

# 近红外快速无损检测食用油品质的研究进展

The research progress on Near Infrared Spectroscopic in the  
non-destructive detection of the quality of edible oil

李娟<sup>1</sup> 梁漱玉<sup>2</sup>

LI Juan<sup>1</sup> LIANG Shu-yu<sup>2</sup>

(1. 漳州城市职业学院, 福建 漳州 363000; 2. 中南林业科技大学涉外学院, 湖南 长沙 410000)

(1. Zhangzhou City University, Zhangzhou, Fujian 363000, China;

2. Swan college of Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410000, China)

**摘要:**近红外光谱技术具有高效、快速、无损、环保、操作简单等优点,近年来发展迅速并广泛应用于农产品的品质分析与测定。文章对近年来近红外光谱分析技术结合化学计量学在食用油的理化指标分析、煎炸过程中的变化、掺杂掺假油的分析以及品种的鉴别方面的应用进展情况进行了综述与展望。为进一步深化研究食用油品质,保障消费者的身心健康提供参考依据。

**关键词:**近红外;食用油;掺杂;掺假

**Abstract:** The Near infrared spectroscopy analysis technique, with the characteristics of high efficiency and speediness, non-destructiveness, environmentally friendliness and easiness to operation, has developed fast in the past few years and is widely used in quality identification of agricultural products. In this paper, it was summarized and prospected the application progress in many aspects, such as the detections of physicochemical index of edible oil, chemical changes during frying, adulterated oils, and the kinds of edible oil by using Near Infrared Spectroscopy analysis technique and chemometrics in recent years. This review provided the direction and basis for the further analyses of edible oil and the protection of consumers' health.

**Keywords:** NIRS; edible oil; adulteration; doping

中国是油脂消费大国,许多常用的烹调方法都会使用到食用油,食用油中含有不饱和脂肪酸和维生素等,具有氧化不稳定性,经过高温煎炸与食用成分发生化学反应,如:氧化作用、聚合作用、异构化作用、环化作用和水解作用,产生大量如反式脂肪酸,苯并(a)芘等对人体有毒性的物质<sup>[1]</sup>。若将其用于烹调加工会在很大程度上危害人体健康,长期食用

甚至有慢性致癌的风险。近年来“地沟油”事件屡见不鲜,中国不断加大对成品油掺杂掺假的打击力度,但类似事件并没有得到很好的控制。主要原因之一就是掺杂掺假食用油成分复杂,检测起来较困难。2011 年 12 月国家食品安全风险评估中心公开征集“地沟油”检验方法,共收到 762 份检验方法,初步确定 7 个地沟油检测方法<sup>[2]</sup>。但由于检测方法的普适性及有效性等原因,食用油掺杂掺假的现象仍屡禁不止,油脂掺假形式也不断推陈出新。食用油掺杂掺假的形式主要有:① 地沟油掺入正常食用油或以地沟油冒充食用油;② 低品质油冒充高品质食用油,如假冒橄榄油<sup>[3]</sup>、假冒山茶油<sup>[4]</sup>、假冒胡麻油<sup>[5]</sup>等。地沟油通常是人们在生活中对于各类劣质油、废弃油的通称<sup>[6]</sup>。一般包括泔水油、煎炸废油、食品及相关企业产生的废弃油脂等<sup>[7]</sup>。国家对油脂安全标准的制定在不断完善,依据中国制定的各类食用植物油品质的检验和卫生标准,检测食用油的理化指标包括水分含量、比重、折光率、皂化值、羰基值、过氧化值、碘值、重金属、脂肪酸相对不饱和度、胆固醇、残留检测和氧化产物检测等。但这些方法对掺假掺杂食用油鉴别的有效性不强,对操作者要求较高且往往需要使用到有机溶剂。目前中国尚未出台专门针对掺杂掺假食用油的检测标准。

根据 ASTM 定义,近红外光谱是指位于可见谱区与中红外谱区之间的一段电磁波谱,光区介于 780~2 526 nm<sup>[8]</sup>。近红外光谱是近年来发展速度较快的一种检测技术<sup>[9]</sup>,对物质的穿透能力较强,各种物理状态的样品,不需要任何处理即可直接测试<sup>[10]</sup>,具有高效、快速、无损、绿色且可同时测定几个不同组分的优点<sup>[11-12]</sup>,广泛应用于农业与食品的品质检测中<sup>[13-15]</sup>。应用近红外光谱技术这种快速、无损、绿色的检测方法对食用油进行品质把关,对于提高人民群众对食品安全的信心,保障民生都将起重大的作用。

