

# 油脂酸价和过氧化值检测方法的研究进展

刘 芳<sup>1\*</sup>, 王 超<sup>2</sup>, 杨 菊<sup>1</sup>, 袁 果<sup>1</sup>, 谢会君<sup>1</sup>

(1. 河南三方元泰检测技术有限公司, 郑州 450016; 2. 河南国育计算机网络工程有限公司, 郑州 450000)

**摘 要:** 食用油脂是人类膳食的重要组成部分, 是人类机体所必需三大宏量营养素之一。油脂在运输和储存过程中, 受热、光、空气中的氧气及油脂中水分和酶的作用, 会发生各类化学变化而引起油脂品质的改变, 即酸败。油脂的储存品质、质量指标和卫生指标对酸价和过氧化值的限值有明确的规定, 酸价和过氧化值过高会对人体健康带来危害。因此油脂的酸价和过氧化值已成为该类产品品质监督和质量安全监管的重要技术参数。测定食品体系中油脂氧化程度时, 需要对样品进行提取油脂的预处理以方便进行下一步检测。由于油脂在提取的过程中仍在发生持续的氧化反应, 因此温度和时间、提取试剂种类和用量、浸提方式及溶剂挥发的方式等都会对检测结果有一定影响。本文主要对油脂酸价和过氧化值检测的检测方法进行了概述。

**关键词:** 油脂提取; 酸价; 过氧化值

## Progress of determination methods for acid and peroxide values of oils and fats

LIU Fang<sup>1\*</sup>, WANG Chao<sup>2</sup>, YANG Ju<sup>1</sup>, YUAN Guo<sup>1</sup>, XIE Hui-Jun<sup>1</sup>

(1. Henan Tripartite Yuntai Testing Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450016, China;

2. Henan Guoyu Computer Network Engineering Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

**ABSTRACT:** Edible oil is an important part of human diet and one of the three macronutrients necessary for human body. In the process of transportation storage, because of heat, light, oxygen in the air and the role of moisture and enzymes in the oil, all kinds of chemical changes and changes in oil quality will occur, generally known as rancidity. The storage quality, quality index and sanitary index of oil and fat have definite stipulations on the limits of acid value and peroxide value, and excessive acid and peroxide values can be harmful to human health. Therefore, the acid value and peroxide value of oils and fats have become important technical parameters for quality supervision and quality safety supervision of such products. When determining the oxidation degree of oil in food system, it is necessary to pretreat the extracted oil to facilitate detection. Since continuous oxidation reaction is still taking place in the process of oil extraction, temperature and time, type and amount of extraction reagent, extraction method and solvent volatilization all have certain influences on the detection results. This paper reviewed the pretreatment methods of acid and peroxidation value detection in oil.

**KEY WORDS:** oil extraction; acid value; peroxide value

\*通讯作者: 刘芳, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 838245960@qq.com

\*Corresponding author: LIU Fang, Master, Assistant Engineer, Henan Tripartite Yuntai Testing Technology Co., Ltd., Zhengzhou, 450016, China. E-mail: 838245960@qq.com

## 1 引 言

油脂主要功能是为人体提供热量及人体必需脂肪酸(亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸), 同时还是脂溶性维生素(VA、VD、VE 和 VK)的重要载体<sup>[1]</sup>。油脂在长期保存过程中, 由于酶、热和微生物的作用发生水解, 生成游离脂肪酸, 这与油脂的质量紧密相关, 油脂中游离脂肪酸含量的多少, 是油脂品质好坏的重要指标, 而酸价是脂肪中游离脂肪酸含量的重要标志, 可作为油脂变质程度的指标<sup>[2,3]</sup>。油脂酸价(酸值), 通常以中和 1 g 油脂中游离脂肪酸所需要氢氧化钾毫克数来表示<sup>[4]</sup>。一般情况下, 食用油脂在光照、加热、催化剂等条件下会加速发生氧化。油脂氧化是一个复杂的自由基反应过程, 油脂与空气中的氧发生氧化作用所产生的中间产物过氧化物, 具有高度的活性, 继续分解生成具有挥发性的醛类、酮类和低分子的脂肪酸等, 使得油脂散发出一种特殊的臭味和带有刺激性的气味(俗称“哈喇味”), 降低油脂品质, 酸败严重时甚至不能食用<sup>[5,6]</sup>。过氧化值表示油脂和脂肪酸等被氧化程度的一种指标, 以 1 kg 样品中活性氧的毫摩尔数表示, 也可用油脂过氧化物从碘化钾中析出的碘占试样的百分比来表示<sup>[7]</sup>, 过氧化值也可作为油脂是否酸败或酸败程度的表征指标。如果食用酸败油脂也可能引发中毒症状<sup>[8]</sup>。其中脂质氧化过程中产生的各种醛类物质不仅在体内代谢过程中与蛋白质和 DNA 反应, 造成多种心血管疾病, 如帕金森、阿尔兹海默病、肝硬化等<sup>[9,10]</sup>, 因此, 准确测定油脂酸价尤为重要。

