

## 研究报告

## 杭州市售食用植物油中氯丙醇酯的污染分析

何华丽<sup>1</sup>,樊继彩<sup>1</sup>,汪大芳<sup>2</sup>,边天斌<sup>1</sup>,任韧<sup>1</sup>

(1. 杭州市疾病预防控制中心(杭州市卫生监督所)卫检中心,浙江 杭州 310021; 2. 温州医科大学检验医学院(生命科学学院),浙江 温州 325035)

**摘要:**目的 了解杭州市售食用植物油中 3-氯-1,2-丙二醇脂肪酸酯(3-MCPDEs)和 2-氯-1,3-丙二醇脂肪酸酯(2-MCPDEs)的污染状况,为进一步研究提供技术支持。方法 利用非衍生化气相色谱-串联质谱法(GC-MS/MS)检测食用植物油中 3-MCPDEs 和 2-MCPDEs 含量。结果 在 13 类 330 份食用植物油中,3-MCPDEs 和 2-MCPDEs 的检出率分别为 96.4% 和 86.4%,含量范围分别为 ND~7.98 mg/kg 和 ND~3.53 mg/kg,平均含量分别为 0.77 mg/kg 和 0.36 mg/kg。其中,茶油、稻米油、芝麻油平均含量相对较高,橄榄油、核桃油、亚麻籽油和葵花籽油的平均含量相对较低。结论 食用植物油存在 MCPDEs 污染问题,不同植物油的种类和品牌污染程度不同,值得进一步研究和关注。

**关键词:**食用植物油;氯丙醇酯;气相色谱-串联质谱法

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2024)08-0905-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2024.08.002

**Pollution analysis of chloropropanol esters in edible vegetable oils sold in Hangzhou City**HE Huali<sup>1</sup>, FAN Jicai<sup>1</sup>, WANG Dafang<sup>2</sup>, BIAN Tianbin<sup>1</sup>, REN Ren<sup>1</sup>

(1. Health Inspection Center, Hangzhou Center for Disease Control and Prevention (Hangzhou Health Supervision Institution), Zhejiang Hangzhou 310021, China; 2. College of Laboratory Medicine, School of Life Sciences, Wenzhou Medical University, Zhejiang Wenzhou 325035, China)

**Abstract: Objective** To investigate the contamination level of 3-monochloropropane-1,2-diol ester (3-MCPDEs) and 2-monochloropropane-1,3-diol ester (2-MCPDEs) in edible vegetable oils sold in Hangzhou City, and provide technical support for further study. **Methods** Non-derivatization gas chromatography-tandem mass spectrometry was used to determine 3-MCPDEs and 2-MCPDEs in edible vegetable oil. **Results** In 330 samples of 13 kinds of edible vegetable oils, the detection rate of 3-MCPDEs was 96.4%, the content range was ND-7.98 mg/kg, the average value was 0.77 mg/kg, the detection rate of 2-MCPDEs was 86.4%, the content range was ND-3.53 mg/kg, the average value was 0.36 mg/kg. From the perspective of vegetable oil varieties, the mean values of tea oil, rice oil and sesame oil were relatively high, and the mean values of olive oil, walnut oil, linseed oil and sunflower oil were relatively low. **Conclusion** The contamination of MCPDEs is common in edible vegetable oils, and the severity of contamination is affected by the types and brands of vegetable oils.

**Key words:** Edible vegetable oil; Chloropropanol ester; GC-MS/MS

食用植物油中氯丙醇酯(Chloropropanols esters, MCPDEs)是国际上被广泛关注的食品污染物,已被列为世界粮农组织/世界卫生组织食品添加剂专家联合委员会(The Joint FAO/WHO Expert

Committee on Food Additives, JECFA)优先评估的污染物<sup>[1]</sup>,通常在热加工处理过程中或氯离子作用下形成<sup>[2-4]</sup>,有报道植物油在除臭过程中可产生高浓度 MCPDEs<sup>[5]</sup>。MCPDEs 根据氯原子取代位置的不同,可分为单氯取代的 3-氯-1,2-丙二醇脂肪酸酯(3-monochloropropane-1,2-diol ester, 3-MCPDEs)、2-氯-1,3-丙二醇脂肪酸酯(2-monochloropropane-1,3-diol ester, 2-MCPDEs)、双氯取代的 1,3-二氯-2-丙醇脂肪酸酯(1,3-DCPEs)和 2,3-二氯-1-丙醇脂肪酸酯(2,3-DCPEs),食品中污染水平较高的是 3-MCPDEs,其次是 2-MCPDEs<sup>[6]</sup>。3-MCPDEs 在生物体内可经

