

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.04.006

田晓红, 姜平, 谭斌, 等. 方便米饭加工技术研究进展[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(4): 54-60.

TIAN X H, JIANG P, TAN B, et al. Research progress on the processing technology of instant rice[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(4): 54-60.

方便米饭加工技术研究进展

田晓红¹, 姜平¹, 谭斌¹✉, 刘明¹, 徐峻²

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油加工研究所, 北京 100037;

2. 南京乐鹰科技股份有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 方便米饭是方便食品中的一种, 其食用方便, 简单快捷, 既符合我国人民喜食米饭的饮食习惯, 又满足了目前快节奏的生活需要, 近年来得到了快速发展。随着国产保鲜米饭技术和设备的进一步提高, 口感接近普通蒸煮米饭的冷冻方便米饭、无菌方便米饭、短保质期即食米饭等湿态方便米饭产业将得到进一步的发展。概述了影响方便米饭品质的主要因素, 包括原料品种、加工精度、加工工艺与条件等, 重点讨论了保鲜米饭工业化加工关键技术, 包括无菌加工技术、高温杀菌技术、超高压处理技术等, 综述了挤压重组方便米饭最新研究进展情况, 探讨了方便米饭目前存在的问题及未来发展方向。

关键词: 方便米饭; 保鲜米饭; 加工技术; 无菌加工; 研究进展

中图分类号: TB41 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)04-0054-07

网络首发时间: 2024-06-29 09:54:49

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240628.1322.001>

Research Progress on the Processing Technology of Instant Rice

TIAN Xiao-hong¹, JIANG Ping¹, TAN Bin¹✉, LIU Ming¹, XU Jun²

(1. Institute of Cereal and Oil Science and Technology, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China;

2. Nanjing Leying Technology Co., LTD, Nanjing, Jiangsu 211100, China)

Abstract: Instant rice is a kind of convenient food, which is easy to eat, simple and quick. Instant rice not only conform to ours people's habits of eating rice, but also meets the needs of the current fast-paced life, which has developed rapidly in recent years. With the further improvement of domestic fresh rice technology and equipment, the wet instant rice industry, such as frozen instant rice, aseptic instant rice, and short-shelf-life instant rice, will be further developed. This paper summarized the main factors affecting the quality of dry instant rice, including raw material varieties, processing precision, processing technology and conditions, and focused on the key technologies of industrial processing of fresh rice, including aseptic processing, high temperature sterilization, ultra-high pressure treatment, etc. The latest research progress of

收稿日期: 2024-01-23

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD2100203)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China (No. 2021YFD2100203)

作者简介: 田晓红, 女, 1979 年出生, 学士, 副研究员, 研究方向为健康谷物加工。E-mail: txh@ags.ac.cn

通信作者: 谭斌, 男, 1972 年出生, 博士, 首席研究员, 研究方向为健康谷物加工与营养。E-mail: tb@ags.ac.cn

extrusion and recombination instant rice was also reviewed, and the existing problems and future development direction of instant rice were discussed.

Key words: instant rice; fresh rice; processing technology; aseptic processing; research progress

方便米饭是一种经工业化批量生产,经简单加热即可食用或者直接食用的一种主食方便食品^[1]。方便米饭最重要的两个特性就是方便性、安全性,在此基础上又进一步追求长期保存性、品质优良性(保持鲜米饭的口感和风味)、工艺简便性(工艺简单成本低)。近 30 年来,随着冷藏冷冻设备、包装设备、新型包装材料、食品科学和食品营养学的不断发展,以及无菌加工技术、高温杀菌技术、超高压技术、微波蒸汽技术、挤压加工技术的不断成熟,方便米饭行业蓬勃发展,方便米饭的种类不断增加,风味更加丰富,口感更接近新鲜米饭。方便米饭按照水分含量可分为脱水干燥型米饭和非脱水干燥型米饭两种,脱水干燥米饭是指含水量在 10% 以下的可长期贮存的米饭,食用前需要加水复热,而非脱水干燥米饭也称为保鲜米饭,是以一般意义上的米饭为最终形态的一种方便大米食品,食用前无需复水,其直接加热即可食用,包括罐装米饭、无菌包装米饭、冷冻米饭和蒸煮袋米饭等^[2]。脱水干燥米饭按加工工艺又可分为膨化工艺等生产的多孔性膨化米饭和非多孔性的 α -化脱水米饭;目前,日本和欧美国家在保鲜方便米饭上的技术比较领先,生产工艺及生产设备比较成熟,在国际上处于领先地位。随着我国无人智能化无菌米饭生产线的成熟,加工技术上了新的台阶。本文对影响方便米饭品质的主要因素进行概述,总结了脱水干燥型米饭、保鲜米饭、挤压膨化米饭三种类型方便米饭的研究进展,并探讨了方便米饭存在的问题及未来发展方向,以期为方便米饭行业的发展提供支持。

