

植物油种类对聚氯乙烯中环氧大豆油迁移的影响研究

高亚婷, 殷丽燕, 刘桂华*

(常州进出口工业及消费品安全检测中心, 常州 231000)

摘要: 目的 探究植物油种类对聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)中环氧大豆油(epoxidized soybean oil, ESBO)迁移的影响。**方法** 利用气相色谱-质谱联用法对 PVC 中 ESBO 向不同植物油中的迁移量进行表征。**结果** 该检测方法对所研究的植物油都适用, 并可对 5~100 mg/kg 浓度范围内的 ESBO 进行准确定量, 平均回收率为 99.3%~103%, 相对标准偏差为 0.23%~6.58%。迁移试验结果显示, ESBO 在不同植物油中的迁移趋势相同, 即为当迁移时间相同时, 迁移量随着迁移温度的增加而增加; 迁移温度相同时, 迁移量随着迁移时间的增加先增大后达到平衡。从迁移量数值上来看, ESBO 在橄榄油中的迁移能力较椰子油中的小, 但是与玉米油、芝麻油、菜籽油和大豆油中的相当。**结论** 除了迁移试验温度和时间外, 植物油种类对 ESBO 的迁移也有着重要影响, 以橄榄油为食品模拟物并不能完全代表 ESBO 在其他植物油中的迁移。

关键词: 环氧大豆油; 植物油; 气相色谱-质谱联用仪; 迁移量

Study on the influence of vegetable oil species on the migration of epoxy soybean oil in PVC

GAO Ya-Ting, YIN Li-Yan, LIU Gui-Hua*

(Changzhou Safety Testing Center For Enter-exit Industrial And Consumable Products, Changzhou 231000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effect of vegetable oil species on the migration of epoxy soybean oil (ESBO) in polyvinyl chloride (PVC). **Methods** The migration of ESBO to different vegetable oils in PVC was characterized by gas chromatography-mass spectrometry. **Results** This test method was applicable to all vegetable oils studied and could accurately quantify ESBO in the concentration range of 5~100 mg/kg. The average recoveries were 99.3%-103%, and the relative standard deviations were 0.23%-6.58%. The migration test results showed that the migration trend of ESBO in different vegetable oils was similar, when the migration time was the same, the migration amount increased with the increase of the migration temperature. With the same migration temperature, the amount of migration increases first and then reaches equilibrium with the increase of migration time. From the point of view of migration value, the migration capacity of ESBO in olive oil was smaller than that in coconut oil, but was equivalent to that in corn oil, sesame oil, rapeseed oil and soybean oil. **Conclusion** In addition to the temperature and time of the migration test, the type of vegetable oil also has an important influence on the migration of ESBO. Using olive oil as a food simulant does not fully represent the migration of ESBO in other vegetable oils.

KEY WORDS: epoxy soybean oil; vegetable oil; gas chromatography-mass spectrometry; the migration amount

*通讯作者: 刘桂华, 博士, 主要研究方向为食品接触材料法规标准、合规测试和安全评估。E-mail: liuguihua110@163.com

*Corresponding author: LIU Gui-Hua, Ph.D, Changzhou Safety Testing Center For Enter-exit Industrial And Consumable Products, Changzhou 231000, China. E-mail: liuguihua110@163.com

1 引言

聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)在食品接触材料中有着广泛的应用,例如瓶盖垫片、密封条和金属罐油基溶胶涂层。为了增强 PVC 材料的可塑性,常加入 25%~45% 的塑化剂,常用塑化剂为邻苯二甲酸酯类。对特定的邻苯二甲酸酯的毒性研究显示,其具有致癌、致突变和致畸等毒性^[1,2]。因此,低毒的、非邻苯二甲酸酯类塑化剂的需求量逐渐增加,例如,乙酰柠檬酸三丁酯(acetyl tributyl citrate, ATBC)、己二酸二(2-乙基己基)酯(diadipate (2-ethylhexyl) Ester, DEHA)、己二酸二辛脂(dioctyl adipate, DOA)、癸二酸二丁酯(dibutyl sebacate, DBS)和环氧大豆油(ESBO)等^[3]。由于 ESBO 稳定性好、迁移性小、与 PVC 相容性好等特点,所以,塑化剂 ESBO 广泛应用于 PVC 生产过程。除此之外,ESBO 在 PVC 体系中还可以吸收 PVC 在加热或者老化过程中释放出的 HCl,从而抑制了 PVC 的自催化降解过程^[4],产生稳定剂的效果。

