

制油工艺对油茶籽油生物活性成分含量 和抗氧化活性的影响

刘芳¹, 吴苏喜^{1,2}, 蒋明芳¹, 谭传波³, 李普选²

(1. 长沙理工大学食品与生物工程学院, 长沙 410114; 2. 郑州远洋油脂工程技术有限公司, 郑州 450000;
3. 长沙昊瑞生物科技有限公司, 长沙 410114)

摘要: 为了了解不同制油工艺对油茶籽油生物活性成分含量和抗氧化活性的影响, 以油茶果为原料, 采取鲜榨法、浸提法、新水法、冷榨法和热榨法 5 种制油工艺分别制取油茶籽油, 研究对比了 5 种制油工艺的提油率, 所制取的油茶籽油的脂肪酸组成、生物活性成分(生育酚、角鲨烯及多酚)含量及其对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除能力。结果表明, 5 种制油工艺的提油率均在 73% 以上, 其中浸提法((96.45 ± 3.02)%) 最高, 冷榨法((73.72 ± 2.76)%) 最低, 鲜榨法((82.36 ± 2.24)%)、新水法((81.91 ± 3.21)%) 和热榨法((80.34 ± 2.09)%) 没有显著差异; 5 种工艺所制取的油茶籽油具有相似的脂肪酸组成; 在 α -生育酚和总生育酚含量方面, 新水法制取的油茶籽油含量最高(α -生育酚含量(263.77 ± 1.58) mg/kg, 总生育酚含量(280.55 ± 1.64) mg/kg), 鲜榨法、冷榨法和热榨法制取的油茶籽油中总生育酚含量接近, 在 233 ~ 244 mg/kg 之间, 浸提法制取的油茶籽油中总生育酚含量只有(17.10 ± 0.76) mg/kg; 在角鲨烯和多酚含量方面, 鲜榨法制取的油茶籽油明显高于其他工艺的, 分别为(350.56 ± 7.60) mg/kg 和(45.04 ± 4.50) mg/kg, 新水法制取的油茶籽油角鲨烯含量最低, 为(249.99 ± 3.73) mg/kg, 浸提法制取的油茶籽油多酚含量最低, 为(7.06 ± 0.03) mg/kg; 在清除 DPPH 自由基和 ABTS 自由基方面, 鲜榨法制取的油茶籽油的清除能力最强, 浸提法的最弱。

关键词: 油茶籽油; 鲜榨法; 新水法; 生物活性成分; DPPH 自由基; ABTS 自由基

中图分类号: TS224; TS201.2 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)04-0046-06

Effect of oil production process on the biologically active ingredients and antioxidant activity of oil – tea camellia seed oil

LIU Fang¹, WU Suxi^{1,2}, JIANG Mingfang¹, TAN Chuanbo³, LI Puxuan²

(1. School of Food Science and Bioengineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Zhengzhou Yuanyang Oils and Fats Engineering Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China;
3. Changsha Hao – Rui Bio – Technology Co., Ltd., Changsha 410114, China)

Abstract: In order to understand the effect of oil production process on the biologically active ingredients and antioxidant activity of oil – tea camellia seed oil, oil – tea camellia seeds were used as raw materials and five oil production processes including fresh pressing method, solvent extraction method, new aqueous method, cold pressing method and hot pressing method were used to prepare oil – tea camellia

seed oil. The oil extraction rate, fatty acid composition, biologically active ingredients (tocopherol, squalene and polyphenol) content, and scavenging activities on DPPH and ABTS free radicals of five kinds of oil – tea camellia seed oils were comparatively investigated. The results showed that the oil extraction rates of the five oil production processes were all above 73%, of

收稿日期: 2021-08-06; 修回日期: 2021-11-23

基金项目: 长沙理工大学 2020 年度“双一流”建设项目 (CX2020SS82); 郑州市第三批“智汇郑州 * 1125 聚才计划”创新领军人才项目 (郑政 2018-45 号)

