

水酶法制备牡丹籽油的研究进展

Research advance on preparation of peony seed oil by aqueous enzymatic extraction

陈 选^{1,2,3} 周 波^{1,2,3} 汪周俊^{1,2} 钟海雁^{1,2,3}

CHEN Xuan^{1,2,3} ZHOU Bo^{1,2,3} WANG Zhou-jun^{1,2} ZHONG Hai-yan^{1,2,3}

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 稻谷及副产物深加工国家工程实验室, 湖南 长沙 410004; 3. 粮油深加工与品质控制湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. School of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. National Engineering Laboratory of Rice and By-products Deep Processing, Changsha, Hunan 410004, China; 3. Hunan Province Key Laboratory of Grain&Oil Processing and Quality Control, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:牡丹籽油作为被立法明确的新资源食品,可应用于功能性食品、高级化妆品、医疗保健等行业;水酶法是一种“安全、高效、绿色”的油脂制备技术。文章综述牡丹籽及其油脂的基本成分,探讨水酶法制备牡丹籽油中的关键技术,提出粗酶提取、酶法破乳、固定化酶技术等发展思路。

关键词:水酶法;牡丹籽油;破乳;固定化酶技术

Abstract: The peony seed oil is identified as new resources food in the laws, which can be applied to functional food, cosmetics, health care and other industries. The enzyme-assisted aqueous is a safe, efficient, and green method. Mainly discusses the basic composition of peony seed and its oil features, and analyzes the key factors of enzyme-assisted aqueous method for extraction of peony seed oil, which offers development direction in the crude enzyme extraction, enzymatic demulsification, immobilized enzyme technology.

Keywords: enzyme-assisted aqueous method; peony seed oil; demulsification; immobilized enzyme

牡丹(*Peonia Suffruticosa Andr.*)属芍药科(*Paeoniaceae*)、芍药属(*Paeonia*)、牡丹组(*sect Moutan DC*),落叶灌木,是原产于中国的特有生物资源^[1]。牡丹的结籽率高,据不完全统计^[1-2],中国目前的牡丹种植面积已达 2 万 hm^2 ,可年产 4 万 t 左右的牡丹籽。研究^[3-4]表明,牡丹籽的含油量 30%,且油品质较高,其中人体必需的亚麻酸含量为 31.56%~66.85%。

水酶法制备油脂的概念由 Nathan^[5]于 20 世纪 50 年代提出,发展至今,已形成系统理论体系,并指导了大豆油^[6-7]

的工业化生产,在牡丹籽油上的应用近些年正逐渐得到重视。依据这一趋势及结合本课题组^[4,8-9]的研究成果,文章对近几年国内外水酶法制备牡丹籽油的相关研究进行综述,旨在对中国牡丹资源的综合利用有所裨益。

1 牡丹籽及其油脂的基本成分

1.1 牡丹籽的基本成分

牡丹籽为牡丹干燥的成熟种子,其外包裹有坚硬的黑色外壳,并附有粘结物质。相较于常见的植物油原料,牡丹籽具有优势,表现为水分含量与大豆相近,粗脂肪含量则要高于大豆,灰分含量与花生相近,粗蛋白含量多于油茶^[10-12](详见表 1)。

表 1 牡丹籽的基本成分

Table 1 The elementary element of the peony seed %

水分	淀粉	蛋白质 氮含量	粗蛋白	可溶性糖	粗脂肪	灰分
10.02	19.42	2.01	20.17	12.29	29.38	2.38

1.2 牡丹籽饼粕中的活性成分

牡丹籽饼粕中含有多种生物活性成分。祖元刚等^[13-14]以牡丹籽饼粕为原料,通过高温水提、浓缩和冷冻干燥等工艺制备得到牡丹籽胶,经鉴定其主要成分为有较强抑菌、抗氧化和保湿作用的多糖。张文娟等^[15]则以经超临界 CO_2 萃取后的牡丹籽饼粕为研究对象,从中不仅分离出多糖,还得到了牡丹皂苷、牡丹蛋白和牡丹酸等活性成分。依据相似相溶的原理,可从牡丹籽饼粕的醇提取物中分离纯化出 6-O- β -D-葡萄糖芍药内酯苷、芍药内酯苷、 β -gentiobiosylpaeoniflorin 和芍药苷 4 个成分^[16],其中芍药苷结构为葡萄糖 2 位与单萜苷元的 8 位以缩酮键相连的单萜苷类化合物白芍苷 R_1 (albi-

