

菰米的营养成分及其健康功效

The nutritional components and health benefits of *Zizania latifolia*

冯小兰

FENG Xiao-lan

(江苏旅游职业学院烹饪科技学院, 江苏 扬州 225007)

(College of Science and Technology, Jiangsu College of Tourism, Yangzhou, Jiangsu 225007, China)

摘要:从菰米的营养成分、健康功效、活性机制和未来的研究重点等方面概述了近年来国内外关于菰米的研究进展,并对菰米的进一步研究开发与综合利用进行了展望。

关键词:菰米;全谷物;营养成分;健康功效;活性机制

Abstract: This review summarized the domestic and abroad research progress of *Zizania latifolia* in recent years, from the aspects of its nutritional components, health effects, bioactive mechanisms and future research priorities. Moreover, the further research, development and comprehensive utilization of *Z. latifolia* were also prospected.

Keywords: *Zizania latifolia*; whole grain; nutrition component; health benefit; bioactive mechanism

菰米(*Zizania* spp.)是多年生水生植物菰(*Zizania latifolia*)的颖果,属于禾本科稻亚科稻族菰属植物^[1],是一种大型水草,具有中空的圆柱形茎和较长而窄的叶片,形似于小麦、大麦和燕麦等谷物^[2]。全世界主要有 4 种菰属植物,分别是 *Zizania palustris* L.、*Zizania aquatica* L.、*Zizania texana* H. 和 *Zizania latifolia* G.,前 3 种原产于北美地区,最后一种广泛分布于中国、日本和越南等东亚国家^[3-4]。菰米较高的营养价值和优良的感官品质,一直是北美五大湖地区美洲原住民的重要能量来源,在中国唐代就被列为中药收录于大量本草著作中^[5]。与大米和小麦等其他谷物一样,菰米的主要成分为淀粉(74%)和蛋白质(14%),还含有膳食纤维(6.8%)、脂质(1.7%)、灰分(1.8%)等次要成分^[6-8]。菰米被认为是抗氧化成分的重要来源,这主要与其含有丰富的多不饱和脂肪酸(亚油酸和亚麻酸)、植物化学物(如 γ -谷维素、植物甾醇、酚类物质等)有关^[2]。研究拟从菰米的营养成分

和健康功效等方面对近年来菰米的研究结果进行全面总结,以期进一步阐明菰米作为功能性食品的潜在能力,为菰米及其相关产品的开发研究提供依据。

1 菰米的营养组成

1.1 蛋白质

菰米含有丰富的蛋白质和必需氨基酸,如表 1^[9-13]所示。蛋白质效率比(PER)是用来描述在特定时间内体重增加与消耗蛋白质克数的比值,可用于评估蛋白质的营养价值^[14]。菰米中蛋白质除了含量丰富外,还具有较高的营养价值,其 PER 值(1.72~1.76)高于大麦(1.6)、玉米(1.4)、黑麦(1.3)和小麦(0.9)^[3],与燕麦(1.8)和普通大米(1.8)相当^[15],但明显低于作为标准蛋白的酪蛋白(2.5)^[16]。相比于其他谷物,菰米具有较高的 PER 值,部分原因可能是由于在其氨基酸组成中,醇溶性的脯氨酸比例较低,而作为必需氨基酸的赖氨酸比例较高^[17]。与其他谷物中氨基酸组成及含量相比,菰米的必需氨基酸含量(4.24~5.44)高于普通大米(2.75~3.24)、燕麦(3.50~5.11)和小麦(3.77~5.14),赖氨酸水平明显高于其他谷物,该氨基酸是确保菰米蛋白质营养质量的关键因素。菰米中的硫氨基酸(如甲硫氨酸和半胱氨酸)含量也明显高于普通大米、燕麦和小麦,这对于菰米能够调节脂质代谢、缓解机体氧化损伤和预防心血管疾病具有重要意义^[18-19]。

1.2 脂质

由表 2^[4,9,20-22]可知,菰米中脂质含量为 0.7~1.1 g/100 g^[4],明显低于普通大米(2.6~2.8 g/100 g)、燕麦(2.9~6.1 g/100 g)、大麦(1.2~3.1 g/100 g)和小麦(1.2~5.4 g/100 g),因此在日常膳食中添加菰米具有一定的减肥效果。除菰米中脂质含量较低外,菰米的脂肪酸组成亦优于其他谷物,其多不饱和脂肪酸中亚油酸和亚麻酸含量分别为 35.0~37.7, 20.1~31.5 g/100 g,而普通大米中仅含有 29.2~37.5 g/100 g 亚油酸和 1.0~

基金项目:江苏省高等教育学会课题(编号:2021JSJG479)

作者简介:冯小兰(1979—),女,江苏旅游职业学院副教授,硕士。

E-mail: 369908906@qq.com

收稿日期:2022-06-11 **改回日期:**2022-09-23

表 1 菰米与其他谷物中蛋白质及氨基酸含量比较^[9-13]

