

山桐子油的超临界 CO₂ 萃取工艺优化 及脂肪酸组成分析

Supercritical CO₂ extraction of *Idesia Polycarpa* oil and analysis of its fatty acid composition

旷春桃¹ 吴斌² 唐宏伟¹ 向舒¹ 贺剑扬¹

KUANG Chun-tao¹ WU Bin² TANG Hong-wei¹ XIANG Shu¹ HE Jian-yang¹

(1. 中南林业科技大学材料科学与工程学院, 湖南长沙 410004; 2. 四川省林业科学研究院, 四川成都 610066)

(1. College of Material Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu, Sichuan 610066, China)

摘要:为了充分利用山桐子资源,采用单因素试验和 Box-Behnken 试验设计优化山桐子油的超临界 CO₂ 萃取工艺,运用气相色谱—质谱(GC—MS)分析山桐子油的脂肪酸组成。结果表明,超临界 CO₂ 萃取山桐子油的优化工艺条件为萃取时间 147 min,萃取温度 53 °C,萃取压力 24 MPa;在该条件下,山桐子油得率为(38.25±0.41)%。山桐子油得率和影响因素间的回归模型极显著(P=0.000 9)。GC—MS 结果表明,山桐子油主要由不饱和脂肪酸组成,不饱和脂肪酸含量为 81.33%,亚油酸含量为 71.43%。山桐子油是一种优质的食用油资源,超临界 CO₂ 可以高效萃取山桐子油。

关键词:山桐子油;超临界 CO₂ 萃取;脂肪酸

Abstract: To make full use of *Idesia polycarpa* resource, the optimum conditions of extracting oil in *I. Polycarpa* by supercritical CO₂ were studied by single factor and Box-Behnken designs, and the fatty acid composition of this oil was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the yield of the oil in *I. polycarpa* extracted by supercritical CO₂ was (38.25±0.41)%, when extracted at 24 MPa and 53 °C for 147 min. Moreover, the regression model between yield and influence factors was very significant (P=0.000 9). In addition, the results of GC-MS showed that the total content of unsaturated fatty acid in the oil was 81.33%, and that of linoleic acid was 71.43%. In conclusion, the oil extracted from *I. polycarpa* is an edible oil resource with high quality, and could be efficiently extracted by using supercritical CO₂.

Keywords: *Idesia polycarpa* oil; supercritical CO₂ extraction; response surface methodology; fatty acid

山桐子(*Idesia Polycarpa*)是大风子科山桐子属落叶乔木,在中国陕西、甘肃、四川和湖南等省均有分布。山桐子是一种重要的油料资源,其干果中含油率 35.0%~40.9%^[1-2]。山桐子油中富含亚油酸、油酸、亚麻酸等不饱和脂肪酸,精炼后可以加工成优质的食用油^[3]。此外,山桐子油也可用于生产生物柴油^[4]、生物基润滑油^[5]等,因此,开展山桐子油的绿色高效提取技术研究,将对我国食用油安全和生物质资源高效利用具有重要意义。

山桐子油中不饱和脂肪酸含量在 85%以上^[6],其中人体内不能合成的亚油酸含量高于茶籽油和橄榄油等^[7-8],不饱和脂肪酸可以降低血清总胆固醇水平,预防心血管疾病的发生^[9-11],因此,山桐子油有“21 世纪长寿保健油”之称。刘春雷等^[7]采用索氏法提取山桐子油(山桐子油得率为 28.5%),并对其脂肪酸组成进行了分析。吴发旺等^[12]优化了冷榨法提取山桐子油的工艺,山桐子油得率为 26.61%,亚油酸含量为 67.30%。华婉等^[13]采用不同方法提取山桐子油,索氏提取法的得率为 35%,优于压榨法。超声波溶剂提取法提取的山桐子油橙黄清亮,提取效率高^[14],但是,目前中国尚未有超临界 CO₂ 萃取山桐子油的文献报道。本研究拟采用单因素试验和 Box-Behnken 试验设计优化超临界 CO₂ 萃取山桐子油的工艺,并对其脂肪酸组成进行分析,以期山桐子油的高效加工利用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

山桐子:四川省林业科学研究院;
CO₂:食品级(>99.9%),长沙高科气体有限公司;
其他试剂均为分析纯。

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(编号:201204811)
作者简介:旷春桃(1973—),男,中南林业科技大学副教授,博士。
E-mail:hknct@163.com

收稿日期:2016-08-29

1.1.2 主要仪器设备

超临界萃取装置:HA121-50-01型,南通市华安超临界萃取设备有限公司;