作者简介:陈选(1989—),男,中南林业科技大学在读硕士研究生。
E-mail:603256409@qq.com

通讯作者:周波

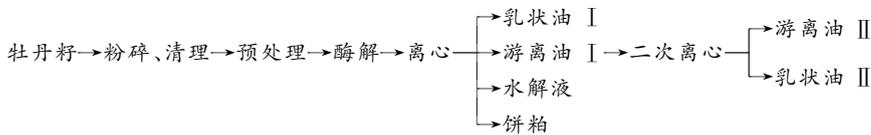
收稿日期:2015-09-26

florin R_{1,2})^[17];可从牡丹籽饼粕的丙酮提取物中分离得到 cis- ϵ -viniferin、trans- ϵ -viniferin、(+)-ampelopsin B 等 10 种低聚芪类化合物^[18],国外学者^[19-21]对这类低聚芪类化合物研究较为深入。同时,牡丹籽饼粕中还有 Ca、Na、Fe、K、Zn、Mg、Cu 等多种微量元素^[22]。总而言之,牡丹籽饼粕中的生物活性物质含量丰富,品种多样,可作为食品、医药、饲料等行业的原料来源。

1.3 牡丹籽油的基本成分

孙晓曼等^[23]使用 GC—MS(气相色谱质谱联用仪)通过选择离子(m/z 55, 67, 74, 79)扫描检测,结合质谱特征和等效链长来搜索数据库的方法证实了牡丹籽油是一种不饱和脂肪酸(UFA)含量高的功能性油脂,且其 α -亚麻酸的含量在 32% 以上(详见表 2)^[24-25]。毛程鑫等^[26]则采用棒状薄层色谱—氢火焰离子化检测器进一步分析了牡丹籽油中甘三酯(95.89%)和甘二酯(4.11%)的相对分子量,发现其一饱和及二不饱和脂肪酸甘三酯含量大于 15.00%,而三不饱和脂肪酸甘三酯的含量高达 71.00% 以上,可见牡丹籽油的不饱和程度高,在制备、精炼及贮藏过程中要注意可能导致发生氧化反应的因素。同时,牡丹籽油还含有甾醇类化合物(谷甾醇、岩藻甾醇等)、脂溶性 V_E 和角鲨烯等一些以甾醇类化合物为主的不皂化物^[27],王洋等^[28]即从牡丹籽油中鉴定出谷甾醇和岩藻甾醇等甾醇类化合物以及脂溶性抗氧化剂 γ -V_E 等多种天然活性成分。

牡丹籽油所含的功能性成分使其具有区别于常见食用油的特殊生理功效。现有文献已报道了其在抗氧化性^[29]、



3 水酶法制备牡丹籽油工艺的主要影响因素

3.1 粉碎度

牡丹籽的油脂体分布在蛋白网络中,只有当牡丹籽粉碎至细胞组织被破坏,才能以水为媒介将油与非油成分成功分离。因此,油料的粉碎程度对油脂得率的高低有重要影响^[37]。原则上,油料的粉碎度越高,越有利于油脂的制备,但颗粒太小易导致油水乳化,增加破乳难度。在试验^[8]中发现,当粉碎度为 10~30 目时,水酶法制备牡丹籽油得率最高。破碎方法又分为干碾压法和湿研磨法,湿法破碎易产生乳状液,因此多采用干法破碎。

