

食品中氯丙醇脂肪酸酯风险及应对措施概述

李荷丽^{1*}, 程雅晴^{1,2}, 贝君^{1*}, 李立¹, 吴永宁³

(1. 中国检验检疫科学研究院, 北京 100176; 2. 墨尔本大学兽医和农业科学学院, 墨尔本 3010;
3. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100021)

摘要: 氯丙醇酯作为食品中的一类新型污染物, 得到世界各国和地区的广泛关注和研究。氯丙醇酯类物质种类繁多, 其反应机制、毒理学和代谢转化研究尚不成系统, 目前研究表明氯丙醇酯类物质具有一定的肾脏、生殖毒性及潜在的致癌性。国内外对氯丙醇酯的检测方法、污染水平和暴露评估等研究主要集中在 3-氯-1,2-丙二醇酯和 2-氯-1,3-丙二醇酯, 且主要集中在婴儿配方奶粉、油炸和烘焙食品等脂肪含量较高的食品上。通过研究发现, 普通消费者从日常饮食中摄入氯丙醇酯类物质一般是无风险的, 但对于一些年轻群体和仅食用配方奶粉的婴幼儿来说风险较高。国内外已相继开展了对氯丙醇酯的研究和监控, 以减少食品中氯丙醇酯类物质污染水平。目前只有欧盟制定了 3-氯-1,2-丙二醇酯在部分食用油和婴幼儿配方食品中的限量要求, 仅国际食品法典委员会制定了植物油中 3-氯-1,2-丙二醇酯的控制规范, 来降低食品中氯丙醇酯的风险。鉴于此, 本文主要对氯丙醇酯形成机制、代谢、毒性、国内外食品中氯丙醇酯的污染水平、风险评估研究进展及其管理控制措施等方面进行了简要概述, 以期对食品安全监管提供参考。

关键词: 氯丙醇酯; 风险; 应对措施

Review on risk and countermeasures of chloropropanol esters in foodstuffs

LI He-Li^{1*}, CHENG Ya-Qing^{1,2}, BEI Jun^{1*}, LI Li¹, WU Yong-Ning³

(1. Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China; 2. Faculty of Veterinary and Agricultural Sciences, University of Melbourne, Elbourne 3010, Australia; 3. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100021, China)

ABSTRACT: As a new type of food pollutant, chloropropanol esters has drawn more and more attention and has been studied all over the world. There are many kinds of chloropropanol esters, but their reaction mechanism, toxicology and metabolic transformation have not been studied systematically. At present, the research shows that chloropropanol esters have certain renal, reproductive toxicity and potential carcinogenicity. Now studies on the detection methods, pollution levels and exposure assessment of chloropropanol esters mainly focus on 3-chloropropane-1,2-diol fatty acid ester and 2-chloropropane-1,3-diol fatty acid ester, and mainly concentrated in infant formula, fried and baked goods and other

基金项目: 国家市场监督管理总局科技计划项目(2020MK173)

Fund: Supported by the Science and Technology Program of the State General Administration of Market Supervision and Administration (2020MK173)

*通信作者: 李荷丽, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: liheli1234@126.com

贝君, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为 HACCP 理论及应用研究。E-mail: beidiorange@163.com

*Corresponding author: LI He-Li, Ph.D, Assistant Professor, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, No.11, Ronghua South Road, Daxing District, Beijing 100176, China. E-mail: beidiorange@163.com

BEI Jun, Master, Assistant Professor, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, No.11, Ronghua South Road, Daxing District, Beijing 100176, China. E-mail: beidiorange@163.com

foods with high fat content. Dietary exposure to chloropropanol esters was found to be risk-free for the average consumer, but higher for some younger age groups, infants and young children who consumed only formula. In order to reduce the contamination level of chloropropanol esters in food, the research and monitoring of chloropropanol esters have been carried out at home and abroad. At present, only the European Union has set limits for 3-chloropropane-1,2-diol fatty acid esters in some edible oils and formula foods, and only the Codex Alimentarius Commission (CAC) has set the control standard for 3-chloro-1,2-propanediol ester ester in vegetable oils to reduce the risk. Considering this, this paper briefly summarized the formation mechanism, metabolism, toxicity, content of chloropropanol ester in food at home and abroad, risk assessment research progress and management and control measures of chloropropanol esters, in order to provide reference for food safety supervision.

KEY WORDS: chloropropanol esters; risk; countermeasures

0 引言

氯丙醇酯是近几年发现的存在于含脂肪食品中的一类新型污染物,是氯丙醇类化合物与脂肪酸的酯化产物^[1-2]。按照氯原子取代位置的不同分为3-氯-1,2-丙二醇酯(3-chloro-1,2-propanediol ester, 3-MCPDE)、2-氯-1,3-丙二醇酯(2-chlorine-1,3-propylene glycol esters, 2-MCPDE)、1,3-二氯-2-丙醇酯(1,3-chlorine-2-propylene esters, 1,3-DCPE)和2,3-二氯-1-丙醇酯(2,3-dechlorine-1-propylene esters, 2,3-DCPE)。氯丙醇所结合的脂肪酸数量和种类,决定了氯丙醇酯类物质结构和种类的多样性,如3-MCPD单酯、3-MCPD二酯、2-MCPD单酯、2-MCPD二酯、1,3-DCP单酯、2,3-DCP单酯等^[3-4],目前食品中检出量较高的是3-MCPDE,也是研究最多的物质。基于目前国内外的研究现状,本文主要对氯丙醇酯的形成机制、代谢、毒性、食品中氯丙醇酯的污染水平、风险评估研究进展及其管理控制措施等方面进行简要概述,以期对监管者提供可参考的风险控制措施,保障消费者舌尖上的安全。

1 氯丙醇酯的形成机制、代谢、毒性等

关于氯丙醇酯的形成机制存在多种观点。一般认为,氯丙醇酯类物质是在高温(230~260 °C)、甘油酯[例如三酰基甘油(triacylglycerol, TAG)和二酰基甘油(diacylglycerol, DAG)]和含氯化物^[5]存在的条件下在加工过程中产生的,3-MCPDE和2-MCPDE是其主要的存在形式。加工助剂、生产用水、无机氯化物(如氯化钙、氯化镁和氯化铁)和有机氯等含氯化物是形成氯丙醇酯的潜在氯化物来源^[6-7],有效氯含量、加工时间和水分等条件,均会影响氯丙醇酯类物质的产生^[3]。氯丙醇酯类物质多集中在脱臭程序产生,该过程是高温高真空(200~500 Pa 以下)的蒸汽蒸馏过程,能够加快生成氯丙醇酯的反应^[6,8-10]。