1 影响方便米饭品质的主要因素

1.1 原料品种

原料大米的直链淀粉含量、蛋白质含量、脂肪含量、阿拉伯木聚糖含量等显著的影响方便米饭的感官和质构。其中,直链淀粉含量和蛋

白质含量对品质影响最大。原料米的直链淀粉含量越高,大米的浸泡吸水率、蒸煮吸水率、蒸煮膨胀率越低,在贮存过程中也越容易老化,得到的保鲜方便米饭越硬,食用品质越差^[3]。直链淀粉含量高、支链淀粉长链含量高、支链淀粉 A 链相对较长、支链淀粉 B1 和 B2 链较短、支链淀粉中间至长链较长的方便米饭质地较硬,粘性较低^[4]。因此,选择具有更多支链淀粉中间链而较少支链淀粉长链的水稻品种有助于开发淀粉消化速度较慢且质地较软的方便米饭^[5]。直链淀粉含量在 15.5%~17.5%,蛋白质含量<8%的大米制备的方便米饭感官品质较好^[6]。Meng Q H^[7]等认为适口性、黏附性、 b^* 值、回弹性和碘色值是即食方便米饭的代表性品质指标。SHARMA S 等^[8]研究发现,在制作方便米饭时,原料大米的粒型对方便米饭的复水时间有显著影响,长粒米的复水时间较长,而中粒米和短粒米的复水时间较短。

1.2 原料的加工精度

现有研究表明,全谷物摄入不足是慢性病导致死亡和失能残疾的首要膳食风险因素^[9],富含纤维的方便米饭能够减少健康成人餐后血糖升高幅度,可以改善合并超重/肥胖的 2 型糖尿病患者短期脂代谢及血糖波动情况,适用于糖尿病患者食用^[10]。虽然糙米比精白米具有更多的营养和生理效应,但糙米的外皮层具有致密的蜡质层和纤维层,阻碍了米粒对水分的吸收和米粒中淀粉的膨胀,口感不佳。随着加工精度的升高,米粒表面的外皮层被剥去,淀粉外露,吸水速率加快,进而使得大米熟化时间和硬度降低,米粒的膨胀率、吸水率、粘性增加。杨榕等^[11]研究认为,加工精度到达一定范围时,对米饭的影响比较少,米饭的硬度、黏度、香气与精白米无显著性差异,生产方便米饭的大米加工精度范围宜为 6%~9%。在韩国,用 92% 的白米和 8% 的有色糙米复配的

方式可以兼顾营养和口感^[12]。何余堂^[13]添加 15% 的发芽糙米制备的方便米饭在贮藏期间老化速度变化平缓, 老化度极显著低于对照, 感官品质和食用品质得到提升。

1.3 加工工艺与条件

1.3.1 浸泡和浸渍

浸泡工艺是方便米饭的重要前处理工艺, 在此过程中, 稻米原料会充分均匀吸水, 有利于缩小大米蒸煮过程中内部淀粉和外部淀粉糊化的时间差, 缩短蒸煮时间, 提高淀粉糊化速度, 降低

米饭的硬度和咀嚼性, 提高米饭的感官品质。影响稻米浸泡效果的主要因素有稻米种类、浸泡温度、浸泡时间、浸泡液种类、料液比及辅助处理等。糙米的吸水率与大米显著不同, 大米在 1 h 时基本达到饱和状态, 而糙米表面含有蜡质皮层, 结构紧密, 在 5 h 才能达到饱和吸水率^[14]。除常规加水浸泡外, 还可以在浸泡过程中添加改良剂改善方便米饭在贮存过程中由于淀粉老化而导致的米饭硬度上升、柔软性和粘弹性变差等问题。具体效果见表 1。