Table 1 Comparison of protein and amino acid content in <i>Z. latifolia</i> and other grains					g/100 g				
指标	菰米	普通大米	燕麦	小麦	指标	菰米	普通大米	燕麦	小麦
蛋白质	11.95~15.15	7.10~8.30	11.38~17.75	11.60~17.22	精氨酸	0.99~1.34	0.55~0.68	0.78~1.20	0.48~0.72
缬氨酸	0.62~0.83	0.39~0.46	0.53~0.75	0.58~0.69	天冬氨酸	1.04~1.43	0.63~0.87	0.75~1.12	0.32~0.55
异亮氨酸	0.44~0.58	0.25~0.31	0.38~0.57	0.48~0.57	半胱氨酸	0.34~0.40	0.19~0.21	0.25~0.50	0.21~0.30
亮氨酸	0.85~1.11	0.61~0.66	0.77~1.01	0.96~1.03	谷氨酸	2.21~2.79	1.37~1.61	1.97~3.34	3.16~5.05
苯丙氨酸	0.57~0.78	0.34~0.38	0.46~0.74	0.67~0.72	甘氨酸	0.53~0.69	0.30~0.46	0.51~0.76	0.40~0.51
甲硫氨酸	0.28~0.35	0.13~0.24	0.17~0.23	0.18~0.24	脯氨酸	0.31~0.44	0.23~0.31	0.71~0.86	1.31~1.60
苏氨酸	0.40~0.51	0.23~0.28	0.36~0.52	0.36~0.44	丝氨酸	0.60~0.77	0.35~0.49	0.43~0.77	0.23~0.63
色氨酸	0.16~0.25	0.09~0.14	0.14~0.22	0.18~0.26	酪氨酸	0.39~0.53	0.32~0.43	0.28~0.50	0.22~0.26
赖氨酸	0.55~0.73	0.23~0.34	0.37~0.56	0.28~0.42	必需氨基酸	4.24~5.44	2.75~3.24	3.50~5.11	3.77~5.14
组氨酸	0.36~0.43	0.16~0.23	0.29~0.56	0.28~0.35	总氨基酸	11.34~14.63	7.48~8.57	10.11~15.40	10.72~14.97
丙氨酸	0.62~0.81	0.30~0.47	0.48~0.67	0.22~0.33					

1.7 g/100 g 亚麻酸。Aizawa 等^[23] 研究发现,日本菰米(*Zizania palustris* L.)中含有大量的多不饱和脂肪酸,其中亚油酸和亚麻酸含量分别为 41,22 g/100 g,而菰米中饱和脂肪酸(棕榈酸和硬脂酸)比例明显低于燕麦、大麦和小麦,因此菰米中的脂质及脂肪酸组成对提高菰米的营养具有较高贡献。

1.3 碳水化合物

碳水化合物是指包括淀粉、果胶、膳食纤维和糖类等在 内的一类具有广谱化学结构和生物功能的有机化合物^[24],是菰米的主要能量来源,大约占其宏量营养素的 71%~84%^[25],略低于糙米(77.4%)^[26]和精制大米(80.5%),而高于燕麦(68.2%)、小麦(71.7%)和玉米(72.2%)^[7]。菰米中含有 60%~65%的淀粉,与普通大米淀粉相比有着不同的类型和质量,前者含有更多的快速消化淀粉(RDS)和更低的慢速消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)^[27]。淀粉的膨胀能力反映了淀粉的吸水程度,水溶性指数则反映了淀粉的溶解程度^[28],菰米淀粉的膨胀能力(21.2~22.3)和水溶性指数(19.0~22.6)明显高于普通大米(9.55,6.22)^[8,29],说明较高的膨胀能力和水溶性指数能够改善淀粉—水相互作用,促进水分子进入直链淀粉与支链淀粉,促进可溶性淀粉的溶解^[30]。

菰米也是高膳食纤维谷物,总膳食纤维含量(6.2%)

大约是普通大米(1.3%)和糙米(3.5%)的 5 倍和 2 倍,而不溶性膳食纤维占比 3.3%,可溶性膳食纤维占比 0.8%^[25,31]。血糖指数(GI)能够反映碳水化合物被消化和吸收的速度,其值决定了碳水化合物对机体血糖水平的影响程度,GI 值越低,说明摄入该食物时体内血糖水平上升得越慢^[32]。菰米的 GI 值为 53.72,明显低于馒头(88.1)和小麦面条(81.6)^[3,33],同时也满足 Augustin 等^[34]对低 GI 值食物(GI 值<55)的界定。因此由于菰米中丰富的蛋白质和膳食纤维,具有较低的 GI 值,在摄入一定量的菰米后,能够有效防止餐后血糖升高,此外对于预防消化系统疾病、肥胖、2 型糖尿病和心血管疾病等有潜在的功 效。

1.4 植物化学物

1.4.1 植物甾醇 植物甾醇是不同植物细胞膜中天然存在的成分,具有显著的药理作用,可作为抗炎、抗氧化、抗糖尿病和抗动脉粥样硬化的潜在活性成分^[35]。菰米中总甾醇含量达到 70~145 mg/g 脂质,显著高于糙米中的(27 mg/g 脂质)^[4],其主要的甾醇为 β -谷甾醇、菜油甾醇和环阿屯醇,分别占比 19%~33%,14%~52%,5%~12%^[3]。其他含量较低的次要甾醇,如豆甾醇(3.7%~6.5%)、2,3-脱氢谷甾醇(1.1%~3.4%)、柠檬二烯醇(1.0%~5.0%)和禾本甾醇(1.8%~3.2%)等在菰米中也

