

不同食用油的甘油酯组成、3-MCPD 酯和 GEs 含量研究

张家枫¹, 刘玉兰¹, 孙国昊¹, 刘昌树², 王戩东³

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001; 2. 佳格投资(中国)有限公司, 江苏 太仓 215400;

3. 河北玉星食品有限公司, 河北 宁晋 055550)

摘要:采集成品食用植物油样品 53 个, 对其甘油酯组成、3-氯丙醇酯(3-MCPD 酯)和缩水甘油酯(GEs)含量进行检测, 分析食用植物油产品的甘油酯组成与 3-MCPD 酯、GEs 含量相关性。结果表明: 所检油样中甘三酯含量为 81.26%~99.11%, 甘二酯含量为 0.79%~13.94%, 甘一酯含量为 ND~4.84%, 甘三酯含量不足 95% 的样品数占 52.8%, 不同品种油脂及同品种不同油脂样品的甘油酯组成均呈现较大差异; 3-MCPD 酯检出率为 86.79%, 含量为 0.19~14.68 mg/kg; GEs 检出率为 100%, 含量为 0.16~19.20 mg/kg; 对照欧盟限量指标, GEs 含量小于等于 1 mg/kg 的样品占 20.75%, 3-MCPD 酯含量小于等于 1.25 mg/kg 的样品占 64.15%; 棕榈油和稻米油中 3-MCPD 酯和 GEs 含量远高于其他油脂品种, 这两种油脂中甘二酯和甘一酯含量也最高; 大豆油中 3-MCPD 酯和 GEs 含量较低, 甘二酯和甘一酯含量也较低; 其他油脂中 3-MCPD 酯和 GEs 含量与甘二酯和甘一酯含量之间并未显示出明确的相关性。

关键词:食用植物油; 甘油酯组成; 甘二酯; 甘一酯; 3-氯丙醇酯; 缩水甘油酯

中图分类号: TS225.1; TS201.6 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)12-0038-06

Glyceride composition and 3-MCPD ester and GEs contents of different edible vegetable oil products

ZHANG Jiafeng¹, LIU Yulan¹, SUN Guohao¹, LIU Changshu², WANG Jiandong³

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Standard Investment(China)Co., Ltd., Taicang 215400, Jiangsu, China; 3. Hebei Yuxing Food Co.,

Ltd., Ningjin 055550, Hebei, China)

Abstract: 53 edible vegetable oil samples were collected, the glyceride composition and the contents of 3-MCPD ester and GEs were tested, and the correlation of glyceride composition and contents of 3-MCPD ester and GEs of edible vegetable oil products were analyzed. The results showed that the triglyceride content in the oil samples examined was 81.26%–99.11%, the diacylglycerol content was 0.79%–13.94%, the monoglyceride content was ND–4.84%, and the number of samples with the triglyceride content less than 95% accounted for 52.8%, and the composition of glycerides of different kinds of oils and different oils of the same kind showed great differences. The detection rate of 3-MCPD

ester was 86.79%, and the detection content range was 0.19–14.68 mg/kg; the detection rate of GEs was 100%, and the detection range was 0.16–19.20 mg/kg; according to the limited amount index of EU, the number of oil samples with GEs content not higher than 1 mg/kg accounted for 20.75%, the number of samples with 3-MCPD ester content not higher than 1.25

收稿日期: 2020-04-27; 修回日期: 2020-05-09

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项子课题(2016YFD0401405)

作者简介: 张家枫(1995), 男, 在读硕士, 研究方向为油脂精炼过程甘油酯组成变化及 3-MCPD 酯和 GEs 的控制去除 (E-mail) 1121954890@qq.com。

通信作者: 刘玉兰, 教授, 硕士生导师 (E-mail) liuy17446@163.com。

mg/kg accounted for 64.15%. The contents of 3-MCPD ester and GEs in palm oil and rice oil were far higher than that in other oils, and the corresponding monoglyceride and diacylglycerol contents in these two oils were also the highest; the contents of 3-MCPD ester and GEs in soybean oil were lower, and the monoglyceride and diacylglycerol contents were also lower. However, the content of 3-MCPD esters and GEs in other oils did not show a clear correlation with the content of monoglyceride and diacylglycerol.

