

光核桃仁油和蛋白质同步提取工艺优化 及油脂品质分析

Study on synchronous extraction process of oil and protein from
Prunus mira nut and the oil quality analysis

阚金涛 袁 雷 钟政昌

KAN Jin-tao YUAN Lei ZHONG Zheng-chang

(西藏农牧学院食品科学学院, 西藏 林芝 860000)

(Food Science College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi, Tibet 860000, China)

摘要:以西藏光核桃为原料,采用水剂法提取结合酶法破乳技术分离其中的油脂和蛋白质,优化了光核桃仁油脂与蛋白质水剂法同步提取的工艺条件,并分析了油脂的主要理化指标及脂肪酸组成。结果表明:西藏光核桃仁油与蛋白质同步提取最优工艺为物料粒径150目、液料比8:1(mL/g)、pH 10、浸提温度50℃、提取时间5h、搅拌速度80 r/min,该工艺条件下核桃仁油提取率为 $(67.79 \pm 2.97)\%$,蛋白质提取率为 $(78.13 \pm 1.53)\%$ 。光核桃仁油脂具有优良的理化性质,并检测出12种脂肪酸组分,主要由顺式油酸(57.32%)、亚油酸(31.65%)、棕榈酸(6.49%)和硬脂酸(2.29%)组成,其中饱和脂肪酸7种,单不饱和脂肪酸3种,多不饱和脂肪酸2种;油脂以不饱和脂肪酸为主,相对百分含量为89.43%,其中多不饱和脂肪酸相对百分含量为31.76%,单不饱和脂肪酸相对百分含量为57.67%。

关键词:光核桃;同步提取;油脂;蛋白质;理化性质;脂肪酸组成

Abstract: Taking the *Prunus mira* nut as raw material, the oil and protein of were synchronous extracted by aqueous extraction method combined with enzymatic demulsification, the extraction process was optimized by orthogonal tests based on single factor experiment. The main physicochemical indexes of *Prunus mira* nut oil were determined, and the fatty acid compositions were an-

alyzed by GC. The results indicated that the *Prunus mira* nut protein yields were $(78.13 \pm 1.53)\%$, and oil total yields were $(67.79 \pm 2.97)\%$, the optimal oil and protein extraction process were obtained as followed: sample size 150 mesh, liquid-solid ratio 8:1 (mL/g), pH 10, extraction temperature 50 °C, extraction time 5 h, stirring speed 80 r/min. The physicochemical indexes indicated that *Prunus mira* nut oil had high physicochemical properties. Twelve fatty acids were detected in *Prunus mira* nut oil, and the main fatty acids were oleic acid (57.32%), linoleic acid (31.65%), palmitic acid (6.49%) and stearic (2.29%). There were 5 unsaturated fatty acids and the contents were 89.43%, in which there were 3 monounsaturated fat acids with the relative percentage of 57.67%, 2 polyunsaturated fatty acids with the relative percentage of 31.76%.

Keywords: *Prunus mira*; synchronous extraction; oil; protein; physicochemical properties; fatty acid composition

光核桃是西藏林芝地区资源最丰富的野果之一,果实肉厚味美,具有良好加工特性。光核桃果仁是果肉加工的下脚料,目前尚未被有效利用。据测定,光核桃仁含油量高(40.5%~51.4%)且以油酸和亚油酸为主,并富含 V_E 等活性物质^[1],是一种优质的食用油,也可作为化妆品基油、高级润滑油等;光核桃仁蛋白质含量约为23%~27%,其经适度水解后可获得高抗氧化活性的多肽^[2],是一种优良蛋白质资源。

目前,植物油的工业化制油方法主要有压榨法和有机溶剂浸出法,但压榨法操作温度较高饼粕蛋白变性较为严重,有机溶剂浸出法存在溶剂残留等问题。水媒法是近年来制油技术中的研究热点,包括水酶法与水剂法等,传统的水酶法是在反应阶段加入1%以上的蛋白酶,可大幅度提高油脂的提取率^[3],但酶解可能将蛋白质分

基金项目:西藏自治区科技重大专项(编号:XZ201901NA04);国家自然科学基金地区科学基金项目(编号:31560252);西藏野生特色生物资源开发平台建设项目(编号:PT2015-01);西藏农牧学院食品科学与工程重点学科建设项目(编号:2017ZDXK-01)

作者简介:阚金涛,男,西藏农牧学院在读硕士研究生。

通信作者:钟政昌(1975—),男,西藏农牧学院副教授,硕士。

E-mail: 350649726@qq.com

收稿日期:2019-09-29

解成一些品质不良的肽类并增加破乳难度^[4]。水剂法具有加工条件温和,可回收品质较好的蛋白质和肽类^[5],但在制油过程中存在严重的乳化现象,产品得率低^[6]。破乳是水剂法提高产量的重要手段,有学者^[7-8]采用盐辅助、糖基辅助、乙醇辅助、超声波辅助、微波辅助、冷冻解冻等方法破乳,均不同程度地提高了油脂得率,但增加了蛋白质分离难度或导致蛋白质变性。