在油脂精炼过程中,缩水甘油酯(即环氧甘油酯, glycidyl esters, GEs)通常会与3-MCPDE一起存在,且其含量高低与3-MCPDE量的多少有密切关系^[1]。有观点认为,缩水甘油酯作为3-MCPDE的前体物质,它与氯丙醇

酯在特定条件下可以相互转化^[11-12]。其还能够与氯离子结合,生成2-MCPD单酯或3-MCPD单酯。实验表明,食用油中有大约10%~60%的3-MCPDE是通过缩水甘油酯途径产生的^[4,13]。RAHN等^[14]和英国RHM公司的HAMLET等^[15-16]通过红外光谱分析发现,在ZnCl₂的催化下,对用¹³C标记的甘油三棕榈酸酯进行90 °C加热实验,发现其产物中含有3-MCPD单酯和3-MCPD双酯。

《关于“氯丙醇酯和缩水甘油酯”的风险解析》^[17]指出,目前关于3-MCPDE毒理学研究尚不系统。查阅文献发现,目前国内外对1,3-DCPE和2,3-DCPE的毒理学研究较少,近年来国内外学者对于3-MCPDE和2-MCPDE的毒理学研究逐渐增多。研究显示,3-MCPD和2-MCPD及其酯和缩水甘油酯具有致癌性,3-MCPDE主要影响肾脏和睾丸,具有肾毒性、睾丸毒性、肝毒性、神经毒性、免疫毒性等其他毒性。3-MCPDE和缩水甘油酯在生物体内经脂肪酶水解会在体内分解为3-MCPD和缩水甘油,并在肠道中被吸收。3-MCPD和缩水甘油不仅被国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)列为人类可能的致癌物^[18](分别为2B和A组),且经过各种体外和体内实验,证明这两种物质都具有遗传毒性^[19-24],可能会导致DNA损伤和突变,对消费者的健康构成威胁^[25-29]。

关于3-MCPD的每日最大摄入量,联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food and Additives, JECFA)和欧盟食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)污染物专家小组历经了多次评估。JECFA在2016年前的第57次会议上对3-MCPD进行了评估,认为3-MCPD的主要作用器官是肾脏,得出的结论是暂定每日最大耐受量(provisional maximum tolerance daily intake, PMTDI)是2 μg/(kg bw)。EFSA在2016年首次评估了3-MCPD的潜在风险,将每日耐受摄入量(tolerable daily intake, TDI)确定为0.8 μg/(kg bw)。2016年, JECFA在第83次会议^[30]上重新对3-MCPD进行评估,基于两项关于3-MCPD的大鼠致癌的长期研究结果,尚未发现3-MCPD具有遗传毒性,但可能会

对人类具有生殖毒性, 长期食用会导致肾脏损伤。此次评估撤销了之前 $2 \mu\text{g}/(\text{kg bw})$ 的 PMTDI^[31-32], 因为研究发现即使是高消费人群, 3-MCPD 的每日摄入量也不会超过 $4 \mu\text{g}/(\text{kg bw})$, 所以将 3-MCPD 的 PMTDI 调整为 $4 \mu\text{g}/(\text{kg bw})$, 认为只要不超过这个量就是安全的。鉴于 JECFA 确定了不同剂量的安全水平, 2017 年 EFSA 决定采用最新的科学方法重新评估 3-MCPD 对肾脏和男性生育能力的不良影响, 其根据相同的毒理学资料, 不同的基准剂量(benchmark dose, BMD)建模技术, 最终确定 3-MCPD 的 TDI 为 $2.0 \mu\text{g}/(\text{kg bw})$ ^[32]。故目前为止, JECFA 与 EFSA 评估后分别制定了不同的参考剂量值。

2 国内外食品中氯丙醇酯污染水平及暴露评估

2016 年 5 月, EFSA 首次就 3-MCPD、2-MCPD 及其脂肪酸酯和缩水甘油脂肪酸酯在食品中安全性发表科学性建议^[33]: 研究发现棕榈油中 3-MCPDE、2-MCPDE 和缩水甘油

脂肪酸酯含量特别高。由于 3-MCPDE 的毒理性研究缺乏数据支撑, 报告参考了 3-MCPD 的 TDI, 评估发现食用婴幼儿配方奶粉的婴儿平均每日 3-MCPD 摄入量为 $2.4 \mu\text{g}/\text{kg}$, 超过了 $2.0 \mu\text{g}/(\text{kg bw})$ 。欧洲国际生命科学学会(International Life Sciences Institute, ILSI)报告^[34]显示, 3-MCPDE 普遍存在于植物油中, 在棕榈油中含量最高。中国第四次总膳食研究膳食氯丙醇酯污染及暴露评估报告^[35]显示, 精炼植物油是氯丙醇酯污染的主要来源, 与其相关的加工食品也几乎都有不同程度的氯丙醇酯污染。

本文根据近年来文献报道, 梳理了部分国家或地区食品中氯丙醇酯的污染水平及暴露评估情况, 见表 1。从表 1 中可以看出, 现阶段的研究主要针对 3-MCPDE 和 2-MCPDE 的污染及暴露情况, 调查研究的食品种类主要集中在食用油、婴幼儿配方奶粉、面包、饼干、麻花、方便面、薯片、菜肴等需要高温油炸或焙烤的含油脂食品。

表 1 近年来部分国家或地区食品中氯丙醇酯的污染水平及暴露评估一览表

Table 1 List of pollution level and exposure assessment of chloropropanol fatty acid ester in foodstuffs in some countries and regions

