

糙米食品研究现状及发展趋势

王立*, 段维, 钱海峰, 张晖, 齐希光

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡, 214122)

摘 要 稻米是我国主粮之一,现代加工技术由于片面追求高精度,而使得糊粉层和胚芽中的营养成分大部分被除去,导致营养失衡,继而引发糖尿病、肥胖症、心血管病等慢性病,因此,全谷物食品成为一个开发和利用的热点。作为全谷物食品的重要原料之一,糙米能有效降低心脑血管疾病、糖尿病和恶性肿瘤等相关慢性疾病的风险。目前为止,世界各国已相继开发出了发芽糙米、糙米饼干、糙米面包、糙米饮料和糙米粉等多种糙米食品。文中首先介绍了糙米中的多种营养因子的营养价值和功能特性,如谷胱甘肽、膳食纤维、 γ -氨基丁酸和谷维素等;其次,介绍了国内外发芽糙米食品和焙烤糙米食品等多种类型的糙米食品的加工技术及研究现状,最后,分析了糙米食品的开发中所存在的问题,并对发展趋势进行了探讨。

关键词 糙米;全谷物;营养;食品加工

稻米和小麦是我国最主要的2种主粮,据统计,我国约2/3以上的人口以米饭为主食^[1]。目前,市场上的大米产品绝大部分为精加工产品,这些产品经过了脱壳、碾白、抛光等工序,糊粉层和胚芽中的营养成分被除去。研究表明^[2],这些被除去的营养成分,对人体的健康具有很好的保健作用。部分消费者由于片面追求“精”加工食品,导致营养失衡,进而引发了糖尿病、肥胖症、心血管病等慢性病。这些慢性病的出现,引起了人们对营养全面的食品的关注^[3-4]。全谷物食品因保留了富含营养物质的糊粉层和胚芽,而成为了一个开发和利用的热点^[5]。

糙米作为一种全谷物食品原料,具有来源丰富、营养价值高、开发前景广等优点,同时还能作为一种无面筋原料而广泛应用于非面筋食品的开发。国外已相继开发出了糙米茶、糙米面条、糙米蛋糕、高蛋白糙米粉等一系列糙米营养食品^[6],并得到了消费者的认可。我国水稻产量居全球第一,但有关糙米产品的研发还处于起步阶段,相关产品生产规模不大,种类也较少,有待于进一步开发^[7]。本文综述了国内外糙米食品的开发利用现状。

1 糙米的营养和功能价值

1.1 糙米的营养价值

第一作者:博士,教授(本文通讯作者,E-mail:w0519@163.com)。

基金项目:国家“十二五”科技攻关项目(2012BAD37B08-3);863计划(2013AA102203-7)

收稿日期:2015-03-13,改回日期:2015-08-28

稻谷脱壳后剩下的完整果实即为糙米,它比精米更多地保留了糠层和胚。有报道显示^[1]:糙米中的营养成分分布极不均匀:粗纤维主要分布在皮层;维生素、脂肪和小部分蛋白质分布在糊粉层及胚部;而淀粉和蛋白质大部分分布在胚乳中。营养物质的分布不均,一方面使得糙米比精白米含有更多的营养成分(见表1);另一方面,导致了加工过程中粗纤维、脂肪等存在于皮层和胚中的营养物质极易流失。

表1 糙米和精白米营养成分比较

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

	糙米	精白米
营养成分/ [g · (100g) ⁻¹]		
蛋白质	7.1 ~ 13.1	5.6 ~ 13.3
脂肪	1.8 ~ 4.0	0.2 ~ 1.3
碳水化合物	73.6 ~ 90.2	78.5 ~ 93.5
灰分	1.0 ~ 2.4	0.3 ~ 0.7
V _{B1}	2.1 ~ 4.5	痕量 ~ 1.8
微量成分/ (μg · g ⁻¹)		
V _{B2}	0.2 ~ 0.9	0.1 ~ 0.4
V _{B6}	1.6 ~ 11.2	0.4 ~ 6.2
V _E	13	痕量
Ca	61.5 ~ 400	30.2 ~ 385
Cl	203 ~ 275	163 ~ 372
Fe	7 ~ 54	2 ~ 27
P	2 500 ~ 4 400	860 ~ 1 920
K	804 ~ 3 400	140 ~ 1 200
Si	190 ~ 1 900	50 ~ 370
Na	31 ~ 176	22 ~ 85
Zn	15 ~ 22	3 ~ 21

注:数据来源于文献^[8-9]。

较白米而言,糙米除含有更多的营养成分外,还

含有较多的膳食纤维、磷脂、 γ -氨基丁酸、谷胱甘肽、谷维素和肌醇等具有生理活性的健康功能因子。这些功能因子主要存在于糙米的糠层和胚中,对预防疾病、改善人体健康状况有积极作用^[2]。因此,以糙米为原料,结合食品加工新技术,生产出兼顾营养、功能和口感的糙米产品将成为一大趋势。

