

水酶法制取植物油研究进展

Research trends on the extraction of vegetable oil by aqueous enzymatic method

关梦真 陈复生 赵宇辉

GUAN Mengzhen CHEN Fusheng ZHAO Yuhui

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要: 目前提取植物油的方式有压榨法、溶剂浸出法和水酶法,水酶法相比于压榨法和溶剂浸出法具有提油率高、工艺简单和制油品质良好等优点,一定程度减少了环境污染,提高了经济效益。文章综述了水酶法制取植物油的原理、工艺流程、特点、常用的酶制剂的种类、破乳及植物油品质等方面,并对水酶法制备植物油的发展方向进行了展望。

关键词: 植物油;水酶法;品质;破乳

Abstract: Currently, vegetable oil is extracted by pressing method, solvent leaching method and aqueous enzymatic method. The aqueous enzymatic method has the advantages of high oil extraction rate, simple process and good oil quality compared with the pressing method and solvent leaching method. It also reduces the environmental pollution and improves the economic benefits. The review summarized the principle, process flow, characteristics, types of commonly used enzyme preparation, demulsification and vegetable oil quality of vegetable oil production by aqueous enzyme method, and the development trend of vegetable oil preparation by aqueous enzymatic method was prospected.

Keywords: vegetable oil; aqueous enzymatic method; quality; demulsification

植物油一般分为两大类,第一类是木本植物油,主要有茶油、橄榄油和杏仁油等,第二类为草本植物油,主要有大豆油、米糠油和花生油等^[1]。植物油中含有人体所需且有益的脂肪酸、维生素 E、植物多酚、角鲨烯等,不仅

能为人体提供能量,还可以保护人体健康,并且在抗炎、抗氧化、抗肥胖和抗癌等方面有着重要作用^[2]。目前,植物油在可食用产品如冰淇淋、植脂末和不可食用产品中(如化妆剂、杀菌剂和产品保鲜剂等)被广泛使用^[3]。这也使得国内近年来植物油的需求量激增,目前已经超 1 000 万 t,但中国近年来植物油自给率不足 30%,为减缓国内依赖进口植物油而带来的贸易风险,保障本土植物油的供给,必须更加关注植物油的提取方式^[4]。

目前,常见的植物油提取方法有压榨法、溶剂浸出法和水酶法等。其中压榨法主要采用物理压力将油脂从植物油料中提取出来,该方法工艺简单且易操作、生产成本低、风味纯正、适合工业化生产等;但设备噪声污染严重、提油率低、副产物不能被充分利用^[5]。浸出法又称有机溶剂萃取法,是利用有机溶剂将油脂从植物油料中提取出来,其油料提取率高且副产物一定程度上可以被利用;但蛋白质变性程度高、使用的有机溶剂安全性不高且对环境有一定污染性^[6]。相比而言,水酶法具有绿色环保、经济安全、蛋白质品质高和提取率高等优点。该方法不仅提高了油料产能和产业价值、延长了产业链,而且符合国家安全、环保的政策。但目前水酶法的发展还存在两个问题:① 酶制剂成本较高;② 水酶法提取植物油过程中会形成稳定的乳状液,从而降低总油提取率^[7]。

文章拟介绍水酶法制取植物油的原理、工艺流程和特点,综述水酶法制取植物油相关的研究进展包括水酶法制取植物油常用的酶制剂的种类、破乳方式以及提取的植物油的品质,并对水酶法制取植物油进行了展望,旨在为该领域在水酶法制取植物油的工艺优化、品质鉴定和未来发展等提供依据。

1 水酶法制取植物油

1.1 植物油体结构

植物油体是植物种子的天然细胞器,用于贮存甘油

基金项目: 国家自然科学基金区域创新联合基金重点项目(编号:U21A20270)

作者简介: 关梦真,女,河南工业大学在读硕士研究生。

通信作者: 陈复生(1963—),男,河南工业大学教授,博士。

E-mail: fushengc@haut.edu.cn

收稿日期: 2023-03-16 **改回日期:** 2023-11-01

三酯,也是获取植物油的原材料^[8]。Tzen 等^[9]提出了植物种子中油体的结构示意图(图 1)。植物油体由内部和外部两部分组成,内部主要为中性脂质;中性脂质主要由甘油三酯组成,还有少量的甘油二酯和游离脂肪酸。外部则为结构蛋白及磷脂单分子层组成的半单位膜;结构蛋白主要由油体蛋白组成,还有少量的油钙蛋白和甾醇蛋白;磷脂主要由磷脂酰胆碱(PC)和磷脂酰丝氨酸(PS)组成。磷脂单分子层及结构蛋白组成的半单位膜也是油体的天然界面层^[10]。不同植物油油脂体具有相似的基本结构,但也因植物本身和外界环境而有所差异。如豆薯油体蛋白为(16.2 kU)oleosins;椰子油体蛋白为(11.0,