油脂和蛋白质同步提取是针对某些油料的蛋白质具有重要利用价值而开发的方法,目前处理研究阶段,一般采用水剂法,油脂得率低^[9-10],而在水剂法基础上提高产品得率的研究较少。李鹏飞^[11]用水剂法同时提取花生的油脂与蛋白质后,再对乳状液进行酶法破乳处理,其称之为新型水酶法,此法大幅度提高了花生油与蛋白质的得率,而且加酶量少,蛋白质变性程度低,极具工业化应用的前景。新型水酶法提取条件复杂,不同油料的提取工艺条件各不相同。

试验拟采用新型水酶法从光核桃仁中同步提取优质油脂和蛋白质。研究物料粒径、液料比、pH 值、温度、时

间等因素对油脂和蛋白质提取率的影响,优化光核桃仁油和蛋白质同步提取工艺条件,并分析核桃仁油的主要理化指标及脂肪酸组成,为光核桃仁深加工提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

光核桃果实:产自西藏林芝市巴宜区;

碱性蛋白酶: 2.0×10^6 U/g,邢台思倍特生物科技有限公司;

其他试剂均为分析纯;

离心机:LD5-10 型,湘仪离心机仪器有限公司;

胶体磨:JMF/B-80 型,上海科劳机械设备有限公司;

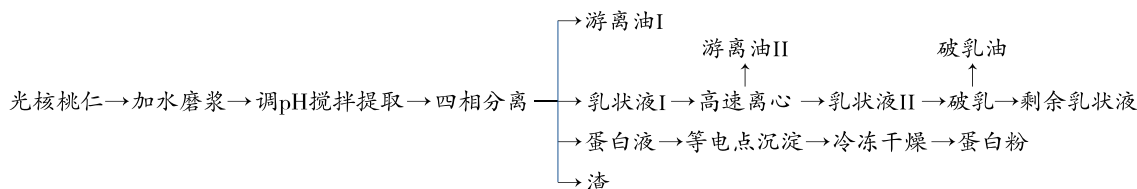
冷冻干燥机:TF-FD-1 型,上海拓纷制冷设备有限公司;

气相色谱仪:7890A 型,美国安捷伦科技有限公司;

油脂氧化稳定性测定仪:OSI-24 型,美国 Omnion 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 光核桃仁油和蛋白质同步提取工艺



1.2.2 操作要点

(1) 磨浆及粒径控制:称量出一定量的去皮桃仁,按液料比 2:1 (mL/g) 加入去离子水,用胶体磨进行磨浆,在设定粒径(如 80 目)下回流 5 处理次,即视为得到该粒径(80 目)的浆料,分别制备 80,120,150,200,250,300 目 6 种粒径的物料,备用。

(2) 加水调浆:取一定量的浆料,按设定的液料比加入 60 °C 去离子水,用 1 g/100 mL 的 NaOH 调节初始 pH (6~11),在水浴中恒温(40~90 °C)搅拌 20~30 min,再次调节体系至初始 pH,并继续水浴恒温搅拌 2~5 h。

(3) 四相分离:将料液低速(3 600 r/min)离心 20 min,得油脂(最上层)、乳状液(第 2 层)、可溶蛋白水相(第 3 层)和渣。收集游离油 I,将余下的二相液体移入分液漏斗中分离出蛋白液和乳状液,弃去渣饼。

(4) 分离游离油 II:将乳状液 I 高速(8 000 r/min)离心 15 min,得到游离油 II 和乳状液 II。

(5) 破乳:取适量的乳状液 II 于 100 mL 试管中,碱性蛋白酶按乳状液总重量添加 1 200 U/g,在 55 °C、pH 9.5 的条件下酶解 60 min,8 000 r/min 离心 20 min^[12],上层游离油即为破乳油。

(6) 收集蛋白质:蛋白液用 1 mol/L 盐酸调至等电点(pH 4.7),8 000 r/min 离心 25 min,弃去上清液,将蛋白

沉淀加入少量水分,调节 pH 值至 7.0,冷冻干燥(真空度 65 Pa,温度-55 °C,时间 38 h)后得光核桃仁蛋白。

1.2.3 光核桃果仁油和蛋白质同时提取工艺的优化

(1) 物料粒径的选择:在液料比 8:1 (mL/g)、浸提温度 60 °C、提取时间 4 h、浸提 pH 10、搅拌速度 80 r/min 的条件下进行试验,考察物料粒径(80,120,150,200,250,300 目)对核桃仁油和蛋白提取率的影响。

