

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.05.017

王敬涵, 杜密英, 黄水莲, 等. 桑葚果粉添加量对馒头品质及抗氧化能力的影响[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(5): 133-141.

WANG J H, DU M Y, HUANG S L, et al. Effect of mulberry powder addition on the quality and antioxidant capacity of steamed bread[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(5): 133-141.

桑葚果粉添加量对馒头品质及抗氧化能力的影响

王敬涵^{1,2}, 杜密英^{1,2}, 黄水莲¹, 戴 瑞^{1,2}✉

(1. 桂林旅游学院 食品与健康学院, 广西 桂林 541006;

2. 广西桂菜工业化加工与营养安全工程研究中心, 广西 桂林 541006)

摘 要: 研究不同比例的桑葚果粉替代面粉对馒头品质及其抗氧化性的影响, 以期制备高营养价值的馒头, 扩大桑葚的利用途径。通过测定不同添加量的桑葚粉对发酵面团及馒头的色差、质构、微观结构、抗氧化效果等指标的影响, 分析面团特性与馒头品质之间的相关性。结果表明, 随着桑葚果粉添加量增多, 面团弹性、色泽 L^* 值、 b^* 值、 w 值显著降低, 而 a^* 值升高。面筋蛋白结构的改变导致桑葚馒头的比容显著降低, 硬度值增加, 馒头品质下降。馒头的水分含量、弹性和咀嚼性呈先增高后降低趋势。对面团与馒头测定结果进行相关性分析, 发现两者存在显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$) 的相关性。此外, 随着添加 0%~5% 的桑葚果粉, 抗氧化性显著增强, 桑葚馒头的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基清除能力从 39.05% 提高到 76.28%, 提高了 37.23%; 还原能力提高了 282.5%, 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 (ABTS) 清除能力提高了 35.94%。综上, 桑葚果粉的添加会对面团的加工性能和馒头品质产生影响, 桑葚馒头与质构指标存在相关性, 在未进行配方优化时, 桑葚果粉添加比例为 4% 时馒头具有较好品质。

关键词: 面团; 馒头; 桑葚粉; 抗氧化性; 相关性分析

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)05-0133-09

网络首发时间: 2024-08-28 10:19:04

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240827.1504.010>

Effect of Mulberry Powder Addition on the Quality and Antioxidant Capacity of Steamed Bread

WANG Jing-han^{1,2}, DU Mi-ying^{1,2}, HUANG Shui-lian¹, DAI Rui^{1,2}✉

(1. School of Food and Health, Guilin Tourism University, Guilin, Guangxi 541006, China;

2. Guangxi Engineering Research Center for Large-Scale Preparation & Nutrients and Hygiene of Guangxi cuisine, Guilin, Guangxi 541006, China)

Abstract: This study investigated the effects of replacing flour with different proportions of mulberry fruit

收稿日期: 2024-02-07

基金项目: 广西重点研发计划项目 (AB19110023)

Supported by: National Key Research and Development Project of Guangxi Zhuang Autonomous Region (No. AB19110023)

作者简介: 王敬涵, 男, 1990 年出生, 硕士, 讲师, 研究方向为农产品精深加工, E-mail: 827565278@qq.com

通信作者: 戴瑞, 女, 1990 年出生, 硕士, 讲师, 研究方向为食品加工与贮藏, E-mail: 243589771@qq.com

powder on the quality and antioxidant properties of steamed bread, with the goal of preparing steamed bread with high nutritional value and expanding the utilization of mulberries. The impact of varying amounts of mulberry powder on the color difference, texture, microstructure, and antioxidant effects of fermented dough and steamed bread was measured, and the correlation between dough characteristics and steamed bread quality was also analyzed. The results showed that as the amount of mulberry fruit powder increased, the dough's elasticity, L^* value (lightness), b^* value (yellowness), and w value (whiteness) significantly decreased, while the a^* value (redness) increased. Changes in gluten protein structure led to a significant decrease in the specific volume of mulberry steamed bread and an increase in hardness, resulting in a decline in steamed bread quality. The moisture content, elasticity, and chewiness of the steamed bread initially increased and then decreased. Correlation analysis between the dough and steamed bread results revealed significant ($P < 0.05$) or highly significant ($P < 0.01$) correlations. Additionally, as the mulberry fruit powder content increased from 0% to 5%, the antioxidant properties were significantly enhanced. The DPPH free radical scavenging ability of mulberry steamed bread increased from 39.05% to 76.28%, an improvement of 37.23%. The reducing power increased by 282.5%, and the ABTS scavenging ability increased by 35.94%. In conclusion, the addition of mulberry fruit powder affects the processing performance of the dough and the quality of the steamed bread, with a significant correlation between mulberry steamed bread and texture indicators. Without formula optimization, steamed bread with 4% mulberry fruit powder exhibited the best quality.

