

- Study[J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2011, 28 (9): 1220-1223.
- [17] 俞苗. 脱氧雪腐镰刀菌烯醇的胚胎毒性及胎盘氧化应激所起作用[D]. 武汉:华中科技大学, 2016.
- [18] 王晓云,于雅琴,俞琼. 2005年中国居民膳食DON污染调查及暴露评估[J]. 长治医学院学报, 2007, 21(2): 101-103.
- [19] 陆晶晶,杨大进. 2013年中国小麦粉中脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染调查[J]. 卫生研究, 2015, 44(4): 658-660.
- [20] 史建荣,刘馨,仇剑波,等. 小麦中镰刀菌毒素脱氧雪腐镰刀菌烯醇污染现状与防控研究进展[J]. 中国农业科学, 2014, 47(18): 3641-3654.
- [21] 王小丹,杨欣,徐海滨,等. 中国不同地区居民谷类食物脱氧雪腐镰刀菌烯醇暴露量及健康风险评估[J]. 中华预防医学杂志, 2019, 53(4): 394-397.
- [22] 佚名. 南方与北方的饮食文化差别[J]. 意林文汇, 2018(16): 6-9.
- [23] ALI N, BLASZKEWICZ M, DEGEN G H. Assessment of deoxynivalenol exposure among Bangladeshi and German adults by a biomarker-based approach[J]. Toxicology Letters, 2016, 258: 20-28.

## 风险评估

# 青海省成年居民膳食铝暴露风险评估

张倩<sup>1</sup>, 郭学斌<sup>1,2</sup>

(1. 青海大学,青海 西宁 810016; 2. 青海省疾病预防控制中心,青海 西宁 810007)

**摘要:**目的 评价青海省成年居民膳食铝的暴露水平及潜在的健康风险。方法 利用2015—2020年青海省7类共499份主要含铝食品的铝含量数据,以及《第五次中国总膳食研究》和2010—2013年中国居民营养与健康监测中的食物消费量数据,采用点评估的方法,评估青海省不同年龄-性别组成成年居民的铝暴露水平及潜在风险。结果 7类主要含铝食品铝的平均含量为72.210 mg/kg,最大值为1 220.000 mg/kg。总检出率为77.96%(389/499),总超标率为19.72%(57/289)。其中,即食海蜇的检出率和超标率均为最高,分别为100.00%(11/11)、90.91%(10/11)。青海省成年居民铝的平均每日暴露量为0.080 mg/(kg·d),占暂定每周耐受摄入量(PTWI)的27.86%,谷物及其制品对青海省成年居民膳食铝暴露的贡献率最高,达88.07%。不同年龄-性别组成成年居民以≥60岁年龄组女性每日铝暴露量最高,平均为0.086 mg/(kg·d),占PTWI的30.05%。各年龄-性别组成成年居民膳食铝中位暴露量(铝含量取P50)和平均暴露量(铝含量取均值)占PTWI百分比均<1。结论 青海省成年居民膳食铝摄入的健康风险较低,谷物及其制品为主要贡献食品。

**关键词:**铝;膳食暴露;风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2021)05-0605-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2021.05.016

## Assessment on dietary exposure of aluminum among adult residents in Qinghai Province

ZHANG Qian<sup>1</sup>, GUO Xuebin<sup>1,2</sup>

(1. Qinghai University, Qinghai Xining 810016, China; 2. Qinghai Center for Diseases Prevention and Control, Qinghai Xining 810007, China)

**Abstract: Objective** To evaluate the dietary exposure level of aluminum and its potential health risk among adult residents in Qinghai Province. **Methods** In this paper, the aluminum content of 499 samples of 7 kinds of main aluminum containing foods in Qinghai Province from 2015 to 2020, the Fifth China total dietary study and the food consumption data of nutrition and health monitoring of Chinese residents from 2010 to 2013 were used. The exposure level and potential risk of dietary aluminum in different age and sex groups of residents in Qinghai Province were evaluated by point evaluation method. **Results** The average content of aluminum in 7 kinds of main aluminum containing foods was 72.210 mg/kg, and the maximum was 1 220.000 mg/kg. The total detection rate was 77.96% (389/499), and the total over standard rate was 19.72% (57/289), among which the detection rate and over standard rate of instant jellyfish were 100.00% (11/11)

