

文冠果油的营养成分及功能活性研究进展

许佳敏¹, 佟祎鑫¹, 王菊花¹, 曹月琴¹, 殷振雄², 孔维宝¹

(1. 西北师范大学生命科学学院, 兰州 730070; 2. 甘肃金宏源生物科技有限公司, 甘肃 白银 730900)

摘要: 为了促进文冠果油的基础研究和综合开发利用, 综述了文冠果油中的营养成分, 分析了文冠果油营养成分组成及含量的影响因素, 并对文冠果油食用安全性评价和功能活性进行了总结。文冠果油脂肪酸组成的突出特点是含有较高的神经酸和芥酸, 另外, 文冠果油还含有植物甾醇、维生素 E 等微量营养成分。产地、提取工艺和贮存条件影响文冠果油营养成分组成及含量。文冠果油具有神经保护、抑菌、抗氧化等作用。基于营养成分和功能活性, 文冠果油极具市场开发前景, 应进一步评估其健康风险、食用安全性和毒理学, 为开发文冠果食用油资源提供参考。

关键词: 文冠果油; 营养成分; 食用安全性; 功能活性

中图分类号: S565.9; TQ646.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)10-0077-06

Research progress on nutritional ingredients and functional activities of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge oil

XU Jiamin¹, TONG Yixin¹, WANG Juhua¹, CAO Yueqin¹,
YIN Zhenxiong², KONG Weibao¹

(1. College of Life Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;
2. Gansu Jinhongyuan Biological Technology Co., Ltd., Baiyin 730900, Gansu, China)

Abstract: In order to promote the basic research and comprehensive development and utilization of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge oil, the nutritional ingredients in *X. sorbifolia* oil were reviewed, the influencing factors of the nutritional ingredients composition and content of the oil were analyzed, and the edible safety evaluation and functional activities of the oil were summarized. The prominent feature of the fatty acid composition of *X. sorbifolia* oil is that it contains high nervonic acid and erucic acid. In addition, *X. sorbifolia* oil contains micronutrients such as phytosterols and vitamin E. The origin, processing technology and storage conditions affect the composition and content of nutrient ingredients in *X. sorbifolia* oil. The oil has neuroprotective, antibacterial, antioxidant and other effects. Based on its nutritional components and functional activities, *X. sorbifolia* oil has great market development prospects, and its health risks, edible safety and toxicology should be further evaluated to provide a reference for the development of *X. sorbifolia* edible oil resources.

Key words: *Xanthoceras sorbifolia* Bunge oil; nutritional ingredient; edible safety; functional activity

收稿日期: 2021-08-23; 修回日期: 2022-05-12

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1002402-03); 科技助力经济 2020 重点专项项目; 2020 中央引导地方科技发展专项项目资助; 甘肃省教育厅产业支撑计划项目资助(2021CYZC-37)

作者简介: 许佳敏(1996), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品保鲜与加工(E-mail) 13426928206@163.com。

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

文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge)为无患子科(Sapindaceae)、文冠果属(*Xanthoceras*)落叶灌木或小乔木, 主要分布在我国北方地区, 是我国特有的木本油料树种^[1]。文冠果作为一种多功能树种, 能够耐受干旱、低温、碱性和低肥力土壤, 因此适应我国北方的生态环境^[2]。文冠果种子富含油脂、蛋白质和皂苷等多种有效成分, 具有很高的开发应用潜力^[3]。文冠果种子含油率约 35%, 种仁含油率在

60%以上^[4]。在营养价值方面,文冠果油是一种富含不饱和脂肪酸的食用植物油,除含有油酸和亚油酸外,还含有一种稀有的功能性成分——神经酸,其含量在3%左右^[5]。在功能活性方面,文冠果油的药理作用多样,不仅可以保护神经系统,还具有抑菌、抗炎以及抗氧化等作用,可用于治疗动脉粥样硬化、阿尔茨海默病、风湿病等多种疾病^[6]。在应用领域方面,文冠果油可用于食品、医药、化妆品、材料化学和生物能源等领域,其中,开发文冠果特种食用油产品最具市场潜力^[7]。但是文冠果的人工栽培种植历史不长,文冠果油的民间食用历史资料记载零星、不翔实,食用区域及民众范围不广,加之文冠果油中存在的芥酸和皂苷等成分可能存在食用安全风险,因此到目前为止,文冠果油仍未列入我国新资源食品目录^[8-9]。文冠果油产品出口受阻,文冠果种植和加工上游产业链的发展也受到了严重制约。基于此,本文通过查阅归纳国内外相关文献,分析了文冠果油的营养成分和影响其营养成分的主要因素,总结评价了文冠果油的食用安全性及其功能活性,旨在为积极推动文冠果油资源的进一步产业化开发利用提供参考。

