

预处理方法对盐效应辅助水剂法提取山桐子油的影响

王小悦, 胡晓, 罗国柳, 钟金锋, 刘雄, 覃小丽

(西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

摘要:为了寻找一种高效提取山桐子油的方法, 拓展山桐子油的应用范围, 分别采用微波和高压对山桐子进行预处理后采用盐效应辅助水剂法提取其中的油脂。探究液固比、NaCl 质量浓度、提取温度、微波功率和微波时间、高压温度和高压时间对山桐子油提取率的影响; 以有机溶剂提取法作为参照, 研究微波和高压预处理对盐效应辅助水剂法山桐子油提取率、理化性质、色泽及 DPPH 自由基清除率的影响。结果表明: 微波协同盐效应辅助水剂法在微波功率 420 W、微波时间 90 s、液固比 1.2:1、NaCl 质量浓度 0.15 g/mL 和提取温度 50 °C 时对山桐子油提取效果最好, 山桐子油提取率为 87.07%, 比高压协同盐效应辅助水剂法(高压温度 110 °C 和高压时间 5 min)高 2.86%; 与高压预处理相比, 微波预处理的山桐子油具有更高的 DPPH 自由基清除率(83.03%)和更低的酸值(KOH)(10.73 mg/g), 但这两种方法提取的山桐子油的脂肪酸组成和过氧化值均无显著差异; 与有机溶剂提取法相比, 盐效应辅助水剂法山桐子油提取率降低, 但具有更高的 DPPH 自由基清除率和更低的硫代巴比妥酸值, 且透明度更高, 红色更浅。综上, 微波协同盐效应辅助水剂法可以有效提取山桐子油, 提取率较高且油脂品质良好, 可用于高品质山桐子油的生产。

关键词: 山桐子油; 微波预处理; 高压预处理; 盐效应; 水剂法; 理化性质

中图分类号: TS222+.1; TS224 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)11-0008-08

Effect of pretreatment method on salt-assisted aqueous extraction of *Idesia polycarpa* oil

WANG Xiaoyue, HU Xiao, LUO Guoliu, ZHONG Jinfeng, LIU Xiong, QIN Xiaoli

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In order to explore an efficient method for extracting *Idesia polycarpa* oil for expanding the application of *Idesia polycarpa* oil, the *Idesia polycarpa* was pretreated by microwave or high-pressure, followed by salt-assisted aqueous extraction of oil. The effects of liquid-solid ratio, NaCl mass concentration, extraction temperature, microwave pretreatment (power and time), and high-pressure pretreatment (temperature and time) on the extraction rate of *Idesia polycarpa* oil were investigated. Furthermore, using organic solvent extraction method as reference, the influence of microwave and high-pressure pretreatment on the extraction rate, physicochemical properties, color and DPPH radical scavenging rate of *Idesia polycarpa* oil extracted by salt-assisted aqueous method were studied. The results showed that the optimal conditions for the extraction of *Idesia polycarpa* oil by microwave pretreatment synergistic salt-assisted aqueous extraction method were microwave power 420 W, microwave time 90 s, liquid-solid ratio 1.2:1, NaCl mass concentration 0.15 g/mL, and extraction temperature 50 °C. The oil extraction rate of microwave pretreatment synergistic salt-assisted aqueous extraction method was 87.07%, which was 2.86% higher than that of high-pressure pretreatment synergistic salt-assisted aqueous extraction method with the temperature 110 °C and time 5 min. The microwave pretreatment

synergistic salt-assisted aqueous extraction method resulted in relatively higher DPPH radical scavenging rate (83.03%) and lower acid value (10.73 mgKOH/g) of *Idesia polycarpa* oil compared with the high-pressure pretreatment

收稿日期: 2023-06-13; 修回日期: 2024-06-09

作者简介: 王小悦(1997), 女, 硕士研究生, 研究方向为油脂加工(E-mail) wangxiaoyueruili@163.com。

通信作者: 覃小丽, 副教授, 博士(E-mail) qinxl@swu.edu.cn。

method. There was no significant difference in fatty acid composition and peroxide value of *Idesia polycarpa* oil extracted by the two methods. In addition, the oil extraction rate of salt-assisted aqueous extraction method was lower than that of organic solvent extraction method, but had higher DPPH radical scavenging rate, lower thiobarbituric acid value, higher transparency and lighter red color of *Idesia polycarpa* oil. To sum up, microwave pretreatment synergistic salt-assisted aqueous method can effectively extract *Idesia polycarpa* oil, with high oil extraction rate and good oil quality, which can be used in the production of high quality *Idesia polycarpa* oil.

