

狮头柑籽油提取工艺及脂肪酸组成研究

孟瑶瑶^{1,2}, 王俊淇¹, 王杰¹, 刘玉垠¹, 鲁周民^{1*}

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 山东黄河三角洲国家级自然保护区管理局, 山东 东营 257091)

摘要:为探索狮头柑籽油的提取工艺,给生产利用提供理论依据及技术方法。在优选了提取溶剂及单因素试验基础上,对料液比、提取时间、提取温度3因素运用中心组合(Box-Benhnken)试验设计进行狮头柑籽油提取技术研究。提取狮头柑籽油的适宜溶剂为乙醚;确定了狮头柑籽油索氏提取的优化工艺条件为:料液比1:100(g/mL),提取温度49℃,提取时间7h,并拟合出狮头柑籽油得率的预测模型($R^2=0.9859$)。采用气相色谱-质谱联用法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)鉴定出狮头柑籽油中的脂肪酸组分,包括油酸、亚油酸、棕榈酸、花生酸等9种,其中亚油酸含量最高,达72.00%。研究提出的工艺技术可用于狮头柑籽油的提取生产,出油率可达37.61%。

关键词:狮头柑籽;响应面优化法;气相色谱-质谱法(GC-MS);脂肪酸组成

中图分类号:R284.2

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2019)02-0199-07

Extraction Technology and Fatty Acid Composition of Shitougan Seed Oil

MENG Yao-yao^{1,2}, WANG Jun-qi¹, WANG Jie¹, LIU Yu-yin¹, LU Zhou-min¹

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Shandong Yellow River Delta National Nature Reserve, Dongying 257091, Shandong, China)

Abstract: This study aimed to explore the extraction technology of seed oil of *Citrus reticulata* cv. Manau Gan fruit (shitougan) to provide theoretical basis and technical methods for its production and utilization. Based on optimizing the extraction solvent and the result of single factor experiments, three factors, including solid-liquid ratio, extraction time, and extraction temperature were applied to the Box-Benhnken design principle. The results showed that diethyl ether was the suitable solvent for extracting shitougan seed oil, and the optimize process conditions of extraction shitougan seed oil were obtained as solid-liquid ratios: 1:100(g/mL), extraction temperature: 49℃, extraction time: 7 h. The prediction model for the yield of shitougan seed oil ($R^2=0.9859$) was simulated. Fatty acid composition of shitougan seed oil was analyze by gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS). Nine kinds of fatty acid component were identified, including oleic acid, linoleic acid, palmitic acid and arachidic acid, etc. The highest fatty acid component was linoleic acid (72.00%). The research and technology proposed could be used for the extraction and production of shitougan seed oil, with the oil yield of 37.61%.

Key words: shitougan seed; response surface optimization; gas chromatography-mass spectrometry; fatty acid composition

狮头柑(*Citrus reticulata*)为芸香科(Rutaceae)柑橘属(*Citrus*)亚热带常绿果树,又名皱皮柑,是安

康地区特有柑橘品种^[1]。狮头柑果皮可以用于提取挥发油,果肉含多种矿物质,能维持血管正常渗透

收稿日期:2018-05-18 修回日期:2018-08-20

基金项目:财政部“以大学为依托的农业科技推广模式建设”项目(XTG2017014)。

作者简介:孟瑶瑶,女,在读硕士,研究方向:植物资源利用。E-mail:861602335@qq.com

*通信作者:鲁周民,男,研究员,博士生导师,研究方向:经济林果品加工。E-mail:lzm@nwsuaf.edu.cn

压,增强毛细血管韧性,降低胆固醇,抗过敏、抗病毒、抗炎症,常食具有泄火明目、生津止渴等多种功效^[2]。由于狮头柑营养丰富、具有保健作用,近年来针对狮头柑的研究也逐渐增多。张涵^[3]等对狮头柑果皮的香气成分进行分析和鉴定,认为狮头柑果肉和果皮的香气成分主要是烯类、醛类、酮类、酯类、芳香族化合物和一些其他物质。赵晨^[4]等对狮头柑果皮部位采用水蒸气蒸馏法提取其挥发油,结合气相色谱-质谱连用的技术对狮头柑挥发油化学成分进行了定性定量分析,共检测出 42 个组分,认为所测狮头柑挥发油的主要成分为柠檬精油(75.5%)。