国家/地区	食品种类	污染物种类	污染水平/(mg/kg)	暴露水平/ $[\mu\text{g}/(\text{kg bw})]$	参考文献
日本	商业食用油	3-MCPDE	0.58~25.35	-	[36]
		3-MCPDE	0.739~0.921	-	
	轻质橄榄油	2-MCPDE	0.313~0.427	-	
	椰子油	3-MCPDE	0.333	-	
		2-MCPDE	0.216	-	
加拿大	食用油	3-MCPDE	0.121	-	[37]
		2-MCPDE	0.08	-	
	精制棕榈油	3-MCPDE	4.03	-	
		2-MCPDE	8.42	-	
	饼干	3-MCPDE	0.043~0.343	-	
2-MCPDE	0.021~0.167	-			
意大利	食用植物油	3-MCPD 单酯 ^a	0.005~1.606	-	[38]
		3-MCPD 双酯 ^b	0.106~3.444	-	
	油炸食品	3-MCPDE	0.261~2.52	-	
中国拉萨	植物油	2-MCPDE	0.085~1.45	-	[39]
		3-MCPDE	ND~3.24	-	
	方便面	2-MCPDE	ND~2.92	-	
		3-MCPDE	0.614	-	
中国龙岩	油条	2-MCPDE	0.55	-	[40]
		3-MCPDE	1.51	-	
	麻花	2-MCPDE	0.889	-	
		3-MCPDE	0.583	-	
中国北京、内蒙古等 15 个省市	食用植物油	2-MCPDE	0.407	-	[41]
		3-MCPDE	1.21	-	
	杏仁油	2-MCPDE	0.39	-	
		3-MCPDE	0.838	-	
	椰子油	2-MCPDE	<0.325	-	
澳大利亚和新西兰	橄榄油	2-MCPDE	<0.156~1.681	-	[42]
		3-MCPDE	<0.325~0.908	-	
	花生油	2-MCPDE	<0.156~0.529	-	
		3-MCPDE	<0.325~0.426	-	
	2-MCPDE	<0.156	-		
3-MCPDE	<0.325	-			

表 1(续)

国家/地区	食品种类	污染物种类	污染水平/(mg/kg)	暴露水平/[$\mu\text{g}/(\text{kg bw})$]	参考文献
	食用植物油		0.703	-	
中国江西	婴幼儿配方奶粉	3-MCPDE	0.338	-	[43]
	油条		2.362	-	
	面包		1.215	-	
马来西亚	精制棕榈油	3-MCPDE	1.3	-	[44]
土耳其	薯片	3-MCPDE	1.11 \pm 1.0	儿童: 平均 2.41; 高暴露 3.45	[45]
中国深圳	食用油	3-MCPDE	0.801	男 0.314~0.800, 女 0.311~0.766	[46]
中国北京	餐馆菜肴	3-MCPDE	0.516	4.45	[47]
	食堂菜肴		0.076	0.65	
美国	0~6 个月婴儿配方奶粉	3-MCPDE	0.054	7~10	[48]
	标准婴儿配方奶粉	3-MCPDE	0.031	0.51~0.89	
丹麦		2-MCPDE	0.0118	0.20~0.34	[49]
	专用粉状婴儿配方奶粉	3-MCPDE	0.0498	-	
		2-MCPDE	0.018	-	
	0~6 月龄婴幼儿配方奶粉	3-MCPDE	0.073~0.208	3.86	
		2-MCPDE	ND~0.060		
中国上海	6~12 月龄婴幼儿配方奶粉	3-MCPDE	0.046~0.179	2	[50]
		2-MCPDE	ND~0.054		
	12~36 月龄婴幼儿配方奶粉	3-MCPDE	0.037~0.189	1.07	
		2-MCPDE	ND~0.047		
中国广东	油炸食品	3-MCPDE	ND~0.49	0.12~1.25	[51]
		2-MCPDE	ND~0.64	0.16~3.73	
中国河北	婴幼儿配方奶粉	3-MCPDE	0.058	1 阶段 2.450; 2 阶段 1.515; 3 阶段 1.058; 4 阶段 0.140	[52]
		2-MCPDE	0.022	1 阶段 0.470; 2 阶段 0.545; 3 阶段 0.625; 4 阶段 0.095	
	黄油饼干	3-MCPDE	0.4248	-	
		2-MCPDE	0.2033	-	
德国	全麦饼干	3-MCPDE	0.0527	-	[53]
		2-MCPDE	0.0209	-	
	蛋糕	3-MCPDE	0.0375	-	
		2-MCPDE	0.0152	-	
欧洲地区	婴儿配方奶粉	3-MCPDE	0.108	-	[54]
澳大利亚和新西兰	脂质成分	3-MCPDE	0.284~2.164	-	[55]
	婴儿配方奶粉	3-MCPDE	0.076~0.591	0.93~3.39	
巴西圣保罗	婴儿配方奶粉	3-MCPDE	ND~0.60	5.81	[56]
中国陕西	乳粉	3-MCPDE	0.256	-	[57]
		2-MCPDE	0.00626	-	

注: a: 3-MCPD 单酯, 表示此物质化学结构上只有 1 个羟基结合了 1 种脂肪酸; b: 3-MCPD 双酯, 表示此物质化学结构上 2 个羟基各结合了 1 个脂肪酸。“-”表示参考文献中没有此项数据。ND 表示未检出。

2.1 污染水平

目前认为 3-MCPD 和 2-MCPD 及其酯和缩水甘油酯是精炼植物油中含量最高的食品污染物。FAO/WHO 研究发现, 3-MCPDE 几乎存在于所有精炼植物油中, 其中以精炼玉米油中含量最低, 为 0.3~1.3 mg/kg, 精炼棕榈油中含量最高, 为 4.5~13 mg/kg。相对于精炼食用油, 未精炼的食用油中 3-MCPDE 的含量则相对较低。中国第四次总膳食研究^[35]也表明只要使用了精炼植物油, 食品中就会或多或少带入氯丙醇酯, 其中 3-MCPDE 的污染水平最高, 其次是 2-MCPDE。

从表 1 可知, 精炼植物油等食品中检出 3-MCPDE 的报道很多^[36-41], 食用油和油炸食品中 3-MCPDE 的含量普遍相对较高^[42-47], 同时伴随着较高的 2-MCPDE 污染水平^[37,39-40,42]。其余文献报道^[48-54]中氯丙醇酯的污染水平相对较低。

从表 1 中可以看出, 世界不同国家或地区奶粉中 3-MCPDE 的污染应引起重视^[55-57], 特别是婴幼儿配方奶粉, 因为婴儿是弱势群体, 婴儿配方奶粉包含相对大量的油(约 25%~30%), 可以满足婴儿的营养需求, 对于某些婴儿来说, 婴儿配方奶粉是唯一的食物资源。近年来的研究还发现^[17,53], 在谷物、咖啡、鱼、肉制品、马铃薯、坚果和以植物油为原料的热加工油脂食品中都有 3-MCPDE 检出。

