

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240202002

果梅蜜饯中铝的污染来源分析及控制措施

郭启新^{#*}, 舒平[#], 陈朋云, 张蕾, 张妮妮, 杨慰, 杨品卓

(大理州质量技术监督综合检测中心, 大理 671000)

摘要: **目的** 了解以果梅为原料生产的蜜饯中铝污染来源和水平, 探寻蜜饯中铝污染的关键环节。**方法** 采集生产企业加工用的原料、辅料、添加剂、加工过程中半成品及成品等样本, 利用电感耦合等离子体质谱法测定其中铝含量, 采用 SPSS 26.0 对其中铝残留量进行统计分析, 提出相应的铝污染控制措施。**结果** 加工用辅料、添加剂、生产用水中铝残留量较低, 83 份果梅本底铝含量范围为 17.54~156.32 mg/kg, 平均值为 (44.99±23.28) mg/kg, 中位数为 38.00 mg/kg, 超过 50 mg/kg 的样本占比 24.1% (20/83)。盐腌制、糖腌制加工对样本中铝残留量差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 不同场所加工的雕梅中铝残留量差异有统计学意义 ($Z = -2.005$, $P = 0.045$), 不同类别蜜饯中铝残留量差异有统计学意义 ($H = 12.718$, $P = 0.005$)。**结论** 果梅原料中含有一定量本底铝值, 盐腌制加工可能是话化类蜜饯中铝污染的主要来源, 糖腌制加工降低了蜜饯中铝的残留量, 使用含铝添加剂可能是糖腌制蜜饯中铝的主要来源, 开展蜜饯中铝污染来源调查和风险控制时, 建议加强对相应环节的控制, 减少蜜饯中铝污染的来源。

关键词: 果梅蜜饯; 铝; 污染来源; 防控措施

Source analysis and control measures of aluminum pollution in preserved fruit by *Prunus mume*

GUO Qi-Xin^{#*}, SHU Ping[#], CHEN Peng-Yun, ZHANG Lei, ZHANG Ni-Ni, YANG Wei, YANG Pin-Zhuo

(Dali Quality and Technical Comprehensive Supervision Testing Center, Dali 671000, China)

ABSTRACT: Objective To understand the source and level of aluminum pollution in preserved fruit by *Prunus mume*, and explore the key links of aluminum pollution in fruit preserves. **Methods** The samples of raw materials, auxiliary materials, additives, semi-finished products and finished products used in the processing of production enterprises were collected, and the aluminum content in them was determined by inductively coupled plasma mass spectrometry, and the aluminum residue in them was statistically analyzed by SPSS 26.0, and the corresponding aluminum pollution control measures were put forward. **Results** The residual aluminum in processing auxiliary materials, additives and production water was lower, the background aluminum content of 83 pieces of plum ranged from 17.54 to 156.32 mg/kg, with an average value of (44.99±23.28) mg/kg and a median value of 38.00 mg/kg,

基金项目: 云南省市场监督管理局科技计划项目(2022YSJK15)

Fund: Supported by the Yunnan Market Supervision Administration Science and Technology Project (2022YSJK15)

#郭启新、舒平为共同第一作者

#GUO Qi-Xin and SHU Ping are Co-first Authors

*通信作者: 郭启新, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测。E-mail: 45542746@qq.com

*Corresponding author: GUO Qi-Xin, Master, Engineer, Dali Quality and Technical Comprehensive Supervision Testing Center, Dali 671000, China. E-mail: 45542746@qq.com

samples exceeding 50 mg/kg accounted for 24.1% (20/83). The difference of aluminum residue between salt curing and sugar curing was statistically significant ($P < 0.05$), the difference of aluminum residue in carved plum processed in different places was statistically significant ($Z = -2.005$, $P = 0.045$), and the difference of aluminum residue in different kinds of candied fruit was statistically significant ($H = 12.718$, $P = 0.005$). **Conclusion** The raw material of plum contains a certain amount of background aluminum value, and the salting process may be the main source of aluminum pollution in candied fruits, the use of aluminum-containing additives may be the main source of aluminum in candied candies. It is suggested to strengthen the control of relevant links to reduce the source of aluminum pollution in candied candies.

