

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.03.012

方便米饭品质改良研究进展

罗霜霜¹, 康建平^{1,2}, 张星灿^{1,2}, 杨健¹, 刘建¹

(1. 四川东方主食产业技术研究院, 成都 温江 611130;

2. 四川省食品发酵工业研究设计院, 成都 温江 611130)

摘要: 从方便米饭的大米种类、大米配比、生产工艺、食品添加剂、加热包、激活剂等对方便米饭食用品质和营养结构的影响的研究现状进行了概述, 指出方便米饭存在食味品质差以及在研发和扩宽市场中存在的问题并探讨解决方法, 展望了方便米饭的研发趋势和发展前景。

关键词: 方便米饭; 品质改良; 生产工艺; 抗老化; 研究进展

中图分类号: TS213.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)03-0078-07

Research progress on quality improvement of instant rice

LUO Shuang-shuang¹, KANG Jian-ping^{1,2}, ZHANG Xing-can^{1,2}, YANG Jian¹, LIU Jian¹

(1. Sichuan Oriental Staple Food Industry Technology Research Institute, Chengdu, Sichuan 611130, China;

2. Sichuan Food and Fermentation Industry Research & Design Institute, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: The research advances on the factors affecting the edible quality and nutritional structure of instant rice, including rice types, rice ratio, production process, food additives, heating packs, activators of taste quality and the nutritional structure, were reviewed in this paper. The problems regarding the poor taste and development of instant rice were analyzed and their solutions were suggested. Moreover, the development and trend of instant rice were prospected.

Key words: instant rice; quality improvement; production process; anti-aging; research progress

随着人们生活水平的提高、工作节奏的加快、消费理念的逐步升级, 方便快捷营养的方便米饭受到越来越多消费者的欢迎。一方面大多数中国人习惯以米饭作为主食, 另一方面中国方便主食产品市场容量巨大, 2018 年中国方便面销量达到 403 亿份, 可见方便米饭行业存在着巨大的潜在市场^[1]。方便米饭是一种经工业化生产, 感官品质与新鲜米饭基本一致的主食产品, 可简单加热食用或者直接食用^[2]。方便米饭根据食用方式的不同, 分为脱水米饭和非脱水米饭两种。脱水米

饭是将适合米水比的大米蒸制之后, 再将其水分含量降低至小于 12% 的米制食品^[3]。按照加工工艺, 脱水米饭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, 食用前需复水加热。非脱水米饭 (如罐装米饭、无菌包装米饭) 则无需复水, 加热即可食用^[4]。

目前方便米饭在工业化生产中发黄、老化回生、复水性差、营养品质差的情况仍普遍存在。在储藏过程中淀粉分子形成结晶, 导致粘性下降、分子的柔性减弱、凝胶硬度上升, 造成米饭颗粒变硬, 板结结块的现象, 降低方便米饭的品质^[5]。此外方便米饭自热装置和包装设备成本过高, 在加热过程中还存在加热包发热效率低下、加热不均等问题, 导致米饭口感品质不佳。方便米饭进入中国市场以来, 虽然具有自身优势, 但由于口

收稿日期: 2019-12-24

基金项目: 四川省重点研发项目 (2019YFN0171)

