

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241022003

引用格式: 吴泽春, 曾莹, 莫单评, 等. 气相色谱法测定异山梨醇改性聚对苯二甲酸乙二醇酯制品中异山梨醇的迁移量[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 53-58.

WU ZC, ZENG Y, MO DP, *et al.* Determination of the migration of isosorbide in isosorbide modified polyethylene terephthalate products by gas chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(1): 53-58. (in Chinese with English abstract).

气相色谱法测定异山梨醇改性聚对苯二甲酸 乙二醇酯制品中异山梨醇的迁移量

吴泽春, 曾莹, 莫单评, 李丹*

[广州海关技术中心, 国家食品接触材料检测重点实验室(广东), 广州 510623]

摘要: **目的** 建立气相色谱-氢火焰离子化检测器法(gas chromatography-flame ionization detector, GC-FID)测定异山梨醇改性聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)制品中异山梨醇迁移量的方法。**方法** 考察不同色谱条件对目标物异山梨醇分离度的影响, 选择 HP-5 作为分离柱, 260 °C 为进样口温度; 考察不同前处理方法对浸泡液中异山梨醇提取的效果, 橄榄油浸泡液经甲醇提取、正己烷净化并过滤后上机分析, 95%乙醇和异辛烷浸泡液经过滤后直接上机测定, 其他食品模拟物浸泡液用甲醇稀释后直接上机分析; 外标法定量。**结果** 异山梨醇在 2.5~40.0 mg/L(水性模拟物)、0.6~10.0 mg/L(油脂替代溶剂模拟物)和 1.5~25.0 mg/kg(油脂模拟物)浓度范围内具有良好的线性关系, 相关系数均大于 0.995, 该方法对异山梨醇迁移量的检出限为 0.8 mg/kg(水性模拟物)、0.2 mg/kg(油脂替代溶剂模拟物)和 0.5 mg/kg(油脂模拟物), 定量限为 2.5 mg/kg(水性模拟物)、0.6 mg/kg(油脂替代溶剂模拟物)和 1.5 mg/kg(油脂模拟物), 加标回收率为 92.0%~112.3%, 相对标准偏差为 0.2%~4.3% (n=6)。**结论** 该方法线性关系良好, 精密度、灵敏度和准确度高, 能够满足改性 PET 制品中异山梨醇迁移量的检测需求。

关键词: 异山梨醇; 迁移量; 改性聚对苯二甲酸乙二醇酯; 食品接触材料; 气相色谱法

Determination of the migration of isosorbide in isosorbide modified polyethylene terephthalate products by gas chromatography

WU Ze-Chun, ZENG Ying, MO Dan-Ping, LI Dan*

[Guangzhou Customs District Technology Center (IQTC), National Reference Laboratory for Food Contact Material (Guangdong), Guangzhou 510623, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of migration of isosorbide in isosorbide modified polyethylene terephthalate (PET) products by gas chromatography-flame ionization detector (GC-FID).

Methods The effects of different chromatographic conditions on the separation of isosorbide were investigated.

收稿日期: 2024-10-22

第一作者: 吴泽春(1995—), 男, 工程师, 主要研究方向为食品接触材料污染物检测。E-mail: wuzc@iqtc-fcm.com

*通信作者: 李丹(1973—), 男, 研究员, 主要研究方向为食品接触材料安全检测。E-mail: macroground@126.com

HP-5 was selected as the separation column and 260 °C was selected as the injection port temperature. The effects of different pretreatment methods on the extraction of isosorbide from food simulants were investigated. The olive oil food simulant was extracted with methanol, purified with n-hexane and filtered before analyzed. The 95% ethanol and isooctane simulants were directly analyzed by the machine after filtered. Other food simulants were diluted with methanol and then directly analyzed by the machine. The external standard method was used for quantification.

Results Isosorbide had a good linear relationship in the range of 2.5–40.0 mg/L (aqueous food simulants), 0.6–10.0 mg/L (substitute simulants) and 1.5–25.0 mg/kg (fatty food simulants), and the correlation coefficient was above 0.995. The limit of detection of this method for the migration of isosorbide was 0.8 mg/kg (aqueous food simulants), 0.2 mg/kg (substitute simulants) and 0.5 mg/kg (fatty food simulants). The limit of quantification was 2.5 mg/kg (aqueous food simulants), 0.6 mg/kg (substitute simulants) and 1.5 mg/kg (fatty food simulants). The spiked recoveries were 92.0%–112.3%, and the relative standard deviation was 0.2%–4.3% ($n=6$). **Conclusions** This method has good linearity, high precision, sensitivity and accuracy, and can meet the detection requirements of isosorbide migration in modified PET products.

