

从油脂加工控制反式脂肪酸

郭瑞华, 郑妍, 杨天奎*

(丰益(上海)生物技术研发中心有限公司, 上海 200137)

摘 要: 随着氢化油的大量使用, 反式脂肪酸的危害逐渐显现。过量摄入反式脂肪酸会增加心血管疾病的危险性、诱导血栓形成, 还能干扰脂肪酸代谢, 影响青少年儿童的生长和智力发育。近年来, 公众对反式脂肪酸的担忧越来越强。本文综述了反式脂肪酸的产生、来源及对人体的危害。反式脂肪酸有两个来源, 天然存在和油脂加工过程中产生, 其危害主要来自油脂氢化、精炼及煎炸过程产生的反式脂肪酸。因此, 本文提出主要从以下 3 个方面控制反式脂肪酸: (1)寻找氢化油的替代品: 酯交换油脂、酯化产品、油凝胶、棕榈油分提物等; (2)采用油脂提取新技术: 水酶法提油、冷榨提油、超临界萃取提油等; (3)减少煎炸。旨在从源头把关, 从根本上消除反式脂肪酸可能引起的健康隐患。

关键词: 反式脂肪酸; 油脂加工; 氢化油; 油脂提取

Control of *trans* fatty acids by oil processing

GUO Rui-Hua, ZHENG Yan, YANG Tian-Kui*

(Wilmar (Shanghai) Biotechnology Research & Development Center Co., Ltd. Shanghai 200137, China)

ABSTRACT: With the extensive use of hydrogenated oils, the harm of *trans* fatty acids gradually appeared. Excessive intake of *trans* fatty acids can increase the risk of cardiovascular disease, induce thrombosis, interfere the fatty acid metabolism, and affect adolescent's growth and intellectual development. In recent years, the public concern for *trans* fatty acids is growing. This paper reviews the *trans* fatty acids' formation, sources and threat to human body. There are two sources of *trans* fatty acids, naturally occurring and produced during oil processing. Its harmful results mainly come from the *trans* fatty acids produced during oil hydrogenation, refining and frying. Therefore, this paper suggested the mainly methods for control of *trans* fatty acids from the following three aspects: (1) Seeking alternatives of hydrogenated oils: interesterification oils, esterification products, oleogel, palm oil extract, etc.; (2) The new technology of oil extraction: aqueous enzymatic method, cold pressed extraction, supercritical fluid extraction, etc.; (3) Reduce frying. The *trans* fatty acids should be controlled from the source, thereby eliminating the health risks fundamentally.

KEY WORDS: *trans* fatty acids; oil processing; hydrogenated oil; oil extraction

1 引 言

19 世纪末 20 世纪初, 德国化学家威廉·诺曼发明了植物油加氢技术。植物油脂在常温下多呈液态, 容易氧化

变质, 氢化后, 植物油可变为固态或半固态, 因此使植物油制备人造奶油在技术上成为可能。氢化植物油不含胆固醇, 不会引起动脉硬化、高血压等疾病, 因此很快被大规模应用于食品工业。这种氢化油价格便宜, 性质

*通讯作者: 杨天奎, 教授, 主要研究方向为油脂化学与加工。E-mail: yangtiankui@cn.wilmar-intl.com

*Corresponding author: YANG Tian-Kui, Wilmar (Shanghai) Biotechnology Research & Development Center Co., Ltd. Shanghai 200137, China. E-mail: yangtiankui@cn.wilmar-intl.com

稳定,可以在较高温度下进行食品煎炸、烘烤和烹饪,而且加工时间短,食品的外观和口感都能得到显著改善,还能进行较长时间的保存。因此氢化油一度成为受欢迎的“健康”产品^[1]。

随着氢化油的大量使用,其相关研究也越来越多,反式脂肪酸的危害也逐渐显现,最先提出反式脂肪酸对人体存在健康风险的是欧美国家,这与欧美等西方国家的饮食习惯以及流行病的发展趋势有关^[2]。西方国家面包、蛋糕、饼干、巧克力、冰淇淋及速冻加工食品消耗量大,因此,欧美国家人均摄入反式脂肪酸比例远高于我国居民。

