

乳酸菌发酵菊芋全粉对糙米面团及米糕品质的影响

袁翊榕, 肖宁, 徐倩倩, 董金月, 刘学波, 段翔*

(西北农林科技大学食品科学与工程学院 陕西杨凌 712100)

摘要 分别用菊芋全粉和乳酸菌发酵菊芋全粉部分替代糙米粉,重点研究乳酸菌发酵菊芋全粉对糙米面团及米糕品质的影响。结果表明:未发酵和发酵菊芋全粉均显著降低了混合粉的峰值黏度、最终黏度和回生值,降低了面团的吸水率,增加了面团的形成时间和损耗模量。与未发酵菊芋全粉相比,发酵菊芋全粉使混合粉具有更低的峰值黏度、最终黏度和回生值,面团的吸水率更低,对糙米面团的发酵特性、糙米糕的质构、比容和贮藏特性影响较大,10%发酵菊芋全粉的糙米面团的体积在发酵至30 min时比对照组增加了34.08%,糙米糕的比容增加了25.30%,贮藏过程中的硬化速率降低了52.70%,表明乳酸菌发酵菊芋全粉可以缩短糙米面团的发酵时间,改善糙米糕的比容、质构和贮藏品质,且改善效果优于未发酵菊芋全粉。

关键词 菊芋全粉;乳酸菌;发酵;糙米面团;糙米糕

文章编号 1009-7848(2022)11-0256-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.11.027

菊芋是一种开发潜力较大的农业作物^[1],菊芋块茎是其主要可食用部位,含有菊糖、氨基酸、B族维生素和多种矿物质等营养成分,具有较高的食用及药用价值^[2]。其中,菊糖占菊芋块茎干重的50%以上,具有低热量、降血糖、降血脂,帮助矿物质离子吸收,促进肠道益生菌生长等功效^[3],还具有较好的食品加工特性,可改善食品的口感品质^[4]。目前菊芋在食品领域的营养特性开发不足,加工方法集中于从菊芋块茎中提取菊糖。然而,将菊芋块茎经脱皮、干燥、粉碎后制成以菊糖为主要成分(>50%)的菊芋全粉,能够更全面地利用菊芋中的营养物质,且便于加工、储存和运输,具有广泛的利用价值和应用空间^[5]。

乳酸菌(Lactic acid bacteria)因食用安全等被广泛应用于果蔬发酵加工中,植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)属于乳酸菌,也是植源性食物商业发酵常用的菌属^[6]。有研究表明植物乳杆菌发酵可以降解食物基质中的酚类化合物^[7],影响食品的风味^[8],提高抗氧化活性^[9],改变植物多糖的结构和功能活性^[9-11]。此外,乳酸菌发酵在面包、馒头等发酵谷物制品中的应用被称为酸面团发酵技术,能够改善产品的感官品质,提高营养价值和贮藏稳定性,同时进一步降低产品中的麸质含量^[12-13]。

然而,目前植物乳杆菌发酵菊芋全粉方面的研究较少,且菊芋发酵液在发酵谷物制品中的应用也鲜见报道。

发糕是中国传统小吃,以精白米为原料,经酵母发酵、蒸汽蒸熟等工艺制成^[14]。传统发糕易老化、营养价值有限、消化率高且风味单一,难以满足市场需求^[15]。糙米相较精米含有丰富的非淀粉营养成分,包括膳食纤维、矿物质等^[16],将糙米代替精白米能够提高发糕的营养价值,然而,糙米糕往往存在易老化,硬度大,比容小,感官品质较差等^[17]缺陷,其品质仍有待改善。虽然已有研究表明中、低聚合度菊糖能够改善无麸质面包和低筋粉馒头的品质^[18-19],但是菊糖或菊芋全粉对发糕品质的影响方面的研究较少,且目前为止还没有文献报道植物乳杆菌发酵菊芋全粉对糙米糕品质的影响。本试验创新性地研究了植物乳杆菌发酵菊芋全粉对糙米面团及米糕品质的影响,期望能为菊芋全粉的综合利用、菊芋发酵液功能的挖掘以及糙米糕品质改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜菊芋块茎(秋冬季节产),陕西省榆林市红果皮野生菊芋;植物乳杆菌(JYLP-002菌粉),山东中科嘉亿生物工程有限公司;糙米粉,山东省枣庄市市中区永安镇永安村;高活性干酵母粉,安

收稿日期:2021-11-06

第一作者:袁翊榕,女,本科

通信作者:段翔 E-mail:duanxiang402@163.com

琪酵母股份有限公司;白砂糖、黄小米,市售;FITC、罗丹明 B,上海源叶生物科技有限公司;无水乙醇,天津致远化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平,纪铭称重校检设备有限公司;冷冻干燥机,德国 Marin Christ 公司;电热鼓风干燥箱、生化培养箱,天津市泰斯特仪器有限公司;高速万能粉碎机,上海顶帅电器有限公司;电动搅拌器,小熊电器股份有限公司;快速黏度分析仪,瑞典波通仪器公司;混合仪,法国肖邦技术公司;旋转流变仪,美国 Waters 公司;不锈钢蒸锅,潮州市潮安区吉度贸易有限公司;电磁炉,美的集团有限公司;恒温磁力搅拌器,德国 IKA 集团;高速冷冻离心机,安徽中科中佳科学仪器有限公司;质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;激光共聚焦显微镜,日本尼康公司。

1.3 试验方法

1.3.1 菊芋全粉、菊芋发酵液以及发酵菊芋冻干粉的制备

清洗菊芋块茎,切成厚约 2 mm 的片状,置于烘箱中 60 °C 干燥至恒重,干菊芋片磨粉并过 80 目筛网,得菊芋全粉(Jerusalem artichoke flour, JAF)。

将菊芋全粉与水以料液比 1:7 混合,加入 1% 的植物乳杆菌冻干粉,搅拌均匀,于 37 °C 恒温培养箱中发酵 12 h 后得菊芋发酵液(The fermentation liquor of jerusalem artichoke, FJA),搅拌均匀后倒入培养皿中并置于-80 °C 冰箱中冷冻,然后

真空冷冻干燥得到发酵菊芋冻干粉(Freeze-dried flour of fermented jerusalem artichoke liquor, FJAF),于 4 °C 冰箱中储存。在混合粉糊化特性、热机械特性及面团流变特性测定中,由于发酵冻干粉更符合仪器操作要求或便于操作,使用 FJAF 与糙米粉混合进行测定;在其它指标测定中均使用 FJA。

1.3.2 混合粉糊化特性测定

按照 GB/T 24852-2010《大米及米粉糊化特性测定 快速粘度仪法》中的方法使用快速黏度分析仪(Rapid visco analyser, RVA)测定混合粉的糊化特性,预实验测定了糙米粉 JAF 以及 FJAF 的水分含量分别为 10.62%、3.95%、5.51%(105 °C 烘箱干燥法),按照 12% 湿基校正添加量。对照组为未加入 JAF 或 FJAF 的糙米粉(Brown rice flour, BRF),各处理组混合粉分别将部分糙米粉替换为 5% JAF、5% FJAF、10% JAF、10% FJAF。