Key words: dough; steamed bread; mulberry powder; oxidation resistance; correlation analysis

桑葚为聚花果，是桑属植物桑树 (*Morus alba* L.) 的果实，俗称桑椹、桑乌、桑枣等^[1]。桑葚作为食药同源原料，其功能性和营养成分受到了人们广泛关注^[2]。它具有抗肿瘤、降血糖血脂、抗动脉粥样硬化、抑菌和美白等功效，现代医学已经证实桑葚中的主要活性物质是多糖和多酚^[3]，对心脏^[4]、血压^[5]、免疫调节等都有一定的治疗作用^[6]。桑葚中的营养成分含有丰富的蛋白质、碳水化合物、纤维素等，具有较高的营养价值^[7-10]。

种桑养蚕在中国由来已久，几千年来，桑蚕产业中所需桑树的产物多为桑葚，桑果利用价值却被忽略。随着蚕桑产业的不断创新发展，一些果桑品种和果叶两用桑品种被研究者选育推广，取得了良好的经济效益^[11]。随着桑葚种植面积和产量的不断扩大，优质高产的桑葚品种也越来越多，桑葚及其产品的市场前景十分广阔^[12]。目前桑葚产品应用开发的食品类别涉及桑葚饼干^[13]、桑葚蛋糕^[14]、桑葚酸奶^[15]和桑葚软糖^[16]等。Huang Xiang^[17]等研究发现桑葚果粉增强了牛肉糜的抗氧化能力和凝胶特性。刘瑜^[18]通过桑葚冻干果粉的制备工艺及其在面包中的应用研究发现桑葚粉富含花色苷和花青素，加深了面包的颜色，且桑

葚中的多酚活性物质对面包具有抗氧化活性。

由于桑葚属于浆果类，易受季节性影响，不易储存，这严重限制了果桑产业的发展。因此，研发桑葚的深加工技术和提高其加工利用率已成为果桑产业发展中的迫切需求。桑葚粉添加到馒头中不仅可以改善馒头颜色，还能改善馒头营养结构。本研究将探讨桑葚粉的添加量对面团特性以及馒头比容、水分含量、色差、质构和感官评价的影响，以期开发出具有桑葚果香，富含营养性的一款馒头制品，以满足人们对高品质馒头的需求。同时，提高桑葚的综合利用价值，从而延伸桑葚产品的产业链，使得桑葚资源也得到最大限度的利用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

超细桑葚果粉 (400 目): 上海金良食品技术有限公司; 馒头专用小麦粉 (蛋白质含量 11%): 高活性干酵母: 安琪酵母股份有限公司; 白砂糖: 太古糖业 (中国) 有限公司; 甲醇、无水碳酸钠、铁氰化钾、磷酸二氢钠、三氯乙酸、三氯化铁、过硫酸钾、无水乙醇、无水磷酸氢二钠 (均为分析纯): 成都科隆化学品有限公司。

1.2 仪器与设备:

HMJ-A20E1 型和面机: 电器股份(小熊)有限公司; SP-18S 醒发箱: 三麦有限公司; CM-5 色差仪: 日本柯尼卡美能达公司; FTC 质构仪: 盈盛恒泰科技(北京)有限责任公司; DZF-6050 型真空干燥箱: 博讯实业(上海)有限公司; HYQ150s 摇床: 汇诚生物科技(武汉)有限公司; SB25-12DTDN 超声波清洗机: 安莱立思有限公司; 5702R 离心机: 尚普仪器设备(上海)有限公司; UV-1800 紫外线可见分光计: 上海翱艺有限公司; JJ500Y 电子天平: 双杰(常熟)测试仪器厂; FD-2 冷冻干燥机: 博医康实验仪器有限公司; SIGMA HD 扫描电镜: 德国卡尔·蔡司股份公司。

1.3 实验方法

1.3.1 桑葚粉面团制作工艺

以混粉质量 100% 为基准, 固定加水量 55%、酵母 1.25%, 桑葚果粉的添加比例为混合粉总质量的 0%、1%、2%、3%、4%、5%, 和面机自动和面 10 min, 揉制成面团后在 37 °C、相对湿度 85% 的发酵箱中发酵 60 min, 分割成 50 g 1 个的面团后滚圆成型, 进行二次醒发, 醒发时间为 20 min。

