

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.01.006

张玉, 杨狄芯芯, 练银银, 等. 菰米研究现状及产业发展趋势 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(1): 73-82.

菰米研究现状及产业发展趋势

张玉^{1,2}, 杨狄芯芯^{1,2}, 练银银^{1,2}, 谭斌³, 王梅⁴, 索化夷^{1,2}1. 西南大学 食品科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学 食品科学与工程国家实验教学示范中心, 重庆 400715;
3. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037; 4. 重庆市蚕业科学技术研究院, 重庆 400799

摘要: 菰米作为营养均衡的无麸质全谷物食品, 含有丰富的营养物质, 具有重要的营养、保健和医学价值。该文系统总结了近年来在菰米的营养成分和加工应用方面的研究进展, 指出菰米中富含的营养物质主要有碳水化合物、蛋白质、脂质、维生素、酚类化合物、植物甾醇、 γ -谷维素和 γ -氨基丁酸等, 具有抗氧化和抗心脑血管疾病等活性。菰米现有加工方式单一, 应用处于初级阶段, 开展菰米新加工方式研究, 拓展其应用特性是当前该领域的重要研究任务。展望了未来我国菰米深入研究与加工应用的发展方向, 未来菰米需选育优良品种、扩大种植率; 菰米加工可从主食食品、休闲食品和发酵食品三大类进行研发, 也可作为膳食补充剂添加进食品中, 提升产品营养价值。

关键词: 菰米; 营养成分; 生物活性成分; 加工方式; 开发

中图分类号: S511.9; TS 210.1 **文献标志码:** A

文章编号: 1673-9868(2025)01-0073-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on the Nutritional Components of Wild Rice (*Zizania* spp.) and Its Processing and Utilization

ZHANG Yu^{1,2}, YANG Dixinxin^{1,2}, LIAN Yinyin^{1,2},
TAN Bin³, WANG Mei⁴, SUO Huayi^{1,2}1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;
2. National Teaching Demonstration Center of Food Science and Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China;
3. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China;
4. Sericultural Science and Technology Research Institute, Chongqing 400799, China

Abstract: As a gluten-free whole grain food with balanced nutrition, wild rice contains rich nutrients and has significant nutritional, health care and medical values. This article systematically summarizes the research progress in the nutritional components and processing applications of wild rice in recent years. The

收稿日期: 2024-08-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFF1100500, 2022YFF1100504)。

作者简介: 张玉, 博士, 正高级实验师, 主要从事食品科学相关的教学和科研工作。

通信作者: 谭斌, 研究员, 博士研究生导师。

rich nutrients in wild rice mainly include carbohydrates, proteins, lipids, vitamins, phenolic compounds, phytosterols, γ -oryzanol and γ -aminobutyric acid, etc., and it possesses activities such as antioxidant and anti-cardiovascular and cerebrovascular diseases. The current processing methods of wild rice are single processing method, and the application is still at the primary stage. Conducting research on new processing methods of wild rice and expanding its application characteristics are important research tasks in this field at present. This article looks forward to the future direction of in-depth research and the processing application development of wild rice in China. In the future, excellent varieties of wild rice need to be selected and bred, and the planting rate needs to be increased. The processing of wild rice can be developed from three categories: staple foods, snack foods and fermented foods, and it can also be added as a dietary supplement of foods to enhance the nutritional value of the products. This can provide a reference for the rational development and comprehensive application of wild rice in the food field.

Key words: wild rice; nutrition facts; bioactive ingredients; processing method; development

菰为禾本科稻亚科稻族菰属多年生水生草本植物,是一种古老的野生稻品种^[1]。世界上的菰属植物共有 4 种,包括东亚的中国菰(*Zizania latifolia*)、北美洲的水生菰(*Zizania aquatica*)、沼生菰(*Zizania palustris*)和得克萨斯菰(*Zizania texana*)^[2]。中国菰可生长于湖泊、沟塘、河溪和湿地中,在淮河流域和长江流域中下游分布最为广泛^[3],其种子经人工或机械方法去壳后得到的颖果为中国菰米(Chinese wild rice),是一种富含酚类化合物,尤其是类黄酮化合物的有色全谷物。我国菰米资源丰富,在古代被列为“六谷”之一,已有 3 000 多年的食用历史,在周朝时就有食用菰米的记载,但在宋朝后逐渐被其他稻谷类粮食所取代^[4]。菰米中含有丰富的蛋白质、维生素、纤维素、氨基酸、不饱和脂肪酸、微量元素等营养成分,以及植物甾醇、酚类化合物、 γ -谷维素等生物活性成分,这些成分在人体内都起着非常重要的作用^[5]。

目前市面上所售的菰米多为北美菰米,北美菰米是一种营养丰富,风味独特,价格昂贵的全谷物杂粮,已经成为饮食业和出口贸易的重要商品,大量出口到法国、德国和意大利等国家(图 1)。但是中国菰米的销售市场比较狭窄,主要是由于菰米的产量较低、加工方式单一^[5]。随着对菰米的研究越来越多,菰米的营养价值及保健功效得到越来越多人的认可。因此,本文对菰米的营养成分和近年来不同的菰米的加工方式进行综述,以期为我国菰米精深加工与综合利用、菰米产品工业化与规模化生产提供理论依据。