本文拟研究分析近年来近红外光谱技术在食用油品质控制中的进展情况,包括近红外光谱技术在食用油理化指标

**基金项目:**福建省教育厅 A 类科研项目(编号:JA15848)  
**作者简介:**李娟(1988—),女,漳州城市职业学院助教,硕士。  
E-mail:juanli0501@163.com

**收稿日期:**2016-10-15

测定,食用油煎炸过程品质变化,食用油掺杂掺假及食用油品种鉴定方面的应用,以期为后续进一步深化研究食用油品质检测方法,掺杂掺假食用同的检测提供参考依据。

## 1 近红外光谱技术在食用油理化指标分析中的应用

根据中国的食用植物油卫生标准,评价食用油劣变常用的理化指标主要有:酸价、过氧化值、脂肪酸等<sup>[16]</sup>。

过氧化值是表示油脂和脂肪酸等被氧化程度的一种指标。王立琦等<sup>[17]</sup>采用碘量法测定油脂过氧化值作为校正值,同时利用近红外光谱技术在油脂过氧化值的定量分析中建立 3 种校正模型,使用偏最小二乘法回归(PLS)得到校正集相关系数为 0.916,预测集相关系数为 0.922,认为对于油脂过氧化值的近红外光谱测量,PLS 为最优模型。高媛等<sup>[18]</sup>利用近红外光谱技术对 12 种食用油进行测定,认为在 4 650~4 500  $\text{cm}^{-1}$  范围内有明显差异性,采用 PLS 建立食用油过氧化值测定模型效果较好。于修烛等<sup>[19]</sup>利用近红外自动分析仪结合连续进样流通池建立食用油酸价和过氧化值的定量模型,结果表明模型盲样验证效果良好,每小时可检测 90 个样品。张静亚等<sup>[20]</sup>通过近红外光谱技术结合距离判别分析,建立未氧化油和已氧化油的定性判定模型,结果表明在波数范围 5 450~4 650  $\text{cm}^{-1}$ ,采用多元散射校正,一阶求导和 Norris 层数平滑处理,校正集模型识别率为 99%,验证集模型识别率为 97.8%,可用于食用油氧化定性分析。鲍丹青等<sup>[21]</sup>尝试近红外光谱技术测定大豆油的过氧化值,通过测试 143 份样品得到以一阶导结合 0~1 间归一化后采用 PLS 建模效果最好,认为可以利用近红外光谱法测定大豆油的过氧化值。

脂肪酸也是评价食用油质量一个较常用的指标,有研究认为根据脂肪酸的变化可以判断油脂的掺假情况<sup>[22]</sup>。田硕<sup>[23]</sup>利用近红外光谱法建模并预测芝麻油、大豆油、花生油、棉籽油中脂肪酸含量,及 4 种混合油的脂肪酸含量,认为结果与真实值相关性很高,可用于食用油检测。于燕波等<sup>[24]</sup>应用近红外光谱技术建立了快速测定植物油中 4 种脂肪酸含量的方法,结果表明建模样品集脂肪酸的化学值与近红外预测值相关系数达 0.837 以上,线性关系较好。吴静珠等<sup>[25]</sup>应用近红外光谱技术建立了植物油中棕榈酸、硬脂酸、油酸 3 种脂肪酸的定量分析模型,效果较好。

从以上研究可以看出,近红外光谱技术应用在食用油过氧化值、酸价及脂肪酸的测定中效果较好,可间接判定食用油掺假劣变情况,但单一理化指标并不能很好体现油脂的劣变情况。

## 2 近红外光谱技术在分析食用油煎炸过程中品质变化方面的应用

利用油脂进行高温煎炸可赋予食品诱人的色泽、酥脆的口感。但在此过程中,食品组分可能会与油脂发生反应,若油脂经过反复煎炸则更易产生有害物质如致癌物丙烯酰胺。陈锋亮等<sup>[26]</sup>对大豆油进行高温煎炸并对其理化指标进行检测,发现油脂在煎炸 13 h 后品质变化明显,不得再继续使