3.2 酶制剂的选择

根据水酶法制备牡丹籽油的原理,酶主要是起到破坏植物细胞(或油脂)与蛋白质(或糖类)复合体的作用。牡丹籽细胞壁的主要成分是纤维素、半纤维素、果胶,故常用到的酶有纤维素酶、果胶酶、 α -聚半乳糖醛酶(α -PG)、 β -葡聚糖酶(β -GL)、 α -淀粉酶(α -AM)等。值得注意的是,研究^[8]表明在牡丹籽油脂体内有一种由分子量 15 000~26 000 ku 的低分子量蛋白构成的 Oleosins 物质,该物质对于维持油脂体的

抗心律失常^[30]、调节血压平衡^[31]、人体神经保健^[32]、抗肿瘤^[33]等方面的功效,及其所参与的具体代谢过程随着研究的深入也逐渐清晰。因而,*Paenonia rockii* 紫斑牡丹和 *Paenonia ostii* 凤丹牡丹的籽油在《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》(2011 年 3 月 22 日发布)中被列为新资源食品,相关的标准正在修订^[34]。

2 水酶法制备牡丹籽油原理及工艺

2.1 原理

牡丹籽油在其细胞中主要以紧密连接于细胞壁和蛋白质之间的球状油脂体结构存在。油脂体的主要成分是液态甘油三酯和由单层磷脂分子包裹着蛋白组成的半单位膜,大多数磷脂分子的亲水基团位于油脂体外侧,与细胞液接触,少量疏水酰基位于内侧,与甘油三酯分子起作用。根据该结构特征,水酶法以机械破碎为基础,使用对脂蛋白、脂多糖等复合体和细胞壁有降解作用的酶,促进油料固体释放出油脂。同时,根据非油成分(蛋白和碳水化合物)对油和水的亲和力不同、油水比重有差异的原理而将油和非油成分分离^[35-36]。

2.2 主要工艺流程

将脱壳后的牡丹籽研磨成有一定粒度的料浆,调整固液比,添加一定种类、浓度的酶制剂,在预设定的条件下进行酶解。反应完成后,离心分离料浆,分别获得液相的油、水解液、乳状液以及固相的湿渣。液相经破乳、分离得到油脂。水酶法制备牡丹籽油工艺流程:

完整性,阻止油脂体间的相互融合起到关键作用。因而在水酶法制备牡丹籽油工艺中,常选用到 Protex 7L、Alcalase 2.4L、Kemzyme 等各类蛋白酶^[38-39]。

可以使用单一酶也可多种酶混合使用,彭瑶瑶等^[40]研究表明单酶作用时往往不能完全将油从水酶体系中制备出来,且仅能提出的少量油也主要存在于乳状液中,而采用复合酶则提油效果较好。酶用量与所选酶的种类、活力有关。原则上,增加酶用量,可增大活性分子间的碰撞机会,加快反应的进行,益于油脂释放;当酶用量达到某一值后,继续增加酶用量对油得率影响不显著^[40-41]。李加兴等^[8]在试验中发现,酶用量控制在 1%~5%(相对于牡丹籽粉末质量)为宜。酶的添加方法也会影响到油得率的高低,在生产中要综合考虑酶及油料的特性来添加。彭瑶瑶等^[40]在水酶法提取牡丹籽油的工艺中即采用分步添加细胞壁多糖水解酶、 α -中温淀粉酶、碱性蛋白酶的三步酶解方法,获得了理想的牡丹籽油得率。

酶制剂的高价格是一直困扰水酶法制油技术发展的结症。笔者认为,可以将酶的发酵生产过程和水酶法制备油脂的过程联合考虑。吴海波等^[42]在优化过的培养基中接种枯

草芽孢杆菌发酵培养 42 h, 所得发酵液经测定含有碱性和中性两种蛋白酶, 所得粗酶经透析浓缩后, 在碱性蛋白酶活为 $(2\ 000 \pm 200)$ U/mL, 中性蛋白酶活为 $(1\ 500 \pm 200)$ U/mL 时, 往酶液中接入挤压膨化豆粉, 再通过对酶解条件的优化, 得到提取率为 94.2% 的油脂和 90.1% 的蛋白, 此两类物质的提取率分别比使用商品 Alcalase 碱性蛋白酶时增加了 1.9% 和降低了 2.0%。这是一次非常重要的尝试, 有利于降低水酶法制备功能性油脂时的生产成本, 但要实现工业化生产仍面临着许多技术瓶颈, 亟待解决。

