

孙慧珍,曲赛男,裘立群\*,宋少芳\*

山东农业大学化学与材料科学学院, 山东 泰安 271018

: 食用油中反式脂肪酸的检测是控制其含量的先决条件。食用油样品经适当萃取剂处理后, 利用正交试验法确立两步甲酯化条件, 其中反式脂肪酸可顺利地转化为反式脂肪酸甲酯。两步甲酯化条件为: 经  $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  氢氧化钠-甲醇中  $40\text{ }^\circ\text{C}$  下酯化 30 min 后,  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  硫酸-甲醇中  $70\text{ }^\circ\text{C}$  下酯化 50 min。在极性 DB-23 毛细管柱上利用三阶程序升温气相色谱法可分离、检测转化后的反式脂肪酸甲酯。三阶升温程序为: 先在  $140\text{ }^\circ\text{C}$  时保持 1 min, 然后以  $10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  的速度升高至  $180\text{ }^\circ\text{C}$ , 接着以  $2\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  的速度升高至  $220\text{ }^\circ\text{C}$ , 在  $220\text{ }^\circ\text{C}$  时保持 20 min 后再以  $5\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  的速度升高至  $230\text{ }^\circ\text{C}$ , 最后在  $230\text{ }^\circ\text{C}$  时保持 16 min。本气相色谱法分析法能检测食用油中常见的 8 种反式脂肪酸, 其线性相关性、检出限和回收率均能满足定性和定量分析的要求。

: 食用油; 反式脂肪酸 (FTA); 气相色谱法; 两步甲酯化

: O657.7

: A

: 1000-2324(2016)01-0047-05

## Study on the Gas Chromatography Analysis of Trans Fatty Acids in Edible Oils

SUN Hui-zhen, QU Sai-nan, QIU Li-qun\*, SONG Shao-fang\*

College of Chemistry and Material Science/Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

**Abstract:** The analysis of trans fatty acids in edible oils was very important for their content control. Conditions of gas chromatography and sample preparation were optimized for analysis of trans fatty acids by gas chromatography. After treated by proper extractant and two-step methyl esterifying under the conditions determined by orthogonal design, trans fatty acids in edible oils were transformed successfully into corresponding trans fatty acid methyl esters. The conditions of two-step methyl esterification were as follows. The first step esterification was kept for 30 min under  $40\text{ }^\circ\text{C}$  in  $0.4 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  sodium hydroxide-methanol and the second step esterification was kept for 50 min under  $70\text{ }^\circ\text{C}$  in  $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  sulfuric acid-methanol. Those transformed trans fatty acid methyl esters could be separated and detected by three-step programmed temperature gas chromatography equipping polarity DB-23 capillary chromatographic column. Three-step temperature program was as follows. First, the column temperature was hold at  $140\text{ }^\circ\text{C}$  for 1 min and then elevated to  $180\text{ }^\circ\text{C}$  at the rate of  $10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  and subsequently to  $220\text{ }^\circ\text{C}$  at the rate of  $2\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . After maintained for 20 min at  $220\text{ }^\circ\text{C}$ , the temperature was elevated to  $230\text{ }^\circ\text{C}$  at the rate of  $5\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  and was retained for 16 min at  $230\text{ }^\circ\text{C}$ . This gas chromatography could analyze eight common trans fatty acids in edible oils and its linear correlation coefficient, detection limit and recovery rate all could meet the demands of qualitative and quantitative analysis.

