

# 发芽糙米食品研究现状及展望

韩璐,朱力杰,王勃,杨立娜,刘贺,何余堂,马涛\*

(渤海大学食品科学与工程学院,生鲜农产品贮藏加工  
及安全控制技术国家地方联合工程研究中心,辽宁锦州 121013)

**摘要:**发芽糙米是一种新型的功能性食品,它比精白米的营养价值高,比糙米的适口性好,具有广阔的发展前景。本文介绍了发芽糙米的主要营养功能因子及其生理功能,综述了我国发芽糙米食品研究现状,同时分析了发芽糙米食品研究与开发中存在的问题,并展望了未来的发展前景。

**关键词:**发芽糙米,营养功能因子,加工产品,问题与展望

## Research status and prospect of germinated brown rice

HAN Lu, ZHU Li-jie, WANG Bo, YANG Li-na, LIU He, HE Yu-tang, MA Tao\*

(College of Food Science and Technology, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China)

**Abstract:** Germinated brown rice is a kind of new functional whole grains germinated brown rice, it is more nutritive than white rice, and it is more palatable than brown rice. The main functionality elements and physiology functions of germinated brown rice were introduced, and the development status of the germinated brown rice in China was reviewed. The important aspects in exploiting and processing of the germinated brown rice were also discussed. The future of the germinated brown rice was described.

**Key words:** germinated brown rice; nutritional functional factor; processed products; problems and prospect

中图分类号:TS213.3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2017)13-0324-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.13.061

“民以食为天,国以粮为本”,谷物是人类最宝贵的生命资源。谷物加工业是食品工业的支柱产业。而稻谷作为全球第二大谷物,其种植面积占比全谷物总面积的五分之一<sup>[1]</sup>。糙米是稻谷脱壳后的颖果,由于糠皮的存在,使糙米有一种糠的不愉快气味,蒸煮性、口感和吸收性较差,故不受大众所喜爱<sup>[2]</sup>。但是糙米的营养价值丰富,含有许多精白米在加工过程中损失掉的生理活性物质,可以有效预防如肥胖症、心血管疾病、糖尿病等慢性疾病的发生。糙米发芽后,粗纤维外壳被酶解软化,方便炊煮,部分蛋白质分解为氨基酸,淀粉转变为糖类,香甜味增加,使食物的感官性能和风味得以改善<sup>[3]</sup>。同时,糙米发芽过程中的酶被激活,可以产生并增加大量对人体健康有益的活性物质,如还原糖、肌醇、必需氨基酸等,使得发芽糙米的营养价值是糙米的3~5倍<sup>[4]</sup>。

采用生物转化技术控制糙米发芽过程,积累对人体有益的功能成分,既能提高糙米的营养价值,又能增进消费者健康,对高效利用稻米资源、提高稻米产品附加值、增强稻米食品保健功能、促进稻米产业可持续发展和实现健康中国,均有重要意义。目前

日本对发芽糙米的研究逐渐成熟,其研究和生产水平已处于世界前沿,日本不仅把发芽糙米作为主食食用,还制作了以发芽糙米为原料的加工食品,例如发芽糙米酒、糕饼、米芽醋、发芽糙米豆乳饮料等<sup>[5]</sup>。我国发芽糙米类食品多以速食的发芽糙米类食品 and 以发芽糙米为配料的休闲类食品为主,但产品种类较少,生产企业规模小,精深加工技术水平不高,市场竞争力弱,与国外的差距很大,还有较大的发展空间<sup>[6]</sup>。本文在查阅大量文献的基础上对发芽糙米食品研究开发现状、尚需要解决的理论与实践问题进行了分析,期望能更好地促进发芽糙米食品的发展。

## 1 发芽糙米

### 1.1 发芽糙米成分概述

1.1.1 发芽糙米的营养成分 发芽糙米是指将糙米放在一定湿度和温度下培养,使之萌发到一定芽长的由幼芽和带糠层的胚乳组成的糙米制品。糙米经发芽后,酶被激活,内含的化学成分发生变化,糙米中原有的谷胱甘肽含量增加,肌醇、植物甾醇、 $\gamma$ -氨基丁酸等生理活性物质大量产生<sup>[7]</sup>。发芽糙米与精

收稿日期:2016-12-27

作者简介:韩璐(1993-),女,在读硕士,研究方向:粮食、油脂及植物蛋白工程,E-mail:hanlu\_8951@163.com。

\*通讯作者:马涛(1962-),男,博士,教授,研究方向:粮油与植物蛋白工程,E-mail:matao-09@163.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(31601510);辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划(2015001)。

白米相比,不仅含有丰富的维生素 B、E 和矿质元素镁、铁、钙等,还含有多种促进人体健康和防治疾病的成分,如  $\gamma$ -氨基丁酸、谷胱甘肽、谷维素和阿魏酸等,故发芽糙米的营养价值超过糙米,更胜于白米。发芽后,稻米的吸水性、蒸煮性和口感也大大改善,其食用性接近白米。表 1 为发芽糙米与精白米中营养成分的含量对比<sup>[8-9]</sup>。

