

段章群副研究员主持“国粮院油脂研究30年历程与发展”专栏文章之二

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.05.013

栾霞, 朱莹丹, 赵英男, 等. 国粮院油脂化学与加工技术研究的回顾及展望[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(5): 110-117.

LUAN X, ZHU Y D, ZHAO Y N, et al. Review and prospect of oil chemistry and processing technology research in academy of national food and strategic reserves administration[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(5): 110-117.

# 国粮院油脂化学与加工技术研究的回顾及展望

栾霞, 朱莹丹, 赵英男, 段章群✉

(国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油加工研究所, 北京 100037)

**摘要:** 值此《粮油食品科技》创刊30周年之际, 回顾了国家粮食和物资储备局科学研究院(以下简称“国粮院”)近30年来在油脂化学与加工技术领域走过的历程, 系统总结了近30年来国粮院在油脂化学与加工技术领域开展的科学研究及推动该领域产业发展的突出贡献; 面对国家新形势下的发展战略, 对当前国粮院在油脂化学与加工技术领域开展的重点工作进行概述, 对在该领域面临的新机遇和挑战进行展望。

**关键词:** 国家粮食和物资储备局科学研究院; 油脂化学; 加工技术; 回顾; 展望

中图分类号: TS224; S-1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)05-0110-08

网络首发时间: 2023-09-11 08:21:11

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20230907.1924.004>

## Review and Prospect of Oil Chemistry and Processing Technology Research in Academy of National Food and Strategic Reserves Administration

LUAN Xia, ZHU Ying-dan, ZHAO Ying-nan, DUAN Zhang-qun✉

(Institute of Cereal and Oil Science and Technology, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

**Abstract:** On the occasion of the 30th anniversary of the journal “Science and Technology of Cereals, Oils and Foods”, this paper summarized the development and prospects in the field of oil chemistry and processing technology in Academy of National Food and Strategic Reserves Administration (Academy of NFSRA) over the past 30 years. This scientific research carried out by the Academy of NFSRA in the field of oil chemistry and processing technology over the past 30 years and its outstanding contributions to promoting the development of the industry were also reviewed. According to the development strategy under the new situation of China, the highlighted work in the field of oil chemistry and processing technology was summarized, and the new opportunities and challenges faced by the field of oil chemistry and processing technology research was further prospected.

收稿日期: 2023-06-16

作者简介: 栾霞, 女, 1963年出生, 研究员, 研究方向为油脂化学与加工技术。E-mail: lx@ags.ac.cn

通讯作者: 段章群, 男, 1981年出生, 博士, 副研究员, 副所长, 研究方向为油脂化学与加工技术。E-mail: dzq@ags.ac.cn。作者详细介绍见 PC24。

**Key words:** academy of national food and strategic reserves administration; oil chemistry; processing technology; review; prospect

我国是油脂消费大国,2022 年我国八大油料作物的总产量为 7 132.5 万 t,与 2021 年的 6 634.9 万 t 油料总产量相比增加了 497.6 万 t,实现油料增长 7.5%,2022 年我国食用油脂总消费量 3 714 万 t,人均 26.2 公斤,我国食用油脂自给率提高到 35.9%<sup>[1]</sup>。在 2022 年我国油料产量和食用油生产状况发生了历史性的变化,创造上述历史离不开几代油脂科技工作者的创新钻研,默默奉献,守望相助。新的发展阶段,我国居民消费升级,从过去讲究“吃的放心”逐步发展到“吃得好”,党的二十大建立“全方位夯实粮食安全根基”、“确保粮食、能源资源、重要产业链安全”的建议,并提倡合理膳食,全链条推进节粮减损,油脂加工需从适度加工、消费两方面引导消费者,服务国家“粮食安全”和“健康中国”战略<sup>[2-4]</sup>。

在新时代新征程中,油脂行业发展面临新的机遇和挑战,保障我国食用油品质和营养安全的前提下,需防止“过度加工”,提高油脂资源利用率,在全社会形成“珍惜油脂,反对浪费”的新风尚,真正做到科学用油、理性用油、节约用油<sup>[5-6]</sup>。二十世纪八、九十年代以来,国家粮食和物资储备局科学研究院(以下简称“国粮院”)在油脂化学与加工技术领域取得了一系列重要成果,为推动该领域的科技进步和发展做出了突出贡献。

## 1 研制了国内第一条 50 吨/日植物油连续精炼工艺设备

油脂、植物蛋白是人民膳食的基础,兼具有营养性和功能性,是维生素的载体物质,同时是人体必需脂肪酸、必需氨基酸的有力供给。二十世纪八十至九十年代是我国油脂发展突飞猛进的时期,随着加工技术和工业体系的进步,特别是改革开放后,增强了世界性的参观访问、技术座谈、学术交流等,加深了我国对世界油脂技术的认识,缩短了某些方面的技术距离<sup>[7-8]</sup>。我国植物油生产从“一五”期间的 147 万 t,到“八五”期间供应量发展到 600 万 t,考虑到当时我国的人口

