

响应面优化红花籽油碱异构化法制备 共轭亚油酸的研究

张红玉¹,王淑萍²,金天佑¹,许若男¹,张鑫¹,谷盼盼¹,王芳梅¹,王亮¹,王志军²

(1. 新疆大学生命科学与技术学院,乌鲁木齐 830046; 2. 中粮塔原红花(新疆)有限公司,新疆塔城 834600)

摘要:以新疆优质红花籽油为原料,通过碱异构化法制备共轭亚油酸(CLA)。采用单因素试验研究了异构化过程中反应温度、反应时间、PEG-400用量、Fe(OH)₃用量对CLA转化率的影响,同时采用响应面法对制备工艺进行优化。结果表明:在红花籽油质量为20 g前提下,红花籽油碱异构化法制备共轭亚油酸的最佳工艺条件为以PEG-400为溶剂、Fe(OH)₃为催化剂、反应温度178℃、反应时间2.7 h、PEG-400用量265 mL、Fe(OH)₃用量6 g,在此条件下,CLA转化率为96.54%。

关键词:红花籽油;共轭亚油酸;碱异构化法;响应面法

中图分类号:TS225;TQ645.6 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2018)01-0099-05

Optimization of preparation of conjugated linoleic acid from safflower seed oil by alkali isomerization using response surface methodology

ZHANG Hongyu¹, WANG Shuping², JIN Tianyou¹, XU Ruonan¹, ZHANG Xin¹, GU Panpan¹, WANG Fangmei¹, WANG Liang¹, WANG Zhijun²

(1. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. COFCO Tayuan Safflower (Xinjiang) Co., Ltd., Tacheng 834600, Xinjiang, China)

Abstract: With Xinjiang high quality safflower seed oil as raw material, conjugated linoleic acid (CLA) was prepared by alkali isomerization method. The effects of reaction temperature, reaction time, dosage of PEG-400 and dosage of Fe(OH)₃ on the conversion rate of CLA were studied by single factor experiment, at the same time the response surface methodology was used to optimize the preparation process. The results showed that when the mass of safflower seed oil was 20 g, the optimal preparation conditions of CLA from safflower seed oil by alkali isomerization were obtained as follows: using PEG-400 as solvent and Fe(OH)₃ as catalyst, reaction temperature 178℃, reaction time 2.7 h, dosage of PEG-400 265 mL and dosage of Fe(OH)₃ 6 g. Under these conditions, the conversion rate of CLA was 96.54%.

Key words: safflower seed oil; conjugated linoleic acid; alkali isomerization method; response surface methodology

红花(*Carthamus tinctoris* L.)属于菊科红花属一年或两年生的草本植物^[1]。新疆是我国红花的主产区^[2]。红花籽油中亚油酸含量较高,王书云等^[3]研究显示红花籽油中亚油酸含量为79.5%;韩

红梅等^[4]应用高效液相色谱法研究发现红花籽油中亚油酸含量为80%以上。

共轭亚油酸(CLA)是含有共轭双键的亚油酸的同分异构体^[5],其共轭双键起始于羧基端的第8、9、10、11位碳原子^[6]。目前,国内外学者已研究证实CLA具有多种生物学功能,如降脂^[7]、提高机体免疫力^[8]、抗动脉粥样硬化和抗氧化^[9]、抑制癌症^[10]等功效。现在CLA主要应用在医药、食品和化妆品等领域且市场上对其需求量也在不断提高。但是,天然的CLA只存在于反刍动物或植物油脂中且含

收稿日期:2017-05-18;修回日期:2017-10-19

作者简介:张红玉(1993),女,硕士研究生,研究方向为食品科学(E-mail)1042202865@qq.com。

通信作者:王亮,副教授,博士(E-mail)1390593786@qq.com;王志军,助理工程师(E-mail)wang-zhijun@cofco.com。

量较少^[11],而且人体自身不能合成。目前,工业上则以富含亚油酸的种子油为原料通过碱异构化法制备 CLA。刘瑞阳等^[12]以红花籽油为原料、甲醇为溶剂、NaOH 为催化剂,通过碱异构化法制备得到 CLA;彭永健等^[13]以红花籽油为原料、乙二醇为溶剂、NaOH 为催化剂,通过碱异构化法制备 CLA,CLA 的转化率达 97.9%;郑云武等^[14]以橡胶籽油为原料、聚乙二醇-400(PEG-400)为溶剂、KOH 为催化剂,碱异构化制备 CLA,CLA 的转化率为 83.04%;潘群文等^[15]以海篷子籽油为原料、KOH 为催化剂、乙二醇为溶剂,碱异构化法制备得到 CLA,CLA 转化率高达 94.6%;陈丽敏等^[16]以山核桃油中亚油酸为原料、丙二醇为溶剂、KOH 为催化剂,碱异构化法制备得到的 CLA 质量分数为 62.87%。