1.2 糙米中的营养因子及其应用研究

糙米中富含的营养因子给糙米食品带来了多种功能特性,如提高人体免疫功能、去除体内氧自由基、降血脂、预防心脑血管疾病、延缓衰老、提高记忆力和美容等^[10-11]。

1.2.1 谷胱甘肽

谷胱甘肽(GSH)为活性三肽,糙米中的含量约含 3.64 mg/100g^[12]。GSH 除广谱解毒^[13]、抗动脉粥样硬化^[14]等健康功效外,还有增加肿瘤细胞抗药性^[15]等负面作用。关于糙米中的 GSH,国内外均有报道。SAKURAI 等^[16]用米曲霉将糙米进行发酵处理,制成的产品能使小鼠巨噬细胞中 GSH 含量增加。郝迎等^[17]确定了液体和固体发酵生产米糠 GSH 的最优工艺。另外,李志江等^[18]通过发酵方式,制备出了高 γ -氨基丁酸、低 GSH 含量的糙米酵素,这在一定程度上降低了产品由于 GSH 的存在而带来的负面作用。由此看来,不同 GSH 含量的糙米食品具有较大发展空间。

1.2.2 膳食纤维

糙米中的膳食纤维绝大部分分布在米糠中,含量约为 3.76g/100g,占到米糠重量的 25%~40%^[9]。MARTI 等^[19]研究发现,糙米中膳食纤维的含量是精米的 3 倍之多,但其中大部分为不溶性膳食纤维。目前关于米糠膳食纤维的研究主要集中在 2 个方面:米糠中膳食纤维提取工艺的优化^[20]和提取工艺对膳食纤维的影响^[21-22]。研究发现,将糙米进行发芽处理,能使糙米粗纤维皮层酶解软化,使产品变得更加柔软适口^[23];而挤压有助于提高水溶性的膳食纤维含量和改善膳食纤维生理活性,使其预防疾病的效果更加明显^[24]。

1.2.3 γ -氨基丁酸

γ -氨基丁酸(GABA)是广泛分布于动植物中的一种非蛋白质氨基酸,能参与多种代谢活动,有很高的生理活性^[25]。糙米中的 GABA 含量约为 3.8 mg/100g,据报道糙米在发芽过程中 GABA 的含量可达到 210.8 mg/100g,甚至更高^[26]。到目前为止,已有较多关于 GABA 功能特性的研究报道,而关于糙米食

品中 GABA 的研究报道还不多,已有的报道主要集中在:加工工艺对 GABA 含量的影响^[27],以及富集 GABA 的糙米食品的开发^[28]。相信随着科技的不断发展,富含 GABA 的产品种类将会越来越多。

1.2.4 谷维素

谷维素是环木菠萝醇类阿魏酸酯及部分甾醇类阿魏酸酯组成的混合物,糙米中的谷维素主要存在于糠层中,含量为 0.3%~0.5%^[29]。章杏等^[30]通过研究发现,黑米米糠中的谷维素含量高于红米和白米米糠。目前关于谷维素功能性质的报道很多,主要有抗炎^[31]、降血糖血脂^[32]等作用。另有研究报道^[33],利用米糠中的 γ -谷维素制得的阿魏酸可阻止大肠癌变。XU 等^[34]发现, γ -谷维素的抗氧化活性高于 V_E ,而米糠中的谷维素含量是 V_E 的 10 倍,因此米糠中的谷维素是更为重要的抗氧化物质。

1.2.5 米糠蛋白

米糠中蛋白质含量为 12%~18%,与精米中蛋白组成不同的是,米糠中蛋白组成质量比为:清蛋白:球蛋白:醇溶蛋白:谷蛋白质量比为 37:36:5:22^[35]。据报道,米糠蛋白中的氨基酸组成与 FAO/WHO 建议的氨基酸模式接近,其营养价值可与鸡蛋蛋清媲美^[36]。关于米糠蛋白功能特性的研究也有一些报道,如将米糠可溶性蛋白进行酶解处理,并利用超滤法可获得类阿片拮抗肽,此物质能降低阿片类药物反复食用后的一些副作用^[37]。同时,米糠蛋白及其酶解物具有降低仓鼠肝脏中总脂肪、总胆固醇和游离胆固醇含量,并增加粪便中脂肪和胆固醇排出量的作用^[38]。因此,高效利用米糠蛋白也许会获得意外效果。

1.2.6 其他

脂多糖分为细菌脂多糖和植物脂多糖,米糠中富含植物脂多糖。陈正行^[39]采用超滤和纳滤手段对米糠脂多糖进行分离浓缩,得到了高纯度的米糠脂多糖。目前为止,发现米糠脂多糖具有对抗内毒素血症^[40]和增强免疫力^[41]等功能。另有发现^[42],米糠脂多糖在激活小鼠网状内皮系统产生 TNF 和安全性方面更具优势,是一种无毒且有高免疫活性的植物脂多糖,具有很高的营养价值。

肌醇属于维生素类功能成分,多与磷酸离子结合形成多磷酸肌醇,具有防癌的功效^[43]。目前,关于米糠肌醇提取纯化的研究较多,有离子交换树脂法^[44]和微波辐射法^[45]等。而米糠肌醇的应用范围涉及较广,可应用于食品和饲料等行业,极大地增加了米糠