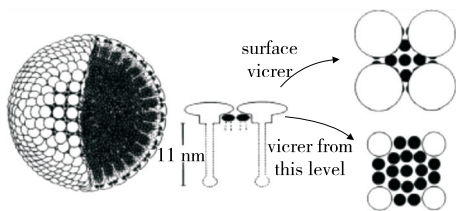


图 1 植物油体结构示意图

Figure 1 Structural models of oil bodies

14.4 kU)oleosins^[11-12]。在高水分含量的葵花籽中,其油体呈规则的球形;在较低水分含量的玉米胚芽中,其油体呈不规则形状^[13]。

1.2 水酶法制油原理

根据油脂体的结构,只有将油脂体外部的天然界面层和油脂体内部的复合体破坏,才能获取到植物油^[14]。水酶法是指先通过机械设备对油料作物进行粉碎,然后利用一些生物酶,例如果胶酶、蛋白酶、纤维素酶等可以降解细胞壁、脂蛋白和脂多糖等,还可以破坏油料细胞以及分解油脂复合体,使油脂能完全释放出来^[15]。最后利用非油成分对水和油亲和力不同以及油和水比重不同将油与非油成分分离。此外,油料作物在机械粉碎过程中,磷脂会转移到油中,转移到油中的磷脂会与结构蛋白如油体蛋白、油体钙蛋白等结合形成稳定的乳状液,阻止油滴的聚集。水酶法中使用的生物酶也可以破坏油料在机械粉碎时于油脂表面形成的脂蛋白薄膜,降低乳状液稳定性,提高油脂提取率^[16]。

1.3 工艺流程及优点

水酶法制取不同植物油的工艺流程及其对比见表 1。

表 1 水酶法制取植物油的工艺流程及其对比

Table 1 Process flow and comparison of aqueous enzymatic extraction of vegetable oil

方法	原料	工艺流程
微波辅助水酶法	米糠	米糠过筛→蒸汽灭酶→调节 pH 值和温度→加酶酶解→微波萃取和冷冻破乳 ^[17]
超声辅助水酶法	辣木籽	辣木籽→去壳、烘干→粉碎→加水煮沸→冷却至室温(22~26 ℃)→调节 pH 值→添加果胶酶→超声提取→离心(4 000 r/min, 20 min)→分离油脂 ^[18]
热处理辅助水酶法	脱皮白芝麻	芝麻→粉碎→调节料液比→热处理→加酶酶解→离心分离→提油和破乳 ^[19]
水酶法	油茶籽	油茶籽→脱壳→粉碎过筛→称取 5 g 油茶籽粉→加水煮沸→冷却→调节 pH 值和温度→加酶酶解→离心(4 000 r/min, 30 min)→旋转蒸发取上层清油 ^[20]

水酶法制取植物油一般包括植物油料的预处理、调节 pH 值和温度、加酶酶解、离心提油、破乳、分离油脂和蛋白等工艺过程,目前常用的预处理工艺有高压预处理、浸泡加热预处理、微波预处理等方式,预处理可以破坏细胞壁和缩短时间成本^[21]。水酶法提取植物油的方式不仅具有环保、工艺简单等优点,而且水酶法提取得到的毛油相比于机械压榨法和超临界流体萃取法,其油脂中总酚含量和抗氧化活性得到了提高。因此,水酶法无论在提取工艺,还是产出油品质方面均具有突出的优势,对推动油脂行业的发展十分有益^[22]。

2 水酶法提油的研究进展

2.1 水酶法提取植物油常用的酶制剂

水不仅可以用作提取油的溶剂,还可以回收相应油料中的蛋白质。这种方法被称为水剂法,也是水酶法的前身^[23-24]。尽管该方法绿色环保、成本低,但相比于有

机溶剂萃取植物油来说,其提油率不高,这也使水剂法提油工艺的发展一直处于停滞阶段。随着酶制剂的出现与应用,学者开始尝试加入酶作为辅助剂,进一步发展原有的水剂法,使原来的水剂法逐渐发展形成水酶法,所以酶制剂对水酶法提取植物油提油率方面有着重要作用。根据对植物油料破坏的成分不同可以分为植物细胞壁酶、蛋白酶和复合酶等。

2.1.1 植物细胞壁酶 植物细胞壁酶的添加或者使用植物细胞壁酶对油料进行预处理会使细胞壁和细胞膜组分产生水解作用,打开细胞壁稳定的网络结构,促进油滴的聚集和释放。

王素梅等^[25]采用水酶法提取玉米胚芽油,使用细胞壁降解酶中的纤维素酶进行酶解,并对提取工艺进行优化,玉米胚芽油提油率可达 88.18%。Perez 等^[26]利用 2%果胶酶对葵花籽进行浸提,不仅可以提高葵花籽油提油率,还可以明显提高葵花籽油中的生育酚含量。Diaz-