图 1 菰米

1 菰米的种植现状

菰米从种植到采收周期为 10 个月至 1 年。在我国,由于菰米采收形式较为传统,只能人工采收,缺乏大规模收割菰米的标准化采收规范,导致人工成本高,经济效益低,因此鲜有种植。翟成凯等^[6]于 2000 年统计中国十大湖泊的野生菰资源,结果表明,野生菰主要分布在华中水域,生长面积约有 488 km²,菰米产量预计每年可达 18 000 t。王惠梅等^[7]在 2015 年对中国境内野生菰资源进行了生境踏查,结果显示,我国野生菰面临生境日渐丧失的严峻态势,许多原先具有较大菰生物量的湖区,如今已难觅菰的踪迹。市面上菰米产品以北美菰米为主,中国菰米销售市场狭窄,产品形态仅去壳菰米一种,销售价格是五常大米的 14 倍。

2 菰米加工利用现状

2.1 蒸制

菰米最基础的食用方法与稻米基本一样,可以单独蒸煮或者与稻米掺合起来蒸煮为饭,叫作“菰米饭”或“雕胡饭”^[4]。Peres等^[8]研究发现,蒸煮工艺可以提升菰米的营养品质,对菰米中的花青素含量产生积极影响,避免胚乳的分解,减少烹饪过程中胚乳营养的损失。蒸煮过程使水溶性化合物(维生素和矿物质)从谷物的外层(糊粉层)迁移到胚乳,从而增加这些化合物的营养价值和生物利用度^[8]。苏嘉敏^[5]的研究表明,蒸制的菰米饭中关键的风味化合物有癸醛、十二醛、香叶基丙酮、2,5-二叔丁基酚,使得菰米饭增加清新的甜香口感。

2.2 煮制

苏嘉敏^[5]的研究中采用煮制的方式对菰米进行处理,对菰米粥的淀粉结构、理化性质以及感官特性进行分析,煮制会增强菰米淀粉表面有序度,煮制1.5 h菰米粥香气最佳,稠度适中。与生菰米相比,煮制使得菰米发生大量化学反应,例如美拉德反应和焦糖化反应,煮制菰米中醛类、酮类以及脂类氧化和氨基酸的分解可以生成大量对菰米风味有贡献作用的挥发性化合物^[5]。

2.3 菰米米片

菰米不含麸质,因此人们非常有兴趣将其添加到各种食物中以增强其营养成分,例如菰米米片。Sumczynski等^[9]以菰米为原料进行蒸煮—研磨—压片—烘干一系列加工方式制备出菰米米片。加工后的菰米米片含有多种生物活性物质和矿物质,包括吡哆醇、泛酸、叶酸、烟酸、硫胺素、铬、镁、锰、磷、锌、铜、钼和铁,可添加进日常食用范围^[9]。铝、镉、锡和汞的有毒膳食摄入量低于33%,符合联合国粮农组织/世界卫生组织为成人设定的有毒元素摄入量限值^[9]。

2.4 膨化

挤压膨化是一种集高温、高压和高剪切作用为一体的食品加工技术,在膨化休闲产品加工中应用广泛^[10]。通过挤压膨化,物料会发生蛋白质变性、淀粉糊化、可溶性膳食纤维溶出、抗营养因子减少、体积膨化等一系列变化,消化利用率和保藏性提升,深受市场消费者青睐^[11]。苏嘉敏^[5]研究发现膨化处理的菰米比蒸制和煮制淀粉含量更低,检测出的挥发性化合物种类最多,且含有生菰米和蒸煮菰米中没有的吡嗪类挥发性化合物,鲜味响应值均高于其他处理组,表明在不同熟制处理中膨化处理更加有利于菰米挥发性化合物的释放。除此之外,膨化技术在其他谷物加工中的应用也很广泛,包括黑麦、黑米、玉米、小麦、燕麦等^[12-13]。

3 菰米加工技术发展趋势

3.1 主食食品

3.1.1 菰米面条

在我国,面条是一种出现频率极高的食品,它不仅可以作为主食出现在人们的餐桌上,也可以作为小吃出现在我们的生活中。常规食用的面条主要是以小麦粉为原料制备而得。但随着人们对健康水平要求的增高,越来越多人将关注点放在了其他谷物上。Zhang等^[14]研究了过热蒸汽对燕麦和燕麦面条品质特性的影响,得出在过热蒸汽加工下的燕麦面条会获得更好的质构特征和口感品质。张文蕾^[15]以荞麦粉为原料,通过添加谷朊粉或不同筋力小麦粉来制备五成荞麦挂面,得到的荞麦面条硬度高、黏附小,感官评价筋道、爽滑。闫铭欢等^[16]在小麦面团中添加甜荞全谷物粉以改善小麦面团流变特性及鲜湿面条品质。菰米是与燕麦、荞麦同类型的全谷物,具有加工成为菰米面条的潜力,或者研磨成菰米粉作为功能型成分添加到面团里。目前,关于菰米面条的加工工艺与产品性状暂无相关文献报道。

3.1.2 菘米馒头

谷物在我国传统主食馒头中的应用研究较广,主要是针对谷物馒头的工艺、杂粮添加量对馒头品质的影响以及一些杂粮馒头的改良剂做了相关研究。但是,对混合杂粮馒头工艺的开发与研究也相对较少。菘米中含有丰富的膳食纤维,能够促进肠胃蠕动,改善便秘,预防肠癌的发生。把菘米粉和小麦粉混合制作成混合杂粮馒头能够得到营养比较高且食用品质也相对较好的馒头。