ESBO 由大豆油经环氧化反应得到,是甘油三酯的混合物,平均组成为:55%环氧亚油酸(18:2 2E),23%环氧油酸(18:1 E),8%三环氧亚麻酸(18:3 3E),11%棕榈酸和 4%硬脂酸。虽然 ESBO 毒性较低,但对 ESBO 的毒性研究显示,其对皮肤和眼睛有微弱的刺激^[5]。鉴于 ESBO 在 PVC 中的广泛使用,法规和标准对其进行了安全管控。欧盟 No 10/2011 塑料法规中规定 ESBO 特定迁移量限量(specific migration limits, SML)为 60 mg/kg,当接触婴幼儿食品时 SML 为 30 mg/kg^[6]。我国 GB 9685-2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准》^[7]将 ESBO 归类于第 32 组,并设定组限量为 60 mg/kg。

根据 ESBO 的化学组成可看出,其为亲脂性物质,因此向油性食品中的迁移趋势较大。查阅文献和政府通报,可以发现欧洲油脂食品中 ESBO 迁移量超标屡见报道^[8,9],欧盟食品与饲料快速预警系统(EU Food and Feed Rapid Warning System, RASFF)对我国出口食品中 ESBO 迁移量超标的通报,近 10 年来从未间断过。我国市场上流通的食品中 ESBO 污染现况也不容乐观。早在 2015 年周雅静等^[10]对来自 5 个不同国家 13 类(57 个)进口婴幼儿食品中的 ESBO 含量进行筛查,7 类食品中检出 ESBO,参考欧盟的 NO 10/2011 法规中的管理要求,其中 6 类超出限量值(30 mg/kg),最大值达到 55.3 mg/kg。2018 年,陈燕芬等^[11]对 112 批食品中的 ESBO 进行测试,结果显示:在调味酱中 ESBO 含量超标率高达 14.63%。

食品接触材料在与食品接触之前需要通过迁移试验对其迁移风险进行预判,但在实际中发现,即使迁移试验合规的瓶盖在与食品接触后,食品中的 ESBO 含量普遍较

高,甚至经常超出法规限量。根据 GB 31604.1-2015《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则》^[12],迁移试验中食品模拟物应根据预期接触食品的类型进行选择,例如预期接触食品类型为油基食品,应选择的食物模拟物为植物油(精制玉米油、橄榄油)。通常测试 ESBO 迁移试验中使用的多数为橄榄油。然而,对中国市场上的油性食品使用的油品进行调研发现,很多使用的是大豆油和菜籽油。另外,Kampouris^[13]研究的不同植物油对 PVC 中 2 种邻苯二甲酸酯类塑化剂(邻苯二甲酸二丁酯(dibutyl phthalate, DBP)和邻苯二甲酸二辛酯(dioctyl phthalate, DOP))迁移影响显示,DBP 和 DOP 研究的 4 种油中的迁移大小如下:大豆油>棉籽油≈玉米油>橄榄油。Biedermann 等^[14]的研究也显示 PVC 中 ESBO 在椰子油中的迁移量是橄榄油中的 2~3 倍。因此以橄榄油为食品模拟物是否能够代表 ESBO 在其他种类植物油中的迁移行为,而植物油基质对 PVC 中 ESBO 迁移的影响是怎样的值得探讨。

为了详细研究不同植物油对 ESBO 迁移的影响,本研究首先开发了 ESBO 在不同植物油中的检测方法,该方法以 11,14-二环氧二十烷酸乙酯为内标,可以快速、准确地对橄榄油、椰子油、玉米油、芝麻油、菜籽油和大豆油中的 ESBO 含量进行测试,为 ESBO 迁移测试条件的选择提供依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

