

稻米油的营养成分、制取工艺及应用研究进展

陶黎丽^{1,2}, 邓乾春², 盛 锋¹, 汤行春¹

(1. 湖北大学 生命科学学院, 武汉 430062; 2. 中国农业科学院 油料作物研究所, 武汉 430062)

摘要: 稻米油不仅富含不饱和脂肪酸, 还富含谷维素、植物甾醇等多种脂质伴随物, 对人体健康十分有益。随着大健康产业的快速发展, 稻米油的提质制取及高值化利用已成为大型油脂加工企业及科研者研究的热点。综述了稻米油中不饱和脂肪酸、谷维素、植物甾醇、角鲨烯、维生素 E 等营养成分的含量及功能, 并对米糠稳定化处理、稻米油制取工艺及稻米油在煎炸食品、乳液递送、生物能源等方面的应用进行了梳理, 旨在为稻米油的加工利用提供一定的理论基础及技术指导。

关键词: 稻米油; 营养成分; 制取工艺; 应用

中图分类号: TS221; TS225.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)12-0062-07

Progress in nutrients, preparation technology and application of rice bran oil

TAO Lili^{1,2}, DENG Qianchun², SHENG Feng¹, TANG Xingchun¹

(1. College of Life Sciences, Hubei University, Wuhan 430062, China; 2. Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China)

Abstract: Rice bran oil is not only rich in unsaturated fatty acids, but also rich in oryzanol, phytosterols and other lipid concomitants, which is very beneficial to human health. With the rapid development of large health industry, the quality improvement extraction and high-value utilization of rice bran oil has become a research focus for large oil processing companies and researchers. The contents and functions of nutrients in rice bran oil such as unsaturated fatty acids, oryzanol, phytosterols, squalene and vitamin E were reviewed. The stabilization treatment of rice bran, preparation process of rice bran oil and application of rice bran oil in fried food, emulsion delivery and bioenergy were introduced so as to provide a certain theoretical basis and technical guidance for the processing and utilization of rice bran oil.

Key words: rice bran oil; nutrient; preparation process; application

水稻是原产于东南亚的禾本科植物, 是世界第二大粮食经济作物。据统计, 2017—2018 年我国稻米产量高达 14 887 万 t, 占全球总产量的 30%, 居世界第一^[1]。在稻米制取过程中, 米糠是主要副产物, 约占稻谷总量的 6%, 在我国米糠的年产量约为 1 242 万 t, 主要应用于饲料产业^[2]。米糠油脂含量为 12% ~ 23%, 稻米油中不饱和脂肪酸含量高达 80%, 是一种极具潜力的植物油^[3]。然而, 米糠具

有易酸败、氧化稳定性差, 集中收集难度大等缺点, 目前我国对于米糠的深度开发利用不足, 只有少部分用于制取油脂及谷维素等高附加值产品^[4]。近年来, 国内外学者对米糠稳定化处理和稻米油提取工艺开展了较多研究, 旨在最大限度地保留稻米油中的活性组分, 提高稻米油的营养价值。此外, 为了拓宽稻米油在食品、药品和化妆品等领域的应用范围, 以稻米油为油相构建的乳液、凝胶等递送体系的研究逐步受到关注。基于此, 本文综述了稻米油中营养成分多不饱和脂肪酸、谷维素、植物甾醇、角鲨烯、维生素 E 及其功能, 并对稻米油提取工艺及其在食品加工、乳液递送、生物能源等方面的研究进展进行了梳理, 以期对稻米油资源化和深度加工提供理论参考。

1 稻米油主要营养成分

稻米油富含不饱和脂肪酸^[5], 且含有丰富的、

收稿日期: 2020-01-21; 修回日期: 2021-08-01

基金项目: 湖北省重点研发计划(2020BCA086)

作者简介: 陶黎丽(1995), 女, 硕士研究生, 研究方向为油脂加工及利用(E-mail) 1602783404@qq.com。

通信作者: 汤行春, 教授(E-mail) tangxingchun@hubu.edu.cn; 邓乾春, 研究员, 博士(E-mail) dengqianchun@caas.cn。

具有改善胃肠功能、抗氧化和抑菌作用的特异性脂质伴随物谷维素^[6]。与其他精炼植物油相比(玉米油、菜籽油、大豆油),稻米油中还含有较高含量的植物甾醇和生育三烯酚,其中植物甾醇含量是玉米油的1.27倍,生育三烯酚含量是玉米油的5.88倍^[2]。稻米油是美国心脏学会(AHA)和世界卫生组织(WHO)推荐的健康食用油,在日本、美国、印度、韩国、中国等国家被广泛食用^[4,7]。

