

椰子粉—小麦粉混合面团的质构和发酵流变学特性

Study on properties of the texture and fermentation rheology of coconut flour-wheat flour mixed dough

李 铭¹ 盛 政² 杨亚雯¹ 吴子健^{3,4} 张海华²

LI Ming¹ SHENG Zheng² YANG Ya-wen¹ WU Zi-jian^{3,4} ZHANG Hai-hua²

(1. 三亚中瑞酒店管理职业学院, 海南 三亚 572000; 2. 浙江农林大学食品与健康学院,

浙江 杭州 311300; 3. 天津商业大学生物技术与食品科学学院, 天津 300134;

4. 天津市食品生物技术重点实验室, 天津 300134)

(1. Hospitality Institute of Sanya, Sanya, Hainan 572000, China; 2. Zhejiang A & F University, College of Food and Health, Hangzhou, Zhejiang 311300, China; 3. College of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China; 4. Tianjin Key Laboratory of Food Biotechnology, Tianjin 300134, China)

摘要:目的: 开发含椰子粉的发酵型烘焙食品。方法: 采用 TA.XT Plus C 物性测试仪的全质构压缩试验和 F4 肖邦发酵流变仪测定椰子粉—小麦粉面团质构和发酵流变学特性。结果: 椰子粉的添加显著提高了面团的硬度、咀嚼性和胶着性。但其对弹性和黏性的影响不一, 添加 3% 椰子粉的面团表现出较硬、发酵延迟、体积小等面团发酵性能的降低, 而添加 1% 和 5% 椰子粉的面团出现高度坍塌、漏气等稳定持气能力不足的现象。此外, 添加 1% 的椰子粉时, 面团的面筋网络结构明显断裂, 呈不规则的片状; 当进一步添加椰子粉(3%)时, 面团的面筋网络结构逐渐变得稀疏。而当椰子粉的添加量增加至 5% 时, 面筋断裂结构却得到明显改善。结论: 椰子粉的添加改变了面团的质构特性进而降低了其发酵流变学特性。低含量的椰子粉破坏了面筋网络结构, 而高含量的椰子粉可以改善面筋网络结构, 增强面团的连续性。

关键词: 椰子; 小麦粉; 面团; 质构; 发酵流变学特性; 面筋网络结构

Abstract: Objective: To develop fermented baked goods containing coconut powder. **Methods:** The texture and fermentation rheological properties of coconut flour-wheat flour dough were measured by full texture compression test of TA.XT

Plus C physical property tester and F4 Chopin fermentation rheometer. **Results:** The addition of coconut flour significantly improved dough hardness, chewiness and gumminess. However, the effects on springiness and adhesiveness were different. The dough with 3% coconut flour showed a decrease in dough fermentation performance, such as being harder, delayed fermentation, and small in volume, while the dough with 1% and 5% coconut flour showed a high degree of collapse, air leakage and other phenomena of insufficient stable air holding capacity. In addition, when 1% of coconut powder was added, the gluten network structure of the dough was obviously broken, showing irregular sheets. When the coconut flour was further added (3%), the gluten network structure of the dough gradually thinned out. When the addition of coconut powder was increased to 5%, the broken structure of gluten was obvious improved. **Conclusion:** The addition of coconut flour changed the texture properties of dough and decreased its fermentation rheological properties. And the low content of coconut powder damaged the gluten network structure, while the high content of coconut powder could improve the gluten network structure and enhance the continuity of dough.

Keywords: coconut; wheat flour; dough; texture; fermentation rheological properties; gluten network structure

基金项目: 海南省教育厅重点科研项目(编号: Hnky2022ZD-27)

作者简介: 李铭, 男, 三亚中瑞酒店管理职业学院副教授, 硕士。

通信作者: 吴子健(1973—), 男, 天津商业大学教授, 博士。

E-mail: wzjian@tjcu.edu.cn

收稿日期: 2022-04-20 **改回日期:** 2022-12-25

椰子含有丰富的膳食纤维、蛋白质、多酚等营养素^[1-2], 具有较高的食用价值。在国外, 85% 的椰肉被加工成椰干, 5% 的椰肉加工成椰蓉, 10% 的椰肉被留作家

