

风险评估

进口罐头食品中呋喃及甲基呋喃污染特征及膳食暴露评估

吴难¹,曹佩¹,吴平谷²,李建文¹,张磊¹,周萍萍¹

(1. 国家食品安全风险评估中心,北京 100021;2. 浙江省疾病预防控制中心,浙江 杭州 310051)

摘要:目的 了解我国进口罐头食品中呋喃及甲基呋喃的污染特征,并评估我国人群经进口罐头暴露呋喃的健康风险。方法 基于方便抽样法,于2022年采集58份进口罐头食品,采用同位素稀释-顶空气相色谱-质谱法测定呋喃的含量,结合2018—2020年中国居民食品消费量,通过简单分布评估方法,开展膳食暴露风险评估。结果 在罐头肉制品中呋喃、2-甲基呋喃和3-甲基呋喃检出率分别为50.0%、100.0%和87.5%,对应的平均含量分别为5.0、10.8和3.6 μg/kg;在罐头鱼制品中,呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃和2,5-二甲基呋喃检出率分别为100.0%、100.0%、100.0%和6.0%,对应的平均含量分别为37.4、52.4、11.1和2.5 μg/kg。3岁以上人群经罐头食品呋喃暴露量为0.4 ng/(kg·BW·d),呋喃及甲基呋喃联合暴露量为1.1 ng/(kg·BW·d);消费人群经罐头食品呋喃平均暴露量为18.5 ng/(kg·BW·d),P95暴露水平为54.6 ng/(kg·BW·d);呋喃及甲基呋喃联合暴露平均水平为52.4 ng/(kg·BW·d),P95暴露水平为150.8 ng/(kg·BW·d)。对于呋喃非致癌效应的风险,各年龄组暴露边界(MOE)值范围为83 920~279 494;对于呋喃致癌风险,各年龄组MOE值范围为1 717 733~5 720 890。结论 我国人群经进口罐头食品呋喃膳食暴露健康风险较低。

关键词:进口罐头食品;呋喃;风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2025)04-0333-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2025.04.005

Furan and methylfuran contamination characteristics and dietary exposure assessment of imported canned foodWU Nan¹, CAO Pei¹, WU Pinggu², LI Jianwen¹, ZHANG Lei¹, ZHOU Pingping¹

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China; 2. Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Zhejiang Hangzhou 310051, China)

Abstract: Objective To investigate the contamination characteristics of furan and methylfuran in imported canned food and to evaluate the dietary exposure risk of furan in Chinese population. **Methods** Based on convenient sampling method, 58 imported canned foods were collected in 2022, and the contents of furan were determined by isotope dilution headspace-gas chromatography-mass spectrometry method. Combined with the food consumption of Chinese residents from 2018 to 2020, the risk of dietary exposure to furan in Chinese population was assessed by semi-quantitative assessment method. **Results** The detection rates of furan, 2-methylfuran and 3-methylfuran in canned meat products were 50%, 100% and 87.5%, and the corresponding average contents were 5.0, 10.8 and 3.6 μg/kg, respectively. In canned fish products, the detection rates of furan, 2-methylfuran, 3-methylfuran and 2,5-dimethylfuran were 100%, 100%, 100% and 6%, respectively, and the corresponding average contents were 37.4, 52.4, 11.1 and 2.5 μg/kg, respectively. The exposure of furan to canned food was 0.4 ng/(kg·BW·d) and the combined exposure of furan and methylfuran was 1.1 ng/(kg·BW·d) in the population over 3 years old. The average exposure of furan and P95 to canned food was 18.5 ng/(kg·BW·d) and 54.6 ng/(kg·BW·d) respectively. The average combined exposure level of furan and methylfuran was 52.4 ng/(kg·BW·d), and the P95 exposure level was 150.8 ng/(kg·BW·d). For the risk of non-carcinogenic effects of furan, the exposure boundary (MOE) values of all age groups ranged from 83 920 to 279 494. For the carcinogenic risk of furan, the MOE values of all age groups ranged from 1 717 733 to 5 720 890. **Conclusion** The health risk of furan exposure from imported canned food is low in Chinese population.

