

橄榄多酚的化学组成、药理作用及提取技术研究进展

程子良, 祁惠芳, 黄鹏飞, 霍焕燃, 孔维宝, 马君义, 王俊龙

(西北师范大学 生命科学学院, 兰州 730070)

摘要: 橄榄多酚是从橄榄果实和橄榄叶中提取的酚类抗氧化物质的总称, 富含没食子酸、香豆酸、酪醇、羟基酪醇和橄榄苦苷等多种生物活性成分。橄榄多酚具有抗氧化、消炎抗菌、降糖降脂、防治心血管疾病等多种药理作用, 在医药、保健品和化妆品等领域具有良好的开发应用前景。综述了橄榄多酚的主要来源、化学组成、药理作用和主要提取技术, 展望了橄榄多酚的研究和开发前景, 旨在为橄榄特色资源及橄榄多酚的综合开发利用提供参考。

关键词: 橄榄多酚; 化学组成; 药理作用; 提取技术; 开发利用

中图分类号: TS229; TS202.3 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2020)11-0026-07

Progress in chemical composition, pharmacological action and extraction technology of olive polyphenols

CHENG Ziliang, QI Huifang, HUANG Pengfei, HUO Huanran, KONG Weibao, MA Junyi, WANG Junlong

(College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Olive polyphenols are a series of phenolic antioxidants extracted from the fruit and leaves of olive. The main active components of olive polyphenols include gallic acid, coumaric acid, tyrosol, hydroxytyrosol and oleuropein, which have many pharmacological actions, such as antioxidation, antiinflammation and antibacterial, hypoglycemic and lipid-lowering, and prevention and treatment of cardiovascular diseases, and have good prospects in the fields of medicine, health care products and cosmetics. The major sources, chemical compositions, pharmacological action and main extraction technology of olive polyphenols were reviewed, and the future research and development of olive polyphenols were prospected so as to provide reference for the comprehensive development and utilization of olive resources and olive polyphenols.

Key words: olive polyphenols; chemical composition; pharmacological action; extraction technology; development and utilization

橄榄多酚(Olive polyphenols)是一种存在于橄榄叶或橄榄果实中的复杂酚类次生代谢产物, 具有抵抗紫外线辐射或攻击病原体的作用^[1]。流行病学研究发现, 长期食用富含橄榄多酚的食物可以达

到预防癌症、心血管疾病、神经退行性疾病、动脉粥样硬化和增强免疫力等作用^[2]。随着社会的发展, 在推崇绿色健康的消费观念下, 橄榄多酚因对人体健康的有益作用, 从橄榄中提取酚类化合物并开发应用于食品、保健品、化妆品以及医药化工等领域已成为当前的研究热点。本文综述了橄榄多酚的主要来源、化学组成、药理作用及主要提取技术, 旨在为橄榄及橄榄多酚资源的高值化开发利用提供信息参考。

1 橄榄多酚的主要来源和化学组成

1.1 主要来源

橄榄多酚主要来源于橄榄和油橄榄, 这两种植

收稿日期: 2020-01-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360192); 2018年陇原青年创新创业团队项目; 2017年西北师范大学青年科技创新团队项目

作者简介: 程子良(1992), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品保鲜与加工(E-mail) czl15857652468@163.com。

通信作者: 孔维宝, 教授, 硕士生导师, 博士(E-mail) kwbao@163.com。

物不仅属于不同的科属,且原产地也有较大差异。橄榄(*Cauarium album* (Lour.) Raeusch)又名青果、青橄榄,为橄榄科橄榄属,是一种生长在低海拔或沿海低丘陵地区的常绿乔木,原产于中国东南地区,主要分布在福建、广东、台湾、四川、重庆等热带亚热带地区,随后被引种到亚洲其他热带或亚热带地区^[3]。在我国,橄榄是一种传统药材,一直用于治疗痢疾、脓毒症、咳嗽-吐血、蛇咬伤、肠炎和酒精中毒等,其果实可直接食用或被加工成饮料、糖果和蜜饯,清热解毒,深受人们喜爱^[4]。研究证实,橄榄具有的保肝、抗菌、抗氧化等药理作用与其所含的酚类化合物密切相关^[5]。