用或者加工成其他椰子产品。而中国对椰肉的利用主要为提取椰肉中的成分(椰油、椰蛋白和椰汁);或者直接将椰肉制成椰干、椰子粉、椰奶粉^[3],其中,椰片和椰蓉被广泛用于烘焙食品中^[4],不仅提高了烘焙食品的营养价值,还赋予了烘焙食品独特的椰香风味^[5],深受市场欢迎。

面团是一类介于液态与固态食品之间的富有黏弹性的流变体,面团质构和发酵流变学特性是在其形成过程中和形成后反映出来的一系列理化特性,直接影响着面包烘烤品质和其他食品加工品质。而小麦面团的质构和发酵流变学特性又与其主组分淀粉、面筋蛋白紧密相关,尤其是面筋蛋白。椰子粉中含有丰富的蛋白质、多酚和纤维素,其被用于烘焙食品时,必然对面团的关键物性产生影响^[6-7],如发酵流变特性、质构品质等。然而,关于椰子粉如何影响面团物性,尤其是其对面团的质构和发酵流变学特性的影响研究仍然较为缺乏。研究拟以添加不同量椰子粉的小麦粉混合粉为对象,探究混合粉面团的质构品质和发酵流变学特性的变化规律,以期为开发含椰子粉的发酵型烘焙食品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

金龙鱼多用途麦芯中筋小麦粉:水分 13.3%、蛋白质 10.9%、淀粉 73.5%、灰分 0.8%,益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司;

海南椰子:海南省三亚市鸿港市场;

面用酵母:安琪酵母股份有限公司。

1.2 仪器与设备

发酵流变仪:F4 型,法国 Chopin Technologies 公司;

物性测试仪:TA.XT Plus C 型,英国 Stable Micro System 公司;

激光共聚焦显微:LSM880 型,德国 Carl Zeiss 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

(1) 椰子粉制备:将椰子剖开取果肉和椰汁,果肉打浆,与椰汁充分混合,冷冻干燥即得椰子粉。其中含有 69%的粗脂肪、8%的蛋白质、18%的纤维素。

(2) 混合粉制备:称取小麦粉 100.0 g,按小麦粉质量的 0%,1%,3%,5%分别称取椰子粉,再与小麦粉充分混合成混合粉,分别记为 Control、y1、y3 和 y5,密封 10℃冷藏备用。

(3) 面团制备:参照 GB/T 14614—2019 中粉质仪法制备混合粉面团。

1.3.2 化学成分分析

(1) 小麦水分含量测定:按 GB 5009.3—2016 中直接干燥法执行。

(2) 椰子粉蛋白质含量测定:按 GB 5009.5—2016 中凯氏定氮法执行。

(3) 椰子粉粗脂肪含量测定:按 GB 5009.6—2016 中索氏抽提法执行。

(4) 椰子粉粗纤维含量测定:按 GB/T 5009.10—2003 执行。

1.3.3 面团质构特性的测定 采用 TA.XT Plus C 物性测试仪进行混合粉面团的质构特性测定。首先选择全质构(TPA)的压力模式,安装 P/1S 探头,设置程序参数为:压缩时测前速度 3.00 mm/s、测中速度 1.00 mm/s、测后速度 1.00 mm/s,压缩距离 10 mm,形变 30%,应力 0.05 N。

1.3.4 面团发酵流变学特性的测定 采用 F4 发酵流变仪测定混合面团的发酵流变学特性。系统温度为 30℃,测试时长为 180 min,面团质量为 300 g,酵母添加量为面团质量的 1%。

1.3.5 面团显微结构分析 参考 Yu 等^[8]的方法。用丙酮配制质量浓度为 0.25 g/100 mL 的异硫氰酸荧光素(FITC)和 0.025%的罗丹明 B 荧光染料。取冷冻切片面团于载玻片,滴入 FITC 和罗丹明 B 荧光染液,静置 15 s 后蒸馏水脱色,盖上盖玻片。测试条件:物镜放大倍数 40×,目镜放大倍数 10×,FITC 和罗丹明 B 的激发波长分别为 488,543 nm,发射波长分别为 528,626 nm。

