

# 河南省市售食用植物油中氯丙醇酯污染状况分析

谷瑞丽<sup>1,2</sup>, 宁亚萍<sup>1,2</sup>, 刘璐<sup>1,2</sup>, 李宝丽<sup>1,2</sup>, 蒋静<sup>1,2</sup>, 王蒙<sup>1,2</sup>

(1. 河南省食品和盐业检验技术研究院, 郑州 450003; 2. 国家市场监督管理总局重点实验室  
(食品安全快速检测与智慧监管技术), 郑州 450003)

**摘要:**旨在为河南省食品安全风险监测提供参考,对河南省市售的205份食用植物油中3-氯-1,2-丙二醇酯(3-MCPD酯)和2-氯-1,3-丙二醇酯(2-MCPD酯)的污染状况进行调查分析。结果显示:205份食用植物油中,3-MCPD酯污染水平高于2-MCPD酯,其中3-MCPD酯检出率为79.0%,均值为1.83 mg/kg,中位值为1.30 mg/kg;大豆油的3-MCPD酯检出率最高,为93.3%,中位值为1.72 mg/kg,其次是花生油,检出率为89.2%,中位值为1.06 mg/kg,橄榄油的3-MCPD酯和2-MCPD酯污染水平最低;2021年食用植物油中3-MCPD酯、2-MCPD酯检出率均高于2020年;城市、农村人群经由食用植物油摄入3-MCPD酯健康风险较低。不同食用植物油氯丙醇酯的污染水平差别较大,虽然居民经食用植物油摄入3-MCPD酯健康风险较低,但需要继续加强监测。

**关键词:**食用植物油;3-氯-1,2-丙二醇酯;2-氯-1,3-丙二醇酯;污染水平;风险评估

中图分类号:R155.5+8;TS225.1 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2024)01-0084-06

## Pollution status of MCPD ester in edible vegetable oils in Henan province

GU Ruili<sup>1,2</sup>, NING Yaping<sup>1,2</sup>, LIU Lu<sup>1,2</sup>, LI Baoli<sup>1,2</sup>,  
JIANG Jing<sup>1,2</sup>, WANG Meng<sup>1,2</sup>

(1. Henan Institute of Food and salt Industry Inspection Technology, Zhengzhou 450003, China; 2. Key Laboratory of Food Safety Quick Testing and Smart Supervision Technology for State Market Regulation, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** In order to provide reference for food safety risk monitoring in Henan province, the pollution status of 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) ester and 2-chloro-1,3-propanediol (2-MCPD) ester in 205 edible vegetable oils sold in Henan province was investigated and analyzed. The results showed that the pollution level of 3-MCPD ester was higher than that of 2-MCPD ester in 205 edible vegetable oils. The detection rate of 3-MCPD ester was 79.0%, with an average value of 1.83 mg/kg and a median value of 1.30 mg/kg. The detection rate of 3-MCPD ester in soybean oil was the highest (93.3%), and the median value of 3-MCPD ester was 1.72 mg/kg. The second was peanut oil, the detection rate was 89.2%, and the median value was 1.06 mg/kg. Olive oil had the lowest pollution levels of 3-MCPD ester and 2-MCPD ester. The detection rates of 3-MCPD ester and 2-MCPD ester in edible vegetable oil in 2021 were higher than those in 2020. The health risk of 3-MCPD ester intake through edible vegetable oil in urban and rural populations was low. The pollution levels of different edible vegetable oils vary greatly, and although the health risk of residents ingestion of 3-MCPD ester through edible vegetable oils is low, it needs to continue to strengthen monitoring.

