

紫苏饼粕的残油醇提工艺及品质分析

胡东亚^{1,2}, 张志军^{1,2*}, 曹千慧³, 李会珍^{1,2}, 张由盛², 张永荣²

(1. 中北大学化学工程与技术学院, 山西太原 030051)(2. 中北大学晋中产业技术创新研究院, 山西晋中 030600)
(3. 吉林大学植物科学学院, 吉林长春 130062)

摘要: 为提取紫苏饼粕残油, 减少有毒有机溶剂残留和污染, 同时获得低脂、高蛋白紫苏饼粕, 采用 95%乙醇浸提法提取紫苏饼粕残油。在单因素试验的基础上, 选出最优浸提温度、浸提次数、液固比、浸提时间。通过正交试验优化获得的工艺条件为: 浸提温度 75℃、浸提次数 5 次、液固比 3.50:1、时间 3 h。在该工艺下对紫苏饼粕残油的提取率可达 96.04%, 紫苏饼粕含油率降至 0.51%, 蛋白富集率提升至 57.90%。对紫苏籽压榨油、紫苏饼粕乙醇浸提油及石油醚浸提油进行理化性质比较, 结果表明三种油在酸值、过氧化值、碘值、皂化值方面均符合国家标准, 其中石油醚浸提油的酸值和过氧化值较大分别为 3.65 KOH/(mg/g)和 5.96 mmol/kg, 乙醇浸提油次之, 低温压榨油较小为 3.30 KOH/(mg/g)和 5.22 mmol/kg。碘值无显著差异, 而浸提油的皂化值要大于低温压榨油。通过气相色谱(GC)分析, 乙醇浸提油的亚麻酸相对含量及不饱和脂肪酸占总脂肪酸比例分别为 59.60%和 89.31%, 略低于低温压榨油的 61.09%和 90.33%, 高于石油醚浸提油的 57.29%和 86.10%。综合来看乙醇浸提油品质高于石油醚浸提油, 略低于低温压榨油。

关键字: 紫苏饼粕; 乙醇浸提; 饼粕残油; 理化性质

文章编号: 1673-9078(2022)02-218-223

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0632

Alcohol Extraction Process and Quality Analysis of Residual Oil from Perilla Cake Meal

HU Dongya^{1,2}, ZHANG Zhijun^{1,2*}, CAO Qianhui³, LI Huizhen^{1,2}, ZHANG Yousheng², ZHANG Yongrong²

(1.College of Chemical Engineering and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

(2.Jinzhong Institute of Industrial Technology Innovation, North University of China, Jinzhong, 030600, China)

(3.College of Plant Science, Jilin University, Changchun 130062, China)

Abstract: We used 95% ethanol to extract residual oils in perilla cake meal to reduce residues and contamination by toxic organic solvents, as well as to obtain low-fat, high-protein perilla cake meal. Univariate analysis was performed to determine the optimal extraction temperature, number of extractions, liquid-solid ratio, and extraction duration. The processing conditions optimized through orthogonal experimental design were as follows: extraction temperature, 75℃; 5 extractions; liquid-solid ratio, 3.5:1; and time, 3 h. Using this process, the extraction rate of residual oil from perilla cake meal was 96.04%, oil content of perilla cake meal was reduced to 0.51%, and protein enrichment rate was increased to 57.90%. The physical and chemical properties of perilla seed pressed oil, perilla cake meal ethanol extract, and petroleum ether extract were compared. The three oils met national standards with respect to acidity, peroxide content, iodine content, and saponification. Among them, the acidity and peroxide content of petroleum ether extract oil were relatively high, with maxima of 3.65 (KOH)/(mg/g) and 5.96 (mmol/kg), respectively, followed by those for ethanol extract oil and low-temperature pressed oil (3.30 (KOH)/(mg/g) and 5.22 (mmol/kg), respectively). There was no significant difference in the iodine content, and the degree of saponification of the extract oil was greater than that of the low-temperature pressed oil. Gas chromatography analysis showed that the relative content of linolenic acid and proportion of unsaturated

