

刘晓飞, 吴浚滢, 赵香香, 等. 外源添加物对米制品品质影响的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 427-433. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120221

LIU Xiaofei, WU Junying, ZHAO Xiangxiang, et al. Research Progress on the Effect of Exogenous Additives on Rice Product Quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 427-433. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120221

外源添加物对米制品品质影响的研究进展

刘晓飞, 吴浚滢, 赵香香, 戚月娜, 刘 畅, 张 娜*

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江省普通高等学校食品科学与工程重点实验室,
黑龙江省谷物食品与资源综合加工重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150028)

摘 要: 大米性平, 味甘, 具有较高的营养价值, 全球有一半以上人口以大米为主食, 各种米制品的研究进展受到众多学者的广泛关注。本文对大米的基本情况、营养成分及功效和米制品在加工中存在的问题进行阐述, 并对影响米制品在深加工过程中品质的因素进行分析, 论述了各种外源添加物对米制品品质的不同影响, 单一外源添加物的效果并不是很好, 应加大复合添加物的研究力度, 为我国米制品加工产业的发展提供参考依据。

关键词: 米制品, 蛋白质, 淀粉, 外源添加物, 品质

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)02-0427-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020120221

本文网刊:



Research Progress on the Effect of Exogenous Additives on Rice Product Quality

LIU Xiaofei, WU Junying, ZHAO Xiangxiang, QI Yuena, LIU Chang, ZHANG Na*

(Key Laboratory of Grain Food and Comprehensive Processing of Heilongjiang Province, Key Laboratory of Food Science and Engineering of Heilongjiang Ordinary Higher Colleges, College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Rice is mild in nature, sweet in taste, and has higher nutritional value. Rice is the staple food for more than half of the world's population, then the research progress of various rice has attracted extensive attention of many scholars. In this paper, the essential information, nutritional composition, efficiency of rice and rice products in processing problems are expounded, and the factors affecting the quality of rice product in the process of deep processing are analyzed, finally the effects of various exogenous additives on the quality of rice product are summarized, the effect of single exogenous additive is not very good, and the research on composite additives should be strengthened, with the aim of providing reference for the development of rice product processing industry in China.

Key words: rice product; protein; starch; exogenous additives; quality

大米是稻谷经清洗、脱壳、碾米、成品整理等工序后制成的, 分为籼米、优质籼米、粳米、优质粳米、籼糯米、优质籼糯米、粳糯米和优质粳糯米 8 种^[1]。2019 年, 国际谷物理事会的统计为全球大米产量 4.9 亿吨, 中国稻谷总产量 2.1 亿吨, 居全球首位, 黑龙江省在各省水稻产量排名中居首位, 它作为我国主要的粮食供应地和商品粮主产区, 其产量为 2664 万吨^[2]。大米作为我国 65% 居民的主食, 在国家粮食安全方面占据举足轻重的位置。除主要以米饭为食,

还将大米加工成米制品, 米制品是以大米、糙米为主要原料, 经一系列加工使其具有营养健康、品质优良、口感丰富、种类繁多等特点的一类产品, 如米线、米发糕、米制膨化食品、米果、米面包、米糕等。

我国米制品加工行业已经有长久的发展, 但总体发展情况相对落后, 产业层次较低, 市场竞争力较弱, 具体为: 我国大米加工业产能的利用率非常低, 深加工比率平均为 20%, 而发达国家高达 80%^[3], 区域产业存在精深加工产能不足的情况; 品牌消费时代催

收稿日期: 2020-12-25

基金项目: 黑龙江省“百千万”工程科技重大专项 (2020ZX08B02)。

作者简介: 刘晓飞 (1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农业废弃物利用, E-mail: liuxiaofei72@163.com。

* 通信作者: 张娜 (1979-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 植物蛋白质方面, E-mail: foodzhangna@163.com。

生高端大米行业,缺少龙头企业拉动,大米行业的发展较其他行业规模小、组织程度差和布局分散,在稻谷产能过剩、进口冲击和竞争激烈下,大米加工中小型企业倒闭增多;加工产业链条短,以初级加工为主,米制品以半成品居多,存在粮食深加工程度较低且深加工产品种类不多、产品结构单一,没有合理利用深加工副产物;自主创新意识不足,科学技术投入的较少,科研创新速度较慢,相关产业的研发力量薄弱^[4]。但米制品在加工过程中遇到的问题主要取决于大米本身的品质特性,研究其品质至关重要。

本文基于当前米制品的研究现状,介绍大米的营养成分及功效,从而突出米制品研究的重要性,分析了影响米制品深加工过程中品质的因素,阐述了国内外研究外源添加物对米制品品质的不同影响,为后续发现出更适合的外源添加物提供一定的理论基础。

