

高效液相色谱-蒸发光散射法分析动物油脂 种属特征

杨金部, 金明*, 田秀, 辛明星, 孙伟, 牛宏亮, 袁辉

(甘肃省轻工研究院有限责任公司, 兰州 730000)

摘要: **目的** 分析确定5种动物油脂的甘油三酯种属特征。**方法** 采集5种常见动物油脂(猪、牛、羊、鸡、鸭), 用丙酮提取后直接进样分析, 采用高效液相色谱-蒸发光散射法(high performance liquid chromatography - evaporative light scattering method, HPLC-ELSD), 色谱柱为C₁₈柱, 流动相为二氯甲烷-乙腈-冰乙酸(30:70:0.2, V/V/V), 流速1.0 mL/min, 柱温35 °C, 蒸发光散射检测器检测。**结果** 在本文所优化的动物油脂高效液相色谱-蒸发光散射分析条件下, 10种甘油三酯组分都能够得到有效分离, 5种动物油脂的谱图数据特征性强, 且有自己的特征峰, 同种属动物油脂谱图相似性高。**结论** 甘油三酯可以作为鉴定这5种动物油脂种属的依据, 为市场打假及清真食品检验提供参考方法。

关键词: 甘油三酯; 动物油脂; 高效液相-蒸发光散射法

Analysis species characteristics of animal oils by high performance liquid chromatography-evaporative light scattering method

YANG Jin-Bu, JIN Ming*, TIAN Xiu, XIN Ming-Xing, SUN Wei, NIU Hong-Liang, YUAN Hui

(Gansu Light Industry Research Institute Co. Ltd, Lanzhou 730000, China)

ABSTRACT: Objective To analyze and determine the triglyceride characteristics of 5 kinds of animal fats and oils. **Methods** The five kinds of common animal fats (pig, cow, sheep, chicken, duck) were collected, extracted with acetone and analyzed by direct sample injection. High performance liquid chromatography-evaporative light scattering method (HPLC-ELSD) was used. The chromatographic column was C₁₈ column, the mobile phase was dichloromethane - acetonitrile - lacial acetic acid (30:70:0.2, V/V/V) and the flow rate was 1.0 mL/min with 35 °C column temperature, and detection by evaporative light scattering detector. **Results** Under the conditions of HPLC-ELSD of animal fats optimized in this paper, all the 10 triglyceride components could be separated effectively. Spectral data characteristics was strong about 5 animal fats. which have their own characteristic peak. The fats spectra of the same species are highly similar. **Conclusion** Triglyceride can be used as the basis for the identification of the 5 kinds of animal fat species, which provides a reference method to checkout anti-counterfeiting halal food inspection in the market.

KEY WORDS: triglyceride; fats; high performance liquid chromatography-evaporative light scattering method

基金项目: 甘肃省省青年科技基金计划(17JR5RA018)

Fund: Supported by Youth Science and Technology Fund Plan of Gansu Provincial (17JR5RA018)

*通讯作者: 金明, 高级工程师, 主要研究方向为食品分析检测。E-mail: jinming-1982@163.com

*Corresponding author: JIN Ming, Senior Engineer, Gansu Light Industry Research Institute Limited Liability Company, No.101, Jinchangnan Road, Chengguan District, Gansu 730000, China. E-mail: jinming-1982@163.com

1 引言

目前,市场上牛羊肉的需求量很大,有不少商贩只为自己的利益而添加猪肉、鸭肉、鸡肉等廉价肉制品,而且大量使用化学试剂掩盖其中不足来制造假牛肉卷、羊肉卷等,不仅仅威胁到消费者的生命健康,而且使清真食品的合法权益受到危害,更进一步加大涉假牛羊肉的检验难度^[1-3]。因此,建立一种科学、有效的动物油脂鉴定方法是至关重要的。

动物油脂的主要组分高级脂肪酸甘油酯,根据脂肪酸数目的不同,可分为单甘酯、二甘酯与三甘酯^[4]。生活中常见的牛油、羊油、猪油、鸡油、鸭油等,是从动物体内提取得到的油脂,一般为固体的,其成分主要是棕榈酸、硬脂酸的甘油三酸酯。由于种属不同,其甘油三酯的构成表现出一定的差异,每一种属动物油脂都有各自特征指标以及一定范围内的波动,我们以此可作为动物油脂种属鉴别的依据^[5-8]。