收稿日期:2024-03-29

基金项目:杭州市卫生科技计划项目(A20231037)

作者简介:何华丽 女 主管技师 研究方向为食品质谱分析

E-mail:hhlzjut1989@163.com

通信作者:任韧 女 主任技师 研究方向为理化分析

E-mail:hzzren@sina.com

脂肪酶水解成毒性较强的3-氯丙醇(3-MCPD),3-MCPD已被国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)列为2B类“可能的人类致癌物”,具有潜在的致癌性、肾脏毒性和生殖毒性<sup>[7-9]</sup>。2-MCPDE与3-MCPDE的代谢途径相似,在生物体内会代谢转化为有害的2-MCPD<sup>[10]</sup>。

近年来,油脂中MCPDEs受到国内外密切关注。根据德国油脂科学学会提议,经欧盟委员会讨论,提出了食用油脂的中MCPDEs有关规定(European Union, EU)2020/1322<sup>[11]</sup>,要求椰子、玉米、菜籽、橄榄(橄榄渣油除外)、葵花、大豆和棕榈仁的未精炼油、精炼油以及这类油脂的混合物中,3-MCPDEs限量为1.25 mg/kg;其他精炼植物油(包括橄榄渣油)、鱼油和其他海洋生物的油,以及仅属于这一类别的油和脂肪混合物中,3-MCPDEs限量为2.50 mg/kg;此规定已于2021年1月1日实施。我国自2021年以来,在国家食品安全风险监测计划中规定开展食用植物油的MCPDEs监测。GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[12]</sup>中明确规定了液态调味品中3-MCPD的含量不得超过0.40 mg/kg,固态调味品中3-MCPD不得超过1.00 mg/kg,但关于食用植物油中的安全限量暂无具体规定。

本研究针对市售消费量较大的花生油、玉米油、植物调和油、大豆油等食用植物油开展3-MCPDEs和2-MCPDEs检测,旨在了解杭州市居民常食用植物油中MCPDEs污染状况,为企业改进植物油的加工工艺和条件提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

2020—2023年在杭州市13个区(县)的商店、农贸市场、网店等场所购买食用植物油样品330份,包括花生油(73份)、玉米油(69份)、植物调和油(34份)、大豆油(30份)、菜籽油(25份)、茶油(22份)、橄榄油(20份)、亚麻籽油(14份)、稻米油(13份)、芝麻油(11份)、葵花籽油(7份)、葡萄籽油(7份)和核桃油(5份)13种消费者在市面上较常见的食用植物油。样品分批采集,采样后尽快完成检测。

### 1.2 测定方法

参照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》<sup>[13]</sup>第三法并结合《2017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含量的标准操作程序(第二法)对方法进行优化。测定时,在试样中

加入氘代氯丙醇脂肪酸酯,以甲醇钠-甲醇溶液进行酯键断裂反应,使氯丙醇脂肪酸酯转化为氯丙醇和相应的脂肪酸甲酯,以冰乙酸终止反应,加入溴化钠溶液,并用正己烷进行液液萃取,以去除生成的脂肪酸甲酯和其他非极性杂质,用硅藻土小柱净化,以乙酸乙酯洗脱氯丙醇,用GC-MS/MS做非衍生化检测,内标法定量,分析食用植物油中的3-MCPDEs和2-MCPDEs含量。本方法检出限为0.03 mg/kg,定量限为0.10 mg/kg。

### 1.3 质量控制

对方法进行空白试验、平行试验、加标回收试验等考察,结果均符合方法学要求。实际样品检测时,同步采用英国食品与环境研究院(The Food and Environment Research Agency, FERA)的食品分析能力验证FAPAS样品T2667QC和T2649QC对2个检测指标进行质控,确保检测结果的可靠性。

### 1.4 数据处理

按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第二次会议关于“食品中低水平污染物可信评价”中对未检出数据的处理原则,不同种类植物油检出率均大于60%,本次评估对未检出数据采用1/2 LOD值进行统计<sup>[14]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 食用植物油中MCPDEs的检出情况