测定食品体系中油脂氧化程度时, 需要对样品进行提取油脂的预处理以方便检测。由于油脂在前处理油脂提取的过程中仍在发生持续的氧化反应, 因此温度和时间、提取试剂种类和用量、浸提方式及溶剂挥发的方式等都会对检测结果有一定影响。针对目前过氧化值的测定方法都比较繁琐、所用的化学试剂量多、准确性和精密度不高、只适用于实验室检测, 难以满足现代社会对食品安全检测技术的要求等问题, 应当在现有技术基础上进行改进, 寻找一种在尽可能减少油脂二次氧化的前提下, 提高油脂的提取率的油脂提取方法或装置, 来保证分析结果的准确性和可靠性。本文主要对油脂中酸价和过氧化值检测的前处理方法进行了概述, 为选择合适的前处理方法检测油脂酸价和过氧化值提供理论依据。

## 2 现有技术以及存在的问题

一般酸价和过氧化值的检测方法主要有电化学方法<sup>[11,12]</sup>、光谱法<sup>[13-21]</sup>和色谱法<sup>[22]</sup>等, 国家标准中采用的碘量法<sup>[23,24]</sup>, 虽然准确性较高, 但检测费用高、操作烦琐, 且容易对环境造成一定污染, 对工作人员和环境条件都有一定的要求, 不适合在现场监控使用。测定面包、糕点、烘炒

食品和坚果食品等系列含油食品的酸价和过氧化值的国家标准分别是 GB 5009.227-2016<sup>[7]</sup> 和 GB 5009.229-2016<sup>[25]</sup>。目前酸价和过氧化值的检测方法-碘量法主要是针对纯油体系, 而当检测食品体系中油脂的氧化程度时, 需要对样品进行油脂提取的预处理。样品的预处理: 含脂肪量高的样品一般取 100 g 左右; 含脂肪量中等的样品一般取样 100~200 g; 含脂肪量低的样品取样须 200 g 以上。所取样品经粉碎后均需放入 500 mL 的广口瓶或具塞锥形瓶中, 加沸程 30~60 °C 的石油醚或无水乙醚浸提, 加入量以浸没样品为宜, 浸泡时间视样品中脂肪含量的高低所决定, 然后用快速滤纸过滤浸泡后的混合液。

由于油脂在提取的过程中仍在发生持续的氧化反应, 因此溶剂挥发的方式、提取试剂种类和用量<sup>[26]</sup>、温度和时间<sup>[27-30]</sup>等都会对检测结果造成影响, 在现有的检测方法上研究油脂酸价和过氧化值的检测方法的改进, 对保障公共食品安全和健康具有重要意义。油脂提取过程影响过氧化值测定的因素主要包括 6 方面。

### (1) 水分

水分会影响有机溶剂渗入样品内部的速率, 降低油脂的提取率, 且提取过程中过多的水分会夹带出糖分等非脂成分, 降低油脂的纯度<sup>[31]</sup>。对含水分较多的样品(如蛋糕、沙琪玛), 在加入石油醚前, 先将样品真空干燥后再粉碎, 粉碎过细会影响过滤速度, 以散粒状为宜。