1.1 不饱和脂肪酸

食用油脂的营养价值很大程度取决于其适宜的脂肪酸组成^[8]。稻米油中不饱和脂肪酸含量较高,其中油酸和亚油酸含量分别占42%和38%,接近世界卫生组织推荐的油酸和亚油酸摄入比例(1:1)^[9]。油酸和亚油酸等不饱和脂肪酸可协同降低血清甘油三酯(TG)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平,提高高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)水平,具有调节血脂平衡,预防高脂血症、动脉粥样硬化等慢性疾病的健康功效^[10-11]。

1.2 谷维素

谷维素是一类以三萜烯醇类阿魏酸酯和甾醇类阿魏酸酯为主的混合物,主要存在于稻米胚芽和米糠中^[12-13]。据报道,稻米油中谷维素含量高达0.9%~3%^[6,14]。目前,稻米油中已鉴定出十余种谷维素组分,主要为24-亚甲基环木菠萝醇阿魏酸酯(35%~40%)、环木菠萝烯醇阿魏酸酯(25%~30%)、菜油甾醇阿魏酸酯(10%~12%)、环木菠萝醇阿魏酸酯(8%~10%)、 β -谷甾醇阿魏酸酯(6%~8%)等^[15-16]。

谷维素具有较强的抑制脂质氧化的潜力,是稻米油内源性抗氧化体系的主要组分。沈鸿等^[6]将稻米油皂脚中提取纯化的谷维素添加到大豆油、菜籽油和油茶籽油中,通过加速氧化实验发现,当谷维素添加量为0.1%时,可将油茶籽油、菜籽油及大豆油的氧化诱导时间分别延长48.5%、19.6%及7.6%,这表明谷维素可作为一种良好的植物油天然抗氧化剂。随着对谷维素研究的不断深入,发现谷维素在降胆固醇、降血脂等方面也具有较好的效果。Ghatak等^[17]对急性高脂血症大鼠喂食不同剂量的谷维素(50 mg/kg和100 mg/kg),发现谷维素能够剂量依赖性地降低大鼠血清甘油三酯(TG)、胆固醇(TC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)及极低密度脂蛋白胆固醇(VLDL-C),表现出较强的改善心血管疾病的潜力。张深义^[18]研究发现,62名脑梗死合并焦虑、抑郁患者在进行常规治疗的基础上口服谷维素片(20 mg, tid)8周后,能够使其总有效率提

升至96.77%,明显高于对照组(常规脑梗死治疗总有效率80.66%)。这一研究将谷维素的生物活性从改善心血管疾病延伸到治疗焦虑、抑郁等神经性疾病,进一步拓宽了谷维素在健康食品和药品领域的应用范围。

1.3 植物甾醇

植物甾醇,又称植物固醇,是一种具有多种生物活性的三萜烯^[5]。在植物中,植物甾醇不仅能以酯化形式存在,还能以游离形式存在^[19]。稻米油是植物甾醇的主要来源之一,占比高达1.5%~3.5%^[20]。刘阳等^[21]比较了精炼一级稻米油、菜籽油及大豆油中植物甾醇含量,发现稻米油中植物甾醇含量最高(10705.8 mg/kg),为菜籽油的1.71倍,玉米油的1.24倍。稻米油中植物甾醇主要以 β -谷甾醇为主,其次是菜油甾醇和豆甾醇。

黄滢璋等^[22]研究发现,添加0.02%植物甾醇的花生油经250℃加热3h后,其酸值和过氧化值均显著低于空白组,同时还发现,在油脂体系中植物甾醇能够表现出优于V_C和BHT的抗氧化效果,表现出优越的抑制热诱导脂质过氧化的潜力。植物甾醇与胆固醇结构相似,疏水性较强,能竞争性地抑制肠道对胆固醇的吸收,促进胆固醇的异化作用,从而抑制肝脏内胆固醇的内源性合成,有效降低体内胆固醇水平^[23]。同时,植物甾醇在抗癌方面作用突出。Liaverias等^[24]探讨了膳食植物甾醇对肿瘤发生和发展的影响,结果发现,在高脂高胆固醇饮食的雌性小鼠中,添加2%的植物甾醇可使肿瘤总负荷显著降低(28%, $P=0.0050$),并表现出了较好的抑制肿瘤增长的潜力。

1.4 角鲨烯

角鲨烯是一种高度不饱和脂肪族烃类化合物,属于脂质不皂化物^[25]。稻米油中角鲨烯含量为130.2 mg/kg,显著高于菜籽油(13.2 mg/kg)及大豆油(16.2 mg/kg)^[2]。

间接研究表明,角鲨烯可能是构成稻米油内源性抗氧化体系的重要组分。叶虔臻等^[26]探讨了不同浓度的角鲨烯对猪油的抗氧化作用,发现当添加0.02%的角鲨烯时,氧化诱导时间会显著延长,该添加量下角鲨烯能有效提高油脂的氧化稳定性($P<0.05$)。角鲨烯还具有改善心血管、抗氧化、抗疲劳等多种生物活性。Farvin等^[27]探讨了角鲨烯对雄性白化大鼠异丙肾上腺素诱导的心肌梗死的影响,发现通过腹腔注射异丙肾上腺素后,与标准饮食相比,膳食添加2%的角鲨烯能够使大鼠总胆固醇、甘油三酯水平分别降低25.4%和28.2%。进一步研

