

车厘子核油的制备及品质分析

崔芸¹, 黄逸彤¹, 李文骏¹, 钟雅琦¹, 张依曼¹, 毛国兴¹, 刘祎帆^{1,2}, 马路凯^{1,2}, 罗宏炼³

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广州 510225; 2. 仲恺农业工程学院现代农业工程创新研究院, 广州 510225; 3. 广东省梅州市农业信息中心, 广东 梅州 514021)

摘要:以车厘子核为原料, 采用索氏抽提法提取车厘子核油, 并对其理化性质、脂肪酸组成、脂溶性营养成分、抗氧化活性及挥发性成分进行分析。结果表明:车厘子核油得率为(10.13±0.19)%, 其酸值、过氧化值均符合 GB 2716—2018 要求;车厘子核油中有 8 种脂肪酸, 主要是油酸(58.69%)和亚油酸(26.03%);车厘子核油富含甾醇, 含量高达 530.04 mg/100 g, 以 β -谷甾醇(428.00 mg/100 g)为主;车厘子核油抗氧化能力强, 对 DPPH 自由基和羟自由基均有较好的清除效果, 其 IC₅₀ 值分别为 12.51 mg/mL 和 1.92 mg/mL;车厘子核油中检出 58 种挥发性成分, 以醛类物质(44.27%)和烃类物质(28.44%)为主, 有特殊的果香味。

关键词:车厘子核油;理化性质;脂肪酸组成;营养成分;抗氧化活性;挥发性成分

中图分类号:TS224;TS227

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2022)06-0029-06

Preparation and quality analysis of cherry kernel oil

CUI Yun¹, HUANG Yitong¹, LI Wenjun¹, ZHONG Yaqi¹, ZHANG Yiman¹,
MAO Guoxing¹, LIU Huifan^{1,2}, MA Lukai^{1,2}, LUO Honglian³

(1. Guangdong Key Laboratory of Science and Technology of Lingnan Specialty Food, College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Innovation Research Institute of Modern Agricultural Engineering, Zhongkai University of Agricultural and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. Guangdong Province Meizhou Agricultural Information Center, Meizhou 514021, Guangdong, China)

Abstract: The cherry kernel oil was extracted by Soxhlet method with cherry kernel as raw material, and its physicochemical properties, fatty acid composition, fat-soluble nutritional component, antioxidant activity and volatile components were analyzed. The results showed that the yield of cherry kernel oil was (10.13±0.19)%, and the acid value and peroxide value of cherry kernel oil met the requirement of GB 2716-2018. There were eight kinds of fatty acids in the cherry kernel oil, mainly oleic acid (58.69%) and linoleic acid (26.03%). Cherry seed oil was rich in sterols, which reached 530.04 mg/100 g, and

β -sitosterol was dominant (428.00 mg/100 g).

Cherry kernel oil had strong antioxidant ability and had good scavenging effects on DPPH free radical and hydroxyl free radical, and their IC₅₀ values were 12.51 mg/mL and 1.92 mg/mL, respectively. There were 58 volatile components detected in the cherry kernel oil, and aldehydes (44.27%) and hydrocarbons (28.44%) were the main compounds. The cherry kernel oil had special fruit flavor.

Key words: cherry kernel oil; physicochemical property; fatty acid composition; nutritional component; antioxidant activity; volatile component

收稿日期:2021-06-28;修回日期:2022-02-25

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1002300);国家自然科学基金项目(32001622);广东省自然科学基金面上项目(2021A1515011060);广东省区域联合基金青年基金项目(2019A1515110823);广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室开放基金(2021B1212040013);广州市科技特派员项目(GZKTP201937);广东省普通高校青年创新人才项目(KA2001957);河源市科技计划项目(2019003);2021年仲恺农业工程学院创新创业训练计划项目(X202111347157)

