

# 婴配奶粉中氯丙醇酯和缩水甘油酯污染 暴露情况调查分析

黄彬红\*

(福建省产品质量检验研究院, 福州 350002)

**摘要:** **目的** 调查分析婴配奶粉中 2 种氯丙醇酯(chloropropanolsesters, MCPDE)和缩水甘油酯(glycidylesters, GEs)的污染暴露情况。**方法** 按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中第三法对脂肪进行提取,采用气相色谱-质谱联用法测定,同位素内标法定量。**结果** 3-氯丙醇酯(3-monochloropropane-1,2-diol esters, 3-MCPDE)的检出率为 100%, 2-氯丙醇酯(2-monochloropropane-1,3-diol esters, 2-MCPDE)的检出率为 95.0%, GEs 的检出率为 78.3%。14 批次 0~6 月龄、5 批次 6~12 月龄婴配奶粉的 MCPDE 超过 3-MCPDE 的每日最大允许耐受量(tolerable daily intake, TDI), 1 批次 0~6 月龄、1 批次 12~36 月龄婴配奶粉的 GEs 超过欧盟限量值。**结论** 对于 0~6 月龄的婴儿,氯丙醇酯摄入的健康风险需引起重点关注;婴配奶粉缩水甘油酯摄入的健康风险较低,仍需积累数据。

**关键词:** 婴配奶粉; 氯丙醇酯; 缩水甘油酯; 暴露风险

## Investigation analysis of contamination exposure of chloropropanolsesters and glycidylesters in infant formula

HUANG Bin-Hong\*

(Fujian Inspection and Research Institute for Product Quality, Fuzhou 350002, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate and analyze the exposure risk of contamination levels of 2 kinds of chloropropanolsesters and glycidylesters in infant formula. **Methods** According to the third method of GB 5009.6-2016 *National food safety standard-Determination of fat in food*, the fat was extracted and quantitatively determined by gas chromatography-mass spectrometry and isotope internal standard method. **Results** The detection rate of 3-MCPDE was 100%, 2-MCPDE was 95.0%, and GEs was 78.3%. The MCPDE content of 14 batches of infant formula of 0-6 months and 5 batches of infant formula of 6-12 months exceeded the tolerable daily intake of 3-MCPDE, and the GEs content of 1 batch of infant formula of 0-6 months and 1 batch of infant formula of 12-36 months exceeded the EU limit. **Conclusion** For infants of 0-6 months, the health risk of MCPDE intake should be paid more attention. The health risk of GEs intake is low in infant formula, and the data still needs to be accumulated.

**KEY WORDS:** infant formula; chloropropanolsesters; glycidylesters; exposure risk

基金项目: 福建省产品质量检验研究院科技项目(KY201933A)

Fund: Supported by the Science and Technology Project of Fujian Inspection and Research Institute for Product Quality (KY201933A)

\*通信作者: 黄彬红, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 441562184@qq.com

\*Corresponding author: HUANG Bin-Hong, Engineer, Fujian Inspection and Research Institute for Product Quality, No.121 Shantoujiao, West Yang Qiao Road, Fuzhou 350002, China. E-mail: 441562184@qq.com

## 0 引言

氯丙醇酯(chloropropanolsesters, MCPDE)和缩水甘油酯(glycidylesters, GEs)是在热加工处理或氯离子作用下形成的一类食品加工过程污染物<sup>[1-2]</sup>。氯丙醇酯按照氯丙醇种类的不同主要分为4种<sup>[3]</sup>,其中污染水平最高的是3-氯丙醇酯(3-monochloropropane-1,2-diol esters, 3-MCPDE),其次是2-氯丙醇酯(2-monochloropropane-1,3-diol esters, 2-MCPDE)。3-MCPDE在加热、酸性等条件下会水解成游离的3-氯-1,2-丙二醇(3-monochloropropane-1,2-diol, 3-MCPD)<sup>[4]</sup>,国际癌症研究机构(International Agency for Researchon Cancer, IARC)将3-MCPD列为2B类致癌物<sup>[5]</sup>。2016年欧洲食品安全管理局(European Food Safety Authority, EFSA)通过数据评估,推荐3-MCPD的每日最大允许耐受量(Tolerable Daily Intake, TDI)为0.8 μg/(kg·bw·d)<sup>[6]</sup>。2018年,EFSA在科学评估的基础上,将3-MCPD的TDI修订为2 μg/(kg·bw·d)<sup>[7]</sup>。