**Keywords:** Edible oil; trans fatty acids (FTA); gas chromatography; two-step methyl esterification

反式脂肪酸 (TFA) 是一类含有反式构型双键的不饱和脂肪酸, 是油脂和含油脂食物中常见的成分<sup>[1-3]</sup>。研究表明, 反式脂肪酸对人体健康有一系列不利影响, 过多食用会引起心血管疾病、糖尿病等。欧美各国都对食品中反式脂肪酸的含量作了限定。许多国家对反式脂肪酸进行了深入的研究, 并采用各种方法检测食品中的反式脂肪酸含量。气相色谱分析法 (GC) 由于检测限低、灵敏度高成为目前检测脂肪酸的最为有效的方法之一。借鉴国标中食用油脂脂肪酸的气相色谱分析方法, 反式脂肪酸的气相色谱分析的基本步骤也是先采用适合的萃取剂将食用油中的反式脂肪酸甘油三酯释放成游离脂肪酸, 再进行衍生甲酯化处理, 再用 GC 进行检测<sup>[4]</sup>。因此, 确立高效、简便的反式脂肪酸前处理过程和气相色谱分离条件是气相色谱法分析反式脂肪酸的两大重要任务。本实验首先通过设计正交实验对多种前处理方法包括萃取剂、酯化剂、酯化时间及温度等进行对比、优化, 然后对色谱条件进行了摸索和数据分析, 最终确定了简便而有效的食用油中反式脂肪酸检测方法。该方法能检测食用油中常见的 8 种反式脂肪酸, 其线性相关性、检出限和回收率均能满足定性和定量分析的要求。

: 2015-08-01

: 2015-09-22

: 山东省食品安全中心的省科技发展计划项目(2013GZX20109)

: 孙慧珍(1991-),女,硕士研究生,主要从事色谱分离分析工作. E-mail:1534049288@qq.com

\*

: Author for correspondence. E-mail:ssf@sdau.edu.cn

## 1

## 1.1

岛津 GC-2010 气相色谱分析仪, 配备氢火焰离子化检测器 (FID) 及 GCsolution2.3 版工作站 (日本株式会社岛津制作所); CP-Sil 88 毛细管色谱柱 (100 m×0.25 mm ID, 0.2 μm)、DB-23 毛细管色谱柱 (30 m×0.32 mm i.d., 0.25 μm) (美国 Agilent 公司); QL-300 氢气发生器 (山东赛克塞斯氢能有限公司); QL 型纯净空气泵 (山东赛克塞斯氢能有限公司); TGL-20M 台式高速冷冻离心机 (上海卢湘仪离心机仪器有限公司)。

反式脂肪酸甲酯混合标准品: 反式肉豆蔻酸甲酯 (C14:1n9t)、反式棕榈油酸甲酯 (C16:1n9t)、反式岩芹酸甲酯 (C18:1n6t)、反式油酸甲酯 (C18:1n9t)、反式异油酸甲酯 (C18:1n11t)、反式亚油酸甲酯 (C18:2n9t, 12t)、反式二十碳烯酸甲酯 (C20:1n11t)、反式二十二碳烯酸甲酯 (C22:1n13t) (上海安谱实验科技股份有限公司); 甲醇 (色谱纯, 天津永大试剂公司); 氢氧化钠、硫酸等分别为国产分析纯; 市售食用油。

## 1.2

载气: 高纯氮气, 流速 0.5 m·min<sup>-1</sup>; 进样量: 1.0 μL, 分流比 10:1, 进样口温度: 250 °C; 程序升温控制柱温; FID 检测器: 260 °C, 氢气流量 40 mL·min<sup>-1</sup>, 空气流量 400 mL·min<sup>-1</sup>, 尾吹流量 30 mL·min<sup>-1</sup>。

## 1.3

称取约 0.05 g 样品于 20 mL 具塞试管中, 首先加入 2 mL 萃取剂, 振荡 30 min; 然后加入 2 mL 酯化剂, 充入高纯氮气密封, 于设定温度水浴中恒温振荡反应一定时间。反应完成后水浴冷却, 加入 10 mL 饱和食盐水进行淋洗, 振荡后静置分层, 收集上层有机相, 再加入 2 mL 正己烷, 重复萃取两次; 后加入适量无水硫酸钠, 离心, 取 1 mL 上清液进行 GC 分析。处理液于 -20 °C 下保存<sup>[5,6]</sup>。