(2) 液料比的选择:在物料粒径 200 目、浸提温度 60 °C、提取时间 4 h、浸提 pH 10、搅拌速度 80 r/min 的条件下进行试验,考察液料比[2:1,4:1,6:1,8:1,10:1,12:1 (mL/g)]对核桃仁油和蛋白提取率的影响。

(3) pH 的选择:在物料粒径 200 目、液料比 8:1 (mL/g)、浸提温度 60 °C、提取时间 4 h、搅拌速度 80 r/min 的条件下进行试验,考察 pH(6,7,8,9,10,11)对核桃仁油和蛋白提取率的影响。

(4) 浸提温度的选择:在物料粒径 200 目、液料比 8:1 (mL/g)、提取时间 4 h、浸提 pH 10、搅拌速度 80 r/min 的条件下进行试验,考察浸提温度(20,30,40,50,60,70 °C)对核桃仁油和蛋白提取率的影响。

(5) 浸提时间的选择:在物料粒径 200 目、液料比 8:1 (mL/g)、浸提温度 60 °C、浸提 pH 10、搅拌速度 80 r/min 的条件下进行试验,考察浸提时间(1,2,3,4,5,

6 h)对核桃仁油和蛋白提取率的影响。

(6) 搅拌速度的选择:在物料粒径 200 目、液料比 8:1 (mL/g)、浸提温度 60 ℃、提取时间 4 h、浸提 pH 10 的条件下进行试验,考察搅拌速度(20, 40, 80, 160, 320 r/min)对核桃仁油和蛋白提取率的影响。

(7) 正交试验设计:在单因素试验基础上,以物料粒径、液料比、浸提 pH、浸提温度、提取时间和搅拌速度为因素,以核桃仁油和蛋白质提取率为指标,采用 $L_8(2^7)$ 优化核桃仁油和蛋白质同步提取工艺参数。

1.2.4 核桃仁油和蛋白质提取率的计算

$$y = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{m_4 \times c_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

y ——核桃仁油提取率,%;

m_1 ——游离油 I 质量,g;

m_2 ——游离油 II 质量,g;

m_3 ——破乳油质量,g;

m_4 ——桃仁样品质量,g;

c_1 ——样品含油率,%。

$$z = \frac{m_5 \times c_2}{m_4 \times c_3} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

z ——蛋白质提取率,%;

m_5 ——桃仁蛋白粉质量,g;

c_2 ——桃仁蛋白粉中蛋白质含量,%;

m_4 ——桃仁样品质量,g;

c_3 ——样品蛋白质含量,%。

1.2.5 理化分析方法

(1) 核桃仁水分含量:常压烘干法,按 GB/T 14489.1—2008 执行。

(2) 核桃仁油含量:索氏抽提法,按 GB/T 14488.1—2008 执行。

(3) 核桃仁及乳状液粗蛋白含量:凯氏定氮法,按 GB/T 14489.2—2008 执行,其中乳状液需先经冷冻解冻破乳去除大部分游离油后再进行消化。

(4) 乳状液粗脂肪含量:采用罗兹—哥特里(Rose-Gottlieb)法^[13]。

(5) 核桃仁油酸价:按 GB/T 5530—2005 执行。

(6) 核桃仁油过氧化值:按 GB/T 5538—2005 执行。

(7) 核桃仁油皂化值(以 KOH 计):按 GB/T 5534—2008 执行。

(8) 核桃仁油氧化稳定性:按 GB/T 21121—2007 执行。

(9) 核桃仁油 V_E 含量:按 GB 5009.82—2016 执行。

(10) 核桃仁油折光指数:用阿贝折光仪测定。

1.2.6 果仁油脂肪酸组成分析 参照 GB 5009.168—

2016 用 Agilent 7890A 型气相色谱仪内标法测定脂肪酸组成。

(1) 脂肪酸的甲酯化:称取样品 0.5 g 置 50 mL 离心管,加入 5 mL 正己烷,加入 15 mL 10% 乙酰氯—甲醇溶液,瓶口封死,在 80 ℃ 水浴反应 2 h,每隔 20 min 振摇 1 次,取出冷却室温,加入 6% 碳酸钠 10 mL,再加入 5 mL 正己烷,在振荡仪振摇 30 min,取出上清液过 0.22 μ m 滤膜,上机检测。

(2) GC 分析条件:色谱柱 Supelco SPTM-2560 (280 ℃, 100 m×250 μ m×0.2 μ m);检测器类型 FID;检测器温度 250 ℃;进样量 1 μ L;进样口温度 240 ℃,分流比 50:1;流速 1.0 mL/min;升温程序:初始温度 40 ℃,以 3 ℃/min 升到 220 ℃,保持 0 min,再以 1 ℃/min 升到 230 ℃,保持 230 ℃,总运行时间 93 min。