Agilent 7890B-5977 气相色谱-质谱仪(美国 Agilent 公司); CTC 自动进样器(瑞士 CTC Analytics 仪器有限公司); Milli-Q 超纯水器(美国 Millipore 公司); XS205 电子分析天平(瑞士梅特勒-托利多公司); 3-15 离心机(德国 Sigma 公司); DC-12 氮吹仪(上海安谱实验科技股份有限公司); FD-115 恒温箱(德国 Binder 公司)。

环氧大豆油标准品(0.997 g/mL)、11,14-二环氧二十烷酸乙酯(96%)、甲醇(色谱纯)、甲醇钠(25%)、柠檬酸氢二钠倍半水合物(分析纯)(上海安谱科学仪器有限公司); 乙酸乙酯、正己烷、氯化钠、椰子油(分析纯,常州大恒化工有限公司); 异辛烷(分析纯)、环戊酮(>99%)、无水硫酸钠(分析纯)、橄榄油(化学纯)(上海泰坦科技股份有限公司); 三氟化硼乙醚(>48%,北京百灵威科技有限公司); 芝麻油标准品(CD0165,河南标准物质研发中心); 大豆油、玉米油(试剂纯,阿拉丁试剂(上海)有限公司); 菜籽油购于本地超市。

2.2 实验方法

2.2.1 迁移试验条件

按照 GB 31604.1-2015《食品安全国家标准 食品接触

材料及制品迁移试验通则》^[12]以及 GB 5009.156-2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则》^[15]对 PVC 片材采取升温加速实验。由于 PVC 片材的厚度为 0.62 mm, 因此面积以双面计, 具体试验条件为: 取 1.0 cm×2.0 cm 的 PVC 片材, 放入瓶中, 分别加入 5.0 mL 油模拟物, 并制备空白迁移试液。封口后, 置于 20、40 和 60 °C 恒温箱进行迁移实验。

2.2.2 样品前处理

准确称取 0.1 g(精确至 0.1 mg)迁移试验所得油基食品模拟物于 25 mL 具塞离心管中, 加入 50 μL 内标中间液(50 mg/L), 进行甲酯化和环戊酮衍生。具体步骤为: 加入 5 mL 5%甲醇钠溶液, 2000 r/min 涡旋 2 min, 进行甲酯化^[16,17]。放置至无明显油滴时, 加入 5 mL 正己烷和 5 mL 10%的柠檬酸氢二钠溶液, 振荡混匀, 在 4000 r/min 下离心 3 min, 将有机相转移至另一离心管中。再加入约 1 g 无水硫酸钠, 在 4000 r/min 下离心 3 min, 合并有机相, 用氮气吹干溶剂。依次加入 2 mL 异辛烷、1.5 mL 环戊酮和 0.5 mL 三氟化硼乙醚络合物, 振荡 30 s, 加入 5 mL 2 mol/L 氯化钠溶液钠溶液, 摇匀。在 4000 r/min 下离心 3 min, 转移上清液供气相色谱-质谱测定。

2.2.3 气相色谱-质谱条件

色谱柱: Agilent J&W HP-5MS(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 程序升温为 80 °C 保持 2 min 后以 20 °C/min 的升温速度升温至 275 °C 并保持 12 min; 进样口温度: 250 °C; 四极杆温度: 150 °C; 离子源温度(EI): 230 °C; 载气(氦气)流速: 35 cm/s; 进样量: 2 μL; 不分流进样; 溶剂延迟: 14 min; 扫描方式: SIM, 目标物: m/z 309(定量离子), m/z 277; 内标物: m/z 377(定量离子), m/z 305。采用内标法定量。

2.2.4 标准曲线制作

在 6 个 25 mL 具塞试管中准确称取 0.1 g(精确至 0.01 g)橄榄油, 然后分别准确移取环氧大豆油标准液(50 mg/L)0、10、20、50、100、200 μL 于试管中, 得到橄榄油中环氧大豆油的浓度分别为 0、5、10、25、50、100 mg/kg。再分别加入 50 μL(50 mg/kg)内标中间液。混匀后根据 2.4.2 中的步骤进行甲酯化和环戊酮衍生反应,