表 2 菰米与其他谷物中脂质和脂肪酸含量比较^[4,9,20-22]

Table 2 Comparison of lipid and fatty acid content in <i>Z. latifolia</i> and other grains							g/100 g	
样品	脂质	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸		
菰米	0.7~1.1	14.1~18.4	1.0~1.3	12.9~16.2	35.0~37.7	20.1~31.5		
普通大米	2.6~2.8	15.1~20.4	1.9~2.1	39.2~41.6	29.2~37.5	1.0~1.7		
燕麦	2.9~6.1	15.8~22.0	1.6~2.0	26.8~41.2	38.0~42.5	1.3~2.1		
大麦	1.2~3.1	23.3~27.6	1.0~1.7	10.4~17.1	53.7~57.4	4.5~6.7		
小麦	1.2~5.4	17.0~24.5	1.0~2.1	8.3~21.0	55.1~59.8	3.4~4.9		

有报道^[4]。

1.4.2 维生素 维生素是一类机体为维持正常的生理功能的微量有机物质,对于人体生长、代谢和发育发挥着重要的作用^[36]。大量研究^[2-3,9]表明,菰米中含有含量丰富的B族维生素,其中中国菰米(*Zizania latifolia*)和北美菰米(*Zizania aquatica* L.)中维生素B₁(硫胺素)含量分别为0.52~0.63,0.36~0.50 mg/100 g,维生素B₂(核黄素)含量分别为0.07~0.15,0.20 mg/100 g,明显高于普通大米中B族维生素含量(0.12,0.05 mg/100 g)。由菰米加工后的米片同样也含有较高水平的B族维生素(见表3),Sumczynski等^[37]研究表明,菰米片中硫胺素含量为0.21~0.34 mg/100 g,相比于菰米原料中的硫胺素(0.30~0.63 mg/100 g),加工过程中的一些工序(如淘洗、研磨等)会造成菰米中的部分维生素流失。而核黄素含量(0.14~0.20 mg/100 g)基本维持在其原料中的范围内(0.12~0.20 mg/100 g)。菰米是烟酸的良好来源^[38](4.60~10.30 mg/100 g),而在加工成米片后,产物中的烟酸含量维持在3.41~3.98 mg/100 g。不同产地的气

候、环境等差异使得其他几种B族维生素,如泛酸、吡哆醇等在含量上也存在较大差异,其中加拿大菰米片中泛酸含量最高(2.70 mg/100 g),匈牙利菰米片中吡哆醇含量最高(2.21 mg/100 g)。

除B族维生素外,菰米中也存在含量丰富的维生素E,其总含量最高可达368.2 mg/100 g 脂质^[4]。维生素E是一类脂溶性维生素,作为菰米中天然存在的抗氧化成分,由8种化合物组成,分别为 α -、 β -、 γ -和 δ -生育酚以及4种相应的生育三烯酚^[39]。Przybylski等^[4]研究发现,产自西安大略北的菰米脂质中生育酚和生育三烯酚含量最高,分别为368.2,937.8 mg/100 g 脂质,明显高于普通大米脂质中的^[3],而阿尔伯塔菰米脂质中检测到的生育酚和生育三烯酚含量最低,仅为25.1,54.0 mg/100 g 脂质。 α -生育酚是菰米脂质的主要异构体,其含量为14.2~253.7 mg/100 g 脂质,而 β -、 γ -和 δ -生育酚次之,分别为22.4,38.6,60.8 mg/100 g 脂质。与生育酚类似, α -生育三烯酚是菰米脂质中生育三烯酚的主要异构体,其含量达到37.0~916.9 mg/100 g 脂质。

表3 不同产地的菰米米片中B族维生素含量比较^{[37]†}

Table 3 Comparison of B vitamins in *Z. latifolia* flakes from different origins g/100 g

产地	硫胺素	核黄素	烟酸	泛酸	吡哆醇	叶酸
加拿大	0.31±0.02 ^b	0.20±0.02 ^c	3.41±0.10 ^a	2.70±0.10 ^c	0.61±0.05 ^a	0.14±0.01 ^b
柬埔寨	0.21±0.01 ^a	0.20±0.01 ^c	3.49±0.04 ^b	2.40±0.07 ^b	1.12±0.05 ^b	0.11±0.01 ^a
希腊	0.34±0.04 ^c	0.17±0.01 ^b	3.80±0.10 ^c	2.24±0.05 ^a	1.36±0.05 ^c	0.17±0.01 ^c
匈牙利	0.32±0.02 ^b	0.14±0.01 ^a	3.98±0.10 ^d	2.37±0.10 ^b	2.21±0.05 ^d	0.16±0.01 ^c
菰米原料	0.30~0.63	0.12~0.20	4.60~10.30	>1.10	—	—