在表 1 的近 30 篇文献报道中, 仅有意大利食用植物油中^[38]报道了 3-MCPD 单酯和 3-MCPD 双酯的污染水平, 这也间接说明了氯丙醇酯类物质由于其结构的特殊性, 目前其检测方法的开发还有很多瓶颈需要突破。

2.2 暴露评估

2007 年, 德国风险评估机构(Bundesinstitut für Risikobewertung, BfR)对氯丙醇酯进行风险评估^[58]。由于没有现成的 3-MCPDE 毒理数据, BfR 和 EFSA 一致认为应根据 3-MCPD 的毒理学数据对 3-MCPDE 进行风险评估, 即认为 3-MCPDE 在胃肠道内完全水解生成 3-MCPD, 且 3-MCPD 全部来源于 3-MCPDE。

基于 JECFA 制定的 3-MCPD 剂量参考值[4.0 μg/(kg bw)], 从表 1 可见, 有关暴露评估的 10 篇文献^[45-52,55-56]中, 有 6 篇^[48-50,52,55-56]关注了奶粉尤其是婴幼儿配方奶粉中 3-MCPDE 的暴露量, 6 篇^[45-47,49,51-52]关注了食用油、饼干、油条、薯片、方便面、麻花等油炸食品或焙烤食品在内的其他食品类别中 3-MCPDE 或 2-MCPDE 的暴露情况。从表 1 可知, 中国餐馆菜肴^[47]中 3-MCPDE 的暴露量为 4.45 μg/(kg bw), 摄入人群存在着高风险暴露情况; 其次为土耳其薯片^[45]和中国广东油炸食品^[51]中的 3-MCPDE 的暴露量, 均接近 JECFA 制定的 PMTDI 的剂量参考值, 这类

风险应引起重视。

表 1 中, 巴西圣保罗和美国婴幼儿配方粉中 3-MCPDE 的暴露处于较高水平^[56], 超过了 JECFA 推荐的 4.0 μg/(kg bw), 低龄幼儿摄入此类食品可能处于较高风险。张妮等^[50]对上海婴幼儿配方奶粉中 3-MCPDE 进行了暴露评估, 结果显示 0~6 月龄婴幼儿摄入此类奶粉的暴露风险为 3.86 μg/(kg bw), 接近 JECFA 推荐的 4.0 μg/(kg bw), 数据显示幼儿膳食摄入处于临界风险, 6~36 月龄幼儿随着年龄的增加, 膳食暴露风险逐渐下降, 处于安全水平。

2020 年 3 月份, 澳大利亚和新西兰食品标准局(Food Standards Australia New Zealand, FSANZ)发布了对婴儿配方食品中 3-MCPDE 的初步风险评估报告^[55], 报告指出经抽检调查发现 3 个月大婴儿的 3-MCPDE 的饮食暴露量为 0.93~3.39 μg/(kg bw), 低于 JECFA 参考的 3-MCPD PMTDI 的剂量, 表明在目前的暴露水平下没有公共卫生问题。美国食品药品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)^[18]2020 年报道, 从 2013 到 2016 年, 美国 FDA 调查了包括牛奶和植物配方奶粉在内的 98 个婴儿配方奶粉样本, 评估结果显示, 0 至 6 个月婴儿平均摄入 3-MCPDE 的量为 7~10 μg/(kg bw), 超出建议的 4 μg/(kg bw)。由于工业界和 FDA 的共同努力, 2017—2019 年美国婴儿配方食品中 3-MCPDE 的平均水平有所下降。澳大利亚和新西兰食品标准局 2018 年开展的植物油和婴儿配方奶粉中 3-MCPDE 和 GEs 的总含量调查和风险评估^[59]表明: 在目前的暴露水平下, 认为 3-MCPDE 对婴儿的饮食暴露没有公共卫生问题。

还有一些研究认为, 氯丙醇酯和缩水甘油酯对人体健康造成危害的风险较低, 香港食品安全中心依据饼干、植物油、糕点等食品中 3-氯丙醇酯的含量对人群暴露量进行评估^[60], 结果认为通过上述食品摄入的 3-MCPDE 对健康的风险不需要特别关注。

通过以上数据可知, 对于大多数消费者, 通过食品摄入 3-MCPDE 的剂量仍在安全范围内, 但年轻群体的 3-MCPDE 摄入量较高, 可能存在潜在的健康隐患, 尤其是仅食用配方奶粉的婴儿可能略微超过安全水平。

3 风险应对措施

目前除了欧盟, 并未有其他国家或地区制定食品中氯丙醇酯的限量规定, 但有部分国家或地区制定了 3-MCPDE 在某些食品中的控制措施。

3.1 中国应对措施

《中华人民共和国食品安全法》^[61]第十四条规定:

“国家建立食品安全风险监测制度,对食源性疾病、食品污染以及食品中的有害因素进行监测”;第十七条规定:“国家建立食品安全风险评估制度,运用科学方法,根据食品安全风险监测信息、科学数据以及有关信息,对食品、食品添加剂、食品相关产品中生物性、化学性和物理性危害因素进行风险评估”;第十八条还规定了应当进行食品安全风险评估的几种情形。依据以上条款,近几年国内开展了食品中氯丙醇酯的检测方法开发、污染水平监测、暴露评估、限量制标等一系列相关工作。

在检测方法上,GB 5009.191—2016《食品安全国家标准 食品中氯丙醇及其脂肪酸酯含量的测定》中规定了食用油等油脂类样品和其他食品中 3-MCPDE、2-MCPDE、1,3-DCPE 和 2,3-DCPE 的检测方法。海关总署制定了 SN/T 5220—2019《出口食品中 3-氯丙醇酯及缩水甘油酯的测定 气相色谱-质谱法》,在一定程度上保证了氯丙醇酯的检测有方法可依。

