

富含白藜芦醇花生油的制备工艺优化

王艺帆, 刘粤龙, 陈复生, 刘伟

(河南工业大学粮油食品学院, 郑州 450001)

摘要: 为了提高花生油中的白藜芦醇含量, 以超声波细胞破碎预处理花生根, 采用花生油和花生根混合搅拌萃取制备富含白藜芦醇花生油, 通过单因素试验优化了富含白藜芦醇花生油的制备工艺条件, 并对所制备的富含白藜芦醇花生油的品质进行了分析。结果表明, 富含白藜芦醇花生油的最优制备工艺条件为花生根粒度 75 μm (200 目)、超声时间 15 min、超声功率 325 W、花生根与水质比 1:8、花生根与花生油质量比 1:6、萃取温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间 1 h, 在最优工艺条件下花生油中白藜芦醇含量从 0.12 mg/kg 提升至 11.98 mg/kg, 所制备的富含白藜芦醇花生油符合 GB 1534—2017《花生油》一级压榨成品油的要求, 色泽与压榨一级花生油无显著性差异。因此, 优化的工艺实现了绿色制备富含白藜芦醇花生油。

关键词: 白藜芦醇; 超声波细胞破碎; 花生油

中图分类号: TS225.1; TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)06-0024-06

Optimization of preparation process of resveratrol – rich peanut oil

WANG Yifan, LIU Yuelong, CHEN Fusheng, LIU Wei

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: To increase the resveratrol content in peanut oil, peanut root was pretreated with ultrasonic cell crushing, and then peanut oil and peanut roots were mixed and stirred for extraction to prepare resveratrol – rich peanut oil. The preparation process conditions of resveratrol – rich peanut oil were optimized by single factor experiment, and the quality of the prepared resveratrol – rich peanut oil was analyzed. The results showed that the optimal process conditions were obtained as follows: particle size of peanut root 75 μm (200 mesh), ultrasonic time 15 min, ultrasonic power 325 W, peanut root – water mass ratio 1:8, peanut root – peanut oil mass ratio 1:6, extraction temperature 80 $^{\circ}\text{C}$, and extraction time 1 h. Under these conditions, the resveratrol content in peanut oil increased from 0.12 mg/kg to 11.98 mg/kg. The prepared resveratrol – rich peanut oil met the requirements of grade 1 pressed finished oil in GB 1534 – 2017 *Peanut oil*, and there was no significant difference in color between it and grade 1 pressed peanut oil. Thus the green preparation of resveratrol – rich peanut oil is achieved by the optimized process.

Key words: resveratrol; ultrasonic cell crushing; peanut oil

白藜芦醇, 化学名称为 3,4',5-三羟基-1,2-二苯基乙烯, 是一种天然存在的二苯乙烯类植物抗癌毒素多酚类化合物^[1], 因其显著的抗氧化、抗癌、抗

衰老、降血压和预防心血管疾病的特性而受到广泛关注^[2-3]。白藜芦醇有 4 种天然存在形式, 即反式白藜芦醇、反式白藜芦醇苷、顺式白藜芦醇和顺式白藜芦醇苷^[4]。

花生是除白叶藜芦、虎杖、葡萄外第 4 种被发现含有白藜芦醇的植物。Baur 等^[5]研究表明, 花生中反式白藜芦醇和顺式白藜芦醇(少量)是主要的构象形式, 且后者的生物活性高于前者。花生是我国重要的油料作物, 资源丰富, 花生仁中仅含有少量白藜芦醇, 花生油中基本检测不到白藜芦醇。刘宏胜

收稿日期: 2023-05-06; 修回日期: 2024-03-20

基金项目: 国家自然科学基金 - 联合基金重点项目 (U21A20270)

