

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

刘印平*, 云 鹏, 陈福尊, 王丽英, 路 杨, 董 彬, 冯 静, 常凤启

(河北省疾病预防控制中心, 石家庄 050021)

摘 要: 目的 对几种市售婴幼儿配方奶粉中 2 种氯丙醇酯进行定量检测并开展人体健康风险暴露评估。**方法** 奶粉样品提取脂肪后, 经碱水解, 以硅藻土固相萃取法净化, 样液经衍生后采用气相色谱/质谱联用法 (gas chromatography/mass spectrometry, GC/MS) 检测, 以稳定性同位素内标法对 3-氯-1,2-丙二醇酯和 2-氯-1,3-丙二醇酯进行定量。**结果** 奶粉中 3-氯-1,2-丙二醇酯和 2-氯-1,3-丙二醇酯的检出率分别为 87.5% 和 62.5%, 平均值分别为 0.058 mg/kg 和 0.022 mg/kg。低月龄婴幼儿氯丙醇酯暴露风险较高, 超出每日耐受摄入量 (tolerable daily intake, TDI) [0.8 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]。**结论** 婴幼儿配方奶粉中氯丙醇酯污染问题应高度关注, 尽快制定限量标准, 以降低氯丙醇酯对婴幼儿造成的健康风险。

关键词: 氯丙醇酯; 婴幼儿配方奶粉; 污染; 暴露风险

Quantitative detection and risk assessment of chloropropanol ester in several infant formula milk powder

LIU Yin-Ping*, YUN Peng, CHEN Fu-Zun, WANG Li-Ying, LU Yang, DONG Bin, FENG Jing, CHANG Feng-Qi

(Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China)

ABSTRACT: Objective To quantitatively detect 2 chloropropanol esters in several commercially available infant formula and to conduct a human health risk exposure assessment. **Methods** The fat was extracted from the milk powder samples and purified by solid phase extraction from diatomite after the alkaline hydrolysis. Gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) was used to extract the fat from the samples, and the determination of 3-chlorine-1,2-propanediol esters and 2-chlorine-1,3-propanediol esters was performed using stable isotope internal chromatography. **Results** The detection rates of 3-chloro-1,2-propanediol ester and 2-chloro-1,3-propanediol ester in milk powder were 87.5% and 62.5%, respectively, with average values of 0.058 mg/kg and 0.022 mg/kg, respectively. The risk of exposure to chloropropane is high, exceeding the tolerable daily intake (tolerable daily intake, TDI) [0.8 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]. **Conclusion** The contamination of chloropropanol esters in infant formula milk powder should be paid close attention to, and the limit standard should be established as soon as possible to reduce the health risk of chloropropanol esters to infants and young children.

KEY WORDS: chloropropane ester; infant formula milk powder; pollution; exposure risk

*通讯作者: 刘印平, 副主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: liuyinping0930@163.com

*Corresponding author: LIU Yin-Ping, Associate Chief Technician, Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China. E-mail: liuyinping0930@163.com

1 引言

脂肪酸氯丙醇酯的污染是近年来国际上新出现的热点食品安全问题之一,尤其是脂肪酸 3-氯-1,2-丙二醇酯(3-chlorine-1,2-propylene glycol ester, 3-MCPDE)和 2-氯-1,3-丙二醇酯(2-MCPDE)污染问题更为突出。当氯丙醇酯被人体所摄入以后,能够经过体内脂肪酶分解,其水解产物氯丙醇被证实具有致癌性、遗传毒性、肾脏毒性等作用^[1,2]。毒理学研究表明,3-氯-1,2-丙二醇(3-MCPD)在啮齿类动物中存在明显的毒性作用,且具有种属和位点特异性^[3]。2-氯-1,3-丙二醇(2-MCPD)的结构与 3-MCPD 极其相似,其毒性以及其可能引起的健康风险不容忽视^[4]。食品中氯丙醇酯的检测目前多采用间接法,即通过酯交换反应将氯丙醇酯水解为氯丙醇,以氯丙醇的含量表征氯丙醇酯的含量^[5-7]。

棕榈油、菜籽油等精炼植物油在婴幼儿配方奶粉中的广泛使用,导致婴幼儿配方奶粉中也存在一定程度的氯丙醇酯污染。近年来,在奶粉等油脂食品中,3-氯丙醇酯和 2-氯丙醇酯检出较多。婴幼儿母乳喂养率受到广泛关注,全球超过一半以上婴幼儿均未接受母乳喂养,而配方奶粉作为替代产品成为其生长过程的主要营养来源^[8],因此,有必要开展婴幼儿配方奶粉中的 3-MCPDE 和 2-MCPDE 的含量检测。