引文格式:

胡东亚,张志军,曹千慧,等.紫苏饼粕的残油醇提工艺及品质分析[J].现代食品科技,2022,38(2):218-223,+271

HU Dongya, ZHANG Zhijun, CAO Qianhui, et al. Alcohol extraction process and quality analysis of residual oil from perilla cake meal [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 218-223, +271

收稿日期: 2021-06-17

基金项目: 晋中市科技重点研发计划(工业)(Y201018); 晋中市开发区重点研发项目(201908)

作者简介: 胡东亚(1997-), 男, 硕士, 研究方向: 生物提取与分离工程, E-mail: 745842896@qq.com

通讯作者: 张志军(1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 植物功能成分提取及高效利用, E-mail: sxzzj@163.com

fatty acids in total fatty acids in ethanol extract oil were 59.60% and 89.31%, respectively, which are slightly lower than those observed for low-temperature pressed oil (61.09% and 90.33%, respectively) and higher than those observed for petroleum ether extract oil (57.29% and 86.10%, respectively). Overall, the quality of ethanol extract oil is higher than that of petroleum ether extract oil and slightly lower than that of low temperature pressed oil.

Key words: perilla cake meal; ethanol extraction; residue cake oil; physical and chemical properties

紫苏 (*Perilla frutescens* (L.) Britt), 系唇形科一年生草本植物, 是中国传统的药食两用植物, 有着两千多年的栽培历史, 在全国二十多个省份都有种植^[1-3]。紫苏籽中含油率高达 40%~50%, 不饱和脂肪酸含量高达 90%以上, 其中 α -亚麻酸含量最高, 占脂肪酸总量的 61.10%~64.00%^[4]。紫苏籽油是迄今为止发现含有 α -亚麻酸含量最高的食用油。紫苏籽油具有降血脂、抗炎、抗肿瘤、抗衰老、改善心脑血管疾病、预防和改善老年痴呆等功能^[5-9]。

压榨法制得的紫苏饼粕中含有多种有效成分, 如粗脂肪、粗蛋白、多糖、单宁、植酸等。榨油后的紫苏饼粕中蛋白含量占 40%左右^[10-12], 残油占 15%左右。采用适当的方法提取的紫苏饼粕残油经过精炼后可以用于保健用油和工业用油, 同时残油的脱除也有利于饼粕蛋白和其它成分的提取和高效利用^[13]。目前, 紫苏籽饼的残油主要采用有机溶剂萃取法提取。常用的有机溶剂主要有正己烷、异己烷、石油醚、丙酮、乙酸乙酯、异丙醇等^[14-16], 上述有机溶剂萃取具有提油率高、蛋白质变性较少、成本低与加工效率高等优点, 但也存在有机溶剂易燃易爆, 对环境污染严重, 有机溶剂在饼粕中有残留, 安全性相对较低的缺点。另外还有超临界流体萃取法、亚临界萃取法、水剂法等^[17,18], 但在规模化应用中也存在加工成本高、安全性差等问题。

本研究通过优化紫苏饼粕残油醇提工艺, 对提取油脂的理化性质及脂肪酸组成与石油醚浸提法和低温压榨法所得油进行比较, 对乙醇浸提油的品质进行对比分析, 以期获得紫苏饼粕中的残油以及低脂、高蛋白含量的紫苏饼粕, 为实现工业化生产提供理论数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

低温压榨油, 低温压榨脱壳紫苏饼粕 (水分: 10.29%、粗脂肪: 12.84%、蛋白质: 45.71%), 山西福旺轩农业科技有限公司、95%乙醇、石油醚 (30℃~60℃)、石油醚 (60℃~90℃)、碘化钾、可溶性淀粉、硫代硫酸钠、韦氏试剂、冰乙酸、氢氧