Key words: edible vegetable oil; glyceride composition; diacylglycerol; monoglyceride; 3-chloropropanol ester; glycidyl ester

近年的研究表明,大部分食用植物油中都能检出3-氯丙醇酯(3-MCPD酯)和缩水甘油酯(GEs)类食品安全风险成分^[1-3]。3-MCPD酯和GEs在不同油脂中的含量有较大差别^[4-6],其原因可能与不同油脂的精炼工艺尤其是脱臭工艺条件有关^[7-9],与待精炼油脂尤其是待脱臭油脂的酸价、甘一酯和甘二酯含量有关^[10-11],还与脱臭系统中的氯离子含量有关^[12],包括待脱臭油脂中及脱臭用直接蒸汽中的氯离子含量。这是因为甘一酯、甘二酯、氯离子等均是高温下油脂中形成3-MCPD酯和GEs的前体物质^[13-14]。在GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》及我国相关食用植物油产品标准中,均未对食用植物油的甘油酯组成或甘一酯和甘二酯含量做出要求。一般认为^[15],成品植物油中甘三酯含量约95%,甘一酯和甘二酯含量约5%。但实际的食用植物油产品中甘油酯组成可能会超出常规认知,如米糠毛油酸价(KOH)通常可以达到20 mg/g以上甚至40、50 mg/g^[16],如此高的酸价一定伴随高含量的甘一酯和甘二酯存在,而在一般的油脂精炼过程中对甘一酯和甘二酯的脱除作用非常有限^[17],因此其可能留存在成品米糠油中,使得成品米糠油中甘三酯含量明显降低。同时,在对这种油脂的精炼过程中,富含甘一酯和甘二酯还会促进3-MCPD酯和GEs的形成,可能致使最终产品中3-MCPD酯和GEs含量明显升高^[18-20]。就上述内容,之前的文献鲜见报道。因此,本课题组采集不同品种的食用植物油产品,对其中甘油酯组成、3-MCPD酯和GEs含量进行检测,分析食用植物油产品的甘油酯组成、3-MCPD酯和GEs含量,并探究它们之间的相关性,以期为食用油生产中3-MCPD酯和GEs的风险防范、控制及食用油产品的品质提升提供支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

食用植物油,包括大豆油、花生油、菜籽油、葵花籽油、玉米油、稻米油及其他小品种油脂,购于超市

或采样于油脂加工厂。

1,2-二亚油酸-3-氯丙醇酯(纯度 $\geq 97\%$)、氘代1,2-二月桂酸-3-氯丙醇酯(纯度 $\geq 97\%$)、3-油酸-氯丙醇酯(纯度 $\geq 97\%$)、氘代油酸缩水甘油酯(纯度 $\geq 97\%$)、油酸缩水甘油酯(纯度 $\geq 97\%$)标准品,均购买于上海安普实验科技股份有限公司;乙醚、冰乙酸、氢氧化钾、溴化钠、硫酸(质量分数为98%)、盐酸、碳酸氢钠、硫酸钠、无水硫酸镁、丙酮,均为分析纯;甲醇、异丙醇、正己烷、乙酸乙酯、甲基叔丁基醚、苯基硼酸(纯度 $\geq 97\%$),均为色谱纯;超纯水取自市售娃哈哈纯净水。

Tracel310-ISQ气相色谱-质谱联用仪,美国Thermo Fisher公司;HP-5MS毛细管气相色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m);e2695液相色谱仪、ELSD 2424蒸发光检测器、2475荧光检测器,美国Waters公司;Ultimate SiO₂色谱柱(5 μ m,4.6 mm \times 250 mm);MTN-2800W氮吹浓缩仪;LD5-10台式大容量离心机。

1.2 试验方法

1.2.1 植物油的甘油酯组成测定

参照孟祥河^[21]的方法,采用高效液相色谱-蒸发光检测器对玉米油中甘一酯、甘二酯含量进行检测,并计算甘一酯、甘二酯和甘三酯相对含量。

1.2.2 植物油中3-MCPD酯和GEs含量测定

参照GB 5009.191—2016第三法及苗雨田^[22]、任我行^[23]等方法,采用酸水解的方法间接测定油脂中3-MCPD酯和GEs含量。

色谱条件:HP-5MS毛细管气相色谱柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m);载气为高纯氮气(纯度 $\geq 99.999\%$),恒流模式,流速为1 mL/min;进样口温度250 $^{\circ}$ C;进样量1 μ L,不分流进样;升温程序为50 $^{\circ}$ C保持1 min,以2 $^{\circ}$ C/min升至90 $^{\circ}$ C,再以40 $^{\circ}$ C/min升至270 $^{\circ}$ C,保持5 min。