3.2 休闲食品

3.2.1 谷物棒

谷物棒是以谷物原料为主(藜麦、燕麦、大米、黑米等混合或单一使用),添加强化维生素、矿物质等微量营养素,用糖浆或其他有黏性的原料黏合后压成棒状(或片状),再经烘烤或不烘烤制成的一类休闲谷物食品^[17]。当前,高纤维、低脂肪的谷物棒产品更加符合市场的需求。我国的谷物棒原料和口味还很单一,营养成分不均衡,产品偏甜,口感和质地不能满足消费者的需求。谷物棒的营养成分虽然以碳水化合物为主,但是脂肪含量高,存在营养不均衡的问题^[18]。菘米是低脂肪、高膳食纤维的全谷物,加入谷物棒中可以有效解决谷物棒中脂肪含量高的问题,且菘米中多种生物活性物质含量丰富,包括类黄酮、植物甾醇、 γ -谷维素等,可以为谷物棒增添营养成分。

3.2.2 菘米饼干

常道柯等^[19]以黑小麦全麦粉为原料制备的黑小麦饼干硬度与脆性较低,口感佳。吕广英等^[20]使用赤藓糖醇作为甜味剂制备的无糖荞麦饼干口感酥松、香甜,苦荞风味突出,作为一种无糖功能型饼干,市场前景广阔。当前已有许多谷物被发掘可以加工为饼干或者添加到饼干内作为功能型成分。菘米作为一种营养物质含量丰富、健康的全谷物,也可以加工成饼干,丰富菘米市场。

3.3 发酵食品

发酵相比于蒸煮、研磨等传统加工方法,能够减少谷物营养成分损失,并可以改善谷物的风味及营养缺陷。江慧斌等^[21]以藜麦和黑大麦为原料,利用植物乳杆菌进行复合谷物发酵,得到的复合发酵谷物能显著促进游离酚和总酚物质的释放,改善酚类物质的生物有效性,增加复合发酵谷物的体外抗氧化活性。乳酸菌发酵谷物产生的有机酸、胞外多糖、特殊酶系等物质使发酵谷物具有提高免疫力、降血糖、降血压、降低胆固醇、抗肿瘤以及预防癌症等多种生物活性,符合人们对健康食品的需要^[22]。菘米中的营养成分含量丰富,适合进行发酵谷物的制作。

4 菘米的营养成分

4.1 菘米基本营养成分

4.1.1 碳水化合物

碳水化合物是菘米的主要能量来源,约占总营养素的 71%~84%,平均每 1 g 菘米所含总淀粉含量为 654.7 mg^[23-24](表 1)。淀粉颗粒大小影响米的糊化程度,并决定食用质量和在食品加工业中的用途^[25]。菘米中支链淀粉和水溶性淀粉与常规稻米相比含量更高^[23],支链淀粉含量高能够增强饱腹感,水溶性淀粉含量高有利于淀粉和水的相互作用,促进可溶性淀粉的溶解,因此,菘米较稻米相比更易消化^[26]。菘米是高膳食纤维谷物,含量大约在 38.5~54.0 mg/g,是全色素大米膳食纤维含量的 3 倍,全白米膳食纤维含量的 9 倍^[27]。

4.1.2 蛋白质

菘米所含蛋白质在全谷物类作物中较为丰富,其含量达到为 132.2 mg/g^[28],占总营养素的 10%~18%^[5],高于青稞(105 mg/g)、玉米(59 mg/g)、大米(75.8 mg/g)和小米(114.5 mg/g)等其他谷物(表 1)。菘米蛋白质属于优质蛋白,其蛋白质功效(2.75)比值高于精白面粉(0.6)、大米(2.18)和大豆(2.32)^[29]。此外,菘米中还含有丰富的必需氨基酸,包括苏氨酸、蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸和苯丙氨酸,其

他氨基酸包括丝氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、酪氨酸、丙氨酸、组氨酸、半胱氨酸、精氨酸和脯氨酸^[30]。菰米的第一限制性氨基酸为苏氨酸, 其含量丰富, 氨基酸评分为 84, 评分高于其他豆类和谷类^[24]。

4.1.3 脂质

谷物中的脂质不仅为人体提供能量, 还具有多种重要的生理功能, 但谷物中的脂质含量相对较低。菰米的脂质含量较多数谷物含量相比更低, 其含量为 10.7 mg/g^[28](表 1)。但菰米中脂肪酸的组成较其他谷物相比更具有优势, 菰米中必需脂肪酸的含量占比(55.6%~66.5%)明显高于糙米(36.9%~39.1%)^[23]。菰米中的主要脂肪酸及其占比为亚油酸(35.0%~37.0%)、亚麻酸(20.0%~31.0%)、棕榈酸(14.1%~18.4%)、硬脂酸(1.1%~1.3%)和油酸(12.8%~16.2%), 其中不饱和脂肪酸占据主要地位^[23]。较优的不饱和脂肪酸的组成分布赋予菰米具有调节血脂^[31]、清理血栓^[32]、增强机体免疫力^[33]等生理功能。

表 1 菰米与其他谷物基础营养成分含量对比

谷物种类	淀粉/(mg·g ⁻¹)	蛋白质/(mg·g ⁻¹)	脂质/(mg·g ⁻¹)	参考文献
菰米	654.7	132.2	10.7	[24、28]
青稞	621.0	105.0	32.0	[34]
玉米	764.1	59.0	36.4	[35]
荞麦	606.8	147.1	17.8	[36]
燕麦	503.2	148.1	99.6	[36]
小米	722.5	114.5	38.4	[36]
大米	756.8	75.8	10.8	[36]
藜麦	598.7	153.9	84.6	[37]