表 1 浸泡和浸渍对方便米饭的影响
 Table 1 Effect of soaking and infusing on instant rice

浸泡和浸渍处理	效果	原因	参考文献
1.6% 的低聚果糖浸渍处理	大米吸水率提高 15.32%, 糊化焓降低 22.91%, 短期冷藏后的吸水率比对照降低 21.82%, 冷藏 24 h 后硬度值降低 21.79%。	提高大米淀粉的保水性能, 提高方便米饭中水分子的流动性, 降低方便米饭当中的淀粉相对结晶度和回生焓值, 阻碍淀粉的回生速度, 降低方便米饭的硬度。	[15~16]
糙米经无水乙醇脱脂, 复合 80 °C 水热 30 min 以及 100 mmol/L 抗坏血酸浸渍	硬度和咀嚼性可降低至精白米饭的水平, 粘性和粘硬比分别提高至精白米饭的 76.20% 和 73.96%, 是未处理糙米饭粘性和粘硬比的 5 倍以上; 感官总分从 68.9 提高至 84.0 分。	使糙米皮层表面和横断面出现了明显的裂纹、微孔和破裂, 并促进了米饭内部淀粉颗粒间的分离, 这些微结构的变化使糙米在煮饭过程中吸水能力提高, 使淀粉糊化更均匀。	[17]
以 2.3%~4.6% (w/w) 的米糠提取物浸渍大米后再进行蒸煮	在 4 °C 条件下储存约 2 周后, 老化速度低于对照大米。	米糠提取物当中的阿魏酸与糊化直链淀粉发生非共价相互作用, 延缓了淀粉的回生。	[18]
添加 0.2% 的可溶性大豆多糖	在储藏过程中, 保鲜方便米饭的硬度、焓值、相对结晶度均低于未添加组。	可溶性大豆多糖与淀粉分子竞争性吸水, 从而提高了方便米饭的保水能力。	[19]

1.3.2 蒸煮条件

蒸煮是利用各种热源或能量对稻米进行加热熟化的过程。水的扩散和淀粉的浸出是影响熟米品质的重要因素。加水量、蒸煮时间、蒸煮方式等蒸煮条件对米饭的食用品质具有显著影响。不同的蒸煮条件下得到的米饭品质的不同是因为在蒸煮过程中米饭内部淀粉的溶出不同。蒸煮时间短, 大米淀粉未充分糊化, 吸水率低, 米饭硬度较大; 蒸煮时间长, 淀粉浸出的越多, 淀粉颗粒溶胀程度增加, 黏度增加。但蒸煮时间过长会破坏淀粉颗粒与水分子之间氢键的稳定性, 使淀粉溶胀程度下降、米饭硬度增加、黏度降低^[20]。不同蒸煮方式米饭的渗透液和质构特征上存在显著差异, 与常压蒸煮相比, 高压蒸汽破坏了蛋白质和淀粉骨架结构, 使水分分布更均匀, 提高米饭

的光泽度、粘性、湿度和总分^[21], 但过高的压力使蒸发加快, 导致米饭硬度增加^[22]。闫紫君和李雪琴^[23]研究发现, 在 50 kPa 压力蒸煮时, 米饭的感官评分最高, 硬度和咀嚼性最低。热源种类、电磁烹制模式对米饭的感官品质和营养特性也具有较大影响。SABAN T K^[24]等采用脉冲电场处理大米制备方便米饭, 在脉冲宽度 2 565~5 079、电场强度 7~8 kV/cm、脉冲频率 4.4~8.9 Hz 条件下, 可显著缩短 40%~50% 的大米蒸煮时间, 降低方便米饭的硬度。

1.3.3 干燥条件

干燥方式对方便米饭的复水时间、复水率、颜色、表面结构、内部结构和食用口感均有影响。目前常用的干燥方式有热风干燥、微波干燥、真空冷冻干燥、红外辐射加热等多种方式。热风干

燥最为常用,但热风干燥的方便米饭结构紧密,无明显孔隙,存在干燥时间长,能耗高的特点。真空冷冻干燥法制备的方便米饭表面形成蜂窝状的均匀孔隙结构,纹理有规则,无裂痕,能大幅度缩短方便米饭复水时间,但真空冷冻干燥时间长,价格昂贵。红外辐射加热是一种新型加热技术,随着温度的升高和暴露时间的延长,米粒表面裂缝增多,米饭吸水速率提高,蒸煮时间缩短,150 °C 处理 6 min 能使白米的蒸煮时间降至 5.79 min,糙米的蒸煮时间降至 16.16 min^[25]。