Key words: *Idesia polycarpa* oil; microwave pretreatment; high-pressure pretreatment; salt effect; aqueous extraction method; physicochemical property

山桐子是大风子科的落叶乔木,广泛分布于亚热带和暖温带地区,具有较强的生长能力,其果实的产量较高,且安全无毒^[1-3]。山桐子干果含油量在34.12%,是一种高含油量的油料,并且山桐子果实中还含有一定量的纤维素、还原糖、蛋白质和淀粉等营养物质^[4],具有较高的利用价值。山桐子油的脂肪酸组成主要为亚油酸、棕榈酸、棕榈油酸、油酸和硬脂酸^[5],其中亚油酸含量(66%~81%)^[6]显著高于花生油(32%~39%)和大豆油(53%~56%)等食用油^[7]。此外,山桐子油还含有生育酚和甾醇等生物活性成分,具有较高的营养价值^[6]。

目前,山桐子油的提取方法主要有有机溶剂提取法、压榨法、超临界二氧化碳萃取法等。宋明发^[4]以有机溶剂提取法提取山桐子油时,其提取率比压榨法高26.59%,但有机溶剂对环境存在污染且后续去除提高了提油的成本^[8]。压榨法分为低温压榨法和热榨法,其中低温压榨法的操作简单,对环境友好,但山桐子油提取率不高^[9];而热榨法提取的山桐子油与有机溶剂提取法相比具有更高的过氧化值,且较为浑浊,影响了油脂品质^[4]。超临界二氧化碳萃取法的山桐子油提取率较高,且油脂品质较好,但是该方法工艺复杂,成本较高^[10]。水剂法是利用油料中非油成分对油和水亲和力的差异及油水密度不同而将油脂与蛋白质等杂质分离的方法^[11],传统水剂法提取工艺简单,提取的油脂品质也较好,但将其用于山桐子油的提取时其提取率仅为50.12%^[12]。为提高水剂法的提取率,Lamsal等^[13]利用蛋白酶辅助水剂法提取大豆油,发现大豆油提取率与未经蛋白酶处理的相比提高了20%;但酶辅助水剂法提取的油脂酸值较高,且酶解时间较长,酶制剂成本较高,限制了其工业化发展^[7,13]。因此,基于成本、油脂提取率和品质等方面的因素,盐效应辅助水剂法受到人们的关注。Lv等^[14]研究发现,利用盐效应辅助水剂法提取黑芝麻油的提取率

可达96.54%,且提取的油脂具有较好的品质,表明将盐效应辅助水剂法用于油脂的提取具有可行性。另外,此法使用时加入的水较少(液固比小于2:1),可以减少亲水物质(如蛋白质)在水中的分散,从而减少其对油的乳化作用,提高油脂提取率^[14]。此外,研究发现,预处理可以破坏细胞壁和细胞内油脂的复合体,使细胞结构松散,从而更利于油脂释放^[15]。付家园等^[16]利用微波协同盐效应辅助水剂法提取南瓜籽油,发现其提取率比未经微波处理的高5.49%,并且微波处理后得到的油脂具有更低的酸值和更高的DPPH自由基清除率。孙燕等^[17]研究表明,高压协同酶法辅助水剂法对辣木籽油的提取率比未经高压处理的高9.03%。由此可见,预处理对于提高油脂的提取率和品质等具有重要作用。然而,目前尚未有研究将盐效应辅助水剂法用于山桐子油的提取,且不同预处理对盐效应辅助水剂法提取山桐子油的提取率和油脂品质的影响尚不清楚。

本研究以晒干的山桐子为原料,分别采用微波和高压进行预处理后,采用盐效应辅助水剂法提取山桐子油,研究不同预处理(微波和高压)条件、液固比、NaCl质量浓度和提取温度对山桐子油提取率的影响,比较不同预处理方法对山桐子油理化性质的影响,并以有机溶剂提取法作为对照实验,探究盐效应辅助水剂法提取山桐子油的潜在优势,以期为开发高端山桐子油产品提供思路,并为微波和高压协同盐效应辅助水剂法在油脂提取中的应用提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

山桐子,重庆鼎桐林业综合开发有限公司。

石油醚、正己烷、甲醇、盐酸、氢氧化钾、氢氧化钠、碘化钾、可溶性淀粉、酚酞指示剂、2-巯代巴比妥酸、DPPH等试剂(均为市售分析纯),购自成都市科龙化工试剂厂;超纯水,由YSL-RO-T10L/H超

纯水系统(Ashland公司)制备。

1.1.2 仪器与设备

UltraScan PRO型测色仪,美国Hunter Lab公司;GC-2010 Plus型气相色谱仪,日本京都岛津公司;TGL-16G台式离心机,上海安亭科学仪器厂;多功能粉碎机,杭州九阳生活电器有限公司;微波炉,松下电器有限公司;电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器厂;自控型XFH-30CA立式灭菌锅,上海博讯公司。

1.2 实验方法

1.2.1 微波协同盐效应辅助水剂法提取山桐子油

参照付家园等^[16]的方法,用微波预处理油料后再采用盐效应辅助水剂法提取山桐子油。将山桐子在不同微波功率下处理一定时间后,粉碎,过0.425 mm(40目)筛得到山桐子粉。取5 g山桐子粉于50 mL离心管中,加入一定量的超纯水和NaCl,在一定温度下搅拌(300 r/min)10 min,离心(1 550 × g, 15 min, 2次),收集油脂和沉淀,以收集的山桐子油质量与原料中含有的油脂质量比计算山桐子油提取率。