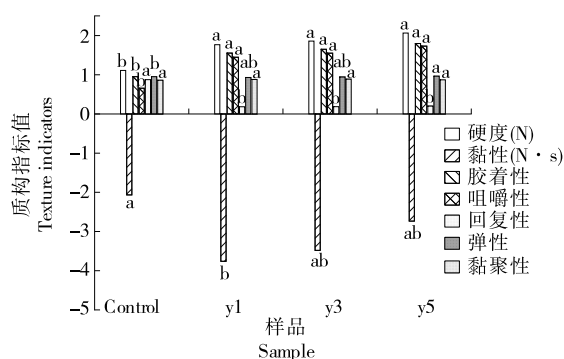
1.4 数据处理

试验结果表示为 3 次重复试验的平均值。采用 Origin 2021 软件对数据进行整理和绘制。运用 SPSS 16.0 软件进行方差分析,选取 Tukey 分析,在 $P < 0.05$ 检验水平上对数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 椰子粉对面团质构特性的影响

由图 1 可知,向小麦粉中添加椰子粉后,面团的全质构发生了明显变化,表现出硬度、黏度、胶着性和咀嚼性显著增大,而回复性显著降低,黏聚性无明显变化。说明椰子粉的添加影响了面团的质构特性,进而影响终端制品品质。具体地,椰子混合面团的硬度显著高于空白小麦面团,且随椰子粉添加量的增加而增加。而面团的黏附性虽在添加椰子粉后明显增加,但与其添加量呈负相关。椰子粉中含有粗脂肪 69%、蛋白质 8%、纤维素 18%,这些化学成分在面筋蛋白水合交联形成面筋网络结构时会发挥不同作用。研究表明,当面团中添加 1%以下的纤维素时,纤维素、蛋白、淀粉之间会形成弱作用^[9],而纤维素自身则由于吸水、保水形成刚性凝胶结构^[10]。由此推论,将椰子粉中纤维素按添加量以面粉为质量基准计算,分别为 0.18%,0.54%,0.90%,这些少量纤维素的加入,极可能形成了刚性凝胶结构,所以增强了面团的硬度^[11],由于纤维素、蛋白、淀粉分子之间作用较弱,加之纤维素还会起到空间位阻作用,会阻碍面筋蛋白之间的交联,进而阻碍面筋蛋白网络结构形成^[12],这或许是面团



同一指标上小写字母不同表示不同样品之间差异显著($P < 0.05$)

图 1 椰子粉对面团质构特性的影响

Figure 1 Effects of coconut flour on texture properties of dough

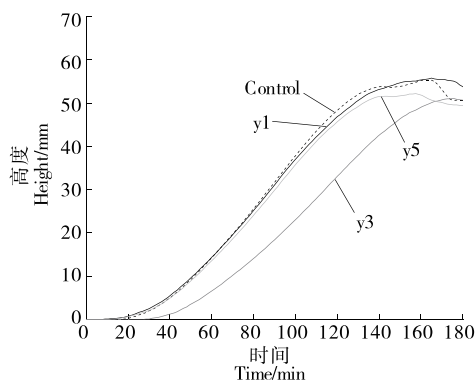
回复性降低和黏聚性无显著变化的主要原因^[13]。随着椰子粉添加量的增加,面团的胶着性和咀嚼性显著增加,但胶着性的 3 个添加梯度之间无显著差异。继而胶着性的增加间接导致了面团的回复性下降。胶着性的变化取决于硬度和黏聚性,由于椰子粉对面团黏聚性无显著影响,则混合面团的胶着性主要取决于硬度,因此出现与硬度一样的显著变化趋势。此外,椰子粉面团弹性呈波动状态,各面团的弹性值从大到小排序为 $y5 > \text{Control} > y3 > y1$ 。说明添加少量的椰子粉可以一定程度上降低面团的弹性,而当椰子粉添加量超过 3% 时,增加了面团的弹性。脂肪的加入,会在面团中发挥类似乳化剂的作用,这对于面团的弹性和黏性会有主要影响^[14]。全质构的黏性理解为食品的粘牙性口感,添加椰子粉后面团更加粘牙,这除了脂肪的乳化作用外,还会有椰子蛋白的疏水性和界面性质在发挥作用^[15-16]。