2 保鲜米饭工业化关键加工技术

保持传统米饭的食味一直是方便食品行业关注的焦点。淀粉是米饭中最重要的成分,淀粉的老化是影响保鲜米饭贮存期间食用品质的最重要因素^[26]。方便米饭老化的主要表现是:随着时间的延长,方便米饭的复水时间和硬度增加,复水率、弹性、咀嚼性和感官评分降低。淀粉的老化包括两个过程,一个是糊化过程中直链淀粉凝胶化,主要是短期老化;一个是后续冷却及贮存过程中支链淀粉与糊化颗粒之间的重结晶,主要是长期老化。一切能影响淀粉老化的因素均能影响保鲜米饭的食用品质,其中最重要的是直链淀粉的含量、支链淀粉的链长、保鲜米饭储存的温度、保鲜米饭工艺等。

2.1 无菌加工技术

无菌包装米饭,最早源自日本,是将调理加工的米饭,在无菌无尘的环境中,直接密封入包装容器,并保证容器内没有受到细菌污染,无菌包装米饭具有长期常温保存性和常温流通性。无菌米饭需要对米饭和包装盒进行杀菌以保证容器内没有细菌。杀菌工艺对无菌米饭风味具有明显影响,高温高压处理使得米饭中原有特征风味成分减少,新风味物质产生,因此,需要在保障食品安全的前提下,选择合适的杀菌条件。亓盛敏等研究发现,采用 100、110、113 °C 分别杀菌 5、25、10 min 的梯度杀菌比 121 °C 杀菌 20 min 更有利于米饭保持原有风味^[27]。米饭蒸煮后水分含量在 150%左右^[28],在常温保存过程中容易发生老化,影响米饭的食用品质。可以通过保留部分

米糠层,来增加米饭营养的同时,延缓米饭的回生,因为米糠膳食纤维对大米淀粉的长期变质具有抑制作用^[29]。

2.2 高温杀菌技术

高温杀菌技术是将蒸煮好的米饭密封在气密性较高的软容器内,用加压加热进行杀菌。杀菌工艺对米饭风味具有明显的影响。高温杀菌技术的关键是控制加热的时间和强度,时间短强度低,杀菌效果不佳,时间长强度高,容易导致米饭表面淀粉过度糊化后发粘,米饭粘连,食用品质下降。应在保证食品卫生的前提下,尽可能的降低杀菌强度。采用梯度杀菌和杀菌后快速冷却技术,有助于提高产品分散性和产品品质。XU D P 等^[30]研究发现,高温杀菌可以使方便米饭的粘性提高 24.2%~76.9%,硬度降低了 19.6%~41.6%。范东翠等^[31]研究发现添加质量分数 1%的米醋、1%的花生油和 0.5%的海藻糖,可以显著抑制高温高压造成的米饭风味下降。

2.3 超高压技术

超高压是一种非热加工技术,是指将食品放入水、油等液体介质中,在 100~1 000 MPa 压力下进行处理。2000 年日本将超高压技术应用于保鲜米饭的生产后,得到了快速发展。超高压方便米饭是以粳米和水为主要原料,添加或不添加其他谷物、豆类、薯类、果蔬等,经超高压处理后蒸煮灭菌而未经干燥的、可常温贮藏的预包装米饭^[32]。超高压能够使淀粉颗粒发生明显膨胀,颗粒之间形成弱凝胶,崩解值和回生值下降^[33]。同等条件下,经超高压处理后制成的方便米饭,其再糊化特性的特征值普遍更低,且随着贮藏期的延长,超高压方便米饭再糊化特征值变化较小,米饭性质较稳定,抗回生效果显著^[34]。能够通过测定米饭的最低黏度值,利用最低黏度差值比建立一种超高压方便粳米饭鉴别方法^[35]。超高压处理也能够促进水分在稻米当中的分布,提高稻米的吸水率,降低淀粉的起始糊化温度和米饭的硬度,增加其弹性、内聚性。在保存 21 d 时,方便米饭的结晶度由对照的 19.92%降低到 15.94%,老化程度从对照的 91%降低至 71%^[36]。