GEs是脂肪酸与缩水甘油的酯化产物,其只有缩水甘油单脂肪酸酯一种结构,水解后得到缩水甘油。食品中缩水甘油酯唯一的已知来源是精炼植物油,氯丙醇酯与缩水甘油酯的污染常共同存在,相互关联,在油脂精炼过程中,缩水甘油酯常伴随3-MCPDE一起形成<sup>[8]</sup>。2010年,德国联邦风险评估研究所通过毒理学实验证实了GEs本身并不具有致癌性,但其进入人体代谢后所产生的缩水甘油具有遗传毒性<sup>[9]</sup>。国际癌症研究机构将缩水甘油列为2A类致癌物<sup>[10]</sup>。欧盟(EU)2018/290号法规规定,从2019年7月1日开始,对于婴幼儿配方食品和特殊医疗用途食品GEs的最大限值,由2019年6月30日前的75 μg/kg更改为50 μg/kg<sup>[11]</sup>。

MCPDE和GEs污染物普遍存在精炼食用油等油脂性食品中<sup>[12-18]</sup>。婴配奶粉中含有约20%的脂肪,脂肪主要来源于生产中添加的食用植物油,因此容易造成MCPDE和GEs的污染<sup>[19-23]</sup>。婴配奶粉是婴幼儿的主要营养来源,因此此类污染物引起的食品安全问题一直倍受关注。国内目前只有调味品制定了3-MCPD的限量指标<sup>[24]</sup>,尚没有其他食品中氯丙醇酯和缩水甘油酯的限量指标。本研究对60份市售婴配奶粉中2种氯丙醇酯和缩水甘油酯的污染暴露水平进行调查分析,以期政府部门开展婴配奶粉中氯丙醇酯和缩水甘油酯的风险评估和限量制定提供一定的数据支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

14个品牌共60份婴配奶粉样品,购买于福州市各大超市,其中婴儿配方奶粉(0~6月龄)20批次,较大婴儿配方奶粉(6~12月龄)22批次,幼儿配方奶粉(12~36月龄)18

批次。

### 1.2 仪器与设备

GC7890B/MS5977A气相色谱质谱联用仪(美国Agilent公司);IKA MS3漩涡混合器(德国IKA公司);KQ-800KDE超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);BSA224S电子天平(赛多利斯科学仪器)。

### 1.3 试剂

3-氯-1,2-丙二醇棕榈酸双酯(3-MCPD棕榈酸双酯,纯度98%)、D<sub>5</sub>-3-氯-1,2-丙二醇棕榈酸单酯(D<sub>5</sub>-3-MCPD棕榈酸单酯,纯度98%)、2-氯-1,3-丙二醇硬脂酸双酯(2-MCPD硬脂酸双酯,纯度97%)、D<sub>5</sub>-2-氯-1,3-丙二醇硬脂酸双酯(D<sub>5</sub>-2-MCPD硬脂酸双酯,纯度98%)、缩水甘油棕榈酸酯(纯度98%)(加拿大TRC公司)。

甲基叔丁基醚、95%硫酸、无水硫酸钠、氯化钠(分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司);甲醇钠(分析纯,美国Sigma公司);乙酸乙酯、甲醇、正己烷、异辛烷(色谱纯,美国Fisher公司);七氟丁酰基咪唑(分析纯,德国Sigma-aldrich公司),ChemE-lutTM硅藻土小柱(美国Agilent公司)。

