

谷物胚芽营养成分与加工技术研究进展

马梦恬¹, 王明辉¹, 鲁佩杰¹, 缪文慧¹, 邢茂选², 张炳文¹

(1. 济南大学 生物科学与技术学院, 济南 250022; 2. 山东天成农业科技有限公司, 山东 临沂 276026)

摘要: 胚芽作为谷物籽粒的重要组成部分, 含有丰富的营养成分。为了对谷物胚芽产品开发和优化提供技术参考, 综述了谷物胚芽中脂肪、蛋白质、碳水化合物、维生素、矿物质等营养成分的构成及生理功能, 对谷物胚芽精准加工技术进行了概述, 指出了现今谷物胚芽产品开发存在的问题并提出了建议。谷物胚芽的稳定化处理、谷物胚芽油的提取、活性肽的制备及 γ -氨基丁酸的富集等技术成为谷物胚芽研究领域的新热点。还需加大谷物胚芽活性组分应用的研究力度, 进一步向功能性食品、医药等领域探索, 使产品开发多元化, 从而扩大谷物胚芽的应用范围, 产生较好的社会效益及经济效益。

关键词: 谷物胚芽; 营养成分; 活性组分; 精准加工技术

中图分类号: TS222; TS202.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2023)06-0114-06

Nutritional components and processing technologies of cereal germ: a review

MA Mengtian¹, WANG Minghui¹, LU Peijie¹, MIAO Wenhui¹,
XING Maoxuan², ZHANG Bingwen¹

(1. School of Biological Science and Technology, University of Jinan, Jinan 250022, China; 2. Shandong Tiancheng Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Linyi 276026, Shandong, China)

Abstract: As the most important component part of cereal grain, the cereal germ is rich in nutritional components. In order to provide a reference for product development and technical optimization of cereal germ, the composition and physiological function of nutritional components in cereal germ were reviewed, including fat, protein, carbohydrates, vitamins and minerals. The precision processing technology of cereal germ was summarized. The problems existing in the development of cereal germ products were pointed out and some suggestions were put forward. The stabilization of cereal germ, the extraction of cereal germ oil, the preparation of active peptides and the enrichment of γ -aminobutyric acid have become new hot spots in the field of cereal germ research. It is necessary to increase the research on the application of the active components of cereal germ and further explore the functional food and pharmaceutical fields, so as to diversify the product development and expand the scope of application of cereal germ and generate better social and economic benefits.

Key words: cereal germ; nutritional component; active component; precision processing technology

谷物胚芽是谷粒的主要组成部分之一, 占其总

质量的2%~3%。谷物胚芽的主要来源为小麦、玉米、水稻等。谷物胚芽中含有丰富的蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质, 对促进人体健康有益。然而, 早前推崇谷物产品“精而纯”, 在加工过程中会对其谷皮、糊粉层与胚芽等部分进行去除, 过度加工加剧了资源和能源消耗, 造成了谷物原料中天然有益伴随物损失严重, 谷物产品营养素种类大大降低。另外, 谷物胚芽目前主要集中在榨油领域^[1]的

收稿日期: 2022-03-24; 修回日期: 2023-02-19

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ024); 临沂市河东区重点研发计划(2020HDQZD10)

作者简介: 马梦恬(1999), 女, 硕士研究生, 研究方向为谷物营养品质评价与加工(E-mail) 983742956@qq.com。

通信作者: 张炳文, 教授, 硕士生导师(E-mail) st_zhangbw@ujn.edu.cn。

应用,在其他方面应用较少。近年来,有更多研究者对谷物胚芽中营养组分、加工方式等方面展开深入研究,以更大限度做到物尽其用,这对于提高谷物胚芽利用率以及促进膳食健康具有重要意义。本文以小麦、玉米、水稻等谷物为主,对谷物胚芽营养组分及加工技术的相关研究进行综述,以期对谷物胚芽产品开发和加工技术优化提供参考。