Suárez 等^[27]采用水酶法提取蓖麻籽油时,分别评估了纤维素酶、果胶酶、半纤维素酶和 Viscozyme L 酶对水酶法提油率的影响,发现 Viscozyme L 在 pH 4、50 °C 下时,蓖麻籽油提取率最高(64.0%)。Zhang 等^[28]优化了水酶法提取杨梅种仁油工艺,其最佳提油工艺条件为混合酶(纤维素酶和蛋白酶)用量 3.17%、液固比 4.91:1 (mL/g)、提取时间 4 h、提取温度 51.6 °C,该工艺条件下,杨梅种仁油提取率为 31.15%。Tacias-Pascacio 等^[29]利用水酶法从乌梅种子中提取油脂,在 pH 4、50 °C 条件下使用 Viscozyme L 酶,当酶(关于种子重量)添加量为 3.5%、酶解时间为 5.5 h、搅拌速率为 235 r/min、料液比为 1:3.5 (g/mL)时,乌梅种子油产率可达 66%。

2.1.2 蛋白水解酶 植物细胞壁中的蛋白质如糖蛋白具有支撑作用,界面膜中的蛋白质对界面膜的稳定性十分重要。采用蛋白水解酶不仅会酶解油料种子周围的油体蛋白,使植物油料中油体聚集,也会破坏维持界面膜稳定的蛋白质,使乳液的界面稳定性降低,便于破乳后回收植物油。

王璋等^[30]使用水酶法从全脂豆粉中同时制取大豆油和大豆水解蛋白,采用碱性蛋白酶、中性蛋白酶对大豆粉进行酶解,但由于水酶法提取油脂工艺复杂,提油率仅为 66%。Latif 等^[31]采用水酶法同时提取辣木籽油和蛋白质,发现辣木籽在 Protex 7L 的水相中具有最高的油脂提取率(69.4%)和蛋白质回收率(75.4%)。de Aquino 等^[32]采用蛋白酶(Flavourzyme 1 000 L、Neutrase 1.5 MG、Protamex、Alcalase 2.4L 和 Thermolysin)提取葵花籽油,发现使用 Alcalase 2.4L 提取葵花籽油,游离油提取率最高,为 81.81%。Meng 等^[33]使用 Alcalase 2.4L 提取葵花籽油,在 40 °C、pH 8.0 下,葵花籽油可获得最高游离油回收率(14.77%)。de Moura 等^[34]采用水酶法从挤压的大豆薄片中提取大豆油和蛋白,发现在提取游离油和蛋白质方面 Protex 6L 比 Protex 7L 更有效,当 Protex 6L 添加量为 0.5%时,油和蛋白质提取率达 96%,85%。Nyam 等^[35]分别采用 Neutrase-0.8L 和 Flavourzyme-1000 L 进行酶法提取甜瓜籽油,其最佳酶解条件为酶添加 21 g/kg,温度 50 °C,酶解时间 36 h,pH 6,此条件下原油回收率为 71.55%。

2.1.3 复合酶 复合酶一般是将细胞壁酶、蛋白酶、纤维素酶等多种类型的酶按照不同的比例进行复配而成,并对植物细胞壁、界面蛋白和磷脂等多部分进行不同程度破坏,提高油脂和蛋白提取率。一般来说,复合酶比单一酶更易使植物细胞壁破损。

Chen 等^[36]分别采用植物蛋白水解复合酶、 α -淀粉酶和酸性纤维素酶,以提高紫苏籽油提取率。当使用植物蛋白水解复合酶时,紫苏籽油回收率最高(84.30%),其次

是 α -淀粉酶(82.66%)和酸性纤维素酶(35.75%)。Passos 等^[37]采用水酶法提取葡萄籽油,当使用纤维素酶、蛋白酶、木聚糖酶和果胶酶混合酶解 120 h 时,葡萄籽油提取率较高,为 3.8%。Hou 等^[38]采用木瓜蛋白酶、胰蛋白酶和纤维素酶 3 种酶在水提条件下提取芝麻油,其最佳提取条件为木瓜蛋白酶 6 000 U/g、胰蛋白酶 400 U/g、纤维素酶 250 U/g,pH 7.0,温度 50 °C,提取时间 3 h,振荡速度 80 r/min,此时油脂得率高达 87.58%,高于传统水剂法的且芝麻油香气浓郁。Teixeira 等^[39]在单宁酶 80 U/g、纤维素酶 240 U/g、果胶酶 178 U/g,pH 4、液料比 2:1 (g/mL)、50 °C 下酶解 30 min、添加 4%的酶制剂条件下,水酶法提取棕榈油可获得最大的油脂回收率(总油提取率 90%~93%)。刘彬球^[40]采用微波辅助水酶法提取普洱茶籽油,试验结果表明,复合酶用量为 0.5% α -淀粉酶+1.5%中性蛋白酶+1.5%木瓜蛋白酶+1.0%菠萝蛋白酶,在酶解 pH 7.0、料液比 1:6 (g/mL)、酶解温度 60 °C 下酶解 6 h,并在微波功率 600 W、微波温度 50 °C 下处理 6 min,普洱茶籽油提取率达到最高,为 92.58%。

