DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250910006
引用格式: 姚博伟, 张译匀, 李应东, 等. 西北某省市售面制品中铝残留量调查及膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(7): 136–142.
YAO BW, ZHANG YY, LI YD, *et al*. Investigation on aluminum residues and risk assessment of dietary exposure in flour products sold in a certain province in Northwest China [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(7): 136–142. (in Chinese with English abstract).

西北某省市售面制品中铝残留量调查及膳食暴露风险评估

姚博伟*, 张译匀, 李应东, 朱秋楠, 张 哲
(宁夏计量质量检验检测研究院, 银川 750200)

摘 要: 目的 调查西北某省市售面制品中铝残留量状况, 并对其人群膳食暴露风险进行评估。**方法** 采集2023—2024 年西北某省市售油炸面制品、烘焙面制品、凉皮等共计 333 批次, 按照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中规定的电感耦合等离子质谱法进行检测, 运用污染指数法对面制品中铝残留量情况进行分析, 根据成人膳食消费量, 应用点评估方法对居民的铝膳食暴露风险进行评估。**结果** 在 333 批次面制品样品中, 铝的总体检出率为 85.3%, 超标率为 0%, 平均残留量为 5.71 mg/kg。3 种市售面制品中铝元素单因子污染指数均小于 1, 综合污染指数均小于 0.7, 污染水平为清洁, 污染等级为安全。该省成年居民通过 4 种市售面制品对铝的膳食暴露量平均值为每周 0.019 mg/(kg·BW), 占铝的暂定每周摄入量(provisional tolerated weekly intake, PTWI)的 0.97%。高暴露人群通过 4 种市售面制品对铝的膳食暴露量平均值为每周 0.046 mg/(kg·BW), 占 PTWI 的 2.32%。4 种面制品中, 对铝膳食暴露量贡献最高的是油炸面制品。该省各年龄段不同性别成年居民(18~44 岁、45~60 岁、60 岁以上男女)每日食用面制品铝膳食暴露量均值和第 95 百分数(P_{95})值均未超过 PTWI, 说明该省市售面制品中铝膳食暴露风险较低。**结论** 2023—2024 年西北某省各类市售面制品铝污染情况总体较轻, 安全程度较高, 各年龄段不同性别成年居民平均膳食暴露和高暴露膳食风险均在可接受范围内, 但仍需持续关注和监测面制品食品安全风险, 采取措施进一步防范和减少面制品中铝膳食暴露风险。

关键词: 面制品; 铝; 膳食暴露; 风险评估

Investigation on aluminum residues and risk assessment of dietary exposure in flour products sold in a certain province in Northwest China

YAO Bo-Wei*, ZHANG Yi-Yun, LI Ying-Dong, ZHU Qiu-Nan, ZHANG Zhe
(*Ningxia Academy of Metrology & Quality Inspection*, *Yinchuan* 750200, *China*)

ABSTRACT: Objective To investigate the aluminum residue levels in flour products sold in a certain province in

收稿日期: 2025-09-10
基金项目: 宁夏市场监管厅科技计划项目(2024SJKY0005); 2023 年度宁夏回族自治区青年科技托举人才培养项目(宁科协发组字〔2024〕6 号); 宁夏科技惠民项目(2024CMG03049)
第一作者/*通信作者: 姚博伟(1993—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为应用微生物及食品质量安全。E-mail: ybw2016@sina.com

