

大米面包品质改良的研究进展

贺殷媛, 崔毓萱, 陈凤莲, 李欣洋, 窦新, 安然, 张娜

Research Progress on Quality Improvement of Rice Bread

HE Yinyuan, CUI Yuxuan, CHEN Fenglian, LI Xinyang, DOU Xinlai, AN Ran, and ZHANG Na

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080201>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

响应面优化无麸质大米面包复合改良剂配方的研究

Optimization of Gluten Free Rice Bread Composite Additives by Response Surface Methodology

食品工业科技. 2021, 42(2): 130-137

无麸质面包品质改良研究进展

Research Progress in the Gluten-free Bread Quality Improvement

食品工业科技. 2021, 42(17): 439-447

影响冷冻面团的因素及其品质改良研究进展

Research Progress of Influencing Factors and Quality Improvement of Frozen Dough

食品工业科技. 2020, 41(5): 348-353

食用菌馒头粉的配方设计及其品质改良

The Design of the Formula for Edible Mushroom Steamed Bread Flour and Its Quality Improvement

食品工业科技. 2019, 40(24): 144-151

葡萄糖氧化酶对全麦面团及全麦馒头品质改良的影响

Effect of Glucose Oxidase on Quality of Whole Wheat Dough and Whole Wheat Steamed Bread

食品工业科技. 2019, 40(14): 78-82,88

桂皮胶的结构特征及其对面制品的改良效果

Structural Characteristics of Cinnamon Gum and Its Effect on Flour Products Quality Improvement

食品工业科技. 2018, 39(21): 96-102



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

贺殷媛, 崔毓萱, 陈凤莲, 等. 大米面包品质改良的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 484–492. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080201

HE Yinyuan, CUI Yuxuan, CHEN Fenglian, et al. Research Progress on Quality Improvement of Rice Bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(14): 484–492. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080201

· 专题综述 ·

大米面包品质改良的研究进展

贺殷媛, 崔毓萱, 陈凤莲*, 李欣洋, 窦新株, 安 然, 张 娜*
(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江哈尔滨 150076)

摘 要: 米粉成分中缺乏面筋蛋白, 会使大米面包在制作过程中存在面团难以形成有效的网络结构、不易成型、品质差(持水性、持气性、弹性和内聚性)、老化速率快等缺点, 从而影响面包的质构特性以及感官品质等。本文综述了国内外研究人员对大米面包品质改良的研究进展, 通过添加外源性物质如乳化剂、蛋白质、酶、亲水胶体、盐类等和运用改良技术, 如酸面团发酵技术、发芽技术、挤压膨化等技术, 来改善大米面包的综合品质, 对大米面包的开发研究具有重要的参考价值。

关键词: 大米面包, 品质改良, 外源性物质, 技术

中图分类号: TS213.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)14-0484-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021080201

本文网刊:



Research Progress on Quality Improvement of Rice Bread

HE Yinyuan, CUI Yuxuan, CHEN Fenglian*, LI Xinyang, DOU Xinlai, AN Ran, ZHANG Na*

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

Abstract: Due to the lack of gluten protein in the components of rice flour, there are some disadvantages in the production process of rice bread, such as difficult in forming an effective network structure, difficult to form, poor in quality (water holding capacity, gas holding capacity, elasticity and cohesion), and fast in aging rate, which will affect the texture characteristics and sensory quality of bread. This article summarizes the research progress of rice bread quality improvement by researchers at home and abroad, by adding exogenous substances such as emulsifier, protein, enzyme, hydrocolloid, salt, etc., and using improved techniques such as sourdough fermentation technology, germination technology, extrusion and other technologies to improve the comprehensive quality of rice bread, which has important reference value for the development and research of rice bread.

Key words: rice bread; quality improvement; exogenous substances; technology

大米是我国主要粮食之一, 且产量在世界居于首位。大米中含有丰富的碳水化合物、蛋白质以及 B 族维生素等, 大米蛋白的生物价、氨基酸构成比例、蛋白质的消化率以及蛋白质净利用率都比小麦、大麦、玉米等禾谷类作物高, 具有较高的营养价值。此外, 大米还具有低致敏性、易于吸收、独特米香味等特点, 因此以大米为原料制作出的食品受到人们的广泛欢迎。

大米中的面筋不足, 导致大米面团形成的空间网络结构以及面团的加工适应性能较差, 容易导致大

米面包出现老化、感官品质以及质构特性较差等现象^[1-3]。因此, 研究并改进米面包的品质是十分必要的。近年来, 国内外研究人员对大米面包的工艺和品质改良进行了日臻深入的研究^[4-8]。大米面包的开发, 不仅提高了大米资源的利用率、大米的附加值, 还弥补了小麦面包营养成分不均衡、易产生乳糜泻过敏症状的缺点, 满足了人们的饮食需求和对食品营养价值的要求^[9-10]。本文主要综述了影响大米面包品质的因素和国内外大米面包品质改良的方法, 对大米面包的开发研究具有重要的参考价值。

收稿日期: 2021-08-19

基金项目: 黑龙江省科技重大专项(2020ZX08B02); 国家自然科学基金项目(32072258); 中央支持地方优秀青年项目。

作者简介: 贺殷媛(1981-), 女, 讲师, 研究方向: 食品科学, E-mail: heyinyuan717@163.com。

* 通信作者: 陈凤莲(1975-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 谷物精深加工及其品质控制, E-mail: finesxm@163.com。

张娜(1979-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全与食品化学, E-mail: foodzhangna@163.com。

1 大米面包品质形成及其影响因素

1.1 大米面包品质形成

大米面包通常含义包括两种,分别指不含面粉的原料制成的大米面包以及在面粉中添加米粉制成的大米面包^[1]。目前在小麦面粉中添加米粉制作的大米面包较为常见,以米粉和小麦粉为原料制作米面包,不仅解决了大米加工副产品(碎米)的增值利用或谷物不足的问题,还使得面包中的各种氨基酸配比更加合理、蛋白质质量提高。

大米蛋白属于非麸质蛋白,用不含麸质的米粉原料制作大米面包可以减少易由麸质引起的过敏患病人群对含麸质食品的摄入量。最常见的由麸质引起的疾病是乳糜泻,乳糜泻是一种自身免疫病,是由基因易感人群摄入麸质蛋白所引起的;终生食用无麸质食品是解决该疾病的唯一最有效的办法^[2]。但由于无麸质大米面包缺乏面筋蛋白,在面包的制作过程中,制成的面团不易形成有序的网络结构,面团的黏度、弹性、内聚性、延展性、保水性和吸水率等物性特征存在缺陷,导致面包的体积、硬度、口感、咀嚼性、组织结构以及感官特性受到影响。