1.3.3 混合粉热机械性质测定

使用混合试验仪测定混合粉的热机械性质,参照 Moreira 等^[20]的方法,采用 Chopin+90 g 测试法,各组混合粉中 JAF 或 FJAF 的添加量同 1.3.2 节,加水量在 14% 湿基条件下,按照粉团的最大扭矩达到(1.1±0.07)Nm 时的添加量,由仪器自动添加。

测试程序如下:1)30 °C 混合 8 min;2)以 4 °C/min 的速度升温到 90 °C;3)90 °C 维持 7 min;4)以 4 °C/min 的速度降温到 50 °C。混合仪的测试参数及含义见表 1。

表 1 混合试验仪参数及其含义

Table 1 Mixolab parameters and their meanings

参数	含义
C1	稠度最大值,揉混面团时扭矩的最大值,用于反映吸水率
C2	稠度最小值,用于测定蛋白质的弱化程度
C3	峰值黏度,用于淀粉糊化特性的测定
C4	最低黏度,用于测定淀粉的糊化热稳定性
C5	最终黏度,用于测定淀粉的回生特性
C3-C2	表示淀粉糊化特性,数值越大,糊化特性越强
C3-C4	表示淀粉糊化热稳定性,数值越小,热稳定性越强
C5-C4	表示淀粉回生特性,数值越小,回生特性越弱
形成时间	到达 C1 点所需的时间
稳定时间	扭矩在 89% C1-C1 的维持时间

1.3.4 糙米面团发酵特性测定

参考 Tang 等^[21]的方法并作适当修改。各组糙米面团的配方见表

2,先将酵母用水溶解,再将其它原辅料放入不锈钢盆中,用手持式电动搅拌器 2 挡搅拌 1 min。将

110 mL 的各组糙米面团倒入 500 mL 量筒中,用保鲜膜覆盖并置于 37 °C 恒温培养箱中,于发酵 0, 10, 20, 25, 30, 35, 40 min 时记录糙米面团的膨胀

体积。由于发酵至 40 min 时,各组面团开始出现不同程度的塌陷(体积骤然下降),40 min 后的发酵体积不再记录。试验结果取 3 次测定的平均值。

表 2 无麸质糙米面团配方表

Table 2 Ingredients of gluten-free brown rice batter

配料	糙米面团(对照组)	菊芋糙米面团		发酵菊芋糙米面团	
		5% JAF	10% JAF	5% FJA	10% FJA
糙米粉/%	100	95	90	95	90
菊芋全粉/%	-	5	10	-	-
菊芋发酵液/%	-	-	-	5	10
白砂糖/%	2	2	2	2	2
干酵母/%	2	2	2	2	2
水/%	120	120	120	85	50

注:1)以混合粉质量为 100%,其它配料的添加量按其于混合粉质量之比计算;2)菊芋发酵液加入量按照发酵前加入的菊芋全粉质量进行计算,且其面团的加水量应减去发酵前加水量;3)“-”为此配方不添加此种配料;4)由于糙米粉不含有麸质蛋白,成团所需加水量较高,最终糙米面团呈半固体状态。

1.3.5 糙米面团流变特性测定 参考 Renzetti 等^[22]的方法并作适当修改。各组糙米面团的配方和制作方法大致同 1.3.4 节,然而,用于流变特性测定的糙米面团均不添加白砂糖和酵母,且将发酵菊芋糙米面团的 FJA 替换为 FJAF,各组加水量相同。将各组糙米面团置于旋转流变仪的 Peltier 平板上,采用 40 mm 平板,分别进行稳态流动试验和频率扫描。

1) 稳态流动试验条件 温度 37 °C, 上样后预平衡 5 min,扫描范围:0.1~5;

2) 频率扫描条件 温度 37 °C, 上样后预平衡 5 min 以消除残留应力,应变 0.1%,扫描范围:0.1~10 Hz。

1.3.6 糙米糕的制备 参考 Seiko 等^[23]的方法并作适当修改,各组糙米面团的配方和制作方法同 1.3.4 节。将面团按每份 100 g 分别倒入圆形模具(直径 10.5 cm,高度 3.7 cm)中,盖上保鲜膜于 37 °C 恒温培养箱中发酵 30 min(根据 1.3.4 节结果确定发酵时间为 30 min),用不锈钢蒸锅蒸 15 min,室温冷却 1 h 后进行后续测定。

1.3.7 糙米糕比容测定 糙米糕比容的测试方法参考 AACC 10-05(2001)标准测试方法^[24]并作适当修改(用黄小米替代油菜籽)。试验结果取 4 次测定的平均值。糙米糕比容的计算公式如下:

$$\text{比容}(\text{mL/g}) = \frac{\text{糙米糕体积}}{\text{糙米糕质量}} \quad (1)$$

1.3.8 糙米糕截面气孔图像 用面包切片器将室温冷却 1 h 后的糙米糕切成厚约 25 mm 的米糕片,取中心部分的米糕片并拍照记录。

1.3.9 糙米糕质构特性测定 用面包切片器将糙米糕切成厚约 25 mm 的米糕片,采用质构仪对糙米糕进行全质构测试(Texture profile analysis, TPA),测试参数设定为:探头 P36R,测前速度 1.0 mm/s,测试速度 1 mm/s,测后速度 1 mm/s,触发力 5 g,压缩程度为 50%,两次压缩停留时间为 20 s。试验结果取 6 次测定的平均值。

1.3.10 糙米糕贮藏品质测定 参考 Kou 等^[19]的方法并作适当修改。将各组糙米糕用聚乙烯袋密封包装并置于 4 °C 冰箱中,由于糙米糕在低温下加速老化,经过预实验确定间隔测试时间为 1, 24, 48 h,分别从各组中取 3 块米糕片用质构仪测定硬度和凝聚性,样品准备以及测试程序同 1.3.9 节,并计算糙米糕硬化速率及凝聚性降低速率^[25],计算公式如下:

$$\text{硬化速率}(\text{g/h}) = (\text{贮藏 48 h 米糕芯硬度} - \text{贮藏 1 h 米糕芯硬度}) / 48 \quad (2)$$

$$\text{凝聚性降低速率}(\text{h}^{-1}) = (\text{贮藏 48 h 米糕芯凝聚性} - \text{贮藏 1 h 米糕芯凝聚性}) / 48 \quad (3)$$

1.3.11 糙米糕微观结构测定 参照 Ai 等^[26]的方法,将对照组、10% JAF、10% FJA 组糙米糕在 4 °C 贮藏 48 h 以后,用刀片取大约 10 mg 的一小片米

