

我国植物油料油脂加工技术新进展

金青哲^{1,2}, 金俊^{1,2}, 赵晨伟¹, 黄笑宇¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122; 2. 中原食品实验室, 河南漯河 462300)

摘要:植物油料油脂加工的主要内容包括油脂及蛋白的初加工和深加工技术、综合利用技术、工程装备技术及品质控制技术, 概述了我国植物油料油脂加工技术新进展。我国已初步建立起基于营养和安全为评价标准的食用植物油精准适度加工体系; 突破了零反式脂肪酸专用油脂生产技术, 能满足各种食品加工场景需求; 功能油脂制备技术成果渐次落地, 推动产业进入蓬勃发展期, 多款结构脂产品进入量产, 跨国公司垄断局面得以改变; 新油源开发方兴未艾; 植物蛋白结构功效关系基础研究促进了植物基产品开发; 油料油脂综合利用规模扩大; 食用油安全防控技术、绿色储油技术研究不断深入; 大型浸出器和浓缩蛋白制取装备的设计和制造水平达到国际先进水平; 智能化工厂建设支撑我国油料油脂加工各项经济技术指标处于世界领先地位。

关键词:精准适度加工; 植物油料; 食用植物油; 功能油脂; 植物蛋白; 智能化工厂

中图分类号: TS22; TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)06-0001-05

Overview of new advances in vegetable oilseeds and oils processing technology in China

JIN Qingzhe^{1,2}, JIN Jun^{1,2}, ZHAO Chenwei¹, HUANG Xiaoyu¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;

2. Food Laboratory of Zhongyuan, Luohe 462300, Henan, China)

Abstract: The vegetable oilseeds and oils processing includes primary processing and deep processing technology of oils and protein, comprehensive utilization technology, engineering equipment technology and quality control technology, etc. An overview of the new advances in vegetable oilseeds and oils processing technology in China was summarized. Firstly, an accurate and moderate processing system for edible vegetable oils based on nutritional safety indicators has been basically established, and the production technology of edible oils with zero-*trans* fatty acid has also broken through, which can meet the needs of various food processing. Additionally, the technological achievements in the preparation of functional oils have gradually implemented, promoting the industry to enter a period of vigorous development. Mass production of multiple structural lipids products have also begun, which has busted the monopoly of multinational corporations. Moreover, the development of new oil sources is flourishing. Basic research on the structure efficacy relationship of plant proteins has promoted the development of plant-based products, the scale of comprehensive utilization of oilseeds and oils has expanded, and the researches on edible oils prevention and control technology, as soon as green oil storage technology has continuously gone on. Finally, the design and manufacturing level of large-scale equipment for extracting extractors and protein concentrate has reached international advanced level, and various economic and technical indicators of oilseeds and oils and fats processing has reached the leading level in the world, supported by the construction of intelligent factory.

收稿日期: 2024-02-08; 修回日期: 2024-03-19

作者简介: 金青哲(1962), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为油脂加工及应用(E-mail)jqzwuxi@163.com。

Key words: accurate and moderate processing; vegetable oilseeds; edible vegetable oils; functional oils; plant protein; intelligent factory

植物油料油脂加工的主要内容包括油脂及蛋白的初加工和深加工技术、综合利用技术、工程装备技术及品质控制技术等。近5年来,国家不断加大对油料油脂加工关键技术与重大装备研发、健康油脂产品创新、质量与安全控制技术及其产业化的科研投入,通过创新驱动,产业升级步伐加快,规模化、现代化加工技术得到迅猛发展,已经接近或达到国际先进水平。我国植物油料油脂加工技术主要进展如下。

1 精准适度加工技术与装备

精准适度加工模式改善了过度加工带来的油脂营养伴随物流失、危害物增加、能耗过高、资源浪费等一系列问题,已经成为我国粮油加工学科研究热点之一。在前期工作基础上,近年来广泛开展了多种油脂微量伴随物的健康作用及其与慢性病发生发展的相关性研究,深入解析了原料—典型工艺—组成结构—品质功能的关系,进一步丰富和完善了食用油精准适度加工理论的科学内涵、技术要素、实施路径和标准体系,为其推广应用奠定了坚实基础,也引领了国际植物油加工理论和技术研究的新趋势。