表 1 发芽糙米与精白米营养成分对比

Table 1 Comparison of the nutritional ingredient of germinated brown rice and milled rice

营养素	精白米	发芽糙米
碳水化合物(g/100 g)	75.5	69.9
蛋白质(g/100 g)	6.8	7.5
脂肪(g/100 g)	1.3	2.9
膳食纤维(g/100 g)	0.74	2.80
$\gamma$ -氨基丁酸(mg/100 g)	1.5	16.5
肌醇六磷酸盐(mg/100 g)	99	450
谷维素(mg/100 g)	6.1	50
谷胱甘肽(mg/100 g)	0	9.48
阿魏酸(mg/100 g)	11	43
维生素 B(mg/100 g)	0.12	0.30
维生素 E(mg/100 g)	0.4	1.7
Mg(mg/100 g)	33	74
Fe(mg/100 g)	0.5	1.1
Ca(mg/100 g)	6.0	8.1

### 1.1.2 发芽糙米的功能成分

**1.1.2.1  $\gamma$ -氨基丁酸**  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)是一种非蛋白质氨基酸,是由谷氨酸经谷氨酸脱羧酶催化生成的,是一种重要的抑制性神经递质。GABA 参与多种代谢活动,可以镇静神经、抗焦虑、改善睡眠质量、降低血压;GABA 还可以进入脑内三羧酸循环,促进脑细胞代谢,同时提高葡萄糖代谢时葡萄糖磷酸酯酶的活性,增加乙酰胆碱的生成,扩张血管增加血流量,并降低血氨,促进大脑的新陈代谢,恢复脑细胞功能,以改善头痛、头重、疲劳、头晕眼花、耳鸣、记忆力衰退、意志低落等现象<sup>[10]</sup>。发芽糙米中的 GABA 含量是糙米的 2 倍,精白米的 6~8 倍<sup>[11]</sup>。糙米发芽之后 GABA 之所以能够提高,一是因为糙米自身含有谷氨酸,在发芽过程中,谷氨酸脱羧酶被激活,使谷氨酸脱去羧基从而生成 GABA,二是因为蛋白质被水解生成谷氨酸,谷氨酸脱羧后生成 GABA,使糙米的 GABA 含量增加<sup>[12]</sup>。

**1.1.2.2 肌醇六磷酸酯** 肌醇六磷酸酯,又称植酸,主要存在于植物的种子、根干和茎中,其中以豆科植物的种子、谷物的荞皮和胚芽中的含量最高。植酸可以与钙、铁、镁、锌等金属离子螯合产生不溶性复合物,使金属离子的有效性降低;植酸盐也可与蛋白质类形成配合物,使金属离子更加不被利用,植酸是影响矿物质元素吸收的主要抗营养成分<sup>[13]</sup>。糙米在发芽过程中植酸酶被激活,降解了植酸,降低了抗营养性,并且会生成对人体健康有益处的肌醇,提高了糙米的营养价值<sup>[14]</sup>。

**1.1.2.3 谷维素** 谷维素是阿魏酸与植物甾醇的结合酯类,主要存在于米糠油及其油脚中,米糠层中谷维素的含量为 0.3%~0.5%,谷维素是一种强力抗氧化剂,能降低胆固醇,其中的木酚素还能预防乳癌与其他激素相关的癌症<sup>[15]</sup>。谷维素主要改善植物神经功能失调,改善内分泌平衡障碍及精神神经失调,因此对神经衰弱症患者具有一定的调节作用;同时能稳定情绪、减轻焦虑及紧张状态,并改善睡眠。

**1.1.2.4 谷胱甘肽** 谷胱甘肽(GSH)是一种含  $\gamma$ -酰胺键和巯基的三肽,由谷氨酸、半胱氨酸及甘氨酸组成。GSH 广泛存在于动、植物中,在生物体内有着重要的作用。GSH 不仅能清除人体自由基,还可以提高人体免疫力,维护健康,抗衰老,在老人迟缓化的细胞上所发挥的功效比年轻人明显。可以保护血红蛋白不受过氧化氢、自由基等氧化,从而使它持续发挥正常的运输氧的能力;抑制乙醇侵害肝脏所产生的脂肪肝。GSH 对于放射线、放射性药物所引起的白细胞减少等症状,有强有力的保护作用。GSH 能与进入人体的有毒化合物、重金属离子或致癌物质等相结合,并促使其排出体外,起到中和解毒作用<sup>[16]</sup>。糙米中 GSH 含量约为 3.64 mg/100 g,若以水为介质,发芽 3 d 后,GSH 的含量增加至 9.48 mg/100 g<sup>[17]</sup>。