KEY WORDS: preserved fruit by *Prunus mume*; aluminum; pollution sources; control strategies

0 引言

果梅蜜饯是以鲜梅为主要原料, 经分级、清洗、食盐腌制或不腌制, 配以白砂糖等辅料, 添加或不添加食品添加剂, 经烘干或晾晒、包装等工艺制成的产品, 果梅蜜饯因口味酸甜、质地柔软又略带韧性而深受广大消费者的喜爱。近年来, 蜜饯中一些潜在的质量问题引起了人们对其食用安全性的担忧^[1-3], 比如, 话化类和凉果类蜜饯中铝残留量相对较高^[4-5], 铝的来源和食用蜜饯的安全性备受关注。铝广泛存在于自然界, 是一种人体非必需的金属元素, 长期过量摄入会造成铝在人体内积累并产生毒性, 可能导致阿尔茨海默症、透析性脑病等神经退行性病变的发生^[6], 高剂量铝还可导致免疫系统毒性、生殖毒性等^[7]。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》^[8]显示, 人体摄入铝的来源包括食品、含铝药物和环境, 其中食品中发现的铝包括食品中天然存在的铝和含铝添加剂使用^[9]。而相关研究表明, 在食品加工过程中, 存在从原、辅料中铝带入和从接触材料至食品体系的铝迁移现象^[10-12]。因此, 在排查蜜饯中铝含量高的原因时, 除排查是否添加含铝食品添加剂外, 应充分考虑食品中天然存在铝和食品在生产加工过程中铝的污染。

目前, 现行有效的 GB/T 10782—2021《蜜饯质量通则》、GB 14884—2016《食品安全国家标准 蜜饯》和 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中均未对蜜饯中铝的限量进行规定, 2016 年国家监督抽检专家研判参考值定值会议暂定蜜饯中铝的检测结果大于 40 mg/kg 的样品为问题样品^[13]。蜜饯中铝残留的情况较为普遍, 且个别产品中铝的残留量超过 800 mg/kg^[4], 因此, 了解蜜饯中铝的来源具有一定的意义。基于此, 本研究拟开展以果梅为原料生产的蜜饯, 对生产加工过程中的样本及生产加工用的原料、辅料、添加剂中铝残留量的污染调查分析, 探寻蜜饯中铝污染的关键环节, 为指导企业建立良好的生产和操作规范、科学监管及制定食品安全标准提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜果梅(*Prunus mume*), 属苦梅, 来源于云南省 6 个果梅主要种植区; 加工半成品样本(盐梅胚、糖渍梅胚和脱盐梅胚)、生产加工用辅料(白砂糖、食盐和水)、食品添加剂(三氯蔗糖、甜菊糖苷、二氧化钛、甘草酸—钾、糖精钠、甜蜜素和肉桂)、加工成品(话梅类、凉果类、果脯类)均来源于蜜饯生产加工企业。

铝元素标准溶液、钪元素标准溶液(内标)(1000 $\mu\text{g/mL}$, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 硝酸(超级纯, 苏州晶瑞化学股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

NeXion 300X 电感耦合等离子体质谱仪(美国 PerkinElmer 公司); MARS 5 微波消解仪(美国 CEM 公司); 101-3EBS 电热鼓风干燥箱(北京市永光明医疗仪器有限公司); BSA224S 型分析天平[精度 0.1 mg, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; Millipore-Direct-Q5 纯水机(美国 Millipore 公司)。

1.3 方法

1.3.1 样本采集和检测

果梅采样时, 结合果园内果树实际分布状态, 采用了对角线法、棋盘法或蛇行法随机多点采样^[14], 其他样本采样时充分保证样本的代表性; 制样时液体样本充分混匀, 固体样本采用四分法缩分^[15]; 挑选 6 批果梅原料进行清洗、检测其中铝的含量, 经腌制、脱盐, 添加食品添加剂、干燥等工艺制成蜜饯, 分析蜜饯在加工过程中铝污染的来源; 按照 GB 5009.182—2017《食品安全国家标准 食品中铝的测定》第一法要求, 对样品进行制备和前处理, 采用 GB 5009.182—2017 第二法对样本中铝残留量(以干基计)进行测定。