关于检测油脂组分的常用方法有气相色谱法^[9,10]、气质联用法^[11,12]、高效液相色谱法^[13,14]、高效液相色谱-蒸发光散射^[15-17]、薄层色谱、红外光谱法等^[18,19],本研究利用高效液相色谱-蒸发光散射法(high performance liquid chromatography - evaporative light scattering method, HPLC-ELSD)对猪、牛、羊、鸡、鸭等不同动物油脂中甘油三酯组分进行分析,通过色谱特征的差异性鉴别动物油脂种属,以期为清真食品、含不同动物油脂的食品和相关制品品质的检验提供参考依据。

2 材料与方法

2.1 实验原材料及试剂

实验原材料:猪、牛、羊、鸡、鸭、藏羊油脂样品各 10 份(动物油脂均为市购,取其腹部油脂,冷冻保存)。

实验试剂:甘油三酯标准品:1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(1-palmitic acid-2-oleic acid-3-glyceride stearate, POS)、1,2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(1,2 myristic acid-3-glycerol palmitate, MMP)、1,3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(1,3-oleic acid-2-glyceride of palmitate, OPO)、1,2 亚油酸-3-油酸甘油酯(1,2 linoleic acid-3-oleic glyceride, LLO)、1,2 亚油酸-3-棕榈酸甘油酯(1,2 linoleate-3-glyceride palmitate, LLP)、1-棕榈酸-2-亚油酸-3-硬脂酸甘油酯(1-palmitate-2-linoleate-3-glyceride stearate, PLSt)、1,2-棕榈酸-3-油酸甘油酯(1,2-palmitic acid-3-oleate, PPO)、1,2-硬脂酸-3-油酸甘油酯(1,2-stearate-3-oleate, StStO)、三油酸甘油酯(OOO)、1,2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(1,2-oleic acid-3-glyceride stearate,

OOST)(纯度 $\geq 96\%$, Larodan AB 公司);乙腈、二氯甲烷、丙酮(色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司)。

2.2 实验仪器

LC-2030C 液相色谱仪、ELSD-LT 蒸发光散射检测器(日本岛津公司)。

2.3 甘油三酯测定

2.3.1 甘油三酯标准的测定

准确称取标准品 POS、MMP、OPO、LLO、LLP、PLSt、PPO、StStO、OOO、OOST 各约 2.0 mg,分别置于 10.0 mL 容量瓶中,用丙酮溶解、定容,配制成甘油三酯标准品溶液,检测时分别吸取等量标准品溶液混合制成混合标准品溶液,混匀后进行 HPLC-ELSD 分析。

2.3.2 样品测定

称取猪、牛、羊、鸡、鸭、藏羊油脂样品各 100.0 mg,加入 2.0 mL 丙酮,室温下,超声 30 min 振荡辅助溶解,制成动物油脂溶液,过 0.45 μm 的过滤膜后分别进行 HPLC-ELSD 分析。

2.3.3 色谱条件^[2,15]

色谱柱: C₁₈ 柱(250 mm \times 4.6 mm, 5 μm); 流动相: (二氯甲烷-乙腈(30:70, V/V)); 检测器: (蒸发光散射检测器); 柱温: (35 $^{\circ}\text{C}$); 进样量: (10 μL); Gain: 8 ; filter: 6; GAS: 350 Pa。

2.4 数据处理与分析

每个实验组设 3 个平行,采用 Excel 2007 进行数据处理。

3 结果与分析

3.1 动物油脂 HPLC-ELSD 检测条件的选择

本文利用正交实验设计法以不同配比的二氯甲烷-乙腈、冰乙酸的浓度、漂移管温度、以及流动相流速为实验因素,采用恒定雾化载气流速,进行动物油脂 HPLC-ELSD 分析条件的选择。每个因素取三个水平,采取四因素三水平,应用正交设计表,组成 12 种 HPLC-ELSD 分析条件(见表 1)。实验结果表明,降低流动相乙腈的比例,对油脂中甘油三酯各组分的分离度没有显著影响,只是随着乙腈比例的减小,色谱峰的保留时间缩短,峰形变窄;加入冰乙酸后,能够很好地抑制油脂中游离脂肪酸的解离,增强其在固定相上的保留,当加入量浓度为 0.2%时,动物油脂中主要组分能够得到较好的分离;而漂移管温度 70 $^{\circ}\text{C}$ 时,油脂的响应值最高。因此确定动物油脂 HPLC-ELSD 分析检测的最佳条件是,流动相为二氯甲烷-乙腈-冰乙酸(30;70;0.2, V/V/V),流速 1.0 mL/min,漂移管温度: 70 $^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 四因素三水平实验设计表
Table 1 The experimental design table of four factors three levels

因素	水平			
	二氯甲烷-乙腈(V/V)	冰乙酸浓度/%	漂移管温度/°C	流速/(mL/min)
1	10:90	0.6	70	1.0
2	20:80	0.4	60	0.5
3	30:70	0.2	50	0.2