质谱条件:电子轰击源(EI);电离能量70 eV;离子源温度250 $^{\circ}$ C;传输线温度280 $^{\circ}$ C;扫描方式为离子监测模式(SIM);监测离子,3-MCPD衍生物,定量离

子 147, 定性离子 146、196、198; 3 - MCPD - d5 衍生物, 定量离子 150, 定性离子 149、201、203; 3 - MBPD 衍生物, 定量离子 240, 定性离子 147、242; 3 - MBPD - d5 衍生物, 定量离子 245, 定性离子 150、247。

该检测方法对 3 - MCPD 酯检出限为 0.038 mg/kg, 定量限为 0.128 mg/kg, 在线性范围内的标准曲线线性相关系数大于 0.999, 回收率为 93.2% ~ 111.0%, 精密度试验相对标准偏差在 3.05% ~ 6.83% 之间; GEs 检出限为 0.032 mg/kg,

定量限为 0.110 mg/kg, 线性相关系数大于 0.999, 回收率为 94.0% ~ 107.6%, 精密度试验相对标准偏差在 2.52% ~ 4.48% 之间。

1.2.3 植物油酸价的测定

酸价测定参照 GB 5009.229—2016。

2 结果与讨论

2.1 不同食用植物油的甘油酯组成及酸价

53 个食用植物油样品进行甘油酯组成及酸价测定, 结果如表 1 所示。

表 1 不同食用植物油的甘油酯组成及酸价

植物油	样品数	甘三酯/ %	甘二酯/ %	甘一酯/ %	酸价(KOH)/ (mg/g)	植物油	样品数	甘三酯/ %	甘二酯/ %	甘一酯/ %	酸价(KOH)/ (mg/g)		
大豆油	4	98.65	1.15	0.20	0.37	芝麻油	8	98.81	0.80	0.39	0.23		
		98.10	1.44	0.76	0.38			87.79	9.36	2.85	1.35		
		95.91	3.57	0.52	0.53			97.44	2.36	0.20	0.21		
		88.98	8.29	2.73	1.40			94.54	4.44	1.02	1.02		
花生油	7	98.50	1.50	ND	0.22	稻米油	6	93.85	4.97	1.18	0.43		
		97.62	2.08	0.30	0.43			90.73	7.43	1.84	2.19		
		95.52	4.01	0.47	0.44			89.00	8.42	2.58	1.33		
		91.90	5.76	2.34	0.68			83.76	13.12	3.12	1.21		
		91.56	6.29	2.15	0.50			82.56	13.94	3.50	1.43		
		88.92	8.11	2.97	1.02			81.26	13.90	4.84	0.98		
		84.52	11.44	4.04	1.00			95.43	3.89	0.68	1.68		
菜籽油	11	97.05	2.95	ND	0.22	棕榈油	2	95.38	3.22	1.40	0.20		
		96.18	3.52	0.30	0.23			91.07	5.04	3.84	0.23		
		95.72	3.75	0.53	1.01			90.24	7.84	1.92	1.53		
		95.24	3.56	1.20	0.33			89.73	8.70	1.57	0.41		
		95.58	3.97	0.45	0.32			83.25	13.46	3.29	0.58		
		94.49	4.74	0.77	0.67			90.03	8.01	1.96	0.58		
		94.27	4.73	1.00	0.53			86.82	9.63	3.55	0.41		
		92.79	6.17	1.04	0.45			核桃油	2	96.90	2.45	0.65	0.54
		92.22	6.36	1.42	0.53					95.94	3.44	0.62	0.23
		玉米油	4	91.52	7.59			0.89	0.88	橄榄油	1	95.87	3.37
89.90	7.33			2.77	1.23	文冠果油	1	94.29	4.93			0.78	2.22
97.11	2.47			0.42	0.36	花椒籽油	1	97.67	2.00			0.33	0.24
96.38	2.93			0.69	0.22	杏仁油	1	99.11	0.89			ND	1.03
葵花籽油	3	95.63	3.49	0.88	0.23	火麻籽油	1	87.63	9.62	2.75	2.89		
		84.95	12.26	2.79	0.88	葡萄籽油	1	95.81	3.80	0.39	1.03		
		99.01	0.79	0.20	0.23								