3.3 酶解条件

水酶法制备牡丹籽油的酶解条件选择, 应根据所用酶的实际情况, 反复尝试后方可确定最佳的酶解温度、时间、pH 值和料液比, 但均遵从于最适原则。酶解温度应保证在最适酶活温度附近, 以发挥酶的最佳效应, 过低或过高都不利于牡丹籽油的制备; 酶解时间也必须适宜, 并非越长越好, 一味地延长酶解时间会导致乳状液趋于稳定, 造成破乳困难且延长生产周期, 提高了生产成本; 酶解 pH 值则不仅会影响酶活性, 还会影响到油制品与其籽粕蛋白等产品的分离; 料液比若过低, 则体系中物料黏度较大, 流动性差, 不利于酶与底物相互作用。若过高, 则酶与底物的浓度变低, 减少了彼此碰撞的几率, 酶解反应不充分。总之, 酶解条件的选择并没有统一的量化标准, 应依据最适原则, 进行优化后得出。

3.4 破乳

据报道^[40-41]及笔者^[8-9]实践发现, 在水酶法制备牡丹籽油的过程中会形成有时间与空间稳定性的乳状液(O/W)。王瑛瑶等^[43]认为之所以出现上述现象是由于在酶解反应中, 蛋白质以“one-by-one”模式酶解后, 体系中同时存在着相对分子质量较小的短肽和较大的蛋白质, 较大的这部分蛋白质二级结构是以 β 折叠和无规卷曲为主, 疏水性氨基酸残基含量高, 乳化力指标与乳化稳定性高。

Rosenthal 等^[44]将乳状液稳定性视为水酶法制备油脂工艺的重要指标, 指出以回收乳状液中油脂为目的的破乳环节是水酶法取油技术的一大难点。并具体提出了诸如减少料液比、控制磨浆程度和酶解油料蛋白等减少过程乳状液形成的方法。最近几年, 与水酶法相关的乳状液的稳定性和破除技术研究^[45-46]、油体的结构和性质^[47]研究明显增多, 这是因为乳状液稳定性是制约水酶法取油技术发展的关键难点。当前主要的破乳方法有化学破乳、物理破乳和酶法破乳 3 种, 考虑牡丹籽油的组分特征及用途, 避免有机溶剂及极端条件(高压、高温等)的运用, 笔者认为冷冻解冻破乳和酶法破乳在牡丹籽油上的应用极具前景。冷冻解冻破乳法是利用冷冻过程中形成的乳状液油相结晶来刺入水相, 从而破坏乳状液体系的稳定性, 且如果脂肪晶体能恰好进入到相邻油滴之间, 则将刺穿界面膜导致油滴的聚集, 从而能大幅度地提高破乳效果^[48]。Lamsal 等^[49]即对水酶法制备大豆油过程中形成的乳状液采取冷冻解冻破乳, 效果显著。彭瑶瑶等^[40]在水酶法制备牡丹籽油的扩大试验中, 分别比较了微

