

文章编号:1673-2383(2018)04-0059-07

网络出版网址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1378.N.20180814.1403.020.html

网络出版时间:2018-8-14 14:04:08

## 超声辅助提取红麻籽油的工艺优化研究

谢庆方<sup>1</sup>,张丽霞<sup>2</sup>,张振山<sup>1\*</sup>

(1.河南工业大学 粮油食品学院,河南 郑州 450001;2.信阳市农业科学研究所,河南 信阳 464000)

**摘要:**以红麻籽为原料,采用超声辅助溶剂法制得红麻籽油,对超声辅助提取红麻籽油的工艺进行优化。在单因素试验的基础上,以超声时间、超声功率、液料比、提取温度为自变量,红麻籽油提取率为响应值,采用响应面法优化提取工艺,并对红麻籽油的理化指标与脂肪酸组成进行测定和分析。结果表明:超声辅助提取红麻籽油的最佳工艺条件为超声时间 40 min、超声功率 250 W、液料比 8:1、提取温度 30 ℃,在此条件下红麻籽油提取率为 93.47%;各因素对红麻籽油提取率的影响程度依次为液料比>超声时间>超声功率>提取温度;超声辅助法得到的红麻籽油的酸值和过氧化值较低,油脂品质较好;红麻籽油的脂肪酸以不饱和脂肪酸(75.15%)为主,主要为亚油酸(43.14%)和油酸(30.78%),此外还含有较高的饱和脂肪酸,如棕榈酸(21.97%)。超声辅助具有提取速度快、提取效率高的特点,研究超声辅助提取红麻籽油的最佳工艺可为红麻籽油的开发利用提供理论基础。

**关键词:**红麻籽油;超声辅助提取;响应面法;工艺优化;品质

**中图分类号:**TS224.4

**文献标志码:**B

### 0 引言

红麻(*Hibiscus cannabinus*),正名大麻槿,为锦葵科木槿属一年生草本韧皮植物。红麻是我国主要纤维作物之一,是制造帆布、绳索、纺织麻袋等产品的重要原料<sup>[1-2]</sup>。红麻籽是红麻成熟后的种子,产量为 1 200~1 500 kg/hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>,其含油量为 21.3%~24.2%<sup>[3]</sup>。红麻籽油的脂肪酸以不饱和脂肪酸为主,主要为亚油酸和油酸,并含有较多的饱和脂肪酸(棕榈酸)<sup>[4]</sup>。研究表明,红麻籽油具有适宜的脂肪酸构成以及丰富的微量成分(植物甾醇、生育酚、总酚等),具有抗癌、抗氧化、预防高血压、降低血液中的低密度脂蛋白等作用<sup>[5-6]</sup>,可应用于食品、化妆品、化学、燃料等领域<sup>[2,7]</sup>。鉴于我国油料资源短缺的现状,开发新的油料、油脂品种是目前油脂工业研究的重要课题之一。较高的油脂含量以及较合理的脂肪酸构成使得红麻籽具有良好的开发前景。

快速、高效提取高品质的油脂是新油源开发利用的重要前提。传统植物油脂的提取方法主要是有机溶剂浸提法和压榨法。有机溶剂浸提法提取率较高,但存在所用溶剂易燃易爆、易造成环境污染、油脂中有溶剂残留等问题;压榨法所得溶剂虽然无溶剂残留,但存在提取效率较低、能耗高等问题。超声辅助提取是一种新的提取技术,利用 20 kHz 以上的声波辅助溶剂进行提取,通过强烈的空化效应和搅拌作用,破坏基质的细胞结构,加速基质细胞内物质的渗出。超声辅助法具有提取时间短、提取效率高、溶剂用量少、可以在较低温度下操作保留活性物质等特点<sup>[8-11]</sup>。目前,超声辅助法已用于多种油脂,如山茱萸油<sup>[12]</sup>、金银花籽油<sup>[13]</sup>、牡丹籽油<sup>[14]</sup>等的提取制备。然而,文献检索表明,尚未有超声辅助提取红麻籽油的相关研究报道。基于油料种子结构和组成的特异性,不同油料的加工工艺方法和条件也不尽相同,因此研究超声辅助提取红麻籽油的最佳工艺对红麻籽油的开发和利用具有一定的现实意义。