究发现,角鲨烯还可通过维持非酶自由基清除剂水平,阻止大鼠血浆及心脏组织中异丙肾上腺素引起的脂质过氧化^[28]。此外,吕楠等^[29]研究发现,在给予小鼠灌胃剂量为 3.6 mL/kg 的角鲨烯干预 7 d 后,小鼠应激游泳时间延长 49.51%,转棒运动时间延长 210.25%,产生该结果的原因可能为摄入角鲨烯使游泳后小鼠血乳酸及血清尿素氮水平显著降低,而肝糖原水平显著增加,从而改善了小鼠机体内环境状态,达到了抗疲劳的效果。

1.5 维生素 E

维生素 E 是一类脂溶性功能性化合物的总称,可分为生育酚和生育三烯酚^[30],主要由 α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚和 α -、 β -、 γ -、 δ -生育三烯酚 8 种异构体组成。稻米油维生素 E 主要以 α -生育酚和 γ -生育三烯酚为主,含量分别达 255.7 mg/kg 和 108.5 mg/kg,占总维生素 E 含量的 47.01% 和 19.94%^[30]。温运启等^[31]研究发现,稻米油中可检测出 8 种维生素 E 组分(α -、 β -、 γ -、 δ -生育酚和 α -、 β -、 γ -、 δ -生育三烯酚),而大豆油、菜籽油、花生油、葵花籽油等植物油中则仅检测出 α -、 γ -、 δ -生育酚组分。

研究表明,生育酚具有较强的抗氧化活性。张建飞等^[32]将不同剂量的 α -生育酚添加到玉米油、大豆油和油茶籽油中进行了加速储藏实验,结果表明,不同添加量的 α -生育酚在玉米油、大豆油和油茶籽油中均能显示抗氧化效果,在油茶籽油中的表现最为明显。王涛^[33]研究表明, α -生育酚(200 mg/kg)可通过抑制 Bax 蛋白表达和促进 Bcl-2 蛋白表达减少大鼠颅脑创伤后神经细胞凋亡,有效发挥保护脑组织作用。近年来,关于生育三烯酚生物活性的研究也逐步开展。徐伟丽等^[34]借助 MTT 实验、细胞集落形成实验、分裂指数实验及形态学观察、细胞凋亡等评价方法发现, γ -生育三烯酚对人结肠癌细胞 HT-29 的体外增殖具有明显的抑制作用。Peh 等^[35]探讨了 γ -生育三烯酚对香烟烟雾诱导的慢性阻塞性肺病(COPD)的治疗潜力,结果发现,给予小鼠灌胃 γ -生育三烯酚(250 mg/kg),能够抑制信号通路中的信号转导子转录激活子 3(STAT3)及核因子- κ B 的核易位,提高核因子 E2 相关因子 2(Nrf2)的活化,减少香烟烟雾诱导的气道炎症和氧化应激,进而表现出较好的治疗 COPD 的潜力。

2 稻米油的制取工艺

2.1 米糠稳定化处理

米糠富含谷维素、生育三烯酚等脂质伴随物,可被高效利用。然而,新鲜米糠在碾米后,极易酸败,

影响米糠进一步加工及食用品质^[36]。因此,米糠的稳定化处理是生产优质稻米油及其深度加工利用的关键。近年,国内外学者对米糠稳定化处理开展了相关研究,主要处理方法有化学法、生物法及物理法,其中:化学法主要是通过添加化学试剂或药品(如氢氧化钙、盐酸及磷酸等)达到稳定米糠的目的^[37];生物法是通过添加各种酶(如木瓜蛋白酶及胰蛋白酶等),经酶的催化使米糠变得稳定^[38];物理法主要包括微波处理、挤压膨化、红外加热、高压灭菌处理等^[36-38]。物理法由于成本较低、效果好,研究较为广泛。

2.1.1 微波处理

微波具有超高频率,穿透性强,可快速进入物料内部,不仅使米糠受热均匀,还使脂肪酶因微波加热产生热变性而失去活性^[38]。吴雨等^[36]研究发现,在米糠含水量 28%、微波功率 600 W、处理时间 90 s 条件下,米糠中的过氧化物酶残余相对活力仅为 1.9%,且微波处理对稻米油中脂肪酸组成无显著影响。余诚玮等^[39]研究发现,在微波功率 800 W、微波频率 2 450 MHz、微波时间 6 min 条件下处理米糠,可有效抑制脂肪酶活性,储藏 56 d 后,制备的稻米油酸值(KOH)低于 30 mg/g,显著低于对照组(156.96 mg/g)。左锋等^[40]利用微波处理米糠(水分含量 26%,厚度 4.2 cm)61 s 后,过氧化物酶残余活力为 0.35%,在 35℃ 可储藏 6 周,米糠酸值(KOH)为 13.5 mg/g,上升幅度低于未处理组。微波处理不仅能有效抑制脂肪酶活性,且对稻米油中营养成分影响较小,是一种具有广阔应用前景的处理方法^[41]。