### 1.4 MCPDE与GEs含量的测定

按照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》<sup>[25]</sup>中第三法进行脂肪提取,以甲醇钠-甲醇溶液水解脂肪,硅藻土小柱净化,经七氟丁酰基咪唑衍生后,采用气相色谱-质谱联用法测定,同位素内标法定量,具体操作步骤见文献<sup>[26]</sup>。

### 1.5 数据处理

(1)MCPDE及GEs含量均以奶粉计,计算公式如下:

$$X = \frac{W}{m} \times f$$

式中: X—婴配奶粉中MCPDE、GEs的含量(分别以氯丙醇、缩水甘油计), mg/kg;

W—由标准曲线计算得到脂肪中MCPDE和GEs的质量, ng;

m—称取的脂肪质量, g;

f—婴配奶粉中脂肪的含量, g/100 g。

(2)氯丙醇酯暴露量计算公式如下:

$$Y = X \times \frac{S}{M}$$

式中: Y—婴配奶粉中MCPDE(以氯丙醇计)的暴露量, μg/(kg·bw·d);

X—婴配奶粉中MCPDE的含量(以氯丙醇计), mg/kg;

S—奶粉日摄入量, g;

M—婴幼儿体质量, kg。

(3)不同月龄婴幼儿体质量与奶粉日摄入量见表1。

表 1 不同月龄婴幼儿体重与奶粉日摄入量

Table 1 Body mass and daily intake of formula milk powder for infants of different ages

	0~6 月龄	6~12 月龄	12~36 月龄
奶粉日摄入量 <sup>1</sup> /g	160	144	108
体质量 <sup>2</sup> /kg	6.23	8.71	11.9

注: 1.根据样品标签上的喂哺用量建议表计算得来; 2.引用文献<sup>[27]</sup>中的数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 氯丙醇酯和缩水甘油酯含量水平

对 60 份婴配奶粉样品进行氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的测定, 其中婴儿配方奶粉(0~6 月龄)20 批次, 较大婴儿配方奶粉(6~12 月龄)22 批次, 幼儿配方奶粉(12~36 月龄)18 批次。由表 2 可知, 3-MCPDE 的检出率最高, 为 100.0%, 含量在 0.021~0.264 mg/kg 之间, 其次是 2-MCPDE, 检出率为 95.0%, 含量在 ND~0.123 mg/kg 之间; GEs 的检出率最低, 为 78.3%, 含量在 ND~0.074 mg/kg 之间, 从表 2 还可以看出, 60 份婴配奶粉样品中 3-MCPDE 均值最高, 为 0.074 mg/kg, 其次是 2-MCPDE, 均值为 0.026 mg/kg, GEs 均值最低, 为 0.015 mg/kg。

### 2.2 氯丙醇酯膳食暴露水平

母乳中含有 4%~5% 的脂肪、多种有益脂肪酸, 如二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA), 这些脂肪酸对婴幼儿的成长起着至关重要的作用。婴配奶粉一直在模仿母乳中的营养, 因此去除了大部分饱和脂肪酸, 加入了各种精炼植物油, 从脂肪酸种类方面模仿母乳<sup>[28]</sup>。婴配奶粉脂肪含量大约在 20%左右, 氯丙醇酯的污染主要来源于添加

的精炼植物油。目前, 对于氯丙醇酯毒性的研究绝大多数是基于其代谢产物氯丙醇开展。动物研究显示肾和睾丸是 3-MCPD 毒性效应的主要靶器官。长期研究显示 3-MCPD 剂量低至 2 mg/(kg·bw·d)可引起雄性大鼠进行性肾毒性、睾丸毒性和乳腺增生以及雌性大鼠肾毒性<sup>[29]</sup>。3-MCPD 导致精子活性降低, 这与降低卵子受精的能力有关, 表现为生育能力下降、产仔数量减少和最终完全不育。小鼠短期暴露于 3-MCPD 剂量大于 50 mg/(kg·bw·d)可引起神经毒性作用。尚无证据表明 3-MCPD 具有遗传毒性。成年雄性 SD 大鼠 2-MCPD 的 LD50 为 50~60 mg/(kg bw), 28 d 重复剂量研究显示 16 和 30 mg/(kg·bw·d)剂量组大鼠出现横纹肌损伤如细胞质空泡和肌细胞溶解, 且有剂量反应关系。大鼠肾脏重量增加, 近曲小管中细胞质空泡形成, 并呈剂量依赖性。目前尚无 2-MCPD 长期毒性或致癌性等研究资料。