波破乳、加热破乳、冷冻解冻破乳、静置上浮破乳 4 种物理破乳方式, 得到了冷冻解冻破乳法的破乳率最高, 二次破乳率可达 81.2% 的结论。当前关于冷冻解冻破乳法在油莎豆油^[50]、花生油^[51]、菜籽油^[52]等油脂的水酶法制备上应用较多; 因为油料细胞中的油小体在天然状态下表面被油小体蛋白膜和磷脂覆盖, 不能相互聚集, 所以酶法破乳利用酶制剂来降解蛋白质和磷脂二类两亲分子, 从而达到降低乳状液稳定性的目的^[45,53]。Chabrand 等^[54]采用磷脂酶 G-zyme(酶添加量 200 mg/10 g, pH 值 4.5, 700 r/min, 50 °C, 3 h) 对水酶法制备大豆油过程中产生的乳状液进行破乳, 其破乳率可接近 100%。可以说, 对水酶法制备牡丹籽油过程中形成的乳状液进行破乳虽困难但仍有许多可供选择的优势方法。

4 不同工艺制备牡丹籽油的优缺点

当前, 对牡丹籽油主要采用 3 种制备工艺^[55-56]: 溶剂浸出法、压榨法、超临界 CO₂ 流体萃取技术。

浸出法是依据固液萃取的原理, 使用某种能够溶解油脂的有机溶剂与油料充分接触, 使油料中的油脂被萃取出来。在中国, 采用直接浸出或预压榨浸出工艺的有机溶剂主要是 6 号溶剂油, 其主要成分是六碳的烷烃和环烷烃, 沸点在 60~90 °C (欧美国家采用工业己烷, 沸点在 66.2~68.1 °C)^[57]。采用浸出法制备的牡丹籽油存着生产的安全性差及油脂中溶剂易残留的问题。

压榨法是借助机械外力的作用, 将油脂从油料中挤压出来的制油方法^[58]。以制油设备来区分, 可分为液压机榨油和螺旋机榨油两种。目前市场上销售的牡丹籽油以液压榨制为主, 该法不仅生产效率低且产品氧化严重(见表 2), 需要进一步精炼。

超临界 CO₂ 萃取是根据超临界流体的优良溶解性能随温度和压力变化而改变的原理, 通过调整流体密度来提取不同物质的方法。目前, 该技术在牡丹籽油制备上的应用较普遍, 易军鹏等^[58]以中心复合设计法, 经响应面法优化分析得到牡丹籽油得率和超临界 CO₂ 萃取因素间的二次多项式回归方程预测模型, 确定了最佳萃取条件。史国安等^[60]采用 DPPH 法和亚铁离子(Fe²⁺)诱导的过氧化体系法, 以油酸为对照, 比较分析了压榨法和超临界 CO₂ 萃取法所提取的牡丹籽油清除 DPPH 自由基和抗脂质过氧化能力的差异。综合现有的相关研究, 可预测超临界 CO₂ 萃取法在牡丹籽油的制备上具有良好的应用前景, 但亟需解决该提取工艺存在的耐高压设备昂贵, 生产成本低, 批处理量小等不足之处。

水酶法制备的牡丹籽油品质较高, 简化精炼(主要与市售压榨相较), 无溶剂残留。同时, 制备过程条件温和, 无蒸煮等高温工序, 产品中以亚麻酸为主的多不饱和脂肪酸等热敏性成分保存较好(见表 2)。亚麻酸包括 α -和 γ -两种同分异构体, α -亚麻酸(α -linolenic acid, ALA), 即 9,12,15-十八碳三烯酸^[61]。 α -亚麻酸及其代谢物有抑制血小板凝聚、保护视力、降血压、抗过敏和抑制癌症的发生和转移等显著的生理活性。迄今为止, α -亚麻酸不能人工合成, 其来源只能依赖有限的自然资源^[62]。

表2 不同制备工艺的牡丹籽油理化性质及脂肪酸组成比较^{[59]†}

Table 2 The contrast of the physicochemical properties and fatty acid composition of peony seed oil by different methods of preparation technology