作者简介: 王艺帆(1999), 女, 硕士研究生, 研究方向为油脂化学与深加工技术 (E-mail) wangyifanshipin@163.com。

通信作者: 刘伟, 教授 (E-mail) liuwei820307@126.com。

等^[6]检测出花生油中白藜芦醇含量仅约为0.9 mg/kg。花生根中富含白藜芦醇,Chen等^[7]研究表明不同品种花生根中的白藜芦醇含量达20~1330 mg/kg。我国花生根年产量约400万t,其价格低廉,且目前对花生根的利用率较低^[8]。因此,花生根可以作为天然白藜芦醇的良好来源。富含白藜芦醇花生油不仅能满足消费者在日常饮食中摄入白藜芦醇的需求,还能增强花生油的耐煎炸性和提升花生油的营养价值。近年来有较多研究集中在提高花生油中白藜芦醇含量,制备富含白藜芦醇的花生油。王新萍^[8]以 β -葡萄糖苷酶酶解提取花生根中白藜芦醇,然后采用大孔树脂对白藜芦醇进行分离纯化,最后采用搅拌辅助将纯化后的白藜芦醇添加至花生油中。此方法虽然白藜芦醇提取效率较高,但 β -葡萄糖苷酶价格昂贵,工艺成本高。王强等^[9]将洗净干燥并粉碎的花生根与花生仁混合,经微波处理后采用压榨法制取富含白藜芦醇的花生油,制得花生油中的白藜芦醇含量最高仅为1.25 mg/kg。可见,花生根和花生仁固体原料混合压榨制得的花生油中白藜芦醇含量提高有限。研究发现^[10],以油为萃取剂可有效提高脂溶性有效成分含量。

针对现有萃取方法的不足,本文直接以花生油为萃取剂萃取花生根中白藜芦醇制备富含白藜芦醇花生油,对机械粉碎后的花生根采用超声波细胞破碎仪进行充分破碎,对花生油和破碎后的花生根进行搅拌辅助萃取,增大萃取效率,并对萃取工艺进行优化,该方法绿色无污染且成本低廉,可为功能性油脂制备提供理论和技术借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

豫花花生根和小白沙花生根,购于河南信阳花生种植基地;鲁花花生根,购于山东临沂花生种植基地;一级压榨花生油,购于当地超市。

白藜芦醇标准品($\geq 98\%$),上海源叶生物技术有限公司;甲醇、乙醇、异丙醇、丙酮,分析纯,科密欧化学试剂有限公司(天津);乙醚,分析纯,洛阳市化学试剂厂;乙酸,分析纯,永大化学试剂股份有限公司(天津)。

1.1.2 仪器与设备

WGL-125B电热鼓风干燥箱,河南泰斯特仪器有限公司;XW-80A涡旋振荡混匀器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;RW-20电动搅拌器,上海力辰仪器科技有限公司;RCT恒温磁力搅拌器,德国艾卡仪器设备有限公司;DH92-IIIN超声波细胞

破碎仪,上海狄昊实业发展有限公司;TGL-16M高速离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;FM200高速万能粉碎机,北京永光明医疗仪器有限公司;ST-528超微粉碎机,瑞安市塞特机电有限公司;Agilent 1200高效液相色谱仪,美国Agilent科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 富含白藜芦醇花生油的制备

将洗净的花生根在50℃恒温烘箱中烘干8h,分别采用高速万能粉碎机和超微粉碎机将烘干后的花生根粉碎至一定粒度。称取2g一定粒度的花生根粉于50mL烧杯中,加入一定质量的水,混合均匀,再采用超声波细胞破碎仪或均质机对花生根粉-水混合液预处理一定时间,将预处理后的混合液置于200mL圆底烧瓶中,加入一定质量的花生油,在一定温度下搅拌萃取(转速800r/min)一定时间后,5000r/min离心15min,取上层油相,得到富含白藜芦醇花生油。

1.2.2 白藜芦醇含量的测定

采用外标法测定样品白藜芦醇含量。

白藜芦醇标准曲线的绘制:准确称取20mg白藜芦醇标准品,用甲醇溶解定容到500mL容量瓶中,得到40mg/L的白藜芦醇标准溶液,将其逐级稀释为40、20、10、5、2、0.5、0.05mg/L不同质量浓度梯度,进高效液相色谱(HPLC)仪测定,以质量浓度(X)为横坐标,峰面积(Y)为纵坐标绘制标准曲线,所得标准曲线回归方程为 $Y = 16.758X - 0.0747$, $R^2 = 0.9992$ 。

样品前处理:称取3g花生油或1g75 μm (200目)花生根粉(精确至0.0001g)于10mL离心管中,加入3mL80%的甲醇-水溶液,涡旋处理3min,6000r/min离心6min,取上层提取液,再重复提取2次,合并3次提取液,定容至10mL,过0.22 μm 微孔滤膜,待HPLC分析。

HPLC条件参考Li等^[11]的方法,并稍作变动:C18色谱柱(250mm \times 4.6mm \times 5 μm);柱温30℃;进样量10 μL ;流动相为体积分数6%的乙酸-乙腈(体积比72:28),以1mL/min速率等度洗脱;荧光检测器激发波长334nm,发射波长404nm。