氯丙醇酯作为一类对人体健康存在风险且引起重点关注的污染物,国家食品安全风险评估中心 2015 年首次将食品中氯丙醇酯的监测纳入了《国家食品安全风险监测计划》,原国家质检总局进出口食品安全局也曾将乳制品中氯丙醇酯纳入 2017 年度“国家进口食品化妆品安全风险监测计划检验项目”,国家市场监督管理总局食品安全抽检监测司在每年开展的风险监测中也把婴幼儿配方食品中的 3-MCPDE 和 2-MCPDE 作为重点监测的项目。基于国家食品安全风险评估中心早期开展摸查的食品中氯丙醇酯的污染含量及风险评估结果,我国并未制定食品中氯丙醇酯的限量标准。GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物》仅规定了食品中 3-MCPD 的限量标准。2020 年 9 月 30 日,国家卫生健康委员会发布《关于印发 2020 年度食品安全国家标准立项计划的通知》^[62],计划立项制定《食品中 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯污染控制规范》。

3.2 国外应对措施

全球环境监测系统/食品项目(global environmental monitoring service/food, GEMS/FOOD)对 2-MCPDE 和 3-MCPDE 的监测始于 2009 年,至 2015 年主要监测了食用油、谷物食品、婴儿配方奶粉、肉制品等 86 类食品,2009—2015 年主要食品的总监测次数如表 2 所示^[63]。

2014 年,欧盟通过了一项对食品中尤其是植物油脂、人造黄油及其衍生产品和类似产品中 2-MCPD 和 3-MCPD 及其脂肪酸酯和缩水甘油脂肪酸酯的存在进行监测^[64]的要求建议。

2018 年欧盟委员会实施了(EU)2018/290 法规,规定了缩水甘油酯最高含量为 1.0 mg/kg^[65]。对于 3-MCPDE 暂

无相关法规,但是建议棕榈油及其油的混合物中 3-MCPDE 的最大限量为 2.50 mg/kg^[66]。

2019 年国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)制定了《减少在精炼油和精炼油食品中的 3-MCPDE 和 GEs 的操作规范》^[67],以帮助企业减少精炼油和精炼油食品中 3-MCPDE 和 GEs 的含量。

2020 年 9 月 23 日,欧盟委员会发布修订(EC)1881/2006 法规的修订单(EU)2020/1322^[68],规定了缩水甘油脂肪酸酯在鱼油、海洋生物油和幼儿配方食品中的最高限量和 3-MCPD、3-MCPDE 在椰子油、玉米油、菜籽油、葵花籽油、鱼油、婴幼儿配方食品等食品类别中最高限量,如表 3 所示,此规定已于 2021 年 1 月 1 日实施。

美国 FDA 科学家开发并验证了检测 3-MCPDE 的分析方法^[18],并使用该方法进行了精制植物油和婴儿配方奶粉中 3-MCPDE 污染情况的调查。2020 年有报道显示^[69],使用减脂油或使用减脂手段生产的婴儿配方奶粉中,3-MCPDE 的含量显著减少,由 2013—2016 年的 0.48 mg/kg 减少到 2017—2019 年间的 0.070 mg/kg。而在其他未采取减脂措施的制造商生产的奶粉中,则没有出现减少。

表 2 2009—2015 年 GEMS/FOOD 监测食品中氯丙醇酯的情况
Table 2 Monitoring circumstances of 3-MCPDE in food by global environmental monitoring service/food from 2009 to 2015

食品名称	总监控次数	食品名称	总监控次数
脂肪和油	1277	精制大豆油	89
面包和其他熟谷类食品	395	食用芝麻油	84
牛奶和乳制品	286	酱油和调味品	72
精炼橄榄油	206	谷物和谷物制品	70
零食	175	类咖啡饮料	70
食用花生油	168	成人配方奶粉	61
肉类及肉制品	165	谷类	45
食用葵花籽油	165	婴幼儿食品	43
食用菜籽油	161	黄油和其他动物脂肪乳	41
马铃薯	109	猪肉	37
婴儿配方奶粉	104	鱼类	34
食用棕榈油	95	其他食品(监控次数 30 以下)	474

表 3 欧盟(EU) 2020/1322 食品中关于缩水甘油脂肪酸酯(GEs)、3-氯丙二醇和 3-氯丙二醇脂肪酸酯的限量要求
Table 3 Limit requirements of GEs, 3-MCPD and 3-MCPDE in food by EU 2020/1322

污染物名称	食品类别	限量要求 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
缩水甘油脂肪酸酯(以缩水甘油计)	投放市场供最终消费者使用或用作食品成分的鱼油和其他海洋生物油	1000
	用于生产婴儿食品、婴幼儿谷类加工食品的鱼油和其他海洋生物油	500
	粉状幼儿配方食品 ^a	50
3-氯丙二醇(3-MCPD)和 3-氯丙二醇(3-MCPD)脂 脂肪酸酯之和(以 3-MCPD 计)	椰子油、玉米油、菜籽油、葵花籽油、大豆油、棕榈仁油和橄榄油(由精炼橄榄油和初榨橄榄油组成), 以及由上述植物油组成的混合油	1250
	其他植物油(包括橄榄果渣油)、鱼油和其他海洋生物的油, 以及由上述油组成的混合油	2500
	上述分类中两种油脂的混合油[上述提到的油脂分类: 椰子油、玉米油、菜籽油、葵花籽油、大豆油、棕榈仁油和橄榄油、其他植物油(包括橄榄果渣油)、鱼油和其他海洋生物的油]	— ^b
	用于生产婴儿食品和加工的婴幼儿谷物食品的植物油和脂肪	750
	用于生产婴儿食品和加工婴幼儿谷物食品的鱼油和其他海洋生物油	750
	粉状婴儿配方食品、较大婴儿配方食品和婴幼儿特殊医学用途食品	125
	液态婴儿配方食品、较大婴儿配方食品和婴幼儿特殊医学用途食品	15
	粉状幼儿配方食品 ^a	125
液态幼儿配方食品 ^a	15	

注: a: 幼儿配方食品是指适用于幼儿的乳饮料和类似的蛋白质产品; b: 油脂混合物中 3-MCPD 和 3-MCPD 脂肪酸酯的含量要根据各油脂组分的比率计算, 如果不能确定混合油脂的组成和比例时, 3-MCPD 和 3-MCPD 脂肪酸酯的含量不得超过 2500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

4 结束语

氯丙醇酯作为食品中的一类新型污染物, 得到世界各国和地区的关注和研究, 3-MCPDE 是目前检出率和污染水平最高, 研究最多的一类氯丙醇酯, 其在加工或者消化过程中会形成 3-MCPD。综上所述, 中国、国际组织、欧盟、美国、澳大利亚和新西兰等国家和地区对氯丙醇酯的安全性进行研究和评估主要集中在 3-MCPDE 和 2-MCPDE。对氯丙醇酯的污染和暴露水平的研究多集中在婴儿配方奶粉以及各类油炸和烘焙食品上。通过研究发现, 对于普通消费者来说, 从日常饮食中摄入氯丙醇酯类物质一般是无风险的, 但是, 对于一些年轻群体和仅食用配方奶粉的婴幼儿来说, 风险较高。