1.2 影响大米面包品质的因素

影响大米面包品质的因素主要有原料性质(如大米种类、直链淀粉含量、大米粉的溶解性、米粉的粒径等)和加工技术等。国内吴娜娜等^[13]将直链淀粉含量不同的五种糙米磨粉后与谷朮粉制成米面包,研究表明随着直链淀粉含量的升高,米面包的耐咀嚼性、比容增大,面包芯硬度、粘性、内聚性以及回复性减小,综合指标显示直链淀粉含量大于 19% 的糙米制作的米面包品质较好。路飞等^[14]研究了 7 种大米粉(软米、香糯 1 号、辽河五、千米糯、辽梗 294、371、稻花香)的特性对大米面包感官及质构特性的影响,试验中通过建立大米直链淀粉含量、溶解度和膨胀度与比容、硬度、弹性、咀嚼性和感官评分的回归分析模型,为大米面包的品质的预测提供了依据。Yano 等^[15]研究了直链淀粉含量对米面包烘焙品质的影响,研究表明用粗粉(粒度为 132~200 μm)制得的米面包随直链淀粉含量的增大而增大,但当直链淀粉含量小于 7% 时,面包中心部位容易出现塌陷。Hera 等^[16]研究了面团水化程度和米粉粒度分布对无麸质大米面包品质及比体积显著增加;提高面团的含水率,面包的比体积也稳定增加。在综合考虑到面包体积以及粉粒结构的情况下,粗粉制得的面团的水化程度为 90%~110% 时制成的无麸质米面包品质最佳。在制作米面包时,不仅要考虑到原料颗粒的大小、面团的水合作用程度以及直链淀粉含量对面包的焙烤品质的影响,同时大米中直链淀粉的长度对大米面包结构的影响也不容忽视,选择高直链淀粉的大米粉原料对制作高品质的米面包很重要。

制粉方法按研磨时的加水量分为干法、半干法以及湿法粉碎,按研磨方式则可分为锤磨、低温磨以

及球磨粉碎等,采用不同的制粉方法会对米粉粒径、破损淀粉含量、淀粉颗粒状态等有显著影响,从而会对大米面包的品质产生影响^[17]。因此,选择合适的制粉方法对生产大米面包至关重要。Luo 等^[18]研究了低温冲击磨制备的糙米粉对无麸质米面包品质的影响,在制备的米粉平均粒径相近的情况下,低温冲击磨制备的米粉损伤淀粉含量比传统的干磨制备的米粉损伤淀粉含量少,较低的损伤淀粉含量有助于改善米面包的品质。王娜等^[19]通过对微粉粒径、微粉破损淀粉含量、面团电镜扫描结构、面团动态流变特性、面包比容以及质构进行比较得出,湿法粉碎获得的糙米粉破损淀粉含量较少,干法粉碎获得的米粉制成的面团结构致密,弹性升高,黏性增大,面包比容和弹性减小,硬度和咀嚼性增强。Wu 等^[20]研究了湿磨法、旋流碾磨法和超细碾磨法等三种方法对制得的米粉性质和无麸质米面包品质的影响,得出碾磨方式对米粉的破损淀粉含量、淀粉颗粒状态、糊化温度和吸收焓有显著影响,与超细碾磨法和旋风碾磨法相比,湿磨法制备的淀粉颗粒完整性高,损伤淀粉含量低。如图 1,淀粉损伤含量的降低会使大米面包获得较高的比体积、更强的网络结构、相对柔软的面包质地和均匀多孔的细胞结构^[21]。由以上研究结果得出,经过不同的制粉方法获得的米粉中损伤淀粉的含量以及米粉颗粒的大小对大米面包的比体积、硬度、等有着显著影响,具有较低的损伤淀粉和较高的完整淀粉颗粒的米粉更适合制作米面包。

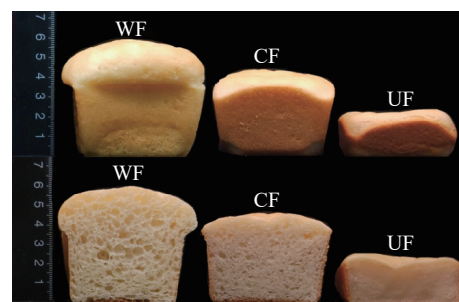


图 1 不同碾磨方法制得的大米面包的整体和横截面图^[20]

Fig.1 Whole and cross-sectional views of rice bread made by different milling methods^[20]

注:湿磨面粉(wet-milled flour, WF);旋风磨面粉(cyclone-milled flour, CF);超细面粉(ultrafine-milled flour, UF)。

大米面包的制作加工技术也会对最终产品产生影响,研究发现醒发时间对大米面包的品质具有显著影响。与醒发 1 h 面包相比,醒发 1.5 h 的面包,比容反而降低,成品高度也有一些降低。面包成品剖面图如图 2 所示。

2 大米面包的品质改良

近年来,国内外对大米面包的品质改良有较多的研究,通过添加一些外源物质如乳化剂、蛋白质、酶、亲水胶体以及盐类等,也有通过运用如酸面团发酵技术、发芽技术、冷冻处理、挤压膨化以及预糊化处理等改良技术改善面包的品质。

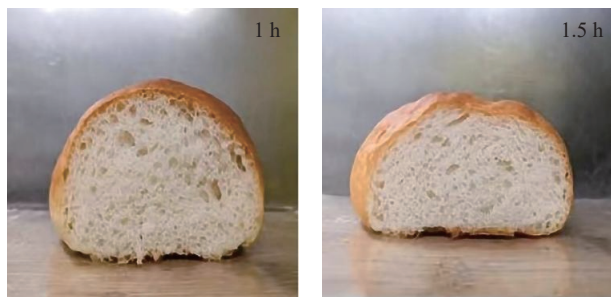


图2 不同醒发时间的面包剖面图

Fig.2 Bread profiles with different proofing time

2.1 添加外源性物质

2.1.1 乳化剂 在烘焙食品中乳化剂是一种比较常见的添加剂,乳化剂具有改善面团内部组织结构、提高面团柔软性和延展性、增大面团体积、延缓面团老化的作用,并且还能使原辅料混合均匀,形成均质的面团。乳化剂在面包生产中的作用主要取决于乳化剂与面包各成分(油脂、蛋白质、淀粉)之间的相互作用,从而对面包的品质产生影响,如表1所示。常用于面包品质改良的乳化剂有硬脂酰乳酸钠(sodium stearyl lactate, SSL)、硬脂酰乳酸钙(calcium stearyl lactylate, CSL)、单甘油酯二乙酰酒石酸酯(di-acetyl tartaric ester of monoglycerides, DATEM)、蔗糖脂肪酸酯(sucrose ester, SE)、单硬脂酸甘油酯(glycerin monostearate, GM)等。乳化剂 SSL 和 DATEM 具有两亲性和迁移到界面的能力,因此,可以降低表面张力并产生稳定的分散体系^[22],提高面团的稳定性。Nunes 等^[23]研究了卵磷脂(lecithin, LC)、DATEM、蒸馏单甘酯(distilled monoglyceride, DM)及 SSL 添加量在最佳水平下对面糊流变性能及其淀粉老化的影响以及添加低、中、高三个水平剂量的乳化剂对无麸质面包(米粉、马铃薯淀粉)的影响;结果表明,LC 和 DATEM 的添加对面包气孔大小和分布有显