KEY WORDS: isosorbide; migration; modified polyethylene terephthalate; food contact material; gas chromatography

0 引言

聚对苯二甲酸乙二醇酯(polyethylene terephthalate, PET)是饮用水和饮料行业常用的塑料类包装材料^[1-5]。但由于 PET 的玻璃化转变温度 T_g 较低(80 °C)^[6-10], 耐热性较差, 热灌装温度较高时易发生收缩变形^[11]; 而用异山梨醇(即 1,4:3,6-二脱水山梨醇)对 PET 进行改性后, 耐热性能得到显著改善^[12-15]。目前, 修订后新版的 GB 4806.7—2023《食品安全国家标准 食品接触用塑料材料及制品》对食品接触用异山梨醇改性的 PET 材料给出了明确的限量要求: 异山梨醇特定迁移量限量不得超过 5 mg/kg。但目前尚未见有食品接触材料中异山梨醇迁移量的检测方法标准。

目前, 关于异山梨醇的检测方法研究主要集中在药品分析领域^[16], 采用的分析方法主要采用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法^[17-18]。但这些方法仅适用于基质相对简单的药品, 而食品接触材料所用的模拟物种类多, 基质复杂(如植物油)^[19-21], 难以采用文献报道所用的样品前处理方法。针对异山梨醇沸点不高(175 °C)^[22]、具有一定的挥发性、以及对热稳定的特点^[23-24], 本研究采用气相色谱-氢火焰离子化检测器(gas chromatography-flame ionization detector, GC-FID)检测异山梨醇的迁移量。同时, 由于油脂类模拟物的基质复杂, 本研究还对油脂类模拟物的前处理步骤包括提取溶剂与净化方法进行优化。本研究建立异山梨醇迁移量的 GC 测定方法, 并将该方法应用于实际样品检测, 考察异山梨醇的迁移水平, 以期为食品接触材料中异山梨醇的风险管控提供有效可靠的技术支持。

1 材料与amp;方法

1.1 仪器、材料与试剂

8890 型气相色谱仪(配 FID 检测器)、HP-5 色谱柱(30 m×0.32 mm, 0.25 μm)、DB-624 色谱柱(30 m×0.32 mm, 0.25 μm)、HP-INNOWAX 色谱柱(30 m×0.32 mm, 0.25 μm)(美国 Agilent 公司); XW-80A 型涡旋混合器(上海医科大学仪器厂); XSR 分析天平(精度 0.1 mg, 瑞士梅特勒-托利多公司); HHitech 超纯水系统(上海和泰有限公司)。

8 款异山梨醇改性 PET 食品接触制品均购自网络平台。

异山梨醇(纯度 99%, 上海安谱公司); 甲醇、正己烷、异辛烷、甲基叔丁基醚(色谱纯, 德国 Merck 公司); 橄榄油(分析纯, 上海麦克林试剂公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 异山梨醇迁移量标准溶液的配制

称取适量的异山梨醇, 用甲基叔丁基醚配制成质量浓度为 1000 mg/L 的标准储备液。然后用基质匹配法, 取各种不同的食品模拟物对标准储备液进行逐级稀释, 配制成各种食品模拟物的标准工作溶液, 具体配制步骤如下:

对于橄榄油模拟物: 在 5 个 30 mL 试管中分别称取(5.0±0.1) g 橄榄油, 再分别加入 12.5、25.0、50.0、100.0、200.0 μL 标准储备液, 混匀, 配制成浓度分别为 2.5、5.0、10.0、20.0、40.0 mg/kg 的橄榄油标准工作溶液。

对于 4%乙酸、10%乙醇、50%乙醇、95%乙醇和异辛烷等其他食品模拟物: 分别向 5 个 10 mL 容量瓶内分别加入 25.0、50.0、100.0、200.0、400.0 μL 标准储备液, 再用相应的食品模拟物稀释并定容到 10 mL, 配制成质量浓度分别为 2.5、5.0、10.0、20.0、40.0 mg/L 的标准工作溶液。

