牡丹籽油营养成分及加工工艺研究进展

Research progress on nutrients and processing technology of peony seed oil

樊永康 项婷 王微 沈建福

FAN Yong-kang XIANG Ting WANG Wei SHEN Jian-fu

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058)

(College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China)

摘要:对牡丹籽油的营养成分,包括脂肪酸成分、不皂化物组成、微量元素进行概括总结,并对牡丹籽油的功能特性、提取工艺、精炼工艺及成品油的加工进行了综述分析。

关键词:牡丹籽油;营养成分;工艺;开发

Abstract: In this paper, the nutritional components of peony seed oil, including fatty acid, unsaponifiable compounds and trace elements, were summarized, and the functional properties, extraction process, refining process and processing of product oil of peony seed oil were also summarized and analyzed in order to provide reference for the further development of peony seed oil.

Keywords: peony seed oil; nutrient content; technology; development

牡丹(peony)被誉为中国的国花,主要分布在山东菏泽、安徽铜陵、河南洛阳等地,素有“国色天香”“百花之王”的美称^[1],其野生品种作为珍贵的花卉资源,深受人们的喜爱^[2]。牡丹皮是主要的入药成分,据《中华人民共和国药典》记载,丹皮具有清热凉血、活血化瘀的功效,主治热入营血、温毒发斑、吐血衄血、夜热早凉等症^[3]。牡丹籽是丹皮生产副产品,以牡丹籽为原料,经过不同提取工艺可制成金黄色的牡丹籽油。鉴于目前中国以种植草木植物油料为主,且土地资源有限,因此卫生部 2011 年发布第 9 号《卫生部关于批准元宝枫籽油和牡丹籽油作为新资源食品的公告》,发展新资源油料势在必行^[4]。牡丹籽油富含 α -亚麻酸、亚油酸、油酸等不饱和脂肪酸(UFA),总 UFA 含量 85% 以上,其中 α -亚麻酸的含量是核桃油的 5 倍,是玉米油的 30 倍以上^[5]。因此,开发牡丹籽油对满足人类的营养需求具有重大的意义。本文对

牡丹籽油的营养成分和加工工艺进行综述,以期对牡丹籽油的开发提供参考。

1 牡丹籽及其油脂的营养成分及功能特性

1.1 牡丹籽的营养成分

牡丹籽是一种比黄豆稍大的圆形籽粒,色黑、皮硬、味苦。6~8 年的植株每公顷可产牡丹籽达 4 500~6 000 kg,极具开发潜力。牡丹籽的营养成分中,脂肪含量最高,约为 31.22%,高于大豆脂肪含量(约 19%)^[6]。蛋白质含量次之,约是玉米胚芽中蛋白质含量的 2 倍^[7]。牡丹籽中各营养成分如表 1 所示^{[8]14-15},除此之外,牡丹籽还含有黄酮、纤维、果胶等物质。

表 1 牡丹籽的基本成分

Table 1 The basic components of peony seeds %

水分	粗脂肪	粗蛋白	淀粉	可溶性糖	灰分
9.18	31.22	20.35	9.90	7.82	2.38

1.2 牡丹籽油的脂肪酸组成

由表 2 可知, α -亚麻酸的含量为 34.21%~74.09%,其中压榨法得到的 α -亚麻酸含量最高,达到了 74.09%。亚油酸的含量为 13.65%~33.62%,其中压榨法和水酶法得到的亚油酸含量较高,分别达到 33.62% 和 31.13%。油酸的含量为 0.46%~27.40%,其中浸出法所得的油酸含量较高,达到 27.40%。

对不同种类常见的植物油中的脂肪酸含量进行比较。由表 3 可知,牡丹籽油的 UFA 中 α -亚麻酸含量最高,达到 74.09%,远远高于其它常见的植物油。研究表明: α -亚麻酸具有降血糖、降血脂^[19]、减肥^[20]、预防心血管疾病^[21]、抗癌^[22-23]等功能。 α -亚麻酸和亚油酸是人体必需的脂肪酸。 α -亚麻酸在肝脏去饱和酶和链延长酶的作用下,能够生成 EPA 和 DHA。牡丹籽油含有丰富的人体容易吸收的单一不饱和脂肪酸和 α -亚麻酸,是其营养和保健功能的重要物质基础。

基金项目:国家农业部首席科学家项目(编号:CARs-11-zjlby);国家自然科学基金面上项目(编号:31270722)

作者简介:樊永康,男,浙江大学在读硕士研究生。

通信作者:沈建福(1964—),男,浙江大学教授,硕士。

E-mail:20375510@qq.com

收稿日期:2018-06-27

表2 不同提取工艺获得的牡丹籽油中各脂肪酸含量[†]

Table 2 The content of fatty acids in peony seed oil obtained by different extraction processes %

