

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.03.005

芋头生浆对面团加工特性及馒头品质的影响

李月明, 徐美, 韩风, 张信, 闫闯硕, 李宏军*

(山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255000)

摘要: 将芋头生浆按照一定比例(0%~40%)添加到小麦粉中, 研究芋头生浆对面团的加工特性和馒头品质的影响。当芋头生浆添加量从0%增加到20%时, 面团的加工特性及馒头品质与传统馒头(芋头生浆添加量为0%)相比略有下降, 但馒头表面光滑, 馒头瓤空隙小而均匀, 风味独特, 总酚含量从0.49 mg GAE/g DW显著增加至0.63 mg GAE/g DW, DPPH自由基清除率从75.31%提高到82.31%。当芋头生浆添加量>20%时, 馒头的抗氧化活性进一步增强, 但面团的加工特性受到的影响明显, 造成馒头比容、弹性和黏聚性的下降, 以及硬度和咀嚼度的升高。综上, 20%芋头生浆的加入在提高馒头抗氧化活性的同时, 不会明显影响馒头的物理品质。

关键词: 芋头生浆; 发酵面团; 加工特性; 馒头品质; 抗氧化能力

Effects of Taro Pulp on Dough Processing Characteristics and Steamed Bread Quality

LI Yueming, XU Mei, HAN Feng, ZHANG Xin, YAN Chuangshuo, LI Hongjun*

(College of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255000, Shandong, China)

Abstract: In this study, taro pulp was added to wheat flour at a certain rate (0%-40%) to investigate the effects of taro pulp on dough processing characteristics and steamed bread quality. When the amount of taro pulp added from 0% to 20%, dough processing characteristics and steamed bread quality decreased slightly compared with the traditional steamed bread (the amount of taro pulp added at 0%). However, the steamed bread had smooth surfaces, and small and uniform pores in the structure of the steamed bread with unique flavor. Besides, the total phenol content of steamed bread with taro pulp significantly increased from 0.49 mg GAE/g DW to 0.63 mg GAE/g DW, increasing the DPPH free radical scavenging rate from 75.31% to 82.31%. When the amount of taro pulp added was more than 20%, steamed bread's antioxidant capacity was further enhanced, but dough processing characteristics were significantly affected, resulting in a decrease in specific volume, elasticity, and cohesion of steamed bread, as well as the increase of hardness and chewiness. In conclusion, the amount of taro pulp added at 20% could improve steamed bread's antioxidant capacity without significantly affecting its physical quality.

Key words: taro pulp; fermented dough; processing characteristics; steamed bread quality; antioxidant capacity

引文格式:

李月明, 徐美, 韩风, 等. 芋头生浆对面团加工特性及馒头品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(3): 31-37.

LI Yueming, XU Mei, HAN Feng, et al. Effects of Taro Pulp on Dough Processing Characteristics and Steamed Bread Quality[J]. Food Research and Development, 2025, 46(3): 31-37.

馒头是中国居民日常饮食中常见且重要的一部分^[1]。目前, 以精制面粉为主要原料的传统小麦馒头,

基金项目: 山东省重点研发计划(乡村振兴科技创新提振行动计划)项目(2023TZXD004)

作者简介: 李月明(2000—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 农产品高值化。

*通信作者: 李宏军(1968—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 农产品高值化加工技术与设备。

已经逐渐不能满足人们对于营养均衡的需求,故通过对馒头的原料或加工工艺进行改进和优化来提高馒头的品质,成为新的研究方向^[2-3]。

芋头又称芋巧、芋芳、毛芋、芋魁等,是天南星科芋属植物的地下块茎,原产印度并广泛种植于我国的珠江流域、长江流域、淮河流域及台湾省^[4]。芋头因口感细腻,高纤低脂、富含维生素、矿物质及人体必需氨基酸,且具有特殊芋头风味而广受好评^[5]。将芋头生浆添加到小麦粉中不仅可以提高传统小麦粉馒头的营养价值,赋予馒头新的风味,还可以丰富芋头的产品种类。

与芋头粉或芋泥相比,在小麦粉中添加芋头生浆可以实现芋头成分的全利用,降低了工艺要求和加工成本,减轻环境污染、降低能耗^[6-7]。但由于芋头中不含有面筋蛋白,过量添加芋头生浆可能会稀释面团中的面筋蛋白含量,影响面团的发酵,从而造成馒头比容降低、硬度增大,口感变差^[7]。因此,本文以芋头生浆和小麦粉为主要原料,研究芋头生浆添加量对面团加工特性和馒头品质的影响,以期芋头生浆在馒头中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦粉(淀粉73.1%,水分11.75%,蛋白质12.80%):淄博市云海面粉厂;高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;荔浦芋头:市售;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH, 96%)、没食子酸(99%):上海麦克林生化科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