气相色谱—质谱联用仪(GC—MS):Clarcus 600T型,美国PerkinElmer公司;

高速粉碎机:WK-10B型,山东青州市精诚机械制造有限公司。

1.2 方法

1.2.1 超临界CO₂萃取山桐子油 山桐子果实去果柄后粉碎,过筛,称取100g过20目筛的山桐子放入萃取釜内,开启超临界CO₂制冷装置,在试验的温度和压力下萃取,萃取完成后,从分离釜1和分离釜2中分出山桐子油,取出萃取釜中的山桐子渣。山桐子油的得率按式(1)计算:

$$Y = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

Y——山桐子油得率,%;

m_1 ——山桐子油的质量,g;

m_2 ——山桐子的质量,g。

1.2.2 单因素试验设计 以萃取压力、萃取温度和萃取时间为因素,考察各因素对山桐子油的影响。

(1) 萃取压力对山桐子油得率的影响:固定萃取温度45℃,萃取时间120min,考察萃取压力(15.0,20.0,25.0,30.0,35.0MPa)对山桐子油得率的影响。

(2) 萃取温度对山桐子油得率的影响:固定萃取压力25MPa,萃取时间120min,考察萃取温度(35.0,40.0,45.0,50.0,55.0℃)对山桐子油得率的影响。

(3) 萃取时间对山桐子油得率的影响:固定萃取压力25MPa,萃取温度45℃,考察萃取时间(60,90,120,150,180min)对山桐子油得率的影响。

1.2.3 响应面优化 根据单因素试验结果,选择萃取压力、萃取温度和萃取时间为影响因素,得率为响应值,采用响应面中的Box-Behnken设计方法进一步对超临界CO₂萃取山桐子油的工艺进行优化,并对其数据进行回归分析^[15-16]。

1.2.4 山桐子油的脂肪酸成分分析 参考文献^[17-19]制备GC—MS分析用脂肪酸甲酯化样品。采用NIST谱库,计算机检索和人工解析进行定性分析;采用面积归一化法对脂肪酸进行定量分析。

(1) GC条件:HP-FFAP极性毛细管柱(30m×0.25mm,0.25μm);升温程序:初温80℃,保持1min,15℃/min升至200℃,然后以3℃/min升至210℃,最后以1℃/min升至230℃;载气(He)流速1.0mL/min;进样量:1.0μL;分流比20:1。

(2) MS条件:EI离子源;电子能量70eV;离子源温度200℃;质量扫描范围 m/z 40~600。

2 结果与分析

2.1 萃取压力对山桐子油得率的影响

由图1可知,萃取压力从15MPa增加到25MPa,山桐

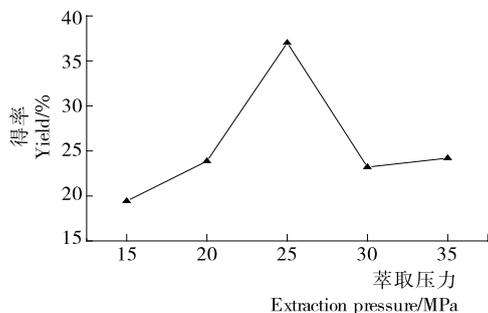


图1 萃取压力对山桐子油得率的影响

Figure 1 Effect of extraction pressure on yield of *Idesia polycarpa* oil

子油得率增加,再增加萃取压力,得率下降。因为萃取温度一定时,随着萃取压力的增大,CO₂的密度增大,山桐子油在CO₂中的溶解度增大,得率增加,当达到一定萃取压力后,CO₂的黏度增大,扩散性能降低,得率下降^[20-21],同时,萃取压力太高,对设备的耐压性和密封性要求更高,会缩短设备使用寿命。因此,适宜的萃取压力为25MPa左右。

2.2 萃取温度对山桐子油得率的影响

由图2可知,温度从35℃增加到50℃,山桐子油的得率增加,因为随温度升高,山桐子油在超临界CO₂中的扩散系数增大,有利于山桐子油的萃取。再升高萃取温度,得率下降,因为随温度升高,超临界CO₂的密度下降,山桐子油在超临界CO₂中的溶解度下降^[22-24],因此,综合考虑山桐子油得率和节能,适宜萃取温度为45~50℃。