## 1.2 发芽糙米的制作工艺

发芽糙米制备的一般工艺流程为:稻谷→整谷→筛选→消毒→清洗→浸泡→发芽→水洗→干燥→成品。

在糙米浸泡过程中,不同的浸泡条件都会影响糙米的发芽。据研究表明,3% 的乙醇、55.5 mg/L  $\text{CaCl}_2$ 、0.02 mg/L 赤霉素均可促进糙米的发芽<sup>[18]</sup>。李思等人采用 0.3% 浓度的双氧水浸泡糙米,发现可以显著提高萌芽的生长速度<sup>[19]</sup>。黄迪芳等人将发芽糙米以水为浸泡液,浸泡温度 38  $^{\circ}\text{C}$ ,浸泡 10 h,向 pH5.6 的磷酸盐缓冲溶液中加入 2 mol/L 的维生素 B 作为培养液,38  $^{\circ}\text{C}$  培养 28 h,得到的发芽糙米中 GABA 含量为 40.205 mg/100 g,是糙米的 5 倍多<sup>[20]</sup>。发芽后的糙米含水量较大,处理方法不当会造成营养物质的流失,所以干燥过程十分关键。金增辉等人对发芽糙米进行 50~60  $^{\circ}\text{C}$  的低温干燥处理,也可采取真空干燥处理,干燥至水分含量为 15%  $\pm$  0.5%<sup>[21]</sup>。

## 2 发芽糙米食品研究开发现状

日本从 1964 年开始就提倡国民每日食用一餐糙米,并致力于稻谷的深加工技术和产品的研发,在发芽糙米的利用和新产品开发方面一直位列世界前茅。在 1996 年,日本就已经研发出了富含 GABA 的米胚制品,并且成功上市销售。这些年日本市场上一直有发芽糙米类产品问世,例如发芽糙米方便食品、发芽糙米酒、发芽糙米饮料等<sup>[22]</sup>。国内主要在 20 世纪 90 年代末开始研究发芽糙米,现在还处在起步阶段,能工业化的产品较少,规模小,精深加工技术水平低,与国外发达国家相比仍然有很大差距。

### 2.1 发芽糙米粉

发芽糙米粉是以发芽糙米为原料,采用科学的加工方式对其进行处理得到的粉末状食品。发芽糙米粉既可以直接冲调饮用,又可作为面包、蛋糕等焙

烤类食品的原材料。目前对发芽糙米粉处理的主要加工方式是酶解法和挤压膨化技术。胡秀娟以富集 GABA 的发芽糙米为原料,经过木聚糖酶和纤维素酶酶解,再采用辊筒干燥制成发芽糙米粉,经过单因素及响应面实验得出发芽糙米粉的最佳工艺参数是 pH5.0 条件下,采用 0.1% 的木聚糖酶和纤维素酶在 45 °C 酶解 5 h,此时酶解出的葡萄糖的浓度最大,为 8.39 mg/mL,热糊稳定性好,不易老化,复水性良好,口感大幅度提升<sup>[23]</sup>。但酶法的缺点就是因有酶的参与而使得大规模生产的成本较高,工艺难度较大。王秋等人采用气流式超微粉碎技术对发芽糙米、玉米、大豆进行加工,研制出了一种高蛋白质、高膳食纤维、高 GABA 的复合粉<sup>[24]</sup>。韩永斌等人研究发现,将经过发芽后的糙米挤压膨化制成糙米粉后,因部分蛋白质发生裂解,所以糙米粉呈现多孔网状结构,糊化度几乎达到 100%,提高了发芽糙米的营养价值<sup>[25]</sup>。但挤压膨化过程会造成糙米粉的冲调分散性变差,马涛等人针对这个现象,向原料中添加了 15% 麦芽糊精、0.12% 蔗糖酯、0.55% 单甘酯,可使 Q 值达到最低值 2.41%,从而解决了冲调分散性较差的问题<sup>[26]</sup>。马涛等人还开发出了非膨化糙米粉,采用蒸、煮、焙炒三种加工方式对糙米粉进行熟制,蒸、煮时添加 0.5% 单甘酯、0.5% 黄原胶、0.4% 羧甲基纤维素钠、0.3% 卡拉胶,焙炒时添加 0.55% 单甘酯、0.5% 黄原胶、0.2% 羧甲基纤维素钠、0.2% 卡拉胶可以明显降低糙米粉的沉淀率,提高冲调稳定性,提升产品品质<sup>[27]</sup>。