收稿日期:2021-01-08

作者简介:张倩 女 在读硕士生 研究方向为食品卫生 E-mail:1223364151@qq.com

通信作者:郭学斌 男 主任医师 研究方向为食品卫生 E-mail:guo\_xuebin@126.com

and 90.91% (10/11) respectively. The average daily exposure of aluminum was 0.080 mg/ (kg · d), accounting for 27.86% of the weekly provisional tolerable intake (PTWI). The contribution rate of cereals and their products was the highest, reaching 88.07%. Among the adult residents of different age and gender groups, the daily aluminum exposure of women aged 60 and above was the highest, with an average of 0.086 mg/ (kg · d), accounting for 30.05% of PTWI. The median and average dietary aluminum exposure were both less than 1 of the PTWI. **Conclusion** The health risk of dietary intake of aluminum among adult residents in Qinghai Province was low, and cereals and their products were the main contribution foods.

**Key words:** Aluminum; dietary exposure; risk assessment

铝是人体非必需微量元素,可通过食物、饮用水、铝制容器与炊具、含铝食品添加剂及药物等多种途径进入人体,但对于一般人群来说,饮食是铝的主要摄入途径<sup>[1]</sup>。含铝添加剂,如硫酸铝钾和硫酸铝铵,常作为发酵面制品的膨松剂,食物配料粉的抗结剂、水产品特别是海蜇加工的固化剂,以及色素的载体<sup>[2]</sup>。多项研究均表明,摄入过量的铝对神经、骨骼、生殖、免疫等系统均有损害作用,尤以神经系统损害最为显著<sup>[3]</sup>。2011年,食品添加剂联合专家委员会(Joint Expert Committee for Food Additives, JECFA)将铝的暂定每周耐受摄入量(Provisional tolerable weekly intake, PTWI)由7 mg/(kg·bw)修正为2 mg/(kg·bw)<sup>[4]</sup>。近年来我省相关部门监测发现,谷物及其制品、淀粉类制品、水产品(海蜇)及膨化食品中铝的检出率和超标率较高<sup>[5]</sup>。全国各省、自治区关于膳食铝暴露评估的研究颇多<sup>[6-8]</sup>,而青海省此前尚未进行过此类研究。基于此,本研究以2015—2020年青海省食品安全风险监测数据为基础,应用《第五次中国总膳食研究》和2010—2013年中国居民营养与健康监测中的食物消费量数据,以评估青海省成年居民

膳食铝暴露风险。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

#### 1.1.1 铝含量数据来源

评估所用铝含量数据来自2015—2020年青海省食品安全风险监测数据。2015—2020年,从流通环节(超市、农贸市场、网店和路边摊位)、餐饮环节(街头摊点、集体食堂、小型餐饮店和大型饭店)及生产加工环节(食品加工坊)采集4大类7小类主要含铝食品共499份,分别为焙烤食品(面包、蛋糕、饼干等)、面粉、非油炸面制品(酿皮、梗皮、擀面皮、馒头、花卷、包子、焜锅馍馍等)、油炸面制品(油饼、油条)、粉丝及粉条、膨化食品(雪饼、薯条、薯片等)和即食海蜇。

#### 1.1.2 主要含铝食品消费量数据来源

谷物及其制品和淀粉类制品的消费量数据来自《第五次中国总膳食研究》<sup>[9]</sup>,膨化食品和即食海蜇的消费量数据来自2010—2013年中国居民营养与健康监测数据<sup>[10]</sup>,具体见表1。

表1 主要含铝食品消费量数据来源

Table 1 Sources of consumption data of main aluminum containing foods

食品类别	消费量/(g/d)	数据来源			
		研究项目名称	地区	样品名称	
谷物及其制品	焙烤食品	8.49	第五次中国总膳食研究	青海	面包
	面粉	147.07	第五次中国总膳食研究	宁夏	小麦面粉
	非油炸面制品	104.18	第五次中国总膳食研究	青海	馒头+烙饼
	油炸面制品	8.07	第五次中国总膳食研究	宁夏	油饼
淀粉类制品	粉丝、粉条	6.16	第五次中国总膳食研究	青海	粉条
其他类食品	膨化食品	10.58	2010—2013年中国居民营养与健康监测数据	北方	膨化食品
水产品	即食海蜇	0.05	2010—2013年中国居民营养与健康监测数据	北方	海蜇