1 大米营养成分及功效

大米是补充营养素的基础食物之一,能够为人体提供 80% 的热量和 20% 的蛋白质,主要含有淀粉(直链淀粉和支链淀粉)、蛋白质、脂肪和维生素等,其中,淀粉和蛋白质分别占大米的 80% 和 8% 左右^[5]。大米淀粉颗粒大小为 2~8 μm ,其主要变化是由直链淀粉与支链淀粉的相对含量及其具体比例、结构决定的^[6],支链淀粉占大米淀粉的 65%~85%^[7],大米淀粉约占淀粉总产量的 13%,为第四大淀粉工业原料^[8]。大米蛋白质可分为谷蛋白、醇溶蛋白、清蛋白和球蛋白,其含量分别为 66%~78%、1%~5%、2%~5% 和 2%~10%^[9],大米的蛋白质含量、生物价、氨基酸的构成比和营养价值都高于小麦、小米、玉米等禾谷类作物的,其消化率为 66.8%~83.1%^[10],但赖氨酸和苏氨酸的含量较少,所以大米蛋白并不是一种完全蛋白质,其营养价值不能与动物蛋白质相比较。脂肪约占大米的 1.3%~1.8%,主要有非淀粉脂类和淀粉脂类。非淀粉脂类主要由中性脂类、少量糖脂和磷脂构成,主要存在大米外胚乳和胚芽中;淀粉脂类是由脂类和淀粉颗粒结合形成的,约占大米的 0.5%~1.0%^[11],大米脂类中的亚油酸含量相对较高,占大米脂肪的 34%^[12]。大米还含有钾、钠、锌、铜、钙、铁、镁、磷和硒^[13]等人体必需微量元素,粗纤维,维生素 B₁、B₂、烟酸等营养物质^[14]。

大米被中医誉为“五谷之首”,具有很好的养生功效,可以补中益气、通血脉、止泻、健脾养胃、聪耳明目、滋阴润肺等^[15]。米粉有益于婴儿的生长和身体健康,能刺激胃酸的分泌和使奶粉中的酪蛋白分解形成疏松而又柔软的小分子凝块,有助于消化吸收,并对脂肪的吸收有促进作用^[16]。大米淀粉可为人体快速提供能量,有效地增强自身的免疫力、促进新陈代谢,保证心脏的射血能力,补充丰富矿物质,增强骨骼强度;大米蛋白可以降低胆固醇^[17]。还有研究显示,大米中的某些生物活性成分能够预防糖尿病和癌症

等疾病的发生^[18]。

2 影响米制品在加工过程中老化等因素的因素

在加工过程中发现,米制品老化和没有筋性问题主要受淀粉、蛋白质的含量、种类等影响^[19],由于糊化后的淀粉凝胶在保存过程中出现变硬、变脆、不透明及保水能力变差等老化现象和缺少面筋蛋白等问题,不利于米制品研发,限制大米加工业的发展。不同含量、种类的蛋白质和淀粉对大米的糊化特性、老化过程和质构都有不同的影响。

在淀粉体系的老化过程中,直链淀粉和支链淀粉都有着重要的作用,直链淀粉分子为直链状结构,空间阻碍小,利于重结晶;支链淀粉分子为树枝状结构,空间阻碍大,不利于重结晶。淀粉老化受到多个因素的影响,其中最重要的是直链淀粉分子特性,包括直链淀粉含量、游离或与脂类的结合程度及分子量分布等多方面因素;其次是支链淀粉的链长分布决定的^[20]。Matalanis 等^[21]研究发现在支链淀粉中长 B 链结构的数量多少会明显影响淀粉老化程度,长 B 链结构占比大会使支链淀粉分子链端更加灵活,帮助淀粉分子链端的重结晶,可以加快淀粉老化速度。淀粉主要是影响大米制品的老化问题。

蛋白质可以在米胚乳中以蛋白体的形式填充在淀粉结构之中,进而抑制淀粉的糊化和膨胀,改变了大米的糊化特性和纹理破碎现象。蛋白质使淀粉的溶解度、黏度、硬度和膨胀率下降,弹性、凝沉性和回生值上升^[22]。蛋白质会增加大米吸水难度,不利于大米的糊化^[23]。降低大米蛋白质含量,可以增加最大黏度。大米中缺乏面筋蛋白,导致形成的面团不具有筋性,无法形成较好的空间网络结构,没有空间储存发酵时产生的气体,使发酵好的面团体积较小,没有良好的粘弹性和延展性,面包芯发黏,口感不好^[24]。由此可见,蛋白质的含量、种类会深深影响着米粉老化和米制品感官等问题。