作者以红麻籽为原料,考察了超声时间、超声功率、液料比、提取温度等因素对红麻籽油提取率的影响。在单因素试验的基础上,采用响应面分析法优化超声辅助提取红麻籽油的工艺条件,并对最佳工艺下提取的红麻籽油的理化指标及脂肪酸

收稿日期:2017-09-28

作者简介:谢庆方(1991—),女,河南新乡人,硕士研究生,研究方向为油脂加工与植物蛋白。

\* 通信作者:张振山,博士,E-mail:zssan010@126.com

组成进行测定和分析。研究结果可为红麻籽油的开发利用提供理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

试验所用红麻籽品种为杂红 008,由信阳农科种业有限公司提供。

正己烷、乙醚、95%乙醇、氢氧化钾、盐酸、三氯甲烷、冰乙酸、碘化钾、Wijis 试剂、环己烷等试剂均为分析纯;豆蔻酸、棕榈酸、棕榈油酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸等 11 种脂肪酸甲酯标准品:美国 Sigma 公司。

### 1.2 主要仪器与设备

Agilent GC-7890B 气相色谱仪:美国安捷伦公司;超声波细胞粉碎机、DC-2006 智能节能恒温槽:宁波新芝生物科技股份有限公司;FW-100 高速万能粉碎机:北京市永光明医疗仪器有限公司;RE-2000A 旋转蒸发器:上海亚荣生化仪器厂;UV-1100 紫外分光光度计:上海美普达仪器有限公司;AL204 分析天平:梅特勒-托利多仪器有限公司;202-2AB 型电热恒温干燥箱:天津市泰斯特仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 原料的预处理

通过筛选、分拣、清理等,除去霉变的红麻籽,清理后的红麻籽中不含有铁杂、碎石等杂质。用粉碎机将红麻籽粉碎,过 20 目筛得红麻籽粉,冷藏备用。根据 GB 5009.6—2016 测定,红麻籽粉的含油量为 18.92%。

#### 1.3.2 红麻籽油的提取

采用超声辅助溶剂法提取。准确称取 20 g 红麻籽粉于容器中,加入一定比例的正己烷,连接恒温水浴装置,在设定的超声功率、提取温度、液料比条件下浸提一定时间,真空抽滤后所得滤液在 55 ℃下减压浓缩,得到红麻籽毛油,毛油经烘箱 40 ℃进一步脱溶后,置于 4 ℃冰箱保存备用。

#### 1.3.3 红麻籽油提取率的计算<sup>[15]</sup>

红麻籽油提取率=
$$\frac{\text{提取红麻籽油质量}}{\text{总的红麻籽粉质量} \times \text{红麻籽粉含油量}} \times 100\%。(1)$$

#### 1.3.4 单因素试验

选取超声时间(10、20、30、40、50 min)、超声功率(100、150、200、250、300 W)、液料比(6:1、7:1、8:1、9:1、10:1)、提取温度(20、25、30、35、40 ℃)作为自变量,以红麻籽油提取率为响应值,进行单因素试验。

#### 1.3.5 响应面优化试验

在单因素试验的基础上,以超声时间、超声功率、液料比及提取温度为自变量,红麻籽油提取率为响应值,通过 Box-Behnken 试验方法进行四因素三水平的中心组合试验设计<sup>[16]</sup>。响应面试验因素与水平见表 1。

表 1 响应面试验因素与水平

Table 1 Factors and levels coding table of the response surface experiment

水平	A 超声时间/ min	B 超声功率/ W	C 液料比	D 提取温度/℃
-1	30	200	7:1	25
0	40	250	8:1	30
1	50	300	9:1	35

#### 1.3.6 红麻籽油理化指标测定

色泽测定依照 GB/T 22460—2008;折光指数测定依照 GB/T 5527—2010;酸价测定依照 GB 5009.229—2016;碘值测定依照 GB/T 5532—2008;过氧化值测定依照 GB 5009.227—2016;皂化值测定依照 GB/T 5534—2008。