## 1.2 方法

### 1.2.1 检测方法 & 评价标准

铝含量的检测按照《食品安全国家标准 食品中铝的测定》(GB 5009.182—2017)<sup>[11]</sup>,采用电感耦合等离子体质谱法(Inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)进行。

焙烤食品、油炸面制品和海蜇依据《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》(GB 2760—

2014)<sup>[12]</sup>评价,其中焙烤食品和油炸面制品中铝残留量>100 mg/kg为超标,海蜇铝残留量>500 mg/kg为超标。粉丝、粉条参照国家卫生和计划生育委员会2015年第1号公告<sup>[13]</sup>,铝残留量>200 mg/kg为超标;梗皮及凉粉参照淀粉类制品的限量,>200 mg/kg为超标<sup>[5]</sup>。面粉、非油炸面制品、膨化食品、酿皮和擀面皮缺乏相应的国家标准,故不进行超标分析。

### 1.2.2 膳食暴露评估

根据世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 的年龄划分标准将成年人分为 18~44 岁 (男、女)、45~59 岁 (男、女) 和 ≥60 岁 (男、女) 年龄-性别组<sup>[14]</sup>。以 2015—2020 年青海省食品安全风险监测数据和主要含铝食品的消费量数据为基础,采用点评估的方法计算成年人每日每千克体质量膳食铝的暴露量,计算公式<sup>[15]</sup>如下:

$$EXP_c = \sum_{k=1}^p \frac{X_k \times C_k \times f_k}{bw}$$

式中, $EXP_c$  表示每日膳食中铝的暴露量 [ $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ];  $X_k$  表示第  $k$  种食物的平均消费量 ( $\text{kg}/\text{d}$ );  $C_k$  表示第  $k$  种食物中铝的平均残留量 ( $\text{mg}/\text{kg}$ );  $\overline{bw}$  表示某人群的平均体质量 ( $\text{kg}$ );  $f_k$  表示食品加工系数,本研究未考虑食物加工过程中铝的变化,故  $f_k$  均取 1。

### 1.2.3 风险特征描述

将每周成年人膳食铝的摄入量 ( $EXP_c \times 7$ ) 与暂定每周耐受摄入量 (Provisional tolerable weekly intake, PTWI) 相比较,并以其占 PTWI 百分比来表示膳食铝暴露风险的大小。

### 1.3 数据处理

本研究中检测值低于检出限 (Limit of detection, LOD) 的结果占 22.04% (110/499), 低于 60%, 故均以 1/2 LOD 计。数据的描述性分析采用 SPSS 16.0 软件。

## 2 结果

### 2.1 主要含铝食品中铝残留量分析

由表 2 可见,4 大类主要含铝食品铝的平均含量为 72.210  $\text{mg}/\text{kg}$ , 最大值为 1 220.000  $\text{mg}/\text{kg}$ 。其中,水产品铝残留量均值最大,为 750.636  $\text{mg}/\text{kg}$ , 其次是淀粉类制品,为 82.255  $\text{mg}/\text{kg}$ , 最小的为膨化食品,为 2.372  $\text{mg}/\text{kg}$ 。谷物及其制品中,油炸面制品铝的平均检测值最大,为 163.041  $\text{mg}/\text{kg}$ , 其次是焙烤食品,为 28.254  $\text{mg}/\text{kg}$ , 最小的为面粉,为 4.700  $\text{mg}/\text{kg}$ 。499 份主要含铝食品铝的总检出率为 77.96% (389/499), 检出率最高的是即食海蜇,为 100.00% (11/11), 其次是粉丝、粉条,为 94.83% (55/58), 膨化食品最低,为 40.00% (18/45)。总超标率为 19.72% (57/289), 即食海蜇的超标率最高,为 90.91% (10/11), 详见表 2。