† 小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

1.4.3 酚类化合物 酚类化合物是来源于植物中的一类重要次生代谢产物,具有抗氧化、抗炎和抗肿瘤等多种生物活性^[40]。近年来研究人员越来越关注谷物中的酚类化合物,并逐渐证实了其健康功效,尤其是降血脂、降低胆固醇和预防心血管疾病等。菰米中的酚类物质主要包括酚酸类、单宁类、黄酮类、花色苷与花色糖苷类等,总酚含量为419~588 mg 没食子酸当量(GAE)/kg^[41],明显高于普通大米中的(46 mg GAE/kg)^[6]。Alves等^[42]以丙酮/水($V_{\text{丙酮}}:V_{\text{水}}$ 为70:30)为溶剂,从菰米(*Zizania aquatica*)中提取游离酚,其含量为(310.97±1.83) mg GAE/100 g,是精制大米中游离酚[(24.19±0.58) mg GAE/100 g]的12倍多。在菰米的主要酚酸类化合物中,阿魏酸和芥子酸含量分别为241~355,55~97 mg/kg,且含有其他含量较低的

-

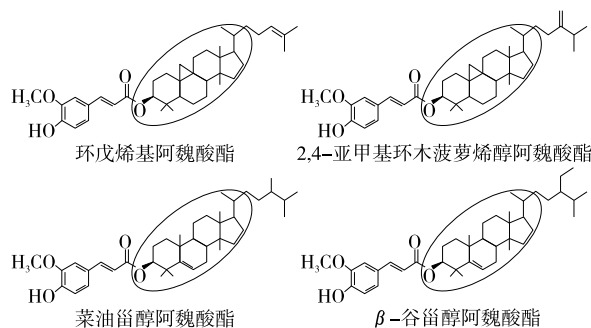
香豆酸(11.51~43.50 mg/kg)、丁香酸(4.97~17.10 mg/kg)和香草酸(10.57~30.33 mg/kg)等酚类物质^[41]。

1.4.4 γ -谷维素 γ -谷维素存在于米糠不皂化部位,是三萜醇阿魏酸酯和植物甾醇的混合物^[6],目前已鉴定出

γ -谷维素中有10种单体,但95%的 γ -谷维素主要以2,4-亚甲基环木菠萝烯醇阿魏酸酯、环戊烯基阿魏酸酯、菜油甾醇阿魏酸酯和 β -谷甾醇阿魏酸酯单体为主^[43-44],其结构式见图1。菰米中的 γ -谷维素一般采用高效液相色谱(HPLC)中的C₁₈柱(300 mm×3.9 mm,4 μ m)进行分离纯化,利用二极管阵列检测器对其含量进行检测,Przybylski等^[4]研究发现,7个不同产地的菰米样品中 γ -谷维素总量为459~730 mg/kg,明显高于普通米糠油(20.66 mg/kg)^[45],在其他研究中也报道了菰米中存在大量 γ -谷维素^[4,46]。而产自明尼苏达天然湖的菰米样品中的 γ -谷维素总量达到最高,来自安大略省西北部菰米样品中 γ -谷维素含量最低,这种含量差异主要取决于菰米的品种、产地气候和生长条件等因素^[2]。 γ -谷维素具有抗氧化和降低胆固醇的营养特性^[47],使得菰米在不断深入的研究中被列为具有潜在健康促进作用的绿色食品。

2 菰米的健康功效

菰米因含有丰富的膳食纤维、蛋白质、淀粉、酚类物

图 1 γ -谷维素的 4 种主要单体分子结构^[44]Figure 1 Molecular structures of four kinds of monomer γ -oryzanol

质和植物甾醇等营养组分^[37],在 2006 年被美国食品药品监督管理局 (US FDA) 列为全谷物^[25],近年来增加全谷物消费的饮食建议让众多消费者对菰米产生了浓厚的兴趣。大量研究^[27,38,48]表明,菰米具有抗氧化、预防动脉粥样硬化、缓解胰岛素抵抗等作用,其摄入与降低心血管疾病、高脂血症、癌症和 2 型糖尿病等疾病的风险密切相关。

2.1 抗氧化作用

由于菰米中含有众多具有抗氧化活性的植物化学物质,如类黄酮、酚酸和 γ -谷维素等,可作为天然的抗氧化剂来源^[6]。Sumczynski 等^[38]研究了酚类物质对菰米抗氧化作用的贡献程度,评价了总多酚、总黄酮、单体总黄酮和单体苯丙酚酸含量与 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基 (DPPH $\cdot$)、2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐阳离子自由基 (ABTS $\cdot$) 清除活性之间的相关性,结果显示菰米中的游离酚和结合酚直接促进了菰米抗氧化能力的提高,游离类黄酮含量与抗氧化活性呈明显的正相关,包括表没食子儿茶素、表儿茶素和芦丁是主要贡献者(相关性系数为 0.711 1~0.820 9);而游离酚酸中阿魏酸、香草酸、鞣花酸、紫竹酸和丁香酸也是抗氧化活性的主要贡献者(相关性系数>0.758 5);菰米中结合组分中咖啡酸、肉桂酸、丁香酸、邻香豆酸、对羟基苯甲酸、香草酸、原儿茶酸、没食子酸和肉桂酸是影响抗氧化能力的主要因素(相关性系数>0.653 8)。Chu 等^[49]利用超声辅助水提法从菰米 (*Zizania latifolia*) 中提取了原花青素 (WRPs),得率为 (6.33 $\pm$ 0.10) mg/g,且 WRP 清除 DPPH $\cdot$ 的半抑制浓度 (IC₅₀) 为 (34.29 $\pm$ 0.78) μ g/mL,远远低于已被商品化的抗氧化剂抗坏血酸 [(100.06 $\pm$ 0.94) μ g/mL]。Ryoichi 等^[50]利用紫红曲霉 NBRC 5965 发酵菰米 (*Zizania aquatica*) 制备了一种红色米酒,其中总酚含量达 890 μ g/mL,明显高于同工艺下制备的白米酒 (390 μ g/mL),前者的 DPPH $\cdot$ 清除活性为后者的 2 倍多,而这种酒精饮料的抗氧化活性是红曲色素和菰米中