作者简介:崔芸(1993),女,在读硕士,研究方向为油脂加工与安全(E-mail)1360850777@qq.com。

通信作者:马路凯,副教授,博士(E-mail)m1991lk@163.com;罗宏炼,高级农艺师(E-mail)13751997497@139.com。

车厘子 (Cherries) 又名甜樱桃、大樱桃、西洋樱桃, 比较常见的品种有美早、红灯、宾莹 (Bing) 和霖宝 (Lam - bort) 等^[1], 其色泽红艳, 味道甘甜, 富含维生素 A、花青素及铁元素等营养物质, 具有较高的营养价值^[2]。车厘子原产于国外, 近年来国内的种植规模及产量逐年增加^[3]。伴随着车厘子消费量的增加, 产生了大量的果核等副产物, 这些副产物大部分被直接丢弃, 造成资源浪费。研究发现, 车厘子核中富含油脂、多糖、黄酮、多酚类物质^[4]。目前关于车厘子核的研究主要集中在水溶性活性物质提取及其功能作用等方面^[4-5], 关于车厘子核油及其品质的研究相对较少。

本文以美早车厘子核为原料, 采用索氏抽提法提取车厘子核油, 并对油脂的理化性质、脂肪酸组成、脂溶性营养成分、抗氧化活性、挥发性成分等进行研究, 以期车厘子核油的开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

市售美早车厘子, 购自山东烟台, 取核, 清洗后烘干、粉碎、过 0.425 mm (40 目) 筛, 待用。

无水乙醇、正己烷、碘化钾、冰乙酸、氢氧化钾等均为分析纯; 1,1 - 二苯基苦基苯肼 (DPPH), α -、 β -、 γ -、 δ - 生育酚标准品, Sigma 公司; 角鲨烯标准品, 上海千午生物科技有限公司。

FA3204B 电子天平; YB - 700A 高速多功能粉碎机; 101 - OA 型电热鼓风干燥; Soxtec FOSS 脂肪提取器, 福斯分析有限公司; RV 10 KA 旋转蒸发器; UV - 1780 紫外分光光度计, 岛津公司; 7890A - 5975C 气相色谱质谱联用仪、HP - 5MS 气相色谱柱 (60 m \times 250 μ m \times 0.25 μ m), 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 车厘子核油的提取

采用索氏抽提法, 以正己烷为提取溶剂, 在料液比 1:10、温度 70 $^{\circ}$ C 条件下, 抽提 3~4 次, 过滤, 旋转蒸发除去溶剂即得车厘子核油。车厘子核油的得率 (Y) 采用式 (1) 计算。

$$Y = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中: W_1 为车厘子核油的质量; W_2 为车厘子核粉的质量。

1.2.2 理化指标测定

车厘子核油酸值、过氧化值、茴香胺值的测定分别参考 GB 5009.229—2016、GB 5009.227—2016、GB/T 24304—2009。

共轭二烯值的测定参考文献 [6] 的方法并稍作修改。称取适量油样 (0.05~0.20 g) 于小烧杯中, 用异辛烷溶解并定容至 50 mL, 于 232 nm 波长处测定吸光度, 以异辛烷溶剂作空白。采用式 (2) 计算共轭二烯值。

$$E_{1\text{cm}}^{1\%} = \frac{A_{\lambda}}{C_L \times l} \quad (2)$$

式中: $E_{1\text{cm}}^{1\%}$ 为样品的共轭二烯值; A_{λ} 为样品在 232 nm 波长处的吸光度; C_L 为样品的质量浓度, g/100 mL; l 为石英比色皿的长度, 1 cm。

1.2.3 脂肪酸组成的测定

参考文献 [7], 采用气相色谱 - 质谱法 (GC - MS) 测定车厘子核油脂肪酸组成。

甲酯化: 取 0.5 g 车厘子核油放入 50 mL 烧瓶中, 加入 6 mL 0.5% 氢氧化钠 - 甲醇溶液反应 10 min, 之后加入 7 mL 15% 三氟化硼 - 甲醇溶液反应 1 min, 最后加入 3 mL 正己烷旋涡振荡 2 min, 加入 4 mL 饱和氯化钠溶液, 以 3 000 r/min 离心 5 min 后吸出上清液, 使用 0.22 μ m 微孔滤膜过滤, 供 GC - MS 分析。

GC 条件: DB - 1 毛细管柱 (30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μ m); 升温程序为柱温 100 $^{\circ}$ C 保持 5 min, 以 10 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 200 $^{\circ}$ C 保持 5 min, 再以 5 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 220 $^{\circ}$ C 并保持 10 min; 进样口温度 220 $^{\circ}$ C; 载气 (He) 流量 1.0 mL/min; 进样量 0.5 mL。