1.3 数据分析

应用正交设计助手 II 3.11 作正交试验设计及极差分析、方差分析和差异显著性分析($P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著);应用 SPSS 18.0 软件计算标准误差、单因素差异显著性分析;应用 Origin 8.0 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 光核桃果仁油和蛋白质同时提取工艺优化

2.1.1 单因素试验结果 各因素对核桃仁油与蛋白质提取率的影响如图 1 所示。桃仁粒径越小,核桃仁油与蛋白质提取率明显提高,200 目提取率最高,之后降低;液料比为 8:1 (mL/g) 时核桃仁油提取率和蛋白质提取率最高;光核桃仁蛋白在碱性溶液中随着碱性增强而溶解度增大,而核桃仁油提取率在 pH>9 之后迅速下降;浸提温度在 50 ℃ 前,核桃仁油与蛋白质的提取率均随温度升高而增加,之后核桃仁油提取率小幅增加,而蛋白质的提取率在 60 ℃ 后急剧下降,可能是蛋白质开始热变性而沉淀;核桃仁油与蛋白质随着提取时间延长而增加,4 h 后增加幅度变小;搅拌速度为 80 r/min 时,两者提取率最高之后,搅拌速度增加使乳化稳定性增加,导致两者提取率均下降。

单因素试验表明,适当粒径有利于提高游离油脂和水解蛋白的提取率,粒径过大,物料细胞完整率高,提取溶剂无法与完整细胞中的油脂和蛋白质接触而不能充分地将其提取出来^[14]。高油脂物料在干法粉碎过程中,因黏性大而容易结团,用传统的粉碎机很难获得小于 20 目的颗粒,在实际操作及文献^[15]均得到证实,而采用胶体磨湿法磨浆,可得到较小粒径的物料,更有利于油脂和水解蛋白的提取。而粒径过小导致油脂与蛋白在水中形成较稳定乳化体系,增加了破乳难度,是试验过程中核桃仁油提取率偏低的主要原因。