用。有研究表明油脂粘度,过氧化值及极性组分含量与油炸时间显著相关。传统的煎炸油检测方法主要针对一些理化指标,如酸价、过氧化值、碘值、羰基价等<sup>[27]</sup>,不仅耗时还易出现假阴性的结果。近红外光谱技术近年来也不断在煎炸油的检测中崭露头角。申云刚<sup>[28]</sup>利用近红外光谱技术对 109 份煎炸油的过氧化值、游离脂肪酸、极性组分和粘度进行建模并预测,结果表明过氧化值和酸价的偏最小二乘法模型预测结果较差,但对极性组份和粘度的预测能力较好,可作为煎炸油快速检测的指标。洗瑞仪等<sup>[29]</sup>采用可见和近红外光谱技术结合偏最小二乘法对掺杂煎炸老油的橄榄油建模分析,建立煎炸老油含量预测模型,模型相关系数达 0.998 9,预测均方根误差 0.019 2,结果较好。这两项研究表明,近红外光谱技术可用于定量分析煎炸油的理化指标和定性判别食用油中掺煎炸油。

## 3 近红外光谱技术在检测食用油掺杂掺假方面的应用

橄榄油有食用与保健作用,价格比其他食用油高许多,因此许多不法商贩将调和油或其他食用油掺入橄榄油,或直接将调和油冒充橄榄油。翁欣欣等<sup>[30]</sup>采用近红外光谱技术测定初榨橄榄油中掺杂芝麻油、大豆油和葵花籽油的光谱,并结合 PCA-BP 人工神经网络方法对其进行定性分析。采用偏最小二乘法建立了初榨橄榄油中芝麻油、大豆油、葵花籽油含量的近红外光谱定标模型,用交互验证法进行验证,发现预测结果准确。王传现等<sup>[31]</sup>利用近红外光谱技术分析掺入食用调和油的初榨橄榄油,运用聚类分析和主成分分析法对橄榄油掺杂掺假进行定性判别,对未知样本准确率达到 100%,效果较好。庄小丽等<sup>[32]</sup>利用近红外光谱技术对特级初榨橄榄油和普通橄榄油进行定性判定,正确率 100%。同时测定了纯橄榄油中掺入 0~100%菜籽油、玉米油、花生油、山茶油、葵花籽油、罂粟油的混合油光谱,选择最佳波段结合 PLS 法建立定量模型,预测相对误差在-5.67%~5.61%,准确快捷。张海亮等<sup>[33]</sup>建立了一种 PCR-CE-SSCP 法鉴定橄榄油真伪的新方法,检测灵敏度高,速度快,准确,自动化程度高,可作为橄榄油掺假检测的手段。

张菊华等<sup>[34]</sup>配制 0~100%内不同比例的油茶籽油和菜籽油、油茶籽油和大豆油混合样品 256 个,采集样品在 10 000~4 000  $\text{cm}^{-1}$  范围内的近红外透反射光谱,结合偏最小二乘法建立油茶籽油中掺杂菜籽油和大豆油的近红外光谱定量模型。通过交互验证和外部检验来考察模型可靠性,发现无需对光谱进行预处理,当掺杂油含量在 2.5%~100%内预测结果准确。温珍才等<sup>[35]</sup>利用可见/近红外光谱技术联合 CARS 方法对油茶籽油中掺杂大豆油及菜籽油进行检测,结果显示该法可分别检测油茶籽油中大豆油、菜籽油掺伪量及大豆油与菜籽油混掺伪量,模型相关系数及均方差均较优,可用于油茶籽油掺假鉴别。

山茶油是中国古老的植物油之一,有特殊的保健作用,被称为“长寿油”,因其价格昂贵有些商家会向其中掺入大豆油等植物油。许朋<sup>[36]</sup>发现在光谱范围 350 nm 到 1 800 nm

内,当山茶油掺入一种到 3 种不同植物油后特征图谱发生改变,并利用可见/近红外光谱建立了一种快速鉴别山茶油的模型。孙通等<sup>[37]</sup>利用近红外光谱技术结合子窗口重排分析(SPA)对山茶油中掺入大豆油、菜籽油、花生油和混合油进行检测,发现预测集样本的分类错误率、灵敏度及特异性分别为 0.1 和 1,说明近红外光谱技术用于山茶油掺伪有较好效果。涂斌等<sup>[38]</sup>将大豆油、玉米油、菜籽油、餐饮废弃油掺入稻米油中,利用近红外光谱技术结合化学计量学对掺伪油进行定性一定量分析,发现建立的数学模型对稻米油中掺杂油脂的含量预测精度高,近红外光谱技术可实现对稻米油的掺伪分析。吴静珠等<sup>[39]</sup>向纯花生油中掺入大豆油、菜籽油、棕榈油和调和油制成掺伪花生油,利用近红外光谱技术扫全谱并通过支持向量机技术建立花生油掺伪模型,结果表明,模型的识别率和预测率达 100%,说明近红外光谱技术在花生油掺伪中有很好的实用性。