1.2.3 花生油主要理化指标的测定

水分含量参照GB5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行测定;酸值参照GB5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》进行测定;过氧化值参照GB5009.227—2023《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》进行

测定;色泽参照文献[12]进行测定。

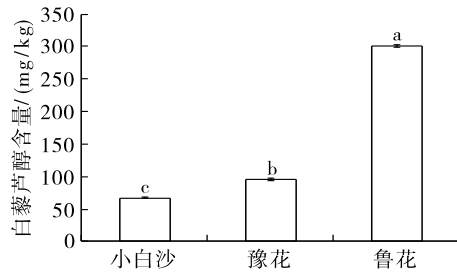
1.2.4 数据处理

采用 Origin 9 对试验数据进行处理,结合 SPSS 软件进行数据统计分析。

2 结果与讨论

2.1 花生根原料的筛选

小白沙、豫花、鲁花 3 种花生根原料的白藜芦醇含量如图 1 所示。



注:不同字母表示具有显著性差异($p < 0.05$)。下同

图 1 不同品种花生根白藜芦醇含量

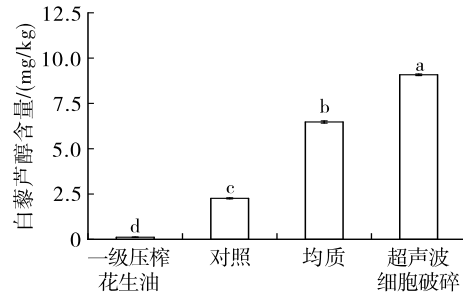
由图 1 可知,小白沙、豫花、鲁花 3 种花生根的白藜芦醇含量分别为 67.33、95.94、301.58 mg/kg。其中鲁花花生根的白藜芦醇含量最高,因此选择鲁花花生根为原料进行后续富含白藜芦醇花生油制备试验。

2.2 富含白藜芦醇花生油的制备单因素试验优化

2.2.1 花生根预处理方式的筛选

白藜芦醇常存在于花生根细胞液泡内,简单机械粉碎处理不能充分破坏细胞结构。为了充分萃取花生根中白藜芦醇,在对花生根进行机械粉碎后需采用不同的预处理方式对花生根进一步破碎。本文采用均质(300 W、15 min)、超声波细胞破碎(325 W、15 min)2 种方式对花生根进行进一步预处理,考察 2 种预处理方式对花生油萃取花生根中白藜芦醇效果的影响,并以不进行预处理的花生根(仅进行机械粉碎处理)作为对照,结果如图 2 所示。

由图 2 可知:一级压榨花生油中白藜芦醇含量极低,仅为 0.12 mg/kg,对照组白藜芦醇含量提升至 2.26 mg/kg;采用均质和超声波细胞破碎进一步处理花生根后,花生油中白藜芦醇含量分别为 6.47 mg/kg 和 9.08 mg/kg,白藜芦醇含量提升效果明显,说明这 2 种预处理工艺可以使花生根中的白藜芦醇有效迁移至花生油中,实现富含白藜芦醇花生油的制备。由于超声波细胞破碎预处理方式,所得的花生油中白藜芦醇含量更高,故选择超声波细胞破碎的预处理方式进行后续试验研究。



注:基础试验条件为花生根粒度 106 μm (150 目),花生根与水质量比 1:10,花生根与花生油质量比 1:4,萃取温度 40 $^{\circ}\text{C}$,萃取时间 1 h

图 2 花生根预处理方式对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

2.2.2 花生根粒度的筛选

在超声时间 15 min、超声功率 325 W、花生根与水质量比 1:10、花生根与花生油质量比 1:4、萃取温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间 1 h 的条件下,考察花生根粒度[270 μm (50 目)、150 μm (100 目)、106 μm (150 目)、75 μm (200 目)]对花生油萃取白藜芦醇效果的影响,结果如图 3 所示。