MS 条件: EI 离子源, 电子能量 70 eV, 离子源温度 350 $^{\circ}$ C。

经 NIST 质谱库检索匹配, 以不低于 90% 的匹配度确定各脂肪酸组分, 采用峰面积归一化法进行定量分析。

1.2.4 生育酚、角鲨烯、甾醇含量测定

生育酚、角鲨烯、甾醇含量的测定分别参考 GB 5009.82—2016、LS/T 6120—2017 和 GB/T 25223—2010。

1.2.5 抗氧化活性测定

DPPH 自由基清除率测定参考文献 [7], 用无水乙醇将车厘子核油配制成质量浓度为 100 mg/mL

的样品溶液,分别取0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL 车厘子核油乙醇溶液于具塞试管中,用无水乙醇定容至10 mL,再加入5 mL 0.2 mmol/L 的DPPH 溶液,混匀避光反应30 min,于517 nm 处测吸光度(A_1)。以95%乙醇代替样品溶液,按上述操作测定吸光度(A_0),以 V_c 、TBHQ 为阳性对照。按式(3)计算DPPH 自由基清除率(Y_1)。

$$Y_1 = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100\% \quad (3)$$

羟自由基清除率测定参考文献[8],分别取质量浓度为100 mg/mL 的车厘子核油乙醇溶液0.02、0.04、0.06、0.08、0.10、0.12、0.14 mL 于具塞试管中,用无水乙醇定容至10 mL,依次加入1 mL 6 mmol/L $FeSO_4$ 溶液、1 mL 6 mmol/L 水杨酸乙醇溶液和1 mL 8 mmol/L H_2O_2 溶液,于37 °C 水浴加热30 min,于510 nm 波长处测定吸光度(A)。以去离子水代替样品溶液,按上述操作测定吸光度(A_1),以去离子水代替样品溶液和 H_2O_2 ,按上述操作测定吸光度(A_0),以 V_c 、TBHQ 为阳性对照。按式(4)计算羟自由基清除率(Y_2)。

$$Y_2 = (A_1 - A) / (A_1 - A_0) \times 100\% \quad (4)$$

1.2.6 挥发性成分的测定

1.2.6.1 GC-MS 测定挥发性成分

参考文献[9]的方法,采用GC-MS 测定样品的挥发性成分。

称取5 g 样品置于20 mL 萃取瓶中,加入100 μ L 0.05 mg/mL 2,4,6-三甲基吡啶作为内标物,密封,置于60 °C 水浴中,500 r/min 磁力搅拌,平衡20 min 后插入萃取针萃取30 min。萃取针使用前,在GC 进样口250 °C 活化20 min。

GC 条件:进样口温度250 °C;接口温度250 °C;载气为He(99.99%),流速1.5 mL/min;不分流进样;升温程序为初始温度50 °C,保持1 min,以5 °C/min 升温到100 °C,保持2 min,以4 °C/min 升温到180 °C,保持3 min,以5 °C/min 升温到250 °C,保持10 min;进样量1 μ L。

MS 条件:离子源温度230 °C,四级杆温度150 °C,EI 电离能量70 eV,全扫描模式,质量扫描范围(m/z)50 ~ 550 u。

1.2.6.2 电子鼻检测

样品前处理:称取0.5 g 油样置于样品瓶并旋紧瓶盖,静置30 min 使瓶内气体达到平衡。电子鼻检测条件:检测时间70 s,传感器清洗时间100 s,数据采集时间110 s。

用电子鼻检测样品3次,电子鼻传感器所对应香气类型如表1所示。

表1 电子鼻传感器所对应香气类型

传感器	性能描述	传感器	性能描述
W1C	对芳香族敏感	W5S	对氮氧化物敏感
W3C	对氨及芳香成分敏感	W6S	对氢化物敏感
W5C	对烯烃及芳香分子敏感	W1S	对甲烷敏感
W1W	对硫化物敏感	W2S	对乙醇及部分芳香族敏感
W2W	对有机硫化物敏感	W3S	对烷烃及脂肪族敏感