表 2 2015—2020 年青海省主要含铝食品中铝残留量检测结果

Table 2 Detection results of aluminum residues in main aluminum containing foods in Qinghai Province from 2015 to 2020

食品类别	监测份数	铝残留量/ $(\text{mg}/\text{kg})$					检出率/%	超标率/%	
		检测范围	均值	P50	P90	P97.5			
谷物及其制品	焙烤食品	118	ND ~904.000	28.254	6.550	28.100	242.750	83.90 (99/118)	7.63 (9/118)
	面粉	12	ND ~19.500	4.700	2.845	16.650	18.012	66.67 (8/12)	-
	非油炸面制品	153	ND ~987.000	18.790	5.000	26.600	117.200	73.20 (112/153)	-
	油炸面制品	102	ND ~1 220.000	163.041	12.000	677.700	897.625	84.31 (86/102)	29.41 (30/102)
	小计	385	ND ~1 220.000	59.470	7.000	132.400	786.100	79.22 (305/385)	17.73 (39/220)
水产品	即食海蜇	11	437 ~1 090.000	750.636	675.000	1 056.600	1 081.750	100.00 (11/11)	90.91 (10/11)
淀粉类制品	粉丝、粉条	58	ND ~507.000	82.255	22.400	253.900	484.675	94.85 (55/58)	13.79 (8/58)
其他类食品	膨化食品	45	ND ~15.200	2.372	0.300	7.920	15.170	40.00 (18/45)	-
合计		499	ND ~1 220.000	72.210	6.940	214.000	798.500	77.96 (389/499)	19.72 (57/289)

注:ND 表示未检出;- 表示无超标率

### 2.2 成年居民膳食铝暴露评估

根据青海省主要含铝食品的铝含量及相应的消费量数据,计算成年居民通过各类食品摄入铝的平均值。表 3 显示,成年居民每日通过任一种主要含

铝食品的平均铝暴露量为 0.001~0.033  $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ , 均未超标,总的暴露量为 0.080  $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$  (占 PTWI 的 27.86%)。

表 3 成年居民膳食铝暴露评估

Table 3 Exposure assessment of dietary intake of aluminum among adult residents

食品类别	参考体质量/ $\text{kg}$	铝平均含量/ $(\text{mg}/\text{kg})$	平均消费量/ $(\text{g}/\text{d})$	平均铝暴露量/ $[\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})]$	占 PTWI 百分比/%
焙烤食品	60	28.25	8.49	0.004	1.40
面粉	60	4.70	147.07	0.012	4.03
非油炸面制品	60	18.79	104.18	0.033	11.42
油炸面制品	60	163.04	8.07	0.022	7.68
即食海蜇	60	750.64	0.05	0.001	0.22
粉丝、粉条	60	82.26	6.16	0.008	2.96
膨化食品	60	2.37	10.58	0.000	0.15
合计	60	72.21	284.60	0.080	27.86

### 2.3 成年居民铝暴露的各类食品贡献率

各类主要含铝食品中,铝暴露贡献率最大的为谷物及其制品,占88.07%,其次是淀粉类制品(粉丝、粉

条),占10.61%,其余两类食品均小于1%。谷物及其制品中,非油炸面制品的贡献率最大,为46.56%,其次为油炸面制品(31.30%)和面粉(16.44%),详见图1。

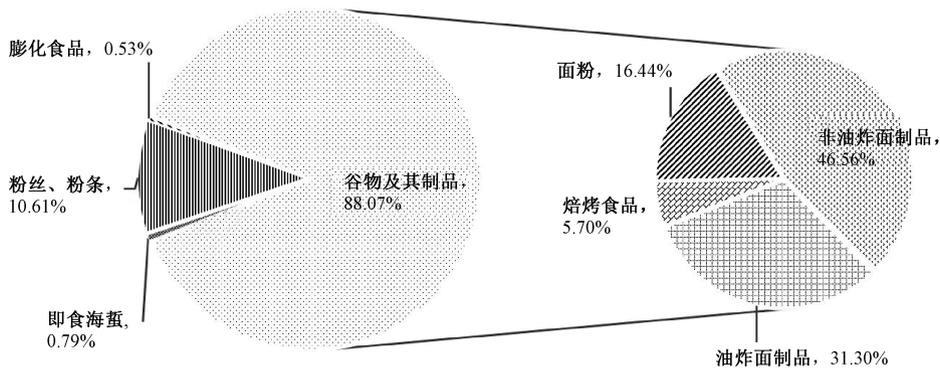


图1 成年居民铝暴露的各类食品贡献率

Figure 1 Contribution rate of aluminum exposure to various foods among adult residents