Northwest China and assess population dietary exposure risks. **Methods**　A total of 333 fried flour products, baked goods and Liangpi sold in a certain province in Northwest China from 2023 to 2024 were collected. The products were tested using the inductively coupled plasma mass spectrometry method specified in GB 5009.268—2016 *National food safety standard-Determination of multi-elements in foods*, with contamination indices analyzed to evaluate aluminum residues. Dietary exposure risks were assessed using point evaluation methods based on adult consumption patterns. **Results**　Among 333 batches of wheat flour product samples, the overall detection rate of aluminum was 85.3%, the exceedance rate was 0%, and the average residual concentration was 5.71 mg/kg. For the 3 kinds of commercially available wheat flour products, the single-factor pollution index of aluminum was all less than 1, and the comprehensive pollution index was all less than 0.7, indicating a clean pollution level and a safe pollution grade. The average dietary aluminum exposure of adult residents in this province through the 4 kinds of commercially available wheat flour products was 0.019 mg/(kg • BW), which accounted for 0.97% of the provisional tolerated weekly intake (PTWI) of aluminum. For the high-exposure population, the average dietary aluminum exposure through the 4 kinds of commercially available wheat flour products was 0.046 mg/(kg • BW), accounting for 2.32% of the PTWI. Among the 4 kinds of wheat flour products, fried wheat flour products contributed the most to dietary aluminum exposure. For adult residents of different genders and age groups (18–44 years old, 45–60 years old, and over 60 years old) in this province, both the mean value and the 95th percentile (P_{95}) value of daily dietary aluminum exposure from wheat flour products did not exceed the PTWI, which indicated a low risk of dietary aluminum exposure from commercially available wheat flour products in this province. **Conclusion**　In a province in Northwest China, various types of commercially available wheat flour products exhibit generally mild aluminum pollution and relatively high safety from 2023 to 2024. Consistent with the low aluminum residual levels detected, the average dietary exposure and high-exposure dietary risks of aluminum for adult residents across different genders and age groups remain within acceptable ranges. However, continuous attention and monitoring of food safety risks in wheat flour products are still necessary, and targeted measures should be implemented to further prevent and reduce the risk of dietary aluminum exposure from these products.

KEY WORDS: flour products; aluminum; dietary exposure; risk assessment

0　引　言

铝是一种人们在日常生活中接触频繁的, 在自然界中广泛分布的金属元素[1]。它是一种人体非必需微量元素, 铝与铝盐被广泛应用于食品添加剂、絮凝剂、药物、食品包装和炊具、容器等[2], 它可通过以上途径进入人体, 饮食是其主要的人体摄入途径[3]。研究表明, 铝具有一定的毒性和生物蓄积性[4], 可对人体的神经系统、免疫系统、骨骼、血液循环系统造成损伤, 进而威胁人类身体健康[5–7]。铝造成的神经毒性备受学者关注, 对于儿童和青少年人群, 过量的铝摄入可导致智力发育迟缓和认知障碍[8]。

食品中铝的来源主要是含铝的食品添加剂[9]。1989 年, 联合国粮农组织/世界卫生组织专家委员会(Joint Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization Expert Committee on Food Additives, JECFA)正式将铝作为食品污染物进行管理控制[10]。诸多调查研究表明, 不同国家不同地区不同食品中均存在一定程度的铝污染[11–17]。MA 等[13]对中国食品铝含量进行调查和风险评估, 结果表明中国全人群铝膳食平均暴露量为每周每千克体重 1.795 mg, 面粉及面制品是铝膳食摄入的主要来源(贡献率占 85%)。李娟等[14]对江西省 8 类 1686 件食品中铝进行膳食风险评估, 铝的检出率为 77%。蒋皓等[9]对 2015—2021 年杭州市 17 类食品中铝进行含量调查和风险评估, 结果表明检出率为 84.4%, 超标率为 41.2%, 包子、馒头等各类面制品贡献率最高。面制品是我国人民经常使用的主食之一, 在膳食结构中占有重要地位, 但在加工制作过程中, 会加入一定量的含铝膨松剂, 但如果使用不当或过量添加, 会对人体造成健康危害[15]。我国现行 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中对含铝添加剂适用范围和限量进行了严格规定。上海[4]、郑州[15]、武汉[16]、深圳[17]等地均对面制品中铝含量进行了调查监测和风险评估。因此面制品中铝的暴露风险评估具有十分重要的意义。本研究采用电感耦合等离子体质谱法检测 2023—2024 年 333 份西北某省市售面制品中铝残留量, 结合面制品膳食消费调查数据, 应用污染指数法、点评估法对其潜在健康风险进行评估, 获得该省市售面制品铝残留量情况和膳食暴露风险数据, 以期为监管部门制定相应监

管措施降低食品中铝污染提供理论参考和依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

于 2023 年 1 月—2024 年 11 月从西北某省内各地级市超市、农贸市场、小作坊、餐饮经营单位等场所随机抽取 333 批次面制品, 种类包括油炸面制品(油条、油饼)100 批次、焙烤面制品(饼干和糕点 96 批次、面包 86 批次)和凉皮、酿皮等地方特色食品 51 批次。

铝标准溶液(GSB G 62006-90, 质量浓度 1000 μg/mL)(国家钢铁测试中心钢铁研究总院); 硝酸(色谱纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

XS204 型电子天平(分度值 0.0001 g)、XPR225DU 型电子天平(分度值 0.00001 g)(瑞士梅特勒托利多公司); iCAP Qs 型电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞世尔科技有限公司); ultraCLAVE V型超级微波消解平台(意大利迈尔通有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 样品前处理和检测方法