1.2.2 高压协同盐效应辅助水剂法提取山桐子油

参照孙燕等^[17]的方法,并稍作修改。控制预处理压力为100 kPa,将经不同高压温度和高压时间处理的山桐子(含水量3%)粉碎后过0.425 mm(40目)筛得到山桐子粉。然后按1.2.1方法采用盐效应辅助水剂法提取山桐子油,计算山桐子油提取率。

1.2.3 有机溶剂提取法提取山桐子油

将山桐子烘干后粉碎过0.425 mm(40目)筛得到山桐子粉。准确称取10 g山桐子粉于圆底烧瓶中,加入100 mL石油醚(沸程60~90℃),于45℃水浴锅中搅拌(300 r/min)浸提1 h,过滤后得到滤液,旋蒸除去石油醚,得山桐子油。

1.2.4 山桐子油基本理化指标的测定

过氧化值,参照GB 5009.227—2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》进行测定;酸值,参照GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》进行测定;硫代巴比妥酸值,参照GB/T 35252—2017《动植物油脂 2-硫代巴比妥酸值的测定 直接法》进行测定;皂化值,参照GB/T 5534—2008《动植物油脂 皂化值的测定》进行测定。

1.2.5 山桐子油色泽的测定

用测色仪对山桐子油样品进行色泽测定,以白板为色差测定参比,依次读取红绿值(a^* 值)、黄蓝值(b^* 值)和明亮值(L^* 值),平行测量8次,取平均

值。以微波协同盐效应辅助水剂法山桐子油的 L^* 、 a^* 和 b^* 值作为参照,根据式(1)计算高压协同盐效应辅助水剂法和有机溶剂提取法山桐子油的色差(ΔE)。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

1.2.6 山桐子油脂脂肪酸组成的测定

采用气相色谱法测定山桐子油的脂肪酸组成及相对含量。甲酯化:取0.10 g山桐子油于15 mL离心管中,加入5 mL正己烷溶解,再加入1 mL 1 mol/L的氢氧化钠-甲醇溶液,振荡1 min后静置20 min,取上清液进行气相色谱分析。气相色谱条件:DB-23色谱柱(60 m × 0.25 mm × 0.25 μm);分流比50:1;进样量1 μL;进样口温度250℃;检测器温度300℃;升温程序为初始柱温60℃,以7℃/min升至220℃,保持35 min。

1.2.7 山桐子油 DPPH 自由基清除率的测定

将0.2 mL山桐子油与10 mL甲醇剧烈混合1 min后离心(1 000 × g, 3 min),取0.6 mL上清液与2 mL 0.1 mmol/L的DPPH-甲醇溶液混合摇匀,于黑暗中静置1 h,使用紫外分光光度计在517 nm处测量混合液的吸光度。按下式计算DPPH自由基清除率(x)。

$$x = \frac{A_{\text{标样}} - A_{\text{样品}}}{A_{\text{标样}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $A_{\text{标样}}$ 为未加入油样的DPPH-甲醇溶液的吸光度; $A_{\text{样品}}$ 为加入油样的DPPH-甲醇溶液的吸光度。

1.2.8 数据处理

除特别说明外,各实验重复3次,各样品指标进行3次平行测定,结果以“平均值 ± 标准偏差”表示。使用统计软件SPSS(version 18.0)进行单因素方差分析($p < 0.05$ 为差异显著),之后采用S-N-K检验(假设方差相等)和Dunnnett T3检验(变量论证后不假设方差相等)分别对部分数据进行两两比较。

2 结果与分析

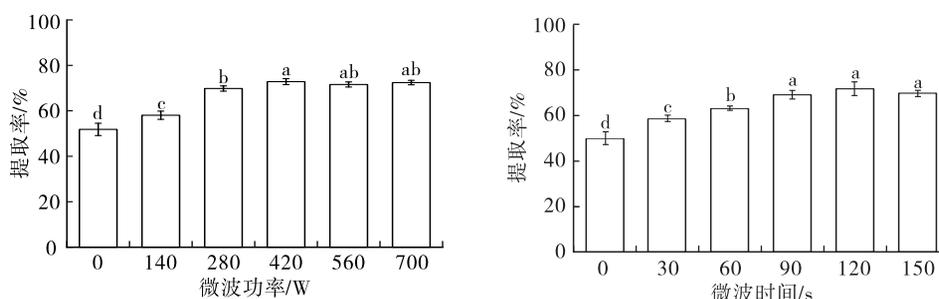
2.1 微波协同盐效应辅助水剂法提取山桐子油工艺优化

2.1.1 微波功率和微波时间对山桐子油提取率的影响

在液固比(超纯水体积与山桐子粉质量比)0.6:1、提取温度30℃、不添加NaCl的条件下,不同微波功率(固定微波时间120 s)和微波时间(固定微波功率420 W)对山桐子油提取率的影响见图1。

由图1可看出,随着微波功率从0 W增加至420 W,山桐子油提取率从51.81%显著增加至72.86%,而当微波功率继续增加至700 W时,山桐子油提取率没有显著变化。随着微波时间从0 s增加至90 s,山桐子油提取率由51.81%显著提高至