本研究对几种市售婴幼儿配方奶粉的 2 种氯丙醇酯污染状况进行初步研究,并对奶粉中 3-MCPDE 和 2-MCPDE 的含量进行了相关性分析,同时对石家庄市婴幼儿经奶粉摄入氯丙醇酯进行风险评估,以期为我国开展氯丙醇酯在婴幼儿中的健康风险评估与限量制定等研究提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料

2.1.1 样品

2017 年在河北石家庄市各大超市随机抽取婴幼儿配方奶粉,涵盖了市面上销售的 5 类常见品牌,包括伊利、君乐宝、三元、爱他美、飞鹤。5 个品牌共 16 份婴幼儿配方奶粉样品,其中 1 段配方奶粉(0~6 个月)4 份、2 段配方奶粉(6~12 个月)4 份、3 段配方奶粉(12~36 个月)4 份、4 段配方奶粉(3 岁以上)4 份。样品采集后编号并记录,常温保存,采样后尽快完成检测。

2.1.2 仪器

DSQII 型气相色谱质谱仪(美国 Thermo 公司); GR202 型万分之一电子天平(日本 AND/艾安得); Elmasonic P 型超声波清洗仪(德国 Elma 公司); Eyela 型真空旋转蒸发仪(日本东京理化器械株式会社); 101-2AB 型电热恒温鼓风干燥

箱(天津市泰斯特仪器有限公司); SW22 型恒温水浴震荡摇床(德国 Julabo 公司)。

2.1.3 试剂及标准溶液

3-MCPD(50 $\mu\text{g/mL}$)和 3-MCPD- d_3 标准品(50 $\mu\text{g/mL}$)、2-MCPD(50 $\mu\text{g/mL}$)和 2-MCPD- d_3 标准品(50 $\mu\text{g/mL}$)(纯度 98%, 美国 Cambridge 公司); 正己烷、甲醇、乙醇(色谱纯, 德国默克公司); 二氯甲烷、乙醚(色谱纯, 美国 J.T.Baker 公司); 水解剂甲醇钠溶液(0.5 mol/L)、基质固相分散萃取柱(1500 mg/50 mL)(福州勤鹏生物科技有限公司); 实验用水: 屈臣氏纯净水; 七氟丁酰基咪唑(德国 Sigma-Aldrich 公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 气相色谱条件

载气: 高纯氮(纯度 ≥ 99.999), DB-5 色谱柱(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm), 流量: 1.0 mL/min; 进样口温度: 250 $^{\circ}\text{C}$, 进样量: 1 μL , 不分流; 升温程序: 初始柱温: 42 $^{\circ}\text{C}$, 保持 1 min, 以 2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 80 $^{\circ}\text{C}$, 再以 30 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 300 $^{\circ}\text{C}$, 保持 5 min。

2.2.2 质谱条件

接口温度: 280 $^{\circ}\text{C}$; 离子源温度: 230 $^{\circ}\text{C}$; 电离方式: 电子轰击源(electron impact, EI); 监测方式: 选择离子监测(single ion monitor, SIM), 3-MCPD 和 2-MCPD 的定量离子分别为 m/z 253 和 m/z 289。3-MCPD- d_3 和 2-MCPD- d_3 的定量离子均为 m/z 257。

2.2.3 样品前处理

奶粉中脂肪提取: 根据 GB 5413.3-2010《食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中脂肪的测定》^[9]的方法进行提取。

样品水解、净化及衍生步骤参照国家食品安全风险评估中心的《2018 年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册》食品中脂肪酸氯丙醇酯和缩水甘油酯总量测定的标准操作程序(第一法)的方法进行处理。采用乙醚和石油醚提取奶粉中的脂肪, 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(gas chromatography/mass spectrometry, GC/MS)测定, 以氘代同位素标准品为内标, 内标法定量。

2.2.4 标准曲线

将 3-MCPD 和 2-MCPD 标准溶液, 用正己烷稀释, 配制成一定浓度的混合标准储备液。

将以上各混合标准储备液进一步稀释, 配成混合标准溶液(20、100、200、400、600 $\mu\text{g/L}$), 其中内标 3-MCPD- d_3 和 2-MCPD- d_3 的浓度均为 100 $\mu\text{g/L}$ 。