的附加值^[46]。还有研究发现^[47],从脱脂米糠中提取菲丁,再将菲丁水解制取肌醇的方法可以提升米糠肌醇的利用率。

2 糙米食品及其加工技术

据统计,2011年中国大米产量中,糙米总产量为70万t,仅占总产量的0.9%^[48]。由此看来,国内糙米全谷物食品的发展仍处于起步阶段。但是,随着政府、企业以及消费者对全谷物食品关注程度的增加,人们生活品质的不断提高,糙米全谷物食品的开发趋势有所增强。另外,一些食品加工高新技术,如挤压技术^[49]的应用,为制备营养物质丰富、食味品质优良的全谷物糙米产品提供了技术支持和保障。

2.1 发酵类糙米食品

2.1.1 糙米酵素

糙米酵素是在糙米的胚芽和糠中加入蜂蜜后,利用酵母和乳酸菌发酵而成的混合生物酶体系,发酵过程会衍生出数十种新的酵素,提升了糙米的营养价值,引发了糙米酵素的研究热潮^[50]。金明晓^[51]以发芽糙米为主要原料,发酵制得糙米酵素,并确定了最佳发酵条件。吕美等^[52]以米糠、糙米为主要原料进行发酵,以还原型GSH为指标,确定了糙米酵素发酵培养基的最佳配方和糙米酵素最佳发酵条件,最终得到GSH含量最高值为2.62 mg/g。张丽萍等^[53]以糙米为原料,利用酵母进行发酵制备糙米酵素,并对其品质进行了分析。陈庶来等^[54]使用正交法对糙米酵素的制备工艺进行了探讨,获得了发酵的最佳工艺。虽然关于糙米酵素的研究已有很多,但是对该领域的研究并不深入,进一步开发富含糙米酵素的功能产品是今后糙米加工的一大趋势。

2.1.2 发芽糙米酒

以糙米为原料,蒸煮后进行糖化处理,再加入酵母进行发酵即可制成糙米酒。而以发芽糙米为原料、采用双边发酵法,可制备出营养价值更高的发芽糙米酒。肖连冬等^[55]以发芽糙米为主要原料,参考啤酒生产的糖化原理和黄酒发酵工艺,经双边发酵,生产出具有高营养的功能性糙米芽低醇酿造酒。魏婧^[56]对糙米酒和发芽糙米酒发酵工艺进行了较详细的探讨,并确定了最佳生产工艺条件。KOO等^[57]也对糙米酒进行了类似研究。另外,还有人还对糙米酒的功效和风味等品质进行了研究。姜忠丽等人^[58]研究了糙米酵素红曲酒的发酵工艺,并发现该产品具有抗疲劳的功效。PARK等^[59]通过在发芽糙米酒中添加红辣

椒,制备出了风味独特的发芽糙米酒。糙米酒能在一定程度上扩大购买人群的范围,因此具有一定的开发价值。

2.2 焙烤类糙米食品

糙米蛋白为非面筋蛋白,能降低面团黏弹性,提高产品的酥松性;同时焙烤中的美拉德反应会使产品产生米香味,改善了产品风味。故而焙烤糙米食品具有较好的发展前景。另外,糙米焙烤食品的研制,拓宽了糙米的用途,弥补了焙烤食品原料单一、品种不足的缺陷。

2.2.1 糙米蛋糕

传统清蛋糕为低脂、高糖、高蛋白类食品,不利于患有糖尿病、肥胖症等疾病的特殊人群食用。以糙米为原料可以制备出无糖而又营养价值丰富的蛋糕,为那些特殊人群带来了福音^[60]。HUFF等^[61]以不同品种的糙米为原料,探讨了糙米蛋糕的制作工艺。李增利^[62]用糙米粉代替部分面粉、阿斯巴甜代替蔗糖,制成了孔泡细密均匀、口感绵软的蛋糕。LEE等^[63]以黑米和糙米为原料,对影响膨化糙米蛋糕制作的因素进行了分析,并确定了其最佳工艺。刘颜等^[64]以苦荞和发芽糙米为主要原料,对无糖蛋糕的配方和生产工艺进行了优化,制备出具有营养保健功能的蛋糕制品。事实上,国内以全糙米为原料制备糙米蛋糕的研究并不多,而更多的研究集中在以米、面粉为混合原料的蛋糕制品的制作工艺上,因此,纯糙米蛋糕的研制和推广仍是今后研究的一个方向。

2.2.2 糙米饼干

糙米粉存在黏弹性弱、富含油脂难以混匀等问题,故糙米饼干制作过程中需要添加增稠剂和乳化剂来改变面团的性质,增加黏着性、持气性,抑制饼干“起油”、发硬及老化,便于饼干结构的维持。因此,研究糙米饼干加工工艺的过程就是改善其结构稳定性的过程^[65]。李雨露^[66]研制出了一种添加20%面粉的糙米饼干,随后又进一步研究并确定了发芽糙米酥性饼干的最佳配方^[67]。而国外对杂粮糙米饼干也进行了一些研究^[68]。SCHÖBER等^[69]以糙米粉为主要原料,通过加入其他杂粮粉,制成了无麸质饼干。糙米饼干的研究虽然已开展了一段时间,在工艺上也比较成熟,但是产品的推广却并不算成功,分析主要原因可能有以下几个方面:糙米的米糠味导致米糠饼干风味不佳;纤维含量高导致饼干口感与传统饼干差异过大;以及人们观念中认为米糠是加工副产物不适于加工成食品等等,因此关于米糠饼干的研究还有大

