

基于不同米粉复配对延缓烙馍老化效果的比较

常宪辉^{1,2*}, 薛聪聪¹, 陈丹¹, 曹杨^{1,2}, 王月慧³, 吕庆云^{1,2}, 丁文平^{1,2}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北武汉 430023)(2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室, 湖北武汉 430023)(3. 武汉轻工大学硒科学与工程现代产业学院, 湖北武汉 430023)

摘要: 烙馍是北方人经常食用的面制食品, 但其易老化, 口感会变差且不易保存, 传统延缓老化方法是添加改良剂, 通过谷物复配改良的方法较少。因此, 该实验研究米粉与中筋小麦粉复配, 按不同种类、不同比例调节淀粉直支比对烙馍品质及老化特性的影响, 考察烙馍的色泽、质构特征、感官特性、微观结构, 并对烙馍在 4 °C, 7 d 储藏实验中的老化焓、结晶度、水分迁移的变化进行探究。结果表明: 通过对比研究发现添加米粉可以有效改良烙馍老化现象, 糯米粉效果好于普通米粉, 烙馍白度值从 22.35 增至 25.63, 剪切力显著下降 ($P<0.05$), 在 4 °C, 7 d 储藏实验中发现, 添加糯米粉的烙馍老化焓变化不显著, 长期老化后结晶度由 14.42% 增至 17.66%, 因为糯米粉支链淀粉含量高, 水分迁移速度缓慢, 可以对烙馍老化起到延缓作用, 从实验结果来看, 粘糯米粉较粳糯米粉效果略优。综上所述添加量为 20% (m/m) 的糯米粉, 剪切力显著下降 ($P<0.05$), 可以有效延缓烙馍老化。该研究将为纯谷物配比的烙馍延缓老化提供理论依据。

关键词: 糯米粉; 烙馍; 改良剂; 老化; 谷物复配

文章编号: 1673-9078(2024)11-219-228

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.0213

Comparison of the Effects of Different Rice Flour Compounding Techniques on Delaying the Aging of Pancakes

CHANG Xianhui^{1,2*}, XUE Congcong¹, CHEN Dan¹, CAO Yang^{1,2},

WANG Yuehui³, LYU Qingyun^{1,2}, DING Wenping^{1,2}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)(2. Key Laboratory of the Ministry of Education for the Fine and Deep Processing of Bulk Grain and Oil, Wuhan 430023, China)(3. College of Selenium Science and Engineering Modern Industry Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: Pancakes, a flour-based food commonly consumed in northern regions, are susceptible to aging over time, resulting in a loss of texture and shelf life. The addition of improvers is involved in the traditional method of slowing down aging, but there have been fewer approaches based on grain modification. Consequently, the combination of rice flour and medium-gluten wheat flour was studied, with starch ratios being adjusted to assess the impact on the quality and aging characteristics of pancakes. The color, texture features, sensory properties, and microscopic structure were examined, while changes in enthalpy, crystallinity, and moisture migration during storage at 4 °C for 7 d were explored. The findings indicated

引文格式:

常宪辉,薛聪聪,陈丹,等.基于不同米粉复配对延缓烙馍老化效果的比较[J].现代食品科技,2024,40(11):219-228.

CHANG Xianhui, XUE Congcong, CHEN Dan, et al. Comparison of the effects of different rice flour compounding techniques on delaying the aging of pancakes [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(11): 219-228.

收稿日期: 2024-02-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC2001804-4); 湖北省重点研发计划项目(2022BAD128); 湖北省中央引导地方科技发展专项(2022BGE247)

作者简介: 常宪辉(1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 谷物资源开发利用, E-mail: cxh5286@whpu.edu.cn

that the aging of pancakes could be effectively mitigated by the addition of rice flour, particularly glutinous rice flour, which outperformed regular rice flour. The whiteness value of the pancakes was observed to increase from 22.35 to 25.63, and a significant decrease in shear force was noted ($P<0.05$). The aging enthalpy change did not change significantly during storage at 4 °C for 7 d when glutinous rice flour was added. The crystallinity increased from 14.42% to 17.66% after long-term aging due to the high content of branched starch in glutinous rice flour, resulted in slower moisture migration. Experimentally, Indica glutinous rice flour was observed to slightly outperform Japonica glutinous rice flour. In summary, the addition of 20% (m/m) glutinous rice flour was found to significantly reduce shear force ($P<0.05$) and effectively delay pancake aging. This study provides a theoretical foundation for delaying the aging of pancakes by adjusting the pure grain ratio.

Key words: glutinous rice flour; pancakes; modifier; aging; cereal compound

烙馍是一种由未发酵的面粉（死面）和成柔软的面团，用擀面杖擀成厚度约 1 mm，直径约 30 cm 左右的圆形面饼，可卷菜而食。由于不同地方饮食习惯的不同，衍生出了如春饼、中式薄饼、山东大饼、煎饼、烫面蒸饼、千层饼等各式各样的不同制法和不同叫法的烙馍。烙馍是北方人民喜爱的面制品，如今各色烙馍已商品化，市场均有售卖，只需加热即可食用，本研究中的烙馍做法与河南烙馍相似^[1,2]。由于烙馍是米面制品，在生产加工、储藏运输的过程中出现先老化的现象，淀粉老化会导致米面制品硬度变大、口感变差并伴随着水分迁移和质构改变，导致食用品质下降^[3]。因此延缓淀粉的老化是延长产品货架期的重要手段之一。

目前主要通过原料的选择、原料的处理、添加食品添加剂等^[4]来延缓产品的老化。淀粉的老化与淀粉直支比有关，支链淀粉含量高老化速度慢。从原料选择上来看，选择支链淀粉含量高的品种，对延缓某些米面制品老化是有效的。通过研磨、挤压膨化^[5]、微生物发酵^[6]等原料处理方法达到老化效果。在加工过程中应用最多的是添加改良剂如蔗糖脂肪酸酯、单甘脂等乳化剂，黄原胶、卡拉胶、海藻酸钠^[7]等亲水胶体以及 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、G4 淀粉酶、魔芋葡甘聚糖^[8]等来延缓食品的老化，改善食品品质。如李静^[9]在一项研究中发现黄原胶与大米直链淀粉通过氢键结合，对其老化有显著的延缓作用；张玉荣等^[10]探究了复配改良剂（黄原胶、单甘脂、 β -淀粉酶）对糯米粉淀粉制品老化特性的影响，得到了复配改良剂的最佳配方，通过实验验证了该复合改良剂可有效控制水分迁移，延缓淀粉重结晶；Maria 等^[11]探究了添加羟丙基甲基纤维素（HPMC）对面包品质及老化的影响，结果表明 HPMC 的存在降低了面包的老化速率，也延缓了支链淀粉的回生；Sharam 等^[12]探究了添加 β -葡聚糖