按照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中第一法 电感耦合等离子体质谱法进行样品前处理和面制品样品中铝残留量的测定。方法检出限(limit of detection, LOD)为 0.5 mg/kg, 定量限为 2 mg/kg, 高于定量限视为检出。实验采用加标回收、平行双样、空白实验等方法进行质量控制。

1.3.2 评价标准

按照 GB 2760—2014 判定是否超标, 面制品中铝的残留量(干样品, 以铝计)>100 mg/kg 视为超标。凉皮、酿皮缺乏相应的国家标准, 故不进行超标分析。

1.4 污染指数分析

1.4.1 单因子污染指数法

单因子污染指数用以评价单个元素的污染程度, 单因子污染指数[18]计算见公式(1)。

$$P_i=\frac{C_i}{S_i} \tag{1}$$

式中: P_i 为第 i 个元素的污染指数; C_i 为第 i 个元素的实测值, mg/kg; S_i 为第 i 个元素的评价标准中规定的限量值, mg/kg。$P_i\leqslant 1.0$ 为清洁, $1.0<P_i\leqslant 2.0$ 为轻污染, $2.0<P_i\leqslant 3.0$ 为中污染, $P_i>3.0$ 为重污染。其中 P_i 越大, 表明受该元素污染程度越大。

1.4.2 内梅罗综合污染指数法

内梅罗综合污染指数[19]兼顾了污染指数平均值和最高值, 可以突出污染较重污染物的作用, 综合指数计算方法见公式(2)。

$$P_{综}=\sqrt{\frac{(C_i/S_i)^2_{\max}+(C_i/S_i)^2_{\text{ave}}}{2}} \tag{2}$$

式中: $P_{综}$为综合污染指数; $(C_i/S_i)_{\max}$ 为污染物中污染指数最大值; $(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为污染物中污染指数平均值; $P_{综}\leqslant 0.7$, 污染等级为安全; $0.7<P_{综}\leqslant 1.0$, 污染等级为警戒限; $1.0<P_{综}\leqslant 2.0$, 污染等级为轻污染, $2.0<P_{综}\leqslant 3.0$, 污染等级为中污染, $P_{综}>3.0$, 污染等级为重污染。$P_{综}$越大, 表明受该元素污染程度越大。

1.5 膳食暴露风险评估

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)推荐的点评估法[20], 根据该省市售面制品中铝残留量检测数据和面制品消费量数据, 计算得出该省成年居民铝每周膳食暴露量, 计算公式见式(3)。

$$\text{EXP}=\frac{C\times \text{DC}\times 7}{\text{BW}} \tag{3}$$

式中: EXP 为铝经口途径的单位体重每周膳食暴露量(dietary exposure), mg/(kg·BW); C 为铝残留量的实测值, mg/kg, 采用平均值和第 95 百分数(P_{95})值计算; DC 为当地居民每日面制品消费量(daily consumption), kg/d, 采用《第五次中国总膳食研究》[21]和 2010—2013 年中国营养与检测数据[22]中的食物消费量数据, 其中油炸面制品为 8.07 g/d, 面包为 8.49 g/d, 糕点、饼干为 4.58 g/d, 凉皮、酿皮等地方特色食品为 8.53 g/d; BW 为体重(body weight), 其中成年人群平均体重以 60 kg 计[23]。不同年龄不同性别成年人群体重来自中国居民营养与慢性病状况报告[24], 18~44 岁男性和女性分别为 66.2 kg 和 57.3 kg, 45~59 岁男性和女性分别为 67.0 kg 和 56.7 kg, 60 岁以上人群男性和女性分别为 62.4 kg 和 55.6 kg。

某种食品膳食铝的贡献率计算公式见式(4)。

膳食贡献率/%=某类食品铝暴露量/各类食品铝暴露量之和 (4)

风险特征描述: 将计算得到的居民铝每周膳食暴露量和 JECFA 规定的食品中铝的暂定每周耐受摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI)为 2 mg/(kg·BW)[25]进行比较, 并以其占 PTWI 百分比来表示膳食铝暴露风险的大小。当占 PTWI 百分比≥100 时, 认为食品安全风险超过可接受程度; 当占 PTWI 百分比<100 时, 认为食品安全风险可接受。