#### 1.3.7 红麻籽油脂肪酸组成分析

脂肪酸组成测定依照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》。

气相色谱条件如下。HP-88 色谱柱(100 m×0.25 mm×0.2 μm);氢火焰离子化检测器(FID):载气为氮气,流速 22 mL/min;辅助气 H<sub>2</sub>,流速 30 mL/min;进样量 1 μL;分流比为 50:1;进样口温度 240 ℃,检测温度 280 ℃。通过与标品脂肪酸甲酯的保留时间对比,对各峰所代表的脂肪酸进行定性分析,并根据峰面积进行定量分析。

#### 1.3.8 数据处理方法

上述试验均重复 3 次,结果以“平均值±标准差”表示,并采用 SPSS 16.0 软件进行 Duncan 方差分析。采用 Design Expert 8.0 软件进行响应面优化设计和最佳工艺条件分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 超声时间对红麻籽油提取率的影响

在液料比 8:1、提取温度 30 ℃、超声功率 250 W 的条件下,考察不同提取时间(10、20、30、40、50 min)对红麻籽油提取率的影响,结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出,当超声时间为 10~40 min 时,随着提取时间的延长,红麻籽油提取率由 80.34% 上升至 90.91%。这可能是由于在超声空化

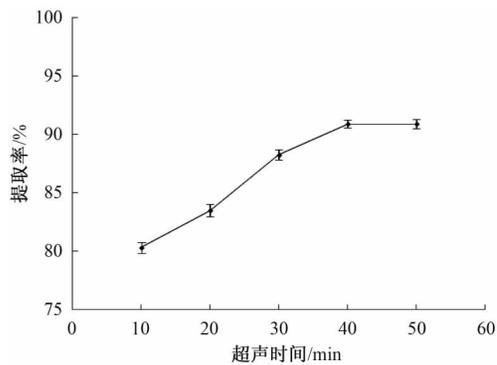


图1 超声时间对红麻籽油提取率的影响

Fig.1 Effect of ultrasonic time on the extraction yield of kenaf seeds oil

效应的持续作用下,原来包络在油脂周围的细胞组织,如细胞壁发生了破坏,减少了细胞内的油脂向外渗透迁移的阻力;而超声的机械效应加速了细胞外的溶剂向细胞内传递的速率,进而加快了油脂从细胞内部向外部溶剂中的迁移<sup>[10-11]</sup>。当提取时间超过40 min时,随着提取时间的延长,超声对细胞的破坏作用持续,脂质向溶剂中的转移作用减缓,溶剂对细胞结构的渗透作用降低,提取率将不再增加<sup>[17]</sup>。Tian等<sup>[18]</sup>利用超声波对石榴籽油进行辅助提取时发现,当超声波(100 W)时间从15 min增加到40 min时,石榴籽油的提取率也呈递增趋势,该结果与本研究结果相似。因此,红麻籽油的超声提取时间选取40 min较为适宜。