上述研究结果表明近红外光谱技术不仅可应用于植物油掺伪五元以内体系的定性分析同时也可用于掺伪植物油掺伪量的定量分析。

#### 4 近红外光谱技术在食用油品种鉴别中的应用

近年来,近红外光谱技术不断应用于农作物品种判别,如稻谷、玉米、马铃薯、小麦、羊肉、油桃等,而对植物油品种鉴定正处于起步阶段。刘福莉等<sup>[40]</sup>以 8 种纯食用油的 43 个样品为研究对象,结果表明在 12 500~4 000 cm<sup>-1</sup> 的范围内近红外聚类分析可快速鉴别食用油品种。吴静珠等<sup>[24]</sup>根据 19 份食用植物油样品的近红外光谱,结合系统聚类方法建立了纯橄榄—芝麻—花生油定性识别模型,识别率和预测率可达 100%。梁丹<sup>[41]</sup>利用近红外光谱技术结合主成分分析及 BP 神经网络法建立了玉米油、大米油、花生油和芝麻油 4 种植物油品种鉴定的定性判别模型,预测效果理想,判别率达 100%。

从上述研究可以看出,近红外分析技术在食用油品种鉴别领域有很好的应用前景,且预测效果理想。

#### 5 展望

目前,近红外光谱技术应用于食用油品质分析还有一些不足,如应用领域较多的局限于理化分析,品种鉴定及橄榄油、茶油的掺伪。掺假油的建模样本集往来源于模拟掺假食用油,即以实验室调配的不同比例合格食用油作为研究对象,这大大影响了模型的预测能力和适应性,使试验结果难以适用于消费者更为关心的劣质油及地沟油的检测。在未来的研究中,如果把样本集的来源及模型适用范围进一步扩大,将近红外光谱技术应用于来源广泛,成分复杂的劣质油及地沟油鉴别领域,会更有实际意义及实用价值。

#### 参考文献

[1] 李沂光,单杨,李高阳,等. 地沟油检测方法研究现状与其应用分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 262-265.  
[2] 白剑峰.卫生部: 7 个地沟油检测方法初步确定[EB/OL]. (2012-05-23) [2016-11-30]. <http://cpc.people.com.cn/GB/64093/>

82429/83083/17959682.html.  
[3] 张欣,于瑞祥,方晓明,等. 橄榄油掺假检测技术的研究进展[J]. 油脂安全, 2013, 38(3): 67-71.  
[4] 谢婷婷,黄丽. 山茶油掺假检测技术的研究现状[J]. 科技与创新, 2014(21): 9-10.  
[5] 王妍,张国彬,王立新. 胡麻油掺假的快速检验法[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(2): 93-94  
[6] 王薇,殷其亮,秦玉珍. 地沟油检测技术综述[J]. 电子测试, 2016(16): 121-122.  
[7] 王龙星,金歌曲,王淑秋,等. 非正常食用油鉴别新方法(一): 三种辣椒碱残留量的液相色谱-质谱分析[J]. 色谱, 2012, 30(11): 1 094-1 099.  
[8] 张卉,宋妍,冷静.近红外光谱分析技术[J].光谱实验室, 2007, 24(3): 388-395.  
[9] 胡云龙. 基于 ARM9 的近红外山茶油无损检测仪的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2013: 3  
[10] 黄艳,王锡昌. 近红外光谱分析在食品检测中的最新进展[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(7):137-140.  
[11] WU Di-wu, HE Yong, FENG Shui-juan, et al. Study on infra-red spectroscopy technique for fast measurement of protein content in milk powder based on LS-SVM[J].Journal of Food Engineering, 2008, 84(1): 124-131.  
[12] PLA M, HERNÁNDEZ P, ARIÑO B, et al. Prediction of fatty acid content in rabbit meat and discrimination between conventional and organic production systems by NIRS methodology [J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 165-170.  
[13] 包应时,蒋焕煜,吴晓莲,等. 近红外光谱分析技术在农业与食品无损检测上的应用[J]. 农机化研究, 2006(10): 167-169.  
[14] 郝勇,赵翔,温钦华,等. 基于 SOM 和 SVM 的食醋品质近红外定性分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 48-52.  
[15] 刘洋,王涛,左月明. 基于支持向量机的野生蘑菇近红外识别模型[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 92-95.  
[16] 苏蕊,梁大鹏,李明,等. 食用油品质的检测技术进展[J]. 岩矿测试, 2012, 31(1): 57-63.  
[17] 王立琦,张礼勇,朱秀超. 大豆油脂过氧化值的近红外光谱分析[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 205-207.  
[18] 高媛,王宁,于修烛,等. 基于傅里叶近红外光谱的食用油过氧化值间接检测研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(5): 138-142.  
[19] 于修烛,张静亚,李清华,等. 基于近红外光谱的食用油酸价和过氧化值自动化检测[J]. 农业机械学报, 2012, 13(9): 150-155.  
[20] 张静亚,张建新,于修烛,等. 基于近红外透射光谱的食用油氧化定性分析[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 200-203.  
[21] 鲍丹青,青艳兰,邓德文,等. 利用近红外光谱技术快速测定大豆油的过氧化值[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 206-209.  
[22] 彭思敏,吴卫国,黄天柱. 基于脂肪酸含量变化的茶油掺假判别[J]. 粮食科技与经济, 2013, 38(1): 30-33.  
[23] 田硕. 基于近红外特征脂肪酸的掺假芝麻油的鉴别[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2014: 44-45.  
[24] 于燕波,臧鹏,付元华,等. 近红外光谱法快速测定植物油中脂肪酸含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(7): 1 554-1 558.  
[25] 吴静珠,刘翠玲,李慧,等. 近红外光谱技术在食用油各类鉴别及脂肪酸含量检测中的应用[J]. 北京工商大学学报, 2010, 28(5): 56-59.