量工作需要开展。

2.2.3 糙米面包

面包制作的核心是发酵过程的确立,但其他加工过程也会影响面包品质。HAMADA 等^[70]研究分析了糙米浸泡工艺对糙米面包品质的影响。CHARO-ENTHAIKIJ 等^[71]通过将面粉和糙米粉进行复配,生产出了口味更好、营养更优的产品。熊兰等^[72]采用一次发酵法制作了糙米面包,并研究了糙米粉添加量对面包品质的影响,而 NAOFUMI 等^[73]则对发芽糙米粉进行了研究,发现发芽糙米粉的加入能够改善面包品质。另外,CHAROENTHAIKIJ 等^[74]通过研究发现,将糙米粉和小麦粉按质量 1:1 混合后制成的面包感官特性并未受到明显影响。还有研究报道^[75-76],发芽糙米粉的加入使面包的营养价值得到提升。糙米面包的配方和工艺虽然已经有较多研究,但糙米面包推广过程中所存在的保质期短、市场饱和度高、口感以及消费观念等问题限制了糙米面包的发展。

2.3 其他糙米食品

2.3.1 糙米粉

常用的速食糙米粉制备方法有湿法、干法和干湿复合法。其中,干法特有的挤压膨化过程为其产品带来更多优势,经过挤压后的产品在溶解性、口感、香味等方面的品质均有所提升,为糙米粉带来了更优良的口感和风味^[77]。金增辉^[78]采用生化法对加工纯天然速食糙米粉的工艺进行了探讨,并研究出一种湿法加工全糙米粉的技术。蔡向忠等^[79]则以乌贡黑糙米为原料,加入其他辅料制成了营养均衡、老少皆宜的糙米粉。而 WU 等^[80]则研究分析了发芽时间对糙米粉理化性质的影响,为研制更优质的糙米粉提供理论基础。糙米粉的成功研制既解决了糙米难煮、难吸收的问题,又保留了糙米的营养,为老人、小孩提供了更多的选择。同时,糙米粉可以作为原料添加到其他食品中,改善食品的风味。

2.3.2 发芽糙米

发芽糙米是糙米在适宜的环境条件下经过一系列变化长成的新个体,发芽激活了糙米的内源性酶,改变了营养物质,同时改善了口感^[81-82]。目前,关于糙米发芽工艺的研究有较多的报道^[83]。杨明毅等^[84]得出了糙米发芽的适宜工艺条件,在此条件下 GABA 含量较高,为 650 mg/100 g,且产品口感好。黄迪芳等^[85]对影响糙米发芽的各种条件进行了分析,并发现糙米芽长为 1 mm 时,GABA 含量最高。也有人

等^[86]用双螺旋压片机对发芽糙米进行挤压处理发现经过压片的发芽糙米产品比未挤压的发芽糙米含有更多的游离氨基酸。MAMIYA 等^[87]发现,发芽糙米对小鼠脑功能有一定影响。关于发芽糙米的研究较多且工艺基本成熟,但市场上与发芽糙米相关的产品并不多,除宣传不足外,可能的原因是发芽糙米的口感不佳。因此,今后发芽糙米的研究工作应该从食用品质改良出发,同时,加强发芽糙米系列食品的深度开发,以便更充分的利用发芽糙米。

2.3.3 发芽糙米饮料

发芽糙米饮料是以发芽糙米为主要原料,经过浸泡、磨浆、均质、灭菌等工艺制备而成的具有较好稳定性的饮料。饮料研究的重点是通过特殊的加工手段和工艺来提高产品的稳定性^[88]。丁志刚等^[89]通过单因素试验,确定了各添加剂的加入量和发芽糙米饮料的最佳配比。BULATAO 等^[90]通过研究发现,发芽糙米可以改善饮料的营养和功能品质。KOYAMA 等^[91]以糙米为原料,通过湿磨法制备出了含 0.3% 的黄原胶的糙米饮料。关于复合型饮料的研究也有一些报道,张群^[92]研究出了糙米果汁复合型饮料,该产品口感细腻、口味纯正、质地均匀,同时富有糙米和果汁特有的营养价值。因此,以糙米为原料的复合型饮料的生产将能同时满足人们对营养和美味的追求,倍受消费者喜爱。

3 存在问题及发展建议

随着人们生活水平的提高,消费者越来越重视自身健康。全谷物保留了谷物可食用部分最完整的营养成分,其中的谷胱甘肽等功能性成分,有控制体重、预防心血管疾病和促进肠道健康等积极作用^[93]。因此,以全谷物为原料的产品的开发成为了一大热点。另外,据统计,欧美面筋过敏人数占到总人数约为 1%^[94]。近年来,面筋过敏人群数量的大量增加^[95],扩大了对糙米食品的需求,而新技术的开发应用使得更多糙米产品的研制开发成为可能。然而,事实上,国内糙米食品的开发速度并不如预想的那样快速,究其原因是在糙米食品的开发过程中存在的一些问题阻碍了糙米食品的发展。在糙米食品的后续加工过程中,只有逐一将这些问题解决才能将糙米食品发展得更全面更完善。

