

风险评估

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

李影¹, 曹佩², 张磊², 王小丹², 李建文², 孙桂菊¹, 周萍萍²

(1. 东南大学公共卫生学院 生物医学工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210009;
2. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022)

摘要:目的 了解我国市售婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中呋喃污染特征, 并对其健康风险进行评估。方法 基于方便抽样法, 于 2017—2018 年在北京市、浙江省、山东省和四川省采集 260 份市售婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品, 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 2015 年婴幼儿食品消费量调查数据, 通过概率评估方法, 对 0~36 月龄婴幼儿人群呋喃膳食暴露开展风险评估。结果 婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中呋喃检出率为 90.32%~100.00%, 平均污染水平为 4.05~46.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。其中, 肉泥中呋喃平均污染水平最高 (46.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 其次是菜泥 (41.31 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 最低为婴幼儿配方乳粉 (4.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。0~36 月龄婴幼儿人群呋喃每日平均暴露量为 21.95 ng/kg BW, 按 0~6、7~12 和 13~36 月龄进行分组分析, 其中 7~12 月龄婴幼儿人群呋喃暴露量最高。对于呋喃非致癌效应的风险, 各月龄组暴露边界 (MOE) 值范围为 651~3 936; 对于呋喃致癌风险, 各月龄组 MOE 值范围为 13 322~80 566。结论 0~36 月龄婴幼儿人群由婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中呋喃膳食暴露导致的健康风险可能性较低。

关键词: 婴幼儿配方食品; 婴幼儿辅助食品; 呋喃; 概率风险评估; 膳食暴露

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2021)01-0079-08

DOI: 10.13590/j.cjfh.2021.01.016

Contamination characteristics and probabilistic risk assessment of furan in infant formula and supplementary food

LI Ying¹, CAO Pei², ZHANG Lei², WANG Xiaodan², LI Jianwen²,
SUN Guiju¹, ZHOU Pingping²

(1. Key Laboratory of Environmental Medicine and Engineering of Ministry of Education, School of Public Health, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210009, China;
2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

Abstract: Objective To explore the contamination characteristics of furan in commercially infant formula and supplementary food and assess the health risk of furan exposure among Chinese infant population. **Methods** Based on the convenience sampling method, 260 commercial infant formula and supplementary food were collected in Beijing, Zhejiang, Shandong, and Sichuan from 2017 to 2018. Furan was determined by isotope dilution headspace-gas chromatography-mass spectrometry method. Probabilistic assessment method was adopted to assess the risk of furan exposure in infants aged 0 to 36 months from 2015 infant food consumption survey data. **Results** The detection rate of furan in infant formula and supplementary food was 90.32%-100.00%, and the average contamination level was 4.05-46.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The average contamination level of furan in meat puree was the highest (46.26 $\mu\text{g}/\text{kg}$), followed by vegetable puree (41.31 $\mu\text{g}/\text{kg}$), and the lowest was infant formula (4.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$). The average exposure of furan in infants aged 0-36 months was 21.95 ng/kg BW. Infants aged 0-36 months were divided into three groups: 0-6 months, 7-12 months and 13-36 months. The exposure of furan was the highest in infants aged 7-12 months. Considering non-neoplastic effects of furan, the range of margin of exposure (MOE) value for each group was 651-3 936. Considering neoplastic effects of furan, the range of MOE value for each group was 13 322-80 566. **Conclusion** For the infants aged 0-36 months and high consumers, the health risk of furan exposure from infant formula and supplementary food was of low concern.

Key words: Infant formula; supplementary food for infants; furan; probabilistic risk assessment; dietary exposure

收稿日期: 2020-12-07

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFC1603600); 中国食品科学技术学会食品科技基金-雅培食品营养与安全专项科研基金 (2019-11003)

作者简介: 李影 女 硕士生 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: 220183456@seu.edu.cn

通信作者: 孙桂菊 女 教授 研究方向为食品安全与食品功效 E-mail: gjsun@seu.edu.cn

周萍萍 女 研究员 研究方向为食品安全化学物风险评估 E-mail: zhoupingping@cfsa.net.cn

呋喃(furan)是一种无色、易挥发的含氧五元杂环化合物,沸点为 $31.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]。作为一种食品热加工过程产生的污染物,呋喃形成的主要途径是单独存在的还原糖热降解或还原糖与氨基酸共存时发生的美拉德反应,碳水化合物和某些氨基酸的热降解,多不饱和脂肪酸、抗坏血酸和类胡萝卜素的热氧化等^[2-4]。现有文献报道,呋喃对啮齿动物具有肝毒性,可导致肝细胞腺瘤和癌变^[2],国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)已将其列入2B组(人类可能致癌物)^[5]。2004年美国食品药品监督管理局(FDA)在一些食品中检测出呋喃,后续欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)也在婴儿食品、谷类、薯片等11类食品中检测到呋喃^[6-7],这些发现引发了权威机构和科学家们对呋喃的进一步研究^[1,8]。EFSA^[2]和SCHOLL等^[9]认为与儿童和成人相比,婴儿通过膳食摄入呋喃的暴露量最高,暴露来源主要来自即食食品。2019年法国婴儿总膳食研究(total diet study, TDS)的结果也支持了即食食品是婴儿呋喃暴露的主要来源^[8]。由此,呋喃在婴幼儿食品安全问题上受到广泛关注。