和大麦粉对 Chapatti 的保鲜效果，结果表明大麦粉和 β -葡聚糖的加入，显著影响了 Chapatti 的烘焙特性，且都有助于延缓薄饼老化；但食品添加剂的食用不仅增加了企业生产成本，而且过量添加或不按适用范围添加还会出现食品安全问题，因此考虑使用天然、绿色的谷物与小麦粉复配生成一种纯谷物改良剂来延缓产品老化，提高面制品的品质特性，延长货架期。

本实验以主要研究不同种类米粉与中筋粉进行谷物配伍的纯谷物改良剂对烙馍品质和老化的影响，以期对指导纯谷物改良剂对米面制品品质改良和延缓老化提供理论支持，丰富纯谷物改良剂在传统面制品中的应用，具有一定的经济价值和社会意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

蓝匙中筋小麦粉（蛋白质含量 11.21%、湿面筋含量 27.90%， m/m ），益海嘉里有限公司；粳、籼糯米粉，黄国粮业有限公司；五桥牌粳米粉，宁波市江北五桥粮油有限责任公司；金龙鱼调和油，益海嘉里有限公司；食盐，当地超市购买。

1.2 主要仪器设备

TMS-Pro 质构仪，北京盈盛恒泰科技公司；FKR-200 压面机，永康市富康电器有限公司；JCN30S 多功能煎烤机（电饼铛），广东美的生活电器制造有限公司；DB-CSJEF720-H 多功能厨师机，佛山市修远网络科技有限公司；LGJ-18 真空冷冻干燥机，北京松源华兴科技发展有限公司；CR-10Plus 型色差仪，日本柯尼达美能达公司；DSC-Q2000 型差示扫描量热仪（DSC），美国 TA 公司；NMI20-040V-I 低场核磁共振（LF-NMR），苏州纽迈分析仪

器股份有限公司; TESCANA MIRA 扫描电子显微镜, 捷克 TESCANA 公司; D8-Advance 型 X-射线衍射仪, 德国 Bruker 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 烙馍的制作

烙馍的制作参照张东京^[13]中式薄饼的制作方法, 具体步骤: 称量 200 g 中筋粉, 1.6 g 食盐, 搅拌均匀, 一般面粉倒入 60 g 开水烫面, 另一半面粉倒入 60 g 凉水和面, 搅拌成棉絮状, 倒入和面机中速搅拌至表面光滑, 约 5 min, 将揉好的面团搓成长条, 均匀分成 10 个剂子, 面团表面刷一层油锁住水分, 用保鲜膜覆盖, 醒面 25 min, 然后将每个剂子擀薄, 用压面机压成 1.5~2.0 mm 厚的薄饼, 用直径为 17 mm 的模具按压, 保证每块卷饼的直径和厚度一致。将烙馍放在事先预热的电饼铛上, 加热 30 s, 然后翻转烙馍, 加热 60 s, 取出, 放在一旁冷却 10 min, 装袋, 密封。

1.3.2 烙馍色泽的测定

采用色差仪测量烙馍表面的色泽, 用黑、白标准板校准仪器, 测量烙馍的 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 每种烙馍测五块取平均值, 根据下面公式 (1) 计算出白度值。

$$B = \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

式中:

B ——白度值;

L^* ——亮度;

a^* ——红绿值, 正值表示红色, 负值表示绿色;

b^* ——黄蓝值, 正值表示黄色, 负值表示蓝色。

1.3.3 烙馍质构特性的测定

参考孟会玲^[14]的方法取烙馍切割成 2 cm×6 cm 的长条, 用保鲜膜包裹, 矫正好切刀与样品表面的距离和返回距离, 将切好的饼皮放在质构仪的探头切刀下, 保持探头切刀与面皮垂直, 测试参数如下: 探头型号: P/BS 单刀剪切探头, 测试速度: 10.00 mm/min, 测后速度: 60 mm/min, 测试距离: 20 mm, 触发点数值: 5.00 gf; 每个样品重复测试 3 次。

1.3.4 烙馍的感官评分

参考张东京^[13]对中式薄饼的感官品质评定标准, 对烙馍进行感官评定。选择 12 名食品科学专业的学生 (男女比例 1:1) 作为一个感官评价小组,

对卷饼的外观形态、弹韧性、色泽、气味、口感进行感官评分。感官评价标准如表 1 所示, 采用百分制计分, 感官评分的结果取平均值。

表 1 烙馍的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of pancakes

评价指标	分值	评分标准
外观形态	20	形状完整, 无破损, 无裂缝; 15~20 分
		形状完整, 稍微有破损; 8~14 分
弹韧性	30	表面粗糙, 有裂缝; 1~7 分
		有弹性, 能卷曲, 展开无破损; 20~30 分
		稍微有弹性, 能卷曲, 展开有破损; 10~19 分
色泽	10	无弹性, 不能卷曲; 1~9 分
		色泽偏白色; 8~10 分
		稍微淡黄色; 5~7 分
气味	20	黄色; 1~4 分
		具有小麦的清香味; 15~20 分
口感	20	基本没有异味; 8~14 分
		有异味; 1~7 分
口感	20	口感软硬适中, 咀嚼爽口, 不粘牙; 15~20 分
		口感稍硬, 稍粘牙; 8~14 分
		口感差, 过硬, 或过软且粘牙; 1~7 分

1.3.5 烙馍的老化焓的测定

参考王晓瑞^[15]的方法, 将烙馍样品放入真空冷冻干燥机中进行冷冻干燥后磨粉, 过 100 目筛, 取 3 mg 样品放于 DSC 坩埚中, 按照 1:3 (m/m , 样品干基: 水) 加入去离子水, 室温下平衡 12 h, 用密封的空坩埚作为参比, 放入 DSC 炉体中进行测定。参数设置: 氮气流量 20 mL/min, 升温速率为 10 °C/min, 扫描温度范围为 20~120 °C, 每组样品重复测定 3 次, 取平均值。