1.2.7 数据处理

所有实验重复3次取平均值,利用Excel、SPSS 22.0 进行数据整理分析,Origin 2018 作图。

2 结果与分析

2.1 车厘子核油得率及基本理化指标

车厘子核油的得率及基本理化指标如表2所示。由表2可知,以正己烷为溶剂提取的车厘子核油得率为(10.13 ± 0.19)%。车厘子核油的酸值、过氧化值均符合GB 2716—2018 要求,茴香胺值较低,表明油脂品质较好^[10]。车厘子核油的共轭二烯值为1.21 ± 0.02。

表2 车厘子核油的得率及基本理化指标

项目	指标
得率/%	10.13 ± 0.19
酸值(KOH)/(mg/g)	0.24 ± 0.08
过氧化值/(mmol/kg)	1.98 ± 0.36
茴香胺值	0.75 ± 0.05
共轭二烯值	1.21 ± 0.02

2.2 车厘子核油的脂肪酸组成

车厘子核油的脂肪酸组成如表3所示。

表3 车厘子核油的脂肪酸组成 %

脂肪酸	含量	脂肪酸	含量
棕榈酸	8.03 ± 0.17	二十碳烯酸	0.97 ± 0.09
硬脂酸	3.73 ± 0.11	亚油酸	26.03 ± 0.21
花生酸	1.72 ± 0.08	饱和脂肪酸	14.31
二十二烷酸	0.42 ± 0.04	单不饱和脂肪酸	59.66
木焦油酸	0.41 ± 0.01	多不饱和脂肪酸	26.03
油酸	58.69 ± 0.42		

由表3可知:车厘子核油主要有8种脂肪酸,其中饱和脂肪酸有5种,含量为14.31%,以棕榈酸、硬脂酸为主;不饱和脂肪酸有3种,含量为85.69%,主要由油酸与亚油酸组成。油酸与亚油酸有抑制胆固

醇合成、调节血压等功能^[11-12]。车厘子核油含有较高含量的油酸和亚油酸,表明其具有较高的营养价值。

2.3 车厘子核油的脂溶性营养成分

车厘子核油中脂溶性营养成分含量的测定结果如表4所示。

表4 车厘子核油的脂溶性营养成分含量

脂溶性营养成分	含量
谷甾醇/(mg/100 g)	81.20 ± 1.23
β -谷甾醇/(mg/100 g)	428.00 ± 0.98
菜油甾醇/(mg/100 g)	18.40 ± 1.11
菜油甾烷醇/(mg/100 g)	2.44 ± 0.20
角鲨烯/%	0.036 ± 0.020

由表4可知,车厘子核油中的脂溶性营养成分主要为甾醇和角鲨烯。另外,检测结果表明,车厘子核油中生育酚含量极低,低于检出限(120 μ g/100 g)。

植物甾醇是天然存于植物油中的一种生物活性物质^[13],人体自身无法合成甾醇,通过膳食获取是唯一来源^[14]。车厘子核油中含有4种植物甾醇,分别为谷甾醇、 β -谷甾醇、菜油甾醇与菜油甾烷醇,总含量为530.04 mg/100 g,其中 β -谷甾醇含量最高,达428.00 mg/100 g,与常见植物油如大豆油(118.42 mg/100 g)^[15]、菜籽油(395.70 mg/100 g)^[16]、橄榄油(207 mg/100 g)^[17]相比,其含量相对较高。 β -谷甾醇具有抗氧化、抗炎、降低胆固醇、抗癌等功效^[18-19]。因此,富含 β -谷甾醇的车厘子核油可作为人们日常获取甾醇的来源之一。

车厘子核油中角鲨烯含量为0.036%。角鲨烯是一种长链三萜类化合物,是天然的抗氧化剂^[20]。角鲨烯具有抗炎、增强免疫屏障等作用,还可以预防治疗脂溢性皮炎、痤疮等皮肤疾病^[21]。

