

油脂安全

煎炸食物中油脂极性组分的提取及分析

杨凡, 李徐, 赵晨伟, 金青哲, 王兴国

(江南大学食品学院, 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏无锡214122)

摘要:以油炸花生、油条、麻花3种中式煎炸食物为研究对象,选取10种溶剂配方提取其内含油脂,基于制备型快速柱层析和高效体积排阻色谱,深入分析煎炸食物内油脂极性组分的构成比例。结果表明:在提取煎炸食物中油脂极性组分时,石油醚对油炸花生和麻花的提取结果最高,正己烷-异丙醇(体积比4:1)对油条的提取结果最高,与石油醚的无显著性差异。在测定煎炸食物中油脂极性组分时,可选用石油醚作为提取溶剂。石油醚提取所得油炸花生油脂中极性组分含量为4.5%,主要为氧化甘油三酯单体类和甘油二酯类,油条油脂中极性组分含量为28.8%,主要为甘油三酯聚合物类,麻花油脂中极性组分含量为8.0%,主要为甘油三酯聚合物类、氧化甘油三酯单体类和甘油二酯类。

关键词:煎炸食物;油脂;极性组分;溶剂

中图分类号:TS225;TS227

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2018)04-0061-05

Extraction and analysis of oil polar compounds in fried food

YANG Fan, LI Xu, ZHAO Chenwei, JIN Qingzhe, WANG Xingguo

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: The oils in fried peanuts, dough sticks and dough twist were extracted by ten kinds of solvent formulations, and analyzed by preparative flash chromatography and high-performance size-exclusion chromatography. The results showed that when extracting total polar compounds (TPC) in fried foods, petroleum ether extracted the most TPC from fried peanuts and dough twist. Hexane-isopropanol (volume ratio 4:1) extracted the most TPC from dough sticks without significant difference compared with petroleum ether. Therefore, petroleum ether was an optimal choice for extracting TPC from fried foods. The content of TPC in oil extracted from fried peanut by petroleum ether was 4.5% and they were mainly oxidized triacylglycerol monomer and diacylglycerol. The content of TPC in oil extracted from dough sticks by petroleum ether was 28.8%, and it was mainly triacylglycerol polymer. The content of TPC in oil extracted from dough twist by petroleum ether was 8.0%, and they were mainly triacylglycerol polymer, oxidized triacylglycerol monomer and diacylglycerol.

Key words: fried food; oil; polar compound; solvent

煎炸加工能赋予食物独特的风味和口感,然而在高温条件下油脂与水、氧发生水解、氧化、聚合等化学反应,劣化油脂浸入食物将严重威胁消费者健康。已有GB 7102.1—2003对煎炸油脂的

羰基值、酸值、极性组分指标进行限制,而GB 17401—2014将含油型膨化食品的水分、酸值和过氧化值列为限量指标,GB 16565—2003将油炸小食品的酸值、过氧化值、羰基值、总砷、铅列为限量指标,可见煎炸食物和煎炸油品控指标并不完全一致。极性组分含量指标作为影响煎炸食物安全风险的关键控制点^[1],在煎炸食物内含油脂中的分布同样值得关注。

油脂极性组分(TPC)是指极性大于正常的甘油

收稿日期:2017-07-04;修回日期:2017-11-22

作者简介:杨凡(1992),男,在读硕士,研究方向为油脂检测(E-mail)915639161@qq.com。

通信作者:金青哲,教授(E-mail)jqzwuxi@163.com。

三酯的氧化甘油三酯单体、甘油三酯氧化分解产物(醛、酮、酸、醇、烃等)、甘油三酯氧化聚合产物、水解产物(甘油二酯、甘油一酯、游离脂肪酸等)等的总称。美国油脂化学协会 AOCs Cd22-91 方法,进一步应用高效体积排阻色谱技术,将油脂极性组分依据相对分子质量分为甘油三酯聚合物类(TGP)、氧化甘油三酯单体类(ox-TG)、甘油二酯类(DG)、其他小分子物质类共4部分,其中TGP、ox-TG被认为是潜在风险最高的物质。因此,在监测极性组分含量的基础上,深入分析油脂极性物质组成对全面评价煎炸食物安全性极其必要^[2]。