BRF-18C 醒发箱:广州展卓商用设备制造有限公司;XZ-3 破壁料理机:中山市欣泽电器有限公司;JMLD150 电子面团拉伸仪:上海舜宇恒平科学仪器有限公司;TA.XT.plus 型质构仪:英国 Stable Micro Systems 公司;KNX2110 动态流变仪:英国马尔文仪器有限公司;UV-2102PCS 型紫外可见分光光度计:尤尼柯(上海)仪器有限公司;Emspira 3 型立体显微镜:德国徕卡显微系统公司;CM-3600A 分光测色计:柯尼卡美能达控股公司;Y380008 自动粉质仪:土耳其 YUCE-BAS 公司。

1.3 试验方法

芋头生浆的制作:将芋头洗净、去皮、切块后,将芋头碎块和水以 10:3 的质量比混合,放入破壁料理机中打浆 3 min。获得的芋头生浆的淀粉、蛋白质和水分含量分别为 13.61%、1.25% 和 82.25%。

芋头馒头的制作:小麦粉与芋头生浆的总质量为 300 g,芋头生浆的添加量依次为总质量的 10%、20%、30%、40%,酵母添加量 1%(占面团总质量),分别加入 156、120、96、78 mL 的水(根据自动粉质仪确定的吸水

率)混合揉制 3 min 形成面团。将面团置于 32 ℃、相对湿度 80% 的醒发箱中发酵 1 h,通过 10 次压面、分割、整形等步骤制备 100 g 馒头胚,在相同条件下继续醒发 20 min,蒸制 20 min。熟制后的馒头需冷却 1 h 后测定指标,且将芋头生浆添加量为 0% 的面团和馒头作为对照组。

1.3.1 面团粉质特性测定

根据 GB/T 14614—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》,利用自动粉质仪探究 10%~40% 芋头生浆添加量对面团形成特性的影响,记录吸水率、面团形成时间、面团稳定时间和弱化度,并通过吸水率确定揉制不同芋头生浆添加量面团所需的水分^[8]。

1.3.2 面团动态流变学特性测定

利用动态流变仪来分析不同芋头生浆添加量混合面团的基本流变学特性。在测试频率扫描前,将 5 g 未发酵面团静置 15 min 后放置于平板,修剪掉多余部分并涂抹矿物油防止蒸发。间隙和应变幅度分别设置为 2 mm 和 0.1%,扫描频率范围为 0.1~10 Hz,所有试验均在 25 ℃下重复测定 3 次,以记录弹性模量(G')和黏性模量(G'')^[9]。

1.3.3 面团的拉伸特性测定

根据 GB/T 14615—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法》,使用电子面团拉伸仪测定面团的拉伸特性。将发酵 1 h 后的面团在模具中压制,并测定所得面团条的抗延伸阻力和延伸性。试验前速度、试验速度、试验后速度分别设置为 2.0、3.3、10.0 mm/s,距离和触发力分别设定为 75.0 mm 和 5.0 g^[10]。

1.3.4 馒头的比容测定

根据 GB/T 21118—2007《小麦粉馒头》中的方法测定冷却 1 h 后芋头生浆馒头的体积和质量。体积测定使用小米体积置换法,质量测定精确到 0.01 g,根据公式(1)计算馒头比容,每组样品进行 3 次重复试验。

$$\lambda = \frac{V}{m} \quad (1)$$

式中: λ 为馒头比容, mL/g; V 为馒头体积, mL; m 为馒头质量, g。

1.3.5 馒头的质构特性测定

使用配备 5 kg 测力传感器的质构仪测定馒头瓤的硬度、弹性和咀嚼性等质构参数。从冷却后的馒头上切下 2 cm 厚的切片,仪器的测量参数:探头类型为 P/36R;测量模式为全质构分析(texture profile analysis, TPA);测前速度、测中速度、测后速度均为 1.0 mm/s;压缩比为 50%;两次压缩间隔时间为 5 s;感应力为 5.0 g;每组样品进行 3 次重复试验^[11]。

1.3.6 馒头的色泽测定

馒头皮和馒头瓤的色泽使用分光测色计分别在

5个不同的位置进行测量,测量色泽参数为 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值,每组样品进行3次重复试验,并根据公式(2)计算总色差 ΔE 。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (2)$$