## 2.2 发芽糙米焙烤类食品

以发芽糙米粉为主料,添加一些辅料后,经过焙烤可以制成发芽糙米面包、发芽糙米蛋糕、发芽糙米饼干等产品。发芽糙米粉与其它辅料的结合,不仅可以提高产品的营养价值,还可以丰富产品种类。李次力等人将糙米发芽后制成面包,经过简单的正交实验对面包配方进行研究,分析了糙米粉、食盐、酵母、水的添加量对面包品质的影响,最终制作出了美味的发芽糙米面包<sup>[28]</sup>。余树玺等人将发芽糙米粉和小麦粉混合,采用直接发酵法制作面包,以转谷氨酰胺酶和谷朊粉复配,增强了面包的持气性和持水性,延缓了面包的老化速度和干燥速度,感官评分较高,提高了面包品质<sup>[29]</sup>。Naofumi 等人则发现在小麦粉中加入 30% 的发芽糙米粉可以使面包的持水性达到 70%,弹性达到  $5.85 \times 10^4$  N/m<sup>2</sup>,较大幅度的提升了面包的品质<sup>[30]</sup>。刘颜等人用发芽糙米粉和苦荞粉制作出无糖蛋糕,通过正交实验和感官评定确定了蛋糕的最佳工艺配方,当苦荞粉和发芽糙米粉的比例为 6:4 时,蛋糕的口感最佳,发芽糙米和苦荞的结合,能有效调节面筋含量,增加膳食纤维含量,而且苦荞具有安神、活气血等功能,适合老年人食用<sup>[31]</sup>。郑艺梅等人用富硒富 GABA 的发芽糙米为原料制作饼干,应用 Design Expert 软件对发芽糙米粉、黄油、白砂糖的添加量进行响应面优化实验,使得最终 100 g 的饼干中含硒 0.38 mg, GABA 23.40 mg<sup>[32]</sup>。

关于发芽糙米面包与蛋糕的研究已经有很多,

用发芽糙米制作焙烤类食品可以丰富市场产品种类,给公众更多的选择机会,可以有针对性的开发出适合不同人群的产品,但是目前大众未对发芽糙米的营养价值进行深入的认知,再加上焙烤类产品的货架期短、宣传力度不够等问题,会大大限制发芽糙米焙烤类食品在市面上的销售。

## 2.3 发芽糙米饮料

发芽糙米饮料是以发芽糙米为主要原料,经过打浆、复配、均质、杀菌等一系列加工程序制成的具有良好风味及稳定性的饮品。制作发芽糙米饮料的关键是产品的稳定性,添加何种物质,采用何种特殊加工方式可以提高产品的稳定性,是目前学者们主要研究的问题。李静芳等人应用挤压重组技术对发芽糙米粉和绿茶粉进行加工,探讨了加工工艺条件对茶中茶多酚、游离氨基酸、还原糖等物质含量的影响,最终结果表明,感官评价最佳状态下的糙米绿茶中的茶多酚、咖啡碱、游离氨基酸、还原糖的含量分别为 6.91%、1.37%、0.345%、14.92%<sup>[33]</sup>。刘崑等人以发芽糙米和牛奶为主要原料,经乳酸菌发酵,用  $\alpha$ -淀粉酶酶解,采用正交实验对稳定剂进行复配,最终制成的乳酸菌饮料的感官评分达到 89 分, GABA 含量可以达到 1.57 mg/100 mL<sup>[34]</sup>。孙月娥等人将发芽糙米与黑豆分别打浆后,混合原液,经过酶解、糊化、调配、均质,杀菌等一系列加工工艺后制成营养丰富的发芽糙米黑豆复合饮料,经测定,该饮料的可溶性固形物含量为 14.98 °Brix,感官总分为 95 分<sup>[35]</sup>。孙佳欣等人把发芽糙米烘烤浸提得到发芽糙米茶汤,然后与经过浸提过滤得到的绿茶茶汤以一定的比例混合,添加其它的配料而制成一种既营养健康又符合大众口味的复合米茶饮料,经过正交实验得到的最佳配方可使饮料中的茶多酚含量达到 309.3 mg/kg, GABA 含量达到 427  $\mu$ g/100 mL<sup>[36]</sup>。陈志杰等人研究了一种新型的灵芝保健饮料,该饮料把发芽糙米浆作为灵芝深层发酵培养基的原料,用灵芝发酵液和果汁对饮料进行风味调配,采用混料设计方法对饮料各组分的添加量进行研究,结果表明,当灵芝发酵液、苹果汁、白葡萄汁、橙汁的添加量分别为 27%、24.9%、20.2%、27.9% 时,饮料口感最佳,添加 0.2% 黄原胶可以提高饮料稳定性,开发出一种纯天然的灵芝果味保健饮料<sup>[37]</sup>。马涛等人研制了一种搅拌型糙米发酵饮品,将膨化糙米粉经  $\alpha$ -淀粉酶酶解,之后与豆粉混合调配,然后接入植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌、鼠李糖乳杆菌和干酪乳杆菌混合的复合菌种培养液进行发酵,得到的搅拌型糙米发酵饮品营养丰富,含有益生菌,可以改善乳糖不耐症,减少了糙米中抗营养因子植酸的含量,避免大量食用豆类会造成肠胃胀气不适症状<sup>[38]</sup>。