68.99%。微波处理可破坏山桐子的细胞结构,使油脂更容易聚集释放,从而提高山桐子油提取率^[18]。然而当微波时间从90 s继续延长至150 s时,山桐子油提取率无显著变化。综上所述,选择微波功率为420 W,微波时间为90 s用于山桐子油提取。



注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

Note: Different letters indicate significant differences ($p < 0.05$). The same below

图1 微波功率和微波时间对山桐子油提取率的影响

Fig.1 Effects of microwave power and microwave time on extraction rate of *Idesia polycarpa* oil

2.1.2 液固比对山桐子油提取率的影响

在微波功率420 W、微波时间90 s、不添加NaCl和提取温度30℃的条件下,不同液固比对山桐子油提取率的影响见图2。

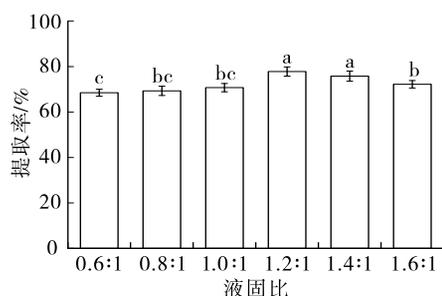


图2 液固比对山桐子油提取率的影响

Fig.2 Effects of liquid - solid ratio on extraction rate of *Idesia polycarpa* oil

由图2可看出,山桐子油提取率随液固比的增加呈现先增大再减小的趋势。当液固比从0.6:1增加到1.2:1时,山桐子油提取率从68.99%显著增加至77.84%。这可能是由于随着水含量的增加,非油固体和水通过氢键聚集在一起,形成了大颗粒,增加非油固体表面张力,从而使游离油更容易聚集释放^[19]。然而,当液固比从1.2:1增加至1.6:1,山桐子油提取率降低了7.5个百分点。这可能是由于过多的水会溶解或分散磷脂、淀粉和蛋白质等化合物,从而增强乳化作用,导致山桐子油提取率降低^[20]。综上所述,选择液固比1.2:1用于山桐子油的提取。

2.1.3 NaCl质量浓度对山桐子油提取率的影响

在微波功率420 W、微波时间90 s、液固比1.2:1

和提取温度30℃的条件下,不同NaCl质量浓度对山桐子油提取率的影响见图3。

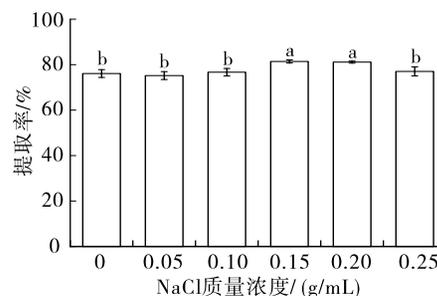


图3 NaCl质量浓度对山桐子油提取率的影响

Fig.3 Effects of NaCl mass concentration on extraction rate of *Idesia polycarpa* oil

由图3可看出,随着NaCl质量浓度从0 g/mL增加到0.15 g/mL,山桐子油提取率从76.10%显著增加至81.41%。这可能与蛋白质氨基酸侧链的变化有关,NaCl使蛋白质侧链的亲水基团暴露,增加其亲水性,从而增加水与油料中蛋白质的结合,进而将油从聚集的聚合物中挤出^[21]。当NaCl质量浓度继续提高至0.25 g/mL时,山桐子油提取率呈现下降趋势,这可能是由于过多的NaCl会与亲水基团竞争水,降低水和亲水基团间的氢键相互作用,使油难以从蛋白质等大分子中释放出来,从而降低油脂提取率^[14]。综上所述,选择NaCl质量浓度为0.15 g/mL用于山桐子油的提取。

2.1.4 提取温度对山桐子油提取率的影响

在微波功率420 W、微波时间90 s、液固比1.2:1和NaCl质量浓度0.15 g/mL的条件下,不同提取温度对山桐子油提取率的影响见图4。

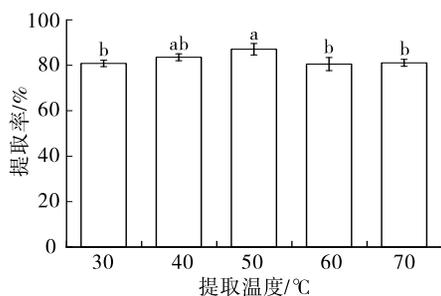
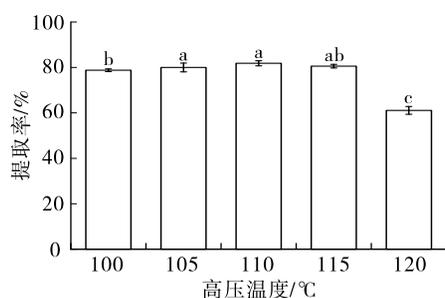


图4 提取温度对山桐子油提取率的影响

Fig. 4 Effects of extraction temperature on extraction rate of *Idesia polycarpa* oil