近年来,蒙特卡洛模拟(Monte Carlo simulation, MCS)方法作为一种概率评估方法,已经被广泛应用于食品安全风险评估领域,与传统的确定性评估比较,即使数据样本量较少的情况,也可以很好地反映数据的变异性和不确定性,进而得出更加科学的评估结果^[10-12]。目前我国对婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中呋喃的污染特征鲜有报道,且婴幼儿人群呋喃膳食暴露健康风险不明。因此,本研究重点研究了市售的主要婴幼儿食品中呋喃污染特征,据此表征我国婴幼儿人群呋喃的膳食暴露水平及其潜在的健康风险。

1 材料与方法

1.1 数据来源

呋喃含量数据来自2017—2018年北京市、浙江省、山东省和四川省婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助罐装食品采样检测数据,包括婴幼儿配方乳粉(50份)、米粉(19份)、谷物(米粉除外,31份)、菜泥(20份)、肉泥(38份)和果泥(102份),共6种260份样品。菜泥、肉泥和果泥分别是以蔬菜、肉(牛肉/鱼肉/肝)、水果为主要成分的复合食品。婴幼儿食物消费量来自国家食品安全风险评估中心2015年中国居民食物消费量调查数据,调查省份包括北京市、河北省、内蒙古自治区、辽宁省、黑龙江省、江苏省、浙江省、江西省、山东省、湖北省、广东

省、重庆市、贵州省、云南省、甘肃省。采用3 d 24 h回顾调查法,经数据清理,获得婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品19 480条消费数据。

1.2 方法

1.2.1 呋喃检测

本研究中样品的呋喃含量水平由浙江省疾病预防控制中心和北京市疾病预防控制中心采用同位素内标稀释-顶空气相色谱-质谱法进行检测,方法检出限(LOD)为 $0.1\text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$,定量限为 $0.3\text{ }\mu\text{g}/\text{kg}$ 。检测方法依据制定的食品中4种呋喃类化合物检测标准操作程序(暂未发表),标准品统一购买和配制,组织采样和检测协作单位进行方法学验证,盲样考核,20%的样品按照FDA方法^[13]开展基质标准加入法测定,20%的样品进行实验室间交叉比对。

对于未检出数据(ND)的处理,考虑世界卫生组织(WHO)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^[14],本研究样品中呋喃检出率在90%~100%之间,即当未检出数据所占的比例 $\leq 60\%$ 时,所有未检出数据的结果用 $1/2\text{LOD}$ 进行统计。

1.2.2 暴露评估

采用联合国粮食及农业组织(FAO)和WHO推荐的《食品中化学物风险评估原则和方法》中概率评估方法^[15],通过建立6种食品中呋喃污染数据库和0~36月龄婴幼儿人均每日每公斤体重的膳食摄入数据库,对以上数据分布进行拟合,采用赤池信息量准则(AIC)函数曲线作为拟合优度的判断依据。采用拉丁超立方抽样方法,分布函数中分别随机抽样10 000次,利用Monte Carlo模拟计算得到0~6、7~12、13~36月龄婴幼儿呋喃的暴露量概率分布。本研究共模拟抽样100次分析呋喃暴露量概率分布的不确定性,使用统计量的平均值、四分位间距、95%置信区间(95%CI)表示其不确定度。

1.2.3 风险特征描述

呋喃的关键健康效应分为致癌效应和非致癌效应。对于呋喃的非致癌效应,肝脏是最敏感的器官,呋喃不仅可导致与肝毒性相关的标志物的特征性改变,也可造成肝脏严重的组织病理学损伤。各权威风险评估机构对呋喃的致癌效应和非致癌效应均采用暴露限值(margin of exposure, MOE)法进行风险特征描述。2017年,基于美国国家毒理学计划(national toxicology program, NTP)^[16]和MOSER等^[17]2年雌性小鼠肝细胞腺瘤和癌发生率的合并数据集,EFSA推导出呋喃致癌效应的基准剂量下限值(BMDL₁₀)为 $1.31\text{ mg}/\text{kg BW}$;同时选择了美国

国家毒理研究中心(National Center for Toxicological Research, NCTR)^[18] 2 年研究中大鼠胆管纤维化发生率的数据集,EFSA 推导出呋喃的非致癌效应的 BMDL₁₀ 为 0.064 mg/kg BW。