Key words: Imported canned food; furan; risk assessment

收稿日期:2024-12-19

基金项目:国家重点研发计划(2018YFC1603600)

作者简介:吴难 男 助理研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:wunan@cfsa.net.cn

通信作者:周萍萍 女 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail:zhoupingping@cfsa.net.cn

呋喃(Furan)是一种无色、高挥发性的含氧五元杂环化合物,沸点为31.4℃,在工业上源于糖醛脱羧作用,并主要用于合成和生产其他化合物的中间产物,例如四氢呋喃、吡咯和噻吩等^[1]。呋喃很容易被亲电芳香基团取代,主要发生在 α -位置,生成如2-甲基呋喃等物质。作为一种食品热加工过程污染物,呋喃形成的主要途径有单独存在的还原糖热降解或还原糖与氨基酸一起存在时发生的美拉德反应、碳水化合物和某些氨基酸的热降解,以及多不饱和脂肪酸、抗坏血酸和类胡萝卜素的热氧化^[2-4]。呋喃已知在啮齿动物中具有肝毒性,可导致肝细胞腺瘤和癌变^[2],国际癌症研究机构已将其列为2B类致癌物^[5]。对于甲基呋喃的毒性研究不多,欧洲食品安全局评估认为甲基呋喃和呋喃在肝脏代谢上具有相似性,可以假设呋喃和甲基呋喃的剂量可加性为肝毒性^[2]。自2004年,美国食品药品监督管理局的科学家首次在一些热处理食品中发现呋喃以来^[6],世界各地已经对来自进行热处理的各种食品类别的大量样本进行了分析,研究显示,呋喃及其衍生物广泛存在于咖啡、罐头食品和谷物等各种食品中^[7-9]。欧洲食品安全局于2017年发布的评估报告显示欧洲人群通过膳食暴露呋喃及甲基呋喃存在一定健康风险^[2]。罐装食品是我国居民呋喃摄入的主要来源之一^[10],尤其是国外曾报道在金枪鱼等罐头食品中检测出一定含量的呋喃^[11]。因此,开展进口罐头食品中呋喃的膳食暴露评估并分析其潜在健康风险具有重要意义。

简单分布评估是一种在食品安全风险领域应用广泛的评估方法,通过调查获得的每个个体特定食物消费量和该食物中危害因素含量的点值(如平均值、中位数或其他统计值),得到每个个体的危害因素膳食暴露量,从而获得代表性群体的膳食暴露量,并对此群体的膳食暴露的平均值和各百分位数进行统计描述。此外,简单分布评估还可以在群体的基础上进一步研究不同年龄层人群的膳食暴露量,从而可以识别出不同年龄层人群的膳食暴露风险^[12-13]。目前我国关于进口罐头食品中呋喃及其衍生物污染特征报道较少,且我国人群经罐头食品暴露呋喃及其衍生物的健康风险不清晰。鉴于上述背景,本研究对代表性进口罐头食品中呋喃及其衍生物的污染特征进行调查,并据此研究了我国居民呋喃的暴露水平及其带来的健康风险,现报道如下。

1 材料与方法

1.1 数据来源

呋喃含量数据来源于课题组专项检测,样品来

源于浙江省杭州市市场上购买的进口罐头肉制品(8份)和罐头鱼制品(50份)。其中罐头肉制品包括午餐肉和香肠热狗,罐头鱼制品包括三文鱼、金枪鱼、鳕鱼等海产品。本研究假设进口食品的消费量符合我国居民消费习惯。我国居民罐头食品的消费量数据来自2018—2020年中国居民食物消费状况调查。根据评估需求,对上述数据库中异常值进行了清理,最后获得3岁及以上人群重点食品消费量数据个体55678条。涉及的食物消费量均采用连续3天24小时膳食回顾调查。