3 挤压方便米饭的关键加工技术

采用挤压加工制备的方便米饭是将大米等原料粉碎后再经过挤压机进行造粒,因此也被称为重组米,是目前市场上自热米饭的最重要形式。影响重组米食用品质的主要因素有原辅料特性、进料水分、螺杆转速、喂料速度、挤压机机筒温度、干燥工艺等^[37]。穆慧玲等^[38]以大米为主要原料,添加玉米、糯米、黑香米、糙米、青稞、小麦、绿豆、薏仁等谷物和杂豆,采用挤压方式制备军用方便米饭,采用模糊数学评价方法,以感官评价为评价因素,得分从高到低的次序为黑香米饭、薏仁米饭、五粮米饭、绿豆米饭、青稞米饭、原香米饭。张鑫等^[39]研究发现,重组米的蒸煮损失率随着青稞粉、藜麦粉、燕麦粉等杂粮粉原料添加量的增加而增加,硬度值有不同程度降低,青稞和燕麦会显著降低重组米的黏性。焦爱权等^[40]研究发现可得然胶、魔芋胶、海藻酸钠、黄原胶等亲水胶体可以有效提高重组米的水分稳定性,降低蒸煮损失率,其中,添加可得然胶后重组米饭具有较好的抗回生能力,蒸煮后软硬适中,不粘牙,感官评分最高。LUO S J 等对米粉进行 5~10 d 的预发酵,能够显著降低挤压重组米的蒸煮损失,显著提高重组米的硬度、粘性和吸水性。这是因为在发酵过程中,油脂、灰分和可溶性蛋白溶解或浸出到发酵液中,酶和有机酸降解淀粉颗粒的无定形区,淀粉颗粒的分子结构发生变化,支链淀粉的长支链和超长支链比例提高。这种分子结构有利于形成有序的双螺旋结构和牢固的凝胶网络^[41]。

方便米饭通常具有较高的血糖指数,经常食用可能会导致许多慢性疾病的发生^[42]。挤压重组技术,不但能够提高米饭方便性,还能抑制米饭的消化性。研究发现,挤压处理后淀粉的晶型发生明显改变,挤压改性和高温膨胀的联合作用能够减弱淀粉的成膜能力,直链淀粉与脂质形成少量复合物,使得重组米在进入肠道初期时,能够有效抑制淀粉的分解,抗消化性增强^[43-44]。张驰等^[45]研究也发现,采用挤压方式制备的粗粮自热米饭能够不同程度改善小鼠的血糖血脂

水平,改善小鼠胰岛素抵抗现象,减轻小鼠炎症状态。张鑫等^[39]研究也发现,在糙米中添加 40%以上的藜麦或者 50%以上的青稞时,重组米的 GI 值小于 55。笔者所在团队研究发现,通过挤压重组技术制备的速食糙米粥,能够提高糙米制品的总黄酮含量,提高总抗氧化能力,速食糙米粥的 DPPH 能力是糙米米线的 2 倍多,是糙米米饭的 4 倍多,ABTS+清除力是糙米米饭的 3~4 倍^[46]。

4 问题与展望

干燥型方便米饭相比于普通蒸煮米饭,存在香气少、营养下降、口感差等问题,同时,易溶于水、不耐热的 B 族维生素在加工过程中会进一步损失。方便米饭的大米经过了 α 化处理,在肠道中消化吸收的速度会比普通白米饭更快,不利于血糖的控制。保鲜方便米饭还存在市场预期过大,价格高,受限于传统饮食习惯,无法实现差异化中式风味,以上这些都是限制方便米饭发展的行业难题。

在新的形势下,户外运动、抢险作业、野外作业、远航运输、旅游外出和抢险救灾等对方便米饭的需求量却在快速增长,由于技术和设备的限制,现有的产品并不能满足消费者的需求。采用挤压加工技术生产的方便米饭价格便宜易保存,可实现多原料组合,能够满足不同人群的健康个性化需求,具有很广阔的发展前景。但是,多原料组合对挤压方便米饭品质的影响规律还不清楚,添加外源纤维、蛋白和其他营养素对方便米饭食用品质的影响还有待进一步研究。随着人民生活条件的提高,口感接近普通蒸煮米饭的冷冻方便米饭、无菌方便米饭、短保质期(3~5 d)的方便米饭等湿态方便米饭产业将得到进一步的发展。自动化生产、多原料多参数的柔性化生产装备的开发、口感的提升、保存条件的扩展、营养的搭配都是湿态方便米饭未来的重要发展方向。随着人们健康意识的增强,适合不同人群的健康营养个性化方便米饭将成为占据市场的主要地位,例如杂粮杂豆米饭、糙米米饭、紫米/黑米米饭、多谷物米饭等。