20 世纪 90 年代初,美国科学家首先发现反式脂肪与女性患冠心病的危险显著相关。这一结论,引起了各国学者的广泛关注。进一步研究发现,过量摄入反式脂肪会增加心血管疾病的危险性、增加血液黏稠度和诱导血栓形成,还能干扰脂肪酸代谢,增加妇女患 2 型糖尿病和乳腺癌的危险,并且还会影响青少年儿童的生长和智力发育^[3-6]。对此,各国纷纷采取措施并进行立法限制,控制反式脂肪酸的摄入^[7,8]。2003 年丹麦首先立法禁止销售反式脂肪含量超过 2% 的食材。2013 年,美国已初步决定禁用对人体健康不利的人造反式脂肪。我国也自 2013 年 1 月 1 日起,开始实施 GB 28050-2011 国家标准,并建议,“每天摄入反式脂肪酸不应超过 2.2 g”。

面对反式脂肪酸对人体的危害,以及公众对反式脂肪酸的担心,本文对反式脂肪酸的来源和控制进行综述,并着重从氢化油的替代、油脂提取新技术等油脂加工过程提出控制反式脂肪酸的措施,以期从源头把关,从根本上消除反式脂肪酸可能引起的健康危害。

2 反式脂肪酸的来源

脂肪酸对人体危害逐渐凸显的同时,人们也开始追溯反式脂肪酸的来源,经研究发现反式脂肪酸主要有以下来源^[9]:

2.1 天然反式脂肪酸

当不饱和脂肪酸被牛、羊等反刍动物消化时,脂肪酸在动物瘤胃中被细菌部分氢化而生成少量反式脂肪酸。牛奶、乳制品、牛肉和羊肉的脂肪中均含有一定量的反式脂肪酸^[10],占 2%~9%。鸡、猪也通过饲料吸收反式脂肪酸,并因此进入家禽和猪肉等产品中。

2.2 油脂氢化

油脂在氢化过程中,氢原子与不饱和脂肪酸的双键发生加成反应,引起双键重排,生成双键位置不同和空间异构的反式脂肪酸^[11],由于原料、氢化条件、食品加工条件等的不同,氢化油中反式脂肪酸的含量也不尽相同。部分氢化油脂中反式脂肪酸含量较高,而极度氢化油脂中反式脂肪酸的含量通常在 1% 以下。

2.3 高温精炼

油脂在精练脱臭工艺中,通常需要 250 °C 以上高温和 2 h 的加热时间。由于高温及长时间加热,便产生了一定量的反式脂肪酸。河南工业大学和东北农业大学分别对郑州和哈尔滨的实用油进行随机取样并检测,发现在居民常用食用油中,确实存在少量反式脂肪酸,但由于含量较低,并不是造成反式脂肪酸风险的主要原因^[12-14]。

2.4 高温及反复煎炸

油脂烟点通常大于 200 °C,许多人烹调时习惯将油加热到烟点以上甚至燃烧,认为这样烹制的食品口感更佳,但是却会导致反式脂肪酸的产生;一些反复使用的煎炸油,随着煎炸次数的增加,产生的反式脂肪酸也会越积越多^[15-18]。

3 反式脂肪酸的控制

对于天然存在的反式脂肪酸,到现在为止还没有充足的科学依据,能够证明其对人体健康产生负面影响。并且,共轭亚油酸、共轭亚麻油酸虽是反式脂肪酸,但是对婴儿智力发育和健康保护很有好处。因此对于这种天然的反式脂肪酸,我们无需控制,甚至应该加以保护^[19-22]。

而对于油脂氢化、高温精炼及煎炸过程中产生的反式脂肪酸,可以根据其产生原因,并结合油脂加工技术,有针对、有目标的从源头控制^[23]。

3.1 氢化油的替代

传统氢化,尤其是部分氢化,会产生一定量反式脂肪酸。通过降低反应温度,提高反应压力,增加反应系统搅拌速率,减少催化剂用量,可以适当降低反式脂肪酸含量,但是单纯仅靠改变氢化反应条件对产品反式脂肪酸的控制很有限,为了控制氢化过程中反式脂肪酸的产生,选用超临界流体催化、电化学催化、贵金属催化剂(如钯)催化,均相催化剂催化等,具有一定效果,但是价格较高^[24]。

氢化油熔点高、塑性好,并且具有很好的抗氧化能力和持味性,因此,根据氢化油的这些应用及性能,可以通过酯交换、酯化、油凝胶、分提等油脂加工技术,制备氢化油替代品,并应用于食品加工。