注:ND 表示未检出。

从表 1 可以看出, 53 个油脂样品中甘三酯含量范围为 81.26% ~ 99.11%, 甘二酯含量为 0.79% ~ 13.94%, 甘一酯含量为 ND ~ 4.84%。据文献报道^[15], 一般成品植物油中甘三酯含量约 95%, 甘一酯和甘二酯含量约 5%。对比本试验所采集油脂样品中有 28 个样品的甘三酯含量未达到 95%, 占比 52.8%。在大宗油脂品种中, 葵花籽油中甘三酯含量最高(中位值 98.81%), 其次是大豆油(中位值

97.01%)、玉米油(中位值 96.01%)、菜籽油(94.49%)、花生油(中位值 91.90%)、稻米油(中位值 90.66%)、芝麻油(中位值 89.87%)、棕榈油(中位值 88.43%)。不同品种油脂的甘油酯组成差异可能与其毛油品质及所采用的精炼工艺有关, 毛油酸价高, 其中甘一酯和甘二酯含量也会随之升高, 如稻米油和棕榈油, 尽管碱炼脱酸和脱臭对脱除甘一酯和甘二酯有一定作用, 但毕竟脱除作用有限^[17], 因此

会使成品油的甘三酯含量降低;又如浓香花生油和芝麻油,一般不进行碱炼脱酸和脱臭,仅进行沉淀和过滤,这种精炼过程对其中甘一酯和甘二酯没有脱除作用,因此使得其中甘三酯含量较低^[10,16-17]。

相同品种油脂的不同油样中甘油酯组成也存在较大差异,如4个大豆油样品中,甘三酯最高含量与最低含量相差9.67个百分点,11个菜籽油样品的甘三酯含量最高值与最低值相差7.15个百分点,7个花生油样品的甘三酯含量最高值与最低值相差13.98个百分点,芝麻油更是相差16.18个百分点。分析其原因可能受油料品质如成熟度和储存条件、油脂精炼工艺和工艺条件以及成品油储存条件等因素影响所致。

在GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》及我国相关食用植物油产品标准中,均没有对食用植物油甘油酯组成或甘一酯和甘二酯含量的限量要求,但对食用植物油酸价有明确的规定,GB 2716—2018规定食用植物油酸价(KOH)小于等于3 mg/g,相关产品标准如GB/T 1535—2017《大豆油》、GB/T 19111—2017《玉米油》、GB/T 1534—2017《花生油》、GB/T 10464—2017《葵花籽油》、GB/T 8233—2018《芝麻油》、GB/T 1536—2004《菜籽油》、GB/T 19112—2003《米糠油》中根据成品油等级不同,酸价(KOH)为0.2~3 mg/g。从表1可见,大豆油、花生油、菜籽油、葵花籽油、玉米油、芝麻油、稻米油7个大宗油脂的43个油样的酸价(KOH)为0.20~2.19 mg/g,所检53个油样除1个橄榄油样的酸价(KOH)超过3 mg/g之外,其余油样的酸价均符合GB 2716—2018及相关产品标准中

的指标规定。

对53个油样中甘油酯组成或单甘酯和甘二酯总量与酸价的相关性分析发现,6种油脂中单甘酯和甘二酯总量与酸价相关性为:大豆油 $R^2 = 0.9767$,花生油 $R^2 = 0.8075$,玉米油 $R^2 = 0.8696$,菜籽油 $R^2 = 0.3962$,芝麻油 $R^2 = 0.0460$,稻米油 $R^2 = -0.2049$ 。可以看出不同成品油中单甘酯和甘二酯总量与酸价并未有明确的相关性。这是因为虽然毛油酸价与其甘油酯组成或单甘酯和甘二酯总量之间有明确的相关性^[10],但不同毛油采用的精炼工艺不同,精炼过程对其中游离脂肪酸及甘一酯和甘二酯的脱除作用存在很大差异,如稻米毛油的酸价及伴随的甘一酯和甘二酯含量也很高,在脱酸过程中游离脂肪酸被大幅脱除,成品油中酸价降至很低,但精炼过程对其中甘一酯和甘二酯的脱除作用非常有限,含量降幅很小^[17],故成品稻米油中酸价与甘一酯和甘二酯含量之间并不呈现必然的相关性。