作者简介: 罗霜霜, 1993 年出生, 女, 硕士, 工程师, 研究方向为粮油加工技术。

通讯作者: 康建平, 1965 年出生, 男, 硕士, 教授级高工, 研究方向为食品与发酵工业科研及工程设计。

感和价格的限制使其在方便即食食品中的竞争力仍然不足。本文主要综述方便米饭品质改良的研究现状,并针对研发过程中存在的问题探讨解决的方法和途径。

1 大米原料对方便米饭的品质影响

1.1 大米种类对方便米饭的品质影响

大米种类是影响方便米饭品质的直接因素。不同大米中蛋白质、脂肪、淀粉、水分含量等营养成分不同,致使米饭的蒸煮品质和食味品质也有所不同。大米中蛋白质含量决定了大米硬度,蛋白质含量越高,大米的透明度和硬度越高^[6]。一般来说,水分含量低的大米比水分高的大米硬度更高^[7]。大米中不同的支链淀粉和直链淀粉比值与大米食用品质密切相关^[8],两者比例高,内部吸水较多,体积扩张较大,则米饭软、黏性高、弹性差,两者比例低则表现相反^[9]。我国的稻米主要分为籼米、粳米和糯米三类^[10]。由于支链淀粉、直链淀粉含量不同,造成三类稻米的黏性有所不同,一般情况下,黏性大小糯米>粳米>籼米^[11]。沈阳农业大学选育软米品系,其米质介于糯米和一般大米之间。软米相对于一般稻米,蒸煮之后自然清香,香甜软韧,口感醇厚,冷后变硬、回生程度小^[12]。李兴华等利用 11 种软米和一种粳米“五常米”研究方便米饭品质,发现大米中直链淀粉含量对蒸煮特性和复水性质的影响比较显著,原料米的蒸煮特性对方便米饭品质也有较大影响,软米较适于制作方便米饭^[12]。方便米饭中支链淀粉/直链淀粉比例越高,即支链淀粉含量越高,直链淀粉含量越低,老化发生的几率就越低^[13]。Chen 等通过快速粘度分析仪研究了支链淀粉对大米淀粉回生的影响,结果显示加入支链淀粉能显著降低大米淀粉结晶度,延缓回生^[14]。夏青等综合比较了 4 种籼米和 3 种粳米中淀粉含量及对应米饭的质构、感官特性,发现籼米徽两优 6 号支链淀粉/直链淀粉比值最高,老化几率最低,但作者综合考虑大米的淀粉比例、质构特性和感官评价,认为粳米普康 5 号大米更适宜制作方便米饭^[15]。

1.2 大米配比对方便米饭的品质影响

不同配比的大米原料对方便米饭的营养成分产生重要影响。市面在售的方便米饭种类多样,包括精米、糙米、谷物米、有机米和调味米等。大多消费者喜欢食用精米,但精米加工程度高,去除了表面的谷皮层和糊粉层,导致大米的营养成分大量损失;糙米的营养含量和生物活性相对精米更高,但质地坚硬、口感不佳。近年来,已有研究在方便米饭中添加不同种类的大米,既能增加产品营养价值,又能保证米饭口感。据报道,精米-糙米复合米比大米具有更高的营养价值和抗氧化能力,食用后还可降低患高血脂和糖尿病的风险^[16]。部分研究人员尝试将糙米和精米混合以改善方便米饭的口感和营养价值。例如,韩国市场上在售的由含量 92%精米和 8%糙米组合而成的复合方便米饭深受消费者喜爱。复合米可增加方便米饭的营养价值,近几年已有人对此进行了深入研究,Chung 等在普通粳米中加入一种具有花青素抗氧化能力、降血脂的新型大米品种 Keunnunjami,发现该复合米营养丰富,易饱腹,抗性淀粉含量高,有利于现代生活人群调节餐后血糖,适合肥胖人群、“三高”人群和糖尿病人群降脂减重^[17]。

2 生产工艺对方便米饭的品质影响

2.1 预处理

方便米饭蒸煮前一般会进行预处理,浸泡温度和时间都会影响方便米饭的品质。一方面大米浸泡充足,受热时大米内部淀粉比外层优先糊化,不会堵塞毛细管部分,能促进内部吸水,米饭不容易夹生。另一方面大米中含有植酸,能与微量元素结合成不溶性化合物,降低它们的消化吸收率。大米在浸泡时,能增强内部植酸酶的活性,分解大米中的大多数植酸,促进蛋白质和矿物质的吸收。郑轶恒等发现米水比为 1:1.35,浸泡时间 30 min,浸泡温度 30 °C,方便米饭的口感和滋味的品质较高^[18]。

2.2 蒸煮方式

蒸煮的过程实质是一个水热传递的过程,使

米粒在加热过程中快速吸水糊化。米饭的食用品质与蒸煮条件存在密切关系,蒸煮时蒸煮米水比、蒸煮温度和时间等对米饭的硬度、色泽、咀嚼性、弹性、风味、组织形态等感官品质,复水性和淀粉消化性等大米特性有显著影响。