糕,用 FITC(无水乙醇配制成 1 mg/mL 溶液)和罗丹明 B(无水乙醇配制成 0.1 mg/mL 溶液)染色。样品先于 1 ml FITC 中孵育 24 h,水洗至无色脱出,然后在 1 mL 罗丹明 B 中孵育 4 h,水洗至无色脱出。染色后的样品使用激光共聚焦显微镜(CLSM)进行观察,FITC 和罗丹明 B 的激发波长分别为 488 nm 和 555 nm。

1.3.12 数据处理与分析 所有数据的测定结果以平均值±标准偏差表示。试验数据采用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行单因素方差(One-way analysis of variance, ANOVA)分析,利用 Duncan 法进行显著性分析, $P < 0.05$ 表示有显著性差异。使用 Origin 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 未发酵与发酵菊芋全粉对混合粉糊化特性的影响

从表 3 可以看出,与对照组相比,JAF 和

FJAF 使混合粉的峰值黏度、谷值黏度和最终黏度显著降低,峰值时间和成糊温度显著增加,主要原因可能是糙米粉被替换后,淀粉分子的含量降低。此外,在添加 JAF 和 FJAF 后,混合粉的谷值黏度略大于峰值黏度,回生值显著降低,可能是因为 JAF 和 FJAF 中的菊糖能够减缓淀粉回生进程,维持淀粉结构稳定,减少加热和剪切力对淀粉颗粒的破坏^[27]。

由于相同替代比例的 JAF 组和 FJAF 组具有相同的淀粉分子含量,比较相同替代比例的 JAF 组和 FJAF 组之间的差别能够反映植物乳杆菌发酵菊芋全粉对淀粉糊化特性的影响。结果显示,FJAF 组的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度和回生值均显著低于相同替代比例的 JAF 组,说明 FJAF 对淀粉糊化的影响程度更大,参数值降低的原因可能是菊芋经发酵后水解单糖和低聚糖含量增加,极性基团暴露,与淀粉的结合程度增加,减少了淀粉与水分子的接触^[28]。

表 3 混合粉糊化特性参数值

Table 3 Characteristic values of RVA parameters in JAF/FJAF substituted BRF

处理组	峰值黏度/mPa·s	谷值黏度/mPa·s	最终黏度/mPa·s	回生值/mPa·s	峰值时间/min	成糊温度/°C
0%	1 072.0 ± 2.83 ^a	1 063.5 ± 0.71 ^a	1 900.0 ± 9.90 ^a	828.0 ± 7.07 ^a	6.8 ± 0.049 ^a	94.0 ± 0 ^a
5% JAF	844.5 ± 14.14 ^b	845.5 ± 14.85 ^b	1 449.0 ± 22.63 ^b	605.0 ± 8.48 ^b	7.0 ± 0 ^b	95.2 ± 0 ^b
10% JAF	648.0 ± 0.71 ^c	650.5 ± 0.71 ^c	1 132.0 ± 1.41 ^c	483.5 ± 0.71 ^c	7.0 ± 0 ^b	95.1 ± 0.35 ^{bc}
5% FJAF	782.0 ± 35.36 ^d	784.5 ± 36.06 ^d	1 317.5 ± 53.03 ^d	535.5 ± 17.68 ^d	7.0 ± 0 ^b	95.2 ± 0.035 ^b
10% FJAF	595.0 ± 2.83 ^c	597.0 ± 2.83 ^c	1 000.0 ± 5.66 ^c	405.0 ± 8.48 ^c	7.0 ± 0 ^b	94.6 ± 0.11 ^c

注:所有结果以平均值±标准偏差表示,同一列不同小写字母表示各组样品间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米面团热机械性质的影响

混合仪在恒速、恒温混合阶段得到的测试结果如表 4 所示,所得参数值反映混合粉的粉质特性。随后的加热-冷却阶段得到的测试结果如表 5 所示,反映混合粉的糊化特性,除各组 C5-C4(对应 RVA 中的回生值)值无显著差异外,其余参数值反映的 JAF 和 FJAF 对混合粉糊化特性的影响规律与 2.1 节一致,可能是因为混合仪测试体系中的加水量比 RVA 测试体系少,且因各组混合粉的吸水率而异。

由表 4 可知,随着 JAF 和 FJAF 替代量的增加,糙米面团的吸水率在逐渐降低,主要原因可能是淀粉分子被替代后在面团中的含量降低。此外,

罗登林等^[29]将短链菊糖添加到中筋面粉中得到相似的结果,其解释为具有良好亲水性的菊糖在混合过程中与淀粉和蛋白质竞争体系中的水分,且菊糖在淀粉颗粒周围形成了一层障碍,阻碍了淀粉颗粒和水分子的接触,导致吸水率降低。

对于面粉而言,形成时间反映面筋网络结构形成的速度,形成时间和稳定时间越长,面团的筋力越强^[30]。有研究表明菊糖能够参与面筋蛋白网络结构的形成,增强二硫键的稳定性^[30]。表 4 中数据显示,JAF 和 FJAF 的替代使面团的形成时间显著延长,表明面团在搅拌成团过程中对剪切力应变的抵抗性增强,由于 JAF 和 FJAF 中的菊糖具有凝胶特性,在无麸质产品中菊糖可能能够通过形成凝胶来增加无麸质面团的稳定性。C1-C2 值

与混合过程中蛋白质的弱化度相关,其值越大则面团的耐搅拌能力越差。结果显示,只有 FJAF 组的 C1-C2 值显著高于对照组,可能是由于糙米粉被部分取代后,面团的蛋白质含量降低,且 FJAF 经发酵后 pH 值降低,可能会影响面团中蛋白质在搅拌过程中的稳定性。

比较表 3 中 JAF 组与 FJAF 组的试验结果可

得,FJAF 组的吸水率和形成时间低于具有相同替代比例的 JAF 组。有研究表明短链菊糖降低面团吸水率的效果更显著^[31],提示 FJAF 组吸水率进一步下降可能与发酵后菊糖聚合度的降低有关,而 FJAF 组面团的形成时间降低,可能是由于 FJAF 组中菊糖聚合度降低导致菊糖凝胶强度降低。

表 4 JAF/FJAF 对混合粉粉质特性的影响

Table 4 Effect of JAF/FJAF on farinograph property of JAF/FJAF substituted BRF

处理组	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	C1-C2/Nm
0%	72.20 ± 0.28 ^a	1.78 ± 0.21 ^a	9.90 ± 0.56 ^{ab}	0.29 ± 0.0064 ^a
5% JAF	67.50 ± 0.71 ^b	4.72 ± 0.021 ^b	10.10 ± 0.56 ^{ab}	0.28 ± 0.012 ^a
10% JAF	63.30 ± 0.00 ^c	3.74 ± 0.20 ^c	10.30 ± 0.28 ^b	0.33 ± 0.015 ^{ab}
5% FJAF	66.00 ± 0.00 ^d	2.06 ± 0.16 ^a	9.55 ± 0.49 ^{ab}	0.35 ± 0.032 ^{bc}
10% FJAF	59.85 ± 0.21 ^e	2.54 ± 0.20 ^d	8.90 ± 0.28 ^a	0.39 ± 0.023 ^c