2.1.2 挤压膨化处理

挤压膨化处理在我国油脂加工企业中应用较广泛,常用来稳定米糠,抑制脂肪酶活性^[42]。程叶停等^[43]研究发现,在转速为 120 r/min,前后 4 段处理温度分别为 70、90、110℃ 和 130℃ 的条件下,对米糠进行挤压膨化处理,其脂肪酶活性可下降至 17%。李凡妹等^[44]研究发现,在螺杆转速 130 r/min、机筒温度 135℃ 及模孔直径 8 mm 条件下对米糠(水分含量 22.5%)进行挤压处理后,在不同温度(40、50、60℃)下储藏 125 d,米糠的过氧化物酶残余活性始终保持在 4% 以下,没有发生变质,并推算出在室温(20℃)下可储存 1 年。挤压膨化处理能有效延长米糠的保质期,为米糠深层次加工奠定了基础。

2.1.3 红外加热处理

红外加热处理主要通过电磁波的形式传递能

量,使食品内部分子因剧烈振动而产生热量,因具有加热快、热效率高及对物料损伤小等优势而被用于稳定米糠。程叶停等^[43]研究发现,在80℃下采用红外加热处理米糠60 min后,脂肪酶相对活性下降至43%,显著低于未处理组,同时还能有效保留稻米油中谷维素和生育酚含量,保留率分别可达97.64%、97.80%。Irakli等^[45]研究发现,在140℃下利用红外加热处理米糠20 min后,在室温(25~30℃)储藏180 d,制备的稻米油游离脂肪酸含量(6.7%)显著低于对照(62.8%),说明红外加热处理可有效抑制脂肪酶活性,防止米糠酸败。He等^[46]研究表明,在300℃下利用红外加热米糠210 s,米糠的脂肪酶和过氧化物酶活性均显著降低,在4.25℃下米糠的储存时间分别可达71.6、25.8周。

2.1.4 高压灭菌处理

高压灭菌处理主要通过高温、高压使米糠脂肪酶失去活性,从而达到稳定米糠的目的。Loypimai等^[47]利用高压灭菌器对米糠进行处理,使米糠内部温度达到105℃后,保温1 min,然后冷却至室温,以此为原料采用酶解法提取稻米油,稻米油中游离脂肪酸含量为1.50%。Yu等^[48]研究发现,在121℃下利用高压灭菌器对米糠灭菌处理20 min,脂肪酶相对活性为10.73%,显著低于对照组,且不会影响稻米油中脂肪酸组成、谷维素及生育酚含量。高压灭菌处理稳定米糠是一种较新的抑制脂肪酶活性的方法,目前研究还较少,如何更为广泛的应用,还需开展进一步研究。

2.2 稻米油制取工艺

2.2.1 溶剂浸出法

溶剂浸出法制取稻米油具有易大规模生产、能显著提高出油率的特点,是目前常用的方法^[49]。溶剂浸出法制取稻米油常用的有机溶剂有正己烷、石油醚、无水乙醇、异丙醇等,其中对正己烷的研究较为广泛。霍文兰^[50]以正己烷为溶剂,采用索氏抽提法制取稻米油,稻米油中共鉴定出15种脂肪酸,其中油酸、亚油酸和棕榈酸含量占总脂肪酸的85.29%。Mariod等^[51]以正己烷为溶剂,采用索氏抽提法制取稻米油,稻米油中 γ -谷维素、生育酚的含量分别可达4.7、4.0 mg/g。Chia等^[52]在料液比1:20、回流速率200~250滴/min条件下,采用正己烷提取米糠4 h,稻米油得率为22.80%,稻米油饱和脂肪酸含量为21.24%,不饱和脂肪酸含量为78.76%,且生育酚、生育三烯酚及 γ -谷维素含量分别为4.98、12.27 $\mu\text{g/g}$ 和0.24 mg/g。目前,采用正己烷提取稻米油的方法研究较多,稻米油得率也