2.2.1 质构

方便米饭蒸煮温度和蒸煮时间影响质地和色泽变化。吴伟等研究发现当晚籼糙米星二号的米水比为 1 : 1.3、蒸煮时间为 30 min 时,方便米饭的硬度和咀嚼性适中,感官评分最高^[19]。Yadav 研究发现在蒸煮时直链淀粉含量高的大米会减少内部水分吸收量,延长大米蒸煮时间,米饭弹性低,口感较低^[20]。干燥温度较高会导致方便米饭的硬度和咀嚼性增加^[21]。

2.2.2 外观

米饭蒸煮温度可适当高于米饭淀粉糊化所需的温度,但温度过高会影响米饭的外观,导致胚乳孔隙变大,减少膨胀度^[22]。Leelayuthsoontorn 运用 80、100、120 和 140 °C 的蒸煮温度来使茉莉香米淀粉糊化,研究发现蒸煮温度 140 °C 会造成米饭不均匀,不完整,性状不规整^[23]。

2.2.3 复水性

在一定范围内,糊化度随着蒸煮时间的增加而大幅增大,复水率出现不同程度增加趋势。邹秀容等以粳米、高粱米为原料制成杂粮方便米饭研究蒸煮时间对复配方便米饭品质的影响,得出当料水比为 1 : 1.6、蒸煮时间为 25 min 时,方便米饭的品质最好^[24]。

2.2.4 淀粉消化性

Batista 等研究用 72、80 和 88 °C 不同的蒸煮温度对两种大米品种 Puitá Inta CL 和 INOV CL 方便米饭品质的影响,当蒸煮温度越高, Puitá Inta CL 的蒸煮时间越低,米粒变形越剧烈,淀粉消化率越低,凝胶化能力越强^[25]。Eliasson 等研究发现不同的蒸煮时间和温度处理可以改变淀粉的物理和化学性质,湿热处理能增强大米中抗性淀粉的含量,降低支链淀粉含量^[26]。Chelliah 等研究发现在 155~165 °C 的范围内对大米进行 65~75 s 的热处理可增加抗性淀粉含量^[27]。Jui-Cheng 等研

究发现在 86 °C 的热水浴中制备方便米饭可降低淀粉消化率,提高食用品质^[28]。

2.3 干燥方式

干燥是脱水方便米饭制备中关键的步骤,在进行初步蒸煮之后,为了增加大米的空隙,提高复水率,通常用冷水洗涤大米并进行脱水干燥。米饭在干燥之前为了提高方便米饭口感会对样品进行低温放置处理。Rewthong 等在干燥之前将米饭置于不同的低温条件下(-20 °C 和 4 °C)进行冷却处理,发现在-20 °C 低温下放置的样品血糖生成指数更低,复水后米饭柔软性和黏弹性变高,大大增加米饭的食用品质^[29]。

2.3.1 热风干燥

当前生产脱水产品的干燥方法主要包括热风干燥、微波干燥、真空冷冻干燥三种,其中热风干燥是方便米饭最常用的干燥方式。吴大伟等研究认为采用流化床干燥方式,耗能低且干燥速度快^[30]。段小明等研究在方便米饭热风干燥前进行超高压处理对其品质的影响,结果显示随着压力升高方便米饭的硬度、凝聚性、弹性、回复性、复水率均下降,表明超高压不宜作为热风干燥方便米饭原料的预处理^[31]。但目前热风干燥存在干燥时间长、能耗高等缺点^[32]。

2.3.2 微波干燥

与热风干燥相比,微波干燥能确保热量在样品中快速有效分配,可减少能耗、提高生产效率、安全洁净,产品品质更好^[33]。所以,近年来微波干燥的使用也变得越来越普遍。YU 等研究发现方便米饭品质最佳的干燥条件是热风干燥温度 90 °C 或微波干燥功率为 499.8 W,但微波干燥对方便米饭的回复性和品质的影响更强烈,且微波干燥和热风干燥均显著影响大米复水后的光泽度、硬度、粘度和弹性^[34]。