由图4可看出,当提取温度从30℃升高到50℃时,山桐子油提取率从80.82%升高到87.07%。这是因为随着温度的升高,油的黏度降低而使其流动性增强,有利于油脂的提取^[22]。此外,在适当的高温下亲水基团强烈的分子运动可以促进亲水化合物的聚集^[23],从而使油脂更容易释放出来。然而,当



提取温度从50℃继续升高至70℃时,提取率降低了约6个百分点。这可能是因为提取温度过高,部分蛋白质发生变性聚集,阻止油脂的释放,从而降低油脂提取率。综上所述,选择提取温度为50℃用于山桐子油的提取。

综上,确定微波协同盐效应辅助水剂法提取山桐子油的最优工艺条件为微波功率420 W、微波时间90 s、液固比1.2:1、NaCl质量浓度0.15 g/mL、提取温度50℃。

2.2 高压协同盐效应辅助水剂法提取山桐子油工艺优化

在2.1得到的最佳的液固比、NaCl质量浓度、提取温度下,分别固定高压时间15 min或高压温度105℃,按1.2.2方法提取山桐子油,考察高压温度和高压时间对山桐子油提取率的影响,结果如图5所示。

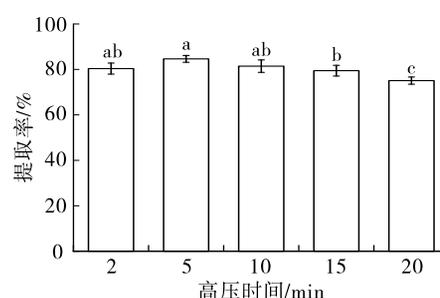


图5 高压温度和高压时间对山桐子油提取率的影响

Fig. 5 Effects of high – pressure temperature and high – pressure time on extraction rate of *Idesia polycarpa* oil

由图5可看出,随着高压温度的升高,山桐子油提取率呈现先增大后降低的趋势,并在110℃时达到最高(81.83%)。随着高压时间从2 min延长至5 min,山桐子油提取率由80.38%提高至84.65%,这可能是因为较长时间的高温高压处理使细胞壁更加膨松,使油脂更容易释放出来^[24]。而高压时间超过5 min时山桐子油提取率下降,这可能是因为过长时间的高压高温处理使蛋白质的二级结构发生改

变,疏水基团暴露,从而增加蛋白质与油的亲和力,阻止油脂的释放,进而降低山桐子油提取率^[25-26]。综上所述,适宜的高压温度为110℃,高压时间为5 min。

2.3 预处理方法对山桐子油提取率和基本理化性质的影响

不同提取方法的山桐子油提取率及理化性质见表1。

表1 不同提取方法的山桐子油提取率及理化性质

Table 1 Extraction rate and physicochemical properties of *Idesia polycarpa* oil extracted by different methods

指标	微波协同盐效应辅助水剂法	高压协同盐效应辅助水剂法	有机溶剂提取法
山桐子油提取率	87.07 ± 2.52 ^b	84.65 ± 1.50 ^c	95.51 ± 1.50 ^a
理化性质			
酸值(KOH)/(mg/g)	10.73 ± 0.06 ^b	10.98 ± 0.03 ^a	10.77 ± 0.05 ^b
过氧化值/(g/100 g)	0.17 ± 0.01 ^a	0.18 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.01 ^a
硫代巴比妥酸值/(μg/kg)	82.04 ± 0.15 ^b	82.65 ± 0.05 ^b	88.56 ± 0.06 ^a
皂化值(KOH)/(mg/g)	181.49 ± 0.12 ^a	180.50 ± 0.45 ^a	177.65 ± 0.14 ^b

注:同行不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同

Note: Different letters in the same row indicate significant differences($p < 0.05$). The same below

由表1可知,微波协同盐效应辅助水剂法的山桐子油提取率(87.07%)高于高压协同盐效应辅助

水剂法的(84.65%),但二者的过氧化值、硫代巴比妥酸值和皂化值无显著差异。此外,高压协同盐效应辅助水剂法山桐子油的酸值(KOH)(10.98 mg/g)高于微波协同盐效应辅助水剂法的(10.73 mg/g),这可能是由于高压高温处理使油脂发生水解,促使游离脂肪酸含量增加,从而使酸值增大^[27]。与有机溶剂提取法(95.12%)相比,盐效应辅助水剂法山桐子油提取率降低了8.44~10.86个百分点,但其具有更低的硫代巴比妥酸值和更高的皂化值,而过氧化值无显著差异。由此可见,与高压协同盐效应辅助水剂法相比,微波协同盐效应辅助水剂法的山桐子油提取率和酸值更有优势,其他理化性质无显著差异;盐效应辅助水剂法对山桐子油的提取率低于有机溶剂提取法,但在基本理化性质方面略有优势,而且盐效应辅助水剂法避免了有机溶剂的使用,更环保。

2.4 预处理方法对山桐子油色泽的影响

色泽是反映油脂质量的基本参数之一,色泽浅、透明度高的油脂具有更高的视觉接受度^[28]。表2为3种不同提取方法获得的山桐子油的 L^* 、 a^* 、 b^* 值和 ΔE 。