1.3.6 烙馍的X射线衍射图谱

将第 7 天的烙馍样品在真空冷冻干燥机中进行冷冻干燥, 磨粉, 过 200 目, 测样品结晶度, 探究添加米粉对烙馍老化的影响, 测试参数参考张雪娇^[16]的方法。

1.3.7 烙馍的水分分布的测定

参考贾玉华^[17]的方法, 取 3.00 g 左右的烙馍样品, 用保鲜膜包裹后放入检测管, 置于低场核磁共振检测室进行检测, 每个样品测三个平行, 最终取平均值。检测参数设定为: 采样点数 TD=1 500, 重复扫描次数 NS=8, 弛豫衰减时间 TW=2 000 ms。利用 Q-CPMG

脉冲序列测定样品的横向时间弛豫 T2。

1.3.8 烙馍微观结构的测定

将烙馍的样品在真空冷冻干燥机中进行冷冻干燥, 取合适的样品横截面, 粘到导电胶上, 经 Oxford Quorum SC7620 溅射镀膜仪喷金 45 s, 喷金后置于电子显微镜下观察, 选取合适的点进行拍摄。

1.4 数据处理

采用 Excel 对数据进行整理分析, 用 SPSS 16.0 中的 Duncan 多重比较对数据进行显著性分析, 显著性差异 $P < 0.05$, 用 Origin 9.0 进行画图, 每组实验作 3 个或以上平行。

2 结果与讨论

2.1 添加米粉对烙馍色泽的影响

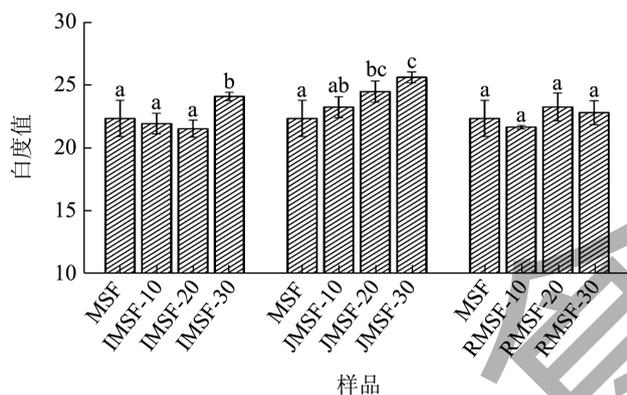


图 1 添加米粉对烙馍白度值的影响

Fig.1 Influence of adding rice flour on the whiteness value of the pancakes

注: 同列不同的小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。MSF 为中筋粉; JMSF-10、JMSF-20、JMSF-30 分别表示添加量为 10%、20%、30% (m/m) 的粳糯米粉-中筋粉; IMSF-10、IMSF-20、IMSF-30 分别表示添加量为 10%、20%、30% (m/m) 的粘糯米粉-中筋粉; RMSF-10、RMSF-20、RMSF-30 分别表示添加量为 10%、20%、30% (m/m) 的大米粉-中筋粉。下同。

色泽是影响消费者对产品食用品质可接受度的重要因素, 图 1 反映的是添加米粉对烙馍白度值的影响。从图中可以看出, 烙馍的色泽整体随糯米粉添加量的增加而增白, 与纯中筋粉制作的烙馍相比, 添加量为 10%、20% (m/m) 的粘糯米粉制作的烙馍白度值差异不显著 ($P > 0.05$), 而添加量为 30%

时白度值显著增加 ($P < 0.05$); 添加粳糯米粉制作的烙馍白度值随着粳糯米粉添加量的增加而逐渐增加, 从 22.35 增加至 25.63; 添加普通大米粉制作的烙馍白度值则变化并不显著 ($P > 0.05$)。Rahim 等^[18]研究表明, 面粉中较高的灰分含量会对薄饼的质量特性产生不利影响, 高灰分含量会使产品的颜色较深。经过前期实验可知小麦粉的灰分要显著高于米粉, 因此对照组的烙馍色泽较实验组偏暗。

2.2 添加米粉对烙馍的质构特性的影响

烙馍的质构特性是反映其品质的关键指标, 而质构特性可以通过剪切试验的最大剪切力来反映^[19]。剪切力表现为人体牙齿切断食物时所受到的阻力^[20], 图 2a~2c 分别代表了添加三种不同的米粉制作的烙馍在储藏至 0、3、7 d 时的质构特性。如图 2a~2c 所示, 在第 0 天时, 随着粘糯米粉、粳糯米粉和普通粳米粉添加量的增加, 烙馍的最大剪切力呈显著下降的趋势 ($P < 0.05$), 其中添加量为 30% (m/m) 糯米粉的烙馍剪切力均在 5 N 以下, 因为糯米粉糊化温度较低, 受热时容易膨胀形成致密均匀的米粉凝胶网络结构, 从而可以有效改善烙馍的质构特性, 降低烙馍硬度, 让烙馍变得柔软; 随着储藏天数的增加, 无论是空白组还是添加了米粉的实验组烙馍, 其最大剪切力都呈逐渐上升的趋势, 第 3 天时, 添加两种糯米粉的烙馍最大剪切力显著低于空白组, 而添加普通粳米粉的烙馍在添加量为 20% (m/m) 时, 烙馍最大剪切力最低, 添加量达到 30% (m/m) 时, 最大剪切力则与空白组差异不显著; 第 7 天时, 除了添加量为 20% (m/m) 的粳糯米粉制作的烙馍最大剪切力显著低于空白组 ($P < 0.05$) 其余添加糯米粉的烙馍最大剪切力与纯中筋粉制作的烙馍差异不显著 ($P > 0.05$), 由于长时间储藏下的支链淀粉易于重结晶^[21], 因此这与样品在储藏过程中支链淀粉重结晶有关^[22]。且由前期实验糊化特性可知, 普通粳米粉的回生值显著高于两种糯米粉, 说明相较于糯米粉, 普通粳米粉更容易发生老化, Qiu 等^[19]进行大米凝胶实验时, 发现添加蔗糖、油脂等可以降低回生值, 延缓老化现象, 因此添加过量普通粳米粉的烙馍在长时间储存后硬度显著增加。综上所述, 添加量在 10%~20% (m/m) 范围内的两种糯米粉制作的烙馍在冷藏期中表现出来的质构特性良好。