复合酶会对油料作物的细胞壁和油脂复合体造成不同程度的损坏。相比而言,复合酶的使用,更能提高植物油料作物的提取率,因为酶复合后会对植物油料细胞的破坏产生一定的协同作用,但具体采用复合酶的种类和配比需要根据植物油料细胞周围的组成成分来确定。

2.2 水酶法提取植物油品质

2.2.1 脂肪酸组成及含量 脂肪酸具有增强免疫力、预防高血压和提供能量等作用,被分为饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸两种,其中不饱和脂肪酸主要有亚油酸和亚麻酸。脂肪酸的重要性使得脂肪酸的组成和含量成为了评价植物油品质的重要指标。

Wang 等^[41]分别采用溶剂浸提法、冷榨法和超声辅助水酶法 3 种方法提取梔子油,发现超声辅助水酶法提取梔子油所得亚油酸含量最高为 49.75%,其亚麻酸含量最低为 1.27%,若以油酸、亚油酸和亚麻酸等不饱和脂肪酸含量来比较梔子油的品质,则超声辅助水酶法的品质较好。Konopka 等^[42]采用水酶法提取南瓜籽油得到的亚油酸和亚麻酸含量高于冷榨法的。Jiao 等^[43]采用微波辅助水酶法提取得到的南瓜籽油中亚油酸和亚麻酸含量均高于溶剂浸提法的。Zeng 等^[44]采用水酶法与溶剂浸提法提取出的亚麻籽油中亚麻酸含量基本相同,高于冷榨法和压榨法。总体而言,水酶法提取的植物油品质优于其他方法的。由于不同植物油中脂肪酸含量有所不同,同一种提取方法在提取不同种植物油时其脂肪酸含量也有所不同。

2.2.2 理化指标 评价植物油的理化指标有酸价、碘值、

皂化值和过氧化值等。酸价和过氧化值的测定值越低,表明植物油的水解程度和氧化程度越低,即油脂的新鲜度越好。Shende 等^[45]采用水酶法提取的玉米胚芽油的酸价和过氧化值均低于溶剂浸提法的,若从这两个指标来看,水酶法提取植物油的品质较好。碘值和皂化值越大越好,因为碘值和皂化值代表的是植物油的不饱和程度和纯度。Li 等^[46]采用超声辅助水酶法提取紫苏油的皂化值低于冷榨法和溶剂浸提法的,其碘值高于冷榨法的却略低于溶剂浸提法的,但 3 种方法提取得到的紫苏油的碘值和皂化值之间无显著性差异。Xu 等^[47]若以酸价、碘值、皂化值和过氧化值 4 个理化指标来比较水酶法和溶剂浸提法提取米糠油的品质,水酶法提取的米糠油的品质更好。

2.2.3 活性成分 植物油含有众多活性成分如生育酚、角鲨烯和甾醇等,活性成分具有众多功效,如抗炎、抗氧化和预防癌症等,所以植物油中活性成分含量也会用作植物油品质的比较。Konopka 等^[42]采用水酶法提取的南瓜籽油的活性成分均高于热榨法的。Zeng 等^[44]采用水酶法提取得到的亚麻籽油的角鲨烯含量高于热榨法、冷榨法和溶剂浸提法的,主要是由于水酶法的作用条件比较温和,更易于保留南瓜籽和亚麻籽中的活性成分。栗芳澜等^[48]采用水酶法提取的油茶籽油中角鲨烯和维生素 E 含量较高,3 种方法中溶剂浸提法提取的油茶籽油的维生素 E 含量最低,可能是由于溶剂浸提法使用的有机溶剂溶解的维生素 E 较少;热压法提取的油茶籽中角鲨烯含量最低,是由于热压法温度较高,使角鲨烯易于氧化。

2.3 破乳

2.3.1 物理破乳 物理破乳通常采用加热法、冷冻—解冻法和微波等方式。Morales 等^[49]通过研究水酶法提取大豆油过程中形成的乳状液,发现单独热处理不会改变游离油的回收率,但经冻融处理可使油回收率从 3% 增加到 22%。王亚娟等^[50]使用水代法提取油茶籽油时,比较了加热冻融法破乳、乙醇冻融法破乳、加盐冻融法破乳等破乳方式,发现加热冻融法的破乳效果最好,当加热温度为 60℃、加热时间为 20 min 时,提油率可达 92.57%。魏松丽等^[51]采用超声波辅助微波对水酶法提取菜籽油形成的乳状液进行破乳,在 pH 5.0, 超声强度 400 W、温度 40℃、超声时间 30 s,微波强度 600 W、微波时间 70 s 下,破乳率可达 96.30%。刘彬球^[40]采用冷冻辅助微波的方式对普洱茶籽油进行破乳,于-20℃下冷冻 4 h 后,在微波功率 500 W、温度 50℃、时间 30 min 下,普洱茶籽油破乳率最高为 97.53%。