由表 3 可知, 不同阶段奶粉的氯丙醇酯均值与脂肪含量有相关性, 0~6 月龄奶粉的脂肪含量大于 6~12、12~36 月龄, 导致 0~6 月龄奶粉中 3-MCPDE 和 2-MCPDE 的均值最高。由于国内目前尚未制定婴配奶粉中氯丙醇酯的安全摄入量, 调查中按照德国联邦风险评估机构和欧盟食品安全局一致做法<sup>[6]</sup>, 假定 3-MCPDE 和 2-MCPDE 在人体内可 100%转化为 3-MCPD 和 2-MCPD。2-MCPD 与 3-MCPD 结构相似, 调查中将两者加和计算氯丙醇酯的暴露量, 按 3-MCPD 的每日最大允许耐受量(tolerable daily intake, TDI)值进行暴露评估, TDI 值依据 EFSA 在 2018 年最新修订数值 2.0 μg/(kg·bw·d)。由表 3 可知, 0~6 月龄婴幼儿氯丙醇酯的平均暴露水平最高, 为 3.63 μg/(kg·bw·d), 超过 TDI 值, 6~12 月龄和 12~36 月龄婴幼儿的氯丙醇酯平均暴露水平均低于 TDI 值, 这主要是由于 0~6 月龄婴幼儿体质量低、奶粉日摄入量高, 随着月龄增长, 婴幼儿的奶粉日摄入量逐渐减少、体质量逐渐增大。

表 2 不同阶段婴配奶粉中氯丙醇酯和缩水甘油酯含量水平  
Table 2 Levels of MCPDE and GEs in infant formula of different ages

段数	样品数量	3-MCPDE				2-MCPDE				GEs			
		含量 /(mg/kg)	检出率 /%	中位值 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)	含量 /(mg/kg)	检出率 /%	中位值 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)	含量 /(mg/kg)	检出率 /%	中位值 /(mg/kg)	均值 /(mg/kg)
0~6 月龄	20	0.024~0.264	100	0.066	0.103	0.008~0.123	100	0.024	0.038	ND~0.060	75.0	0.014	0.017
6~12 月龄	22	0.023~0.199	100	0.048	0.068	ND~0.053	95.5	0.016	0.022	ND~0.038	77.3	0.013	0.014
12~36 月龄	18	0.021~0.101	100	0.043	0.047	ND~0.060	88.9	0.016	0.018	ND~0.074	83.3	0.011	0.013
合计	60	0.021~0.264	100	0.055	0.074	ND~0.123	95.0	0.018	0.026	ND~0.074	78.3	0.012	0.015

注: ND 代表未检出。

表 3 不同阶段婴配奶粉中氯丙醇酯暴露水平  
Table 3 Exposure levels of MCPDE in infant formula of different ages

段数	3-MCPDE 均值/(mg/kg)	2-MCPDE 均值/(mg/kg)	脂肪/%	氯丙醇酯平均暴露量/[μg/(kg·bw·d)]
0~6 月龄	0.103	0.038	26.1	3.63
6~12 月龄	0.068	0.022	21.8	1.50
12~36 月龄	0.047	0.018	21.1	0.59

根据 TDI 值, 结合表 1 换算出不同阶段婴配奶粉氯丙醇酯含量限量值。从表 4 可以看出, 有 70.0%(14/20)的 0~6 月龄婴配奶粉氯丙醇酯含量超过限量值 0.078 mg/kg, 这主要是由于 0~6 月龄奶粉的脂肪含量高于其他段数, 而 0~6 月龄婴幼儿体质量低、奶粉日摄入量高; 有 22.7%(5/22)的 6~12 月龄婴配奶粉氯丙醇酯含量超过限量值 0.121 mg/kg; 没有 12~36 月龄婴配奶粉氯丙醇酯含量超过限量值 0.220 mg/kg。本次调查假定氯丙醇酯在体内的转化吸收率为 100%, 因此可能会存在一定的高估其暴露风险。