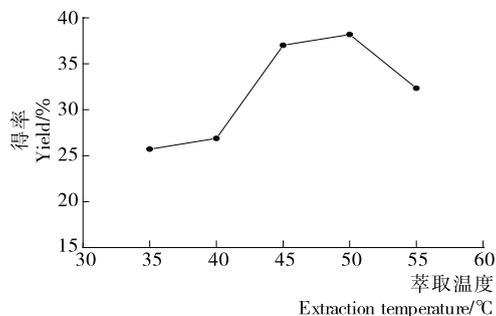


图2 萃取温度对山桐子油得率的影响

Figure 2 Effect of extraction temperature on yield of *Idesia polycarpa* oil

2.3 萃取时间对山桐子油得率的影响

由图3可知,山桐子油的得率随萃取时间的增加先增加,然后减少。因为萃取时间越长,传质效果越好,得率会随之增加,当萃取时间达到120min后,山桐子油基本萃取完全,再延长萃取时间,已经萃取出来的山桐子油会被CO₂带出分离釜,导致得率减少^[20]。因此,适宜的萃取时间为120min左右。

2.4 响应曲面法优化山桐子油的萃取工艺

在单因素试验的基础上,以山桐子油的得率为响应值,采用Box-Behnken试验设计进一步优化萃取时间、萃取温度和萃取压力对山桐子油得率的影响,因素和水平见表1,响应面试验结果见表2,方差分析结果见表3。

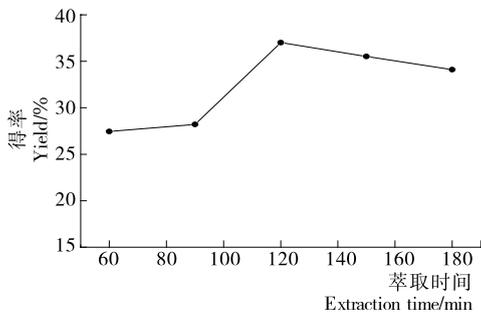


图 3 萃取时间对山桐子油得率的影响

Figure 3 Effect of extraction time on yield of *Idesia polycarpa* oil

表 1 响应面试验因素和水平

Table 1 Factors and levels of response surface experiment

水平	A 萃取时间/min	B 萃取温度/°C	C 萃取压力/MPa
-1	90	45	20
0	120	50	25
1	150	55	30

表 2 响应面试验结果

Table 2 Results of response surface experiment

试验号	A	B	C	得率/%
1	0	-1	-1	29.44
2	0	0	0	38.19
3	0	0	0	37.59
4	0	-1	1	31.23
5	0	0	0	38.26
6	1	0	1	32.54
7	-1	0	1	28.22
8	1	0	-1	31.62
9	1	-1	0	30.93
10	-1	-1	0	26.78
11	1	1	0	36.21
12	-1	1	0	26.92
13	0	1	1	30.23
14	-1	0	-1	27.21
15	0	1	-1	37.09

运用 Design-Expert 7.1.3 软件对表 2 的试验数据进行多元回归分析,得到的二次多项回归方程为:

$$Y = 38.01 + 2.77A + 1.51B - 0.39C + 1.29AB - 2.16BC - 4.95A^2 - 2.85B^2 - 3.16C^2 \quad (2)$$

表 3 方差分析表明,该回归模型极显著 ($P=0.0009 < 0.01$),失拟项不显著 ($P=0.0571 > 0.05$),模型的调整决定系数 $R_{adj}^2=0.9632$,说明该模型拟合度和可靠度均较好,试验误差较小,具有统计学意义,能够用该模型对超临界 CO₂ 萃取山桐子油的得率进行分析和预测。

由表 3 可知,A、A²、B²和 C²对山桐子油得率的影响极显著,B 和 BC 的影响显著,因素 C 在试验选定的区域内影响不

表 3 方差分析[†]

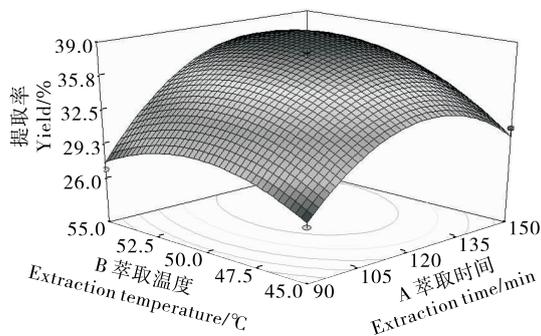
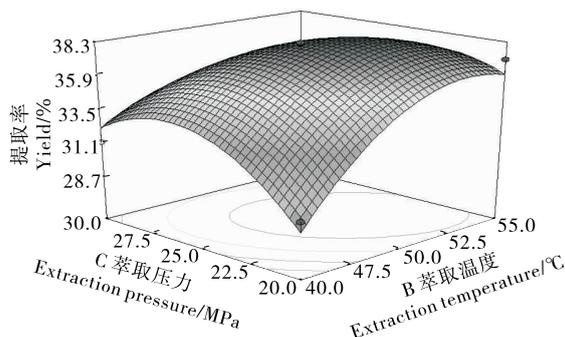
Table 3 Analysis of variance