本研究以新疆优质红花籽油为原料,通过碱异构化法制备 CLA。采用 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 作为催化剂,旨在研究开发亚油酸碱异构化法制备 CLA 的新型催化剂。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 属于 Lweis 碱,Lweis 碱催化亚油酸异构化制备 CLA 是典型的碳负离子历程反应^[17]。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 在 PEG-400 中的溶解度比 NaOH 和 KOH 高,使得反应比较完全,得到的 CLA 转化率较高。在单因素试验的基础上,通过响应面试验优化红花籽油碱异构化法制备 CLA 的工艺条件,为红花籽油的深加工及共轭亚油酸的来源提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

红花籽油(亚油酸含量为 77%,中粮塔原红花(新疆)有限公司);CLA 标准品; $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、PEG-400、无水硫酸钠、浓盐酸、正己烷,均为分析纯。

FA1004 电子天平,UV-1200 紫外可见分光光度计,DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器。

1.2 试验方法

1.2.1 红花籽油碱异构化制备 CLA

称取一定质量 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 固体加入到一定体积的 PEG-400 中,用油浴加热搅拌使得 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 完全溶解后加入 20 g 红花籽油,高温搅拌使其充分反应,一段时间后使反应终止,将反应液温度降至 50℃,之后加入浓盐酸调节其 pH 至 1~3,静置分层,将上清液转移到分液漏斗中,用蒸馏水将上清液洗至中性,用无水硫酸钠除去样品中多余的水分,得到 CLA 混合样品,保存备用^[15-16]。

1.2.2 CLA 转化率测定

CLA 标准曲线绘制:将 CLA 标准品 100 mg 用

正己烷定容至 10 mL,配成标准溶液。从标准溶液中分别吸取 10、20、30、40、50 μL CLA 定容至 50 mL,以正己烷为参比,用紫外分光光度计测其在 233 nm 处的吸光度。以 CLA 的质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制 CLA 标准曲线,得到的回归方程为 $y = 0.0799x + 0.0121 (R^2 = 0.999)$ 。

共轭亚油酸转化率的测定:取一定量的 CLA 样品溶液,用正己烷稀释,振荡。以正己烷为参比,在 233 nm 处测其吸光度,利用标准曲线计算样品的质量浓度,并按下式计算 CLA 转化率:

$$\text{CLA 转化率} = \frac{\text{产品中 CLA 的质量}}{\text{红花籽油中亚油酸的质量}} \times 100\%$$

1.2.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件和 Graph PadPrism 5 软件对数据进行整理以及绘图,通过 Design-Expert 8.0.6 软件中的 Box-Behnken 设计试验并对数据进行模型拟合以及方差分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 反应温度对 CLA 转化率的影响

在反应时间 2.5 h、PEG-400 用量 200 mL、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 用量 5 g 条件下,考察反应温度分别为 145、155、165、175、185℃ 对 CLA 转化率的影响,结果如图 1 所示。

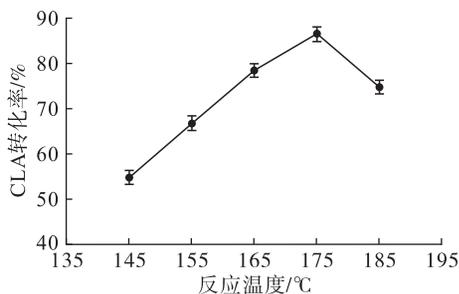


图 1 反应温度对 CLA 转化率的影响

由图 1 可知,在 145~175℃ 范围内,CLA 转化率随着反应温度的升高而不断上升。但当反应温度高于 175℃ 时,CLA 转化率随反应温度升高而下降。当反应温度为 175℃ 时,CLA 转化率最高,为 86.33%。因此,选择反应温度为 175℃。

2.1.2 反应时间对 CLA 转化率的影响

在反应温度 175℃、PEG-400 用量 200 mL、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 用量 5 g 条件下,考察反应时间分别为 1.5、2、2.5、3、3.5 h 对 CLA 转化率的影响,结果如图 2 所示。