并利用 2.4.3 中的气相色谱-质谱条件进行测试。以 ESBO 的浓度为横坐标, 目标物质峰与内标峰的比值为纵坐标建立标准曲线。

3 结果与分析

3.1 定量峰的选择

取 0.1 g 迁移试液, 向其中加入内标, 并按照 2.2.2 中的前处理步骤进行甲酯化。由于环氧大豆油与基质植物油的组成相似, 因此为了更好地让目标物质与油基质分离也为了增强响应, 对甲酯化后的目标物质和内标物进行环戊酮衍生反应, 具体反应方程式如图 1 所示(以亚油酸甘油三酯为例)。ESBO 的平均组成为: 55%环氧亚油酸(18:2 2E), 23%环氧油酸(18:1 E), 8%三环氧亚麻酸(18:3 3E), 11%棕榈酸和 4%硬脂酸。以其中的环氧亚油酸为标记目标物来进行定量分析。按照 2.4.3 中的气相-质谱条件, 经甲酯化和环戊酮衍生的环氧亚油酸出峰时间为 14.32 min(18:2E1)和 14.52 min(18:2E2), 内标的出峰时间为 16.27 min(20:2E1)和 16.65 min(20:2E1)。目标物质和内标的色谱图见图 2。

利用软件对色谱图进行离子选择(亚油酸甲酯: 309, 内标: 337)后自动积分。对于内标物质的 2 个同分异构体, 20:2E2 的峰面积较大, 约为 20:2E1 的 1.44 倍, 因此选择峰面积较大的 20:2E2 为内标定量峰。18:2E1 和 18:2E2 具有相似的峰面积, 可以选择任何一个作为定量峰。陈艳芬等^[18]研究并比较了以 18:2E1 和 18:2E2 分别作为定量峰的测试结果, 数据表明定量结果并无明显差别。但在研究不同油基质时, 发现植物油基质会对 18:2E1 峰有干扰, 因此本研究选择 18:2E2 为定量峰。

3.2 线性范围、检出限和定量限

根据目标物质信噪比及定量准确性, 该方法在所研究的 6 种油中的检出限和定量限分别可达到 1 mg/kg 和 5 mg/kg。以添加的 ESBO 的浓度为横坐标, 目标物质峰与内标峰的比值为纵坐标建立标准曲线, 如图 3 所示。该方法在 ESBO 浓度为 5~100 mg/kg 时线性良好, 其中相关系数为 0.9988。