1.2 方法

1.2.1 检测方法

本研究中呋喃及甲基呋喃检测方法由国家食品安全风险评估中心和浙江省疾病预防控制中心联合开发^[7,9,14],采用同位素稀释-顶空气相色谱-质谱法分析食品中四种呋喃类化合物,以呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃、2,5-二甲基呋喃内标法定量。采用ADB-624-30 m色谱柱,气相色谱条件为:初温40℃,保持2 min,以5℃/min的速度升高至70℃,再以20℃/min的速度升高至210℃,并在250℃下保持10 min。进样器温度250℃,分流比10:1,流速1.0 mL/min(载气:氦气),上述4种物质方法检出限(Limit of detection, LOD)为0.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$,定量限为0.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。选择20%样品按照美国食品药品监督管理局开发的基质标准加入法^[15]进行检测结果比对,比较二者方法的吻合性。检测方法的精确度及检出限满足风险评估需求。对于未检出数据的处理,参照世界卫生组织全球环境监测系统/食品污染监测与评估规划(GEMS/FOOD)第二次会议上提出的“食品中低水平污染物可信评价”原则^[16]。对呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃和2,5-二甲基呋喃未检出数据均赋予1/2LOD值进行统计。

1.2.2 暴露评估

本研究中假设甲基呋喃与呋喃具有相似毒性,通过呋喃及甲基呋喃的暴露量相加以计算联合暴露量。以2018—2020年中国居民食物消费状况调查消费量数据库获得的55678名三岁以上被调查对象的每一个个体体质量和罐头食品的消费量数据,结合罐头食品呋喃及其衍生物含量数据,采用简单分布评估方法,分别对全人群、各性别-年龄组人群(3~6岁、7~12岁、13~17岁男、13~17岁女、18~59岁男、18~59岁女、 ≥ 60 岁男、 ≥ 60 岁女)及消费人群开展膳食呋喃的暴露评估,计算公式为:

$$Exp_i = \sum_{i=1}^n \frac{(F_i \times C_i)}{BW_i}$$

其中: Exp_i 为第*i*个体的每日每千克体质量呋喃暴

露量,单位为 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$; F_i 为被调查的对象每天第 i 种食物的消费量,单位为 g/d ; C_i 为第 i 种食物中呋喃的平均含量,单位为 $\mu\text{g}/\text{kg}$; BW_i 为第 i 被调查对象的体质量,单位为 kg 。

1.2.3 风险特征描述

动物实验研究表明,长期慢性暴露呋喃主要诱导致癌效应,且肝脏为主要靶器官。欧洲食品安全局认为没有足够的信息来确定甲基呋喃的参考点,鉴于甲基呋喃和呋喃在肝脏代谢的相似性,假设呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃的剂量可加性为肝毒性是合适的。在2011年报告中,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认为致癌性是呋喃人类健康风险评估中的关键终点^[17]。本次评估将从致癌性效应和非致癌性效应两个方面开展。由于呋喃具有诱导致癌和基因毒性效应的潜力,因此采用了暴露边界(Margin of exposure, MOE)方法来评估人类健康风险,对于致癌性效应,选择了以在雌性小鼠经口暴露2年观察到肝细胞腺瘤和癌症发生的基准剂量下限10%(BMDL_{10}) $1.31 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$ 。对于非致癌性效应,选择了以在雄性大鼠经口暴露2年观察到胆管纤维化的 BMDL_{10} $0.064 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$ ^[2]。MOE是基于 BMDL_{10}