1.6 数据处理

使用 Excel 2010 对数据进行统计、作图, 采用 SPSS 22.0 对数据进行显著性差异分析, 以 $P<0.05$ 为显著性差异。不同种类面制品中铝检出率差异比较采用卡方检验(χ^2)。当未检出率>60%时, 对于低于 LOD 的数据, 采用 WHO 推荐的替代法进行处理, 将未检出值用 1/2LOD 进行替换; 当未

检出率≤60%时, 将未检出值用 LOD 进行替换[26]。本研究选择均值、最大值、中位数和第 95 百分数(P_{95})统计分析面制品中铝残留量, 并与国家标准限值对比。

2　结果与分析

2.1　某省市售面制品中铝残留量的监测情况

2023—2024 年采取的 333 份西北某省市售面制品样品中, 铝的总体检出率为 85.3% (284/333), 超标率为 0%, 铝检测值均值为 5.71 mg/kg, 最大值为 53.00 mg/kg, 中位数为 5.00 mg/kg, P_{95} 为 14.00 mg/kg。油炸面制品中铝检出率最高为 88.0%, 其余 3 种面制品铝检出率均较高, 在 80% 以上。应用卡方检验分析不同类别食用植物油检出率差异, 结果显示 χ^2=6.08, P>0.05, 故面制品类别与检出率不存在显著性差异, 无统计学意义。具体监测情况分析详见表 1。

2.2　某省市售面制品中铝的污染指数分析

对 2023—2024 年采集的 333 份西北某省市售面制品样品中铝残留量监测数据进行污染指数分析, 结果如表 2 所示。由表 2 可知, 油炸面制品等 3 种面制品铝单因素污染均小于 0.7, 铝污染水平为清洁。3 种面制品铝内梅罗综合污染指数范围均小于 0.7, 按照食品安全质量等级划分, 均为安全等级。

2.3　某省市售面制品中铝的膳食暴露评估和食物来源

根据 2023—2024 年西北某省市售面制品中铝残留量的平均检测值的和 P_{95} 以及成年居民不同面制品消费量, 计算该省成年人群面制品膳食铝暴露量。铝暴露量的 P_{95} 反映了膳食高暴露消费者的铝暴露水平[27]。结果如表 3 所示, 该省成年居民每周通过膳食摄入面制品中铝的平均暴露量为 0.019 mg/(kg • BW), 通过单一一种面制食品的平均铝摄入量范围为每周 0.003~0.007 mg/(kg • BW)。该省成年居民每周通过膳食摄入面制品中铝占 PTWI 比值为 0.97%。高膳食暴露人群每周通过膳食摄入面制品中铝的暴露量为 0.046 mg/(kg • BW), 占 PTWI 比值为 2.32%, 说明 4 类面制品中铝膳食暴露风险均在可接受范围内。4 类面制品中, 对铝暴露贡献率最高的是油炸面制品, 达到 39.09%, 其每周暴露量平均值和 P_{95} 也相对较高, 分别为 0.007 mg/(kg • BW)和 0.018 mg/(kg • BW)。

表 1　2023—2024 年西北某省市售面制品中铝残留量

Table 1　Aluminum residue in flour products sold in a certain province of Northwest China in 2023—2024

样品类别	标准限量/(mg/kg)	样品数/个	(检出数)检出率/%	均值/(mg/kg)	中位数 P_{50}/(mg/kg)	P_{95}/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	超标率/%
油炸面制品	≤100	100	(88) 88.0	7.20	5.00	19.25	53.00	0
面包		86	(70) 81.4	5.84	5.00	14.00	30.00	0
饼干、糕点		96	(83) 86.5	4.76	4.00	12.00	29.00	0
凉皮、酿皮	—	51	(43) 84.3	4.37	5.00	8.00	9.00	—
合计		333	(284) 85.3	5.71	5.00	14.00	53.00	0

注: —表示凉皮、酿皮缺乏相应的国家标准限量值, 故不进行超标分析。

表 2　2023—2024 年西北某省市售面制品中铝污染指数

Table 2　Aluminum pollution index in flour products sold in a certain province of Northwest China in 2023—2024

样品类别	P_i	污染水平	$P_{综}$	污染等级
油炸面制品	0.07	清洁	0.53	安全
面包	0.06	清洁	0.31	安全
饼干、糕点	0.05	清洁	0.29	安全
凉皮	—	—	—	—