式中: L_0 为对照组样品的亮度值; a_0 为对照组样品的红绿色度值; b_0 为对照组样品的黄蓝色度值; L^* 为试验组样品的亮度值; a^* 为试验组样品的红绿色度值; b^* 为试验组样品的黄蓝色度值。

1.3.7 馒头的表观及内部微观结构观察

在相同条件下,拍摄冷却1h后馒头的表观和切面图片,使用立体显微镜放大47倍观察馒头切面的内部微观结构。

1.3.8 馒头总酚含量和抗氧化特性的测定

1.3.8.1 多酚提取液的制备

采用Fu等^[12]的提取方法并稍作修改,称取1g冻干馒头粉样品,溶解于10mL 80%乙醇溶液,摇匀后,在37℃下恒温水浴2h,4500 r/min离心15 min。

1.3.8.2 总酚含量的测定

以没食子酸为标准,计算得出没食子酸标准曲线 $y=0.0046x+0.0181$,通过福林酚比色法测定样品中的总酚含量,结果以没食子酸当量(mg GAE/g DW)计算^[13]。

1.3.8.3 抗氧化活性的测定

根据Jeng等^[14]的方法,通过测定馒头提取液的DPPH自由基清除能力来作为衡量抗氧化活性的标准。将样品提取液、无水乙醇、DPPH无水乙醇溶液(0.04 mg/mL)在室温下混合反应30 min,测量517 nm处的吸光度。根据公式(3)计算DPPH自由基清除能力($R, \%$)。

$$R = \left(1 - \frac{A_2 - A_1}{A_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

式中: A_0 为2 mL DPPH溶液+2 mL溶剂的吸光度; A_1 为2 mL无水乙醇+2 mL样品提取液的吸光度; A_2 为2 mL DPPH溶液+2 mL样品提取液的吸光度。

1.4 数据处理

试验数据统计处理采用SPSS 26.0,利用最小显著性差异(least-significant difference, LSD)法和邓肯多重范围检验进行显著性分析,显著性差异水平为 $P < 0.05$,使用Origin 2022软件绘图。

2 结果与分析

2.1 芋头生浆添加量对混合面团粉质特性的影响

芋头生浆添加量对面团粉质特性的影响见表1。

由表1可知,随着芋头生浆添加量的增加,面团的吸水率、形成时间和稳定时间呈下降趋势,而弱化度则逐渐升高。吸水率是指混合面团弱化度到达500 FU时所需要的水分,芋头生浆的添加会使面团中面筋蛋白的含量下降,而面筋蛋白中又有很多亲水基团,导致

表1 芋头生浆添加量对面团粉质特性的影响

Table 1 Effects of taro pulp on dough's farinograph characteristics

芋头生浆添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FU
0	58.17±0.32 ^a	2.40±0.09 ^a	4.13±0.05 ^a	100.00±7.00 ^d
10	51.97±0.50 ^b	2.27±0.05 ^{ab}	3.90±0.29 ^{ab}	112.33±10.26 ^{cd}
20	40.33±0.86 ^c	2.10±0.04 ^b	3.70±0.01 ^b	120.33±3.79 ^c
30	32.47±0.57 ^d	1.36±0.02 ^c	2.70±0.27 ^c	152.67±5.03 ^b
40	25.87±0.15 ^e	0.88±0.30 ^d	2.23±0.04 ^d	168.67±3.51 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

面团结水的能力减弱,吸水率下降。面团的形成时间和稳定时间与面团中面筋蛋白的含量和强度成正比,分别反映了面团的强度和韧性^[15]。弱化度反映了面团的耐机械搅拌程度,弱化度越大,面筋品质越弱,面团操作性能越差^[16]。当芋头生浆添加量大于20%时,面团粉质特性变化显著($P < 0.05$)。这主要是因为高添加量的芋头生浆稀释了面团中面筋蛋白的含量,使面团的强度、韧性下降,影响面团的加工性能。

2.2 芋头生浆对面团动态流变学特性的影响

面团的流变学特性通过分析面筋网络品质中的黏弹性行为,来衡量面团发酵品质和产品品质。在0.1~10 Hz范围内,不同芋头生浆添加量面团的弹性模量(G')和黏性模量(G'')如图1所示。