与估计的呋喃膳食暴露量的比值计算得出的。致癌性 MOE 值低于 10 000 和/或非致癌性 MOE 值低于 100 认为是需要优先关注。

1.3 统计学分析

数据的清理与分析使用 SPSS 20.0,暴露量数据以均数和 P95 表示。

2 结果

2.1 进口罐头食品中呋喃及甲基呋喃的污染特征

罐头食品中呋喃及甲基呋喃污染水平如表 1 所示,在罐头肉制品中呋喃、2-甲基呋喃和 3-甲基呋喃检出率分别为 50.0%、100.0% 和 87.5%,对应的平均含量分别为 5.0、10.8 和 3.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$,含量范围分别为未检出(ND)~15.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、4.5~28.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 ND~14.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。2,5-二甲基呋喃在罐头肉制品中未检出。罐头鱼制品中,呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃和 2,5-二甲基呋喃检出率分别为 100.0%、100.0%、100.0% 和 6.0%,对应的平均含量分别为 37.4、52.4、11.1 和 2.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$,含量范围分别为 2.0~423.8、5.2~565.7、1.4~57.8 和 ND~90.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。罐头鱼制品中呋喃及其衍生物的平均含量高于罐头肉制品,而在这两类食品中以 2-甲基呋喃平均含量最高。

表 1 罐头食品中呋喃及甲基呋喃污染水平

Table 1 Furan and methylfuran concentrations in canned foods

食品类别	类别	样本量/份	检出率/%	含量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$			
				均值	P50	P95	范围
罐头肉制品	呋喃	8	50.0	5.0	3.3	13.3	ND~15.0
	2-甲基呋喃		100.0	10.8	7.3	24.4	4.5~28.6
	3-甲基呋喃		87.5	3.6	1.8	10.6	ND~14.0
	2,5-二甲基呋喃		0.0	ND	ND	ND	ND
罐头鱼制品	呋喃	50	100.0	37.4	24.3	80.1	2.0~423.8
	2-甲基呋喃		100.0	52.4	37.5	109.8	5.2~565.7
	3-甲基呋喃		100.0	11.1	7.7	32.1	1.4~57.8
	2,5-二甲基呋喃		6.0	2.5	ND	1.9	ND~90.4

注:ND为未检出

2.2 全人群和消费人群罐头食品消费量

如表 2 所示,全人群罐头肉制品食品日均消费量为 0.2 g/d ,罐头鱼制品食品日均消费量为 0.5 g/d 。不同年龄组人群中罐头肉制品消费量范围为 0.1~0.4 g/d ,罐头肉制品消费量范围为 0.3~0.7 g/d 。罐头鱼制品日均消费量高于罐头肉制品,但从总体而言,我国罐头食品人均消费量较低。进一步分析发现,消费人群(1 121 人)罐头肉制品日均消费量均值为 26.9 g/d ,P95 为 66.7 g/d ;消费人群罐头鱼制品日均消费量均值为 41.4 g/d ,P95 为 112.4 g/d (表 3)。

2.3 全人群和消费人群膳食暴露评估

我国全人群经罐头食品所暴露的呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃平均水平分别为 0.4、0.5 和 0.1 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$,呋喃及甲基呋喃的联合暴露量

表 2 罐头食品人均消费量

Table 2 Per capita consumption of canned foods

年龄组人群	人群样本量/条	均值/ (g/d)	
		罐头肉制品	罐头鱼制品
3~6岁	3 359	0.2	0.3
7~12岁	4 785	0.3	0.4
13~17岁男	1 156	0.4	0.6
13~17岁女	1 101	0.1	0.7
18~59岁男	17 211	0.2	0.6
18~59岁女	19 227	0.2	0.5
>60岁男	4 342	0.2	0.4
>60岁女	4 497	0.2	0.4
全人群	55 678	0.2	0.5

为 1.1 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$ (表 4)。对各性别-年龄组人群,呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃、2,5-二甲基呋喃的平均暴露水平分别为 0.2~0.8、0.3~1.1、0.1~0.2、0.0~0.1 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$,呋喃及甲基呋喃联合暴露