**Key words:** edible vegetable oil; 3-chloro-1,2-propanediol ester; 2-chloro-1,3-propanediol ester; pollution level; risk assessment

收稿日期:2022-05-27;修回日期:2023-09-22

作者简介:谷瑞丽(1974),女,副主任技师,硕士,研究方向为营养与食品卫生(E-mail)ruilig@163.com。

通信作者:宁亚萍,助理工程师,硕士(E-mail)nypszb@163.com。

氯丙醇及其酯类是食品加工过程中产生的污

染物,是丙三醇(甘油)氯代产物的总称,氯丙醇主要有3-氯-1,2-丙二醇(3-MCPD)、2-氯-1,3-丙二醇(2-MCPD)等,氯丙醇酯是氯丙醇与脂肪酸的酯化产物。氯丙醇及其酯类对食品的污染已经成为国际上食品安全热点问题之一,尤其是3-MCPD及其酯类。3-MCPD及其酯类污染水平高,毒性大<sup>[1-2]</sup>,具有潜在的致癌作用和致突变作用<sup>[3]</sup>。2001年国际食品法典委员会(JECFA)将氯丙醇及其酯类列为优先评估的污染物,确定3-MCPD酯对人体肾脏和男性生殖系统发育具有毒性<sup>[4]</sup>,欧洲食品安全局(EFSA)通过评估3-MCPD对肾脏和男性生育能力的不良影响,最终确定3-MCPD的可耐受摄入量(TDI)为 $2.0 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ <sup>[5]</sup>。

食用植物油中3-MCPD酯、2-MCPD酯污染较为普遍,相对于其他食品<sup>[6-9]</sup>污染水平也较高<sup>[10]</sup>,李荷丽等<sup>[11]</sup>发现,3-MCPD酯和2-MCPD酯是世界不同国家或地区精炼植物油中含量最高的食品污染物。从2011年起,我国加大了对食用植物油中3-MCPD酯和2-MCPD酯的监测力度<sup>[12]</sup>。目前已有对全国多省份食用植物油中3-MCPD酯和2-MCPD酯污染情况的调查研究<sup>[13-16]</sup>,但尚未发现关于河南省食用植物油中氯丙醇酯污染情况的调查研究。本文选择污染水平较高且较为普遍的3-MCPD酯和2-MCPD酯作为监测目标,对河南省市场上9大类食用植物油进行检测,以初步掌握河南省市场上食用植物油中氯丙醇酯的污染状况,为河南省食品安全风险监测提供参考以及为市场监管提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

2020—2021年在河南省18个地市的流通市场上抽取食用植物油样品共205份,按照样品抽取的随机性原则,覆盖城市和乡村,其中涉及超市、农贸市场等不同售卖场所。食用植物油品种包括花生油、大豆油、菜籽油、玉米油、橄榄油、葵花籽油、亚麻籽油、食用调和油、其他食用油共9大类。

3-MCPD(纯度为99.90%),坛墨质检科技股份有限公司;d5-3-MCPD(纯度为97%)、2-MCPD(纯度为98.0%)、d5-2-MCPD(纯度为80%),上海柯维化学技术有限公司;正己烷、甲醇、乙醇,色谱纯;无水硫酸钠,优级纯。

7890B-5977B气质联用仪,安捷伦科技有限公司;DKB-501S型恒温水浴锅;EV400旋转蒸发器;多位涡旋振荡器;ME204型电子天平。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 氯丙醇酯含量的测定

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》第三法气相色谱质谱法,并结合姚欢<sup>[17]</sup>、严小波<sup>[18]</sup>等对氯丙醇酯的检测方法,对3-MCPD酯和2-MCPD酯含量进行测定。具体步骤:以 $0.5 \text{ mol/L}$ 甲醇钠-甲醇溶液对食用植物油进行酯键断裂反应,使氯丙醇脂肪酸酯转化为氯丙醇和相应的脂肪酸甲酯,用冰乙酸终止反应,加入溴化钠溶液,再用正己烷进行液-液萃取,保留下层溶液,用硅藻土小柱净化,以 $10 \text{ mL}$ 乙酸乙酯洗脱氯丙醇并经七氟丁酰基咪唑衍生,过 $0.22 \mu\text{m}$ 有机系滤膜,进气质联用仪检测。