#### 2.1.2 超声功率对红麻籽油提取率的影响

在提取温度30℃、液料比8:1、提取时间40 min的条件下,考察不同超声功率(100、150、200、250、300 W)对红麻籽油提取率的影响,结果见图2。

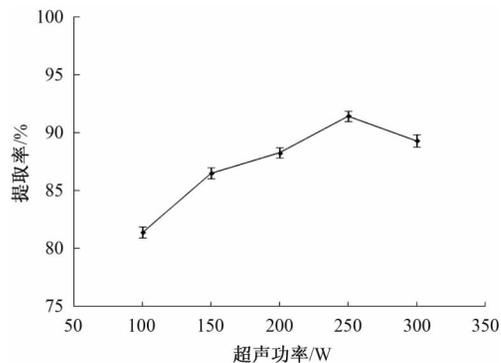


图2 超声功率对红麻籽油提取率的影响

Fig.2 Effect of ultrasonic power on the extraction yield of kenaf seeds oil

从图2可以看出,当超声功率为100~250 W时,随着超声波功率的增加,提取率逐渐上升,达到最大值91.44%。这可能是由于随着超声功率增

大,空化作用增强;空化效应所产生的剪切作用破坏了细胞壁结构,从而加速了溶剂对基质细胞的渗透作用以及油脂向细胞外的释放作用,显著提高了传质速率<sup>[19]</sup>。超声波功率超过250 W后提取率有所下降,这可能是由于超声功率过高,空化作用导致溶液中泡沫量过多,从而降低了溶质的传质效率<sup>[20]</sup>。Li等<sup>[21]</sup>利用超声辅助提取紫苏籽油,当超声功率为100~250 W时,提取率逐渐增加,在250 W的功率条件下达到最高提取率,超过250 W时,提取率有所下降。因此,在进行超声辅助提取时,超声功率不宜过高,优化试验选取超声功率为250 W。

#### 2.1.3 液料比对红麻籽油提取率的影响

在提取温度30℃、提取时间40 min、超声功率250 W的条件下,考察不同液料比(6:1、7:1、8:1、9:1、10:1)对红麻籽油提取率的影响,结果如图3所示。

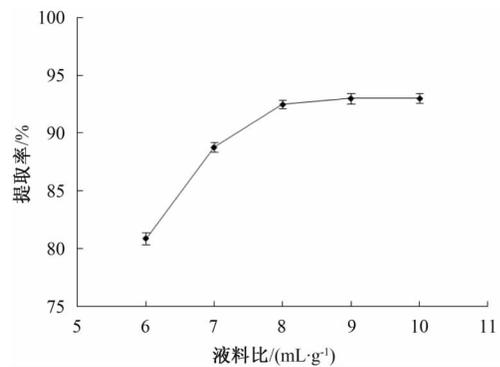


图3 液料比对红麻籽油提取率的影响

Fig.3 Effect of liquid-solid ratio on the extraction yield of kenaf seed oil

从图3可以看出,随着液料比的增加,红麻籽油提取率由80.87%增加至93.02%。这是由于红麻籽基质和提取溶剂在红麻籽油浓度上存在差异,液料比的增加,增大了这种差异。随着提取时间的延长,红麻籽基质中的红麻籽油不断迁移到提取溶剂中,并最终达到基质内外红麻籽油浓度的平衡。当液料比增加到一定程度后,液料比的进一步增加使基质内外红麻籽油的浓度变化不明显,红麻籽基质内部残存油脂不能进一步扩散出来,最终表现为提取率变化不明显。单成俊等<sup>[22]</sup>利用超声辅助提取黑莓籽油也得到相似的结论。综合考虑提取率、生产成本和能源消耗等因素,液料比不宜大于8:1。

#### 2.1.4 提取温度对红麻籽油提取率的影响

在提取时间40 min、超声功率250 W、液料比8:1的条件下,考察不同提取温度(20、25、30、35、

40 ℃)对红麻籽油提取率的影响,结果如图 4 所示。

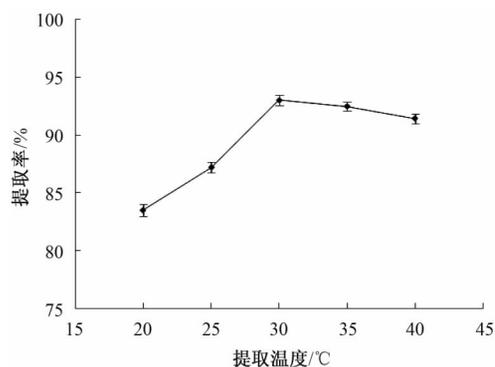


图 4 提取温度对红麻籽油提取率的影响

Fig.4 Effect of extraction temperature on the extraction yield of kenaf seeds oil