样品前处理时, 其中反式脂肪酸甲酯化反应越完全, 反应产率就越高, GC 分析结果就会越精确。故可用单一样品 GC 色谱图中相应反式脂肪酸甲酯的峰面积的大小表示甲酯化反应产率高低。

## 2

## 2.1

2.1.1 色谱柱的选择 反式脂肪酸与顺式脂肪酸互为异构体, 弱极性的色谱柱很难将两者分开, 极性毛细管柱 DB-23 和 CP-Sil 88 是气相色谱法分析食用油脂脂肪酸常用的色谱柱<sup>[7]</sup>。DB-23 (30 m×0.32 mm ID, 0.25 μm) 和 CP-Sil 88 (100 m×0.25 mm ID, 0.2 μm) 毛细管柱对 8 种反式脂肪酸甲酯混合标准品的 GC 分离色谱图见图 1。

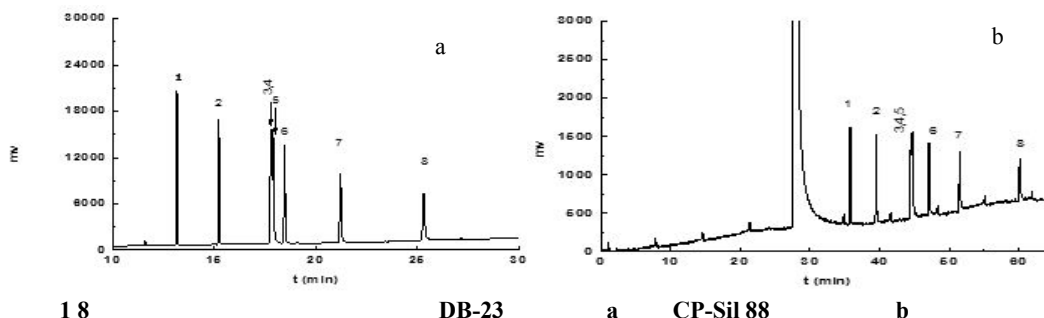


Fig.1 The chromatograms of eight kinds of trans fatty acid methyl esters by DB-23 capillary column (a) and CP-Sil 88 capillary column (b)

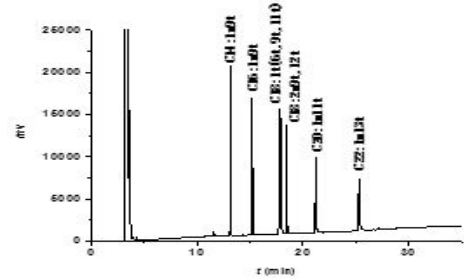
Peaks: 1-C14:1n9t; 2-C16:1n9t; 3-C18:1n11t; 4-C18:1n9t; 5-C18:1n6t; 6-C18:2n9t,12t; 7-C20:1n11t; 8-C22:1n13t

将混合标品与单一标品的色谱峰保留时间对比之后, 依据碳数递增规律, 确定了出峰顺序<sup>[8-11]</sup>。相同碳数的不饱和脂肪酸甲酯 (如 C18:1n6t、C18:1n9t、C18:1n11t、C18:2n9t,12t) 烯键少的先出峰, 即 C18:1n6t、C18:1n9t 和 C18:1n11t 应位于 C18:2n9t,12t 之前; 同一异构体的不饱和脂肪酸 (如 C18:1n6t 和 C18:1n9t), 烯键碳数大的色谱峰比烯键碳数小的先出峰, 即 C18:1n9t 位于 C18:1n6t 之前。比较图 1 中 a 和 b 可以看出, 在相同色谱条件下, CP-Sil 88 毛细管柱经过较长的分析时间能将 C18:1n11t

与 C18:1n9t 分开, 但后者基线漂移比较严重。DB-23 毛细管柱虽然无法将其分离, 但对标样的响应值明显较高, 并且实际中只需用到反式 C18:1 的总含量, 最终确定的是总的 TFA 含量, 因此采用分析时间较短的 DB-23 毛细管柱更适合对样品的中反式脂肪酸的测定。