工艺	硬脂酸	油酸	亚油酸	α -亚麻酸	总 SFA	总 UFA	参考文献
超声波辅助提取法	1.19	23.15	17.35	47.78	5.40	88.21	[9]
超声波辅助提取法	1.48	22.42	28.80	41.13	6.58	92.35	[10]
超临界 CO ₂ 提取	1.81	25.20	28.65	37.41	8.74	91.26	[11]
超临界 CO ₂ 提取	1.21	24.49	27.89	39.54	8.88	91.12	[12]
压榨法	1.80	24.10	27.20	39.50	9.12	89.34	[13]
压榨法	1.37	—	15.48	74.09	9.97	90.03	[14]
浸出法	—	18.18	13.65	65.23	3.38	96.62	[15]
浸出法	1.50	27.40	18.30	46.90	6.90	92.90	[16] ²⁰⁻²³
水酶法	3.56	—	24.05	58.16	16.84	83.16	[17]
水酶法	1.47	24.31	31.13	37.33	—	92.77	[18]

† “—”表示参考文献中没有列出该项或该脂肪酸含量低于1%。

表3 不同种类植物油脂脂肪酸成分的质量分数[†]

Table 3 Mass fraction of fatty acids in different types of vegetable oils %

油脂	硬脂酸	油酸	亚油酸	α -亚麻酸	棕榈酸	总 UFA	参考文献
牡丹籽油	1.37	—	15.48	74.09	6.29	>85.00	[14]
核桃油	2.39	14.47	61.51	15.14	5.97	>90.00	[24]
玉米油	1.69	26.23	58.07	1.30	12.39	80.50	[25]
油茶籽油	5.36	70.32	—	—	17.80	>80.00	[26]
紫苏油	3.66	14.85	18.32	51.74	7.75	89.64	[27]
橄榄油	2.10	68.20	9.50	—	16.43	>80.00	[28]
大豆油	5.19	21.61	53.71	8.85	9.80	>80.00	[29]
亚麻籽油	5.10	20.70	14.00	59.40	6.60	>90.00	[30]

† “—”表示参考文献中没有列出该项或该脂肪酸含量低于1%。

1.3 牡丹籽油中不皂化物组成及矿质元素

牡丹籽油的不皂化物组成包括角鲨烯、植物甾醇、维生素E等。其植物甾醇含量达到197.34 mg/100 g,还发现少量的角鲨烯,维生素E含量也较高,可达到98.51 mg/100 g^[31],高于核桃油(34.8 mg/100 g)、山茶油(24.9 mg/100 g)、橄榄油(32.0 mg/100 g),与小麦胚芽油(103.4 mg/100 g)基本相当^[32-33]。此外,Chen等^[34]优化离子液体酶萃取的新方法从牡丹籽油中获得化合物白藜芦醇,提取率达到5.48 μ mol/g。Mao等^[35]分析了9种不同的牡丹籽油的化学成分,牡丹籽油的 α -亚麻酸含量最高达到51.96%,白藜芦醇含量最高达到2.12 mg/g,芍药苷含量最高为23.66 mg/g。维生素E、角鲨烯、白藜芦醇是天然的抗氧化剂,具有清除人体自由基,延缓衰老、抗癌等多种生理功能。

牡丹籽油还含有人体所需要的一些矿质元素。翟文婷等^[36]在牡丹籽油中检出了Ca、Na、Fe、K、Zn、Mg、Cu等元素。其中Ca和Na的含量较高,约为150 mg/kg,Fe、K、Zn和Mg的含量为20~60 mg/kg,Cu的含量最低,为0.73 mg/kg。马广莹等^[31]对牡丹籽油和芍药籽油中的有益金属含量(Ca、Fe、Zn、Mg)等元素进行了测定,结果显示牡丹籽油中的Fe和Zn含量高于芍药籽油,而Ca和Mg含量却低于芍药籽

油。Ca、Fe、Zn、Mg等矿质元素在促进人体生长发育过程中起着重要的作用,用于维持人体正常新陈代谢。

1.4 牡丹籽油的功能特性

王芸^[37]通过小鼠的急性毒性试验、大鼠的亚急性试验和致畸试验来研究牡丹籽油的安全性,小鼠的急性毒性试验显示牡丹籽油没有明显的毒性反应,大鼠的亚急性试验显示牡丹籽油没有明显毒性反应,大鼠的母体和胚胎均未表现出明显的胚胎毒性和致畸效应。Yang等^[38]研究表明牡丹油对DPPH自由基清除作用的 EC_{50} 为29.30 mg/mL,小鼠的肝损伤模型和高脂模型试验显示牡丹籽油能明显改善小鼠的肝损伤和降低血脂。陈伟等^[39]研究表明牡丹籽油能够显著改善小鼠的皮肤烫伤,在治疗15 d之后,小鼠的皮肤创伤面积缩小了1/3。Su等^[40]通过建立小鼠糖尿病模型来研究牡丹籽油的降糖效果,结果显示牡丹籽油(40 mg/d)能够显著降低模型组小鼠的血糖。综上,牡丹籽油是一种营养价值较高的新资源食品,这些研究为牡丹籽油的开发提供了重要依据。