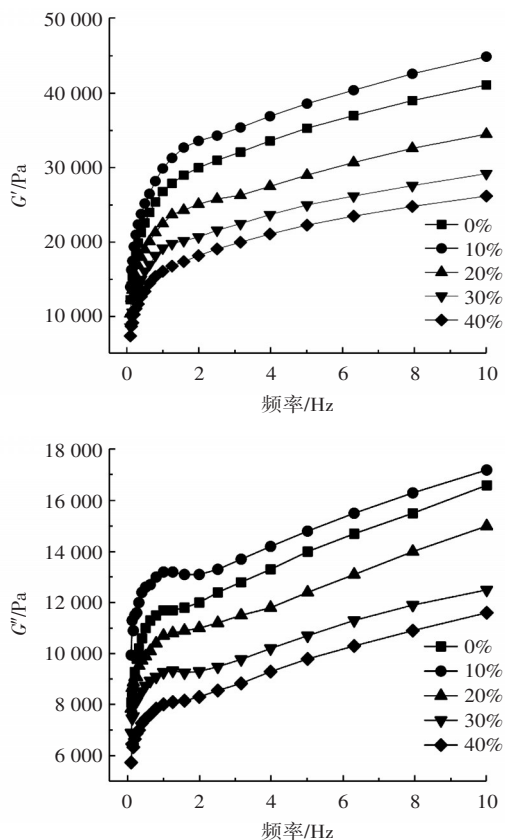


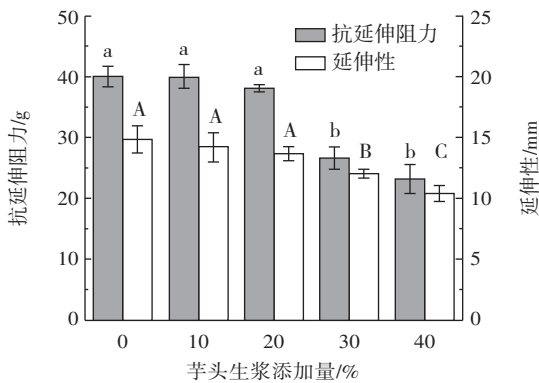
图1 芋头生浆添加量对面团流变学特性的影响

Fig.1 Effects of taro pulp on dough's rheological properties

由图1可知,在整个频率范围内,所有样品的 G' 值和 G'' 值均随着频率的增加而增加,且 G' 值始终大于 G'' 值,这表明在面团中弹性模量占据主导,具有弱凝胶体系的动态流变学特征^[17]。当芋头生浆添加量为10%时,面团的 G' 值和 G'' 值均高于其他样品,这可能是由于芋头生浆中适量的纤维与面筋蛋白通过氢键交联形成更稳定的三维网络结构,使 G' 值和 G'' 值有所增加^[18]。当芋头生浆添加量 $\geq 20\%$ 时,随着芋头生浆添加量的增加,样品的 G' 值和 G'' 值下降,说明过量的芋头生浆会降低面团的黏弹性,影响面团的发酵品质。这可能是因为添加过量的芋头生浆会稀释面团中的面筋蛋白含量,使面团不能形成完整连续的面筋网络^[19]。

2.3 芋头生浆对面团拉伸特性的影响

芋头生浆对面团拉伸特性的影响如图2所示。



同一指标不同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图2 芋头生浆添加量对面团拉伸特性的影响

Fig.2 Effects of taro pulp on dough's extension properties

延伸性是指从开始拉伸到面团断裂的张力曲线总长度,抗延伸阻力指面团在50 mm拉伸后对恒定形变的抵抗力^[8]。由图2可知,面团抗延伸阻力和延伸性随着芋头生浆添加量的增加而降低,抗延伸阻力从39.96 g降低至23.17 g,延伸性从14.83 mm下降至10.38 mm。当芋头生浆添加量 $\leq 20\%$ 时,面团的延伸性和抗延伸阻力没有显著性差异($P > 0.05$),表明少量的芋头生浆添加对面团拉伸特性的影响较小;当芋头生浆添加量 $> 20\%$ 时,面团的抗延伸阻力和延伸性显著降低($P < 0.05$),这可能是因为高添加量的芋头生浆稀释了面团中面筋蛋白的含量,破坏了面团的网络结构,同时芋头生浆中过量的膳食纤维也会与面筋蛋白交联,降低面团的稳定性,影响面团的拉伸特性^[20-21]。

2.4 芋头生浆添加量对馒头比容和质构特性的影响

表2为芋头生浆添加量对馒头比容和质构特性的影响。

由表2可知,当芋头生浆添加量 $\leq 20\%$ 时,馒头的比容没有显著性差异($P > 0.05$)。芋头生浆添加量 $> 20\%$,馒头的比容显著降低($P < 0.05$),这可能是因为高