由图 2 可知,在 1.5~2.5 h 范围内,随着反应时间的延长,CLA 转化率增加,当反应时间为 2.5 h 时,CLA 转化率达到最高,为 83.66%。在 2.5~

3.5 h 范围内,随着反应时间的延长,CLA 转化率明显降低。因此,选择反应时间为 2.5 h。

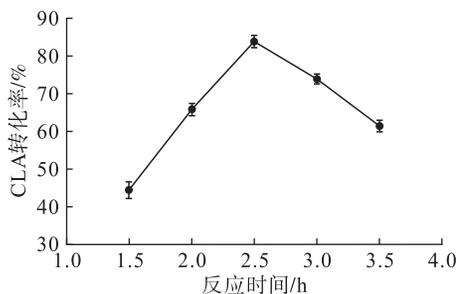


图2 反应时间对 CLA 转化率的影响

2.1.3 PEG-400 用量对 CLA 转化率的影响

在反应温度 175 ℃、反应时间 2.5 h、Fe(OH)₃ 用量 5 g 条件下,考察 PEG-400 用量分别为 100、150、200、250、300 mL 对 CLA 转化率的影响,结果如图 3 所示。

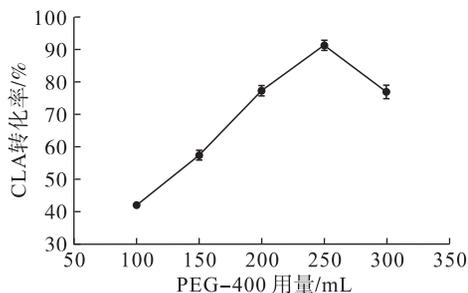


图3 PEG-400 用量对 CLA 转化率的影响

由图 3 可知,PEG-400 用量在 100~250 mL 范围内,随着溶剂量的不断增加,CLA 转化率也不断增加,当 PEG-400 用量为 250 mL 时,CLA 转化率达到最高,为 91.33%。当 PEG-400 用量大于 250 mL 时,CLA 转化率随着 PEG-400 用量的增加而呈现降低趋势。因此,选择 PEG-400 用量为 250 mL。

2.1.4 Fe(OH)₃ 用量对 CLA 转化率的影响

在反应温度 175 ℃、反应时间 2.5 h、PEG-400 用量 200 mL 条件下,考察 Fe(OH)₃ 用量分别为 3、4、5、6、7 g 对 CLA 转化率的影响,结果如图 4 所示。

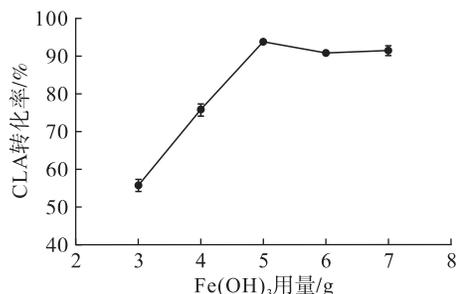


图4 Fe(OH)₃ 用量对 CLA 转化率的影响

由图 4 可知,当 Fe(OH)₃ 用量在 3~5 g 范围内,随着 Fe(OH)₃ 用量的增加,CLA 转化率也不断增加,当 Fe(OH)₃ 用量为 5 g 时,CLA 转化率达到最

高,为 93.67%,此后继续增加 Fe(OH)₃ 用量,对 CLA 转化率几乎没有影响。因此,选择 Fe(OH)₃ 用量为 5 g。

2.2 响应面试验

在单因素试验的基础上,以 CLA 转化率为指标,在红花籽油质量为 20 g 前提下,以反应时间、反应温度、PEG-400 用量、Fe(OH)₃ 用量为考察因素,进行四因素三水平的响应面分析。响应面试验因素水平编码见表 1,响应面试验设计及结果见表 2。

表1 响应面试验因素水平编码

水平	A 反应时间/h	B 反应温度/℃	C Fe(OH) ₃ 用量/g	D PEG-400 用量/mL
-1	2.0	165	4	200
0	2.5	175	5	250
1	3.0	185	6	300