油橄榄(*Olea europaea* L.)为木犀科木犀榄属,最早发现于阿拉伯半岛、加那利群岛、留尼汪岛和亚洲南部的地中海盆地,盛产于西班牙、意大利、阿根廷等国家^[6]。我国于20世纪50年代从阿尔巴尼亚引种油橄榄,目前主要集中在甘肃、四川、云南、重庆等省区种植。油橄榄果实含油率高,一般用于生产橄榄油,经过加工后亦可食用。研究表明,橄榄果实中的33种多酚化合物有20种会在加工过程中转移至初榨橄榄油中,因此初榨橄榄油的极佳保健功效应归功于橄榄多酚,而非单不饱和脂肪酸^[7]。值得一提的是,在初榨橄榄油的生产过程中橄榄果实中超过98%的多酚物质随加工废弃物进入橄榄果渣和废水中,大量的酚类抗氧化活性物质未能得到有效的开发利用^[8];另外,在橄榄园管理中修剪橄榄树时产生的大量枝叶,也是提取橄榄多酚的重要原料。因此,如何从橄榄油加工废液和废渣及修剪的橄榄枝叶中提取分离、开发利用橄榄多酚是橄榄油产业可持续发展所面临的重要课题。

1.2 化学组成

目前,从橄榄和油橄榄中提取并鉴定的酚类化合物主要包括酚酸(咖啡酸、巴黎酸、阿魏酸、香草酸、香豆酸、丁香酸、芥子酸、原儿茶酸、鞣花酸、没食子酸等)^[9]、酚醇(酪醇、羟基酪醇及其糖苷形式)^[10]、类黄酮(木犀草素、木犀草素-7-葡萄糖苷、花青素-3-葡萄糖苷、花青素-3-芦丁苷、芦丁、矢车菊素-3-葡萄糖苷、矢车菊素-3-芸香糖苷、芹菜素-7-葡萄糖苷和槲皮素-3-鼠李糖苷等)^[11]和裂环烯醚萜类(橄榄苦苷、木质素苷、去甲基橄榄苦苷、金丝桃苷,以及橄榄苦苷糖苷配基、油苷-11-甲酯等重要的衍生物)^[10]。

不同学者从多角度、多维度总结了橄榄多酚的化学组成。刘清培^[12]从时间跨度上归纳了自1990年日本学者 Ito M. 从橄榄果实和叶中分离出金丝桃

苷、鞣花酸、短叶苏木酚等酚类化合物,到2012年我国学者林玉芳从橄榄甲醇提取液中分离鉴定出咖啡酸、香豆酸等。Charoenprasert等^[13]分别从橄榄果渣、橄榄叶、橄榄种子、橄榄树枝和橄榄树根等不同部位,介绍了各自含有的橄榄多酚:橄榄苦苷是橄榄叶中的主要酚类化合物,可占橄榄叶干质量的9%;橄榄种子中主要存在橄榄苦苷-苷元二醛(3,4-DHPEA-EDA)、油苷-11-甲酯和马鞭草甙等二环烯醚类酚类化合物及其衍生物;在茎和枝中的酚类化合物主要有羟基酪醇、酪醇、 α -紫杉醇以及木犀草素-7-葡萄糖苷等。此外,Pereira等^[14]研究发现羟基酪醇是由橄榄苦苷水解产生的,在橄榄果实加工中含量可占干质量的0.4%,而酪醇是木质素苷的水解产物。Esti等^[15]分离鉴定了橄榄苦苷、木质素苷和去甲基橄榄苦苷3种成分,并对其作了具体分析,结果发现:橄榄苦苷是一种由羟基酪醇和亚油酸组成的酯,是橄榄品种中最突出的酚类化合物,在幼龄橄榄中干物质含量可达140 mg/g,叶片中干物质含量可达60~90 mg/g;木质素苷是一种由酪醇和烯酸组成的酯;去甲基橄榄苦苷较为特殊,其并不存在于所有橄榄品种中,研究认为去甲基橄榄苦苷可以作为一种鉴定橄榄品种的方法。

2 橄榄多酚的药理作用

橄榄多酚是预防和治疗许多疾病的重要药用成分之一,特别是对于癌症和几种与衰老相关的退行性疾病。这些酚类物质具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤、抗菌、抗病毒、抗动脉粥样硬化、降血糖、延缓衰老以及增强心血管功能等重要的生理保健功能,在食品工业中也可作为天然防腐剂^[16]。

2.1 抗氧化活性

氧化过程是机体氧化膜、脂质和DNA损伤的元凶之一,机体中存在的抗氧化剂作为一种天然防御系统,可以有效地中和氧化产物即自由基。防御系统一旦与氧化过程失衡,使得自由基不断积累最终导致疾病的产生。橄榄多酚具有极强的自由基淬灭能力,通过与抗氧化酶的一系列偶联反应直接捕获或清除自由基,从而保护细胞和DNA免受活性氧自由基的攻击,防止退行性疾病如糖尿病、神经系统疾病等的发生,达到提升人体自身抗氧化防御系统的水平^[17]。大量研究表明,橄榄多酚中具有抗氧化作用的主要成分为羟基酪醇和橄榄苦苷,此外鞣花酸、槲皮素、山奈酚和没食子酸等也具有一定的抗氧化作用^[18]。Coban等^[19]研究了油橄榄叶提取物对衰老大鼠的肝脏、心脏和大脑的抗氧化作用,发现衰老