本研究采纳了 EFSA 推导的呋喃大鼠胆管纤维化发生率 BMDL₁₀ 为 0.064 mg/kg BW 作为非致癌效应的毒性起始点,基于现有的毒性数据并考虑从动物外推到人类的种属间和人类种属内的差异,其 MOE<100 时健康风险优先关注^[2]。肝细胞腺瘤/癌发生率的 BMDL₁₀(1.31 mg/kg BW)作为致癌效应的毒性起始点,综合考虑从动物外推到人类的种属间以及人类种属内的差异(安全系数为 100),致癌过程的性质(影响致癌性过程的细胞周期调控和 DNA 修复能力的人类个体间差异)剂量-反应曲线上的起始点(低于起始点的剂量效应关系以及低于该剂量水平不会增加癌症发病率的情况存在不确定性,安全系数为 100)^[19],其 MOE<10 000 时健康风险优先关注。

$$MOE = \frac{BMDL_{10}}{\text{人群膳食暴露量}}$$

总之,呋喃非致癌性风险 MOE<100 时,呋喃引

起的非致癌效应(胆管纤维化)风险优先关注。呋喃致癌性风险 MOE<10 000 时,呋喃引起的致癌性风险(肝细胞腺瘤)优先关注。

1.3 统计学分析

利用 SPSS 20.0 统计软件进行数据清理,概率评估使用@ RISK 8.0(美国 Palisade),消费量以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。

2 结果

2.1 婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中呋喃污染特征

不同种类婴幼儿食品中呋喃污染水平见表 1。其中米粉、菜泥、肉泥和果泥的检出率均为 100.00%,婴幼儿配方乳粉和谷物(米粉除外)的检出率分别为 96.00%(48/50)和 90.32%(28/31)。各类婴幼儿食品中呋喃平均污染水平为 4.05~46.26 μg/kg,中位数为 3.40~54.39 μg/kg,含量范围为 0.05~235.54 μg/kg。呋喃在各类食品中平均污染水平依次为肉泥>菜泥>谷物(米粉除外)>米粉>果泥>婴幼儿配方乳粉。

表 1 不同种类婴幼儿食品中呋喃污染水平

Table 1 Furan concentrations in various baby foods

食品类别	检测份数	检出份数	检出率/%	含量/(μg/kg)				
				平均值	中位数	P95	P97.5	范围
婴幼儿配方乳粉	50	48	96.00	4.05	3.54	7.74	11.50	0.05~15.85
米粉	19	19	100.00	6.96	3.40	41.25	41.25	0.86~41.25
谷物(米粉除外)	31	28	90.32	22.55	4.61	137.91	235.54	0.05~235.54
菜泥	20	20	100.00	41.31	39.43	94.05	101.17	5.69~101.17
肉泥	38	38	100.00	46.26	54.39	157.80	217.20	3.33~217.20
果泥	102	102	100.00	5.37	4.40	10.80	17.20	1.76~23.20

2.2 婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品消费量

通过对 0~6、7~12、13~36 月龄婴幼儿人群的婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品消费量进行拟合分布,结果表明其最优拟合分布均为指数分布

(RiskExpon),婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品 6 种食品的消费量见表 2。在不同月龄组,婴幼儿配方乳粉均是消费量最大的,7~12 月龄婴幼儿辅助食品的消费量与 0~6 月龄比有明显增加。

表 2 不同种类婴幼儿食品人均消费量($\bar{x} \pm s$,g/kg BW)

Table 2 Daily consumption per kilogram of various baby foods

食品类别	食品种类	0~6 月龄	7~12 月龄	13~36 月龄
婴幼儿配方乳粉		5.185 0±5.186 0	5.034 0±5.036 0	3.168 0±3.169 0
	米粉	0.219 6±0.219 6	0.482 9±0.483 0	0.067 6±0.067 6
	谷物(米粉除外)	0.053 4±0.053 4	0.257 3±0.257 4	0.108 7±0.108 7
婴幼儿辅助食品	菜泥	0.011 5±0.011 5	0.029 7±0.029 8	0.003 7±0.003 7
	肉泥	0.000 3±0.000 3	0.029 1±0.029 2	0.002 6±0.002 6
	果泥	0.005 9±0.005 9	0.040 7±0.040 7	0.016 8±0.016 8
	小计	0.290 7±0.290 7	0.840 0±0.840 0	0.199 3±0.199 3

2.3 0~36 月龄婴幼儿人群呋喃膳食暴露评估

0~36 月龄婴幼儿人群呋喃平均暴露量和高食物消费量(P95)暴露量^[2]分别为 21.95 和 62.69 ng/kg BW。不同月龄组中,7~12 月龄婴幼儿人群

呋喃平均暴露量和 P95 暴露量最高,而 13~36 月龄婴幼儿人群最低,见表 3。0~6 月龄婴幼儿人群通过婴幼儿配方乳粉摄入的呋喃最高,7~12 月龄次之,13~36 月龄最低,见表 4。婴幼儿人群通过婴幼

儿辅助食品摄入呋喃的暴露量自 6 月龄开始明显增高,至 12 月龄之后下降。不同种类食品对 0~36 月龄婴幼儿人群呋喃膳食暴露的贡献率见图 1,可见

婴幼儿配方乳粉为各个月龄组婴幼儿人群贡献率最高的食品(61.6%~85.8%),其次是谷物(米粉除外,6.2%~20.0%)。

表 3 0~36 月龄婴幼儿人群呋喃暴露量概率分布 (ng/kg BW)