## 2.4 发芽糙米酵素

发芽糙米酵素是一个混合生物酶体系,它是发芽糙米经乳酸菌和酵母菌发酵后生成的,在其发酵过程中会衍生出数十种新的酵素,提高了发芽糙米的营养价值从而掀起了糙米酵素研究的热潮<sup>[39]</sup>。金明晓等人首先研究了糙米的发芽条件,确定发芽最

佳条件后以发芽糙米为原料,添加蜂蜜、玉米粉、酵母菌和保加利亚乳杆菌进行发酵,制成酵素,通过正交实验确定了最佳发酵条件为8%蜂蜜、1%玉米粉、3%发酵剂(酵母菌与保加利亚乳杆菌的比例为2:1)<sup>[40]</sup>。侯丽娟等人通过浸泡和厌氧处理来富集糙米中GABA的含量,以蛋白酶活力和GABA含量为测定指标,用酵母菌发酵制作糙米酵素,对生产工艺进行了研究<sup>[41]</sup>。李志江等人以GABA和GSH含量为指标,研究酵母菌发酵糙米的加工工艺,采用正交实验研究发酵时间、温度、接种量对含量的影响,确定了最大限度提升酵素营养价值的加工工艺,研究结果表明,当酵母接种量为4%、30℃发酵6h时,酵素中GABA和GSH含量分别达到0.85 mg/mL和2.97 μg/mL<sup>[42]</sup>。虽然关于糙米酵素的研究有很多,但是对其研究的并不深入,且关于发芽糙米酵素的研究较少,未来可以进一步加深对发芽糙米酵素及其功能性产品的开发。

## 2.5 发芽糙米酒

发芽糙米酒是以发芽糙米为原料,经前处理如蒸煮后用酵母菌发酵制成的即为发芽糙米酒。吕美以发芽糙米为原料,利用酒曲进行发酵,以酒中GSH含量为测定指标,研究发芽糙米酒酿工艺,最终制成的酒香浓郁、清爽适口的发芽糙米酒中GSH含量可以达到1.31 mg/g<sup>[43]</sup>。肖连东等人采用双边发酵法制作发芽糙米酒,参照啤酒的糖化工艺和黄酒的发酵工艺,利用发芽糙米中自身的酶作为糖化酶糖化,用酵母发酵,研制出了一种新型的具有高营养价值的低醇度发芽糙米酒<sup>[44]</sup>。魏婧也对糙米酒和发芽糙米酒的加工工艺进行了研究,研究结果表明:加曲量0.1%、28℃糖化36h、酵母量0.06%、28℃发酵72h时,酿造效果最好,并用GC/MS对糙米酒和发芽糙米酒中的香气成分进行检测,发现发芽糙米酒中醇类物质、芳香类、酸类和其他化合物均优于糙米酒,发芽后再酿酒会显著提高糙米酒的品质<sup>[45]</sup>。Park等人在发芽糙米酒中加入了红辣椒,制成了具有独特风味的发芽糙米酒,具有一定的创新性<sup>[46]</sup>。目前对于发芽糙米酒的研究相对较少,发芽糙米酒比一般的酒具备更多的营养功能因子,适量饮用具有保健功效,因此发芽糙米酒具有一定的开发价值。

## 3 存在问题及发展前景展望

近年来,由于营养相关的慢性疾病高发,人们的营养健康意识不断增强,越来越多的消费者逐渐开始讲究营养平衡与合理膳食,谷物作为我国膳食结构中最重要食物资源,其科学合理的消费将对国民的健康产生深刻影响,对建设健康中国意义十分重大。以糙米为代表的全谷物中除了膳食纤维外,还包括抗氧化成分等生理活性物质,这些生理活性物质可以通过单个组分或相互结合或协同增效来产生各种保健作用,而糙米在萌发过程中,发生复杂的生理生化变化,米胚中束缚态的酶被释放或活化,同时又形成新的酶,贮藏物质在酶作用下转变成供胚生长所需的物质。在此过程中,中间产物形成,物质之间也发生相互转变,糙米中营养物

质的含量也随之增加。

目前我国在开发糙米食品方面已经取得了一定的成绩,研发的发芽糙米产业化项目已经通过专家鉴定,建成了一条0.5~1 t/d规模的生产线,国家粮食加工业发展规划(2011~2020年)中也明确提出了要深入研究速食糙米、发芽糙米、蒸煮米、全谷物健康食品的加工与保藏技术,要大力促进全谷物健康食品的开发。由于我国对发芽糙米的开发起步晚,尚需在以下几个方面合力攻关,破解发芽糙米食品发展的瓶颈。