2.3.2 化学破乳 化学破乳常用的方式是无机盐破乳和酸碱破乳等。Meng 等^[52]在水酶法提取油茶籽油时,利

用 CaCl_2 进行破乳,乳化剂和稳定剂(如茶皂素、蛋白质和多糖)的总体水平降低,且有利于游离油的形成。Geng 等^[53]采用表面活性剂(Span 20)和盐辅助水剂法对核桃油进行破乳,发现盐辅助水剂法提取核桃油时,其提取的核桃蛋白质未发生变性,且可以回收利用。牛瑞浩^[54]采用等电点法对水酶法提取的花生油乳状液进行破乳,用 0.1 mol/L HCl 将 pH 值调至花生油体的等电点(pH 4.5)后,在磁力搅拌器上搅拌破乳 60 min,其破乳率为 70.37%。吴海波等^[55]将水酶法提取的大豆油乳状液加热至 50℃后,调节 pH 值,发现 pH 为 3~4 时,乳状液的电位绝对值降至最低,此时乳状液稳定性最差,破乳率最高。

2.3.3 酶法破乳 蛋白质、磷脂和碳水化合物的存在使乳状液十分稳定,所以一般采用蛋白酶和磷脂酶等改变乳状液稳定性。磷脂酶会削弱磷脂和蛋白质之间的相互作用,使乳液不稳定。蛋白酶会将蛋白质消化成小分子肽,破坏乳状液的界面膜。牛瑞浩^[54]使用 PLA1、PLA1/PLA2、PLD、Alcalase 2.4L 和木瓜蛋白酶对水酶法提取花生油形成的乳状液进行破乳,其破乳率分别为 45.6%, 85.3%, 30.7%, 84.3%, 93.8%。Niu 等^[56]采用木瓜蛋白酶对水酶法提取的花生油乳状液进行酶解,酶解后的乳状液水相中氨基酸含量更高,油体乳液黏度更低,粒径更大,稳定性更差,更易破乳。Liu 等^[57]分别使用干法粉碎和湿法粉碎预处理花生,研究了冻融破乳、pH 破乳和酶法破乳(如 Alcalase 2.4L、木瓜蛋白酶、磷脂酶)对水酶法提取花生油后形成的乳状液进行破乳,发现 Alcalase 2.4L 的破乳效果最好,但由于预处理方式(干法粉碎、湿法粉碎)不同,Alcalase 2.4L 的破乳率也有所不同,分别为 92.77%, 92.67%。

无论是物理破乳、化学破乳还是酶法破乳,一般都是破坏界面蛋白的结构,降低界面膜的稳定性。但物理破乳耗时且耗能;化学破乳会有化学试剂残留,影响植物油的品质;酶法破乳的酶制剂成本较高。乳状液的稳定是限制水酶法发展的瓶颈之一,为推动水酶法的工业化发展,目前主要采用两种方法:① 将物理、化学和酶法破乳 3 种方式多加结合;② 研究新型破乳方法和破乳试剂,以期实现一种低能、高效、绿色环保的破乳方式。

3 结论及展望

水酶法提取植物油具有条件温和、提取工艺简单、绿色安全、经济环保等优点,但若将水酶法提取植物油进行工业化,还存在一些问题需要突破:① 植物油料预处理工艺中植物油料的合适粉碎粒径;② 植物油料酶解阶段所使用酶制剂的成本;③ 植物油料形成的稳定乳状液如何破乳;④ 分离提取得到的植物油的加工、精炼工艺