3.2 甘油三酯各组分的确认及线性关系考察

3.2.1 甘油三酯各组分的确认

在选定的最佳分析条件下, 配制混合标准溶液, 对甘油三酯混合标准品进行 HPLC-ELSD 分析, POS、MMP、OPO、LLO、LLP、PLSt、PPO、StStO、OOO、OOST 10 种甘油三酯标准均得到较好地分离(图 1)。

3.2.2 线性关系的考察

以甘油三酯浓度为横坐标, 对应峰面积为纵坐标, 绘制标准曲线, 线性关系见表 2。可以看出 10 种甘油三酯标准品在选定的最佳分析条件下, 线性关系良好。

表 2 甘油三酯的线性范围和线性方程
Table 2 The linear range and the linear equation of triglycerides

组分名称	线性方程	相关系数
OOO	$Y=26309X-45313$	$r^2=0.9993$
OPO	$Y=22856X-28718$	$r^2=0.9995$
OOST	$Y=17194X-39839$	$r^2=0.9970$
PLST	$Y=16273X-30933$	$r^2=0.9956$
LLP	$Y=15932X-45742$	$r^2=0.9953$
OPO	$Y=15781X-47205$	$r^2=0.9954$
POS	$Y=13362X-28326$	$r^2=0.9956$
STSTO	$Y=13188X-24367$	$r^2=0.9951$
LLO	$Y=6396.4X-5934.8$	$r^2=0.9986$
MMP	$Y=5190.8X-1998.7$	$r^2=0.9983$

3.3 动物油脂样品特征谱图分析

在选定的最佳 HPLC-ELSD 分析条件下对常见的 5 种动物油脂样品溶液进行检测。

3.3.1 常见家畜类动物油脂样品种属特征分析

对猪、牛、羊 3 种胎生家畜类脂肪所含的甘油三酯进行比较分析, 结果如图 2 所示。

由图 2 可见, 3 种不同种属家畜类动物油脂中甘油三酯的组成特征差异明显, 其中猪脂肪分离出 9 种甘油三酯分别是 1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(POS)、1, 2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(MMP)、1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)、1,2 亚油酸-3-油酸甘油酯(LLO)、1, 2 亚油酸-3-棕

桐酸甘油酯(LLP)、1-棕榈酸-2-亚油酸-3-硬脂酸甘油酯(PLSt)、1, 2-棕榈酸-3-油酸甘油酯(PPO)、三油酸甘油酯(OOO)、1,2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(OOST), 其中 1, 2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(MMP)、三油酸甘油酯(OOO)、1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)含量均较高。牛脂肪分离出 7 种甘油三酯分别是 1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(POS)、1, 2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(MMP)、1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)、1-棕榈酸-2-亚油酸-3-硬脂酸甘油酯(PLSt)、1, 2-棕榈酸-3-油酸甘油酯(PPO)、三油酸甘油酯(OOO)、1,2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(OOST), 其中 1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)含量最高。羊脂肪分离出 8 种甘油三酯分别是 1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(POS)、1, 2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(MMP)、1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)、1-棕榈酸-2-亚油酸-3-硬脂酸甘油酯(PLSt)、1, 2-棕榈酸-3-油酸甘油酯(PPO)、1,2-硬脂酸-3-油酸甘油酯(StStO)、三油酸甘油酯(OOO)、1,2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(OOST), 其中 1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)含量最高。从甘油三酯种类上讲, 猪脂、牛脂、羊脂甘油三酯种类数目分别是 9、7、8 种, 其中, 1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO) 相对含量均为最高, 1, 2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(MMP)和三油酸甘油酯(OOO)的相对含量在猪脂肪中较高, 但在牛脂肪和羊脂肪中含量并不高。猪脂肪中存在明显的 1,2 亚油酸-3-油酸甘油酯(LLO)、1, 2 亚油酸-3-棕榈酸甘油酯(LLP), 而牛羊脂肪中没有这两种特征峰。

3.3.2 家禽类动物油脂样品的种属特征分析

对鸡、鸭两种卵生动物油脂所含的甘油三酯进行比较分析, 结果如图 3 所示。

由图 3 可见, 两种不同种属家禽类动物油脂中甘油三酯的组成特征差异不显著, 鸡和鸭脂肪分离出 9 种甘油三酯, 且相同。分别是 1-棕榈酸-2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(POS)、1, 2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(MMP)、1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)、1,2 亚油酸-3-油酸甘油酯(LLO)、1, 2 亚油酸-3-棕榈酸甘油酯(LLP)、1-棕榈酸-2-亚油酸-3-硬脂酸甘油酯(PLSt)、1, 2-棕榈酸-3-油酸甘油酯(PPO)、三油酸甘油酯(OOO)、1,2-油酸-3-硬脂酸甘油酯(OOST)。从鸡和鸭脂肪的甘油三酯特征图可以看出, 鸭脂肪中 1, 2 豆蔻酸-3-棕榈酸甘油酯(MMP)、三油酸甘油酯(OOO)、1-棕榈酸-2-亚油酸-3-硬脂酸甘油酯(PLSt)的相对含量很高。鸡脂肪未分离出特征峰。