1.2.2 迁移试验

按照 GB 31604.1—2023《食品安全国家标准 食品接触材料及制品迁移试验通则》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》的规定对样品进行迁移试验, 取迁移试验后得到的浸泡液用于分析。

1.2.3 浸泡液的前处理方法与仪器条件

(1) 迁移试验模拟物样品处理

对于橄榄油浸泡液, 称取(2.0±0.1) g 模拟物置于玻璃试管中, 加入 2 mL 甲醇, 涡旋 1 min 后, 将下层清液转移至另一洁净玻璃试管中, 加入 2 mL 正己烷, 涡旋振荡 5 min 后, 弃去上层的正己烷层, 保留下层清液, 重复操作 3 次后, 取下层清液, 用 0.45 μm 有机相滤膜过滤至 2 mL 进样瓶中, 待上机测定。

对于水基食品模拟物(水、4%乙酸、10%乙醇、20%乙醇和 50%乙醇), 准确移取 2 mL 迁移试验后所得浸泡液于 10 mL 容量瓶内, 用甲醇定容到刻度, 混匀, 过滤至玻璃进样小瓶中, 待上机测定。

对于异辛烷和 95%乙醇浸泡液, 取 1 mL 直接过滤到进样小瓶中, 待上机测定。

(2) 色谱条件

色谱柱: HP-5 毛细管色谱柱(30 m×0.32 mm, 0.25 μm); 载气为氮气, 流速 1.5 mL/min, 不分流进样; 进样口温度: 260 °C; 柱温: 初始温度 80 °C、保持 1 min, 20 °C/min 升至 260 °C, 保持 3 min; 进样量: 1 μL。样品溶液与异山梨醇标准品的色谱峰在相同保留时间处(±0.5%)出现, 可定性为异山梨醇。建立标准曲线, 用外标法定量。

1.3 数据处理

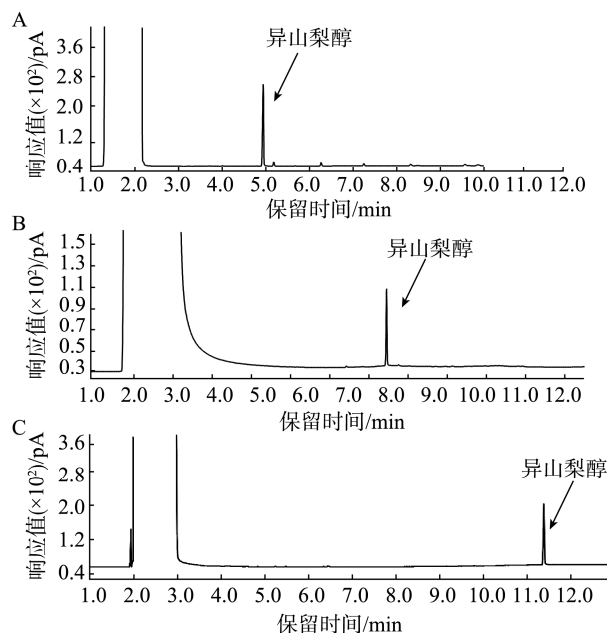
所有样品平行测定 3 次, 取 3 次测试平均值。数据使用 Agilent Open Lab CDS Data Analysis 2.5 软件进行定量分析, 使用 Origin 2020 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 条件优化

2.1.1 色谱柱的选择

用标准溶液考察目标物在非极性的 HP-5、中等极性的 DB-624 及强极性的 HP-INNOWax 3 种不同色谱柱^[25-27]上的出峰情况, 得到的色谱图如图 1 所示。结果表明, 相同升温程序下异山梨醇出峰时间随色谱柱极性增加而延后(在 3 种色谱柱上保留时间分别为 4.8、8.4、11.3 min); 在 DB-624 柱上溶剂峰的拖尾现象较为明显, 对目标物的峰形产生一定程度的影响; 在 HP-INNOWax 柱上则目标物的出峰时间偏后, 对于单种目标物测试来说仪器分析耗时偏长。因此综合考虑, 选择非极性的 HP-5 色谱柱作为分离柱。