制备工艺	理化指标						脂肪酸组成/%					
	色泽(25.4 mm 比色槽)	碘值/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	酸价/(mg KOH·g ⁻¹)	过氧化值/(mmol·kg ⁻¹)	皂化值/(mg KOH·g ⁻¹)	磷脂含量/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	其他
超临界CO ₂	黄 35.0、 红 0.6	—	2.80	5.20	—	—	5.54	1.82	22.44	28.88	40.86	0.59
水酶法	黄 22.7、 红 0.6	177.09	3.50	—	173.07	0.73	4.78	1.47	24.31	31.13	37.33	0.98
溶剂浸提	黄 27.8、 红 1.3	175.27	3.80	0.80	172.33	0.25	5.43	1.64	22.71	29.67	37.86	2.69
市售压榨	黄 35.0、 红 2.0	175.61	24.44	7.34	178.29	—	5.98	2.85	28.57	29.57	31.74	1.29

† “—”表示资料中未提及。

5 展望

今后,有关水酶法制备牡丹籽油的研究可关注以下几点:

(1) 牡丹籽饼粕的综合利用。水酶法制备油脂的条件温和,没有极端条件(高压、高温等)的运用,牡丹籽粕中的活性物质保存良好。同时,牡丹籽饼粕是一类含有多种生物活性物质的资源,可被应用于食品、保健品、饲料等多个行业。实现牡丹籽粕的综合利用,延长产业链,创造更多的附加价值。

(2) 引入固定化酶技术。酶制剂的高成本一直是制约水酶法制备油脂技术发展的瓶颈,降低酶制剂成本的方法除文中提到的将酶发酵生产过程和制备油脂的过程联合考虑(即粗酶提取)外,还可采取固定化酶技术。目前固定化酶技术在食品中的应用主要集中于油脂改性,并取得一定成果,将其引入到水酶法制备油脂工艺中,能有效提高酶制剂的重复利用率,降低生产成本,推进水酶法制油技术的发展,但相关基础研究仍属空白,值得引起相当重视。

(3) 酶法破乳技术的发展。制备油脂过程中形成稳定的乳状液现象一直阻碍着水酶法技术的发展,传统的化学破乳、物理破乳方法易引起有机溶剂的污染、油脂成分及籽粕活性物质的变质等问题,不适用于多不饱和脂肪酸丰富的牡丹籽油的制备,开发出绿色、环保、高效率的破乳新技术势在必行,目前酶法破乳在这方面显示出较大潜力,值得持续跟进。

参考文献

- 1 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,2014,27(5):21~25.
- 2 姚欢欢.油用牡丹种子油提取及剩余物综合利用[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- 3 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.
- 4 李加兴,吴越,陈选,等.多烯酸植物油及其保健功效研究进展[J].食品科学,2014,35(21):350~355.

- 5 Nathan S. Process for simultaneously extracting oil and protein from oleaginous materials[J]. US Patent,1956(2):762,820.
- 6 韩宗元,李晓静,江连洲.水酶法提取大豆油脂的中试研究[J].农工学报,2015,31(8):283~288.
- 7 韩宗元,江连洲,李杨,等.水酶法提取大豆油的扩大试验研究[J].中国粮油学报,2015,30(2):37~42.
- 8 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):1~4.
- 9 李加兴,房惠芳,陈选,等.牡丹籽粕蛋白提取工艺优化及其等电点分析[J].中国油脂,2014,30(3):147~150.
- 10 潘秋月,刘悦,黄伟素.超临界流体萃取活性脂质的研究进展[J].中国粮油学报,2010,25(5):120~125.
- 11 姚茂君,李静.牡丹籽油亚临界流体萃取工艺优化[J].食品科学,2014,35(14):53~56.
- 12 吴静义.牡丹籽化学成分研究[D].北京:北京中医药大学,2014.
- 13 东北林业大学.一种牡丹种子胶的制备工艺:中国,201210231780.1[P].2012—10—17.
- 14 李育才,祖元刚.一种牡丹种子多糖的制备工艺:中国,201310040744.1[P].2013—05—08.
- 15 菏泽瑞壤牡丹产业科技发展有限公司.牡丹饼粕的综合利用方法:中国,201210557889.4[P].2013—04—17.
- 16 秦爱霞,纪殊晶,毛文岳,等.牡丹籽饼粕中芍药苷类成分及其大孔吸附树脂纯化研究[J].天然产物研究与开发,2014(26):1 618~1 623.
- 17 吴静义,曹丹亮,刘永刚,等.牡丹籽粕的化学成分研究[J].天然产物研究与开发,2014,42(1):9~11.
- 18 刘普,牛亚琪,邓瑞雪,等.紫斑牡丹籽饼粕低聚芪类成分研究[J].中国药学杂志,2014,49(12):1 018~1 021.
- 19 He Chun-nian, Peng Yong, Xu Li-jia, et al. Three new oligostilbenes from the seeds of *Paeonia suffruticosa* [J]. Chem. Pharm Bull, 2010, 58(6): 843~847.
- 20 Kim H J, Chang E J, Song Ja-Bae, et al. Cytotoxic and an Umagenic stilbenes from Seeds of *Paeonia lactiflora* [J]. Arch-Pharm Res., 2002, 25(3): 293~299.
- 21 Yuk H J, Ryu H W, Jeong S H, et al. Profiling of neuraminidase inhibitory polyphenols from the seeds of *Paeonia lactiflora* [J].