2.3.3 真空冷冻干燥

真空冷冻干燥既能解决热风干燥的方便米饭存在的体积缩小、质地变硬、热敏性物质变性失活等问题,又能解决微波干燥的介电性和热物理性导致的样品加热不均匀的问题,能最大程度地减少大米的营养损耗,大米的外观和风味最好,

复水进程快, 不易老化回生, 对方便米饭品质的提高优势最为明显^[35]。郑志等通过研究不同干燥方式对方便米饭复水性和感官品质的影响, 结论为真空冷冻干燥复水时间最低, 复水率最高, 其最佳干燥条件为调节板层控制温度 60 °C 并干燥 15 h^[36]。张建朱等研究发现真空冷冻干燥制备的方便米饭具有最佳的复水微观结构, 感官品质最佳, 复水特性最好^[37]。

2.3.4 组合干燥

由于单一的干燥方式难以满足消费者对方便米饭品质的要求, 越来越多的研究者通过探索组合干燥方法, 克服单一干燥的缺点。微波-热风组合干燥法中, 微波能使方便米饭的水分子快速从内部蒸发, 再通过对流热气流将水分子除去, 与常规的干燥方法相比干燥时间减少 80%~90%, 达到了快速干燥产品的目的^[36]。Jiao 等研究比较单一干燥方式和组合干燥方式对方便米饭的影响, 发现当微波功率为 300 W 和热风干燥温度为 80 °C 时方便米饭综合品质最佳, 相比单独使用热风干燥或微波干燥, 微波-热风组合干燥显著减少了样品的干燥时间, 提高了干燥效率, 增加了复水率^[38]。张建朱等建立了方便米饭的微波热风干燥工艺, 即使用 450 W (8 min), 80 °C (60 min) 微波热风组合干燥方法, 大大降低干燥时间, 提高方便米饭综合品质^[37]。吴伟等发现运用 560 W, 60 °C 微波热风组合干燥复合形式方便米饭的干燥速度最快、复水性最大、感官品质更好^[19]。目前组合干燥法中微波-热风组合干燥法研究较多, 与真空冷冻干燥组合干燥的方式并不多见, 主要原因在于真空冷冻干燥需要真空和低温条件, 配置一套真空系统和低温系统的投资费用和运转费用都较高, 导致成本偏高。

2.4 贮藏温度和时间

方便米饭冷却干燥后, 其贮藏温度和时间会对食味品质产生一定影响。方便米饭品质随贮藏温度和时间改变的变化, 低温冻藏能更好地减缓细菌的生长, 保持速冻方便米饭的品质和延长货架期^[39]。龙杰等将复配方方便米饭置于不同的温度 (4、20 和 30 °C) 贮藏 50 d, 发现 4 °C 贮藏条

件下方便米饭硬度和咀嚼性更大、回生焓更高、粘性更小, 大肠菌群的数量最低。在一定的贮藏时间内, 方便米饭的硬度及咀嚼性均随着贮藏时间的增加而上升, 低温贮藏下方便米饭的品质均高于高温贮藏下的样品^[40]。Yu 等研究不同冷却速率对米饭的淀粉回生和质地特性的影响, 得出通过快速冷却大米可以增强米饭口感、提高米饭品质^[41]。