化钠、氢氧化钾等均为分析纯。

实验仪器有 2500Y 多功能粉碎机, 永康市铂欧五金制品有限公司; GZX-9146MBE 电热鼓风干燥箱, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; HH-2 数显恒温水浴锅, 金坛市杰瑞尔电器有限公司; K9840 自动凯氏定氮仪, 山东海能科学仪器有限公司; SH220F 石墨消解仪, 山东海能科学仪器有限公司; SOX406 脂肪测定仪, 上海泓纪实业有限公司; HDM-3000 数显控温电加热套, 金坛市荣华仪器制造有限公司; RE-52AA 旋转蒸发仪, 上海亚荣生化仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 乙醇浸提法提取紫苏饼粕残油

脱壳紫苏饼粕干燥粉碎过 60 目筛, 称取 20 g 饼粕粉按液固比 3:1 加入 95%乙醇搅拌均匀, 将其置于 75℃的水浴锅内浸泡 2 h 后, 抽滤, 加少量乙醇洗脱饼粕表面油脂, 旋蒸回收乙醇, 得到紫苏饼粕残油, 将饼粕放至烘箱, 70℃干燥 4 h, 测定饼粕含油率。紫苏饼粕残油提取率按下式计算:

$$Y / \% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中:

Y ——紫苏饼粕残油提取率;

m_1 ——原紫苏饼粕粗脂肪含量;

m_2 ——浸提后紫苏饼粕粗脂肪含量。

1.2.2 紫苏饼粕主要成分及紫苏油理化性质的测定

紫苏饼粕主要成分的测定: 粗脂肪测定, 参照 GB 5009.6-2016; 粗蛋白测定, 参照 GB 5009.5-2016; 水分和挥发性物质的测定, 参照 GB/T 5528-2008。

紫苏油理化性质的测定: 过氧化值测定, 参照 GB/T 5538-2005; 酸值测定, 参照 GB/T 5530-2005; 碘值的测定, 参照 GB/T 5532-2008; 有关皂化值测定, 参照 GB/T 5534-2008。不饱和脂肪酸检测: 气相色谱仪, 气相条件: TM-FFAP 色谱柱 (30 m×0.25 mm×0.25 mm), 样品进样口温度为 230℃, 探测器进口温度为 240℃, 柱温程序为以 10℃/min 从 140℃升到 180℃并保持 3 min, 以 5℃/min 继续升温到 200℃并保持 4 min; 进样量 1 μ L^[19]。

1.3 乙醇浸提紫苏饼粕残油实验

通过单因素试验,研究了乙醇提取温度(60、65、70、75、80、85、90℃)、提取次数(1、2、3、4、5、6、7)、液固比(1:1、1.5:1、2:1、2.5:1、3:1、3.5:1、4:1)、提取时间(1、1.5、2、2.5、3、3.5、4 h)对紫苏籽饼残油提取率的影响,确定了最佳工艺参数,通过正交试验确定了最佳工艺条件。之后对乙醇浸提法、石油醚浸提法、压榨法三种方式得到的紫苏籽油的理化性质及其脂肪酸组含量作比较。(石油醚浸提法工艺条件为:以紫苏籽饼为原料,60目筛以上粉碎,石油醚(60~90℃)为萃取溶剂,液固比为6:1,萃取温度为66.7℃,提取时间4.60 h,提取2次^[13]。)

2 结果与分析

2.1 乙醇浸出紫苏饼粕残油单因素实验

2.1.1 浸提温度对粕中残油提取率的影响

在乙醇浓度95%、液固比2.50:1,时间2.50 h的条件下,考察了温度对残油提取率的影响。从图1可以看出,温度是残油提取过程中一个重要而复杂的因素。随着温度的增加,乙醇对紫苏饼粕残油的提取率开始处于上升趋势,在温度为75℃时达到最大值,之后随着温度的增加提取率开始呈现下降趋势,这是由于60℃~75℃时随着温度增加分子热运动加快,乙醇与饼粕可以更充分接触以至于饼粕中残油充分浸出,提取率增加。75℃~90℃,通过观察可以发现随着温度增加溶液开始剧烈沸腾产生大量气泡,这也导致溶剂挥发,饼粕结块粘壁现象越来越严重,乙醇和饼粕粉接触不充分从而提取率下降。浸提温度影响趋势与许永东等^[20]研究结果相似。因此,选择75℃为最佳提取温度。