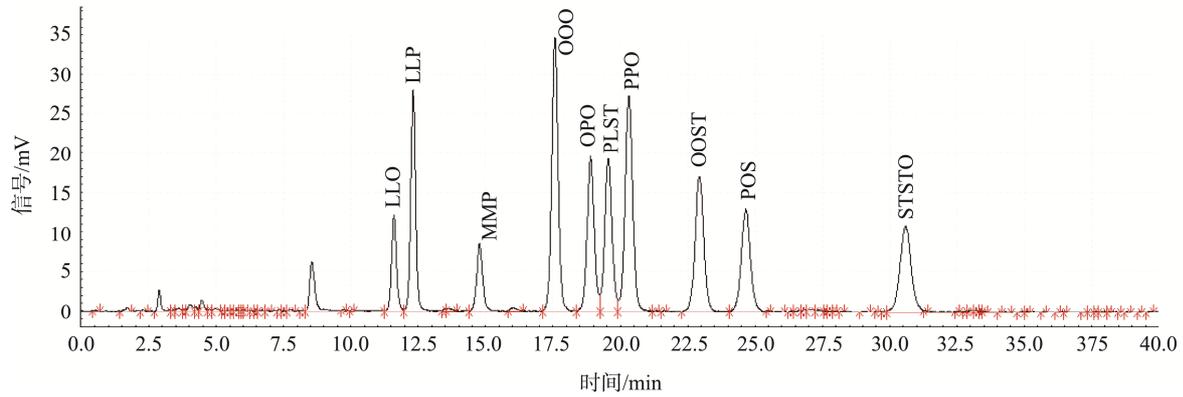
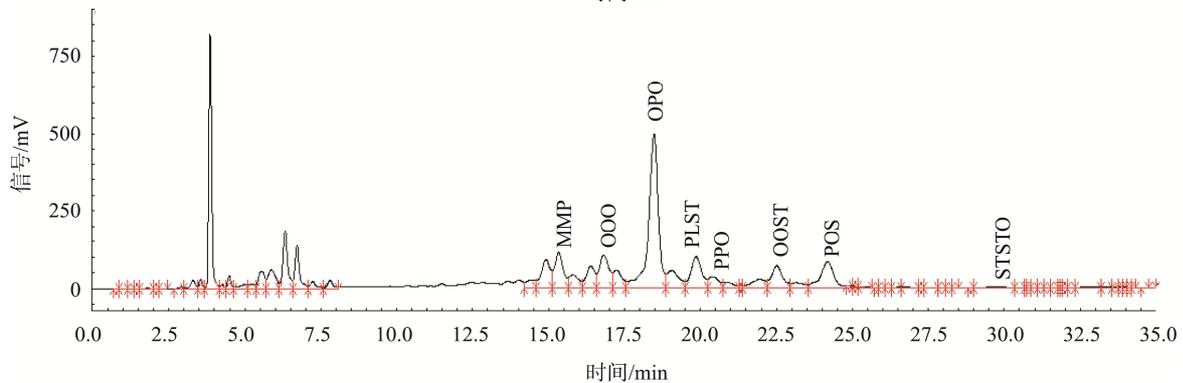
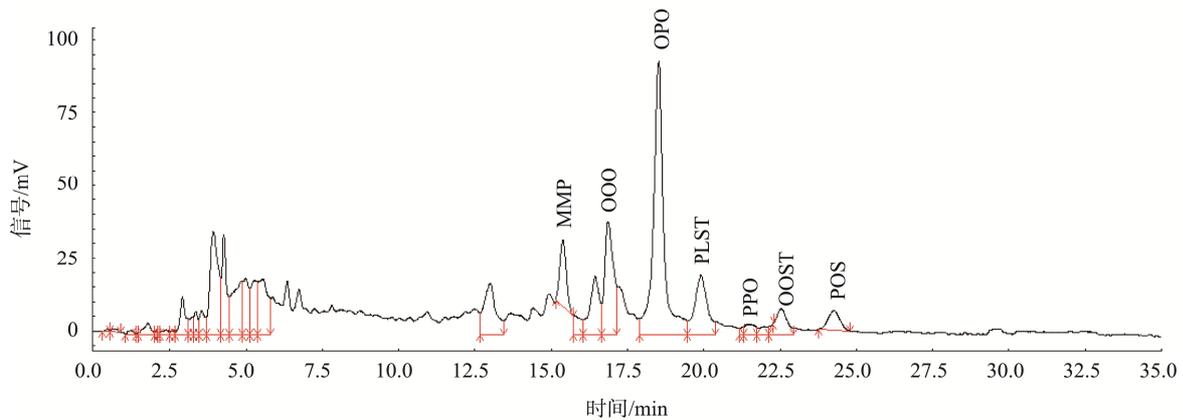
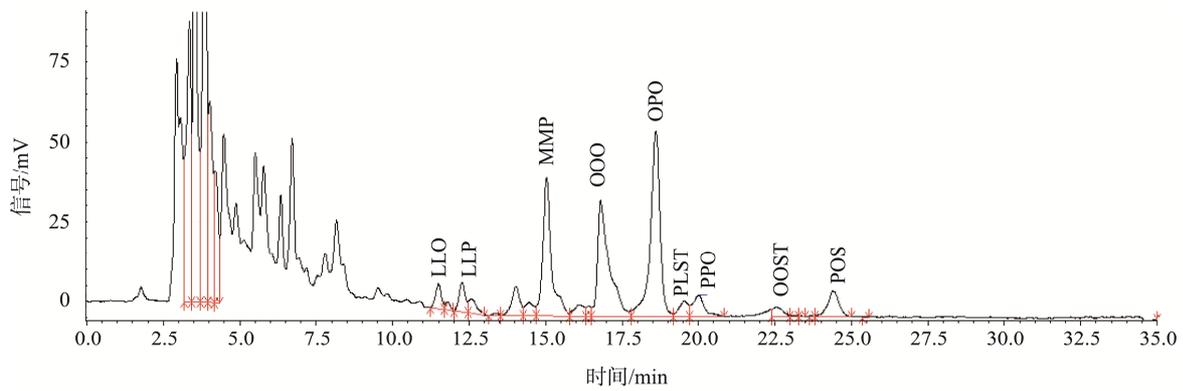