3 食品添加剂对方便米饭的品质影响。

方便米饭在贮藏期间会出现老化现象, 其分子间的氢键重新连接排列结晶, 导致方便米饭硬度增加, 口感变差, 严重影响方便米饭品质^[42]。目前国内外学者主要运用食品添加剂调节方便米饭的老化状况, 提高食用品质, 常见的一些抗老化添加剂包括食用多糖、乳化剂、食用胶、酶制剂等^[43]。大豆多糖以胶体状态存在于水溶液中, 增加方便米饭中淀粉分子的水分和溶解度, 防止淀粉分子失水老化^[44]。食用多糖中海藻糖优良的持水性能延缓回生进程^[45]。夏青等研究得出在米饭的浸泡过程中添加 0.8% 海藻糖并在 4 °C 储藏 10 d, 可明显减缓米饭老化现象^[15]。甜菜碱的抗老化效果等同于海藻糖, 能降低籼米糊化和回生焓值及回生率^[46]。王小映等研究得出 0.15% 甜菜碱能提高米饭蒸煮过程的吸水量并保持米饭营养成分^[47]。乳化剂能与淀粉形成稳定复合物, 不能重新结晶而有效抑制老化^[48]。常见的乳化剂包括单甘酯、蔗糖酯等^[49]。张建朱等发现在方便米饭中添加 0.4% 蔗糖脂肪酸酯, 可显著提高 α 化方便米饭的品质^[37]。食用胶具有较强的吸水性^[50], 酶制剂可以改变淀粉分子链长, 一定程度上延缓米饭老化现象, 提高产品品质^[51]。此外, 在方便米饭中加入棕榈油, 一方面可以改善米饭外观品质、提高风味, 另一方面与米饭中的直链淀粉分子结合形成的直链淀粉-脂质复合物水解耐受性强^[52-54], 更容易结晶, 抑制淀粉颗粒糊化、膨胀和溶解, 降低回生焓值, 抑制米饭老化, 影响米饭的口感和保质期^[55-59]。

4 加热对方便米饭的品质影响

发热包产热效果也是影响米饭食用品质的重

要因素之一,脱水米饭需要通过开水浸泡数分钟食用,非脱水米饭则需要发热包结合水产生热量对米饭进行加热才可食用。目前市售应用最为广泛的发热包为CaO-H₂O体系,在无纺布制成的袋中装有合适配比的生石灰、铝粉、碳酸钠等,使用水进行激活,水容量直接影响到发热包发热持续时间和热量^[60]。目前发热包的主要材料CaO容易受潮,导致发热效率低下,热量损失严重,加热不均匀,严重影响米饭的食用品质,反应产物Ca(OH)₂会造成环境污染。近年来,对发热包的研究主要集中在发热材料组分的比例和发热剂材料的种类上。孙庆慧等运用Al-KMnO₄-MnO₂体系作为发热材料,无氢气释放,环保安全^[61]。该体系利用KMnO₄对Al的氧化还原反应释放化学能,产生的MnO₂起催化作用能提高放热速率,并延长放热反应时间,使放热量趋于最大。

5 方便米饭营养结构的影响

不同的米饭加工工艺和大米种类对营养结构影响较大。大米中在一定范围内脂肪含量越高,米饭的光泽越好,颜色越均匀,延伸性越强和香气越浓郁^[62-63]。张瑞霞等研究表明不同的蒸煮工艺对米饭的粗脂肪含量、游离脂肪酸含量影响显著^[64]。Natcha发现在常规蒸煮下蛋白质和脂肪含量显著降低^[65]。发芽糙米的营养结构比一般糙米更强^[66],糙米发芽后还原糖含量、总蛋白质含量、可溶性蛋白含量及γ-氨基丁酸含量均有所增加^[67]。米饭加工工艺繁多会导致营养成分大量损失,工艺处理不当也可能会导致降低营养价值。方便米饭生产过程中应注重调整和强化营养结构,在原料上可选择营养丰富的大米品种或在米饭中加入营养元素强化剂。

6 展望

方便米饭进入中国市场以来,相较于其他方便即食产品,更加绿色健康,能满足我国大部分消费者的饮食习惯和营养需求,为我国方便食品行业注入活力。但目前方便米饭对于消费者仍为一个较为新颖的即食产品,市场规模的扩大受到

限制,最主要的原因在于产品的食味品质与新鲜米饭依然有较大差距,方便米饭配菜营养成分流失严重,不利于消费者长期食用;生产过程中要求环境无菌化无形中增加了生产成本,相较于方便面、方便粉丝等方便食品,米饭的包装设备和加热装置生产成本更高,米饭质量体积过重过大且加热装置具有潜在危险性;此外,国内市场对米饭产品的宣传不到位导致消费者对米饭的了解不足,造成方便米饭市场发展滞缓。