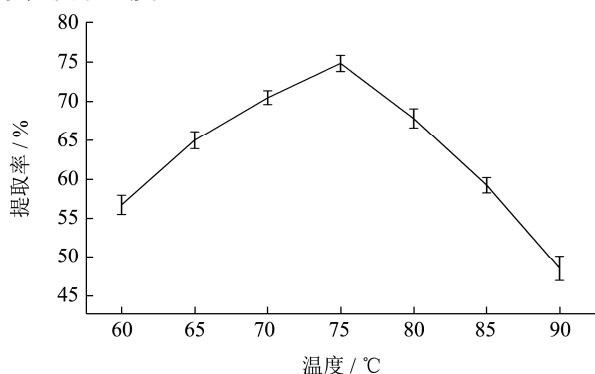


图1 浸提温度对粕中残油提取率的影响

Fig.1 The effect of extraction temperature on the extraction rate of residual oil in meal

2.1.2 浸提次数对粕中残油提取率的影响

在乙醇浓度95%、浸提温度75℃、液固比2.50:1、浸提时间2.50 h的条件下,考察浸提次数对粕中残油提取率的影响。从图2可以看出,随着浸出次数的增加饼粕中残油率逐渐减小,提取率逐渐增加,浸出4次粕中提取率达到95.15%,再增加浸出次数,紫苏饼粕残油提取率变化很小。这是由于绝大部分饼粕残油已经被浸出,此时增加浸提次数提取率不会大幅度增加。从浸提液颜色也可以看出,颜色逐渐变淡。实验结果与王青松等^[21]有机溶剂法浸提3次之后提取率变化不大结果相似。考虑到成本和能耗,选择浸提4次为最佳浸提次数。

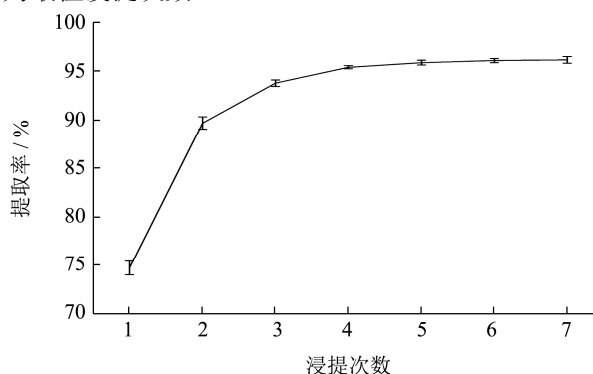


图2 浸提次数对粕中残油提取率的影响

Fig.2 The effect of extraction times on the extraction rate of residual oil in meal

2.1.3 液固比对粕中残油提取率的影响

在乙醇浓度95%、浸提温度75℃、浸提时间2.50 h的条件下对紫苏饼粕浸提4次,研究了液固比对粕中残油提取率的影响,结果见图3。由图3可知,随着液固比增加,饼粕残油提取率也随之升高,在液固比3:1时达到最高,之后随着液固比的继续增加,饼粕残油的提取率始终维持较高状态。这是由于当体系中液固比较低时,物料粘度较大,流动性差,乙醇溶液与饼粕接触不充分且液固比较低乙醇浸出油不完全。因此,选择3:1作为最佳的液固比。

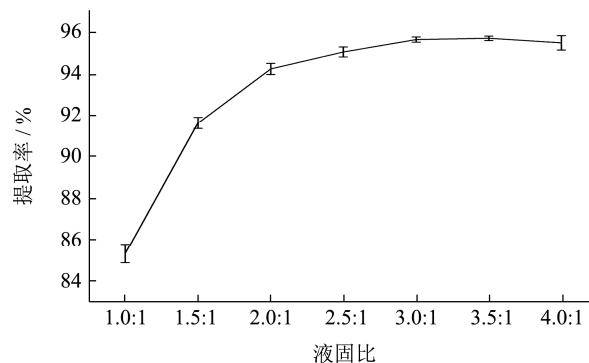


图3 液固比对粕中残油提取率的影响

Fig.3 The effect of liquid-solid ratio on the extraction rate of residual oil in meal