注: A. HP-5 柱; B. DB-624 柱; C. HP-INNOWax 柱。

图 1 不同色谱柱上异山梨醇的气相色谱图

Fig.1 Gas chromatograms of isosorbide on different chromatographic columns

2.1.2 橄榄油浸泡液提取溶剂的选择

分别使用水、乙腈、甲醇、丙酮及乙酸乙酯等不同溶剂, 考察对橄榄油浸泡液中异山梨醇的提取效果。结果表明, 极性较强的水、乙腈及甲醇与橄榄油会出现分层, 而中等极性的丙酮和乙酸乙酯会与橄榄油互溶(现象见表 1)。用水作提取溶剂会将较多的水引入色谱柱, 影响色谱柱的使用寿命^[28], 且提取效率不及甲醇和乙腈。比较甲醇和乙腈的提取效率, 发现甲醇的提取效率较乙腈更高, 且使用甲醇的成本较乙腈更低, 因此选用甲醇作为提取溶剂。

表 1 不同溶剂对油脂模拟物的提取现象及效果

Table 1 Extraction phenomena and effects of different solvents on oil simulants

提取溶剂	水	乙腈	甲醇	丙酮	乙酸乙酯
试验现象	分层	分层	分层	互溶	互溶
提取效率	低	高	高	/	/

注: /表示溶剂互溶无法比较提取效率, 表 2 同。

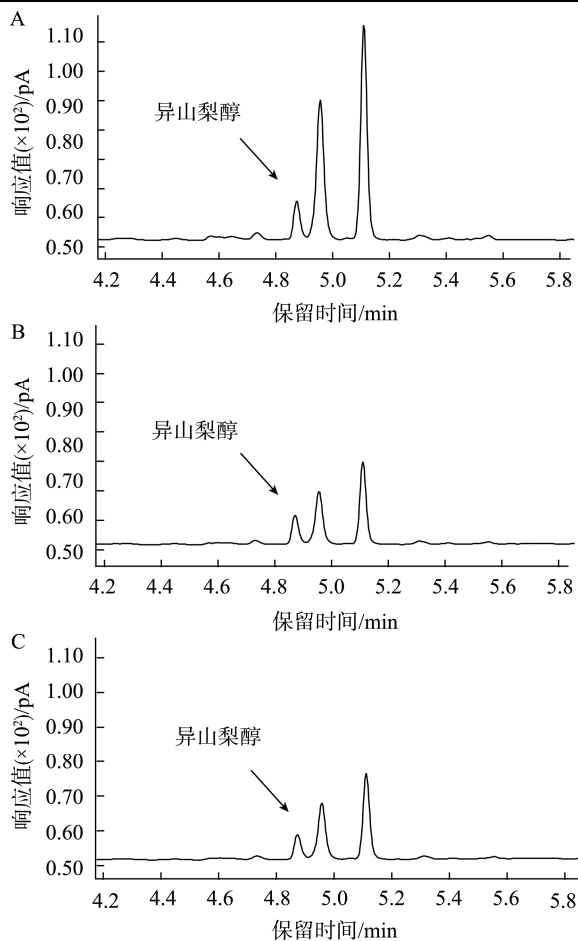
2.1.3 对橄榄油提取后浸泡液的净化

从图 2A 可见, 使用甲醇对橄榄油浸泡液进行提取时, 在目标物色谱峰附近有较明显的干扰峰出现, 经气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)鉴别, 主要为橄榄油中的油酸及脂肪酸甲酯等杂质^[29-30], 因此考虑用有机溶剂对甲醇提取液进行洗涤净化以减少进入色谱系统的杂质组分。分别用丙酮、乙酸乙酯、异辛烷及正己烷等不同种类的常用溶剂, 对甲醇提取液进行涡旋振荡提取, 试验现象见表 2。由于丙酮和乙酸乙酯无法与甲

醇分层,因此不予考虑。对正己烷和异辛烷提取净化后的溶液,取上层清液用 GC-FID 法测定,发现异辛烷及正己烷净化效果较为接近,杂质峰降低均较为明显(图 2),能有效减少油脂模拟物中的杂质组分进入色谱系统,避免进样口和色谱柱受到污染。但由于正己烷的使用成本较异辛烷更低,因此选择正己烷作为净化剂。

表 2 不同溶剂对橄榄油提取液的提取现象及净化效果
Table 2 Extraction phenomena and purification effects of different solvents on olive oil extract