花青素共同作用的结果。由于菰米具有抗氧化能力,使其在抑制脂质过氧化,改善慢性代偿性疾病方面具有较好的功效。

2.2 预防动脉粥样硬化

心血管疾病 (CVD) 是造成全球死亡和发病的首要原因,据世界卫生组织 (WHO) 报告称,预计到 2030 年,由于心血管疾病死亡的人数将增长到 2 500 万^[27]。动脉粥样硬化是一种由脂质驱动的慢性炎症性疾病,导致血浆低密度脂蛋白 (LDL)—胆固醇和氧化修饰 LDL (OX-LDL) 水平升高,一旦被巨噬细胞吸收,会引发动脉壁泡沫细胞的形成,在大中型动脉中形成斑块^[51],其为心血管疾病的主要病理基础。饮食控制与调整是预防动脉粥样硬化性心血管疾病危险因素的关键策略,大量流行病学研究显示,全谷物的摄入量与心血管疾病发病率呈负相关^[52-53],作为各种营养物质如植物甾醇、多酚类物质、维生素等的良好来源,全谷物的健康功效在于这些功能因子的协同作用^[54]。Surendiran 等^[27]研究发现,与对照组相比,摄入含有质量分数为 60% 菰米饲料的低密度脂蛋白受体敲除 (LDL-r-KO) 小鼠饲养 24 周后,动脉粥样硬化病变症状明显减轻,这与血浆胆固醇水平、LDL 和超低密度脂蛋白 (VLDL) 胆固醇水平显著降低有关。Moghadasian 等^[55]研究发现,LDL-r-KO 小鼠长期食用质量分数为 60% 的菰米可有效预防动脉粥样硬化,其潜在机制主要与肠道菌群变化、炎症反应和代谢生物标志物之间的相互作用有关:① 菰米的摄入提高了肠道益生菌的多样性和丰度;② 促进血浆抗炎标志物白介素 10 (IL-10) 和促红细胞生成素 (EPO) 水平上升;③ 增强肠道发酵碳水化合物产短链脂肪酸的能力。

2.3 缓解胰岛素抵抗

胰岛素抵抗是胰岛素依赖细胞 (如脂肪细胞、心肌细胞等) 或组织 (心脏、骨骼肌、肝脏和脂肪组织等) 对胰岛素激素的不适当细胞反应的一种复杂的病理状态,使细胞或组织对胰岛素敏感性下降,吸收和利用葡萄糖的能力丧失^[56]。胰岛素抵抗一般存在于许多代谢紊乱疾病中,如 2 型糖尿病、代谢综合征等,菰米中总膳食纤维含量是精制大米的 7.62 倍,抗性淀粉含量 (11.73 g/100 g) 明显高于小麦粉 (7.79 g/100 g) 和米粉 (7.71 g/100 g)^[57],这使得菰米具有较低的血糖生成指数,以菰米替代高饱和脂肪和高胆固醇饲料中普通大米和小麦淀粉作为主要的碳水化合物来源,可通过抑制高脂、高胆固醇饲料诱导的胰岛素抵抗来改善大鼠糖代谢异常^[58]。韩淑芬等^[58]以胰岛素抵抗指数 (HOMA-IR) 为评价指标,研究了菰米对高脂膳食诱导的胰岛素抵抗大鼠代谢的影响及其潜在机制,结果显示摄入菰米的大鼠血清中 HOMA-IR 值、空腹血糖和游离脂肪酸等指标较阳性对照组明显较低,进一步揭示了菰米通过抑制大鼠肝脏中蛋白酪氨酸磷酸酶-

1B(PTP-1B)的相对表达,进而促进胰岛素受体底物-2(IRS-2)的磷酸化,增强体内胰岛素的信号转导,达到缓解体内胰岛素抵抗,从而降低大鼠血糖、肝脏游离脂肪酸和甘油三酯水平^[2]。

3 总结与展望

随着对菰米及其营养特性研究的不断深入,菰米将会有更广阔的应用前景。然而,中国对菰米的研究尚处于理论基础阶段,主要工作仅仅围绕菰属作物的培育、菰米中营养组分的分离鉴定和生物活性等下一步的重点工作应集中在以下方面:

(1) 加强菰米良种选育研究,不断发现和培育蛋白质、氨基酸、植物化学物含量高的菰米品种,鼓励广大科研机构研发推广菰米科学栽培繁育技术,逐步扩大菰米的种植面积,不断攻克菰米精深加工技术难题,确保和推动中国菰米产业良性发展。