2.1.4 浸提温度对粕中残油提取率的影响

在乙醇浓度 95%、浸提温度 75 °C、液固比 3:1 的条件下对紫苏饼粕浸提 4 次，考察液固比对粕中残油提取率的影响。从图 4 可以看出，紫苏籽饼中残油的提取率随提取时间的延长而增加。当浸提时间达到 2.50 h 时，饼粕残油提取率达到最高，但继续延长浸提时间提取率反而稍有下降，这可能是由于浸提时间过长，体系中的油脂浸出已经达到平衡，时间过长也可能导致乙醇中的浸出油堆积，抽滤和洗脱过程中较难把油与饼粕分离。同时，太长时间也导致能源消耗增加，成本增加，不利于工业化。因此，选择 2.50 h 为最佳浸提时间。

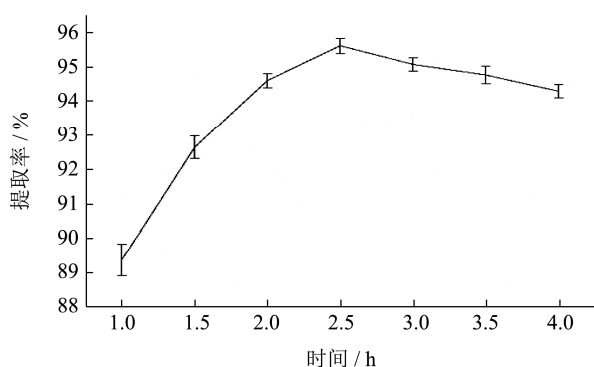


图 4 浸提时间对粕中残油提取率的影响

Fig.4 The effect of extraction time on the extraction rate of residual oil in meal

2.2 正交试验

在单因素试验的基础上，对乙醇浸提紫苏饼粕残油工艺中的浸提温度、浸提次数、液固比、浸提时间 4 个因素进行正交试验。每个因素选取 3 个显著水平，以紫苏饼粕残油提取率为指标，采用 $L_9(3^4)$ 乙醇浸提紫苏饼粕残油条件的正交试验，因素水平见表 1，正交试验设计及结果见表 2。

由表 2 的极差分析可知，在乙醇浸提紫苏饼粕残油工艺中各因素对残油提取率的影响依次为浸提温

度>液固比>浸提次数>浸提时间，最佳浸提条件为 $A_2B_3C_2D_3$ ，即浸提温度 75 °C、液固比 3.50:1、浸提次数 5、时间 3 h。为验证乙醇浸提紫苏饼粕残油最佳工艺条件，按上述条件进行乙醇浸提油处理，重复三次，得到残油提取率为 96.04%。该条件下浸出饼粕的基本成分为：水分 9.32%、粗脂肪 0.51%、粗蛋白 57.90%。该工艺与刘大川等^[22]实验结果相比，最佳提取次数减少 1 次，残油提取得率相当。

表 1 乙醇浸提紫苏饼粕残油工艺条件的正交试验设计表

Table 1 The orthogonal test design table of the process conditions for extracting residual oil from perilla cake by ethanol

水平	A 温度/°C	B 液固比	C 时间/h	D 浸提次数/次
1	70	2.50:1	2.00	3
2	75	3.00:1	2.50	4
3	80	3.50:1	3.00	5