2.1.2 正交优化提取工艺 根据单因素试验的结果,确定 $L_8(2^7)$ 正交试验的因子水平及编码见表 1。

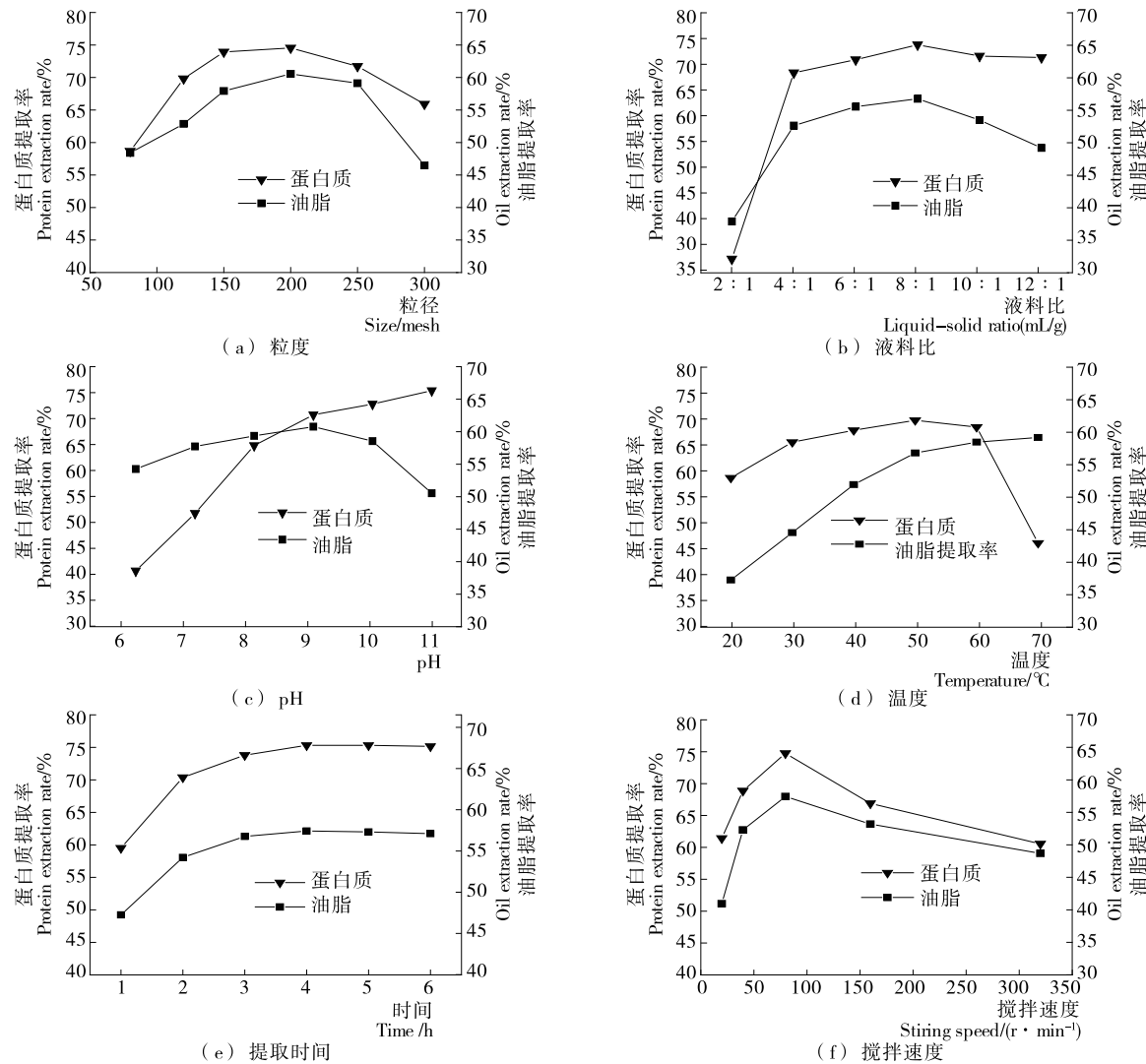


图 1 单因素试验结果

Table 1 Results of individual factor experiment

表 1 正交试验因素水平编码表

Table 1 Code of factors and levels for the orthogonal L₈(2⁷)

水平	A 粒度/目	B 液料比(mL/g)	C pH	D 温度/℃	E 时间/h	F 搅拌速度/(r·min ⁻¹)
1	150	8 : 1	9	50	4	80
2	200	10 : 1	10	60	5	100

由表 2、3 可知,在设置的水平范围内,各因素对核桃仁油提取率影响的主次顺序为粉碎度>pH>搅拌速度>时间>温度>液料比,各因素在所取水平范围内对核桃仁油提取率的影响均不显著,其中液料比的极差小于空列极差,说明液料比在 8 : 1~10 : 1 (mL/g) 时对核桃仁油提取率无差异,核桃仁油最佳浸提条件为 A₁B₁C₂D₁E₂F₁ 或 A₁B₂C₂D₁E₂F₁, 即:物料粒度 150 目、液料比 8 : 1 (mL/g) 或 10 : 1 (mL/g)、pH 10、浸提温度 50 ℃、

提取时间 5 h、搅拌速度为 80 r/min。

由表 2、4 可知,在设置的水平范围内,各因素对蛋白质提取率影响的主次顺序为时间>pH>温度>搅拌速度>液料比>物料粒度,蛋白质最佳浸提条件为 A₁B₁C₁D₁E₁F₂, 即:物料粒度 150 目、液料比 8 : 1 (mL/g)、pH=8、浸提温度 50 ℃、提取时间 4 h、搅拌速度为 100 r/min。各因素在所取水平范围内对蛋白质提取率的影响均不显著。

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of $L_8(2^7)$ orthogonal experiment

试验号	A	B	C	D	E	F	空列	提取率/%	
								果仁油	蛋白质
1	1	1	1	1	1	1	1	65.78	77.21
2	1	1	1	2	2	2	2	64.54	76.06
3	1	2	2	1	1	2	2	65.39	76.75
4	1	2	2	2	2	1	1	67.17	74.39
5	2	1	2	1	2	1	2	64.44	75.18
6	2	1	2	2	1	2	1	63.52	76.22
7	2	2	1	1	2	2	1	64.26	75.83
8	2	2	1	2	1	1	2	63.11	76.31
果仁油	k_1	65.720	65.070	64.422	65.468	64.450	65.625	65.183	
	k_2	64.333	64.983	65.630	64.585	65.603	64.428	64.870	
	R	1.387	0.087	1.208	0.883	1.153	1.197	0.313	
蛋白质	k_1	76.102	76.167	76.352	76.242	76.623	75.773	75.912	
	k_2	75.885	75.820	75.635	75.745	75.365	76.215	76.075	
	R	0.217	0.347	0.717	0.497	1.258	0.442	0.163	

表 3 核桃仁油提取率方差分析表[†]

Table 3 Variance analysis of oil extraction rate

变异来源	SS	df	MS	F
A	3.850	1	19.744	19.744
B	0.015	1	0.077	0.077
C	2.196	1	14.954	14.954
D	1.558	1	7.990	7.990
E	2.657	1	13.626	13.626
F	2.868	1	14.708	14.708
空列	0.195	1	1.000	1.000
误差	0.200	1		

[†] $F_{0.05}=161, F_{0.01}=4.052$ 。

表 4 蛋白质提取率方差分析表[†]