精准适度加工是更精细、更准确的新加工模式,不但取决于油料油脂品种,也取决于企业工况。以“提质、减损、增值、低碳”为新发展理念,近年来我国针对多种油料油脂,开展了精准适度加工新方法建立、新技术突破、新装备保障、新产品创制和新标准引领的科技创新链条及技术规范建设,完成了新模式从理论到行业示范再到推广应用的转化,初步建立了以营养和安全为评价标准的食用植物油精准适度加工体系,取得了重大技术进展^[1]。

1.1 油料预处理与预榨技术

油料精选是精准适度加工的恰当起点^[2],重点突破了大豆等油料的气调保质和原料精选技术,为精准适度加工提供了根本保证。中小规模预处理和榨油成套设备已达到国际先进水平。大型的轧坯机、卧式调质干燥机和中/大型螺旋榨油机等主要装备的制造能力可以满足国内所需并出口国外。基于电磁致热原理开发的自动化和智能控温的大型炒籽设备在浓香型油脂生产中获得应用。预处理车间控制一体化系统的操作更便捷、指标更可控,吨电耗处于国际领先水平。

1.2 油脂制取技术

我国油料众多,特性不一,需要差别化、精准化开发油脂制取技术。在大宗油料方面,国产制油装备实现超大型化,自行设计制造的5 000~6 000 t/d大豆制油成套生产线打破了国外长期垄断局面,其

生产稳定性、技术经济指标达到国际先进水平,性价比在国际上有较大优势^[3]。在特种油料方面,水酶法、水浸法新型技术已用于油茶籽制油,亚临界萃取技术和国产装备已成功应用于牡丹籽油、小麦胚芽油等油脂制取。

1.3 油脂精炼技术

我国精炼工艺与设备已比较成熟和完善,但创新仍层出不穷。酶法脱胶替代传统脱胶技术应用已从大豆油拓展至米糠油、玉米胚芽油等,国内已经发展到近10家工厂;复合吸附剂脱色、干法脱酸、纳米中和脱酸、低温短时脱臭、填料塔板塔双温脱臭、馏出物两级捕集等新技术得到推广,实现了营养伴随物的精准调控,有效控制了反式脂肪酸、缩水甘油酯、3-氯丙醇酯的形成,并达到了节能减排、提高油脂得率的目的^[4]。

1.4 标准和技术规范

近年我国依据精准适度加工理念,制修订并发布了一系列国家标准和行业标准,如《大豆油》(GB/T 1535—2017)、《食用调和油》(GB/T 40851—2021)、《菜籽油》(GB/T 1536—2021)、《食品安全国家标准 植物油》(GB 2716—2018)、《中国好粮油 食用植物油》(LS/T 3249—2017)等,通过发挥技术规范与标准的引领作用,将精准适度加工理念落到实处,逐渐纠正了过度加工现象,推动油脂加工业高质量发展。

据此构建起新模式技术体系,并在全国逐渐推广,大宗油料的精准适度加工已经初具规模,特别是大豆油、菜籽油和花生油这三大油品的相关研究和产业化应用全面展开^[5],成功开发出零反式脂肪酸食用油系列产品,其缩水甘油酯、3-氯丙醇酯含量低于欧盟限量,维生素E、植物甾醇保留率在80%以上。由于对工艺全程严格管控,新模式加工过程可降低69%的蒸汽消耗、78%的废水排放以及30%的碳排放,节能减排效果显著^[2]。

2 食品专用油脂加工技术

开发零反式脂肪酸食品专用油脂,需要突破非氢化专用油脂加工理论和技术。为此,系统研究油脂结晶网络形成及演变的分子机制,发现非氢化油脂中不同熔点甘油三酯分子迁移聚集、分级结晶引发的晶体不相容是影响其结晶网络构建和导致产品质量缺陷的关键因素,完善、丰富了油脂相容性理论,为低饱和脂肪酸、零反式脂肪酸专用油脂的高效制造和品质控制奠定了基础。