水平为 0.7~2.2 ng/(kg·BW·d)。其中,以 3~6 岁年龄层人群暴露量最高,>60 岁男人群暴露量最低。进一步对消费人群进行分析,发现消费人群呋喃、2-甲基呋喃、3-甲基呋喃、2,5-二甲基呋喃平均暴露水平分别为 18.5、26.7、5.9、1.3 ng/(kg·BW·d),P95 暴露水平分别为 54.6、76.4、16.2、3.6 ng/(kg·BW·d);联合暴露水平为 52.4 ng/(kg·BW·d),P95 暴露水平为 150.8 ng/(kg·BW·d),见表 5。

表 3 消费人群中罐头食品日均消费量(n=1 121)

食品类别	平均消费量/(g/d)					
	均值	P50	P90	P95	P97.5	最大值
罐头肉制品	26.9	20.0	50.0	66.7	83.3	116.7
罐头鱼制品	41.4	33.3	75.7	93.3	112.4	350.0

表 4 全人群呋喃暴露量

年龄组人群	均值/(ng/kg·BW/d)				联合暴露
	呋喃	2-甲基呋喃	3-甲基呋喃	2,5-二甲基呋喃	
3~6岁	0.8	1.1	0.2	0.1	2.2
7~12岁	0.5	0.7	0.2	0.0	1.3
13~17岁男	0.4	0.6	0.1	0.0	1.2
13~17岁女	0.5	0.8	0.2	0.0	1.5
18~59岁男	0.3	0.5	0.1	0.0	0.9
18~59岁女	0.4	0.5	0.1	0.0	1.0
>60岁男	0.2	0.3	0.1	0.0	0.7
>60岁女	0.3	0.4	0.1	0.0	0.8
全人群	0.4	0.5	0.1	0.0	1.1

表 5 消费人群呋喃暴露量

消费人群	暴露量/(ng/kg·BW/d)	
	均值	P95
呋喃	18.5	54.6
2-甲基呋喃	26.7	76.4
3-甲基呋喃	5.9	16.2
2,5-二甲基呋喃	1.3	3.6
联合暴露	52.4	150.8

2.4 全人群和消费人群风险特征描述

全人群罐头来源的呋喃暴露致癌性 MOE 为 3 520 998,非致癌性 MOE 为 1 720 188;呋喃联合暴露致癌性 MOE 为 1 242 156,非致癌性 MOE 为 60 685。对各性别-年龄组人群,呋喃暴露致癌性 MOE 为 1 717 733~5 720 890,非致癌性 MOE 为 83 920~279 494;呋喃联合暴露致癌性 MOE 为 603 373~2 006 443,非致癌性 MOE 为 29 478~98 025。结果表明,全人群经罐头食品暴露呋喃及甲基呋喃的健康风险无须优先关注(表 6)。在消费人群中,呋喃平均暴露致癌性 MOE 为 70 890,P95 暴露致癌性 MOE 为 24 012,呋喃平均暴露非致癌性 MOE 为 3 463,P95 暴露非致癌性 MOE 为 1 173;联合暴露致癌性 MOE 为 25 009,P95 暴露致癌性 MOE 为 9 685,联合暴露非致癌性

MOE 为 1 222,P95 暴露非致癌性 MOE 为 424。结果显示,考虑到呋喃联合暴露的致癌性风险,高消费人群健康风险需要优先关注。

表 6 全人群呋喃暴露风险

人群分组	呋喃暴露		联合暴露	
	致癌性 MOE	非致癌性 MOE	致癌性 MOE	非致癌性 MOE
3~6岁	1 717 733	83 920	603 373	29 478
7~12岁	2 852 154	139 342	987 411	48 240
13~17岁男	3 115 286	152 197	1 083 041	52 912
13~17岁女	2 395 904	117 052	858 690	41 951
18~59岁男	3 969 059	193 908	1 403 334	68 560
18~59岁女	3 677 688	179 673	1 305 511	63 781
≥60岁男	5 720 890	279 494	2 006 443	98 025
≥60岁女	4 784 954	233 769	1 693 275	82 725
全人群	3 520 998	172 018	1 242 156	60 685