[26] 陈锋亮, 魏益民, 钟耕. 大豆油高温煎炸质变过程的研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(8): 19-22.

[27] 李阳, 钟海燕, 李晓燕, 等. 煎炸用油品质变化及测定方法研究进展[J].食品与机械, 2008, 24(6): 148-151.

[28] 申云刚. 市场上油炸用油快速检测技术的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 18-21.

[29] 洗瑞仪, 黄富荣, 黎远鹏, 等. 可见和近红外透射光谱结合区间偏最小二乘法(iPLS)用于橄榄油中掺杂煎炸老油的定量分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(8): 2 462-2 467.

[30] 翁欣欣, 陆峰, 王传现, 等. 近红外光谱-BP神经网络-PLS法用于橄榄油掺杂分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(12): 3 283-3 287.

[31] 王传现, 褚庆华, 倪昕路, 等. 近红外光谱法用于橄榄油的快速无损鉴别[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 402-404.

[32] 庄小丽, 相玉红, 强洪, 等. 近红外光谱和化学计量学方法用于橄榄油品质分析与掺杂量检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(4): 933-936.

[33] 张海亮, 吴亚君, 鞠兴荣, 等. 1 种检测橄榄油掺假的新方法——PCR-CE-SSCP 法[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(4): 305-308.

[34] 张菊华, 朱向荣, 尚雪波, 等. 近红外光谱结合偏最小二乘法用于油茶籽油中掺杂菜籽油和大豆油的定量分析[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 334-336.

[35] 温珍才, 孙通, 许朋, 等. 可见/近红外联合变量优选检测油茶籽油掺假[J]. 江苏大学学报, 2015, 36(6): 673-678.

[36] 许朋. 基于近红外光谱技术的山茶油掺假检测研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015: 1-2.

[37] 孙通, 吴宜青, 李晓珍, 等. 基于近红外光谱和子窗口重排分析的山茶油掺假检测[J]. 光学学报, 2015, 35(6): 0630005-1-0630005-8.

[38] 涂斌, 宋志强, 郑晓, 等. 基于激光近红外的稻米油掺伪定性-定量分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(6): 1 539-1 545.

[39] 吴静珠, 刘翠玲, 李慧, 等. 基于近红外光谱的纯花生油掺伪快速鉴别方法研究[J]. 北京工商大学学报, 2011, 29(1): 75-78.

[40] 刘福莉, 陈华才, 姜礼义, 等. 近红外透射光谱聚类分析快速鉴别食用油各类[J]. 中国计量学院学报, 2008, 19(3): 278-282.

[41] 梁丹. 基于近红外光谱技术的食用油品质快速检测方法研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 47.