表 2 正交实验结果

Table 2 Orthogonal experiment results

实验号	A	B	C	D	提取率/%
1	1	1	1	1	89.71
2	1	2	2	2	92.84
3	1	3	3	3	93.04
4	2	1	2	3	95.21
5	2	2	3	1	94.48
6	2	3	1	2	95.88
7	3	1	3	2	91.08
8	3	2	1	3	92.46
9	3	3	2	1	92.34
K ₁	91.863	92.000	92.683	92.177	
K ₂	95.190	93.260	93.463	93.267	
K ₃	91.960	93.753	92.867	93.570	
R	3.327	1.753	0.780	1.393	

2.3 紫苏油理化性质分析

表 3 不同提取方法所得紫苏油的理化性质

Table 3 Physical and chemical properties of perilla oil obtained by different extraction methods

理化性质	提取方法		
	乙醇浸提法	低温压榨法	石油醚浸提法
碘值/[I/(g/100 g)]	179.32±0.95 ^b	183.56±1.32 ^a	178.95±1.29 ^b
酸值/[KOH/(mg/g)]	3.30±0.11 ^b	1.94±0.13 ^a	3.65±0.09 ^c
皂化值/[KOH/(mg/g)]	204.89±2.89 ^b	191.94±3.15 ^a	206.16±4.53 ^b
过氧化值/(mmol/kg)	5.22±0.38 ^b	2.96±0.12 ^a	5.96±0.43 ^c
气味	香味较淡	紫苏籽油特有气味	香味较淡
透明度	略微混浊	略微混浊	透明

注：同行不同小写字母表示数据之间差异性显著 ($p < 0.05$)。

不同提取方法所得紫苏油理化指标如表3所示。由表3可以看出这三种方式提取出的紫苏饼粕残油各项指标均符合国家标准,表明乙醇浸提紫苏饼粕残油的试验方法可行。表3中三种方法所得油按照酸值及过氧化值由大到小依次为:石油醚浸提油>乙醇浸提油>低温压榨油,与彭常梅等^[23]研究结果中低温压榨油酸值过氧化值相对较低相同。酸值是衡量油脂抗氧化性能的重要指标之一。石油醚浸提油的酸值最高,表明其游离脂肪酸含量较高,易被氧化。而过氧化值是评判油脂氧化程度的指标之一,三种方法中石油醚浸提油的过氧化值最高,其次是乙醇浸提油,最低是低温压榨油,表明低温压榨油的被氧化酸败程度较低。三种提取方法所得油的碘值差异不显著,均大于130 g I₂/100 g,表明其不饱和脂肪酸含量很高,属于干性油。低温压榨油的皂化值较低,浸提油相对较高,表明浸提油中脂肪酸分子质量大于低温压榨油。气味方面低温压榨油保持了紫苏油特有气味,透明度方面石油醚浸提法较优。总体而言,低温压榨油质量较好,浸出油质量较差。

2.4 紫苏油脂肪酸组成分析

表4 不同提取方法所得紫苏油脂肪酸组成及其含量

Table 4 Planting and content of perilla oil obtained by different methods

脂肪酸/%	提取方式		
	乙醇浸提法	低温压榨法	石油醚浸提法
棕榈酸	7.76±0.33 ^b	7.12±0.11 ^a	9.62±0.12 ^c
油酸	16.90±0.21 ^a	16.94±0.19 ^a	16.42±0.33 ^a
亚油酸	12.81±0.27 ^a	12.30±0.14 ^a	12.39±0.09 ^a
亚麻酸	59.60±0.49 ^a	61.09±0.74 ^a	57.29±1.18 ^b
硬脂酸	2.92±0.22 ^b	2.55±0.09 ^a	4.28±0.37 ^c
不饱和脂肪酸占 总脂肪酸比例	89.31±0.00 ^a	90.33±0.00 ^a	86.10±0.00 ^b