此外,煎炸食物内含油脂相比煎炸油脂的分析,前处理增加油脂提取步骤。Dobarganes 等^[3]以乙醚溶剂提取薯条中的油脂并分析其极性组分。Liliya 等^[4]以石油醚溶剂提取薯条、鸡块和鱼排等多种煎炸食物的油脂。卢志兵等^[5]以石油醚-无水乙醚(体积比 87:13)混合溶剂提取油炸果蔬脆片食品中的油脂。Sebedio 等^[6]以氯仿-甲醇溶剂(体积比 2:1)混合溶剂提取薯条中所含油脂。另外还有使用正己烷-异丙醇(体积比 4:1)^[7]、正戊烷^[8]、正己烷^[8]、己烷-乙醇^[9]等将油脂从食物中提取后深入分析。GB 16565—2003 规定以石油醚进行油脂提取,而 GB 5009.6—2016 规定使用无水乙醚或石油醚(30~60℃)测定食品中脂肪含量。从食物中提取油脂的溶剂组合多种多样,不同溶剂提取所得油脂对极性组分含量及极性物质组成是否造成差异尚未可知。

油炸花生、油条和麻花是最为常见的3种中式煎炸食物,其组成差别大。正己烷、石油醚、乙醚等有机溶剂是油脂提取的常用溶剂。因此,以油炸花生、油条和麻花为研究对象,应用正己烷、石油醚、乙醚等10种溶剂配方提取煎炸食物内含油脂,深入分析其极性组分含量及极性物质组成,为筛选煎炸食物油脂提取的合适溶剂提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

油炸花生(含油率 55.36% ± 0.19%)、油条(含油率 19.62% ± 0.43%)和麻花(含油率 44.67% ± 0.19%),购于无锡欧尚超市。

乙醚、丙酮、石油醚(30~60℃)、正己烷、正戊烷、异丙醇和乙醇均为分析纯;四氢呋喃为色谱纯。

1.1.2 仪器与设备

FOSS 福斯 ST310 索氏脂肪浸提系统,福斯赛诺(苏州)有限公司;食用油极性组分快速制备型层析

系统(EOPC SYSTEM),天津博纳艾杰尔科技有限公司;R204B 旋转蒸发器;电热真空干燥箱;Waters 2695 型高效液相色谱仪(2414 型示差折光检测器、Styragel HR 体积排阻凝胶色谱柱),美国沃特世公司。

1.2 试验方法

1.2.1 煎炸食物含油率测定

依据 GB 5009.6—2016 第一法索氏抽提法测定煎炸食物含油率。

1.2.2 煎炸食物油脂提取

油脂提取料液比为 1:7,油炸花生和油条油脂提取溶剂为正己烷、乙醚、石油醚、正戊烷、乙醚-石油醚(体积比 13:87)和正己烷-异丙醇(体积比 4:1);麻花油脂提取溶剂为石油醚、丙酮、乙醇-丙酮(体积比 4:1)、乙醚-乙醇(体积比 1:1)、正己烷-乙醇(体积比 4:1)和正己烷-异丙醇(体积比 4:1)。

1.2.3 油脂 TPC 含量及组成测定

参考曹文明等^[10]的方法测定油脂 TPC 含量并分析其组成。

1.2.4 数据分析

运用 SPSS20.0 对所测数据进行 Duncan 检验,多重比较得差异显著性分析结果($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 煎炸食物中油脂 TPC 含量

应用不同溶剂提取花生和油条中的油脂,测定油脂中 TPC 含量,经换算得到不同溶剂提取所得油炸花生和油条中油脂 TPC 含量见表 1。

表 1 不同溶剂提取所得油炸花生和油条中油脂 TPC 含量

溶剂	油脂 TPC 含量/%	
	油炸花生	油条
石油醚	2.5 ± 0.1b	5.7 ± 0.1ab
正己烷-异丙醇	2.1 ± 0.1ab	5.8 ± 0.1b
正己烷	2.0 ± 0.1a	5.5 ± 0.0a
乙醚	2.1 ± 0.3ab	5.6 ± 0.1ab
正戊烷	2.1 ± 0.1ab	5.7 ± 0.0ab
乙醚-石油醚	2.3 ± 0.2ab	5.6 ± 0.0ab

注:不同小写字母表示每列数据的差异显著性,带有相同字母的不存在显著性差异($p > 0.05$)。下同。

由表 1 可知,溶剂提取所得油炸花生中油脂 TPC 含量排序:石油醚 > 乙醚-石油醚 > 正己烷-异丙醇 = 乙醚 = 正戊烷 > 正己烷,石油醚提取所得油炸花生中油脂 TPC 含量(2.5% ± 0.1%)最高,而正己烷提取所得油炸花生中油脂 TPC 含量