如何优化。为了推进工业化的发展,助力中国全面建成小康社会,可以采取以下措施:① 大力研发针对于不同植物油料种子的机械设备;② 推动生物工程酶工程的发展或者重复利用酶解过程中的生物酶;③ 将物理破乳、化学破乳和酶法破乳多方结合,为不同的植物油料选择合适的破乳方式;④ 对提取得到的油料,根据其理化性质,选择合适的加工工艺。在国家政策的支持下,未来中国水酶法制取植物油的发展可能不再局限于传统油料,而且工艺流程、精炼工艺和破乳后蛋白质品质及应用等方面也将会更加全面。总之,水酶法提取植物油在未来将会有更广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 武利梅, 赵晶晶, 蔡静薇, 等. 食用植物油中脂肪伴随物的种类、含量及健康功能[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(6): 10-18, 29.
WU L M, ZHAO J J, CAI J W, et al. The type, contents and health function of fat concomitants in edible vegetable oil[J]. Journal of Hennan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(6): 10-18, 29.
- [2] YANG R, ZHANG L, LI P, et al. A review of chemical composition and nutritional properties of minor vegetable oils in China [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 74: 26-32.
- [3] BOULARD C, BARDET M, CHARDOT T, et al. The structural organization of seed oil bodies could explain the contrasted oil extractability observed in two rapeseed genotypes[J]. Planta, 2015, 242(1): 53-68.
- [4] 张雯丽. 多措并举 提高食用植物油供给保障能力[J]. 中国农民合作社, 2022(12): 26-27.
ZHANG W L. Multiple measures to improve edible vegetable oil supply security capacity[J]. China Farmers' Cooperatives, 2022(12): 26-27.
- [5] 赵宇辉, 陈复生, 刘晨, 等. 水酶法提取花生油过程中乳状液性质研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(8): 222-226.
ZHAO Y H, CHEN F S, LIU C, et al. Advance of progress on emulsion in aqueous enzymatic extraction of peanut oil[J]. Food & Machinery, 2022, 38(8): 222-226.
- [6] CHEN F, ZHANG Q, GU H, et al. An approach for extraction of kernel oil from *Pinus pumila* using homogenate-circulating ultrasound in combination with an aqueous enzymatic process and evaluation of its antioxidant activity[J]. Journal of Chromatography A, 2016, 1 471: 68-79.
- [7] 沈玉平, 周旭, 张祖姣, 等. 水酶法提取油脂研究进展[J]. 中国油脂, 2021, 46(2): 14-19.
SHEN Y P, ZHOU X, ZHANG Z J, et al. Progress on aqueous enzymatic extraction of oil[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(2): 14-19.
- [8] 陈镇, 李秀丽, 陈法志. 植物油体合成及功能研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2021, 43(2): 182-191.
CHEN Z, LI X L, CHEN F Z. Research progress on biological synthesis and biological function in plant oil body[J]. World Sci-Tech R & D, 2021, 43(2): 182-191.
- [9] TZEN J T, PENG C C, CHENG D J, et al. A new method for seed oil body purification and examination of oil body integrity following germination[J]. Journal of Biochemistry, 1997, 121(4): 762-768.
- [10] PAYNE G, LAD M, FOSTER T, et al. Composition and properties of the surface of oil bodies recovered from *echium plantagineum* [J]. Colloids and Surfaces Bio-interfaces, 2014, 116: 88-92.
- [11] ZHAO L P, CHEN Y M, CHEN Y J, et al. Effects of pH on protein components of extracted oil bodies from diverse plant seeds and endogenous protease-induced oleosin hydrolysis [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 125-133.
- [12] ANANT C D, AIQIAN Y, HARJINDER S. Structural and interfacial characteristics of oil bodies in coconuts (*Cocos nucifera L.*) [J]. Food Chemistry, 2019, 276: 129-139.
- [13] NIKIFORIDIS C V, KARKANI O A, KIOSSEOGLOU V. Exploitation of maize germ for the preparation of a stable oil-body nano-emulsion using a combined aqueous extraction-ultrafiltration method[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 1 122-1 127.
- [14] 牛瑞浩, 陈复生, 周龙正, 等. 花生油脂体的提取方法及性质研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(10): 10-12.
NIU R H, CHEN F S, ZHOU L Z, et al. Advances on extraction methods and properties of peanut oil bodies[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(10): 10-12.
- [15] MUNIGLIA L, CLAISSE N, BAUDELETP H, et al. Enzymatic Aqueous Extraction (EAE) [M]// CHEMAT F, VIAN M A. Alternative solvents for natural products extraction. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014: 167-204.
- [16] 陈复生, 郝莉花, 江连州, 等. 酶技术制取植物油脂的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(5): 106-112.
CHEN F S, HAO L H, JIANG L Z, et al. Advances in the application of enzymatic technology in the edible vegetable oils extraction [J]. Journal of Hennan University of Technology (Natural Science Edition), 2015, 36(5): 106-112.
- [17] 何章一, 曹冬梅. 微波辅助水酶法提取米糠油及蛋白的研究[J]. 食品安全导刊, 2016(12): 126.
HE Z Y, CAO D M. Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of rice bran oil and protein [J]. China Food Safety Magazine, 2016(12): 126.
- [18] 张秀芬, 黄珍玲, 吴玲玲, 等. 响应面法优化超声辅助水酶法提取辣木籽油[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 108-114.
ZHANG X F, HUANG Z L, WU L L, et al. Optimization of ultrasonic-assisted aqueous enzymatic extraction of Moringa seed oil by response surface methodology [J]. Food Research and