第一,虽然发芽糙米皮层的保留可以使其具有更高的营养价值,但是皮层中的物质会影响发芽糙米食品加工,例如高膳食纤维会阻碍淀粉分子的糊化,同时会影响入口感,加工过程会使脂类物质更容易被氧化,影响产品的贮藏稳定性和食用安全性。因此,解决发芽糙米产品的适口性和储存性,需要开发出新的加工技术,如在发芽糙米浸泡过程中可以添加外源酶与发芽时激活的内源酶协同作用来处理发芽糙米,例如木聚糖酶和纤维素酶,经酶处理后的发芽糙米皮层会比之前疏松多孔,明显改善适口性。如可以通过进一步碾磨发芽糙米来提高适口性,但是不同碾白程度产生的碎米较多,所以控制好发芽糙米的爆芽率是工艺的关键步骤。

第二,谷物糊粉层中含有很多酶类,包括过氧化物酶、多酚氧化酶、淀粉酶等,加工过程中对糊粉层的破坏可能会导致食品形成一些不良风味、发生酶促褐变与淀粉降解等。因此,发芽糙米食品开发加工过程中要注意产品口感、风味、色泽、质构等的变化与控制,营养与功能性组分的保留与生物有效性控制,单一产品开发向多功能、多元化产品开发。例如制作发芽糙米粉时可以将高压均质和挤压膨化技术相结合,这样可以大大提高产品的质构特性,优化产品的细度和均匀度;还可以在产品开发过程中复配一些风味独特、营养价值高的物质,使营养成分极大丰富化。

第三,加快发芽糙米为主要原料食品相关标准的制定。借鉴美国谷物化学家协会(AACC)对全谷物定义,进一步明确发芽糙米食品的种类范围,发芽糙米含量占其食品组分50%以上的食品方能冠以“发芽糙米食品”,含量不足50%的应称其“发芽糙米风味食品”,并尽快研究和建立发芽糙米食品指纹图谱库和定性定量快速检测的指标体系和方法。

第四,加强发芽糙米营养与健康的关系作用机理研究,开展发芽糙米中生理活性组分的鉴定、特性与生物有效性研究,流行病学结合临床应用研究,为发芽糙米食品的推广提供理论基础依据。

第五,开展不同加工方法对发芽糙米营养素生物有效性的影响,开发最大限度地保留发芽糙米营养物质和生理活性物质的加工技术方法,为消费者提供具有市场竞争力的发芽糙米食品。

第六,开展发芽糙米食品健康消费方面的科普宣传与教育,研究机构、政府部门、健康组织机构、粮食及食品加工企业、教育部门、科技管理部门、消费者、媒体等方面携手联合共同促进发芽糙米食品产