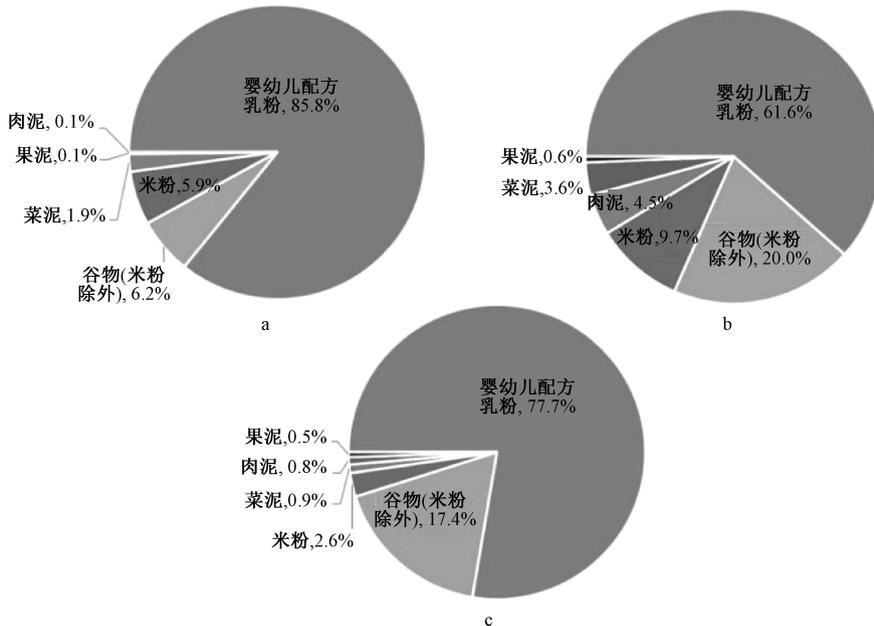
Table 3 Probability distribution of furan dietary exposure for infants aged 0-36 months

月龄	平均值(95%CI)	P25	P50	P75	P90	P95
0~6	24.14(22.36~25.92)	7.10	15.69	30.35	54.55	73.46
7~12	34.26(30.99~37.53)	12.61	22.60	40.22	67.00	98.33
13~36	16.26(14.96~17.56)	4.84	9.90	20.47	35.97	47.19
合计	21.95(19.11~24.79)	6.52	13.88	27.03	46.30	62.69

表 4 0~36 月龄婴幼儿人群每日经 6 种食品摄入呋喃的暴露量 (ng/kg BW)

Table 4 Furan dietary exposure to six kinds of food for infants aged 0-36 months

食品类别	食品种类	0~6 月龄		7~12 月龄		13~36 月龄	
		平均值	P95	平均值	P95	平均值	P95
婴幼儿配方乳粉		21.33	76.51	20.65	68.62	13.22	49.09
	米粉	1.46	5.07	3.26	10.33	0.44	1.64
	谷物(米粉除外)	1.54	7.02	6.70	24.51	2.97	10.88
婴幼儿辅助食品	菜泥	0.48	1.75	1.20	4.10	0.16	0.57
	肉泥	0.02	0.07	1.51	6.45	0.14	0.55
	果泥	0.03	0.10	0.21	0.65	0.09	0.29
	小计	3.24	13.81	12.23	64.22	3.35	16.39



注:a 为 0~6 月龄;b 为 7~12 月龄;c 为 13~36 月龄

图 1 不同种类食品对 0~36 月龄婴幼儿人群呋喃膳食暴露的贡献率

Figure 1 Contributions of the different food groups to furan dietary exposure in infants

2.4 0~36 月龄婴幼儿人群呋喃的风险特征描述

对于呋喃非致癌效应(胆管纤维化)的风险,0~36 月龄婴幼儿人群平均 MOE 为 2 916,不同月龄组 MOE 均在 100 以上;0~36 月龄高消费人群(P95) MOE 为 680,各月龄组 MOE 范围为 651~1 356,均高于 100,见表 5。0~6、7~12、13~36 月龄婴幼儿人群组个体 MOE 均高于 100(图 2a),表明 0~36 月龄婴幼儿人群膳食暴露呋喃引起的非致癌性健康风险不属于优先关注。

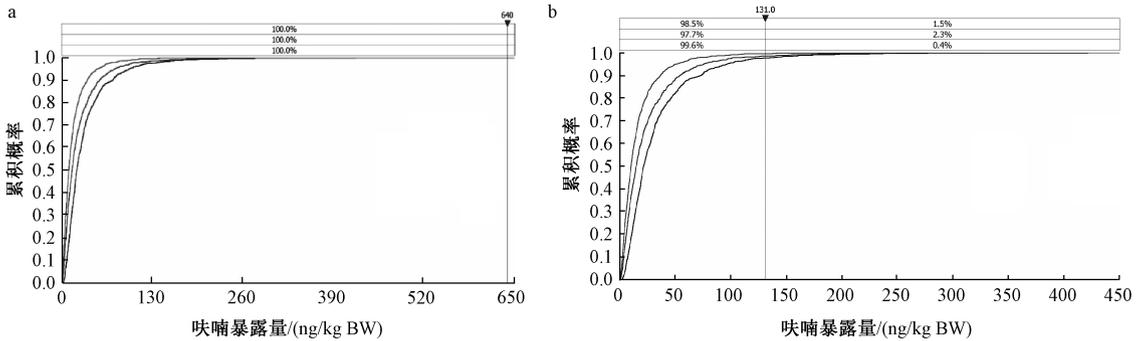
对于呋喃致癌效应(肝细胞腺瘤)的风险,0~36 月龄婴幼儿人群平均 MOE 为 59 681,各月龄组 MOE 范围为 38 237~80 566,均高于 10 000;0~36 月龄高消费人群(P95) MOE 为 13 910,不同月龄组 MOE 均在 10 000 以上,见表 5。0~6、7~12、13~36 月龄婴幼儿人群组个体 MOE 低于 10 000 的比例分别占 1.5%、2.3%和 0.4%(图 2b),表明 0~36 月龄婴幼儿人群膳食暴露呋喃引起的致癌性健康风险不属于优先关注。