2.4 车厘子核油的抗氧化活性

车厘子核油对DPPH自由基和羟自由基的清除效果分别如图1、图2所示。

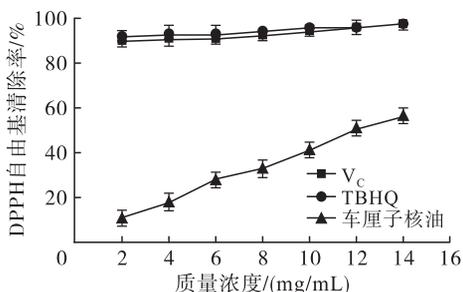


图1 车厘子核油对DPPH自由基的清除效果

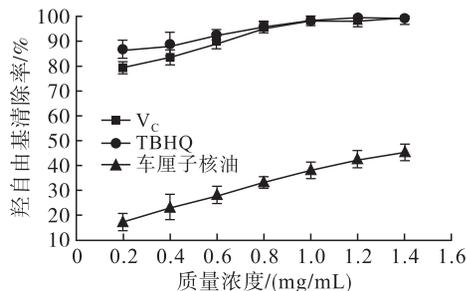


图2 车厘子核油对羟自由基的清除效果

由图1可知,在质量浓度2~14 mg/mL范围内, V_c 与TBHQ的DPPH自由基清除率保持在90%以上。车厘子核油的DPPH自由基清除率随着其质量浓度的增大而增大,在质量浓度为14 mg/mL时,车厘子核油的DPPH自由基清除率达到56.14%。车厘子核油清除DPPH自由基的 IC_{50} 值为12.51 mg/mL。

由图2可知, V_c 、TBHQ和车厘子核油的羟自由基清除能力均随其质量浓度升高而增加,在质量浓度为1.4 mg/mL时,车厘子核油的羟自由基清除率达到45.11%。车厘子核油清除羟自由基的 IC_{50} 值为1.92 mg/mL。

总体来看,车厘子核油对DPPH、羟自由基清除能力低于 V_c 和TBHQ。

2.5 车厘子核油的挥发性成分

车厘子核油的挥发性物质组成及相对含量如表5所示。

表5 车厘子核油的挥发性物质组成及相对含量

化合物	气味	相对含量/%
烃类		
戊烷	芳香	15.75
十二甲基环六硅氧烷	无臭	3.28
十四甲基环七硅氧烷	无臭	3.17
十六烷基环八硅氧烷	无臭	1.28
十甲基环五硅氧烷	无臭	1.09
正十六烷	无臭	0.86
γ -衣兰油烯	无臭	0.52
十八甲基环九硅氧烷	无臭	0.48
十四烷	无臭	0.36
甲基环丙烷	无臭	0.23
2-甲基癸烷	无臭	0.23
α -瑟林烯	无臭	0.22
二甲基二甲氧基硅烷	无臭	0.21
3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	无臭	0.18
α -愈创烯	无臭	0.24
二十甲基环十硅氧烷	无臭	0.21
十三烷	芳香	0.13

续表 5

化合物	气味	相对含量/%
酮类		
4-羟基-2-甲基-2(1H)-吡啶酮	无臭	1.93
2-氨基-1,5-二氢-4H-咪唑-4-酮	无臭	1.57
4-庚酮	果香、药香	1.49
3-辛烯-2-酮	泥土、果香	1.22
2-甲基-3-庚酮	无臭	0.63
5-十一碳烯-4-酮	无臭	0.37
醛类		
己醛	青草、果香	9.39
己醛二甲基乙缩醛	无臭	7.03
辛醛	柠檬、青草	4.12
反-2-辛烯醛	青草、油脂	3.65
戊醛	脂肪	3.39
反,反-2,4-壬二烯醛	花香、果香	3.27
反-2-庚烯醛	青草	2.82
反,反-2,4-癸二烯醛	肉香、鸡油香	2.72
苯甲醛	焦糖、油脂	2.65
壬醛	油脂、甜橙	1.44
反-2-癸烯醛	家禽、橙子香	1.40
壬醛二甲缩醛	无臭	0.65
2,4-壬二烯醛	脂肪、坚果、紫罗兰叶	0.63
癸醛	奶香、鱼腥	0.47
反-2-壬烯醛	啤酒	0.30
辛醛二甲缩醛	青草、柑橘	0.20
3,5-二甲基苯甲醛	无臭	0.14
酯类		
苯乙酸异戊酯	可可豆、焦油	2.95
10-十一烯酸甲酯-3-庚烯-4-内酯	无臭	1.63
乙酸龙脑酯	松木、樟脑	1.31
4-环己酮羧酸甲酯	无臭	0.83
己酸甲酯	菠萝、杏子	0.82
乐杀螨	轻微芳香	0.74
苯乙酸甲酯	蜜香	0.74
2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇双异丁酸酯	无臭	0.68
棕榈酸甲酯	无臭	0.51
邻苯二甲酸二丁酯	芳香	0.50
醇类		
苯甲醇	杏仁、蔗糖	0.75
顺-3-甲基-3-戊烯-5-醇	无臭	0.74
2-甲基-2-丁烯-1-醇	无臭	0.45
反-6-甲基-2-庚烯-4-醇	无臭	0.13