2 牡丹籽油的加工工艺

传统的牡丹籽油的加工工艺包括牡丹籽的清理、剥壳、烘炒、压榨等一系列的步骤,具体加工工艺流程:

饼粕
↑

牡丹籽→除杂、剥壳→籽仁→烘炒→压榨(提取工艺)→毛油→脱胶→脱酸→脱色→脱皂→成品油

2.1 牡丹籽油的提取工艺

2.1.1 机械压榨法 机械压榨法是一种非常传统的油脂提取方法,是借助机械外力,将油脂从油料中挤出来的取油方法。油脂在加工过程中,又分为一次压榨和预榨浸出 2 种方法。一次压榨要求压榨过程中将油料中的油脂尽可能多地榨出。而预榨浸出是压榨过程中仅要求将油料中约 70% 的油脂榨出,之后再行有机溶剂浸出取油^[41]47。

贾玉良^[16]19-20 研究了炒制温度对牡丹籽油出油率的影响,最后得到在 120 °C 下炒制 6 min,牡丹籽油的出油率最高,达到了 25%。牡丹籽在一定温度下进行炒制可以增加其出油率,原因是高温破坏了油料细胞的结构,使蛋白质变性,油脂聚集,油脂黏度和表面张力降低,减小了榨油时所遇到的阻力^[42]393。机械压榨法作为传统的油脂提取方法,其工艺简单灵活,尤其是压榨油风味独特,无溶剂残留,深受消费者喜爱。

2.1.2 溶剂浸出法 凡是利用某些有机溶剂(如轻汽油、工业己烷、丙酮、无水酒精)“溶解”油脂的特性,将料坯或预榨饼中油脂提取出来的方法称为浸出法^[42]393。在浸出法整个生产过程中,有机溶剂的有效性(增加出油率)和安全性都是焦点。目前使用最多的有机溶剂是“6 号”提取溶剂油。马晓等^[43]利用有机溶剂浸出法提取牡丹籽油发现提取温度 70 °C、提取时间 1.5 h、料液比 1:5 (g/mL),牡丹籽油的出油率为 32.93%。李莉莉等^[44]也研究了提取温度、提取时间、料液比对牡丹籽油出油率的影响,发现在浸出时间为 5.2 h、料液比 1:6.2 (g/mL)、温度 52 °C,出油率达到 31.21%。但由于温度、时间和料液比的不同,导致牡丹籽油出油率存在差异。提取温度过高,可能会导致正己烷挥发,减少其与原料的接触面积,料液比也需要在合适的范围内,过度的增加溶剂量,会导致浪费,有机溶剂也存在一定的环境污染。相比于机械压榨法,溶剂浸出法的出油率较高,具有更高的经济效益,已经成为现在最主流的制油方法,但其安全性仍值得考究。

2.1.3 超临界 CO₂ 萃取法 超临界流体萃取(Supercritical Fluid Extraction, SFE)是以超临界流体为溶剂,利用其高渗透性和高溶解能力来提取分离混合物的过程^[45]。超临界萃取技术同时具有液相萃取和精馏 2 种特点,它的萃取能力取决于流体的密度,很容易通过调节温度和压力来控制,而且其溶剂回收方便,可循环使用大大节省了能源。肖丰坤等^[46]研究发现萃取时间为 1 h,萃取温度为 40 °C,萃取压力为 45 MPa,CO₂ 流量为 20 kg/h 时出油率达到 27.34%。超临界 CO₂ 萃取法的萃取剂 CO₂ 是无毒的,不存在安全上的问题。但由于超临界 CO₂ 萃取设备昂贵,无法在工业上大规模使用。因而目前市场上提取牡丹籽油主要以机械压榨法和溶剂浸出法为主。

2.1.4 超声波辅助提取法 超声波萃取(Ultrasound Extrac-

tion, UE)是利用超声波辐射压强产生的强烈空化效应、扰动效应、高加速度、击碎和搅拌作用等多级效应,增大物质分子运动频率和速度,增加溶剂穿透力,从而加速目标成分进入溶剂,促进提取的进行。超声波对油脂的萃取分离的强化作用主要源于其空化作用,使溶剂分子渗透到组织细胞中,与溶质分子更好地接触,使细胞中可溶成分更好地释放出来^[47]。