业发展,为改善国民营养与健康,早日实现健康中国的发展目标做出应有贡献。

### 参考文献

- [1] 齐琳琳,于亮,于勇.糙米的营养价值及其加工技术研究进展[J].中国食物与营养,2015,21(3):68-71.
- [2] 张晖,姚惠源,姜元荣.富含 $\gamma$ -氨基丁酸保健食品的研究与开发[J].食品与发酵工业,2002,28(9):69-72.
- [3] 孙玉侠,谢仁有,李小梅,等.浅说发芽糙米的现状及发展建议[J].粮食问题研究,2016(4):22-26.
- [4] 程威威.HPLC检测发芽糙米中GABA不同衍生方式评价及其制备关键技术初探[D].长沙:中南林业科技大学,2014.
- [5] 许仁溥.发芽糙米开发[J].粮食与油脂,2001(8):37-38.
- [6] 钟国才,陈威,陈嘉东.发芽糙米产品开发与应用前景[J].粮食与油脂,2014,27(3):7-9.
- [7] 周婷.糙米发芽过程中营养成分变化规律及新产品开发[D].长沙:中南林业科技大学,2014.
- [8] 李娟.发芽糙米蒸煮性能改善研究[D].长沙:中南林业科技大学,2012.
- [9] 杨柳.发芽糙米研发进展[J].粮油食品科技,2011,19(3):19-23.
- [10] Kim J Y, Lee M Y, Ji G E, et al. Production of gamma-aminobutyric acid in black raspberry juice during fermentation by *Lactobacillus brevis* GABA100[J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 130(1):12-16.
- [11] 李勇.发芽糙米的储藏特性及其GABA含量测定方法的研究[D].成都:西华大学,2014.
- [12] Ueno H. Enzymatic and structural aspects on glutamate decarboxylase[J]. Journal of Molecular Catalysis B Enzymatic, 2000, 10(1):67-79.
- [13] Shamsuddin A M, Vucenic I, Cole K E. IP6: a novel anti-cancer agent[J]. Life Sciences, 1997, 61(4):343-354.
- [14] 张正磊,周惠明.酶法降解糙米中植酸初探(一)-糙米中植酸提取或降解方式的选择[J].食品工业科技,1999,20(2):35-36.
- [15] Ohtsubo K, Suzuki K, Yasui Y, et al. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2005, 18(4):303-316.
- [16] 安红周,杨波涛,李扬盛,等.糙米全谷物食品研究现状与发展[J].粮食与油脂,2013,26(2):40-43.
- [17] Meister A. On the antioxidant effects of ascorbic acid and glutathione. [J]. Biochemical Pharmacology, 1992, 44(10):1905-1915.
- [18] Miyoshi K, Sato T. The Effects of Ethanol on the Germination of Seeds of Japonica and Indica Rice (*Oryza sativa* L.) under Anaerobic and Aerobic Conditions[J]. Annals of Botany, 1997, 79(4):391-395.
- [19] 李思,方坚,梁建芬.浸泡液对糙米发芽的影响研究[J].食品科学,2007,28(7):138-141.
- [20] 黄迪芳.糙米萌发工艺及发芽糙米功能饮料的研究[D].无锡:江南大学,2005.
- [21] 金增辉.发芽糙米与糙米发芽[J].粮食与油脂,2001(12):8-10.
- [22] 张守文,陈殊贤.发芽糙米制备工艺的研究进展及前景展望-最有发展前景的食品配料[J].中国食品添加剂,2013(3):53-58.
- [23] 胡秀娟.发芽糙米粉(粥)制备技术研究[D].郑州:河南工业大学,2012.
- [24] 王秋.谷物杂粮超微混合粉营养、功能特性及其应用的研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2015.
- [25] 韩永斌,刘桂玲,史晓媛,等.挤压膨化对发芽糙米理化性质的影响[J].中国粮油学报,2010,25(12):1-5.
- [26] 马涛,卢镜竹.提高挤压膨化糙米粉的冲调分散性[J].食品工业科技,2012,33(5):277-279.
- [27] 马涛,卢镜竹.提高非膨化糙米粉的冲调稳定性研究[J].食品科技,2012,37(2):175-178.
- [28] 李次力,王茜.发芽糙米面包的研制[J].食品科学,2009,30(18):436-439.
- [29] 余树玺,何跃,马良.发芽糙米米面包的加工工艺研究[J].农产品加工(学刊),2012(2):34-38.
- [30] Morita Naofumi, Maeda Tomoko, Watanabe Michiyo, et al. Pre-germinated Brown Rice Substituted Bread: Dough Characteristics and Bread Structure [J]. International Journal of Food Properties, 2007, 10(4):779-789.
- [31] 刘颜,沈德艳,郭娟,等.苦荞发芽糙米无糖蛋糕的配方优化[J].安徽科技学院学报,2012,26(2):40-43.
- [32] 郑艺梅,卓晓苑,沈雄义,等.响应面法优化富硒富 $\gamma$ -氨基丁酸发芽糙米饼干配方[J].粮食与饲料工业,2015,12(9):25-28.
- [33] 李静芳,李新新,刘军巧,等.糙米绿茶加工工艺及感官质量模糊综合评判[J].食品与机械,2015,31(4):228-231.
- [34] 刘崑,王晶晶,于小磊,等.发芽糙米乳酸菌饮料的研制[J].粮食与饲料工业,2013(3):30-33.
- [35] 孙月娥,王卫东,李曼曼,等.发芽糙米黑豆复合饮料的生产工艺[J].食品科学,2010,31(18):476-479.
- [36] 孙佳欣,刘崑,徐宁,等.发芽糙米绿茶复合饮料的研制[J].粮食与饲料工业,2016,12(6):51-54.
- [37] 陈志杰,杨振东,顾振新.灵芝发芽糙米果液的工艺研究[J].食品科学,2010,31(6):114-117.
- [38] 马涛,王勃,王晓琳,等.一种搅拌型糙米发酵饮料的制备方法:CN103829336A[P].2014.
- [39] 王立,段维,钱海峰,等.糙米食品研究现状及发展趋势[J].食品与发酵工业,2016,42(2):236-243.
- [40] 金明晓.糙米酵素最佳工艺条件研究[J].现代商贸工业,2013(9):189-190.
- [41] 侯利娟,邱志超,王俊玲,等.酵母菌发酵生产糙米酵素条件优化的研究[J].黑龙江科学,2016,7(15):6-7.
- [42] 李志江,关琛,翟爱华,等.糙米酵素发酵工艺对 $\gamma$ -氨基丁酸和谷胱甘肽含量影响研究[J].农产品加工(学刊),2014(1):6-8.
- [43] 吕美.功能性全谷物糙米酒酿制工艺的研究[J].酿酒科技,2015(4):46-48.
- [44] 肖连冬,臧晋,吴德海.双边发酵法生产发芽糙米酒的研究[J].食品工业科技,2007,28(7):153-155.