### 2.3 缩水甘油酯膳食暴露水平

动物研究显示缩水甘油 200 mg/(kg·bw·d)处理大鼠 28 d 后观察到神经毒性。在大鼠和小鼠重复剂量研究中, 缩水甘油剂量范围为 150~400 mg/(kg·bw·d)可引起肾毒性。对小鼠 [25、50 mg/(kg·bw·d)] 和大鼠 [37.5、75 mg/(kg·bw·d)] 进行的 2 年期致癌性研究显示, 来自两性别的多个器官均可诱发肿瘤。转基因小鼠品系中的短期研究提供了缩水甘油的致癌性的证据。大鼠和小鼠研究中均出现雄性抗生育作用。大鼠的最低作用剂量(lowest

observed effect level, LOEL)为 25 mg/(kg·bw·d), 可导致附睾精子计数减少 36%。这可归因于缩水甘油在胃中转化为 3-MCPD。缩水甘油在小鼠中具有母性毒性, 在胎儿中不产生任何主要的外部异常。在妊娠和断奶期间暴露于每天 49 mg 缩水甘油/(kg·bw)的母鼠的雄性仔鼠中可观察到神经毒性。一些体内和体外研究证据表明, 缩水甘油具有遗传毒性。

由表 5 可知, 不同月龄婴配奶粉中 GEs 平均值均低于欧盟制定的 50 μg/kg 限量值。由表 5 还可以看出, 不同月龄婴配奶粉缩水甘油酯均值与脂肪含量有相关性, 0~6 月龄奶粉的脂肪含量大于 6~12、12~36 月龄, 导致 0~6 月龄奶粉中 GEs 的均值最高。60 批次婴配奶粉的缩水甘油酯含量水平平均较低, 只有 2 批次奶粉的 GEs 超过限量值, 分别为 1 批次 0~6 月龄婴配奶粉和 1 批次 12~36 月龄婴配奶粉, 检测值分别为 0.060 mg/kg 和 0.074 mg/kg。缩水甘油油酸酯是婴配奶粉中含量最多的缩水甘油酯, 这 2 批次产品的缩水甘油酯含量较高可能是油酸含量较高或是精炼工艺导致原料油脂中 GEs 较高。

表 4 不同阶段婴配奶粉中氯丙醇酯含量超过限量值的占比  
Table 4 Proportion of levels of MCPDE exceeding limit value in infant formula of different ages

段数	氯丙醇酯含量范围/(mg/kg)	样品数量	氯丙醇酯含量限量值/(mg/kg)	超过限量值占比/%
0~6 月龄	< 0.078	6	0.078	70.0
	0.078~0.121	7		
	0.121~0.220	2		
	> 0.220	5		
6~12 月龄	< 0.078	11	0.121	22.7
	0.078~0.121	6		
	0.121~0.220	5		
12~36 月龄	< 0.078	12	0.220	0.0
	0.078~0.121	6		

表 5 不同阶段婴配奶粉中缩水甘油酯暴露水平  
Table 5 Exposure levels of GEs in infant formula of different ages

段数	GEs 均值/(mg/kg)	脂肪/%	GEs 含量范围/(mg/kg)	样品数量	超过限量占比/%
0~6 月龄	0.017	26.1	< 0.050	19	5.0
			0.060	1	
6~12 月龄	0.014	21.8	< 0.050	22	0.0
12~36 月龄	0.013	21.1	< 0.050	17	5.6
			0.074	1	