植物食用油最主要的成分是脂肪酸^[5],作为日常生活的必需品,是人们摄取能量和必需脂肪酸的重要来源^[6],食用植物油的营养价值和品质也日益受到关注。植物油广泛分布于自然界,是从植物的果实、种子、胚芽中得到的油脂^[7]。植物的种子作为植物油的主要来源之一,被广泛研究。现已发现,红花籽油^[8]、葵花籽油^[9-10]、油茶籽油^[11]、葡萄籽油^[12-13]、苹果籽油^[14-16]、牡丹籽油^[17-19]、石榴籽油^[20-22]等植物油都含有大量的不饱和脂肪酸,对人体保健有非常重要的作用。柑橘类果树是世界上加工种类最丰富、加工量最大的农作物种类之一^[23-24]。中国作为柑橘生产大国之一,柑橘产业已成为推动我国新农村建设的支柱产业之一^[25]。柑橘加工业的快速发展,产生大量橘皮、橘籽等工业废弃物。目前,对皮渣等废弃物的处理已成为国内柑橘加工企业的头号难题^[26]。大量工业橘皮及橘籽没有得到充分利用,造成资源的极大浪费。柑橘籽是柑橘果实加工过程中的废弃物之一,含有丰富的油脂和植物蛋白,其中油脂含量不亚于油料作物大豆^[27]。近年来,国内对柑橘资源综合利用的研究越来越多,对狮头柑籽油的相关研究仍未见报道。

以安康狮头柑种子为研究对象,运用索氏提取法提取狮头柑籽油。采用响应面法优化提取工艺参数,确定出最优提取工艺条件,并采用气相色谱-质谱联用法对狮头柑籽油的成分进行分析。以期有效地提取狮头柑籽中的油脂,为柑橘籽的进一步开发及综合利用提供试验依据和技术参考,从而拓宽狮头柑开发利用途径、避免资源的浪费,减少对环境的污染,更有助于提高狮头柑产业的附加值。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

狮头柑样品:采集于西北农林科技大学安康北亚热带果树试验示范站,皆为随机采摘。选取果形饱满、成熟度一致、无机械损伤的狮头柑样品剥出其

种子洗净,于 60℃下烘干后供分析测试。狮头柑种子百粒重 5.22 g、出仁率 72.12%、横径 5.46 mm、纵径 11.81 mm。

主要试剂:乙醚 天津光复精细化工研究所;石油醚(沸程 60~90℃)、苯 广东光华科技股份有限公司;氢氧化钾 四川西陇化工有限公司;以上试剂均为国产分析纯。甲醇(色谱纯)天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器

JJ500Y 型电子天平,精度 1/100(常熟市双杰测试仪器厂);电子分析天平,精度 1/10 000 Precisa Gravimetrics AG;DGG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海森信实验仪器有限公司);BCD-型冰箱(中国海尔集团);RE-52AA 型旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂);JYL-C022 型料理机(中国九阳集团);UHH-S4 型恒温数显水浴锅(北京科伟永兴仪器有限公司);TRACE 1310SQLT 型气相色谱质谱联用仪;500ml 索氏提取器(寰宇仪器厂);数显卡尺(上海九量五金工具有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 样品的采集与处理 将干燥后的狮头柑种子在低速条件下用粉碎机粉碎 40 s,共粉碎 2 次。将得到的橘籽粉过 40 目筛,分装标记后置于干燥器中保存备用。分别于 2016 年 12 月和 2017 年 12 月采集 2 个年份成熟的狮头柑样品,对样品进行试验。

1.3.2 提取溶剂的选择 称取 3 份狮头柑籽粉分别置于滤纸筒中,每份样品 3.0 g,将其分别置于索氏提取器上,通冷却水,设置提取温度为 50℃,按料液比 1:100(g/mL)分别加入乙醚(溶剂 1)、石油醚(溶剂 2)和石油醚:乙醚(V:V=1:1)混合溶剂(溶剂 3)等 3 种不同溶剂提取狮头柑籽油,提取 6 h,提取后的油和溶剂的混合溶液置于旋转蒸发仪上浓缩并回收溶剂。将得到的油脂置于通风处,晾干至恒重。称重,计算狮头柑籽油得率。每组试验平行测定 3 次,结果取平均值。根据试验结果确定狮头柑籽油得率最高的溶剂为最佳提取溶剂。

狮头柑籽油得率的计算公式:

$$Y(\%) = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad (1)$$

式中, M_1 为浓缩后的狮头柑籽油的质量(g), M_2 为提取前狮头柑籽粉的质量(g)。

1.3.3 狮头柑籽油提取的单因素试验

1.3.3.1 不同料液比对狮头柑籽油提取率的影响

称取 5 份样品,每份 3 g,置于滤纸筒中,将其分别放入索氏提取器中,通冷却水,设置提取温度为 50℃,按料液比 1:80、1:90、1:100、1:110、1:

120(g/mL)分别加入乙醚,提取6 h,测定狮头柑籽油得率,确定料液比。每组试验重复3次,取其平均值。

1.3.3.2 不同提取温度对狮头柑籽油提取率的影响 称取5份样品,每份3 g,置于滤纸筒中,将其分别放入索氏提取器中,通冷却水,按料液比1:100(g/mL)加入乙醚,分别在提取温度为40、50、60、70、80℃条件下提取6 h,测定狮头柑籽油得率,确定提取温度。每组试验重复3次,取平均值。

1.3.3.3 不同提取时间对狮头柑籽油提取率的影响 称取5份样品,每份3 g,置于滤纸筒中,将其分别放入索氏提取器中,通冷却水,按料液比1:100(g/mL)加入乙醚,在提取温度为50℃条件下分别提取4、5、6、7、8 h,测定狮头柑籽油得率,确定提取时间。每组试验重复3次,取平均值。

1.3.4 狮头柑籽油提取的响应面优化试验 在单因素试验的基础上,按表1中水平编码选取提取温度、提取时间、料液比3因素作为自变量,狮头柑籽油得率为因变量进行响应面优化组合,优化狮头柑籽油提取的最佳工艺。

表1 Box-Behnken 试验因素与水平编码

Table 1 Codes and levels of experimental factors used in Box-Behnken design

因素	编码值	水平		
		-1	0	1
料液比/(g·mL ⁻¹)	A	1:90	1:100	1:110
温度/℃	B	45	50	55
时间/h	C	6	7	8

1.4 狮头柑籽油脂肪酸成分分析

1.4.1 甲酯化方法 采用参考文献[28]的方法,取狮头柑籽油50 mg于10 mL具塞刻度试管中,加1 mL石油醚/苯($v:v=1:1$)混合溶剂,溶解后再加入0.4 mL/L的KOH-甲醇溶液,摇动2 min,定容至刻度,在室温下静置30 min,取上清液,待测。

1.4.2 GC-MS条件 色谱柱: TG-5MS 石英毛细柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 升温顺序: 初始温度80℃,保持1 min,以50℃/min升至175℃,保持1 min;以5℃/min升至200℃,保持1 min;以3℃/min升至230℃,保持5 min;压力高纯氮气载气,载气为恒流模式,载体流量:1.000 mL/min,炉内最低温度50℃,最高温度250℃,进样温度250℃,分流比40:1。

质谱条件: 电子能量70 eV, MS传输线温度280℃,离子源EI源,离子源温度280℃,质量扫描范围40~460 u。

1.5 数据处理与分析

采用Excel和Design Expert 8.0.6软件分析拟合数据,在单因素试验的基础上,依据Box-Behnken中心组合试验设计原理,通过Design Expert 8.0.6软件进行二次回归响应面分析,建立多元二次响应面回归模型。

利用Xcalibur系统NIST 2014谱库(美国国家标准与技术研究院2014谱库)对质谱数据进行自动检索对照,根据所得到的各个物质的分子式、CAS号以及分子结构确定每个化学成分并利用面积归一化法计算各组分相对含量。

2 结果与分析

2.1 提取溶剂的确定

在保持提取温度为50℃,提取时间6 h不变的条件,按料液比1:100(g/mL)分别加入溶剂1、溶剂2、溶剂3对狮头柑籽油进行提取,狮头柑籽油提取率如图1所示。溶剂1、溶剂2与溶剂3提取率分别为36.87%、32.39%、33.75%。试验结果表明,用乙醚(溶剂1)提取效果最高且提取的油脂更为澄澈,因此确立了乙醚为提取狮头柑籽油的最佳提取溶剂。

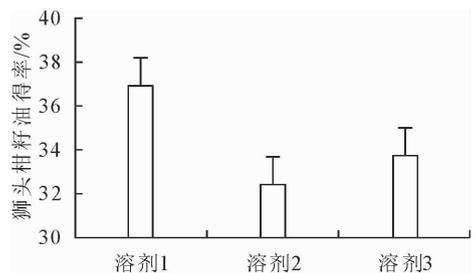


图1 不同溶剂的提取率

Fig. 1 Extract rate of different solvents

2.2 狮头柑籽油提取的单因素试验结果

2.2.1 不同料液比对狮头柑籽油提取率的影响

由图2可知,在保持提取温度、提取时间不变的条件,料液比增加,狮头柑籽油得率也增加,在料液比为1:100(g/mL)时达到最大值36.77%,随着料液比的进一步增加,狮头柑籽油得率下降。因为提取溶剂的增加,有利于狮头柑籽油的渗出,而料液比过大,需要加热过多的料液,导致狮头柑籽油的得率相对变小。