# 糜子营养成分及功能利用研究进展

王双辉<sup>1</sup>, 陈致印<sup>1</sup>, 谢晶<sup>1</sup>, 余书齐<sup>1</sup>, 谢彦瑰<sup>1</sup>, 吴福平<sup>2</sup>, 罗育才<sup>1,\*</sup>

(1. 湖南人文科技学院农业与生物技术学院, 湖南娄底 417000;

2. 湖南隆庆农业开发有限公司, 湖南娄底 417000)

**摘要:** 糜子是一种非常重要的作物, 含有丰富的营养物质及较高的膳食纤维、多酚、矿物质和含硫氨基酸。糜子有抗氧化与抗衰老、抗癌、预防糖尿病、保护心脏和抗高血脂等生理功能。在国外, 糜子除了被加工成糜子粉、糜子饼、糜子球等传统食品外, 还被制成糜子麦芽和发酵食品等。然而, 我国对糜子的研究非常少, 关于糜子的产品也不多, 严重制约我国糜子产业的发展。本文将从糜子的营养成分、生理功能及加工利用这三个方面进行综述, 以期待给我国糜子的加工者和研究者提供一定的借鉴。

**关键词:** 糜子, 营养成分, 生理功能, 加工利用, 研究进展

## Research progress in nutrient composition, function and utilization of finger millet

WANG Shuang-hui<sup>1</sup>, CHEN Zhi-yin<sup>1</sup>, XIE Jing<sup>1</sup>, YU Shu-qi<sup>1</sup>, XIE Yan-gui<sup>1</sup>, WU Fu-ping<sup>2</sup>, LUO Yu-cai<sup>1,\*</sup>

(1. College of Agriculture and Biotechnology, Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, China;

2. Hunan Longqing Agricultural Development Co. Ltd., Loudi 417000, China)

**Abstract:** Finger millet, containing rich nutrient such as dietary fiber, polyphenols, minerals and sulfur-containing amino acids is a kind of important crop in the world. There are various functions of finger millet, such as antioxidant and anti-aging, anti-cancer, prevention of diabetes, heart protection and antihyperlipemia. In foreign countries, finger millet is processed into malt powder and fermented food, in addition to flour, bread, balls and other traditional food. However, there are very few researches and products of finger millet in China. It seriously restricts the development of Chinese industry of finger millet. This article reviews the nutrient composition, physiological function and processing of finger millet, in order to provide references to our country's producers and researchers about finger millet.

**Key words:** finger millet; nutrient composition; physiological function; utilization; research progress

中图分类号: TS218

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)13-0329-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.13.062

糜子 (*Eleusinecoracana* (L.) gaertn), 又名龙爪粟、鸭爪稗、龙爪稷等, 为 1 年生草本植物, 具有耐旱、耐涝和耐盐碱的性能, 起源于非洲, 广泛分布于东半球热带及亚热带地区; 在印度, 它的产量仅次于小麦、水稻、玉米、高粱和珍珠粟, 是一种非常重要的作物。我国长江以南及湖南、安徽、广西、河南、西藏、陕西等省区均有分布<sup>[1]</sup>。糜子属 C<sub>4</sub> 植物, 光合能力极强, 产量较高。在我国, 如施足底肥, 在一般盐碱地上, 可亩产干草 1000 kg、籽粒 150~350 kg 以上, 即使在瘠薄的盐碱荒地上, 也可亩产达干草 600 kg、籽粒

100 kg<sup>[2]</sup>。糜子是热带和亚热带植物, 不适宜我国的温带气候; 其产量也明显低于小麦、水稻、玉米等作物; 此外, 糜子含有难以去除的种皮, 粉碎后口感粗糙; 因而, 在我国的种植面积有限。

然而, 糜子营养丰富, 具有较高含量的膳食纤维、多酚、矿物质和含硫氨基酸, 特别是糜子的钙和钾含量在所有谷物是最高的<sup>[3-4]</sup>。研究表明, 糜子有抗氧化与抗衰老、抗癌、预防糖尿病、保护心脏和抗高血脂等生理功能<sup>[5]</sup>。本文将从糜子的营养成分、生理功能及加工这几个方面进行综述。

收稿日期: 2016-12-29

作者简介: 王双辉(1985-), 男, 硕士研究生, 助教, 研究方向: 食品科学, E-mail: 18216475975@163.com。

\* 通讯作者: 罗育才(1975-), 男, 硕士, 高级农艺师, 研究方向: 作物栽培与育种, E-mail: 1016484783@qq.com。

基金项目: 湖南省教育厅科研项目(17C0819); 湖南人文科技学院青年基金项目(2015QN10); 油菜林套技术研究及推广应用(774000701)。

[45] 魏婧. 糙米酒和发芽糙米酒发酵工艺及产品指标分析 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.

[46] SP Chan, EH Oh, HS Jeong, et al. Quality characteristics of the germinated brown rice wine added with red pepper [J]. Journal

of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2009, 38(8): 1090-1096.