13类330份市售食用植物油中,3-MCPDEs和2-MCPDEs检测结果见表1。结果显示,杭州市居民消费的主要植物油样品中,存在MCPDEs污染问题,两者的含量范围分别为ND~7.98 mg/kg和ND~3.53 mg/kg,平均含量分别为0.77 mg/kg和0.36 mg/kg。3-MCPDEs的总检出率为96.4%(318/330),2-MCPDEs总检出率为86.4%(285/330),这与国内外有关植物油中MCPDEs的高检出率结果类似<sup>[15-16]</sup>。

3-MCPDEs和2-MCPDEs为植物油中主要检出MCPDEs,且有研究表明食用油脂中2-MCPDEs与3-MCPDEs含量比例为1:2~1:3<sup>[17]</sup>。在本研究中,有285份样本同时检出3-MCPDEs和2-MCPDEs,占比86.4%(285/330),且各类植物油品种中3-MCPDEs的平均值和中位值均高于2-MCPDEs。植物油样本中2-MCPDEs和3-MCPDEs含量相关性分析见图1,结果显示2-MCPDEs与3-MCPDEs含量比约为1:2,且两者含量呈相关性,这一结果提示,实际工作中可以通过监测3-MCPDEs含量反映其污染状况,以提高检测效率。

以3-MCPDEs作为分析目标物,分为四区间浓度(ND~0.76 mg/kg、0.77~1.24 mg/kg、1.25~2.49 mg/kg

表1 杭州市市售食用植物油中 MCPDEs 检测结果

Table 1 MCPDEs test results in edible vegetable oil sold in Hangzhou City

食用植物油品种	样本量/份	3-MCPDEs					2-MCPDEs				
		检出率/%	含量范围/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	P95/(mg/kg)	检出率/%	含量范围/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	P95/(mg/kg)
花生油	73	97.3	ND~6.75	0.68	0.40	1.43	84.9	ND~3.12	0.31	0.17	0.87
玉米油	69	100.0	0.19~3.15	0.69	0.60	1.24	97.1	ND~1.43	0.38	0.31	0.73
大豆油	30	100.0	0.07~1.30	0.43	0.29	0.85	90.0	ND~0.47	0.13	0.10	0.27
植物调和油	34	100.0	0.14~3.83	0.73	0.46	1.79	94.1	ND~1.59	0.31	0.22	0.86
菜籽油	25	100.0	0.04~2.10	0.62	0.46	2.07	88.0	ND~0.92	0.30	0.20	1.14
茶油	22	100.0	0.60~7.98	2.25	1.94	4.20	100.0	0.29~3.53	1.04	0.90	2.03
橄榄油	20	70.0	ND~0.72	0.15	0.08	0.51	30.0	ND~0.23	0.05	0.015	0.22
稻米油	13	100.0	1.02~4.46	1.94	1.61	3.27	100.0	0.50~2.02	0.96	0.87	1.52
亚麻籽油	14	78.6	ND~0.68	0.25	0.18	0.59	64.3	ND~0.28	0.11	0.07	0.27
葵花籽油	7	100.0	0.05~0.76	0.27	0.13	0.76	85.7	ND~0.25	0.11	0.10	0.25
葡萄籽油	7	100.0	0.20~1.10	0.68	0.70	1.10	100.0	0.09~0.50	0.27	0.22	0.50
芝麻油	11	90.9	ND~7.46	1.35	0.40	2.36	72.7	ND~3.60	0.60	0.11	1.20
核桃油	5	100.0	0.07~0.45	0.25	0.24	0.44	80.0	ND~0.14	0.07	0.05	0.14
总计	330	96.4	ND~7.98	0.77	0.49	2.36	86.4	ND~3.53	0.36	0.22	1.21

注:ND为未检出,未检出值以1/2 LOD值(0.015 mg/kg)计,表中平均值、中位值和P95均是对未检出值进行转化后的计算结果

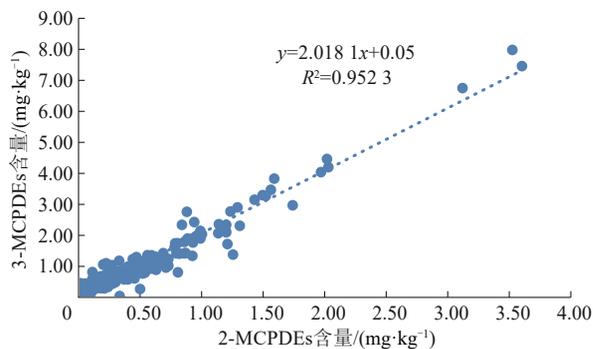


图1 杭州市市售植物油中3-MCPDEs与2-MCPDEs含量相关性分析图

Figure 1 Analysis of correlation between 3-MCPDEs and 2-MCPDEs content in vegetable oil in Hangzhou market