(上接第 97 页)

[4] CLAUDIO B, FABIO I, EMILIO L, et al. Review of design solutions for internal permanent-magnet machines cogging torque reduction[J]. IEEE Transactions on magnetics, 2012, 48(10): 2 685-2 693.

[5] WOO D K, KIM I W, LIM D K, et al. Cogging torque optimization of axial flux permanent magnet motor [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2013, 49(5): 2 189-2 192.

[6] 毛文贵, 傅彩明, 谭加才. 基于虚拟样机技术的立式电机结构设计分析[J]. 食品与机械, 2006, 22(4): 67-69.

[7] TAGUCHI G, CHOWDHURY S, WU Yin. Taguchi's quality engineering handbook[M]. New Jersey: John Wiley Publication, 2004: 125-169.

[8] 杨隽, 臧朝平, 刘永泉, 等. 基于 Taguchi 方法的转子系统动力学容差设计[J]. 航空动力学报, 2014, 29(7): 1 583-1 590.

[9] 王卫洪. 基于田口方法的冲压工艺参数稳健性设计[J]. 模具制造, 2015(12): 10-16.

[10] 张代胜, 张旭, 王浩, 等. 基于 Taguchi 方法的动力总成悬置系统稳健优化 [J]. 汽车工程, 2014, 36(4): 475-480.

[11] 伍建军, 万良琪, 吴事浪, 等. 基于田口方法的柔性铰链柔度稳健优化设计[J]. 工程设计学报, 2015, 22(3): 224-229.

[12] 冯兆冰, 吴孔圣, 丁云飞, 等. 几种简单的齿槽转矩测量方法[J]. 制造技术与机床, 2012(5): 102-103.

[13] 王秀和. 永磁电机[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 80-81.

(上接第 157 页)

[17] 中国国家技术监督局. GB/T 17376—2008 动植物油脂脂肪酸甲酯制备[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[18] 中国国家技术监督局. GB/T 17377—2008 动植物油脂脂肪酸甲酯的气相色谱分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[19] 赖锡湖, 黄卓, 李坚, 等. 超临界 CO<sub>2</sub>萃取茶叶籽油及其成分分析[J]. 食品与机械, 2011, 27(2): 38-40.

[20] 汤鹏, 段海霞, 夏金梅, 等.响应面法优化超临界 CO<sub>2</sub>萃取鲍鱼内脏油脂及其脂肪酸种类测定[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 153-159.

[21] 贺绍琴, 张君萍, 阿布力米提·伊力, 等. 莴苣籽油的超临界 CO<sub>2</sub>萃取工艺及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2015, 40(1): 1-5.

[22] 王亚琦, 陈奕洪, 黄卫文, 等. 超临界 CO<sub>2</sub>萃取崖柏精油的研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 175-178.

[23] 刘光敏, 徐响, 高彦祥. 超临界 CO<sub>2</sub>萃取草莓籽油工艺研究及其对脂肪酸组成的影响[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(3): 84-88.

[24] DA PORTO C, DECORTI D, TUBARO F. Fatty acid composition and oxidation stability of hemp (Cannabis sativa L.) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide [J]. Industrial Crops and Products, 2012, 36(1): 401-404.

[25] 程丹, 傅玉颖, 梅子, 等. 响应曲面法优化酵母微胶囊化核桃油工艺[J]. 中国食品学报, 2013, 13(11): 28-34.

(上接第 168 页)

[6] 何俊婷. 金银花多糖提取工艺优化[J]. 应用化工, 2014, 43(4): 692-695.

[7] 赵鹏, 李稳宏, 朱骤海, 等. 响应面法优化金银花多糖超声提取工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 151-154.

[8] 廖立敏, 邹宁, 黄茜, 等. 响应面优化超声波提取血橙皮多糖工艺[J]. 食品工业科技, 2016, 37(11): 212-216, 221.

[9] 薛菁, 吴晓彤, 王颖超, 等. 超声波辅助提取口蘑菌丝体多糖工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 172-174.

[10] 周小楠, 董群. 正交试验优化酶法提取金银花多糖工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 119-122.

[11] 赵玉红, 林洋, 张立钢, 等. 黑木耳多糖高剪切分散乳化法与酶法提取的比较研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 181-186.

[12] 陈晓光, 韦藤幼, 彭梦微, 等. 内部沸腾法提取香菇多糖的工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(10): 31-34.

[13] 赵启铎, 舒乐新, 马琳, 等. 硫酸-苯酚法测定槐甘菌质多糖的含量[J]. 宜春学院学报, 2011, 33(8): 74-76.