(1)虽然皮层的保留使得糙米比精白米具备更高的营养价值,但是皮层中主要成分的存在会给糙米产品的加工带来不利影响。例如,糙米中高含量纤维

的存在阻止了水分进入淀粉粒,导致了淀粉糊化难的现象发生,同时纤维造成的“麸渣感”影响了糙米食品的口感^[96];高脂肪易导致糙米食品的氧化酸败,不利于糙米食品的长期储藏;植酸等抗营养因子会抑制人体对矿物质的吸收^[97];糙米中含有较多的磷,长期食用糙米加工成的酸性食品会对健康不利^[98]。因此,为了保证糙米食品的营养价值,又确保其良好的口感和较长的保藏期,需要开发新的加工技术。

(2)糙米蛋白为非面筋蛋白,虽然适合加工成无麸质食品,但缺少面筋蛋白易造成食品蛋白网络结构的不稳定。因此,在糙米食品的后续开发过程中,关于糙米食品网络结构稳定性的研究显得尤为重要。目前常用的改善方法有:将糙米粉和其他面粉混合,增强网络结构稳定性^[71];在糙米粉中加入增稠剂、乳化剂等,增强面团的黏弹性^[63]。这些方法不是加入面筋蛋白等过敏原,就是加入较多的添加剂,在一定程度上违背了开发糙米食品的初衷,因此,研究可行的方法来改善糙米制品的结构稳定性是一个需要解决的难题。

(3)虽然糙米较精米含有更丰富的营养物质和更多的功能性成分,但是其营养并不全面均衡,健康功效亦不显著。如赖氨酸为大米中的第一限制性氨基酸,只有将大米和其他食品一起食用才能满足人体需求。虽然通过糙米发酵可以提高糙米食品的营养性,但是此法比较单一,还可以通过添加一些同时具备营养价值和药用价值的来源广、廉价易得的物质来增加糙米食品的营养和功能特性,如加入一定量的藏红花素等,使糙米食品具备医食同源的功效。

(4)糙米较白米而言,较完整地保留了皮层,而报道显示^[99-100],谷物中的金属元素成分主要集中在皮层中,因此,皮层的存在极易导致重金属的富集残留,进而导致重金属含量超标问题的出现,该问题的存在限制了糙米食品的进一步开发。有研究表明^[101],水稻是吸镉最强的大宗谷类作物。镉会破坏人体骨骼系统,引发“骨痛病”,对人体健康极为不利。然而,研究显示^[102],中国稻米的平均镉含量为0.076 mg/kg,最高达2.11 mg/kg,远远超过中国谷物中镉含量的最高许可含量0.2 mg/kg,超标率为8.8%。高含量的金属累积限制了糙米的开发利用。因此,在深度开发糙米食品之前,需要解决可能存在的重金属超标问题。

总的来说,虽然国外已开发出了多种多样的糙米食品,但是国内关于糙米产品的开发起步较晚,市场

上的糙米产品种类也较少,糙米食品的发展还有待于进一步深化。

参 考 文 献

- [1] 姚人勇. 糙米食用品质改良的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2009: 1-3.
- [2] 于巍, 周坚, 徐群英, 等. 糙米与精米的营养价值与质构特性比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(9): 95-98.
- [3] SKEIE G, BRAATEN T, OLSEN A, et al. Whole grain intake and survival among scandinavian colorectal cancer patients[J]. Nutrition and Cancer, 2014, 66(1): 6-13.
- [4] REBELLO C J, GREENWAY F L, FINLEY J W. Whole grains and pulses: A comparison of the nutritional and health benefits [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(29): 7 029-7 049.
- [5] RICHARDSON D P. Whole grain health claims in Europe [J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2003, 62(1): 161-169.
- [6] MARTI A, PAGANI M-A, SEETHARAMAN K. Understanding starch organisation in gluten-free pasta from rice flour[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(3): 1 069-1 074.
- [7] 王瑞元. 大力推进全谷物营养健康食品的发展[J]. 现代面粉工业, 2011, 25(4): 1-3.
- [8] 高雅, 张春红, 韩艳秋, 等. 糙米的营养价值及加工利用现状[J]. 农业科技与装备, 2013(2): 56-58.
- [9] 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.
- [10] 李芳, 朱永义. 糙米中的功能性因子与糙米稳定化[J]. 粮食与饲料工业, 2003(6): 12-13.
- [11] 马涛, 司维雨. 糙米食品加工技术[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(31): 15 620-15 623.
- [12] MEISTER A. On the antioxidant effects of ascorbic acid and glutathione [J]. Biochemical Pharmacology, 1992, 44(10): 1 905-1 915.
- [13] BARRAMEDA-MEDINA Y, MONTESINOS-PEREIRA D, ROMERO L, et al. Role of GSH homeostasis under Zn toxicity in plants with different Zn tolerance[J]. Plant Science, 2014, 227: 110-121.
- [14] DEDOUSSIS GVZ, KALIORA A-C, PSARRAS S, et al. Antiatherogenic effect of pistacia lentiscus via GSH restoration and down regulation of CD36 mRNA expression [J]. Atherosclerosis, 2004, 174(2): 293-303.
- [15] Giralt M, LAFUENTE A, PUJOL F, et al. Enhanced glutathione S-transferase activity and glutathione content in human bladder cancer. Follow up study: influence of Smoking[J]. Journal of Urology, 1993, 149(6): 1 452-1 454.
- [16] SAKURAI H, CHOO M-K, CHINO A, et al. Antimetastatic and immunostimulatory properties of fermented brown rice[J]. Journal of Traditional Medicines, 2006,