针对油品硬化、析油、起砂、起霜等问题,重点开发和推广大型连续化干法分提、酶促定向酯交换耦

合技术,改进激冷和捏合技术,提高非氢化油脂的结晶相容性和 β' 晶型的形成,实现对部分氢化油的全替代。创新开发“静态”混合预乳化-低速剪切二次柔性乳化技术,克服了传统高速剪切乳化技术导致的非氢化油脂结晶网络不稳定和高能耗问题。突破油脂均一性瞬时结晶调控关键技术,设计和制造具有自主知识产权的2~30 t/h系列激冷和捏合核心装备,实现专用油脂生产成套装备的国产化,有力推动了产品升级换代。超临界CO₂冷冻结晶技术在专用油脂加工中获得应用。目前由非氢化工艺加工的零反式脂肪酸专用油脂已经占据市场主要份额,能满足各种食品加工场景需求。

蛋糕与奶油顶等烘焙食品、奶盖与奶茶等现(调)制茶饮、冰淇淋等是当今食品创新的重点领域,据估计,目前产值达到5 000多亿元,其重要原辅料搅打稀奶油、植脂奶油、冰淇淋浆料、粉末油脂等则成为食品专用油脂创新热点,产量已超过300万t,年产值超1 000亿元,年增速近20%,市场前景广阔。近年来深入研究和突破了该类专用油脂的配方设计和制造技术,如蒸汽浸入式UHT灭菌技术、静电自组装乳化技术、低温喷雾-塔内原位-塔外流化三重包埋技术,开发出常温稀奶油、冷水可溶耐酸型粉末油脂等新产品。

通过优选富含营养伴随物的油脂,复配开发出薯条、鸡块、方便面等系列低饱和专用型煎炸油,部分替代棕榈油,丰富了煎炸油品种,提升了煎炸食品的营养安全性。

以单甘酯、天然蜡、植物甾醇、脂肪酸、脂肪醇等单一或混合高熔点可食性材料为凝胶因子,广泛开展了凝胶油构建研究^[6],解析了其在液体油中分散并互联成网的结构和机制,为“零反式脂肪酸”“低饱和脂肪酸”塑性脂肪提供了一条可能途径。

3 功能油脂制备技术与产品

脂质营养不但涉及能量和脂肪酸的平衡,还与脂质结构密切相关,我国较早开展了功能油脂的合成、分离纯化、功效评价等工作,近年重点针对特殊人群、慢性病人群,开展中链甘油三酯(MCT)、中长链甘油三酯(MLCT)、1,3 不饱和-2-棕榈酸甘油三酯(UPU)、甘油二酯(DG)、sn-2 DHA等结构脂的营养需求、代谢行为、健康功能、构效关系、合成方法、品质稳定性等研究,构建了脂肪酶催化酯化、酯交换、部分水解、甘油解等多相反应技术,探明了反应过程的酰基迁移机制、sn-1,3位特异脂肪酶催化机制,为结构脂高效合成和功能调控提供技术依

据^[7]。研究发现了DG的界面结晶特性,揭示了DG皮克林乳液稳定机制,丰富和完善了油脂结晶和乳液稳定理论,为构建乳液递送体系提供了新途径^[8-9]。深入系统研究国内外母乳脂肪组分,构建了全球最大的乳脂数据库,开发出多指标相似性评分模型和多级分类评价体系,创新提出了用相似系数来量化婴幼儿配方奶粉脂肪与母乳脂肪的相似度,实现了相似性的定量评价^[10]。突破了母乳结构脂肪MLCT和UPU的酶法合成关键技术,2021年在全球首次将其应用于婴幼儿配方奶粉的设计与生产中,解决了婴幼儿配方奶粉用油“卡脖子”问题^[11]。

挖掘、创制了多种油脂加工用新酶,重点研究酶法合成结构脂的分子设计技术和装备,发明鼓泡式酶反应器,采用固定床反应器无溶剂反应体系,实现MLCT、UPU和DG等结构脂无溶剂多相体系高效绿色催化,突破了固定化酶重复使用率低的瓶颈。