1.3.2 桑葚馒头的制备

将 1.3.1 所制成的面团, 沸水蒸 15 min 后关火焖 2 min, 室温冷却备用。

1.3.3 桑葚粉面团特性测定

1.3.3.1 面团色差的测定 仪器校准后将待测样醒发后的桑葚坯面团放置于测试处, 按测量试样按钮后得到 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 每组样品平行测量 3 次, 并按式 1 计算白度值 w :

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

1.3.3.2 面团质构的测定 将 25 g 面团揉成体积和高径一致的球状面团, 设置测试条件 P/36R 探头, 最大感召力 300 N, 测试高度 20 mm, 最大形变量 40%, 最大检测速率 1 mm/s, 最大起始力 0.3 N, 对每个试样重复进行了 3 次测试, 并做好硬度、内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性指标相关记录^[19]。

1.3.4 桑葚馒头比容的测定

比容测定参照 GB/T 21118—2007《小麦粉馒头》, 采用小米置换法测定比容。比容为其体积

(mL) 与质量 (g) 间的比率^[20]。

1.3.5 桑葚馒头水分含量的测定

水分含量的测定参照 GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》。

1.3.6 桑葚馒头色差的测定

使用色差仪来检验桑葚馒头的颜色, 参照 1.3.3 测试馒头色差。

1.3.7 桑葚馒头质构测定

将蒸熟后的桑葚粉馒头冷却, 使用 P/36R 圆柱形平底探头, 最大形变量 50%, 最大检测速率 60 mm/s, 起始力 0.5 N, 样品平行测试 3 次, 最后计算平均值。

1.3.8 桑葚馒头感官评价

邀请了 10 名烹饪专业的学生, 男女各 5 名, 对每个馒头样品进行了感官评分, 以口感、香气、味道、外观以及弹性进行综合评价, 每项分值均设置在 20 分, 最终得分达到 100 分。具体评分标准参见表 1。

表 1 桑葚馒头感官评定标准

评分项目	评分标准	得分/分
色泽 (20 分)	色泽紫红, 有光泽, 颜色自然, 颜色改变适当	16~20
	色泽不太均匀, 颜色较暗, 颜色改变可以接受	10~15
	色泽非常不均匀, 颜色黑暗, 不能接受	0~9
气味 (20 分)	香气柔和, 有果香, 气味明显	16~20
	香气清淡, 无异味, 气味较明显	10~15
	没有果香, 有异味	0~9
味道 (20 分)	桑葚风味突出	16~20
	桑葚风味清淡, 主要是馒头风味	10~15
	无水果风味, 常规味道	0~9
外形 (20 分)	形态好, 饱满, 表皮光滑	16~20
	形态一般, 不够饱满, 表皮中存在少量气孔, 无塌陷	10~15
	形态差, 表面有硬块, 有皱缩	0~9
弹性 (20 分)	柔软有弹性, 不粘牙	16~20
	一般柔软, 略有粘牙	10~15
	粘牙, 口感不细腻, 有颗粒感	0~9

1.3.9 桑葚粉馒头微观结构的测定

参考张剑等^[21]的方法, 并稍作修改。将做好的桑葚馒头置于零下 80 °C 冰箱中预冻 24 h 后再冷冻干燥 24 h, 将干燥后的馒头, 离子溅射喷金

处理,对纵切面进行扫描。

1.3.10 桑葚馒头抗氧化能力的测定

1.3.10.1 提取液制备 准确称取桑葚样品 2.50 g,将其置于 50 mL 80% (V:V) 甲醇中,混匀后置于 50 °C 水浴中提取 2 h。然后进行超声处理 30 min,再进行离心分离,条件为 4 000 r/min 下离心 15 min,离心后取上清液备用^[22]。

1.3.10.2 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基清除能力的测定 按照宋杰^[23]的方法进行改进。桑葚多酚提取液 2 mL,加入 2 mL 0.1 mmol/L DPPH 乙醇溶液,混合均匀,室温避光反应 30 min 后,测定波长为 517 nm 时的吸光度值,按照公式 (2) 对 DPPH 自由基清除能力进行计算:

$$\text{DPPH 自由基清除能力} = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\% \quad \text{式 (2)}$$

式 (2) 中: A_1 为 2 mL 试样提取液与 2 mL DPPH 溶液的吸光度值; A_2 为 2 mL 样品与 2 mL 乙醇吸光度值; A_0 为 2 mL 乙醇与 2 mL DPPH 溶液的吸光度值。