从图 4 可以看出,当提取温度由 20 ℃上升到 30 ℃时,红麻籽油的提取率达到最大值 93.02%。这可能是由于提取温度的升高,增加了油脂分子在溶剂中的溶解度,更利于细胞内部的油脂分子渗透至溶剂中,同时温度的提高降低了溶剂的黏度和空化域,有利于空化效应的产生<sup>[21]</sup>。当温度超过 30 ℃时,随着温度的升高,提取率呈下降趋势。这可能是由于过高的温度增加了溶剂的饱和蒸气压,导致气泡闭合时缓冲作用增强,空化破坏作用减弱。相似的现象也存在于超声辅助提取牡丹籽油<sup>[14]</sup>、火麻仁油<sup>[24]</sup>的研究中。因此提取温度不宜过高,选取 30 ℃。

## 2.2 响应面优化试验结果

### 2.2.1 响应面试验设计与结果

响应面采用 Box-Behnken 试验设计,试验设计与结果见表 2。对表 2 中的数据进行响应面回归分析,以红麻籽油提取率( $Y$ )为响应值,得到回归模型方程为:

$$Y=92.896-1.75A-0.41B-2.14C+0.25D-0.47AB-0.8AC+0.37AD+0.07BC-0.39BD+3.41CD-1.79A^2-3.11B^2-5.86C^2-0.84D^2$$

该回归方程的回归模型方差分析结果见表 3。

由表 3 可知,该模型极显著( $P<0.0001$ ),失拟项不显著( $P=0.1551>0.05$ ),说明该模型在整个回归区域内拟合较好,能够正确反映因变量与考察的自变量之间的关系。模型的一次项  $A$ 、 $B$ 、 $C$  对提取率的影响极其显著,交互项  $CD$  极显著,各二次项均为极显著。各因素对提取率的影响主次顺序为  $C>A>B>D$ ,即液料比>超声时间>超声功率>提取温度。

### 2.2.2 响应面法分析与优化

图 5 为显著项  $CD$ ,即液料比和提取温度的交

表 2 Box-Behnken 试验设计与结果

Table 2 Design and results of Box-Behnken experimental design and results

试验号	$A$	$B$	$C$	$D$	$Y$ 提取率/%
1	0	1	-1	0	85.82
2	1	0	1	0	81.03
3	0	-1	-1	0	86.42
4	-1	0	0	-1	92.65
5	0	0	0	0	93.18
6	1	0	0	1	88.90
7	1	-1	0	0	87.16
8	0	0	-1	1	84.99
9	-1	0	1	0	85.57
10	-1	1	0	0	89.43
11	0	1	0	1	88.48
12	0	0	0	0	92.97
13	0	0	0	0	93.08
14	0	0	-1	-1	91.86
15	-1	-1	0	0	89.38
16	1	0	-1	0	86.58
17	0	-1	0	1	90.38
18	1	0	0	-1	87.53
19	0	0	1	1	87.00
20	0	1	0	-1	88.37
21	0	0	0	0	92.39
22	0	0	1	-1	80.23
23	1	1	0	0	85.31
24	0	0	0	0	92.86
25	-1	0	-1	0	87.90
26	-1	0	0	1	92.55
27	0	-1	0	-1	88.69
28	0	-1	1	0	82.19
29	0	1	1	0	81.87

互作用响应面图。可以看出,在超声时间 40 min、超声功率 250 W 条件下,液料比和提取温度对提取率的影响存在彼此依赖的关系。当液料比较低时,提取率随提取温度的增加而增加;当液料比较高时,变化趋势则相反。此外,提取温度一定时,虽然提取率均随液料比的增加呈现先增加后降低的趋势,但是不同温度下,最高提取率所对应的最佳液料比并不相同。

根据响应面试验的结果,超声波辅助提取红麻籽油的最佳条件为超声时间 40 min、超声功率 250 W、液料比 8:1、提取温度 30 ℃,此工艺条件下的预测提取率为 93.59%,实测提取率为 93.47%,两者基本吻合,这表明响应面法得到的回归方程可以很好地反映超声时间、超声功率、液料比及提取温度与提取率之间的关系。