提取溶剂	丙酮	乙酸乙酯	异辛烷	正己烷
试验现象	互溶	互溶	分层	分层
净化效果	/	/	好	好



注: A. 净化前; B. 异辛烷净化后; C. 正己烷净化后。

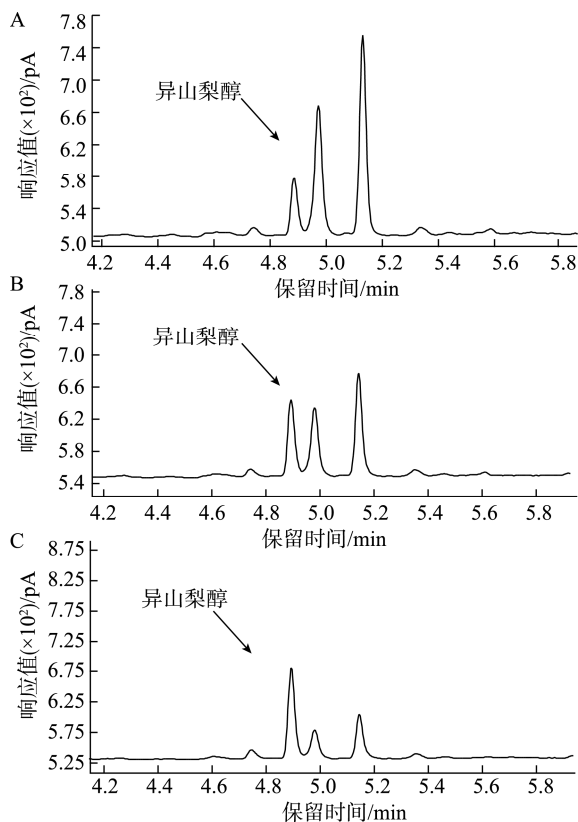
图 2 使用不同溶剂对橄榄油模拟物甲醇提取液净化前后异山梨醇的气相色谱图

Fig.2 Gas chromatograms of isosorbide before and after purification of the methanol extract of olive oil simulant using different solvents

通过试验发现,用正己烷进行 3 次净化后,杂质峰相对于目标物的峰强度已显著减小,对目标物色谱峰已无明显干扰(图 3),表明进入色谱系统的杂质组分已显著减少,因此选择进行 3 次净化。

2.1.4 进样口温度的优化

对同一浓度的标准溶液,分别从 200~300 °C 设置不同的进样口温度,考察进样口温度对目标物响应值的影响。得到的响应值随进样口温度的变化情况如图 4 所示。结果表明响应值会随进样口温度的升高而增加,但当进样口温度达到 260 °C 以后,响应值基本上不再增加,而且在 300 °C 时还会呈现下降趋势。因此选择 260 °C 作为进样口温度。



注: A. 1 次净化; B. 2 次净化; C. 3 次净化。

图 3 正己烷对橄榄油模拟物甲醇提取液不同净化次数的异山梨醇的气相色谱图

Fig.3 Gas chromatograms of isosorbide after different purification times of the methanol extract of olive oil simulant with n-hexane

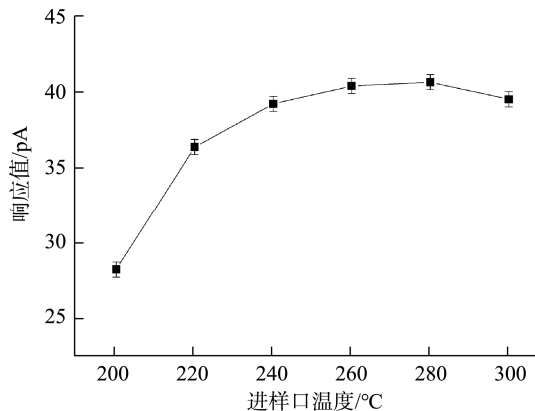


图 4 不同进样口温度下异山梨醇的仪器响应值变化
Fig.4 Variation of instrument response value of isosorbide at different inlet temperatures