1 文冠果油的营养成分

1.1 脂肪酸

脂肪酸组成是评价油脂品质的一个重要指标。文冠果油主要含有油酸、亚油酸、棕榈酸、芥酸和神经酸等(见表1)。

表1 文冠果油的主要脂肪酸组成及含量

脂肪酸	含量/%
棕榈酸	4.5~6.0
硬脂酸	1.6~2.4
亚油酸	41.1~46.8
油酸	27.5~33.5
亚麻酸	6.0~7.0
芥酸	6.0~9.3
神经酸	1.6~9.5

注:表中数据根据参考文献[10-15]整理

较高含量的神经酸和芥酸是文冠果油的突出特点^[10,16]。唐东慧等^[11]通过GC-MS分析了索氏法提取的21个品种文冠果油中的脂肪酸组成及含量,测得文冠果油中神经酸平均含量为2.75%,芥酸平均含量为8.9%。骆芬芳^[12]研究了文冠果油、茶油、核桃油、元宝枫籽油和酸枣仁油中的神经酸和芥酸含量,结果发现,文冠果油中的神经酸和芥酸含量仅次于元宝枫籽油。研究发现,神经酸的合成是以芥酸为基础的,神经酸含量与芥酸含量成

正比,在高芥酸含量的文冠果油中可筛选富含神经酸的文冠果油品种^[13-14]。虽然文冠果油具有高神经酸和高芥酸含量,可作为神经酸的主要来源之一,但目前仍面临神经酸产量和纯度急需提高的问题,因此应加强选育高神经酸含量的文冠果品种,拓宽神经酸的来源渠道,优化神经酸的提取工艺,以便进一步开发利用神经酸。

1.2 植物甾醇

植物甾醇是一类存在于植物油、坚果和种子中的有益生物活性成分^[3],具有多种药理活性,其降血脂功能尤为明显。目前,关于植物甾醇的研究主要集中于大豆油、玉米油和油茶籽油等,而对文冠果油中植物甾醇的种类、单体含量及功能的研究较少。玉荣等^[15]利用GC-MS测得文冠果油的总甾醇含量为1.09 g/kg。赵茜茜等^[17]利用GC-MS测得文冠果油中总甾醇含量为0.498%,并从文冠果油中分离出5种植物甾醇单体,其中:豆甾醇作为合成甾体激素的前体物质,可以用于生产黄体酮和孕酮; β -谷甾醇几乎与雌激素的功效一样,可以对动物体内睾酮含量产生影响;降柳珊瑚甾醇具有细胞毒活性,可能有抗癌功效;麦角甾醇在一定条件下可以转化为维生素D₂,可以用于治疗软骨病。表2总结了目前从文冠果油中发现的植物甾醇种类和相对含量。但有关文冠果油中的这些植物甾醇单体构效关系以及是否具有协同增效作用还有待进一步研究。

表2 文冠果油中植物甾醇种类及相对含量

植物甾醇	含量/%
α -菠菜甾醇	43.0
Δ^7 -豆甾烯醇	34.5
Δ^7 -燕麦甾醇	12.0
$\Delta^{5,22}$ -豆甾醇	4.0
菜油甾醇	微量
胆甾醇	微量
β -谷甾醇	微量
豆甾醇	-
豆甾-7,22-二烯-3-醇	-
麦角甾-7,22-二烯-3-醇	-
33-降柳珊瑚甾-5,24(28)-二烯-3-醇	-

注:表中数据根据参考文献[17-18]整理;-表示未检测

1.3 维生素E

维生素E(V_E)包含生育酚和生育三烯酚,具有抗氧化、抗肿瘤、抑制胆固醇合成和预防心血管疾病等功效^[19]。刘玉兰等^[20]研究了不同产地和不同工艺提取的文冠果油中的V_E含量,发现文冠果油V_E平均含量为757.86 mg/kg,普遍高于花生油(413.5 mg/kg)、