要扩大方便米饭市场规模,最重要的一点是推动方便米饭食用品质上新台阶。在改善食味品质方面,需要优化米饭加工工艺,优化浸泡、蒸煮、灭菌等工序的时间和压力,提高方便米饭的食用品质。研究方便米饭复合品质改良剂,选择安全、有效、适量的食品添加剂,或对不同的品质改良剂(乳化剂、亲水胶体、淀粉酶、多酚类、多糖类等)进行组合复配,改善米饭老化回生状况,提高口感风味。充分利用现代生物技术,添加合适的酶配比进行预处理,确定处理的最佳工艺参数,延缓米饭老化情况;在营养强化方面,增加方便米饭的种类,添加营养素强化大米和配菜的营养结构,引进国外先进现代加工技术和设备,防止米饭和配菜的营养价值和风味流失;在降低成本方面,改善生产工艺和设备,提高自动化和机械化水平,减少人力成本,研究绿色高效的加热包成分,提高加热包加热效果,减少热量损耗,提高热量利用率,产品包装做到轻量化;在提高知名度方面,要加大方便米饭宣传力度,提高消费者对于方便米饭的了解程度,积极进行技术革新,改善口感,进行产品、品类和渠道的创新。

方便米饭虽然具有一定的营养方便性,但是在追求方便食品多样化的今天,单纯的米饭并不能满足消费者由“吃饱”转向“吃好”的需求。中国市场也在积极研发营养健康型的方便米饭,不断开发稻米的深度利用,拓宽方便米饭的市场空间。综合方便米饭的发展现状,风味更佳、营养价值更高和营养结构更为合理的方便米饭是未

来方便即食产品的研究趋势, 也符合未来主食营养健康的发展要求。

参考文献:

- [1] 赵兵辉. 康师傅业绩回暖: 一季度卖了 150 亿[J]. 商业文化, 2018, No. 398(17): 80-82.
- [2] 陶海腾, 寇兴凯, 李倩, 等. 我国方便米饭的生产现状和发展前景[J]. 中国食物与营养, 2016(22): 35.
- [3] SCHMIDT R X C, ESPINOZA O N, AZAPAGIC A. Life cycle environmental impacts of convenience food: Comparison of ready and home-made meals[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 73: 294-309.
- [4] 王佳. 不同稻米加工成脱水方便米饭的适应性及工艺优化[D]. 中南林业科技大学, 2012.
- [5] 卜宇. 淀粉老化调控对燕麦全粉挤压面条蒸煮品质的影响[D]. 陕西师范大学, 2018.
- [6] 高杨, 范必威. 大米品质的评价及其主要影响因素[J]. 广东微量元素科学, 2005(12): 16-20.
- [7] 罗达文, 刘成梅, 李佩, 等. 热稳定化过程中水分含量对大米物化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2015(13): 128-132.
- [8] 夏凡, 董月, 朱蕾, 等. 大米理化性质与其食用品质相关性研究[J]. 粮食科技与经济, 2018, 226(5): 105-112.
- [9] 赵冰, 陈佩, 庞宇辰, 等. 不同直链淀粉含量大米淀粉性质的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 72-75.
- [10] 周丽君. 大米淀粉转化生产葡萄糖的研究[D]. 中南林业科技大学, 2011.
- [11] 杜双奎, 杨红丹, 于修焯, 等. 商品粳米、籼米、糯米品质特性和糊化特性比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 78-81.
- [12] 李新华, 洪玲, 吕文彦. 不同软米品系对方便米饭品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(4): 145-148.
- [13] 陈艺焯, 张颖. 方便米饭抗老化发展现状[J]. 北京农业, 2013(18): 119.
- [14] CHEN L, REN F, ZHANG Z, et al. Effect of pullulan on the short-term and long-term retrogradation of rice starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 115: 415-421.
- [15] 夏青, 曹磊, 宋玉, 等. 不同抗老化剂对方便米饭回生及品质影响的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(7): 28-31.
- [16] LING W H, CHENG Q X, MA J, et al. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits[J]. The Journal of Nutrition, 2001, 131: 1421-1426.
- [17] CHUNG S I, RICO C W, LEE S C, et al. Instant rice made from white and pigmented giant embryonic rice reduces lipid levels and body weight in high fat diet-fed mice[J]. Obesity Research & Clinical Practice, 2016: S1871403X16000077.
- [18] 郑轶恒. 方便米饭的生产工艺研究与设计[D]. 华南理工大学, 2012.
- [19] 吴伟, 吴晓娟, 从竞远, 等. 发芽糙米重组米制备方便米饭的研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 1-7.
- [20] YADAV B K, JINDAL V K. Dimensional changes in milled rice (*Oryza Sativa L.*) kernel during cooking in relation to its physicochemical properties by image analysis[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81: 710-720.
- [21] WARAPORN P, PRISANA S. Optimization of instant jasmine rice process and its physicochemical properties[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(1).
- [22] 叶敏, 许永亮, 李洁, 等. 蒸煮方式对米饭品质的影响[J]. 食品工业, 2007(4): 32-34.
- [23] LEELAYUTHSOONTORN P, THIPAYARATET A. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions[J]. Food Chemistry, 2006, 96: 606-613.
- [24] 邹秀容, 朱建华, 吴庆量. 蒸煮工艺处理对高粱复配方便米饭的影响[J]. 食品科技, 2017(8).
- [25] BATISTA C S, DOS SANTOS J P, DITTGEN C L, et al. Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice[J]. Food Chem. 2019, 286: 98-105.
- [26] ELIASSON A C. STARCH: Physicochemical and functional aspects[J]. In Carbohydrates in Food, 3rd ed. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2017: 501-600.
- [27] CHELLIAH R, CHANDRASHEKAR S, SARAVANAKUMAR K, et al. Effect of rice processing towards lower rapidly available glucose (RAG) favors Idli, a south indian fermented food suitable for diabetic patients[J]. Nutrients, 2019, 11: 1497.
- [28] JUI-CHENG R, CHEN H J, LU S, et al. Effects of cooking, retrogradation and drying on starch digestibility in instant rice making[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 65: 154-161.
- [29] REWTHONG O, SOPONRONNARIT S, TAECHAPAIROJ C, et al. Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103(3): 258-264.
- [30] 吴大伟, 张春芝, 胡亚光. 方便米饭干燥工艺的研究[J]. 食品工业, 2012(7): 58-60.
- [31] 段小明, 张蓓, 冯叙桥, 等. 大米超高压处理对脱水方便米饭品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(11): 1-6.
- [32] 杨颖. 酶法浸泡及微波热风干燥对方便米饭复水时间影响的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 498-500.
- [33] 焦爱权, 庄海宁, 金征宇, 等. 微波热风干燥挤压方便米饭的脱水和复水数学模型的建立[J]. 食品与生物技术学报, 2009(2): 18-23.
- [34] YU L, STOKES J R, FITZGERALD M, et al. Review of the effects of different processing technologies on cooked and convenience rice quality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59: 124-138.
- [35] 胡俊, 蒲彪, 何锦风. 真空冷冻干燥过程中节能措施探讨[J]. 食品与机械, 2007(2): 126-129.
- [36] 郑志, 张建朱, 王丽娟, 等. 不同干燥方式制备方便米饭的品