- 23(3): 112-116.
- [17] 郝迎, 陈野, 吴彩琴, 等. 米糠发酵生产谷胱甘肽的工艺[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(6): 95-98.
- [18] 李志江, 关琛, 翟爱华, 等. 糙米酵素发酵工艺对 γ -氨基丁酸和谷胱甘肽含量影响研究[J]. 农产品加工: 创新版(中), 2014(1): 6-8.
- [19] MARTI A, SEETHARAMAN K, PAGANI M-A. Rice-Based Pasta: A comparison between conventional pasta-making and extrusion-cooking[J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52(3): 404-409.
- [20] 易文芝, 邓洁红, 唐志才, 等. 挤压膨化提高含豆渣产品可溶性膳食纤维的工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2012, 20(1): 12-15.
- [21] ASP N-G, JOHANSSON C-G, HALLMER H, et al. Rapid enzymic assay of insoluble and soluble dietary fiber[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1983, 31(3): 476-482.
- [22] 李锴. 糙米挤压膨化的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009: 10-12, 30.
- [23] KOMATSUZAKI N, TSUKAHARA K, TOYOSHIMA H, et al. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(2): 556-560.
- [24] 龙道崎, 邹妍, 赵国华. 挤压提高膳食纤维水溶性的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(1): 354-357.
- [25] ZHANG J, YANG L M, PAN X D, et al. Increased vesicular γ -GABA transporter and decreased phosphorylation of synapsin I in the rostral preoptic area is associated with decreased gonadotrophin releasing hormone and c-Fos co-expression in middle-aged female mice[J]. *Journal of Neuroendocrinology*, 2013, 25(8): 753-761.
- [26] 蒋静, 马涛. 营养液培养糙米发芽富集 GABA 工艺条件优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 195-199.
- [27] LU Y G, ZHANG H, YAO H Y. Enzymatic production of γ -aminobutyric acid using rice bran[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 586: 85-91.
- [28] 耿欣, 杜江, 肖军霞. 富含阿魏酸和 γ -氨基丁酸的发芽糙米酸奶品质控制的研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(7): 74-80.
- [29] YILMAZ N, TUNCEL N-B, KOCABIYIK H. Infrared stabilization of rice bran and its effects on γ -oryzanol content, tocopherols and fatty acid composition[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(8): 1568-1576.
- [30] 章杏, 郑金贵, 王乌齐, 等. 不同色稻米糠毛油及谷维素含量研究[J]. 福建农业学报, 2005, 20(1): 53-57.
- [31] ISLAM S, NAGASAKA R, OHARA K, et al. Biological abilities of rice bran-derived antioxidant phytochemicals for medical therapy[J]. *Current topics in Medicinal Chemistry*, 2011, 11(14): 1847-1853.
- [32] GHATAK S B, PANCHAL S S. Anti-diabetic activity of oryzanol and its relationship with the anti-oxidant property[J]. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 2012, 32(4): 185-192.
- [33] 刘元法, 王兴国, 倪伯文, 等. 米糠活性物质二十八醇功能性研究[J]. 中国油脂, 2001, 26(5): 63-65.
- [34] XU Z, HUA N, GODBER J S. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and γ -oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2, 2'-azobis (2-methylpropionamidine) dihydrochloride[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(4): 2077-2081.
- [35] 郑煜焱, 曾洁, 李晶, 等. 米糠蛋白的组成及功能性[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 143-149.
- [36] JINSMAA Y, TAKENADA Y, YOSHIKAWA M. Designing of an orally active complement C3a agonist peptide with anti-analgesic and anti-amnesic activity[J]. *Pptides*, 2001, 22(1): 25-32.
- [37] 王先远. 维生素的生理功能(中)[J]. 开卷有益. 求医问药, 2004(4): 26-28.
- [38] 张慧娟, Wally Y, 张晖. 糙米蛋白及其酶解产物对喂食高脂饲料叙利亚金仓鼠脂质代谢的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(1): 41-45.
- [39] 陈正行. 膜分离技术提取米糠脂多糖的研究[J]. 水处理技术, 2000, 26(6): 333-335.
- [40] KIM S P, PARK S O, LEE S J, et al. A polysaccharide isolated from the liquid culture of *lentinus* (shiitake) mushroom mycelia containing black rice bran protects mice against a salmonella lipopolysaccharide-induced endotoxemia[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(46): 10987-10994.
- [41] FANG H S, CHEN Y K, CHEN H H, et al. Immunomodulatory effects of feruloylated oligosaccharides from rice bran[J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(2): 836-840.
- [42] 陈正行. 植物脂多糖的开发利用[D]. 无锡: 无锡轻工大学, 1996.
- [43] SHAFIE N H, ESA N M, ITHNIN H, et al. Pro-apoptotic effect of rice bran inositol hexaphosphate (IP6) on HT-29 colorectal cancer cells[J]. *International Journal of Molecular Science*, 2013, 14(12): 23545-23558.
- [44] ZHAO L C, LIU T, LIU D. Experimental research on ion exchange technique to extract inositol from defatted rice bran[J]. *Advanced Materials Research*, 2014, 962: 1217-1221.
- [45] 胡珊玲, 王科军, 滕莉丽. 微波辐射法提取米糠中的肌醇研究[J]. 化工科技, 2008, 15(6): 15-18.
- [46] 浦静舒. 米糠肌醇制取关键技术的研究[D]. 吉林: 吉林农业大学, 2012: 1-5.
- [47] 张竞. 由菲丁生产肌醇的技术进展[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2002, 5: 26-28.
- [48] 谭斌, 刘明, 吴娜娜, 等. 发展糙米全谷物食品 改善国民健康状况[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 2-5.
- [49] CABRERA-CHAVEZ F, MARTI A, MARENGO M, et