菜籽油(595.9 mg/kg)、芝麻油(320.0 mg/kg)和油茶籽油(65.7 mg/kg),其中:生育酚平均含量为399.60 mg/kg,高于稻米油(338.2 mg/kg)、橄榄油(240.7 mg/kg)、葡萄籽油(168.7 mg/kg)和棕榈液油(215.6 mg/kg)^[21];生育三烯酚平均含量为358.74 mg/kg,仅次于棕榈液油(530.04 mg/kg)^[21]。文冠果油中含有在植物中分布不广的生育三烯酚,生育三烯酚具有比生育酚更强的抗氧化和抗炎功效,主要原因是生育三烯酚在膜双分子层中分布的高均匀性,使其与脂质自由基更容易反应,能更有效清除活性氧自由基^[22-23]。但是,关于文冠果油中生育三烯酚的研究甚少,需要加大对文冠果油中生育三烯酚的研究力度,优化生育三烯酚提取分离方法,提高生育三烯酚在文冠果油中的含量,探索生育三烯酚在文冠果油功能性产品中的应用,最终达到充分利用文冠果油中生育三烯酚的目的。

1.4 其他微量活性成分

文冠果油中还含有其他微量活性成分,如磷脂、单宁、黄酮、多酚等。刘玉兰等^[20]对不同产地和不同工艺制取的文冠果油进行了检测,发现其磷脂平均含量为0.71 mg/g,单宁平均含量为0.09%,总黄酮平均含量为0.58 mg/mL,总酚平均含量为53.35 mg/kg。磷脂会造成精炼时油脂的损耗并直接影响精炼成本;单宁具有抗氧化、抑制肿瘤细胞分裂以及缓解衰老的功能;黄酮具有降低血脂、降低胆固醇和杀菌消炎等作用;酚类化合物具有抗氧化功效。因此,在文冠果油的生产加工过程中应采用适度精炼工艺,尽量保留这些具有生物活性的功能成分,以提高油脂的营养价值。

2 文冠果油营养成分的主要影响因素

2.1 产地

文冠果在我国东起山东,西至新疆,南起安徽,北至内蒙古均有分布,文冠果油营养成分及含量随着种植地经纬度的变化而存在差异。牟洪香等^[24]利用GC-MS研究了内蒙古、河南、新疆等14个产地的文冠果油的脂肪酸组成,结果表明,亚油酸、亚麻酸、山萘酸、木焦油酸和神经酸的含量随着经纬度的增大而增大,棕榈酸、花生酸、硬脂酸的含量随着纬度的增大而增大,但随着经度的增大而减小,油酸的含量随着经纬度增大而减小。谢斌等^[25]对我国内蒙古、辽宁、甘肃等6个主要产地文冠果油的脂肪酸组成进行了测定,结果发现,不同产地文冠果油的主要脂肪酸含量存在差异,陕西杨凌的文冠果油饱和脂肪酸含量最低,内蒙古赤峰和甘肃景泰的文冠果油饱和脂肪酸含量最高,陕西淳化的文冠果油不

饱和脂肪酸含量最高,甘肃景泰的文冠果油不饱和脂肪酸含量最低。刘玉兰等^[20]选取了6个产地(河北、山东、内蒙古、河南、甘肃、辽宁)的文冠果油,测得其不饱和脂肪酸含量最高的是辽宁冷榨油(92.33%),最低的是河北冷榨油(90.59%),饱和脂肪酸含量最高的是河南冷榨油(8.71%),最低的是辽宁冷榨油(7.18%)。此外,产地对文冠果油中的 V_E 和植物甾醇含量以及其他微量成分均有影响^[20]。综上,文冠果油中营养成分的差异可能与产地的经纬度有关,但对文冠果油的报道中仍缺乏不同产地的生态条件、种植环境和土壤性质等对文冠果油综合品质影响的系统研究。