洪晴悦等^[10]研究了提取溶剂对出油率的影响,发现以正己烷作为提取溶剂,牡丹籽油的出油率达到 26.11%。陈程等^[48]发现当浸提时间为 4 h 时,牡丹籽的出油率仅为 11.15%,可能是牡丹籽的超声时间较短,油脂没有完全进入溶剂。与其它方法相比,超声波辅助提取法具有时间短、提取溶剂消耗量少、提取率高等优点。超声波辅助提取法和微波提取法一样只能小规模使用,很难在工业上大规模使用。超声波辅助提取法主要存在的问题:① 超声波辅助提取法目前还很难实现自动化控制,仍处于手动阶段;② 超声波辅助提取法提取有效成分时也会使一些不必要的成分溶出;③ 超声波的温度、功率等参数不易控制,会给试验带来一定的误差。

2.1.5 水酶法 水酶法是提取牡丹籽油的一种新型方法,以机械破碎为基础,利用对油料组织以及对脂多糖、脂蛋白等复合体有降解作用的酶(如纤维素酶、半纤维素酶、果胶酶、淀粉酶)进行酶解。蛋白酶渗透到脂体质膜内,以及酶对脂多糖、脂蛋白的分解作用,有利于油脂从油脂体中释放,从而提高出油率^[49]。李加兴等^[50]优化水酶法提取牡丹籽油的最优工艺条件为:酶解温度 52 °C、料液比 1:3 (g/mL)、酶添加量 3.6%(以牡丹籽质量计)、酶解时间 4 h,牡丹籽油的出油率为 27.93%。江连洲^[51]探究超声波辅助水酶法提取牡丹籽油的工艺,发现超声辅助水酶法牡丹籽油得率为 22.13%,水酶法得率为 20.34%,超声辅助不仅能提高得率,而且提取的牡丹籽油酸值低,品质高。

水酶法提取牡丹籽油要特别注意酶制剂的选择,将单一的水解酶进行复配使用,有利于提高牡丹籽油的出油率。与压榨法和浸出法等传统方法相比,水酶法提油无溶剂残留,可减少亚麻酸等不饱和脂肪酸的氧化,大大提高了产油的质量。目前关于水酶法提取牡丹籽油需要解决以下一些问题:① 优化工艺使水酶法能在工业上大规模使用,提高牡丹籽油的出油率,减少工业成本;② 水酶法提取过程中一部分油脂存在于乳状液中,对于乳状液的破乳还需要进一步的研究。

2.2 牡丹籽油的精炼工艺

以上工艺所得到的牡丹籽油是毛油,毛油中含有很多的杂质,需要经过不同精炼措施处理才能得到精炼油。牡丹籽油中常见的杂质有水分、胶溶性杂质、游离脂肪酸等。牡丹籽油精炼工艺包括脱胶、脱酸、脱色和脱皂。

2.2.1 脱胶 牡丹籽油中胶溶性的杂质有磷脂、蛋白质和糖类等。磷脂分子中含有多不饱和脂肪酸,容易氧化酸败。除去磷脂等胶溶性杂质的过程称为“脱胶”。油脂工业中常用水化脱胶,其原理是利用胶溶性杂质具有亲水性这一特点,

将一定量热水、磷酸等电解质水溶液加入到毛油中,使其中的胶溶性杂质吸水凝聚,然后沉降分离。影响脱胶工艺的参数主要有脱胶温度、时间、加水量。为防止牡丹籽油氧化,脱胶温度不能过高。周畅^[52]利用正交试验对牡丹籽油进行脱胶工艺的研究,发现温度 75 °C、时间 30 min,加入油重 10% 的去离子水,牡丹籽油脱磷脂率达到 91.5%,可作为牡丹籽油的水化脱胶工艺。

2.2.2 脱酸 牡丹籽毛油中含有约 0.5%~5.0% 的游离脂肪酸,游离脂肪酸过多会产生刺激性气味,加速油脂酸败^{[41]52}。常用的脱酸方法是碱炼法和蒸馏法。碱炼法的原理是利用碱与脂肪酸发生中和反应来中和游离的脂肪酸,其具有脱酸速度快、效率高等特点。蒸馏法的原理是借真空水蒸气蒸馏达到脱酸目的。毛程鑫^[53]分别使用碱炼法和蒸馏法对牡丹籽毛油进行脱酸,碱炼法脱酸后酸值由 9.76 mg/g 降到 0.21 mg/g,蒸馏法脱酸后酸值由 18.51 mg/g 降到 1.21 mg/g,2 种方法脱酸效果都较好。

2.2.3 脱色 油脂在加工过程中会呈现出不同的颜色,缘于油脂中含有各类不同的色素。毛油中的色素主要有叶绿素、类胡萝卜素以及加工过程中蛋白质和糖类分解产生的褐色色素。这些色素会影响油脂的外观和稳定性。油脂工业中最广泛使用的脱色方法是吸附脱色法。根据文献^[8]²³⁻³⁰分别使用活性白土、活性炭对牡丹籽毛油进行脱色,发现两者的脱色效果相当,所得的产品油澄清透明、颜色为淡黄色,而白土脱色之后带有白土味,故选择活性炭作为脱色剂较好。