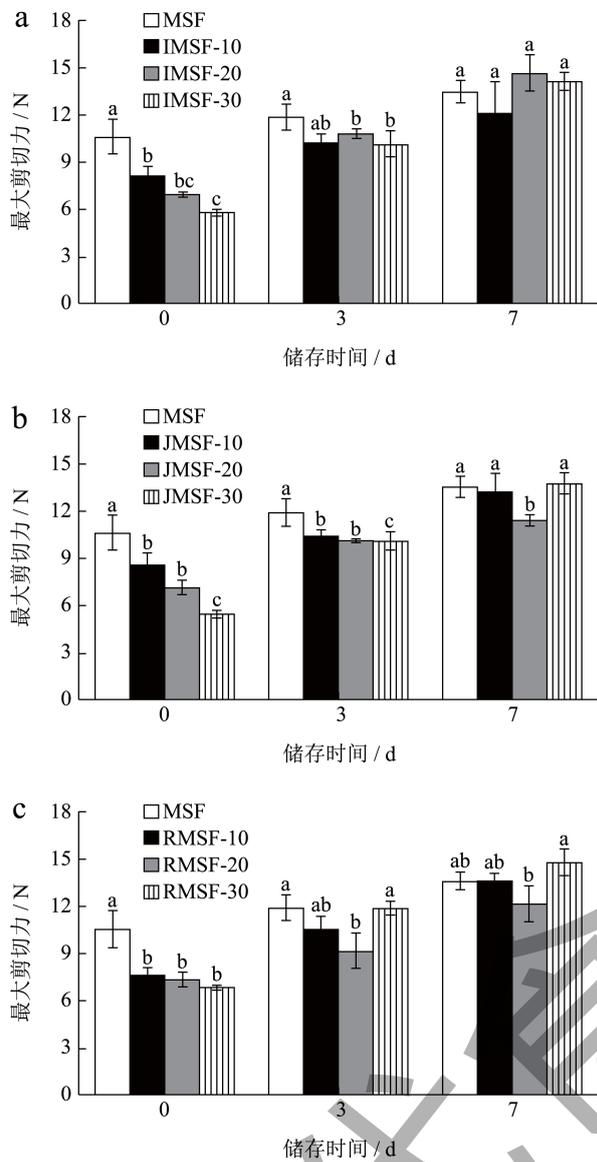


图2 添加米粉对烙馍的质构特性的影响

Fig.2 Effect of adding rice flour on texture characteristics of pancakes

2.3 添加米粉对烙馍的感官评分的影响

添加不同米粉制作的烙馍,对10个样品进行感官评价,结果如表2所示,添加三种米粉后制作的烙馍感官评分普遍高于空白组。其中添加粳糯米粉制作的烙馍感官总评分在83.07~86.33之间,添加量为20% (m/m)时评分最高,其外观评分达到最高18.60分,表面无明显的裂纹,更为完整;添加粳糯米粉制作的烙馍感官总评分在84.8~85.8之间,添加量为10% (m/m)时评分最高,其中弹韧性最好为26.02分,相较其他两组卷曲后无破损;添加普通粳米粉制作的烙馍感官总评分在85.27~85.51,添加量为20% (m/m)评分最高,其中色泽偏白,

弹韧性好,更完整,美观;与空白对照组对比,添加米粉后的烙馍外观完整,能卷曲,展开无裂痕,色泽偏白,有小麦清香,口感软硬适中,咀嚼爽口。综上,表明添加米粉能够改善烙馍口感,提高烙馍的弹韧性,增加烙馍的可接受度,其中添加量为20% (m/m)的粳糯米制作的烙馍最受欢迎。

表2 添加米粉对烙馍感官评价的影响

Table 2 Influence of adding rice flour on sensory evaluation of pancakes

样品	外观 (20分)	弹韧性 (30分)	色泽 (10分)	气味 (20分)	口感 (20分)	总分
MSF-0	16.61	22.03	7.82	17.40	15.41	79.27
IMSF-10	17.60	24.64	8.41	16.83	16.60	84.08
IMSF-20	18.60	24.21	8.44	17.67	17.41	86.33
IMSF-30	16.80	24.63	8.01	16.43	17.20	83.07
JMSF-10	17.81	26.02	8.40	16.82	16.87	85.92
JMSF-20	17.02	25.53	7.91	17.27	17.20	84.93
JMSF-30	17.22	25.23	7.84	17.21	17.47	84.97
RMSF-10	17.64	25.40	8.00	16.80	17.43	85.27
RMSF-20	17.21	26.03	8.42	16.63	17.22	85.51
RMSF-30	18.07	25.61	8.07	16.40	17.21	85.36

2.4 添加米粉对烙馍老化的影响

糊化后的淀粉分子冷却后重新排列形成晶体结构,通过晶体重新加热熔融吸收的热量和晶体形成时的放热,能在DSC中形成吸热峰或放热峰,吸热峰或放热峰面积即为烙馍的老化焓,烙馍的热焓值越大,晶体含量越高^[23]。由表3可知DSC扫描曲线在45~70℃之间出现的吸热峰,属于支链淀粉重结晶的融化峰,说明淀粉的回生主要原因是支链淀粉分子的重结晶^[16]。将烙馍放入4℃冰箱中冷藏0、3、7d后,分别测定的老化焓值如表3所示,在第0天时,烙馍的DSC扫描曲线在20~120℃范围内几乎是一条直线,未检测出热焓值,说明淀粉重结晶很少;在第3天时,相比于空白组,添加米粉的烙馍老化焓均显著增加 (P < 0.05),第7天时各老化焓值则呈不显著 (P > 0.05) 增加,添加粳糯米粉、粳糯米粉、普通大米粉制作的烙馍老化焓值分别从2.66 J/g增加至3.29、3.59、3.42 J/g。从第3天到第7天,纯中筋粉制作的烙馍老化焓值增长了约1.22 J/g,添加普通大米粉制作的烙馍老化焓值增长了约1.00 J/g左右,这可能是由于产品淀粉中直链淀粉的含量增加,直链淀粉重结晶使老化速率加快;支链淀粉含量高米粉有利于延缓米制品老化,而糯米粉几乎不含

直链淀粉，且添加糯米粉的烙馍老化焓值差异不明显^[19]，表明糯米粉的添加可以延缓烙馍的老化速率，这与储藏期间的质构特性变化趋势一致。

表 3 米粉添加量对烙馍老化焓的影响

Table 3 Influence of rice flour addition amount on the enthalpy of aging of pancakes