2.2 方法学验证

2.2.1 线性范围、检出限与定量限

以标准工作溶液中异山梨醇的峰面积为纵坐标(Y), 对应的质量浓度为横坐标(X, mg/L 或 mg/kg)进行线性回归, 绘制标准工作曲线。在 2.5~40.0 mg/L(水性模拟物)、0.6~10.0 mg/L(油脂替代溶剂模拟物)和 1.5~25.0 mg/kg(油脂模拟物)浓度范围内, 相关系数 $r^2 \geq 0.995$, 峰面积与浓度呈良好线性关系。各模拟物的线性方程与 r^2 见表 3。取不含目标化合物的改性 PET 阴性样品进行迁移试验, 向迁移试验后的浸泡液中加标。按 1.2.3 对加标后的浸泡液进行前处理和仪器分析。以信噪比 $S/N=3$ 时的浓度作为方法检出限, $S/N=10$ 时的浓度作为方法定量限, 可得到目标物在各食品模拟物浸泡液中的

检出限为 0.8 mg/kg(水性模拟物)、0.2 mg/kg(油脂替代溶剂模拟物)和 0.5 mg/kg(油脂模拟物), 定量限为 2.5 mg/kg(水性模拟物)、0.6 mg/kg(油脂替代溶剂模拟物)和 1.5 mg/kg(油脂模拟物)。结果表明, 该方法的灵敏度能满足产品标准 GB 4806.7—2023 对异山梨醇迁移量的限值要求。

2.2.2 回收率与精密度

取不含目标化合物的改性 PET 阴性样品进行迁移试验后得到的浸泡液, 分别进行高、中、低 3 浓度水平加标, 每个浓度水平平行添加 6 份, 测得的回收率及相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)见表 4。结果表明, 回收率在 92.0%~112.3%之间, RSDs 范围为 0.2~4.3%, 表明方法具有较好的准确度和精密度。

表 3 回归方程、线性范围及相关系数

Table 3 Regression equations, linear ranges and correlation coefficients

模拟物	回归方程	相关系数(r^2)	线性范围	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
4%乙酸	$Y=0.7301X-0.0918$	0.9999	2.5~40.0	0.8	2.5
10%乙醇	$Y=0.7492X-0.1487$	0.9999	2.5~40.0	0.8	2.5
50%乙醇	$Y=0.7257X-0.0032$	0.9999	2.5~40.0	0.8	2.5
95%乙醇	$Y=3.9110X-0.8096$	0.9998	0.6~10.0	0.2	0.6
异辛烷	$Y=2.7444X-2.4526$	0.9993	0.6~10.0	0.2	0.6
橄榄油	$Y=5.0636X+1.3383$	0.9994	1.5~25.0	0.5	1.5

注: 橄榄油线性范围单位为 mg/kg, 其他模拟物均为 mg/L。

表 4 不同模拟物中异山梨醇的回收率及 RSDs

Table 4 Recoveries and RSDs of isosorbide in different simulants

模拟物	加标量/(mg/kg)	回收率/%	RSDs/%
4%乙酸	2.5	92.0~100.2	3.7
	10.0	92.5~100.4	3.2
	20.0	99.6~100.1	0.2
10%乙醇	2.5	93.8~103.3	4.3
	10.0	96.6~100.1	1.1
	20.0	99.8~100.2	1.0
50%乙醇	2.5	94.1~102.1	3.8
	10.0	95.8~102.7	2.3
	20.0	99.8~101.8	0.2
95%乙醇	2.5	92.0~108.7	2.7
	10.0	99.8~100.2	0.4
	20.0	99.7~100.4	0.4
异辛烷	2.5	94.0~104.3	1.9
	10.0	99.6~101.3	0.9
	20.0	99.6~100.2	0.8
橄榄油	2.5	102.1~112.3	3.2
	10.0	97.8~102.4	1.3
	20.0	104.8~106.3	0.2

2.3 实际样品分析

利用本方法对 8 款改性 PET 实际样品中异山梨醇的迁移量进行测试, 在其中一款样品(6#)中检出了异山梨醇迁移量, 检测结果如表 5 所示。图 5 为样品 6#的色谱图。

表 5 实际样品检测结果

Table 5 Test results of real samples

样品编号与名称	测试条件	使用场景	样品异山梨醇迁移量/(mg/kg)
1#透明蓝色壶身	3%乙酸, 40 °C, 3 d	可重复性使用	1st: N.D.; 2nd: N.D.; 3rd: N.D.
2#塑料杯	10%乙醇, 40 °C, 3 d	可重复性使用	1st: N.D.; 2nd: N.D.; 3rd: N.D.
3#塑料瓶	10%乙醇, 40 °C, 10 d	一次性使用	N.D.
4#黄色 PET 瓶	50%乙醇, 40 °C, 10 d	一次性使用	N.D.
5#吸管杯	50%乙醇, 40 °C, 10 d	一次性使用	N.D.
6#塑料瓶	50%乙醇, 60 °C, 10 d	一次性使用	2.8
7#黄色 PET 瓶	50%乙醇, 60 °C, 10 d	一次性使用	N.D.
8#PET 瓶	10%乙醇, 60 °C, 10 d	一次性使用	N.D.