表 5 0~36 月龄婴幼儿人群以及高消费人群 MOE 值

Table 5 Margin of exposure (MOE) of the furan in infants

aged 0-36 months

月龄	非致癌性		致癌性	
	平均值	P95	平均值	P95
0~6	2 651	871	54 267	17 833
7~12	1 868	651	38 237	13 322
13~36	3 936	1 356	80 566	27 760



注:a 为非致癌效应;b 为致癌性效应;图中曲线从左到右依次为 13~36、0~6、7~12 月龄

图 2 不同月龄人群呋喃暴露量分布

Figure 2 Distribution of furan exposure in different age groups

消费量以及婴幼儿配方乳粉中的呋喃含量,谷物(米粉除外)中呋喃含量次之。

2.6 与文献报道数据对比分析

本研究婴幼儿配方乳粉中呋喃的含量水平与 LAMBERT 等^[20]的结果一致,但低于 2017 年 EFSA 监测的婴幼儿配方乳粉中呋喃的含量^[2],并且远高于 ALTAKI 等^[21]报道的数据。婴幼儿辅助食品谷物和菜泥中呋喃的含量水平与 EFSA 报道的结果^[22]一致。而婴幼儿辅助食品菜泥和果泥中呋喃的含量水平高于 ALTAKI 等^[21]报道的数据,见表 6。另外本研究结果显示 0~6、7~12 和 13~36 月龄婴幼儿的呋喃平均暴露量结果均低于文献报道的数据,见表 7。

3 讨论

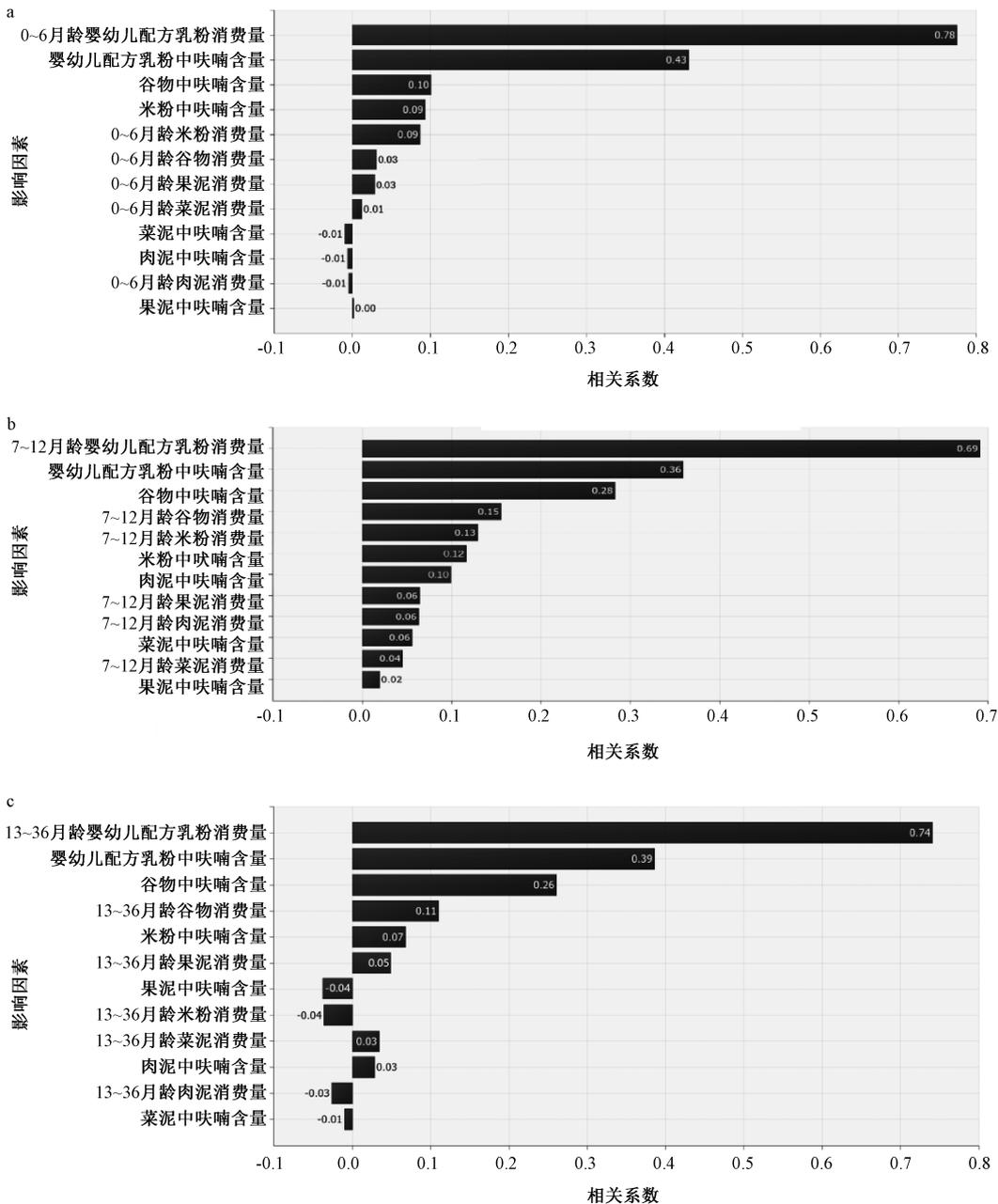
本研究对我国婴幼儿人群呋喃膳食暴露开展了概率评估研究。风险评估模型有确定性评估和概率风险评估(probabilistic risk assessment, PRA)^[10],确定性评估是传统的风险评估方法,无法反映数据的变异性和不确定性^[23],PRA 是通过拟合概率分布表示来源数据的可变性和不确定性,从而得出风险的概率分布^[10]。MCS 方法作为概率评估的基本方法,通过对前期建立的危害物污染数据库和膳食摄入数据库进行拟合分布、反复抽样,进而有效地量化数据的变异性和不确定度,采用 MCS 方法可以提高风险评估的科学严谨性^[23-24]。