2.2.4 脱臭 脱臭是油脂精炼工艺的最后一步,脱臭的目的是除去油脂中各种臭味。常用的脱臭方法是水蒸气蒸馏法脱臭。马素敏等^[54]探究了脱臭温度和脱臭时间对牡丹籽油过氧化值和气味的影响,发现脱臭温度 190 °C,脱臭时间 60 min,酸值、过氧化值、色泽和气味指标基本符合二级大豆油国家标准。

综上牡丹籽油的精炼工艺可知,目前较为理想的牡丹籽油精炼工艺为:采用水化法脱胶,脱胶温度 75 °C;碱炼法和蒸馏法进行脱酸;白土或活性炭进行脱色;水蒸气蒸馏法进行脱臭。但目前对牡丹籽油精炼工艺的研究还很少,工业上还会存在脱臭不完全等问题,对牡丹籽油的精炼工艺还需深入研究。

2.3 成品油的加工

牡丹籽油经过精炼工序后得到成品油,由于牡丹籽油含有大量的 UFA,所以其在贮存、运输过程中极容易被氧化。因此,需要对精炼之后的成品油进行处理,以延长其货架期,保证其营养价值。

2.3.1 抗氧化剂的添加 食用的抗氧化剂分为天然抗氧化剂和人工合成抗氧化剂。人工合成抗氧化剂包括 BHA、BHT、PG 等,但由于其对人体存在潜在的毒性而愈来愈受到人们的排斥。天然抗氧化剂如竹叶黄酮、生育酚、茶多酚等逐渐被应用到油脂中。

白章振^[55]研究表明,天然抗氧化剂茶多酚、牡丹酚、迷迭香等能够显著提高牡丹籽油的抗氧化性,且效果优于 BHA、BHT。高原菊^[56]采用抗氧化剂复配的方法,发现复配

的抗氧化剂抗氧化效果优于单一抗氧化剂,其中 0.2 g/kg 柠檬酸和 0.4 g/kg 迷迭香复配的抗氧化剂效果最好,原因可能是复配的抗氧化剂产生游离基生成新的化合物,该化合物可进一步与过氧化自由基结合而成为相对稳定的物质,继续发挥抗氧化作用,使其抗氧化性得以增强。

2.3.2 微胶囊技术 微胶囊化是一种用可食性涂层材料来抑制氧化和保护敏感成分的技术。在外层有一层物理屏障,来保护芯材免受诸如氧化之类的不良反应,从而有助于延长芯材储存期限和控制芯材的释放^[57-58]。

Wang^[59]利用喷雾干燥法制备牡丹籽油微胶囊,并对它的氧化稳定性和在体外消化的释放能力进行研究,结果发现随着储存时间的延长,微胶囊后的牡丹籽油过氧化值(PV)和硫代巴比妥酸值(TBARS)显著低于牡丹籽油,说明牡丹籽油微胶囊化后具有更高的抗氧化稳定性。这是因为外层的微胶囊壁材有卵磷脂,其能在油水界面形成致密的抗氧化薄膜,来减少油脂的氧化^[60]。Sun 等^[61]使用 β -环状糊精包埋牡丹籽油,发现牡丹籽油微胶囊在小鼠体内的生物利用度要高于牡丹籽油,而且微胶囊化也提高了牡丹籽油的水溶性。

2.3.3 牡丹籽油软胶囊 软胶囊是继片、针剂后发展起来的一种新剂型,能将油状药物、药物溶液或药物混悬液、糊状物甚至药物粉末定量压注并包封于胶膜内,形成大小、形状各异的密封胶囊^[62]。与其它剂型相比,软胶囊具有生物利用度高、外形美观等特点。软胶囊在中国发展很快,在保健品、化妆品等领域都广为应用。朱宗磊^[63]研究了牡丹籽油软胶囊的稳定性及其功能特性,发现牡丹籽油软胶囊在 38 °C 下贮存 3 个月后各理化指标没有变化,稳定性较好。功能性试验表明,牡丹籽油能够显著降低小鼠血脂和提高小鼠免疫力。

3 前景与展望

牡丹籽油除了可以为人体提供丰富的 UFA、植物甾醇以及 Ca、Fe、Zn、Mg 等丰富的矿质元素。这些成分对调节血脂、维持细胞膜渗透压平衡、保护神经起到重要的作用。所以,牡丹籽油在食品、药品、保健品等领域有着广泛的开发前景。中国对牡丹籽油的开发利用尚处于初级阶段,工业上大规模提取牡丹籽油也仅限于传统工艺,对牡丹籽油的功效研究还没有深入。关于牡丹籽油及其副产物开发提出如下建议。

