(8):1944-1949.
- [5] 黄闽燕,钟小伶,沈利明.杭州市三类面制品中铝含量的调查分析 [J].中国卫生检验杂志,2010,20(4):890-891.
- [6]梁浩,王舟,潘柳波.深圳市 2007—2008 年市售面制食品中铝污染状况[J].实用预防医学,2010,17(3):502—503.
- [7]张磊,李瑞,郑晓南,等.2012 年大连市食品中食品添加剂监测结果分析[J].实用预防医学,2013,20(7):832—834.
- [8] 沈一萍.你的饮食中铝过量了吗[J].食品与健康,2013,09:48.
- [9]陈建文,李慧,王红玲.日照市 2011~2011 年市售食品中铝含量的调查分析 [J].食品安全质量检测学报,2013,4(2):540—542.
- [10] 李建英.邯郸市 298 份食品铝污染监测结果分析 [J].职业与健康,2011,7(27):1493-1494.

- [11] 于颖慧, 徐正龙, 邱海岩. 2009~2011 年张家港市市售面制中铝含量监测结果分析[J]. 江苏预防医学, 2013,24(2):33-35.
- [12] 李可, 曾胜波, 黄旭丽, 等. 深圳市福田区市售面制食品中铝污染状况[J]. 职业与健康, 2013,29(11):1347—1348.
- [13] 李凤琴, 徐娇, 刘飒娜. 生物利用率在食品污染物风险评估中的应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23 (1) : 17-22.
- [14] 朱蕾, 樊永祥, 徐海滨, 等. 欧美和日本等国食品包装材料膳食暴露评估方法的比较分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24 (5) : 479-484.
- [15] 欧盟食品安全局评估含铝食品添加剂的膳食暴露[J]. 试验报告与理念研究, 2013, 16 (5) : 21.
- [16] 蒋琦, 黄琼, 梁旭霞, 等. 广东省居民面制食品中铝的暴露评估研究 [J] . 中国食物与营养, 2012,18(4):14-17.
- [17] 杨梅, 蒋立新, 王永刚, 等. 深圳市 0~14 岁儿童铝的膳食暴露评估 [J] . 中国预防医学杂志, 2013,14(2):107-109
- [18] 黄慧萍, 杨梅, 陈思俊, 等. 深圳市居民膳食铝暴露分布评估 [J] . 预防医学情报杂志, 2013,29(4):273-275
- [19] 刘弘, 秦璐昕, 罗宝章, 等. 上海居民面制食品中铝暴露的概率评估 [J] . 中国食品卫生杂志, 2011,23(6):496-501.
- [20] 孙延斌, 孙婷, 李士凯, 等. 济南市高含铝食品铝残留量监测及人群暴露评估 [J] . 中国食品卫生杂志, 2013,25(6):564—567.
- [21] 庞洁, 施向东, 梁惠宁, 等. 2010 年南宁市面制食品铝污染状况调查及人群暴露量评估 [J] . 中国食品卫生杂志, 2012,24(1):60—62.
- [22] 沈向红, 吴平谷, 汤鋈, 等. 2006 年年浙江省粮食制品铝变化趋势及暴露评估 [J] . 中国卫生检验杂志, 2013,23(3):759-761.
- [23] 王萍. 食品安全风险评估——风险特征描述[J]华南预防医学,2013,39(5): 89-91.
- [24] 蒋琦, 王萍, 陈子慧. 食品安全风险评估——暴露评估[J]华南预防医学,2013,39(4): 91-93.
- [25] 丘汾, 李可, 刘奋, 等. 深圳市福田区含铝食物添加剂的食品中铝含量的测定[J]中国卫生检验杂志,2012,22(1): 26—30.
- [26] 戴京晶, 刘奋, 丘汾, 等. 深圳市食品膨松剂中铝含量监测结果分析[J]中国卫生检验杂志, 2009,19(5): 1095-1096.
- [27] 杨梅, 蒋立新, 周洁, 等. 福田区学校食堂膨松剂使用状况[J]预防医学情报杂志,2012,29(2): 141-142.

- [28]叶湖, 陈英, 赵晓峰, 等. 海蜇中铝限量标准探讨及安全信用建议[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, 25 (3) : 268—271.
- [29]徐宏伟, 金卫军, 何燕刚. 海盐县 2009 年油条中铝含量监测分析[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 21 (5) : 1306—1308.