2.2 提取工艺

邓红^[26]采用GC-MS分析了不同提取工艺对文冠果油脂肪酸组成及含量的影响,发现通过索氏提取、冷榨提取、微波萃取和微波萃取得到的文冠果油分别有10、8、11种和10种脂肪酸,其中:对比文冠果油中油酸和亚油酸含量,发现冷榨提取的相对含量最高(74.17%),超声波萃取的相对含量最低(62.31%);对比文冠果油中棕榈酸和硬脂酸含量,发现冷榨提取的相对含量最高(12.64%),索氏提取的相对含量最低(6.40%);此外,冷榨提取的芥酸和神经酸的相对含量最低(6.73%),微波萃取的芥酸和神经酸的相对含量最高(14.5%)。王丽丽等^[27]利用索氏提取法、超声辅助法和超临界CO₂萃取法(SCFE-CO₂法)分别提取文冠果油,结果显示,3种方法提取的文冠果油脂肪酸组成及含量不同,SCFE-CO₂法提取的文冠果油中脂肪酸种类(15种)最多,油脂中的亚油酸(48.14%)、棕榈酸(5.78%)、硬脂酸(1.82%)含量比其他两种方法的高,但神经酸(1.42%)和芥酸(6.05%)含量比其他两种方法的低。郭雄等^[28]比较了不同制油工艺对文冠果油中生育酚和植物甾醇含量的影响,结果发现:浸出法获得的文冠果油中生育酚总含量(530.42 mg/kg)最高,其次是SCFE-CO₂法(生育酚含量482.96 mg/kg)和水酶法(生育酚含量471.35 mg/kg),而压榨法的最低(生育酚含量460.78 mg/kg);浸出法提取的文冠果油中植物甾醇含量最高(2105.06 mg/kg),水酶法的最低(植物甾醇含量1276.55 mg/kg)。综上可知,文冠果油提取工艺对其营养成分存在不同程度的影响,应进一步加大对提取工艺的研究来提高文冠果油营养成分的得率,以便于文冠果油营养成分的规模化开发应用。

2.3 贮油条件

文冠果油的高不饱和脂肪酸含量使其在贮藏期间容易发生氧化酸败,适当添加抗氧化剂能有效缓解油脂的氧化酸败和延长贮藏期,提高文冠果油贮藏期间的品质。陈江魁等^[29]研究了迷迭香提取物、抗坏血酸棕榈酸酯、特丁基对苯二酚和 V_E 对文冠果油氧化稳定性的影响,结果表明, V_E 对文冠果油营养成分及货架期的影响不明显,迷迭香提取物、抗坏血酸棕榈酸酯、特丁基对苯二酚能延长文冠果油货架期。此外,在低温和避光条件下,文冠果油氧化酸败速率降低,贮藏期延长,同时与光照相比,温度对文冠果油贮藏期的影响更为显著^[30]。由此可知,贮油条件对文冠果油的营养成分有影响,但目前对贮藏期间文冠果油营养成分组成和含量的变化规律研究较少,仍需深入探析,以期为文冠果油加工、贮藏及产品开发提供基础理论参考。

3 文冠果油的食用安全性

虽然在藏、蒙佛教中有对文冠果油食用的历史记载,但缺乏对其食用安全性和毒理学方面的研究。早期朱莲珍等^[31]为了解长期食用文冠果油对机体是否存在不良作用进行了动物饲养试验,观察了其对已经断乳的雌性大白鼠的生长和雌鼠再次繁殖泌乳的影响,但未进行食用安全毒理学研究。近年来,范雪层等^[32]采用急性毒性试验、3项遗传毒性试验和一个月时间的SD大鼠喂养试验对冷榨文冠果油进行食品安全毒理学研究,结果表明,SD大鼠的各项指标未出现异常现象,但尿肌酸值(CRE)普遍高于参考值,需通过进一步研究来确定原因。陆昕等^[33]分析了文冠果油对SD孕鼠毒性和胎鼠致畸性的影响,与范雪层等^[32]的研究结果相似,均显示文冠果油不具有毒性。综合分析可知,关于文冠果油的食用安全性的研究还不够全面深入,截至2020年6月发布的新食品原料目录,文冠果油尚未列入其中。因此,需进一步评估文冠果油的健康风险、食用安全性和毒理学,为开发文冠果食用油资源提供帮助。

4 文冠果油的功能活性

4.1 神经保护作用

神经酸参与神经鞘脂(构成大脑蛋白质和有髓神经纤维的重要组成成分)的形成,人体内神经酸水平下降会导致老年痴呆、脑萎缩等多种神经疾病的发生率提高^[34]。因此,神经酸是一种可修复神经损伤、治疗脑部疾病的有效物质,文冠果油因神经酸含量较高,可作为神经保护治疗的一种潜在资源。Hu