1.3.2 质量控制

所有样品均进行 2 次独立分析测定, 同时进行空白试验和加标回收率试验, 另外, 采用实验室间比对分析, 保

证数据的准确性。加标回收率控制在 80%~108%；实验室内 2 次独立分析检测值和实验室间比对结果的相对标准偏差满足检测方法要求。

1.3.3 数据处理

对于污染物数据中低于检出限(limit of detection, LOD)的数据以 1/2 LOD 计算^[16], 大于 LOD 的数据以实际数值计, 以大于 40 mg/kg 视为超过参考值。检测结果通过 Excel 2007 录入, 统计采用 SPSS 26.0 软件处理, 鲜果梅中本底铝含量水平采用单样本 *t* 检验, 加工过程样本中铝残留量的差异采用配对 *t* 检验, 偏态分布的两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验, 多组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验, 所有检验均为双侧检验, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

1.3.4 膳食暴露评估

考虑到食品中天然来源、饮用水来源及其他污染来源的铝, 对蜜饯中铝进行暴露评估时, 参考国际通行做法, 假设来源于蜜饯中铝元素的暴露量贡献率为 20%^[10]。从各类蜜饯中铝的估计膳食暴露量占联合国粮食及农业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)^[17]的比例与国际通行做法比较, 估计其风险。

2 结果与分析

2.1 加工用原料中铝残留量分析

从 6 个果梅主要种植区采集的 83 份样本的铝含量范围为 17.54~156.32 mg/kg, 平均含量为(44.99±23.28) mg/kg, 中位数为 38.00 mg/kg, 通过单样本 *t* 检验, 果梅中铝含量与刘虹涛等^[18]测定葡萄、梨、苹果、桃等水果中铝含量存在显著差异($P=0.002$), 说明果梅中铝含量较其他水果高, 果梅中铝可能来源于环境, 结合态铝逐步转化为离子态铝进入土壤和水体, 这些铝离子又被植物吸收^[19], 吸收的程度与植物特性和土壤酸度有关^[20]。铝在各类食品中含量差别较大, 其规律表现为植物性食品高于动物性食品, 相关文献报道^[21-23]显示, 未加工的蔬菜、水果、粮谷、动物性食品中的本底铝含量通常低于 10 mg/kg, 以国家监督抽检对蜜饯中铝的研判参考值 40 mg/kg 为依据, 假定生产蜜饯使用的辅料和食品添加剂中铝的贡献率忽略不计, 按果梅原料在话化类产品中占比 80%进行折算, 原料果梅中铝含量不得超过 50 mg/kg, 本研究采集超过 50 mg/kg 的样本占比 24.1% (20/83), 可见, 果梅中本底铝含量较高。建议生产加工企业在收购、选用果梅作为生产话化类蜜饯的原料时, 企业应将果梅中铝残留量作为原料质量控制指标, 严格把控原料的质量, 降低蜜饯中铝残留量。

2.2 加工用辅料、添加剂中铝残留量分析

本研究取 4 家企业加工用水、食盐和白砂糖分别进行

检测, 经检测加工用水中铝含量范围为 0.01~0.05 mg/L, 均低于 GB 5749—2022《生活饮用水卫生标准国家标准》规定的 0.2 mg/L 限值。加工用食盐中铝平均含量为 0.97 mg/kg, 白砂糖中铝平均含量 0.66 mg/kg, 均高于检测方法的 LOD (0.5 mg/kg), 低于检测方法的定量限(2.0 mg/kg), 以食盐、白砂糖在生产中分别添加 20%和 15%占比计算, 假设其中铝全部带入产品中, 由食盐和白砂糖贡献的铝残留量分别为 0.19 mg/kg 和 0.10 mg/kg, 可以忽略。