注:所有结果以平均值±标准偏差表示,同一列不同小写字母表示各组样品间差异显著($P<0.05$)。

表 5 JAF/FJAF 对混合粉热机械性质的影响(Nm)

Table 5 Effect of JAF/FJAF on thermo-mechanical properties of JAF/FJAF substituted BRF (Nm)

处理组	C3	C4	C5	C3-C2	C3-C4	C5-C4
0%	2.10 ± 0.029 ^a	1.73 ± 0.019 ^a	2.44 ± 0.12 ^a	1.28 ± 0.0035 ^a	0.37 ± 0.0099 ^a	0.71 ± 0.11 ^a
5% JAF	2.11 ± 0.013 ^a	1.90 ± 0.018 ^b	2.75 ± 0.027 ^b	1.29 ± 0.0085 ^{bc}	0.21 ± 0.0056 ^b	0.86 ± 0.0085 ^a
10% JAF	2.08 ± 0.017 ^a	1.94 ± 0.013 ^c	2.75 ± 0.074 ^b	1.30 ± 0.0042 ^{bc}	0.13 ± 0.0035 ^c	0.80 ± 0.061 ^a
5% FJAF	2.08 ± 0.0064 ^a	1.92 ± 0.013 ^{bc}	2.79 ± 0.025 ^b	1.30 ± 0.0064 ^c	0.16 ± 0.0071 ^d	0.86 ± 0.012 ^a
10% FJAF	ND	ND	2.95 ± 0.13 ^b	ND	ND	ND

注:所有结果以平均值±标准偏差表示,同一列不同小写字母表示各组样品间差异显著($P<0.05$),ND 代表仪器未检测出结果。

2.3 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米面团流变特性的影响

2.3.1 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米面团稳态流动特性的影响 糙米面团是一种淀粉基样品,图 1 为各组糙米面团的稳态流动曲线,各组糙米面团的黏度都随剪切速率的增加逐渐降低,表现出明显的剪切稀化现象,且在 0~1 s⁻¹ 剪切速率范围内,JAF 和 FJAF 组的黏度高于对照组,且黏度随着添加水平增加而增加。糙米面团的黏度与面团的加工特性以及发酵过程中体积的膨胀相关,JAF 和 FJAF 组糙米面团黏度的适当提高可能有利于发酵体积的增长。

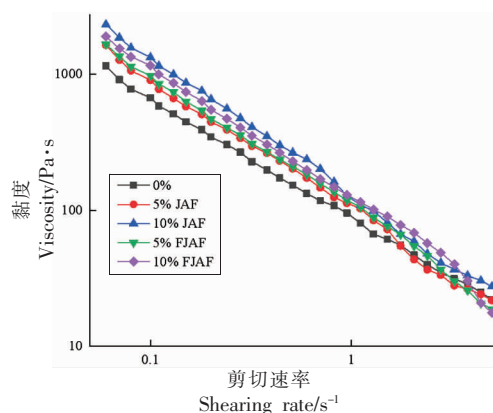


图 1 对照组、JAF 和 FJAF 糙米面团的稳态流动曲线
Fig.1 Steady state flow curves of control, JAF and FJAF substituted BR batter

2.3.2 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米面团动态流变特性的影响 储能模量(G')和损耗模量(G'')分别反映了糙米面团的弹性和黏性,图 2 为添加 JAF 和 FJAF 后糙米面团的 G' 和 G'' 值随频率的变化关系图。各组面团的 G' 和 G'' 值均随频率增加而逐渐增大,且 G' 始终大于 G'' ,表明糙米面团呈固态性质,其中弹性所占比例大于黏性。

与对照组相比,10% JAF 和 10% FJAF 在检测的频率范围内均增加了糙米面团的 G' 值且两者曲线接近重合,而 5% JAF 和 5% FJAF 与对照组曲线接近重合。此外,在频率 1~10 Hz 内,相比于对照组,JAF 和 FJAF 组的 G'' 值大于对照组且随着添加水平增加而增加,表明 JAF 和 FJAF 都能够改善糙米面团的黏弹性。赵天天等^[27,31]研究发现菊糖能够显著增加小麦面包的 G' 和 G'' 值,且 G' 和 G'' 值随着菊糖添加量和聚合度的上升逐渐增加,其解释的原因为与菊糖增强面筋网络结构和提高面团持水性有关。然而,本试验中糙米粉不含面筋蛋白,且糙米蛋白不具有面筋蛋白的黏弹性, G' 和 G'' 值的增大可能与 JAF 和 FJAF 中菊糖的凝胶特性和高持水性相关。

2.4 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米面团发酵特性的影响

面团的发酵特性对最终产品的物理特性影响较大,发酵面团体积与酵母的产气能力和面团的持气能力相关^[21]。图 3 反映了发酵过程中各组糙米面团体积的变化趋势。随着发酵时间的延长面团的发酵体积逐渐增大,对照组、5% JAF 组和 10% JAF 组的曲线在前 35 min 几乎完全重合,然而发酵 40 min 时,10% JAF 组面团体积仍在增加,而对照组面团体积迅速降低,表明 JAF 的添加对糙米面团发酵速度虽没有显著影响,但是增加了糙米面团的持气能力,与 2.2 节和 2.3 节的测定结果一致。

乳酸菌发酵菊芋对糙米面团发酵体积的影响较大,面团发酵速度随 FJA 添加量增加而增加,发酵至 30 min 时 5% FJA 组和 10% FJA 组糙米面团的体积分别为 223 mL 和 240 mL,相比于对照组增加了 24.58% 和 34.08%,然而,5% FJA 组和 10% FJA 组面团体积分别在发酵至 35,40 min 时开始下降,表明 FJA 虽能够促进糙米面团中酵母