一批功能油脂技术成果渐次落地,推动产业进入蓬勃发展期,广州永华特医营养科技有限公司、广东善百年特医食品有限公司、黑龙江九三油脂有限责任公司、山东三星集团油脂有限公司的DG食用油,益海嘉里、邦吉(Bunge)、青岛海智源生命科技有限公司的MLCT食用油,大连医诺生物股份有限公司的MCT、青岛海智源生命科技有限公司的UPU及浙江贝家生物科技有限公司的新型1,3油酸-2-棕榈酸甘油三酯(OPO)等产品均进入量产,市场占有率稳步提高,跨国公司占据国内结构脂市场垄断地位的局面正在改变。

4 新油源开发

新油源开发力度进一步加大,以油茶籽、核桃、油橄榄为代表的木本油料,以玉米胚芽、米糠为代表的粮油加工副产物,以及DHA/ARA微藻的制油规模、工艺和专用装备的水平不断提高,其油品在食用油中的比例明显增加。根据国内藻油发酵罐规模和生产情况推算,目前藻油产能近1万t,产量约4 000 t,可以满足我国婴幼儿配方奶粉应用所需。高油酸油料、油莎豆、沙棘果/籽、香榧籽、樟树籽等新油源开发利用已经兴起。

5 植物蛋白加工理论与产品

随着植物肉等植物基食品的兴起,植物蛋白研究由蛋白制取技术转向构效关系、多组分互作、调控机制和多尺度结构理论等应用基础问题,发现了大豆蛋白结构存在柔性区间且其部分影响蛋白结构折叠/解折叠、亚基聚合/解离等,进而决定蛋白加工特性及界面功能高效表达,提出了蛋白纤维结构形成

的“分层叠变”机制和蛋白柔性化加工理论^[12]；植物基肉制品纤维形成机制解析了蛋白质、淀粉和脂肪等组分的物理化学变化和互作规律，据此提出了低/高水分挤压、3D 打印等加工理论和方法^[13]；“互穿环状网络结构”理论解释了高温花生粕蛋白胶黏剂胶合机制。以上研究为植物蛋白产品开发和品质调控提供了理论支撑。

据不完全统计，目前我国大豆蛋白主要生产企业近 20 家，产能约 60 万 t，年消耗非转基因大豆约 250 万 t，有分离蛋白、浓缩蛋白、组织蛋白、拉丝蛋白、膳食纤维等系列产品，已占据国际市场近一半份额。近年低温花生蛋白粉、风味花生粉等产品日渐增多。

大豆粕、花生粕等是目前植物蛋白肉的低成本原料，前景看好，高水分挤压-酶法改性联用制备植物基肉制品关键技术与装备取得突破，开发了植物基花生蛋白肠、植物基蟹味棒、植物基牛肉等产品。

大豆肽、花生肽规模化生产技术和装备取得突破，膜分离技术的应用提高了产品品质和效率，已得到推广应用。

发酵豆粕可部分代替鱼粉用于饲料，需求不断扩大，其技术与产品是过去 10 年生物饲料中发展最快的版块。我国发酵豆粕主流产品为乳酸菌厌氧发酵型产品，品质和成本仍有很大优化空间。

6 油料油脂综合利用与增值开发

我国油料油脂资源综合利用链进一步延长，规模扩大，产品趋向系列化。

在米糠综合利用方面，通过重点支持年加工 5 万 t 以上的稻谷加工企业配套采用米糠膨化保鲜技术装备，推广“分散保鲜、集中榨油”和“分散榨油、集中精炼”等模式，米糠制油开始走上规模化之路。探索出了一条以米糠制油为核心，对大米生产过程中各种副产品采取“吃干榨净”式的深加工、综合利用和循环增值新路径^[14]，已在黑龙江佳木斯等地建成大型化示范线并运行。

油脂工业利用主要在饲料、化工、能源、日化等领域，发展势头旺盛。中链油脂、月桂酸型油脂等在饲养业替抗方案中扮演了重要角色；利用废弃油脂生产生物能源年产量接近 300 万 t；植物油基润滑剂、脂肪酸碳基相变材料研究方兴未艾。植物绝缘油取得突破，2021 年国内首台 220 kVA/240 MVA 植物油变压器正式带负荷投入运行，打破国外技术壁垒和价格垄断^[15]。