注:同行不同小写字母表示数据之间差异性显著($p<0.05$)。

采用气相色谱法测定了3种提取方式得到的紫苏饼粕残油的脂肪酸组成及含量。由表4可知,紫苏饼粕残油主要含棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸和硬脂酸5种脂肪酸,棕榈酸和硬脂酸为饱和脂肪酸,油酸为单不饱和脂肪酸,亚油酸和亚麻酸为多不饱和脂肪酸。三种提取方法所得油中低温压榨油中亚麻酸相对含量较高,占总脂肪酸的61.09%,其次是乙醇浸提油,最低为石油醚浸提油,分别为59.60%和57.29%。通过比较三种油不饱和脂肪酸占总脂肪酸比例可以看出低温压榨油和乙醇浸提油不饱和脂肪酸含量较高,分

别为90.33%和89.31%,石油醚浸提油相对较低为86.10%。综合来看,不同提取方法对饼粕残油中脂肪酸组成无显著影响,但对脂肪酸含量有一定的影响。本研究结果与钟政昌等^[24]及白章振等^[25]低温压榨油不饱和脂肪酸含量较高的结果一致。

3 结论

本研究采用95%乙醇作为浸提溶剂对紫苏脱壳低温压榨饼粕进行浸提,在浸提温度为75℃,液固比3.50:1、浸提次数5次、时间3h的条件下,饼粕残油的提取率可达96.04%,粕中残油率降至0.51%,蛋白质含量富集到57.90%。由此可见乙醇浸提饼粕残油工艺可行,在提取残油的同时得到的脱脂高蛋白紫苏饼粕更有利于紫苏蛋白的提取分离。通过对乙醇浸提法、石油醚浸提法、低温压榨法所得油进行理化性质比较可知酸值和过氧化值由大到小依次为:石油醚浸提油>乙醇浸提油>低温压榨油,碘值无显著差异,而浸提油的皂化值要大于低温压榨油。采用GC分析,低温压榨油中亚麻酸相对含量达61.09%,略高于乙醇浸提油的59.60%,而石油醚浸提油相对较低为57.29%,低温压榨油和乙醇浸出油的不饱和脂肪酸含量较高,分别为90.33%和89.31%,石油醚浸出油相对较低为86.10%。总的来说,低温压榨油的品质相对较好,其次是乙醇浸提油,石油醚浸提油品质相对较差。

参考文献

- [1] Yu H, Qiu J F, Ma L J, et al. Phytochemical and phytopharmacological review of *Perilla frutescens* L. (Labiatae), a traditional edible-medicinal herb in China [J]. Food and Chemical Toxicology, 2017, 108: 375-391
- [2] 李会珍,孙子文,李晓君.紫苏种子性状与主要营养成分相关性分析[J].中国粮油学报,2013,28(10):55-59
LI Huizhen, SUN Ziwen, LI Xiaojun. Correlation analysis of perilla seed traits and main nutrient components [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(10): 55-59
- [3] 赵晓玲.紫苏籽主要营养成分分析[J].中国食物与营养, 2015,21(3):63-67
ZHAO Xiaoling. Analysis of main nutritional components of perilla seeds [J]. China Food and Nutrition, 2015, 21(3): 63-67
- [4] 沙爽,张欣蕊,唐佳文.紫苏籽深加工研究进展[J].食品工业, 2020,41(4):234-239
SHA Shuang, ZHANG Xinrui, TANG Jiawen. Research progress in deep processing of perilla seeds [J]. Food Industry,