著影响,SSL 和 DM 的添加则无显著差异(如图3)。LC 在较低添加量条件下表现出更细的碎屑结构;DATEM 在高剂量条件下,面包内部的气孔尺寸较小,得到更均匀的面包碎屑。贾洪信等^[9]研究了添加不同量的 GM 对米面包的质构特性以及感官的影响,表明添加一定量的 GM 可以明显改善米面包的感官品质,提高其弹性,降低米面包的硬度、回复性以及黏聚性,同时还能延缓米面包在贮藏过程中质构特性的变化,从而达到提高其贮藏品质的目的,当添加 0.5% 的 GM 时,米面包的综合品质最佳,并且具有很好的抗老化效果。张中义等^[24]研究了乳化剂的种类以及添加量对无麸质面包比容、硬度、色泽及感官品质的影响,结果表明添加乳化剂 SSL、SE、LC、DM 可增加面团持水性,降低面包硬度,增大面包比容,结构松软,气孔均匀,色泽改善,感官品质提高。

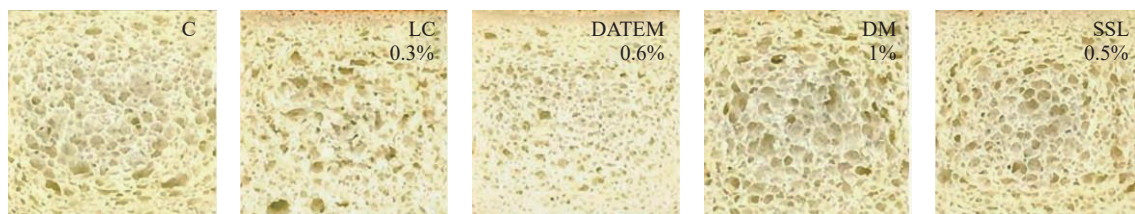
通过流变学、烘焙和感官评定发现,乳化剂的添加能够显著提高米面包的硬度、比体积以及感官评分等。在米面包的制作中,可以通过调整乳化剂的种类和添加量来改善大米面包品质低、易老化等问题,以期获得满足消费者要求的高质量面包。另外,为使米面包获得理想的流变性能和可接受的质量,推荐乳化剂与亲水胶体配合使用以获得品质更佳的面包^[25]。

2.1.2 蛋白质 在大米面包中添加蛋白质能够强化面筋的网络结构,提高米面包的营养价值,目前常添加的蛋白质有大豆蛋白、卵蛋白、酪蛋白以及乳清蛋白等。张中义等^[32]研究了乳清蛋白对无麸质米面包品质的改善作用,在面团发酵过程中提高乳清蛋白的添加量有利于面团气孔的生成,增加无麸质面包中小气孔及微小气孔的数量,提高面包气孔均匀性,组织状态、色泽等感官品质显著提高。李丹等^[10]在优化大米面包复合改良剂配方中得出乳清蛋白添加量为 5%~15% 适宜。Sahagún 等^[33]研究了大米蛋白、豌

表1 乳化剂与面包成分的作用机理及对面包品质的影响

Table 1 Mechanism of action between emulsifier and bread ingredients and its influence on bread quality

面包成分	作用机理	对面团的影响	对面包的影响	参考文献
油脂	乳化剂具有双亲性,可在不相溶的两个相界面间迁移,显著降低界面的表面张力,促进油脂均匀混合	增大面团的持气性能,强化面筋的网络结构,面团组织均匀	增大面包的体积,提高面包的柔软度,面包口感细腻	[26-28]
蛋白质	与面筋蛋白结合形成细密牢固的、相互连接的大分子面筋网络结构	提高面团的弹性和韧性,提高面团的流变特性	增大面包的体积、柔软度,防止面包出现塌陷	[27,29-30]
淀粉	与淀粉结合形成不溶性复合物,抑制淀粉重结晶和回生	增强面团的强度	延缓面包老化,增大面包的比容,增大面包芯柔软度	[10,31]

图3 不同乳化剂在最佳添加量下面包切片图^[23]Fig.3 Slice diagram of bread with different emulsifiers at the optimal addition amount^[23]

注: C 为不添加乳化剂;LC 添加量为 0.3%;DATEM 添加量为 0.6%;DM 添加量为 1%;SSL 添加量为 0.5%。

豆蛋白、蛋清蛋白和乳清蛋白等 4 种蛋白质对面团和无麸质面包的影响, 通过分析面团流变性和面包的特性(颜色、质地和失重)得出含乳清蛋白的面团水化程度较低, 添加蛋白质会使面包表皮的颜色加深, 其中含有乳清蛋白的面包皮颜色最深, 含动物蛋白的面包硬度较高, 尤其是含有乳清蛋白的面包体积最大。李云玲等^[34]研究表明, 随着葵花粕分离蛋白的添加量增加, 米面包的高径比、体积、感官评分呈先增加后下减少的趋势, 在面包中添加葵花粕分离蛋白不仅提高了米面包的营养价值, 还改善了米面包的品质。

大豆蛋白(soybean protein isolate, SPI)能够与其他蛋白质作用形成三维网络结构(如图 4), 从而起到提高面包品质的作用。Crockett 等^[35]研究表明, 在米面包中加入大豆分离蛋白和蛋清蛋白能够明显改善面团的流变性以及面包的品质, 并且发现添加大豆分离蛋白和蛋清蛋白能够通过抑制羟丙基甲基纤维素(hydroxypropyl methylcellulose, HPMC)的功能、减少有效水分、减弱 HPMC 与淀粉基质的相互作用和降低泡沫稳定性来降低面团的稳定性, 当蛋清蛋白添加量为 15% 时, 蛋白固体成为面团中主要的蛋白质支架, 提高了大米面包体积。Storck 等^[36]以富含蛋白质的米粉为原料制成米面包, 谷氨酰胺转氨酶(transglutaminase, TG)(1.35 U/g 蛋白质)、白蛋白(0.67 g/100 g)和酪蛋白(0.67 g/100 g)组合可获得比体积更大的富蛋白无麸质烘焙食品。

2.1.3 酶 在大米面包的制作中加入酶具有改善面团的流变特性和网络结构, 改善面包质构特性的作用。主要的酶制剂有 TG、 α -淀粉酶、脂肪酶等。Moore 等^[38]和 Shin 等^[39]的研究表明, TG 的添加可以与蛋白质交联形成稳定的网络结构, 网络结构的建立对增大面包的体积、改善面包的外观、面包屑特性和综合品质有显著影响。国外研究学者^[40-41]以无麸质谷物为原料制作米面包, 经研究发现微生物 TG 对面包的烘焙性能、整体外观、体积、面包屑硬度和