### (2) 石油醚的添加量

石油醚加入量不足会使样品浸泡不充分, 油脂溶解不完全, 提取率低; 石油醚量过多会造成试剂浪费, 延长脱溶时间; 随着溶剂用量的不断增大, 出油率不断提高, 这是由于提取溶剂用量的增加间接降低了油的浓度, 增加了溶剂与油脂的浓度差, 增加了传质推动力, 提高了油脂在提取溶剂中的扩散速度; 如果继续增加溶剂用量, 出油率趋向稳定, 溶剂用量过大, 会造成溶剂回收困难和生产成本增加。有文献<sup>[32]</sup>用面包做样品, 指出当石油醚的添加量为样品质量的 1.2 mL/g 倍时, 油脂的提取率最大。

### (3) 样品在石油醚中的浸泡时间

依据国家标准, 样品粉碎后应用石油醚浸泡过夜, 但通常为节约时间而缩短提取时间, 认为得到的油脂足够做实验即可。王巍等<sup>[33]</sup>指出浸泡时间的长短严重影响结果, 随着浸泡时间的延长, 过氧化值不断减小, 浸泡 12 h 后又略有回升。

### (4) 油脂的提取方式

油脂的提取方式通常分为减压脱溶、常压脱溶和水浴加热脱溶 3 种方式<sup>[34]</sup>。不饱和脂肪酸受热易氧化, 脱溶的温度对样品的过氧化值影响较大<sup>[35]</sup>。前人研究结果表明水浴加热提取法所提取的油脂, 测得的酸价、过氧化值最高, 索氏提取法次之, 而减压提取法最低, 且不同的提取法对酸价的影响明显小于对过氧化值的影响<sup>[36]</sup>。因我们在样品

中所提取到的脂肪量一般仅在 15~25 g, 在与溶剂共存时, 与空气中氧的接触面积相对较小, 随着混合液中溶剂的挥发, 其中的脂肪接触空气的面积不断增大, 被氧化的量也随之增加, 故油脂中的酸价、过氧化值呈上升趋势<sup>[37]</sup>。该现象在水浴加热提取法中表现得最为明显, 故用该法提取脂肪时, 最好用无水乙醚, 因乙醚沸点低, 与石油醚相比, 在同样温度的水浴中, 溶剂挥发所需时间短, 脂肪与空气中氧的接触时间及被氧化的量也随之减少; 而减压提取法因混合液是在密闭的提取瓶中, 并呈负压状态, 故基本不存在氧化问题。

#### (5) 不同脱溶温度的对比

温度愈高, 酸价、过氧化值随之升高, 且过氧化值较酸价所受影响更大。

#### (6) 脱溶温度和时间

水浴挥发溶剂时间的长短对酸价的影响不是很明显, 但对过氧化值影响很大<sup>[38]</sup>。为此, 我们在用第三法脱溶时, 一定要掌握好时间和温度, 既要脱净溶剂, 又不能随意延长脱溶时间。一般水浴温度控制在 50 °C, 时间 2~2.5 h, 若溶剂为乙醚, 温度则控制在 30~40 °C, 0.5~1 h 即可脱净溶剂。

目前食品中油脂的提取除了有机溶剂浸提法<sup>[39,40]</sup>, 还有超临界流体萃取法<sup>[41~43]</sup>和索氏提取法<sup>[44]</sup>等。超临界流体萃取法操作费用昂贵, 而索氏提取法因提取时间较长, 长时间的高温提取使得油脂分解而产生较多的游离脂肪酸, 所测得油脂酸价高于其他方法。有机溶剂搅拌浸提油脂的操作较为简单、耗时短, 但是搅拌浸提的方法提取脂肪并不完全, 而且在过滤过程中, 有机溶剂逐渐挥发, 脂肪与空气接触的表面积不断增大, 被氧化的脂肪量也随之增加, 使得酸价的测定结果偏高<sup>[45]</sup>。