表2 芋头生浆添加量对馒头比容和质构特性的影响

Table 2 Effects of taro pulp on steamed bread's specific volume and texture properties

芋头生浆添加量/%	比容/(mL/g)	质构特性			
		硬度/g	弹性/mm	黏聚性	咀嚼度/(g·mm)
0	2.98 ± 0.05 ^a	1595.72 ± 90.30 ^{cd}	0.96 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.00 ^a	1094.94 ± 63.19 ^d
10	2.97 ± 0.05 ^{ab}	1648.39 ± 73.79 ^{cd}	0.95 ± 0.01 ^a	0.83 ± 0.01 ^{ab}	1162.61 ± 34.55 ^{cd}
20	2.85 ± 0.03 ^{ab}	1823.12 ± 8.60 ^c	0.94 ± 0.04 ^{ab}	0.82 ± 0.01 ^b	1221.61 ± 50.71 ^c
30	2.55 ± 0.15 ^c	1940.82 ± 32.07 ^b	0.90 ± 0.01 ^c	0.81 ± 0.00 ^{bc}	1440.53 ± 85.03 ^b
40	2.48 ± 0.07 ^c	2044.83 ± 36.98 ^a	0.89 ± 0.01 ^d	0.80 ± 0.01 ^{bc}	1563.34 ± 24.44 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

添加量的芋头生浆,降低了面筋含量,削弱了面筋网络结构,导致面团的持气性下降,馒头比容降低^[22]。

质构特性是评定馒头品质的标准之一,当芋头生浆添加量 $\leq 20\%$ 时,馒头的硬度和弹性无显著性差异($P > 0.05$);当芋头生浆添加量 $> 20\%$ 时,硬度、咀嚼度和弹性均出现显著性变化($P < 0.05$)。这是因为芋头生浆中不含有面筋蛋白,芋头生浆的加入起到了稀释作用,使面团的面筋网络结构被破坏,从而影响了馒头的质构特性,使硬度、咀嚼度升高,弹性和黏聚性下降^[23];另一方面芋头生浆中的膳食纤维会通过氢键与面筋蛋白交联,阻碍面筋蛋白网络的形成,进而导致馒头的硬度和咀嚼度增加^[24]。综上,芋头生浆的添加会导致馒头比容、弹性和黏聚性的降低,以及硬度和咀嚼度的升高的降低,但当芋头生浆添加量 $\leq 20\%$ 时,与芋头生浆添加量为0%相比,馒头的比容、硬度和弹性没有显著性差异,馒头品质的下降尚在可接受范围内。

2.5 芋头生浆添加量对馒头色泽的影响

色泽也是衡量馒头品质的重要指标。表3显示了芋头生浆对馒头皮和馒头瓤颜色的亮度值(L^* 值)、红绿色度值(a^* 值)、黄蓝色度值(b^* 值)以及总色差(ΔE)的影响。

表3 芋头生浆添加量对馒头色泽的影响

Table 3 Effects of taro pulp on steamed bread's color difference

样品	芋头生浆添加量/%	L^* 值	a^* 值	b^* 值	ΔE
馒头皮	0	85.23 ± 0.18 ^a	-0.27 ± 0.03 ^c	17.74 ± 0.32 ^a	
	10	84.72 ± 0.27 ^a	0.26 ± 0.02 ^d	16.24 ± 0.32 ^b	1.71 ± 0.35 ^d
	20	81.74 ± 0.47 ^b	0.77 ± 0.02 ^c	15.95 ± 0.14 ^{bc}	4.08 ± 0.38 ^c

续表3 芋头生浆添加量对馒头色泽的影响
Continue table 3 Effects of taro pulp on steamed bread's color difference

样品	芋头生浆添加量/%	L*值	a*值	b*值	ΔE
馒头皮	30	79.46±0.38 ^c	1.29±0.02 ^b	15.89±0.21 ^{bc}	6.27±0.33 ^b
		76.54±0.11 ^d	2.47±0.05 ^a	15.69±0.40 ^e	9.32±0.15 ^a
馒头瓤	0	81.95±1.10 ^a	-0.41±0.01 ^e	15.24±0.49 ^b	
	10	80.73±0.88 ^a	0.27±0.02 ^d	15.42±0.48 ^a	1.81±0.78 ^d
	20	77.64±0.80 ^b	0.79±0.01 ^e	14.91±0.40 ^e	4.54±1.17 ^c
	30	74.68±0.69 ^c	1.62±0.04 ^b	15.45±0.47 ^a	7.58±1.13 ^b
	40	70.69±0.21 ^d	2.69±0.05 ^a	14.90±0.27 ^e	11.70±0.97 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