样品	$\Delta H/(J/g)$		
	0 d	3 d	7 d
MSF	—	1.33 ± 0.12 ^a	2.66 ± 0.60 ^a
IMSF-10	—	2.81 ± 0.27 ^b	2.79 ± 0.50 ^a
IMSF-20	—	3.12 ± 0.79 ^b	3.03 ± 0.25 ^a
IMSF-30	—	3.03 ± 0.36 ^b	3.29 ± 0.13 ^a
MSF	—	1.33 ± 0.12 ^a	2.66 ± 0.60 ^a
JMSF-10	—	2.38 ± 0.14 ^{ab}	3.05 ± 0.40 ^a
JMSF-20	—	2.36 ± 0.88 ^{ab}	3.19 ± 0.10 ^a
JMSF-30	—	3.29 ± 0.29 ^b	3.59 ± 0.25 ^a
MSF	—	1.33 ± 0.12 ^a	2.66 ± 0.60 ^a
RMSF-10	—	1.73 ± 0.12 ^{ab}	2.49 ± 0.12 ^a
RMSF-20	—	2.82 ± 0.18 ^{bc}	2.28 ± 1.08 ^a
RMSF-30	—	2.46 ± 0.06 ^c	3.42 ± 0.61 ^a

注：“—”表未测出；同列不同的小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.5 烙馍的X射线衍射图谱分析

淀粉的结晶型一般分为A型、B型、C型、V型，不同类型的结晶型在不同的衍射角出峰情况不同，呈现不同的衍射图谱，大多数谷物淀粉呈现A型，块茎类多为B型，豆类多为C型，而V型多为直链淀粉-脂质复合物等^[23,24]；图3a~3c是第7天时各烙馍样品的X-射线衍射图谱，由图可以看出，空白样品和几种混合粉制作的样品的衍射角 2θ 在15.1°、17.1°、18.2°、20°、以及23.2°处出现较强的衍射峰，表现为典型的A型结晶，淀粉的特征峰位置没有改变。Rahim等^[18]研究表明直链淀粉含量的变化对其衍射峰位移的影响很小，验证了三种不同的米粉的添加不会影响淀粉的晶体结构。糯米粉中几乎不含直链淀粉，随着米粉添加量的增加，直链淀粉比例减少，支链淀粉比例增加，经过7天的储存，支链淀粉发生了长期老化，样品的结晶度逐渐增加，从14.42%增长至17.66%，Liu等^[25]通过挤压蒸煮技术改变的主要是大米支链淀粉的回生性能，支链淀粉占比多在短期内对烙馍能起到延缓老化的作用。

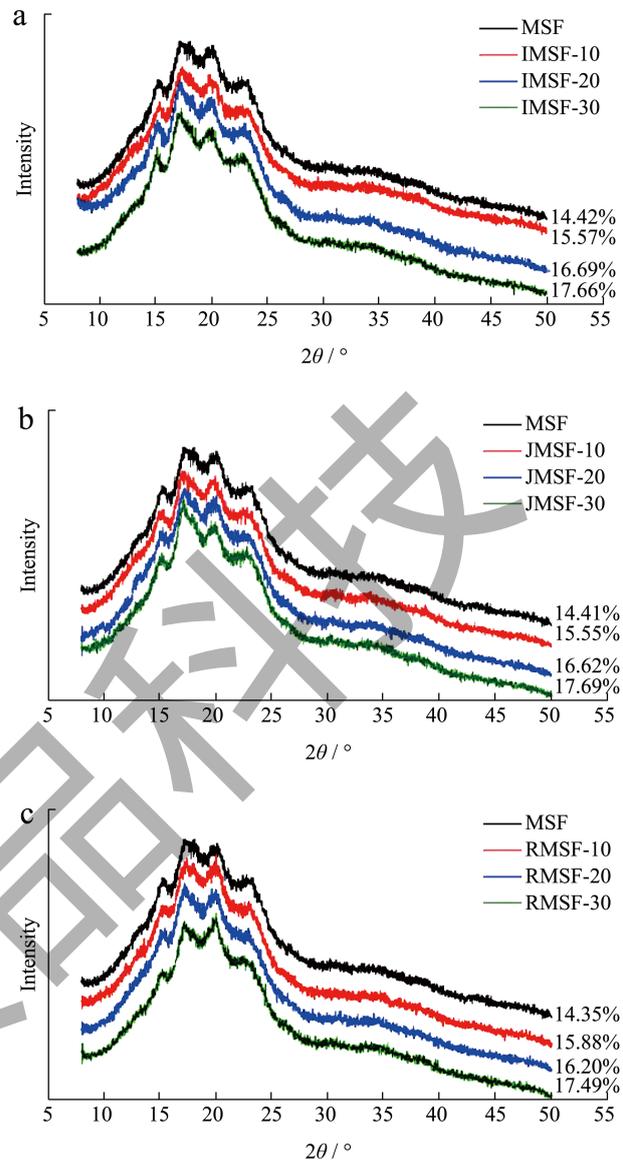


图 3 第 7 天烙馍的 X 射线衍射图谱

Fig.3 X-ray diffraction pattern of the 7th day pancakes

2.6 添加米粉对烙馍的水分分布的影响

烙馍中的水分分布的测定可以在一定程度上反映出烙馍中物质与水分的结合状态， T_2 弛豫时间表征了水分的流动性， T_2 越短，代表水与底物结合的越紧密，越长说明水分自由度越大^[26]。如图4所示， T_2 图谱中出现两个峰 T_{21} 和 T_{22} ， T_{21} 为强结合水的弛豫时间，是指与淀粉、蛋白质等大分子结合较强的水，流动性差，主要分布在 0.01~1 ms， T_{22} 为弱结合水的弛豫时间，是间接与大分子结合直接与强结合水以氢键结合的弱结合水层，主要分布在 2~18 ms，是烙馍中水分存在的主要形式。随着储藏天数的增加，纯中筋粉制作的烙馍 T_{22} 峰顶点先升高后降低，而添加糯米粉和普通大米粉制作

的烙馍 T_{22} 峰顶点变化不大, 说明添加米粉后的烙馍中水分流动性较弱, 具有较好的持水性, 这对产品的储藏是有益的^[27]; 另一方面, 随着几种米粉添加量的增加, T_{22} 峰顶点逐渐降低, 有向右移的趋势, 说明烙馍中强结合水有向弱结合水迁移的趋势, 水分子连接的位点不断移动形成网络结构^[28], 烙馍内部蛋白与水分结合程度降低。烙馍中未检测出自由水的原因可能是在制样过程中烙馍的自由水散失到空气中。