3 结果与分析

3.1 方法的线性范围和检出限

在优化的条件下, 对所配制的 20、100、200、400、

600 $\mu\text{g/L}$ 的 3-MCPD 和 2-MCPD 系列浓度的混合标准溶液进行测定, 内标 3-MCPD- d_5 和 2-MCPD- d_5 的浓度均为 100 $\mu\text{g/L}$ 。分别以 3-MCPD、2-MCPD 的色谱峰面积和内标的色谱峰面积的比值对相应的标准溶液中各目标物的浓度进行线性回归计算。如表 1 和图 1 所示, 2 种化合物在以上浓度范围内与峰面积呈现良好的线性关系。

以空白基质为基础, 以 3 倍信噪比计算方法的检出限, 以 10 倍信噪比计算方法的测定下限。测得 3-MCPD 和 2-MCPD 方法检出限均为 0.024 mg/kg, 定量下限均为 0.070 mg/kg。

3.2 方法的回收率和精密度

为了保证分析结果的准确性, 在分析每批样品时, 同

时进行加标试验。在确定的实验条件下, 向空白样品中添加 3 个不同水平(0.03、0.06、0.10 mg/kg)的标准溶液, 每个添加水平重复测定 6 次。结果显示, 加标回收率范围为 70.5%~95.1%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)在 6.8%~11.2%之间, 说明方法准确可靠, 重现性好。

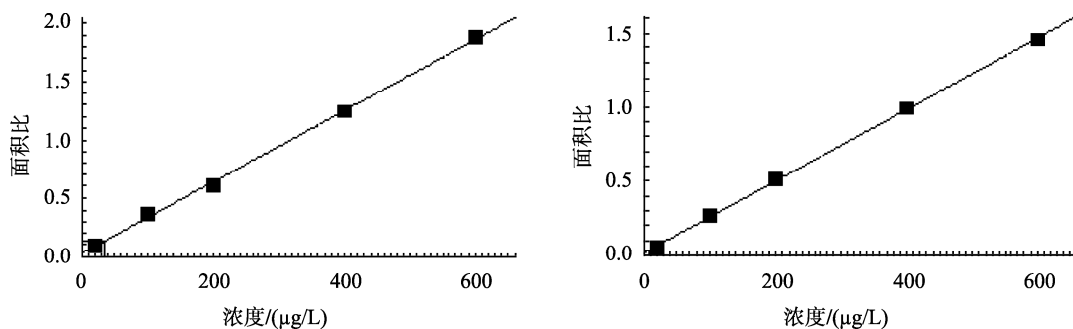
实验过程中质控物质与试样同时进行测定, 测定结果见表 2。所测定值均在合格范围内, 说明检测结果准确可靠。

3.3 样品中 2 种氯丙醇酯含量的测定及相关性分析

本研究采用上述方法测定了市售的 16 份婴幼儿配方奶粉样品中的 3-氯丙醇酯和 2-氯丙醇酯。实验过程中, 对每个样品进行了平行测定。某奶粉样品中氯丙醇酯总离子流图见图 2 所示。

表 1 氯丙醇酯线性方程及检出限
Table 1 Linear equations and limits of detection of chloropropanol esters

化合物	线性方程	保留时间/min	相关系数 r^2	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
3-MCPD	$Y=0.028+0.0031X$	17.90	0.9992	0.024	0.070
2-MCPD	$Y=0.014+0.0024X$	18.30	0.9996	0.024	0.070
3-MCPD- d_5	/	17.67			
2-MCPD- d_5	/	18.10			



注: 左图为 3-MCPD 的标准曲线, 右图为 2-MCPD 标准曲线。

图 1 氯丙醇酯标准曲线绘制

Fig.1 Standard curve of chloropropanol esters

表 2 FAPAS 质控物中氯丙醇酯质控结果
Table 2 Results of 3-MCPD ester in FAPAS quality control

样品编号	取样量/g	试样中氯丙醇酯测定值/($\mu\text{g/kg}$)		试样中氯丙醇酯定值/($\mu\text{g/kg}$)	
		3-MCPD	2-MCPD	3-MCPD	2-MCPD
ZK01	A	0.11	1716	683	
	B	0.10	1513	566	
ZK02	A	0.10	1943	816	1130~2090
	B	0.10	1644	769	470~947