咀嚼性等由明显改善作用。余树玺等在制作米面包的工艺中通过添加 TG 可改善面包在加工过程中的面团的流变特性, 面包的综合品质提高^[42]。由此可见, TG 的添加在米面包制作中可以改善产品品质。路飞、孟燕楠等^[43-44]研究了 α -淀粉酶、脂肪酶、TG、漆酶 4 种酶制剂对由未糊化处理和预糊化处理的米粉制作的大米面包的感官特性及质构特性的影响, 结果表明, 4 种酶制剂对两种面包的品质有明显的改善作用, 面包的纹理比较疏松、体积和弹性较大、口感以及内部结构等较好。其中, 添加漆酶的预糊化处理的面包和添加 TG 的未糊化处理的面包弹性比添加其他酶制剂高, 添加 TG、漆酶的糊化处理的面包和添加 α -淀粉酶的未糊化处理的米面包的感官评分比其他酶制剂高。通过 TG 或 TG 与其他酶制剂在米面包中的共同作用, 能够提高面包的咀嚼性, 增大面包的体积, 改善面包的纹理结构以及面包的工艺特性。

此外, 葡萄糖氧化酶、蛋白酶等也能很好地改善米面包的品质。葡萄糖氧化酶通过氧化面筋蛋白质中的巯基(-SH)形成二硫键, 增强面团的网络结构, 提高面包品质^[45-46]。蛋白酶能够切断面筋蛋白质中氨基酸之间的肽键, 将面筋蛋白质分解为多肽和氨基酸, 使面团筋力降低、面团软化、面团的延伸性能以及机械加工性能得到改善^[47]。Gujral 等^[48]研究表明添加葡萄糖氧化酶可以增加面团的弹性模量和粘性模量, 获得比体积和质地较好的米面包。Hamada 等^[49]、Renzetti 等^[50]通过试验得出, 经蛋白酶处理的米粉制成的面团粘度增加, 面团在烘烤过程中的弹性和稳定性提高, 米面包的比体积增大, 面包屑硬度降低。Morita 等^[51]研究表明添加了植酸酶、半纤维素和 SE 处理的预发芽糙米的面团性能更佳, 大米面包的品质较好。在研究单一酶对面包品质改良作用机理的基础上, 进一步研究多种酶对面包品质改良的复合作用, 从而获得品质更佳的大米面包。

2.1.4 亲水胶体 亲水性胶体具有强化面团的面筋

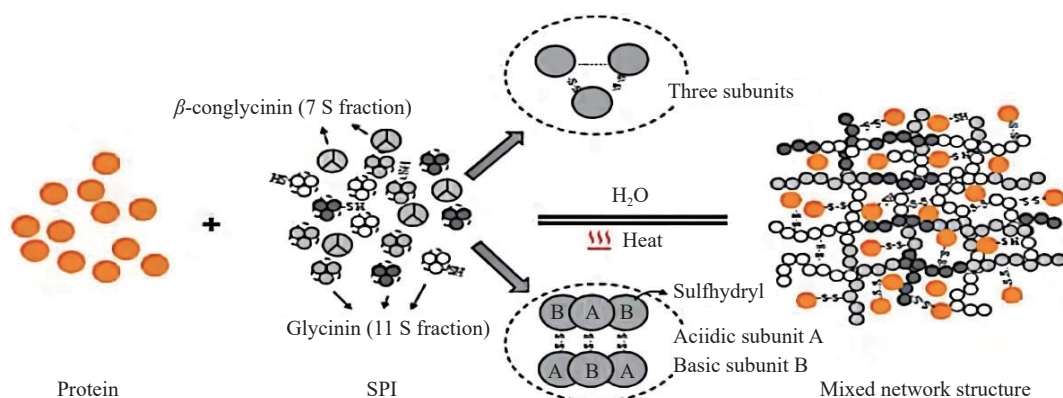


图 4 大豆蛋白与其他蛋白结合对面包品质调控的机理图^[37]

Fig.4 Mechanism diagram of the combination of soy protein and other proteins on the regulation of bread quality^[37]

注: β -conglycinin(β -伴大豆球蛋白); Glycinin(大豆球蛋白); Three subunits(三个子单元); Sulfhydryl(巯基); Acidic subunit A(酸性亚单位 A); Basic subunit B(碱性亚单位 B); Mixed network structure(混合网络结构); Heat(加热); H₂O(水)。

结构,改善面包体积、弹性、组织结构,延缓面包老化以及延长面包货架期的作用^[26]。在大米面包中添加亲水胶体可以促进三维空间网络结构的形成,在无麸质面包中添加多糖胶体可以增加面团的粘弹性以及聚集性,以达到提高面包品质的目的,同时在面包中添加亲水胶体还具有提高面包色泽以及延长面包货架期的作用。

大米面包中常使用的亲水胶体包括 HPMC、羧甲基纤维素(carboxymethyl cellulose, CMC)、 β -葡聚糖、果胶、黄原胶、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、菊粉、卡拉胶和琼脂等。路飞等^[52]研究了羧甲基纤维素钠、海藻酸钠、黄原胶和卡拉胶 4 种添加剂对经预糊化处理的米粉制得的大米面包的感官特性及质构特性的影响,发现加入 4 种添加剂后能增大面包的体积,降低面包硬度,明显改善大米面包的感官品质。张中义等^[53]发现添加 1% 的羧甲基纤维素、果胶、刺槐豆胶、瓜尔多胶、羟丙基甲基纤维素可使无麸质面包的品质改善,比容增大,结构松软,气孔均匀性增大,硬度降低,色泽改善,感官品质提高。郭园等^[54]研究表明,加入 HPMC 和 CMC 后,面包的比容、颜色、硬度和弹性均有改善,失水率略有减小。曹磊等^[55]研究发现,未添加 HPMC 的发芽糙米粉面包的比容小,结构紧密,硬度大,弹性较差;当添加 HPMC 后可改善面包的品质,米面包的比容增大,结构变的松软,硬度降低,弹性增大,感官综合品质提高;当 HPMC 的添加量为 2% 时,面包的比容显著性提高,硬度降低,面包的弹性和内聚性增加,提高了面包的整体接受度,使面包的感官特性有很大改善。综上所述,添加不同的亲水胶体和添加量对面包的品质会表现出不同的影响,因此,在对面包进行品质改良时,应选择合适的亲水胶体以及添加量,从而获得所需要的面包品质。

2.1.5 盐类 在制作米面包时,可以通过添加钠盐、钙盐以及铁盐等来改善面包的质构特性和营养品质。Kiskini 等^[56]研究发现,含有焦磷酸铁和乙二胺四乙酸铁的面包的内部结构紧实度更高。Krupakozak 等^[57]研究表明,柠檬酸钙具有显著提高面包比体积的作用,添加高剂量柠檬酸钙的面包具有显著的钙富集,与对照组相比,钙强化面包屑更软,更有弹性,面包的适口性更好,从而获得具有良好烘焙性能的产品。Kiskini 等^[58]研究表明,铁对面包品质的影响主要取决于铁的种类,而与铁的溶解度无关。在无麸质面包中,未强化和强化样品之间相比,铁的强化使得样品粘性更强,易碎性更低,颜色与质地之间的相关系数较高,强化样品的感官评分更好。Blanco 等^[59]以米粉为原料制作面包,研究了对几种酸性食品添加剂(醋酸、乳酸、柠檬酸和磷酸一钠)对面包的外观、气味、味道和质构的影响,发现磷酸一钠可以使面包获得更好的质地与较大的体积。王坤等^[60-61]研究了磷酸二氢钠、谷氨酸和乳酸对未糊化的大米