(2) 深入菰米营养特性及其潜在机制研究,助推菰米成为预防慢性疾病的重要功能性食品。目前关于菰米营养特性的研究大多数集中在体外试验中,体内试验数据支撑不足,导致菰米中活性成分发挥效应的具体机制不明确。后续工作要不断改进菰米中生物活性成分的分离纯化技术,通过大量的动物试验或临床干预试验来研究和验证菰米营养功效的分子机制。

(3) 强化菰米产品的研发创新工作,提高菰米的市场占有率。菰米作为一类古老的全谷物,食用方式较为单一,未来可以集中于菰米相关制品的研究开发,在不影响菰米感官品质的前提下将菰米产品纳入日常普通膳食中,不断提高菰米及其相关产品在粮食制品市场的份额。

参考文献

[1] 濮思源, 陈睿, 朱霞, 等. 菰营养成分及保健功能研究最新进展[J]. 园艺与种苗, 2021, 41(5): 39-43.

PU S Y, CHEN R, ZHU X, et al. Recent advances in nutritional components and health function of *Zizania latifolia*[J]. Horticulture & Seed, 2021, 41(5): 39-43.

[2] YAN N, DU Y M, LIU X M, et al. Morphological characteristics, nutrients, and bioactive compounds of *Zizania latifolia*, and health benefits of its seeds[J]. Molecules, 2018, 23(7): 1-561.

[3] 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.

[4] PRZYBYLSKI R, KLENSPORF PAWLIK D, ANWAR F, et al. Lipid components of North American wild rice (*Zizania palustris*)[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2009, 86(6): 553-559.

[5] 金增辉. 菰米的营养化学与开发利用[J]. 粮食加工, 2016, 41(1): 58-61.

JIN Z H. Nutrition chemistry and development and utilization of wild rice[J]. Cereals Processing, 2016, 41(1): 58-61.

[6] ANWAR F, ZENGIN G, ALKHARFY K M, et al. Wild rice (*Zizania* sp.): A potential source of valuable ingredients for nutraceuticals and functional foods [J]. Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse, 2017, 94(2): 81-89.

[7] ZHANG H, ZHAI C K. Effects of Chinese and North American wild rice on blood lipids, oxidative stress, and inflammation factors in hyperlipidemic rats[J]. Cereal Chemistry, 2016, 93(4): 357-363.

[8] WANG L F, WANG Y J, PORTER R. Structures and physicochemical properties of six wild rice starches[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(9): 2 695-2 699.

[9] 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.

[10] AMAGLIANI L, O'REGAN J, KELLY A L, et al. The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 64: 1-12.

[11] SHAH R H, BALOCH M S, ZUBAIR M, et al. Phytotoxic effect of aqueous extracts of different plant parts of milkweed on weeds and growth and yield of wheat[J]. Planta Daninha, 2017, 35: 1-13.

[12] EL-HAMDI K H, AHMED A R, EL-AZZONY N. Effect of compost, nitrogen and micronutrient compounds on nitrogen uptake, yield and yield components of wheat[J]. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 2012, 3(11): 1 043-1 056.

[13] VILMANE L, ZUTE S, STRAUMĪTE E, et al. Protein, amino acid and gluten content in oat (*Avena sativa* L.) grown in Latvia[J]. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences, 2015, 69(4): 170-177.

[14] BANWO K, OYEYIPO A, MISHRA L, et al. Improving phenolic bioactive-linked functional qualities of traditional cereal-based fermented food of Nigeria using compatible food synergies with underutilized edible plants[J]. NFS Journal, 2022, 27: 1-12.

[15] MARINANGELI C P, HOUSE J D. Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health [J]. Nutrition Reviews, 2017, 75(8): 658-667.

[16] CHAGWENA D T, MATANHIRE G T, JOMBO T Z, et al. Protein quality of commonly consumed edible insects in Zimbabwe[J]. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 2019, 19(3): 14 674-14 689.

[17] UMAR M A, UGONOR R, AKIN-OSANAIYE C B, et al. Evaluation of nutritional value of wild rice from Kaduna State, Central Nigeria [J]. International Journal of Scientific & Technology Research, 2013, 2(7): 140-147.

[18] BLACHIER F, ANDRIAMIHAJA M, BLAIS A. Sulfur-containing amino acids and lipid metabolism[J]. The Journal of Nutrition, 2020, 150(S1): 2 524S-2 531S.

[19] STIPANUK M H. Metabolism of sulfur-containing amino acids:

- how the body copes with excess methionine, cysteine, and sulfide[J]. The Journal of Nutrition, 2020, 150 (Supplement 1): 2 494S-2 505S.
- [20] KOURIMSKÁ L, SABOLOVÁ M, HORCICKA P, et al. Lipid content, fatty acid profile, and nutritional value of new oat cultivars[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 84: 44-48.
- [21] GUO T L, HORVATH C, CHEN L, et al. Understanding the nutrient composition and nutritional functions of highland barley (Qingke): A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 103: 109-117.
- [22] KAN A. Characterization of the fatty acid and mineral compositions of selected cereal cultivars from Turkey[J]. Records of Natural Products, 2015, 9(1): 124-134.
- [23] AIZAWA O, SAITO Y, NISHI S, et al. Properties of the lipids and polyphenols in wild rice (*Zizania palustris* L.) seeds[J]. Res Bull Obihiro University, 2007, 28: 28-34.
- [24] JIANG H F, QIN X F, WANG Q, et al. Application of carbohydrates in approved small molecule drugs: A review[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2021, 223: 113633.
- [25] SURENDIRAN G, ALSAIF M, KAPOURCHALI F R, et al. Nutritional constituents and health benefits of wild rice (*Zizania* spp.)[J]. Nutrition reviews, 2014, 72(4): 227-236.
- [26] CARCEA M. Value of whole grain rice in a healthy human nutrition[J]. Agriculture, 2021, 11(8): 720.
- [27] SURENDIRAN G, GOH C, LE K, et al. Wild rice (*Zizania palustris* L.) prevents atherogenesis in LDL receptor knockout mice[J]. Atherosclerosis, 2013, 230(2): 284-292.
- [28] CHAKRABORTY I, GOVINDARAJU I, RONGPIPI S, et al. Effects of hydrothermal treatments on physicochemical properties and in vitro digestion of starch[J]. Food Biophysics, 2021, 16(4): 544-554.
- [29] HAN X Q, ZHANG M W, ZHANG R F, et al. Physicochemical interactions between rice starch and different polyphenols and structural characterization of their complexes [J]. LWT, 2020, 125: 109227.
- [30] OKUR I, SEZER P, OZTOP M H, et al. Recent advances in gelatinisation and retrogradation of starch by high hydrostatic pressure[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(9): 4 367-4 375.
- [31] KLENSPORF-PAWLIK D, ALADEDUNYE F. Gluten-free ancient grains[M]. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017: 271-296.
- [32] OLUWAJUYITAN T D, IJAROTIMI O S, FAGBEMI T N, et al. Blood glucose lowering, glycaemic index, carbohydrate-hydrolysing enzyme inhibitory activities of potential functional food from plantain, soy-cake, rice-bran and oat-bran flour blends[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(4): 3 761-3 769.
- [33] ZHANG H, LIU Y, ZHAO J H, et al. Determination of the glycemic index of the wild rice and the effects of wild rice on insulin resistance in rats[J]. Journal of hygiene research, 2015, 44 (2): 173-178.
- [34] AUGUSTIN L S, KENDALL C W, JENKINS D J, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An international scientific consensus summit from the international carbohydrate quality consortium (ICQC) [J]. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases, 2015, 25(9): 795-815.
- [35] SALEHI B, QUISPE C, SHARIFI-RAD J, et al. Phytosterols: From preclinical evidence to potential clinical applications[J]. Frontiers in Pharmacology, 2021, 11: 1 819.
- [36] CHAUDHARI P R, TAMRAKAR N, SINGH L, et al. Rice nutritional and medicinal properties: A review article[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2018, 7(2): 150-156.
- [37] 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.
- [38] SUMCZYNSKI D, KOTÁSKOVÁ E, ORSAVOVÁ J, et al. Contribution of individual phenolics to antioxidant activity and in vitro digestibility of wild rices (*Zizania aquatica* L.) [J]. Food Chemistry, 2017, 218: 107-115.
- [39] POLONSKIY V, LOSKUTOV I, SUMINA A. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals[J]. Biological Communications, 2020, 65(1): 53-67.
- [40] PANZELLA L, MOCCIA F, NASTI R, et al. Bioactive phenolic compounds from agri-food wastes: an update on green and sustainable extraction methodologies [J]. Frontiers in Nutrition, 2020, 7: 60.
- [41] QIU Y, LIU Q, BETA T. Antioxidant properties of commercial wild rice and analysis of soluble and insoluble phenolic acids[J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 140-147.
- [42] ALVES G H, FERREIRA C D, VIVIAN P G, et al. The revisited levels of free and bound phenolics in rice: Effects of the extraction procedure[J]. Food Chemistry, 2016, 208: 116-123.
- [43] 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.
- GAO K, JIANG P, TAN B, et al. Research progress on γ -oryzanol in rice and its processed by-product rice bran[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(5): 91-98.
- [44] IGOR M, FABIANE F, CAMILA C, et al. Antioxidant activity of γ -oryzanol: A complex network of interactions[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(8): 1 107.
- [45] LI D M, ZHANG J H, FAIZA M, et al. The enhancement of rice bran oil quality through a novel moderate biorefining process[J]. LWT, 2021, 151: 112118.
- [46] AGUILAR-GARCIA C, GAVINO G, BARAGANO-MOSQUEDA M, et al. Correlation of tocopherol, tocotrienol, γ -oryzanol and total polyphenol content in rice bran with different antioxidant