和 $\geq 2.50$  mg/kg)统计百分占比,得到主要食用植物油样本中3-MCPDEs含量分布结果,见图2。由图2可得,主要食用植物油3-MCPDEs含量均集中在ND~1.24 mg/kg,比例超过80%,其中花生油、玉米油、大豆油、植物调和油和菜籽油在ND~0.76 mg/kg区间的占比最高,依次为71.2%、68.1%、86.7%、82.4%和76.0%。

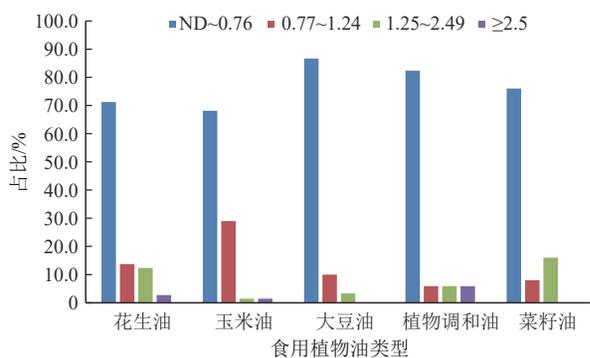


图2 杭州市市售主要食用植物油中3-MCPDEs含量分布图

Figure 2 Distribution diagram of 3-MCPDEs content in the main edible vegetable oils in Hangzhou City

本文参照EU 2020/1322<sup>[11]</sup>法规修订的限量要求,有15.1%(50/330)样本3-MCPDEs超过欧盟限量标准,目前国内外并未对2-MCPDEs做出明确规定,因其与3-MCPDEs结构极其相似,故本文将其也按3-MCPDEs的限量值进行统计分析,具体超标植物油品种信息见表2。从植物油品种看,茶油和稻米油这两品种的3-MCPDEs超标率超过50%,分别为72.7%(16/22)和69.2%(9/13),鉴于本次研究这两类植物油的样本量较低,下一步将继续扩大采样量,进一步研究该类别植物油的污染情况;而橄榄油、核桃油、亚麻籽油、葵花籽油和葡萄籽油在本次调查中未检测到超标批次,污染水平相对较低。

表2 杭州市市售MCPDEs含量超出欧盟法规的食用植物油品种信息表

Table 2 Information table of edible vegetable oils with MCPDEs content exceeding EU regulations in Hangzhou City

食用油品种	样本量/份	含量>1.25 mg/kg样本占比/%	
		3-MCPDEs	2-MCPDEs
茶油	22	72.7(16/22)	27.3(6/22)
稻米油	13	69.2(9/13)	23.1(3/13)
花生油	73	15.1(11/73)	2.7(2/73)
玉米油	69	2.9(2/69)	1.4(1/69)
芝麻油	11	27.3(3/11)	9.1(1/11)
植物调和油	34	11.7(4/34)	5.9(2/34)
菜籽油	25	16.0(4/25)	0.0(0/25)
大豆油	30	3.3(1/30)	0.0(0/30)

## 2.2 不同品类食用植物油MCPDEs污染状况分析

对13类植物油品种中3-MCPDEs与2-MCPDEs的检测均值作图分析,如图3所示,不同品类食用植物油的MCPDEs含量存在差异。茶油、稻米油、芝麻油的MCPDEs含量水平较高,而橄榄油、核桃油、亚麻籽油和葵花籽油的MCPDEs含量水平相对