大鼠组织内的丙二醛、共轭二烯和蛋白质羰基的水平均下降,可知该提取物对老鼠的器官衰老起到延缓的作用,进一步对提取物鉴定分析发现,该提取物的主要成分为橄榄苦苷。

2.2 消炎抗菌

目前市售的消炎抗菌药物虽然可以通过减少炎症来治疗疼痛,但同时会影响中枢神经系统并引发其他并发症,具有不良副作用。橄榄多酚是一种安全、廉价的替代品,多酚中的类黄酮物质及没食子酸具有较强的抗菌作用,而羟基酪醇(抑制基质金属蛋白酶 MMPs 和二型环氧化酶 COX-2 的活性)和花青素中的矢车菊素-3-O-葡萄糖苷(抑制诱导型一氧化氮合酶 iNOS 和 COX-2 的活性)等成分均可抑制相关酶的表达从而起到预防慢性炎症和关节炎的作用^[20]。María 等^[21]给 II 型胶原诱导关节炎的小鼠喂养 0.05% 的橄榄多酚羟基酪醇乙酸酯 (HTy-Ac),首次免疫后 42 d 处死小鼠,回收血液并对爪子进行组织学和生物化学处理,研究表明 HTy-Ac 饮食可显著预防关节炎,降低了血清 IgG1、IgG2a、软骨寡聚基质蛋白 (COMP) 和金属蛋白酶-3 (MMP-3),以及促炎细胞因子 (TNF- α 、IFN- γ 、IL-1 β 、IL-6 和 IL-17A) 的水平,这为类风湿性关节炎的治疗带来了福音。曲中堂等^[22]利用橄榄总黄酮对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和枯草杆菌等几种常见菌株做了抑菌试验,结果显示橄榄总黄酮对这几株试验菌均具有良好的抑制作用。作者的研究也显示油橄榄叶提取物(主要成分为黄酮和多酚)对金黄色葡萄球菌、蜡状芽孢杆菌和大肠杆菌具有显著的抑制作用。

2.3 抗动脉粥样硬化

动脉粥样硬化是由于脂肪、碳酸钙等物质在血管中沉积,进而导致心脑血管等多种疾病发生。研究表明,橄榄多酚可通过降低低密度脂蛋白 (LDL) 氧化损伤水平,改善内皮功能障碍,降低氧化应激血浆参数,从而对抗动脉粥样硬化^[23]。Covas 等^[24]通过对 200 个健康男性志愿者的临床试验发现,每人每天分别摄入 25 mL 不同多酚浓度的橄榄油,持续 3 周后发现 LDL 氧化损伤水平随着摄入橄榄多酚浓度的增加而减轻,而且被试群体的高密度脂蛋白 (HDL) 水平随着橄榄多酚摄入量的增加而提高。在具体抗动脉粥样硬化成分鉴定中,Covas^[24]、González^[25]等研究认为,橄榄多酚类物质的抗动脉粥样硬化主要组分包括三萜、甾体、游离脂肪酸、山楂酸、齐墩果酸、3-O-没食子酸、奎宁酸及老鹳草素等。上述研究结果提示长期食用富含多酚的橄榄

油对心血管疾病有一定的预防作用,开发富含橄榄多酚的保健食品也具有潜在的市场空间。

2.4 抗脂肪肝

脂肪肝是一种肝细胞中脂肪堆积过多的肝脏病变,常常伴随糖尿病、肥胖、血脂异常等症状。大量研究表明,橄榄多酚中的橄榄苦苷、鞣花酸等物质可以通过影响与肥胖相关基因的表达,消除脂肪肝中脂质的堆积,逆转高脂肪饮食引起的非酒精性脂肪肝。Drira 等^[26]在 3 种 T3-L1 脂肪细胞中分别加入橄榄苦苷和羟基酪醇,观察细胞分化并检测细胞活性,结果显示细胞中 SREBP-1c 转录因子、C/EBP α 、PPAR γ 和下游靶基因等脂肪生成相关基因得到下调,抑制了细胞分化及细胞内甘油三酯的积累。橄榄多酚还具有良好的防醉、解酒和护肝作用,其作用机理可能与其所含的短叶苏木酚、金丝桃苷、鞣花酸及 3,3'-二甲氧基鞣花酸有关,通过降低血清谷丙转氨酶和脂质过氧化物,有效激活全血超氧化物歧化酶和乙醇脱氢酶,从而改善肝组织的病理状态,促进肝细胞损伤的恢复^[27]。