- capacity assays[J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1 228-1 232.
- [47] PUNIA S, KUMAR M, SIROHA A K, et al. Rice bran oil: Emerging trends in extraction, health benefit, and its industrial application[J]. Rice Science, 2021, 28(3): 217-232.
- [48] CHIOU S Y, LAI J Y, LIAO J A, et al. In vitro inhibition of lipase, α -amylase, α -glucosidase, and angiotensin-converting enzyme by defatted rice bran extracts of red-pericarp rice mutant[J]. Cereal Chemistry, 2018, 95(1): 167-176.
- [49] CHU M J, DU Y M, LIU X M, et al. Extraction of proanthocyanidins from Chinese wild rice (*Zizania latifolia*) and analyses of structural composition and potential bioactivities of different fractions[J]. Molecules, 2019, 24(9): 1 681.
- [50] TAKESHITA R, SAIGUSA N, TERAMOTO Y. Production and antioxidant activity of alcoholic beverages made from various cereal grains using *Monascus purpureus* NBRC 5965[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2016, 122(2): 350-354.
- [51] 肖素军, 赵明. 动脉粥样硬化与免疫[J]. 中国动脉硬化杂志, 2022, 30(4): 277-286.
- XIAO S J, ZHAO M. Atherosclerosis and immunity[J]. Chinese Journal of Arteriosclerosis, 2022, 30(4): 277-286.
- [52] XU J W, WANG W Q, ZHAO Y. Phenolic compounds in whole grain sorghum and their health benefits[J]. Foods, 2021, 10(8): 1 921.
- [53] POLITO R, COSTABILE G, NIGRO E, et al. Nutritional factors influencing plasma adiponectin levels: Results from a randomised controlled study with whole-grain cereals[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2020, 71(4): 509-515.
- [54] SEAL C J, COURTIN C M, VENEMA K, et al. Health benefits of whole grain: Effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(3): 2 742-2 768.
- [55] MOGHADASIAN M H, KAUR R, KOSTAL K, et al. Anti-atherosclerotic properties of wild rice in low-density lipoprotein receptor knockout mice: The gut microbiome, cytokines, and metabolomics study[J]. Nutrients, 2019, 11(12): 2 894.
- [56] YARIBEYGI H, FARROKHI F R, BUTLER A E, et al. Insulin resistance: Review of the underlying molecular mechanisms[J]. Journal of Cellular Physiology, 2019, 234(6): 8 152-8 161.
- [57] JIANG M X, ZHAI L J, YANG H, et al. Analysis of active components and proteomics of Chinese wild rice (*Zizania latifolia* (Griseb) Turcz) and *Indica* Rice (*Nagina22*) [J]. Journal of Medicinal Food, 2016, 19(8): 798-804.
- [58] 韩淑芬, 刘亚琪, 张红, 等. 中国菰米对高脂膳食诱导大鼠胰岛素抵抗机制的研究[J]. 营养学报, 2012, 34(5): 449-453.
- HAN S F, LIU Y Q, ZHANG H, et al. Effect of Chinese wild rice on insulin resistance in rats induced by high-fat/cholesterol diets[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2012, 34(5): 449-453.

(上接第2页)

国可持续食物供给系统。大食物观顺应了人民群众食物消费结构变化,落实大食物观,根本出路在科技。食品行业应加强关键共性技术创新研发、谋划未来食品的安全风险管理、加强对大食物观的科学解读,推动大食物观在食品行业的创新实践。

热点六: 雪糕不融——施了“法术”还是被误解?

解读专家范大明:中国食品科学技术学会冷冻与冷藏食品分会副理事长、江南大学科学技术研究院院长

雪糕是消费者夏季普遍食用的冷冻饮品之一,判断雪糕融化速度,需要综合考虑温度和雪糕总固形物含量等多重因素。卡拉胶、海藻酸钠、瓜尔胶、刺槐豆胶等是食品安全国家标准中允许使用的增稠剂,可在雪糕中按生产需要适量使用。企业需自觉履行食品安全主体责任,同时各方应加强对雪糕的科普传播。消费者选购雪糕时应注意外包装和贮存温度,食用时应注意食用时间和食用量。

热点七: 酱油“双标”——食品难道真有国民差异?

解读专家李宁:中国食品科学技术学会副理事长、国家食品安全风险评估中心主任

各国标准管理侧重点有所不同,炒作“双标”既不合理,也无意义。我国食品安全国家标准体系框架、制定原则、管控对象与国际基本一致,并根据我国国情确定各项

标准,能够有效保障我国食品安全。按照标准生产的产品,不论添加还是不添加食品添加剂,都是安全的。各方应共同努力,加强科普,帮助消费者理性看待食品消费上的差异,提升识谣防骗能力。

热点八: 吃(Yang)了么? ——疫情防控新阶段的饮食健康

解读专家丁钢强:中国食品科学技术学会副理事长、中国疾病预防控制中心营养与健康所所长

抗击新冠疫情是当前和今后一段时期内的重大挑战。倡导平衡膳食、合理搭配是筑牢人体免疫的重要因素。以消费者健康需求为己任,以国家政策为导向,食品产业应提供富含营养、美味、多元化选择的食品,应用具天然、健康特征的功能物质和原料,创制满足不同消费人群需求的新型健康食品。

热点九: “限包令”落地——食品过度包装有了“紧箍咒”

解读专家罗云波:中国食品科学技术学会名誉副理事长、中国农业大学特殊食品研究中心主任

法规标准的修订与实施有助于减轻消费者负担,引导绿色生产,也有利于实现政府部门的有效监管。生产企业应提高认识,主动作为,履行好社会责任,尽早贯标、用标和达标,向市场供给更高质量、更加绿色环保低碳的产品。

(中国食品科学技术学会秘书处 供稿)