变异来源	平方和	自由度	均方	F	P 值	显著性
模型	244.77	8	30.60	19.61	0.0009	**
A	61.44	1	61.44	39.38	0.0008	**
B	18.21	1	18.21	11.67	0.0142	*
C	1.23	1	1.23	0.79	0.4083	
AB	6.60	1	6.60	4.23	0.0853	
BC	18.71	1	18.71	11.99	0.0134	*
A ²	90.53	1	90.53	58.03	0.0003	**
B ²	30.03	1	30.03	19.25	0.0046	**
C ²	36.97	1	36.97	23.70	0.0028	**
残差	9.36	6	1.56			
失拟项	9.09	4	2.27	16.75	0.0571	
纯误差	0.27	2	0.14			
总值	254.13	14				

[†] ** 表示极显著 ($P < 0.01$), * 表示显著 ($P < 0.05$)。

显著。各因素对山桐子油得率的影响依次为萃取时间 > 萃取温度 > 萃取压力。

二次多项回归方程的响应曲面图见图 4、5。等高线的形状可反映交互作用的强弱,椭圆形表示交互作用显著,圆形表示交互作用不显著^[25]。由图 4 可知,萃取压力一定时,山桐子油得率随萃取时间的增加先增加后减少,而山桐子油得率随萃取温度变化相对较为平缓,说明萃取时间对山桐子油得率影响大,萃取时间和萃取温度交互作用不显著。

图 4 时间和温度对山桐子油得率影响的响应面
Figure 4 Response surface showing the effect of time and temperature on yield of *Idesia polycarpa* oil图 5 温度和压力对山桐子油得率影响的响应面
Figure 5 Response surface showing the effect of temperature and pressure on yield of *Idesia polycarpa* oil

由图5可知,山桐子油得率随萃取压力和萃取温度增加,开始时呈显著增加,然后变化比较平缓。温度对超临界CO₂萃取山桐子油有两个方面的影响,一方面,随温度升高,超临界CO₂的密度减少,山桐子油在超临界CO₂中溶解度下降,另一方面,温度增加,山桐子油在超临界CO₂中的扩散系数增大^[22-23]。压力的影响也有两个方面,压力增加,超临界CO₂密度增加,有利于山桐子油的萃取,但超临界CO₂粘度增加,不利于山桐子油的萃取^[20-21],上述结果与单因素试验结果一致。

Design-Expert 7.1.3 软件对回归方程求解,得到山桐子油的最佳萃取工艺为:萃取时间 147.24 min,萃取温度 52.83 °C,萃取压力 23.72 MPa,得率 37.26%。为实际操作的可控性,将试验条件调整为萃取时间 147 min,萃取温度 53 °C,萃取压力 24 MPa,在该条件进行重复实验 3 次,山桐子油的平均得率为(38.25±0.41)%,与预测值基本一致,说明根据回归模型得到工艺参数准确可靠。

2.5 山桐子油中脂肪酸组成分析

山桐子油中脂肪酸甲酯的 GC—MS 总离子流色谱图见图 6。由表 4 可知,从山桐子油中鉴定出 7 中脂肪酸,鉴定成分的含量为 97.99%,饱和脂肪酸含量为 81.33%,亚油酸含量高达 71.43%。亚油酸是一种人体必需又不能合成的不饱和脂肪酸,它能降低血液中的胆固醇,同时具有抗癌作用,参与机体免疫调节、细胞生长与凋亡等。因此,山桐子油是一种优质的食用油资源,同时也具有潜在的药用价值。

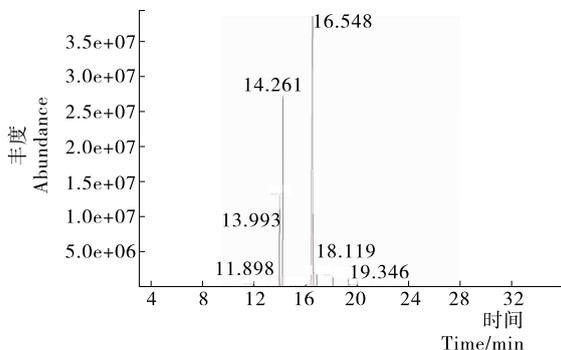


图 6 山桐子油中脂肪酸甲酯的 GC—MS 总离子流色谱图

Figure 6 GC—MS total ion chromatogram of fatty acid methyl ester in *Idesia Polycarpa* oil