(2.0% ± 0.1%)最低,两者差异显著($p < 0.05$)。溶剂提取所得油条中油脂 TPC 含量排序:正己烷 - 异丙醇 > 石油醚 = 正戊烷 > 乙醚 - 石油醚 = 乙醚 > 正己烷,正己烷 - 异丙醇提取所得油条中油脂 TPC 含量(5.8% ± 0.1%)最高,而正己烷提取所得油条中油脂 TPC 含量(5.5% ± 0.0%)最低,两者差异显著($p < 0.05$)。Scholfield 等^[11]研究表明纯正己烷对大豆油的提取率不如纯度更低的正己烷,且对游离脂肪酸和色素提取率也更低,而游离脂肪酸和色素在硅胶柱层析过程中归为 TPC。

油条和麻花均属于面粉类油炸食物,结构疏松,所述已选 6 种溶剂对油条中油脂 TPC 提取效果差异并不明显,在提取麻花中油脂时,保留提取效果最好的正己烷 - 异丙醇和常用的油脂提取溶剂石油醚,增加 4 种新的溶剂丙酮、乙醇 - 丙酮、乙醚 - 乙醇、正己烷 - 乙醇。不同溶剂提取所得麻花中油脂 TPC 含量见表 2。

由表 2 可知,溶剂提取所得麻花中油脂 TPC 含量排序:石油醚 > 丙酮 > 正己烷 - 异丙醇 > 乙醚 - 乙醇 = 乙醇 - 丙酮 > 正己烷 - 乙醇。石油醚提取所得麻花中油脂 TPC 含量(3.6% ± 0.1%)最高,而正己烷 - 乙醇提取所得麻花中油脂 TPC 含量(3.1% ± 0.1%)最低,两者差异显著($p < 0.05$)。新增加的溶剂并未提高油脂 TPC 的提取效果,石油

醚的提取结果最高,油脂在煎炸过程中产生的 TPC 极性虽然较甘油三酯有所增大,但是其极性依然较低,所以提高溶剂极性后并未增加对油脂 TPC 的提取效果。

表 2 不同溶剂提取所得麻花中油脂 TPC 含量

溶剂	油脂 TPC 含量/%
石油醚	3.6 ± 0.1b
正己烷 - 异丙醇	3.3 ± 0.1ab
丙酮	3.4 ± 0.3ab
乙醇 - 丙酮	3.2 ± 0.1ab
乙醚 - 乙醇	3.2 ± 0.0ab
正己烷 - 乙醇	3.1 ± 0.1a

石油醚对油炸花生和麻花中油脂 TPC 提取结果最高,正己烷 - 异丙醇对油条提取结果最高,与石油醚提取结果无显著性差异。正己烷、正己烷 - 乙醇提取结果较差。

2.2 煎炸食物油脂中 TPC 含量及组成

选取不同溶剂提取煎炸食物油脂后,应用制备型快速柱层析技术分离其 TPC,其后采用高效液相色谱分析,对 TPC 主要组分的构成比例进行分析。不同溶剂提取所得油炸花生和油条油脂中极性组分含量及组成如表 3 所示,不同溶剂提取所得麻花油脂中极性组分含量及组成如表 4 所示。

表 3 不同溶剂提取所得油炸花生和油条油脂中极性组分含量及组成

溶剂	油炸花生					油条				
	TPC	TGP	ox - TG	DG	其他	TPC	TGP	ox - TG	DG	其他
石油醚	4.5 ± 0.1b	0.24a	2.01c	1.60b	0.65b	28.8 ± 0.5ab	17.92b	7.12a	3.18a	0.62a
正己烷 - 异丙醇	3.8 ± 0.1ab	0.22a	1.72abc	1.33ab	0.53a	29.3 ± 0.0b	18.11b	7.11a	3.27a	0.82b
正己烷	3.6 ± 0.2a	0.21a	1.53a	1.28a	0.52a	28.2 ± 0.2a	16.84a	7.18a	3.34a	0.83b
乙醚	3.8 ± 0.6ab	0.23a	1.69ab	1.32ab	0.56ab	28.7 ± 0.4ab	17.78ab	7.01a	3.14a	0.78ab
正戊烷	3.8 ± 0.0ab	0.22a	1.64ab	1.35ab	0.58ab	28.8 ± 0.1ab	17.84ab	6.97a	3.25a	0.73ab
乙醚 - 石油醚	4.1 ± 0.3ab	0.23a	1.86bc	1.45ab	0.55ab	28.3 ± 0.2a	17.42ab	6.87a	3.19a	0.82b