- 质比较[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 63-66.
- [37] 张建朱. 方便米饭的干燥工艺及贮藏过程中老化特性研究[D]. 合肥工业大学, 2012.
- [38] JIAO A, XU X, JIN Z. Modelling of dehydration-rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying [J]. Food and Bioproducts Processing, 2014, 92(3): 259-265.
- [39] 黄梅花. 速冻调理米饭套餐配菜品质控制技术的研究[D]. 浙江大学, 2014.
- [40] 龙杰, 尚微微, 吴凤凤, 等. 发芽糙米复配方便米饭贮藏期质构变化、回生特性及微生物学研究[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(1): 49-56.
- [41] YU S, MA Y, LIU T, et al. Impact of cooling rates on the staling behavior of cooked rice during storage[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(3): 416-420.
- [42] 徐秀义. 复配发芽糙米方便米饭生产工艺优化及其货架期预测模型构建[D]. 渤海大学, 2019.
- [43] 李艳平. 食品添加剂用于方便米饭抗老化的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 219-222.
- [44] 肖东, 周文化, 邓航, 等. 3 种食品添加剂对鲜湿面抗老化作用研究[J]. 食品与机械, 2015, 170(6): 152-155+199.
- [45] 马雪连. 海藻糖在食品加工中的应用[J]. 福建农业, 2014(8): 163-163.
- [46] 王晓映, 林亲录, 吴跃, 等. 甜菜碱及其盐酸盐对籼米蒸煮及 α -方便米饭的影响[J]. 食品科技, 2013(4): 160-165+171.
- [47] 王晓映. 甜菜碱及其盐酸盐抑制籼米回生及其在 α -籼米方便米饭中的应用[D]. 中南林业科技大学, 2013.
- [48] 赵萌, 聂刘畅, 沈群, 等. 乳化剂及保藏温度对小米馒头贮藏过程老化的影响[J]. 中国粮油学报, 2017(6): 52-56.
- [49] 滕月斐, 丛琛, 杨磊, 等. 乳化剂影响新鲜及冷冻面团面包品质的研究[J]. 食品科技, 2011(7): 139-143+151.
- [50] 谢宏, 王爱丽, 朱振, 等. 食用胶对稻米食用品质的影响[J]. 食品工业, 2010(3): 50-52.
- [51] 杨航, 张晨, 李心悦, 等. 添加剂对鲜湿方便米饭品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 185-189.
- [52] GELDERS G G, VANDERSTUKKEN T C, GOESAERT H, et al. Amylose-lipid complexation: a new fractionation method[J]. Carbohydr Polym, 2004, 56(4): 447-458.
- [53] 姜培彦. 淀粉-脂质复合物形成及其在食品中作用[J]. 粮食与油脂, 2007 (6): 7-9.
- [54] 缪铭, 江波, 张涛. 食品典型组分相互作用的研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 625-629
- [55] PUTSEYS J A, DERDE L J, LAMBERTS L, et al. Production of tailor made short chain amylose-lipid complexes using varying reaction conditions[J]. Carbohydr Polym, 2009, 78(4): 854-861.
- [56] ZHOU Z, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties[J]. Food Res Int, 2007, 40(2): 209-214.
- [57] NAVARRO A S, MARTINO M N, ZARITZKY N E. Viscoelastic properties of frozen starch-triglycerides systems[J]. J Food Eng, 1997, 34(4): 411-427.
- [58] HIBI Y, KITAMURA S, KUGE T. Effect of lipids on the retrogradation of cooked rice[J]. Cereal Chem, 1990, 67(1): 7-10.
- [59] 吕欢欢. 常温方便米饭加工工艺研究及品质评价[D]. 江南大学, 2013.
- [60] 李阳. 自加热食品加热过程中温度分布及传热优化研究[D]. 天津科技大学, 2016.
- [61] 孙庆慧. 智能化食品包装设计研究[D]. 湖南工业大学, 2016.
- [62] 刘宜柏, 黄金英. 稻米食味品质的相关性研究[J]. 江西农业大学学报, 1989, 11(4): 1-5.
- [63] 伍时照, 黄超武. 水稻品种品质性状的研究[J]. 中国农业科学, 1985, 8(5): 1-7.
- [64] 张瑞霞, 熊善柏, 赵思明, 等. 蒸煮工艺对米饭脂质及感官品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2008(5): 11-15.
- [65] NATCHA D. Effect of cooking methods on physicochemical properties of brown rice[C]. Asia-Pacific Chemical, 2011: 18-21.
- [66] 赵旭, 高树成, 李佳. 加工方式对发芽糙米理化性质影响研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(4): 18-20.
- [67] 张欣, 施利利, 丁得亮, 等. 糙米与发芽糙米主要品质性状的比较研究[J]. 食品科技, 2016(6): 183-186. 