1.3.10.3 铁还原能力的测定 将 0.5 mL 桑葚馒头多酚提取液、2.5 mL 0.2 mol/L 的磷酸缓冲液 (pH6.6) 和 2.5 mL 1% 铁氰化钾溶液混合后,放入 50 °C 的水浴锅中反应 20 min。然后加入 2.5 mL 10% 三氯乙酸溶液,以 4 000 r/min 离心 10 min 后,取上清液 2.5 mL,再加入 0.5 mL 0.1% 三氯化铁溶液,混合均匀后,在室温下静置反应 10 min,测定波长为 700 nm 处的吸光度值 (A),铁还原能力用吸光度表征,吸光度越大其还原力越强,并以提取剂吸光度作为空白值 (A_0)^[24]。

1.3.10.4 2,2-联氮-二 (3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 (ABTS) 自由基清除能力的测定 取 5 mL 7 mmol/L ABTS 溶液和 5 mL 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液,放入同一棕色试剂瓶中混合,在暗处中放置反应 12 h。使用前,用蒸馏水稀释 ABTS 工作液,直至其在波长 734 nm 处的吸光度值为 0.70 ± 0.02 。取 2 mL 多酚提取液于试管中,加入 4 mL ABTS 工作液,混合均匀,反应 10 min 后,在 734 nm 波长处测定吸光度值,计算 ABTS^+ 清除率^[22],公式见式 (3):

$$\text{ABTS 自由基清除能力} = \frac{1 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\% \quad \text{式 (3)}$$

式 (3) 中: A_0 为 2 mL 蒸馏水与 4 mL ABTS 工作液的吸光度值; A_1 为 2 mL 多酚提取液与 4 mL ABTS 工作液的吸光度值; A_2 为 2 mL 试样提取液与 4 mL 蒸馏水的吸光度值。

1.4 数据处理

实验结果为平均值±标准偏差,以上所有的实验均做 3 次以上平行实验,数据统计采用 SPSS27.0 对数据进行统计学处理,采用 Origin2022 软件进行绘图,且显著性水平为 0.05, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 桑葚粉添加量对面团色泽的影响

面团的色泽对馒头的品质具有十分重要的参考意义,良好的色泽不仅能吸引更多的顾客,而且直接关系顾客对产品的评价与印象^[25]。由表 2 可见,随着桑葚粉添加量从 0% 增加到 5% 时,面团的亮度 L^* 、黄蓝值 b^* 、白度值显著下降,红绿值 a^* 呈显著增强。这与桑葚本身的色泽富含桑葚红色素有关,随着桑葚粉的添加量增加会使面团具有较深的色泽^[26]。

表 2 桑葚粉添加量对面团色泽的影响 ($n=3$)

Table 2 Effect of mulberry addition on the color of dough ($n=3$)

添加量/%	L^*	a^*	b^*	w
0	87.72 ± 0.58^a	1.28 ± 0.35^d	18.51 ± 0.24^a	69.26 ± 0.65^a
1	66.11 ± 0.29^b	5.55 ± 0.26^c	9.28 ± 0.31^b	48.62 ± 0.52^b
2	59.10 ± 0.64^c	6.87 ± 0.21^b	7.79 ± 0.28^c	41.76 ± 1.10^c
3	55.88 ± 0.79^d	7.46 ± 0.26^b	7.01 ± 0.29^d	39.73 ± 0.97^d
4	49.74 ± 1.40^e	8.81 ± 0.28^a	6.92 ± 0.15^d	38.35 ± 0.52^e
5	49.82 ± 1.73^e	8.33 ± 0.54^a	5.91 ± 0.44^e	69.26 ± 0.65^a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Note: Different lowercase letters in the same column, indicate significant differences ($P < 0.05$), same as below.

2.2 桑葚粉添加量对面团质构的影响

由表 3 可知,随着桑葚粉添加量的增加,发酵好面团的硬度没有显著影响 ($P > 0.05$),这是由于面团的发酵程度已经达到了最大值。当桑葚粉添加量达到 2% 以上时,馒头的弹性具有显著影响 ($P < 0.05$)。当桑葚粉添加量达到 5% 时,面团的内聚性具有显著影响 ($P < 0.05$),不同比例的桑葚