4.1.4 维生素

谷物中的维生素主要为 B 族维生素和维生素 E(表 2)。B 族维生素是促进体内新陈代谢不可或缺的化合物^[38]。菰米中维生素 B₁ 和维生素 B₂ 含量高于市面上常见的部分谷物, 例如大米和小米等, 但维生素 B₃ 的含量相对较低。与菠菜、西兰花等蔬菜相比, 菰米中维生素 B₁、B₂ 的含量高于绿叶蔬菜, 特别是维生素 B₁ 的含量为蔬菜的 6~12 倍^[39]。这表明食用菰米等谷物可以保证人体摄入维生素的平衡, 以此保障人体健康。维生素 E 是一种脂溶性维生素, 是菰米中的主要抗氧化剂之一^[40]。菰米中维生素 E 的含量与最常食用的大米相近, 但远低于其他谷物, 如荞麦、小米等。此外, 种植地域不同, 菰米中维生素含量也有一定差异, 例如中国菰米的铁、维生素 B₁ 和维生素 E 含量高于北美菰米, 而北美菰米的蛋氨酸、锌和维生素 B₂ 含量高于中国菰米^[41]。

表 2 菰米与其他谷物维生素含量对比

谷物种类	维生素 B ₁ / (mg·g ⁻¹)	维生素 B ₂ / (mg·g ⁻¹)	维生素 B ₃ / (mg·g ⁻¹)	维生素 E / (mg·g ⁻¹)	参考文献
菰米	0.003~0.009 5	0.001 6~0.002 4	0.003 6~0.006 2	0.004 8	[5、23]
燕麦	0.008 7±0.001	0.002 2±0.000 2	0.009 3±0.000 7	0.010 1±0.000 7	[36]
荞麦	0.002 8±0.000 2	0.001 6±0.000 1	0.022 3±0.001 2	0.043 9±0.002 4	[36]
藜麦	0.003 8±0.000 7	0.003 2±0.000 1	0.015 3±0.000 2	0.023 4±0.002 1	[36]
大米	0.001 2±0.000 1	0.000 5±0.000 1	0.025 8±0.001 3	0.004 6±0.000 1	[36]
小米	0.003 4±0.000 1	0.001 1±0.000 3	0.017 1±0.001	0.035 6±0.001 4	[36]

4.2 菰米的植物化学物

4.2.1 酚类化合物

酚类化合物是由莽草酸、苯丙烷和乙酸代谢途径合成的一类广泛存在于植物体内的次生代谢产物,

其种类繁多且结构复杂,广泛存在于植物体的果实、皮、根和叶等组织器官中^[42]。谷物中酚类化合物主要分为酚酸化合物和类黄酮^[43-46]。菰米中主要酚酸化合物和黄酮类化合物的分子式如图 2 和图 3 所示。阿魏酸、芥子酸和香豆酸是谷物类食品中最普遍存在的酚酸类化合物^[47]。菰米中阿魏酸是含量最丰富的酚酸,最高含量为 0.355 mg/g^[1];其次是芥子酸,含量为 0.055~0.096 mg/g^[1]。菰米作为一种全谷物,与白米相比,含有更多的酚类化合物,生菰米的总酚含量(0.419~0.588 mg/g 没食子酸当量)是白米总酚含量(0.046 mg/g 没食子酸当量)的 9~13 倍^[1]。黄酮类化合物是植物中关键的次生代谢产物,广泛存在于各种植物中,包括水果、蔬菜、谷物和豆科植物^[48]。菰米中的黄酮类化合物包括儿茶酚、表儿茶素、表没食子儿茶素、槲皮素、芦丁、原花青素 B₁、原花青素 B₂^[49]。在菰米萌发过程中,表没食子儿茶素含量逐渐增加,而儿茶素、槲皮素、原花青素 B₁ 和原花青素 B₂ 含量变化不显著^[49]。与其他大部分谷物相比,儿茶酚是菰米中特有的酚类化合物^[48]。儿茶酚可以作为前体物质产生儿茶酚-黑色素,具有促进免疫、预防胃溃疡、抗肿瘤和抗炎等作用,使菰米对人体的健康具有较多的益处^[50]。