面包和经糊化处理的大米面包品质的影响,结果表明添加磷酸二氢钠对米面包的品质有一定的改善效果。

2.1.6 抗性淀粉 根据抗性淀粉(resistant starch, RS)的来源和抗酶解性可将其分为物理包埋淀粉、抗性淀粉颗粒、回生淀粉、化学改性淀粉、直链淀粉-脂肪复合淀粉^[62]。抗性淀粉通常被认为是一种益生元,是不被小肠消化吸收的淀粉,在焙烤食品中^[63],抗性淀粉不仅是膳食纤维的强化剂,也是一种很好的结构改良剂。Gounaropoulos 等^[64]研究表明,抗性淀粉的加入对米面包的硬度没有影响,但可以增加面包的弹性、提高面包的孔隙度。在制作面包时,通过合理的选择和添加抗性淀粉不仅能够提高膳食纤维的含量、改善面包风味,还能够提高面包的含水量、口感以及外观品质^[65-66]。

2.2 米面包的品质改良技术

2.2.1 酸面团发酵技术 酸面团是将小麦或黑麦粉等谷物粉和水混合均匀后经环境或谷物粉中具有酸化和发酵能力的乳酸菌和酵母发酵后所得到一种面团,还可用于大米、玉米和小米等谷物以及木薯、藜麦和荞麦等的发酵^[67]。酸面团中的乳酸菌合成的胞外多糖、发酵产生的有机酸、抗菌物质和芳香物质可以显著改善面团得流变学特性、焙烤产品的质构特性和品质,延长产品的货架期^[68]。Novotni 等^[69]以米粉、玉米淀粉等无麸质原料制作酸面团和面包,经研究发现添加酸面团可以增大面包的比体积和降低面包屑硬度,酸面团与部分烘烤冷冻技术的联合应用可降低无麸质面包的血糖指数,提高无麸质面包的品质和货架期。Rühmkorf 等^[70]研究表明,添加乳酸菌能够增加面包的比体积,降低面包的硬度,并且增加面包的水分含量。酸面团发酵技术是一种传统的生产工艺,可通过与现代生产技术相结合,改善面团的流变特性和焙烤品质,生产出具有更好品质和更加营养健康的大米面包。

2.2.2 发芽技术 大米经发芽处理后,由于多种酶系的作用会使米制品的品质得到很大的改善。吴娜娜等^[71]将未发芽和发芽不同时间的糙米磨粉后分别与定量的谷朊粉混合制成面团和面包,通过测定面团动态流变特性以及微观结构表明,随着糙米发芽时间的增长,面团的弹性和粘性模量逐渐减少,面团的结构逐渐变得松弛,蛋白质的网络结构逐渐增多,发芽 12 h 的糙米粉制成的面包硬度较小,综合感官评分最高,面包的品质最好。李次力等^[72]以发芽糙米为原料研制米面包,发芽糙米与不添加发芽糙米生产的面包相比,体积和纹理结构差异性不大,但米面包风味、营养价值均高于不添加发芽糙米生产的面包。余树玺等^[42]通过单因素实验和正交试验,以感官评价和测定比容相结合的方法对产品的品质进行综合评分,得到了米面包的最佳配方: TG 的质量分数为 0.15%,谷朊粉的质量分数为 12%,发芽糙米粉的质量分数为 22%,水的质量分数为 55%。Cornejo 等研

究了不同萌发时间下米面包的近似物组成、植酸、淀粉、葡萄糖的体外蛋白质消化率和体外酶解淀粉含量以及最相关的生物活性物质和抗氧化活性,发现糙米发芽 48 h 后所制的面包具有较高的营养价值^[73],发芽 24 h 后面包的质地和颜色得到明显的改善^[74](如图 5 所示),面包质地的改善主要与糙米发芽后淀粉酶的活性提高、淀粉降解有关,面包的颜色改善与美拉德反应有关;但当糙米萌发过度时,制得的面包品质会变差。虽然发芽大米经发芽处理后制得的面包品质有很大改善,但在制作面包时要注意大米发芽的时间以及发芽米粉的添加量,否则可能会起到适得其反的效果。

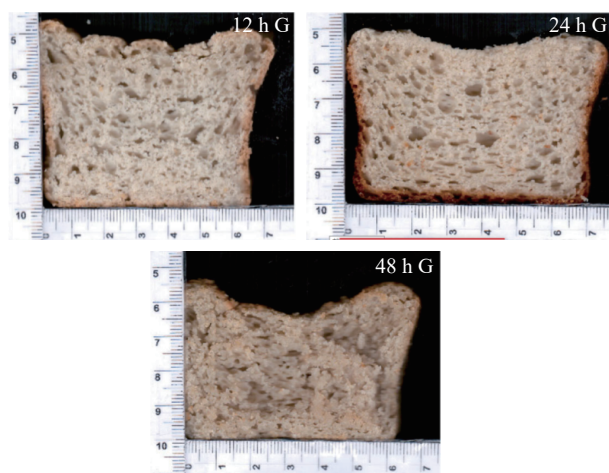


图 5 糙米不同时间发芽制得的面包片横截面图^[74]

Fig.5 Cross-sections of bread slices made at different time germination of brown rice^[74]

2.2.3 挤压膨化技术 挤压膨化技术属于预糊化技术的一种,经挤压膨化处理后物料中的淀粉、蛋白质、脂肪等会发生变化,使其黏度、水分迁移、溶解性以及糊化特性等物理性质会发生改变,面团的剪切速率、弹性等增大,面包的体积、持水性、持气性增加,硬度降低^[1,75-76]。Martínez 等^[77]研究表明,添加挤压米粉增加了面包体积,降低了面包的硬度和硬化速度。Airoldi 等^[78]研究表明,以膨化米粉为原料制作米面包可改善面包的色泽和质地特性。因此,通过挤压膨化技术改变大米的物理性质,从而改善大米面团的流变特性,以期获得感官品质和质构特性具佳的大米面包。

2.2.4 其他改良技术 除酸面团发酵技术、发芽技术以及挤压膨化技术外,还可通过预糊化处理、冷冻面团、微波处理、真空烘烤等来改善大米面包的品质。路飞等^[79]以大米粉和小麦粉为主要原料,结合大米粉预糊化处理技术,采用快速发酵法制作大米面包,结果表明预糊化米粉与小麦粉的比例对米面包的感官评分影响最大,与全麦面包和普通米粉面包相比,使用预糊化处理后的米粉制作的大米面包的感官评分和硬度指标都较好,口感柔软,具有大米的香气。Ronda 等^[80]研究表明,采用微波加热的方式可