作者简介: 刘芳 (1996), 女, 在读硕士, 研究方向为油脂科学 (E-mail) 1563618313@qq.com。

通信作者: 吴苏喜, 教授, 博士 (E-mail) wsx6524@163.com。

which the solvent extraction method ($(96.45 \pm 3.02)\%$) was the highest, the cold pressing method ($(73.72 \pm 2.76)\%$) was the lowest, and the fresh pressing method ($(82.36 \pm 2.24)\%$), the new aqueous method ($(81.91 \pm 3.21)\%$) and the hot pressing method ($(80.34 \pm 2.09)\%$) had no significant difference. The oil-tea camellia seed oil produced by five processes had similar fatty acid composition. In terms of α -tocopherol and total tocopherol contents, the oil-tea camellia seed oil produced by new aqueous method had the highest content (α -tocopherol content (263.77 ± 1.58) mg/kg, total tocopherol content (280.55 ± 1.64) mg/kg), the total tocopherol content of oil-tea camellia seed oil produced by fresh pressing method, cold pressing method, and hot pressing method was close (between 233 mg/kg and 244 mg/kg), while the total tocopherol content of oil-tea camellia seed oil produced by solvent extraction method was only (17.10 ± 0.76) mg/kg. In terms of squalene and polyphenol contents, the oil-tea camellia seed oil produced by fresh pressing method was significantly higher than that by other processes, reaching (350.56 ± 7.60) mg/kg and (45.04 ± 4.50) mg/kg respectively. The squalene content ((249.99 ± 3.73) mg/kg) of oil-tea camellia seed oil produced by new aqueous method was the lowest. The polyphenol content ((7.06 ± 0.03) mg/kg) of oil-tea camellia seed oil produced by solvent extraction method was the lowest. In terms of scavenging DPPH free radical and ABTS free radical, the oil-tea camellia seed oil produced by fresh pressing method had the strongest scavenging ability, and that produced by solvent extraction method had the weakest scavenging ability.

Key words: oil-tea camellia seed oil; fresh pressing method; new aqueous method; biologically active ingredient; DPPH free radical; ABTS free radical

油茶(*Camellia oleifera* Abel)系山茶科山茶属植物,是我国特有的木本油料作物,与油棕、油橄榄、椰子并称为世界四大木本油料树种^[1]。油茶籽油在《本草纲目》中被记载为药油,被联合国粮农组织推荐为健康食用油^[2]。油茶籽油具有特殊的脂肪酸组成(油酸含量高达74%~89%,亚油酸含量为7%~13%,且不含芥酸、山萘酸等组分),易于消化和吸收^[3-4]。同时,高油酸的油茶籽油具有降血压、降血脂、防治冠心病和动脉粥样硬化等心血管疾病的作用^[5-6]。油茶籽油还含有多种生物活性成分,如生育酚、角鲨烯、甾醇、多酚等,具有抗氧化^[7]、防辐射^[8]、抗炎^[9]、抑菌^[10]及提高人体免疫力等多种生理功效。

油茶籽油的生物功效受制取工艺的影响,这是因为不同的制油工艺会影响油中生物活性成分的含量^[11]。目前,油茶籽油的制取工艺通常有压榨法(冷榨和热榨)、浸提法、超临界流体萃取法等。冷榨法虽然能保障油茶籽油的原生态品质和生物活性,但是出油效率偏低;热榨法虽然能提高出油效率,而且风味浓郁,但是油中杂质含量多,还可能损失微量活性成分;浸提法虽然出油效率高,但存在生产安全隐患,而且原油残溶高,需要后续严格的精炼才能满足食品安全需要,原油精炼以后的生物活性成分含量降幅较大;超临界流体萃取法虽然出油效

率高,出油品质好,生物活性得到保留,但存在设备昂贵等缺点。近年来,随着科学技术研究的发展,油茶籽加工产业涌现出了鲜榨法^[12]和新水法^[13]等新的制油技术。