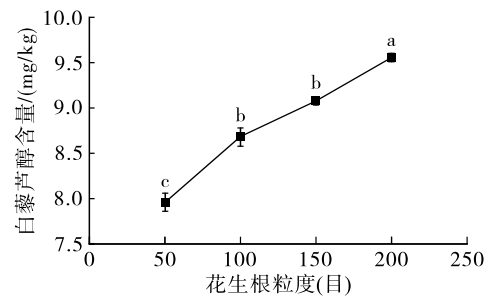


图 3 花生根粒度对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

花生根的粉碎处理可以有效增大其与花生油的接触面积,从而增强白藜芦醇的萃取效果。由图 3 可知,随着花生根粒度的减小,花生油中白藜芦醇含量不断升高。当花生根粒度为 270 μm (50 目)时,花生油中白藜芦醇含量为 7.96 mg/kg;当花生根粒度为 75 μm (200 目)时,花生油中白藜芦醇达到 9.56 mg/kg。花生根粒度越小,与花生油的接触更充分,白藜芦醇萃取效果好。试验发现进一步减小花生根粒度到 58 μm (250 目)时,花生根筛选过程困难,得率低,故选择 75 μm (200 目)花生根粉进行后续试验研究。

2.2.3 超声时间对白藜芦醇萃取效果的影响

在超声功率 325 W、花生根与水质量比 1:10、花生根与花生油质量比 1:4、萃取温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间 1 h 的条件下,考察超声时间(2、5、10、15、20 min)对花生油萃取白藜芦醇效果的影响,结果如图 4 所示。

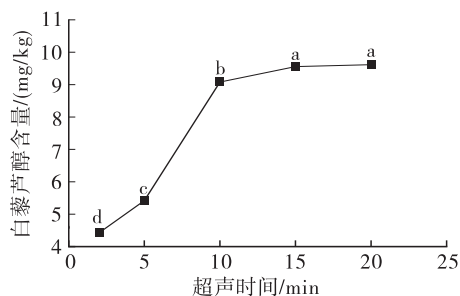


图4 超声时间对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

超声波细胞破碎仪在液体介质中形成的小气泡瞬时爆破所产生的巨大机械效应可以在短时间内击破细胞壁。超声时间过短时,超声波细胞破碎仪产生的机械作用力不足,影响白藜芦醇的溶出,超声时间过长会导致能耗增加。由图4可知,在超声时间2~10 min时,花生油中白藜芦醇含量迅速增加,说明在该超声时间范围内,超声时间对花生根细胞壁破碎的影响较大。超声时间从10 min延长至15 min时,花生油中白藜芦醇含量增加到9.56 mg/kg。继续延长超声时间至20 min,白藜芦醇含量与15 min时无显著性差异。可推测超声时间15 min时,花生根细胞壁可能已完全破裂,白藜芦醇溶出达到平衡^[13]。因此,选择15 min为最佳的超声时间。

2.2.4 超声功率对白藜芦醇萃取效果的影响

在超声时间15 min、花生根与水质量比1:10、花生根与花生油质量比1:4、萃取温度40℃、萃取时间1 h的条件下,考察超声功率对花生油萃取白藜芦醇效果的影响,结果如图5所示。

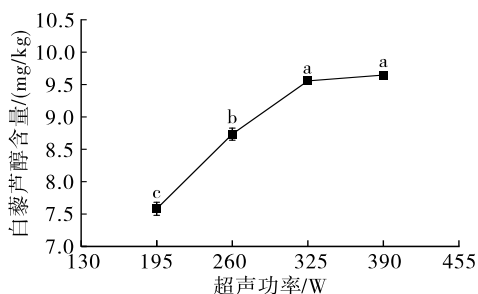


图5 超声功率对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

由图5可知,随着超声功率的增加,花生油中白藜芦醇含量逐渐增加,在超声功率为325 W时,花生油中白藜芦醇含量达到9.56 mg/kg,继续增加超声功率至390 W,花生油中白藜芦醇含量没有显著变化。这表明在超声功率为325 W时,花生根细胞结构就能被充分破碎;当继续增大超声功率时,水中会出现空化泡,导致能量的传递减少,细胞破碎效果减弱。因此,选择325 W为最佳超声功率。

2.2.5 花生根与水质量比对白藜芦醇萃取效果的影响

在超声时间15 min、超声功率325 W、花生根与花生油质量比1:4、萃取温度40℃、萃取时间1 h的条件下,考察花生根与水质量比对花生油萃取白藜芦醇效果的影响,结果如图6所示。