以使米粉中的 β -葡萄糖酶的活性丧失,从而使面包中含有更多的 β -葡萄糖,使面包具有更高的营养价值。Mezaize 等^[81]以米粉、玉米粉、荞麦粉和马铃薯淀粉为原料研究了冷冻对面团流变特性和面包品质的影响;实验结果显示,冷冻步骤对无麸质面包有负面影响,面包密度大、面包屑变硬,但面包皮颜色有所改善。

3 结语

以大米为原料制作大米面包,不仅提高了大米的利用率,还提供了一种营养价值丰富、满足过敏人群需求的食品。通过采用添加外源性物质和改良技术的方法来控制面团的质构特性、发酵过程以及烘焙特性以达到改善大米面包的品质、丰富大米面包的种类,获得满足人们要求的烘焙制品。虽然已有很多用于改善米面包品质的研究方法,但了解外源性物质对米面包的品质改良作用机理、利用新技术改良大米面包品质仍面临着诸多挑战。随着科技的进步,运用国内外的研究成果对大米面包进行更深入的研究,为大米面包的品质改良提供了理论依据。同时,在保证大米面包品质良好的基础上,通过添加不同的风味成分,能够使米面包的风味更加多样化,满足更多人的需求,具有较高的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 徐梦雨,武涌,袁娟丽,等.无麸质面包加工技术改良新进展[J].食品工业科技,2020,41(16):340-345. [XU M Y, WU Y, YUAN J L, et al. New progress in the improvement of gluten-free bread processing technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(16): 340-345.]
- [2] 高雨晴.不同加工处理方法对大米面团及面包品质的影响研究[D].沈阳:沈阳师范大学,2020. [GAO Y Q. Effects of different processing methods on rice dough and bread quality[D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2020.]
- [3] KIM E A, LEE S Y, LEE S Y. Quality characteristics of steamed rice bread prepared with different contents of proteolytic enzyme[J]. *Applied Biological Chemistry*, 2016, 59(1): 95-102.
- [4] 柳富杰,周永升,韦巧艳,等.米粉面包工艺优化及其品质[J].食品工业,2021,42(5):119-123. [LIU F J, ZHOU Y S, WEI Q Y, et al. Technology optimization and quality of rice flour bread[J]. Food Industry, 2021, 42(5): 119-123.]
- [5] 阮雁春,陈礼福,赵佳佳.碎米粉面包生产工艺的研究[J].粮食与油脂,2020,33(8):27-30. [RUAN Y C, CHEN L F, ZHAO J J. Study on production process of broken rice bread[J]. *Journal of Cereals and Oils*, 2020, 33(8): 27-30.]
- [6] 张峻铭,聂世利,李金源,等.添加大米粉对面团揉混特性和拉伸特性的影响[J].农产品加工,2020(4):22-25. [ZGANG J M, NIE S L, LI J Y, et al. Effects of addition of rice flour on kneading and stretching properties of bread dough[J]. Farm Products Processing, 2020(4): 22-25.]
- [7] KIM M, YUN Y, JEONG Y. Effects of corn, potato, and tapioca starches on the quality of gluten-free rice bread[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2015, 24(3): 913-919.
- [8] MANCEBO C M, MERINO C, Martínez M M, et al. Mixture

design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(10): 6323–6333.

[9] 贾洪信, 周喜华, 刘素纯. 单甘酯对米粉面包的感官品质及质构特性的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(5): 157–162. [JIA H X, ZHOU X H, LIU S C. Effect of monoglycerid on the quality of rice flour bread[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(5): 157–162.]

[10] 李丹, 王敏, 唐玲, 等. 响应面优化无麸质大米面包复合改良剂配方的研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(2): 130–137. [LI D, WANG M, TANG L, et al. Optimization of gluten free rice bread composite additives by response surface methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(2): 130–137.]

[11] 王立, 吴桐, 易翠平, 等. 无麸质大米面包研究进展[J]. *食品与机械*, 2017, 33(3): 199–206. [WANG L, WU T, Yi C P, et al. Research progress of gluten free rice bread[J]. *Food and Machinery*, 2017, 33(3): 199–206.]

[12] 郑小锋, 杨佳欣, 周波, 等. 无麸质饮食的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(12): 3760–3767. [ZHENG X F, YANG J X, ZHOU B, et al. Research progress of gluten-free diet[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(12): 3760–3767.]

[13] 吴娜娜, 李莎莎, 谭斌, 等. 糙米直链淀粉含量对其面包质构和体外消化性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(4): 33–37. [WU N N, LI S S, TAN B, et al. Effect of amylose content of brown rice on texture properties and *in vitro* digestibility of bread[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(4): 33–37.]

[14] 路飞, 马涛, 任文涛, 等. 大米粉特性与大米面包感官及质构特性关系的研究[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(19): 25–28. [LU F, MA T, REN W T, et al. The relationship between characteristics of rice flour material and sensory and textural characteristics of rice bread[J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(19): 25–28.]

[15] YANO H, KODA T, FUJITA N, et al. Effect of amylose content in rice flour on batter rheology and bread baking quality[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(6): 1–6.

[16] De la HERA E, ROSELL C M, GOMEZ M. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility[J]. *Food Chemistry*, 2014, 151: 526–531.

[17] 余以, 高德, 张萍. 加工工艺对淀粉分子结构及米制品品质影响研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(23): 295–302.

[YU Y, GAO D, ZHANG P. Research progress on the effects of processing technology on starch molecular structure and rice product quality[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(23): 295–302.]

[18] LUO S, YAN X, FU Y, et al. The quality of gluten-free bread made of brown rice flour prepared by low temperature impact mill[J]. *Food Chemistry*, 2021, 348(348): 129032.

[19] 王娜, 吴娜娜, 谭斌, 等. 糙米干法和湿法微粉碎对面团及面包品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(1): 166–171.

[WANG N, WU N N, TAN B, et al. Effect of micro-grinding of brown rice flour by dry and wet methods on the quality of dough and

bread[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(1): 166–171.]

[20] WU T, WANG L, LI Y, et al. Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 108: 137–144.

[21] QIN W Y, LIN Z X, WANG A X, et al. Influence of damaged starch on the properties of rice flour and quality attributes of gluten-free rice bread[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 101: 103296.

[22] DEMIRKESEN I, MERT B, SUMNU G, et al. Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 101(3): 329–336.

[23] NUNES M H B, MOORE M M, ARENDT E K, et al. Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters[J]. *European Food Research and Technology*, 2009, 228(4): 633–642.

[24] 张中义, 孟令艳, 史嘉良, 等. 乳化剂改善无麸质面包烘烤特性的研究[J]. *食品工业*, 2011, 32(8): 36–38. [ZHANG Z Y, MENG Y L, SHI J L, et al. Improving of emulsifiers on bread quality parameters in gluten-free formulations[J]. *Food Industry*, 2011, 32(8): 36–38.]