规模,我国食用油人年均远低于一般发达国家人年均食用油 20 公斤的水平。面对上述差距和挑战,亟需大力发展生产,提升专业技术水平和技术装备。

国粮院油脂化学与加工技术科研人员以油脂加工技术装备研究为落脚点,在油料膨化预处理、立式蒸炒锅技术参数、螺旋榨油机技术等,到油脂精炼阶段溶剂的脱除进行了大量的实验,大大提升了油脂加工产能<sup>[9-13]</sup>。在此期间,国粮院油脂化学与加工技术团队牵头研制了国内第一套 50 t/日植物油连续精炼工艺设备,配以新研制的脱色器和脱臭塔。新型脱色器具有双层结构,可使油脂在精炼过程中白土低温、常压预混,大大缩短了混合时间,同时下层首次采用在真空条件下使用蒸汽搅拌脱色,省去了搅拌传动装置和动力,避免了搅拌轴密封处漏气和润滑油污染问题。研制的高速喷流型连续脱臭塔,采用直接蒸汽喷射,在塔盘油循环管的下部底板上,对准层流筒中央轴线装设了一个喷嘴,直接蒸汽通过喷嘴高速喷入导流筒中,使油脂经导流筒作激烈的循环,加速油的翻动,强化了传热,保证了汽提效果。设备整体结构紧凑,脱臭效果好,工艺先进合理,生产运行稳定可靠<sup>[14-15]</sup>。

上述工艺设备的研制成功,使我国植物油精炼技术接近国际先进水平,为我国自行设计、制造精炼油成套工艺与设备提供了科学依据与宝贵经验,以取代引进(或者引进消化吸收)并为我国油脂深加工的发展奠定了良好的基础。对于发展我国食品工业,改善油品质量,丰富人民生活水平,节约外汇具有重要意义,该项目获得国家科技进步二等奖、商业部科学技术进步一等奖。

## 2 油脂改性技术

随着世界经济的发展,油脂工业产品种类迅速拓展,通过酯交换反应可以加工出适合人们需求的新型油脂,这项技术在欧美已进行工业化生产,然而这一时期国内刚刚起步。1985—1986 年

国粮院开展了利用猪油与菜油、乌柏油与菜油、棕榈油与菜油等进行酯交换制造人造奶油、乳化剂用单甘酯和防腐剂用月桂酸单甘酯等产品的开发,通过多种方法分析产品品质<sup>[16-17]</sup>,并将人造奶油技术转让给国营常州油脂厂,极大地便捷了食品工业的发展<sup>[18]</sup>。

值得一提的是,在单甘酯合成方面,与国内通常采用的碱性金属化学催化剂酯化合成单甘酯工艺不同,新工艺采用自制的生物酶作催化剂。在初酯产品的品质方面,化学法合成的初酯中单甘酯含量仅有35%~48%,而新工艺合成的初酯单甘酯纯度为60%~65%,将初酯中单甘酯含量显著提高。结合团队对于分子蒸馏设备的改进,不仅缩短了蒸馏馏程,节省了时间,还充分循环利用了残渣,最终获得了单甘酯含量90%~96%的分子蒸馏单甘酯产品<sup>[19]</sup>。产业应用方面,可用于饼干、面包、面条、糕点、各种类型人造奶油、黄油、起酥油、涂抹酱、冰淇淋乳化稳定剂等食品专用添加剂;在化妆品方面,单甘酯是W/O型乳霜、膏霜、粉底、香粉等的理想原料;单甘酯还可用于切割油乳化剂、纺织品软化剂、润滑剂等工业产品中<sup>[20]</sup>。在食品工业中,高纯度分子蒸馏单甘酯是低含量单甘酯的换代产品,如:分子蒸馏单甘酯对面包直链淀粉复合指数可由未蒸馏产品的28提高到92,将乳化及保鲜作用提高两倍。因此,当时在国际市场中的需求量很大,具有较好地市场前景<sup>[21-22]</sup>。随着我国国产分子蒸馏装置的不断改进和完善,国粮院油脂化学和加工技术团队协助广州市轻工研究所在国内建设了第一家6 000 t/a分子蒸馏单甘酯工厂,使分子蒸馏单甘酯技术工业化生产得以实现,并为其他行业逐渐用分子蒸馏单甘酯奠定了基础,也为我国分子蒸馏单甘酯产品打入国际市场奠定了基础。