(1) 酯交换油脂

酯交换通过改变甘油三酯中的脂肪酸分布,使油脂熔点、塑性和稳定性等发生一定变化。酯交换反应一般都是在催化剂作用下进行,按催化剂的不同,酯交换分为化学酯交换和酶法酯交换两类。化学酯交换是一种随机酯交换,对产品风味有一定影响,所用催化剂也具有一定危险性并且环保性能不佳。因此酶法酯交换成为获得氢化油替代品的一种有效方法。

酶法酯交换从分子水平上改性油脂,使油脂中的脂肪酸位置根据酶的特性重排,进而改变其熔解性,并且可

以通过原料油(如棕榈油、大豆油、菜籽油、葵花籽油等)的选择和配比,获得具有特定熔点、塑性和稳定性的油脂,这种产品可以替代氢化油用于人造奶油、起酥油、代可可脂等的制备,并且反应过程不涉及双键的构象转化,可以从根本上解决反式脂肪酸问题^[25-29]。

(2)酯化产品

目前国际上已经采用植物甾醇酯和植物甾烷醇酯作为氢化油的替代品^[9]。植物甾醇酯一般由植物甾醇与脂肪酸通过酯化反应或转酯化反应制得^[30]。植物甾醇酯的物理特性和结晶特性与硬脂相似,可成为氢化油的健康替代品,1999年美国FDA就将其批准可用于人造奶油生产。2010年,我国允许植物甾醇和植物甾醇酯作为新资源食品在食品中添加。该产品是一种天然的多功能生理活性物质,安全性高,是一种理想的降低胆固醇的功能性食品配料。能够作为氢化油的健康替代品用于人造奶油、蛋黄酱、烹饪油、奶酪、奶油和起酥油中。

(3)油凝胶

采用剪切、均质、乳化等技术,在液态油脂中,加入甘一酯、蜡酯、山梨糖醇酯、卵磷脂等凝胶剂,可以使液态油通过凝胶粒子之间的超分子网络,交联成固态的塑性油脂,即油凝胶^[31]。在某些食品加工中,油凝胶可以替代氢化油使用,其塑性和硬度也可通过凝胶剂和制备工艺进行调节,并且在制备过程中不会产生反式脂肪酸,目前已经引起人们的广泛关注^[32,33]。

(4)棕榈油分提

对棕榈油进行分提,得到具有特定熔点和塑性的分提产物^[34],可以替代氢化油用于零反式脂肪酸人造奶油与起酥油的制备,并且产品性能良好。棕榈油分提物目前已经大量应用于实际生产。

3.2 采用油脂提取新技术

精炼过程中的反式脂肪酸,主要在长时间的高温下产生,因此,在油脂精炼脱臭工艺中,开发和引进低温、短时、少汽的新工艺和新设备,如采用薄膜式填料塔与热脱色用的传统塔盘塔组合的新型软塔脱臭(SCDS)系统、双重低温脱臭(DTDS)系统、冻结、凝缩真空脱臭(FVSD)系统等,可以抑止和减少油脂精炼中反式脂肪酸的产生,但是无法完全杜绝反式脂肪酸的出现^[9]。

采用水酶法、冷榨法、超临界萃取等方法提油,油品质量高,色泽浅,并且避免了反式脂肪酸的产生。

(1)水酶法提油

水酶法是一种新兴的提油方法,可用于芝麻、大豆、花生、玉米胚芽等油料种子的油脂提取。它以机械和酶解为手段降解植物细胞壁,使油脂得以释放,可以满足食用油生产“安全、高效、绿色”的要求。与传统工艺相比,水酶法提油技术设备简单、操作安全,不仅可以提高效率,而且所得的毛油质量高、色泽浅、易于甚至无需精炼。该技

术处理条件温和,避免了提油过程中反式脂肪酸的产生,还能有效回收植物原料中的蛋白质等物质^[35-37]。

(2)冷榨提油

冷榨提油属于物理方法,加压而不升温,可以避免因高温加工而使油脂产生反式脂肪酸和油脂聚合体等有害物质,整个过程在低温下进行(65℃以下),所获得的冷榨油具有色浅、滋味柔和、气味清香等特性,并且无需精炼仅通过过滤即可满足食用油标准,是一种绿色环保的生产技术。以冷榨花生油为例,冷榨提取花生油不仅避免了反式脂肪酸的产生,而且可以避免精炼过程中,因添加化学添加剂而造成的酸、碱、重金属等有害物质残留问题,同时缩短了加工工艺,节约了生产成本,冷榨提油目前多用于米糠油、橄榄油、山茶油、亚麻籽油、核桃油等高端油脂的制备^[38,39]。