注: —表示凉皮、酿皮缺乏相应的国家标准限量值, 故不进行污染指数分析。

表 3　2023—2024 年西北某省市售面制品中铝元素膳食暴露评估和面制食品贡献率

Table 3　Dietary exposure assessment of aluminum in flour products sold in a certain province of Northwest China and contribution rate of flour products to dietary aluminum exposure in 2023—2024

食品类型	EXP/[mg/(kg • BW)]		占 PTWI 比值/%		贡献率/%	
	均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
油炸面制品	0.007	0.018	0.34	0.91	34.84	39.09
面包	0.006	0.014	0.29	0.69	29.73	29.91
饼干、糕点	0.003	0.006	0.13	0.32	13.07	13.83
凉皮	0.004	0.008	0.22	0.40	22.35	17.17
合计	0.019	0.046	0.97	2.32	100.00	100.00

2.4 不同特征人群市售面制品中铝的膳食暴露风险评估

根据 2023—2024 年西北某省市售面制品中铝残留量的平均检测值的和 P_{95} 以及成年居民不同面制品消费量值，计算该省不同年龄-性别组成成年人群各类市售面制品膳中食铝暴露量并进行风险评估，结果如表 4 和表 5 所示。由表 4 可知，18~44 岁、45~59 岁、60 岁及以上年龄男女人群 4 种面制品膳食铝暴露量均值和 P_{95} 均未超过规定的铝 PTWI 值。由表 5 可知，18~44 岁、45~59 岁、60 岁及以上年龄男女人群 4 种面制品风险评估结果占 PTWI 比值均小于 100%，说明膳食风险相对较低，均在可接受范围内。

表 4 2023—2024 年西北某省不同年龄-性别人群中每日膳食中面制品铝元素暴露量[mg/(kg • BW)]

Table 4 Estimated daily dietary exposure of aluminum in flour products at different age and gender groups sold in a certain province of Northwest China in 2023—2024 [mg/(kg • BW)]

食品类型	人群分组	18~44 岁 EXP		45~59 岁 EXP		60 岁以上 EXP	
		均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
油炸面制品	男	0.006	0.016	0.006	0.016	0.007	0.017
	女	0.007	0.019	0.007	0.019	0.007	0.020
面包	男	0.005	0.013	0.005	0.013	0.006	0.013
	女	0.006	0.015	0.006	0.015	0.006	0.015
饼干、糕点	男	0.002	0.006	0.002	0.006	0.002	0.006
	女	0.003	0.007	0.003	0.007	0.003	0.007
凉皮	男	0.004	0.007	0.004	0.007	0.004	0.008
	女	0.005	0.008	0.005	0.008	0.005	0.009

表 5 2023—2024 年西北某省不同年龄-性别人群中每日膳食中面制品铝元素暴露评估(%)

Table 5 Estimated daily dietary exposure assessment of aluminum in flour products at different age and gender groups sold in a certain province of Northwest China in 2023—2024 (%)

食品类型	人群分组	18~44 岁占 PTWI		45~59 岁占 PTWI		60 岁以上占 PTWI	
		均值	P_{95}	均值	P_{95}	均值	P_{95}
油炸面制品	男	0.31	0.82	0.31	0.81	0.33	0.87
	女	0.36	0.94	0.36	0.94	0.37	0.98
面包	男	0.26	0.63	0.26	0.62	0.28	0.67
	女	0.31	0.73	0.31	0.74	0.31	0.75
饼干、糕点	男	0.11	0.29	0.11	0.29	0.12	0.31
	女	0.13	0.34	0.13	0.34	0.14	0.35
凉皮	男	0.20	0.36	0.2	0.36	0.21	0.38
	女	0.23	0.42	0.23	0.42	0.24	0.43