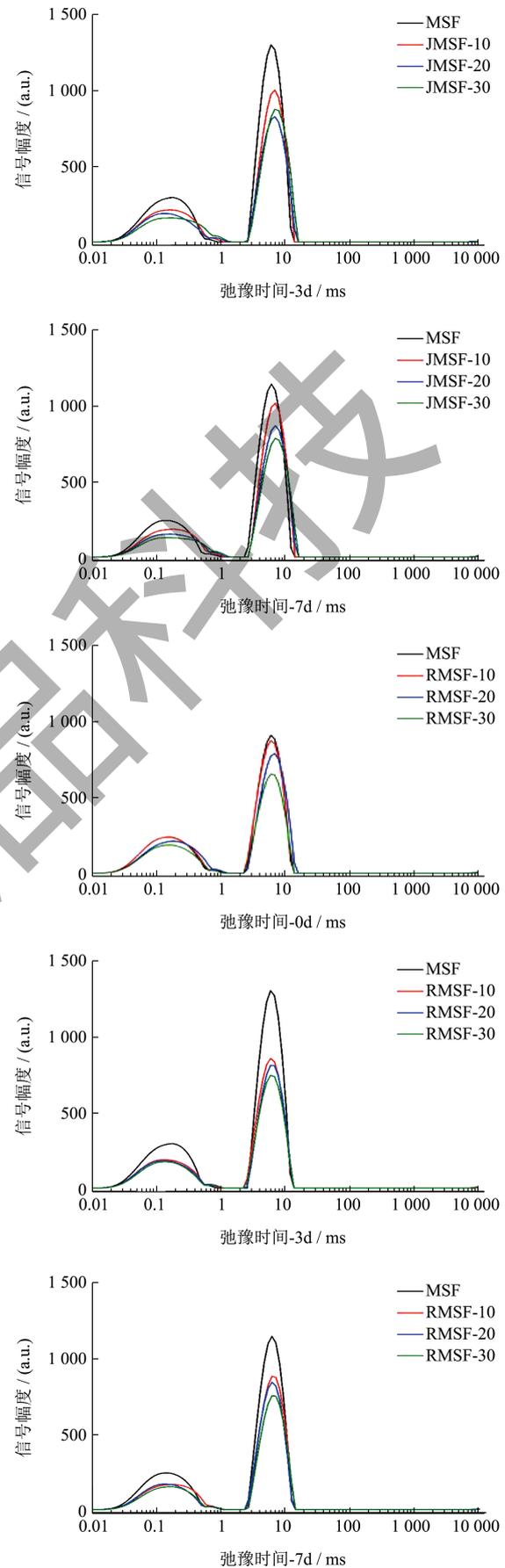
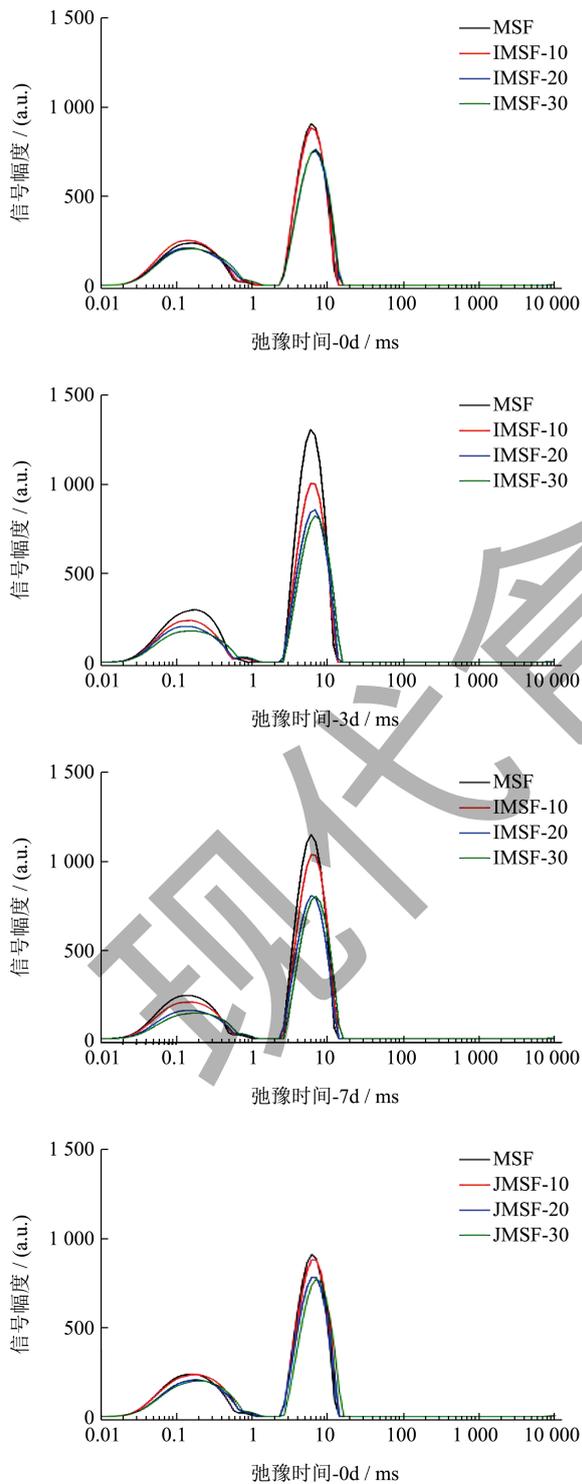


图4 烙馍在储藏期的水分迁移
Fig.4 Water migration of pancakes during storage

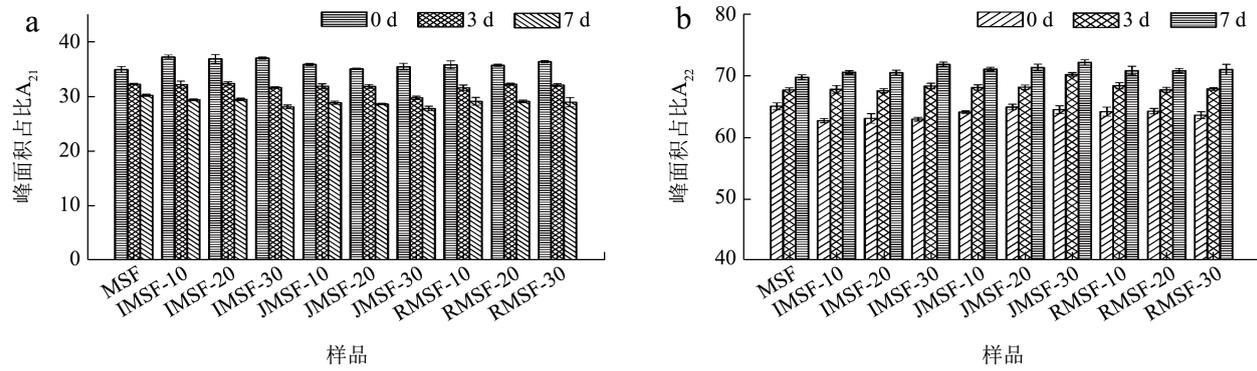


图 5 烙馍储藏期中不同水分的相对峰面积占比

Fig.5 The proportion of the relative peak area of different water in the storage period of pancakes