2.2 椰子粉对面团发酵流变学特性的影响

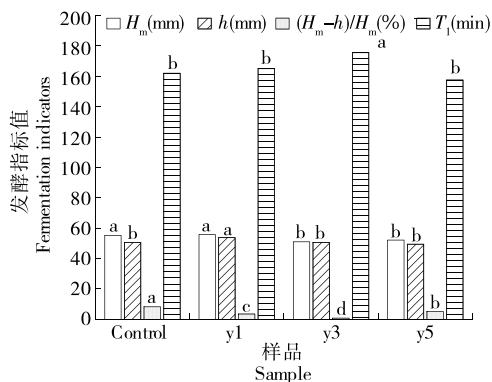
2.2.1 混合面团发酵情况 混合面团发酵曲线及指标结果如图 2 所示。总体上,添加 3% 椰子粉的面团与其他 3 组面团差异较大。当椰子粉添加量为 3% 时,面团的发

酵时间滞后,发酵达到最大高度所对应的时间(T_1)显著增加,即比空白面团和其他两组椰子粉面团明显滞后。相似地,添加 3% 的椰子粉面团的最高点 88% 高度的相对稳定时间(T'_2)也显著滞后。添加 3% 的椰子粉面团最大膨胀高度(H_m)显著降低,但与结束时高度几乎相当,所以发酵 3 h 高度降低对 T_1 高度的百分比 $[(H_m - h)/H_m]$ 值也最小,由此预测此面团制作的面包体积将会小于其他 3 种面团。说明 3% 椰子粉降低了面团的发酵质量,面团质地较为紧实,与其质构硬度、黏度、咀嚼性和黏聚性等指标的增加一致。这可能是由于椰子粉的添加干扰了面筋网络的形成,降低了酵母及其酶系与活性位点的接触^[17],从而导致酵母酵解作用开始时间滞后。添加 5% 椰子粉的面团和空白面团的发酵指标在统计学上无显著差异,说明添加 5% 的椰子粉对面团发酵无显著影响,但结合质构中最大的硬度、弹性、咀嚼性、胶着性和最小的黏性、黏聚性,再与添加 3% 椰子粉的面团对比,说明添加 5% 椰子粉的面团中椰子粉脂肪组分对面团发酵起了更大影响,因为脂肪的存在会降低面团的黏性和黏聚性^[18]。添加 1% 椰子粉的面团与空白面团相比,虽然 T_1 、 H_m 与空白面团无显著差异,但发酵 3 h 时的醒发高度(h)和 $(H_m - h)/H_m$ 显著低于空白面团。值得一提的是,所有面团在测试 3 h 内均未出现与第二个最高点 88% 高度的相对稳定时间(T_2),而且 H_m 均大于 50 mm,说明所有面团的发酵性良好。

2.2.2 混合面团发酵中气体释放情况 气体释放曲线及指标见图 3。添加 3% 椰子粉的面团与其他 3 组面团在气体释放方面存在较大差异,其气体释放曲线高度最低和释放的气体总量最少,且气体释放曲线的最大高度(H'_m)、持气稳定性(T_s)、保留体积(A_1)和二氧化碳损失体积(A_2)均显著低于其他 3 组,而达到气体释放曲线最大高度的时间(T'_1)和保留系数(R)显著高于其他 3 组,值得注意的是 T_s 值在测试结束仍未出现,这与发酵面团质量紧密相关,但具有较好的持气性(R' 值)和 T_s 。添加 1% 和 5% 椰子粉的面团,所有气体释放指标在 $P < 0.05$



(a) 发酵曲线



同一发酵指标上小写字母不同表示不同样品之间差异显著($P < 0.05$)