- Development, 2022, 43(21): 108-114.
- [19] 归艳, 刘佳林, 廖培龙, 等. 热处理辅助水酶法提取芝麻油的工艺[J]. 食品工业, 2021, 42(3): 82-87.
GUI Y, LIU J L, LIAO P L, et al. The process of heat treatment assisted aqueous enzymatic extraction of sesame oil[J]. The Food Industry, 2021, 42(3): 82-87.
- [20] 林莉, 董玮, 周敏, 等. 响应面优化水酶法提取油茶籽油工艺[J]. 食品工业, 2022, 43(10): 71-75.
LIN L, DONG W, ZHOU M, et al. Optimization on aqueous enzymatic extraction of camellia seed oil by response surface method[J]. The Food Industry, 2022, 43(10): 71-75.
- [21] TIAN L, REN Y, YANG R, et al. Combination of thermal pretreatment and alcohol-assisted aqueous processing for rapeseed oil extraction[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(7): 3 509-3 516.
- [22] 汪锦, 应瑞峰, 王耀松, 等. 超声—水酶法对高品质薄壳山核桃油释放的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(18): 177-182.
WANG J, YING R F, WANG Y S, et al. Effect of ultrasonic-aqueous enzymatic extraction on the release of high-quality pecan nuts oil [J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(18): 177-182.
- [23] LI G, MA L, YAN Z, et al. Extraction of oils and phytochemicals from *Camellia oleifera* seeds: Trends, challenges, and innovations [J]. Processes, 2022, 10(8): 1 489.
- [24] SHAH S, SHARMA A, GUPTA M N. Extraction of oil from *Jatropha curcas* L. seed kernels by combination of ultrasonication and aqueous enzymatic oil extraction[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(1): 121-123.
- [25] 王素梅, 王璋. 水酶法提取玉米胚油工艺[J]. 无锡轻工大学学报, 2002(5): 482-486.
WANG S M, WANG Z. Study on aqueous enzymatic extraction of corn germ oil[J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2002(5): 482-486.
- [26] PEREZ E E, FERNÁNDEZ M B, NOLASCO S M, et al. Effect of pectinase on the oil solvent extraction from different genotypes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 117(3): 393-398.
- [27] DÍAZ-SUÁREZ P, ROSALES-QUINTERO A, FERNANDEZ-LAFUENTE R, et al. Aqueous enzymatic extraction of *Ricinus communis* seeds oil using viscozyme L[J]. Industrial Crops and Products, 2021, 170: 113811.
- [28] ZHANG Y, LI S, YIN C, et al. Response surface optimisation of aqueous enzymatic oil extraction from bayberry (*Myrica rubra*) kernels[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 304-308.
- [29] TACIAS-PASCACIO V G, ROSALES-QUINTERO A, RODRIGUES R C, et al. Aqueous extraction of seed oil from mamey sapote (*Pouteria sapota*) after viscozyme L treatment[J]. Catalysts, 2021, 11(6): 748.
- [30] 王璋, 许时婴, 林岚, 等. 酶法从全酯大豆中同时制备大豆油和大豆水解蛋白工艺的研究[J]. 食品与生物技术学报, 1994, 13(3): 180-182.
WANG Z, XU S Y, LIN L, et al. Study on the enzymatic process of simultaneous preparing of soy oil and soybean protein hydrolysate from full fat soybean [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 1994, 13(3): 180-182.
- [31] LATIF S, ANWAR F, HUSSAIN A I, et al. Aqueous enzymatic process for oil and protein extraction from *Moringa oleifera* seed [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2011, 113(8): 1 012-1 018.
- [32] DE AQUINO D S, RODERS C, VESSONI A M, et al. Assessment of obtaining sunflower oil from enzymatic aqueous extraction using protease enzymes[J]. Grasas y Aceites, 2022, 73(1): e452.
- [33] MENG Z, WEI S, QI K, et al. Secondary structure of proteins on oil release in aqueous enzymatic extraction of rapeseed oil as affected hydrolysis state [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 119-127.
- [34] DE MOURA J M L N, CAMPBELL K, MAHFUZ A, et al. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from soybeans and cream de-emulsification[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2008, 85: 985-995.
- [35] NYAM K L, TAN C P, LAI O M, et al. Enzyme-assisted aqueous extraction of Kalahari melon seed oil: Optimization using response surface methodology[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2009, 86(12): 1 235-1 240.
- [36] CHEN X, HUANG W, WANG L. Process optimization in the extract of perilla seed oil with plant protein hydrolysate complex enzyme[J]. Food Science and Technology, 2022, 42: e54722.
- [37] PASSOS C P, YILMAZ S, SILVA C M, et al. Enhancement of grape seed oil extraction using a cell wall degrading enzyme cocktail[J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 48-53.
- [38] HOU L X, SHANG X L, WANG X, et al. Application of enzyme in aqueous extraction of sesame oil[J]. European Food Research and Technology, 2013, 236: 1 027-1 030.
- [39] TEIXEIRA C B, MACEDO G A, MACEDO J A, et al. Simultaneous extraction of oil and antioxidant compounds from oil palm fruit (*Elaeis guineensis*) by an aqueous enzymatic process [J]. Bioresource Technology, 2013, 129: 575-581.
- [40] 刘彬球. 微波辅助水酶法提取普洱茶籽油和水解蛋白的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013.
LIU B Q. Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of Puerh tea seed oil and hydrolyzed protein[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2013.
- [41] WANG D, YUAN Y, XIE T, et al. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of gardenia fruits (*Gardenia jasminoides Ellis*) oil: Optimization and quality evaluation[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 191: 116021.
- [42] KONOPKA I, ROSZKOWSKA B, CZAPLICKI S, et al.