2.1.2 程序升温条件的优化 实验比较了不同程序升温条件对反式脂肪酸甲酯的分离效果。较为合适的升温程序为: 先在 140 °C 时保持 1 min, 然后以 10 °C·min<sup>-1</sup> 的升温速度升高至 180 °C, 接着以 2 °C·min<sup>-1</sup> 的升温速度升高至 220 °C, 在 220 °C 时保持 20 min 后以 5 °C·min<sup>-1</sup> 的升温速度升高至 230 °C, 最后在 230 °C 时保持 16 min。在此条件下, 8 种反式脂肪酸甲酯混合标准品的色谱图见图 2。

2.1.3 标准曲线与检出限 先将反式肉豆蔻酸甲酯(C14:1n9t)、反式棕榈油酸甲酯(C16:1n9t)标准对照品用正己烷配成浓度分别为 2 mg·mL<sup>-1</sup>、1.5 mg·mL<sup>-1</sup>、1.0 mg·mL<sup>-1</sup>、0.5 mg·mL<sup>-1</sup>、0.25 mg·mL<sup>-1</sup> 的系列标准溶液, 然后在确定的气相色谱条件下进行检测。以标准溶液浓度作横坐标, 相应峰面积作纵坐标绘制标准曲线进行线性回归, 并根据 S/N=3 确定检出限<sup>[12,13]</sup>, 所得线性回归方程和相关系数以及检出限见表 1。由此可见, 确定的气相色谱分析条件下, 方法具有较好的线性和较低的检出限。



2 8  
Fig.2 The chromatogram of the mixture of eight kinds of trans fatty acid methyl esters

1  
Table 1 Linear regression equations and detection limit of GC

组分 Component	回归方程 Regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	检出限( $\times 10^{-6}$ mg·mL <sup>-1</sup> ) Detection Limit
C14:1n9t	$y=1.203x-1.754$	0.9990	5
C16:1n9t	$y=1.169x-1.898$	0.9993	5

2.1.4 回收率测定 准确称取玉米油样品, 加入反式肉豆蔻酸甲酯 (C14:1n9t) 标准对照品, 每次检测重复 3 次取平均值, 如此测定 6 组, 计算对照品的回收率 (结果如表 2)。结果表明本气相色谱分析法的回收率在 83.0%~91.2%之间, 基本能满足实际测定需要。

2  
Table 2 The recovery experiment

玉米油质量 (g) The quality of the corn oil	加入量 (mg) Addition	测定加入平均量 (mg) Join the average quality	回收率 (%) Recovery rate
0.1021	0.100	0.086	86.0
0.1087	0.100	0.083	83.0
0.1132	0.300	0.272	90.7
0.1045	0.300	0.265	88.3
0.0989	0.500	0.438	87.6
0.0990	0.500	0.456	91.2

## 2.2

2.2.1 萃取剂的确定 食用油中的反式脂肪酸主要成分是甘油三酯 (TAG)。由于甘油三酯极性弱, 因此必须采用合适的萃取剂将其变成游离脂肪酸再进行甲酯化衍生方可用 GC 分析<sup>[14-16]</sup>。萃取率的高低直接影响甲酯化反应产率, 进而影响整个测定方法的准确性。因此选择合适的萃取剂显得尤为重要。常见的萃取剂有正己烷、二氯甲烷、苯、石油醚、氯仿、甲醇、环己烷等, 酯化剂有氢氧化钠-甲醇、三氟化硼-甲醇、浓硫酸-甲醇、甲醇钠-甲醇等<sup>[17,18]</sup>。

本实验首先以玉米油甲酯化产物中反式油酸甲酯 C18:1n9t 为指标, 比较了二氯甲烷、氯仿、石油醚、苯/石油醚、正己烷/二氯甲烷/甲醇 (3/2/1, V/V/V)、氯仿/甲醇 (2/1, V/V) 分别作为萃取剂时对甲酯化反应产率的影响。结果发现石油醚、氯仿/甲醇 (2/1, V/V) 作为萃取剂时的酯化产率较高, 但是氯仿相对毒性要高些, 因此采用低毒性、低沸点的石油醚。