表2 不同提取方法山桐子油的色泽

Table 2 Colour of *Idesia polycarpa* oil extracted by different methods

指标	微波协同盐效应辅助水剂法	高压协同盐效应辅助水剂法	有机溶剂提取法
L^*	30.52 ± 0.32 ^a	29.97 ± 0.54 ^a	28.60 ± 0.34 ^b
a^*	10.40 ± 0.47 ^b	11.51 ± 0.51 ^a	12.05 ± 0.35 ^a
b^*	7.15 ± 0.43 ^a	6.00 ± 0.34 ^b	4.55 ± 0.47 ^c
ΔE		1.68	3.63

由表2可知,与微波协同盐效应辅助水剂法相

表3 不同提取方法山桐子油的主要脂肪酸组成及相对含量

Table 3 Main fatty acid composition and relative content of *Idesia polycarpa* oil extracted by different methods %

脂肪酸	微波协同盐效应辅助水剂法	高压协同盐效应辅助水剂法	有机溶剂提取法
棕榈酸	14.83 ± 0.15 ^b	15.15 ± 0.18 ^b	15.54 ± 0.14 ^a
棕榈油酸	2.69 ± 0.01 ^b	2.87 ± 0.05 ^b	3.10 ± 0.04 ^a
硬脂酸	2.11 ± 0.01 ^a	1.88 ± 0.19 ^a	1.90 ± 0.30 ^a
油酸	5.33 ± 0.01 ^a	5.21 ± 0.06 ^a	5.13 ± 0.27 ^a
亚油酸	71.94 ± 0.24 ^a	72.00 ± 0.01 ^a	72.33 ± 1.15 ^a
亚麻酸	0.79 ± 0.01 ^a	0.78 ± 0.01 ^a	0.78 ± 0.06 ^a
饱和脂肪酸	16.94	17.03	17.44
不饱和脂肪酸	80.75	80.86	81.08

2.6 预处理方法对山桐子油 DPPH 自由基清除率的影响

油脂的 DPPH 自由基清除率一定程度上反映了

比,高压协同盐效应辅助水剂法山桐子油具有更高的 a^* 值和更低的 b^* 值,而 L^* 值无显著差异。一般来说, ΔE 大于3表明色泽差异肉眼可见^[29],而微波协同盐效应辅助水剂法和高压协同盐效应辅助水剂法山桐子油的 ΔE 小于3,表明不同预处理后的盐效应辅助水剂法的山桐子油色泽差异不明显。此外,与有机溶剂提取法相比,盐效应辅助水剂法具有更高的 L^* 值和更低的 a^* 值,表明盐效应辅助水剂法提取的山桐子油具有更高的透明度和更浅的红色。并且,微波协同盐效应辅助水剂法和有机溶剂提取法山桐子油的 ΔE 为3.63,说明这两种方法提取的山桐子油的色泽差异较大。综上所述,两种预处理对山桐子油色泽的影响差异不显著,与有机溶剂提取法相比,盐效应辅助水剂法提取的山桐子油透明度更高,红色更浅,具有更高的视觉接受度。

2.5 预处理方法对山桐子油脂肪酸组成的影响

表3为不同提取方法山桐子油主要脂肪酸组成及相对含量。

由表3可看出,山桐子油中亚油酸(71.94%~72.33%)、棕榈酸(14.83%~15.54%)和油酸(5.13%~5.33%)含量较高。此外,山桐子油还含有少量棕榈油酸(2.69%~3.10%)、硬脂酸(1.88%~2.11%)和亚麻酸(0.78%~0.79%)。微波协同盐效应辅助水剂法和高压协同盐效应辅助水剂法山桐子油的脂肪酸相对含量无显著差异,饱和脂肪酸相对含量(16.94%和17.03%)和不饱和脂肪酸相对含量(80.75%和80.86%)也相差不大。与有机溶剂提取法相比,盐效应辅助水剂法山桐子油的棕榈酸和棕榈油酸相对含量降低,但脂肪酸组成总体上无显著差异。综上所述,3种提取方法对山桐子油的脂肪酸组成没有显著影响。

油脂的抗氧化能力。不同提取方法山桐子油的 DPPH 自由基清除率如图6所示。

由图6可看出,山桐子油具有一定的 DPPH 自

由基清除能力,这与其中存在的 α -生育酚、多酚等抗氧化物质有关^[30]。与高压协同盐效应辅助水剂法(76.82%)相比,微波协同盐效应辅助水剂法山桐子油的DPPH自由基清除率提高了3.21个百分点。此外,与有机溶剂提取法(62.20%)相比,盐效应辅助水剂法山桐子油具有更高的DPPH自由基清除率(76.82%~80.03%)。上述结果表明,盐效应辅助水剂法可显著提高山桐子油的DPPH自由基清除率,且用420 W微波功率处理山桐子原料90 s,更有利于提升山桐子油的DPPH自由基清除率。