表 3 回归模型方差分析

Table 3 ANOVA analysis of for regression model

方差来源	平方和	自由度	方差	F 值	P 值	显著性
模型	399.00	14	28.5	126.63	<0.000 1	**
A	36.65	1	36.65	162.82	<0.000 1	**
B	2.03	1	2.03	9.03	0.009 4	**
C	54.96	1	54.96	244.18	<0.000 1	**
D	0.73	1	0.73	3.27	0.092 3	不显著
AB	0.90	1	0.90	4.01	0.065 0	不显著
AC	2.59	1	2.59	11.52	0.004 4	**
AD	0.54	1	0.54	2.40	0.143 6	不显著
BC	0.02	1	0.02	0.09	0.772 2	不显著
BD	0.62	1	0.62	2.77	0.118 1	不显著
CD	46.51	1	46.51	206.66	<0.000 1	**
A <sup>2</sup>	20.89	1	20.89	92.83	<0.000 1	**
B <sup>2</sup>	62.57	1	62.57	278.02	<0.000 1	**
C <sup>2</sup>	222.81	1	222.81	989.99	<0.000 1	**
D <sup>2</sup>	4.57	1	4.57	20.32	0.000 5	**
残留误差	3.15	14	0.225			
失拟项	2.77	10	0.277	2.94	0.155 1	不显著
纯误差	0.38	4	0.094			
总偏差	402.15	28				

注: P<0.01 极显著(\*\*); P<0.05 显著(\*); P>0.05 不显著。

2.3 红麻籽油的理化性质分析

在最佳工艺条件下提取红麻籽油,并对其理化

表 4 红麻籽油的主要理化指标

Table 4 Main physicochemical properties of kenaf seeds oil

项目	色泽(25.4 mm 比色槽)	折光指数(n <sub>D</sub> <sup>20</sup> )	酸值/(mg·g <sup>-1</sup> )	过氧化值/(mmol·kg <sup>-1</sup> )	皂化值/(mg·g <sup>-1</sup> )	碘值/(g·(100 g) <sup>-1</sup> )
测定结果	Y22,R1.5	1.468±0.001	1.7±0.4	2.9±0.3	167.6±0.3	98.9±0.2

2.4 脂肪酸组成结果分析

采用气相色谱法对红麻籽油的脂肪酸组成进

行测定分析,结果见表 5。

表 5 红麻籽油的脂肪酸组成及含量

Table 5 Fatty acid compositions and contents of kenaf seeds oil

脂肪酸	C <sub>14:0</sub>	C <sub>16:0</sub>	C <sub>16:1</sub>	C <sub>18:0</sub>	C <sub>18:1</sub>	C <sub>18:2</sub>	C <sub>18:3</sub>
含量/%	0.15±0.12	21.97±0.16	0.75±0.08	2.71±0.12	30.78±0.01	43.14±0.08	0.48±0.21

由表 5 可知,红麻籽油为亚油酸-油酸型油脂,脂肪酸以不饱和脂肪酸(亚油酸和油酸)为主,不饱和脂肪酸含量为 75.15%。此外,红麻籽油还含有较高的饱和脂肪酸,如棕榈酸。Coetzee 等<sup>[4]</sup>对 8 个品种红麻籽油的脂肪酸组成进行测定分析,结果表明,红麻籽油的脂肪酸主要为亚油酸(28.60%~49.75%)和棕榈酸(18.22%~22.64%),平均含量分别为 41.15%和 20.27%,均低于试验所得红麻籽油亚油酸和棕榈酸含量(分别为 43.14%和 21.97%),而油酸含量为 26.94%~43.42%,平均含

量为 32.79%,高于试验所得红麻籽油的油酸含量(30.78%)。

3 结论

本研究通过单因素试验和 Box-Behnken 试验结合的方法对超声辅助提取红麻籽油的工艺进行了优化。各因素对提取率的影响程度依次为液料比>超声时间>超声功率>提取温度。经响应面优化后得到红麻籽油的最佳提取工艺条件为超声时间