参考文献:

- [1] 王毅, 刘培勇, 刘孝英, 等. 我国方便米饭研究现状与发展前景[J]. 食品工业, 2021, 42(11): 267-272.
WANG Y, LIU P Y, LIU X Y, et al. Research status and development prospect of instant rice in China[J]. The Food Industry, 2021, 42(11): 267-272.
- [2] 罗霜霜, 康建平, 张星灿, 等. 方便米饭品质改良研究进展[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(3): 78-84.
LUO S S, KANG J P, ZHANG X C, et al. Research progress on quality improvement of instant rice[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(3): 78-84.
- [3] LI X E, LI E P, YU S Y, et al. Combined effects of starch fine molecular structures and water content on starch digestibility of cooked white rice[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 215: 192-202.
- [4] LI C, LI E P, GONG B. Main starch molecular structures controlling the textural attributes of cooked instant rice[J]. Food hydrocolloids, 2022, 132: 1-7.
- [5] LI C. Starch fine molecular structures: the basis for designer rice with slower digestibility and desirable texture properties[J]. Carbohydrate polymers, 2023, 299: 120217.
- [6] 王莉, 张新霞, 杨晓娜, 等. 方便米饭原料适应性的因子、聚类分析研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 109-115.
WANG L, ZHANG X X, YANG X N, et al. Factor analysis and cluster analysis of adaptability of raw material for instant rice[J]. Science and technology of food industry, 2015, 36(3): 109-115.
- [7] MENG Q H, ZHANG S W, YAN S, et al. Establishment of comprehensive quality evaluation model of fresh instant rice[J]. Food & Nutrition Research, 2019, 63: 1-13.
- [8] SHARMA S, SEMWAL A D, SRIHARI S P. Impact of physico-chemical variation in different rice cultivars and freezing pretreatment for retaining better rehydration characteristics of instant rice[J]. International Journal of Tropical Agriculture, 2022, 40: 71-84.
- [9] 谭斌, 翟小童. 我国全谷物产业发展背景、现状与未来[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 1-12.
TAN B, ZHAI X T. The background, development status and its prospect of the industry of whole grain in China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 1-12.
- [10] 李齐菲. 富膳食纤维方便米饭对健康成人与 2 型糖尿病患者糖脂代谢及血糖波动性影响的研究[D]. 中国医学科学院北京协和医学院, 2021.
LI Q F. The study of fiber-rice instant rice's effect on glycolipid metabolism and glucose fluctuation of healthy adults and type 2 diabetes patients[D]. Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, 2021.
- [11] 杨榕, 吴建永, 张水军, 等. 加工精度对方便米饭理化性质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(6): 166-172.
YANG R, WU J Y, ZHANG S J, et al. Effect of degree of milling on the physicochemical properties of instant rice[J]. Journal of Chinese institute of food science and technology, 2021, 21(6): 166-172.
- [12] CHUNG S I, RICO C W, SANG C L, et al. Instant white rice with pigmented giant embryonic rice improves glucose metabolism and inhibits oxidative stress in high-fat diet-fed mice[J]. International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 2019, 88(5-6): 234-243.
- [13] 何余堂, 王馨然, 解玉梅, 等. 复配发芽糙米方便米饭工艺优化及老化动力学模型的构建[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2021, 42(2): 97-101.
HE Y T, WANG X R, XIE Y M, et al. Technology optimization of convenient rice compounding with germinated brown rice and construction of retrogradation dynamic model[J]. Journal of Bohai University(Natural Science Edition), 2021, 42(2): 97-101.
- [14] 田晓红, 吴娜娜, 张维清, 等. 浸泡对稻米粉体应用品质的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(1): 184-193.
TIAN X H, WU N N, ZHANG W Q, et al. Effect of soaking process on rice quality in powder application[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(1): 184-193.
- [15] LI X Y, HE Y T, WANG J, et al. Effect of fructooligosaccharides on retrogradation of instant rice[J]. Starch-Stärke, 2022, 74(9-10): 2200061.
- [16] 倪晓蕾. 低聚果糖浸渍处理对米饭品质和抗回生特性改善作用研究[D]. 南京财经大学, 2021.
NI X L. Research on the effects of fructo-oligosaccharides maceration treatment on quality enhancement and anti retrogradation properties of cooked rice[D]. Nanjing University of Finance and Economics, 2021.
- [17] 魏秦. 还原剂水热处理对糙米食用品质的改善及形态学机制[D]. 安徽工程大学, 2023: 17-31.
WEI Q. Improvement and morphological mechanism for eating quality of brown rice by reducing agent combined with hydrothermal treatment[D]. Anhui Polytechnic University, 2023: 17-31.
- [18] PUI Y P, AMANDA X Y S, CHOY E N, et al. Solubilised rice bran ferulic acid has potential to retard cooked rice retrogradation and not impact digestibility[J]. Journal of Functional Foods, 2022, 99: 105330.
- [19] WANG J, HE Y T, LI X Y, et al. Effect of soluble soybean polysaccharides on the short - and long-term retrogradation properties of instant rice[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2023, 103(10): 4850-4857.
- [20] HE M, QIU C, LIAO Z H, et al. Impact of cooking conditions on the properties of rice: combined temperature and cooking time[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 17: 87-94.
- [21] HA M Y, JEONG H Y, LIM S T, et al. The cooking method features controlling eating quality of cooked rice: An explanation from the view of starch structure in leachate and morphological characteristics[J]. Food Research International, 2022, 162: 111980.
- [22] 李柳燕, 詹展, 张威, 等. 碾磨程度和蒸煮方式对优质籼稻米饭品质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(8): 40-44+109.
LI L Y, ZHAN Z, ZHANG W, et al. Effects of milling degree and cooking method on the cooked rice quality of high-quality *Indica* rice[J]. Food & Machinery, 2021, 37(8): 40-44+109.
- [23] 闫紫君, 李雪琴. 制作工艺及冻藏条件对速冻方便米饭品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2023, 44(1): 50-58.
YAN Z J, LI X Q. Effect of processing technology and frozen storage condition on quality of quick-frozen instant rice[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2023, 44(1): 50-58.