2.2.2 不同提取温度对狮头柑籽油提取率的影响

由图3可知,在保持其他条件不变的条件,随着提取温度的增加,油脂得率升高,在提取温度为50℃时达到最大值37.33%,随着提取温度的继续升高,狮头柑籽油得率反而降低。温度的增加促进提取溶剂的挥发,导致提取效果降低。

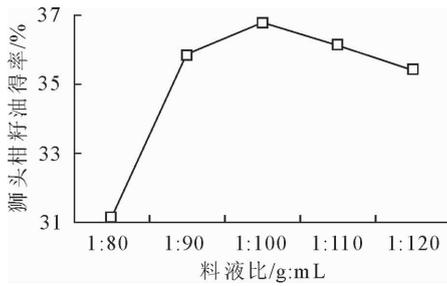


图2 不同料液比的提取率

Fig. 2 Extraction rate of different solid-liquid ratios

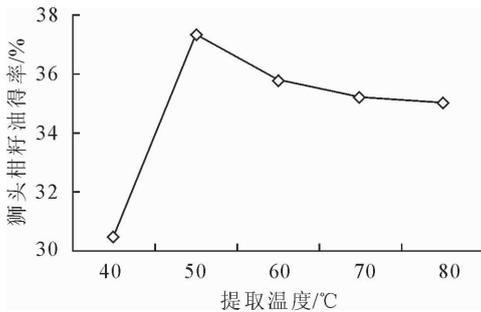


图3 不同提取温度的提取率

Fig. 3 Extraction rate of different extraction temperature

2.2.3 不同提取时间对狮头柑籽油提取率的影响

图4显示,在同一条件下,提取时间增加,狮头柑籽油的得率升高,在提取时间为7 h时油脂得率最高值36.16%,随着提取时间的进一步增加,狮头柑籽油得率下降。长时间提取致使部分提取溶剂挥发损失,料液比变小,导致得率降低。

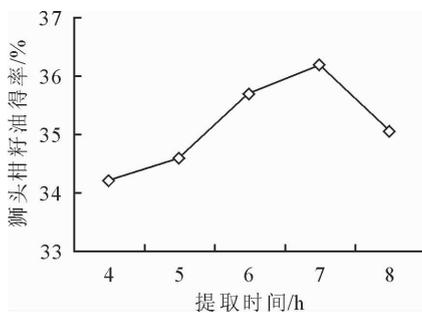


图4 不同提取时间的提取率

Fig. 4 Extraction rate of different extraction time

2.3 狮头柑籽油提取的响应面优化试验结果

2.3.1 模型的建立与显著性分析检验 本试验共设17个试验点,包括析因试验和中心试验,其中12个析因点、5个中心点,中心试验重复5次,用来估计试验误差。响应面试验设计及结果见表2。采用软件Design Expert 8.0.6对数据进行回归分析,可建立如下二次回归方程:

$$Y = 37.60 + 0.0075A - 1.07B - 0.20C + 0.40AB + 0.020AC + 0.39BC - 1.04A^2 - 2.18B^2 - 0.81C^2$$

当“Prob>F”值<0.01表示该指标极显著。从表2的分析结果来看,整体模型“Prob>F”值<0.01,表明二次方程模型极显著。一次项中B的偏回归系数极显著($P < 0.01$),说明提取温度对狮头柑籽油提取率有极显著的影响。A、B、B、C交互作用显著($P < 0.05$),说明提取率受到料液比和提取温度、提取温度和提取时间的共同影响。二次项中A2、B2、C2中对狮头柑籽油得率模型影响极显著。模型的回归系数 $R^2 = 0.9859$ 说明模型响应值(狮头柑籽油得率)的变化98.59%来自所选因变量,即液料比、提取时间和提取温度的取值, $R^2_{adj} = 0.9679$,说明该模型能解释96.79%狮头柑种子得油率的变化。回归方差分析显著性检验结果表明,该模型回归显著,并且失拟项不显著,说明该方程对试验拟合较好,可以较好地描述随机因子与响应值之间的关系。对回归方程进一步验证,剔除影响不显著的交互项,得到简化后的公式: $Y = 37.60 + 0.0075A - 1.07B - 0.20C + 0.40AB + 0.39BC - 1.04A^2 - 2.18B^2 - 0.81C^2$, $R^2_{adj} = 0.9718$ 。