### 3 新型油脂加工技术的研究与应用

#### 3.1 水酶法制油技术

油料作物细胞壁由纤维素、半纤维素、木质素和果胶组成,油脂存在于油料籽粒细胞中,水酶法技术是在机械破碎的基础上,采用具有降解作用的酶类(如:纤维素酶、半纤维素酶、蛋白酶、果胶酶、淀粉酶、葡聚糖酶等)处理油料,

通过酶对油料作物细胞结构进一步破坏,增加油料组织中油脂的流动性,使油脂分离出来<sup>[23]</sup>。“十一五”期间,在国家高技术研究发展(863)计划项目“食品新酶创制及生物加工关键技术研究及创新应用”的课题4“油料生物解离关键技术研究”(2013AA102104)、林业部“十一五”科技支撑计划项目子课题“油茶籽水酶法综合加工技术研究”、科技部“十一五”科技支撑计划项目子课题“高含油油料安全、高效的非溶剂制油新工艺研究”(2006BAD05A01-16)和国家局公益性行业(粮食)科研专项项目“碾米制粉制油节粮节能智能新装备研发与示范”中任务七“新油源绿色安全加工技术设备研究开发”中的子任务“油茶籽加工链质量保障与提升关键技术研发201513003-7-1”)的支持下,国粮院油脂化学与加工技术团队基于前期研究探索,先后对油菜籽、油茶籽、火麻仁、紫苏子、亚麻籽、猕猴桃籽和长柄扁桃仁等油料开展了水酶法制油技术研究<sup>[24-28]</sup>。与传统溶剂提取法、压榨法相比,水酶法技术不改变油脂脂肪酸组成,毛油质量呈现出有利于后续精炼工艺的指标特征,游离脂肪酸含量降低,水酶法还可增加初榨橄榄油中的多酚含量,提升橄榄油口感和品质<sup>[29]</sup>。通过挤压膨化前处理技术实现细胞破壁,结合水酶法提取火麻仁油,用传统方法破乳,可在处理量为40 kg/罐油茶籽仁水酶法制油技术清油得率90%<sup>[30]</sup>。该技术与相关科研成果获得第七届“大北农科技奖”一等奖。“水酶法同步制取油脂与蛋白的油料综合开发技术”获中国商业联合会科学技术三等奖。上述项目的支持下,授权了国家发明专利ZL201010262150.1“一种从油茶籽仁中提取油脂及回收皂甙和糖类活性物质的方法”和ZL201410676901.2“一种水酶法提取火麻仁中油脂的方法和一种火麻仁蛋白质饮料”。

与压榨、浸出和预榨浸出技术比较,水酶法制油具有反应条件温和、产品无溶剂残留、环境友好,在提取油脂的同时可提取蛋白质及其它活性物质等优点<sup>[31]</sup>。但仍然存在的问题不容忽视:

(1)酶制剂的价格偏高且使用量大,从而导致工业生产成本的增加;(2)水酶法与其他辅助技术的联用虽然可以增加植物油脂的提取率,但其操

作更加复杂且用到高耗能设备,其工艺流程需要进一步优化以适应工业化生产;(3)用水量,水酶法在提取油脂和蛋白质时,会使用大量的水,随之也会产生废水,处理不当会造成环境污染;(4)水酶法提取植物油脂的过程中会产生稳定的乳状液,降低油脂的提取率。提取过程中既要考虑出油率,也要考虑废水处理和破乳问题<sup>[32]</sup>。

### 3.2 生物酶催化制备功能性结构脂质技术

结构脂质被广泛定义为天然油脂经过结构重组使其脂肪酸位置和脂肪酸组成发生改变的一类脂质<sup>[33]</sup>。它在满足人们对食品营养保健、色泽、风味和口感要求的同时,可最大限度地减低脂肪的不利影响,是一类具有多种生理功能、可满足不同加工应用需求的油脂<sup>[34]</sup>。国粮院油脂化学与加工技术团队“十二五”期间承担的科技部农业科技成果转化资金项目“酶改性菜籽油制备结构脂质技术中试”(2011GB24490006)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“非水相酶催化合成结构脂质”(ZX0705)、“固定床反应器中酶催化制备结构脂质及分离研究”(ZX1001)、“MLM 型结构脂质氧化稳定性与储藏品质评定研究”(ZX1216),通过特异性固定化脂肪酶做催化剂,油脂酸解的方法进行甘油三酯 1,3-脂肪酸的置换反应,将菜籽油、油茶籽油与中碳链脂肪酸成功制备 1,3-富含中碳链脂肪酸食用油,体系工艺条件温和、环境友好、产品质量指标稳定<sup>[35]</sup>。该技术研究获得国家授权发明专利 ZL201010104448.X “一种茶油酶催化改性制备功能性油脂的方法”,自主设计的反应装置“一种利用固定化脂肪酶连续制备结构脂质的反应器”获得实用新型专利授权(ZL202021462659.6),上述技术和专利的结合,可更好地连续反应并稳定生产。生物酶催化功能性结构酯技术属于油脂深加工的前沿技术,特别是引入的中碳链脂肪酸是一类具有特殊生理功能的营养物质,在人体中拥有独特的代谢途径,不仅可以提供能量,还具有抑制体内脂肪堆积,改善肠道形态结构,调节免疫和防治疾病等功能,是油脂领域研究的热点<sup>[36]</sup>。