图 1 10 种甘油三酯标准品特征谱图

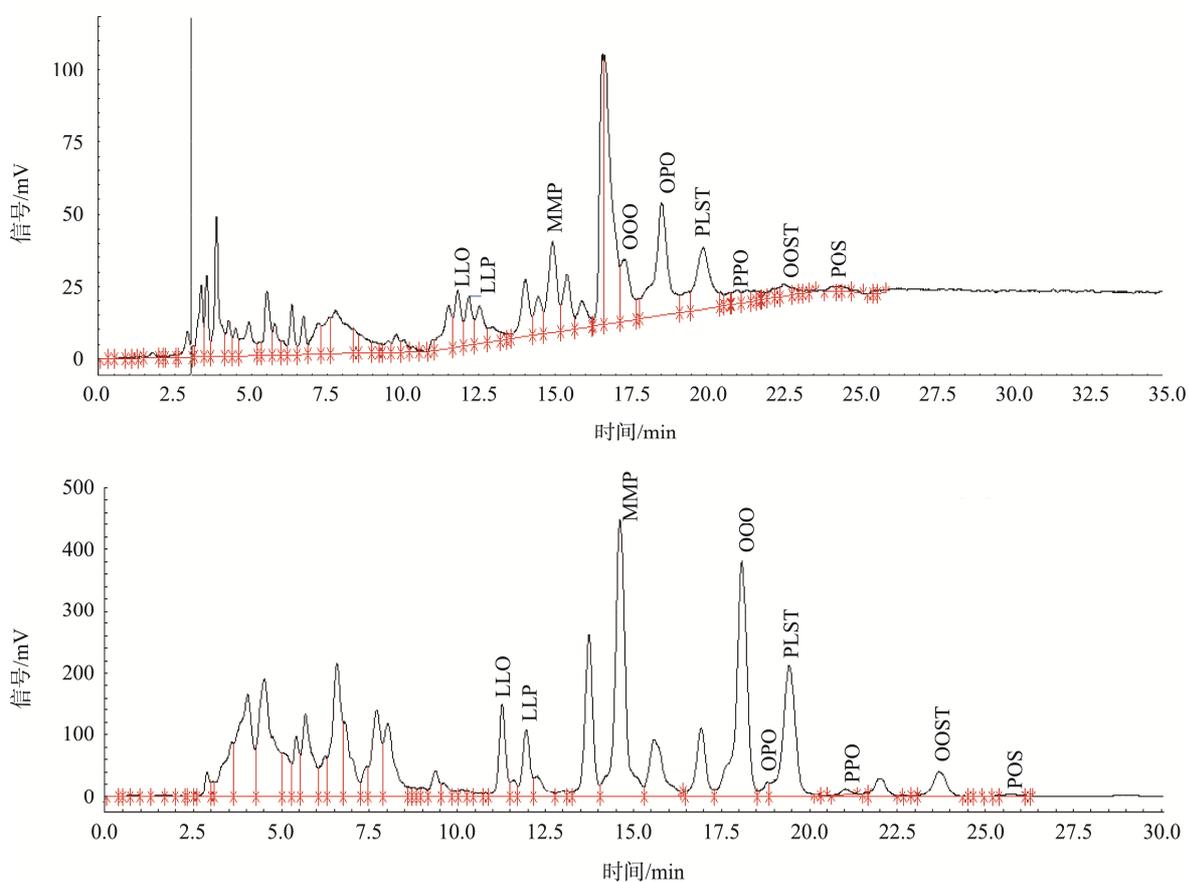
Fig.1 Chromatogram of mixture of 10 types of triglycerides's tandards by HPLC-ELSD