(1) 牡丹籽油 α -亚麻酸的含量最多,超过其它植物油,但是油酸、亚油酸的含量低于其它的植物油,例如核桃油的亚油酸含量很高,山茶油的油酸含量很高,分别可以达到 61.51% 和 70.32%。将这些植物油相互调和,使其营养成分互补,开发出营养更加全面的调和油,这将使牡丹籽油以及其它植物油的营养成分被更加充分地利用。牡丹籽油中还含有丰富的矿质元素,例如 Ca、Fe、Zn、Mg 等,可以开发含有高钙和高铁的牡丹籽油来满足缺钙和缺铁的特殊人群。

(2) 牡丹籽油中的多不饱和脂肪酸在加工和运输过程中极容易被氧化。目前提高牡丹籽油抗氧化能力的方法有

添加抗氧化剂、做成微胶囊和软胶囊等来延长其保质期。牡丹籽油微胶囊壁材主要有碳水化合物类、蛋白质类、胶体类等。为了提高微胶囊的稳定性和密封性,可以采用粘合强度和自愈能力较高的纳米和微米材料合成的壁材进行微胶囊化。这样不仅可以更好地贮藏牡丹籽油,而且能够更好地提高牡丹籽油的商业价值。

参考文献

- [1] 李嘉珏, 赵孝庆, 张西方. 中国牡丹[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2011: 16.
- [2] 沈保安. 中国芍药属牡丹组药用植物资源与分类鉴定[J]. 中草药, 1997, 28(11): 688-690.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 119.
- [4] 韩继刚, 李晓青, 刘焯, 等. 牡丹油用价值及其应用前景[J]. 粮食与油脂, 2014(5): 21-25.
- [5] 王青, 孙金月, 郭淑, 等. 7 种特种油脂的脂肪酸组成及抗氧化性能[J]. 中国油脂, 2017, 41(6): 125-128.
- [6] 朱明月. 利用回交导入系群体定位大豆蛋白质、脂肪含量及脂肪酸含量 QTL[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017: 3-4.
- [7] 王霞, 丁继峰, 鹿保鑫, 等. 玉米胚芽蛋白提取及组成成分分析[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(2): 62-66.
- [8] 彭瑶瑶. 牡丹籽油和蛋白的提取、精制和性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
- [9] 马君义, 朱建朝, 盛爱霞, 等. 永靖紫斑牡丹籽油与凤丹牡丹籽油理化性质与脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2018, 43(1): 147-150.
- [10] 洪晴悦, 张玉. 超声波辅助提取牡丹籽毛油的工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 159-164.
- [11] 瞿杰. 牡丹籽油脂的理化性质研究及抗氧化肽的分离鉴定[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017: 12-17.
- [12] YANG Xin, ZHANG Di, SONG Li-min, et al. Chemical profile and antioxidant activity of the oil from peony seeds (*Paeonia suffruticosa* Andr.)[J]. *Oxidative Medicine & Cellular Longevity*, 2017, 6: 1-11.
- [13] 张水滔, 徐娟, 高明, 等. 滇牡丹籽油的脂肪酸组成及不同天然抗氧化剂对其货架期的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(3): 124-126.
- [14] ZHAI Jie, SHI Jun-jun, FANG Zhang, et al. The effects of process technology on the physicochemical properties of peony seed oil[J]. *Grasas Y Aceites*, 2017, 68(2): 92-101.
- [15] 张晓, 王佳雅, 张丹, 等. 牡丹籽油的理化指标、卫生指标和脂肪酸组成分析[J]. 现代食品, 2018(4): 82-85.
- [16] 贾玉良. 牡丹籽油提取工艺优化及其微胶囊化技术研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2015.
- [17] 李静, 姚茂君, 李俊, 等. 响应面法优化牡丹籽油的水酶法提取工艺[J]. 中国油脂, 2014, 39(10): 14-18.
- [18] 彭瑶瑶, 王千千, 王爱梅, 等. 水酶法提取牡丹籽油的研究[J]. 中国油脂, 2014(6): 12-17.
- [19] MIEKE Cabout, MARJAN Alssema. Circulating linoleic acid and alpha-linolenic acid and glucose metabolism: the Hoorn Study[J]. *Original Contribution*, 2017, 56: 2 171-2 180.
- [20] LEI Sha, HUANG Feng-jie, ZHAO Ai-hua. The ratio of dihomog-linolenic acid to deoxy cholic acidspecies is a potential biomarker for the metabolic abnormalities in obesity[J]. *FASEB Journal*, 2017, 31(9): 3 904-3 912.
- [21] SHOHEI Ouchi, TETSURO Miyazaki. Decreased circulating dihomogammalinolenic acid levels are associated with total mortality in patients with acute cardiovascular disease and acutedecompensated heart failure[J]. *Lipids in Health and Disease*, 2017, 16: 150-157.
- [22] HIROSHI Honda, TAISUKE Kawamoto. Alpha-linolenic acid-enriched diacylglycerol oil does not promote tumor development in tongue and gastrointestinal tract tissues in a medium-term multi-organ carcinogenesis bioassay using male F344 rat[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2017, 106: 185-192.
- [23] 唐丽娜, 赖政扬, 黄秀丽, 等. 灵芝孢子油与 6 种其他植物油中的脂肪酸组分的比较[J]. 中国农学通报, 2017, 33(5): 122-127.
- [24] RABADÁN A, ÁLVAREZORTÍ M, PARDO J E, et al. Storage stability and composition changes of three cold-pressed nut oils under refrigeration and room temperature conditions[J]. *Food Chemistry*, 2018, 259: 31-35.
- [25] ZHENG Li-you, JI Cong-li, JIN Jun, et al. Effect of moisture and heat treatment of corn germ on oil quality[J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 2018, 95(3): 383-390.
- [26] YANG Kai-min, HU Fu-lan, CHEN Chi-wei, et al. Quality characterization and oxidative stability of camellia seed oils produced with different roasting temperatures[J]. *Journal of Oleo Science*, 2018, 67(4): 389-396.
- [27] SINGH S K, KOLE P C, MISRA A K, et al. Characterization of *Perilla frutescens* (Linn.) Britt based on morphological, biochemical and STMS markers[J]. *Industrial Crops & Products*, 2017, 109: 773-785.
- [28] WANG Jia-wei, MA Lu-yi, GÓMEZ-DEL-CAMPO M, et al. Youth tree behavior of olive (*Olea europaea*, L.) cultivars in Wudu, China: Cold and drought resistance, growth, fruit production, and oil quality[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 236: 106-122.
- [29] GHASSEMI-GOLEZANI K, FARHANGI-ABRIZ S. Changes in oil accumulation and fatty acid composition of soybean seeds under salt stress in response to salicylic acid and jasmonic acid[J]. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2018, 65(2): 229-236.
- [30] SAD S, EAFDS T, ALMEIDA A P, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons content and fatty acids profile in coconut, safflower, evening primrose and linseed oils[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 798-805.
- [31] 马广莹, 史小华, 邹清成, 等. 芍药籽油理化性质测定及与牡丹籽油比较分析[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(3): 131-134.
- [32] 任传义, 张延平, 汤富彬, 等. 油茶籽油、油橄榄油、核桃油、香榧油中主要化学成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(12): 5 011-5 016.
- [33] 胡新娟, 张正茂, 邢沁浚, 等. 小麦胚芽油精炼工艺优化及其品质的影响[J]. 中国油脂, 2016, 41(9): 7-12.
- [34] CHEN Feng-li, DU Xin-qi, YANG Lei. A new approach for obtaining trans-resveratrol from tree peony seed oil extracted