表 4 不同溶剂提取所得麻花油脂中极性组分含量及组成

溶剂	TPC	TGP	ox - TG	DG	其他
石油醚	8.0 ± 0.2b	1.90b	2.08b	3.10b	0.88a
正己烷 - 异丙醇	7.4 ± 0.3ab	1.74ab	1.91ab	2.87ab	0.88a
丙酮	7.5 ± 0.7ab	1.77ab	1.97ab	2.97ab	0.82a
乙醇 - 丙酮	7.3 ± 0.3ab	1.73ab	1.84a	2.74a	0.95a
乙醚 - 乙醇	7.2 ± 0.1ab	1.60a	1.90ab	2.79a	0.92a
正己烷 - 乙醇	7.0 ± 0.2a	1.58a	1.83a	2.73a	0.83a

由表 3、表 4 可知,石油醚对油炸花生油脂 TPC、TGP、ox - TG、DG 和其他小分子物质的提取结果最高,而正己烷提取结果最低。不同溶剂对油条

油脂 TGP 的提取结果不存在显著性差异。正己烷 - 异丙醇对油条油脂 TPC、TGP 的提取结果最高,而正己烷对 TPC 和 TGP 提取结果最低。不同溶剂

对油条油脂 ox-TG 和 DG 的提取结果不存在显著性差异。石油醚对麻花油脂中 TPC、TGP、ox-TG、DG 提取结果最高。乙醇-丙酮对其他小分子物质的提取结果最高,但与其他溶剂提取结果无显著性差异($p < 0.05$)。正己烷-乙醇对 TPC、TGP、ox-TG、DG 的提取结果均为最低。

由表 3、表 4 还可知,3 种中式煎炸食物其油脂 TPC 含量和组成差别较大。与文献[12]对比发现,油炸花生经石油醚提取所得油脂 TPC 含量较低,为 4.5%,与新鲜油脂 TPC 含量接近;麻花经石油醚提取所得油脂 TPC 含量为 8.0%,稍高于新鲜油脂;而油条经石油醚提取所得油脂 TPC 含量较高,为 28.8%,超过国家对煎炸油的废弃标准。石油醚提取油炸花生所得油脂中 TPC 主要为 ox-TG 和 DG,分别占 TPC 的 44.67% 和 35.56%,石油醚提取油条所得油脂中 TPC 主要为 TGP,占 TPC 总量的 62.22%,石油醚提取麻花所得油脂中 TPC 主要为 TGP、ox-TG 和 DG,分别占 TPC 总量的 23.75%、26.00% 和 38.75%。

油炸花生提取所得油脂的 TPC 含量远低于油条和麻花,是因为花生的结构致密,煎炸过程中油脂不易进入花生内部,提取所得油脂几乎全为花生原料本身油脂,所以得到的油脂 TPC 含量很低;而油条和麻花的结构疏松,原料几乎不含油脂,煎炸过程中油脂极易进入其内部,处于一种游离状态,容易被提取出来,提取所得油脂几乎全为煎炸油,所以 TPC 含量较高。油条油脂中 TPC 含量高于麻花,可能是因为煎炸油条所使用的油脂煎炸时间过长,煎炸油 TPC 含量很高,制作麻花使用的煎炸油较新鲜,煎炸油的 TPC 含量较低。对于其安全性,仅从 TPC 方面考虑,油炸花生的安全性比油条和麻花的更高。

油炸花生经石油醚提取所得油脂 TPC 含量为 4.5%,低于曹文明^[12]对市售花生油检测结果(TPC 含量为 5.28%)。油炸花生油脂中 ox-TG 含量(2.01%)高于新鲜花生油(1.67%);而 TGP 含量(0.24%)约为新鲜花生油的 1/2,与压榨芝麻油 TGP 含量(0.16%~0.33%)^[13]接近,原因可能是花生油精炼过程中在高温条件下生成 TGP,而石油醚提取油炸花生所得油脂未经高温处理,故与压榨芝麻油 TGP 含量接近;DG 含量(1.60%)与新鲜花生油(1.79%)接近。油条经石油醚提取所得油脂其 TPC 含量及组成与 180℃煎炸薯条 60 次后,经石油醚提取所得薯条中的油脂相似^[14](TPC、TGP、ox-TG、DG 和其他小分子物质含量分别为 29.1%、

18.29%、7.97%、1.88%、0.99%)。麻花经石油醚提取所得油脂 TPC 含量为 8.0%,其 TGP 和 ox-TG 含量与 5 种市售葵花籽油的 TGP 含量(1.85%)和 ox-TG 含量(2.13%)接近^[15]。