由表3可知,随着芋头生浆添加量的增加,馒头皮和馒头瓤的L*值呈现降低的趋势,而a*值和ΔE则逐渐升高。当芋头生浆添加量≤20%时,馒头皮和馒头瓤的 $1 < \Delta E < 5$,表明与芋头生浆的添加使馒头颜色的变化程度逐渐增大^[25]。当芋头生浆添加量>20%时,ΔE>6,表明馒头的色泽差异进一步增大,主要体现在亮度下降,颜色偏暗黄色,这可能是由于芋头生浆中的酚类化合物在加工过程中发生褐变反应,以及芋头生浆本身的颜色,导致了馒头颜色的改变^[26]。

2.6 馒头的表现及内部微观结构

芋头生浆添加量对馒头表现及微观的影响如图3所示。

由图3可知,随着芋头生浆添加量的增加,馒头的体积逐渐减小,且馒头皮和馒头瓤的亮度呈现下降趋势,颜色偏暗黄色,粗糙程度有所增加。当芋头生浆添加量≤20%时,馒头的体积及颜色变化在可接受范围内,上述结论均符合比容和色差的数据测量结果。

面团发酵产气以及馒头蒸制过程中形成的孔隙,

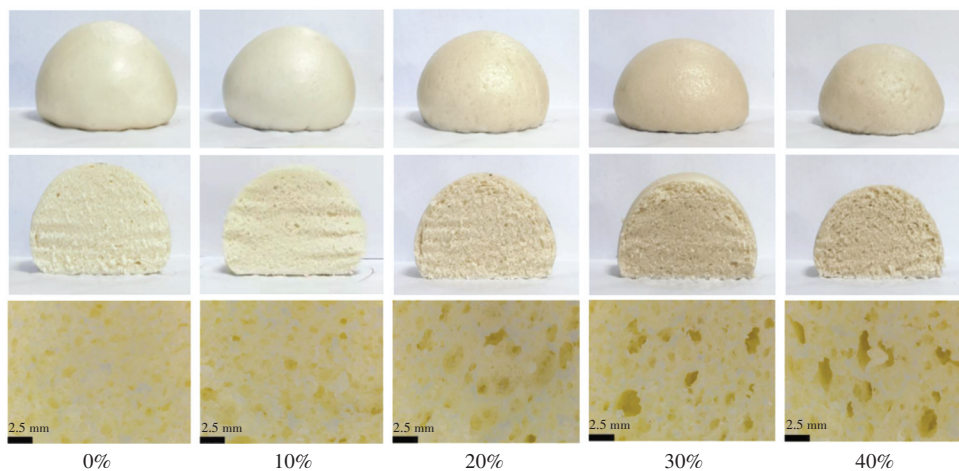


图3 芋头生浆添加量对馒头表现和微观的影响

Fig.3 Effects of taro pulp on steamed bread's appearance and microstructure

构成了馒头的内部微观结构,质量好的馒头,孔隙小且分布均匀,具有良好的孔隙率^[27]。从图3可以观察到,随着芋头生浆添加量的增加,馒头的平均孔径变大,孔密度降低。当芋头生浆添加量>20%时,馒头内部微观结构开始出现大尺寸孔洞。这是由于高添加量的芋头生浆稀释了面团中的面筋蛋白含量,破坏了面筋网络结构,降低了面团的持气性,使馒头在发酵过程中不能形成均匀的空隙结构^[28]。

2.7 芋头生浆添加量对馒头抗氧化活性的影响

食品营养价值的衡量标准中包括活性成分含量,表4为不同芋头生浆添加量馒头的总酚含量和抗氧化性能。

由表4可知,随芋头生浆添加量的增加,馒头中的总酚含量和DPPH自由基清除率显著提高($P < 0.05$),

表4 芋头生浆添加量对馒头总酚含量及抗氧化活性的影响

Table 4 Effects of taro pulp on steamed bread's total phenol content and antioxidant capacity

芋头生浆添加量/%	总酚含量/(mg GAE/g DW)	DPPH 自由基清除率/%
0	0.49±0.01 ^e	75.31±0.06 ^e
10	0.55±0.02 ^d	76.83±0.04 ^d
20	0.63±0.01 ^c	82.31±0.05 ^c
30	0.68±0.00 ^b	84.01±0.04 ^b
40	0.74±0.03 ^a	88.98±0.09 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