### 3.3 油脂加工副产物增值利用技术

食用油是人体脂肪的主要来源,对人体健康

具有其他营养素不可替代的作用,食用油的主要成分是脂肪酸,同时含有维生素 E、植物甾醇、磷脂、谷维素、角鲨烯等多种微量天然营养物质<sup>[37]</sup>。磷脂酰丝氨酸又称复合神经酸,可改善神经细胞功能性,进而提升记忆力和注意力,影响学习能力。

国粮院油脂化学与加工技术团队通过承担国家自然科学基金青年基金项目“新型绿色介质  $\gamma$ -戊内酯中酶促合成磷脂酰丝氨酸的研究”(21102027)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“酶法制备磷脂酰丝氨酸工艺的放大”(ZX1707)科研项目,围绕油脂加工微量伴随物——磷脂的升值利用,采用生物催化技术将大豆卵磷脂转化为被誉为“大脑维生素”的磷脂酰丝氨酸,完成了反应体系从 10 mL→100 mL→1 L→5 L→100 L 的逐级放大,当 100 L 的规模时,优化反应条件下,采用绿色相分离技术浓缩制得磷脂酰丝氨酸粗品的纯度大于 50%<sup>[38-40]</sup>。

中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“大豆源功能性物质的开发研究”(ZX1905)采用新型绿色可再生的深度共熔溶剂,以脱脂豆脐为原料,将大豆异黄酮的提取率提升至 90%以上,纯化后的大豆异黄酮纯度可达 40%以上,延长了大豆加工制品的产业链条<sup>[41]</sup>,获得国家发明专利 ZL202110807880.3 “一种基于深度共熔溶剂从豆脐中提取大豆异黄酮的方法”<sup>[42]</sup>。大豆异黄酮是大豆生长过程中形成的一种次级代谢产物,以糖苷和游离苷元的形式分布于大豆的子叶和胚轴中。研究表明,人体对大豆异黄酮游离苷元的吸收利用的速度及数量远高于糖苷型,因此,需提高效率转化制备游离苷元型大豆异黄酮。国粮院研究团队以  $\beta$ -葡萄糖苷酶和纤维素酶为生物催化剂,在最佳工艺条件下催化糖苷型大豆异黄酮转化为易于人体吸收的苷元型大豆异黄酮的工艺,得率可达 95%以上,获得国家发明专利 ZL202110822970.X “一种酶法水解制备苷元型大豆异黄酮的方法”<sup>[43]</sup>。围绕《国民营养计划(2017—2030 年)》提出完善营养膳食,以人民健康为中心,加速开发和利用大豆加工业副产物——大豆皮中膳食纤维制取工艺。研究结果显示,可溶性

膳食纤维提取率可达12.5%，分离纯化所得粗品中可溶性膳食纤维含量大于60%，在面包中适量添加后可以显著改善质构，可丰富大豆皮有益成分的开发利用和深加工产品附加值<sup>[44]</sup>。

## 4 展望

### 4.1 食用植物油天然抗氧化技术

食用植物油含有大量的不饱和脂肪酸，在日常消费过程中，容易受到环境因素而加速腐败变质，防止油脂腐败变质，延长使用期限，可以更好地贯彻我国在新形势下提出的《中华人民共和国反食品浪费法》，保障我国粮食安全。当前，中型包装以上食用油一般通过添加合成抗氧化剂特丁基对苯二酚(tertiary butylhydroquinone, TBHQ)等防止氧化，已有研究表明，这些化学合成抗氧化剂存在细胞毒性，可导致器官病变，以及诱发癌症及畸形<sup>[45-46]</sup>。欧美很多国家已经出台了相关法规，严格控制这些合成抗氧化剂在油脂中的添加量，甚至禁止添加<sup>[47]</sup>。我国消费者的油脂摄取主要是通过煎、炒、烹、炸等热加工方式，亟需探索开发安全性且具有热稳定性的天然抗氧化剂，以提高食用油脂的氧化稳定性，从而保证食品安全和国民健康。