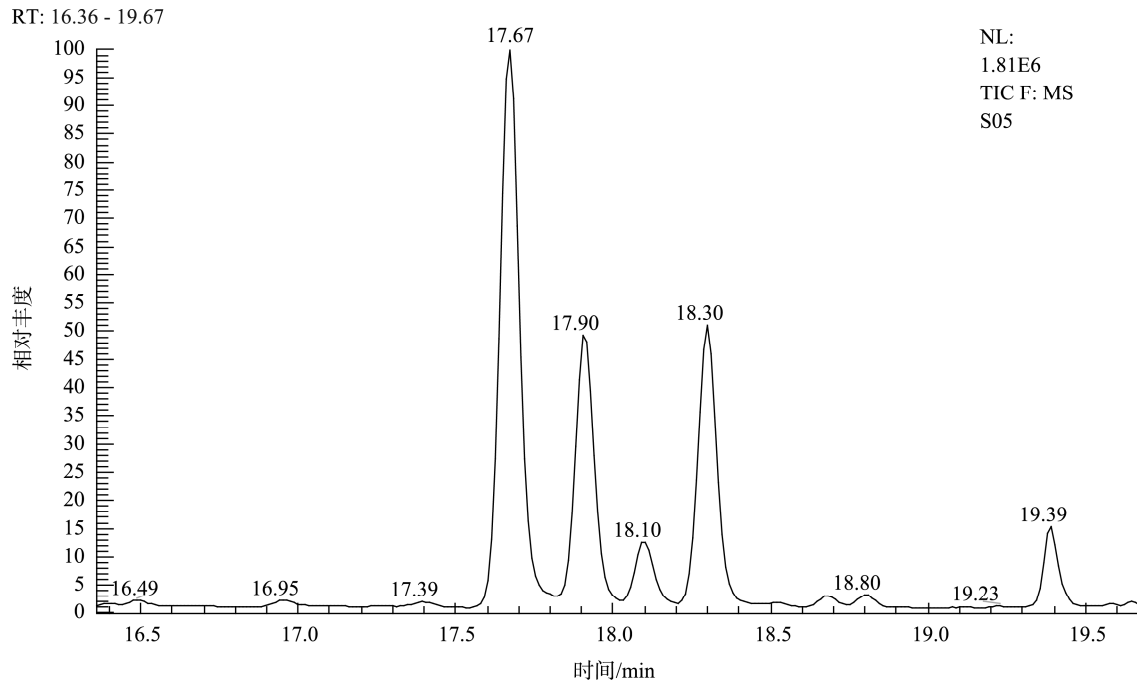


图 2 奶粉样品中氯丙醇酯总离子流图

Fig.2 Total ion chromatograms of chloropropanol esters in infant formula milk powder

因为本研究未检出数据的样品数占总样品量的比例 $\leq 60\%$, 故所有未检出数据用 1/2 检出限代替^[10]。在本研究条件下, 3-MCPD 酯和 2-MCPD 酯获得的检出限均为 0.024 mg/kg。大于 0.024 mg/kg 即为检出。

本研究测定的 16 份奶粉样品中 3-氯丙醇酯检出率 87.5%, 2-氯丙醇酯检出率 62.5%。3-氯丙醇酯检出范围 0.026~0.11 mg/kg, 平均值为 0.058 mg/kg。2-氯丙醇酯检出范围 0.025~0.034 mg/kg, 平均值为 0.022 mg/kg。

德国联邦风险评估机构调查发现, 婴幼儿配方奶粉中存在高水平的 3-MCPDE 和 2-MCPDE^[11]。不仅如此, 氯丙醇酯污染问题在我国国内乳粉中也普遍存在。如陕西省市售乳粉调查发现^[12], 6~12 月龄配方乳粉中检出 3-MCPD 酯最大值(1.94 mg/kg)。覃玲等^[10]在江苏茂名市售奶粉中发现氯丙醇酯检出率较高, 3-MCPDE 在婴幼儿配方奶粉中的检出范围为 0.18~1.24 mg/kg, 平均值为 0.61 mg/kg, 检出率在 50%左右; 2-MCPDE 在婴幼儿配方奶粉中的平均值为 0.40 mg/kg, 检出率在 15%左右, 说明也存在一定的食品安全暴露风险。