表2 响应面试验设计及结果

试验号	A	B	C	D	CLA 转化率/%
1	-1	1	0	0	90.18
2	1	1	0	0	94.06
3	-1	0	1	0	96.22
4	1	0	0	-1	85.67
5	1	-1	0	0	90.01
6	1	0	1	0	95.99
7	0	0	0	0	94.12
8	0	1	-1	0	75.26
9	0	1	1	0	96.76
10	0	-1	0	1	87.72
11	0	0	-1	1	73.38
12	-1	0	-1	0	73.62
13	1	0	-1	0	77.20
14	0	-1	1	0	93.97
15	0	0	0	0	93.66
16	-1	0	0	1	89.35
17	0	-1	-1	0	72.22
18	0	0	0	0	94.13
19	0	-1	0	-1	82.19
20	0	1	0	-1	83.73
21	0	0	1	-1	89.33
22	-1	0	0	-1	83.72
23	0	0	1	1	95.34
24	0	0	-1	-1	67.87
25	-1	-1	0	0	88.42
26	0	1	0	1	90.24
27	0	0	0	0	93.75
28	1	0	0	1	92.07
29	0	0	0	0	93.68

应用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 2 试验结果进行二次多项式回归拟合,得到 CLA 转化率(Y)对所选因素的二次多元回归方程: $Y = 93.87 +$

$1.12A + 1.31B + 10.67C + 2.97D + 0.57AB - 0.95AC + 0.19AD - 0.063BC + 0.24BD + 0.13CD - 0.89A^2 - 2.36B^2 - 7.06C^2 - 5.38D^2$ 。对回归方程进行方差分析,结果见表3。

表3 方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F	P
模型	1 956.79	14	139.77	849.59	<0.000 1**
A	15.17	1	15.17	92.18	<0.000 1**
B	20.54	1	20.54	124.86	<0.000 1**
C	1 366.61	1	1 366.61	8 306.94	<0.000 1**
D	105.55	1	105.55	641.61	<0.000 1**
AB	1.31	1	1.31	7.97	0.013 6*
AC	3.63	1	3.63	22.06	0.000 3**
AD	0.15	1	0.15	0.90	0.358 6
BC	0.02	1	0.02	0.10	0.762 5
BD	0.24	1	0.24	1.46	0.247 0
CD	0.06	1	0.06	0.38	0.547 5
A ²	5.16	1	5.16	31.37	<0.000 1**
B ²	36.15	1	36.15	219.72	<0.000 1**
C ²	323.37	1	323.37	1 965.61	<0.000 1**
D ²	187.71	1	187.71	1 140.97	<0.000 1**
残差	2.30	14	0.16		
失拟项	2.08	10	0.21	3.70	0.109 5
纯误差	0.22	4	0.06		
总和	1 959.09	28			

注:*表示差异显著($P < 0.05$);**表示差异极显著($P < 0.01$)。

由表3可知,CLA转化率的回归模型方程极显著,失拟项不显著,该模型的 $R^2 = 0.998 8$, $R^2_{Adj} = 0.997 6$,变异系数为0.46%,表明该试验模型的可信度高。一次项A、B、C、D,二次项A²、B²、C²、D²以及交互项AC为极显著水平,交互项AB为显著水平。由F值可以看出各因素对CLA转化率的影响程度大小顺序为Fe(OH)₃用量>PEG-400用量>反应温度>反应时间。

应用Design-Expert 8.0.6软件对模型进行计算,得到最佳的红花籽油碱异构化法制备CLA工艺条件为反应温度178.28℃、反应时间2.69 h、PEG-400用量264.90 mL、Fe(OH)₃用量5.73 g,在此条件下,CLA转化率为98.64%。为验证试验结果的可靠性,按照最佳工艺条件对工艺参数进行调整,在反应温度178℃、反应时间2.7 h、PEG-400用量265 mL、Fe(OH)₃用量6 g条件下,进行3次重复试验,CLA转化率为96.54%,与预测值相比误差仅为2.13%,表明响应面设计方法的可行性,同时也证明了所建模型的可靠性。

彭永健等^[13]以红花籽油为原料、乙二醇为溶

剂、NaOH为催化剂、碱异构化法制备共轭亚油酸,最优工艺条件为:反应温度167℃,反应时间6 h,0.5倍红花籽油质量的NaOH,CLA转化率可达97.9%;潘群文等^[15]以海篷子籽油为原料、KOH为催化剂、乙二醇为溶剂,碱异构化法制备共轭亚油酸,最优工艺条件为:反应温度180℃,反应时间3.9 h,溶剂用量为油质量的2倍,催化剂用量为油质量的25%,CLA转化率高达94.6%;刘芸^[18]以黄秋葵籽油为原料,在反应时间4 h、反应温度162℃、每1.9 mL黄秋葵籽油添加1 g KOH、每毫升黄秋葵籽油添加2.0 mL丙二醇条件下,CLA转化率为74.20%;与之相比,本研究以Fe(OH)₃为催化剂,反应时间缩短,CLA转化率较高。