2.5 抗癌

橄榄多酚可以直接抑制肿瘤细胞的生长,不可逆环绕在癌细胞周围防止其复制、迁移和扩散而不影响正常细胞的功能。相比于世界上其他国家,地中海盆地癌症的发病率最低,主要原因可能和当地人的饮食富含橄榄多酚有关^[28]。Hassan 等^[29]用 200 $\mu\text{mol/L}$ 橄榄苦苷处理肿瘤细胞,与对照组相比,用橄榄苦苷处理的细胞中肿瘤 p53 基因(该基因可调节各种细胞和分子途径并预防癌症形成)表达水平增加。Bassani 等^[30]从生产橄榄油的废水中提取橄榄苦苷,并用于处理结肠癌细胞,发现该细胞的增殖率和存活率均明显下降,表明橄榄苦苷对结肠癌有化学预防作用。

2.6 其他药理功能

橄榄多酚除了具有上述药理功能外,还具有抗高血糖、改善胰岛细胞敏感性、促进心脑血管健康、保护神经系统、促进上呼吸道和肠道健康,以及防晒、预防骨质疏松等作用。Bock 等^[31]探讨了橄榄多酚对中年超重男性胰岛素作用及心血管危险因素的影响,发现橄榄多酚提高了胰岛素敏感性和胰腺 β 细胞反应性,显著改善患者的身心状态。Monika 等^[32]发现橄榄多酚具有提高可促进骨髓重吸收、改善骨髓微环境的细胞因子 (TNF- α 、IL-6) 的活性和分泌量,达到预防骨质疏松的目的。此外,橄榄多酚中的没食子酸和鞣花酸还具有抗病毒作用,而且

对正常细胞无毒害作用^[33]。

3 橄榄多酚的提取技术

橄榄多酚显著的药理作用使得从橄榄中分离纯酚类物质成为一个重要的研发领域。橄榄的根、茎、叶和果实等多个部位均富含橄榄多酚,考虑到多酚在其来源组成、化学结构和理化性质上的多样性,通常需要为每个酚源设计不同的提取工艺。橄榄多酚含有的芳环结构和羟基取代基,使其易溶于甲醇、乙醇等极性较大的有机溶剂,因此在橄榄多酚提取时通常采用水或有机溶剂作为提取溶剂,并辅助超声波、微波强化传质手段。目前根据辅助技术不同大致分为6种提取方法。

3.1 溶剂萃取法

溶剂萃取法是最常用的提取橄榄多酚的技术之一。该方法虽然操作过程简单、易于放大^[34],但是受到多种因素影响较大,针对不同橄榄部位,甚至不同橄榄多酚单体,所需的最佳提取条件有所不同,且需要多次加热、蒸馏,后续分离纯化步骤复杂,最终得到的有效成分含量低。Nakilcioglu - taş 等^[35]采用响应面分析法对橄榄核多酚提取物的总酚含量、总黄酮含量、DPPH 自由基清除能力、铁还原/抗氧化能力和3种单一多酚(羟基酪醇、丁香酸和橄榄苦苷)的得率进行了优化,得到最佳提取条件为提取温度 40℃、提取时间 89.49 min、溶剂为甲醇,在此条件下所得橄榄多酚含量最高。谢碧秀等^[36]以75%丙酮为溶剂,料液比为 1:13,在 60℃下提取橄榄果渣 4 h,得到橄榄多酚的含量为 0.245%。另外,由于传统极性溶剂毒性大,合成廉价、可回收、无毒的环境友好型溶剂是该方法未来的发展趋势,Athanasiadis 等^[37]利用甘油(HBD)、甘氨酸(HBA)和水以摩尔比 7:1:3 混合,在 80~90℃下搅拌约 90 min 合成一种新型溶剂 DES,并作为从橄榄叶中提取多酚的高效溶剂,提取温度 70℃时没食子酸含量为 106.25 mg/kg,比使用 60% 甲醇水溶液所获得的含量高 18%。

3.2 超声波辅助浸提法

超声波辅助浸提法可缩短提取时间、提高提取效率,但需要专用超声波提取设备,不易实现连续化操作^[38]。常强等^[39]以 60% 乙醇水溶液为溶剂,在料液比 1:20、超声功率 180 W、提取时间 20 min 条件下,最终从橄榄果实中提取得到橄榄多酚的含量为 85 mg/g。Japón - Luján 等^[40]利用超声波辅助提取橄榄叶中的醇酸及相关生物酚,结果表明与传统的提取方法(如浸渍/搅拌)相比,超声波提取仅需 25 min,而传统方法需要 24 h 才能完成,提取效率显著提高。