1 谷物胚芽中的营养组分

1.1 脂肪

谷物胚芽中含有丰富的脂肪,玉米胚芽与稻米胚芽的脂肪含量分别为 45.0% ~ 55.0% 和 25.66%^[2-3],小麦胚芽脂肪含量相对偏低,为 9.5% ~ 13.5%^[4]。小麦胚芽油的脂肪酸组成以多不饱和脂肪酸为主,包括亚油酸、亚麻酸、十七碳二烯酸和二十碳二烯酸,其中 $\omega-6$ 和 $\omega-3$ 多不饱和脂肪酸的含量分别达 65% 和 11%^[5]。玉米胚芽油的脂肪酸组成以亚油酸、油酸和棕榈酸为主,其中亚油酸的含量为 51.92%,约占总脂肪酸含量的一半^[6]。亚油酸是一种 $\omega-6$ 多不饱和脂肪酸,也是人体必需脂肪酸,能够加快机体脂肪分解、代谢,对于治疗高血压、动脉粥样硬化有良好效果。亚油酸还可以抑制与胰岛素抵抗相关的蛋白酪氨酸激酶和蛋白酪氨酸磷酸酶的催化活性,发挥抗糖尿病作用^[7]。Wang 等^[8]对稻米胚芽油的脂肪酸组成进行分析,发现其单不饱和脂肪酸与多不饱和脂肪酸的含量分别为 39.6% 和 36.0%,两者比例接近 1:1,符合世界卫生组织(WHO)所推荐的最佳比例。单不饱和脂肪酸能够发挥降血糖、降胆固醇、调节血脂等作用,减少动脉粥样硬化和冠心病风险。此外,谷物胚芽中还含有许多具有生物活性的脂类衍生物,如二十八烷醇、磷脂等,具有特殊生理功能,可促进人体健康。

1.2 蛋白质

小麦胚芽中蛋白质含量较高,为 26.0% ~ 31.5%^[4],稻米胚芽和玉米胚芽其次,分别为 28.04% 和 15.0% ~ 17.0%^[2-3]。小麦胚芽中含有 7 种人体必需氨基酸,其中作为人体第一限制性氨基酸的赖氨酸含量较高,可达到 1.87%^[9]。玉米胚芽是优质蛋白质的良好来源,其氨基酸组成符合 WHO 的全价蛋白要求,蛋白质功效比值较好,营养价值与牛奶、鸡蛋接近^[10]。赖氨酸、苏氨酸作为稻米的第一、第二限制性氨基酸,在稻米胚芽中含量较高,分别可达 6.6 g/100 g 和 4.39 g/100 g,生物学价

值较好^[11]。

1.3 碳水化合物

小麦胚芽的碳水化合物含量较高,为 42.0% ~ 47.0%^[4]。在谷物胚芽中,碳水化合物的组成以淀粉、多糖、纤维素为主。稻米胚芽多糖由甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖醛酸、葡萄糖醛酸组成,稻米胚芽多糖对 DPPH 自由基及超氧阴离子自由基的清除率分别达 43.03% 和 47.84%,具有较强抗氧化性^[12]。谷物胚芽榨油后,饼中通常含有较多膳食纤维,这对于降低机体血胆固醇、血糖有较好效果。通过纤维素酶酶解法从玉米胚芽粕中提取水溶性膳食纤维,提取率可达 6.65%^[13]。

1.4 维生素

谷物胚芽中含有丰富的 B 族维生素,如维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、烟酸等。小麦胚芽中含有维生素 B₁ 1.45 mg/100 g、维生素 B₂ 0.61 mg/g^[14]。多食用含有胚芽的谷物对脚气病、口角炎、舌炎等 B 族维生素缺乏症有一定预防作用。

维生素 E 是一种主要存在于植物籽粒中的脂溶性维生素,具有抗氧化功能,其中 α -生育酚的生物活性最高。小麦胚芽中的维生素 E 含量丰富,约为 22 mg/100 g,是膳食维生素 E 的主要来源之一。研究表明,为小鼠灌胃小麦胚芽油维生素 E 制成的软胶囊 30 d 后,小鼠血液中脂质过氧化物水平降低,血清超氧化物歧化酶活力和体内还原型谷胱甘肽含量显著提高^[15]。

1.5 矿物质元素

谷物胚芽中还含有钙、铁、锌、镁、磷、钾等人体必需的矿物质元素。玉米胚芽粕中的矿物质含量较整颗玉米籽粒更高,其中钙、铁元素的平均含量分别为 0.17% 和 176.88 mg/kg,而整粒玉米中的含量分别为 0.03% 和 34.84 mg/kg^[16]。