(b) 发酵指标

图 2 面团发酵曲线和指标

Figure 2 Fermentation curve and index

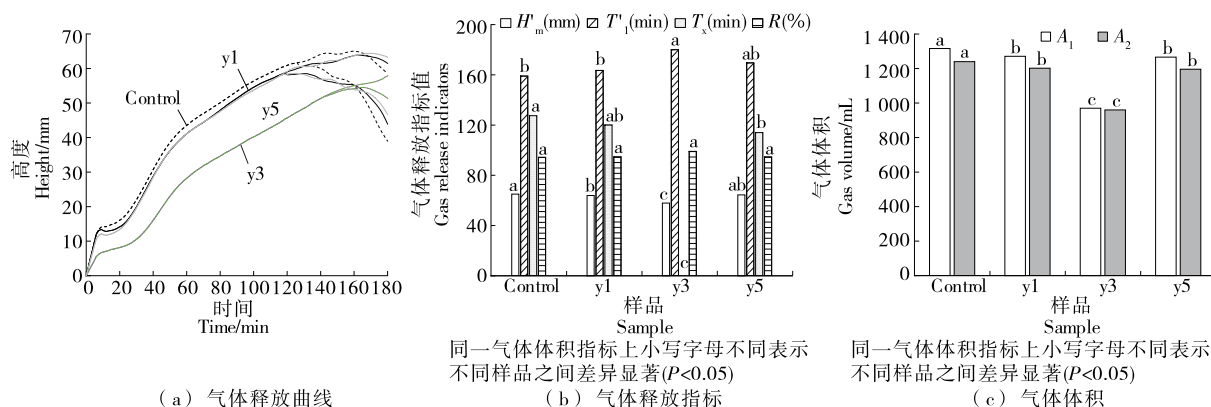


图3 气体释放曲线及保留和损失体积指标

Figure 3 Gas release curve and retention and retention volume index

水平上无显著性差异,其 H'_m 、 T_s 、 A_1 和 A_2 均显著低于空白面团,说明添加 1% 和 5% 的椰子粉显著影响了酵母的酵解产气能力,而 T'_1 和 R 与空白面团无显著性差异,结合发酵曲线指标,认为它们虽与空白面团具有相同的持气能力,但稳定持气的能力有所不足。

2.3 混合面团的微观结构

为了进一步从微观层次了解面筋微结构对面团品质和发酵特性的影响,采用激光共聚焦显微镜对椰子面团

微观结构进行观察。如图 4 所示,未添加椰子粉面团的面筋结构分支度高,分布均匀,整体结构致密而连续。而添加 1% 的椰子粉时,面团的面筋网络结构明显断裂,呈不规则的片状分布;添加 3% 的椰子粉时,面团的面筋网络结构变得更加稀疏;但添加 5% 的椰子粉时,面团的面筋断裂结构却得到明显的改善。该结果表明,低含量的椰子粉添加会破坏面筋网络结构,而高含量的椰子粉可以改善面筋断裂结构,增强面团整体的连续性。