油脂中甘一酯和甘二酯的存在并不会对油脂的食用安全造成影响,但其却是油脂精炼过程产生3-MCPD酯和GEs的前体物质,在油脂高温脱臭过程中甘一酯和甘二酯的存在会促使3-MCPD酯和GEs的形成,造成成品油的食品安全风险加大。此外,成品油中甘一酯和甘二酯含量高还会造成油脂的透明度降低,甚至出现凝絮或结晶,这是因为甘一酯和甘二酯的熔点比所对应的甘三酯高10~15℃,其中甘一酯的熔点可达到56~58℃^[15]。

2.2 不同食用植物油中3-MCPD酯和GEs含量

53个不同油脂样品中3-MCPD酯和GEs含量的检测结果见表2。

表2 不同食用植物油中3-MCPD酯和缩水甘油酯含量

植物油	样品数	3-MCPD酯				GEs			
		检出率/ %	检出区间/ (mg/kg)	平均值/ (mg/kg)	中位值/ (mg/kg)	检出率/ %	检出区间/ (mg/kg)	平均值/ (mg/kg)	中位值/ (mg/kg)
大豆油	4	75	0.22~1.12	0.61	0.65	100	2.28~4.49	3.17	2.96
花生油	7	71	0.21~1.02	0.40	0.47	100	4.04~8.07	5.89	5.53
菜籽油	11	82	0.23~2.34	1.01	0.81	100	0.69~2.23	1.31	1.07
玉米油	4	100	2.98~5.23	3.88	3.65	100	6.99~8.07	7.52	7.51
葵花籽油	3	100	1.07~2.85	2.06	2.27	100	2.07~5.33	3.81	2.07
芝麻油	8	75	0.26~1.64	0.68	0.82	100	3.06~9.87	6.30	6.27
稻米油	6	100	4.07~9.88	6.30	6.13	100	9.01~17.84	12.85	11.95
棕榈油	2	100	9.87~14.68	12.28	12.28	100	15.80~19.20	17.50	17.50
核桃油	2	100	0.65~1.03	0.84	0.84	100	0.65~1.03	0.71	0.71
橄榄油	1	100	0.21	0.21	0.21	100	0.89	0.89	0.89
文冠果油	1	100	0.19	0.19	0.19	100	0.32	0.32	0.32
花椒籽油	1	100	1.03	1.03	1.03	100	2.24	2.24	2.24
杏仁油	1	100	0.31	0.31	0.31	100	0.21	0.21	0.21
火麻籽油	1	100	0.98	0.98	0.98	100	0.51	0.51	0.51
葡萄籽油	1	100	0.62	0.62	0.62	100	0.16	0.16	0.16

从表2可以看出,不同品种油脂中3-MCPD酯的含量相差较大,53个样品中有46个油样检出3-MCPD酯,7个样品未检出,检出含量范围为0.19~14.68 mg/kg。其中棕榈油(平均值12.28 mg/kg)和稻米油(平均值6.30 mg/kg)中3-MCPD酯含量最高,其次是玉米油(平均值3.88 mg/kg)和葵花籽油(平均值2.06 mg/kg),大豆油(平均值0.61 mg/kg)、花生油(平均值0.40 mg/kg)和芝麻油(平均值0.68 mg/kg)含量较低。从检出率看,花生油的检出率最低(5/7),其次是芝麻油(6/8)、大豆油(3/4)、菜籽油(9/11),其余检出率均达到100%。因小品种油脂受市场所限样品数量较少,显示出100%检出3-MCPD酯。同品种油脂的不同油样中3-MCPD酯含量也显示出较大差异,如菜籽油中含量最高值是最低值的10.17倍,大豆油、花生油、芝麻油样品中最高含量是最低含量的5.09、4.86、6.31倍,玉米油、稻米油、棕榈油中最高含量是最低含量的1.76、2.43、1.49倍。这也显示出不同油脂加工企业在生产工艺技术和品质控制方面的差距。53个油样中有36.85%的油样中3-MCPD酯含量小于0.5 mg/kg,13.20%的油样含量为0.5~1 mg/kg,49.95%的油样含量超过了1 mg/kg。卢跃鹏等^[24]对我国部分省份食用植物油中3-MCPD酯含量进行调查分析,491份样本中有409份检出3-MCPD酯,含量范围为0.104~8.580 mg/kg,其中大豆油和橄榄油的检出率较低(小于50%),其他油脂检出率高于80%。Zwagerman等^[25]检测126份油脂样品中,3-MCPD酯含量平均值为0.9 mg/kg,最大值为21.5 mg/kg。