注: 2-1: 猪脂肪; 2-2: 牛脂肪; 2-3: 羊脂肪。

图 2 不同种属家畜类动物油脂甘油三酯特征图

Fig.2 Chromatogram of triglycerides of fats from different species of livestock by HPLC-ELSD



注: 3-1: 鸡脂肪; 3-2: 鸭脂肪

图 3 不同种属家禽类动物油脂甘油三酯特征图

Fig.3 Chromatogram of triglycerides of fats from different species of fowl by HPLC-ELSD

3.3.3 山羊肉与藏羊肉油脂样品特征谱图分析

对山羊肉和藏羊肉油脂所含的甘油三酯进行比较分析, 结果如图 4 所示。

由图 4 可见, 从山羊肉与藏羊肉油脂样品甘油三酯特征谱图可以看出两种油脂的谱图峰型特点高度相似,

均各自分离出 8 种甘油三酯且种类和数目均一致。其中 1, 3-油酸-2-棕榈酸甘油酯(OPO)含量最高, 1,2-硬脂酸-3-油酸甘油酯(StStO)含量最低。因此, 可以看出相同种属油脂的甘油三酯特征谱图特点具有一致性, 对于油脂掺假提供可靠证据。

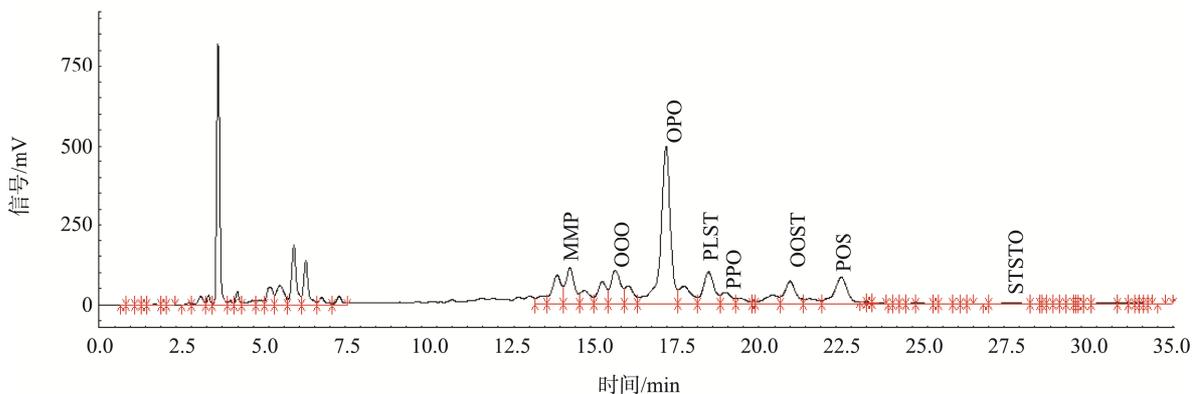
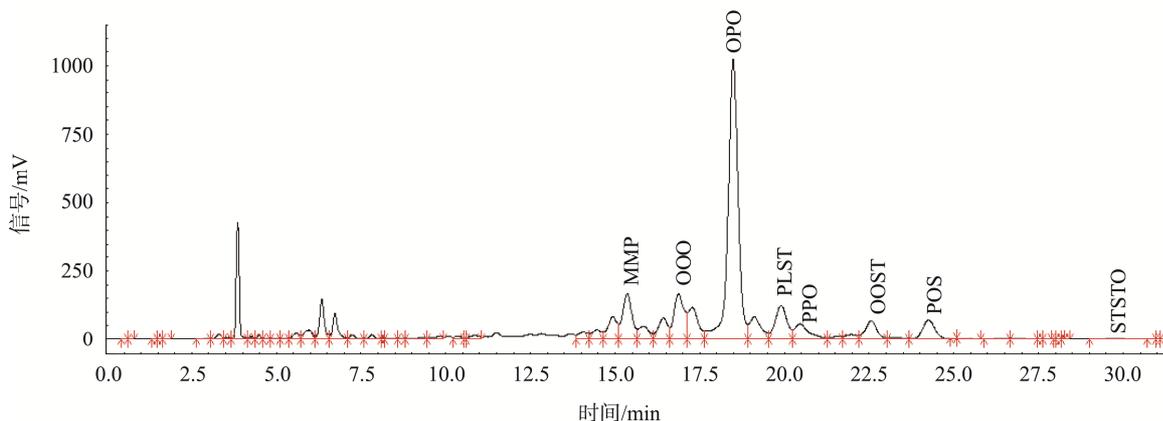