表2 响应面试验设计及结果

Table 2 Result of Box-Behnken design

试验号	因素			提取率 Y /%
	A	B	C	
1	-1	-1	0	35.53
2	1	-1	0	34.95
3	-1	1	0	33.01
4	1	1	0	34.03
5	-1	0	-1	36.05
6	1	0	-1	35.82
7	-1	0	1	35.63
8	1	0	1	35.48
9	0	-1	-1	36.48
10	0	1	-1	33.15
11	0	-1	1	35.29
12	0	1	1	33.53
13	0	0	0	37.35
14	0	0	0	37.46
15	0	0	0	37.65
16	0	0	0	37.72
17	0	0	0	37.83

2.3.2 响应面分析与优化

2.3.2.1 各因素的交互作用对狮头柑籽油提取效果的响应面分析。

1)料液比和提取温度的交互作用 由图5可知,在提取时间为7 h的条件下,料液比和提取温度的交互作用对狮头柑籽油提取率的影响。曲面较陡、等高线呈椭圆形说明料液比与提取温度的交互作用显著。狮头柑籽油的提取率受到料液比和提取

温度的共同影响。

2) 提取温度和提取时间的交互作用 由图 6 可知, 在料液比为 1 : 100 (g/mL) 的条件下, 提取温度和提取时间的交互作用对狮头柑籽油提取效果的影响。曲面较陡说明提取温度和提取时间交互作用显著, 狮头柑籽油提取率受到提取温度和提取时间的共同影响。

表 3 响应面试验方差分析

Table 3 Variance analysis for fitted regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	Prob>F	显著性
模型	40.46	9	4.5	54.58	<0.000 1	**
A-料液比	0.000 45	1	0.000 45	0.005 46	0.943 1	
B-提取温度	9.1	1	9.1	110.42	<0.000 1	**
C-提取时间	0.31	1	0.31	3.74	0.094 3	
AB	0.64	1	0.64	7.77	0.027	*
AC	0.0016	1	0.001 6	0.019	0.893 1	
BC	0.62	1	0.62	7.48	0.029 1	*
A ²	4.6	1	4.6	55.8	0.000 1	**
B ²	19.96	1	19.96	242.33	<0.000 1	**
C ²	2.78	1	2.78	33.73	0.000 7	**
残差	0.58	7	0.082			
失拟项	0.42	3	0.14	3.73	0.118 1	
纯误差	0.15	4	0.038			
总离差	41.03	16				

$R^2=0.985 9$

$R_{adj}^2=0.967 9$

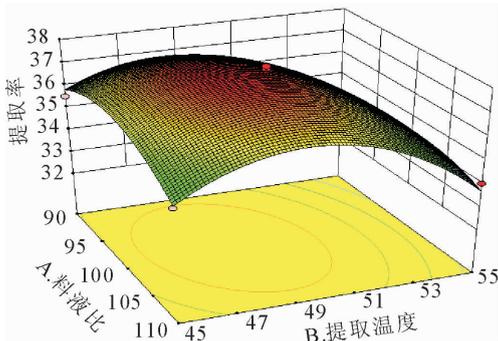


图 5 提取温度和料液比交互作用对提取率的影响

Fig. 5 Effect of extraction temperature and material-liquid ratio on extraction rate

考虑到实际操作条件, 将狮头柑籽油的最佳提取工艺修正为料液比 1 : 100 (g/mL)、提取温度 49℃、提取时间 7 h。采用修正后的工艺参数进行次平行验证试验, 重复试验 3 次并取平均值, 测得狮头柑籽油得率为 37.61%。与所建模型分析值相差较小, 证明该模型的分析是可以采纳的。所以, 提取狮头柑籽油的最佳工艺条件为料液比 1 : 100 (g/mL)、提取温度 49℃、提取时间 7 h。

2.4 狮头柑籽油脂肪酸成分分析结果

狮头柑籽油甲酯化后得到的总脂肪酸甲酯经 GC-MS 分析, 共检测出 9 种成分, 狮头柑籽油脂肪

2.3.2.2 狮头柑籽油提取工艺的优化与验证结果

为进一步确定工艺最佳点, 用 Design Expert 8.0.6 分析软件进行试验参数优化分析, 以获得最优的试验参数。经分析, 最适条件值分别为料液比 1 : 99.51 (g/mL)、提取温度 48.67℃、提取时间 6.81 h。此工艺条件下狮头柑籽油的理论得率为 37.76%。