3 讨论

本研究对我国进口罐头食品中呋喃及甲基呋喃的污染特征进行调查,并据此使用简单分布评估法探究了我国 3 岁以上人群经罐头食品呋喃暴露量及其可能带来的健康风险。结果显示,进口罐头中呋喃及甲基呋喃等衍生物均有不同程度检出,其中以 2-甲基呋喃含量最高。食品中呋喃及甲基呋喃的含量在加工过程中受到多种因素的影响,包括温度、加工方式、食品本身成分和食品添加剂等。有研究发现,与油炸相比,烤箱和微波加热产生的呋喃类化合物显著减少;与压力蒸煮条件(灭菌,121 °C)相比,烘焙条件下(干燥加热,200 °C)形成的呋喃含量通常更高^[18]。黄军根等^[19]发现碱性环境下,抗坏血酸产生呋喃的量更少。PYE 等^[11]发现英国沙丁鱼罐头中呋喃平均含量为 26 μg/kg。CREWS 等^[20]对来自 5 个欧盟国家的罐头食品进行检测,发现呋喃平均含量为 24 μg/kg。KIM 等^[21]发现韩国的猪肉罐头和午餐肉罐头中呋喃的平均含量分别为 45.2 和 3.9 μg/kg。刘平等^[10]发现北京市售肉类罐头和鱼类罐头中呋喃平均含量分别为 27.90 和 63.34 μg/kg。本研究与国内外相关研究比较,存在一定差异性,可能归因于食物亚类、食物成分和加工方式的差异。

本研究结果显示,我国 3 岁以上人群经罐头食品呋喃暴露量为 0.4 ng/(kg·BW·d),呋喃及甲基呋喃联合暴露量为 1.1 ng/(kg·BW·d),对应的致癌风险和非致癌风险均无须优先关注。美国等地^[2]和欧洲^[22]的研究显示儿童、青少年和成年人的呋喃膳食暴露风险分别为 80~230、20~130 和 30~590 ng/(kg·BW·d)。儿童呋喃暴露量相对较高,与本研究结果一致。WU 等^[23]发现中国 18 岁以上成年男性呋喃膳食暴

露量为 93 ng/(kg·BW·d),其中蔬菜面粉制品贡献率超过 90%。消费人群经罐头食品呋喃平均暴露量为 18.5 ng/(kg·BW·d),P95 暴露水平为 54.6 ng/(kg·BW·d);呋喃及甲基呋喃联合暴露平均水平为 52.4 ng/(kg·BW·d),P95 暴露水平为 150.8 ng/(kg·BW·d),考虑到呋喃联合暴露的情景,高消费人群致癌性风险会随之增加。本研究存在数据的不确定性,一是样本数据较少,含量数据存在一定的不确定性;二是假设呋喃与甲基呋喃的剂量可加存在一定的不确定性;三是样本外本研究采集的罐头食品样品来自国内 1 个省份,其数据代表性也存在一定的不确定性。本研究首次开展了中国人群经罐头的呋喃暴露评估,结果可为后续研究提供数据基础和技术依据。