图 4 山羊肉与藏羊肉油脂样品甘油三酯特征谱图

Fig.4 Chromatogram of triglycerides of fats from different species of Goat meat and zang mutton by HPLC-ELSD



注:4-1: 山羊肉; 4-2: 藏羊肉。

续图 4 山羊肉与藏羊肉油脂样品甘油三酯特征谱图

Fig.4 Chromatogram of triglycerides of fats from different species of Goat meat and zang mutton by HPLC-ELSD

4 结 论

本论文采用所优化的动物油脂高效液相色谱-蒸发光散射分析条件,对 5 种常见动物油脂中各种甘油三酯组分得到了有效的分离分析,各动物油脂之间色谱特征谱图差异显著,每一种属动物油脂都有各自特征指标以及一定范围内的波动,同种属油脂的谱图峰型特点高度相似。现解决动物油脂掺假或制假问题的方法有气相色谱法,气相色谱-质谱联用法,高效液相色谱-蒸发光散射法等,根据脂肪酸或者甘油三酯色谱特征的差异性来判断。本文研究的方法灵敏度高,需要油脂样品量少,样品前处理简单方便,色谱特征差异明显,可以将该方法用于动物油脂种属的鉴别,为确定不同动物油脂的食品和相关制品品质的检验提供参考依据。

参考文献

- 赵鹏程. 打击危害食品安全犯罪中涉假动植物油脂的种属鉴别研究 [C]. 中国化学会第 30 届学术年会-第三十四分会: 公共安全化学. Zhao PC. A study on species identification of fats and plant oils involved in combating food safety crimes [C]. The 30th Annual Conference of the Chinese chemical society—Chapter 34: Public Safety Chem.
- 乔杰, 赵鹏程, 丁肇伟. 利用动物油脂种属鉴别方法进行涉假羊肉检验的适用性研究 [M]. 公共安全中的化学问题研究进展. Qiao J, Zhao PC, Ding ZW. Study on the applicability of the method of species identification of fats to the detection of fake-related mutton [M]. Progress on Chemical Problems in Public Safety.
- 乔杰, 赵鹏程, 许英健, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射法分析油脂物证种属特征 [J]. 刑事技术, 2015, (5): 400-403. Qiao J, Zhao PC, Xu YJ, *et al.* The characteristics of oil species were analyzed by high performance liquid chromatography—evaporative light scattering metho [J]. Forensic Sci Technol, 2015, (5): 400-403.
- 刘涛, 尹春华, 谭天伟. 高效液相色谱-蒸发光散射检测器测定脂肪酸和甘油酯的含量 [J]. 中国油脂, 2005, (9): 50-53. Liu T, Yin CH, Tan TW, *et al.* The contents of fatty acids and glycerides

were determined by high performance liquid chromatography—elsd detector [J]. Chin Oils and Fats, 2005, (9): 50-53.