### 3 讨论与结论

2016 年 EFSA 报道欧盟地区婴配中 3-MCPDE 和 GE 的均值分别为 0.108、0.087 mg/kg<sup>[6]</sup>。ARISSETO 等<sup>[30]</sup>报道巴西市售婴配奶粉中 3-MCPDE 和 GE 的均值分别高达 0.150、0.220 mg/kg, 由此评估 0~5 月龄婴儿 3-MCPDE 的平均摄入量达 2.49  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ , 超过 EFSA 提出的 TDI 值。王亚等<sup>[23]</sup>建立同位素内标气相色谱-质谱联用法同步检测 30 份市售婴配奶粉中 3-MCPDE 和 GE 含量, 3-MCPDE 的含量为 50.0~207.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 均值为 98.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , GE 的含量为 50.0~480.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 均值为 208.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。这些报道中婴配奶粉的 GE 均值均超过了欧盟制订的 50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  限量值<sup>[11]</sup>。而在本次调查中婴配奶粉的 GE 均值较低, 仅有 2 批次样品超过限量值, 出现这种情况的原因可能是: 婴配奶粉中添加的植物油脂原料存在差异; 婴配样品存在区域局限性, 仅为福州市销售的 14 个品牌奶粉, 覆盖面不够。

本研究依据 EFSA 和 EU 对于婴配食品中氯丙醇酯和缩水甘油酯的最新限量要求, 对市售 60 份婴配奶粉中氯丙醇酯和缩水甘油酯的污染暴露水平进行调查分析。结果显示, 3-MCPDE 的检出率和均值最高, 分别为 100% 和 0.074 mg/kg; 其次是 2-MCPDE; 再者是 GE。统计不同月龄婴配奶粉的氯丙醇酯平均暴露水平, 其中 0~6 月龄婴配奶粉氯丙醇酯的平均暴露水平高于 TDI 值, 为 3.63  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ 。有 14 批次 0~6 月龄婴配奶粉、5 批次 6~12 月龄婴配奶粉的氯丙醇酯含量超过限量值。对于将配方奶粉作为主要营养来源的婴幼儿来说, 尤其是 0~6 月龄的婴儿, 氯丙醇酯摄入的健康风险需引起重点关注。

统计中仅有 1 批次 0~6 月龄婴配奶粉和 1 批次 12~36 月龄婴配奶粉超过欧盟限量, 婴配奶粉缩水甘油酯摄入的健康风险较低。鉴于国内外的调查结果, 结合考虑调查产品存在区域局限性, 对于婴配奶粉中缩水甘油酯仍需积累数据。婴配食品中氯丙醇酯和缩水甘油酯污染主要来源于植物油脂, 依据国外关于用于生产婴儿食品、婴幼儿谷类加工食品和幼儿配方食品的植物油脂氯丙醇酯和缩水甘油酯限量分别为 750  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  的拟设定值, 建议生产厂家严格控制原料, 选择符合拟设定值要求的植物油脂, 尽可能降低婴配食品中氯丙醇酯和缩水甘油酯的污染。相关部门需要加大对植物油脂生产企业的监督力度, 督促企业改进现有的生产工艺和方法, 以降低此类污染物带来的危害。

#### 参考文献

[1] OEY SB, VANDER FELLS-KLERX HJ, FOGLIANO V, *et al.* Mitigation strategies for the reduction of 2- and 3-MCPD esters and glycidyl esters in the vegetable oil processing industry [J]. *Comprehens Rev Food Sci Food Saf*, 2019, 18: 349-361.

[2] 刘文菁. 油脂性食品中氯丙醇酯和缩水甘油酯的表征技术与污染研究 [D]. 福州: 福建医科大学, 2017.  
LIU WJ. Characterization and contamination of chloropropanol esters and glycidyl esters in fatty foods [D]. Fuzhou: Fujian Medical University, 2017.

[3] WHO. Summary of the fifty-seventh meeting of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives(JECFA) [C]/Rome: FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2001.

[4] 吴少明, 傅武胜, 杨贵芝. 食用植物油中脂肪酸氯丙醇酯形成机制的研究进展[J]. *食品科学*, 2014, 35(1): 266-270.  
WU SM, FU WS, YANG GZ. Formation mechanism of 3-chloropropane-1,2-diol esters in edible vegetable oil [J]. *Food Sci*, 2014, 35(1): 266-270.