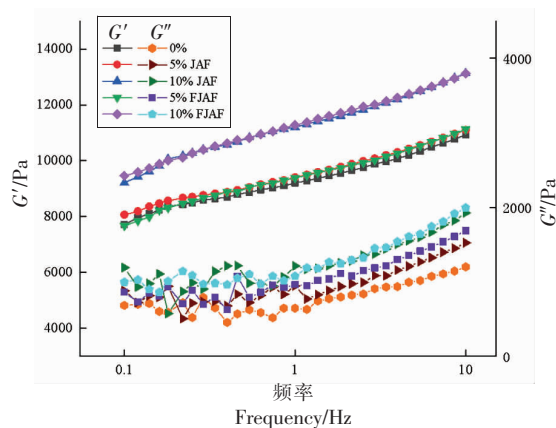


图 2 JAF 和 FJAF 对糙米面团 G' 和 G'' 的影响

Fig.2 The effect of JAF and FJAF on G' and G'' of BR batter

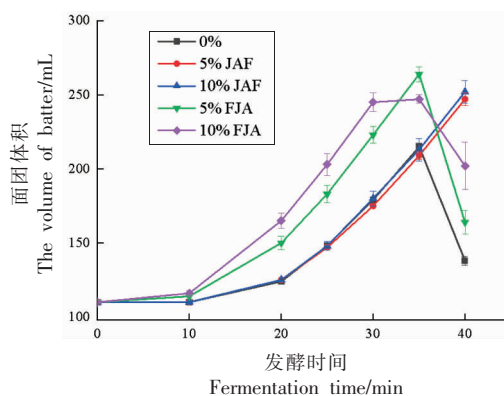


图 3 JAF/FJA 对糙米面团发酵特性的影响

Fig.3 Effect of JAF/FJA on gas-retaining properties of brown rice batter

发酵,但是不能够显著改善糙米面团的持气能力。发酵速度显著提高的原因可能为:1)经过植物乳杆菌发酵后 FJA 聚合度降低,FJA 组面团中微生物可利用碳水化合物含量增加,增加了酵母发酵过程中的产气能力^[32];2)乳酸菌发酵使 FJA 的 pH 值降低,抑制杂菌的生长,为酵母发酵提供适宜的环境,具有乳酸菌与酵母菌协同发酵的优势^[33]。

2.5 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米糕比容的影响

由图 4 可得,各组糙米糕比容的大小顺序为:10% FJA > 5% FJA > 5% JAF > 10% JAF ≈ 0% JAF,除 5% FJA 组比容大于对照组外,其它组比容的排序结果与发酵至 30 min 时糙米面团体积

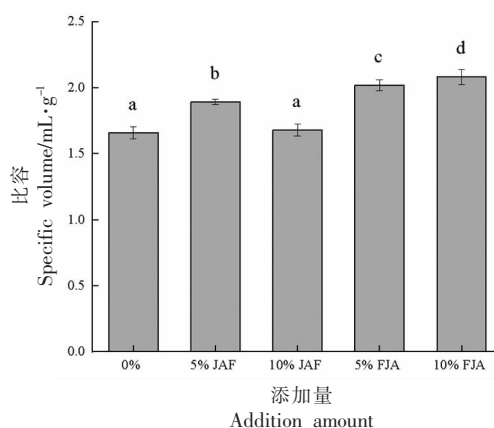
的结果一致,可能与不同批次菊芋全粉中菊糖的聚合度及含量差异、菊糖对蒸煮过程中淀粉糊化的影响等有关,需要进一步研究。Kou等^[19]研究发现当聚合度较低的菊糖 FS(Fibruline® S30,平均 DP≤10)和 FI(Fibruline® Instant,平均 DP 2~60)的替代比例分别在 10.0%和 7.5%以下时,低筋粉馒头的比容与对照组相比显著提高,而替代水平超过此比例的 FI与任一替代比例的较高聚合度菊糖 FXL(Fibruline® XL,平均 DP≥23)均会降低馒头的比容。Ziobro等^[18]将不同聚合度的菊糖添加到无麸质面包中,结果表明中低聚合度菊糖 HSI(Orafti®HSI, DP<10)和 GR(Orafti®GR, DP≥10)均能显著提高无麸质面包的比容且与添加比例呈正相关,而添加高聚合度菊糖 HPX(Orafti®HPX, DP>23)的无麸质面包的比容与对照组没有显著区别,其解释为:与高聚合度菊糖相比,中低聚合度菊糖中含有能够被酵母利用的单糖和低聚糖。本试验中 FJA 组糙米糕比容增加的主要原因可能为:菊芋全粉经过发酵,含有更多的中低聚合度菊糖,促进酵母发酵产气。此外,有研究指出低聚合度菊糖的溶解性较好,它能够整合到面团及面包的孔状结构中以提高稳定性和持气能力^[34]。

2.6 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米糕气孔结构的影响

图 5 为各组糙米糕的截面图像,可以直观地看出 FJA 组糙米糕的截面高度、截面气孔的大小及数量大于对照组和 JAF 组,且 FJA 和 JAF 组糙米糕截面呈现较多大小不一的气孔,可能与 FJA 和 JAF 中含有菊糖有关。Ziobro等^[18]的研究结果表明菊糖的添加会增加无麸质面包横截面中大于 5 mm 的气孔数量,其解释为菊糖改善了面团的黏弹性,增加了面团的稳定性,使较大的气孔得以维持。

2.7 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米糕质构特性的影响

表 6 为各组糙米糕的质构特性参数表,其中硬度是评价米糕或面包品质的重要参数,硬度值较低的米糕具有蓬松的口感,能够受到更多消费者的喜爱。JAF 组糙米糕的硬度与对照组相比无显著差异,而 5%和 10%FJA 组糙米糕的硬度显著低于对照组,分别下降了 37.62%和 39.43%,可



注:不同小写字母表示各组样品间差异显著($P < 0.05$)。

图 4 JAF 和 FJA 对糙米糕比容的影响

Fig.4 Effect of JAF and FJA on specific volume of BR steamed bread

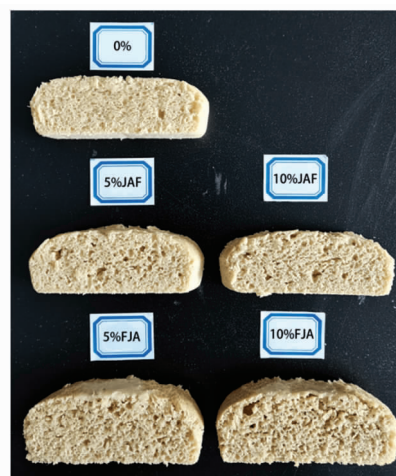


图 5 JAF 和 FJA 对糙米糕气孔结构的影响

Fig.5 Effect of JAF and FJA on the cross section of BR steamed bread

能与 FJA 中菊糖聚合度比 JAF 低有关,菊糖的凝胶强度与其聚合度呈正相关。Ziobro等^[18]的研究结果表明菊糖能够降低无麸质面包的硬度,且添加中低聚合度菊糖的面包硬度低于添加高聚合度菊糖的面包。此外,赵天天等^[31]研究表明不同聚合度的菊糖(DP=4.3, 11.37, 19.02)均不能降低小麦面包的硬度且随着聚合度和添加量的上升硬度值逐渐增大,与本试验结果的差异可能是由于菊糖对产品品质的影响因原料粉而异。

由于咀嚼性与硬度呈正相关,各组糙米糕的咀嚼性变化趋势与硬度相似,与对照组相比, JAF 和 FJA 均显著降低了糙米糕的咀嚼性,而 FJA 组

糙米糕的咀嚼性显著低于具有相同替代比例的 JAF 组。JAF 和 FJA 对糙米糕的弹性、凝聚性和回复性均无显著影响。Kou 等^[9]的研究表明菊糖能够降低低筋粉馒头的凝聚性、弹性和回复性,且随着菊糖聚合度和添加量的增加,其降低程度更大,可