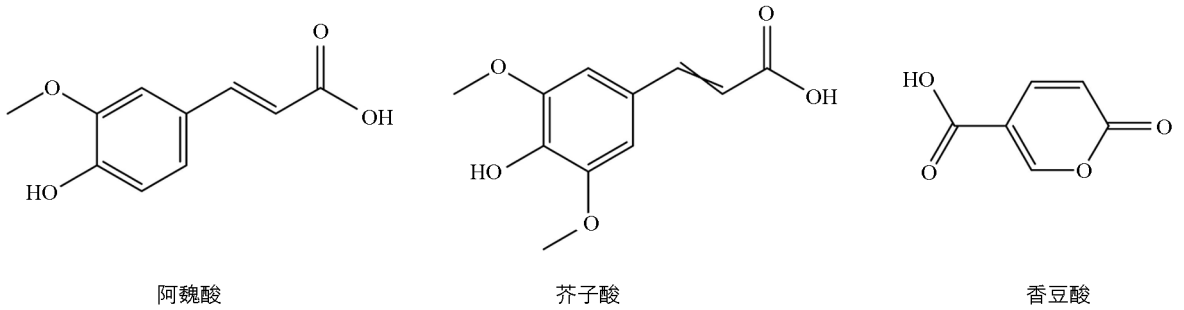


图 2 菰米中主要酚酸的分子式

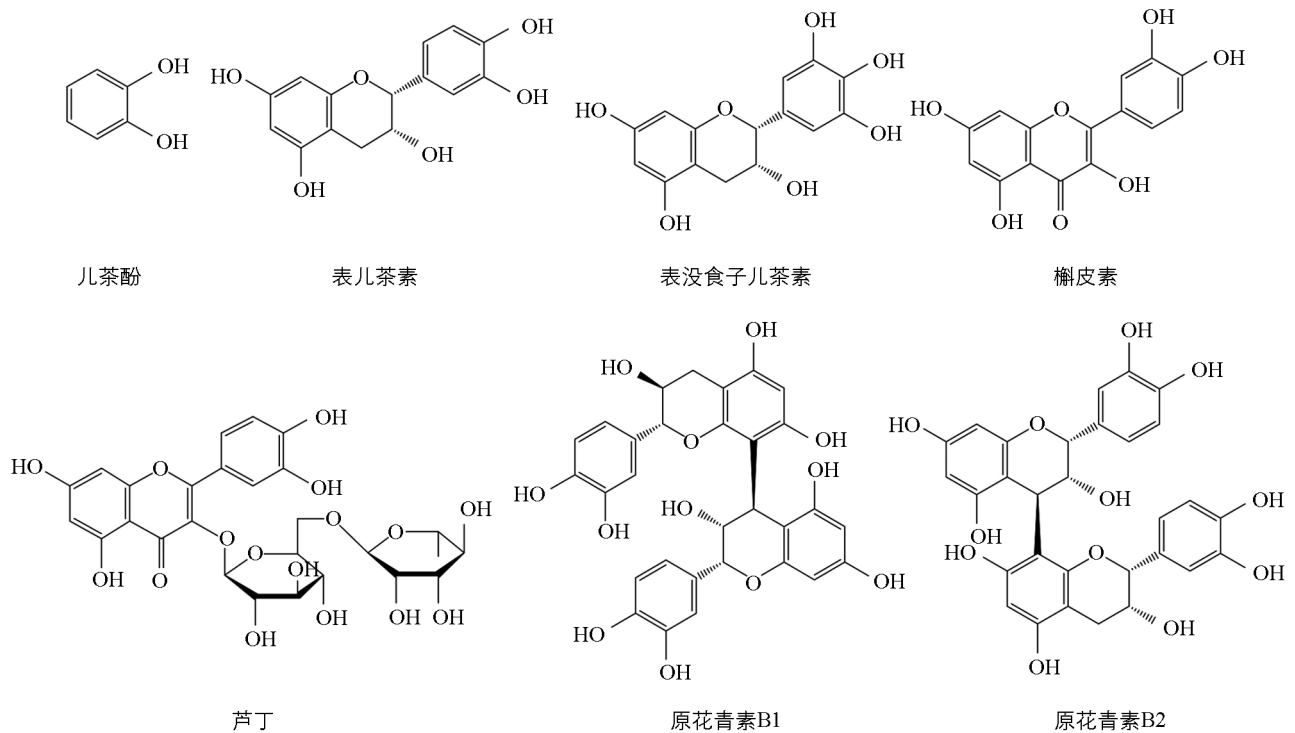


图 3 菰米中主要黄酮类化合物的分子式

4.2.2 植物甾醇

植物甾醇是一种天然的类固醇化合物,也是植物体内一类重要的活性成分,主要存在于植物油

中^[51]。近年来研究发现, 植物甾醇对防治心血管疾病、肝肾疾病、糖尿病和癌症等多种疾病具有重要作用。植物甾醇主要从植物来源的食物中获得, 不能在人类或动物体内合成^[52]。菰米中植物甾醇的种类和含量都较为丰富, 包括菜油甾醇、 β -谷甾醇和环萜烯醇, 菰米植物甾醇总量为 70~145 mg/g^[53], 韩军花等^[54]测定了 25 种谷物植物甾醇的含量, 平均值为 0.460 3 mg/g, 显著低于菰米中的植物甾醇总量(70~145 mg/g)。在菰米中发现的其他甾醇还有 2, 4-亚甲基环萜烯醇、豆甾醇、氯罗酚、2, 3-脱氢谷甾醇、禾米司醇、枸橼二烯醇和 Δ^7 -阿维甾醇等^[23]。

4.2.3 γ -谷维素

γ -谷维素是植物甾醇阿魏酸酯的混合物, 主要由 24-亚甲基环阿魏酸酯、菜烯醇阿魏酸酯、环萜烯基阿魏酸酯和 β -谷甾醇阿魏酸酯组成^[55]。 γ -谷维素已被证明可以抑制血管中胆固醇的吸附, 降低患心脏病的风险, 并刺激激素功能以增强体内肌肉生长^[56]。Aladedunye 等^[57]从菰米中分离出 23 种 γ -谷维素组分, 总 γ -谷维素含量范围为 0.85~1.352 mg/g, 其中环萜烯醇反阿魏酸酯、24-亚甲基环木菠萝烷醇阿魏酸酯、菜油甾醇反阿魏酸酯和谷甾醇反阿魏酸酯是菰米 γ -谷维素中主要成分, 约占 γ -谷维素总量的 75%。同时, 与普通糙米相比, 菰米的 γ -谷维素组分种类更多且含量更高^[57]。