(3)超临界萃取提油

超临界萃取是利用超临界条件下的气体作为萃取剂,从液体或固体中萃取出某些成分并进行分离的技术。超临界-CO₂萃取提油,操作简单,环境友好,可以通过温度和压力调节,有选择性地萃取,既可减少有害物质,又能使有效成分高度富集,并且所得油品含磷少,色泽浅,无需后续精炼,并且整个过程在低温下操作,既保护了活性物质,又避免了反式脂肪酸等有害物质的产生。

超临界萃取提油作为一种新兴技术,在夹带剂的选择和使用上还存在一定难度,但它在理论和应用上都被证明具有广阔的前景,其得到的油脂品质好、纯度高,并且不含反式脂肪酸,目前已经用于葡糖籽油、玉米胚芽油等高附加值油脂的制备^[40-42]。

3.3 煎炸中反式脂肪酸的控制

煎炸过程中的反式脂肪酸,主要由于油温过高和反复煎炸产生,因此我们应改掉这些不科学的烹调方法,尽量多食凉拌菜肴,少食煎炸食品,遵循“能拌勿煎,能煎勿炸”原则。在煎炸过程中,尤其要控制好油温,不要达到烟点或者使其燃烧。

4 展 望

目前,人们对反式脂肪酸的产生及来源都有了清楚认识,面对反式脂肪酸的危害,各国都在积极响应,各大油脂加工企业,也在努力开发反式脂肪酸控制技术,积极推行油脂加工新工艺,从源头把关,从根本上消除反式脂肪酸可能引起的健康隐患。反式脂肪酸是食品工业发展的产物,随着科学的发展,时代的进步,加之油脂加工企业的努力,相信不久的将来,反式脂肪酸将不再成为人们健康的困扰因素。