在风险应对方面, 目前只有欧盟制定了 3-MCPD 和 3-MCPDE 在椰子油、玉米油、菜籽油、葵花籽油、鱼油和婴幼儿配方食品等食品中限量要求。对于食品中 3-MCPDE 控制措施, 目前 CAC 制定了植物油中 3-MCPDE 的控制规范, 中国计划立项制定《食品中 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯污染控制规范》, 来降低 3-MCPDE 的风险。其他一些国家和地区也相继展开或计划展开对 3-MCPDE 的监控。在此基础上, 许多国家进行了减少食品中氯丙醇酯类物质的相关研究, 并取得显著成效。随着各国以及社会各组织关注度的上升, 未来对氯丙醇酯类物质的研究和监控会更加全面和精准。

参考文献

[1] VELTSEK J, DAVIDEK J, HAJŠLOVA J, *et al.* Chlorohydrins in

protein hydrolysates [J]. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1978, 167: 241–244.

- [2] VELTSEK J, DAVIDEK J, KUBELKA V, *et al.* New chlorine-containing organic compounds in protein hydrolysates [J]. *J Agric Food Chem*, 1980, 28(6): 1142–1144.
- [3] 尹峰, 杨冰洁, 李靖, 等. 婴配食品中氯丙醇酯的污染来源及控制措施 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(8): 2414–2419.
YIN F, YANG BJ, LI J, *et al.* Contamination sources and control measures of chloropropanol esters in infant foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(8): 2414–2419.
- [4] 杨娇, 金青哲. 食用植物油中 3-氯丙醇酯的研究进展[J]. *中国油脂*, 2011, 36(9): 1–4.
YANG J, JIN QZ. Research progress of 3-chloropropanol esters in edible vegetable oils [J]. *China Oils Fats*, 2011, 36(9): 1–4.
- [5] 孙靖雯, 胡本伦, 秦瑞珂, 等. 食品中 3-氯丙醇酯的研究现状[J]. *食品工业科技*, 2021. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100231
SUN JW, HU BL, QIN RK, *et al.* Research status of 3-chloropropanol esters in food [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2021. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100231
- [6] KATSUHITO H, YUKA H, AYA I, *et al.* Effects of neutralization combined with steam distillation on the formation of monochloropropanediol esters and glycidyl esters in palm oil under laboratory-scale conditions [J]. *LWT*, 2021, 139: 110783.
- [7] BIOW IS, YIH PK, OI ML, *et al.* Mitigation of 3-MCPD esters and glycidyl esters during the physical refining process of palm oil by micro and macro laboratory scale refining [J]. *Food Chem*, 2020, 328: 127147.
- [8] GIBON V, DE GREYT W, KELLENS M. Palm oil refining [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2007, 109: 315–335.
- [9] KHAI SH, AHMAD JA, TAI BT, *et al.* Revising degumming and bleaching processes of palm oil refining for the mitigation of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPDE) and glycidyl esters (GE) contents in refined palm oil [J]. *Food Chem*, 2020, 307: 125545.
- [10] 刘玉兰, 王璐阳, 马宇翔, 等. 不同油脂精炼过程中氯离子、3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的变化[J]. *中国油脂*, 2020, 45(10): 10–15.
LIU YL, WANG LY, MA YX, *et al.* Changes in chloride ion, 3-chloropropanol ester and glycidyl ester content in different oil refining