酸甲酯的 GC-MS 总离子图谱见图 7。经分析确定狮头柑籽油的脂肪酸成分为亚油酸 (72.00%)、棕榈酸 (25.24%)、花生酸 (0.72%)、棕榈油酸 (0.28%)、14-甲基十六烷酸 (0.27%)、花生烯酸 (0.24%)、肉豆蔻酸 (0.08%)、山嵛酸 (0.07%)、15-甲基十六烷酸 (0.03%)。结果表明, 狮头柑籽油是一种以不饱和脂肪酸-亚油酸为主的油脂, 其中不饱和脂肪酸占脂肪酸总量的 72.52%。

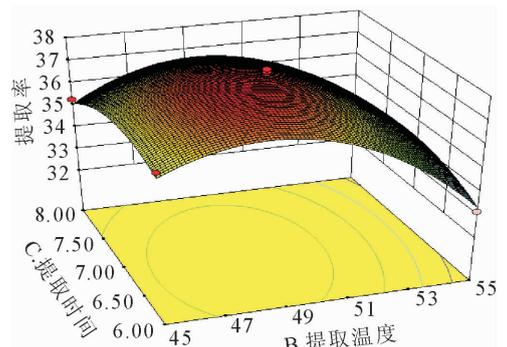


图 6 提取温度和提取时间交互作用对提取率的影响

Fig. 6 Effect of extraction temperature and time ratio on extraction rate

3 结论

目前国内外普遍采用的抽提法中, 索氏提取法

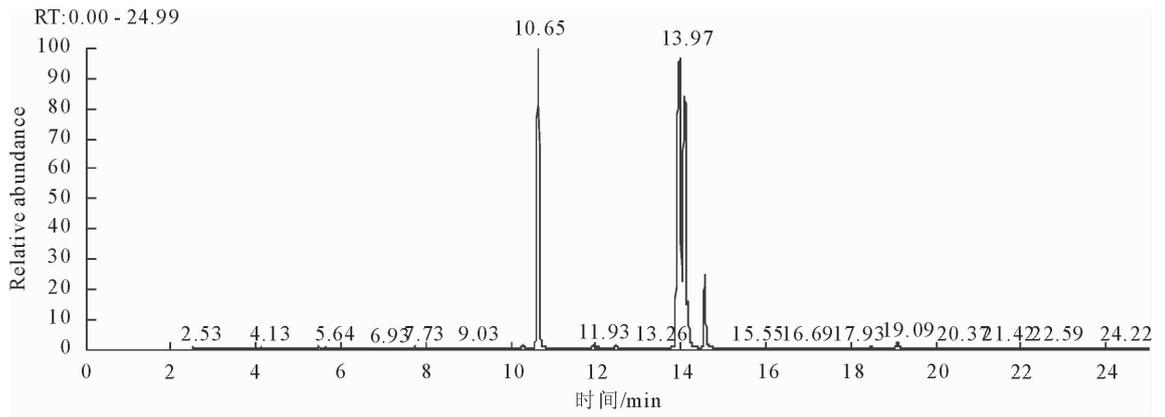


图7 狮头柑籽油脂肪酸甲酯的GC-MS总离子流色谱

Fig. 7 GC-MS total ion chromatogram of fatty acid in Shitougan seed oil

表4 狮头柑籽油脂肪酸组成

Table 4 Fatty acid composition of Shitougan seed oil

序号	保留时间/min	脂肪酸	分子式	分子质量	相对含量/%
1	7.73	肉豆蔻酸	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228	0.08
2	9.03	15-甲基十六烷酸	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284	0.03
3	10.29	棕榈油酸	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	254	0.28
4	10.65	棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	25.24
5	11.93	14-甲基十六烷酸	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270	0.27
6	13.98	亚油酸	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	72.00
7	18.49	花生烯酸	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326	0.24
8	19.09	花生酸	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	312	0.72
9	24.67	山嵛酸	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	340	0.07