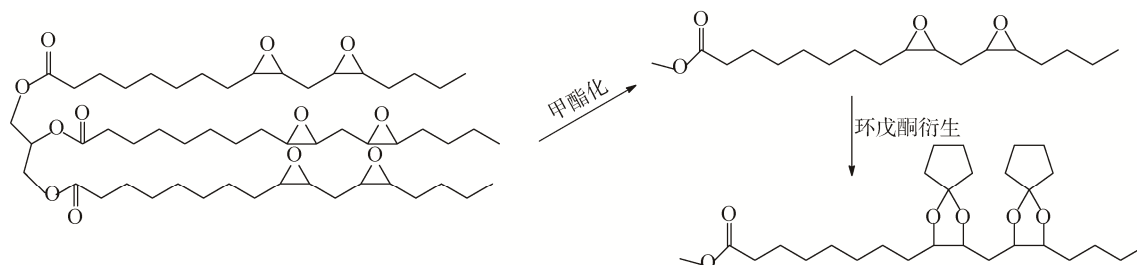


图 1 环氧亚油酸甘油酯甲酯化以及衍生化反应
Fig.1 Methylation and derivatization of epoxy glyceride

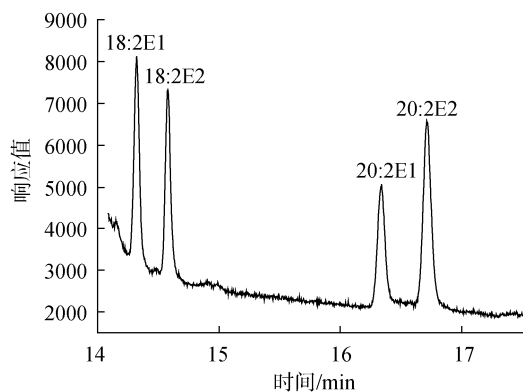


图 2 环氧亚油酸和内标衍生产物色谱图

Fig.2 Chromatogram of epoxy linoleic acid and internal standard derivatives

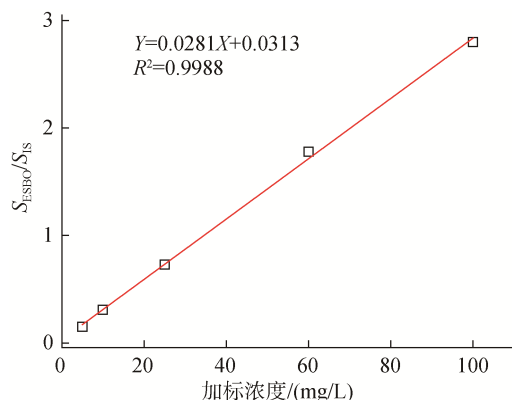


图 3 ESBO 的标准曲线

Fig. 3 Standard curve of ESBO

各种类油中验证结果列于表 1 中, 重复次数为 3。如表中所示, 在各油基质中添加 mg/kg 的 ESBO 平均回收率在 99.3%~103%之间, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 0.23%~6.58%, 说明在各油基质中均可准确定量。

表 1 6 种植物油中的验证结果($n=3$)Table 1 Validation results in 6 kinds of vegetable oils ($n=3$)

油基质	加标浓度/(mg/kg)	回收浓度/(mg/kg)			平均回收率/%	RSD/%
		1	2	3		
橄榄油	5	5.3	4.7	5.1	100.9	6.58
	25	25.5	25.6	25.6	102.2	0.23
	100	98.2	98.6	107.3	101.4	5.14
椰子油	5	5.2	4.9	4.8	99.3	4.16
玉米油	5	5.3	5.1	5.1	103	2.31
芝麻油	5	4.8	4.9	5.2	99.3	4.16
菜籽油	5	5	5.1	5.1	101	1.15
大豆油	5	4.9	5.3	5.2	103	4.16

3.3 迁移试验结果讨论

GB 31604.1-2015《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则》中规定对于“室温或低于室温条件下贮存 30 d 以上时, 可采用升温加速试验进行迁移试验”, 其中升温加速试验条件可选择: 20 °C, 10 d、40 °C, 10 d、50 °C, 10 d 和 60 °C, 10 d。同时, 标准中还规定橄榄油为油脂及表面含油脂食品的食品模拟物。因此, 本文首先研究了 20、40 和 60 °C 3 种不同迁移温度下, ESBO 在橄榄油中的迁移行为。如图 4 所示, ESBO 在橄榄油中的迁移量随着温度的增加而增加。当迁移时间相同时, 60 °C 下 ESBO 的迁移量约为 40 °C 时的 2 倍, 并高于 20 °C 时迁移量的 4 倍。除此之外, 当温度一定时, ESBO 的迁移量随着迁移时间的推移先增加后达到平衡。值得注意的是, PVC 中 ESBO 向橄榄油迁移 20 °C, 10 d、40 °C, 10 d 和 60 °C, 10 d 时, 迁移量均未达到平衡。不同迁移温度下, ESBO 迁移量达到平衡所需的时间也不尽相同, 20 °C 和 40 °C 下需要 15 d, 而 60 °C 时需要 20 d。达到迁移平衡后, 各温度下的迁移量也遵循着 60 °C>40 °C>20 °C 的规律。Hanusova 等^[3]对 3 批不同的 PVC 瓶盖中 ESBO 向橄榄油中的迁移规律研究也显示, 在 20 °C、40 °C 和 60 °C 迁移温度下, 达到迁移平衡的时间至少需要 20 d。