逐步提高,但如何减少溶剂的使用及更好地保留稻米油中的脂质伴随物还需进一步研究。

2.2.2 亚临界萃取法

亚临界萃取法是利用萃取溶剂在不同压力和温度下的两相变化实现对植物油的萃取和脱溶过程^[53]。目前关于亚临界萃取稻米油常用流体为CO₂、丙烷等。Chia等^[52]利用亚临界CO₂萃取法制取稻米油,稻米油得率为14.44%,稻米油中饱和脂肪酸含量为21.59%,不饱和脂肪酸含量为78.41%,且生育酚和生育三烯酚总量分别为64.27、198.32 $\mu\text{g/g}$,脂质伴随物含量均显著高于商品稻米油。陈中伟等^[53]在压力0.9 MPa、温度45℃、料液比1:3条件下,采用亚临界丙烷萃取稻米油0.5 h,间歇萃取3次,结果发现,稻米油中棕榈酸含量为19.80%,油酸、亚油酸及亚麻酸的含量分别为34.12%、43.63%及2.45%,且稻米油中 γ -谷维素和维生素E含量较高,分别为21.08、0.97 mg/g,叶绿素及类胡萝卜素的含量分别为30.4 mg/g和11.14 mg/g。

2.2.3 超临界萃取法

超临界萃取法具有集提取、分离纯化于一体,操作简单的优势,得到的稻米油品质较好^[54]。Soares等^[55]在温度80℃、压力25 MPa、CO₂密度691.82 kg/m³条件下,采用超临界CO₂萃取稻米油,稻米油得率可达12.24%,DPPH自由基清除率为72%。李雪等^[56]研究了超临界CO₂破壁对稻米油提取率的影响,发现当破壁温度50℃、破壁压力20 MPa、破壁时间20 min时,过氧化物酶残余活力最低,为14.24%,油脂得率最高,为13.99%。在压力50 MPa、温度60℃条件下,采用超临界CO₂萃取90 min,稻米油的脂质伴随物含量最高,生育酚、植物甾醇和谷维素含量分别为1800、19120、11110 mg/kg^[57]。Mariod等^[51]采用超临界CO₂萃取稻米油,稻米油 γ -谷维素含量为7.7 mg/g,生育酚含量为3.2 mg/g,且 γ -谷维素含量明显高于正己烷提取组。稻米油得率及脂质伴随物的富集除了与原料密切相关外,还与仪器设备及相关提取条件有关。

3 稻米油的应用

3.1 稻米油在煎炸食品中的应用

煎炸油作为传热介质的同时,可使食品的品质和风味变得更好,但高温会产生过多氧化产物及游离脂肪酸,影响食品的安全性。近年,稻米油在煎炸食品中的应用较多,其主要原因是稻米油含有丰富的生育三烯酚,能有效阻断自由基链式反应,从而抑制油脂氧化^[58-59]。刘玉兰等^[58]利用稻米油持续高

温煎炸油条 32 h,发现油条含油率较低,感官品质优良;且油条中米糠油酸值及过氧化值都未超出 GB 16565—2003 的限量,同时还很好地保留了谷维素。徐振波等^[59]以 1:1 的比例调和稻米油和棕榈油,并在 180 °C 下煎炸土豆片,土豆片的整体质感均优于棕榈油煎炸的土豆片,且酸值及过氧化值都显著低于 GB 16565—2003 的限量。

3.2 稻米油在乳液体系中的应用

为了拓宽稻米油在食品、药品和化妆品等领域的应用范围,以稻米油为油相构建的乳液、凝胶等递送体系的研究正逐步被开展。Nguyen 等^[60]考察了乳化剂种类和配比、稻米油含量、超声处理时间对稻米油纳米乳液粒径和氧化稳定性的影响,结果发现,随着超声时间延长,乳化液滴减小,其中以 Tween 80 及 Span 80 为混合乳化剂制备的乳液比 Tween 80 制备的乳液具有更小的粒径和更好的氧化稳定性。Alfaro 等^[61]采用超声乳化制备了载量为 10% 稻米油的纳米乳液,并将该乳液以 22.33% 的添加量加入酸奶中,进一步探讨了稻米油乳液对酸奶品质特性的影响,结果发现,添加稻米油纳米乳液不仅能保持酸奶原有的口感,还使酸奶的结构更为致密。此外,稻米油纳米乳液还被应用于化妆品行业。Bernardi 等^[62]利用 10% 的 PEG-30 蓖麻籽油/脱水山梨醇油酸酯表面活性剂,采用低能乳化法制备了载量为 10% 稻米油的纳米乳液,在 25 °C 和 4 °C 储存 90 d 后乳液粒径无明显变化,表现出较高的物理稳定性,同时, HET-CAM 实验结果显示,稻米油纳米乳液对皮肤无任何刺激性,且使正常和患有特应性皮炎或牛皮癣的志愿者保湿差异分别增加了 38% 和 30%。综上所述,在对应的条件下,稻米油可作为油相,构建较为稳定的纳米乳液,用于强化酸奶、增加皮肤的保湿性,但目前稻米油纳米乳液还未得到广泛的应用,其相关机理还有待进一步研究。