实际生产中话化类蜜饯中食品添加剂种类最多, 相关文献报道话化类蜜饯中铝残留量较高^[4-5], 本研究以话梅中添加食品添加剂为例, 分析添加剂中铝含量在话梅中的贡献量。由表 1 可知, 话梅中添加的 7 种添加剂, 除肉桂中铝含量较高外, 其余添加剂中铝含量较低, 肉桂添加量占比仅为 0.2%, 在话梅中铝贡献量为 0.418 mg/kg, 贡献量较小。若 7 种添加剂都进入产品中, 添加剂在话梅中铝贡献量总和为 0.539 mg/kg, 表明添加剂对话梅中铝残留量影响较小。另外, 根据 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用》规定, 在实际生产中, 有可能使用的含铝合成着色剂, 按照陈瑞敏等^[5]对蜜饯生产使用着色剂中铝的带入量 0.009 g/kg, 以国家监督抽检对蜜饯中铝的研判参考值 40 mg/kg 为依据, 蜜饯生产使用着色剂中铝的最大带入量占比 22.5%, 由此可见, 生产企业在话化类蜜饯生产中使用合成着色剂时要充分考虑合成着色剂中铝残留量。

表 1 添加剂中铝残留量及其在蜜饯中铝贡献量
Table 1 Residual amount of aluminum in different additives and its contribution in preserved fruit

名称	铝残留量平均值 (mg/kg)	加入比/%	铝贡献量 (mg/kg)
三氯蔗糖	0.8	0.15	0.0012
甜菊糖苷	1.4	0.33	0.0046
二氧化钛	21.4	0.2	0.043
甘草酸一钾	2.9	2	0.058
糖精钠	0.7	0.5	0.0035
甜蜜素	1.3	0.8	0.0104
肉桂	209.2	0.2	0.418
总和	237.7	4.18	0.539

2.3 加工过程样本中铝残留量分析

2.3.1 盐腌制过程样本中铝残留量分析

挑选 6 批鲜果梅进行清洗, 检测铝残留量范围 18.2~62.3 mg/kg, 平均值为 34.25 mg/kg, 中位数为 29.5 mg/kg, 在实际生产中, 将清洗后的果梅用盐腌制, 对腌制果梅中铝残留量进行检测, 样本中铝的残留量范围为 46.4~174.6 mg/kg, 平均值为 77.3 mg/kg, 中位数为 55.5 mg/kg, 盐腌制前、后样本中铝残留量差异有统计学意义($Z=2.201$, $P=0.028$), 说

明盐腌渍过程中有样本受到铝的污染。在实际的腌制中, 生产企业常采用覆盖有涂料的水泥池腌制鲜果梅制成梅胚, 将其进行保存, 小作坊农户常在水泥制容器内覆盖塑料膜。在腌制果梅时, 为使果梅脱水, 常在腌制梅果上实施压力^[24], 生产中常用石块压制, 腌制池涂层和压制石块在高盐、高酸环境中易破损受到腐蚀, 在腌制期间, Na^+ 逐渐渗透到果梅中, 与果梅中 H^+ 、 Al^{3+} 等离子交换, 果梅中 H^+ 、 Al^{3+} 等离子通过渗透或扩散作用慢慢溶出, 直至腌制液与果梅中的 Na^+ 浓度一致, 不再发生离子交换, 迁移达到平衡使腌制果梅受到铝的污染^[13,25]。建议加工企业采用食品级聚乙烯容器或采用完好加固的涂层容器腌制果梅。

2.3.2 梅胚到成品加工样本中铝含量分析

盐腌制梅胚经晾晒、用水浸泡脱盐、晾晒、与添加剂混合后, 制成话化类的成品。取话化类成品进行其中铝残留量检测, 检测值为 44.3~171.5 mg/kg, 平均值 76.2 mg/kg, 中位数为 55.0 mg/kg, 脱盐梅胚到成品加工样本中铝残留量差异无统计学意义 ($Z=-1.156$, $P=0.248$), 说明脱盐梅胚加工到成品话化类蜜饯中铝含量变化较小, 生产过程中没有铝的污染。