等^[35]以帕金森病小鼠为试验材料,研究了神经酸对运动障碍的潜在作用及相关机制,发现神经酸能减轻由1-甲基-4-苯基-1,2,3,6-四氢吡啶(MPTP)引起的行为缺陷,而且神经酸对小鼠无毒性作用,可以有效缓解帕金森病症状。此外,文冠果油中还含有三萜类化合物(主要为植物甾醇类物质)、酚类物质等,对治疗由神经炎症引发的神经退行性疾病有重要功效^[36]。为进一步利用文冠果油对神经保护的药效,可对获得高纯度功能活性分子的分离提取和药理学活性进行深入研究,将其应用于治疗帕金森综合征和阿尔茨海默病等神经疾病的药物研发,从而提高文冠果油的药用价值。

4.2 抑菌作用

植物甾醇是文冠果油中一种含量较高的天然组分,对细菌生长具有良好的抑制效果^[37]。曹立强等^[38]证实了文冠果油中植物甾醇对大肠杆菌以及枯草芽孢杆菌具有明显的抑制效果。赵茜茜^[39]研究了文冠果油中总甾醇的抑菌性,发现随着总甾醇质量浓度的升高,其对常见细菌的抑菌效果会增大。刘俊义等^[37]研究表明,文冠果油中的植物甾醇对金黄色葡萄球菌、鼠伤寒沙门氏菌具有良好的抑制效果,可能的原因是植物甾醇通过破坏菌体的生物膜抑制其生长。但是,关于文冠果油中植物甾醇的抑菌机制尚不清楚,今后还需继续深入研究,为将其开发成医疗保健品提供参考依据。

4.3 抗氧化作用

Su等^[40]通过DPPH自由基(DPPH·)清除试验和 β -胡萝卜素漂白法测定了文冠果油的抗氧化活性,以自由基吸光值减少一半所需的样品质量浓度(IC₅₀)作为比较文冠果油抗氧化活性的指标,结果显示,这两种试验测得的IC₅₀分别为0.151 g/mL和0.195 g/mL。邓红等^[41-42]以低温榨取的文冠果油为原料进行体外和体内抗氧化试验,在体外抗氧化试验中发现文冠果油对羟自由基(·OH)、超氧自由基(O₂⁻·)和DPPH·具有明显清除效果,在体内抗氧化试验中发现文冠果油可以有效提高小鼠肝、脑组织中的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活力,且能有效降低丙二醛(MDA)含量。综上,文冠果油具有显著的抗氧化活性,究其原因可能是文冠果种子中存在生育酚、植物甾醇、皂苷等多种抗氧化成分^[7],这些物质在油脂提取过程中进入到文冠果油中,赋予文冠果油具有抗氧化活性的潜力。

4.4 抗肿瘤作用

文冠果油中含有植物甾醇、皂苷和生育酚等多种化合物^[20],这些化合物能有效发挥治疗肿瘤的功效^[43]。植物甾醇、皂苷和生育酚能通过诱导细胞凋亡、调控细胞周期、抑制促癌基因表达或增加抑癌基因表达等多种作用机制起到治疗肿瘤功效^[44-46]。然而,当前关于文冠果抗肿瘤作用的研究主要集中于叶和果壳中,文冠果油中三萜类化合物抗肿瘤功效的研究相对欠缺,将文冠果油中三萜类化合物应用于癌症治疗的相关研究也较为薄弱。因此,在后续研究中应加大研究文冠果油中三萜类化合物、生育酚对癌症的治疗效果,阐明其作用机制,为进一步明确文冠果油的药用价值提供理论依据。

5 结语

基于营养成分分析和功能活性评价,文冠果油极具市场开发前景,有望成为优质的木本油脂新资源食品、医药保健品和工业油脂原料。为积极推进文冠果油产业化研究与开发的进程,建议:①从品种、产地、成熟度、加工工艺与贮油条件等层面,系统研究文冠果油品质特征和营养成分的形成机制和变化规律,为其品质调控和产品开发提供基础理论依据;②系统开展文冠果油主要营养成分和微量伴随物的分离、分析与结构表征,从细胞和动物水平进行有效成分的药理学活性评价,为全面揭示其营养价值和生理功能提供试验证据;③进一步系统开展文冠果油的食用安全性及毒理学评价,为其食用油脂产品的市场化开发提供有力支撑;④采用现代分子育种技术,加强“高油含量、高神经酸”文冠果新品种的选育工作,为生产文冠果功能油脂提供种质资源保障;⑤创新文冠果油产品的开发形式,丰富油品的市场化应用领域,畅通文冠果油原料的市场出口。希望在政府、有关科技工作者和产业技术人员的共同努力下,让文冠果油早日成为丰富人民餐桌的食用油新品种。

参考文献:

[1] ZHOU Q Y, LIU G S. The embryology of *Xanthoceras* and its phylogenetic implications[J]. *Plant Syst Evol*, 2012, 298(2): 457-468.