为了进一步探索鲜榨法和新水法这两种制油新技术的优越性,本文以提油率为产业化可能性的评价指标,以脂肪酸组成、生物活性成分含量为品质评价指标,以DPPH自由基和ABTS自由基清除率为生物活性功能的评价指标,对比研究鲜榨油茶籽油、浸提油茶籽油、新水法油茶籽油、冷榨油茶籽油和热榨油茶籽油的生物活性成分含量和生物活性功能,旨在充分利用我国丰富的油茶籽资源,开发油茶籽油在医药、化妆品、化工等行业中的应用,促进我国油茶籽产业的发展。

1 材料与方法

1.1 实验材料

油茶果,由湖南大三湘茶油股份有限公司提供。

脂肪酸甲酯混标、角鲨烯标准品(纯度 $\geq 98\%$)、角鲨烷标准品(纯度 $\geq 98\%$)以及 α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚(纯度 $\geq 95\%$),美国Sigma公司;没食子酸标准品(纯度 $\geq 98\%$),成都德思特生物技术有限公司;1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH),上海麦克林生物科技有限公司;2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS),上海梯希爱化成

工业发展有限公司;福林酚试剂,合肥博美生物科技有限公司。

GC-2010plus 气相色谱仪、LC-20AT 液相色谱仪,岛津公司;UV 5200 型紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;ZYJ-9018 型全自动螺旋榨油机,德国贝尔斯顿公司。

1.2 实验方法

1.2.1 不同工艺制取油茶籽油

鲜榨法:新鲜油茶果→脱蒲→鲜油茶籽→水洗→粉碎→压榨→油茶籽浆液→按比例加入食品级提取液→恒温加热(80℃,30 min)→离心分离→收集上层油(鲜榨油茶籽油)。

浸提法:新鲜油茶果→晾晒→脱蒲→干油茶籽→粉碎→加入六号溶剂(料液比1:4)→超声辅助浸提(180 W,1 h)→离心分离→收集上清液→旋转蒸发脱溶→收集油样(浸提油茶籽油)。

新水法:新鲜油茶果→晾晒→脱蒲→干油茶籽→脱壳→粉碎→添加油茶籽粉质量15%~25%的水和2%~3%的提油助剂→揉搓、搅拌(50℃,50 min)→离心分离→收集油样(新水法油茶籽油)。

冷榨法:新鲜油茶果→晾晒→脱蒲→干油茶籽→粉碎→压榨→收集油样(冷榨油茶籽油)。

热榨法:新鲜油茶果→晾晒→脱蒲→干油茶籽→烘烤(150℃,30 min)→冷却→粉碎→压榨→收集油样(热榨油茶籽油)。

1.2.2 提油率的计算

参照 GB/T 14488.1—2008 测定油茶籽以及脱油饼粕的含油率,按下式计算提油率(Y)。

$$Y = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为油茶籽中的总油质量,g; m_2 为脱油饼粕的残油质量,g。

1.2.3 脂肪酸组成及含量测定

参考 Sodeifian 等^[14]的方法将油样甲酯化,再采用气相色谱法测定脂肪酸组成和含量。以脂肪酸的保留时间定性,按峰面积归一化法定量。

气相色谱条件:TR-FAME 柱(100 m × 0.25 mm × 0.2 μm);升温程序为100℃保持13 min,以10℃/min 升温至180℃保持6 min,接着以1℃/min 升温至200℃保持20 min,再以4℃/min 升温至230℃保持10.5 min;分流比100:1;检测器、进样口温度均为230℃;进样量1 μL。

1.2.4 生物活性成分含量的测定

参照 GB 5009.82—2016 测定生育酚含量;参照

LS/T 6120—2017 测定角鲨烯含量;参照 Dini 等^[15]的方法测定多酚含量。

1.2.5 体外抗氧化能力测定

1.2.5.1 DPPH 自由基清除能力

参照 Lee 等^[16]的方法并作改进。将油茶籽油配制成质量浓度分别为5.0、10.0、15.0、20.0、25.0、30.0 mg/mL 的油茶籽油无水乙醇溶液,分别取2.0 mL 油茶籽油无水乙醇溶液及2 mL 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液于试管中,摇匀后避光反应30 min,用无水乙醇作参比,在517 nm 下测定吸光度(A_i)。同时测定2.0 mL 0.1 mmol/L 的 DPPH 溶液与2 mL 无水乙醇混合液的吸光度(A_0),以及2.0 mL 样品溶液与2.0 mL 无水乙醇混合液的吸光度(A_j)。按下式计算 DPPH 自由基清除率(k)。

$$k = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0} \right) \times 100\% \quad (2)$$