2.5 0~36 月龄婴幼儿人群膳食中呋喃暴露敏感性分析

0~36 月龄婴幼儿人群膳食中呋喃暴露敏感性分析见图 3,其中相关系数的绝对值表示该变量影响膳食中呋喃平均暴露水平的能力。结果表明,影响 0~6、7~12、13~36 月龄组膳食中呋喃平均暴露水平相对较高的均为其相对应的婴幼儿配方乳粉

本研究表明在婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中均含有较高浓度的呋喃。婴幼儿辅助食品中呋喃的含量水平从高到低依次为肉泥、菜泥、谷物(米粉除外)、米粉和果泥,这与国外已有的研究结果^[20-21]一致,这种污染特征可能与不同种类食品中呋喃的主要前体物质蛋白质、碳水化合物、脂肪的来源和性质差异以及抗坏血酸的降解有关^[21,25]。本研究肉泥中的呋喃含量水平(46.26 μg/kg)介于 ALTAKI 等^[21]报道的肉泥中呋喃含量(35.00 μg/kg)和鱼泥中呋喃含量(49.00 μg/kg)之间。分析原因是本研究的肉泥类别涵盖了鱼泥、牛肉泥、肝泥等亚类,与 ALTAKI 等报道的食品分类不同而导致的含量差异。本研究婴幼儿配方食品及婴幼儿辅助食品中呋喃含量与其他研究结果^[21]不一致,一方面可能归因于食品种类中亚类的差异,另一方面可能归因于同种食品亚类的食品成分的差异^[26]。

本研究结果显示 0~6、7~12 和 13~36 月龄婴幼儿的平均暴露量分别为 24.14、34.26 和 16.26 ng/kg BW,这些结果低于文献报道的数据^[2,20],其原因可能是不同研究计算暴露量时所涵盖的食物种类以及不同地域的人口消费模式有差异。例如 EFSA^[2]和法国婴幼儿 TDS^[20]在计算暴露量时涵盖了婴幼儿配方乳粉和婴幼儿辅助食品外,还有其他的食物种类(如熟食肉类、新鲜蔬菜、牛奶、奶酪等)。并且暴露量与不同地域人们的饮食文化和习惯有关,这导致不同种类食物在不同地域的人口



注:a为0~6月龄;b为7~12月龄;c为13~36月龄

图3 0~36月龄婴幼儿人群膳食中呋喃暴露敏感性分析

Figure 3 Sensitivity analysis of cumulative dietary exposure to furan in 0-36 month old infants

消费模式存在差异。本研究中7~12月龄婴儿的呋喃平均暴露量和P95暴露量最高,与SIROT等^[8]的研究结果一致,这与6月龄以后婴幼儿开始添加辅食(这些食物中的呋喃污染水平较高)有关。本研究结果显示婴幼儿配方乳粉是各个月龄组婴幼儿人群贡献率最高的食品,虽然肉泥中呋喃的污染水平最高,但是肉泥的消费量远低于婴幼儿配方乳粉的消费量,因此,在不同月龄组,婴幼儿配方乳粉仍是婴幼儿平均呋喃暴露量的主要来源,这与EFSA报道的婴幼儿呋喃暴露的主要因素是婴幼儿配方乳粉(48%)结果一致^[2]。综上所述,我国0~36月龄婴幼儿平均暴露人群以及高食物消费量人群膳