3 结论

在单因素试验的基础上,通过响应面试验优化,在红花籽油质量为20 g前提下,得到红花籽油碱异构化法制备共轭亚油酸的最佳工艺条件:以PEG-400为溶剂,Fe(OH)₃为催化剂,反应温度178℃,反应时间2.7 h,PEG-400用量265 mL,Fe(OH)₃用量6 g。在最佳条件下,CLA转化率为96.54%,与预测值98.64%相比误差仅为2.13%。

参考文献:

- [1] 梁慧珍,董薇,余永亮,等.我国红花育种研究进展与评价[J].安徽农业科学,2013(34):13160-13161.
- [2] 李彩云,康健.红花籽油的研究进展[J].食品工业,2016,18(6):218-222.
- [3] 王书云,李国玉,黄健,等.GC法测定维吾尔药红花籽和红花籽油中亚油酸的含量[J].中国药师,2013,16(1):13-16.
- [4] 韩红梅,高钧,郝福,等.高效液相色谱法测定精制红花油中亚油酸含量[J].中国药业,2014,23(3):37-38.
- [5] 孙明梅,费景春.共轭亚油酸的研究现状及应用前景[J].山东畜牧兽医,2011,32(3):58-59.
- [6] 陈杭君,陈丽敏,郜海燕,等.共轭亚油酸的制备、纯化及检测方法研究进展[J].中国食品学报,2012,12(5):137-143.
- [7] HUR S J, KIM D H, CHUN S C, et al. Effects of dietary conjugated linoleic acid and biopolymer encapsulation on lipid metabolism in mice[J]. Int J Mol Sci, 2013, 14(4):6848-6862.
- [8] 王璇琳,檀英霞,郁成雨,等.自制酸奶乳脂中 α 9, α 11-共轭亚油酸对小鼠免疫调节作用的影响[J].食品科学,2010,31(5):288-292.
- [9] CHINNADURAI K, KANWAL H K, TYAGI A K, et al. High conjugated linoleic acid enriched ghee (clarified butter) increases the antioxidant and antiatherogenic potency in female Wistar rats[J]. Lipids Health Dis, 2013, 12(1):1-9.

(下转第125页)

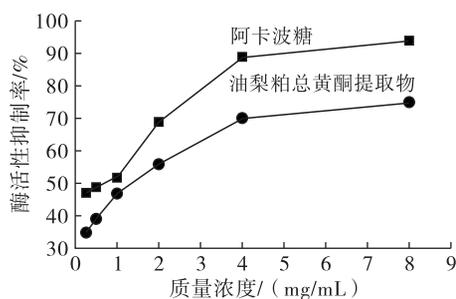


图6 油梨粕总黄酮提取物对 α -葡萄糖苷酶的活性抑制作用

3 结论

以油梨果肉脱脂后的油梨粕为研究对象,对油梨粕中的黄酮类物质进行提取,通过响应面法优化得到油梨粕总黄酮最佳提取工艺条件为:提取温度 65℃,提取时间 27 min,乙醇体积分数 60%,液料比 30:1,提取次数 1 次。在最佳提取工艺条件下,总黄酮平均得率为 9.25%。油梨粕总黄酮提取物具有较好的抑制 α -葡萄糖苷酶活性作用。黄酮类成分具有抗衰老、抗癌、降血糖等多种药理作用,是油梨中所含的一类重要的活性成分。研究油梨粕总黄酮的最佳提取条件,以及其抑制 α -葡萄糖苷酶活性作用,为深入研究其黄酮成分的降血糖作用提供一定的基础,对于油梨的深度开发和资源利用具有重要的基础意义。

参考文献:

- [1] DREHER M L, DAVENPORT A J. Hass avocado composition and potential health effects [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2013, 53: 738 - 750.
- [2] PINO J, ROSADO A, AGUERO J. Volatile components of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit [J]. J Essent Oil Res, 2000, 12(3): 377 - 378.
- [3] 熊洋, 崔晓冰, 钟俊桢, 等. 水剂法提取油梨油及其理化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(1): 85 - 90.
- [4] 黄思思, 宁德生, 夏梦雯, 等. 油梨不同部位总酚含量、抗氧化及抗菌活性[J]. 广西科学院学报, 2016, 32(2): 151 - 155.
- [5] 刘四新, 李从发, 明飞平, 等. 油梨深加工的研究[J]. 中国食品学报, 2004, 4(4): 51 - 54.
- [6] 葛宇, 曹剑秋, 钟利文, 等. 油梨和羊奶果果肉粗提物对 α -葡萄糖苷酶的体外抑制[J]. 热带农业科学, 2017, 37(2): 16 - 19.
- [7] 马锦锦, 林娟娜, 魏崧丞, 等. 葛根异黄酮类化合物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用及构效分析[J]. 中成药, 2015, 37(4): 858 - 862.
- [8] 宁德生, 黄思思, 谢运昌, 等. 油梨果渣化学成分分析及其多酚类成分的清除自由基能力[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(14): 93 - 97.
- [9] 王宗成, 龙燕萍, 彭延波, 等. 响应面优化油茶叶黄酮提取工艺及抑菌活性研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(4): 123 - 130.
- [10] 叶菊, 孙立卿, 吉守祥. 响应面法优化蓝花荆芥中总黄酮提取工艺[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2017, 35(1): 62 - 68.
- [11] 陶阿丽, 戴一, 华芳, 等. 桂花中总黄酮提取工艺及采收期研究[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(2): 247 - 249.
- [12] 白生文, 汤超, 田京, 等. 沙棘果渣总黄酮提取工艺及抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 59 - 64.
- [13] 康文艺, 张丽, 宋艳丽. 茜草抑制 α -葡萄糖苷酶活性成分研究[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(9): 1104 - 1107.
- [14] 李古月, 刘佳鑫, 才谦. 齿叶白鹃梅叶中黄酮类化合物对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性研究[J]. 天津中医药大学学报, 2015, 34(3): 165 - 168.
- [15] 王汉卿, 王文苹, 闫津金, 等. 超声提取枸杞叶中总黄酮提取工艺及其不同采收期含量变化研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(8): 44 - 47.
- [16] 郑云武, 杨晓琴, 黄元波, 等. 橡胶籽油碱催化异构化合成共轭亚油酸的制备工艺研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 253 - 258.
- [17] 潘群文, 陈美珍, 吴演. 海篷子籽油制备共轭亚油酸及其组分分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(2): 42 - 46.
- [18] 陈丽敏, 郜海燕, 陈杭君, 等. 响应面法优化山核桃亚油酸碱异构化研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(8): 74 - 79.
- [19] 张合亮, 赵祥忠, 宋俊梅. 功能性配料——共轭亚油酸的研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2014(2): 4 - 8.
- [20] 刘芸. 黄秋葵籽油中共轭亚油酸的制备及其抗氧化活性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

(上接第 102 页)

- [10] ROZ A E, BARD J M, HUVELIN J M, et al. The anti-proliferative and pro-apoptotic effects of the *trans* 9, *trans* 11 conjugated linoleic acid isomer on MCF-7 breast cancer cells are associated with LXR activation [J]. Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids, 2013, 88(4): 265 - 272.
- [11] 刘芸, 苏平, 宋思圆. 响应面法优化黄秋葵籽油中亚油酸的共轭转化率[J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 273 - 277.
- [12] 刘瑞阳, 邢华斌, 杨亦文, 等. 甲醇为溶剂红花籽油碱法异构化合成共轭亚油酸的研究[J]. 中国油脂, 2010, 35(6): 29 - 32.
- [13] 彭永健, 许新德, 张莉华, 等. 红花籽油制备共轭亚油酸工艺优化及其组成分析[J]. 中国油脂, 2015, 40

(6): 72 - 76.

- [14] 郑云武, 杨晓琴, 黄元波, 等. 橡胶籽油碱催化异构化合成共轭亚油酸的制备工艺研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 253 - 258.
- [15] 潘群文, 陈美珍, 吴演. 海篷子籽油制备共轭亚油酸及其组分分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(2): 42 - 46.
- [16] 陈丽敏, 郜海燕, 陈杭君, 等. 响应面法优化山核桃亚油酸碱异构化研究[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(8): 74 - 79.
- [17] 张合亮, 赵祥忠, 宋俊梅. 功能性配料——共轭亚油酸的研究进展[J]. 江苏调味副食品, 2014(2): 4 - 8.
- [18] 刘芸. 黄秋葵籽油中共轭亚油酸的制备及其抗氧化活性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.