2.3.3 糖腌制过程样本中铝含量分析

在实际生产中, 糖腌制蜜饯中雕梅的生产工艺最为复杂, 本研究以盐腌制 6 批果梅为原料用糖腌制雕梅为例。取糖腌制果梅雕花、干燥, 加糖粉或不加糖粉, 取相应样本进行铝残留量检测, 糖腌制后样本中铝残留量范围为 6.4~31.2 mg/kg, 平均值为 15.93 mg/kg, 中位数为 13.00 mg/kg, 糖腌制前、后样本中铝残留量差异有统计学意义 ($Z=-2.207$, $P=0.027$), 同时取糖腌制液中铝含量进行检测, 检测值为 1.27~4.45 mg/kg。在实际生产中, 生产企业多采用食品级聚乙烯容器进行糖渍, 果梅在高渗透压糖溶液中游离态铝从食品内部随水分可部分流至腌制溶液中, 一般无机态的铝更容易从食品内部向外部迁移, 有机态铝在食品中较稳定, 不易从食品中迁出^[26-27], 这与蜜饯在腌制过程中铅、砷、镉、铬可向腌制液中迁移, 在一定程度上减少了蜜饯铅、砷、镉、铬元素的残留的结论一致^[28]。

2.4 不同场所加工的雕梅中铝残留量分析

对小作坊加工的雕梅和生产企业加工的雕梅分别进行检测, 小作坊加工 6 批次雕梅铝残留量范围 3~376 mg/kg, 平均值为 171.66 mg/kg, 中位数为 167.00 mg/kg; 生产企业加工 6 批次雕梅铝残留量范围 3~37 mg/kg, 平均值为 20.00 mg/kg, 中位数为 19.00 mg/kg。不同场所加工的雕梅中铝残留量差异有统计学意义 ($Z=-2.005$, $P=0.045$), 小作坊加工雕梅的铝含量明显高于生产企业加工雕梅, 生产企业加工工艺稳定, 对食品添加剂的使用相对规范, 雕梅铝含量控制在较低的含量范围内。在早期的蜜饯加工中, 小作坊加工雕梅常使用适量的硬化剂(明矾、氯化钙、石灰等)来保持产品松脆和加工后的外形^[5,29]。按照 GB 2760—2014 要求, 不允许在蜜饯类产品中添加含铝食品添加剂, 生产过程中严禁使用含铝的食品添加剂, 生产企业应改进生产工艺, 满足产品加工需要。但实际上, 国家对生产蜜饯的原料并未纳入生产许可管理, 加上部分蜜饯半成品盐坯(果坯)来自农户, 使监管更加困难。

2.5 不同类别蜜饯中铝残留量分析

随机选取以果梅为原料制成的各类蜜饯样品共 109 批次, 各类样品中铝含量结果见表 2, 不同类别蜜饯铝含量采用 Kruskal-Wallis H 检验, 差异有统计学意义 ($H=12.718$, $P=0.005$), 与陈瑞敏等^[5]对各类蜜饯中铝的残留量不全相同的结论一致。从表 2 可以看出, 在各类蜜饯中铝残留均有检出, 铝残留量 >40 mg/kg 样本量最多是话化类, 其次为果脯类、凉果类, 蜜饯类没有检出 >40 mg/kg 的样品。有 31% (14/45) 话化类蜜饯超过 40 mg/kg, 可能是话化类产品在腌制过程中采用水泥制容器带来污染的主要原因^[13], 果脯类、蜜饯类、凉果类在实际生产中通常采用聚乙烯容器用糖腌制, 减少了水泥制腌制池带来的污染。本次分别检出 4 批次和 1 批次的果脯类和凉果类铝残留量超过 40 mg/kg, 可能在果脯加工过程中为保持产品特性添加含铝的添加剂, 与邹晓华等^[30]测定果脯中铝含量高的原因是由于在果脯制作过程中添加了含铝膨松剂得出的结论是一致的。

表 2 不同类别样品中铝残留量结果分析
Table 2 Analysis of aluminum residue in different samples

样品类别	样本量/批	铝残留量平均值/(mg/kg)	标准偏差	铝残留量中位数/(mg/kg)	铝残留量范围/(mg/kg)	铝残留量>40 mg/kg的样本量/批
话化类	45	46.09	43.41	31.80	5.11~195.04	14
果脯类	25	59.82	79.41	26.00	2.57~269.10	4
蜜饯类	22	13.51	4.74	14.08	3.41~19.32	0
凉果类	17	32.20	43.11	19.58	2.75~128.32	1
总和	109	42.00	51.38	24.67	2.57~269.10	19