气相色谱条件:DB-5MS色谱柱( $30 \text{ mm} \times 0.25 \text{ mm}, 0.25 \mu\text{m}$ );进样口温度 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;升温程序为初始柱温 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ,保持 $1 \text{ min}$ ,以 $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ,保持 $2 \text{ min}$ ,以 $1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 $78 \text{ }^\circ\text{C}$ ,保持 $1 \text{ min}$ ,再以 $40 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温至 $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ,保持 $4 \text{ min}$ ;流速 $1 \text{ mL}/\text{min}$ ;进样量 $1 \mu\text{L}$ 。

质谱条件:离子源温度 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ ,传输线温度 $280 \text{ }^\circ\text{C}$ ,SIM模式,3-MCPD和2-MCPD、d5-3-MCPD和d5-2-MCPD定量离子分别为253、257。

采用 $10 \text{ mg/L}$ 氘代氯丙醇混合标准工作液(d5-3-MCPD和d5-2-MCPD)作为内标物进行内标法定量。

#### 1.2.2 氯丙醇酯污染水平评价

采用膳食暴露评估方法——点评估法<sup>[19]</sup>,对河南省食用植物油中氯丙醇酯的污染水平进行评价。由于2-MCPD酯及其脂肪酸的毒理学数据不足,故不对其进行暴露评估。按照3-MCPD酯含量的中位值评估3-MCPD酯的暴露情况。居民食用植物油中3-MCPD酯的日平均暴露量( $\text{EXPI}_{\text{average}}$ )计算公式如式(1)所示。

$$E = FC/W \quad (1)$$

式中: $E$ 为居民每日食用植物油中3-MCPD酯的平均暴露量, $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ;  $F$ 为居民每日食用植物油摄入量, $\text{g}/\text{d}$ ;  $C$ 为食用植物油中3-MCPD酯含量, $\text{mg}/\text{kg}$ ;  $W$ 为人群的平均体质量, $\text{kg}$ 。

以食用植物油中3-MCPD酯的日平均暴露量与最大耐受摄入量[以3-MCPD的 $2.0 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 计]的比例评估3-MCPD酯的暴露情况。暴露风险与该比例呈正相关,比例大于100%时,提示有暴露

风险<sup>[20]</sup>。

### 1.2.3 数据处理

所有样品进行2次平行检测,检测结果取平均值,数据统计分析参照世界卫生组织(WHO)对低水平食品污染物可信数据评估的要求,对低于检出限(LOD)且未检出率小于60%的样品,以1/2 LOD值进行统计分析,并使用Excel 2016和SPSS 23.0进