1.2.5.2 ABTS 自由基清除能力

将5 mL 7.0 mmol/L ABTS 溶液与5 mL 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液等量混合,置于暗处反应12~16 h 得到 ABTS 储备液。使用前用无水乙醇稀释 ABTS 工作液,要求在734 nm 处吸光度为(0.70 ± 0.02)。使用无水乙醇梯度稀释油茶籽油样品,配制成浓度分别为5.0、10.0、15.0、20.0、25.0、30.0 mg/mL 的油茶籽油无水乙醇溶液,取2 mL 不同质量浓度的油茶籽油无水乙醇溶液加入到4 mL ABTS 工作液中,摇匀,室温下反应30 min,在734 nm 处测定吸光度(A_i)。同样的方法,4 mL ABTS 工作液和2 mL 无水乙醇反应后测定吸光度(A_0),4 mL 无水乙醇与2 mL 样品反应后测定吸光度(A_j)。按下式计算 ABTS 自由基清除率(k)。

$$k = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0} \right) \times 100\% \quad (3)$$

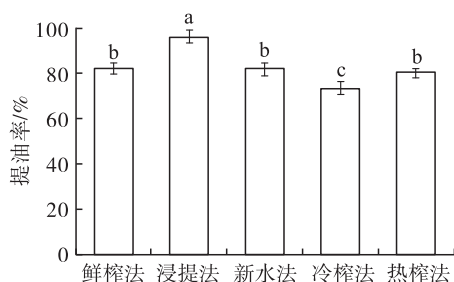
1.2.6 数据处理

采用 Excel 2013 处理数据,利用 Origin 2019 作图。

2 结果与讨论

2.1 不同工艺制取油茶籽油的提油率(见图1)

由图1可知,不同工艺制取油茶籽油的提油率存在一定的差异,其中浸提法的提油率最高((96.45 ± 3.02)%),鲜榨法((82.36 ± 2.24)%),新水法((81.91 ± 3.21)%) 和热榨法((80.34 ± 2.09)%) 的提油率没有显著差异,冷榨法的提油率最低((73.72 ± 2.76)%),但5种工艺的提油率均在73%以上,说明5种制油工艺均可进行产业化生产。



注:不同小写字母表示不同方法之间具有显著性差异 ($P < 0.05$);下同

图1 不同工艺制取油茶籽油的提油率

2.2 不同工艺制取的油茶籽油的脂肪酸组成(见表1)

由表1可知,5种工艺制取的油茶籽油的脂肪酸组成无明显差别,其中油酸含量在80.81%~82.37%之间,亚油酸含量在7.09%~8.24%之间,棕榈酸含量在7.45%~8.39%之间,硬脂酸含量在1.96%~2.15%之间,均符合GB/T 11765—2018油茶籽油中的脂肪酸组成特征要求,这为对不同工艺制取的油茶籽油进行自由基清除能力的比较提供了相同的脂肪酸组成基础。