超声波辅助提取是一种新的提取分离技术。近年来, 随着油脂提取方法的发展, 超声波辅助提取法已应用于油脂的提取<sup>[46,47]</sup>。超声波辅助提取法主要利用的是热效应、机械效应和空化效应<sup>[48,49]</sup>。热效应能加快物质的溶解速度, 机械效应强化介质的扩散、传播, 空化效应是利用介质内微气泡破裂时形成的压力加强物质的释放, 加强传质过程, 可大大缩短提取时间, 所提油脂质量较好<sup>[50]</sup>。超声波处理与传统的溶剂萃取、机械压榨法相比具有提取率高、操作简便及减少有机溶剂用量的优点, 被广泛应用于提取植物有效成分<sup>[51~54]</sup>。超声提取法与搅拌浸提法相比, 油脂提取效率较高, 但为了尽可能完全提取出食品体系中的油脂, 需超声提取多次, 操作相对复杂。随着超声时间的延长, 水浴温度开始升高, 加快了油脂的氧化速度。超声波功率过大时, 空穴作用减弱, 甚至发挥不到空化效果, 从而影响提取率<sup>[55]</sup>。王巍等探讨了 3 份平行样品(蒜香青豆)浸泡和超声不同时间萃取油脂对过氧化值测定结果的影响<sup>[33]</sup>, 发现浸泡时间短的样品内部油脂浸出不完全, 主要以表面油脂为主, 而表面油脂接触空气的几率大, 氧化程度高,

是过氧化值偏高的主要原因, 故需保证足够的浸泡时间。

## 3 结 论

本文通过综述目前检测食品酸价和过氧化值的前处理方法, 但测定方法都比较繁琐、所用的化学试剂量多、准确性和精密度不高、只适用于实验室检测, 难以满足现代社会对食品安全检测技术的要求, 急需在现有技术基础上进行改进, 寻找一种在尽可能减少油脂二次氧化的前提下, 提高油脂的提取率的油脂提取方法或装置, 推荐利用超声波处理辅助萃取食品油脂, 以提高油脂提取率简化操作流程, 对油脂酸价和过氧化值的精准检测具有重大意义。

## 参考文献

- [1] 李书国, 薛文通, 张惠. 食用油脂过氧化值分析检测方法研究进展[J]. 粮食与油脂, 2007, (7): 35-38.
- [2] Li SG, Xue WT, Zhang H. Research progress in analysis methods of peroxide value in edible oils [J]. Cereals Oils, 2007, (7): 35-38.
- [3] 刘瑞兴, 吴苏喜. 深色油脂酸价测定新方法的研究[J]. 粮油加工, 2006, (5): 51-52, 55.
- [4] Liu RX, Wu SX. Determination of the acid value of fuscous oil by adding salt solution [J]. Cereals Oils Process, 2006, (5): 51-52, 55.
- [5] 邢立民. 深色油脂酸值测定新方法的研究[J]. 内蒙古科技与经济, 2008, (8): 80-81.
- [6] Xing LM. Determination of the acid value of fuscous oil by adding salt solution [J]. Inner Mongolia Sci Technol Econ, 2008, (8): 80-81.
- [7] 邓丰. 保健食品酸价测定方法的探讨[J]. 广州化工, 2015, 43(20): 147-149.
- [8] Deng F. Study on determination methods of acid values in health functional foods [J]. Guangzhou Chem Ind, 2015, 43(20): 147-149.
- [9] Barriuso B, Astiasarán I, Ansorena D. A review of analytical methods measuring lipid oxidation status in foods: A challenging task [J]. Eur Food Res Technol, 2013, 236(1): 1-15.
- [10] Talcott ST, Duncan CE, Del Pozo-Insfran D, *et al.* Polyphenolic and antioxidant changes during storage of normal, mid, and high oleic acid peanuts [J]. Food Chem, 2005, 89(1): 77-84.
- [11] GB/T 5009.227-2016 食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定[S]. GB/T 5009.227-2016 National food safety standards-Determination of peroxidation value in foods [S].
- [12] 王苏闽, 刘华清, 茅於芳. 关于油脂酸价测定中指示剂的选择[J]. 黑龙江粮油科技, 2001, (4): 25-26.
- [13] Wang SM, Liu HQ, Mao YF. Selection of indicator in determining acid value of oils and fats [J]. J Heilongjiang Grain, 2001, (4): 25-26.
- [14] 彭元怀. 油脂酸价测定实验中的混浊现象及对策[J]. 镇江师范学院学报, 2012, 33(3): 70-71.
- [15] Peng YH. The turbid and solution in measurement of acid value of oils and fats [J]. J Zhanjiang Norm Univ, 2012, 33(3): 70-71.
- [16] Uchida K. Role of reactive aldehyde in cardiovascular diseases [J]. Free Radical Biol Med, 2000, 28(12): 1685-1696.
- [17] Kardash-Strochkova E, Turyany I, Kuselman I. Redox-potentiometric determination of peroxide value in edible oils without titration [J]. Talanta, 2001, 54(2): 411-416.