2 谷物胚芽精准加工技术研究进展

近年来,谷物胚芽的稳定化处理、谷物胚芽油的提取、活性肽的制备、 γ -氨基丁酸的富集等加工技术逐渐成为谷物胚芽研究领域的新热点。

2.1 谷物胚芽的稳定化处理技术

谷物胚芽中丰富的营养素通常会被其本身的脂肪酶、脂肪氧化酶分解,从而导致氧化酸败,使胚芽的长期贮藏变得困难。我国对小麦胚芽稳定化技术的相关研究较多,目前小麦胚芽的稳定化技术主要有过热蒸汽法、微波辐射法、干燥法、挤压膨化法等,具体见表 1。

表 1 常用的小麦胚芽稳定化技术

稳定化技术	操作条件	效果评价	参考文献
过热蒸汽	温度 220 °C, Steam 档位处理 30 s	小麦胚芽中脂肪酶灭活率 82.74%, 脂肪氧化酶灭活率 87.03%	[17]
微波辐射	小麦胚芽初始含水量 15%, 微波功率中高火 (581 W), 微波时间 5 min	小麦胚芽酸值 (KOH) 降低至 7.59 mg/g, 过氧化值降低至 0.765 mmol/kg	[18]
红外干燥	干燥温度 100 °C, 载量 1 kg/m ² , 干燥距离 15 cm	小麦胚芽中脂肪酶灭活率 54.29%, 脂肪氧化酶灭活率 91.15%, 酸值 (KOH) 下降至 52.49 mg/g, 过氧化值下降至 9.375 mmol/kg	[19]
挤压膨化	小麦胚芽含水量 20%, 机筒末端温度 140 °C, 主机频率 16 Hz	小麦胚芽中脂肪酶灭活率 90.73%, 脂肪氧化酶活力降低 47.19%, 酸值降低 32.38%, 总酚损失 11.1%, 总黄酮损失 2.7%	[20]

由表 1 可知,上述稳定化技术对提升小麦胚芽的稳定性皆有一定的作用,能够有效延长其贮藏期。挤压膨化法的脂肪酶灭活率与酸值降低程度均较高,缺点是工艺较烦琐。过热蒸汽法与微波辐射法的稳定化效果较好,这 2 种方法操作简便,还可发挥灭菌消毒等作用。传统的热风干燥法干燥速度较慢,易破坏小麦胚芽原有的感官品质,而红外干燥法则在保持产品质量的基础上还可以提高干燥速率,减少能耗。

2.2 谷物胚芽油的提取技术

谷物胚芽中脂肪含量丰富,谷物胚芽油的提取方法有水酶法、超临界 CO₂ 萃取法、有机溶剂浸提法等。水酶法是在油料经粉碎处理后,利用酶的作用破坏细胞壁使包裹油脂的木质素、纤维素等发生降解,从而分离油脂的方法。利用水酶法提取谷物胚芽油的优点是可以同时提取蛋白质,提取过程操作安全、简单。影响水酶法提油率的主要因素是酶的种类,酶种类不同对谷物胚芽提油率有较大影响,陶海英等^[21]采用纤维素酶与蛋白酶复合提取小麦胚芽油时提油率最高。Wang 等^[8]利用水酶法提取稻米胚芽油时发现,在酶加量 2% (以稻米胚芽干质量计)、酶解时间 5 h、酶解温度 50 °C、pH 6 的条件下,提油率最高,为 22.27%。水酶法提取谷物胚芽油也面临着一些难题,如酶解时间较长,酶制剂价格偏高、使用量较多等,还需进一步优化。

超临界 CO₂ 萃取法以超临界状态下的 CO₂ 流体作为萃取剂,具有萃取率高、安全性好、萃取条件简单、有效保护活性组分等优点,在谷物胚芽油的提取工艺中被广泛利用。宋玉卿等^[22]对稻米胚芽油的超临界 CO₂ 萃取工艺进行了优化,发现最佳萃取条件为萃取压力 30 MPa、萃取温度 40 °C、萃取时间 120 min,在该条件下稻米胚芽油的萃取效率可达 90.5%。针对超临界 CO₂ 萃取法保护活性组分,李

永盼等^[23]的研究确证了这一点,其利用超临界 CO₂ 萃取法萃取的小麦胚芽油中谷甾醇含量为 2.94 mg/g,比其他方法的高 7% 左右,并且 α -生育酚含量也最高,可达 319.2 mg/g。