- Food Chem. Toxicol, 2013, 55: 144~149.
- 22 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(自然科学与工程版), 2013, 26(2): 147~150.
- 23 孙晓曼, 王照飞, 张良晓, 等. 质谱特征结合等效链长用于牡丹籽油脂肪酸组成分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(8): 2406~2411.
- 24 王伟伟. 牡丹籽油中脂肪酸的构成及生理功能[J]. 中国卫生监督, 2011, 8(12): 8~9.
- 25 朱献标, 翟文婷, 董秀勋, 等. 牡丹籽油化学成分及功能研究进展[J]. 中国油脂, 2014, 39(1): 88~90.
- 26 毛程鑫, 李桂华, 李普选, 等. 牡丹籽油的脂肪酸组成及理化特性分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 142~146.
- 27 高婷婷. 牡丹籽油成分分析及储藏条件研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- 28 王洋, 纪姝晶, 毛文岳, 等. GC-MS 法分析葵花籽蜡和牡丹籽油的不皂化物及其中的二十八烷醇[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(4): 104~107.
- 29 Zhang Peng. Preparation and purification and componential analysis and efficacy evaluation of oil from peony seeds[D]. Beijing: Capital Normal University, 2009.
- 30 Leaf A, Kang Jing-xiao, Xiao Yong-fu, et al. Clinical prevention of suddencardiac death by n-3 polyunsaturated fatty acids and mechanism of prevention of a rhythmias by n-3 fish oils[J]. Circulation, 2003, 107(21): 2646~2652.
- 31 Bellenger-Germain S, Poisson J P, Name M. Antihypertensive effects of a dietary unsaturated FA mixture in spontaneously hypertensive rats[J]. Lipids, 2002, 37(6): 561~567.
- 32 饶鸿雁, 王成忠, 袁亚光. 牡丹籽油的研究进展[J]. 山东轻工业学院学报, 2013, 27(4): 35~37.
- 33 Clark M W, Burnett J R, Ctoft K D. Vitamin E in human health and disease[J]. Crit. Rev. Clin. Lab. Sci. , 2008(45): 417~450.
- 34 国家卫生计生委食品安全标准与监测评估司. 关于批准元宝枫籽油和牡丹籽油作为新资源食品的公告[EB/OL]. (2011—03—22) [2015—12—03]. <http://www.moh.gov.cn/sps/s7891/201103/cff9def6007444ea271189c18063b54.shtml>.
- 35 Tzen J T C, Huang A H C. Surface structure and properties of plant seed oil bodies[J]. Cell Biol. , 1992, 117: 327~335.
- 36 Bam Forth C W. Barley beta-glucans, their role in malting and brewing[J]. Brewing Digest, 1982, 57: 22~27.
- 37 朱凯艳. 利用水相同时提取花生油和蛋白工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- 38 Murphy D. Structure, function and biogenesis of storage lipid bodies and oleosins in plants[J]. Progress in Lipid Research, 1993, 32(3): 247.
- 39 Huang A H C. Structure of plant seed oil bodies[J]. Current Opinion in Structural Biology, 1994, 4(4): 493~498.
- 40 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, 39(6): 12~16.
- 41 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.
- 42 吴海波, 江连洲, 程建军, 等. 粗酶水解全脂豆粉提取油脂和蛋白[J]. 农业过程学报, 2011, 27(4): 376~381.
- 43 王瑛瑶, 王璋. 水酶法从花生中提取水解蛋白与油—酶解工艺参数[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(4): 60~63.