- [12] 陶莎, 王玮, 陈复生, 等. 微小电极测定植物油过氧化值准确度评价[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 129–135.  
Tao S, Wang W, Chen FS, *et al.* Accuracy evaluation of determining peroxide value in vegetable oils by microelectrode [J]. J Chin Cereals Oils Ass, 2015, 30(1): 129–135.
- [13] Mehta BM, Darjy VB, Aparnathi KD. Comparison of five analytical methods for the determination of peroxide value in oxidized ghee [J]. Food Chem, 2015, 185(20): 449–453.
- [14] Wang N, Ma T, Yu X. Determination of peroxide values of edible oils by ultraviolet spectrometric method [J]. Food Anal Methods, 2016, 9(5): 1412–1417.
- [15] Liang P, Chen C, Zhao S, *et al.* Application of fourier transform infrared spectroscopy for the oxidation and peroxide value evaluation in virgin walnut oil [J]. J Spectrosc, 2013, 18(1): 135–142.
- [16] Inarejos-García AM, Gómez-Alonso S, Fregapane G, *et al.* Evaluation of minor components, sensory characteristics and quality of virgin olive oil by near infrared (NIR) spectroscopy [J]. Food Res Int, 2013, 50(1): 250–258.
- [17] Santas J, Guzmán YJ, Guardiola F, *et al.* High-throughput analysis of lipid hydroperoxides in edible oils and fats using the fluorescent reagent diphenyl-1-pyrenylphosphine [J]. Food Chem, 2014, 162(11): 235–241.
- [18] Yu X, Li Q, Sun D, *et al.* Determination of the peroxide value of edible oils by FTIR spectroscopy using polyethylene films [J]. Anal Methods, 2015, 7(5): 1727–1731.
- [19] Mureşan V, Danthine S, Mureşan AE, *et al.* In situ analysis of lipid oxidation in oilseed-based food products using near-infrared spectroscopy and chemometrics: The sunflower kernel paste (tahini) example [J]. Talanta, 2016, 155(10): 336–346.
- [20] Wójcicki K, Wójcicki K, Sikorski M, *et al.* Near and mid infrared spectroscopy and multivariate data analysis in studies of oxidation of edible oils [J]. Food Chem, 2015, 187(22): 416–423.
- [21] Guzmán E, Baeten V, Pierna JAF, *et al.* Evaluation of the overall quality of olive oil using fluorescence spectroscopy [J]. Food Chem, 2015, 173(8): 927–934.
- [22] Gotoh N, Miyake S, Takei H, *et al.* Simple method for measuring the peroxide value in a colored lipid [J]. Food Anal Methods, 2011, 4(4): 525–530.
- [23] GB/T 5528-2005 食品安全国家标准 食品卫生检验方法[S].  
GB/T 5528-2005 National food safety standards-Food hygiene inspection method [S].
- [24] 张水华. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.  
Zhang SH. Food analysis [M]. Beijing: China Light Industry Publishers, 2008.
- [25] GB/T 5009.229-2016 食品安全国家标准 食品中酸价的测定[S].  
GB/T 5009.229-2016 National food safety standards-Determination of acid value in foods [S].
- [26] Cesa S, Casadei MA, Cerreto F, *et al.* Influence of fat extraction methods on the peroxide value in infant formulas [J]. Food Res Int, 2012, 48(2): 584–591.