表 4 山桐子油中脂肪酸甲酯含量

Table 4 Content of fatty acid methyl ester in *Idesia Polycarpa* oil

保留时间/min	名称	含量/%
11.898	肉豆蔻酸甲酯	0.15
13.993	棕榈油酸甲酯	7.12
14.261	棕榈酸甲酯	15.34
16.548	亚油酸甲酯	71.43
16.876	油酸甲酯	1.45
18.119	亚麻酸甲酯	1.33
19.346	硬脂酸甲酯	1.17

3 结论

采用超临界 CO₂ 萃取山桐子油,运用单因素试验和 Box-Behnken 试验获得了其优化工艺条件:萃取时间 147 min,萃取温度 53 °C,萃取压力 24 MPa,该条件下,山桐子油得率为(38.25±0.41)%,超临界 CO₂ 法是一种绿色、高效的萃取山桐子油的方法。

采用 GC—MS 分析了山桐子油的脂肪酸组成,山桐子油中不饱和脂肪酸含量为 81.33%,亚油酸含量为 71.43%。

山桐子油需经过脱色、脱酸和脱胶等过程方能达到食用要求,下一步可以在山桐子油的精炼方面进行系统研究。

参考文献

- [1] 吴全珍. 我国毛叶山桐子开发利用回顾和展望[J]. 中国油脂, 2011, 36(6): 54-57.
- [2] 龚榜初, 李大伟, 江锡兵, 等. 不同产地山桐子果实含油率及其理化指标变异分析[J]. 西北植物学报, 2012, 32(8): 1 680-1 685.
- [3] 郭华, 沈泉维, 胡尧超. 山桐子油的品质分析[J]. 现代食品科技, 2012, 28(3): 345-347, 363.
- [4] YANG Fang-xia, SU Yin-quan, LI Xiu-hong, et al. Preparation of biodiesel from *Idesia polycarpavar. vestita* fruit oil[J]. Industrial crops and products, 2009, 29(2/3): 622-628.
- [5] 朱卫霞, 杜开峰, 汪全义, 等. 毛叶山桐子油制备环境友好型润滑油的研究[J]. 粮油加工, 2010(12): 56-60.
- [6] 陈姝月, 唐琳, 陈放. 7 种木本植物油理化性质及其生物柴油脂肪酸组成的比较研究[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(12): 88-92.
- [7] 刘春雷, 江连洲, 于殿宇, 等. 山桐子油提取工艺的研究及脂肪酸组成分析[J]. 食品科技, 2012, 37(2): 192-196.
- [8] 龚榜初, 李大伟, 江锡兵, 等. 不同种源山桐子果实脂肪酸组成变异分析[J]. 植物生理学报, 2012, 48(5): 505-510.
- [9] KRIS-ETHERTON P M, HARRIS W S, APPEL L J, et al. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease[J]. Circulation, 2002, 106(21): 2 747-2 757.
- [10] NESTEL P, CLIFTON P, COLQUHOUN D, et al. Indications for omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid in the prevention and treatment of cardiovascular disease[J]. Heart, Lung and Circulation, 2015, 24(8): 769-779.
- [11] SIRI-TARINO P W, CHIU S, BERGERON N, et al. Saturated fats versus polyunsaturated fats versus carbohydrates for cardiovascular disease prevention and treatment[J]. Annual Review of Nutrition, 2015, 35: 517-543.
- [12] 吴发旺, 刘春雷. 响应面优化冷榨法制取山桐子油工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 278-282.
- [13] 华婉, 叶扬, 王战, 等. 山桐子油的提取分离及理化性质研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2016, 53(1): 181-186.
- [14] 杨朝福, 霍阿丽, 陆刚, 等. 均匀设计优化水冬瓜果实油脂的提取工艺[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(3): 75-78.
- [15] 周海旭, 李忠海, 张慧, 等. 微波辅助提取樟树叶木脂素工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 193-197.
- [16] 滕国生, 刘勇, 武丽达, 等. 响应面优化 L-赖氨酸培养基[J]. 食品与机械, 2016, 31(5): 256-260.

(下转第 228 页)

- [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): 2462-2467.
- [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): 3283-3287.
- [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): 1539-1545.
- [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): 2685-2693.
- [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 Magnetism, 2013, 49(5): 2189-2192.
- [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] 杨勇, 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): 1583-1590.
- [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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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] 赵启舒, 舒乐新, 马琳, 等. 硫酸-苯酚法测定槐甘菌多糖的含量[J]. 宜春学院学报, 2011, 33(8): 74-76.