2.6 蜜饯中铝膳食暴露评估

从表 2 可知, 各类蜜饯中铝残留量平均值和中位值分别为 42.00 mg/kg 和 24.67 mg/kg, 以一个体重为 60 kg 成年人, 按每天食用蜜饯最大消费量 0.15 kg 计算^[31], 居民通过蜜饯中铝的每周平均膳食暴露量分别为 0.74 mg/(kg·bw) 和 0.43 mg/(kg·bw), 分别占铝的健康指导值暂定每周耐受摄入量的 37.0% 和 21.6%, 其值均已超过 20% 的贡献率, 存在一定的风险, 同样, 宋美英等^[4]结合了暴露评估标准和点评估方法, 也得出了蜜饯中铝残留量结果对少年儿童和成年女性暴露风险较高的结论。因此, 有必要采取相应风险管理措施对可能存在关键污染工艺进行管控。按照果梅蜜饯中铝残留量平均值 42.0 mg/kg, 以来源于蜜饯中铝元素的暴露量贡献率为 20% 计算, 成年人每日蜜饯最大食用量不超过 0.08 kg 时, 蜜饯中铝残留量的膳食暴露风险较低。

3 讨论与结论

本研究采集了蜜饯生产加工用主产区原料、辅料、添加剂、半成品、成品等样本对其中的铝含量进行检测, 比较蜜饯加工过程中的清洗腌制、脱盐、晾晒、与添加剂混合等过程中半成品及成品中铝残留量的变化。结果显示, 加工用辅料、添加剂、生产用水中铝含量较低, 对蜜饯中铝残留量影响较小, 鲜梅果原料中铝含量超过 50 mg/kg 样本占比 24.1% (20/83), 总体果梅中铝含量比一般水果明显较高 ($P=0.002$)。GB 2762—2022 规定无论是否制定污染物限量, 食品生产和加工者均应采取控制措施, 使食品污染物的含量达到最低水平。通过排查和数据统计分析, 蜜饯生产加工环节存在铝污染风险, 尤其是小作坊加工比较突出 ($Z=-2.005$, $P=0.045$)。用盐腌制时, 水泥制容器受到腐蚀是话化类蜜饯中铝污染的主要原因; 采用聚乙烯容器用糖腌制时, 会降低蜜饯中铝的残留量; 果脯类、蜜饯类、凉果类样本中铝含量超过 40 mg/kg 的原因可能是超范围使用含铝添加剂, 也可能是由于鲜果梅中本底铝含量高导致的。

由评估结果可知, 蜜饯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。因此, 建议在开展蜜饯中铝的风险监测参考值研判和果梅蜜饯中铝污染防控时, 应考虑原料中铝的本底含量, 生产中注重原料的清洗, 严控在腌制过程中容器受高盐、高酸腌制液腐蚀带入食品污染, 不得超范围使用含铝食品添加剂, 未来可以在脱除食品中铝污染作进一步的研究。但是, 本研究仅采集了云南省主产区的果梅原料进行铝含量分析, 还不足以代表全国果梅中铝的本底含量, 另外, 蜜饯样本量相对较少, 风险评估还不够准确, 研究还存在一定的局限性。