2.2.2 酯化条件的确定 酯化效果主要由酯化剂类型和浓度、酯化时间和温度等因素决定。酯化剂主要有酸性酯化剂和碱性酯化剂。酸性催化剂能使游离脂肪酸进行酯化, 但是不一定能够发生酯交换。碱性酯化剂能够使酯化反应顺利向正向进行。通过参考国标中推荐使用的酯化剂<sup>[9]</sup>和本实验室之前的研究, 设计了 9 组正交实验对酯化剂类型和浓度、酯化温度和进行了优化 (见表 3 和表 4), 并设计了单因素浓度梯度实验 (见表 5)。

3

Table 3 Factors and levels of orthogonal design

水平 Level	酯化剂类型 Type of esterifying agent	酯化剂浓度 (mol·L <sup>-1</sup> ) Concentration of esterifying agent	酯化温度 (°C) Esterification temperature	酯化时间 (min) Esterification reaction time
1	NaOH-CH <sub>3</sub> OH	0.5	50	30
2	NaOH-CH <sub>3</sub> OH & H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub> OH	1.0	60	40
3	CH <sub>3</sub> ONa-CH <sub>3</sub> OH	1.5	70	50

4

L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)

Table 4 Table of orthogonal design experiment result L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)

序号 №	酯化剂类型 Type of esterifying agent	酯化剂浓度 (mol·L <sup>-1</sup> ) Concentration of esterifying agent	酯化温度 (°C) Esterification temperature	酯化时间 (min) Esterification time	酯化产率* Yield
1	1( NaOH-CH <sub>3</sub> OH)	1(0.5)	3(70)	2(40)	0.1359
2	2(NaOH-CH <sub>3</sub> OH & H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub> OH)	1(0.5)	1(50)	1(30)	0.2067
3	3( CH <sub>3</sub> ONa-CH <sub>3</sub> OH)	1(0.5)	2(60)	3(50)	0.1027
4	1( NaOH-CH <sub>3</sub> OH)	2(1.0)	2(60)	1(30)	0.1573
5	2(NaOH-CH <sub>3</sub> OH & H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub> OH)	2(1.0)	3(70)	3(50)	0.3325
6	3( CH <sub>3</sub> ONa-CH <sub>3</sub> OH)	2(1.0)	1(50)	2(40)	0.1264
7	1( NaOH-CH <sub>3</sub> OH)	3(1.5)	1(50)	3(50)	0.2058
8	2(NaOH-CH <sub>3</sub> OH & H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub> OH)	3(1.5)	2(60)	2(40)	0.2748
9	3( CH <sub>3</sub> ONa-CH <sub>3</sub> OH)	3(1.5)	3(70)	1(30)	0.2139
K1	0.4990		0.4453	0.5389	0.5779
K2	0.8140		0.5585	0.5925	0.5948
K3	0.4430		0.7522	0.6246	0.5833
K 1	0.1663		0.1484	0.1796	0.1926
K 2	0.2713		0.1862	0.1975	0.1983
K 3	0.1477		0.2507	0.2082	0.1944
	0.3710		0.3069	0.0857	0.0169

备注:\*产率—(C16:1n9t)色谱峰面积/油样质量/10<sup>8</sup> Note: \*Yield—(C16:1n9t) The area of the chromatographic peak/The quality of the sample/10<sup>8</sup>