3.3 稻米油在生物能源方面的应用

何抗抗等^[63]通过实验发现,当甲醇与稻米油摩尔比为 7:1,氢氧化钠添加量为稻米油的 1.2% 时,在 50 °C 下反应 60 min,生物柴油的产率最高,可达 95.38%。制备出的生物柴油不仅各项理化指标都达标,且氧化稳定性好,易于储存、运输。研究表明,在 MPFI 发动机上进行负载实验时,将酯化稻米油(生物柴油)作为添加剂加入 80% 汽油和 20% 乙醇的混合物中后,可降低燃料消耗率、碳氢化合物排放和二氧化碳排放^[64]。Burhani 等^[65]通过进一步研究证实,稻米油生物柴油具有很好的减排效果,与常规柴油相比,稻米油生物柴油的一氧化碳和二

氧化硫排放量明显降低,最少可达 60 mg/kg 和 10 mg/kg。说明稻米油生物柴油具有取代传统燃料的潜力。

4 结 语

我国米糠资源丰富,含油率高,用于制备健康的油脂能够丰富我国的油脂资源。稻米油因含有均衡的脂肪酸、丰富的功能性营养成分而备受研究者关注。然而,由于新鲜米糠极易酸败,加工不集中,对米糠的加工利用不足,仍有许多值得深入研究的方向:米糠稳定化处理方法较多,从一定程度上解决了米糠酸败,为后续高值加工利用提供了基础,但由于设备昂贵、处理量少、化学试剂有毒等而限制了在工厂中大规模使用。因此,无毒、安全、低价、易于大规模稳定米糠的方法还有待进一步研究。与传统溶剂相比,亚临界及超临界萃取法制取稻米油,从一定程度上解决了溶剂残留、油脂颜色深等问题,但由于亚临界和超临界设备投入高,很难普遍使用,且如果米糠未及时加工,稻米油酸值较高。因此,高提取率、低酸值、经济的米糠油加工工艺有待进一步研究及提升。稻米油富含谷维素、植物甾醇等多种功能性物质,对治疗高血脂、调节植物神经等十分有益。目前以稻米油为油相构建的稻米油纳米乳液可以强化酸奶及增加皮肤的保湿性,但还未得到广泛的应用。稻米油纳米乳液等递送体系如何广泛地应用到食品、化妆品及保健品等领域中,还有待广大科研工作者进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 王瑞元. 长足发展的中国稻米油生产与装备制造业[J]. 中国油脂, 2019, 44(10): 1-3.
- [2] 叶虔臻, 王微, 李春松, 等. 米糠油应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 300-306.
- [3] DONPORN W, MONTHANA W, SOMSAK T, et al. Comparative study on amount of nutraceuticals in by-products from solvent and cold pressing methods of rice bran oil processing[J]. J Food Drug Anal, 2019, 27(1): 71-82.
- [4] 周显青, 杨继红, 张玉荣. 国内外米糠资源利用现状与发展[J]. 粮食加工, 2014(5): 24-29.
- [5] 覃发玠, 赖开平. 米糠的功能组分及其在化妆品中的应用[J]. 中国油脂, 2020, 45(1): 111-114.
- [6] 沈鸿, 熊志琴, 姜绍通. 谷维素对 3 种食用植物油的抗氧化效果研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(1): 22-25, 30.
- [7] LIU R, LIU R, SHI L, et al. Effect of refining process on physicochemical parameters, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of rice bran oil[J]. LWT - Food