参考文献

- [1] MAYERHOFER U, CZERWENKA C, MARCHART K, et al. Dietary exposure to furan of the Austrian population [J]. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 2019, 36(11): 1637-1646.
- [2] EFSA. Scientific opinion on risks for public health related to the presence of furan and methylfurans in food [J]. *EFSA Journal*, 2017, 15(10): 1-142.
- [3] PEREZ LOCAS C, YAYLAYAN V A. Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan—a food toxicant [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2004, 52(22): 6830-6836.
- [4] LIMACHER A, KERLER J, CONDE-PETIT B, et al. Formation of furan and methylfuran from ascorbic acid in model systems and food [J]. *Food Additives & Contaminants*, 2007, 24(suppl 1): 122-135.
- [5] International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans [J]. IARC Scientific Publication, IARC Lyon, France, 1995, 63: 393.
- [6] US Food and Drug Administration (FDA). Furan in food, thermal treatment; request for data and information [EB/OL]. (2004-05-10) [2024-12-12]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2004-05-10/pdf/04-10588.pdf>.
- [7] CAO P, ZHANG L, YANG Y, et al. Analysis of furan and its major furan derivatives in coffee products on the Chinese market using HS-GC-MS and the estimated exposure of the Chinese population [J]. *Food Chemistry*, 2022, 387: 132823.
- [8] RAWN D F K, BREAKELL K, VERIGIN V, et al. Impacts of cooking technique on polychlorinated biphenyl and polychlorinated dioxins/furan concentrations in fish and fish products with intake estimates [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2013, 61(4): 989-997.
- [9] 李影, 曹佩, 张磊, 等. 婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中呋喃污染特征及膳食暴露概率评估 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2021, 33(1): 79-86.
- LI Y, CAO P, ZHANG L, et al. Contamination characteristics and probabilistic risk assessment of furan in infant formula and supplementary food [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2021, 33(1): 79-86.
- [10] 刘平, 王莉莉, 张楠, 等. 顶空气相色谱-质谱法测定罐头食品和包装饮料中的呋喃 [J]. *卫生研究*, 2021, 50(4): 641-645.
- LIU P, WANG L L, ZHANG N, et al. Determination of furan in canned foods and packaged beverages by headspace gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2021, 50(4): 641-645.
- [11] PYE C, CREWS C. Furan in canned sardines and other fish [J]. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 2014, 7(1): 43-45.
- [12] 曹佩, 高萌萌, 陈敏, 等. 食药物质安全性评估方法进展与展望 [J]. *中国中药杂志*, 2024, 49(17): 4562-4566.
- CAO P, GAO M M, CHEN M, et al. Progress and prospects of safety assessment methods of medicinal and food homologous substances [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2024, 49(17): 4562-4566.
- [13] 黄雅琳, 包汇慧, 邱雪娇, 等. 我国 9 省铁皮石斛食用情况及消费人群 4 种常见重金属累积暴露评估研究 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2024, 36(1): 39-48.
- HUANG Y L, BAO H H, QIU X J, et al. Risk assessment of specific heavy metals cumulative exposure to dendrobium officinale in nine provinces in China [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2024, 36(1): 39-48.
- [14] 王立媛, 应英, 胡争艳, 等. 顶空-气相色谱-质谱联用测定茶叶呋喃类化合物 [J]. *预防医学*, 2020, 32(12): 1200-1203.
- WANG L Y, YING Y, HU Z Y, et al. Determination of furans in tea by headspace-gas chromatographic mass spectrometry [J]. *China Preventive Medicine Journal*, 2020, 32(12): 1200-1203.
- [15] US Food and Drug Administration (FDA). Determination of furan in foods [EB/OL]. (2006-10-27) [2024-12-12]. <https://www.fda.gov/food/chemicals/determination-furan-foods>.
- [16] GEMS/Food-EUROS. Second workshop on “reliable evaluation of low-level contamination of food” [R]. Kulmbach: Germany, 1995: 26-27.
- [17] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO technical report series 959. Seventy-second report of the joint FAO/WHO Expert Committee on food additives [R/OL]. (2011-01-01) [2024-12-12]. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=5884>.
- [18] PÉREZ-PALACIOS T, PETISCA C, HENRIQUES R, et al. Impact of cooking and handling conditions on furanic compounds in breaded fish products [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 55: 222-228.
- [19] 黄军根, 张雅楠, 郑温雅, 等. 抗坏血酸产生呋喃的基础研究模型的建立 [J]. *食品工业科技*, 2012, 33(20): 145-147.
- HUANG J G, ZHANG Y N, ZHENG W Y, et al. Analysis of furan formation in ascorbic acid model system [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(20): 145-147.
- [20] CREWS C, ROBERTS D, LAURYSSSEN S, et al. Survey of furan in foods and coffees from five European Union countries [J]. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 2009, 2(2): 95-98.
- [21] KIM T K, LEE Y K, PARK Y S, et al. Effect of cooking or

handling conditions on the furan levels of processed foods [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2009, 26(6): 767-775.