3.3 微波辅助浸提法

微波辅助浸提法是利用微波促进溶剂中的分子快速旋转并产生不规则运动,进而摩擦生热使溶剂温度上升,导致水汽化产生的巨大压力瞬间穿透细胞壁和细胞膜,直接使细胞内的橄榄多酚流入提取体系中,从而提高提取效率^[41]。本课题组利用微波辅助技术提取油橄榄果渣中的多酚,在以 60% 乙醇为溶剂、料液比 1:20、微波功率 300 W 下处理 3 min,多酚提取得率为 1.02%,比常规热浸法提高 18%~38%^[42]。与超声波辅助浸提法相比,该方法加热更快捷,而且受热均匀、节约能源,但是高成本使其无法得到大规模应用。因此,同时利用微波与超声波的优点,建立超声波与微波协同辅助提取法,不仅降低了成本、提高了效率,还减少了多酚的氧化。项昭保等^[43]在料液比 1:25、乙醇体积分数 62%、超声波(330 W, 40 min)和微波(550 W, 4.4 min)协同处理条件下,橄榄多酚提取率为 6.33%,比单独使用超声波或微波的效率均高。

3.4 超临界流体萃取法

超临界流体萃取(SFE)是利用超临界流体(通常为无毒无味的 CO₂)的高扩散性、高溶解性和高选择性,根据不同化合物之间的相对分子质量、极性和溶解度等差异性提取有效物质的一种高效、绿色、环保的萃取技术^[44]。SFE 所使用的 CO₂ 超临界流体萃取剂具有无毒无害、化学稳定性好、黏度低、扩散性高、无溶剂残留等特点,较低的萃取温度可保证目标物的稳定性,萃取所得橄榄多酚的纯度较高,在制得粗品后无需复杂操作即可得到精制产品。但是该方法存在一次性提取率低、设备及操作复杂、投资成本高等缺陷。Floch 等^[45]研究了一种清洁、高选择性的从橄榄叶中分离提取酚类物质的 SFE 方法,以含 10% 甲醇为夹带剂的超临界 CO₂ 流体为萃取剂,在 33.4 MPa、100℃(CO₂ 密度为 0.70 g/mL)、2 mL/min 下萃取 140 min,可获得最大提取率,提取效率高于超声波萃取法和传统的溶剂萃取法。

3.5 生物酶解提取法

生物酶解提取法是利用生物酶酶解细胞壁等,使胞内的化合物更好地释放到提取溶剂中,从而达到提高提取率的目标^[46]。该方法被认为是一种绿色环保、低耗能、条件温和的萃取技术。Hamza 等^[47]利用黑曲霉产生的富含 β-葡萄糖苷酶的混合酶制剂对橄榄油加工废水进行酶解,用乙酸乙酯进行液液萃取,并用 HPLC 和 LC-MS 进行鉴定,结果显示提取的羟基酪醇质量浓度为 2.9 g/L,而对照组为 0.015 g/L。另外,在已有的相关报道中,生物

酶提取物中大多为橄榄多酚单体。因此,用生物酶解法选择性提取橄榄多酚单体化合物具有潜在优势。

3.6 膜分离提取法

膜分离提取法是以选择性透过膜为分离介质,利用膜两侧压力的差异性,对橄榄多酚进行分离纯化和浓缩的技术。该方法最大的特点是通过多次不同类型的膜分离或分级分离,能选择性分离或一次性从基质中提取多酚物质,但是膜组件的价格相对昂贵,产品纯度偏低。Russo^[48]分别用6 kDa和1 kDa的超滤膜进行分离,从橄榄废液中全部回收多酚,且废液可直接用作肥料或在厌氧反应器中发酵生产沼气。Garcia - Castello等^[49]提出了基于微滤和纳滤的集成膜分离系统提取和分离橄榄废水中的多酚,得到了较好的效果。从分离过程的能耗、环保性能、提取效率和产品质量等角度考虑,开发可方便清洗和重复利用的高机械性能无机陶瓷膜,用于橄榄油加工废液中多酚物质的提取纯化是非常有前景的技术。

4 总结与展望

国外对橄榄多酚的种类组成、化学结构和生理活性的研究较为全面深入,尤其是意大利、希腊和西班牙等油橄榄原产国家的相关研究机构。目前,我国橄榄栽培和加工产业中的主要产品为初榨橄榄油、橄榄果品、橄榄饮料和护肤品等,橄榄资源的综合利用度和高值化开发程度还比较低,橄榄系列衍生产品类型比较单一。因此,笔者认为从橄榄主要有效成分的角度考虑,除了开发利用橄榄油和橄榄果产品之外,应加大对橄榄多酚资源的研究和深度开发,丰富橄榄产品类型,提高资源综合利用度,为农户增收、企业增产增效。

鉴于此,在今后有关橄榄多酚的研究和开发中提出以下5点建议:①深入开展国产橄榄(果用和油用橄榄果实及橄榄叶)中多酚物质的基础研究工作,明确其在含量和组成方面存在的品种、地区和季节性差异;②加强对橄榄多酚单体化合物的结构鉴定、基团修饰及生物活性评价等方面的研究,进一步明确单体酚类物质的构效关系,为产品开发提供理论依据;③结合橄榄油现有生产工艺,开发橄榄油和橄榄多酚集成提取分离的新工艺;④开发从橄榄油加工废弃物和橄榄叶中工业化提取纯化橄榄多酚的新工艺和技术;⑤从功能食品、保健食品、化妆品、降脂降糖药品等产品开发视角,加大对橄榄多酚创新产品的研发力度,如富含多酚特种橄榄油、橄榄保健品、橄榄保健茶、橄榄功能饮料、橄榄多酚泡腾片、橄