- Optimization of pumpkin oil recovery by using aqueous enzymatic extraction and comparison of the quality of the obtained oil with the quality of cold-pressed oil [J]. *Food Technology and Biotechnology*, 2016, 54(4): 413-420.
- [43] JIAO J, LI Z G, GAI Q Y, et al. Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pumpkin seeds and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities[J]. *Food Chemistry*, 2014, 147: 17-24.
- [44] ZENG J, XIAO T, NI X, et al. The comparative analysis of different oil extraction methods based on the quality of flaxseed oil [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 107: 104373.
- [45] SHENDE D, SIDHU G K. Effect of enzymatic aqueous extraction on quality characteristics of maize germ oil during storage [J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2019, 56(1): 1-15.
- [46] LI H, ZHANG Z, HE D, et al. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from perilla seeds and determination of its physicochemical properties, fatty acid composition and antioxidant activity [J]. *Food Science and Technology*, 2017, 37: 71-77.
- [47] XU D, HAO J, WANG Z, et al. Physicochemical properties, fatty acid compositions, bioactive compounds, antioxidant activity and thermal behavior of rice bran oil obtained with aqueous enzymatic extraction[J]. *LWT*, 2021, 149: 111817.
- [48] 栗芳澜, 姜慧仙, 王元凤, 等. 水酶法提取的油茶籽油品质及稳定性分析[J]. *中国食品添加剂*, 2023(7): 248-256.
LI F L, JIANG H X, WANG Y F, et al. Quality and stability analysis of *Camellia oleifera* seed oil extracted by aqueous enzymatic method[J]. *China Food Additives*, 2023(7): 248-256.
- [49] MORALES CHABRAND R, KIM H J, ZHANG C, et al. Destabilization of the emulsion formed during aqueous extraction of soybean oil[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2008, 85: 383-390.
- [50] 王亚娟, 范亚苇, 李静, 等. 冻融破乳方法对水代法提取油茶籽油的影响[J]. *中国油脂*, 2023, 48(3): 8-11.
- WANG Y J, FAN Y W, LI J, et al. Effect of freeze-thawdemulsification methods on aqueous extraction of oil-tea camellia seed oil[J]. *China Oils and Fats*, 2023, 48(3): 8-11.
- [51] 魏松丽, 刘元法, 曹培让, 等. 水酶法制取菜籽油的超声辅助微波破乳工艺研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(7): 1-4, 9.
WEI S L, LIU Y F, CAO P R, et al. Ultrasound-assisted microwave demulsification of rapeseed oil prepared by aqueous enzymatic method[J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(7): 1-4, 9.
- [52] MENG X, GE H, YE Q, et al. Efficient and response surface optimized aqueous enzymatic extraction of *Camellia oleifera* (tea seed) oil facilitated by concurrent calcium chloride addition[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2018, 95(1): 29-37.
- [53] GENG Q, CHEN J, GUO R, et al. Salt-assisted aqueous extraction combined with Span 20 allow the obtaining of a high-quality and yield walnut oil[J]. *LWT*, 2020, 121: 108956.
- [54] 牛瑞浩. 水酶法提取花生油过程中酶法破乳机理研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021: 41-52.
NIU R H. Study on the mechanism of enzymatic demulsification in the process of extracting peanut oil by aqueous enzymatic method [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021: 41-52.
- [55] 吴海波, 江连洲. CaCl₂和 pH 值对水酶法提取大豆油形成乳状液破乳效果影响[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(23): 299-306.
WU H B, JIAN L Z. Effect of CaCl₂ and pH value on demulsification of emulsion from enzyme-assisted aqueous extraction processing of soybean oil [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(23): 299-306.
- [56] NIU R, CHEN F, ZHAO Z, et al. Effect of papain on the demulsification of peanut oil body emulsion and the corresponding mechanism[J]. *Journal of Oleo Science*, 2020, 69(6): 617-625.
- [57] LIU C, CHEN F, NIU R, et al. Effects of pretreatment on the yield of peanut oil and protein extracted by aqueous enzymatic extraction and the characteristics of the emulsion[J]. *Journal of Oleo Science*, 2020, 69(11): 1 445-1 453.

欢迎订阅 2024 年《粮食与油脂》杂志

《粮食与油脂》是由上海良友(集团)有限公司主管、上海市粮食科学研究所有限公司主办的科技期刊,是北大中文核心期刊,主要刊载粮食、油脂及食品领域的前沿科研成果。

- ◇中国核心期刊数据库
- ◇中国期刊全文数据库(CJFD)
- ◇万方数据——数字化期刊群及中文科技期刊数据库
- ◇日本科学技术振兴机构数据库(JST)

主要栏目:

专题综述、谷物科学、油脂工程、贮藏与保鲜、食品工艺、功能与营养、食品安全与检测等。

订阅信息:

本刊为月刊,每月 10 日出版

每期定价 15.00 元,全年 180.00 元;公开发行,邮发代码:4-675

国内统一连续出版物号:CN 31-1235/TS 国际标准连续出版物号:ISSN 1008-9578



欢迎关注官方公众号

联系方式:

地址:上海市普陀区府村路 445 号 1 号楼

邮编:200333

电话:021-62058191

E-mail: SLYZHS@163.com