ESBO 在椰子油中的迁移趋势与橄榄油中的相似, 见图 5。相同迁移时间下, 迁移量随着迁移温度的增加而增加; 相同迁移温度下, 迁移量随着迁移时间先增加后达到平衡; 且在 20 °C 和 40 °C 下达到平衡需 15 d, 60 °C 下达到平衡需 20 d。但是从迁移量数值上看, ESBO 在椰子油中的迁移量较橄榄油中的大。Biedermann 等^[14]研究了椰子油和橄榄油对 PVC 中 ESBO 迁移的影响, 实验结果与本研究中的结果一致, 因此认为在 PVC 中 ESBO 向植物油中迁出的同时, 植物油中的脂肪酸甘油酯也会进入到 PVC 中, 椰子油中的短链脂肪酸甘油酯进入 PVC 中的能力较橄榄油中的强, 因此,

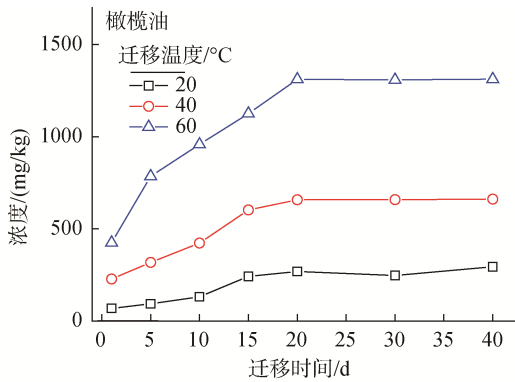


图 4 不同温度条件下 ESBO 在橄榄油中的迁移

Fig.4 Migration of ESBO in olive oil at different temperatures

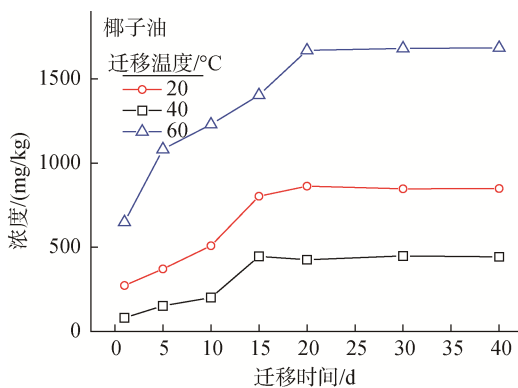


图 5 不同温度条件下 ESBO 在椰子油中的迁移

Fig.5 Migration of ESBO in coconut oil at different temperatures

较多的脂肪酸甘油酯的进入使得 PVC 中的 ESBO 具有较高的迁出能力。为了进行准确分析, 按照 GB 5009.168-2016 《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》对试验中使用的椰子油和橄榄油进行测试, 并对结果进行分析, 分析结果如表 2。从表中数据可知, 较橄榄油而言, 椰子油中主要成分为链长(碳链数 $n \leq 12$) 的非长链脂肪酸, 而橄榄油中多为长链脂肪酸。因此, 植物油的组成可能是影响 ESBO 迁出能力的原因之一。

表 2 椰子油、橄榄油和菜籽油中的脂肪酸组成(%)
Table 2 Fatty acid composition of coconut oil, olive oil, and canola oil (%)

组成	椰子油	橄榄油
短链脂肪酸($n < 6$)	0.8905	1.4689
中链脂肪酸($6 \leq n \leq 12$)	65.6703	0
长链脂肪酸($12 < n \leq 16$)	20.5505	17.0104
长链脂肪酸($16 < n \leq 20$)	12.8213	80.5735
长链脂肪酸($20 < n \leq 24$)	0.0673	0.9472

随后将相同迁移温度和时间下, ESBO 在椰子油和橄榄油中的迁移量进行对比分析, 结果绘于图 6 中。如图 6 所示, 椰子油中的迁移量与橄榄油中迁移量的差值也与迁移温度和时间有关。在迁移的第 1 d, 20、40 和 60 °C 温度