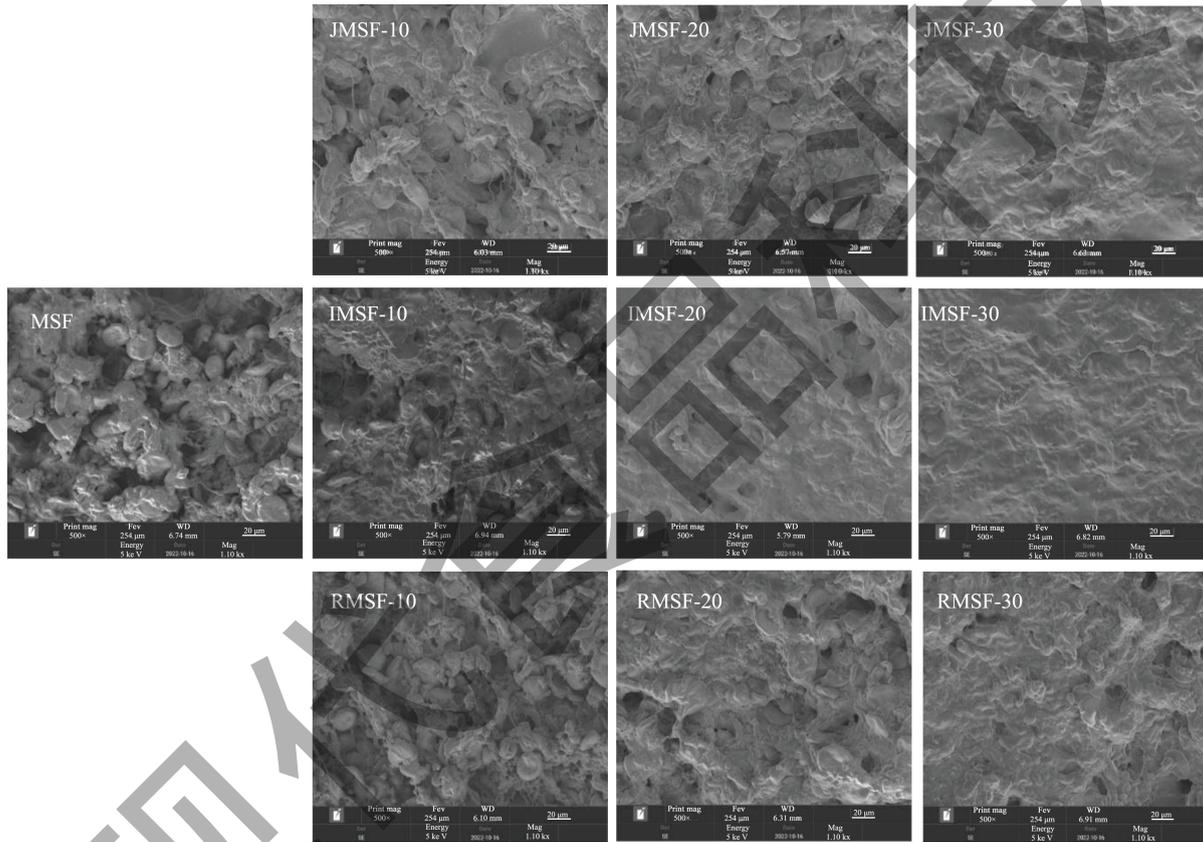


图 6 烙馍横截面 500 倍的微观结构

Fig.6 Microscopic structure of 500 times cross section of pancakes

图 5 表示烙馍中不同水分占总水分含量的比例。每个样品在储存 7 d 后，强结合水峰占比面积 A_{21} 均低于 30%，而弱结合水峰面积 A_{22} 占比在 69.42%~73.04% 之间，添加糯米粉的烙馍强结合水和弱结合水比例变化较大，符合陶雨辰^[29]对粳、粳米淀粉老化研究时，水分活度先下降后上升，在储存 3、5、7 d 时逐渐上升的结果。样品中强结合水转变为了弱结合水参与了支链淀粉分子老化，导致老化焓和结晶度的升高，验证了前面 DSC 和 XRD 的实验结果。

2.7 烙馍横截面的微观结构

扫描电子显微镜的表面成像原理在观察产品微观形态结构变化中发挥着重要作用。图 6 表示的是 $\times 500$ 扫描电子显微镜下三种不同添加量的米粉制作的烙馍内部组织结构的微观形态，通过观察可以发现烙馍内部组织的显微形态随着米粉添加量的增加，呈现出不同的变化趋势。从图中可以看出在纯中筋粉制作的烙馍 (MSF) 内部有很多圆形或椭圆形小麦淀粉颗粒和面筋蛋白均匀分布在体系中，当

三种米粉添加量为 10% (m/m) 时裸露在外面的淀粉颗粒变少,附着在小麦淀粉颗粒上或镶嵌在面筋网络中,与纯中筋粉制作的烙馍内部微观结构差别较小;当添加量为 20% (m/m) 时,烙馍中的分散的淀粉颗粒越来越少,大米粉中的淀粉部分糊化,与小麦粉淀粉颗粒形成紧密的交联结构,与孙链等^[30]糯小麦粉配粉的面筋微观结构对比,添加糯米粉烙馍面筋微观结构较致密均匀,有更好的持水性。添加粳糯米粉和普通大米粉的烙馍内部均出现不均匀的孔洞,而添加籼糯米粉的烙馍横截面则孔洞较小,当添加量达到 30% (m/m) 时,面筋网络被破坏,米粉中的淀粉已经完全糊化覆盖了小麦粉中的其他物质或与小麦粉中的其他物质相互粘合,这也进一步解释了烙馍硬度显著下降和结晶度升高的现象。