注: 1#和 2#样品(可重复使用)检测结果中的 1st、2nd 和 3rd 分别表示第一次、第二次和第三次迁移试验得到的测试结果; N.D.代表未检出。

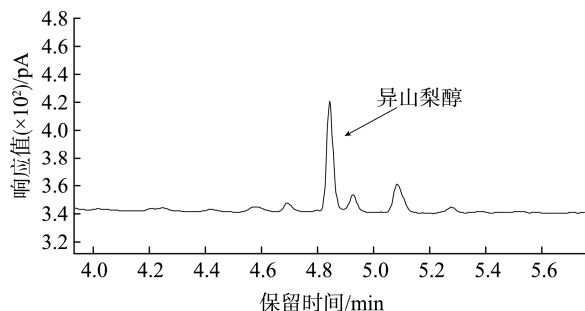


图 5 实际样品 6# 在 50% 乙醇中的气相色谱图

Fig.5 Gas chromatogram of real sample 6# in 50% ethanol

3 结论

本研究建立了 GC-FID 对改性 PET 中异山梨醇迁移量的测定方法, 模拟物包括 4% 乙酸、10% 乙醇、95% 乙醇、异辛烷和橄榄油。该方法线性关系良好, 精密性、灵敏度和准确度高, 能够满足改性 PET 制品中异山梨醇迁移量的检测需求, 可用于改性 PET 制品的安全监管与产品质量控制。