[22] EFSA (European Food Safety Authority). Update on furan levels in food from monitoring years 2004—2010 and exposure assessment [J]. EFSA Journal, 2011, 9(9): 1-33.

[23] WU S J, WANG E T, YUAN Y. Detection of furan levels in select Chinese foods by solid phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry method and dietary exposure estimation of furan in the Chinese population [J]. Food and Chemical Toxicology, 2014, 2(64): 34-40.

《中国食品卫生杂志》顾问及第五届编委会名单

顾 问:陈君石、黄璐琦、江桂斌、李林、沈建忠、吴清平、Jianghong Meng(美国)、Patrick Wall(爱尔兰)、Samuel Godefroy(加拿大)、Gerald Moy(美国)、Paul Brent(澳大利亚)、Marta Hugas(比利时)、Yukikko Yamada(日本)、Tom Heilandt(德国)、Andreas Hensel(德国)、Christopher Elliott(英国)、Christine Nelleman(丹麦)

主任委员:李宁

副主任委员:王竹天、孙长颢、王涛、谢剑炜、应浩、丁钢强、张峰、张永慧

主 编:吴永宁

编 委(按姓氏笔画排序)

丁钢强(中国疾病预防控制中心营养与健康所)

于 洲(国家食品安全风险评估中心)

于维森(青岛市疾病预防控制中心)

马 宁(国家食品安全风险评估中心)

马会来(中国疾病预防控制中心)

马群飞(福建省疾病预防控制中心)

王 君(国家食品安全风险评估中心)

王 茵(浙江省医学科学院)

王 涛(浙江清华长三角研究院)

王 硕(南开大学医学院)

王 慧(上海交通大学公共卫生学院)

王永芳(国家卫生健康委员会卫生健康监督中心)

王竹天(国家食品安全风险评估中心)

王松雪(国家粮食和物资储备局科学研究院)

王晓英(中国动物疫病预防控制中心)

计 融(国家食品安全风险评估中心)

邓小玲(广东省疾病预防控制中心)

卢 江(国家食品安全风险评估中心)

匡 华(江南大学食品学院)

朱心强(浙江大学医学院)

刘 弘(上海市疾病预防控制中心)

刘长青(河北省疾病预防控制中心)

刘成伟(江西省疾病预防控制中心)

刘兆平(国家食品安全风险评估中心)

刘守钦(济南市疾病预防控制中心)

刘烈刚(华中科技大学公共卫生学院)

应 浩(中国科学院上海营养与健康所)

张 丁(河南省疾病预防控制中心)

张 峰(中国检验检疫科学研究院)

张卫兵(南通市疾病预防控制中心)

张立实(四川大学华西公共卫生学院)

张永慧(广东省疾病预防控制中心)

张旭东(国家卫生健康委员会医院管理研究所)

张剑峰(黑龙江省疾病预防控制中心)

张朝晖(中国海关科学技术研究中心)

张惠媛(中国海关科学技术研究中心)

张遵真(四川大学华西公共卫生学院)

陈 波(湖南师范大学化学化工学院)

陈 颖(中国检验检疫科学研究院)

陈卫东(广东省市场监督管理局)

邵 兵(北京市疾病预防控制中心)

武爱波(中国科学院上海营养与健康所)

赵 舰(重庆市疾病预防控制中心)

赵云峰(国家食品安全风险评估中心)

赵贵明(中国检验检疫科学研究院)

钟 凯(科信食品与营养信息交流中心)

姜毓君(东北农业大学食品学院)

聂俊雄(常德市疾病预防控制中心)

贾旭东(国家食品安全风险评估中心)

徐 娇(国家食品安全风险评估中心)

徐海滨(国家食品安全风险评估中心)

高志贤(军事科学院军事医学研究院)

(下转第353页)