Table 4 Variance analysis of protein extraction rate

变异来源	SS	df	MS	F
A	0.095	1	1.792	1.792
B	0.242	1	4.566	4.566
C	1.030	1	19.434	19.434
D	0.495	1	9.340	9.340
E	3.163	1	59.679	59.679
F	0.392	1	7.396	7.396
空列	0.053	1	1.000	1.000
误差	0.050			

[†] $F_{0.05}=161, F_{0.01}=4.052$ 。

质的高提取率,分别对 $A_1B_1C_2D_1E_2F_1$ 、 $A_1B_2C_2D_1E_2F_1$ 和 $A_1B_1C_1D_1E_1F_2$ 组合进行实验验证,结果如表 5 所示。

表 5 3 种优化组合的提取效果对比

Table 5 Compare of three optimization combinatorial methods on extraction yield ($n=3$) %

因素组合	油脂提取率	蛋白质提取率
$A_1B_1C_2D_1E_2F_1$	67.79 ± 2.97	78.13 ± 1.53
$A_1B_2C_2D_1E_2F_1$	67.06 ± 2.43	78.19 ± 1.77
$A_1B_1C_1D_1E_1F_2$	65.49 ± 2.68	78.72 ± 1.64

由表 5 可知, $A_1B_1C_2D_1E_2F_1$ 组合与 $A_1B_2C_2D_1E_2F_1$ 组合对油脂与蛋白质的提取率差异小,总体上 $A_1B_1C_2D_1E_2F_1$ 组合略优于 $A_1B_2C_2D_1E_2F_1$ 组合。 $A_1B_1C_2D_1E_2F_1$ 组合对蛋白质的平均提取率仅比 $A_1B_1C_1D_1E_1F_2$ 组合少 0.59%,而 $A_1B_1C_2D_1E_2F_1$ 组合对油脂的平均提取率比 $A_1B_1C_1D_1E_1F_2$ 组合多 2.30%。因此,选取 $A_1B_1C_2D_1E_2F_1$ 组合为最优组合。

2.2 光核桃仁油主要理化指标测定

由表 6 可知,光核桃仁油的酸价为 2.27 mg KOH/g,高酸价反映其中油游离脂肪酸含量高,高油游离脂肪酸使油脂容易水解酸败;碘值的高低与油脂中不饱和双键的多少有关,双键的数目越多碘值就越高,光核桃仁油碘值为 123.64 g I_2 /100 g,说明不饱和双键数量中等偏低;皂化值为 208.26 mg/g,说明光核桃仁油中游离脂肪酸的含量比较大;过氧化值平均值为 1.03 mmol/kg,说明光核桃仁油中的双键被氧化程度低;氧化稳定性达 12.4 h,表

2.1.3 验证实验 光核桃仁油与蛋白质最佳浸提条件时最优因素组合并不一致。为同时实现光核桃仁油和蛋白

表 6 光核桃仁油的主要理化性质

Table 6 The main physicochemical property of *Prunus mira* nut oil

酸价/ (mg KOH · g ⁻¹)	碘值/ (10 ⁻² g I ₂ · g ⁻¹)	过氧化值/ (mmol · kg ⁻¹)	氧化稳定 性/h	皂化值/ (mg · g ⁻¹)	折光指数 (nD 20 °C)	V _E / (10 ⁻² mg · g ⁻¹)	颜色
2.27	123.64	1.03	12.4	208.26	1.466	6.28	浅黄色

明光核桃仁油抵御自动氧化能力较强,这一特性可能与光核桃果仁油中抗氧化物质如 V_E 等含量较高有关。

2.3 光核桃后油的脂肪酸组成

经过 GC 检测分析得到脂肪酸甲酯标准品总离子流图和光核桃仁油脂样品离子流图,见图 2。由表 7 可知,试验所提取的光核桃仁油样品检测出 12 种脂肪酸甲酯,其中饱和脂肪酸 7 种,单不饱和脂肪酸 3 种,多不饱和脂肪酸 2 种。油脂以不饱和脂肪酸为主,相对含量 89.43%,其中多不饱和脂肪酸相对含量为 31.76%,单不饱和脂肪酸相对含量为 57.67%。脂肪酸主要由顺式油酸(57.32%)、亚油酸(31.65%)、棕榈酸(6.49%)和硬脂酸(2.29%)组成,试验提取的光核桃仁油与溶剂法提取的光核桃仁油脂均以油酸与亚油酸为主,总不饱和酸酯脂肪占 90%左右。试验提取的光核桃仁油样品中发现了十三(烷)酸(1.58%),其原因有待深入研究。光核桃仁油中的亚油酸含量比普通桃仁油的高 11%~14%^[16],比苦杏仁油高出 6.86%以上^[17]。亚油酸是被最早认识的一种功能性多不饱和脂肪酸,在预防动脉粥样硬化和心肌梗塞等心血管疾病方面有良好作用,亚油酸含量的高低通常作为植物油质量的重要指标之一。