- [27] 张森, 李博, 钱平. 食品中油脂提取及过氧化值检测方法的优化[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 497–500.  
Zhang M, Li B, Qian P. Optimization for extraction of oil and the determination of peroxide value [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, (12): 497–500.
- [28] 陶诚. 油脂和油料储藏研究进展[J]. 中国油脂, 2004, 29(10): 11–15.  
Tao C. Research advance in oilseed and oils storage [J]. China Oils Fats, 2004, 29(10): 11–15.
- [29] 黄业传. 油脂储藏技术研究进展[J]. 粮食与油脂, 2003, 16(2): 11–19.  
Huang YC. Study progress on oils preservation [J]. Cereals Oils, 2003, 16(2): 11–19.
- [30] 靳权. 存放条件对煎炸油酸价和过氧化值的影响研究[J]. 广东化工, 2016, 43(1): 53–54.  
Jin Q. The research of storage conditions on acid value and peroxide value of frying oil [J]. Guangdong Chem Ind, 2016, 43(1): 53–54.
- [31] 余伟梅. 糕点过氧化值测定方法的注意事项[J]. 中国测试技术, 2004, 30(5): 79–80.  
Yu WM. Key points for attention in testing peroxide value of pastry, cake and biscuit [J]. China Meas Test Technol, 2004, 30(5): 79–80.
- [32] 孙颖, 滕玥, 王文菁. 食品中油脂提取及过氧化值检测方法的优化[J]. 食品安全导刊, 2017, (36): 107.  
Sun Y, Teng Y, Wang WJ. Optimization for extraction of oil and the determination of peroxide value [J]. China Food Saf Magaz, 2017, (36): 107.
- [33] 王巍, 李金龙, 王丽静, 等. 坚果类食品过氧化值测定的影响因素分析[J]. 食品科学, 2007, 28(10): 484–486.  
Wang W, Li JL, Wang LJ, *et al.* Factors on determination of nuts POV values [J]. Food Sci, 2007, 28(10): 484–486.
- [34] 卿云光, 罗在粉. 油脂的提取方法对酸价和过氧化值测定的影响[J]. 广州化工, 2015, (5): 147–148.  
Qing YG, Luo ZF. Effect on the determination of acid value and peroxide value through oil extraction method [J]. Guangzhou Chem Ind, 2015, (5): 147–148.
- [35] 周娜, 李卫林. 食品中油脂提取及过氧化值测定影响因素的探讨[J]. 海峡预防医学杂志, 2016, 22(1): 55–58.  
Zhou N, Li WL. Optimization for extraction of oil and the determination of peroxide value [J]. Strait J Prev Med, 2016, 22(1): 55–58.
- [36] 叶秀娟. 食品中酸价和过氧化值测定方法的改进[J]. 现代食品科技, 2011, 27(10): 1285–1287.  
Ye XJ. Improved method for the determination of acid value and peroxide value in nuts food [J]. Mod Sci Technol Food, 2011, 27(10): 1285–1287.
- [37] 黄亚河. 储藏粮油品质与检验[M]. 北京: 国家粮食储备局, 1999.  
Huang YH. Storage grain and oil quality and inspection [M]. Beijing: State Food Reserve Bureau, 1999.
- [38] 郑欣怡. 油脂过氧化值测定的影响因素[J]. 食品安全导刊, 2016, (27): 24.  
Zheng XY. Factors on the determination of lipid peroxidation value [J]. China Food Saf Magaz, 2016, (27): 24.
- [39] 何梦恒, 肖蓉, 李栋, 等. 腊牛肉酸价测定方法的探讨[J]. 肉类工业, 2011, (6): 26–28.  
He MH, Xiao R, Li D, *et al.* Study on determination method of AV in cured beef [J]. Meat Ind, 2011, (6): 26–28.
- [40] 宋金华. 坚果食品中酸价和过氧化值测定方法的改进[J]. 现代预防医学, 2006, 33(4): 578–579.  
Song JH. Improved method for the determination of acid value and peroxide value in nuts food [J]. Mod Prev Med, 2006, 33(4): 578–579.
- [41] 甘典华, 王朝阳, 潘英明, 等. 阴香种子油脂的提取及应用[J]. 广西师