[5] JEĐRUKIEWICZ R, GŁOWACZ-RÓŻYŃSKA A, GROMADZKA J, *et al.* Indirect determination of MCPD fatty acid esters in lipid fractions of commercially available infant formulas for the assessment of infants' health risk [J]. *Food Anal Method*, 2016, 9(12): 3460-3469.

[6] 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.

[7] EFSA. Update of the risk assessment on 3-monochloropropane diol and its fatty acid esters [J]. *EFSA J*, 2017, 16(1): 5083.

[8] 佚名. 关于“氯丙醇酯和缩水甘油酯”的风险解析[J]. *轻工标准与质量*, 2017, (2): 77.  
Anonymous. Risk analysis of "chloropropanol ester and glycidyl ester" [J]. *Stand Qual Light Ind*, 2017, (2): 77.

[9] 刘国琴, 尹诗琴, 汪学德. 气相色谱-质谱联用法测定食用油脂中的缩水甘油酯[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(5): 289-294.  
LIU GQ, YIN SQ, WANG XD. Determination of glycidyl esters in edible oils by GC-MS [J]. *Mid Food Sci Technol*, 2016, 32(5): 289-294.

[10] IARC. Some chemicals present in industrial and consumer products, food and drinking water [J]. *Inter Agency Res Cancer*, 2013, 101: 9-549.

[11] Commission Regulation (EU). Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of glycidyl fatty acid esters in vegetable oils and fats, infant formula, follow-on formula and foods for special medical purposes intended for infants and young children [S].

[12] 崔霞, 丁颖, 邹建宏, 等. 液态乳中氯丙二醇脂肪酸酯的检测与污染水平初步调查[J]. *食品科学*, 2014, 35(12): 93-97.  
CUI X, DING H, ZOU JH, *et al.* Determination and occurrence of fatty acid esters of chloropropanediols in milk [J]. *Food Sci*, 2014, 35(12): 93-97.

[13] 宁柠, 王卫飞, 李道明, 等. 食用油脂中缩水甘油酯的风险评估研究 [J]. *中国油脂*, 2016, 41(1): 1-6.  
NING N, WANG WF, LI DM, *et al.* Risk assessment on glycidyl esters in edible oils and fats [J]. *China Oil Fat*, 2016, 41(1): 1-6.

[14] 卢跃鹏, 金绍明, 江小明, 等. 部分省份食用植物油中脂肪酸氯丙醇酯含量水平调查分析[J]. *中国油脂*, 2015, 40(11): 79-84.  
LU YP, JIN SM, JIANG XM, *et al.* Survey on content of fatty acid esters of chloropropanols in edible vegetable oils from some provinces in China [J]. *China Oil Fat*, 2015, 40(11): 79-84.

[15] 张波, 曾凡刚. 承德市食用植物油中氯丙醇酯和缩水甘油酯污染水平与暴露风险评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(4): 1261-1265.