较低。橄榄油采用初榨方式,未经脱臭等工艺, MCPDEs 含量最低,故可见植物油中 MCPDEs 产生应与其生产工艺有关。

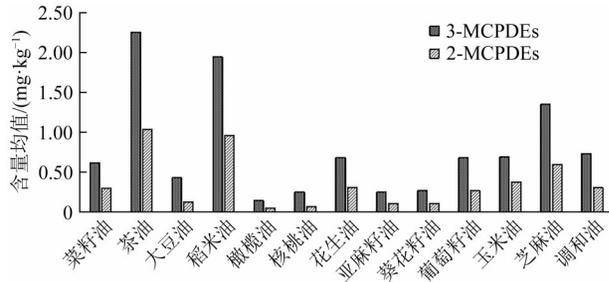


图3 杭州市市售不同食用植物油品类中3-MCPDEs和2-MCPDEs含量

Figure 3 Contents of 3-MCPDEs and 2-MCPDEs in different edible vegetable oil sold in Hangzhou City

表3 杭州市市售不同品牌花生油中MCPDEs检出结果

Table 3 Detection of MCPDEs in different brands of peanut oil in Hangzhou City

品牌	花生油样本量(份)	3-MCPDEs			2-MCPDEs		
		检出率/%	>1.25 mg/kg 占比/%	均值/(mg/kg)	检出率/%	>1.25 mg/kg 占比/%	均值/(mg/kg)
A	6	100.0	33.3(2/6)	1.88	100.0	33.3(2/6)	0.93
B	6	100.0	16.7(1/6)	0.63	83.3	0.0(0/6)	0.28
C	23	95.6	4.3(1/23)	0.34	69.6	0.0(0/23)	0.13
D	14	100.0	7.1(1/14)	0.60	100.0	7.1(1/14)	0.28

### 3 讨论

MCPDEs 是油脂精炼过程中产生的一类重要污染物,研究显示食用植物油毛油组成和精炼工艺对 3-MCPDEs 形成均有影响,植物油中 MCPDEs 的污染值得关注<sup>[18-19]</sup>。

在本研究中,发现茶油、稻米油、花生油、玉米油、芝麻油、调和油、菜籽油和大豆油样品的 3-MCPDEs 含量大于欧盟限量值 1.25 mg/kg,且部分样本中的 2-MCPDEs 含量也存在超过 1.25 mg/kg 的现象。对于食用植物油中 MCPDEs 和 2-MCPDEs 的污染,应引起生产企业重视,在优化生产工艺基础上,降低和控制植物油精炼过程中 MCPDEs 的产生。目前国内外专家也相继展开有效控制食用植物油中 MCPDEs 污染的研究工作,2019 年国际食品法典委员会制定了《减少在精炼油和精炼油食品中的 3-MCPDE 和 GEs 的操作规范》<sup>[20]</sup>,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》<sup>[21]</sup>,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》,旨在促进国内油脂工程技术人员和食用油加工企业采取有效措施,减少油脂中 3-MCPDEs 污染。本文将持续开展植物油中 MCPDEs 的调查工作,溯源分析污染来源,为 MCPDEs 的风险管理提供技术支持。

对于同品种的植物油样本,因存在各企业使用的原料及精炼工艺不同等差异,检出的 MCPDEs 含量差异明显,以样本量较多的植物油品类为例,在调查的花生油、玉米油、植物调和油、大豆油和茶油样本中,检出的 3-MCPDEs 含量最高值分别是最低值的 91.7、16.6、27.4、18.6 和 13.3 倍。选择 4 个市面常见品牌的花生油样本进行分析,结果见表 3。在品牌 A 中,花生油 3-MCPDEs 含量为 1.88 mg/kg,且有 2 份样品超过欧盟规定的 1.25 mg/kg 限量标准,其污染程度及原因值得生产企业高度关注,同时,该结果也反映出植物油脂生产及精炼工艺的差异。然而,造成食用植物油中 MCPDEs 污染的原因尚不清楚,有必要进一步分析氯丙醇酯的形成机制及油脂原料和精炼过程等可能的影响因素。