- [24] SABAN T, ARTIT Y, WANNAPORN K, et al. A novel application of pulsed electric field as a key process for quick-cooking rice production[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2023, 90: 103494.
- [25] LANG G H, TIMM N D S, NEUTZLING H P, et al. Infrared radiation heating: A novel technique for developing quick-cooking rice[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2022, 154: 112758.
- [26] CHENG Z H, LI J, QIAO D, et al. Microwave reheating enriches resistant starch in cold-chain cooked rice: A view of structural alterations during digestion[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 208: 80-87.
- [27] 亓盛敏, 谢天, 鞠栋, 等. 不同杀菌条件对无菌方便米饭挥发性风味物质的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2019(8): 9-12+17.
- QI S M, XIE T, JU D, et al. Effects of different sterilization conditions on volatile flavor compounds in instant rice[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2019(8): 9-12+17.
- [28] 张晓绘, 李汴生, 阮征, 等. 基于主成分分析法综合评价即食米饭品质特性[J]. *中国调味品*, 2024, 49(1): 1-7.
- ZHANG X H, LI B S, RUAN Z, et al. Comprehensive evaluation of quality characteristics of instant rice based on principal component analysis[J]. *China Condiment*, 2024, 49(1): 1-7.
- [29] WU N N, QIAO C C, TIAN X H, et al. Retrogradation inhibition of rice starch with dietary fiber from extruded and unextruded rice bran[J]. *Food hydrocolloids*, 2021, 113: 106488.
- [30] XU D P, HONG Y, GU Z B, et al. Effect of high pressure steam on the eating quality of cooked rice[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 104: 100-108.
- [31] 范东翠, 徐继成, 张懋, 等. 航空餐用方便米饭的风味改善[J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(3): 83-87.
- FAN D C, XU J C, ZHANG M, et al. Improved flavor of instant rice for airline catering[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2022, 41(3): 83-87.
- [32] 超高压方便米饭: QB/T 5473—2020[S]. 中华人民共和国工业和信息化部, 2020.
- Ultra high pressure instant rice: QB/T 5473—2020[S]. Ministry of industry and information technology of the people's republic of China, 2020.
- [33] 刘振宇, 张晶, 胡锦蓉, 等. 高静压处理对小米淀粉和小米全粉中淀粉颗粒结构和糊化特性的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(11): 122-128.
- LIU Z Y, ZHANG J, HU J R, et al. Effects of high static pressure treated on granular structure and gelatinization properties of millet starch and starch of millet whole powder[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(11): 122-128.
- [34] 张慧娟, 潘见, 谢慧明. 超高压方便梗米饭的再糊化特性研究[J]. *食品安全导刊*, 2022(36): 134-138.
- ZHANG H J, PAN J, XIE H M. Reglatinization characteristics of ultra high pressure convenient Japonica rice[J]. *China Food Safety Magazine*, 2022(36): 134-138.
- [35] 张慧娟, 潘见, 谢慧明. 一种超高压方便梗米饭鉴别方法的建立与验证[J]. *食品工业*, 2023, 44(4): 85-91.
- ZHANG H J, PAN J, XIE H M. Establishment and verification of an identification method on ultra high pressure convenient Japonica rice[J]. *The Food Industry*, 2023, 44(4): 85-91.