- 44 Rosenthal A, Pyle D, Niranjana K. Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction[J]. Enzyme and Microbial Technology, 1996, 19(6): 402~420.
- 45 Jung S, Maurer D, Johnson L A. Factors affecting emulsion stability and quality of oil recovered from enzyme-assisted aqueous extraction of soybeans[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(21): 5340~5347.
- 46 Wu Jing, Johnson L A, Jung S. Demulsification of oil-rich emulsion from enzyme-assisted aqueous extraction of extruded soybean flakes [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(2): 527~533.
- 47 迟延娜, 张文斌, 杨瑞金, 等. 顽固乳状液的破乳处理提高花生游离油提取率[J]. 农业工程学报, 2014, 30(8): 257~263.
- 48 Van Boekel M A J S, Walstr P. Stability of oil-in-water emulsions with crystals in the disperse phase[J]. Colloids Surf, 1981, 3(2): 109~118.
- 49 Lamsal B P, Johnson L A. Separating oil from aqueous extraction fractions of soybean[J]. J. Am. Oil Chem. Soc. , 2007, 84(8): 785~792.
- 50 敬思群, 艾百拉·热合曼, 张艳宜. 水酶法—冻融耦合技术提取油莎豆油工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(10): 182~186.
- 51 王瑛瑶, 王璋, 罗磊, 等. 水酶法提花生油中乳状液性质及破乳方法[J]. 农业工程学报, 2009, 24(12): 259~263.
- 52 章绍兵, 王璋. 水酶法从菜籽中提取油及水解蛋白的研究[J]. 中国油脂, 2009, 23(9): 213~219.
- 53 刘向军, 陆启玉, 章绍兵. 水酶法提油过程中产生乳状液的破乳方法研究进展[J]. 中国油脂, 2013, 38(4): 5~8.
- 54 Chabrand R M, Gltz C E. Destabilization of the emulsion formed during the enzyme-assisted aqueous extraction of oil from soybean flour[J]. Enzyme Microb. Technol. , 2009, 45(1): 28~35.
- 55 王瑛瑶, 王璋. 水酶法从花生中提取油与水解蛋白的研究[J]. 食品与机械, 2005, 21(3): 17~20.
- 56 江连洲, 李杨, 王妍, 等. 水酶法提取大豆油的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 346~348.
- 57 李小鹏, 董文斌. 植物油脂提取工艺研究新进展[J]. 现代商贸工业, 2007, 19(8): 201~202.
- 58 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 等. 牡丹籽油超临界二氧化碳萃取工艺[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 144~149.
- 59 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.
- 60 史国安, 郭香凤, 金宝磊, 等. 牡丹籽油超临界 CO₂ 萃取工艺优化及抗氧化活性的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(4): 47~50.
- 61 Birch E E, Birch D G, Hoffman D R, et al. Dietary essential fatty acid supply and visual acuity development[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 1992, 33(11): 3242~3253.
- 62 Arsenaault D, Julien C, Calon F. Chronic dietary intake of alpha-linolenic acid does not replicate the effects of DHA on passive properties of entorhinal cortex neurons[J]. British Journal of Nutrition, 2012, 107(8): 1099~1111.