3 外源添加物对米制品品质影响

添加外源物可以有效地改善米粉和米制品的质构、糊化性质、老化程度、蒸煮品质、焙烤品质等品质特性,对米粉的糊化程度和凝胶化有着很大影响,因此,改善米制品品质可以采用添加外源物的方法。常用的外源添加物有蛋白质和碳水化合物等。

3.1 蛋白质

在食品中,植物蛋白和动物蛋白是常用的外源蛋白。用于改善大米粉品质的蛋白主要是植物蛋白,豁银强等^[25]研究不同添加量的大米谷蛋白对籼米淀粉糊化、流变、热特性及淀粉凝胶特性的影响。结果表明:添加大米谷蛋白引起米淀粉的弹性模量和黏性模量的变化趋势与相应的纯淀粉体系基本一致;但在相同温度情况下,储能模量峰值和耗能模量的峰值随大米谷蛋白添加量增加而增大;大米谷蛋白对米淀粉的热特性(DSC)吸热峰的起始温度和峰值温度没有明显的影响,但是混合体系的焓值随谷蛋白添加量增

加而降低;大米谷蛋白可以升高粳米淀粉凝胶的黏聚性、黏结性及回弹性等特性,增加粳米淀粉凝胶的孔洞深度、直径,使结构更加松散。卢薇等^[26]研究得出,淀粉的糊化特性(RVA)曲线、糊化焓值、峰值黏度、崩解值和回生值会随谷蛋白添加量的增加而逐渐降低,从而影响蒸煮食味品质。付田田等^[27]研究大豆肽、豌豆肽对大米淀粉的作用及其理化性质的影响。结果表明:豌豆肽可以明显增加大米淀粉糊的透明度,大豆肽明显降低大米淀粉凝胶的硬度,它们都明显改善淀粉的冻融稳定性、溶解度和膨胀度,大豆肽对其影响更大,它们都改善淀粉糊化性质和老化现象。

目前动物蛋白作为添加物的研究比较少。高雨晴^[24]研究显示,蛋清蛋白使米面包具有较好的醒发体积、质构特性和感官品质。张诗佳等^[28]研究了蛋清蛋白对米粉品质特性的影响,结果显示蛋清蛋白降低米粉的峰值、最低及最终黏度、回生值、弹性模量、黏性模量等糊化特性;在减少米粉的蒸煮时间、蒸煮损失和断条率方面,添加浓度为 7.5% 的蛋清蛋白会更有效,能够很好地改善米粉质构特性。但蛋白质很少单独使用,与其他添加物共同使用会有更加理想的效果。添加外源蛋白可以改善大米本身蛋白不足的缺陷和提高米面团发酵性能。

3.2 碳水化合物

碳水化合物对淀粉老化具有较好的延缓作用,其机理是利用小分子添加物填充到糊化后的淀粉分子间,或者利用添加物形成网络结构,作为空间位阻,阻碍淀粉分子的相互聚拢以形成结晶^[29]。

3.2.1 低聚糖 低聚糖对米制品老化有延缓作用。裴斐等^[30]研究了低聚果糖对大米蒸煮品质及消化特性等性质的影响,结果表明低聚果糖能提高大米的吸水率,降低米饭的硬度、体外消化水解率、糊化焓值和结晶度,米饭有理想的微观结构和抗回生性。袁子等^[31]研究山梨醇对大米凝胶糊化性质的影响,结果表明山梨醇明显降低大米凝胶的糊化峰值温度、内部孔洞数量、凝胶表面粗糙度、G'值的变化速率和结晶程度等糊化参数,明显增加其糊化热焓,抑制其凝胶的老化速度。大豆低聚糖延缓大米凝胶老化是通过与淀粉链形成分子间氢键从而阻止淀粉链的相互靠近,王建宇等^[32]研究结果显示,大豆低聚糖可以改善大米凝胶的质构特性,降低大米凝胶的结晶度,延缓凝胶老化速度。Tian 等^[33]研究添加 β -环糊精对淀粉体系的影响,研究得出 β -环糊精会与直链淀粉分子形成复合物,复合物减少了直链淀粉分子结构间的结合,进而延缓了淀粉的老化速度。但低聚糖存在一些问题,它的分子结构相对简单,效果上不如多聚糖。