表 7 光核桃仁油主要脂肪酸组成与含量

Table 7 Quantitative analysis of main fatty acids in *Prunus mira* nut oil

化合物名称	保留时间/min	碳数/不饱和数	相对含量/%
十三(烷)酸	47.098	C _{13:0}	1.58
肉豆蔻酸	49.693	C _{14:0}	0.04
十五(烷)酸	52.143	C _{15:0}	0.02
棕榈酸	54.600	C _{16:0}	6.49
棕榈油酸	56.072	C _{16:1}	0.26
珍珠酸	56.758	C _{17:0}	0.07
十七碳烯酸	58.168	C _{17:1}	0.09
硬脂酸	59.189	C _{18:0}	2.29
油酸(顺)	60.603	C _{18:1 n 9c}	57.32
亚油酸	62.459	C _{18:2 n 6 c}	31.65
二十酸	63.177	C _{20:0}	0.11
α-亚麻酸	64.604	C _{18:3 n 3}	0.11
总饱和脂肪酸			10.60
总不饱和脂肪酸			89.43
单不饱和脂肪酸			57.67
多不饱和脂肪酸			31.76

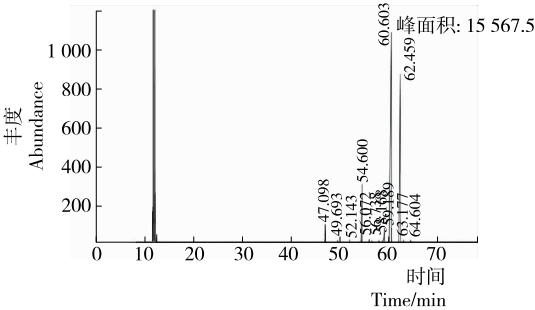


图 2 光核桃仁油样品脂肪酸甲酯离子流图

Figure 2 Chromatogram of *Prunus mira* nut oil fatty acid methyl esters

3 结论

(1) 通过 L₈(2⁷)正交优化得到光核桃仁油脂和蛋白质的最佳同步提取工艺,结合破乳处理,获得蛋白质提取率为(78.13±0.15)%、油脂提取率为(67.79±0.29)%。试验可提取出蛋白质 78%以上,前期研究^[2,18]表明,光核桃仁蛋白质经酶解后所得的多肽具有良好的抗氧化性和抑菌活性。

(2) 试验所提取得的光核桃仁油,酸价为 2.27 mg KOH/g、碘值为 123.64 g I₂/100 g、过氧化值为 1.03 mmol/kg、皂化值为 208.26 mg/g、氧化稳定性达 12.4 h;油脂样品检测出 12 种脂肪酸甲酯,其中饱和脂肪酸 7 种,单不饱和脂肪酸 3 种,多不饱和脂肪酸 2 种,油脂以不饱和脂肪酸为主,相对含量为 89.43%,其中多不饱和脂肪酸相对百分含量为 31.76%,单不饱和脂肪酸相对百分含量为 57.67%。对照 GB 2716—2018,试验所制备的光核桃仁油质量优良。

(3) 试验过程中油脂与蛋白质的提取率仍不理想,后续将探索破乳所用蛋白酶的种数、多种酶混合使用、或其他破乳方法来提高油脂得率,以及采用多次水提的方法来提高蛋白质的得率。

参考文献

[1] 王伟,魏丽萍. 西藏不同种源光核桃仁脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 107-111.
[2] 杨玉蓉,李安平,钟政昌,等. 桃仁多肽螯合亚铁的抑菌活性及结构表征[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 57-62.
[3] 武荣莱. 水酶法提取植物油脂技术通过专家鉴定[J]. 中国油脂, 2004(12): 17.

(下转第 236 页)