4.2.4 γ -氨基丁酸

γ -氨基丁酸(Gamma-aminobutyric acid, GABA)是一种非蛋白质氨基酸, 在脊椎动物、植物和微生物中广泛存在^[58]。 γ -氨基丁酸具有良好的水溶性与热稳定性, 可在人体内自发形成并迅速降解, 因此它作为一种安全无副作用的保健食品原料, 在食品工业中具有广泛的应用。糙米、大麦、青稞、藜麦等多种谷物中均含有 γ -氨基丁酸, 已作为 γ -氨基丁酸富集原料进行生产利用^[55]。Chu 等^[30]在研究中发现 γ -氨基丁酸在菰米发芽过程中积累, 发芽菰米中 γ -氨基丁酸含量从 0.075 82 mg/g 逐渐增加到 1.465 21 mg/g, 且存在 4 种谷氨酸脱羧酶参与菰米中 γ -氨基丁酸的生物合成。这 4 种谷氨酸脱羧酶在菰米萌发后期基因表达的增加和谷氨酸的逐渐积累, 是 γ -氨基丁酸在发芽过程中在菰米中积累的原因^[30]。菰米和其他谷物中 γ -氨基丁酸的含量对比如表 3 所示, 菰米中的 γ -氨基丁酸的含量是青稞的 3 倍、藜麦的 7 倍、糙米的 20 倍。由于 γ -氨基丁酸在哺乳动物体内是一种抑制性神经递质, 有保护神经元的作用, 因此食用菰米比食用其他谷物更有利于精神和心理健康^[59]。

表 3 菰米与其他谷物生物活性成分含量对比

谷物种类	植物甾醇/ (mg · g ⁻¹)	酚类化合物/ (mg · g ⁻¹)	γ -谷维素/ (mg · g ⁻¹)	γ -氨基丁酸/ (mg · g ⁻¹)	参考文献
菰米	70~145(脂质)	0.419~0.588	0.459~0.73	1.465 21	[1、8、29、39]
糙米	—	0.4~0.7	0.26~0.63	0.038 9~0.077 1	[60—62]
青稞	0.6	0.339~0.46	—	0.4	[63]
荞麦	0.962 1	0.456 66	—	—	[64]
燕麦	0.657 4	0.612 5	0.78	—	[65—66]
藜麦	1.18	0.717	—	0.224 1	[67—68]

注：“—”表示未见报道。

5 展望

菰米作为一种具有丰富营养价值和独特魅力的古老粮食作物, 正迎来新的发展机遇。在未来, 菰米种植应当先聚焦于选育稳定性高、抗病性强的品种, 再大范围扩大种植, 优化农业产业结构。菰米中植物甾醇、 γ -谷维素和 γ -氨基丁酸的含量远超荞麦、青稞、藜麦等其他全谷物, 但目前对菰米的研究大多停留在物质含量上, 关于菰米中生物活性物质的研究较为罕见。菰米作为曾经的主食, 现有的加工形式仅停留在传统的蒸、煮、膨化等初级加工方式, 暂无精深加工, 今后研究和开发菰米新产品时, 可将适用于其他全谷

物的加工方法在菰米上进行尝试,也可将菰米作为提升营养价值的成分添加进食品中。近年来,针对菰米大多加工工艺仍然还处于实验室研究阶段,大规模加工过程中如何保证产品的稳定性、安全性、营养品质以及产品标准统一等瓶颈问题亟待解决。针对以上问题,食品加工行业应积极开发菰米精深加工产品,提升菰米经济效益。

参考文献:

- [1] 谭斌. 全谷物营养健康与加工 [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [2] YU X T, QI Q Q, LI Y L, et al. Metabolomics and Proteomics Reveal the Molecular Basis of Colour Formation in the Pericarp of Chinese Wild Rice (*Zizania latifolia*) [J]. *Food Research International*, 2022, 162: 112082.
- [3] 于秀婷, 祁倩倩, 李亚丽, 等. 中国菰米与稻米甲醇提取物体外酶抑制作用分析 [J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(12): 191-197.
- [4] 刘菲. 雕胡饭熟醞酬软——从餐桌上渐渐消失的菰米 [J]. *中国粮食经济*, 2023(2): 77-79.
- [5] 苏嘉敏. 中国菰米营养成分比较及熟制方式对其品质的影响研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2023.
- [6] 翟成凯, 孙桂菊, 陆琮明, 等. 中国菰资源及其应用价值的研究 [J]. *资源科学*, 2000, 22(6): 22-26.
- [7] 王惠梅, 谢小燕, 苏晓娜, 等. 中国菰资源研究现状及应用前景 [J]. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(2): 279-288.
- [8] PERES B B, DA COSTA CORRÊA CAÑIZARES L, DO NASCIMENTO L Á, et al. Parboiling Process Improves Phytochemical, Chemical, and Technological Properties of Wild Rice (*Zizania* spp.) [J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2023, 50: 102718.
- [9] SUMCZYNSKI D, KOUBOVÁ E, ŠENKÁROVÁ L, et al. Rice Flakes Produced from Commercial Wild Rice: Chemical Compositions, Vitamin B Compounds, Mineral and Trace Element Contents and Their Dietary Intake Evaluation [J]. *Food Chemistry*, 2018, 264: 386-392.
- [10] 刘畅, 孟倩楠, 刘晓飞, 等. 挤压膨化技术及其应用研究进展 [J]. *饲料研究*, 2021, 44(4): 137-140.
- [11] 张文刚. 藜麦紫薯挤压膨化食品加工工艺优化及品质分析 [J]. *农产品加工*, 2023(12): 29-33.
- [12] 邱婷婷, 熊华, 朱雪梅, 等. 滚筒干燥和挤压膨化对黑色谷物理化性质及储藏稳定性的影响 [J]. *食品科学*, 2020, 41(21): 73-83.
- [13] 刘超, 贺雅非, 李雪, 等. 谷物组成对挤压膨化产品品质的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(24): 105-110, 118.
- [14] ZHANG N C, GAO Y Q, TONG L T, et al. Superheated Steam Processing Improved the Qualities of Oats Flour and Noodles [J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 83: 96-100.
- [15] 张文蕾. 五成荞麦挂面的加工品质改良方法及其机制研究 [D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2019.
- [16] 闫铭欢, 贺家亮, 王立博, 等. 甜荞全谷物粉对小麦面团流变特性及鲜湿面条品质的影响 [J]. *食品科学*, 2024, 45(10): 72-79.
- [17] 吴晓春, 喻勤, 严建刚. 谷物棒糕点的工艺研究及 HACCP 控制 [J]. *食品安全导刊*, 2021(28): 42-44.
- [18] 陈逸鹏, 梁建芬. 谷物棒产品研究进展 [J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(5): 17-19.
- [19] 常道柯, 田潇凌, 林顺顺, 等. 不同制粉方式对黑小麦全麦粉及饼干品质影响 [J/OL]. *食品与发酵工业*, (2024-01-16) [2024-06-01]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SPFX202421033.htm>.
- [20] 吕广英, 韩晓宇, 陈赫帆. 无糖苦荞饼干的制作及工艺优化 [J]. *江苏调味副食品*, 2023, 40(4): 24-26.
- [21] 江慧斌, 聂攀, 吕玮, 等. 藜麦与黑大麦复合谷物发酵富集多酚和黄酮工艺优化及其生物有效性研究 [J]. *食品工业科技*, (2023-09-20) [2024-05-25]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SPKJ202406017.htm>.
- [22] 马春敏, 付佳宁, 吴巧艳, 等. 乳酸菌发酵在谷物产品中的应用及研究进展 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(22): 29-38.
- [23] YU X T, CHU M J, CHU C, et al. Wild Rice (*Zizania* spp.): a Review of Its Nutritional Constituents, Phytochemicals, Antioxidant Activities, and Health-Promoting Effects [J]. *Food Chemistry*, 2020, 331: 127293.
- [24] 赵军红, 翟成凯. 中国菰米及其营养保健价值 [J]. *扬州大学烹饪学报*, 2013, 30(1): 34-38.
- [25] RAHMAN S, COPELAND L, ATWELL B J, et al. Impact of Elevated Atmospheric CO₂ on Aleurone Cells and Starch