- processes [J]. *China Oils Fats*, 2020, 45(10): 10–15.
- [11] CHENG WW, LIU GQ, WANG LQ, *et al.* Glycidyl fatty acid esters in refined edible oils: A review on formation, occurrence, analysis, and elimination methods [J]. *Rev Food Sci Food Saf*, 2017, 16: 263–281.
- [12] AZMIL HAT, AINIE K. The occurrence of 3-monochloropropane-1,2-diol esters and glycidyl esters in vegetable oils during frying [J]. *Food Sci Nutr*, 2021: 1–17. DOI: 10.1080/10408398.2020.1865264
- [13] 王璐阳. 油脂精炼过程氯离子含量变化对 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯形成影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
WANG LY. Study on the effect of chloride ion content change on the formation of 3-chloropropanol ester and glycidyl ester during oil refining process [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.
- [14] RAHN AKK, YAYLAYAN VA. What do we know about the molecular mechanism of 3-MCPD ester formation [J]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2011, 113(3): 323–329.
- [15] HAMLET CG, SADD PA, GRAY DA. Generation of monochloropropanediols (MCPDs) in model dough systems 2 unleavened doughs [J]. *J Agric Food Chem*, 2004, 52(7): 2067–2072.
- [16] SHYAM L, YEN LY. Chloride reduction by water washing of crude palm oil to assist in 3-monochloropropane-1,2 diol ester (3-MCPDE) mitigation [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2021, 38(3): 371–387.
- [17] 国家食品药品监督管理总局. 关于“氯丙醇酯和缩水甘油酯”的风险解析[Z]. 2017.
China Food and Drug Administration. Risk analysis of "Chloropropanol esters and glycidyl esters" [Z]. 2017.
- [18] FDA. 3-Monochloropropane-1,2-diol (MCPD) esters and glycidyl esters [Z]. 2020.
- [19] JÉSSIKA KS, WILLIAN CS, MAISA FC, *et al.* Organic, conventional and sustainable palm oil (RSPO): Formation of 2- and 3-MCPD esters and glycidyl esters and influence of aqueous washing on their reduction [J]. *Food Res Int*, 2021, 140: 109998.
- [20] GUO YJ, ZHANG YB, LIU RJ, *et al.* Contributions of different factors to ratio of 3-monochloro-1, 2-propanediol to 2-monochloro-1, 3-propanediol esters during frying simulation [J]. *Food Control*, 2021, 124: 107853.
- [21] OKTAY K, MUSTAFA T, HUSEYIN K. Determination of effect of some parameters on formation of 2-monochloropropanediol, 3-monochloropropanediol and glycidyl esters in the frying process with sunflower oil, by using central composite design [J]. *J Food Compos Anal*, 2021, 96: 103681.
- [22] RENAN T, MAISA C, EDUARDO V, *et al.* Effects of deodorization temperature and time on the formation of 3-MCPD, 2-MCPD, and glycidyl esters and physicochemical changes of palm oil [J]. *Food Sci*, 2020, 85(7): 2255–2260.
- [23] European Food Safety Authority. Risks for human health related to the presence of 3-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food [J]. *EFSA J*, 2016, 14(5): 4426.
- [24] Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO/WHO). Evaluation of certain contaminants in food [Z]. 2017.
- [25] HUANG GR, WU YB, LIU M, *et al.* Potential biomarkers for early detection of 3-MCPD dipalmitate exposure in sprague-dawley rats [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(35): 9594–9602.
- [26] ABRAHAM K, HIELSCHER J, KUHLMANN J, *et al.* Urinary excretion of 2/3-monochloropropanediol (2/3-MCPD) and 2,3-dihydroxypropyl mercapturic acid (DHPMA) after a single high dose of fatty acid esters of 2/3-MCPD and glycidol: A controlled exposure study in humans [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2021, 65: 2000735.
- [27] MCDONALD A. Some industrial chemicals: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans [J]. *Occup Environ Med*, 1995, 60(52): 360.
- [28] YONGJUN A, SUNGGYU C, SEUNG YK. Remarkable effect of deprotonation on adsorption of 3-MCPD and glycidol on carboxylated Fe-MIL-88s [J]. *J Environ Chem Eng*, 2020, 8(6): 104456.
- [29] JING L, JIANING L, YAN C, *et al.* 3-chloro-1,2-propanediol inhibits autophagic flux by impairment of lysosomal function in HepG2 cells [J]. *Food Chem Toxicol*, 2020, 144: 111575.
- [30] FSN AZ. Preliminary risk assessment of 3-monochloropropanediol (3-MCPD) glycidyl esters from infant formula [R]. 2020.
- [31] JECFA. 3-chloro-1,2-propanediol [Z]. 2006.
- [32] CUI X, ZHANG L, ZHOU PP, *et al.* Dietary exposure of general Chinese population to fatty acid esters of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) from edible oils and oil-containing foods [J]. *Food Addit Contam*, 2021, 38(1): 60–69.
- [33] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food [J]. *EFSA J*, 2016, 14(5): 4426.
- [34] Europe I. Summary report of a workshop on "3-MCPD Esters in food products" [EB/OL]. [2010-11-06]. <http://www.Final%20version%203%20MCPD%20esters.pdf> [2021-03-01].
- [35] 崔霞, 李荷丽, 李珊, 等. 第四次中国总膳食研究膳食氯丙醇酯污染及暴露评估报告[C]. 第八届全国分析毒理学大会暨中国毒理学会分析毒理专业委员会第五届会员代表大会论文摘要集, 2014.
CUI X, LI HL, LI S, *et al.* The 4th China Total Diet Study Dietary Chloropropanol Ester Contamination and Exposure Assessment Report [C]. The 8th National Congress of Analytical Toxicology and the Chinese Society of Toxicology Analysis of Toxicology Collection of Abstracts of Papers of the Fifth Member Representative Conference of the Science Professional Committee, 2014.
- [36] YAMAZAKI K, OGISO M, ISAGAWA S, *et al.* A new, direct analytical method using LC-MS/MS for fatty acid esters of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD esters) in edible oils [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2013, 30(1): 52–68.
- [37] BECALSKI A, FENG S, LAU BPY, *et al.* A pilot survey of 2- and 3-monochloropropanediol and glycidol fatty acid esters in foods on the Canadian market 2011–2013 [J]. *J Food Comp Anal*, 2015, 37: 58–66.
- [38] AZIANI GGR, GASPA RIA, CHIANESE D, *et al.* Direct determination of 3-chloropropanol esters in edible vegetable oils using high resolution mass spectrometry (HRMS-orbitrap) [J]. *Food Addit Contam*, 2017, 34(11): 1893–1903.
- [39] 斯兰兰. 拉萨市食品中氯丙醇酯污染情况调查[J]. *西藏科技*, 2018, (8): 48–49, 54.
SI LL. Investigation on the contamination of chloropropanol esters in food in Lhasa [J]. *Tibet Sci Technol*, 2018, (8): 48–49, 54.
- [40] 林琴香, 段丽芳, 卢彩兰, 等. 龙岩市市售谷物油炸制品中氯丙醇酯的监测结果分析[J]. *中国卫生工程学*, 2019, 18(6): 863–864.
LIN QX, DUAN LF, LU CL, *et al.* Analysis of monitoring results of chloropropanol esters in frying products of cereals sold in Longyan [J]. *Chin Health Eng*, 2019, 18(6): 863–864.
- [41] 刘卿, 周萍萍, 杨大进. 2015—2017 年中国市售食用植物油中氯丙醇酯和缩水甘油酯的污染状况[J]. *卫生研究*, 2021, 50(1): 75–78.
LIU Q, ZHOU PP, YANG DJ. The pollution status of chloropropanol esters and glycidyl esters in edible vegetable oils sold in China from 2015 to 2017 [J]. *J Hyg Res*, 2021, 50(1): 75–78.
- [42] New Zealand Food Safety. Snapshot survey for 2-MCPD, 3-MCPD, glycidol and their esters in selected vegetable oils and infant formulas in Australia and New Zealand [Z]. 2020.
- [43] 熊丽, 周鸿, 梁健. 江西省市售四类食品中 3-氯丙醇酯污染水平调查与分析[J]. *现代预防医学*, 2017, 44(21): 3883–3886.
XIONG L, ZHOU H, LIANG J. Investigation and analysis of