能是由于高聚合度菊糖通过疏水效应与面筋蛋白相互作用以及降低体系中二硫键含量,然而,本试验中糙米粉并不含有面筋蛋白,菊糖的作用机制可能不同于低筋粉馒头,因而对产品质构特性的影响也不同。

表 6 JAF 和 FJA 对糙米糕质构特性的影响

Table 6 Effect of JAF and FJA on texture properties of BR steamed bread

处理组	硬度/g	弹性	凝聚性	咀嚼性	回复性
0%	1 235.35 ± 37.85 ^a	0.75 ± 0.100 ^a	0.36 ± 0.014 ^a	427.39 ± 38.98 ^a	0.17 ± 0.008 ^a
5% JAF	1 169.48 ± 28.00 ^a	0.82 ± 0.068 ^{ab}	0.38 ± 0.037 ^a	359.85 ± 26.15 ^b	0.18 ± 0.024 ^a
10% JAF	1 205.97 ± 79.45 ^a	0.78 ± 0.030 ^{ab}	0.37 ± 0.017 ^a	352.33 ± 35.09 ^b	0.17 ± 0.012 ^a
5% FJA	770.57 ± 34.90 ^b	0.79 ± 0.052 ^{ab}	0.38 ± 0.031 ^a	228.06 ± 21.17 ^c	0.18 ± 0.021 ^a
10% FJA	748.22 ± 91.98 ^b	0.84 ± 0.078 ^b	0.36 ± 0.024 ^a	225.40 ± 44.00 ^c	0.15 ± 0.016 ^b

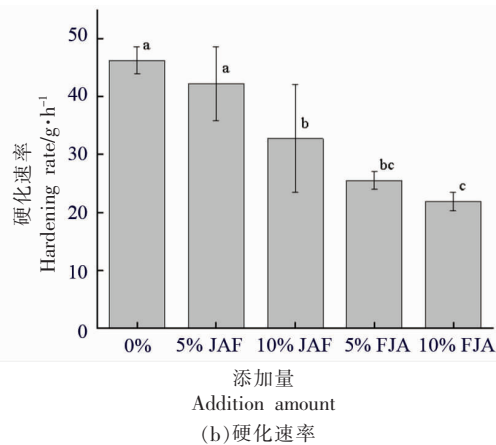
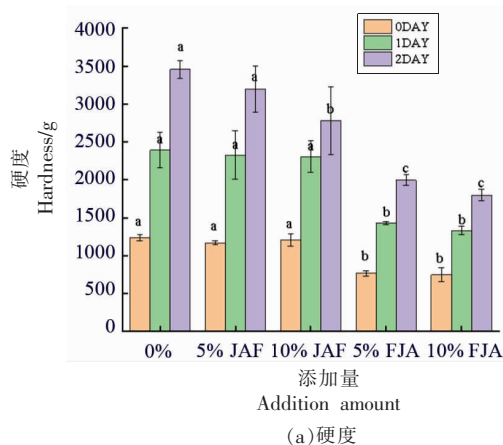
注:所有结果以平均值±标准偏差表示,同一列不同小写字母表示各组样品间差异显著($P < 0.05$)。

2.8 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米糕贮藏品质的影响

由图 6a 可得,各组糙米糕的硬度随贮藏时间延长而逐渐增加。贮藏 2 d 后,10% JAF 组糙米糕的硬度显著低于对照组,而 5% 和 10% FJA 组糙米糕的硬度在整个贮藏期内均低于对照组和 JAF 组。由图 6b 可得,10% JAF、5% FJA 和 10% FJA 组糙米糕的硬化速率均显著低于对照组,表明 JAF 和 FJA 能够延缓糙米糕的老化,且 FJA 的效果优于 JAF。由图 6c 和图 6d 可得,各组糙米糕的凝聚性随贮藏时间延长而逐渐降低,凝聚性降低意味着碎渣感增强、口感变差。贮藏 2 d 后,10% FJA 组糙米糕的凝聚性显著大于对照组,且其凝聚性降低速率也显著低于对照组,然而,JAF 组糙米糕的凝聚性降低速率与对照组无显著差异,表明相比于 JAF,FJA 更能够降低糙米糕在贮藏过程

中凝聚性的损失,延缓米糕老化。

米糕老化的机理可能与米糕中水分的迁移、淀粉老化等有关。JAF 和 FJA 能够改善糙米糕贮藏品质的原因可能与其中的菊糖含量及聚合度有关,研究表明菊糖能够促进紧密结合水转化为疏松结合水和游离水,降低无麸质面包的老化速率^[18],且菊糖具有高持水性,能够降低米糕中水分迁移及损失速率^[18]。FJA 对米糕老化的改善作用优于 JAF 的原因可能是:菊糖聚合度降低提高了持水性;乳酸菌发酵过程中产生的胞外多糖(Exopolysaccharide, EPS)能够改善糙米糕质构,延缓其货架期^[35],且发酵所形成的酸性环境及其产物还能够抑制米糕内各部分之间的水分迁移速率,增加米糕的持水性^[36]。然而,以上只是根据类似文献总结的可能原因,JAF 和 FJA 实际的抗老化机理还需要进一步深入研究。



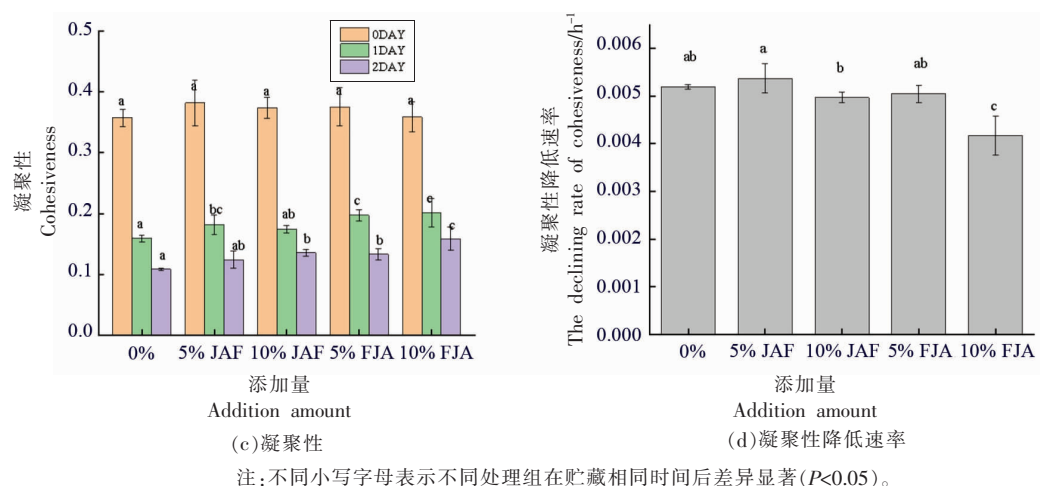


图6 JAF和FJA对糙米糕贮藏特性的影响

Fig.6 Effect of JAF and FJA on storage property of brown rice steamed bread

2.9 未发酵与发酵菊芋全粉对糙米糕微观结构的影响

图7为对照组、10% JAF和10% FJA组糙米糕的CLSM图像,图中绿色区域为淀粉,红色区域为蛋白质^[37]。10% FJA组中绿色区域的亮度明显高于对照组和10% JAF组,表明10% FJA组中淀粉的糊化程度低于对照组和10% JAF组^[26],与