[25] DEMIRKESEN I, MERT B, SUMNU G, et al. Rheological properties of gluten-free bread formulations[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 96(2): 295–303.

[26] 宁芊, 游佩琼, 吴先辉, 等. 复配亲水胶体对面团流变特性及全麦面包品质的影响[J]. *食品与机械*, 2019, 35(9): 32–38.

[NING Q, YOU P Q, WU X H, et al. Effect of compound hydrocolloid on the rheological properties of dough and the quality of whole-wheat bread[J]. *Food and Machinery*, 2019, 35(9): 32–38.]

[27] 韩天龙, 张秀玲, 邓建平, 等. 食品乳化剂的作用特性及其在面粉制品中作用研究[J]. *现代面粉工业*, 2011, 25(6): 26–29.

[HAN T L, ZHANG X L, DENG J P, et al. Study on the action characteristics of food emulsifier and its role in flour products[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2011, 25(6): 26–29.]

[28] 张文福. 食品乳化剂在面包生产中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2006(4): 185–187. [ZHANG W F. Application of food emulsifier in bread production[J]. *Food Research and Development*, 2006(4): 185–187.]

[29] 朱明霞, 白婷, 靳玉龙, 等. 杂粮面包的研究进展[J]. *现代食品*, 2020(7): 7–12. [ZHU M X, BAI T, JIN Y L, et al. Research progress of bread with coarse cereal[J]. *Modern Food*, 2020(7): 7–12.]

[30] 杨雪飞, 袁蓓蓓, 罗水忠, 等. 品质改良剂对复合杂粮面粉流变学特性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(11): 75–80.

[YANG X F, YUAN B L, LUO Y H et al. Effects of composite improvers on rheological properties of coarse grain bread flour[J]. *Food Science*, 2015, 36(11): 75–80.]

[31] PATIL S, ARYA S S. Characterization of gluten free flatbread: Quality improvement by the addition of hydrocolloids and emulsifiers using simplex centroid design[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, 13(1): 821–830.

[32] 张中义, 孟令艳, 晁文, 等. 牛乳蛋白对无麸质面包烘烤特性的改善作用[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(8): 176–178, 182.

- [ZHANG Z Y, MENG L Y, CHAO W, et al. Improvement of the quality parameters in gluten-free bread with adding dairy protein[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(8): 176–178, 182.]
- [33] SAHAGÚN M, GÓMEZ M. Assessing influence of protein source on characteristics of gluten-free breads optimising their hydration level[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2018, 11(9): 1686–1694.
- [34] 李云玲, 朱效兵, 雍雅萍, 等. 葵花粕分离蛋白黑米面包的研制[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(15): 100–104. [LI Y L, ZHU X B, YONG Y P, et al. Development of sunflower meal protein isolate black rice bread[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(15): 100–104.]
- [35] CROCKETT R, VODOVOTZ Y, IE P. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(1): 84–91.
- [36] STORCK C R, ZAVAREZE E D, GULARTE M A, et al. Protein enrichment and its effects on gluten-free bread characteristics[J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2013, 53(1): 346–354.
- [37] 何林阳, 杨杨, 陈凤莲, 等. 无麸质面包品质改良研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(17): 439–447. [HE L Y, YANG Y, CHEN F L, et al. Recent progress in the gluten-free bread quality improvement[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(17): 439–447.]
- [38] MOORE M M, HEINBOCKEL M, DOCKERY P, et al. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase[J]. *Cereal Chemistry*, 2006, 83(1): 28–36.
- [39] SHIN M, GANG D, SONG J. Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2010, 19(4): 951–956.
- [40] RENZETTI S, BELLO F D, ARENDT E K. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase[J]. *Journal of Cereal Science*, 2007, 48(1): 33–45.
- [41] GUSMÃO R P, MOURA H V, SILVA H A, et al. Production of prebiotic gluten-free bread with red rice flour and different microbial transglutaminase concentrations: Modeling, sensory and multivariate data analysis[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 56(6): 2949–2958.
- [42] 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. [YU S X, HE Y, MA L. Processing technology of germinated brown rice bread[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2012(2): 34–38.]
- [43] 路飞, 孟燕楠, 李哲, 等. 不同酶制剂对预糊化处理大米面包品质的影响[J]. *食品工业*, 2017, 38(5): 43–46. [LU F, MENG Y N, LI Z, et al. Effects of different enzymes on the quality of pregelatinized rice bread[J]. *Food Industry*, 2017, 38(5): 43–46.]
- [44] 孟燕楠, 路飞, 李哲, 等. 不同酶制剂对大米面包感官及质构特性的影响研究[J]. *农业科技与装备*, 2016(6): 41–43, 46. [MENG Y N, LU F, LI Z, et al. Study on the effects of different enzymes on the sensory and texture characteristics of rice bread[J]. *Agricultural Science and Technology and Equipment*, 2016(6): 41–43, 46.]
- [45] STEFFOLANI M E, RIBOTTA P D, PÉREZ G T, et al. Effect of glucose oxidase, transglutaminase, and pentosanase on wheat proteins: Relationship with dough properties and bread-making quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(3): 366–373.
- [46] NIU M, XIONG L C, ZHANG B J, et al. Comparative study on protein polymerization in whole-wheat dough modified by transglutaminase and glucose oxidase[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 90: 323–330.
- [47] 王志煌, 郑春棕, 黄静娥, 等. 酶制剂在面包等烘焙产品中的应用[J]. *现代食品*, 2020(20): 33–40. [WANG Z H, ZHENG C J, HUANG J E, et al. Application analysis and prospect of baking enzyme preparation[J]. *Modern Food*, 2020(20): 33–40.]
- [48] GUJRAL H S, ROSELL C M. Improvement of the bread-making quality of rice flour by glucose oxidase[J]. *Food Research International*, 2003, 37(1): 75–81.
- [49] HAMADA S, SUZUKI K, AOKI N, et al. Improvements in the qualities of gluten-free bread after using a protease obtained from *Aspergillus oryzae*[J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 57(1): 91–97.
- [50] RENZETTI S, ARENDT E K. Effect of protease treatment on the baking quality of brown rice bread: From textural and rheological properties to biochemistry and microstructure[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 50(1): 22–28.
- [51] MORITA N, MAEDA T, WATANABE M, et al. Pre-germinated brown rice substituted bread: Dough characteristics and bread structure[J]. *International Journal of Food Properties*, 2007, 10(4): 779–789.
- [52] 路飞, 王坤, 李哲, 单秀峰. 几种不同添加剂对预糊化大米面包品质的影响[J]. *食品工业*, 2017, 38(1): 72–75. [LU F, WANG K, SHAN X F. Effects of several different additives on the quality of rice bread[J]. *Food Industry*, 2017, 38(1): 72–75.]
- [53] 张中义, 孟令艳, 史嘉良, 等. 水溶性胶体对无麸质面包烘烤特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(1): 318–320. [ZHANG Z Y, MENG L Y, SHI J L, et al. Effect of hydrocolloids on bread quality parameters in gluten-free formulations[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(1): 318–320.]
- [54] 郭园, 张中义, 叶君. HPMC、CMC 对无麸质面包特性影响的研究[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(3): 303–305, 309. [GUO Y, ZHANG Z Y, YE J. Effects of HPMC and CMC on the properties of gluten-free bread[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2011, 27(3): 303–305, 309.]
- [55] 曹磊, 夏青, 宋玉, 等. 发芽糙米和羟丙基甲基纤维素对面包品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(14): 55–60, 70. [CAO L, XIA Q, SONG Y, et al. Effect of germinated brown rice and hydroxypropyl methyl cellulose on the quality of bread[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(14): 55–60, 70.]
- [56] KISKINI A, KAPSOKEFALOU M, YANNIOTIS S, et al. Effect of iron fortification on physical and sensory quality of gluten-free bread[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(1): 385–390.
- [57] KRUPA-KOZAK U, TROSZYŃSKA A, BĄCZEK N, et al. Effect of organic calcium supplements on the technological charac-