我国已形成大豆浓缩磷脂、粉末磷脂和高纯卵磷脂生产体系；脱臭馏出物得到高值化利用，从中提

取天然维生素 E、甾醇已形成很大规模，同时角鲨烯也被一起提取，进一步提高了资源利用率，降低了成本；大豆异黄酮、大豆皂苷、大豆低聚糖联产实现了工业化。

7 食用油安全检测与控制技术

广泛开展了油料油脂加工过程的安全性研究，明确了油料油脂中内源性毒素、抗营养因子、加工污染物的成因与变化规律，并研发出防控技术。基于光学、电化学和压电技术，以及分子印迹仿生传感器等技术，研制出黄曲霉毒素、苯并芘和地沟油标志物辣椒素，单检及多合一快检卡、快检试剂盒和手持式智能检测仪，实现了食用油主要危害物一步式快速检测，具有高灵敏度、高特异性的优点，在监管领域意义重大。

随着反式脂肪酸检测与控制技术的成熟，近年我国油脂企业不断加大零反式脂肪酸食用油生产技术的推广。国内某大型小包装食用油生产企业与高校合作，对下属 20 余家大型油厂进行了广泛的技术与设备升级，采用软塔、组合塔代替板式塔，在保证脱臭效果、保留营养素的同时大幅度降低反式脂肪酸生成，2020 年开始向全国市场推出系列零反式脂肪酸食用植物油产品^[16]。

国内某大型葵花籽油生产企业与高校合作，研究开发 3-氯丙醇酯、缩水甘油酯、多环芳烃、塑化剂的防范，控制和脱除技术，升级剥壳压榨工艺，实现了葵花籽油生产的精准适度加工和提质增效，引领葵花籽油加工业整体技术水平提升^[17]。

8 大型化装备设计与制造

研制新型机械装置，提升装备的智能化水平是油脂加工业发展的基础。我国油脂加工关键装备长期被欧美垄断，近年来我国自主设计制造了一批匹配精准适度加工的大型装备，并成套化、自动化进而向智能化发展。

创新应用“系统集成模块化”设计理念，分段制造浸出器，解决了大型浸出器体积巨大带来的制造与运输难题；将传统厚料层床改为可调的低料层浅床形式，料层厚度由 4 m 降至 1 m 以下，并增设料耙、刮板促进物料充分混合，使浸出时间缩短至 45 min 以内，湿粕含油降低 20% 以上；同时，以分布式四马达双轴液压驱动代替传统的电机驱动，使链条拉力均匀分布，避免了电机驱动同步性差的问题，使链条载荷和装机功率分别降低 30% 和 27%。新型浸出器克服了环形、履带式浸出器的缺点，其单机处理量可达 6 000 t/d，已经在国内 5 家工厂和巴西、巴基斯坦、孟加拉等国家投入运行，设备运行稳定。

在突破固液萃取、固液分离和脱溶烘干等工艺装备的基础上,研发出大型智能化醇法浓缩蛋白制取工艺技术装备,单线产能从10年前的1万t/年发展到现在的8万t/年,为目前全球最大规模,其产品质量和技术指标都达到或优于国际先进水平,特别是蒸汽消耗方面较进口设备有着明显优势^[3,18]。

9 绿色储油技术

储油是油脂加工的重要一环,传统钢制储油罐地上储油过程中油品劣变快,为此,研发出地下和半地下自然低温储油、隔热库房内油罐储油和隔热保冷油罐储油等新方法,在零抗氧化剂添加、非充氮、非机械制冷条件下实现了储油“长储长新”及质量、营养和风味三保鲜,将精准适度加工模式成功延伸至储油环节^[19]。