3.2.2 多糖 多糖对淀粉老化具有更好的延缓作用,不同种类的多糖结构差异比较大,对大米食品品质的影响不同。周剑敏等^[34]研究不同添加量的普鲁兰多

糖对粳米粉糊化性质的影响,结果得出,添加普鲁兰多糖可以降低粳米粉的峰值黏度、最低黏度、崩解值、回生值、弹性模量、黏性模量等糊化参数,糊化温度略有上升,说明它抑制了粳米淀粉的糊化,使淀粉的重结晶度下降,进而抑制了淀粉老化程度。豁银强等^[35]研究了麦冬多糖对大米淀粉凝胶化及凝胶糊化特性的影响,实验表明:麦冬多糖使大米淀粉凝胶的峰值黏度、稠度指数等糊化黏度参数都降低,而峰值时间和糊化温度却增加。

3.2.2.1 多糖胶体 多糖胶体是食品胶,作为增稠剂被广泛用于食品行业中,它可以在一定条件下与水形成粘稠或胶冻状大分子物质,减少水分的流动,使整个体系处于一个稳定的状态,起到抗老化作用^[36]。胶体的化学构成不同会导致其对抗淀粉老化的效果不同,如线性结构胶体比非线性结构胶体更容易与直链淀粉形成分子间氢键,形成阻碍,抗老化效果更好^[37]。在米制品中添加多糖胶体可以增加其稳定性,改善淀粉间的结构,控制水分流动,改变其糊化和流变学性质。在米粉面包中,添加羟甲基纤维素能提高面包的最终体积,形成可逆性凝胶,保持气体膨胀变化的稳定,增加其面团的持气性能,延缓米粉直链淀粉的老化^[38]。高雨晴^[24]经研究发现米粉加入 1.5% 的魔芋精粉,制得大米面包的性质最佳,使面包内部出现了更多大小均匀的气孔,风味与小麦面包相似。添加瓜尔豆胶会增加面团的水化性能,使其具有较高的糊化粘度,有利于面包膨胀,黄原胶会提高米面团的糊化粘度,减缓直链淀粉老化,含黄原胶的面包也具有较好的外观结构^[39],黄原胶使大米淀粉凝胶的质地更加柔软,结构更加致密,增加黏着性,降低内聚性,能降低淀粉的重结晶度,抑制支链淀粉的回生^[40]。阿拉伯树胶使大米面包的体积、质地、结构和感官品质等发生显著变化,琼脂虽对面包的体积有消极影响,但和阿拉伯树胶一同作用时,会降低面包的硬度^[41]。陈瑞云^[42]研究得出,不同结构的果胶对大米淀粉糊化、流变和老化性质都有不同的影响程度。多糖水胶体具有较高的结合水能力,与水反应形成凝胶结构,因此常用多糖水胶体代替麸质蛋白的网络结构和功能特性。多糖水胶体的添加,对面团的粘度有显著提升,阻碍发酵过程中气体逸出,从而提高面包的品质,延长面包的货架期^[43]。添加胶体可以提高米面团持气性、持水性,增加粘弹性,提高米面包比容,形成气孔,软化面包芯。

3.2.2.2 纤维素 添加到米制品食品中的纤维素大多数为天然纤维素中的膳食纤维以及肉纤维浓缩物。目前应用的膳食纤维主要有两种,分别为可溶性膳食纤维和不溶性膳食纤维^[44]。添加可溶性膳食纤维能增加大米面团的剪切力、糊化温度和焓值,弱化面团的结构,优化大米面包的感官特性、工艺品质以及营养特性,提升面包的整体工艺和比体积,减少面包的碎屑硬度^[45];添加不可溶性膳食纤维增加了米面

团的硬度,使面包具有较低的比容,可减缓面包的老化速率^[46]。李姝^[47]研究了大麦苗膳食纤维对挤压重组米糊化性质的影响,结果得出在膳食纤维的添加量为5%~20%的条件下,挤压重组米的胶着性、咀嚼性、粘性和硬度随着添加量的增加先上升在下降。在无麸质面包中添加肉纤维浓缩物,可提高面团的工艺性能,使面包具有较高的吸水率、稳定性、韧性,较低的软化性、延伸性、断裂性、挫折性等^[48]。

目前,细菌纤维素对米制品品质影响的研究相对较少。细菌纤维素是一种由超细纳米级微纤丝组成的具有极强的吸水性和持水能力的新型膳食纤维,其分子内含有大量亲水基团,微纤丝之间会相互交织成无规则的空间网络结构^[49]。谢新华^[50]研究得出细菌纤维素可以降低大米淀粉糊化时的崩解值、回生值、糊化焓值和重结晶率等糊化参数,可以使大米淀粉凝胶的表面变得完整、形成致密的结构,细菌纤维素可以明显改善大米淀粉凝胶老化的问题。朱鸿帅^[51]经实验结果显示,细菌纤维素能明显增加大米淀粉凝胶的冷藏稳定性,且贮藏稳定性与其添加量成正比;细菌纤维素降低了凝胶中的水分流动和析出,阻止了淀粉分子间的重新排列组合,在冻融过程中阻碍了大米淀粉凝胶晶体的重新形成,明显降低老化焓值和相对结晶度,它有利于形成柔软致密的淀粉凝胶结构,抑制其老化现象,是一种有开发潜力的新型添加剂。