参考文献

- [1] 金青哲,王兴国,曹万新,等.反式脂肪酸安全问题辨析[J].中国油脂,

- 2011, 36(1): 5–9.
- Jin QZ, Wang XG, Cao WX, *et al.* Discrimination of safety issues on *trans* fatty acids [J]. China Oils Fats, 2011, 36(1): 5–9.
- [2] Roe M, Pinchen H, Church S, *et al.* *Trans* fatty acids in a range of UK processed foods [J]. Food Chem, 2012, 140: 427–431.
- [3] 李俭, 刘永春. 食品中反式脂肪酸的健康损害及研究进展[J]. 疾病监测与控制杂志, 2011, 5(5): 276–278.
- Li J, Liu YC. Research process of health damage of *trans*-fatty acid in the food [J]. J Dis Monitor Control, 2011, 5(5): 276–278.
- [4] Nestel P. *Trans* Fatty Acids: are its cardiovascular risks fully appreciated [J]. Clin Ther, 2014, 36(3): 315–321.
- [5] Ganguly R, Pierce GN. The toxicity of dietary *trans* fats [J]. Food Chem Toxicol, 2015, 78: 170–176.
- [6] Garshick M, Mochari-Greenberger H, Mosca L. Reduction in dietary *trans* fat intake is associated with decreased LDL particle number in a primary prevention population [J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2014, 24(1): 100–106.
- [7] Trattner S, Becker W, Wretling S, *et al.* Fatty acid composition of Swedish bakery products, with emphasis on *trans*-fatty acids [J]. Food Chem, 2015, 175: 423–430.
- [8] Santos L, Cruz R, Casal S. *Trans* fatty acids in commercial cookies and biscuits: an update of portuguese market [J]. Food Control, 2015, 47: 141–146.
- [9] 沈建福, 张志英. 反式脂肪酸的安全问题及最新研究进展 [J]. 中国粮油学报, 2005, 20(4): 88–91.
- Shen JF, Zhang ZY. Recent development of study on *Trans* fatty acids [J]. J Chin Cereal Oils Assoc, 2005, 20(4): 88–91.
- [10] Purchas R, Wilkinson B, Carruthers F, *et al.* A comparison of the *trans* fatty acid content of uncooked and cooked lean meat, edible offal and adipose tissue from New Zealand beef and lamb [J]. J Food Compos Anal, 2015, 41: 151–156.
- [11] Menaa F, Menaa A, Tréton J, *et al.* Technological approaches to minimize industrial *trans* fatty acids in foods [J]. Food Sci, 2013, 78(3): 377–386.
- [12] 谢岩黎, 严瑞东, 霍权恭, 等. 食用油脂及加工食品中反式脂肪酸的风险评价 [J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(4): 1190–1199.
- Xie YL, Yan RD, Huo QG, *et al.* Risk assessment for *trans*-fatty acids content of edible oils and fats and processed foods [J]. J Food Saf Qual, 2013, 4(4): 1190–1199.
- [13] Hou JC, Wang F, Wang YT, *et al.* Assessment of *trans* fatty acids in edible oils in China [J]. Food Control, 2012, 25: 211–215.
- [14] Cho YY, Kwon EY, Kim HJ, *et al.* Differential effect of corn oil-based low *trans* structured fat on the plasma and hepatic lipid profile in an atherogenic mouse model: comparison to hydrogenated *trans* fat [J]. Lipids Health Dis, 2011, 10: 15.
- [15] 陈银基, 周光宏. 反式脂肪酸分类、来源与功能研究进展 [J]. 中国油脂, 2006, 31(5): 7–10.
- Chen YJ, Zhou GH. Study advances in classification, source and function of *trans* fatty acids [J]. China Oils Fats, 2006, 31(5): 7–10.
- [16] Tsuzuki W, Matsuoka A, Ushida K. Formation of *trans* fatty acids in edible oils during the frying and heating process [J]. Food Chem, 2010, 123: 976–982.
- [17] Bansal G, Zhou W, Tan TW, *et al.* Analysis of *trans* fatty acids in deep frying oils by three different approaches [J]. Food Chem, 2009, 116(2): 535–541.
- [18] Romero A, Cuesta C, Sánchez-Muniz F. *Trans* fatty acid production in deep fat frying of frozen foods with different oils and frying modalities [J]. Nutr Res, 2000, 20(4): 599–608.
- [19] Martínez-Monteaudo S, Leal-Dávila M, Curtis J M, *et al.* Oxidative stability of ultra high temperature milk enriched in conjugated linoleic acid and *trans*-vaccenic acid [J]. Int Dairy J, 2015, 43: 70–77.
- [20] Chardigny JM, Malpuech-Brugère C, Dionisi F, *et al.* Rationale and design of the TRANSFACT project phase I: a study to assess the effect of the two different dietary sources of *trans* fatty acids on cardiovascular risk factors in humans [J]. Contemp Clin Trials, 2006, 27(4): 364–373.
- [21] Wang Y, Jacome-Sosa MM, Proctor SD. The role of ruminant *trans* fat as a potential nutraceutical in the prevention of cardiovascular disease [J]. Food Res Int, 2012, 46(2): 460–468.
- [22] Nestel P. *Trans* Fatty Acids: Are its cardiovascular risks fully appreciated [J]. Clin Ther, 2014, 36(3): 315–321.
- [23] Hunter JD. Dietary levels of *trans*-fatty acids: basis for health concerns and industry efforts to limit use [J]. Nutr Res, 2005, 25(5): 499–513.
- [24] 张斌, 金青哲, 王兴国. 油脂氢化过程中反式脂肪酸形成及降低措施 [J]. 粮食与油脂, 2006, (11): 6–8.
- Zhang B, Jin QZ, Wang XG. Measure of reducing *Trans* fatty acids content in hydrogenated edible oils [J]. Cereals Oils, 2006, (11): 6–8.
- [25] 朱雪梅, 阮霞, 胡蒋宁, 等. 酶催化酯交换法制备零反式脂肪酸人造奶油基料油的理化性质研究 [J]. 中国油脂, 2012, 37(11): 75–79.
- Zhu XM, Ruan X, Hu JN, *et al.* Characterization of zero-*trans* fatty acid margarine base oil produced by enzymatic interesterification [J]. China Oils Fats, 2012, 37(11): 75–79.
- [26] Pande G, Akoh C C. Enzymatic synthesis of *trans*-free structured margarine fat analogs with high stearate soybean oil and palm stearin and their characterization [J]. Food Sci Technol-LEB, 2013, 50: 232–239.
- [27] Li D, Adhikari P, Shin J-A, *et al.* Lipase-catalyzed interesterification of high oleic sunflower oil and fully hydrogenated soybean oil comparison of batch and continuous reactor for production of zero *trans* shortening fats [J]. Food Sci Technol-LEB, 2010, 43(3): 458–464.
- [28] Reshma MV, Saritha SS, Balachandran C, *et al.* Lipase catalyzed interesterification of palm stearin and rice bran oil blends for preparation of zero *trans* shortening with bioactive phytochemicals [J]. BioresourTechnol, 2008, 99(11): 5011–5019.
- [29] Adhikari P, Zhu XM, Gautam A, *et al.* Scaled-up production of zero-*trans* margarine fat using pine nut oil and palm stearin [J]. Food Chem, 2010, 119(4): 1332–1338.
- [30] Morinaga N, Maeda A, Mizuno T. Synthesis of fatty acid sterol esters using cholesterol esterase from *Trichoderma* sp. AS59 [J]. Enzyme Microb Tech, 2011, 48(6–7): 498–504.
- [31] 殷俊俊, 马传国, 王伟, 等. 利用 γ -谷维素与 β -谷甾醇制备葵花油凝胶研究[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(1): 39–42.
- Yin JJ, Ma CG, Wang W, *et al.* Research on preparation of γ -oryzanol and β -sitosterol-based sunflower oil organogel [J]. Cereals Oils, 2015, 28(1): 39–42.
- [32] Jang A, Bae W, Hwang H, *et al.* Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods [J]. Food Chem, 2015, 187: 525–529.
- [33] Blake A, Marangoni A. Factors affecting the rheological properties of a