### 2.4 不同年龄-性别组成成年居民膳食铝暴露评估

根据各类主要含铝食品的平均消费量及铝含量的均值和P50,估算各年龄-性别组成成年居民膳食铝暴露水平。当铝含量取均值和P50时,铝暴露量前3位的人群均为≥60岁女性、45~59岁女性和18~44岁女性,详见表4。当铝含量取均值和P50时,各年龄-性别组成成年居民铝暴露量占PTWI百分比均<1,表明主要含铝食品中铝的健康风险均在可接受范围内。

表4 不同年龄-性别组成成年居民膳食铝暴露评估

Table 4 Exposure assessment of dietary intake of aluminum among different age and sex

人群分组	体质量 /kg	铝暴露量 /[mg/(kg·d)]		占PTWI百分比/%		
		均值	P50	均值	P50	
18~44岁	男	66.2	0.072	0.019	25.24	6.70
	女	57.3	0.083	0.022	29.16	7.74
45~59岁	男	67.0	0.071	0.019	24.94	6.62
	女	56.7	0.084	0.022	29.47	7.82
≥60岁	男	62.4	0.077	0.020	26.78	7.10
	女	55.6	0.086	0.023	30.05	7.97

注:不同年龄-性别组的体质量数据来源于《中国居民营养与慢性病状况报告(2015年)》<sup>[14]</sup>

### 3 讨论

青海省7类主要含铝食品中,铝残留量均值及超标率前3位的为即食海蜇、油炸面制品和粉丝、粉条,与蒋玉艳等<sup>[8]</sup>、李杉等<sup>[16]</sup>和李蕾等<sup>[17]</sup>既往的研究结果一致,说明这三类食物的铝超标状况存在普遍性。腌制海蜇时,为了防止其分解和自溶,往往需要添加大量的含铝添加剂,这是海蜇铝超标状况严重的主要原因。因此,寻找海蜇加工固化剂的替代品,增加脱铝工艺<sup>[18]</sup>或减少海蜇的食用量是保障居民食品安全的重要措施。为增加口感,食品生产

者过度使用硫酸铝钾等含铝添加剂,导致油炸面制品和粉丝、粉条的铝超标,故适当减少主要含铝食品的摄入,或加工过程中使用无铝膨松剂均可减少铝残留。

青海省成年居民每日铝平均暴露量为0.080 mg/(kg·d)(占PTWI的27.86%),低于陕西省2013—2015年8类666份食品的[0.155 mg/(kg·d)]<sup>[7]</sup>和湖北省2013年11类393份食品的成年居民每日铝平均暴露量[0.16 mg/(kg·d)]<sup>[19]</sup>,这说明青海省成年居民每日通过主要含铝食品摄入铝的健康风险尚未超过安全指导值。4大类主要含铝食品中,谷物及其制品对青海省成年居民铝摄入的贡献率最大,达88.07%,与我国其他地区铝的主要贡献食品一致<sup>[6-7]</sup>,初步判断这与谷物及其制品为我国的主食有关。谷物及其制品中,贡献率前2位的是非油炸面制品和油炸面制品,据此监管部门应重点监管上述食品中的铝残留量,与此同时食品生产者也应规范使用含铝添加剂或者选用无铝或低铝的添加剂替代。

当铝含量取均值和P50时,铝摄入量前3位的人群均为≥60岁女性、45~59岁女性和18~44岁女性,表明女性可能是膳食铝暴露的重点人群,这与聂晓玲等<sup>[7]</sup>的研究结果一致。青海省不同年龄-性别组成成年居民膳食铝暴露风险评估结果显示,中位暴露量(铝含量取P50)和平均暴露量(铝含量取均值)占PTWI百分比均<1,表明总体上青海省成年居民膳食铝摄入的健康风险较低。