3.3 其他

除了蛋白质,碳水化合物和胶体之外,还可添加盐类^[52]和乳化剂等外源添加物对米制品品质进行改变。Han等^[53]研究了不同浓度的钠盐和氯化物对回生大米淀粉和米饭再加热行为的影响,结果表明含钠盐和氯化物的大米再加热后淀粉凝胶和米饭的糊化程度都比不加盐的好,糊化率增加大于38.0%;增加钠盐、氯化物浓度使凝胶化增加;添加 Na_3PO_4 的样品有最大的糊化增量和最低的回生度。磷酸盐具有优良的持水性,能在储藏过程中维持体系的稳定,磷酸盐螯和金属离子的特性和食品中的蛋白质形成网状结构,同时增强蛋白质与淀粉分子间的连接,减少淀粉的析出^[54],起到抗老化效果。陈洁等^[55]研究了食用胶、磷酸盐和淀粉类添加剂对米粉品质改良的效果,结果表明影响米粉品质的最大因素是复合磷酸盐,它可以增大米粉的拉伸力和咀嚼度,也能改善米粉的色泽和表观状态。

乳化剂可以进入大米淀粉分子结构内部,促进内部结合,减少淀粉老化现象,有改善食品品质、增加保质期和增添其风味等作用,乳化剂抗淀粉老化效果的差异主要取决于其与直链淀粉的分子结合能力、与水的亲和力等。线性结构的乳化剂空间阻力小,易于与淀粉形成稳定的网络结构,抗老化效果好;亲水性强的乳化剂有利于增加储藏过程中体系的稳定性^[56]。孟岳成^[57]研究了3种常用乳化剂对米粉糊

化过程、凝胶化和流变性质的影响,结果表明分子蒸馏单甘酯和蔗糖脂肪酸酯会明显提高米粉的衰减值、最终黏度、回生值和糊化温度等糊化参数;大豆卵磷脂可以明显减少大米淀粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值和糊化温度等糊化参数,提高其衰减值。高扬等^[58]探究了3种不同乳化剂及其复合物对糙米工程米食用品质的影响,结果表明乳化剂单独使用可以改善其食用品质,复合使用的改善效果更好。

4 结语

目前,对米制品品质有影响的外源添加物主要有蛋白质和碳水化合物等。改善米制品品质能够丰富米制品的种类,创造更大的利益,更好地为麸质过敏症患者提供便利。日本、美国和北爱尔兰等国家把米粉制作成米粉面包,已实现商业化生产^[59]。国内的研究还不够全面性和细节化,如淀粉和乳化剂之间的相互作用非常复杂,乳化剂的作用效果也不尽相同,对其加深研究,有利于其在米制品行业中更好的应用发展;动物蛋白在国外常被应用于食品加工中,而我国对其研究较浅,在米制品中的应用几乎为零。应结合国外研究成果,不断丰富外源添加物的种类,而且单一的添加物并不能很好地改善品质,应加大研究复合添加物的力度,找到更佳有效的添加物。该领域新的研究成果不断出现,将更加有效地改善米制品品质;将科学研究成果投入到实际生产中,真正解决米制品品质的问题,能够为食品行业的发展提供一些助力,给企业带来巨大的经济效益,为人民的生活提供更多的便利。

参考文献

- [1] 谢健. GB 1354-2009《大米》国家标准的修订及实施指南[J]. *粮食与饲料工业*, 2011(5): 9-23. [XIE J. GB 1354-2009 "Rice" national standard revision and implementation guide[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2011(5): 9-23.]
- [2] 黄秉信. 2019年全国粮食产量再创新高-国家统计局农村司高级统计师黄秉信解读粮食生产情况[J]. *新农业*, 2019(24): 67-68. [HUANG B X. In 2019, China's grain output hit a new high-Interpretation of grain production situation by Huang Bingxin, senior statistician of Rural Affairs Department of National Bureau of Statistics[J]. *New Agriculture*, 2019(24): 67-68.]
- [3] 张平, 于珊珊, 郭德林. 黑龙江省粮食深加工产业发展困境与对策[J]. *大庆师范学院学报*, 2018, 38(6): 131-138. [ZHANG P, YU S S, WU D L. Development dilemma and countermeasures of grain deep processing industry in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Daqing Normal University*, 2018, 38(6): 131-138.]
- [4] 钱富灵, 张诗卿, 方瑜. 我国大米加工行业发展现状及展望[J]. *食品安全导刊*, 2016(12): 48. [QIAN F L, ZHANG S Q, FANG Y. Development status and prospect of rice processing industry in China[J]. *Food Safety Guide*, 2016(12): 48.]
- [5] 邵雅芳. 稻米的营养功能特点[J]. *中国稻米*, 2020, 26(6): 1-11. [SHAO Y F. Nutritional function characteristics of rice[J].