参考文献

- NISTICÒ R. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry [J]. *Polymer Testing*, 2020, 90: 106707.
- PIERGIOVANNI L, LIMBO S, PIERGIOVANNI L, *et al.* Food packaging materials [M]. Switzerland: Springer Cham, 2016.
- WEBB HK, ARNOTT J, CRAWFORD RJ, *et al.* Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly (ethylene terephthalate) [J]. *Polymers*, 2012, 5(1): 1–18.
- WELLE F, SCHMELZLE IA. Packaging material made from polyethylene terephthalate (PET) [Z]. 2016.
- UBEDA S, AZNAR M, NERIN C. Determination of oligomers in virgin and recycled polyethylene terephthalate (PET) samples by UPLC-MS- QTOF [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2018, 410(9): 2377–2384.
- DE-CLERCK K, RAHIER H, VAN-MELE B, *et al.* Thermal properties relevant to the processing of PET fibers [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, 89(14): 3840–3849.
- CHEN D, ZACHMANN HG. Glass transition temperature of copolyesters of PET, PEN and PHB as determined by dynamic mechanical analysis [J]. *Polymer*, 1991, 32(9): 1612–1621.
- KONG Y, HAY JN. Miscibility and crystallisation behaviour of poly (ethylene terephthalate)/polycarbonate blends [J]. *Polymer*, 2002, 43(6): 1805–1811.
- TSOCHATZIS ED, ALBERTO LJ, DEHOUCK P, *et al.* Proficiency test on the determination of polyethylene and polybutylene terephthalate cyclic oligomers in a food simulant [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020, 23: 100441.
- 许娜, 黄英杰, 常南. 不同种类食品塑料包装膜阻隔性能分析[J]. *新农业*, 2019(9): 5–6.
XI N, HUANG YJ, CHANG N. Analysis of barrier performance of different types of food plastic packaging film [J]. *Xin Nongye*, 2019(9): 5–6.
- CULBERT B. *Christel modern polyesters: Chemistry and technology of polyesters and copolyesters* [M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- PARK S, THANAKKASARANEE S, SHIN H, *et al.* Pet/bio-based terpolyester blends with high dimensional thermal stability [J]. *Polymers*, 2021, 13(5): 728.
- SHIN H, PARK S, THANAKKASARANEE S, *et al.* Applicability of newly developed PET/bio-based polyester blends for hot-filling bottle [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2021, 30: 100757.
- PARK S, THANAKKASARANEE S, SHIN H, *et al.* Pet/bio-based terpolyester blends with high dimensional thermal stability [J]. *Polymers*, 2021, 13(5): 728.
- WANG YN, GAO X, LIU BJ, *et al.* Identification of chemicals in a polyvinyl chloride/polyethylene multilayer film by ultra-high-performance liquid chromatography/ quadrupole time-of-flight mass spectrometry and their migration into solution [J]. *Journal of Chromatography A*, 2020, 1625: 461274.
- ROSE M, PALKOVITS R. Isosorbide as a renewable platform chemical for versatile applications-quo vadis? [J]. *ChemSusChem*, 2012, 5(1): 167–176
- 王飞龙, 赵海桥, 刘存领. HPLC 法测定异山梨醇的含量[J]. *药学研究*, 2012, 31(8): 464–465.
WANG FL, ZHAO HQ, LIU CL. Determination of isosorbide by HPLC [J]. *Journal of Pharmaceutical Research*, 2012, 31(8): 464–465.
- FLÈCHE G, HUCHETTE M. Isosorbide. Preparation, properties and chemistry [J]. *Starch-Stärke*, 1986, 38(1): 26–30.
- SIMONEAU C. Guidelines on testing conditions for articles in contact with foodstuffs [Z]. 2009.
- BELDI G, JAKUBOWSKA N, ROBOUCH P, *et al.* Testing conditions for kitchenware articles in contact with foodstuffs-part 1: Plastics [Z]. 2019.
- BELDI G, SENALDI C, ROBOUCH P, *et al.* Testing conditions for kitchenware articles in contact with foodstuffs: Plastics metals, silicone & rubber, paper & board [M]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023.
- FENOUILLOT F, ROUSSEAU A, COLOMINES G, *et al.* Polymers from renewable 1,4:3,6-dianhydrohexitols (isosorbide, isomannide and isoidide): A review[J]. *Progress in Polymer Science*, 2010, 35(5): 578–622.
- FLETCHER JRHG, GOEPP JRRM. Hexitol anhydrides; 1,4,3,6-dianhydro-1-iditol and the structures of isomannide and isosorbide [J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1946, 68(6): 939–941.
- WEINLAND DH, VAN-PUTTEN RJ, GRUTER GJM. Evaluating the commercial application potential of polyesters with 1,4:3,6-dianhydrohexitols (isosorbide, isomannide and isoidide) by reviewing the synthetic challenges in step growth polymerization [J]. *European Polymer Journal*, 2022, 164: 110964.
- 葛琨, 胡玉玲, 李攻科. 食品接触材料样品前处理和检测方法研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(14): 4451–4460.
GE K, HU YL, LI GK. Research progress on sample pretreatment and detection methods of food contact materials [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(14): 4451–4460.
- 蔡翔宇, 陈璐, 吴玉杰, 等. 高效液相色谱-串联质谱法同时测定聚对苯二甲酸乙二醇酯/聚乙烯复合食品接触材料中 16 种抗氧化剂特定迁移量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(15): 5974–5982.
CAI XY, CHEN L, WU YJ, *et al.* Simultaneous determination of specific migration limits of 16 kinds of antioxidants in food contact polyethylene glycol terephthalate/polyethylene composite materials by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(15): 5974–5982.
- HÉBERGER K, ZENKEVICH IG. Comparison of physicochemical and gas chromatographic polarity measures for simple organic compounds [J]. *Journal of Chromatography A*, 2010, 1217(17): 2895–2902.
- JONES S, VICKERS A, SINNOTT M. Practical guidelines in the care and maintenance of capillary GC columns [J]. *LC GC Europe*, 2007, 20(7): 390–398.
- GONZÁLEZ DLG, APARICIO RN, APARICIO-RUIZ R, *et al.* Food integrity handbook: A guide to food authenticity issues and analytical solutions [M]. Nantes: Eurofins Analytics France, 2018.
- MAESTRI D, BARRIONUEVO D, BODOIRA R, *et al.* Nutritional profile and nutraceutical components of olive (*Olea europaea* L.) seeds [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 56: 4359–4370.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)