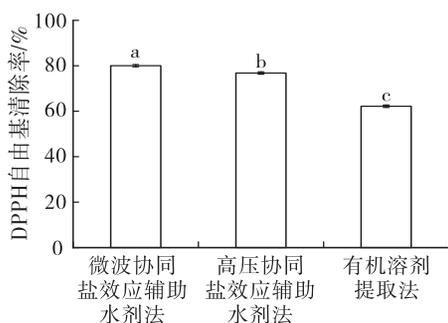


图6 不同提取方法山桐子油的DPPH自由基清除率

Fig. 6 DPPH radical scavenging rate of *Idesia polycarpa* oil extracted by different methods

3 结论

采用微波和高压协同盐效应辅助水剂法提取山桐子油,较优的微波预处理条件为微波功率420 W、微波时间90 s,较优的高压预处理条件为高压温度110℃、高压时间5 min,在此条件下进行协同盐效应辅助水剂法提取山桐子油,在液固比1.2:1、NaCl质量浓度0.15 g/mL、提取温度50℃时,山桐子油提取率分别为87.07%和84.65%,均显著高于未经预处理的(51.81%)。

与高压预处理相比,微波预处理具有更高的山桐子油提取率(87.07%)、DPPH自由基清除率(80.03%)和更低的酸值(KOH)(10.73 mg/g),但脂肪酸组成、过氧化值、硫代巴比妥酸值和皂化值无显著差异。有机溶剂提取法与盐效应辅助水剂法提取的山桐子油的脂肪酸组成和过氧化值没有显著差异,但盐效应辅助水剂法提取的山桐子油透明度更高,红色更浅,具有更低的硫代巴比妥酸值。综上,微波协同盐效应辅助水剂法能够有效提取山桐子油,并在一定程度上提高山桐子油的品质。

参考文献:

[1] WANG S H, LI Y, LI Z Q, et al. Identification of an SCAR marker related to female phenotype in *Idesia polycarpa* Maxim[J]. Genet Mol Res, 2015, 14(1): 2015-2022.

[2] KIM S H, SUNG S H, CHOI S Y, et al. Idesolide: A new spiro compound from *Idesia polycarpa* [J]. Org Lett, 2005, 7(15): 3275-3277.

[3] WANG S H, JIN C, LI Z Q, et al. Breeding system and parental effect on fruit characters of *Idesia polycarpa* (Flacourtiaceae), a promising plant for biodiesel, in Northwest China[J]. Pakistan J Botany, 2017, 49(5): 1885-1890.

[4] 宋明发. 山桐子油提取、精炼工艺优化及抗氧化研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.

[5] 张晨, 孙晓娜. 山桐子鲜果中油脂的提取工艺优化及品质分析[J]. 中国油脂, 2024, 49(3): 16-20.

[6] 吴玲利, 邓雯方, 卢晓宇, 等. 山桐子开发利用研究进展[J]. 经济林研究, 2023, 41(2): 242-252.

[7] 魏宁果, 范芳芳, 贾亦森, 等. 加热处理对4种植物油的脂肪酸组成的影响[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(5): 10-14, 19.

[8] 刘金, 江敏, 岳希洁, 等. 茶籽油提取技术及研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 283-286.

[9] 刘畅, 智文艳, 张敏敏, 等. 不同预处理对冷榨法制取山桐子油的响应面优化研究[J/OL]. 河南农业大学学报, 2024: 1-20 [2024-06-09]. <https://doi.org/10.16445/j.cnki.1000-2340.20240429.006>.

[10] ZHOU D, ZHOU X, SHI Q, et al. High-pressure supercritical carbon dioxide extraction of *Idesia polycarpa* oil: Evaluation the influence of process parameters on the extraction yield and oil quality[J/OL]. Ind Crops Prod, 2022, 188: 115586 [2023-06-13]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115586>.

[11] 肖信锦, 李阳洋, 钟盛华. 米糠中油脂与蛋白提取技术研究进展[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(3): 1-4.

[12] 狄飞达, 吴文梅, 刘运科, 等. 响应面优化酸性浸润干燥辅助水代法提取山桐子果油工艺及其品质分析[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(3): 89-93.

[13] LAMSAL B P, MURPHY P A, JOHNSON L A. Flaking and extrusion as mechanical treatments for enzyme-assisted aqueous extraction of oil from soybeans[J]. J Am Oil Chem Soc, 2006, 83(11): 973-979.

[14] LV M, WU W. Simultaneous recovery of high quality black sesame oil and defatted meal by a new aqueous method: Optimization and comparison with other methods[J]. J Oleo Sci, 2021, 70(9): 1211-1223.

[15] LIU S, JIANG L, LI Y. Research of aqueous enzymatic extraction of watermelon seed oil of ultrasonic pretreatment assisted[J]. Procedia Eng, 2011, 15: 4949-4955.

[16] 付家园, 吴文标. 微波与烤箱烘烤灭酶对新水剂法提取南瓜籽油的影响[J]. 中国油脂, 2022, 47(1): 4-9.