下, 迁移浓度差随着温度的增加而变大, 数值上分别为 12、44 和 224 mg/kg。除此之外, 在迁移温度相同时, ESBO 在 2 种植物油中的迁移浓度差基本上遵循着随着迁移时间的增加先增大后达到平衡的趋势。对达到平衡后的迁移浓度差进行统计, 20、40 和 60 °C 下的迁移浓度差分别为 (190 ± 21) mg/kg ($n=4$)、 (195 ± 10) mg/kg ($n=4$) 和 (368 ± 8) mg/kg ($n=3$)。由统计数据 and 图 6 可知, 达到平衡后 60 °C 下的迁移浓度差最大, 20 °C 和 40 °C 下的值相近。

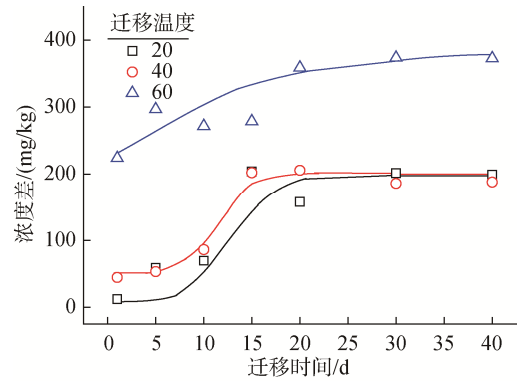


图 6 ESBO 在椰子油和橄榄油中的迁移浓度差随迁移时间的变化
Fig.6 Changes of migration concentration difference of ESBO in coconut oil and olive oil with migration time

除了橄榄油和椰子油之外, 本研究还对 ESBO 在玉米油、芝麻油、菜籽油和大豆油 4 种常见的植物油中的迁移行为进行研究。结果显示, ESBO 在上述 4 种油中的迁移行为和趋势与橄榄油以及椰子油中的相似。以 60 °C 为例, ESBO 在橄榄油、椰子油、玉米油、芝麻油、菜籽油和大豆油中迁移量随时间变化的趋势绘于图 7 中。由图 7 可知, 除了椰子油外, ESBO 在其他 5 种植物油的迁移量相近。迁移温度为 20 °C 和 40 °C 时的结论与 60 °C 一致。

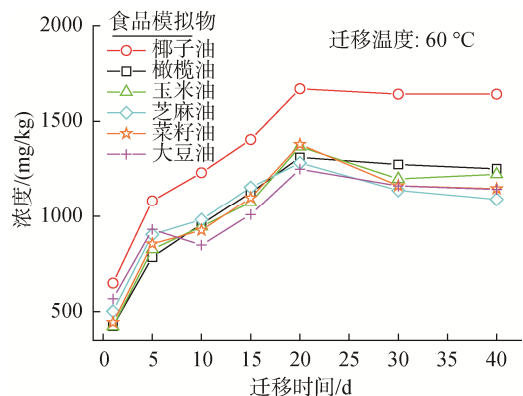


图 7 ESBO 在橄榄油、椰子油、玉米油、芝麻油、菜籽油和大豆油中迁移量随时间变化的趋势

Fig.7 Trend of ESBO migration over time in olive oil, coconut oil, corn oil, sesame oil, rapeseed oil and soybean oil

4 结 论

用气相色谱-质谱法对 PVC 中 ESBO 向不同植物油基质中的迁移进行研究。结果显示, 植物油基质的种类对 ESBO 的迁出有着重要影响, 这可能是与植物油中脂肪酸甘油酯的组成有关。综合以上分析, 以橄榄油作为油基食品模拟物可以对拟接触橄榄油、玉米油、芝麻油、菜籽油和大豆油的 PVC 垫片可进行合规性评价, 但是当 PVC 垫片预接触椰子油时, 使用橄榄油作为食品模拟物进行合规性评价并不合理。另外, 以 60 °C, 10 d 也并不是测试 PVC 中 ESBO 迁移量的最严苛条件。因此, 在进行迁移试验时建议采用与接触食品相同的油脂或者选择使用椰子油作为食品模拟物, 另可通过延长迁移时间, 例如, 20 d, 来达到测试更为严苛的条件。