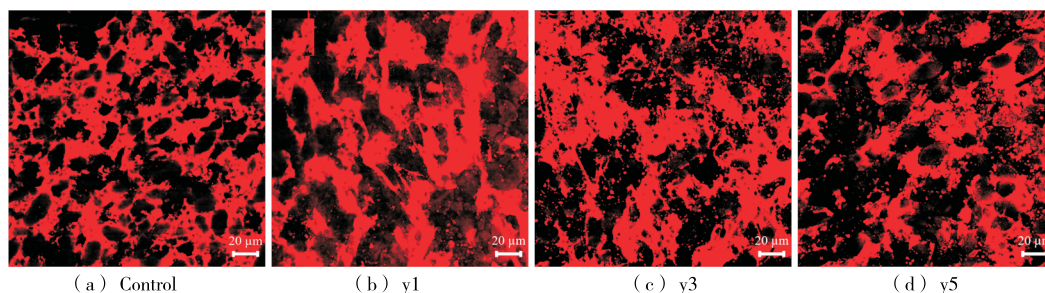


图4 面团的激光共聚焦显微镜图

Figure 4 The confocal scanning laser microscope of dough

3 结论

将椰子粉按 0%、1%、3% 和 5% 的添加量加入小麦粉中制成混合粉,研究了混合粉面团的质构特性和发酵流变学特性。结果发现,添加椰子粉后小麦面团的硬度、咀嚼性、胶着性均随椰子粉添加量的增加而显著增加,黏度和黏聚性随添加量变化不一。发酵过程中,椰子粉混合面团的发酵稳定性下降,表现出添加 3% 的椰子粉会降低面团的发酵体积和产气量,添加 1% 和 5% 的椰子粉虽对发酵体积无显著影响,但 1% 的椰子粉显著降低了发酵结束时面团的高度,而 5% 的椰子粉显著降低了面团持气稳定性。加入 1% 的椰子粉时,面团的面筋网络结构明显断裂,进一步添加椰子粉(3%)时,面团的面筋网络结构逐渐变得稀疏。而当椰子粉添加量增加至 5% 时,面筋断裂结构却得到明显改善。由此可见,低含量的椰子粉破

坏了面筋网络结构,而高含量的椰子粉可以改善面筋网络结构,增强面团的连续性。因此,使用添加椰子粉的混合粉制作面包、馒头等发酵面制品时,需选取椰子粉最佳添加量以获得最佳发酵效果。由于面团发酵是个较复杂的过程,受到很多因素影响,欲清晰阐释椰子粉影响面团发酵的本质,还有待于更深入的研究。

参考文献

- [1] 李光辉, FEILIANA T, 陈佳子, 等. 原生态椰子油不同提取方法下理化特性比较研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(8): 1-5.
LI G H, FEILIANA T, CHEN J Z, et al. Comparative study on physical and chemical properties of raw coconut oil under different extraction methods[J]. China Oils and Fats, 2017, 42(8): 1-5.
- [2] MANIVANNAN A, BHARDWAJ R, PADMANABHAN S, et al. Biochemical and nutritional characterization of coconut (Cocos