有机溶剂浸提法是利用能够溶解油脂的有机溶剂进行萃取,该法存在提取的原油中杂质较多、油中残留溶剂、某些有机溶剂易燃易爆或有一定毒性等问题。为解决谷物胚芽油中溶剂残留问题,生产企业会对油脂进行脱溶处理,如在油温 140 °C 以上、真空度 0.92 MPa 时停留 30 ~ 60 min,成品油中的残留溶剂含量可降低至 50 mg/kg 以下,能够达到提高谷物胚芽油安全性的目的^[24]。

也有学者将超临界 CO₂ 萃取法与有机溶剂浸提法联用提取谷物胚芽油。如 Marinho 等^[25]研究表明,在超临界 CO₂ 中添加辅助溶剂乙醇提取玉米胚芽油的效果最佳,最高可将提油率提升至 13.81%。

2.3 活性肽的制备技术

目前,从谷物胚芽中制备的活性肽主要有谷胱甘肽、ACE 抑制肽、抗氧化肽等。谷胱甘肽可分为还原型和氧化型 2 种存在形式,其中还原型谷胱甘肽具有较强抗氧化活性,对肿瘤化疗导致的肝损伤、酒精性肝病、急性肝损伤等具有防治保护作用。ACE 抑制肽是一种对调节机体血压有重要作用的活性肽。ACE 能够使无催化活性的血管紧张素 I 转化为可以促进血管收缩的血管紧张素 II,还会使舒张血管紧张作用的舒缓肌肽降解^[26]。ACE 抑制肽能够抑制 ACE 的活性,从而降低机体血压。抗氧化肽具有清除多种自由基的功能,可应用于食品、化妆品、保健品等领域,起到良好的抗氧化作用。活性肽通常以蛋白质为原料,制备方法以酶解法、发酵法为主。

酶解法是利用各种蛋白水解酶对蛋白质进行水解来制备活性肽。不同蛋白酶所制备的活性肽活性

高低不一。林童等^[27]对碱性蛋白酶、木瓜蛋白酶、风味蛋白酶等常用酶制剂进行比较,发现小麦胚芽蛋白经碱性蛋白酶水解后产生的抗氧化肽对 DPPH 自由基的清除率最高。但是,传统的酶解法制备活性肽有一定缺点,如效率较低、酶解时间较长等。目前,酶解法通常会与超声波辅助法联合应用,利用超声波对原料进行预处理能够提高产物的活性,缩短酶解时间。王珂等^[28]对玉米胚芽粕进行超声预处理后再对其进行酶解,制备的 ACE 抑制肽中高活性肽占 29.63%,比未经过预处理的提高了 13.96%。

发酵法的工艺较其他方法更加简化,生产成本较低。李军军^[29]以玉米胚芽粕为原料通过发酵法制备活性肽,比较发现采用米曲霉较黑曲霉发酵玉米肽的转化率更高,可达 37%,且产出的低分子肽抗氧化活性较高,具有良好生物活性。研究发现,发酵法不仅能提取活性肽,还可以提高产物产量。郑丽博^[30]确定了产还原型谷胱甘肽的最佳发酵条件为料液比 1:6、酵母菌接种量 4 g、发酵时间 48 h、破碎时间点 8 h,在该条件下发酵液中还原型谷胱甘肽的含量最高,可达 435.97 mg/L。

2.4 γ -氨基丁酸(GABA)的富集技术

GABA 作为哺乳动物中枢神经系统内的一种抑制性神经递质,具有改善失眠、降血糖等作用^[31-32]。

谷物胚芽中 GABA 的常用富集技术有植物代谢法和发酵法。利用植物代谢法对谷物进行浸泡、萌发等处理后,其胚芽中的 GABA 含量通常会发生显著变化。浸泡时间、催芽时间、发芽温度等皆会影响谷物胚芽中的 GABA 含量。吾建祥等^[33]优化富集稻米胚芽中 GABA 的工艺条件,发现在浸泡时间 9.1 h、发芽温度 28.03℃、催芽时间 14.7 h 的条件下,GABA 含量高达 47.4 mg/100 g,与未经处理的稻米胚芽相比其含量显著提高。通过微生物对谷物进行发酵,也会提高谷物中的 GABA 含量。有研究发现,经过植物乳杆菌发酵后的脱脂小麦胚芽中 GABA 含量为 0.402 mg/mL,而未添加植物乳杆菌,自然发酵的脱脂小麦胚芽中 GABA 含量仅为 0.092 mg/mL,含量差距显著^[34]。发酵法富集 GABA 成本低廉,富集效果较好,因此该法在 GABA 工业化生产中应用率较高。为进一步提升 GABA 的富集效果,Oh 等^[35]利用非生物胁迫的处理方式将稻米胚芽贮存在 40℃ 厌氧条件下 8 h 后,GABA 含量由 79.8 mg/100 g 增加至 269.9 mg/100 g,效果显著。GABA 富集技术对提高谷物胚芽利用率,提升其营养价值,促进谷物胚芽制品发展等具有重要意义。