行数据计算。

## 2 结果与讨论

### 2.1 河南省食用植物油中3-MCPD酯和2-MCPD酯污染总体情况

河南省食用植物油中3-MCPD酯和2-MCPD酯含量及其区间分布分别如表1、图1所示。

表1 205份食用植物油中3-MCPD酯和2-MCPD酯含量

序号	2-MCPD酯/ (mg/kg)	3-MCPD酯/ (mg/kg)	序号	2-MCPD酯/ (mg/kg)	3-MCPD酯/ (mg/kg)	序号	2-MCPD酯/ (mg/kg)	3-MCPD酯/ (mg/kg)
1	未检出	5.57	39	未检出	未检出	77	未检出	3.09
2	0.786	1.88	40	未检出	0.228	78	0.868	4.24
3	0.293	1.98	41	未检出	未检出	79	未检出	2.94
4	0.294	1.73	42	未检出	未检出	80	未检出	2.65
5	0.393	2.30	43	未检出	未检出	81	0.382	5.61
6	未检出	1.62	44	未检出	未检出	82	0.630	5.87
7	未检出	0.759	45	未检出	未检出	83	0.358	6.83
8	未检出	0.739	46	未检出	未检出	84	0.816	5.12
9	0.566	3.66	47	未检出	未检出	85	0.711	2.82
10	未检出	8.08	48	未检出	未检出	86	0.298	4.36
11	0.522	6.76	49	未检出	未检出	87	未检出	未检出
12	未检出	未检出	50	未检出	未检出	88	0.378	4.54
13	未检出	9.01	51	未检出	未检出	89	0.455	8.83
14	0.660	9.49	52	未检出	未检出	90	0.674	7.97
15	未检出	未检出	53	未检出	未检出	91	0.244	4.65
16	未检出	10.7	54	未检出	未检出	92	0.652	3.04
17	未检出	未检出	55	未检出	未检出	93	1.11	3.57
18	未检出	未检出	56	未检出	未检出	94	0.243	4.37
19	未检出	3.17	57	未检出	1.13	95	0.247	3.91
20	未检出	3.11	58	0.167	1.07	96	0.712	1.92
21	3.33	4.76	59	0.245	0.950	97	0.369	1.46
22	1.45	5.37	60	0.858	5.45	98	0.384	2.60
23	0.490	3.20	61	0.382	5.61	99	未检出	1.28
24	未检出	3.87	62	0.3	4.52	100	未检出	1.56
25	未检出	3.03	63	0.247	3.91	101	未检出	未检出
26	未检出	7.08	64	未检出	未检出	102	未检出	1.89
27	未检出	4.25	65	0.384	2.60	103	未检出	0.900
28	未检出	2.61	66	未检出	未检出	104	未检出	2.16
29	1.29	2.62	67	未检出	1.58	105	未检出	3.01
30	5.64	5.30	68	0.085	2.60	106	未检出	1.93
31	0.594	3.52	69	0.142	未检出	107	0.106	3.03
32	0.127	2.38	70	0.226	2.24	108	0.151	2.19
33	0.238	1.77	71	0.582	1.32	109	0.140	1.63
34	未检出	2.88	72	0.435	2.35	110	未检出	3.04
35	0.352	未检出	73	0.215	1.25	111	0.118	1.89
36	未检出	未检出	74	0.31	0.240	112	0.119	2.18
37	未检出	未检出	75	0.173	0.363	113	未检出	2.60
38	未检出	未检出	76	0.321	0.581	114	未检出	2.85

续表 1

序号	2-MCPD 酯/ (mg/kg)	3-MCPD 酯/ (mg/kg)	序号	2-MCPD 酯/ (mg/kg)	3-MCPD 酯/ (mg/kg)	序号	2-MCPD 酯/ (mg/kg)	3-MCPD 酯/ (mg/kg)
115	0.062 0	2.82	146	0.619	1.30	177	0.305	0.621
116	0.311	1.76	147	0.343	1.51	178	0.279	0.345
117	未检出	2.02	148	0.390	2.23	179	1.46	1.35
118	未检出	1.30	149	0.870	3.68	180	0.640	1.28
119	0.126	1.06	150	0.712	1.66	181	0.805	0.734
120	0.237	1.60	151	0.502	1.40	182	0.739	0.825
121	0.175	未检出	152	0.264	3.33	183	0.396	0.633
122	0.427	2.31	153	0.323	1.24	184	0.548	0.493
123	未检出	1.72	154	0.501	2.59	185	0.526	0.625
124	0.072	未检出	155	0.894	1.32	186	0.234	0.199
125	1.07	2.66	156	1.32	1.88	187	0.458	0.925
126	未检出	0.863	157	未检出	未检出	188	0.494	0.905
127	0.544	1.51	158	未检出	未检出	189	0.278	0.634
128	0.318	未检出	159	未检出	未检出	190	未检出	0.581
129	0.348	3.34	160	未检出	未检出	191	未检出	未检出
130	0.610	未检出	161	0.340	1.16	192	未检出	未检出
131	未检出	0.925	162	未检出	未检出	193	0.234	0.403
132	0.954	1.61	163	未检出	未检出	194	0.208	0.480
133	0.232	1.67	164	未检出	1.01	195	未检出	0.598
134	0.792	0.887	165	0.430	0.684	196	0.090 0	0.176
135	未检出	未检出	166	0.032 4	0.390	197	0.137	0.216
136	未检出	2.14	167	0.301	0.484	198	0.209	0.758
137	0.637	1.52	168	0.266	0.360	199	0.283	0.515
138	0.344	1.96	169	0.633	1.06	200	1.43	2.02
139	0.444	1.26	170	0.484	0.909	201	0.138	0.291
140	0.878	1.30	171	0.233	0.337	202	0.128	0.269
141	0.307	1.06	172	0.493	1.02	203	0.245	0.412
142	0.475	1.70	173	0.274	0.341	204	0.117	0.164
143	0.270	1.37	174	未检出	0.788	205	0.321	0.581
144	0.251	1.99	175	0.145	0.151			
145	0.519	1.40	176	0.206	0.399			