3 结论

将三种不同的米粉按一定比例与中筋小麦粉复配制作薄饼,探究添加米粉对烙馍品质及老化的影响。研究表明,糯米粉的添加显著提高了烙馍的白度值,从 22.35 增加至 25.63;对比纯中筋粉制作的烙馍,在 4 °C 短期储存中,随着米粉添加量的增加,烙馍的剪切力显著降低,弱结合水峰面积 A_{22} 占比在 69.42%~73.04%,持水性好,从而延缓烙馍老化,在 4 °C 长期储存中,由于米粉支链淀粉含量增加,支链淀粉随着时间的延长易重结晶,导致烙馍的硬度上升,老化焓增大,添加量为 20% (m/m) 的籼糯米粉制作的烙馍增加最少为 0.63 J/g。微观结构显示,随着米粉添加量的增加,裸露在外淀粉颗粒减少,减缓水分的流失,当添加量占 30% (m/m) 时,米粉中的淀粉完全糊化覆盖了小麦粉中的其他物质或与小麦粉中的其他物质相互粘合,不利于水分保持,增加了烙馍的硬度;感官评价结果表明添加量为 20% (m/m) 的籼糯米粉制作的评分最高为 86.33,烙馍外观完整,能卷曲弹性好,色泽偏白,口感软硬适中,可接受度高。以上结果表明添加 20% (m/m) 可以改善烙馍的食用品质,在短期储藏中可有效延缓烙馍老化,提高食用品质,在长期储藏过程中虽然可以改善烙馍食用品质,但在延缓老化的效果上并不显著,因此在今后的研究中可以结合其他抗氧化剂在烙馍长期储存过程中进行深入研究。

参考文献

- [1] 李雪琴,黄亚飞,苗笑亮,等.烫面蒸饼制作工艺及品质特性研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2018,39(2): 78-81.
- [2] 陈臣.预制千层饼鲜食/冷藏及复热品质改善研究[D].无锡:江南大学,2022.
- [3] 郎凯红,周显青,张玉荣.大米凝胶特性的研究现状与展望[J].粮食与饲料工业,2012,12(4):1-4,9.
- [4] 王晓,李小档,连惠章,等.米制品抗老化特性研究进展[J].农产品加工,2023,11:73-75.
- [5] ZHAO T, LI X, ZHU R, et al. Effect of natural fermentation on the structure and physicochemical properties of wheat starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 218: 163-169.
- [6] 赵阳,王雨生,陈海华,等.海藻酸钠对小麦淀粉性质及馒头品质的影响[J].中国粮油学报,2015,30(1):44-50.
- [7] LEMAN P, GOESAERT H, DELCOUR J A. Residual amylopectin structures of amylase-treated wheat starch slurries reflect amylase mode of action [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 23(1): 153-164.
- [8] 乔聪聪,吴娜娜,陈辉球,等.谷物制品老化机理及其调控技术研究进展[J].中国粮油学报,2019,34(4):133-140.
- [9] 李静.亲水胶体对鲜湿米线老化延缓及结构影响[J].中国食品添加剂,2022,33(6):129-136.
- [10] 张玉荣,高佳敏,周显青,等.改良剂延缓糯米淀粉制品老化特性的研究[J].粮油食品科技,2015,23(5):1-6.
- [11] BÀRCENAS M E, ROSELL C M. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(6): 1037-1043.
- [12] SHARMA P, GUJRAL H S. Anti-staling effects of β -glucan and barley flour in wheat flour chapatti [J]. Food Chemistry, 2014, 145: 102-108.
- [13] 张东京.中式薄饼的老化与保鲜的研究[D].天津:天津科技大学,2014.
- [14] 孟会玲.烫面面团品质特性及烫面蒸饼制作工艺研究[D].郑州:河南工业大学,2016.
- [15] 王晓瑞.米粉对蛋糕品质的影响及米粉蛋糕品质改良研究[D].合肥:安徽农业大学,2020.
- [16] 张雪娇.小麦淀粉及流变学特性对饺子皮品质的影响[D].郑州:河南工业大学,2012.
- [17] 贾玉华.甘薯渣粉对面团物化特性和面包品质的影响[D].上海:上海海洋大学,2019.
- [18] RAHIM M S, CHAUHAN A, MADHAWAN A, et al. Development and evaluation of chapatti quality of high amylose wheat mutants on the basis of physicochemical, textural and sensory characteristics [J]. LWT, 2020, 133: 110051.
- [19] SHUANG Q, ALIREZA A, I. O P. Prevention of the

- retrogradation of glutinous rice gel and sweetened glutinous rice cake utilizing pulsed electric field during refrigerated storage [J]. *Foods*, 2022, 11 (9): 1306-1306.
- [20] 常悦. 马铃薯粉对速冻水饺品质的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- [21] 丁文平, 王月慧, 丁霄霖. 大米淀粉胶凝和回生机理的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2003, 3: 11-13.
- [22] JUNG-LEE P. Antioxidant activity and quality characteristics of black sesame gruel added with glutinous rice, glutinous brown rice and, glutinous black rice powder [J]. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, 2013, 29(5): 581-590.
- [23] 高静丹. 米粉配粉及淀粉流变学特性对米粉品质影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
- [24] 刘晓芳. 多谷物粉对面团特性及馒头品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
- [25] LIU Y, CHEN J, WU J, et al. Modification of retrogradation property of rice starch by improved extrusion cooking technology [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 213: 192-198.
- [26] 刘锐, 武亮, 张影全, 等. 基于低场核磁和差示量热扫描的面条面团水分状态研究[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(9): 288-294.
- [27] JI Y, ZHU K X, QIAN H F, et al. Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour [J]. *Food Chemistry*, 2007, 104(1): 53-58.
- [28] XIE F, DOWELL F E, SUN X S. Using visible and near-Infrared reflectance spectroscopy and differential scanning calorimetry to study starch, protein, and temperature effects on bread staling [J]. *Cereal Chemistry*, 2004, 81(2): 249-254.
- [29] 陶雨辰. 籼米和糯米淀粉的理化性质及其凝胶冷藏中老化特性的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
- [30] 孙链, 孙辉, 姜薇莉, 等. 糯小麦粉配粉对小麦加工品质的影响(III)对微观结构的影响[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(3): 1-5.