综上所述可以发现:不同溶剂对 TPC 的组成存在一定影响;不同煎炸食物油脂的 TPC 含量存在差别,组成差别较大。常用的油脂提取溶剂乙醚、石油醚、正己烷有较低的沸点、黏度、表面张力、介电常数和极性,能够较好地提取食物中的油脂。通过选用常见溶剂、极性较大的溶剂以及对不同溶剂的混合,发现石油醚对煎炸食物油脂中 TPC 提取效果好,提高溶剂极性并没有起到提高煎炸食物油脂中 TPC 的提取效果。

3 结 论

以 3 种中式煎炸食物,油炸花生、油条和麻花为研究对象,选取 10 种溶剂配方提取其内含油脂,基于制备型快速柱层析和高效体积排阻色谱技术,深入分析煎炸食物内油脂 TPC 主要组分的含量及组成。结果表明在测定煎炸食物中油脂 TPC 时,可以选用石油醚作为提取油脂的溶剂。石油醚提取得到的油炸花生油脂中 TPC 含量为 4.5%,主要为 ox-TG 和 DG,油条油脂中 TPC 含量为 28.8%,主要为 TGP,麻花油脂中 TPC 含量为 8.0%,主要为 TGP、ox-TG 和 DG。目前国内外对于煎炸食物中油脂 TPC 的研究较少,TPC 在煎炸油和煎炸食物中迁移情况如何,是否能够直接将氧化甘油三酯及其聚合物直接提取分析,及对人体健康的影响,都值得深入探索。

参考文献:

- [1] HOSSEINI H, GHORBANI M, MESHGINFAR N, et al. A review on frying: procedure, fat, deterioration progress and health hazards [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016, 93(4): 445-466.
- [2] 李徐, 徐小光, 刘睿杰, 等. 9 种市售稻米油极性物质含量的测定及组成分析 [J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(2): 120-124.
- [3] DOBARGANES M C, MARQUEZRUIZ G, PEREZCAMINO M C. Thermal stability and frying performance of genetically modified sunflower seed (*Helianthus annuus* L.) oils [J]. *J Agric Food Chem*, 1993, 41(4): 678-681.
- [4] LILIYA M, ZUZANA R. Content of polymerised triacylglycerols in fat of fried foods [J]. *Czech J Food Sci*, 2016, 34(3): 211-216.
- [5] 卢志兵, 翁煜彬, 李建军, 等. 油炸食品安全指标极性组分研究 [J]. *标准科学*, 2012(5): 71-74.

(下转第 87 页)

水解平衡左移的程度不会太大,所以中性、酸性水解水解率较为接近。在酸性介质、水与蓖麻酸甲酯体积比 1:1、反应温度 25 ℃、反应时间 60 min 条件下,蓖麻酸甲酯水解率为 4.2%。

3 结论

蓖麻酸甲酯水解率和水解体系酸碱性、反应温度、水与蓖麻酸甲酯体积比及反应时间有关。按照碱性、中性、酸性水解顺序,蓖麻酸甲酯水解率依次减小;反应温度降低,蓖麻酸甲酯水解率减小;水与蓖麻酸甲酯体积比减小,蓖麻酸甲酯水解率减小;反应时间缩短,蓖麻酸甲酯水解率减小。在酸性介质、水与蓖麻酸甲酯体积比 1:1、反应温度 25 ℃、反应时间 60 min 条件下,蓖麻酸甲酯水解率为 4.2%。因此,选择在酸性介质、低温条件下,用较少量的水快速洗涤蓖麻酸甲酯对降低蓖麻酸甲酯在水洗过程中的水解损失是有利的。

参考文献:

- [1] 杜高发,张俊浩,张登辉,等. 玉米淀粉残渣中油脂的亚临界流体提取与制备生物柴油的研究[J]. 中国油脂, 2017,42(9):112-116.
- [2] FERNANDES F A N, LOPES R M, MERCADO M P, et al. Production of soybean ethanol-based biodiesel using CaO heterogeneous catalysts promoted by Zn, K and Mg [J]. *Int J Green Energy*, 2016, 13(4):417-423.
- [3] 魏红明,赵华. 生物柴油制备方法及应用现状[J]. 当代化工, 2006, 34(4):246-249, 269.
- [4] BET- MOUSHOUL E, FARHADI K, MANSOURPANAH Y, et al. Application of CaO-based/Au nanoparticles as heterogeneous nanocatalysts in biodiesel production [J]. *Fuel*, 2016, 164:119-127.
- [5] 张雪辉,陈海生,豆斌林,等. 生物油制备、性质与应用的研究进展[J]. 化工进展, 2011,30(11):2404-2416.
- [6] BANKOVIC-ILIC I B, MILADINOVIC M R, STAMENK-

OVIC O S, et al. Application of nano CaO-based catalysts in biodiesel synthesis [J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2017, 72:746-760.