注:方法检出限为 0.025 mg/kg

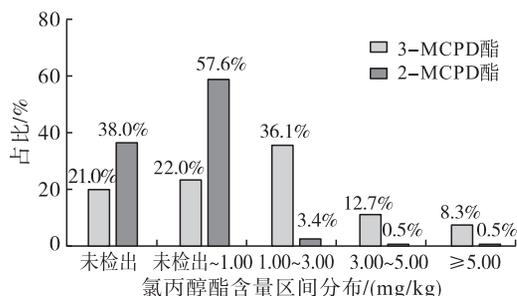


图 1 食用植物油中 3-MCPD 酯和 2-MCPD 酯含量区间分布

由表 1、图 1 可知:205 份食用植物油中有 37 份均未检出 3-MCPD 酯和 2-MCPD 酯,占比 18.0%; 121 份同时检出 3-MCPD 酯和 2-MCPD 酯,占比 59.0%。检出 3-MCPD 酯的食用植物油共 162 份,

检出率为 79.0%,其中有 74 份的 3-MCPD 酯含量为 1.00~3.00 mg/kg,占比 36.1%,检出 3-MCPD 酯含量均值为 1.83 mg/kg,中位值为 1.30 mg/kg; 检出 2-MCPD 酯的食用植物油有 127 份,检出率为 62.0%,食用植物油中 2-MCPD 酯含量主要分布区间为未检出~1.00 mg/kg,不超过 1.00 mg/kg 含量的占 95.6%,检出 2-MCPD 酯含量均值为 0.312 mg/kg,中位值为 0.222 mg/kg。总体而言,食用植物油中 3-MCPD 酯污染水平高于 2-MCPD 酯。

## 2.2 不同年份食用植物油中 3-MCPD 酯和 2-MCPD 酯污染情况

不同年份食用植物油中 3-MCPD 酯和 2-MCPD 酯污染情况如表 2 所示。

由表 2 可知:2020 年抽取食用植物油 76 份,其

中检出 3 - MCPD 酯 48 份,检出率为 63.2%,平均值为 2.13 mg/kg;检出 2 - MCPD 酯 32 份,检出率为 42.1%,平均值为 0.290 mg/kg。2021 年抽取食用植物油 129 份,其中检出 3 - MCPD 酯 114 份,检出

率为 88.4%,平均值为 1.66 mg/kg;检出 2 - MCPD 酯 95 份,检出率为 73.6%,平均值为 0.330 mg/kg。与 2020 年相比,2021 年食用植物油中 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯的污染水平较高。

表 2 不同年份食用植物油中 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯含量

年份	样品数量	3 - MCPD 酯			2 - MCPD 酯		
		检出率/%	平均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	检出率/%	平均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)
2020 年	76	63.2	2.13	1.29	42.1	0.290	0.012 5
2021 年	129	88.4	1.66	1.30	73.6	0.330	0.260

### 2.3 不同种类食用植物油中 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯污染情况

不同种类食用植物油中 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯含量如表 3 所示。

由表 3 可知,大豆油的 3 - MCPD 酯污染水平最高,检出率为 93.3%,平均值为 1.99 mg/kg,中位值为 1.72 mg/kg,明显高于 2 - MCPD 酯污染水平。花生油的 3 - MCPD 酯检出率为 89.2%,平均值为