- nucifera L.) haustorium[J]. Food Chemistry, 2018, 238: 153-159.
- [3] 卢丽兰, 刘蕊, 肖勇, 等. 椰子种质资源、栽培与利用研究进展[J]. 热带作物学报, 2021, 42(6): 1 795-1 803.
- LU L L, LIU R, XIAO Y, et al. Research progress on coconut germplasm resources, cultivation and utilization [J]. Journal of Tropical Crops, 2021, 42(6): 1 795-1 803.
- [4] 宋彦博. 椰蓉膳食纤维的制备与功能特性评价及其在面包中的应用[D]. 海口: 海南大学, 2017: 1-2.
- SONG Y B. Preparation and functional properties evaluation of coconut pulp dietary fiber and its application in bread[D]. Haikou: Hainan University, 2017: 1-2.
- [5] 沈晓君, 李瑞, 邓福明, 等. 初榨椰子油在烘焙食品中的应用[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 147-149.
- SHEN X J, LI R, DENG F M, et al. Application of virgin coconut oil in baking goods[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(8): 147-149.
- [6] 张玉峰, 宋彦博, 王静, 等. 椰蓉膳食纤维对面包品质的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(12): 84-88.
- ZHANG Y F, SONG Y B, WANG J, et al. Effect of coconut pulp dietary fiber on bread quality[J]. The Food Industry, 2018, 39(12): 84-88.
- [7] 刘艳玲, 田纪春, 韩祥铭, 等. 面团流变学特性分析方法比较及与烘烤品质的通径分析[J]. 中国农业科学, 2005, 38(1): 45-51.
- LIU Y L, TIAN J C, HAN X M, et al. Comparison of dough rheological properties analysis methods and path analysis of baking quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(1): 45-51.
- [8] YU L W, GUO L, LIU Y C, et al. Novel parameters characterizing size distribution of A and B starch granules in the gluten network: Effects on dough stability in bread wheat[J]. Carbohydr Polym, 2021, 257: 117623.
- [9] LIU D, SONG S, TAO L, et al. Effects of common buckwheat bran on wheat dough properties and noodle quality compared with common buckwheat hull [J]. LWT-Food Sci Technol, 2022, 155: 112971.
- [10] WANG C C, YANG Z, XING J J, et al. Effects of insoluble dietary fiber and ferulic acid on the rheological properties of dough[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 121: 107008.
- [11] ZHOU Y, DHITAL S, ZHAO C, et al. Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 111: 106203.
- [12] HU X, CHENG L, HONG Y, et al. Impact of celluloses and pectins restrictions on gluten development and water distribution in potato-wheat flour dough[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 206: 534-542.
- [13] 张龔, 陈志成, 龚号迪. 青稞复配体系与馒头品质研究[J]. 中国食品学报, 2022, 22(1): 135-143.
- ZHANG Y, CHEN Z C, GONG H D. Research on highland barley compound system and steamed bread quality[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(1): 135-143.
- [14] 马启昱, 刘忠义, 付满, 等. 油脂对面团特性及面制品品质影响研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(10): 235-240.
- MA Q Y, LIU Z Y, FU M, et al. Research progress on the influence of oil and fat on dough properties and quality of flour products[J]. Food & Machinery, 2021, 37(10): 235-240.
- [15] 崔岩岩, 庞丽珍, 郭毓昕, 等. 不同脱脂方法对椰子分离蛋白结构与理化性质影响研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(7): 57-65.
- CUI Y Y, PANG L Z, GUO Y X, et al. Effects of different degreasing methods on the structure and physicochemical properties of coconut protein isolate[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(7): 57-65.
- [16] 陈朴森. 椰子蛋白与甜菜果胶、壳聚糖相互作用对其乳液稳定性影响的研究[D]. 海口: 海南大学, 2019: 3-4.
- CHEN P S. Effects of the interaction of coconut protein with sugar beet pectin and chitosan on the stability of emulsions[D]. Haikou: Hainan University, 2019: 3-4.
- [17] 刘宁. 麦麸膳食纤维对馒头发酵过程中蛋白特性及其品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020: 16-24.
- LIU N. Effects of wheat bran dietary fiber on protein characteristics and quality of steamed bread during fermentation [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020: 16-24.
- [18] SUDHA M L, SRIVASTAVA A K, VETRIMANI R, et al. Fat replacement in soft dough biscuits: its implications on dough rheology and biscuit quality[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(3): 922-930.
- [19] ROMERO A, PEREZ-PUYANA V, MARCHAL P, et al. Emulsification process controlled by a mixer type rheometer in O/W protein-based emulsions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 76: 26-32.
- [20] 付博菲, 杜方岭, 徐同成, 等. 谷朊粉应用概述[J]. 粮食与饲料工业, 2013, 12(10): 25-27.
- FU B F, DU F L, XU T C, et al. Application overview of wheat gluten[J]. Cereal & Feed Industry, 2013, 12(10): 25-27.
- [21] 刘丽莉, 代晓凝, 杨晓盼, 等. 喷雾冷冻干燥对鸡蛋清蛋白结构和特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 30-35, 41.
- LIU L L, DAI X N, YANG X P, et al. Effect of spray freeze drying on the structure and properties of egg white protein[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 30-35, 41.
- [22] 李媛媛, 刘丽莉, 杨晓盼, 等. 超声功率对鸡蛋清蛋白聚集行为的影响[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2021, 42(4): 83-90, 96.
- LI Y Y, LIU L L, YANG X P, et al. Effect of ultrasound power on the protein aggregation behavior of egg white[J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science), 2021, 42(4): 83-90, 96.
- [23] 谭文, 张钦俊, 万鹏宇, 等. 球磨处理对鸡蛋清蛋白结构、性质及起泡性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(11): 124-129.
- TAN W, ZHANG Q J, WAN P Y, et al. Effect of ball-milling treatment on protein structure and physicochemical and foaming properties of egg white[J]. Food Science, 2021, 42(11): 124-129.

(上接第 13 页)