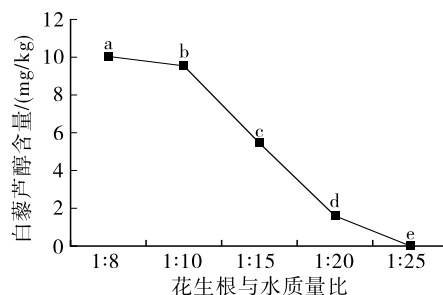


图6 花生根与水质量比对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

在固体花生根中加水搅拌后才能进行超声波细胞破碎预处理,加水量过少会使萃取液黏度增大,萃取液流动性和离心分离效果变差,不仅影响萃取效果还会使花生油因为难以分离而造成损失。预试验发现,在不加水时,花生油的回收率仅为50%,增大加水量花生油回收率基本可以达到100%。因此,合适的加水量十分重要。由图6可知,在花生根与水质量比为1:8时,花生油中白藜芦醇含量最大,为10.04 mg/kg,继续增大加水量至花生根与水质量比为1:20时,花生油中白藜芦醇含量显著降低至1.60 mg/kg。在花生根与水质量比为1:25时,花生油中几乎不含白藜芦醇。而花生根与水质量比大于1:8时,如在1:4时,物料黏度大,无法分离出花生油。因此,选择1:8为最佳花生根与水质量比。

2.2.6 花生根与花生油质量比对白藜芦醇萃取效果的影响

在超声时间15 min、超声功率325 W、花生根与水质量比1:8、萃取温度40℃、萃取时间1 h的条件下,考察花生根与花生油质量比对花生油萃取白藜芦醇效果的影响,结果如图7所示。

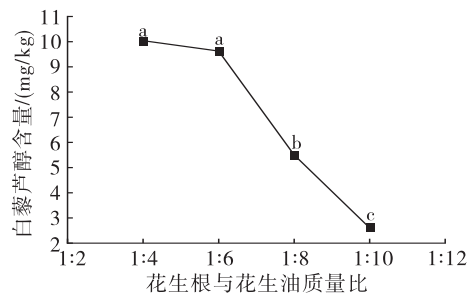


图7 花生根与花生油质量比对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

花生油作为萃取剂,其用量对萃取效率起着至

关重要的作用。由图7可知,在花生根与花生油质量比从1:4增加至1:6时,花生油中白藜芦醇含量下降,但无显著性差异,当继续增加花生根与花生油质量比至1:10时,花生油中的白藜芦醇含量显著降低至2.61 mg/kg。因此,选择1:6为最佳花生根与花生油质量比。

2.2.7 萃取温度对花生油白藜芦醇萃取效果的影响

在超声时间15 min、超声功率325 W、花生根与水质量比1:8、花生根与花生油质量比1:6、萃取时间1 h的条件下,考察萃取温度对花生油萃取白藜芦醇效果的影响,结果如图8所示。

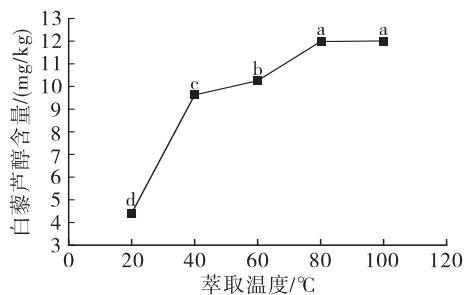


图8 萃取温度对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

萃取温度对白藜芦醇分子的迁移速度以及花生根-水-油萃取液体体系的黏度均有影响。由图8可知,在萃取温度20℃时,分子运动速度慢,萃取效率低,花生油中白藜芦醇含量仅为4.41 mg/kg。随着萃取温度升高(20~80℃),温度对白藜芦醇分子的运动速度影响显著,白藜芦醇溶解在花生油中的速度加快^[14],花生油中白藜芦醇含量显著增加。在萃取温度80℃时,花生油中白藜芦醇含量达到11.98 mg/kg,继续升高萃取温度至100℃,白藜芦醇含量无显著变化。花生油在长时间高温加热下会发生氧化酸败^[15],因此选择80℃为最佳萃取温度。

2.2.8 萃取时间对白藜芦醇萃取效果的影响

在超声时间15 min、超声功率325 W、花生根与水质量比1:8、花生根与花生油质量比1:6、萃取温度80℃的条件下,考察萃取时间对花生油萃取白藜芦醇效果的影响,结果如图9所示。

由图9可知,当萃取时间由0.5 h延长至1 h时,花生油中白藜芦醇含量显著增加,由3.86 mg/kg增加至11.98 mg/kg,继续延长萃取时间,花生油中白藜芦醇含量下降,在时间延长至2.5 h时,白藜芦醇含量降至8.76 mg/kg,原因是高温长时间加热条件下,白藜芦醇被氧化破坏,导致含量下降。因此,选择1 h为最佳萃取时间。