- [7] 刘士涛,刘玉环,阮榕生,等. 固体碱催化剂生产生物柴油的研究进展[J]. 现代化工, 2013,33(7):30-33,35.
- [8] 阎杰. 均相碱催化制备生物柴油中粗酯的精炼技术[J]. 中国油脂, 2011,36(7):50-54.
- [9] RAHAYU S S, MINDARYANI A. Optimization of biodiesel washing by water extraction [J]. *Lect Notes Eng Comput Sci*, 2007, 2167(1):103.
- [10] 黄彩霞,谢贵水,刘荣厚. 菜籽油生物柴油水洗去除游离甘油的工艺参数研究[J]. 农机化研究, 2008(11):149-151.
- [11] SANDRA G, DEJAN S. Design and optimization of purification procedure for biodiesel washing [J]. *Chem Ind Chem Eng Q*, 2009, 15(3):159-168.
- [12] GONZALO A, GARCÍA M, SÁNCHEZ J L, et al. Water cleaning of biodiesel. Effect of catalyst concentration, water amount, and washing temperature on biodiesel obtained from rapeseed oil and used oil [J]. *Ind Eng Chem Res*, 2010, 49(9):4436-4443.
- [13] 孟庆华,李巍巍,王承明,等. 正交法优化生物柴油中甘油的脱除工艺[J]. 中国油脂, 2007,32(6):51-54.
- [14] 刘冰,王承明,高培均. 水洗脱除生物柴油中甘油的工艺研究[J]. 粮油加工, 2010(2):33-36.
- [15] 郭艳,陈福明,金涌. 生物柴油碱催化生产过程中水洗技术的研究[J]. 中国油脂, 2011,36(8):66-69.
- [16] MENDOW G, VEIZAGA N S, SÁNCHEZ B S, et al. Biodiesel production by two-stage transesterification with ethanol by washing with neutral water and water saturated with carbon dioxide [J]. *Bioresour Technol*, 2012, 118:598-602.
- [17] 王九,陈波水,方建华,等. 生物柴油作化工溶剂的水解性能研究[J]. 后勤工程学院学报, 2010, 26(3):21-24, 41.

(上接第64页)

- [6] SEBEDIO J L, BONPUNT A, GRANDGIRARD A, et al. Deep fat frying of frozen prefried french fries: influence of the amount of linolenic acid in the frying medium [J]. *J Agric Food Chem*, 1990, 38(9):1862-1867.
- [7] 刘文平,谭操,李平,等. 烤肉制品的油脂提取方法的研究及其过氧化值的测定[J]. 食品工业科技, 2014, 35(13):76-80.
- [8] 刘方波,刘元法,王兴国,等. 新型制油溶剂正戊烷浸出大豆油的研究[J]. 中国油脂, 2008, 33(8):11-13.
- [9] 刘复光,姚景凤. 大豆用工业己烷-乙醇混合溶剂进行浸出和脱腥味[J]. 中国油脂, 1984,9(s2):99-104.
- [10] 曹文明,薛斌,王文高,等. 高效体积排阻色谱测定油脂中氧化甘油三酯聚合物[J]. 中国油脂, 2011, 36

(10):57-59.

- [11] SCHOLFIELD C R, DUTTON H J. Components of 'soybean lecithin' [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1948, 25(10):368-372.
- [12] 曹文明. 三酰甘油氧化聚合物的检测、评价及应用 [D]. 江苏无锡:江南大学, 2013.
- [13] 薛斌,王俊杰,包杰,等. 压榨芝麻油和精炼芝麻油的氧化甘油三酯聚合物含量差异研究[J]. 粮食与油脂, 2014,27(12):44-46.
- [14] 冯红霞,李杨,隋晓楠,等. 煎炸次数对大豆油及薯条脂质中极性组分的影响[J]. 农业工程学报, 2016,32(3):309-314.
- [15] 柳明,李晶,张彬,等. 食用油中甘油三酯聚合物含量测定[J]. 食品研究与开发, 2015,36(1):85-88.