- 范大学学报(自然科学版), 2009, 27(1): 50–53.
- Gan DH, Wang CY, Pan YM, *et al.* Extraction and application of oils from *Cinnamomum burmannii*'s seed [J]. J Guangxi Norm Univ (Nat Sci Ed), 2009, 27(1): 50–53.
- [42] 张伯帅, 王宝维. 动物油脂提取及加工技术研究进展[J]. 中国油脂, 2010, 35(12): 8–11.
- Zhang BS, Wang BW. Research advance in extraction and processing of animal fats [J]. China Oils Fats, 2010, 35(12): 8–11.
- [43] Wei ZJ, Liao AM, Zhang HX, *et al.* Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of silkworm pupal oil applying the response surface methodology [J]. Bioresour Technol, 2009, 100(18): 4214–4219.
- [44] 王静, 郝小松, 孙林涛, 等. 蚕蛹油脂的超临界二氧化碳萃取工艺及分析[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 112–115.
- Wang J, Hao XS, Sun LT, *et al.* Supercritical carbon dioxide extraction of oil from silkworm pupa [J]. Food Sci, 2009, 30(22): 112–115.
- [45] 陈全斌, 程忠泉, 许子竞, 等. 罗汉果种仁油脂的提取及其性质研究[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(2): 25–27.
- Chen QB, Cheng ZQ, Xu ZJ, *et al.* Study on the extraction and properties of oil from seeds of *Siraitia grosvenori* (Swingle) C. Jeffery [J]. Sci Technol Cereals, Oils Foods, 2004, 12(2): 25–27.
- [46] Chanioti S, Tzia C. Optimization of ultrasound-assisted extraction of oil from olive pomace using response surface technology: Oil recovery, unsaponifiable matter, total phenol content and antioxidant activity [J]. LWT-Food Sci Technol, 2017, 79: 178–189.
- [47] Samaram S, Mirhosseini H, Tan CP, *et al.* Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seed oil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability [J]. Ind Crops Prod, 2014, 52(1): 702–708.
- [48] 杜双奎, 于修焜, 王青林, 等. 超声波辅助提取亚麻籽油的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(4): 70–74.
- Du SK, Yu XZ, Wang QL, *et al.* Ultrasonic-assisted extraction of oil from flaxseeds [J]. J Chin Cereals Oils Ass, 2009, 24(4): 70–74.
- [49] 杨辉, 李朝阁. 八月瓜籽油的超声波辅助提取及其理化性质[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2015, 33(6): 127–131.
- Yang H, Li CG. Ultrasonic extraction and physicochemical properties of *Akebia trifoliata* seed oil [J]. J Shaanxi Univ Sci Technol (Nat Sci Ed), 2015, 33(6): 127–131.
- [50] 薛焕焕, 张海生, 赵鑫帅, 等. 不同提取方法对大扁杏仁油品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(2): 439–446.
- Xue HH, Zhang HS, Zhao XS, *et al.* Effects of different extraction methods on the quality of *Prunus armeniaca* Linn oil [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2018, 34(2): 439–446.
- [51] 宋立华, 金刚, 李信, 等. 超声法提取脂肪的研究[J]. 上海交通大学学报, 2008, 26(6): 545–549.
- Song LH, Jin G, Li J, *et al.* Study on ultrasonic extraction method of fat in food [J]. J Shanghai Jiaotong Univ, 2008, 26(6): 545–549.
- [52] 李维莉, 马银海, 张亚平, 等. 菱角壳总黄酮超声辅助提取工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(14): 140–142.
- Li WL, Ma YH, Zhang YP, *et al.* Ultrasound-assisted extraction of total flavonoids from water Chestnut hull [J]. Food Sci, 2009, 30(14): 140–142.
- [53] 李广文, 李爱梅, 葛婧, 等. 正交试验优化超声波辅助乙醇法提取米团花黄色素工艺[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 27–30.
- Li GW, Li AM, Ge J, *et al.* Optimization of ultrasound-assisted ethanol extraction of yellow pigments from *Leucoscepttrum canum* (Smith) [J]. Food Sci, 2013, 34(10): 27–30.
- [54] 姜慧萍, 黄焱, 刘煌, 等. 超声波技术在配方乳粉过氧化值检测前处理中的应用[J]. 食品科技, 2015, 40(3): 292–296.
- Jiang HP, Huang T, Liu H, *et al.* Preparation of ultrasound-assisted extraction in pretreatment method for peroxide value determination of formulas [J]. Food Sci Technol, 2015, 40(3): 292–296.
- [55] Ranveer RC, Gutte KB, Sahoo AK. Effect of ultrasonic treatment on extraction of fatty acid profile of flaxseed oil [J]. Oilseeds Fats Crops Lipids, 2015, 22(6): 606.

(责任编辑: 苏笑芳)

## 作者简介



刘芳, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为食品安全检测。  
E-mail: 838245960@qq.com