3 谷物胚芽产品加工开发建议

谷物胚芽加工技术需进一步深入探索、研究,产品开发需要开放性思维并加大开发力度,提升消费者对谷物胚芽的认知程度,拓宽谷物胚芽的应用范围。

3.1 丰富谷物胚芽类产品的开发品种

我国谷物胚芽产品开发品种较少且单一,如玉米胚芽多用作榨油,小麦胚芽、稻米胚芽多制成胚芽粉。谷物胚芽类产品开发品种较少与国内市场需求度有一定关系,在对社会进行营养知识科普的帮助下,人们对粗粮食品的需求已逐渐增大,但对于谷物胚芽的认知度还需要进一步加强。人们对谷物胚芽的接受程度增高,其市场需求度会随之增加,促进新产品的开发、问世。目前市场上的谷物胚芽产品大多是将胚芽制成不同形态的食品,可将新产品的开发重点聚焦在谷物胚芽中的各种活性组分上,向功能性食品、药品、化妆品等领域发展。

3.2 拓宽谷物胚芽功能食品的载体

目前多数企业以药片、药丸、冲剂等形式作为谷物胚芽功能食品的载体,一部分人群会误将其归为药品,并且产品售价较高,在一定程度上降低了人们对谷物胚芽功能食品的接受力。在日本、美国等国家,功能食品更多是将活性组分直接添加进食物中,如功能性饮料、营养强化面包、具有降低胆固醇功能的奶油等。因此,我国谷物胚芽功能食品可尝试脱离药品的外观,更换不同的产品载体,同时加大开发与宣传力度。

3.3 优化谷物胚芽产品开发的精准加工技术

谷物胚芽中含有多种丰富的营养物质及活性组分,现有的提取加工技术已能够保证较高的产物提取率,但在提取过程中,不同的提取方法会对谷物胚芽中的活性组分造成一定程度的流失。为达到减少活性组分流失的目的,可以尝试在提取前对原料进行一定预处理,或深化活性组分富集技术。此外,谷物胚芽经加工处理后,其贮藏条件及时间的改善也需要依靠优化稳定化技术来实现。通过精准加工技术的优化,谷物胚芽产品开发会在其品质及种类等方面得到较好提升。

4 结束语

随着我国经济发展,人们对食物营养与健康的关注度逐渐提高,谷物胚芽从加工副产物逐渐转变为食品研发新对象。目前,谷物胚芽的营养成分研究已较为深入,主要集中在生理功能和作用机制等研究方向。谷物胚芽具有较大开发价值,其精准加工技术研究逐渐深入,除胚芽及活性组分的提取技

术外,还涉及到组分富集和胚芽稳定化处理研究。但是,我国谷物胚芽产品开发力度不足,品种较为单一。谷物胚芽产品开发不应局限于食品领域,还需加大产品开发力度,更为充分地向功能性食品、医药领域探索,从而拓宽谷物胚芽的应用范围,产生较好的社会效益及经济效益。

参考文献:

- [1] 嵇海华, 孟轩夷, 高金燕. 小麦、水稻和玉米胚芽的营养功能及胚芽食品的研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4):318-323.
- [2] 任婷婷, 李书国. 玉米胚芽的营养保健价值及其食品的研究开发[J]. 粮食加工, 2012, 37(2):60-64.
- [3] 张晖, 姚惠源. 米胚蛋白性质及其饮料制备工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(2):5-8.
- [4] 刘月, 丑建栋, 陈玥璋, 等. 小麦胚芽的营养功能成分及综合利用研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12):457-467.
- [5] PARCZEWSKA - PLESNAR B, BRZOZOWSKI R, GWARDIAK H, et al. Wheat germ oil extracted by supercritical carbon dioxide with ethanol: fatty acid composition[J/OL]. *Grasas Aceites*, 2016, 67(3):e144 [2022 - 03 - 24]. <https://doi.org/10.3989/gya.1017153>.
- [6] HAN C P, LIU Q G, JING Y Q, et al. Ultrasound - assisted aqueous enzymatic extraction of corn germ oil: analysis of quality and antioxidant activity[J]. *J Oleo Sci*, 2018; 67(6):745-754.
- [7] YOON S Y, AHN D, HWANG J Y, et al. Linoleic acid exerts antidiabetic effects by inhibiting protein tyrosine phosphatases associated with insulin resistance[J/OL]. *J Funct Foods*, 2021, 83(9):104532 [2022 - 03 - 24]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104532>.
- [8] WANG H, GENG H Y, TANG H L, et al. Enzyme - assisted aqueous extraction of oil from rice germ and its physicochemical properties and antioxidant activity[J]. *J Oleo Sci*, 2019, 68(9):881-891.
- [9] 严斌, 刘丽娅, 钟葵, 等. 基于 ICP - MS 的不同来源小麦胚芽矿物元素对比分析[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(11):7-12.
- [10] 刘玉兰, 郑婷婷, 王月华, 等. 不同来源和不同方法提取玉米胚的品质对比[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4):21-29.
- [11] 金增辉. 米胚与巨胚米及其开发利用[J]. 粮食加工, 2016, 41(3):29-31.
- [12] 罗敏, 陈德经, 季晓辉. 米胚多糖的组成及抗氧化性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(6):923-929, 935.
- [13] 杨铭铎, 王媛, 曲彤旭, 等. 响应面法优化玉米胚芽粕中膳食纤维酶解提取工艺[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(1):5-9.
- [14] BOUKID F, FOLLONI S, RANIERI R, et al. A compendium of wheat germ: separation, stabilization, and food applications[J]. *Trends Food Sci Technol*, 2018, 78:120-133.
- [15] 贺瑞坤, 殷光玲, 黄远英. 小麦胚芽油维生素 E 软胶囊抗氧化功效研究[J]. 生物技术世界, 2016(1):13-14, 18.
- [16] HUANG C F, STEIN H H, ZHANG L Y, et al. Concentrations of minerals in pig feed ingredients commonly used in China[J]. *Transl Anim Sci*, 2017, 1(2):126-136.
- [17] 张楠, 葛鑫会, 石琳, 等. 小麦胚芽的过热蒸汽稳定化工艺研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(7):129-132, 158.
- [18] 王君茹, 林江涛, 苏东民. 微波辐射稳定化小麦胚芽技术研究[J]. 粮食加工, 2017, 42(3):11-14.
- [19] 张建友, 洪灿东, 戚雅楠, 等. 小麦胚芽红外干燥工艺优化及其对贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(6):1144-1152.
- [20] 张弘, 温纪平, 刘帅, 等. 小麦胚芽挤压膨化工艺研究[J]. 食品科技, 2021, 46(12):148-154.
- [21] 陶海英, 马娇, 徐同成, 等. 不同酶处理对小麦胚芽油提取率的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(10):17-20.
- [22] 宋玉卿, 张雪, 李钊, 等. 稻米胚芽油的超临界 CO₂ 萃取工艺优化[J]. 中国油脂, 2019, 44(12):20-24.
- [23] 李永盼, 马传国, 裴梦雪, 等. 小麦胚芽油提取工艺对其组分影响[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(10):13-16.
- [24] 张杰, 杨帆, 杜宣利. 油脂中的溶剂残留[J]. 农业工程, 2016, 6(1):55-57.
- [25] MARINHO C M, LEMOS C O T, ARVELOS S, et al. Extraction of corn germ oil with supercritical CO₂ and cosolvents[J]. *J Food Sci Technol*, 2019, 56(10):4448-4456.
- [26] XIANG L, QIU Z C, ZHAO R J, et al. Advancement and prospects of production, transport, functional activity and structure - activity relationship of food - derived angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitory peptides[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2021, 14:1-27.
- [27] 林童, 张旭, 周灯银, 等. 小麦胚芽肽的制备及抗氧化活性分析[J]. 食品工业, 2021, 42(8):47-52.
- [28] 王珂, 马海乐, 李景, 等. 超声预处理辅助酶解玉米胚芽 ACE 抑制肽的研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9):11-15, 22.
- [29] 李军军. 固态发酵玉米胚芽粕制备玉米肽[D]. 济南: 山东轻工业学院, 2012.