总酚含量从 0.49 mg GAE/g DW 增加至 0.74 mg GAE/g DW,提高 51.02%,DPPH 自由基清除率从 75.31% 提

高到 88.98%。芋头中本身含有丰富的抗氧化成分,如酚类、多糖等物质^[29-30],这能增强芋头生浆馒头的抗氧化能力,提高馒头的品质。

3 结论

综上,向馒头中添加芋头生浆会影响面团的流变特性和拉伸特性以及馒头比容、质构、色泽和抗氧化活性。当芋头生浆添加量从 0% 增加到 20% 时,面团的抗延伸阻力、延伸性变化较小,馒头的比容、硬度和弹性无显著差异,且总酚含量从 0.49 mg GAE/g DW 增加至 0.63 mg GAE/g DW, DPPH 自由基清除率从 75.31% 提高到 82.31%;当芋头生浆添加量>20% 时,芋头生浆的添加会稀释面团中的面筋含量,破坏面筋网络结构,阻碍发酵面团的膨胀和延伸,影响馒头品质。综上所述,20% 的芋头生浆添加量可以在提高馒头抗氧化活性的同时,赋予馒头新风味,且馒头品质在可接受范围内。

参考文献:

- [1] 王鑫宇,韩艳芳,李沿,等.小麦粉中的主要成分对馒头品质影响的研究进展[J].粮油食品科技,2021,29(2):152-157.
WANG Xinyu, HAN Yanfang, LI Yan, et al. Research progress on the effects of main components in flour on the quality of steamed bread[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2): 152-157.
- [2] 陈丽娜,汪必快,夏萍,等.菠萝果皮粉的添加对馒头品质的影响[J].现代食品,2023,29(7):211-215.
CHEN Lina, WANG Bikuai, XIA Ping, et al. Effect of pineapple peel powder on the quality of steamed bread[J]. Modern Food, 2023, 29(7): 211-215.
- [3] 饶颖,冯小平,郑静,等.南瓜全麦馒头配方优化与营养特性分析[J].食品工业科技,2024,45(11):167-174.
RAO Ying, FENG Xiaoping, ZHENG Jing, et al. Formula optimization and nutritional characteristics analysis of pumpkin whole wheat steamed bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(11): 167-174.
- [4] 向华,吴曼,胡志山,等.世界芋头生产布局与贸易格局分析[J].世界农业,2018(10):144-150.
XIANG Hua, WU Man, HU Zhishan, et al. Analysis of world taro production layout and trade pattern[J]. World Agriculture, 2018 (10): 144-150.
- [5] 韩笑,张东旭,王磊,等.芋头的营养成分及加工利用研究进展[J].中国果菜,2018,38(3):9-13.
HAN Xiao, ZHANG Dongxu, WANG Lei, et al. Research progress on the nutrition components and processing and utilization of taro[J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(3): 9-13.
- [6] 邓春丽,商飞飞,韦里霖,等.香芋面条的制备及其品质影响研究[J].食品科技,2020,45(6):198-203.
DENG Chunli, SHANG Feifei, WEI Lilin, et al. Preparation and quality of taro noodles[J]. Food Science and Technology, 2020, 45 (6): 198-203.
- [7] 李刚凤,吴素华,廖雪媛,等.芋头馒头的研制[J].食品科技,2017,42(9):145-148.
LI Gangfeng, WU Suhua, LIAO Xueyuan, et al. Preparation on the steamed bread with taro[J]. Food Science and Technology, 2017, 42 (9): 145-148.
- [8] CAO Y F, ZHANG M, DONG S, et al. Impact of potato pulp on the processing characteristics and gluten structures of wheat flour dough[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(6): 1-8.
- [9] 陆红梅,王秋玉,袁梦,等.不同酵母对藜麦馒头面团特性及品质的影响[J].中国食品添加剂,2023,34(11):126-131.
LU Hongmei, WANG Qiuyu, YUAN Meng, et al. Effects of different yeasts on characteristics and quality of quinoa steamed bread dough[J]. China Food Additives, 2023, 34(11): 126-131.
- [10] 李佳婷,王敏.鹰嘴豆与豌豆复合粉对面团特性及馒头品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(5):68-72.
LI Jiating, WANG Min. Effects of chickpea and pea compound powder on dough properties and steamed bread quality[J]. Food Research and Development, 2020, 41(5): 68-72.
- [11] ZHANG M, SUO W J, DENG Y X, et al. Effect of ultrasound-assisted dough fermentation on the quality of dough and steamed bread with 50% sweet potato pulp[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2022, 82: 105912.
- [12] FU J T, CHANG Y H, SHIAU S Y. Rheological, antioxidative and sensory properties of dough and Mantou (steamed bread) enriched with lemon fiber[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 61 (1): 56-62.
- [13] SUI X N, YAP P Y, ZHOU W B. Anthocyanins during baking: Their degradation kinetics and impacts on color and antioxidant capacity of bread[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(5): 983-994.
- [14] JENG T L, LAI C C, LIAO T C, et al. Effects of drying on caffeoylquinic acid derivative content and antioxidant capacity of sweet potato leaves[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2015, 23 (4): 701-708.
- [15] PU H Y, WEI J L, WANG L, et al. Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 76: 236-242.
- [16] HU Y M, WANG L J, LI Z G. Modification of protein structure and dough rheological properties of wheat flour through superheated steam treatment[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 76: 222-228.
- [17] 王杰琼,钱海峰,王立,等.燕麦全粉对面团特性及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(3):42-49.
WANG Jieqiong, QIAN Haifeng, WANG Li, et al. Effect of whole-oat flour on dough properties and quality of steamed bread[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(3): 42-49.
- [18] LI X N, WANG L P, JIANG P, et al. The effect of wheat bran dietary fibre and raw wheat bran on the flour and dough properties: A comparative study[J]. LWT - Food Science and Technology, 2023, 173: 114304.
- [19] LIU X L, MU T H, SUN H N, et al. Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(11): 2666-2676.
- [20] 洪文龙,吕丽爽,陈玉琳,等.菌菇粉对面团流变学特性及馒头品质的影响[J].粮食与饲料工业,2023(5):23-26,31.
HONG Wenlong, LÜ Lishuang, CHEN Yulin, et al. Effects of mushroom flour on rheological properties of dough and quality of steamed bread[J]. Cereal & Feed Industry, 2023(5): 23-26, 31.
- [21] HAN H M, KOH B K. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(13): 2495-2499.
- [22] HONDA Y, INOUE N, KURITA M, et al. Alpha-glutelin degradation and its hydrolysate by protease enhance the specific volume of gluten-free rice starch bread[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 102: 103338.