榄多酚抗氧化剂、降脂降血糖保健品和药品等。希望通过上述攻关,能积极推动橄榄多酚资源的高值化开发利用,激活橄榄多酚产品市场,保障橄榄产业可持续发展。

参考文献:

- [1] SPENCER J P, EI MOHSEN M M A, MINIHAINE A M, et al. Biomarkers of the intake of dietary polyphenols: strengths, limitations and application in nutrition research [J]. Br J Nutr, 2008, 99: 12 - 22.
- [2] RAHMANI A H, ALBUTTI A S, ALY S M. Therapeutic role of olive fruits/oil in the prevention of diseases via modulation of anti - oxidant, anti - tumour and genetic activity [J]. Int J Clin Exp Med, 2014, 7(4): 799 - 808.
- [3] JIA Y L, ZHENG J, YU F, et al. Anti - tyrosinase kinetics and antibacterial process of caffeic acid N - nonyl ester in Chinese olive (*Canarium album*) postharvest [J]. Int J Biol Macromol, 2016, 91: 486 - 495.
- [4] KUO C T, LIU T H, HSU T H, et al. Antioxidant and antiglycation properties of different solvent extracts from Chinese olive (*Canarium album* L.) fruit [J]. Asian Pac J Trop Med, 2015, 8(12): 1013 - 1021.
- [5] DUAN W, TAN S, CHEN J, et al. Isolation of anti - HIV components from *Canarium album* fruits by high - speed counter - current chromatography [J]. Anal Lett, 2013, 46(7): 1057 - 1068.
- [6] EI - KHOLY M. Following olive footprints (*Olea europaea* L.) [M]. Spain: Aarinena, IOC, ISHS, 2012: 94 - 101.
- [7] CICERALE S, LUCAS L, KEAST R. Biological activities of phenolic compounds present in virgin olive oil [J]. Int J Mol Sci, 2010, 11: 458 - 479.
- [8] TALHAOUI N, GÓMEZ - CARAVACA A M, LEÓN L, et al. From olive fruits to olive oil: phenolic compound transfer in six different olive cultivars grown under the same agronomical conditions [J]. Int J Mol Sci, 2016, 17(3): 337 - 351.
- [9] VINHA A F, FERRERES F, SILVA B M, et al. Phenolic profiles of Portuguese olive fruits (*Olea europaea* L.): influences of cultivar and geographical origin [J]. Food Chem, 2005, 89: 561 - 568.
- [10] SIVAKUMAR G, BATI C B, UCCELLA N. HPLC - MS screening of the antioxidant profile of Italian olive cultivars [J]. Chem Nat Compd, 2005, 41: 588 - 591.
- [11] LU J, PAPP L V, FANG J, et al. Inhibition of mammalian thioredoxin reductase by some flavonoids: implications for myricetin and quercetin anticancer activity [J]. Cancer Res, 2006, 66: 4410 - 4418.
- [12] 刘清培. 橄榄酚类物质降血脂活性及其作用机制的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2016.