1.54 mg/kg,中位值为 1.06 mg/kg,但其 2 - MCPD 酯污染水平在不同种类食用植物油中最高,其检出率为 94.6%,平均值为 0.457 mg/kg,中位值为 0.458 mg/kg。橄榄油的 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯检出率均最低,分别为 42.1% 和 15.8%。其他几种食用植物油中 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯检出率、平均值及中位值均存在差异,但 3 - MCPD 酯的检出率和含量普遍高于 2 - MCPD 酯。

表 3 不同种类食用植物油中 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯含量

食用植物油	样品数量	3 - MCPD 酯			2 - MCPD 酯		
		检出率/%	平均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	检出率/%	平均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)
花生油	37	89.2	1.54	1.06	94.6	0.457	0.458
大豆油	15	93.3	1.99	1.72	53.3	0.252	0.215
葵花籽油	37	75.7	1.84	1.67	59.5	0.395	0.137
菜籽油	26	76.9	2.31	1.61	53.8	0.417	0.130
食用调和油	43	86.0	1.89	1.58	65.1	0.211	0.226
亚麻籽油	7	85.7	0.64	0.363	57.1	0.114	0.117
玉米油	11	77.8	2.31	1.92	77.8	0.432	0.396
橄榄油	19	42.1	2.08	0.012 5	15.8	0.059	0.012 5
其他食用油	10	70.0	1.04	0.669	50.0	0.278	0.110

### 2.4 不同人群食用植物油 3 - MCPD 酯的每日膳食暴露风险

结合中国疾病预防控制中心营养与健康研究所的营养数据年鉴和 2021 年河南省居民消费数据,城市居民的平均体质量为 63.2 kg,农村为 60.4 kg,城市居民的食用植物油的日消费量为 24.08 g/d,农村为 21.78 g/d。结合农村、城市消费食用植物油差别,计算出河南省城市、农村居民不同种类食用植物油中 3 - MCPD 酯的日平均暴露量和暴露风险,结果如表 4 所示。

由表 4 可知,河南省城市和农村居民经玉米油摄入的 3 - MCPD 酯的每日平均暴露量较高,其暴露风险分别为 36.6% 和 34.6%,且城市与农村居民的各食用植物油的 3 - MCPD 酯的暴露风险均低于 100%,认为居民经食用植物油摄入 3 - MCPD 酯健康风险较低。

表 4 不同人群不同种类食用植物油中 3 - MCPD 酯的日平均暴露量和暴露风险

品种	3 - MCPD 酯含量/ (mg/kg)	EXPI <sub>average</sub> / ( $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ )	暴露风险/%
花生油			
农村	1.06	0.382	19.1
城市	1.06	0.404	20.2
大豆油			
农村	1.72	0.620	31.0
城市	1.72	0.655	32.8
葵花籽油			
农村	1.67	0.602	30.1
城市	1.67	0.636	31.8
菜籽油			
农村	1.61	0.581	29.0
城市	1.61	0.613	30.7
食用调和油			
农村	1.58	0.570	28.5
城市	1.58	0.602	30.1

续表 4

品种	3 - MCPD 酯含量/ (mg/kg)	EXPI <sub>average</sub> / ( $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ )	暴露风险/%
亚麻籽油			
农村	0.363	0.131	6.5
城市	0.363	0.138	6.9
玉米油			
农村	1.92	0.692	34.6
城市	1.92	0.732	36.6
橄榄油			
农村	0.012 5	0.005	0.2
城市	0.012 5	0.005	0.2
其他食用油			
农村	0.669	0.241	12.1
城市	0.669	0.255	12.7