- [23] 朱丹丹. 银杏果粉在小麦粉馒头中的应用研究[J]. 食品科技, 2023, 48(9): 120-126.
ZHU Dandan. Application of *Ginkgo biloba* fruit powder in Chinese steamed bread made of wheat flour[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(9): 120-126.
- [24] 孙莹, 李欣, 花玥, 等. 米糠粉、麦麸粉添加量对馒头及面团品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(2): 138-143.
SUN Ying, LI Xin, HUA Yue, et al. Effects of rice bran powder and wheat bran powder on the quality of steamed bun and dough[J]. Food Research and Development, 2023, 44(2): 138-143.
- [25] HE Y J, GUO J Y, REN G Y, et al. Effects of konjac glucomannan on the water distribution of frozen dough and corresponding steamed bread quality[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127243.
- [26] 王莹. 不同冷冻温度对莱阳芋头粉生鲜面条品质影响研究[D]. 新乡: 河南科技学院, 2023.
WANG Ying. Effect of different freezing temperatures on the quality of taro noodles[D]. Xinxiang: Henan Institute of Science and Technology, 2023.
- [27] PROTONOTARIOU S, STERGIU P, CHRISTAKI M, et al. Physical properties and sensory evaluation of bread containing micron-ized whole wheat flour[J]. Food Chemistry, 2020, 318: 126497.
- [28] ZHAO Q Y, SHE Z Y, HOU D T, et al. Effect of partial substitution of wheat flour with kiwi starch on dough rheology, microstructure, the quality attributes and shelf life of Chinese steamed bread[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 258(Pt 1): 128920.
- [29] 刘楠楠. 芋头多糖提取、纯化与抗氧化活性研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
LIU Nannan. Study on extraction, purification and antioxidant activity of polysaccharides from taro[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.
- [30] 李哲斌. 芋头多糖提取纯化、结构表征及生物活性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(24): 354-360.
LI Zhebin. Research progress on extraction, purification, structure characterization, and biological activity of taro polysaccharides[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(24): 354-360.

加工编辑: 张昱
收稿日期: 2024-01-09