食暴露呋喃存在的健康风险无须关注。但为尽量避免可能的暴露,建议相关企业采取工艺措施尽可能降低婴幼儿食品中呋喃的含量。

本次评估中由于资料和数据方面的原因,存在如下两方面的不确定因素:本次评估的食品种类不全,尽管涵盖了主要的婴幼儿热加工食品,但仍未能包括所有婴幼儿食品种类,检测样品的数量也会带来一定的不确定性;另外本研究采集的婴幼儿食品样品来自国内4个省份,其数据代表性也存在一定的不确定性,应用时需考虑不确定因素可能带来的影响。

表 6 国内外婴幼儿食品中呋喃含量对比

Table 6 Comparison of furan content in infant food at home and abroad

食品类别	来源	样品份数	平均含量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
婴幼儿配方乳粉	本研究	50	4.05
	法国 ^[20]	23	3.50~5.70
	欧盟 ^[2]	12	10.50
	西班牙 ^[21]	8	0.20
谷物*	本研究	31	22.55
	欧盟 ^[22]	163	23.00~25.00
	法国 ^[20]	2	44.00
菜泥	本研究	20	41.31
	西班牙 ^[21]	6	10.00
	欧盟 ^[22]	281	48.00~49.00
	全球 ^[27]	37	30.30
肉泥#	本研究	38	46.26
	西班牙 ^[21]	33	35.00
	西班牙 ^[21]	10	49.00
	欧盟 ^[22]	550	40.00
	全球 ^[27]	114	33.30
果泥	本研究	102	5.37
	西班牙 ^[21]	8	1.60
	欧盟 ^[22]	250	2.50~5.30
	全球 ^[27]	13	7.20

注: * 本研究谷物类别中不包括米粉,但欧盟和法国谷物类别中包括米粉;#本研究的肉泥类别包括鱼泥、肝泥,西班牙的肉泥类别分别为肉泥、鱼泥,欧盟的肉泥类别包括菜泥,全球的肉泥类别包括鱼泥

表 7 国内外 0~36 月龄婴幼儿人群呋喃暴露量对比

Table 7 Comparison of furan exposure in 0-36 month old infants at home and abroad

月龄	来源	平均暴露量/($\mu\text{g}/\text{kg BW}$)
0~6	本研究	0.024
1~4	法国 ^[8]	0.09~0.14
5~6	法国 ^[8]	0.56~0.60
0~12	EFSA ^[2]	0.40~0.49
7~12	本研究	0.034
	法国 ^[8]	0.80~0.84
13~36	本研究	0.016
	EFSA ^[2]	0.36~0.46
	法国 ^[8]	0.30~0.37

参考文献

[1] MAYERHOFER U, CZERWENKA C, MARCHART K, et al. Dietary exposure to furan of the Austrian population[J]. Food Additives and Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment, 2019, 36 (11): 1637-1646.

[2] European Food Safety Authority (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 L C, YAYLAYAN V A. Origin and mechanistic pathways of formation of the parent furan-a food toxicant [J]. Journal of Agricultural and 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 and Contaminants, 2007, 24 (s1): 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) [2020-08-12]. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2004-05-10/pdf/04-10588.pdf>.

[7] EFSA. Report of the CONTAM panel on provisional findings on furan in food [J]. EFSA Journal, 2004, 137:1-20.

[8] SIROT V, RIVIÈRE G, LECONTE S, et al. French infant total diet study: dietary exposure to heat-induced compounds (acrylamide, furan and polycyclic aromatic hydrocarbons) and associated health risks [J]. Food and Chemical Toxicology, 2019, 130: 308-316.

[9] SCHOLL G, HUMBLET M F, SCIPPO M L, et al. Preliminary assessment of the risk linked to furan ingestion by babies consuming only ready-to-eat food [J]. Food Additives and Contaminants-Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment, 2013,30(4):654-659.

[10] DJAHED B, TAGHAVI M, FARZADKIA M, et al. Stochastic exposure and health risk assessment of rice contamination to the heavy metals in the market of Iranshahr, Iran [J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 115: 405-412.

[11] 刘爱东,周萍萍,刘飒娜,等. 中国居民白酒中氨基甲酸乙酯健康风险概率评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(2): 244-248.

[12] 刘琼瑜,李浩洋,容裕棠,等. Monte Carlo 模拟对面制品中铅膳食暴露风险的概率评估[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 223-228.

[13] US Food and Drug Administration (FDA). Determination of furan in foods [EB/OL]. (2006-10-27) [2020-10-09]. <https://www.fda.gov/food/chemicals/determination-furan-foods>.

[14] GEMS/Food-EUROS. Second workshop on “reliable evaluation of low-level contamination of food” [R]. Kulmbach; Germany, 1995;26-27.

[15] International Programme on Chemical Safety. Environmental health criteria 240: principles and methods for the risk assessment of chemicals in food [R]. Geneva: WHO, 2009.

[16] National Toxicology Program (NTP). Toxicology and carcinogenesis studies of furan (CAS No. 110-00-9) in F344 rats and B6C3F1 mice (gavage studies) [J]. National Toxicology Program Technical Report, 1993, 402: 1-286.