3 讨论与结论

从这次监测调查结果中可以看出，我国西北某省 2023—2024 年市售面制品中铝检出率较高，为 85.3%，但超标率为 0%，本研究中 4 种面制品中铝残留量平均浓度为 5.71 mg/kg，远低于现行 GB 2760—2024 中规定的限值，表明其铝污染情况总体较轻。上海市闵行区[4]市售面制品中铝平均浓度为 31.66 mg/kg，超标率为 3.96%；武汉市[16]市售面制品中铝平均浓度为 235.4 mg/kg，超标率为 44.6%；厦门[28]市售面制品中铝平均浓度为 162.89 mg/kg，超标率为 43.2%。与上述地区研究结果相比，该省市售面制品铝污染情况低于以上城市平均水平，安全程度较高。不同种类面制品中铝污染水平不同，其中油炸面制品每周暴露量平均值和 P_{95} 相对较高，分别为 0.007 mg/(kg • BW) 和 0.018 mg/(kg • BW)，远低于 JEFCA 规定的铝 PTWI 值：2 mg/(kg • BW)。其中油炸面制品对铝暴露量贡献率最高，占 39.09%，这与上海[4]、海南[27]、厦门[28]对面制品中铝含量调查结果一致。原因可能是油炸面制品为增加松脆口感添加明矾等含铝添加剂且从业者对标准了解不够有关[29]。各类面制品中铝单因素污染指数均小于 1，铝食品污染水平均为清洁；铝综合污染指数均小于 0.7，铝食品污染等级为安全。该省成年居民市售面制品铝膳食暴露量均值为每周 0.019 mg/(kg • BW)，占 PTWI 的 0.97%；高暴露消费人群暴露量为每周 0.046 mg/(kg • BW)，占 PTWI 的 2.32%，风险均处于可接受范围内。研究对不同年龄段不同性别组成该省成年居民 4 种面制品铝膳食暴露水平进行分

析和风险评估, 不同种类面制品铝暴露量均值和高暴露水平(P_{95})占 PTWI 百分比均小于 100%。本研究中铝暴露存在女性风险较高的趋势, 但总体风险水平较低, 在可接受范围内, 这与青海[30]、陕西[31]对成年居民食品中铝膳食风险暴露性别组成研究结果一致。这可能是因为相较于男性, 女性平均体重较轻且喜食酿皮、凉皮等含铝食品的饮食习惯有关。与国内其他地区相关研究相比, 中国全人群铝膳食平均暴露量为 1.795 mg/(kg • BW)[13], 内蒙古成年居民平均铝膳食暴露量为 0.692 mg/(kg • BW), 占 PTWI 比值为 34.6%[32]; 广州成年居民平均铝膳食暴露量为 0.206 mg/(kg • BW), 占 PTWI 比值为 34.6%[33]、河南省总人群平均膳食铝摄入量为每周每公斤体重 0.570 mg, 占 PTWI 的 28.5%[34]、本研究所得铝膳食暴露值均低于上述城市, 说明该省居民市售面制品膳食健康风险低于全国和以上城市的平均水平。

本次评估具有一定的局限性: (1)抽取样本仅包含了部分含铝添加剂面制品, 未包括面粉、发酵面制品等其他可能含有铝的面制品和食品及食品接触材料中所迁移的铝; (2)仅涉及 2023—2024 年近两年的样本数据, 样本量较少, 不能反映完整的铝污染时空分布特征; (3)所使用的面制品消费量和体重数据非最新数据。这些局限性均可能导致评估结果存在一定程度的偏倚, 有待进一步结合最新数据开展精确评估。

综上所述, 从面制品中铝残留量调查情况、污染指数和膳食暴露风险评价方面都表明西北某省市售面制品具有较高的安全性, 铝的污染水平总体较轻, 膳食暴露风险较低, 在可接受范围内。但监管部门仍需密切注意面制品安全风险, 严控油条、油饼等重点食品含铝添加剂使用, 加强食品生产环节含铝添加剂规范使用的监管和查处力度, 防止铝污染和铝超标食品进入市场, 降低含铝食品对人体健康造成的安全风险。

参考文献

[1] SHANG N, ZHANG L, WANG S, *et al*. Increased aluminum and lithium and decreased zinc levels in plasma is related to cognitive impairment in workers at an aluminum factory in China: A crosssectional study [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2021, 214: 112110.

[2] WANG C, LI S, GUO YC, *et al*. Comprehensive treatments of aluminum drossin China: Acriticalreview [J]. Journal of Environmental Management, 2023, 345: 118575.

[3] LI G, ZHAO X, WU S, *et al*. Dietary exposure to aluminium in the popular Chinese fried bread youtiao [J]. Food Addititives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2017, 34(6): 972–979.

[4] 吕静, 张晶晶, 付晔, 等. 上海闵行区市售面制食品铝含量调查及人群膳食暴露风险评估[J]. 公共卫生与预防医学, 2021, 32(4): 63–66.
LV J, ZHANG JJ, FU Y, *et al*. An investigation on aluminum content in commercially available flour products and risk assessment of dietary aluminum exposure of population [J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2021, 32(4): 63–66.

[5] BERLANA D, PAU-PARRA A, ALBERTOS R, *et al*. Aluminum blood concentration in adult patients: Effect of multichamber-bag versus hospital compounded parenteral nutrition [J]. Nutricion Hospitalaria, 2023, 40(3): 469–475.