### 参考文献

- [1] ILSI Europe. Summary report of a workshop on "3-MCPD esters in food products"[R]. Brussels: ILSI Europe, 2009.
- [2] OEY S B, FELS-KLERX VAN DER H J, 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]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18: 349-361.
- [3] 朱冰,王玲莉,何华丽.杭州市0~3岁婴幼儿配方乳粉中3-氯丙醇酯暴露风险评估[J].中国食品卫生杂志,2020,32(5):544-547.  
ZHU B, WANG L L, HE H L. Exposure risk assessment of 3-monochloropropanediol esters in 0-6 aged infant[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2020, 32(5): 544-547.
- [4] FAN J C, HE H L, REN R, et al. Monochloropropanediol in edible vegetable oils from Hangzhou market in China: occurrence and exposure risk assessment[J]. Food Addit Contam A, 2021, 38(11): 1867-1874.
- [5] ZELINKOVÁ Z, SVEJKOVSKÁ B, VELÁSEK J, et al. Fatty acid esters of 3-chloropropane-1,2-diol in edible oils[J]. Food Addit. Contam, 2006, 23(12): 1290-1298.
- [6] 李珊,易青,苗虹,等.同位素稀释-气相色谱-质谱法测定食用植物油中氯丙醇酯脂肪酸酯[J].分析化学,2016,44(6):893-900.  
LI S, YI Q, MIAO H, et al. Determination of Total Fatty Acid Esters of Chloropropanols in Edible Vegetable Oils by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2016, 44(6): 893-900.

- [ 7 ] SEVİM Ç, ÖZKARACA M, KARA M, et al. Apoptosis is induced by sub-acute exposure to 3-MCPD and glycidol on Wistar Albino rat brain cells [J]. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2021, 87: 103735.
- [ 8 ] LU J, LU J, CHEN Y, et al. 3-Chloro-1, 2-propanediol inhibits autophagic flux by impairment of lysosomal function in HepG2 cells [J]. *Food Chem Toxicol*, 2020, 144: 111575–111575.
- [ 9 ] SCHULTRICH K, HENDERSON CJ, BRAEUNING A, et al. Correlation between 3-MCPD-induced organ toxicity and oxidative stress response imale mice [J]. *Food Chem Toxicol*, 2020, 136: 110957.
- [ 10 ] 李荷丽, 程雅晴, 贝君, 等. 食品中氯丙醇脂肪酸酯风险及应对措施概述 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(17): 7043-7051.
- LI H L, CHENG Y Q, BEI J, et al. Review on risk and countermeasures of chloropropanol esters in foodstuffs [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(17): 7043-7051.
- [ 11 ] European Union (EU). 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 [S]. *Office Journal of Europe Union*, 2021, 310: 2-5.
- [ 12 ] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量: GB 2762—2022 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2022: 6.
- National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National standard for food safety for contaminants in food: GB 2762—2022 [S]. Beijing: China Standards Press, 2022: 6.
- [ 13 ] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 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: GB 5009.191—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 12.
- The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, the China Food and Drug Administration. Determination of chloropropanol and its fatty acid esters in the national standard for food safety: GB 5009.191—2016 [S]. Beijing: China Standards Press, 2016: 12.
- [ 14 ] 张荷香, 陈江, 陈莉莉, 等. 2016—2020年浙江省市售食用植物油中2-氯丙醇酯污染状况和暴露评估 [J]. *卫生研究*, 2023, 52(4): 618-622.
- ZHANG H X, CHEN J, CHEN L L, et al. Assessment of pollution status and exposure of 2-chloropropanol ester in edible vegetable oils sold in Zhejiang Province from 2016—2020 [J]. *Health Research*, 2023, 52(4): 618-622.
- [ 15 ] CUI X, ZHANG L, ZHOU P P, 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 A*, 2021, 38(1): 60-69.
- [ 16 ] 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.
- [ 17 ] ABRAHAMK A. Relative oral bioavailability of 3-MCPD from 3-MCPD fatty acid esters in rats [J]. *Arch Toxicol*, 2013, 87: 649-659.
- [ 18 ] 里南, 方勤美, 严小波, 等. 我国市售食用植物油中脂肪酸氯丙醇酯的污染调查 [J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(8): 28-36.
- LI N, FANG Q M, YAN X B, et al. Investigation on the contamination of fatty acid chloropropanol ester in commercially available edible vegetable oils in China [J]. *Chinese Journal of Grain and Oil*, 2013, 28(8): 28-36.
- [ 19 ] 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 P P, YANG D J. Contamination status of chloropropanol ester and glycidide in commercially available edible vegetable oils in China from 2015 to 2017 [J]. *Health Research*, 2021, 50(1): 75-78.
- [ 20 ] 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.
- [ 21 ] 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>.
- The National Health Commission. Notice on the Issuance of the 2020 Food Safety National Standard Project Plan [EB/OL]. [2020-10-14]. <http://www.cnfood.com/news/show-344143.html>.