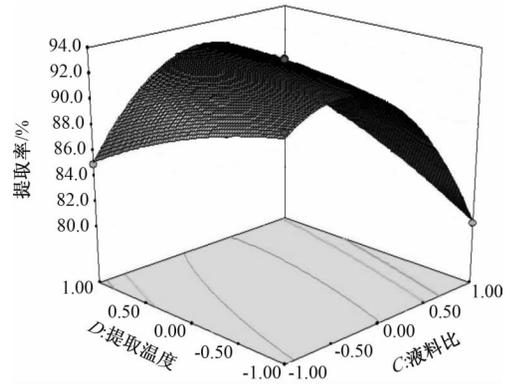


图 5 液料比和提取温度的交互作用响应面

Fig.5 Response surface figure of the interaction of liquid-solid ratio and extraction temperature

指标进行测定(见表 4)。由表 4 可知,超声辅助提取的红麻籽油的酸值(1.7 mg/g)和过氧化值(2.9 mmol/kg)均较低,满足 GB 2716—2005《食用植物油卫生标准》对食用油的指标(酸值≤4 mg/g,过氧化值≤6 mmol/kg)要求,这表明超声辅助提取的红麻籽油品质较好,具有发展为食用植物油的潜力;此外,较低的碘值(98.9 g/100 g)表明红麻籽油属于不干性油,可用于润滑油和肥皂等工业。

40 min、超声功率 250 W、液料比 8:1、提取温度 30 ℃,在此条件下测得的提取率为 93.47%。超声辅助提取红麻籽油的酸值(1.7 mg/g)和过氧化值(2.9 mmol/kg)均较低,满足 GB 2716—2005《食用植物油卫生标准》对食用油的指标(酸值 $\leq$ 4 mg/g,过氧化值 $\leq$ 6 mmol/kg)要求。红麻籽油的脂肪酸以不饱和脂肪酸(75.15%)为主,主要为亚油酸(43.14%)和油酸(30.78%),此外还含有较高的饱和脂肪酸,如棕榈酸(21.97%)。超声辅助具有提取速度快、提取效率高的特点,可应用于红麻籽油的提取。研究超声辅助提取红麻籽油的最佳工艺可为红麻籽油的开发利用提供理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 徐建堂,祁建民,陶爱芬,等. 福建省黄红麻遗传育种与综合利用发展研究报告 [J]. 海峡科学,2016(1):128-136.
- [2] CHENG W Y, AKANDA J M H, NYAM K L. Kenaf seed oil, A potential new source of edible oil [J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 52: 57-65.
- [3] 肖爱平,田小兰,冷鸥. 红麻种子化学成分的分析研究[J]. 中国麻作,1993(3):16-17.
- [4] COETZEE R, LABUSCHAGNE M T, HUGO A. Fatty acid and oil variation in seed from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) [J]. Industrial Crops and Products, 2008, 27(1): 104-109.
- [5] 谭志坚,王朝云,易永健,等. 麻类作物中主要药用活性成分提取研究进展 [J]. 化工技术与开发,2015,44(1):23-28.
- [6] 韩玉燕,程舟,李珊. 红麻种籽油中油脂及脂肪酸分析 [J]. 中国麻业科学,2006,28(5): 267-273.
- [7] MARIOD A A, MATTHAUS B, ISMAIL M. C-comparison of supercritical fluid and hexane extraction methods in extracting kenaf (*Hibiscus cannabinus*) seed oil lipids [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(7): 931-935.
- [8] CHEMAT F, KHAN M K. Applications of ultrasound in food technology, processing, preservation and extraction [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(4): 813-835.
- [9] 陈芳芳,孙晓洋,王兴国,等. 超声波技术在油脂工业中的应用和研究进展 [J]. 中国油脂,2012,37(10):76-80.
- [10] KOUBAA M, MHEMDI H, BARBA F J, et al. Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality, An overview [J]. Food Research International, 2016, 85: 59-66.
- [11] CHEMAT F, ROMBAUT N, SICAIRE A G, et al. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 34: 540-560.
- [12] 刘瑞林,詹汉英,陈钿,等. 响应曲面优化超声辅助提取山茱萸籽油工艺及其成分分析 [J]. 食品科学,2012,33(12):1-7.
- [13] 肖志辉,杜华英,罗秋水,等. 金银花籽油超声提取工艺优化及其脂肪酸组成分析 [J]. 食品科技,2015,40(11):155-160.
- [14] 江连洲,王海晴,陈思,等. 响应面法优化超声波辅助水酶法提取牡丹籽油工艺研究 [J]. 食品工业科技,2016,37(8):247-251.
- [15] 许晖,孙兰萍,李善菊,等. 超声波辅助提取亚麻籽油的工艺条件优化 [J]. 中国粮油学报,2009,24(7):64-68.
- [16] 汪磊,陈洁,吕莹果,等. 响应面法优化烩面加工工艺的研究 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2015,36(4):63-68.
- [17] DONG J, LIU Y, LIANG Z, et al. Investigation on ultrasound-assisted extraction of salvianolic acid B from *Salvia miltiorrhiza* root [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2010, 17(1): 61-65.
- [18] TIAN Y, XU Z, ZHENG B, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punicagranatum* L.) seed oil [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20(1): 202-208.
- [19] LOU Z, WANG H, ZHANG M, et al. Improved extraction of oil from chickpea under ultrasound in a dynamic system [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98(1): 13-18.
- [20] FILGUEIRAS A V, CAPELO J L, LAVILLA I, et al. Comparison of ultrasound-assisted extraction and microwave-assisted digestion for determination of magnesium, manganese and zinc in plant samples by flame atomic absorption spectrometry [J]. Talanta, 2000, 53(2): 433-441.
- [21] LI Y, ZHANG Y, SUI X, et al. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil

- from perilla (*Perilla frutescens* L.) seeds[J].  
CyTA Journal of Food, 2014, 12(1): 16-21.
- [22] 单成俊,周剑忠,黄开红,等. 超声波辅助提取黑莓籽油及其脂肪酸组成分析[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(5): 62-64.
- [23] TOMA M, VINATORU M, PANIWNYK L, et al. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2001, 8 (2): 137-142.
- [24] 邓仕任,夏林波,郭莹. 响应面法优化超声波提取火麻仁油[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 243-245.

## STUDY ON THE OPTIMIZATION OF ULTRASONIC-ASSISTED EXTRACTION OF KENAF SEED OIL

XIE Qingfang<sup>1</sup>, ZHANG Lixia<sup>2</sup>, ZHANG Zhenshan<sup>1</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Xinyang Agricultural Research Institute, Xinyang 464000, China)

**Abstract:** Kenaf seeds oil was extracted from kenaf seeds by ultrasonic-assisted solvent extraction in the present study. The extraction process was optimized by response surface methodology on the basis of single factor experiments. Four extraction parameters including ultrasonic time, ultrasonic power, liquid-solid ratio ( $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ) and extraction temperature were selected as independent variables, while kenaf seeds oil yield as response value. The physicochemical indexes and fatty acid compositions of kenaf seeds oil were also analyzed. The results showed that the optimal extraction conditions were obtained as follows, ultrasonic time 40min, ultrasonic power 250 W, liquid-solid ratio 8:1 and extraction temperature 30 °C. Under these conditions, the yield of kenaf seeds oil reached to 93.47%. The effect of factors on the extraction yield was in the order of liquid-solid ratio > ultrasonic time > ultrasonic power > extraction temperature. The kenaf seeds oil obtained by ultrasonic-assisted extraction had better quality with lower acid value and peroxide value. The fatty acid of kenaf seeds oil was mainly unsaturated fatty acid (75.15%), mainly linoleic acid (43.14%) and oleic acid (30.78%). The content of unsaturated fatty acids was up to 75.15%. What's more, kenaf seed oil also had higher content of saturated fatty acids, for example, palmitic acid (21.97%). Ultrasonic-assisted extraction had the characteristics of extraction speed and high extraction efficiency. The best technology conditions of ultrasonic assisted extraction will provide theoretical basis for the development and utilization of kenaf seed oil.

**Key words:** kenaf seed oil; ultrasonic-assisted extraction; response surface analysis; process optimization; quality