- China Rice, 2020, 26(6): 1–11.]
- [6] BAO J, BERGMAN C J. Chapter 10-rice flour and starch functionality[M]. Sjoo M, Nilsson L (Eds.), Starch in Food (Second Edition), Duxford: Woodhead Publishing, 2018: 373–419.
- [7] 刘传菊, 李欢欢, 汤尚文, 等. 大米淀粉结构与特性研究进展[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(12): 107–114. [LIU C J, LI H H, TANG S W, et al. A review on structures and properties of rice starches[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(12): 107–114.]
- [8] 罗舜菁, 李燕, 杨榕, 等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 178–182. [LUO S J, LI Y, YANG R, et al. Effects of amino acids on pasting and rheological properties of rice starch[J]. Food Science, 2017, 38(15): 178–182.]
- [9] 严静, 查园园, 钱家美, 等. 大米蛋白资源开发利用现状[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(5): 124–129. [YAN J, ZHA Y Y, QIAN J M, et al. Development and utilization status of rice protein resources[J]. Food Additives in China, 2020, 31(5): 124–129.]
- [10] XU Z Y, FU Z N, ZHAI Z Y, et al. Comparative evaluation of carbon footprints between rice and potato food considering the characteristic of Chinese diet[J]. Journal of Cleaner Production, 2020: 257.
- [11] ARENDT E K, BELLO F D. Gluten-free cereal products and beverages[M]. Elsevier, 2008: 464.
- [12] 李贞. 大米理化性质与食味品质的相关性[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(1): 89–92. [LI Z. Correlation between physical and chemical properties and eating quality of rice[J]. Cereals and Oils, 2017, 30(1): 89–92.]
- [13] 王艳, 兰向东, 陈钊, 等. 糙米、胚芽米和精白米营养成分分析[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 156–159. [WANG Y, LAN X D, CHEN Z, et al. Analysis of nutrition components in brown rice, germinated rice, and polished rice[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(11): 156–159.]
- [14] 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. [WANG L, DUAN W, QIAN H F, et al. Research and development of brown rice products[J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(2): 236–243.]
- [15] 刘菊英. 五谷杂粮是最好的补药[J]. 江苏卫生保健, 2016(7): 37. [LIU J Y. Whole grains are the best tonic[J]. Jiangsu Health Care, 2016(7): 37.]
- [16] 宋欣欣. 大米蛋白调控脂质代谢作用效果的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011. [SONG X X. Studies on lipid metabolism affected by rice proteins[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.]
- [17] LI S, YANG X, ZHANG Y, et al. Effects of ultrasound and ultrasound assisted alkaline pretreatments on the enzymolysis and structural characteristics of rice protein[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 31: 20–28.
- [18] ANUCHITA M, NATTAWAT S. Comparison of chemical compositions and bioactive compounds of germinated rough rice and brown rice[J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 782–788.
- [19] 李枝芳, 姚轶俊, 张磊, 等. 不同品种大米组分含量与米饭加工品质特性关系研究[J]. 食品科学, 2020, v.41(636): 44–50.
- [20] LI Z F, YAO Y J, ZHANG L, et al. Study on the relationship between the content of different rice components and the processing quality of rice[J]. Food Science, 2020, v.41(636): 44–50.
- [21] MATALANIS A M, CAMPANELLA O H, HAMAKER B R. Storage retro-gradation behavior of sorghum maize and rice starch pastes related to amylopectin fine structure[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50(1): 74–81.
- [22] 刘军平, 禹凯博, 孙悦芳, 等. 均质及大米蛋白对大米淀粉糊化和质构特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(1): 1–6. [LIU J P, YU K B, SUN Y F, et al. Effect of homogenization treatment and rice protein on pasting and texture properties of rice starch[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(1): 1–6.]
- [23] 余世锋, 杨秀春, MENAGER Lucile, 等. 直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 38–42. [YU S F, YANG X C, MENAGER L, et al. Effects of amylose, protein and lipid on the thermal properties of rice flour[J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(4): 38–42.]
- [24] 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.]
- [25] 谌银强, 袁佰华, 汤尚文, 等. 大米谷蛋白对大米淀粉凝胶化及凝胶特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 1–5. [HUO Y Q, YUAN B H, TANG S W, et al. Effect of oryzenin on gelation and gel properties of rice starch[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2019, 34(6): 1–5.]
- [26] 卢薇, 夏宁, 王金梅, 等. 大米谷蛋白对大米淀粉理化特性的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(12): 1632–1635. [LU W, XIA N, WANG J M, et al. Effect of rice glutelin addition on physicochemical properties of rice starch[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(12): 1632–1635.]
- [27] 付田田, 靳凤芳, 牛丽亚, 等. 大豆肽和豌豆肽对大米淀粉理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 53–58, 67. [FU T T, JIN F F, NIU L Y, et al. Effect of pea peptides and soybean peptides on physicochemical properties of rice starch[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(6): 53–58, 67.]
- [28] 张诗佳, 高利, 陶香程, 等. 蛋清蛋白添加对粳米-绿豆粉粉质特性及挤压米粉品质特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(3): 93–98. [ZHANG S J, GAO L, TAO X C, et al. Effects of egg white protein addition on flour properties of rice-green bean blends and quality attributes of extruded noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(3): 93–98.]
- [29] ENCINAELADA C R, CADAVEZ V, TEIXEIRA J A, et al. Optimization of quality properties of gluten free bread by a mixture design of xanthan, guar, and hydroxypropyl methyl cellulose gums[J]. Foods, 2019, 8(5): 156.
- [30] 裴斐, 倪晓蕾, 仲磊, 等. 3 种功能性甜味剂对大米蒸煮品质