[2] 中国科学院植物研究所. 中国经济植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1961: 877-878.

[3] MONICA V C, MARIA V R, ENRIQUE M F, et al. Characterization of *Xanthoceras sorbifolium* Bunge seeds: lipids, proteins and saponins content[J]. *Ind Crop Prod*, 2017, 109: 192-198.

[4] 吴丽清, 郑战伟, 付凤奇, 等. 文冠果营养成分分析及

食用价值研究[J]. *农产品加工: 学刊*, 2010(11): 93-95.

[5] LANG Y, SUN Y, FENG Y, et al. Recent progress in the molecular investigations of yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge)[J]. *Bot Rev*, 2020, 86(2): 136-148.

[6] JI X F, CHI T Y, LIU P, et al. The total triterpenoid saponins of *Xanthoceras sorbifolia* improve learning and memory impairments through against oxidative stress and synaptic damage[J]. *Phytochemistry*, 2017, 25: 15-24.

[7] CHEN X, LEI Z, CAO J, et al. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and current uses of underutilized *Xanthoceras sorbifolium* Bunge: a review[J/OL]. *J Ethnopharmacol*, 2022, 283: 114747 [2021-08-23]. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114747>.

[8] ZHAO L, LI X, YE Z Q, et al. Nutshell extracts of *Xanthoceras sorbifolia*: a new potential source of bioactive phenolic compounds as a natural antioxidant and immunomodulator[J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(15): 3783-3792.

[9] VOUTQUENNE L, GUINOT P, FROISSARD C, et al. Haemolytic acylated triterpenoid saponins from *Harpullia austrocaledonica* [J]. *Phytochemistry*, 2005, 66(7): 825-835.

[10] 郭莹莹, 刘玉兰, 梁绍全, 等. 尿素包合法富集文冠果油中神经酸的研究[J]. *中国油脂*, 2018, 43(7): 119-123.

[11] 唐东慧, 阮成江, 孟婷, 等. 不同种质文冠果含油量及油中脂肪酸组成分析[J]. *中国油脂*, 2017, 42(3): 77-81.

[12] 骆芬芳. 文冠果油中神经酸提取纯化及生物柴油制备工艺研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2021.

[13] 蒲定福, 冯自伟, 郑仁健, 等. 神经酸来源新方向的探讨[J]. *中国油脂*, 2021, 46(8): 76-80, 86.

[14] ALTINOZ M A, OZPINAR A. PPAR- δ and erucic acid in multiple sclerosis and Alzheimer's disease. Likely benefits in terms of immunity and metabolism[J]. *Int Immunopharmacol*, 2019, 69: 245-256.

[15] 玉荣, 熊淑婷, 高英. GC-MS法对超临界提取文冠果油中总甾醇和脂肪酸的测定[J]. *北方药学*, 2014, 11(5): 16-17.

[16] 郭咪咪, 王瑛瑶, 闫军, 等. 典型木本油料油脂的特性分析[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(2): 74-79.

[17] 赵茜茜, 刘俊义, 王珂, 等. 文冠果种仁油中总甾醇的皂化法提取及组成分析[J]. *天然产物研究与开发*, 2015, 27(10): 1737-1742.

[18] 严梅和, 李佩文, 熊丽曾. 文冠果仁油非皂化物中甾醇部分的分离、含量测定和结构鉴定[J]. *林业科学*, 1984, 20(4): 389-396.