续表 5

化合物	气味	相对含量/%
酸类		
辛酸	肥皂、腐败	0.43
杂环类		
2-正戊基呋喃	豆子、果香	5.49
2-丁基呋喃	无臭	1.27
1,2,3,5,6,7,8,8a-八氢-1,4-二甲基-7-(1-甲基乙炔基)-[1S-(1 α ,7 α ,8 $\alpha\beta$)]-奥甘菊环	无臭	0.11

由表 5 可知,车厘子核油共检出 58 种匹配度大于 70% 的挥发性物质,分别是烃类(17 种)、醛类(17 种)、酯类(10 种)、酮类(6 种)、醇类(4 种)、杂环类(3 种)、酸类(1 种)。醛类、烃类是车厘子核油中主要的挥发性物质,相对含量分别为 44.27%、28.44%,其次是酯类(10.71%)、酮类(7.21%)、杂环类(6.87%)化合物,含量较高的有戊烷(15.75%)、己醛(9.39%)、己醛二甲基乙缩醛(7.03%)、2-正戊基呋喃(5.49%)、辛醛(4.12%)、反-2-辛烯醛(3.65%)等。醛类物质通常由脂肪酸氧化分解生成^[22],其阈值低,对气味贡献较大;但烃类物质阈值高,对气味贡献较小。

对 58 种挥发性成分进行 PCA 分析,结果发现,车厘子核油的挥发性成分主要分为 3 个主成分,各成分贡献率分别为 48.2%、12.9%、11.8%,累积贡献率为 72.9%,基本反映主要信息。PCA 分析表明,构成 PC1 的是戊烷,构成 PC2 的是己醛,构成 PC3 的主要是己醛二甲基乙缩醛、辛醛、反-2-辛烯醛、十二甲基环六硅氧烷、十四甲基环七硅氧烷、戊醛、反,反-2,4-壬二烯醛、2-正戊基呋喃等。因此,车厘子核油的主要挥发性物质是醛类物质,呈现特殊的果香味。

车厘子核油的电子鼻雷达图如图 3 所示。

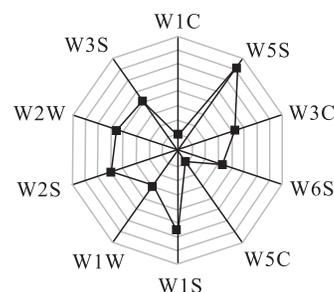


图 3 车厘子核油的电子鼻雷达图

从图 3 可以看出,车厘子核油对 W5S(对氮氧化合物敏感)和 W1S(对甲烷敏感)的响应值

明显较高,其次是 W2S(对乙醇及部分芳香族敏感)、W2W(对有机硫化物敏感)和 W3S(对烷烃及脂肪族敏感),对 W1C(对芳香族敏感)、W5C(对烯烃及芳香分子敏感)、W6S(对氢化物敏感)、W3C(对氮及芳香成分敏感)及 W1W(对硫化物敏感)的响应值较小,说明车厘子核油中含芳香族气味较少。

3 结 论

采用索氏抽提法提取车厘子核油,车厘子核油得率为(10.13 ± 0.19)%,酸值、过氧化值均符合 GB 2716—2018 要求。车厘子核油富含不饱和脂肪酸,主要是油酸(58.69%)与亚油酸(26.03%);此外,车厘子核油还含有较高含量的甾醇,以 β -谷甾醇为主(428.00 mg/100 g),角鲨烯含量(0.036%)较低,生育酚含量低于检出限。车厘子核油抗氧化性较好,对 DPPH 自由基和羟自由基清除能力较好,其 IC₅₀值分别为 12.51、1.92 mg/mL。车厘子核油含有 58 种挥发性成分,主要是醛类物质(44.27%)和烃类物质(28.44%),有特殊的果香味。

参考文献:

- [1] 罗克明,穆雪,王爱华,等. 贵州大樱桃产业发展现状与对策[J]. 耕作与栽培,2022,42(1):138-140.
- [2] 沈媛. 樱桃果实营养成分和花青素的研究[D]. 南京:南京林业大学,2014.
- [3] 李明,刘聪利,齐希梁,等. 中国甜樱桃产业的品种现状、需求特点与未来育种目标[J]. 落叶果树,2019,51(3):5-7.
- [4] 任晓丹. 甜樱桃核化学成分及生物活性的研究[D]. 天津:天津科技大学,2015.
- [5] 郭遥遥,刘洋,王沙沙,等. 樱桃核提取物抗疲劳、耐缺氧及镇痛作用的研究[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版),2018,39(4):28-32.
- [6] 丁俭,齐宝坤,王立敏,等. 5 种不同植物油脂氧化程度与脂肪酸比例变化的相关性研究[J]. 中国粮油学报,2017,32(8):84-91.
- [7] 马路凯. 植物油中丙二醛、4-羟基-2-己烯醛和 4-羟基-2-壬烯醛的热响应机制研究[D]. 广州:华南理工大学,2019.
- [8] 韩子晗,孙尧,杨富雅,等. 林蛙卵油的提取、成分分析及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技,2020,41(11):60-65.
- [9] 吴忠红,谭慧林,赵雅霞,等. GC-MS 结合电子鼻分析甜瓜籽油挥发性风味成分[J]. 中国油脂,2020,45(12):28-33.
- [10] 葛宇飞,朱冰瑶,方晶晶,等. 龙眼核油脂成分及其抗氧化活性分析[J]. 中国粮油学报,2020,35(10):91-95.
- [11] CHANDRA A, RØSJO H, SVENSSON M, et al. Plasma linoleic acid levels and cardiovascular risk factors: results from the Norwegian ACE 1950 Study [J]. Eur J Clin Nutr, 2020, 74(12):1707-1717.
- [12] 赵志浩,石爱民,王强. 高油酸花生的研究进展与发展趋势[J]. 粮食与油脂,2019,32(9):1-4.
- [13] FAIZAH J N, NOORSHAMSIANA A W, HASAMUDIN W, et al. Production of phytosterols mix from palm fatty acid distillate (PFAD) through multi-staged extraction processes[J/OL]. IOP Conf Series Mat Sci Eng, 2020, 736: 022047 [2021-06-01]. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/2/022047>.
- [14] 张志旭,昌超,刘东波. 天然植物甾醇的来源、功效及提取研究进展[J]. 食品与机械,2014,30(5):288-293,298.
- [15] 王艳,代资举,徐文,等. 转基因与非转基因大豆油营养成分比较分析[J]. 中国食物与营养,2021,27(2):45-49.
- [16] 张欢欢,高飞虎,黄桃翠,等. 预处理技术对冷榨双低菜籽油中脂类伴随物含量的影响[J]. 食品科学,2020,41(8):57-61.
- [17] SEÇMELER Ö, ÜSTÜNDAĞ G. Partitioning of predominant lipophilic bioactives (squalene, α -tocopherol and β -sitosterol) during olive oil processing [J]. Int J Food Sci Technol, 2018, 54(5):1609-1616.
- [18] WANG W F, XU L, ZOU Y X, et al. Comprehensive identification of principal lipid classes and tocochromanols in silkworm (*Antheraea pernyi* and *Bombyx mori*) pupae oils[J/OL]. Eur J Lipid Sci Technol, 2020, 122(2):1900280 [2021-06-01]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900280>.
- [19] WANG Z, ZHAN Y, XU J, et al. β -Sitosterol reverses multidrug resistance via BCRP suppression by inhibiting the p53-MDM2 interaction in colorectal cancer [J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(12):3850-3858.
- [20] 吴优. 软枣猕猴桃精油和角鲨烯的提取纯化及生物活性研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2020.
- [21] LOU-BONAFONTE J M, MARTÍNEZ-BEAMONTE R, SANCLEMENTE T, et al. Current insights into the biological action of squalene [J]. Mol Nutr Food Res, 2018, 62(15):1-16.
- [22] 杨春英,刘学铭,王思远,等. SPME-GC/MS 分析植物油挥发性风味成分[J]. 中国粮油学报,2015,30(10):127-134.