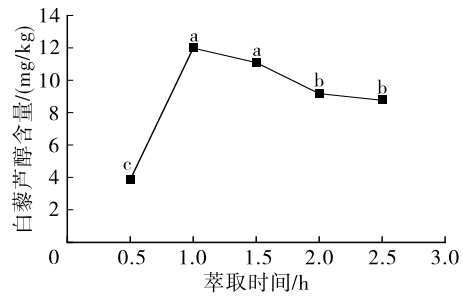


图9 萃取时间对花生油萃取白藜芦醇效果的影响

综上,花生油萃取花生根中白藜芦醇的最优工艺条件为花生根粒度75 μm(200目)、采用超声波细胞破碎、超声时间15 min、超声功率325 W、花生根与水质量比1:8、花生根与花生油质量比1:6、萃取温度80℃、萃取时间1 h,在此条件下花生油中白藜芦醇含量为11.98 mg/kg。

2.3 富含白藜芦醇花生油的主要品质

在2.2最优工艺条件下制备富含白藜芦醇花生油(PRO),测定其酸值、过氧化值、水分含量和色泽,并与原料一级压榨花生油(PO)进行对比,结果如表1、表2所示。

表1 富含白藜芦醇花生油的酸值、过氧化值、水分含量

花生油	水分含量/%	酸值(KOH)/(mg/g)	过氧化值/(mmol/kg)
PO	0.064 ± 0.04 ^a	0.58 ± 0.12 ^b	2.90 ± 0.64 ^b
PRO	0.076 ± 0.01 ^a	0.71 ± 0.05 ^a	3.34 ± 0.55 ^a

注:同列不同字母表示具有显著性差异($p < 0.05$)。下同

表2 富含白藜芦醇花生油的色泽

花生油	L^*	a^*	b^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
PO	85.68 ± 0.08 ^a	-0.18 ± 0.01 ^a	-0.23 ± 0.00 ^b	-0.09	-0.67	2.78	2.86
PRO	85.59 ± 0.08 ^a	-0.85 ± 0.03 ^b	2.55 ± 0.01 ^a				

由表1可知,富含白藜芦醇花生油的各项指标较一级压榨花生油略有上升,但仍然符合GB 1534—2017《花生油》一级压榨成品油水分含量($\leq 0.1\%$)、酸值(KOH)(≤ 1.5 mg/g)及过氧化值(≤ 6.0 mmol/kg)要求。

由表2可知:富含白藜芦醇花生油与一级压榨花生油的 ΔL^* 为-0.09, Δa^* 为-0.67, Δb^* 为2.78,表明富含白藜芦醇花生油透明度稍降低,颜色更偏绿、偏黄; ΔE (2.86)小于3,表明富含白藜芦醇花生油与一级压榨花生油色泽无显著性差异。因此,本文采用的萃取工艺不会使花生油的颜色产生显著性变化。

3 结论

本文采用超声波细胞破碎预处理花生根后,以

一级压榨花生油为萃取剂萃取花生根中的白藜芦醇,在无机溶剂参与条件下实现了绿色高效制备富含白藜芦醇花生油。通过单因素试验得到最优工艺条件为花生根粒度 75 μm (200 目)、超声时间 15 min、超声功率 325 W、花生根与水质量比 1:8、花生根与花生油质量比 1:6、萃取温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 、萃取时间 1 h,在最优工艺条件下制得的富含白藜芦醇花生油中白藜芦醇含量可达 11.98 mg/kg,是一级压榨花生油(0.12 mg/kg)白藜芦醇含量的 99.83 倍。所制备的富含白藜芦醇花生油满足 GB 1534—2017《花生油》一级压榨成品油的要求,萃取工艺绿色无污染,且不会对花生油的色泽产生影响。

参考文献:

- [1] BAJEC M R, PICKERING G J. Astringency: Mechanisms and perception [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2008, 48 (9): 858 - 875.
- [2] DE VRIES K, STRYDOM M, STEENKAMP V. Bioavailability of resveratrol: Possibilities for enhancement [J]. *J Herb Med*, 2018, 11: 71 - 77.
- [3] FERNÁNDEZ - MAR M I, MATEOS R, GARCÍA - PARRILLA M C, et al. Bioactive compounds in wine: Resveratrol, hydroxytyrosol and melatonin: A review [J]. *Food Chem*, 2012, 130(4): 797 - 813.
- [4] 张煜梅. 花生及其制品中白藜芦醇(昔)检测方法与稳定性研究[D]. 江苏无锡: 江南大学, 2014.
- [5] BAUR J A, SINCLAIR D A. Therapeutic potential of resveratrol: The *in vivo* evidence [J]. *Nat Rev Drug Discov*, 2006, 5(6): 493 - 506.
- [6] 刘宏胜, 王金环, 徐新女, 等. RP - HPLC 法测定花生仁、花生油和葡萄干中白藜芦醇[J]. *中草药*, 2006, 37 (8): 1188 - 1189.
- [7] CHEN R S, WU P L, ROBIN Y Y, et al. Peanut roots as a source of resveratrol [J]. *J Agric Food Chem*, 2002, 50 (6): 1665 - 1667.
- [8] 王新萍. 花生根中白藜芦醇的提取、纯化及对花生油品质影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [9] 王强, 郭芹, 李甜, 等. 富含白藜芦醇花生油的制备方法: CN110157540A[P]. 2019 - 08 - 23.
- [10] RAZI PARJIKOLAEI B, BAHIJ EL - HOURI R, FRETTE X C, et al. Influence of green solvent extraction on carotenoid yield from shrimp (*Pandalus borealis*) processing waste [J]. *J Food Eng*, 2015, 155: 22 - 28.
- [11] LI T, GUO Q, QU Y, et al. Solubility and physicochemical properties of resveratrol in peanut oil [J/OL]. *Food Chem*, 2022, 368: 130687 [2023 - 05 - 06]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130687>.
- [12] BRÜHL L, UNBEHEND G. Precise color communication by determination of the color of vegetable oils and fats in the CIELAB 1976 ($L^* a^* b^*$) color space [J/OL]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2021, 123(7): 329 [2023 - 05 - 06]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202000329>.
- [13] 张晓娟, 李艳, 张玉涛. 响应面试验优化超声波辅助提取葡萄皮中原花青素工艺 [J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(11): 96 - 100.
- [14] 刘大川, 刘强. 一种多酚类化合物: 白藜芦醇的开发研究 [J]. *中国油脂*, 2004, 29(4): 9 - 11.
- [15] 徐丹亚, 焦云琦, 闫皓, 等. 核桃调和油在不同烹饪温度下氧化稳定性的变化 [J]. *现代食品科技*, 2023, 39 (1): 254 - 261.
- [16] 化脱胶条件优化及效果对比研究 [J]. *食品工业科技*, 2015, 36(14): 260 - 265, 270.
- [17] 韩本勇, 耿树香, 马婷, 等. 木瓜籽油制备方法研究进展 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(7): 10 - 12.
- [18] 杨海月, 徐增莱, 晏艳, 等. 木瓜籽毛油精炼条件筛选及其理化指标分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2015, 24(2): 32 - 39.
- [19] 叶展, 徐勇将, 刘元法. 食用植物油脂制取与精炼技术研究进展 [J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(6): 1 - 12.
- [20] 周润松, 何荣, 鞠兴荣, 等. 脱臭工艺对菜籽油品质及抗氧化性的影响 [J]. *粮食科技与经济*, 2017, 42(6): 63 - 67.

(上接第 23 页)

- [11] TEFÁNIKOVÁ Z, JURKOVIOVÁ J, EVÍKOVÁ L, et al. Psychosocial and somatic determinants of nutrition and of physical activity self - evaluation [J]. *Homeostasis - Praha*, 2000, 40(3/4): 137 - 138.
- [12] 余榛榛, 常明, 刘睿杰, 等. 磷脂酶 C 在酶法脱胶中的研究进展 [J]. *中国油脂*, 2013, 38(7): 19 - 22.
- [13] 吴东兴, 钱勋, 詹亚名. 油脂精炼脱臭真空系统的影响因素及优化改进的探讨 [J]. *粮食与食品工业*, 2023, 30(1): 1 - 5, 11.
- [14] SULLI VAN F E. 水蒸汽蒸馏法精炼油脂 [J]. 厉秋岳, 译. *中国油脂*, 1980(S3): 23 - 26.
- [15] 叶展, 冉玉斌, 何东平, 等. 菜籽油磷脂酶 C 脱胶与水