2.1节和2.2节的试验结果一致。此外,对照组和10% JAF组中的红黄色区域明显多于10% FJA组,10% FJA组中只能观察到分散的蛋白质颗粒且数量极少,表明10% FJA组糙米糕中蛋白质含量减少,可能是由于乳酸菌在发酵过程中摄取了体系中的蛋白质^[13]。

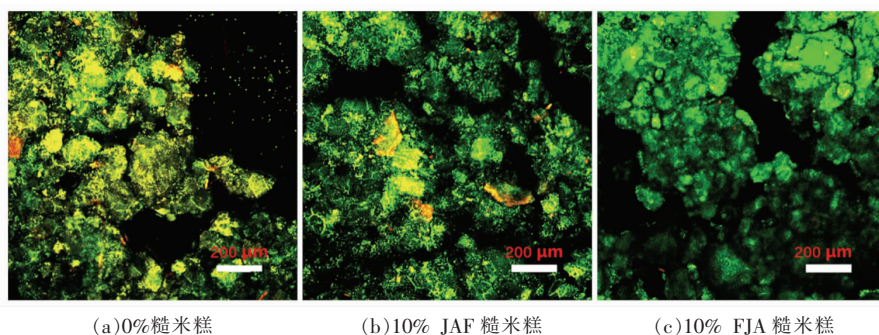


图7 对照组、JAF和FJA糙米糕CLSM图像

Fig.7 CLSM images of control group, JAF and FJA BR steamed bread crumbs

3 结论

相比于对照组,未发酵菊芋全粉与发酵菊芋全粉都能够降低混合粉的峰值黏度、最终黏度和回生值,降低糙米面团的吸水率,增加其形成时间,在10%的替代比下增加糙米面团的损耗模量,增加糙米糕截面气孔的数量及不均匀程度,降低糙米糕在贮藏过程中的硬化速率。与具有相同替代比例的未发酵菊芋全粉组相比,发酵菊芋全粉

组混合粉的峰值黏度、最终黏度和回生值降低,糙米面团的吸水率和形成时间降低,蛋白质弱化度增加,且发酵菊芋全粉显著提高了糙米面团的发酵速度,而未发酵菊芋全粉组的发酵速度与对照组无差异。此外,与对照组和未发酵组相比,发酵菊芋全粉显著增加了糙米糕的比容,降低了糙米糕的硬度和咀嚼性,降低了糙米糕在贮藏过程中的硬化速率和凝聚性降低速率。以上结果表明,发

酵菊芋全粉对于糙米面团发酵特性,糙米糕比容、硬度和贮藏特性的改善作用优于未发酵菊芋全粉,作为品质改良剂应用于无麸质产品中,具有较大的开发潜力。

参 考 文 献

- [1] 胡素琴, 蔡飞鹏, 王建梅. 菊芋的种植和开发利用[J]. 生物质化学工程, 2012, 46(1): 51-54.
HU S Q, CAI F P, WANG J M. The planting and utilization of jerusalem artichoke[J]. Biomass Chemical Engineering, 2012, 46(1): 51-54.
- [2] KAYS S J, NOTTINGHAM S F. Biology and chemistry of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)[J]. Journal of Agricultural & Food Information, 2007, 10(4): 97-108.
- [3] FERNANDES R, ROSARIO V, MOCELLIN M C, et al. Effects of inulin-type fructans, galacto oligosaccharides and related synbiotics on inflammatory markers in adult patients with overweight or obesity: A systematic review[J]. Clinical Nutrition, 2016, 36(5): 1197-1206.
- [4] SHOAIB M, SHEHZAD A, OMAR M, et al. Inulin: Properties, health benefits and food applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 147: 444-454.
- [5] 于济洋. 菊芋全粉特性及功能强化机理与作用研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
YU J Y. Study on the characteristics, functional strengthening mechanism and effect of inulin granules[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2014.
- [6] RODRIGUEZ H, CUIRIEL J A, LANDETE J M, et al. Food phenolics and lactic acid bacteria[J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 132(2/3): 79-90.
- [7] ZHAO D, SHAH N P. Lactic acid bacterial fermentation modified phenolic composition in tea extracts and enhanced their antioxidant activity and cellular uptake of phenolic compounds following *in vitro* digestion[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 20: 182-194.
- [8] CAVIN J F, BARTHELMEBS L, DIVIES C. Molecular characterization of an inducible p-coumaric acid decarboxylase from *Lactobacillus plantarum*: Gene cloning, transcriptional analysis, overexpression in *Escherichia coli*, purification, and characterization[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997, 63(5): 1939-1944.
- [9] KIM H, SUH H J, KWON K H, et al. Immunostimulation activity of a polysaccharide from fermented ginseng with *Hericium erinaceum* mycelia in solid-state culture[J]. Food Science and Biotechnology, 2016, 25(1): 311-318.
- [10] LEE W, AHN G, LEE B J, et al. Radio-protective effect of polysaccharides isolated from *Lactobacillus brevis*-fermented *Ecklonia cava*[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 52: 260-266.
- [11] 史腊妮. 发酵大麦提取物调节 3T3-L1 前脂肪细胞脂代谢及其机制研究[D]. 苏州: 江苏大学, 2016.
SHI L N. Effect of fermented barley extract on lipometabolism in 3T3-L1 preadipocytes and its mechanism[D]. Suzhou: Jiangsu University, 2016.
- [12] RINALDI M, PACIULLI M, CALIGIANI A, et al. Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-free bread: A shelf-life evaluation[J]. Food Chemistry, 2017, 224: 144-152.
- [13] SCHOBER T J, BEAN S R, BOYLE D L. Gluten-free sorghum bread improved by sourdough fermentation: Biochemical, rheological and microstructural background [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 55(13): 5137-5146.
- [14] 李次力, 杨杨, 陈凤莲, 等. 混合粉组成与米发糕品质特性相关性研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(10): 103-107, 118.
LI C L, YANG Y, CHEN F L, et al. Study on correlation between composition of mixed powder and quality characteristics of fermented rice cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(10): 103-107, 118.
- [15] 李次力, 遇世友, 杨萍, 等. 不同温度及包装方式下复合杂粮米发糕的储藏特性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 279-282, 295.
LI C L, YU S Y, YANG P, et al. Storage characteristics of hybrid multigrain rice steamed sponge cake under different temperatures and packaging methods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 279-282, 295.
- [16] ZHANG X X, WANG L, CHENG M Y, et al. Influence of ultrasonic enzyme treatment on the cook-