- structured cellular solid used as a fat mimetic [J]. *Food Res Int*, 2015, 74: 284–293.
- [34] Maes J, Kodali S, Danthine S, *et al.* Influence of enzymatic remediation on compositional and thermal properties of palm oil and palm oleins from dry fractionation [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2015, 92: 821–831.
- [35] 谭春兰, 袁永俊. 水酶法在植物油脂提取中的应用 [J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(7): 128–130.
- Tan C L, Yuan Y J. The application of aqueous enzymatic method in the extraction of plant oil [J]. *Food Res Dev*, 2006, 27(7): 128–130.
- [36] Yusoff MM, Gordon MH, Niranjana K. Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods: a review [J]. *Trends Food Sci Tech*, 2015, 41: 60–82.
- [37] Jung S, Mahfuz AA. Low temperature dry extrusion and high-pressure processing prior to enzyme-assisted aqueous extraction of full fat soybean flakes [J]. *Food Chem*, 2009, 114: 947–954.
- [38] Thanonkaew A, Wongyai S, McClements DJ, *et al.* Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil [J]. *Food Sci Technol-LEB*, 2012, 48: 231–236.
- [39] Rombaut N, Savoie R, Thomasset B, *et al.* Optimization of oil yield and oil total phenolic content during grapeseed cold screw pressing [J]. *Ind Crop Prod*, 2015, 63: 26–33.
- [40] 任飞, 韩发, 石丽娜, 等. 超临界 CO₂ 萃取技术在植物油脂提取中的应用 [J]. *中国油脂*, 2010, 35(5): 14–19.
- Ren F, Han F, Shi LN, *et al.* Application of supercritical CO₂ fluid extraction technology of vegetable oil [J]. *China Oils Fats*, 2010, 35(5): 14–19.
- [41] Melo MMR, Silvestre AJD, Silva CM. Supercritical fluid extraction of vegetable matrices: applications, trends and future perspectives of a convincing green technology [J]. *J Supercrit Fluid*, 2014, 92: 115–176.
- [42] Abrahamsson V, Rodriguez-Meizoso I, Turner C. Supercritical fluid extraction of lipids from linseed with on-line evaporative light scattering detection [J]. *Anal Chim Acta*, 2015, 853: 320–327.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



郭瑞华. 主要研究方向为食品研发。
E-mail: guoruihua1018@163.com

杨天奎, 教授, 主要研究方向油脂化学与加工。
E-mail: yangtiankui@cn.wilmar-intl.com