- 特性[J]. 环境工程学报, 2018, 12(3): 855-862.
- [38] 刘树根, 苏福家, 李婷, 等. 生物滴滤法净化低浓度磷化氢及其微生物群落分析[J]. 环境工程学报, 2018, 12(12): 124-132.
- [39] BURROWS H D, CANLE L M, SANTABALLA J A, et al. Reaction pathways and mechanisms of photodegradation of pesticides [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B Biology*, 2002, 67(2): 71-108.
- [40] 王殿轩, 冷本好, 安西友, 等. 光源及温湿度条件对磷化氢光降解的影响[J]. 植物检疫, 2013, 27(5): 45-49.
- [41] 马梦苹, 尹绍东, 张来林, 等. 不同条件对臭氧紫外灯降解粮库磷化氢熏蒸尾气速率的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015(9): 17-20.
- [42] 许根慧, 姜恩永, 盛京. 等离子体技术与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 2.
- [43] 陈鹏, 陶雷, 谢怡冰, 等. 低温等离子体协同催化降解挥发性有机物的研究进展[J]. 化工进展, 2019, 38(9): 4 284-4 294.
- [44] KRUGLY E, MARTUZEVICIUS D, TICHONOVAS M, et al. Decomposition of 2-naphthol in water using a non-thermal plasma reactor[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2015, 260: 188-198.
- [45] ATKINSON R. Kinetics and mechanisms of the gas-phase reactions of the hydroxyl radical with organic compounds under atmospheric conditions[J]. *Chemical Reviews*, 1986, 86(1): 69-201.
- [46] 王伟伟, 姚淑美, 彭叶平, 等. 介质阻挡放电等离子体降解高浓度甲苯[J]. 环境工程学报, 2018, 12(7): 1 977-1 985.
- [47] KUROKI T, OISHI T, YAMAMOTO T, et al. Bromomethane decomposition using a pulsed dielectric barrier discharge[J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2013, 49(1): 293-297.
- [48] 李战国, 胡真, 闫学锋, 等. 低温等离子体治理 H_2S 污染的实验研究[J]. 环境工程学报, 2006, 7(10): 106-108.
- [49] 张硕, 梁旭, 于欣扬, 等. 低温等离子体协同催化技术降解 VOCs 现状[J]. 环境保护与循环经济, 2019, 39(2): 22-26, 70.
- [50] ZHU Xin-bo, GAO Xiang, QIN Rui, et al. Plasma-catalytic removal of formaldehyde over Cu-Ce catalysts in a dielectric barrier discharge reactor[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2015, 170/171: 293-300.
- [51] SONG Hua, HU Fang-yun, PENG Yue, et al. Non-thermal plasma catalysis for chlorobenzene removal over $CoMn/TiO_2$, and $CeMn/TiO_2$: Synergistic effect of chemical catalysis and dielectric constant[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2018, 347: 447-454.
- [52] LEE B Y, PARK S H, LEE S C, et al. Decomposition of benzene by using a discharge plasma-photocatalyst hybrid system[J]. *Catalysis Today*, 2004, 93(9): 769-776.
- [53] JURGEN M, MARTIN S, RAFL S, et al. Nonthermal plasma chemistry and physics[M]. New York: CRC Press, 2013: 128.
- [54] 马懿星. 电晕放电协同分离转化黄磷炉气中粉尘和磷硫杂质[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016: 47-56.
- [55] LU Wen-jing, ABBAS Y, MUSTAFA M F, et al. A review on application of dielectric barrier discharge plasma technology on the abatement of volatile organic compounds [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2019, 13(2): 30.
- [56] DU Chang-ming, HUANG Ya-ni, GONG Xiang-jie, et al. Plasma purification of halogen volatile organic compounds[J]. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2018, 46(4): 838-858.

(上接第 215 页)

- [4] 荣辉, 吴兵兵, 杨贤庆, 等. 水酶法提取生物油脂的研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 374-378.
- [5] 朱凯艳. 利用水相同时提取花生油和蛋白工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 4.
- [6] ROSENTHAL A, PYLE D L, NIRANJAN K. Simultaneous aqueous extraction of oil and protein from soybean: Mechanisms for process design [J]. *Food & Bioprocess Processing*, 1998, 76(4): 224-230.
- [7] 周末, 张凌雁, 于修焯, 等. 蔗糖溶液辅助水剂法提取苦杏仁油的工艺研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(12): 6-9.
- [8] 郝文杰, 张继, 姚健, 等. 乙醇水剂法提取野山杏仁油及组成成分分析研究[J]. 应用化工, 2017, 46(4): 677-680.
- [9] 娄丽丽, 章绍兵. 吐温辅助水剂法同步制备芝麻油和芝麻蛋白的研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(12): 5-8.
- [10] 李维静, 王改玲, 曹珂珂. 水剂法萃取腰果仁油的工艺研究[J]. 蚌埠学院学报, 2014, 3(4): 16-20.
- [11] 李鹏飞. 水酶法提取花生油及蛋白质[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 32-46.
- [12] 赵翔. 花生水剂法提油过程形成乳状液的酶法破乳研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012: 19-22.
- [13] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 152-153.
- [14] 王瑛瑶, 王璋. 水酶法从花生中提取油与水解蛋白的研究[J]. 食品与机械, 2005, 21(3): 17-20.
- [15] 吴浩. 高油脂物料微细粉碎技术及实验研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 51-55.
- [16] 姜波, 沙吾列, 范圣第. 桃仁油中脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. 中国油脂, 2008(11): 71-72.
- [17] 马玉花, 赵忠, 李科友, 等. 不同产地苦杏仁油的含量及成分分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(11): 70-73.
- [18] 杨玉蓉, 李安平, 钟政昌, 等. 桃仁多肽的酶法制备及其抗氧化活性分析[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(4): 93-100.