- ZHANG B, ZENG FG. Contamination and dietary exposure assessment of chloropropanol esters and glycidol esters in edible vegetable oils in Chengde city [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(4): 1261–1265.
- [16] 曹艳平, 张萍, 姜大峰. 气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定油脂类食品中氯丙醇酯[J]. *分析科学学报*, 2018, 34(1): 141–144.
- CAO YP, ZHANG P, JIANG DF. Determination of fatty acid esters of chloropropanols in fat-rich samples by gas chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry [J]. *J Anal Sci*, 2018, 34(1): 141–144.
- [17] 陈慧玲, 许欣欣, 刘红河, 等. 食用植物油中 3-氯丙醇酯的 GC-MS 法测定及暴露风险分析[J]. *预防医学情报杂志*, 2016, 32(9): 912–915.
- CHEN HL, XU XX, LIU HH, *et al.* Determination of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) esters in vegetable oils by gas chromatography/mass spectrometry and risks of exposure [J]. *J Prev Med Inform*, 2016, 32(9): 912–915.
- [18] 黄琦, 季晓娟, 王丹丹. 气相色谱法测定鸡精中 2 种氯丙醇的方法研究[J]. *浙江科技学院学报*, 2013, 25(1): 33–37.
- HUANG Q, JI XJ, WANG DD. Determination of two chloropropanols in chicken essence by gas chromatography [J]. *J Zhejiang Univ Sci Technol*, 2013, 25(1): 33–37.
- [19] 许欣欣, 陈慧玲, 刘红河, 等. 婴幼儿配方奶粉中 3-氯丙醇酯的 GC-MS 法测定及暴露风险分析[J]. *中国食物与营养*, 2016, 22(4): 15–19.
- XU XX, CHEN HL, LIU HH, *et al.* Determination of 3-chloro-1, 2-propanediol (3-MCPD) esters in infant formula milk powder by using gas chromatography/mass spectrometry and exposure level analysis [J]. *Food Nutr China*, 2016, 22(4): 15–19.
- [20] 刘园, 卢剑. 同位素内标-气相色谱-质谱法测定婴幼儿配方乳粉中氯丙醇酯类化合物[J]. *乳业科学与技术*, 2017, 40(3): 11–15.
- LIU Y, LU J. Simultaneous determination of chloropropanol esters in infant formula milk powder by isotope internal standard coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Dairy Sci Technol*, 2017, 40(3): 11–15.
- [21] 李珊, 苗虹, 崔霞, 等. 乳粉中氯丙醇脂肪酸酯的气相色谱-质谱检测方法的建立及其污染水平分析[J]. *中华预防医学杂志*, 2015, 49(6): 554–559.
- LI S, MIAO H, CUI X, *et al.* Development of gas chromatography-mass spectrometry for determination of fatty acid esters of chloropropanols in milk powder and the pollution level of infant formula [J]. *Chin J Prev Med*, 2015, 49(6): 554–559.
- [22] 张妮, 周静, 胡守江, 等. 婴配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.* Optimized detection and pollution exposure of chloropropanol fatty acid esters in infant formula [J]. *Food Sci*, 2019, 40(10): 311–317.
- [23] 王亚, 高红波, 隋海霞, 等. 同位素内标-气相色谱-质谱法同时测定婴幼儿配方粉中 3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的含量[J]. *食品科学*, 2020, 41(4): 262–267.
- WANG Y, GAO HB, SUI HX, *et al.* Simultaneous determination of 3-monochloropropane-1,2-diol esters and glycidyl esters in infant formula powder by isotope internal standard-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Sci*, 2020, 41(4): 262–267.
- [24] GB 2762—2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].  
GB 2762—2017 National food safety standard-Limits of pollutants in food [S].
- [25] GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].  
GB 5009.6—2016 National food safety standard-Determination of fat in food [S].
- [26] 刘文菁. 婴幼儿配方奶粉中缩水甘油脂肪酸酯含量的测定[J]. *福建分析测试*, 2019, 28(4): 5–10.
- LIU WJ. Determination of glycidyl fatty acid esters in infant formula milk powder [J]. *Fujian Anal Test*, 2019, 28(4): 5–10.
- [27] 薛焕德. 现代保健大学科[M]. 青岛: 青岛出版社, 2006.
- XUE HD. Department of modern health care university [M]. Qingdao: Qingdao Press, 2006.
- [28] 杜芳芳, 李建平, 郑晓辉, 等. 母乳及婴幼儿配方奶粉中脂肪酸的组成及分布特点[J]. *食品科学*, 2015, 36(11): 245–250.
- DU FF, LI JP, ZHENG XH, *et al.* Characteristics of fatty acid composition and distribution in human milk and infant formulas [J]. *Food Sci*, 2015, 36(11): 245–250.
- [29] Federal Institute for Risk Assessment. Infant formula and follow-up formula may contain harmful 3-MCPD fatty acid esters [R]. Germany: BfR, 2007.
- [30] ARISSETO AP, SILVA WC, SCARANELO GR, *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.

(责任编辑: 韩晓红)

### 作者简介



黄彬红, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 441562184@qq.com