[6] ALJOHAR HI, NAWAWI RA, ALBANYAN NS, *et al*. An assessment of aluminum contamination in neonatal parenteral nutrition solutions based on measured versus labeled content [J]. Saudi Pharmaceutical Journal, 2024, 32(2): 101941.

[7] 王玺凯, 唐蓉, 王艳丽. 铝职业接触所致健康危害研究进展[J]. 工业卫生与职业病, 2023, 49(2): 175–178, 190.
WANG XK, TANG R, WANG YL. Research progress on occupational health hazard so faluminum exposure [J]. Industrial Healthand Occupational Diseases, 2023, 49(2): 175–178, 190.

[8] 刘衍, 刘建华, 萧非凡, 等. 亚慢性铝暴露致大鼠认知障碍的 Sirt1-Keap1/Nrf2 信号通路机制[J]. 中国病理生理杂志, 2023, 39(12): 2150–2157.
LIU Y, LIU JH, XIAO FF, *et al*. Sirt1-Keap1/Nrf2 signaling pathway mechanism of cognitive dysfunction induced by subchronic aluminum exposure in rats [J]. Chinese Journal of Pathophysiology, 2023, 39(12): 2150–2157.

[9] 蒋皓, 黄利明, 王玲莉, 等. 杭州市居民膳食中铝暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(2): 224–229.
JIANG H, HUANG LM, WANG LL, *et al*. Risk assessment of dietary exposure of aluminium in residents of Hangzhou [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2023, 35(2): 224–229.

[10] FAO/WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: Thirty-third report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives [R]. Geneva: WHO Technical Report Series, 1989.

[11] DANI D, HANA B, SIMONA J, *et al*. Aluminum contamination of food during culinary preparation: Case study with aluminum foil and consumers' preferences [J] Food science & nutrition, 2019, 7(10): 3349–3360.

[12] 程代, 李想, 刘敬民, 等. 食源性铝污染及其毒性研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 291–296.
CHENG D, LI X, LIU JM, *et al*. Research progress on the toxicity of foodborne aluminum contamination [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(2): 291–296.

[13] MA N, LIU ZP, YANG DJ, *et al*. Risk assessment of dietary exposure to aluminium in the Chinese population [J]. Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment, 2016, 33(10): 1557–1562.

[14] 李娟, 王艳敏, 熊丽. 江西居民膳食中铝的暴露风险评估[J]. 现代预防医学, 2023, 50(9): 1594–1598.
LI J, WANG YM, XIONG L. Risk assessment on the dietary exposure of aluminum in Jiangxi residents [J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(9): 1594–1598.

[15] 姜松强, 朱慧丽, 陈彦哲, 等. 郑州市面制品中铝膳食暴露调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2020, 30(11): 1394–1396.
JIANG SQ, ZHU HL, CHEN YZ, *et al*. Investigation on the exposure of aluminum in the flour products of Zhengzhou [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2020, 30(11): 1394–1396.

[16] 黄常刚, 梁高道, 谭慧. 武汉市面制食品中铝污染现状及膳食暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(24): 6582–6585.
HUANG CG, LIANG GD, TAN H. Status of aluminum pollution and evaluation of dietary exposure in flour foods of Wuhan City [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(24): 6582–6585.

[17] 孙健, 张强, 姜华, 等. 深圳市宝安区抽检面制品中铝污染情况分析[J]. 中国公共卫生管理, 2016, 32(4): 475–476, 479.
SUN J, ZHANG Q, JIANG H, *et al*. Investigation ofalum inum contam ination of flour productsin Baoan District, Shenzhen [J]. Chinese Journal of Public Health Management, 2016, 32(4): 475–476, 479.

[18] 程良宇, 殷娇娇. 武汉市 14 种市售淡水鱼类中砷和汞的污染特征及膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(17): 108–114.
CHENG LY, YIN JJ. Arsenic and mercury pollution characteristics anddietary exposure risk assessment of 14 commercially available freshwater fish in Wuhan [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(17): 108–114.

[19] 陈元元, 庄美慧, 姜健, 等. 2023 年安徽省小麦铅、镉、砷、铬污染分析及暴露健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 83–90.
CHEN YY, ZHUANG MH, JIANG J, *et al*. Analysis of lead, cadmium, arsenic and chromium pollution and health risk assessment of *Triticum aestivum* L. exposure in Anhui Province in 2023 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 83–90.