- 2020, 41(4): 234-239
- [5] Yanai H. Effects of N-3 polyunsaturated fatty acids on dementia [J]. Journal of Clinical Medicine Research, 2017, 9(1): 1-9
- [6] Chumphukam O, Pintha K, Khanaree C, et al. Potential anti-mutagenicity, antioxidant, and anti-inflammatory capacities of the extract from perilla seed meal [J]. Journal of Food Biochemistry, 2018, 42(5): e12556
- [7] Huang B P, Lin C H, Chen Y C, et al. Anti-inflammatory effects of *Perilla frutescens* leaf extract on lipopolysaccharide-stimulated RAW264. 7 cells [J]. Molecular Medicine Reports, 2014, 10(2): 1077-1083
- [8] Kamalashiran C, Sriyakul K, Pattaraarchachai J, et al. Outcomes of perilla seed oil as an additional neuroprotective therapy in patients with mild to moderate dementia: a randomized control trial [J]. Current Alzheimer Research, 2019, 16(2): 146-155
- [9] Ji W W, Wang S Y, Ma Z Q, et al. Effects of perillaldehyde on alternations in serum cytokines and depressivelike behavior in mice after lipopolysaccharide administration [J]. Pharmacology Biochemistry and Behavior, 2014, 116: 1-8
- [10] 贾青慧,沈奇,陈莉.紫苏籽蛋白质与氨基酸的含量测定及营养评价[J].食品研究与开发,2016,37(10):6-9
JIA Qinghui, SHEN Qi, CHEN Li. Determination of protein and amino acid content and nutritional evaluation of perilla seeds [J]. Food Research and Development, 2016, 37(10): 6-9
- [11] 于海鑫.紫苏主要成分分析及紫苏粉的研制[D].哈尔滨:东北农业大学,2019
YU Haixin. Analysis of main components of perilla and development of perilla powder [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019
- [12] 贺东亮.紫苏多肽分离纯化及其抗肿瘤活性研究[D].太原:中北大学,2019
HE Dongliang. Study on separation and purification of perilla polypeptide and its anti-tumor activity [D]. Taiyuan: North University of China, 2019
- [13] 李晓君,韩飞燕,李会珍.响应面法优化紫苏饼粕残油的提取条件[J].中国粮油学报,2015,30(4):67-71
LI Xiaojun, HAN Feiyan, LI Huizhen. Response surface methodology to optimize the extraction conditions of perilla cake residual oil [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(4): 67-71
- [14] Li H Z, Zhang Z J, Hou T Y, et al. Optimization of ultrasound-assisted hexane extraction of perilla oil using response surface methodology [J]. Industrial Crops and Products, 2015, 76: 18-24
- [15] Da Silva C M, Zanqui A B, Gohara A K, et al. Compressed n-propane extraction of lipids and bioactive compounds from Perilla (*Perilla frutescens*) [J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2015, 102: 1-8
- [16] 梁华,祝俊,钮琰星.采用 Design-Expert 设计进行低温压制饼新型混合溶剂提油研究[J].粮油加工,2008,7:60-63
LIANG Hua, ZHU Jun, NIU Yanxing. Study on oil extraction of new mixed solvent for low-temperature pressing cake by design-expert design [J]. Cereals and Oils Processing, 2008, 7: 60-63
- [17] 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
- [18] Khoddami A, Ghazali H M, Yassoralipour A, et al. Physicochemical characteristics of nigella seed (*Nigella sativa* L.) oil as affected by different extraction methods [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(4): 533-540
- [19] 张文超,李会珍,张志军.8种不同植物油的脂肪酸组成及抗氧化性比较[J].中国油脂,2021,46(4):68-71,75
ZHANG Wenchao, LI Huizhen, ZHANG Zhijun. Comparison of fatty acid composition and antioxidant properties of 8 different vegetable oils [J]. China Oils and Fats, 2021, 46(4): 68-71, 75
- [20] 许永东,李菲.木瓜籽油的浸提工艺及其调和油配方的优化[J].贵州农业科学,2018,46(11):142-144
XU Yongdong, LI Fei. Extraction technology of papaya seed oil and optimization of its blended oil formula [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(11): 142-144
- [21] 王青松,郑联合,张红建,等.有机溶剂法提取青金桔籽油及其理化性质测定[J].粮食与油脂,2021,34(3):38-42
WANG Qingsong, ZHENG Lianhe, ZHANG Hongjian, et al. Organic solvent extraction of kumquat seed oil and determination of its physical and chemical properties [J]. Cereals & Oils, 2021, 34(3): 38-42
- [22] 刘大川,余华峰.乙醇浸提紫苏籽压榨饼中油脂的工艺[J].农业工程学报,2008,11:242-246
LIU Dachuan, YU Huafeng. The process of extracting oil from perilla seed pressed cake with ethanol [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 11: 242-246