5

Table 5 Single factor experiment result

影响因素 Influence factors	因素水平 Level of factor	酯化产率* Yield
NaOH-CH <sub>3</sub> OH 浓度 (mol·L <sup>-1</sup> ) The density of NaOH-CH <sub>3</sub> OH	0.3	0.04191
	0.4	0.045696
	0.5	0.044548
	0.6	0.046681
酯化温度 (°C) Esterization temperature	40	1.753157
	50	1.430795
	60	0.816622
	70	0.240277
	20	1.816882
酯化时间 (min) Esterification reaction time	30	1.277163
	40	1.777467
	50	1.626933
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub> OH 浓度 (mol·L <sup>-1</sup> ) The density of H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub> OH	0.5	0.051422
	1.0	0.035925
	1.5	0.051421
	40	0.21672
酯化温度 (°C) Esterization temperature	50	0.029813
	60	0.103206
	70	0.178694
	20	0.591562
酯化时间 (min) Esterification reaction time	30	0.746531
	40	0.745376
	50	0.496898

备注:\*产率—(C16:1n9t)色谱峰面积/油样质量/10<sup>8</sup> Note: \*Yield—(C16:1n9t) The area of the chromatographic peak/The quality of the sample/10<sup>8</sup>

由表 4 可以看出,在一定范围内,酯化剂的类型和浓度对酯化效率影响最大,其次是酯化温度,再次是酯化时间。结合表 5 的单因素实验,发现采用两步酯化法,即先碱催化酯化后再酸催化酯化,酯化效果增加明显。通过分析、对照,最终确定最佳酯化条件是:于萃取剂处理后的样品中先加入 2 mL 0.4 mol·L<sup>-1</sup> 氢氧化钾-甲醇,40 °C 下酯化反应 30 min,然后再加入 2 mL 0.5 mol·L<sup>-1</sup> 硫酸-甲醇溶液,70 °C 二次酯化反应 30 min。

2.3

GC

以购买的经常食用的玉米油、人造奶油、黄油以及收集的油炸食品用后油品作为食用油样品,按照上述确定的前处理方法进行甲酯化后进行气相色谱分析,共处理 5 组平行样品,比较各样品中所含的反式脂肪酸的种类及含量(结果见表 6)。

## 6

Table 6 Content analysis of trans fatty acids in the samples

组分 Component	玉米油(mg·g <sup>-1</sup> ) Corn oil	炸鸡油(mg·g <sup>-1</sup> ) The oil of fried chicken	人造奶油(mg·g <sup>-1</sup> ) Margarine	黄油(mg·g <sup>-1</sup> ) Butter
C14:1n9t	-	-	0.089	0.057
C16:1n9t	0.081	0.085	0.073	0.093
C18:1t (6t,9t,11t)	0.332	0.168	0.862	1.029
C18:2n9t, 12t	0.016	0.052	0.148	0.096
C20:1n11t	-	-	-	-
C22:1n13t	-	-	-	-

由表 6 数据可以看出,以所含脂肪为基准,常见食用油品中反式脂肪酸含量较多的是反式棕榈油酸和反式油酸,各种反式脂肪酸均能定量测定<sup>[20]</sup>。这为以后分析高温长时间油炸对反式脂肪酸的生成及影响分析打下了基础,为食品质量安全服务。

## 3

确立优化了方便高效的对食用油反式脂肪酸甲酯化的前处理和气相色谱分离检测方法条件。

在极性 DB-23 (30 m×0.32 mm ID, 0.25 μm) 毛细管色谱柱上,配合适当的升温程序,即先在 140 °C 时保持 1 min,然后以 10 °C·min<sup>-1</sup> 的升温速度升高至 180 °C,接着以 2 °C·min<sup>-1</sup> 的升温速度升高至 220 °C,在 220 °C 时保持 20 min 后再以 5 °C·min<sup>-1</sup> 的升温速度升高至 230 °C,最后在 230 °C 时保持 16 min,食用油中常见的 8 种反式脂肪酸甲酯基本能够分离,方法的线性相关性、检出限和回收率基本能满足定性和定量分析的要求。确定了萃取剂的类型及用量后,将单因素试验和正交试验相结合,分析了两步酯化法中酯化剂类型和浓度、酯化温度和时间对酯化反应效率的影响,确定优化了两步酯化最佳条件,即先加入 2 mL 0.4 mol·L<sup>-1</sup> 氢氧化钠-甲醇,在 40 °C 下先酯化 30 min,然后再加入 2 mL 0.4 mol·L<sup>-1</sup> 硫酸-甲醇在 70 °C 下二次酯化 50 min。应用所优化确定的检测食用油中反式脂肪酸时气相色谱和样品前处理条件对几种常见食用油品进行检测,可对含有的反式脂肪酸进行定性和定量分析。