- al. Molecular rearrangements in extrusion processes for the production of amaranth-enriched, gluten-free rice pasta[J]. *Food Science and Technology*, 2012, 47(2): 421–426.
- [50] 牛广财, 朱丹, 李志江, 等. 我国糙米酵素的研究进展[J]. *中国酿造*, 2010, 29(1): 12–14.
- [51] 金明晓. 糙米酵素最佳工艺条件研究[J]. *现代商贸工业*, 2013, 25(9): 189–191.
- [52] 吕美, 齐森, 贾磊, 等. 糙米酵素的发酵工艺[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(10): 111–113.
- [53] 张丽萍, 李志江, 曹龙奎, 等. 糙米酵素工艺技术研究及品质分析[J]. *农产品加工*, 2005, 9: 153–156.
- [54] 陈庶来, 杨小明, 刘伟民. 糙米酵素发酵工艺的研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(7): 275–277.
- [55] 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): 153–156.
- [56] 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.
- [57] KOO H N, YOOK C, KIM J S. Browning and its inhibition in fermentation of rice-grape wine[J]. *Korean Journal of Food and Technology*, 2006, 38(4): 554–561.
- [58] 姜忠丽, 王俊伟, 庞文录. 糙米酵素红曲酒发酵工艺的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2013(3): 34–37.
- [59] PARK C S, OH E H, JEONG H-S, et al. Quality characteristics of the germinated brown rice wine added with red pepper[J]. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 2009, 38(8): 1 090–1 096.
- [60] KIM J D, LEE J C, HSIEH F H, et al. Rice cake production using black rice and medium-grain brown rice[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2001, 10(3): 315–322.
- [61] HUFF H E, HSIEH F, PENG I C. Rice cake production using long-grain and medium-grain brown rice[J]. *Journal of Food Science*, 1992, 57(5): 1 164–1 167.
- [62] 李增利. 无糖糙米蛋糕的研制[J]. *扬州大学烹饪学报*, 2000, 17(3): 39–41.
- [63] LEE J C, KIM J D, HSIEH F H, et al. Production of black rice cake using ground black rice and medium-grain brown rice[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2008, 46(3): 1 078–1 082.
- [64] 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.
- [65] 傅晓如, 程人俊. 早籼糙米饼干和桃酥的研制与生产[J]. *食品科技*, 2000(1): 19–21.
- [66] 李雨露. 发芽糙米饼干的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2008(10): 5–7.
- [67] 李雨露. 发芽糙米饼干制作技术[J]. *新农村技术*, 2009(6): 51–52.
- [68] CHUNG H-J, CHO A, LIM S-T. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rice in sugar-snap cookies[J]. *Food Science and Technology*, 2014, 57(1): 260–266.
- [69] SCHOBERT T J, OBRIEN C M, MCCARTHY D, et al. Influence of gluten-free flour mixes and fat powders on the quality of gluten-free biscuits[J]. *European Food Research and Technology*, 2003, 216(5): 369–376.
- [70] HAMADA S, AOKI N, SUZUKI Y. Effects of water soaking on bread-making quality of brown rice flour[J]. *Food Science and Technology Research*, 2012, 18(1): 25–30.
- [71] CHAROENTHAIKIJ P, JANGCHUD K, JANGCHUD A, et al. Physicochemical properties and consumer acceptance of wheat-germinated brown rice bread during storage time[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(6): S333–S339.
- [72] 熊兰, 李百顺, 袁美兰. 糙米面包的研制[J]. *农业机械*, 2012, 30(18): 92–95.
- [73] NAOFUMI M, TOMOKO M, MICHIO W, et al. Pre-germinated brown rice substituted bread: Dough characteristics and bread structure[J]. *International Journal of Food Properties*, 2007, 10(4): 779–789.
- [74] CHAROENTHAIKIJ P, JANGCHUD K, JANGCHUD A, et al. Composite wheat-germinated brown rice flours: Selected physicochemical properties and bread application[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2012, 47(1): 75–82.
- [75] CHAROENTHAIKIJ P, JANGCHUD K, JANGCHUD A, et al. Germinated brown rice flour and bread formulations[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(6): S312–S318.
- [76] WATANABE M, MAEDA T, TSUKAHARA K, et al. Application of pre-germinated brown rice for bread-making[J]. *Cereal Chemistry*, 2004, 81(4): 450–45.
- [77] CHAROENTHAIKIJ P, JANGCHUD K, JANGCHUD A, et al. Germination conditions affect physicochemical properties of germinated brown rice flour[J]. *Journal of Food Science*, 2009, 9: C658–C665.
- [78] 金增辉. 全糙米粉加工[J]. *粮食与油脂*, 2002(8): 37–3.
- [79] 蔡向忠, 赵则胜, 武天龙, 等. 乌贡糙米粉的研制和利用[J]. *上海农学院学报*, 1998, 16(3): 218–220.
- [80] WU F F, CHEN H Y, YANG N, et al. Effect of germination time on physicochemical properties of brown rice flour and starch from different rice cultivars[J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 58(2): 263–271.
- [81] SAIKUSA T, HORINO T, MORI Y. Distribution of free amino acid in the rice kernel and kernel fraction and the effect of water soaking on the distribution[J]. *Agriculture Food Chemistry*, 1994, 42(5): 1 122–1 125.
- [82] MOONGNARM A, SAETUNG N. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice[J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(3): 782–788.
- [83] ZHANG Q, XIANG J, ZHANG L Z, et al. Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-

- aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice[J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 10: 283–291.
- [84] 杨明毅, 袁红奇, 杨春华. 发芽糙米的生理活性化工艺研究与控制[J]. *粮油食品科技*, 2003, 11(5): 24–25.
- [85] 黄迪芳, 陈正行, 邵瑜. 糙米发芽工艺的研究[J]. *食品科技*, 2004(11): 7–9.
- [86] 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 and Analysis*, 2005, 18(4): 303–316.
- [87] MAMIYA T, KISE M, MORIKAWA K, et al. Effect of polished and pre-germinated brown rice on the brain function in mice[J]. *Journal of Pharmacological Sciences*, 2007, 103: 34.
- [88] 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: 31–39.
- [89] 丁志刚, 桑宏庆, 王泰. 发芽糙米谷物饮料的研究[J]. *饮料工业*, 2013, 16(6): 37–41.
- [90] BULATAO R M, MABESA L B, MABESA R C, et al. Phytochemical and functional properties of Philippine sprouted brown rice (*oryza saliva* L.) and its potential as base ingredient for functional beverages[J]. *Philippine Agricultural Scientist*, 2012, 95(3): 225–235.
- [91] KOYAMA M, KITAMURA Y. Development of a new rice beverage by improving the physical stability of rice slurry[J]. *Journal of Food Engineering*, 2014(131): 89–95.
- [92] 张群. 复合型功能性糙米果汁饮料的研制[J]. *粮食与饲料工业*, 2011(3): 32–34.
- [93] 赵法俊. 发展全谷物食品促进国民健康[J]. *上海预防医学*, 2012, 24(7): 361–363.
- [94] CATASSI C, KRYSZAK D, BHATTI B, et al. Natural history of celiac disease autoimmunity in a USA cohort followed since 1974[J]. *Annals of Medicine*, 2010, 42(7): 530–538.
- [95] CURIEL J A, CODA R, LIMITONE A, et al. Manufacture and characterization of pasta made with wheat flour rendered gluten-free using fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria[J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(1): 79–87.
- [96] GIMENEZ M A, GONZÁLEZ R J, WAGNER J, et al. Effect of extrusion conditions on physicochemical and sensorial properties of corn-broad beans (*vicia faba*) spaghetti type pasta[J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(2): 538–545.
- [97] 郑艺梅, 何瑞国, 郑琳, 等. 糙米发芽过程中营养成分及植酸含量变化的研究[J]. *中国粮油学报*, 2006, 21(5): 1–4.
- [98] 张守文. 糙米的营养保健功能[J]. *粮食与饲料工业*, 2003(12): 38–41.
- [99] 陈慧茹, 董亚玲, 王琦, 等. 重金属污染土壤中 Cd、Cr、Pb 元素向水稻的迁移累积研究[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(12): 236–241.
- [100] 雷鸣, 曾敏, 王利红, 等. 湖南市场和污染区水稻中 As、Pb、Cd 污染及其健康风险评价[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(11): 2 314–2 320.
- [101] CHANEY R L, REEVES P G, RYAN J A, et al. An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks[J]. *Biometals*, 2004, 17(5): 549–553.
- [102] 周鸿凯, 何觉民, 陈小丽, 等. 大田生产条件下不同品种水稻植株中镉的分布特点[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(2): 229–234.

Research and development of brown rice products

WANG Li*, DUAN Wei, QIAN Hai-feng, ZHANG Hui, QI Xi-guang

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT Rice is one of the most important staple food in China. Modern rice of wheat processing removed most of the functional ingredients in bran. This can cause people having diabetes, obesity and cardiovascular disease. Hence, whole grain foods have been got to the consumer's attention. As one of the important raw materials for whole grain products, brown rice can effectively decrease the risk of some chronic disease, such as cardiovascular diseases, diabetes and malignancies. So brown rice foods are now popular throughout the world for its health benefits. Several brown rice products are in the market, such as germinated brown rice, brown rice biscuits, brown rice breads, brown rice beverage and brown rice flours. The nutrients and functional ingredients of brown rice, such as glutathione, dietary fiber, γ -aminobutyric acid and oryzanol are summarized in this paper. The brown rice foods and their processing technology were also introduced. At last, the development tendency of brown rice products are discussed.

Key words brown rice; whole grain; nutrition; food processing