- [13] CHAROENPRASERT S, MITCHELL A. Factors influencing phenolic compounds in table olives (*Olea europaea*) [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(29): 7081 - 7095.
- [14] PEREIRA J A, PEREIRA A P G, FERREIRA I C F R, et al. Table olives from Portugal: phenolic compounds, antioxidant potential and antimicrobial activity [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54: 8425 - 8431.
- [15] ESTI M, CINQUANTA L, LA NOTTE E. Phenolic compounds in different olive varieties [J]. J Agric Food Chem, 1998, 46: 32 - 35.
- [16] CICERALE S, CONLAN X A, SINCLAIR A J, et al. Chemistry and health of olive oil phenolics [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2009, 49: 218 - 236.
- [17] DURACKOVÁ Z. Some current insights into oxidative stress [J]. Physiol Res, 2010, 59: 459 - 469.
- [18] CHANG Q, SU M H, CHEN Q X, et al. Physicochemical properties and antioxidant capacity of Chinese olive (*Canarium album* L.) cultivars [J]. J Food Sci, 2017, 82(6): 1369 - 1377.
- [19] COBAN J, OZTEZCAN S, DOGRU - ABBASOGLU S, et al. Olive leaf extract decreases age - induced oxidative stress in major organs of aged rats [J]. Geriatr Gerontol Int, 2014, 14(4): 996 - 1002.
- [20] SCODITTI E, NESTOLA A, MASSARO M, et al. Hydroxytyrosol suppresses MMP - 9 and COX - 2 activity and expression in activated human monocytes via PKC α and PKC β 1 inhibition [J]. Atherosclerosis, 2014, 232(1): 17 - 24.
- [21] MARÍA A R, MARINA S, ALEJANDRO G. Preventive effects of dietary hydroxytyrosol acetate, an extra virgin olive oil polyphenol in murine collagen - induced arthritis [J]. Mol Nutr Food Res, 2015, 59(12): 2537 - 2546.
- [22] 曲中堂, 项昭保, 赵志强. 橄榄总黄酮抑菌作用研究 [J]. 中国酿造, 2010(4): 62 - 64.
- [23] COVAS M I, DE LA TORRE K, FARRÉ - ALBALADEJO M, et al. Postprandial LDL phenolic content and LDL oxidation are modulated by olive oil phenolic compounds in humans [J]. Free Radic Biol Med, 2006, 40: 608 - 616.
- [24] COVAS M I, NYSSÖNEN K, POULSEN H E, et al. The effect of polyphenols in olive oil on heart disease risk factors: a randomized trial [J]. Ann Int Med, 2006, 145(5): 333 - 341.
- [25] GONZÁLEZ S M, MARTÍN B E, CARRERO J J, et al. One - month administration of hydroxytyrosol, a phenolic antioxidant present in olive oil, to hyperlipemic rabbits improves blood lipid profile, antioxidant status and reduces atherosclerosis development [J]. Atherosclerosis, 2006, 188: 35 - 42.
- [26] DRIRA R, CHEN S, SAKAMOTO K. Oleuropein and hydroxytyrosol inhibit adipocyte differentiation in 3T3 - L1 cells [J]. Life Sci, 2011, 89(19/20): 708 - 716.
- [27] 赖瑞联, 陈瑾, 冯新, 等. 橄榄多酚类物质研究进展 [J]. 热带作物学报, 2018, 39(12): 2532 - 2541.
- [28] HAMDI H K, CASTELLON R. Oleuropein, a non - toxic olive iridoid, is an anti - tumor agent and cytoskeleton disruptor [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2005, 334: 769 - 778.
- [29] HASSAN H K, ELAMIN M H, OMER S M, et al. Oleuropein induces apoptosis via the p53 pathway in breast cancer cells [J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2013, 14: 6739 - 6742.
- [30] BASSANI B, ROSSI T, STEFANO D D, et al. Abstract 5272: Chemopreventive activities of a polyphenol rich purified extract from olive oil processing on colon cancer cells [J]. Cancer Res, 2017, 77(13): 5272 - 5272.
- [31] BOCK M D, JOSÉ G B, DERRAIK B C M, et al. Olive (*Olea europaea* L.) leaf polyphenols improve insulin sensitivity in middle - aged overweight men: a randomized, placebo - controlled, crossover trial [J/OL]. PLoS One, 2013, 8(3): e57622 [2020 - 01 - 10]. <https://doi.org/10.1371/Journal.pone.0057622>.
- [32] MONIKA G D, PAULINA P, FRANCESCO C, et al. Potential health benefits of olive oil and plant polyphenols [J/OL]. Int J Mol Sci, 2018, 19(3) [2020 - 01 - 10]. <https://doi.org/10.3390/ijms19030686>.
- [33] XIANG Z B, MO H Q, QU Z T, et al. Ellagic acid from the dried fruits of *Canarium album* with antihepatitis B activity [J]. Asian J Chem, 2011, 23(8): 3759 - 3760.
- [34] BARBA F J, ZHU Z, KOUBAA M, et al. Green alternative methods for the extraction of antioxidant bioactive compounds from winery wastes and by - products: a review [J]. Trends Food Sci Technol, 2016, 49: 96 - 109.
- [35] NAKILCIOĞLU - TAŞ E, ÖTLEŞ S. The optimization of solid - liquid extraction of polyphenols from olive stone by response surface methodology [J]. J Food Meas Charact, 2009, 13: 1497 - 1507.
- [36] 谢碧秀, 马建英, 刘滕, 等. 正交设计优化油橄榄果渣多酚提取工艺 [J]. 食品研究与开发, 2016, 37(9): 72 - 75.
- [37] ATHANASIADIS V, GRIGORAKIS S, LALAS S, et al. Highly efficient extraction of antioxidant polyphenols from *Olea europaea* leaves using an eco - friendly glycerol/ glycine deep eutectic solvent [J]. Waste Biomass Valor, 2018, 9(1): 1985 - 1992.