10 智能化工厂建设

智能化是油脂加工技术和装备的发展方向。在工厂自动化、数字化基础上开发的智能化工厂系统包含企业资源计划(ERP)、制造执行过程(MES)、智能物流、产品溯源、安防监控、全厂智能网络、全厂核心数据信息等系统,该系统运用互联网、大数据、人工智能等技术,结合全厂数据,从原料采购、工艺、生产、化验、营销等,进行一体化、数据化管理,实现智能制造。2020年道道全重庆工厂被重庆市经信委认定为“市级智能工厂”;2021年海南澳斯卡国际粮油有限公司3000t/d大豆、油菜籽智慧工厂投产,被工信部、发改委等授予2021年度智能制造示范工厂;2022年道道全靖江工厂作为靖江市首家省级“智能工厂”入选江苏省级智能制造示范工厂名单;2022年底,目前国内单线最大的山东渤海青岛董家口6000t/d大豆智能工厂投产。这些智能工厂的建成,使能源利用率、生产效率、运营成本和良品率都大幅优化,支撑我国油料油脂加工各项经济技术指标处于世界领先地位。

综上所述,经过几十年的改革开放和近年来的高速发展,目前我国油料油脂制炼技术和装备已达到国际先进水平。未来要进一步优化加工业布局,向精深加工和综合利用要效益,向高附加值产品要利润,进一步提升加工业质量效益,带动全产业链升级。

参考文献:

- [1] 姚专,周政. 对油脂适度加工产业相关技术问题的研究及探讨[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(5): 1-3.
- [2] 王兴国,金青哲. 食用油精准适度加工理论与实践

[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2016.

- [3] 王瑞元. 我国油脂机械制造业的创新发展[J]. 中国油脂, 2021, 46(1): 1-4.
- [4] 侯李君. 食用油脂精炼新技术研究进展[J]. 食品界, 2018(4): 65.
- [5] 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.
- [6] 周航. 米糠蜡凝胶油的结晶特性及应用研究[D]. 天津:天津科技大学, 2020.
- [7] 王秀秀,贾敏,宗爱珍,等. 中国结构脂产业现状与发展对策建议[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(1): 12-20.
- [8] 杨佳,张震,仇超颖,等. 酶催化分子蒸馏单甘酯的重相产物制备中、长链甘油二酯及其性质研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 100-106.
- [9] 李紫薇,仇超颖,汪勇. 甘油二酯-大豆油基泡沫的制备及其在蛋黄酱中的应用研究[J]. 中国油脂, 2024, 49(3): 72-77.
- [10] 王兴国. 人乳脂及人乳替代脂[M]. 北京:科学出版社, 2018.
- [11] 中国母乳研究新突破! MLCT 结构脂+新型 OPO 实现母乳结构脂精准模拟 [EB/OL]. (2023-03-23) [2024-03-19]. https://tech.china.com/article/20230323/032023_1244900.html.
- [12] 江连洲,田甜,朱建宇,等. 植物蛋白加工科技研究进展与展望[J]. 中国食品学报, 2022, 22(6): 6-20.
- [13] 赵婧,宋弋,刘攀航,等. 植物基替代蛋白的利用进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(18): 1-8.
- [14] 胡增民. 益海嘉里金龙鱼:延伸油脂科技生产链 着力实现产品多元化[N]. 粮油市场报, 2022-07-30 (B01).
- [15] 左青,左晖. 关于提升我国油脂工程技术浅见[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(6): 4-10.
- [16] 全球“消除反式脂肪酸”倒计时! 金龙鱼零反科技产品获世卫组织肯定 [EB/OL]. (2020-10-29) [2024-03-19]. <http://shipin.people.com.cn/n1/2020/1029/c85914-31910809.html>.
- [17] 从健康主流到生产精细化工革新:2021 葵花籽油加工与营养研讨会 [EB/OL]. (2021-05-28) [2024-03-19]. <http://shipin.people.com.cn/n1/2020/1029/c85914-31910809.html>.
- [18] 王瑞元. 创新抢占大豆蛋白开发利用的至高点[J]. 中国油脂, 2021, 46(3): 1-2.
- [19] 刘玉兰,邓金良,马宇翔,等. 地下储油对提升浓香花生油风味稳定性及综合品质的作用[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(2): 104-111.