使用 Origin 6.0 对 16 份婴幼儿配方奶粉中的氯丙醇酯含量进行相关性分析, 发现 3-MCPDE 和 2-MCPDE 的含量差异无统计学意义($r=0.066, P>0.05$)。如果将奶粉按不同阶段分析, 1~2 阶段为低阶段, 3~4 阶段为高阶段时发现, 低阶段奶粉中的 2 种氯丙醇酯含量无统计学意义($r=0.34, P>0.05$), 高阶段奶粉中的两种氯丙醇酯含量呈高度相关

($r=0.85, P<0.05$)。由此推断 3-MCPDE 和 2-MCPDE 的含量可能与不同阶段奶粉中营养成分的组成和加工工艺有关。

3.4 婴幼儿配方奶粉 3-氯丙醇酯暴露量

考虑到婴幼儿配方奶粉的摄入量, 参考婴幼儿喂养要求和奶粉冲调要求, 前 3 阶段按婴幼儿体重计算奶粉摄入量, 第四阶段直接引用婴幼儿乳制品建议每日摄入量(250 mL), 具体见表 3 各阶段婴幼儿配方奶粉摄入量及体重信息^[7]。由此初步对婴幼儿配方奶粉的 3-MCPDE 和 2-MCPDE 暴露量进行评估。目前, 氯丙醇酯的暴露风险评估多以 3-MCPD 的最大耐受剂量(provisional maximum tolerable daily intake, PMTDI)[2 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]进行评估^[13]。但是 EFSA 的研究表明, 婴儿的奶制品饮食中 3-MCPDE 的暴露水平是每日耐受摄入量(tolerable daily intake, TDI)[0.8 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]的 3 倍^[14]。所以, 2016 年 EFSA 保守估算了更适用于儿童的 3-MCPD 每日耐受摄入量(TDI)为 0.8 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ^[15]。

按不同阶段统计婴幼儿 3-MCPD 酯平均暴露量, 1 阶段 2.45 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ 、2 阶段 1.55 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ 、3 阶段 1.06 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ 、4 阶段 0.14 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ 。表 4 的计算结果表明, 1 阶段婴幼儿的 3-MCPD 酯暴露水平较高, 是 TDI [0.8 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]的 3.06 倍, 这主要是由于 1 阶段奶粉脂肪含量较高, 且新生儿体重较低; 2、3 阶段婴幼儿的 3-MCPD 酯暴露水平分别为 TDI 的 1.94 和 1.33 倍; 而 4 阶段幼儿奶粉摄入量少, 体重较重, 所以暴露水平较低。

表 3 各阶段婴幼儿配方奶粉日摄入量和婴幼儿体重^[7]
Table 3 Daily intake and body weight of infant formula at different stages^[7]

	1 阶段	3 阶段	3 阶段	4 阶段
奶粉日摄入量/g	156	218	298	62.5
体重/kg	6.23	8.71	11.9	16.0

4 结 论

对于缺乏母乳的婴儿来说, 配方奶粉几乎是唯一的代乳品。本研究在个别婴幼儿配方奶粉中发现了高水平的 3-MCPDE 和 2-MCPDE, 有关政府和业界应引起足够重视。当务之急, 应大力开展对氯丙醇酯安全问题的科学研究, 以指导乳品行业大力降低婴幼儿配方奶粉中的氯丙醇酯水平, 保护婴幼儿健康。

表 4 婴幼儿配方奶粉 3-MCPD 酯和 2-MCPD 酯测定值及暴露量
Table 4 Content and exposure of 3-MCPD ester and 2-MCPD ester from infant formula milk powder

样品号	脂肪含量 (g/100 g 样品)	3-MCPDE 含量 (mg/kg 脂肪)	3-MCPDE 含量 (mg/kg 样品)	3-MCPDE 暴露 量/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}$)	2-MCPDE 含量 (mg/kg 脂肪)	2-MCPDE 含量 (mg/kg 样品)	2-MCPDE 暴露 量/($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{bw}$)
1	16.4	0.57	0.093	2.34	0.16	0.026	0.66
2	20.2	0.55	0.111	2.78	0.12	ND	0.30
3	15.4	0.60	0.092	2.31	0.16	0.025	0.62
4	19.7	0.48	0.095	2.37	0.12	ND	0.30
5	27.8	0.35	0.097	2.44	0.11	0.031	0.77
6	27.6	0.26	0.072	1.80	0.09	0.025	0.62
7	20.6	0.29	0.060	1.50	0.10	ND	0.32
8	15.5	0.12	ND	0.32	0.12	ND	0.47
9	14.0	0.44	0.062	1.54	0.24	0.034	0.84
10	14.6	0.18	0.026	0.66	0.14	ND	0.30
11	15.5	0.26	0.040	1.01	0.18	0.028	0.70
12	17.7	0.23	0.041	1.02	0.15	0.027	0.66
13	21.0	0.19	0.040	0.16	0.15	0.032	0.12
14	19.5	0.22	0.043	0.17	0.16	0.031	0.12
15	19.1	0.12	ND	0.04	0.03	ND	0.04
16	20.4	0.19	0.039	0.15	0.16	0.033	0.13