表1 不同工艺制取的油茶籽油的脂肪酸组成

脂肪酸	鲜榨法	浸提法	新水法	冷榨法	热榨法
肉豆蔻酸(C14:0)	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.00
棕榈酸(C16:0)	8.39 ± 0.11	7.64 ± 0.06	7.68 ± 0.04	7.45 ± 0.02	7.57 ± 0.02
棕榈一烯酸(C16:1)	0.07 ± 0.01	0.03 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.03 ± 0.00	0.03 ± 0.00
硬脂酸(C18:0)	2.15 ± 0.05	2.08 ± 0.07	1.97 ± 0.02	1.96 ± 0.03	1.96 ± 0.03
油酸(C18:1)	80.81 ± 0.12	82.37 ± 0.08	81.30 ± 0.06	82.26 ± 0.12	81.86 ± 0.09
亚油酸(C18:2)	7.76 ± 0.04	7.09 ± 0.05	8.24 ± 0.04	7.44 ± 0.10	7.75 ± 0.02
亚麻酸(C18:3)	ND	ND	ND	0.02 ± 0.00	0.03 ± 0.00
花生酸(C20:0)	0.46 ± 0.02	0.51 ± 0.01	0.44 ± 0.04	0.41 ± 0.01	0.45 ± 0.02
花生一烯酸(C20:1)	0.35 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.36 ± 0.01	0.33 ± 0.02
SFA	11.02 ± 0.17	10.26 ± 0.15	10.12 ± 0.01	9.84 ± 0.01	10.00 ± 0.07
UFA	88.98 ± 0.16	89.73 ± 0.12	89.87 ± 0.00	90.10 ± 0.01	89.99 ± 0.09
MUFA	81.23 ± 0.13	82.64 ± 0.08	81.64 ± 0.06	82.65 ± 0.12	82.22 ± 0.09
PUFA	7.76 ± 0.04	7.09 ± 0.05	8.24 ± 0.04	7.46 ± 0.11	7.77 ± 0.00

注:ND.未检出;SFA.饱和脂肪酸;UFA.不饱和脂肪酸;MUFA.单不饱和脂肪酸;PUFA.多不饱和脂肪酸。

2.3 不同工艺制取的油茶籽油的生物活性成分含量

2.3.1 生育酚含量(见表2)

由表2可知,油茶籽油中的生育酚主要以 α -生育酚为主,而 β -、 γ -、 δ -生育酚含量极低。在5种工艺制取的油茶籽油中,新水法的生育酚含量最高,达(280.55 ± 1.64) mg/kg,其 α -生育酚含量显著高于其他工艺制取的油茶籽油;鲜榨法、冷榨法和热榨法的总生育酚含量接近,在233~244 mg/kg之间;而浸提法的生育酚含量极低,只有(17.10 ±

0.76) mg/kg。这可能是因为新水法是基于油茶籽仁中亲水性化合物的内聚力挤压而制油^[17],生育酚为主要存在于油茶籽仁中的油溶性物质,其在不断的搅拌和挤压过程中,被亲水性化合物排挤并溶于油中,从而随油一起从油茶籽中被挤压出来,而浸提法的取油力只有溶剂的溶解力,可能在较低浸提温度下,浸提溶剂对生育酚的溶解力远远小于仁中亲水性化合物对生育酚的排挤力和榨油机对生育酚的压榨力,因此浸提油茶籽油中的生育酚含量远远小于其他4种油茶籽油的生育酚含量。

表2 不同工艺制取的油茶籽油中生育酚含量

生育酚	鲜榨法	浸提法	新水法	冷榨法	热榨法
α -生育酚	223.53 ± 1.26 ^b	10.81 ± 0.85 ^c	263.77 ± 1.58 ^a	236.10 ± 2.05 ^b	230.71 ± 1.72 ^b
β -生育酚	5.00 ± 0.48 ^c	3.23 ± 0.69 ^c	8.84 ± 0.89 ^a	4.21 ± 0.67 ^d	5.84 ± 0.91 ^b
γ -生育酚	4.32 ± 0.52 ^b	2.22 ± 0.37 ^c	5.84 ± 0.65 ^a	2.61 ± 0.28 ^d	3.82 ± 0.54 ^c
δ -生育酚	1.23 ± 0.23 ^c	0.84 ± 0.41 ^d	2.10 ± 0.34 ^a	0.88 ± 0.05 ^d	1.39 ± 0.18 ^b
总生育酚	234.09 ± 1.09 ^b	17.10 ± 0.76 ^c	280.55 ± 1.64 ^a	243.86 ± 1.92 ^b	241.78 ± 1.20 ^b