- of SFC, microstructure and polymorphism on texture (hardness) of binary blends of fats involved in the preparation of industrial shortenings[J]. *Food Res Int*, 2004, 37(10): 941–948.
- [22] KASHCHIEV D. Nucleation: Basic theory with applications[M]. Oxford: Butterworth Heinemann, 2000.
- [23] FOUBERT I, DEWETTINCK K, VANROLLEGHEM P A. Modelling of the crystallization kinetics of fats[J]. *Trends Food Sci Technol*, 2003, 14(3): 79–92.
- [24] GHOTRA B S, DYAL S D, NARINE S S. Lipid shortenings: A review[J]. *Food Res Int*, 2002, 35(10): 1015–1048.
- [25] D'SOUZA V, DEMAN J M, DEMAN L. Short spacings and polymorphic forms of natural and commercial solid fats: A review[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1990, 67(11): 835–843.
- [26] HIMAWAN C, STAROV V M, STAPLEY A G F. Thermodynamic and kinetic aspects of fat crystallization[J]. *Adv Colloid Interface Sci*, 2006, 122(1/2/3): 3–33.
- [27] DE MAN J M. X-ray diffraction spectroscopy in the study of fat polymorphism[J]. *Food Res Int*, 1992, 25(6): 471–476.
- [28] LITWINENKO J W, ROJAS A M, GERSCHENSON L N, et al. Relationship between crystallization behavior, microstructure, and mechanical properties in a palm oil-based shortening[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2002, 79(7): 647–654.
- [29] LIU Y, MENG Z, ZHANG F, et al. Influence of lipid composition, crystallization behavior and microstructure on hardness of palm oil-based margarines[J]. *Eur Food Res Technol*, 2010, 230(5): 759–767.
- [30] YAP P H, DEMAN J M, DEMAN L. Crystallization characteristics of hydrogenated canola oil as affected by addition of palm oil[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1989, 66(12): 1792–1795.
- [31] WRIGHT A J, SCANLON M G, HARTEL R W, et al. Rheological properties of milkfat and butter[J]. *J Food Sci*, 2001, 66(8): 1056–1071.
- [32] HUI Y H. 贝雷: 油脂化学与工艺学: 第五卷[M]. 徐生庚, 裘爱泳, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
-
- (上接第14页)
- [17] 孙燕, 覃小丽, 钟金锋, 等. 不同预处理对辣木籽油提取率的影响及其机理初步分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(11): 179–184, 190.
- [18] 马素换, 张苗, 郭萍梅, 等. 微波预处理对山桐子果细胞结构及油脂品质的影响[J]. *中国油脂*, 2018, 43(7): 19–22.
- [19] CHEN L, WU W. Optimization of hydration method for efficiently separating high-quality oils from macadamia seed kernels[J/OL]. *Food Process Preserv*, 2022, 46(5): 16593[2023-06-13]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16593>.
- [20] LV M, WU W. An advanced aqueous method of extracting rapeseed oil with high quality[J/OL]. *J Food Process Eng*, 2019, 42(2): 12957[2023-06-13]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12957>.
- [21] 李可, 赵颖颖, 康壮丽, 等. NaCl对猪肉糜加工特性和蛋白质二级结构的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(15): 77–81.
- [22] 苏洪凯, 赵俊廷. 温度对植物油黏度和密度的影响研究[J]. *粮食与食品工业*, 2018, 25(2): 29–32.
- [23] TU J, WU W. An advanced pilot method of separating peanut oils with high quality based on aqueous extraction[J]. *Sep Sci Technol*, 2020, 55(4): 739–751.
- [24] JUNG S, MAHFUZ A A. Low temperature dry extrusion and high-pressure processing prior to enzyme-assisted aqueous extraction of full fat soybean flakes[J]. *Food Chem*, 2009, 114(3): 947–954.
- [25] ZHANG Z, YANG Y, ZHOU P, et al. Effects of high pressure modification on conformation and gelation properties of myofibrillar protein[J]. *Food Chem*, 2017, 217: 678–686.
- [26] TABARA A, NAKAGAWA M, USHIJIMA Y, et al. Effects of heat treatment on oil-binding ability of rice flour[J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2015, 79(10): 1629–1634.
- [27] 张运艳, 王文高, 邓莉琼. 大豆脱色油酸价稳定性影响因素研究[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(6): 71–73, 86.
- [28] SAMARAM S, MIRHOSSEINI H, TAN C P, et al. Ultrasound-assisted extraction and solvent extraction of papaya seed oil: Crystallization and thermal behavior, saturation degree, color and oxidative stability[J]. *Ind Crops Prod*, 2014, 52: 702–708.
- [29] BRITO G B, DI SARLI PEIXOTO V O, MARTINS M T, et al. Development of chitosan-based oleogels via crosslinking with vanillin using an emulsion templated approach: Structural characterization and their application as fat-replacer[J/OL]. *Food Struct*, 2022, 32: 100264[2023-06-13]. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100264>.
- [30] 葛红光, 吴婉娥, 陈开勋. 水冬瓜籽中天然抗氧化剂研究[J]. *中国油脂*, 1998, 23(6): 49–51.