迷迭香提取物是天然的食用抗氧化剂，具有安全、广谱、高效、耐热、脂溶性好和抗氧化活性强等诸多优点，迷迭香中含有黄酮类、萜类(包括单萜、二萜、三萜)、多支链烷烃、氨基酸及有机酸等多种化合物，其二萜类化合物中脂溶性的鼠尾草酸和鼠尾草酚以及水溶性的迷迭香酸和迷迭香酚是主要的抗氧化物质<sup>[48-49]</sup>。油脂化学与加工技术团队承担的中央级公益性科研院所基本科研业务费专项“迷迭香提取物在菜籽油中的抗氧化特性研究”(ZX2014)、“鼠尾草酸对油脂热加工过程中极性化合物形成的抑制机制研究”(ZX2222)和“迷迭香提取物对高温煎炸油脂氧化稳定性影响的研究”(ZX2223)。紧扣粮油食品节约减损的时代要求，紧密围绕迷迭香提取物的天然、高效、耐高温的抗氧化特性，分别针对富含油酸、富含亚油酸、富含亚麻酸的食用植物油，开发了不同实际应用场景中食用植物油的天然抗

氧化技术。可为追求美好生活的消费者提供高品质食用植物油，有助于食用植物油生产企业提质增效。

### 4.2 我国特色植物油——油茶籽油的品质研究及国际标准制定

油茶在我国历史悠久，种植范围广，为多年生木本油料作物，它与油棕、橄榄和椰子被称为全球四大木本油料作物。粗略估计，我国油茶的种植面积和油茶籽产量均占全球的95%以上。油茶籽油是优质健康食用油，其不饱和脂肪酸的含量可达90%以上，其中油酸的含量最高可达80%以上，远远高于其他食用油脂，并含有诸多活性物质等，所以早就被誉为“食用油之王”。国粮院油脂化学与加工技术团队，通过委托专业性机构连年采集了大量油茶籽样品，系统研究分析了油茶籽油的质量指标，重点是维生素E、甾醇、角鲨烯、多酚等营养指标，对于全面了解油茶籽品种、产地和加工方式等因素对油茶籽油品质特性的影响，深入解析油茶籽油多维品质的时空变化规律，以及指导精准加工生产高品质油茶籽油至关重要<sup>[50-51]</sup>。这些数据为我国正在参与研制的国际标准——《油茶籽油》提供了坚实技术支撑。

## 5 结语

技术的每一次跨越，不仅需要以匠心精神日积月累，更需要秉承开放精神推动认知的跃升。我们相信新技术在油脂加工领域的应用，促进油脂科研工作者不断推出更适宜的油脂加工方式和油脂产品，使更健康、更安全、更放心的“好油”走上消费者的餐桌，这是改善油脂健康的全新方式，也是落实“健康中国”战略的重要途径，更是每一个国粮院油脂化学与加工技术科研工作者的初心。

### 参考文献：

- [1] 王瑞元. 关于2022年我国粮油产销和进出口情况简介[江南大学油脂园地]. 江苏[2023.03-04]. <https://mp.weixin.qq.com/s/UCmBFXvyuz4Pt3zBnCSfGA>.  
WANG R. Brief Introduction of China's Grain and Oil Production, Marketing and Import and Export in 2022[Oil Garden of Jiangnan University]. Jiang su Province [2023.03-04]. <https://mp>.