- [36] MENG L, ZHANG W, WU Z, et al. Effect of pressure-soaking treatments on texture and retrogradation properties of black rice[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 93: 485-490.
- [37] 焦爱权, 刘卿玥, 杨月月, 等. 挤压重组米食用品质研究进展[J/OL]. *中国粮油学报*, 2024: 1-14.
- JIAO A Q, LIU Q Y, YANG Y Y, et al. Research progress on the edible quality of extruded recombinant rice[J/OL]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2024: 1-14.
- [38] 穆慧玲, 杜鹏, 白霜, 等. 军用方便米饭的模糊数学感官评价研究[J]. *农产品加工*, 2020(16): 13-16.
- MU H L, DU P, BAI S, et al. Study on sensory evaluation of military instant rice by fuzzy mathematics method[J]. *Farm Products Processing*, 2020(16): 13-16.
- [39] 张鑫, 任元元, 邱道富, 等. 不同杂粮添加量对挤压重组米饭品质及体外消化特性的影响[J]. *食品与发酵科技*, 2021, 57(5): 36-41.
- ZHANG X, REN Y Y, QIU D F, et al. Effects of different amount of coarse cereals on quality and in vitro digestibility of extruded reconstituted rice[J]. *Food and Fermentation Sciences & Technology*, 2021, 57(5): 36-41.
- [40] 张裕聪, 杨月月, 周童童, 等. 不同亲水胶体对挤压重组米理化性质、食用品质和消化性的影响[J/OL]. *食品科学*, 2024: 1-18.
- ZHANG Y C, YANG Y Y, ZHOU T T, et al. Effects of different hydrophilic colloid on physicochemical properties, edible quality and digestibility of extruded reconstituted rice[J/OL]. *Food science*, 2024: 1-18.
- [41] LUO S J, ZHOU B B, CHENG L L, et al. Pre-fermentation of rice flour for improving the cooking quality of extruded instant rice[J]. *Food Chemistry*, 2022, 386(30): 132757.
- [42] LIN J K, LI C. Influence of instant rice characteristics and processing conditions on starch digestibility—A review[J]. *Journal of Food Science*, 2023, 88(8): 3143-3154.
- [43] 张克, 王世光, 宋燕燕, 等. 直接挤压改性对重组米结构及营养特性的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(11): 72-78.
- ZHANG K, WANG S G, SONG Y Y, et al. Effect of direct extrusion modification on the structure and nutritional properties of rice analogues[J]. *Food Science*, 2023, 44(11): 72-78.
- [44] 王可心, 王丽爽, 霍金杰, 等. 挤压螺杆转速对碎米重组米中淀粉多层级结构的影响[J/OL]. *食品科学*, 2024: 1-13.
- WANG K X, WANG L S, HUO J J, et al. Effect of extrusion screw speed on the multi-scale structure of rice starch in reconstituted rice[J/OL]. *Food Science*, 2024: 1-13.
- [45] 张弛, 郭静科, 胡雨嘉, 等. 粗粮速食米替代高脂饮食对 2 型糖尿病小鼠糖脂代谢的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(9): 96-103.
- ZHANG C, GUO J K, HU Y J, et al. Effect of the substitution of high-fat diet by instant rice with added coarse grain on glucose and lipid metabolism in mice with type 2 diabetes mellitus[J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 96-103.
- [46] 梁润平, 翟小童, 张文青, 等. 糙米制品抗氧化活性比较研究[J]. *粮油食品科技*, 2018, 26(2): 1-5.
- LIANG R P, ZHAI X T, ZHANG W Q, et al. Comparative study on antioxidant activity of brown rice products[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2018, 26(2): 1-5. 完