- [1] 郭 婧.气相色谱法测定食品中反式脂肪酸含量[D].武汉:华中农业大学硕士论文,2011
- [2] 李 焕,李美萍,张生万.37 种脂肪酸甲酯[J].食品工业科技,2013,32(19):49-53
- [3] 杨桂玲,孟冰冰,于 林,等.气相色谱法检测市售沙拉酱中反式脂肪酸[J].中国调味品,2014,12(1):96-98
- [4] 徐小艳.气相色谱法测定食用油中反式脂肪酸[J].广东农业科学,2010,2(6):153-154
- [5] 李培武,谢立华,魏丽芳,等.反式脂肪酸检测方法研究与应用[J].中国油料作物学报,2009,31(3):374-379
- [6] 邓红莲,徐小作.利用气相色谱法检测食品中反式脂肪酸含量[J].临床和实验医学杂志,2009,8(7):25-27
- [7] 李 斌,裘立群,宋少芳,等.气相色谱法分析植物油中的脂肪酸[J].分析试验室,2014,35(5):528-532
- [8] 朱新荣,胡筱波,潘思轶.食品反式脂肪酸检测方法研究进展[J].粮食与油脂,2008,3(5):34-38
- [9] 曹 军,李 静,刘 珍,等.气相色谱法测定奶茶中的反式脂肪酸[J].食品科学,2011,32(18):159-163
- [10] 王建清,张 玉,陶 秋.气相色谱法分析炸鸡油中脂肪酸及反式脂肪酸[J].食品科学,2011,31(17):327-328
- [11] 杨美艳.多不饱和脂肪酸快速检测模型的建立[D].南昌:南昌大学硕士论文,2009
- [12] 张 红,杨宝刚,符昌雨.巧克力样品中反式脂肪酸含量的测定[J].包装与食品机械,2014,32(2):70-72
- [13] 宋立华,陆小花,杜韩香,等.气相色谱检测食品中反式脂肪酸方法的研究[J].食品科学,2011,32(6):511-513
- [14] 李 青,方赤光,崔 勇,等.保健食品中多种脂肪酸同时检测技术研究[J].中国卫生检验杂志,2009,19(4):732-734
- [15] Jason SW, Pedram R, Dallace LS, *et al.* McGuire. Short-term effects of dietary trans fatty acids compared with saturated fatty acids on selected measures of inflammation, fatty acid profiles, and production in early lactating Holstein dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2013,96(11):6932-6943
- [16] Flávia da SLD, Maria EAP, Maria das GTC, *et al.* Fatty acid profile of biscuits and salty snacks consumed by Brazilian college students[J]. Food Chemistry, 2014,171:351-355
- [17] Lohner S, Vágási J, Marosvllgyi T, *et al.* Inverse association between 18-carbon trans fatty acids and intelligence quotients in smoking schizophrenia patients[J]. Psychiatry Res, 2014,215(1):9-13
- [18] Chen Y, Yang Y, Nie SP, *et al.* The analysis of trans fatty acid profiles in deep frying palm oil and chicken fillets with an improved gas chromatography method[J]. Food Control., 2014,44(6):191-197
- [19] Paulo Augusto da CF. Developing a rapid and sensitive method for determination of trans-fatty acids in edible oils using middle-infrared spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2014,158(2):1-7
- [20] Andrzej S, Jarosawa R. An Improved Silver Ion HPLC Combined with Capillary Gas Chromatography of cis/trans Fatty Acids in Alimentary Fats and Human Milk Fat[J]. Food Analytical Methods, 2013,6(2):457-469