参考文献

- [1] Authority EFS. Opinion of the scientific panel on food additives, flavourings, processing aids, and materials in contact with food (AFC) related to bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) for use in food contact materials [J]. EFSA J, 2005, 243: 1–20.
- [2] Authority EFS. Opinion of the scientific panel on food additives, flavourings, processing aids, and materials in contact with food (AFC) related to di-isononylphthalate (DINP) for use in food contact materials [J]. EFSA J, 2015, 244: 1–18.
- [3] Hanusova K, Rajchl A, Votavova L, *et al.* Testing the influence of various conditions on the migration of epoxidised soybean oil from polyvinylchloride gaskets [J]. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 2013, 30(11): 1963–1975.
- [4] Bandele OJ, Cureton LT, Bailey AB, *et al.* A review of dietary exposure and toxicological information on epoxidised soybean oil (ESBO) in food-contact applications [J]. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 2018, 35 (11): 2204–2219.
- [5] Bibra. Toxicity profile: Epoxidised soy bean oil [M]. Surrey: Carlshalton, UK, 1988.
- [6] EU, Commission Regulation (EU) No 10.2011 of 14 January 2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food [S].
- [7] GB 9685-2016 食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准[S].
GB 9685-2016 National food safety standard-Standard for use of additives for food contact materials and products [S].
- [8] Fankhauser-Noti A, Fiselier K, Biedermann S, *et al.* Epoxidized soy bean oil (ESBO) migrating from the gaskets of lids into food packed in glass jars [J]. Eur Food Res Technol, 2005, 221(3-4): 416–422.
- [9] Hanusova K, Vrbik K, Rajchl A, *et al.* Migration of epoxidised soybean oil from PVC gaskets of commercial lids: simulation of migration under various conditions and screening of food products from Czech markets [J]. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 2015, 32(3): 427–437.
- [10] 周雅静, 钱凯, 杨心洁, 等. 进口婴幼儿食品中环氧大豆油的检测及筛

查[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(12): 5077–5082.

Zhou YJ, Qian K, Yang XJ, *et al.* Detection and screening of epoxy soybean oil in imported infant food [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(12): 5077–5082.

- [11] 陈燕芬, 胡长鹰, 钟怀宁. 聚氯乙烯密封圈中环氧大豆油向食品中的迁移及其风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(12): 3040–3046.
Chen YF, Hu CY, Zhong HN. Migration of epoxy soybean oil from PVC sealing rings to food and its risk assessment [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(12): 3040–3046.
- [12] GB 31604.1-2015 食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则[S].
GB 31604.1-2015 National food safety standard-General rules for testing the movement of food contact materials and products [S].
- [13] Kampouris EM. The migration of plasticizers from poly(vinyl chloride) into edible oils [J]. Polymer Eng Sci, 1976, 16(1): 59–64.
- [14] Biedermann M, Fiselier K, Grob K. Testing migration from the PVC gaskets in metal closures into oily foods [J]. Trends Food Sci Technol, 2008, 19(3): 145–155.
- [15] GB 5009.156-2016 食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验预处理方法通则[S].
GB 5009.156-2016 National food safety standard-General principles for preprocessing of food contact materials and Product migration tests [S].
- [16] Laurence C, Matthew S, John G. Gas chromatographic-mass spectrometric determination of epoxidized soybean oil contamination of foods by migration from plastic packaging [Z].
- [17] Graubardt N, Biedermann M, Fiselier K, *et al.* Search for a more adequate test to predict the long-term migration from the PVC gaskets of metal lids into oily foods in glass jars [J]. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 2009, 26(7): 1113–1122.
- [18] 陈艳芬, 钟怀宁, 胡长鹰, 等. PVC 密封圈中环氧大豆油向食品模拟物迁移量的测定[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 277–281.
Chen YF, Zhong HN, Hu CY, *et al.* Determination of the migration of epoxy soybean oil in PVC sealing rings to food simulants [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(5): 277–281.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

高亚婷, 博士, 主要研究方向为食品接触材料化学迁移。

E-mail: yatgao@qq.com

刘桂华, 博士, 主要研究方向为食品接触材料法规标准、合规测试和安全评估。

E-mail: liuguihua110@163.com