- Sci Technol, 2019, 109: 26–32.
- [8] 薛莉, 黄晓荣, 汪雪芳, 等. 食用植物油营养成分及检测技术的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(2): 446–451.
- [9] 丁丽, 周维仁, 章世元, 等. 米糠油生理功能及制取工艺的研究[J]. 粮食与食品工业, 2009(4): 14–16, 22.
- [10] 刘大川, 李从军. 米糠油的营养特性及精炼新工艺[J]. 中国油脂, 2014, 39(2): 13–16.
- [11] 徐迪, 金日生, 徐冰彦, 等. 米糠油精炼工艺研究[J]. 广州化工, 2018, 46(1): 105–106.
- [12] 杨贵妃, 刘昕, 黎重阳, 等. 谷维素对纳米乳液理化稳定性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(10): 14–18, 54.
- [13] KHALID N, KOBAYASHI I, NEVES M A, et al. Encapsulation of β -sitosterol plus γ -oryzanol in O/W emulsions: formulation characteristics and stability evaluation with microchannel emulsification [J]. Food Bioprod Process, 2017, 102: 222–232.
- [14] 向思亭, 朱利娟, 赵静, 等. 米糠油中 γ -谷维素的抗氧化作用及机理研究进展[J]. 中兽医医药杂志, 2016(3): 22–25.
- [15] MASSAROLO K C, RIBEIRO A C, FURLONG E B, et al. Effect of particle size of rice bran on γ -oryzanol content and compounds [J]. J Cereal Sci, 2017, 75: 54–60.
- [16] 张江帅, 谷克仁, 潘丽, 等. 谷维素提取及纯化方法研究进展[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(8): 9–13.
- [17] GHATAK S B, PANCHAL S J. Anti-hyperlipidemic activity of oryzanol, isolated from crude rice bran oil, on triton WR1339-induced acute hyperlipidemia in rats [J]. Rev Bras Farmacogn, 2012, 22(3): 642–648.
- [18] 张深义. 谷维素对脑梗死患者焦虑、抑郁情绪的影响[J]. 中国合理用药探索, 2018, 15(8): 68–69, 73.
- [19] JONES P J, RAEINISARJAZ M, NTANIOS F Y, et al. Modulation of plasma lipid levels and cholesterol kinetics by phytosterol versus phytostanol esters [J]. J Lipid Res, 2000, 41(5): 697–705.
- [20] 陈思强, 缪丽华. 米糠油的精炼工艺及应用研究进展[J]. 广东化工, 2013, 40(13): 104–105.
- [21] 刘阳, 王春立, 曹培让, 等. 7种食用植物油物性及氧化稳定性评价[J]. 中国油脂, 2017, 42(10): 63–68.
- [22] 黄滢璋, 赵雁武, 周振中. 植物甾醇对油脂的抗氧化作用研究[J]. 粮食科技与经济, 2012, 37(3): 38–40.
- [23] 楼静, 崔亚娟, 刘健康, 等. 植物甾醇生理功能的线粒体调控机制[J]. 生物化学与生物物理进展, 2018, 45(12): 49–58.
- [24] LIAVERIAS G, ESCOLÀ-GIL J C, LERMA E, et al. Phytosterols inhibit the tumor growth and lipoprotein oxidizability induced by a high-fat diet in mice with inherited breast cancer [J]. J Nutr Biochem, 2013, 24(1): 39–48.
- [25] 朱琳, 薛雅琳, 刘晓辉, 等. 气相色谱内标法测定植物油中角鲨烯含量[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(12): 125–128.
- [26] 叶虔臻, 王微, 董柳青, 等. 山茶油脱臭馏出物中角鲨烯的分离纯化及对猪油抗氧化作用的研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(7): 62–67.
- [27] FARVIN K H S, ANANDAN R, KUMAR S H S, et al. Cardioprotective effect of squalene on lipid profile in isoprenaline-induced myocardial infarction in rats [J]. J Med Food, 2006, 9(4): 531–536.
- [28] FARVIN K H S, KUMAR S H S, ANANDAN R, et al. Supplementation of squalene attenuates experimentally induced myocardial infarction in rats [J]. Food Chem, 2007, 105(4): 1390–1395.
- [29] 吕楠, 孙宝珍, 荣子丹, 等. 角鲨烯胶丸对运动性疲劳的影响及作用机制的探讨[J]. 中成药, 2012, 34(1): 142–144.
- [30] 顾强, 石晶, 袁大炜, 等. 常见植物油中8种生育酚和生育三烯酚含量分析[J]. 食品工业, 2017, 38(2): 304–307.
- [31] 温运启, 刘玉兰, 王璐阳, 等. 不同食用植物油中维生素E组分及含量研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(3): 35–39.
- [32] 张建飞, 朱雪梅, 熊华, 等. α -生育酚在玉米油、大豆油和茶油中的抗氧化动力学研究[J]. 中国油脂, 2015, 40(4): 27–32.
- [33] 王涛. α -生育酚对颅脑创伤大鼠神经功能的保护作用研究[D]. 天津: 天津医科大学, 2017.
- [34] 徐伟丽, 张兰威, 杨鑫, 等. γ -生育三烯酚对体外培养的人结肠癌 HT-29 细胞生长的抑制作用[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(1): 47–51.
- [35] PEH H Y, TAN W S D, CHAN T K, et al. Vitamin E isoform γ -tocotrienol protects against emphysema in cigarette smoke-induced COPD [J]. Free Rad Biol Med, 2017, 110: 332–344.
- [36] 吴雨, 张淑蓉, 钟宁, 等. 微波处理对米糠稳定性及脂肪酸组成的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 77–81.
- [37] 余诚玮, 邓施璐, 温志刚, 等. 米糠及其脂肪酶的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 297–305.
- [38] 吴一庄. 米糠稳定化的研究进展[J]. 广东饲料, 2020, 29(8): 44–46.
- [39] 余诚玮, 胡蓉, 付泽建, 等. 微波处理对米糠油品质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(1): 141–146.
- [40] 左锋, 王振忠, 钱丽丽, 等. 响应面法优化微波加热稳定米糠的工艺研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,