- 3-chloropropanol ester contamination levels in four types of foods sold in Jiangxi province [J]. *Mod Prev Med*, 2017, 44(21): 3883–3886.
- [44] RAZNIM AAR, AZMIL HAT, ABDUL NAH, *et al.* Verification and evaluation of monochloropropanediol (MCPD) esters and glycidyl esters in palm oil products of different regions in Malaysia [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2019, 36(11): 1626–1636.
- [45] EMERCE E, KADIOGLU E. Toxicological risk assessment of 3-MCPD and glycidyl esters in children consuming potato chips in turkey [J]. *Global J For Res Anal*, 2019, 8(2): 203–204.
- [46] 徐万娜, 廖仕成. 深圳地区人群食用油中 3-氯丙醇酯膳食暴露评估[J]. *现代预防医学*, 2018, 45(15): 2747–2751.
- XU WN, LIAO SC. Dietary exposure assessment of 3-chloropropanol ester in edible oil in Shenzhen area [J]. *Mod Prev Med*, 2018, 45(15): 2747–2751.
- [47] 张璟琳, 刘廷竹, 黄明泉, 等. 菜肴中 3-氯-1,2-丙二醇及其酯的含量分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 308–314.
- ZHANG JL, LIU TZ, HUANG MQ, *et al.* Analysis of 3-chloro-1,2-propanediol and its ester content in dishes [J]. *Food Sci*, 2020, 41(8): 308–314.
- [48] JUDITH HS, SHAUN MM, JESSICA L, *et al.* Estimated US infant exposures to 3-MCPD esters and glycidyl esters from consumption of infant formula [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2018, 35(6): 1085–1092.
- [49] KHANH HN, ARVID F. Occurrence of MCPD and glycidyl fatty acid esters in standard and specialised infant formula in Denmark [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2020, 37(11): 1847–1853.
- [50] 张妮, 周静, 胡守江, 等. 婴幼儿配方奶粉中氯丙醇脂肪酸酯的检测方法优化与污染暴露[J]. *食品科学*, 2019, 40(10): 311–317.
- ZHANG N, ZHOU J, HU SJ, *et al.* Optimization of detection method and pollution exposure of chloropropanol fatty acid esters in infant formula milk powder [J]. *Food Sci*, 2019, 40(10): 311–317.
- [51] 姜子岸, 吕芬, 张晓岚, 等. 广东省食品中的氯丙醇酯水平及其人体暴露评估[J]. *环境科学学报*, 2018, 38(7): 2941–2947.
- JIANG ZA, LV F, ZHANG XL, *et al.* Levels of chloropropanol esters in foods in Guangdong province and their human exposure assessment [J]. *Acta Sci Circum*, 2018, 38(7): 2941–2947.
- [52] 刘印平, 云鹏, 陈福尊, 等. 几种市售婴幼儿配方奶粉中氯丙醇酯的定量检测及风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(19): 6867–6872.
- LIU YP, YUN P, CHEN FZ, *et al.* Quantitative detection and risk assessment of chloropropanol esters in several commercial infant formula milk powders [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(19): 6867–6872.
- [53] STAUFF A, SCHNEIDER E, HECKEL F. 2-MCPD, 3-MCPD and fatty acid esters of 2-MCPD, 3-MCPD and glycidol in fine bakery wares [J]. *Eur Food Res Technol*, 2020, 246: 1945–1953.
- [54] EFSA. Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. European Food Safety Authority Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) [J]. *EFSA J*, 2016, 14(5): 4426.
- [55] Food Standards Australia New Zealand. Preliminary risk assessment of 3-monochloropropanediol (3-MCPD) glycidyl esters from infant formula [Z]. 2020.
- [56] ADRIANA PA, WILLIAN CS, GABRIELA RS, *et al.* 3-MCPD and glycidyl esters in infant formulas from the Brazilian market: Occurrence and risk assessment [J]. *Food Control*, 2017, 77: 76–81.
- [57] 郭蓉, 刘存卫, 严倩, 等. 陕西省市售奶粉中氯丙醇酯的污染水平调查[J]. *现代预防医学*, 2018, 45(16): 2929–2932.
- GUO R, LIU CW, YAN Q, *et al.* Investigation on the pollution level of chloropropanol esters in milk powder sold in Shaanxi province [J]. *Mod Prev Med*, 2018, 45(16): 2929–2932.
- [58] BFR. Stellungnahme Nr.3-MCPD-fettsäureester in lebensmitteln [Z]. 2012.
- [59] DARREN AS, SARAH M, PANAN S. Snapshot survey for 2-MCPD, 3-MCPD, glycidol and their esters in selected vegetable oils and infant formulas in Australia and New Zealand [Z]. 2018.
- [60] Centre for Food Safety. Fatty acid esters of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) in food [Z]. 2012.
- [61] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国食品安全法[M]. 北京: 中国法制出版社, 2018.
- Standing Committee of the National People's Congress. Food Safety Law of the People's Republic of China [M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2018.
- [62] 国家卫生健康委员会. 关于印发 2020 年度食品安全国家标准立项计划的通知 [EB/OL]. [2020-10-14]. <http://www.cnfood.com/news/show-344143.html> [2021-03-01].
- National Health Commission. Notice on printing and distributing the 2020 national food safety standard project plan [EB/OL]. [2020-10-14]. <http://www.cnfood.com/news/show-344143.html> [2021-03-01].
- [63] FAO, GEMS/FOOD. Food Contaminants [Z]. <https://extranet.who.int/gemsfood/Search.aspx>
- [64] European Union. 2014/661/EU: Commission Recommendation of 10 September 2014 on the monitoring of the presence of 2 and 3-monochloropropane-1,2-diol (2 and 3-MCPD), 2- and 3-MCPD fatty acid esters and glycidyl fatty acid esters in food text with EEA relevance [EB/OL]. [2014-09-10]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014H0661&from=EN> [2021-03-01].
- [65] European Union. COMMISSION REGULATION (EU) 2018/290 [Z]. 2018.
- [66] KHAI SH, YIH PK, TAI BT, *et al.* Mitigation of 3-monochloropropane-1,2-diol esters and glycidyl esters in refined palm oil: A new and optimized approach [J]. *LWT*, 2021, 139: 110612.
- [67] CAC. Code of practice for the reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPDEs) and glycidyl esters (ges) in refined oils and food products made with refined oils [Z]. 2019.
- [68] European Union. COMMISSION REGULATION (EU) 2020/1322 of 23 september 2020 amending regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of 3-monochloropropanediol (3-MCPD), 3-MCPD fatty acid esters and glycidyl fatty acid esters in certain foods [Z]. 2020.
- [69] JESSICA KB, KAITLIN G, SHAUN MM. Updated occurrence of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPD) and glycidyl esters in infant formulas purchased in the United States between 2017 and 2019 [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2020, 37(3): 374–390.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



李荷丽, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: liheli1234@126.com



贝君, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为 HACCP 理论及应用研究。
E-mail: beidiorange@163.com