- 和消化特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 66–72. [PEI F, NI X L, ZHONG L, et al. Effects of three functional sweeteners on cooking quality and digestion characteristics of rice[J]. *Food Science*, 2019, 40(24): 66–72.]
- [31] 袁子, 张宾佳, 赵思明, 等. 添加物对大米凝胶微结构和理化性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(10): 1–6. [YUAN Z, ZHANG B J, ZHAO S M, et al. Effect of different additives on the microstructure and physicochemical properties of rice gel[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(10): 1–6.]
- [32] 王建宇, 冯晓光, 韩贵成, 等. 大豆低聚糖对大米粉老化性质的影响及其机理研究[J]. *食品安全导刊*, 2020(9): 103–104, 106. [WANG J Y, FENG X G, HAN G C, et al. Effects of soybean oligosaccharides on aging properties of rice flour and its mechanism[J]. *Food Safety Review*, 2020(9): 103–104, 106.]
- [33] TIAN Y, YIN L, JIN Z, et al. Comparison tests of hydroxylpropyl β -cyclodextrin(HP β -CD) and β -cyclodextrin(β -CD) on retrogradation of rice amylose[J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2010, 43(3): 488–491.
- [34] 周剑敏, 卞旭, 孙佳, 等. 普鲁兰多糖对粳米粉凝胶及老化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(5): 1–5. [ZHOU J M, BIAN X, SUN J, et al. Effects of pullulan on gel and retrogradation properties of indica rice flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(5): 1–5.]
- [35] 谌银强, 刘松继, 陈江平, 等. 麦冬多糖对大米淀粉凝胶化及凝胶特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(11): 48–53. [HUO Y Q, LIU S J, CHEN J P, et al. Effects of *Ophiopogon japonicus* polysaccharide on gelation and gel properties of rice starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(11): 48–53.]
- [36] 白永庆, 张璐. 食品增稠剂的种类及应用研究进展[J]. *轻工科技*, 2012(2): 14–16. [BAI Y Q, ZHANG L. Research progress on types and application of food thickeners[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2012(2): 14–16.]
- [37] JAMES N B. Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 86(2): 386–423.
- [38] DAPCEVIC H T R D, TORBICA A M, HADNADEV M S. Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behaviour and baking performance of gluten free cookie dough[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(7): 1770–1781.
- [39] BOUREKOUA H, ROZYLO R, BENATALLAH L, et al. Characteristics of gluten free bread: Quality improvement by the addition of starches/hydrocolloids and their combinations using a definitive screening design[J]. *European Food Research and Technology*, 2018, 244: 345–354.
- [40] 唐敏敏, 洪雁, 顾正彪, 等. 黄原胶对大米淀粉长期回生的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2013, 32(7): 692–697. [TANG M M, HONG Y, GU Z B, et al. Effect of xanthan on long-term retrogradation of rice starch[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2013, 32(7): 692–697.]
- [41] URSZULA K K, AGNIESZKA T, NATALIA B, et al. Effect of organic calcium supplements on the technological characteristic and sensory properties of gluten-free bread[J]. *European Food Research and Technology*, 2011, 232(3): 497–508.
- [42] 陈瑞云. 不同结构果胶对大米淀粉理化性质的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2017. [CHEN R Y. Effects of pectin with different structures on the physicochemical properties of rice starch[D]. Nanchang: Nanchang University, 2017.]
- [43] GUILLERMO N M, DOLORES M R, ANA L G, et al. Dietary fiber from chickpea(*Cicer arietinum*) and soybean(*Glycine max*) husk byproducts as baking additives: functional and nutritional properties[J]. *Molecules*, 2019, 24(5): 991.
- [44] SULIEMAN A A, ZHU K X, PENG W, et al. Assessment of rheological, physicochemical, and staling characteristics of gluten-free dough and bread containing agaricus bisporus polysaccharide flour and inulin[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2018, 12(3): 2032–2044.
- [45] ARSLAN M, RAKHA A, KHAN M R, et al. Complementing the dietary fiber and antioxidant potential of gluten free bread with guava pulp powder[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2017, 11(4): 1959–1968.
- [46] GLAGOLEVA A Y, IVANISENKO N V, KHLESTKINA E K. Organization and evolution of the chalcone synthase gene family in bread wheat and relative species[J]. *BMC Genetics*, 2019, 20(30): 25–33.
- [47] 李姝, 解铁民, 郑诗雨, 等. 添加膳食纤维对挤压工程米品质的影响[J]. *粮油食品科技*, 2018(1): 40–43. [LI S, XIE T M, ZHENG S Y, et al. Effect of dietary fiber on the quality of extruded artificial rice[J]. *Cereals, Oils and Food Science and Technology*, 2018(1): 40–43.]
- [48] BCHIR B, RABETAFIKA H N, PAQUOT M, et al. Effect of pear, apple and date fibres from cooked fruit by-products on dough performance and bread quality[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7(4): 1114–1127.
- [49] LIN D H, PATRICIA L S, LI R, et al. Production of bacterial cellulose by gluconacetobacter hansenii CGMCC 3917 using only waste beer yeast as nutrient source[J]. *Bioresource Technology*, 2014, 151(1): 113–119.
- [50] 谢新华, 朱鸿帅, 徐超, 等. 细菌纤维素对大米淀粉凝胶老化的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(1): 40–43. [XIE X H, ZHU H S, XU C. Effect of bacterial cellulose on gel ageing of rice starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(1): 40–43.]
- [51] 朱鸿帅. 细菌纤维素对大米淀粉凝胶老化的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018. [ZHU H S. Effects of bacterial cellulose on retrogradation of rice starch gels[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018.]
- [52] SAMUTSRI W, SUPHANTHARIKA M. Effect of salts on pasting, thermal, and rheological properties of rice starch in the presence of non-ionic and ionic hydrocolloids[J]. *Carbohydrate*