- weixin.qq.com/s/UCmBFXvyuz4Pt3zBnCSfGA.
- [2] 鲁宁, 陈鹏飞, 王宏伟, 等. 从大食物观看我国未来粮食安全  
发展路径[J]. 中国食物与营养, 2023, (3): 11-15.  
LU N, CHEN P, WANG H, et al. Looking at the future  
development path of food security in China from the perspective  
of all-encompassing approach to food[J]. China Food and  
Nutrition, 2023, (3): 11-15.
- [3] BITTISNICH D. Food safety in global trade: opportunities and  
challenges to trade harmonization[J]. Reference Module in Food  
Science, 2023.
- [4] 赵瑞华. 降油增绿“好”吃油 适度加工出“好油”[N]. 粮油市场  
报, A01.  
ZHAO R H. Reducing oil and increasing green “good” eating oil  
and moderately processing “good oil” [N]. grain and oil market  
report, A01.
- [5] 胡增民, 王瑞元. 油脂行业要为保障我国食用油安全作出新  
贡献[N]. 粮油市场报, B01.  
HU Z M, WANG R Y. The oil industry should make new  
contributions to ensuring the safety of edible oil in China[N].  
Grain and Oil Market Report, B01.
- [6] 何东平, 罗质, 高盼. 我国食用植物油市场的挑战及机遇[J].  
粮油食品科技, 2020, 28(1): 1-5.  
HE D, LUO Z, GAO P. Challenges and opportunities of edible  
vegetable oil market in China[J]. Science and Technology of  
Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(1): 1-5.
- [7] 王尔惠. 21 世纪我国油脂、蛋白质工业生产发展之我见[J]. 粮  
油食品科技, 2000, (1): 24-25.  
WANG E. My opinion on the development of China’s oil and  
protein industry production in the 21st century[J]. Science and  
Technology of Cereals, Oils and Foods, 2000, (1): 24-25.
- [8] 王尔惠. 我国油脂工业的展望[J]. 科研与设计, 1991:19-20.  
WANG E. Prospects for China’s oil and fat industry[J]. Science  
and Technology of Cereals, Oils and Foods, 1991: 19-20.
- [9] 王尔惠. 油脂工业中膨化预处理新工艺简介[J]. 粮油食品科  
技, 2001, (3): 29-30.  
WANG E. A brief introduction of extrusion pretreatment new  
technology in oil and fat industry[J]. Science and Technology of  
Cereals, Oils and Foods, 2001, (3): 29-30.
- [10] 王尔惠. 立式蒸炒锅技术参数的推导与确定[J]. 粮油食品科  
技, 2002, (3): 29-31.  
WANG E. Derivation and determination of technical parameters  
for vertical steam frying pans[J]. Science and Technology of  
Cereals, Oils and Foods, 2002, (3): 29-31.
- [11] 王尔惠. 垂直式螺旋输送机的理论与实际[J]. 油脂科技,  
1982, (3):13-22.  
WANG E. Theory and practice of vertical spiral conveyors[J].  
China Oils and Fats, 1982, (3): 13-22.
- [12] 王尔惠. 从混合油精炼的皂脚中脱除溶剂[J]. 油脂科技,  
1979, (1): 86-88.  
WANG E. Removing solvents from soap residue refined from  
mixed oil[J]. China Oils and Fats, 1979, (1): 86-88.
- [13] 王尔惠. 用氨基苯甲酸从预榨油和浸出混合油中除去棉酚[J].  
化学世界, 1963, (2): 72-73.  
WANG E. Removing gossypol from pre-pressed oil and  
extracted mixed oil using aminobenzoic acid[J]. Chemical  
World, 1963, (2): 72-73.
- [14] 王尔惠, 张崇伟. 喷流型脱臭器[P]. 北京: CN1046182,  
1990-10-17.  
WANG E H, ZHANG C W. Jet type deodorizer[P]. Beijing:  
CN10461821990-10-17.
- [15] 王尔惠, 张崇伟. 喷流型脱臭器[P]. 北京市: CN1025218C,  
1994-06-29.  
WANG E H, ZHANG C W. Jet type deodorizer[P]. Beijing:  
CN1025218C, 1994-06-29.
- [16] 应珊红, 时宏, 马玉莲. 用溶化膨胀法评价交酯油的稠度[J].  
中国油脂, 1988, (2): 24-30.  
YING S, SHI H, MA Y. Evaluation of the consistency of vinegar  
oil by melt expansion method[J]. China Oils and Fats, 1988, (2):  
24-30.
- [17] 祖丽亚. 菜籽油在不同储存条件下的氧化与氧化稳定性  
[C]//Chinese Cereals and Oils Association (CCOA), International  
Association for Cereal Science and Technology (ICC), American  
Oil Chemists Society (AOCS), American Association of Cereal  
Chemists (AACC). Proceedings of Shanghai International Symposium  
on the Safety of Cereal, Oil & Food (ISSCOF) 2004. Proceedings  
of Shanghai International Symposium on the Safety of Cereal,  
2004: 274-275.
- [18] 王惠芳, 时宏, 关多元. 酯交换反应效果检验方法的研究及  
其中试样品的检验[J]. 中国油脂, 1987, (4): 32-42.  
WANG H, SHI H, GUAN D. Study on the test method of  
transesterification effect and the test of sample[J]. China Oils  
and Fats, 1987, (4): 32-42.
- [19] 时宏, 郭洪. 面向 21 世纪的分子蒸馏单甘酯工业[J]. 中国油  
脂, 2000, (4): 38-41.  
SHI H, GUO H. Molecular distillation monoglyceride industry  
for the 21st century[J]. China Oils and Fats, 2000, (4): 38-41.
- [20] 王瑛瑶, CHEONG Ling-zhi, 栾霞, 等. 单甘酯对棉籽油和棕  
榈硬脂酯交换体系结晶性质的影响[J]. 食品科学, 2013,  
34(3): 46-49.  
WANG Y, CHEONG L Z, LUAN X, et al. Effect of  
monoglyceride on crystal properties of reaction products of  
cottonseed oil and palm stearin ester[J]. Food Science, 2013,  
34(3): 46-49.
- [21] 时宏. 分子蒸馏单甘酯的近况与发展(一)[J]. 粮油食品科技,  
1998, (6): 5-7.  
SHI H. Recent status and development of molecular distillation  
monoglycerides I [J]. Science and Technology of Cereals, Oils  
and Foods, 1998, (6): 5-7.
- [22] 时宏. 分子蒸馏单甘酯的近况与发展(三)[J]. 粮油食品科技,  
1999, (2): 14-15.