- 张炳谦, 王季中, 孙桂进. 人体脂肪及动植物油脂的 GC-MS/MS 法分析 [J]. 中国人民公安大学学报 (自然科学版), 2004, (4): 10-12. Zhang BQ, Wang JZ, Sun GJ. GC-MS/MS analysis of human body fat and oils and fats [J]. J People's Public Security Univ China (Nat Sci Ed), 2004, (4): 10-12.
- 王继芬, 姚琳桃, 张桂霞. 痕量动物油和植物油的区分检验研究 [J]. 化学研究与应用, 2008, (11): 1514-1519. Wang JF, Yao LT, Zhang GX. Identification of trace fats and oil [J]. Chem Res Appl, 2008, (11): 1514-1519.
- 丁军凯, 范垂昌. 瞬时裂解甲基化技术——一种快速鉴别人体脂肪及动植物油脂的色谱分析方法 [J]. 刑事技术, 1996, (3): 5-9. Ding JK, Fan CC. Transient pyrolysis methylation technique — a chromatographic method for rapid identification of human fats and fats and oils [J]. Forensic Sci Technol, 1996, (3): 5-9.
- 丁军凯, 闫福宁, 喻晓光, 等. 同时裂解甲基化气相色谱法快速鉴别人体脂肪及动植物油脂 [J]. 中国法医学杂志, 1998, (4): 227-230. Ding JK, Yan FN, Yu XG, *et al.* Meanwhile pyrolysis methylation gas chromatography was used to rapidly identify human fat and fats and oils [J]. J Chin Forensic Med, 1998, (4): 227-230.
- 韩菊, 董建芳, 李芳. 油脂中脂肪酸的分析测定 [J]. 河北科技大学学报, 2007, 28(3): 209-211. Han J, Dong JF, Li F. Analysis and determination of oils and fats [J]. J Hebei Univ Sci Technol, 2007, 28(3): 209-211.
- Fontecha J, Diaz V, Fragab MJ, *et al.* Triglyceride analysis by gas chromatography in assessment of authenticity of goat milk fat [J]. JAOCS, 1998, 75: 1893-1896.
- 张旭, 董晓萍, 邓赞. GC-MS 分析蜣螂油脂的化学成分 [J]. 华西药理学杂志, 2006, 21(3): 247-248. Zhang X, Dong XP. The chemical composition of dung beetle grease was analyzed by GC-MS [J]. J Pharm West China, 2006, 21(3): 247-248.
- Mitei YC, Ngila JC, eboahs OY, *et al.* GC-MS and ESI-FTICR-MS profiling of fatty acids and triacylglycerols in some botswana seed oils [J]. J Am Oil Chem Soc, 2008, 85: 1021-1032.
- 赵海珍, 陆兆新, 别小妹. 高效液相色谱法测定猪油甘油三酯中的脂

- 肪酸位置分布[J]. 色谱, 2003, 23(2): 142-145.
- Zhao HZ, Lu ZX, Bie XM. The fatty acid distribution in lard triglyceride was determined by HPLC [J]. Color Spectrum, 2003, 23(2): 142-145.
- [14] Robert AM. The analysis of lipids via HPLC with a charged aerosol detector [J]. Lipids, 2006, 41: 727-734.
- [15] 史晓凡, 周欣欣, 王磊, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射法分析人和动物油脂种属[J]. 中国法医学杂志, 2013, (2): 116-118.
- Shi XF, Zhou XX, Wang L, *et al.* Analysis of human and fats species by high performance liquid chromatography-evaporative light scattering [J]. J Chin Forensic Med, 2013, (2): 116-118.
- [16] 王磊, 史晓凡, 许英健, 等. 人体脂肪的高效液相色谱-蒸发光散射分析[J]. 中国司法鉴定, 2013, (3): 29-32.
- Wang L, Shi XF, Xu YJ, *et al.* High performance liquid chromatography-evaporative light scattering analysis of human fat [J]. Chin Forensic Exp, 2013, (3): 29-32.
- [17] 乔杰, 丁肇伟, 陈欢. 高效液相色谱-蒸发光散射法分析植物油物种种属特征[J]. 刑事技术, 2017, 42(1): 40-43.
- Qiao J, Ding ZW, Chen H. The characteristics of oil species were analyzed by HPLC-evaporative light scattering method [J]. Forensic Sci Technol, 2017, 42(1): 40-43.
- [18] 倪昕路, 韩丽, 王传现, 等. 傅立叶变换红外光谱法分析食品及油脂中反式脂肪酸[J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(2): 248-249.
- Ni XL, Han L, Wang CX, *et al.* Analysis of trans fatty acids in food and oils by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. J Chin Health Inspection, 2008, 18(2): 248-249.
- [19] 于修焯, 杜双奎, 岳田利, 等. 衰减全反射傅里叶变换红外光谱(ATR-FTIR)技术测定油脂中反式脂肪酸[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(2): 189-193.
- Yu XZ, Du SK, Yue TL, *et al.* ATR-FTIR technique was used to determine trans fatty acids in oil [J]. J Chin Grain Oil, 2008, 23(2): 189-193.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介

杨金部, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向食品分析检测。

E-mail: yangjinbu2010@126.com

金 明, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向食品分析检测。

E-mail: jinming-1982@163.com