参考文献

- [1] 卫世乾. 我国果脯行业现状、问题及对策[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(8): 212–215.
WEI SQ. The current condition and main problems in preserved fruit industry and measures for improvement [J]. Food Res Dev, 2016, 37(8): 212–215.
- [2] 雷蕾, 梁先龙, 冯娟, 等. 蜜饯行业主要质量安全问题分析[J]. 现代食品, 2020, 5(10): 146–147.
LEI L, LIANG XL, FENG J, *et al.* Analysis of quality safety on preserved fruits [J]. Mod Food, 2020, 5(10): 146–147.
- [3] 王芳, 宋晟, 戴璇, 等. 蜜饯食品质量与风险现状分析[J]. 食品工业, 2023, 44(12): 325–330.
WANG F, SONG S, DAI X, *et al.* Analysis of quality safety and food risk on preserved fruits [J]. Food Ind, 2023, 44(12): 325–330.
- [4] 宋美英, 乐丽华, 罗钰珊. 蜜饯中铝残留量的结果分析及健康风险评估[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 330–333.
SONG MY, LE LH, LUO YS. Analysis and health risk assessment of aluminum residue in preserved fruits [J]. Food Ind, 2020, 41(1): 330–333.
- [5] 陈瑞敏, 袁洁, 温力力. 蜜饯中铝残留量的检测及结果分析[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 149–152.
CHEN RM, YUAN J, WEN LL. Investigation and analysis of residual aluminum in preserved fruits [J]. Food Res Dev, 2017, 38(6): 149–152.
- [6] 亓凤丽. 铝接触与神经毒性作用研究进展[J]. 预防医学情报杂志, 2001, (6): 442–443.
QI FL. Research progress of alu-minum exposure and neurotoxicity [J]. J Prev Med Inf, 2001, (6): 442–443.
- [7] LANKOFF A, BANASIK A, DUMA A, *et al.* A comet assay study reveals that aluminium induces DNA damage and inhibits the repair of radiation-induced lesions in human peripheral blood lymphocytes [J]. Toxicol Lett, 2006, 161(1): 27–36.
- [8] 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.
China National Center for Food Safety Risk Assessment. Dietary exposure of aluminum in Chinese population [R]. China National Center for Food Safety Risk Assessment, 2012.
- [9] ERTL K, GOESSLER W. Aluminium in foodstuff and the influence of aluminium foil used for food preparation or short time storage [J]. Food Addit Contam B, 2018, 11(2): 153–159.
- [10] 张泓, 李倩云, 陈少鸿, 等. 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[J]. 中国食品卫生杂志, 2022, 34(1): 92–97.
ZHANG H, LI QY, CHEN SH, *et al.* Study of migration and safety assessment of aluminum in food contact aluminum and aluminum alloy materials and articles in China [J]. Chin J Food Hyg, 2022, 34(1): 92–97.
- [11] 梁军, 邓后勤, 李文祥, 等. 接触材料中重金属铅、镉向蜜饯腌制体系迁移的模拟分析[J]. 湖南农业科学, 2019, (2): 76–78.
LIANG J, DENG HQ, LI WX, *et al.* Simulation analysis on migration of lead and cadmium from contact materials into pickling system of candied fruit [J]. Hunan Agric Sci, 2019, (2): 76–78.
- [12] 郭启新, 张蕾, 陈朋云, 等. 果梅腌制过程中铝迁移规律的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(1): 120–126.
GUO QX, ZHANG L, CHEN PY, *et al.* Study on the aluminum migration rule during the pickling of *Prunus mume* [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(1):