- SHI H. Recent status and development of molecular distillation monoglycerides III[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 1999, (2): 14-15.
- [23] 王瑛瑶, 贾照宝, 张霜玉. 水酶法提油技术的应用进展[J]. *中国油脂*, 2008, (7): 24-26.  
WANG Y, JIA Z, ZHANG S. Advance in the application of aqueous enzymatic extraction of edible oil[J]. *China Oils and Fats*, 2008, (7): 24-26.
- [24] 王瑛瑶, 张霜玉, 贾照宝. 菜籽水酶法提油中蛋白酶解参数优化研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(8): 80-83.  
WANG Y, ZHANG S, JIA Z. Optimization of protease hydrolysis parameters in rapeseed water enzymatic extraction of oil[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2009, 24(8): 80-83.
- [25] 王瑛瑶, 栾霞, 魏翠平, 等. 菜籽水解蛋白不同组分的体外功能性质研究[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(7): 43-46.  
WANG Y, LUAN X, WEI C, et al. In vitro functional properties of different components of rapeseed hydrolyzed protein[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(7): 43-46.
- [26] 王瑛瑶, 栾霞, 魏翠平, 等. 酶技术在油脂加工业中的应用[J]. *中国油脂*, 2010, 35(7): 8-11.  
WANG Y, LUAN X, WEI C, et al. Application of enzyme technology in oil processing industry[J]. *China Oils and Fats*, 2010, 35(7): 8-11.
- [27] 徐冰冰, 王瑛瑶, 栾霞, 等. 水酶法提取紫苏籽油脂和蛋白质的工艺条件[J]. *食品科学*, 2012, 33(22): 127-132.  
XU B, WANG Y, LUAN X, et al. Optimization of aqueous enzymatic extraction of oil and protein from perilla seeds[J]. *Food Science*, 2012, 33(22): 127-132.
- [28] 郭咪咪, 李秀娟, 栾霞. 长柄扁桃仁及其水酶法油脂的品质研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(10): 111-116.  
GUO M, LI X, LUAN X. Study on the quality of amygdalus pedunculata pall. kernel and its enzymatic oil production[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(10): 111-116.
- [29] 王瑛瑶, 黄瑶, 栾霞, 等. 水酶法工艺对不同植物油品质特性的影响[J]. *中国油脂*, 2014, 39(4): 5-9.  
WANG Y, HUANG Y, LUAN X, et al. Effects of aqueous enzymatic extraction on quality characteristics of different vegetable oils[J]. *China Oils and Fats*, 2014, 39(4): 5-9.
- [30] 王瑛瑶, 栾霞, 何少卿, 等. 一种处理水酶法提取油茶籽油的工艺过程中得到的液相的系统和方法[P]. 北京: CN104431358A, 2015-03-25.  
WANG Y Y, LUAN X, HE S Q, et al. A system and method for treating the liquid phase obtained during the process of extracting *Camellia oleifera* seed oil by water enzymatic method[P]. Beijing: CN104431358A, 2015-03-25.
- [31] 王瑛瑶, 李秀娟, 栾霞, 等. 一种水酶法提取火麻仁中油脂的方法和一种火麻仁蛋白质饮料[P]. 北京市: CN104450156B, 2017-07-11.  
WANG Y Y, LI X J, LUAN X, et al. A method for extracting oil from hemp seed using aqueous enzymatic method and a protein beverage from hemp seed[P]. Beijing: CN104450156B, 2017-07-11.
- [32] 李天赐, 杨趁仙, 刘昆仑, 等. 水酶法提油技术及其对植物油品质影响的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(9): 365-372.  
LI T, YANG C, LIU K et al. Research advance on aqueous enzymatic extraction of oil and its effect on the quality of vegetable oil[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(9): 365-372.
- [33] 栾霞, 张帆, 魏翠平, 等. 结构脂质氧化稳定性及应用研究[J]. *农业机械*, 2012, (30): 39-41.  
LUAN X, ZHANG F, WEI C, et al. Research progress in structural lipid technology[J]. *Farm Machinery*, 2012, (30): 39-41.
- [34] 栾霞, 王瑛瑶, 郭咪咪, 等. 菜籽油和辛酸酶法合成结构脂质氧化稳定性的研究[J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(4): 26-30.  
LUAN X, WANG Y, GUO M, et al. Oxidative stability of enzymatically produced caprylic acid and rapeseed oil-based structured lipids[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2014, 22(4): 26-30.
- [35] 王瑛瑶, 栾霞, 陈翔, 等. 一种茶油酶催化改性制备功能性油脂的方法[P]. 北京市: CN101736047B, 2013-01-23.  
WANG Y Y, LUAN X, CHEN X, et al. A method for catalytic modification of tea oil enzyme to prepare functional oils[P]. Beijing: CN101736047B, 2013-01-23.
- [36] 栾霞, 王苑力, 魏征, 等. MLM型结构脂质的储藏品质变化规律探究[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(2): 104-109+117.  
LUAN X, WANG Y, WEI Z, et al. Law of MLM structural lipids' quality change during storage[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(2): 104-109+117.
- [37] 薛雅琳, 段章群. 食用植物油对人体的作用和影响[J]. *中国粮食经济*, 2022, (9): 70-72.  
XUE Y, DUAN Z. The effects of edible vegetable oils on the human body[J]. *China Grain Economy*, 2022, (9): 70-72.
- [38] 胡飞, 段章群, 王淮, 等. 生物酶法制备磷脂酰丝氨酸的研究进展[J]. *中国油脂*, 2012, 37(6): 54-58.  
HU F, DUAN Z, WANG H, et al. Advance in enzymatic method for phosphatidylserine preparation[J]. *China Oils and Fats*, 2012, 37(6): 54-58.
- [39] BI, Y H, DUAN Z Q, LI X Q, et al. Introducing biobased ionic liquids as the nonaqueous media for enzymatic synthesis of phosphatidylserine[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(5): 1558-1561.
- [40] YANG, S L, DUAN Z Q. Insight into enzymatic synthesis of phosphatidylserine in deep eutectic solvents[J]. *Catalysis Communications*, 2016, 82: 16-19.
- [41] 周文红, 郭咪咪, 毕艳红, 等. 大豆豆粕中异黄酮的提取工艺优化[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(2): 218-223.