- teristic and sensory properties of gluten-free bread[J]. *European Food Research and Technology*, 2011, 232(3): 497–508.
- [58] KISKINI A, KAPSOKEFALOU M, YANNIOTIS S, et al. Effect of different iron compounds on wheat and gluten-free breads[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(7): 1136–1145.
- [59] BLANCO C A, RONDA F, PANDO V, et al. Improving gluten-free bread quality by enrichment with acidic food additives[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 1204–1209.
- [60] 王坤, 路飞, 孟燕楠, 等. 几种酸味剂对预糊化处理大米面包品质的影响[J]. *食品工业*, 2016, 37(6): 146–149. [WANG K, LU F, MENG Y N. Effect of several acidic additives on the qualities of pre-gelatinized rice bread[J]. *Food Industry*, 2016, 37(6): 146–149.]
- [61] 王坤, 路飞, 孟燕楠, 等. 几种酸味剂对大米面包感官特性及质构特性的影响[J]. *沈阳师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 33(3): 365–368. [WANG K, LU F, MENG Y N, et al. Effect of several acidic additives on sensory and textural characteristics of bread[J]. *Journal of Shenyang Normal University(Natural Science Edition)*, 2015, 33(3): 365–368.]
- [62] 胡珍珍, 郝宗山, 孟妍, 等. 抗性淀粉的制备、功效及应用的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2021, 27(1): 30–35. [HU Z Z, HAO Z S, MENG Y, et al. Preparation, efficacy and application of resistant starch[J]. *Food and Nutrition in China*, 2021, 27(1): 30–35.]
- [63] 吴娜娜, 王娜, 谭斌, 等. 无麸质食品品质改良研究进展[J]. *粮油食品科技*, 2015, 23(4): 24–28. [WU N N, WANG N, TAN B, et al. Research progress on qualities improvement of gluten-free foods[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2015, 23(4): 24–28.]
- [64] GOUNAROPOULOS G, TSATSARAGKOU K, MANDALA I. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 58: 124–129.
- [65] 李辰, 李坚斌, 聂卉. 抗性淀粉及其在食品工业中的应用[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(1): 141–146. [LI C, LI J B, NIE H. Resistant starch and its application in food industry[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(1): 141–146.]
- [66] 张志龙. 抗性淀粉在食品中的应用及功效研究进展[J]. *现代食品*, 2017(14): 50–52. [ZHANG Z L. Advances in the application and efficacy of resistant starch in food[J]. *Modern Food*, 2017(14): 50–52.]
- [67] VOGELMANN S A, SEITTER M, SINGER U, et al. Adaptability of lactic acid bacteria and yeasts to sourdoughs prepared from cereals, pseudocereals and cassava and use of competitive strains as starters[J]. *International Journal Food Microbiol*, 2009, 130(3): 205–212.
- [68] 周春艳, 张华铮, 陈红兵, 等. 酸面团发酵技术应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(17): 375–380. [ZHOU C Y, ZHANG H Z, CHEN H B, et al. Progress in application of sourdough fermentation technology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(17): 375–380.]
- [69] NOVOTNI D, ČUKELJ N, SMERDEL B, et al. Glycemic index and firming kinetics of partially baked frozen gluten-free bread with sourdough[J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 55(2): 120–125.
- [70] RÜHMKORF C, RÜBSAM H, BECKER T, et al. Effect of structurally different microbial homoexopolysaccharides on the quality of gluten-free bread[J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 235(1): 139–146.
- [71] 吴娜娜, 王娜, 谭斌, 等. 发芽糙米粉面团性质及面包品质研究[J]. *粮油食品科技*, 2018, 26(4): 1–5. [WU N N, WANG N, TAN B, et al. Study on properties of germinated brown rice flour dough and its bread quality[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2018, 26(4): 1–5.]
- [72] 李次力, 王茜. 发芽糙米面包的研制[J]. *食品科学*, 2009, 30(18): 436–439. [LI C L, WANG Q. Formulation of germinated brown rice bread[J]. *Food Science*, 2009, 30(18): 436–439.]
- [73] CORNEJO F, CACERES P J, ROSELL C M, et al. Effects of germination on the nutritive value and bioactive compounds of brown rice breads[J]. *Food Chemistry*, 2015, 173: 298–304.
- [74] CORNEJO F, ROSELL C M. Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2015, 52(10): 6591–6598.
- [75] 吉梦莹. 添加挤压膨化燕麦粉对小麦面团性质及面包品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017. [JI M Y. Effect of adding extruded oat flours on wheat-oat-dough properties and bread qualities[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forest Science and Technology University, 2017.]
- [76] DONG T T, ZHU M K, YU J W, et al. RNA-Seq and iTRAQ reveal multiple pathways involved in storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.)[J]. *BMC Plant Biology*, 2019, 19(1): 136.
- [77] MARTÍNEZ M M, MARCOS P, GÓMEZ M. Texture development in gluten-free breads: Effect of different enzymes and extruded flour[J]. *Journal of Texture Studies*, 2013, 44(6): 480–489.
- [78] AIROLDI C, EL-DASH A A, CLERICI M T P S, et al. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 42(2): 618–623.
- [79] 路飞, 马涛, 任文涛, 等. 大米面包的生产配方及工艺条件的优化[J]. *沈阳师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 31(4): 482–487. [LU F, MA T, REN W T, et al. Optimization of ingredient and processing technology for rice bread[J]. *Journal of Shenyang Normal University (Natural Science Edition)*, 2013, 31(4): 482–487.]
- [80] RONDA F, LAZARIDOU A, BILIADERIS C G, et al. Effect of microwave radiation pretreatment of rice flour on gluten-free breadmaking and molecular size of β -glucans in the fortified breads[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10(8): 1412–1421.
- [81] MEZAIZE S, CHEVALLIER S, LE-BAIL A M, et al. Gluten-free frozen dough: Influence of freezing on dough rheological properties and bread quality[J]. *Food Research International*, 2010, 43(8): 2186–2192.