- Granule Morphology in Domesticated and Wild Rices [J]. *Journal of Cereal Science*, 2022, 103: 103389.
- [26] 冯小兰. 菰米的营养成分及其健康功效 [J]. *食品与机械*, 2023, 39(1): 179-185.
- [27] MASSARETTO I L, RIVERO MEZA S L, SCHMIELE M, et al. Nutritional Characterization and Effect of Cooking on Phenolic Compounds, Antioxidant Capacity and Sensory Acceptability of Commercial Wild Rice (*Zizania aquatica* L.) [J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2023, 50: 102705.
- [28] 翟成凯, 张小强, 孙桂菊, 等. 中国菰米的营养成分及其蛋白质特性的研究 [J]. *卫生研究*, 2000, 29(6): 375-378.
- [29] 楚美俊. 中国菰米酚类成分及生物活性研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [30] CHU C, YAN N, DU Y M, et al. ITRAQ-Based Proteomic Analysis Reveals the Accumulation of Bioactive Compounds in Chinese Wild Rice (*Zizania latifolia*) during Germination [J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 635-644.
- [31] SELLEM L, EICHELMANN F, JACKSON K G, et al. Replacement of Dietary Saturated with Unsaturated Fatty Acids Is Associated with Beneficial Effects on Lipidome Metabolites: a Secondary Analysis of a Randomized Trial [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2023, 117(6): 1248-1261.
- [32] LI J L, HU X F, YU C W, et al. Rapid Screening of Oxidized Metabolites of Unsaturated Fatty Acids in Edible Oil by NanoESI-MS/MS [J]. *LWT*, 2023, 175: 114468.
- [33] YU W J, HE Z S, LUO X H, et al. Molecular Modulating of Amylopectin's Structure Promoted the Formation of Starch-Unsaturated Fatty Acids Complexes with Controlled Digestibility and Improved Stability to Oxidation [J]. *Food Chemistry*, 2024, 441: 138280.
- [34] 张艳珍, 曹文秀, 王菲. 鲜食青稞加工工艺研究 [J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(12): 58-63.
- [35] 吴卓昊, 宋春丽, 董强, 等. 三种改性方式对全谷物玉米粉营养成分及加工特性的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(18): 186-193.
- [36] 吴静仪, 江蕾, 任伟忠, 等. 11 种全谷物杂粮营养成分分析及其蒸煮特性评价 [J]. *武汉轻工大学学报*, 2022, 41(5): 8-14.
- [37] DEV R, GUPTA M. Elucidating the Physical, Chemical, Functional and Antioxidant Properties of Protein-Rich Quinoa (*Chenopodium Quinoa*) Crisp [J]. *Food and Humanity*, 2024, 2: 100205.
- [38] LEBIEDZIŃSKA A, SZEFER P. Vitamins B in Grain and Cereal-Grain Food, Soy-Products and Seeds [J]. *Food Chemistry*, 2006, 95(1): 116-122.
- [39] 黄玲, 李飞妍. 炒对蔬菜中维生素 B₁、B₂、C 含量的影响 [J]. *食品安全导刊*, 2017(22): 80-82.
- [40] MIYAZAWA T, NAKAGAWA K, SOOKWONG P. Health Benefits of Vitamin E in Grains, Cereals and Green Vegetables [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2011, 22(12): 651-654.
- [41] ZHAI C K, LU C M, ZHANG X Q, et al. Comparative Study on Nutritional Value of Chinese and North American Wild Rice [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2001, 14(4): 371-382.
- [42] 李昱昊, 宋萧萧, 聂少平, 等. 综述杂豆酚类化合物多样性的影响因素 [J]. *中国食品学报*, 2024, 24(1): 390-406.
- [43] 李诺, 张东杰, 张桂芳, 等. 体外消化对苦荞酚类物质含量及抗氧化活性的影响 [J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2023, 35(5): 43-50.
- [44] 宋伟, 温瑞雪, 罗卓婷, 等. 微生物发酵提升燕麦营养品质研究进展 [J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(7): 228-237.
- [45] 田程飘, 龙凌云, 刘功德, 等. 广泛靶向代谢组学分析不同采收期紫黑香米和普通大米成分差异 [J]. *食品科学*, 2024, 45(1): 125-132.
- [46] 侯锐骁, 吴祎林, 张路祎, 等. 大米中黄酮和脂肪酸成分及抗氧化性能的分析 [J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 451-454.
- [47] 徐汇, 梅新, 李书艺, 等. 非生物胁迫对发芽谷物多酚的影响研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(20): 330-335.
- [48] CHEN G L, FAN M X, WU J L, et al. Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of Flavonoids from Lotus Plumule [J]. *Food Chemistry*, 2019, 277: 706-712.
- [49] CHU C, DU Y M, YU X T, et al. Dynamics of Antioxidant Activities, Metabolites, Phenolic Acids, Flavonoids, and Phenolic Biosynthetic Genes in Germinating Chinese Wild Rice (*Zizania latifolia*) [J]. *Food Chemistry*, 2020, 318: 126483.