- 120–126.
- [13] 岑琴, 赵卉, 胡梦坤. 食品中铝的风险评估[J]. 农业科技与装备, 2019, 4: 54–55.
CEN Q, ZHAO H, HU MK. Risk assessment of aluminium in food [J]. Agric Sci Technol Equip, 2019, 4: 54–55.
- [14] 李晓, 李媛, 张建成, 等. 陕西红枣中苯甲酸的本底值分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 254–259.
LI X, LI Y, ZHANG JC, *et al.* Analysis of the background value of benzoic acid in Shaanxi jujube [J]. Mod Food Sci Technol, 2022, 38(4): 254–259.
- [15] 张卿, 毛伟峰, 郭卫东, 等. 某市液态奶中氯酸盐和高氯酸盐污染来源分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(20): 7940–7945.
ZHANG Q, MAO WF, GUO WD, *et al.* Source analysis of chlorate and perchlorate pollution in liquid milk in a city [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(20): 7940–7945.
- [16] Pest Management Regulatory Agency. Assigning values to nondetected/nonquantified pesticide residues in food [M]. Ottawa: Health Canada, 2009.
- [17] JECFA. Summary report of the seventy-fourth meeting of JECFA [C]. Rome: JECFA Seventy-Fourth Meeting, 2011.
- [18] 刘虹涛, 方赤光, 李青, 等. 蔬菜和水果中铝含量的测定分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(20): 3559–3560.
LIU HT, FANG CG, LI Q, *et al.* Determination and analysis of aluminium contents in vegetables and fruits [J]. Chin J Health Lab Technol, 2015, 25(20): 3559–3560.
- [19] YANG JL, LI YY, ZHANG YJ, *et al.* Cell wall polysaccharides are specifically involved in the exclusion of aluminium from the rice root apex [J]. Plant Physiol, 2008, (146): 602–611.
- [20] 郭启新, 舒平, 甘献明, 等. ICP-MS 方法测定地参中铝及其来源的探讨[J]. 食品工业, 2014, 35(4): 108–112.
GUO QX, SHU P, GAN XM, *et al.* Exploration on detecting the content of aluminium and its source of *Lycopus lucidus* Turcz by ICP-MS [J]. Food Ind, 2014, 35(4): 108–112.
- [21] European Food Safety Authority. Safety of aluminium from dietary intake—scientific opinion of the panel on food additives, flavorings, processing aids and food contact materials (AFC) [J]. EFSA J, 2008, 6(7): 1–34.
- [22] 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量评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(8): 1944–1949.
QIU F, HUANG HP, LI K, *et al.* Evaluation of aluminium level and exposure in daily food in Futian district of Shenzhen [J]. Chin J Food Hyg, 2012, 22(8): 1944–1949.
- [23] 尚德荣, 宋烽, 许玉艳, 等. 食品中铝的风险评估研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2013, 3(1): 6–12.
SHANG DR, SONG Y, XU YY, *et al.* Risk assessment of aluminum from dietary exposure [J]. Chin Fish Qual Stand, 2013, 3(1): 6–12.
- [24] 林耀盛, 刘学铭, 钟炜雄, 等. 青梅腌制过程中主要成分和有机酸谱变化[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(4): 42–47.
LIN YS, LIU XM, ZHONG WX, *et al.* Changes of dominant composition and organic acid profile of *Prunus mume* during pickling process [J]. J Food Sci Technol, 2013, 31(4): 42–47.
- [25] 金惠玲, 孙振平, 杨海静, 等. 两种酸溶液对水泥浆体的腐蚀及机理[J/OL]. 建筑材料学报: 1–12. [2024-03-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1764.TU.20230603.1052.004.html>
JIN HL, SUN ZP, YANG HJ, *et al.* Study on corrosion laws and mechanisms of portland cement and aluminate cement [J/OL]. J Build Mater: 1–12. [2024-03-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1764.TU.20230603.1052.004.html>
- [26] LODEIRO P, LÓPEZ-GARCÍA M, HERRERO L, *et al.* Aphysicochemical study of Al³⁺ interactions with edible seaweed biomass in acidic waters [J]. J Food Sci, 2012, 77(9): 987–993.
- [27] LIU ZY, WU JN, LI L, *et al.* Kinetics of cadmium, lead and aluminum bioaccumulation by *Enteromorpha prolifera* [J]. Mod Food Sci Technol, 2014, 30(10): 154–158.
- [28] 李文祥, 周颂航, 王灿, 等. 蜜饯腌制过程中重金属的迁移变化[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 60–62, 66.
LI WX, ZHOU SH, WANG C, *et al.* Migration an change of heavy metal during the pickling of candied fruits [J]. Food Mach, 2018, 34(12): 60–62, 66.
- [29] 唐欢欢, 范子玮, 邓利玲, 等. 明矾和魔芋葡甘聚糖对红薯粉丝品质的影响及相互作用机理[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(9): 233–241.
TANG HH, FAN ZW, DENG LL, *et al.* Effects of alum and konjac glucomannan on the quality of sweet potato noodles and their interaction mechanisms [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(9): 233–241.
- [30] 邹晓华, 王军, 马辉. 用电感耦合等离子体质谱法测定果脯中铝的结果分析[J]. 医学动物防制, 2014, 30(9): 1056–1057.
ZOU XH, WANG J, MA H. Results analysis of inductively coupled plasma mass spectrometry determination on aluminum in preserved fruit [J]. J Med Pest Control, 2014, 30(9): 1056–1057.
- [31] 唐静, 阮若云, 刘晓飞, 等. 蜜饯食品中二氧化硫的检测分析与健康风险评估[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(8): 164–167.
TANG J, RUAN RY, LIU XF, *et al.* Detection analysis and health risk assessment of sulfur dioxide residue in sweetmeat [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(8): 164–167.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介

郭启新, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测。
E-mail: 45542746@qq.com

舒平, 正高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测。
E-mail: 757637894@qq.com