- coconut oil [J]. *Food Chem*, 2018, 255: 49–57.
- [3] LIU C H, ZHENG Z J, MENG Z, et al. Beeswax and carnauba wax modulate the crystallization behavior of palm kernel stearin [J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2019, 115: 108446 [2019–09–20]. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108446>.
- [4] 陈寸红, 张虹, 毕艳兰, 等. 人造奶油结晶影响因素的研究进展 [J]. *中国油脂*, 2013, 38(12): 17–22.
- [5] MARUYAMA J M, DE MARTINI SOARES F A S, D'AGOSTINHO N R, et al. Effects of emulsifier addition on the crystallization and melting behavior of palm olein and coconut oil [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(10): 2253–2263.
- [6] SONWAI S, PODCHONG P, ROUSSEAU D. Crystallization kinetics of coconut oil in the presence of sorbitan esters with different fatty acid moieties [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016, 93(6): 849–858.
- [7] 陈秀菊, 彭捷, 白新鹏, 等. 椰子油在温度梯度场中定向结晶动力学 [J]. *食品科学*, 2014, 35(17): 17–21.
- [8] WALLACE T C. Health effects of coconut oil—a narrative review of current evidence [J]. *J Am Coll Nutr*, 2019, 38(2): 97–107.
- [9] LIU C H, MENG Z, CAO P R, et al. Visualized phase behavior of binary blends of coconut oil and palm stearin [J]. *Food Chem*, 2018, 266: 66–72.
- [10] 贾延勇. 微量山梨醇三油酸酯对棕榈油结晶动力学影响 [D]. 海口: 海南大学, 2014.
- [11] 李慧灵. 猪油基酥皮油的制备及应用研究 [D]. 江苏无锡: 江南大学, 2017.
- [12] DE OLIVEIRA G M, RIBEIRO A P B, DOS SANTOS A O, et al. Hard fats as additives in palm oil and its relationships to crystallization process and polymorphism [J]. *LWT – Food Sci Technol*, 2015, 63(2): 1163–1170.
- [13] LIU C H, ZHENG Z J, ZAABOUL F, et al. Effects of wax concentration and carbon chain length on the structural modification of fat crystals [J]. *Food Funct*, 2019, 10: 5413–5425.
-
- (上接第31页)
- [38] WANG J, SUN B, CAO Y, et al. Optimisation of ultrasound – assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran [J]. *Food Chem*, 2008, 106(2): 804–810.
- [39] 常强, 苏明华, 陈清西, 等. 2种提取工艺对橄榄果实多酚含量及抗氧化活性的影响 [J]. *热带作物学报*, 2016, 37(8): 1575–1581.
- [40] JAPÓN – LUJÁN R, LUQUE – RODRÍGUEZ J M, CASTRO L D. Dynamic ultrasound – assisted extraction of oleuropein and related biophenols from olive leaves [J]. *J Chromatogr A*, 2006, 1108(1): 76–82.
- [41] LI Y P, SKOUROUMOUNIS G K, ELSEY G M, et al. Microwave – assistance provides very rapid and efficient extraction of grape seed polyphenols [J]. *Food Chem*, 2011, 129(2): 570–576.
- [42] 孔维宝, 李阳, 白万明, 等. 微波辅助提取油橄榄果渣多酚 [J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(4): 233–237.
- [43] 项昭保, 刘星宇. 响应面法优化超声 – 微波协同辅助提取橄榄多酚工艺研究 [J]. *食品工业科技*, 2016, 37(1): 195–200.
- [44] TAAMALLI A, ARRÁEZ – ROMÁN D, BARRAJÓN – CATALÁN E, et al. Use of advanced techniques for the extraction of phenolic compounds from Tunisian olive leaves: phenolic composition and cytotoxicity against human breast cancer cells [J]. *Food Chem Toxicol*, 2012, 50(6): 1817–1825.
- [45] FLOCH F L, TENA M T, RÍOS A, et al. Supercritical fluid extraction of phenol compounds from olive leaves [J]. *Talanta*, 1998, 46(5): 1123–1130.
- [46] WIJESINGHE W A J P, JEON Y J. Enzyme – assistant extraction (EAE) of bioactive components: a useful approach for recovery of industrially important metabolites from seaweeds: a review [J]. *Fitoterapia*, 2012, 83(1): 6–12.
- [47] HAMZA M, KHOUI S, SAYADI S. Changes in the content of bioactive polyphenolic compounds of olive mill wastewater by the action of exogenous enzymes [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(1): 66–73.
- [48] RUSSO C. A new membrane process for the selective fractionation and total recovery of polyphenols, water and organic substances from vegetation waters (VW) [J]. *J Membrane Sci*, 2007, 288: 239–246.
- [49] GARCIA – CASTELLO E, CASSANO A, CRISCUOLII A, et al. Recovery and concentration of polyphenols from olive mill wastewaters by integrated membrane system [J]. *Water Res*, 2010, 44(13): 3883–3892.