- residues using ionic liquid-based enzymatic hydrolysis in situ extraction[J]. *Separation and Purification Technology*, 2016, 170: 294-305.
- [35] MAO Ying-yi, HAN Ji-gang, TIAN Fang, et al. Chemical composition analysis, sensory, and feasibility study of tree peony seed[J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(2): 553-561.
- [36] 翟文婷, 朱献标, 李艳丽, 等. 牡丹籽油成分分析及其抗氧化活性研究[J]. *烟台大学学报*, 2013, 26(2): 148-150.
- [37] 王芸. 牡丹籽油营养成分及功能作用的研究[D]. 济南: 山东大学, 2012: 24-28.
- [38] YANG Xin, ZHANG Di, SONG Li-min, et al. Chemical profile and antioxidant activity of the oil from peony seeds (*Paeonia suffruticosa* Andr.)[J]. *Oxidative Medicine & Cellular Longevity*, 2017(6): 1-11.
- [39] 陈伟, 叶全知, 张照英, 等. 牡丹籽油对大鼠烫伤模型的治疗作用[J]. *中成药*, 2017, 39(8): 1 709-1 712.
- [40] SU Jian-hui, WANG Hong-xin, MA Cao-yang, et al. Correction: Anti-diabetic activity of peony seed oil, a new resource food in STZ-induced diabetic mice[J]. *Food & Function*, 2015, 6(10): 2 930-2 938.
- [41] 王兴国. 食用油与健康[M]. 北京: 人民军医出版社, 2011.
- [42] 徐怀德. 天然产物提取工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2015.
- [43] 马晓, 陈刚, 姜琳. 回流萃取法提取“凤丹”牡丹籽油工艺优化[J]. *食品工业*, 2018, 39(2): 22-25.
- [44] 李莉莉, 唐红, 魏晋梅, 等. 紫斑牡丹籽油提取工艺的优化及脂肪酸组成的研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(24): 230-234.
- [45] 刘志伟. 超临界流体萃取技术及其在食品工业中的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2004, 25(2): 3-6.
- [46] 肖丰坤, 施蕊, 耿菲菲, 等. 滇牡丹籽油的超临界 CO₂ 萃取工艺优化及其脂肪酸成分分析[J]. *中国油脂*, 2015, 40(6): 12-14.
- [47] 刘娜女, 陆科羽. 超声波萃取技术在农业科学中的应用研究进展[J]. *农产品加工: 学刊*, 2014(20): 77-78.
- [48] 陈程, 梁宇柱, 张存劳, 等. 基于 PB 设计和 BBD 响应面法优化牡丹籽饼中油脂的超声辅助提取工艺[J]. *中国油脂*, 2018, 43(2): 14-18.
- [49] 陈选, 周波, 汪周俊, 等. 水酶法制备牡丹籽油的研究进展[J]. *食品与机械*, 2015, 31(6): 246-250.
- [50] 李加兴, 肖秀凤, 陈选, 等. 二次正交旋转组合设计优化水酶法提取牡丹籽油工艺[J]. *中国油脂*, 2014, 39(12): 1-5.
- [51] 江连洲, 王海晴, 陈思, 等. 响应面法优化超声波辅助水酶法提取牡丹籽油工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(8): 247-251.
- [52] 周畅. 牡丹籽油作为化妆品基础油的开发研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2015: 11-20.
- [53] 毛程鑫. 牡丹籽油组成成分及脱酸精制技术的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015: 22-30.
- [54] 马素敏, 毕艳兰, 张林尚, 等. 脱臭工艺条件对牡丹籽油反式脂肪酸形成及品质的影响[J]. *中国油脂*, 2014, 39(3): 15-19.
- [55] 白章振. 牡丹籽油不同提取方法及其氧化稳定性研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2017: 28-34.
- [56] 高原菊. 天然抗氧化剂对牡丹籽油氧化稳定性的影响[J]. *食品与机械*, 2014, 30(6): 153-155.
- [57] KOÇ M, ÖZLÜHAN Gungör, ZUNGUR A, et al. Microencapsulation of extra virgin olive oil by spray drying; effect of wall materials composition, process conditions, and emulsification method[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2015, 8(2): 301-318.
- [58] LIM W T, NYAM K L. Characteristics and controlled release behavior of microencapsulated kenaf seed oil during in-vitro digestion[J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 182: 26-32.
- [59] WANG Shu-jie, SHI Yan, HAN Li-peng. Development and evaluation of microencapsulated peony seed oil prepared by spray drying; oxidative stability and its release behavior during in-vitro digestion[J]. *Journal of Food Engineering*, 2018, 231: 1-9.
- [60] PAN Y, TIKEKAR R V, NITIN N. Effect of antioxidant properties of lecithin emulsifier on oxidative stability of encapsulated bioactive compounds[J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2013, 450: 129-137.
- [61] SUN Xiao-li, LI Wen-gang, LI Jian, et al. Inclusion complex of peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) seed oil with β -cyclodextrin; preparation, characterisation and bioavailability enhancement [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(11): 2 352-2 361.
- [62] 李慧, 王一涛. 近 10 年软胶囊剂的国内外研究进展[J]. *中国中医药信息杂志*, 2003, 10(2): 78-80.
- [63] 朱宗磊. 牡丹籽油软胶囊稳定性及功能研究[D]. 济南: 山东大学, 2014: 28-38.