Polymers, 2012, 87(2): 1559–1568.

[53] HAN S H, KIM B R, LEE S W, et al. Effects of various salts on the reheating behavior of retrograded rice starch and cooked rice[J]. *Preventive Nutrition and Food Science*, 2011, 16(2): 157–164.

[54] 严勇强. 湿态方便河粉品质改良以及保鲜技术研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013. [YAN Y Q. Study on the quality improvement and preservation technology of wet and ready- to-eat hefen[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.]

[55] 陈洁, 张玮, 蔡永艳, 等. 米粉食用品质改良的研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(11): 178–184. [CHEN J, ZHANG W, CAI Y Y, et al. Effect of food additives on quality of rice noodles[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(11): 178–184.]

[56] MENG Y C, SUN M H, FANG S, et al. Effect of sucrose fatty acid esters on pasting, rheological properties and freeze-thaw

stability of rice flour[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 40: 64–70.

[57] 孟岳成, 孙明辉, 房升, 等. 不同乳化剂对米粉糊化和流变性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(11): 1–5, 12. [MENG Y C, SUN M H, FANG S, et al. Effect of different emulsifiers on pasting and rheological properties of rice flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2013, 28(11): 1–5, 12.]

[58] 高扬, 管立军, 李家磊, 等. 复合乳化剂对糙米工程米食用品质的影响[J]. *粮油食品科技*, 2019, 27(1): 41–45. [GAO Y, GUAN L J, LI J L, et al. Effect of compound emulsifier on the edible quality of reformed brown rice[J]. *Cereals, Oils and Food Science and Technology*, 2019, 27(1): 41–45.]

[59] 汪洋, 卢曼曼, 刘丽宅, 等. 稻米烘焙制品的研究进展[J]. *粮食加工*, 2016, 41(4): 32–34. [WANG Y, LU M M, LIU L Z, et al. The research progress of rice bakery products[J]. *Grain Processing*, 2016, 41(4): 32–34.]