从表2还可以看出,53个油样均检出GEs,检出率为100%,检出含量范围为0.16~19.20 mg/kg。其中棕榈油(平均值17.50 mg/kg)和稻米油(平均值12.85 mg/kg)中GEs含量远超过其他油脂,其次是玉米油(平均值7.52 mg/kg)、芝麻油(平均值6.30 mg/kg)、花生油(平均值5.89 mg/kg)、葵花籽油(平均值3.81 mg/kg)、大豆油(平均值3.17 mg/kg),其他油脂中GEs含量均低于3 mg/kg。53个油样中GEs含量低于1 mg/kg的样品数占20.75%,含量1~3 mg/kg的样品数占22.64%,56.61%的样品中GEs含量大于3 mg/kg。Masukawa等^[26]报道日本市场上大部分食用植物油中均能检测到GEs,而日本花王公司因在功能性甘二酯油脂中检测到较高含量的GEs而导致产品下架。刘京等^[27]对市场上常见的8种油脂进行检测,结果发现棕榈油和玉米油的GEs含量最高,棕榈油

中GEs含量接近25 mg/kg,玉米油GEs含量接近10 mg/kg。结合本试验检测结果与国内外文献报道可知,食用植物油中3-MCPD酯和GEs的检出率和含量还是很高的,其对食用植物油的安全风险应受到充分关注。

目前,我国相关标准中还未对食用植物油中3-MCPD酯和GEs含量做出明确的限量规定。美国食药监督管理局规定食物中的3-MCPD酯含量不超过1 mg/kg^[28]。欧盟规定食用植物油中GEs限量为小于等于1 mg/kg^[29],3-MCPD酯限量为小于等于1.25 mg/kg^[30]。若参照欧盟规定,53个油样中仅有20.75%的油样GEs合格,64.15%的油样3-MCPD酯合格。

对比表1和表2的结果可以看出,棕榈油、稻米油中甘一酯和甘二酯含量及3-MCPD酯和GEs含量均呈较高水平,而大豆油中甘一酯和甘二酯含量及3-MCPD酯和GEs含量均呈现较低水平。但其他油脂中3-MCPD酯和GEs含量与甘一酯、甘二酯含量并未显示出明确的相关性。这也反映出影响食用植物油产品中3-MCPD酯和GEs的因素是复杂多面的,各因素之间也会相互影响和制约,因此对食用植物油中3-MCPD酯和GEs风险防范和控制需要深入系统的持续研究。

3 结论

对53个食用植物油样品的甘油酯组成、3-MCPD酯和GEs含量检测分析,结果表明:所检油样中甘三酯含量为81.26%~99.11%,甘二酯含量为0.79%~13.94%,甘一酯含量为ND~4.84%,甘三酯含量不足95%的样品数占52.8%,不同品种油脂及同品种不同油脂样品的甘油酯组成呈现很大差异;3-MCPD酯检出率为86.79%,检出含量范围为0.19~14.68 mg/kg;GEs检出率为100%,含量为0.16~19.20 mg/kg;棕榈油和稻米油中3-MCPD酯和GEs含量远高于其他品种油脂。参照欧盟限量(3-MCPD酯含量 \leq 1.25 mg/kg,GEs含量 \leq 1 mg/kg),53个油样的3-MCPD酯和GEs合格率分别为64.15%和20.75%。甘一酯和甘二酯是油脂精炼过程形成3-MCPD酯和GEs的前体物质,在大宗油脂中,3-MCPD酯和GEs含量最高的棕榈油和稻米油中甘一酯和甘二酯含量也最高,3-MCPD酯和GEs含量较低的大豆油中甘一酯和甘二酯含量也较低。但其他油脂中3-MCPD酯和GEs含量与甘一酯、甘二酯含量之间并未显示出明确的相关性。这说明影响食用植物油产品中3-MCPD酯和

GEs含量的因素是复杂多面的,对此风险的防范和控制需要深入系统的持续研究。

参考文献:

- [1] 向晓玲,赵波,李春松,等.食用油中3-氯丙醇酯的研究进展[J].中国油脂,2017,42(7):59-63.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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):28-32,36.
- [5] 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.
- [6] 陈慧玲,刘红河,许欣欣,等.深圳市区食用植物油中3-氯丙醇酯的污染情况分析[J].食品安全质量检测学报,2018,9(7):1718-1722.
- [7] 尹诗琴.油脂加工过程中缩水甘油酯形成的影响因素及其脱除研究[D].广州:华南理工大学,2016.
- [8] 周红茹.油脂中3-氯-1,2-丙二醇及其酯的分布、检测与其在热加工和精炼过程中的变化规律[D].江苏无锡:江南大学,2015.
- [9] 欧阳剑,王维曼,胡志雄,等.油脂精炼工艺条件对3-MCPD形成的影响[J].中国油脂,2014,39(7):58-61.
- [10] 刘玉兰,张家枫,胡文娜,等.玉米毛油酸价及碱炼脱酸对其甘油酯组成及3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的影响[J].中国油脂,2020,45(2):81-85.
- [11] 朱梦云.甘一酯和甘二酯及油脂精炼过程对3-MCPDEs和GEs影响的研究[D].郑州:河南工业大学,2018.
- [12] 王璐阳,刘玉兰,马宇翔,等.油脂脱臭过程氯离子含量对3-氯丙醇酯和缩水甘油酯的影响[J].食品科学,2018,39(20):320-325.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 毕艳兰.油脂化学[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [16] 刘玉兰,李泽泽,陈文彦,等.不同酸价米糠毛油碱炼脱酸过程甘油酯组成及3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的变化[J].食品科学,2020,41(6):34-39.
- [17] 李泽泽,刘玉兰,马宇翔,等.两种脱酸工艺对米糠油甘油酯组成及3-氯丙醇酯和缩水甘油酯含量的影响[J].粮食与油脂,2020,33(1):34-39.
- [18] FREUDENSTEIN A, WEKING J, MATTHAUS M. Influence of precursors on the formation of 3-MCPD and glycidyl esters in a model oil under simulated deodorization conditions[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2013, 115: 286-294.
- [19] SMIDRKAL J, TESAROVA M, HRADKOVA I, et al. Mechanism of formation of 3-chloropropane-1,2-diol (3-MCPD) esters under conditions of the vegetable oil refining[J]. Food Chem, 2016, 211: 124-129.
- [20] 任我行.油脂精炼过程3-MCPD酯和缩水甘油酯的控制与脱除研究[D].郑州:河南工业大学,2018.
- [21] 孟祥河.功能性甘油二酯的酶促酯化合成及其减肥功能的研究[D].江苏无锡:江南大学,2004.
- [22] 苗雨田,杨悠悠,王浩,等.气相色谱-质谱法测定食用油中3-氯丙醇酯[J].中国粮油学报,2016,31(11):135-139.
- [23] 任我行,刘玉兰,马宇翔,等.玉米油脱臭条件对3-氯丙醇酯和缩水甘油酯影响的研究[J].中国油脂,2018,43(4):57-60.
- [24] 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.
- [25] ZWAGERMAN R, OVERMAN P. A novel method for the automatic sample preparation and analysis of 3-MCPD-, 2-MCPD-, and glycidylesters in edible oils and fats[J]. Eur J Lipid Sci Technol, 2016, 118(7):997-1006.
- [26] MASUKAWA Y, SHIRO H, NAKAMURA S, et al. A new analytical method for the quantification of glycidol fatty acid esters in edible oils[J]. J Oleo Sci, 2010, 59(2):81-88.
- [27] 刘京,张晖,王瑛瑶,等.液相色谱-质谱法测定食用植物油中缩水甘油酯的含量[J].食品工业科技,2014,35(15):308-311.
- [28] 华从伶,张连军,王海涛,等.进口食用植物油中3-氯丙醇酯的污染及监管研究[J].中国油脂,2016,41(6):52-56.
- [29] 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; commission regulation (EU) 2018/290 [S]. Brussels: Official Journal European Union, 2018.
- [30] EU considers maximum limits for 3-MCPD and 3-MPDEs in oils and fats [EB/OL]. (2019-07-23) [2020-04-03]. <https://www.ofimagazine.com/news/eu-considers-maximum-limits-for-3-mcpd-and-3-mpdes-in-oils-and-fats>.