- 2019, 31(2): 52-58,71.
- [41] 宫主, 于国萍, 徐曼旭. 微波处理对全脂米糠酶活力及抗氧化性的影响[J]. 食品工业, 2013, 34(2): 123-127.
- [42] 吴晓娟, 吴伟. 挤压稳定化对不同贮藏时间米糠制备米糠毛油品质的影响[J]. 中国油脂, 2018, 43(6): 7-10,15.
- [43] 程叶停, 刘元法, 李进伟, 等. 米糠近红外稳定化处理过程研究与评价[J]. 中国油脂, 2016, 41(12): 50-54.
- [44] 李凡姝, 崔晓彤, 王霞, 等. 挤压稳定化全脂米糠室温条件下贮藏期的确定[J]. 农产品加工·学刊, 2016(4): 12-16.
- [45] IRAKLI M, KLEISIARIS F, MYGDALIA A, et al. Stabilization of rice bran and its effect on bioactive compounds content, antioxidant activity and storage stability during infrared radiation heating[J]. J Cereal Sci, 2018, 80: 135-142.
- [46] HE R, WANG Y J, ZOU Y C, et al. Storage characteristics of infrared radiation stabilized rice bran and its shelf-life evaluation by prediction modeling[J]. J Sci Food Agric, 2020, 100(6): 2638-2647.
- [47] LOYPIMAI P, MOONGNARM A, CHOTTANOM P. Impact of stabilization and extraction methods on chemical quality and bioactive compounds of rice bran oil[J]. Emir J Food Agric, 2015, 27(11):849-856.
- [48] YU C W, HU Q R, WANG H W, et al. Comparison of 11 rice bran stabilization methods by analyzing lipase activities[J]. J Food Process Pres, 2020, 44(4): 1-14.
- [49] 杨焕月, 王振华, 许朵霞, 等. 异丙醇提取稻米油动力学特性[J]. 食品科学, 2019, 40(19): 40-45.
- [50] 霍文兰. 超临界 CO₂ 流体萃取法和溶剂法萃取米糠油脂肪酸成分研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(8): 83-85.
- [51] MARIOD A, ISMAIL M, RAHMAN N F A, et al. Stability of rice bran oil extracted by SFE and Soxhlet methods during accelerated shelf-life storage[J]. Grasas Y Aceites, 2014, 65(1):1-10.
- [52] CHIA S L, BOO H C, MUHAMAD K, et al. Effect of subcritical carbon dioxide extraction and bran stabilization methods on rice bran oil[J]. J Am Oil Chem Soc, 2015, 92(3): 393-402.
- [53] 陈中伟, 丁芬, 吴其飞, 等. 亚临界丙烷/超临界 CO₂ 及正己烷对米糠油提取品质的对比研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(3): 36-41,47.
- [54] 张艳荣, 丁伟, 王大为. 功能性米糠油超临界流体萃取工艺的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 155-158.
- [55] SOARES J F, PRÀ V D, LUNELLI F C, et al. Extraction of rice bran oil using supercritical CO₂ and compressed liquefied petroleum gas[J]. J Food Eng, 2016, 170: 58-63.
- [56] 李雪, 武英华, 崔晓彤, 等. 超临界 CO₂ 破壁对米糠及米糠油提取的影响[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(8): 50-54.
- [57] BALACHANDRAN C, MAYAMOL P N, THOMAS S, et al. An ecofriendly approach to process rice bran for high quality rice bran oil using supercritical carbon dioxide for nutraceutical applications[J]. Bioresour Technol, 2008, 99(8): 2905-2912.
- [58] 刘玉兰, 王莹辉, 李时军. 煎炸米糠油营养成分及煎炸油条品质分析[J]. 中国油脂, 2014, 39(3): 28-32.
- [59] 徐振波, 牛付欢, 魏玲玲, 等. 稻米油调和油煎炸应用研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(16): 197-200,237.
- [60] NGUYEN H H, CHOI K O, KIM D E, et al. Improvement of oxidative stability of rice bran oil emulsion by controlling droplling size[J]. J Food Process Pres, 2013, 37(2): 139-151.
- [61] ALFARO L, HAYES D, BOENEKE C, et al. Physical properties of a frozen yogurt fortified with a nano-emulsion containing purple rice bran oil[J]. LWT - Food Sci Technol, 2015, 62(2): 1184-1191.
- [62] BERNARDI D S, PEREIRA T A, MACIEL N R, et al. Formation and stability of oil-in-water nanoemulsions containing rice bran oil; in vitro and in vivo assessments [J/OL]. J Nanobiotechnol, 2011, 9: 44[2021-01-21]. <https://doi.org/10.1186/1477-3155-9-44>.
- [63] 何抗抗, 杨超, 蔺华林, 等. 稻米油碱催化制备生物柴油实验研究[J]. 化工科技, 2016, 24(6): 11-14.
- [64] PASUPATHY R S, MOHANRAJ T. A novel approach to utilize esterified rice bran oil as an additive with gasoline and ethanol blends in MPFI SI engine[J]. Energ Sourc Part A, 2019(2): 1-12.
- [65] BURHANI B M, JAAFAR M N M, OTHMAN N B, et al. Performance and emission characteristics of rice bran oil in an oil burner[C]//IOP conference series: materials science and engineering. Putrajaya, Malaysia: IOP Publishing Ltd., 2019:1-9.