- ZHOU W, GUO M, BI Y, et al. Optimization of extraction technology of isoflavones from soybean umbilicus[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(2): 218-223.
- [42] 段章群, 郭咪咪, 李秀娟, 等. 一种基于深度共熔溶剂从大豆豆脐中提取大豆异黄酮的方法[P]. 北京市: CN113527246B, 2023-04-28.
- DUAN Z Q, GUO M M, LI X J, et al. A method for extracting soybean Isoflavone from soybean umbilicus based on deep eutectic solvent[P]. Beijing: CN113527246B, 2023-04-28.
- [43] 段章群, 郭咪咪, 李秀娟, 等. 一种酶法水解制备苷元型大豆异黄酮的方法[P]. 北京市: CN113684232B, 2023-08-04.
- DUAN Z Q, GUO M M, LI X J, et al. A method for preparing soybean isoflavone aglycones by enzymatic hydrolysis[P]. Beijing: CN113684232B, 2023-08-04.
- [44] 李晓宁, 郭咪咪, 段章群. 酸法制取大豆皮可溶性膳食纤维[J]. *中国油脂*, 2020, 45(11): 32-35+51.
- LI X, GUO M, DUAN Z. Preparation of soluble dietary fiber from soybean hull by acid hydrolysis method[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(11):32-35+51.
- [45] SHAHIDI, F, AMBIGAIPALAN P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 18: 820-897.
- [46] ANRAKU M, GEBICKI J M, IOHAR D, et al. Antioxidant activities of chitosans and its derivatives in in vitro and in vivo studies[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 199: 141-149.
- [47] GULCIN I, TASLIMI P, AYGUN A, et al. Antidiabetic and antiparasitic potentials: Inhibition effects of some natural antioxidant compounds on  $\alpha$ -glycosidase,  $\alpha$ -amylase and human glutathione S-transferase enzymes[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 119: 741-746.
- [48] 李鹏娟. 迷迭香源抗氧化物对薯条煎炸油品质的影响研究[D]. 2020, 暨南大学.
- LI P J. Study on the effect of antioxidants derived from rosemary on the quality of fried oil in french fries[D] 2020, Jinan University.
- [49] 杨丽萍, 郭咪咪, 段章群. 天然抗氧化剂迷迭香提取物在食用植物油中的应用研究进展[J]. *粮油食品科技*, 2022, 30(2): 95-100.
- YANG L, GUO M, DUAN Z. Research progress on application of natural antioxidant rosemary extract in edible vegetable oil[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2022, 30(2): 95-100.
- [50] 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.
- [51] 魏征, 郭咪咪, 王雅朦, 等. 油茶籽油多酚化合物研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(3): 311-320.
- WEI Z, GUO M, WANG Y, et al. Recent advances in research on polyphenol compounds in camellia oleifera seed oil[J]. *Food Science*, 2021, 42(3): 311-320. 