是公认的经典方法。试验结果表明,狮头柑种子中含有37.61%的油脂,与芦柑^[29]、金柑^[30]籽油得率平均为40%左右接近,确定了狮头柑籽油的最佳提取工艺条件为料液比1:100(g/mL),提取温度为49℃,提取时间为7 h。通过气相色谱-质谱联用法分析,鉴定出狮头柑籽油脂肪酸成分9种,主要包括亚油酸、棕榈酸、花生酸、棕榈油酸、14-甲基十六烷酸、花生烯酸。结果表明,狮头柑籽油是一种以不饱和脂肪酸-亚油酸为主的油脂,其含量占总脂肪酸含量的72.00%。亚油酸是人体必需脂肪酸,曾被命名为维生素F,具有重要的功能特性,如可预防动脉粥样硬化、高血压和高胆固醇等疾病。本研究首次对狮头柑种子油进行提取并优化提取工艺,测定其脂肪酸成分。利用狮头柑产业中产生的橘籽副产物制取油脂,变废为宝,为该产业进一步创造经济效益提供数据。

参考文献:

- [1] 张涵. 狮头柑主要成分及抗氧化物质研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2017.
- [2] 曹佳瑛,曹席轶,王海泽,等. 安康狮头柑良种选育研究[J]. 现代农业科技,2016(1):129-132.

CAO J Y, CAO X Y, WANG H Z, *et al.* Study on seed-breeding of Ankang Shitougan[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(1):129-132. (in Chinese)

- [3] 张涵,鲁周民,王锦涛,等. 4种主要柑橘类香气成分比较[J]. *食品科学*, 2017, 38(4):192-196.
- ZHANG H, LU Z M, WANG J T, *et al.* Comparative aroma components of fruits of four main citrus varieties[J]. *Food Science*, 2017, 38(4):192-196. (in Chinese)
- [4] 赵晨,邹国林. 狮头柑挥发油化学成分分析[J]. *中国调味品*, 2007(8):71-73.
- ZHAP C, ZOU G L. Study on the chemical composition and antioxidant activity of essential oils from *Citrus*[J]. *China Condiment*, 2007(8):71-73. (in Chinese)
- [5] 熊秋芳,张晓明,文静等. 菜籽油与不同食用植物油营养品质的比较——兼论油菜品质的遗传改良[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(6):122-128.
- [6] 杨春英,刘学铭,陈智毅. 15种食用植物油脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(6):211-214.
- YANG C Y, LIU X M, CHEN Z Y. Determination of fatty acid profiles in fifteen kinds of edible vegetable oil by gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Science*, 2013, 34(6):211-214. (in Chinese)
- [7] 杨升云,龙晓英,刘昌顺,等. 6种天然植物油的性能研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2017, 29(2):329-336, 315.
- [8] CONTE R, GULLICH L M D, BILIBIO D, *et al.* Pressurized