注: ①样品编号 1~4 为 1 阶段、5~8 为 2 阶段、9~12 为 3 阶段、13~16 为 4 阶段;

②ND(未检出数据)用 1/2 检出限(LOD)代替, 即 0.012 mg/kg。

参 考 文 献

- [1] Hwang M, Yoon E, Kim J, *et al.* Toxicity value for 3-monochloropropane-1, 2-diol using abenchmark dose methodology [J]. *Regul Toxicol Pharm.* 2009, 53(2): 102-106.
- [2] 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. Pollution levels of 3-chloro-1, 2-propanediol esters in 4 kinds of commercially available food, Jiangxi [J]. *Mod Pre Med*, 2017, 44(21): 3883-3886.
- [3] 白顺, 孙建霞, 邹飞雁, 等. 食品污染物 3 氯 1,2 丙二醇毒理作用的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(5): 358-362.
Bai S, Sun JX, Zou FY, *et al.* Review on the toxicological effect of 3-monochloropropane-1,2-diol in food contaminant [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2013, 34(5): 358-362.
- [4] 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.
- [5] 周华, 张蕴, 张喆骅, 等. 固相萃取-气相色谱质谱法测定食用植物油中两种氯丙醇酯[J]. *卫生研究*, 2018, 47(1): 148-152.
Zhou H, Zhang Y, Zhang ZY, *et al.* Determination of two chloropropanol esters in edible vegetable oil by solid phase extraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Hyg Res*, 2018, 47(1): 148-152.
- [6] 黄明泉, 刘廷竹, 范方辉, 等. 食品中氯丙醇酯的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(12): 3962-3970.
Huang MQ, Liu TZ, Fan FF, *et al.* Research progress of chloropropanols esters in foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(12): 3962-3970.

- [7] 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.
- [8] 杨帆, 吴娟, 郑颖. 人乳、牛乳和配方奶粉中脂肪酸组成随泌乳期及婴幼儿不同阶段的变化[J]. 卫生研究, 2017, 46(4): 579-584.
Yang F, Wu J, Zheng Y. Difference of fatty acids in human milk, bovine milk and powdered formulas with the change of lactation period or suitable object [J]. J Hyg Res, 2017, 46(4): 579-584.
- [9] GB 5413. 3-2016 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中脂肪的测定[S].
GB 5413. 3-2016 National food safety standard-Determination of fat in foods for infants and young children [S].
- [10] 覃玲, 许桂锋, 李波, 等. 气相色谱-质谱法测定奶粉中 3-氯丙醇酯和 2-氯丙醇酯含量[J]. 江苏预防医学, 2018, 29(3): 279-282.
Qin L, Xu GF, Li B, *et al.* Determination of 3-MCPD esters and 2-MCPD esters residues in milk powder samples by gas chromatography-mass spectrometry and the pollution level [J]. Jiangsu J Prev Med, 2018, 29(3): 279-282.
- [11] 金青哲, 王兴国. 氯丙醇酯-油脂食品中新的潜在危害因子[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(11): 119-123
Jin QZ, Wang XG. Chloropropanol esters in edible fats and oils-new potential risk factors [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2011, 26(11): 119-123.
- [12] 郭蓉, 刘存卫, 严倩, 等. 陕西省市售乳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 and analysis on the pollution level of chloropropanol esters in milk powder sold in Shaanxi province [J]. Mod Prev Med, 2018, 45(16): 2929-2932.
- [13] WHO. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Evaluation of certain food additives and contaminants. Sixty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. Sixty-seventh meeting, Rome, 20-29 June 2006 [R]. 2007, WHO Technical Report Series no. 940, 45-53. http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_940_eng.pdf
- [14] 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 food in Guangdong province and the associated human exposure assessment [J]. Acta Sci Circumstantiae, 2018, 38(7): 2941-2947.
- [15] 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 [J]. EFSA J, 2016, 14: 4426.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



刘印平, 副主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: liuyinping0930@163.com