[17] MOSER G J, FOLEY J, BURNETT M, et al. Furan-induced dose-response relationships for liver cytotoxicity, cell proliferation, and tumorigenicity (furan-induced liver tumorigenicity) [J]. Experimental and Toxicologic Pathology, 2009, 61(2): 101-111.

[18] National Center for Toxicological Research (NCTR). Two-year carcinogenicity bioassay of furan in F344 rats [R]. Technical Report for NCTR Experiment No E2168.01, 2015: 102.

[19] EFSA. Opinion of the Scientific Committee on a request from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic [J]. EFSA Journal, 2005, 282: 1-31.

[20] LAMBERT M, INTHAVONG C, DESBOURDES C, et al. Levels of furan in foods from the first French total diet study on

- infants and toddlers [J]. *Food Chemistry*, 2018, 266(15): 381-388.
- [21] ALTAKI M S, SANTOS F J, PUIGNOU L, et al. Furan in commercial baby foods from the Spanish market: estimation of daily intake and risk assessment [J]. *Food Additives and Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 2017, 34(5): 728-739.
- [22] European Food Safety Authority. Update on furan levels in food from monitoring years 2004-2010 and exposure assessment [J]. *EFSA Journal*, 2011, 9(9): 2347.
- [23] 李可, 陈网璇, 丘汾, 等. 非参数概率法评估 2015—2017 年深圳地区 9 类食品黄曲霉毒素膳食暴露风险 [J]. *卫生研究*, 2018, 47(5): 827-832.
- [24] QU C, LI B, WU H, et al. Probabilistic ecological risk assessment of heavy metals in sediments from China's major aquatic bodies [J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2016, 30(1): 271-282.
- [25] PALMERS S, GRAUWET T, VANDEN A L, et al. Effect of oxygen availability and pH on the furan concentration formed during thermal preservation of plant-based foods [J]. *Food Additives and Contaminants-Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 2016, 33(4): 612-622.
- [26] SCHOLL G, SCIPPO M L, PAUW E D, et al. Estimation of furan contamination across the Belgian food chain [J]. *Food Additives and Contaminants-Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 2012, 29(2): 172-179.
- [27] KETTLITZ B, SCHOLZ G, THEURILLAT V, et al. Furan and methylfurans in foods: an update on occurrence, mitigation, and risk assessment [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(3): 738-752.

风险评估

广东省部分地区市售龙眼中农药残留现状与膳食暴露评估

黄敏兴^{1,2}, 高裕锋^{1,2}, 甄振鹏^{1,2}, 刘志鹏^{1,2}, 陈晓初^{1,2}, 杨李胜^{1,2}, 余构彬^{1,2}

(1. 广东省科学院生物工程研究所, 广东 广州 510316;

2. 中国轻工业甘蔗制糖工程技术研究中心, 广东 广州 510316)

摘要:目的 调查广东省 10 个城市市售龙眼中农药残留现状并开展膳食暴露评估, 为龙眼生产的合理用药及龙眼中农药残留限量的修订提供参考依据。方法 随机采购来自广东省 10 个城市的 200 份龙眼样品, 对其中的 50 种农药残留进行检测。统计分析农药残留数据, 采用风险熵值进行龙眼膳食暴露风险评估。结果 200 份龙眼样品中, 检出农药 20 种, 其中检出率最高的农药为多菌灵, 高达 33.00% (66/200)。84.00% (168/200) 的样品检出农药残留, 27.50% (55/200) 的样品检出 2 种及以上多种农药残留。检出的 20 种农药的慢性膳食暴露量占每日允许摄入量的比例 (%ADI) 均低于 9.00%, 在 0.00%~8.56% 之间; 急性膳食暴露量占急性参考剂量的比例 (%ARFD) 均低于 100.00%, 在 0.02%~70.00% 之间。根据残留风险得分, 检出残留的 20 种农药可划分为高风险 (5 种)、中风险 (7 种)、低风险 (8 种) 3 类。结论 广东省 10 个城市龙眼中农药残留慢性膳食摄入风险和急性膳食摄入风险均较低, 正常食用龙眼不会对居民健康造成不良影响。

关键词: 广东省; 龙眼; 农药残留; 风险评估

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2021)01-0086-07

DOI: 10.13590/j.cjfh.2021.01.017

Monitoring and risk assessment of pesticide residues in longan samples in several areas of Guangdong Province

HUANG Minxing^{1,2}, GAO Yufeng^{1,2}, ZHEN Zhenpeng^{1,2}, LIU Zhipeng^{1,2},
CHEN Xiaochu^{1,2}, YANG Lisheng^{1,2}, YU Goubin^{1,2}

(1. Institute of Bioengineering, Guangdong Academy of Sciences, Guangdong Guangzhou 510316, China; 2. Research Center for Sugarcane Industry Engineering Technology of Light Industry of China, Guangdong Guangzhou 510316, China)

收稿日期: 2020-11-23

基金项目: 广州市科技计划项目 (201806010093); 广东省科学院专项资金项目 (2020GDASYL-20200103064)

作者简介: 黄敏兴 男 工程师 研究方向为食品检验与食品安全 E-mail: 1091298588@qq.com

通信作者: 高裕锋 男 高级工程师 研究方向为食品检验与标准化 E-mail: gyuf2001@163.com