- liquid extraction and chemical characterization of safflower oil: a comparison between methods[J]. *Food Chemistry*, 2016, 213:425-430.
- [9] GUO S S, GE Y, JOM K N, *et al.* A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.)[J]. *Chemistry Central Journal*, 2017, 11:1-10.
- [10] 张亚丽, 黄庆德, 马建国, 等. 浓香葵花籽油生产技术研究[J]. *中国油脂*, 2016, 41(12):9-14.
- [11] 毛方华, 王鸿飞, 刘飞, 等. 油茶籽油的提取及其对自由基清除作用的研究[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(5):125-128, 194. MAO F H, WANG H F, LIU F, *et al.* Extraction and free radical scavenging effects of camellia oleifera seed oil[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24(5):125-128, 194. (in Chinese)
- [12] YALCIN H, KAVUNCUOGLU H, EKICI L, *et al.* Determination of fatty acid composition, volatile components, physico-chemical and bioactive properties of grape (*Vitis vinifera*) seed and seed oil[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 41(2):1-9.
- [13] 薛雯, 房玉林, 袁照程. 葡萄废弃物的开发利用及葡萄循环经济研究概况[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(6):253-259. XUE W, FANG Y L, YUAN Z C. Research progress of utilizing grape waste and the grape circular economy [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2013, 28(6):253-259. (in Chinese)
- [14] BERTRAND M, MEHMET O M, *et al.* Oil content, fatty acid composition and distributions of Vitamin-E-active compounds of some fruit seed oils[J]. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 2015, 4(1):124-133.
- [15] 于修焯, 李志西, 杜双奎. 苹果籽油脂肪酸组成分析初报[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2003, 31(1):155-156.
- [16] 毕艳红, 王朝宇, 陈晓明, 等. 超声波辅助酶法提取苹果籽油工艺优化及其脂肪酸组成分析[J]. *中国油脂*, 2014, 39(10):19-23.
- [17] MAO Y Y, HAN J G, TIAN F, *et al.* Chemical composition a-
- nalys, sensory, and feasibility study of tree peony seed[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(2):553-561.
- [18] 毛程鑫, 李桂华, 李普选, 等. 牡丹籽油的脂肪酸组成及理化特性分析[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(4):142-146.
- [19] 中国科学家首次制成鲜花食用油将推动食材革命[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(7):117.
- [20] AMRI Z, ZAOUAY F, LAZREG-AREF H, *et al.* Phytochemical content, fatty acids composition and antioxidant potential of different pomegranate parts: comparison between edible and non edible varieties grown in Tunisia[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 104:274-280.
- [21] 袁博, 戈群妹, 冯友建, 等. 石榴籽油的脂肪酸测定及功能[J]. *食品科学*, 2010, 31(14):170-173.
- [22] 陈业高, 卢艳, 刘莹, 等. 石榴籽油脂肪酸成分的分析[J]. *食品科学*, 2003(11):111-112.
- [23] HUSSAIN S B, ANJUM M A, *et al.* Physico-chemical profiling of promising sweet orange cultivars grown under different agro-climatic conditions of Pakistan [J]. *Erwerbs-Obstbau*, 2017, 59(4):315-324.
- [24] 齐乐, 祁春节. 世界柑橘产业现状及发展趋势[J]. *农业展望*, 2016, 12(12):46-52.
- [25] SHARMA K, MAHATO N, HWAN M, *et al.* Converting citrus wastes into value-added products: economic and environmentally friendly approaches[J]. *Nutrition*, 2017, 34(34):29-46.
- [26] 单杨. 中国柑橘工业的现状、发展趋势与对策[J]. *中国食品学报*, 2008, 8(1):1-8.
- [27] 孙志高, 孙谦, 黄巧娟, 等. 不同方式提取的柑橘种子油中脂肪酸组成及活性成分分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(10):187-192.
- [28] 于修焯, 李志西, 杜双奎. 苹果籽油超声波辅助浸提及产品理化特性研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(9):155-159.
- [29] 林升得, 郑敏敏, 陈丹, 等. 柑橘籽油的最佳提取工艺[J]. *福建中医药大学学报*, 2014, 24(3):41-43.
- [30] 张怡, 谢加风, 曾绍校, 等. 金柑籽油超声波辅助提取工艺及其成分研究[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(2):35-42.

(上接第 193 页)

- [19] 于新文, 刘晓云. 昆虫种群空间格局的研究方法评述[J]. *西北林学院学报*, 2001, 16(3):83-87. YU X W, LIU X Y. Review of reseracrch methods on spatial pattern of insect population[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2001, 16(3):83-87. (in Chinese)
- [20] 向昌盛, 袁哲明. 地统计方法在昆虫学研究中的应用[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(17):191-194.
- [21] 胡瑜珩. 云斑天牛空间格局分析及补充营养植物对其的影响[D]. 北京:北京林业大学, 2015.
- [22] KARIMZADEH R, HEJAZI M J, HELALI H, *et al.* Analysis of the spatio-temporal distribution of *Eurygaster integriceps* (Hemiptera: Scutelleride) by using spatial analysis by distance indices and geostatistics[J]. *Environmental Entomology*, 2011, 40(5):1253-1265.
- [23] DECANTE D, VAN HELDEN M. Spatial and temporal distribution of *Empoasca vitis* within a vineyard[J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2008, 10(2):111-118.
- [24] ZHANG R D. *Spatial Variability Theory and Application* [M]. Beijing: Science Press, 2005:13.
- [25] 朱生秀, 张俊, 王敏, 等. 营林措施及天敌对杨圆蚱的控制效果评价[J]. *新疆农业大学学报*, 2011, 34(1):43-47.
- [26] 胡瑜珩, 武海卫, 许志春. 云斑天牛幼虫空间分布格局的地统计学分析[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(5):165-171. HU Y H, WU H W, XU Z C. Geostatistical analysis on spatial distribution pattern of the larvae of *Batocera horsfieldi* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(5):165-171. (in Chinese)
- [27] 邵崇斌, 徐振武, 韩明耀. 杨树蛀干害虫空间格局的研究[J]. *西北林学院学报*, 1997, 12(Supp.):33-36.
- [28] RICHARD E R, DAVID I M, ANDRE G I, *et al.* Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence[J]. *Ecological Monographs*, 1992, 62(2):277-314.