- ing and eating quality of brown rice[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 63: 140–146.
- [17] 李小林, 李建勋, 张文娟, 等. 挤压预糊化淀粉的性能及其添加对糙米发糕品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(15): 66–72.
- LI X L, LI J X, ZHANG W J, et al. The properties of extruded pregelatinized starch and the effect of its addition on the quality of steamed brown rice cakes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(15): 66–72.
- [18] ZIOBRO R, KORUS J, JUSZCZAK L, et al. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 21–27.
- [19] KOU X R, LUO D, ZHANG K, et al. Textural and staling characteristics of steamed bread prepared from soft flour added with inulin[J]. *Food Chemistry*, 2019, 301: 125272.
- [20] MOREIRA R, CHENLO F, TORRES M D. Rheology of commercial chestnut flour doughs incorporated with gelling agents[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(5): 1361–1371.
- [21] TANG Z Y, FAN J, ZHANG Z Z, et al. Insights into the structural characteristics and *in vitro* starch digestibility on steamed rice bread as affected by the addition of okara[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106533.
- [22] 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.
- [23] SEIKO I, EIKO A. Improvement of gluten-free steamed bread quality by partial substitution of rice flour with powder of *Apios americana* tuber[J]. *Food Chemistry*, 2021, 337: 127977.
- [24] American Association of Cereal Chemists. Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement [EB/OL]. (2001–10–17) [2021–07–06]. <https://www.doc88.com/p-5117813654364.html>.
- [25] 孟祥平, 栾广忠, 孙华幸, 等. 木聚糖酶对米糠面团特性及面包烘焙品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(16): 190–195.
- MENG X P, LUAN G Z, SUN H X, et al. Effects of xylanase on properties of dough and baking qualities of bread enriched with rice bran[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(16): 190–195.
- [26] AI J, WITT T, COWINC G, et al. Anti-staling of high-moisture starchy food: Effect of hydrocolloids, emulsifiers and enzymes on mechanics of steamed-rice cakes[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 83: 454–464.
- [27] 赵天天, 赵丹, 马小涵, 等. 菊糖对面团流变学特性及面包品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(7): 115–121.
- ZHAO T T, ZHAO D, MA X H, et al. Effect of inulin on dough rheological properties and bread quality[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(7): 115–121.
- [28] PERESSINI D, SENSIDONI A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(2): 190–201.
- [29] 罗登林, 陈瑞红, 刘娟, 等. 短链菊粉对中筋粉面团流变学特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(6): 1–4.
- LUO D L, CHEN R H, LIU J et al. Effect of short-chain inulin on the rheological properties of plain flour dough[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2015, 30(6): 1–4.
- [30] 刘志伟, 何宁, 赵阳, 等. 粉质仪和拉伸仪在面粉生产中的应用[J]. *农业科技与装备*, 2008(5): 47–49.
- LIU Z W, HE N, ZHAO Y, et al. Application of farinograph and extensograph in the flour production [J]. *Agricultural Science & Technology and Equipment*, 2008(5): 47–49.
- [31] 赵天天, 韩智, 曹琦, 等. 不同聚合度菊糖对小麦面团流变特性及面包品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(3): 84–90.
- ZHAO T T, HAN Z, CAO Q, et al. Effects of different degree of polymerization of inulin on wheat dough rheological properties and bread quality[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(3): 84–90.
- [32] BARTKIENE E, JAKOBSONE I, JUODEIKIENE G, et al. Effect of fermented *Helianthus tuberosus* L. tubers on acrylamide formation and quality properties of wheat bread[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2013, 54(2): 414–420.
- [33] RINALDI M, PACIULLI M, CALIGIANI A, et al. Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-

- free bread; A shelf-life evaluation[J]. Food Chemistry, 2017, 224: 144–152.
- [34] ROSELL C M, SANTOS E, COLLAR C. Physical characterization of fiber-enriched bread doughs by dual mixing and temperature constraint using the Mixolab[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(4): 535–544.
- [35] 陈佳芳, 汤晓娟, 蒋慧, 等. 不同高产胞外多糖乳酸菌发酵荞麦酸面团对面团面筋网络结构和面包烘焙特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(6): 1–6.
- CHEN J F, TANG X J, JIANG H, et al. Effect of fermentation of buckwheat sourdough with different exopolysaccharide-producing strains of lactic acid bacteria (LAB) on dough microstructure and bread quality[J]. Food Science, 2018, 39(6): 1–6.
- [36] 周一鸣, 欧阳博雅, 向茜, 等. 不同乳酸菌发酵酸面团对面包品质及风味的影响[J]. 食品科学, (2021-03-25) [2021-07-06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210324.1159.008.html>.
- ZHOU Y M, OUYANG B Y, XIANG Q, et al. Effects of different lactic acid bacteria fermented sourdough on bread quality and flavor[J]. Food Science, (2021-03-25) [2021-07-06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210324.1159.008.html>.
- [37] ZHENG Z, STANLEY R, GIDLEY M J, et al. Structural properties and digestion of green banana flour as a functional ingredient in pasta[J]. Food & Function, 2016, 7(2): 771–780.

Effect of Fermented Jerusalem Artichoke on the Quality of Brown Rice Batter and Steamed Bread

Yuan Yirong, Xiao Ning, Xu Qianqian, Dong Jinyue, Liu Xuebo, Duan Xiang*

(College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi)

Abstract To study the effects of the addition of jerusalem artichoke powder and fermented jerusalem artichoke on the quality of brown rice batter and steamed bread, this study substitute 5% and 10% brown rice flour with jerusalem artichoke powder and *Lactobacillus plantarum* fermented jerusalem artichoke powder, respectively. The results showed that compared with the control group, both jerusalem artichoke powder and fermented jerusalem artichoke powder could reduce the peak viscosity, final viscosity and rejuvenation value of the mixed powder, and also reduced the water absorption rate of brown rice batter, increased the batter formation time, initial viscosity and loss modulus. In addition, compared with jerusalem artichoke powder with the same substitution ratio, the mixed powder containing fermented jerusalem artichoke powder had lower peak viscosity, final viscosity and rejuvenation value, and the water absorption rate of the batter was lower. The effect of fermented jerusalem artichoke powder on the fermentation properties of brown rice dough, the texture, specific volume and storage quality of brown rice steamed bread was more significant. Compared with the control group, the fermentation volume of brown rice batter at 30 min added with 10% fermented jerusalem artichoke increased by 36.87%, and the specific volume increased by 25.30%. The hardening rate during storage decreased by 52.70%. Through this study, fermented jerusalem artichoke could shorten the fermentation time of brown rice batter, improve the specific volume, texture and storage quality of brown rice steamed bread, and its capability of improvement is better than unfermented Jerusalem artichoke.

Keywords jerusalem artichoke flour; *Lactobacillus plantarum*; fermentation; brown rice batter; brown rice steamed bread