(上接第 62 页)

参考文献

- [1] 杨静. 惩罚性赔偿制度在《食品安全法》中的功能分析[J]. *福建法学*, 2017(4): 64-69.
- [2] 孙丽华. 论惩罚性赔偿制度在我国《食品安全法》中的适用与完善[J]. *经济研究导刊*, 2018(5): 189-191.
- [3] 廖斌, 张亚军. 食品安全法律制度研究[M]. 北京: 中国政法大学出版社, 2013: 47.
- [4] 陈瀚鑫. 《食品安全法》惩罚性赔偿适用的限制: 从第 148 条第 2 款但书出发[J]. *研究生法学*, 2016, 31(4): 42-51.
- [5] 曹俊金, 阮赞林. 《食品安全法》中惩罚性赔偿条款适用的实证分析[J]. *天津法学*, 2015(2): 53-58.
- [6] 潘志玉. 惩罚性赔偿制度在食品安全责任中的适用研究: 兼论《食品安全法》第 96 条的不足与完善[J]. *中国海洋大学学报*, 2015, 23(2): 90-98.
- [7] 王利明. 惩罚性赔偿研究[J]. *中国社会科学*, 2000, 55(4): 112-113.
- [8] 杜玉琼, 肖嵩. 完善中国食品安全保障体系的思考: 基于美国食品安全监管体系的经验探析[J]. *标准科学*, 2015(12): 68-74.
- [9] 肖峰, 陈科林. 我国食品安全惩罚性赔偿立法的反思与完善: 以经济法义务民事化归责的制度困境为视角[J]. *法律科学: 西北政法大学学报*, 2018(2): 114-122.