- [50] 沈玥祺, 吴文标. 食品及其原料中的黑色素研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(10): 405-416.
- [51] WANG Y L, LIU B K, HU Y, et al. Phytosterol Intake and Risk of Coronary Artery Disease: Results from 3 Prospective Cohort Studies [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2024, 119(2): 344-353.
- [52] CORRÊA R C G, PERALTA R M, BRACHT A, et al. The Emerging Use of Mycosterols in Food Industry along with the Current Trend of Extended Use of Bioactive Phytosterols [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 67: 19-35.
- [53] MOGHADASIAN M H, ALSAIF M, LE K, et al. Combination Effects of Wild Rice and Phytosterols on Prevention of Atherosclerosis in LDL Receptor Knockout Mice [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2016, 33: 128-135.
- [54] 韩军花, 冯妹元, 王国栋, 等. 常见谷类、豆类食物中植物甾醇含量分析 [J]. 营养学报, 2006, 28(5): 375-378.
- [55] LEMUS C, ANGELIS A, HALABALAKI M, et al. Γ -Oryzanol [M] //Wheat and Rice in Disease Prevention and Health. Amsterdam: Elsevier, 2014: 409-430.
- [56] DAISUK P, SHOTIPRUK A. Recovery of Γ -Oryzanol from Rice Bran Oil Soapstock Derived Calcium Soap: Consideration of Hansen Solubility Parameters and Preferential Extractability in Various Solvents [J]. LWT, 2020, 134: 110238.
- [57] ALADEDUNYE F, PRZYBYLSKI R, RUDZINSKA M, et al. Γ -Oryzanols of North American Wild Rice (*Zizania palustris*) [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2013, 90(8): 1101-1109.
- [58] 王雪, 刘金洋, 丁振江, 等. 植物基饮品中 γ -氨基丁酸(GABA)的富集工艺、消化吸收特性及其抗焦虑作用研究 [J/OL]. 食品与发酵工业, (2023-12-25) [2024-06-16]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SPFX202421025.htm>.
- [59] 李瑶, 王雷, 孙鑫, 等. γ -氨基丁酸生物学功能研究进展 [J]. 农业与技术, 2024, 44(10): 12-14.
- [60] 高琨, 姜平, 谭斌, 等. 稻米及其加工副产物米糠中 γ -谷维素研究现状 [J]. 粮油食品科技, 2021, 29(5): 91-98.
- [61] 金国明, 陈笑笑, 严国伟, 等. 发芽糙米 γ -氨基丁酸富集、调控及其功能食品研究进展 [J/OL]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), (2024-01-03) [2024-06-17]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-ZJNY202403004.htm>.
- [62] 汪昱柯, 王冕, 王晓晴, 等. 发芽对不同品种糙米 γ -氨基丁酸及酚类物质累积的调控作用 [J/OL]. 食品与发酵工业, (2023-09-14) [2024-07-18]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTOTAL-SPFX202415035.htm>.
- [63] 邓鹏, 张婷婷, 王勇, 等. 青稞的营养功能及加工应用的研究进展 [J]. 中国食物与营养, 2020, 26(2): 46-51.
- [64] 姚惠, 赵彬, 崔洁媚, 等. 4 种典型谷物中酚类化合物的抗氧化和抗癌细胞增殖活性 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(14): 71-75, 93.
- [65] CHEN C, WANG L, WANG R, et al. Phenolic Contents, Cellular Antioxidant Activity and Antiproliferative Capacity of Different Varieties of Oats [J]. Food Chemistry, 2018, 239: 260-267.
- [66] 张园园, 霍瑞, 乔健敏, 等. 响应面法优化即食燕麦粥配方工艺 [J]. 食品工业, 2023, 44(10): 17-23.
- [67] LAN Y L, ZHANG W G, LIU F G, et al. Recent Advances in Physiochemical Changes, Nutritional Value, Bioactivities, and Food Applications of Germinated Quinoa: a Comprehensive Review [J]. Food Chemistry, 2023, 426: 136390.
- [68] 于跃, 顾音佳. 藜麦的营养物质及生物活性成分研究进展 [J]. 粮食与油脂, 2019, 32(5): 4-6.

责任编辑 王新娟