### 3 结 论

河南省各类食用植物油中 3 - MCPD 酯的污染水平高于 2 - MCPD 酯;2021 年食用植物油中 3 - MCPD 酯、2 - MCPD 酯检出率均高于 2020 年;大豆油的 3 - MCPD 酯检出率最高,为 93.3%,其次是花生油,检出率为 89.2%,橄榄油的 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯检出率均最低;城市、农村人群经食用植物油摄入 3 - MCPD 酯的量远小于 3 - MCPD 酯日最大耐受摄入量,河南省地区人群 3 - MCPD 酯摄入水平处于安全状态。

河南省食用植物油中的 3 - MCPD 酯和 2 - MCPD 酯的污染仍然存在,需要继续加强监测。由于本次研究中的膳食暴露评估未能引入更多的人群,因此对全人群膳食暴露风险评估还不完善,同时本研究未涉及到除食用植物油之外的其他食物摄入 3 - MCPD 酯,因此后续还需要继续扩大除食用植物油之外的其他食物中氯丙醇酯的监测和风险评估。

### 参考文献:

[1] GAO B Y, LI Y F, HUANG G R, et al. Fatty acid esters of 3 - monochloropropanediol: A review [J]. *Annu Rev Food*, 2019, 10: 259 - 284.

[2] DAVIDEK J, VELISEK J, KUBELKA V, et al. Glycerol chlorohydrins and their esters as products of the hydrolysis of tripalmitin, tristearin and triolein with hydrochloric acid [J]. *Z Lebensm*, 1980, 171(1): 14 - 17.

[3] BRAEUNING A, SAWADA S, OBEREMM A, et al. Analysis of 3 - MCPD and 3 - MCPD dipalmitate - induced proteomic changes in rat liver [J]. *Food Chem Toxicol*, 2015, 86: 374 - 384.

[4] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Safety evaluation of certain food additives and contaminants prepared by the fifty - seventh meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives [EB/OL]. [2022 - 05 - 27]. <https://iris.who.int/>

handle/10665/42501.

[5] 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*, 2021, 38(1): 60 - 69.

[6] 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.

[7] 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, 42(23): 400 - 407.

[8] 黄彬红. 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 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(7): 2656 - 2661.

[9] 袁蕊,崔霞,刘平,等. 2021 年北京市售婴幼儿配方奶粉中氯丙醇酯和缩水甘油酯污染状况及暴露风险初步评估 [J]. *卫生研究*, 2022, 51(4): 645 - 649, 679.

[10] 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.

[11] 李荷丽,程雅晴,贝君,等. 食品中氯丙醇酯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.

[12] 国家食品安全风险评估中心. 2015 年国家食品污染和有害因素风险监测工作手册 [M]. 北京: 国家食品安全风险评估中心, 2015.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 郭蓉,王玮,李敏,等. 陕西省市售食用植物油及油脂类食品中脂肪酸氯丙醇酯的污染水平调查与暴露风险评估 [J]. *卫生研究*, 2019, 48(3): 493 - 498, 503.

[16] 熊丽,王艳敏,李娟,等. 2016—2020 年江西省市售食用植物油中氯丙醇酯污染调查 [J]. *现代预防医学*, 2021, 48(13): 2351 - 2354.

[17] 姚欢,余晓琴,杜钢,等. 食品中氯丙醇酯脂肪酸酯含量测定的方法研究 [J]. *中国油脂*, 2021, 46(3): 93 - 97.

[18] 严小波,吴少明,里南,等. 油脂性食品中脂肪酸氯丙醇酯检测方法的研究进展 [J]. *色谱*, 2013, 31(2): 95 - 101.

[19] KNUTSEN H K, ALEXANDER J, LARS B, et al. Update of the risk assessment on 3 - monochloropropane diol and its fatty acid esters [J/OL]. *EFSA J*, 2018, 16(1): 5083 [2022 - 05 - 27]. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5083>.

[20] 覃玲,许桂锋,李波,等. 气相色谱 - 质谱法测定油条饼干中氯丙醇酯和缩水甘油酯及其污染水平分析 [J]. *现代预防医学*, 2018, 45(13): 2337 - 2341.