[19] 周洋, 杨文婧, 操丽丽, 等. 生育酚抑制油脂氧化机制

- 研究进展[J]. 中国油脂, 2018, 43(8): 32-38.
- [20] 刘玉兰, 郭莹莹. 不同产地原料和不同工艺制取文冠果油的综合品质研究[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(6): 1-6.
- [21] 顾强, 石晶, 袁大伟, 等. 常见植物油中8种生育酚和生育三烯酚含量分析[J]. 食品工业, 2017, 38(2): 304-307.
- [22] CHIN K Y, PANG K L, SOELAIMAN I N. Tocotrienol and its role in chronic diseases[J]. Adv Exp Med Biol, 2016, 928: 97-130.
- [23] QING J. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities and their role in disease prevention and therapy[J]. Free Radical Bio Med, 2014, 72: 76-90.
- [24] 牟洪香, 侯新村, 刘巧哲. 不同地区文冠果种仁脂肪脂肪酸组分及含量的变化规律[J]. 林业科学研究, 2007, 20(2): 193-197.
- [25] 谢斌, 慈顺, 程敏, 等. 不同产地文冠果种子性状及含油率分析[J]. 陕西林业科技, 2019, 47(4): 22-24.
- [26] 邓红, 孙俊, 张媛, 等. 不同方法提取的文冠果籽油的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 354-358.
- [27] 王丽丽, 于景华, 王力华, 等. 文冠果油不同提取方法间的差异[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(4): 577-579, 592.
- [28] 郭雄, 彭吟雪, 胡传荣, 等. 不同制油工艺对文冠果油特性及品质影响的研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(9): 8-13.
- [29] 陈江魁, 李静, 殷春燕, 等. 4种抗氧化剂对文冠果油氧化稳定性及脂肪酸组成影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 1-7.
- [30] 范琛. 天然抗氧化剂在文冠果油中抗氧化效果的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2016.
- [31] 朱莲珍, 冯祖琳, 郑素芳. 文冠果油食用价值的研究[J]. 卫生研究, 1974(4): 26-30.
- [32] 范雪层, 邓红, 张立云. 冷榨文冠果油食用安全性毒理学评价[J]. 中国油脂, 2009, 34(5): 32-37.
- [33] 陆昕, 乌志颜, 潘喜华, 等. 文冠果油对SD孕鼠毒性和胎鼠致畸性研究[J]. 中国油脂, 2021, 46(6): 71-75.
- [34] LI Q, CHEN J, YU X, et al. A mini review of nervonic acid: source, production, and biological functions[J/OL]. Food Chem, 2019, 301: 125286 [2021-08-23]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125286>.
- [35] HU D, CUI Y, ZHANG J. Nervonic acid amends motor disorder in a mouse model of Parkinson's disease[J]. Transl Neurosci, 2021, 12(1): 237-246.
- [36] LIANG Q, FANG H, LIU J, et al. Analysis of the nutritional components in the kernels of yellowhorn (*Xanthoceras sorbifolium* Bunge) accessions[J/OL]. J Food Compos Anal, 2021, 100(3): 103925 [2021-08-23]. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103925>.
- [37] 刘俊义, 赵茜茜, 张志宇, 等. 文冠果种仁油中甾醇的抑菌活性及其机理初探[J]. 中国油脂, 2016, 41(10): 29-33.
- [38] 曹立强, 李丹丹, 邓红, 等. 文冠果油中植物甾醇的提取及其抑菌特性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2010, 22(2): 334-338.
- [39] 赵茜茜. 文冠果种仁油中总甾醇的提取纯化、组成分析及抑菌性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2016.
- [40] SU Z, YUAN G Z, YU J F, et al. Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge.) and its antioxidant activity [J]. Bioresour Technol, 2010, 101(7): 2537-2544.
- [41] 邓红, 范雪层, 田子卿, 等. 文冠果种仁冷榨油体内抗氧化功能研究[J]. 中国油脂, 2010, 35(12): 38-40.
- [42] 邓红, 何玲, 孙俊. 文冠果油的冷榨提取及理化性质研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2006, 28(6): 1027-1031.
- [43] RAMPRASATH V R, AWARD A B. Role of phytosterols in cancer prevention and treatment [J]. J AOAC Int, 2015, 98(3): 735-738.
- [44] BLANCO V F, LIDIA C, JULVE J. Phytosterols in cancer: from molecular mechanisms to preventive and therapeutic potentials [J]. Curr Med Chem, 2018, 25(37): 6735-6749.
- [45] KHAN M, MARYAM A, ZHANG H, et al. Killing cancer with platycodin D through multiple mechanisms [J]. J Cell Mol Med, 2016, 20(3): 389-402.
- [46] 李辉, 罗非君, 林亲录. γ -生育酚抗癌作用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(3): 6-8.