总体来看,青海省成年居民膳食铝摄入风险较低,谷物及其制品为主要贡献食品。本研究中,各年龄组女性铝的暴露量均高于男性,这可能与女性人群相较于男性,更喜食酿皮、梗皮、擀面皮、凉粉及粉丝粉条等主要含铝食品有关<sup>[7]</sup>,故其健康风险

相对较高,建议适当减少谷物及其制品、淀粉类制品等的摄入量;也可能与女性体质量较低相关,下一步应增加各年龄-性别组的体质量调查研究,以进一步明确暴露量存在性别差异的原因。此外,本研究存在一定的不确定性,研究中铝含量数据与消费量数量来源的时间段不完全一致;面粉和油炸面制品的消费量数据缺乏,选用与青海饮食结构相似的宁夏替代;体质量数据为全国各年龄-性别组的平均体质量,而非青海成年居民的实际数据,这些因素均可能导致评估结果存在一定程度的偏倚。因此,下一步应开展青海省的各类食品的消费量调查,并增加儿童、青少年及孕妇等人群的膳食铝暴露评估,以更加全面地评估青海省各年龄组人群膳食铝暴露风险。

## 参考文献

- [ 1 ] LI G, ZHAO X, WU S, et al. Dietary exposure to aluminium in the popular Chinese fried bread youtiao [J]. *Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2017, 34 (6): 972-979.
- [ 2 ] MA J, JIANG G H, ZHENG W L, et al. A longitudinal assessment of aluminum contents in foodstuffs and aluminum intake of residents in Tianjin metropolis [J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7 (3): 997-1003.
- [ 3 ] WALTON J. Bioavailable aluminum: Its effects on human health [J]. *Encyclopedia of Environmental Health* (Amsterdam: Elsevier), 2019: 315-327.
- [ 4 ] 吴梦溪,黄文耀,张颖,等. 湖北省居民植物性食品中铝的暴露评估[J]. *公共卫生与预防医学*, 2019, 30, 169(3): 122-124.
- [ 5 ] 刘大晶,郭学斌,郭晚花. 2012—2019年青海省部分食品中含铝量监测结果分析[J]. *现代预防医学*, 2020, 47 (18): 3434-3437.
- [ 6 ] 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.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] 蒋玉艳,刘展华,程恒怡,等. 广西部分食品中铝含量监测及人群膳食暴露评估[J]. *中国食品卫生杂志*, 2016, 28 (3): 374-378.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 马冠生,赵丽云. 中国居民营养与健康状况监测报告(2010-2013)[C]. //中国营养学会. 中国营养学研究发展报告研讨会论文集, 2014: 6-13.
- [ 11 ] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中铝的测定: GB 5009.182—2017 [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 食品添加剂使用标准: GB 2760—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [ 13 ] 国家卫生和计划生育委员会. 国家卫生计生委关于批准  $\beta$ -半乳糖苷酶为食品添加剂新品种等的公告: 2015年第1号 [A/OL]. (2015-01-23) [2017-03-13] <http://www.nhfp.gov.cn/sps/s7890/201501/8455dc01b026484ebdef3122808abccd.shtml>.
- [ 14 ] 国家卫生和计划生育委员会疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告(2015年)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [ 15 ] 吴晓丽,赵毕,齐小娟,等. 食品中化学污染物风险评估方法研究进展[J]. *预防医学*, 2020, 32 (7): 682-685.
- [ 16 ] 李杉,付鹏钰,杨丽,等. 2013—2017年河南省食品中铝含量及本底值调查[J]. *中国预防医学杂志*, 2020, 21 (4): 439-441.
- [ 17 ] 李蕾,袁秀娟,汤旭钢,等. 2014—2017年宁夏319份市售食品中铝含量监测结果分析[J]. *现代预防医学*, 2019, 46 (18): 3311-3314.
- [ 18 ] 李学渊,陈建文,张凤梅,等. 成品海蜇的铝残留问题与解决思路[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7 (3): 1247-1251.
- [ 19 ] 吴梦溪,黄文耀,张颖,等. 湖北省居民植物性食品中铝的暴露评估[J]. *公共卫生与预防医学*, 2019, 30 (3): 122-124.