2.3.2 角鲨烯含量(见图2)

由图2可知,5种工艺制取的油茶籽油中角鲨

烯含量均远大于团体标准T/LYCY 001—2020《特、优级油茶籽油》中特级油茶籽油角鲨烯含量(90

mg/kg)的规定,其中鲜榨法的油茶籽油中角鲨烯含量最高,为 (350.56 ± 7.62) mg/kg,新水法的最低,为 (249.99 ± 3.73) mg/kg,而浸提法、冷榨法、热榨法的角鲨烯含量没有显著差异,分别为 (275.08 ± 5.26) 、 (264.03 ± 4.58) 、 (261.15 ± 2.64) mg/kg。这可能是因为油茶籽油中角鲨烯含量受人榨料新鲜度、含壳量、预处理程度和温度的影响比较大^[18],鲜榨油茶籽油的入榨原料是鲜油茶籽带壳入榨,制油过程也没有受到高温的影响,故鲜榨油茶籽油的角鲨烯含量最高,而其他制油工艺用的油茶籽是经过干燥处理的干油茶籽,所以其角鲨烯含量明显小于鲜榨油茶籽油的。

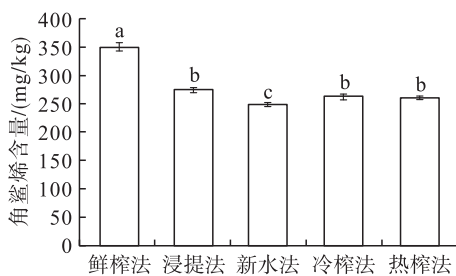


图2 不同工艺制取的油茶籽油中角鲨烯含量

2.3.3 多酚含量(见图3)

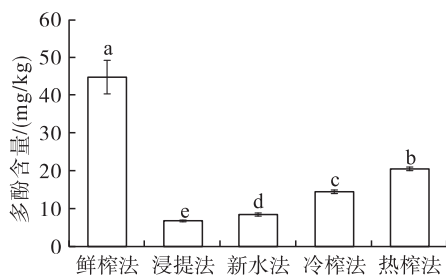


图3 不同工艺制取的油茶籽油中多酚含量

由图3可知,鲜榨法制取的油茶籽油多酚含量最高,为 (45.04 ± 4.50) mg/kg,热榨法的次之,为 (20.78 ± 0.49) mg/kg,浸提法的最低,为 (7.06 ± 0.03) mg/kg。这可能是因为鲜榨法的入榨原料为鲜油茶籽,鲜油茶籽壳中的多酚含量较高,从而使鲜榨油茶籽油的多酚含量最高;而其他制油工艺用的油茶籽是经过干燥处理的干油茶籽,热榨法在高温烘烤过程中钝化了多酚氧化酶而保护了多酚不被氧化^[19-20],新水法制取的油茶籽油多酚含量低于冷榨法和热榨法的,可能与新水法的原料为不带壳的油茶籽仁有关,而浸提法的多酚含量最低可能是因为多酚微溶于浸提溶剂所致。

2.4 体外抗氧化能力

2.4.1 清除 DPPH 自由基的能力(见图4)

由图4可见,在5~30 mg/mL 质量浓度范围内,不同工艺制取的油茶籽油对 DPPH 自由基的清

除率与其质量浓度都呈正相关。在相同质量浓度下,5种工艺制取的油茶籽油对 DPPH 自由基的清除率大小顺序为鲜榨油茶籽油 > 热榨油茶籽油 > 冷榨油茶籽油 > 新水法油茶籽油 > 浸提油茶籽油;同时,随着质量浓度的增大,5种油茶籽油对 DPPH 自由基的清除率差异也增大。油茶籽油中的生育酚、角鲨烯和多酚等生物活性成分均具有抗氧化作用,虽然具体影响机理还需进一步研究,但已有研究表明,生育酚和角鲨烯所起的抗氧化作用比较有限,而多酚对油茶籽油的抗氧化性具有主要影响^[21],本文采用5种工艺制取的油茶籽油的抗氧化强弱顺序与其多酚含量的高低顺序一致也印证了这一点,同时这一研究结果与 Ginocchio 等^[22]的结果一致。