[20] World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventy-third report of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives [R/OL]. (2012-06-16). [2020-07-28]. https://apps.who.int/iris/handle/10665/44515

[21] 吴永宁, 赵云峰, 李敬光. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
WU YN, ZHAO YF, LI JG. The fifth chinese total diet study [M]. Beijing: Science Press, 2018.

[22] 赵丽云, 何宇纳. 中国居民营养与健康状况监测报告之一: 2010—2013 年膳食与营养素摄入状况[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
ZHAO LY, HE YN. One of the monitoring reports on nutrition and health status of Chinese residents: Dietary and nutrient intake status from 2010 to 2013 [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018.

[23] 王琳, 赵亚荣, 彭广怀, 等. 不同类型食品铝含量比较及风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(15): 5246–5251.
WANG L, ZHAO YR, PENG GH, *et al.* Comparison and risk assessment on aluminum content of different types of food [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(15): 5246–5251.

[24] 顾景范.《中国居民营养与慢性病状况报告(2015)》解读[J]. 营养学报, 2016, 38(6): 525–529.
GU JF. Interpretation of the *Report on the Chinese residents chronic diseaases and nutritional* 2015 [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2016, 38(6): 525–529.

[25] FAO/WHO. Summary report of the seventy-fourth meeting of JECFA [R]. Rome: FAO/WHO, 2011.

[26] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 6(4): 278–279.
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Problem of low level data processing in food contamination monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002, 6(4): 278–279.

[27] 黄涵, 廖凯, 韩健, 等. 海南省部分市县市售面制品中铝污染现状研究及膳食暴露评估[J]. 质量安全与检验检测, 2023, 33(6): 25–28.
HUANG H, LIAO K, HAN J, *et al*. Study of alumium contamination of flour products sold in some cities and counties of Hainan Province and dietary exposure assessment [J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2023, 33(6): 25–28.

[28] 洪华荣, 陈剑锋, 王娟, 等. 厦门市 2010—2014 年高含铝食品铝残留量监测及居民膳食暴露评估[J]. 实用预防医学, 2017, 24(9): 1068–1071.
HONG HR, CHEN JF, WANG J, *et al*. Surveillance on residual aluminum in high aluminum food and assessment of dietary exposure of aluminum among residents in Xiamen City, 2010—2014 [J]. Practical Preventive Medicine, 2017, 24(9): 1068–1071.

[29] 杨乐, 蒲云霞. 铝的毒性和膳食暴露评估研究进展[J]. 公共卫生与预防医学, 2020, 31(1): 118–122.
YANG L, PU YX. Advances in research on toxicity and dietary exposure of aluminum [J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2020, 31(1): 118–122.

[30] 张倩, 郭学斌. 青海省成年居民膳食铝暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(5): 605–609.
ZHANG Q, GUO XB. Assessment on dietary exposure of aluminum among adult residents in Qinghai Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(5): 605–609.

[31] 聂晓玲, 郭荣, 刘宇, 等. 陕西省居民膳食中铝暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2017, 29(4): 499–504.
NIE XL, GUO R, LIU Y, *et al.* Dietary assessment on dietary exposure of aluminium residents in Shaanxi Province [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2017, 29(4): 499–504.

[32] 杨乐, 邢宏宇, 单美娜, 等. 内蒙古自治区居民膳食中铝暴露风险评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2021, 33(2): 196–200.
YANG L, XING HY, SHAN MN, *et al*. Risk assessment of dietary aluminum exposure for residents in Inner Mongolia [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2021, 33(2): 196–200.

[33] 张玉华, 刘于飞, 张维蔚, 等. 2014—2018 年广州市市售食品中铝含量调查及人群膳食暴露评估[J]. 现代预防医学, 2020, 47(11): 1967–1969, 1974.
ZHANG YH, LIU YF, ZHANG WW, *et al.* Investigation on aluminum content in commercially available foods in Guangzhou City and dietary exposure assessment, 2014—2018 [J]. Modern Preventive Medicine, 2020, 47(11): 1967–1969, 1974.

[34] 李杉, 付鹏钰, 杨丽, 等. 河南省居民膳食中铝暴露风险评估[J]. 华南预防医学, 2022, 48(1): 94–97.
LI S, FU PY, YANG L, *et al.* Dietary assessment on dietary exposure of aluminium residents in Henan Province [J]. South China Journal of Preventive Medicine, 2022, 48(1): 94–97.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)