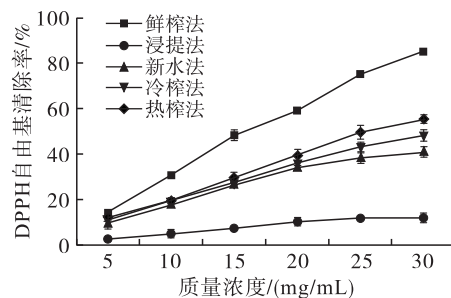


图4 不同工艺制取的油茶籽油对 DPPH 自由基的清除能力

2.4.2 清除 ABTS 自由基的能力(见图5)

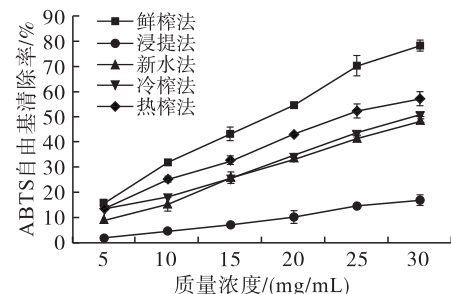


图5 不同工艺制取的油茶籽油对 ABTS 自由基的清除能力

由图5可知,在5~30 mg/mL 质量浓度范围内,5种工艺制取的油茶籽油对 ABTS 自由基均具有清除作用,且对 ABTS 自由基的清除率与油茶籽油质量浓度呈现良好的线性增长关系。在相同质量浓度下,5种工艺制取的油茶籽油对 ABTS 自由基的清除率大小顺序为鲜榨油茶籽油 > 热榨油茶籽油 > 冷榨油茶籽油 > 新水法油茶籽油 > 浸提油茶籽油,这与 DPPH 自由基清除率实验结果一致。这可能是因为油茶籽油中多酚等活性成分具有很强的氢原子和电子供体能力,ABTS 自由基与一个分子的电子或氢原子生成半醌自由基,半醌自由基与 ABTS 自由基的另一分子反应,形成多酚衍生物,从而达到清除 ABTS 自由基的效果^[23],所以油茶籽油中多酚含量越多,清除 ABTS 自由基能力越强。

3 结论

(1)不同制油工艺对油茶籽油的脂肪酸组成没有明显的影响,但是对于提油率和生物活性成分含量均有一定的影响。浸提法的提油率最高,鲜榨法制取的油茶籽油中角鲨烯和多酚含量均最高,而热榨法制取的油茶籽油中多酚含量仅低于鲜榨法的,新水法制取的油茶籽油中生育酚含量最高。

(2)在相同的油茶籽油质量浓度下,不同工艺制取的油茶籽油对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除率大小顺序为鲜榨油茶籽油 > 热榨油茶籽油 > 冷榨油茶籽油 > 新水法油茶籽油 > 浸提油茶籽油。

参考文献:

- [1] 何东平,相海. 油茶籽加工技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2015.
- [2] WANG X, ZENG Q, VERARDO V, et al. Fatty acid and sterol composition of tea seed oils: their comparison by the “Fancy Tiles” approach [J]. *Food Chem*, 2017, 233: 302 – 310.
- [3] 刘婷婷,吴相欢,田民义,等. 不同方法提取茶油对便秘小鼠的通便作用研究[J]. *粮食与油脂*,2020,33(12): 41 – 44.
- [4] 张智敏,吴苏喜,刘瑞兴. 制油工艺对油茶籽油营养品质的影响[J]. *食品科学*,2013,34(11):268 – 272.
- [5] GUO L, GUO Y, WU P, et al. Camellia oil lowering blood pressure in spontaneously hypertension rats [J/OL]. *J Funct Foods*, 2020, 70: 103915 [2021 – 08 – 06]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103915>.
- [6] 王雁灿,杨灿,唐小武,等. 油茶籽的营养价值及其应用现状[J]. *畜牧与饲料科学*,2017,38(6):29 – 32.
- [7] WANG X, CONTRERAS M, XU D, et al. New insights into free and bound phenolic compounds as antioxidant cluster in tea seed oil: distribution and contribution [J/OL]. *LWT – Food Sci Technol*, 2021, 136: 110315 [2021 – 08 – 06]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110315>.
- [8] 张志英. 山茶油抗氧化防辐射活性成分及其机理的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [9] ZENG M, LI M, ZHANG B, et al. Camellia oil inhibits oxidative stress and inflammatory response to ameliorate LPS – induced acute kidney injury via downregulation of TLR4 – mediated activation of the NF – κ B/AP – 1/IRF3 and NLRP3 pathways [J/OL]. *J Funct Foods*,2020, 68: 103908 [2021 – 08 – 06]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103908>.
- [10] 邹清容,禰丽萍. 茶油抗炎、抗菌作用的临床应用进展 [J]. *中国民族民间医药*,2013,22(12):12 – 13.
- [11] 谭传波,田华,赖琼玮,等. 不同工艺山茶油中生物活性物质含量的比较[J]. *中国油脂*,2018,43(12):41 – 44,49.
- [12] 谭传波,刘想,周刚平,等. 鲜榨山茶油质量与安全性研究[J]. *粮食科技与经济*,2019,44(11):65 – 67.
- [13] WU W, YU M. Development of a new aqueous procedure for efficiently extracting high quality *Camellia oleifera* oil [J/OL]. *Ind Crops Prod*, 2019, 138: 111583 [2021 – 08 – 06]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111583>.
- [14] SODEIFIAN G, SAJADIAN S A. Antioxidant capacity, physicochemical properties, thermal behavior, and oxidative stability of nectarine (*Prunus persica* var. *nucipersica*) kernel oil [J/OL]. *J Food Process Pres*, 2021, 45(2): e15198 [2021 – 08 – 06]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15198>.
- [15] DINI I, SECCIA S, SENATORE A, et al. Development and validation of an analytical method for total polyphenols quantification in extra virgin olive oils [J]. *Food Anal Methods*, 2020, 13(2):457 – 464.
- [16] LEE J, CHUNG H H, CHANG P, et al. Development of a method predicting the oxidative stability of edible oils using 2,2 – diphenyl – 1 – picrylhydrazyl (DPPH) [J]. *Food Chem*,2007,103(2):662 – 669.
- [17] TU J C, WU W B, YANG J F, et al. A method of producing edible oils with high quality by water[J/OL]. *J Food Process Pres*, 2017,41(6):13280 [2021 – 08 – 06]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13280>.
- [18] 朱云. 植物油中角鲨烯含量及其在油脂加工与使用过程中的变化[J]. *中国油脂*,2019,44(12):136 – 138.
- [19] 王屋梁,李凯,杨晓宇,等. 制油工艺对花生油品质的影响[J]. *中国油脂*,2019,44(9):21 – 25,28.
- [20] FANG X, DU M, LUO F, et al. Physicochemical properties and lipid composition of camellia seed oil (*Camellia oleifera* Abel.) extracted using different methods [J]. *Food Sci Technol Res*, 2015, 21(6): 779 – 785.
- [21] 郭咪咪,薛雅琳,张东,等. 油茶籽油氧化稳定性分析研究综述[J]. *粮油食品科技*,2017,25(4):30 – 34.
- [22] GINOCCHIO R, MUÑOZ – CARVAJAL E, VELÁSQUEZ P, et al. Mayten tree seed oil: nutritional value evaluation according to antioxidant capacity and bioactive properties [J/OL]. *Foods*, 2021, 10(4):729 [2021 – 08 – 06]. <https://doi.org/10.3390/foods10040729>.
- [23] OSMAN A M, WONG K, FERNYHOUGH A. ABTS radical – driven oxidation of polyphenols: isolation and structural elucidation of covalent adducts [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2006, 346(1):321 – 329.