粉添加到面粉中以不同程度影响了面团的内部组织结构。这可能是因为桑葚粉富含高膳食纤维导致混

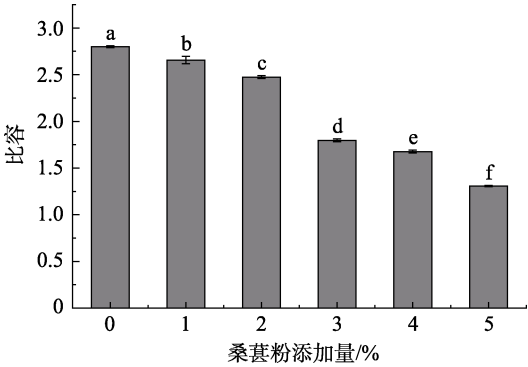
粉吸水率增大,形成更为紧密的类似面筋蛋白特性的凝胶结构^[27]。

表 3 桑葚添加量对面团质构特性的影响 (n=3)
Table 3 Effect of mulberry addition on dough texture characteristics (n=3)

桑葚粉添加量/%	硬度	内聚性	弹性	咀嚼性
0	2.12±0.26 ^a	0.20±0.02 ^b	1.08±0.06 ^a	0.50±0.14 ^{ab}
1	2.52±0.13 ^a	0.20±0.02 ^b	1.09±0.10 ^a	0.63±0.16 ^a
2	2.49±1.10 ^a	0.20±0.00 ^b	0.84±0.08 ^b	0.47±0.02 ^{ab}
3	2.31±0.09 ^a	0.22±0.01 ^{ab}	0.92±0.11 ^b	0.51±0.05 ^{ab}
4	2.22±0.36 ^a	0.20±0.00 ^b	0.80±0.10 ^b	0.39±0.12 ^b
5	2.13±0.50 ^a	0.21±0.02 ^a	0.77±0.05 ^b	0.41±0.10 ^b

2.3 桑葚粉添加量对馒头比容的影响

由图 1 可知,随着桑葚粉添加量的比例增大,馒头的比容逐渐减小。在桑葚粉添加量的比例为 0%~2%时,馒头比容的下降趋势缓慢,加入少量的桑葚粉对面筋的蛋白结构的影响程度不大,当桑葚粉添加量达到 3%以上时,桑葚粉影响酵母的发酵,抑制面筋网状结构的形成。桑葚粉中膳食纤维较强的吸水性导致面团的湿度降低,馒头的比容呈现逐渐减少趋势。



注:不同小写字母表示差异显著 (P<0.05),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05), the following figures are the same.

图 1 桑葚粉添加量对馒头比容的影响

Fig. 1 Effect of mulberry powder addition on the specific volume of steamed bread

2.4 桑葚粉添加量对馒头水分含量的影响

由图 2 可知,馒头的水分含量,随着桑葚粉添加量的比例逐渐增大,其中的馒头水分含量呈先增加后降低的趋势,由实验数据可知,由 0%~4%时,水分与馒头的硬度规律相同,逐渐增加,这是因为桑葚粉中含有可溶性膳食纤维,可溶解于水。桑葚粉添加量为 4%时,水分含量最高。

而桑葚粉添加量达到 5%时,由于过量的桑葚粉添加量破坏了馒头吸水能力,馒头的硬度相应增加,水分含量下降。

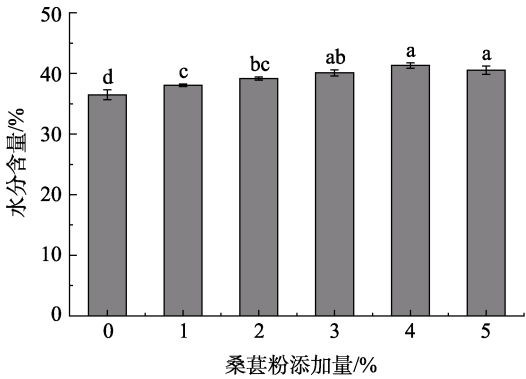


图 2 桑葚粉添加量对馒头水分含量的影响

Fig.2 Effect of mulberry powder addition on moisture content of steamed bread

2.5 桑葚粉添加量对馒头色泽特性的影响

色泽的变化可以影响消费者对馒头感官评价的判断,因此,在馒头的生产和加工过程中,控制色度非常重要。由表 4 可知,随着桑葚粉添加量的增加,馒头的 L*值和 b*值明显降低,而 a*值增加。这可能是由于桑葚中含有丰富的花色

表 4 桑葚粉添加量对馒头色泽特性的影响

Table 4 Effect of mulberry powder addition on the color difference characteristics of steamed bread

添加量/%	L*	a*	b*	w
0	78.83±0.85 ^a	0.95±0.07 ^a	19.19±0.42 ^a	74.90±0.14 ^a
1	58.37±0.65 ^b	3.19±0.24 ^d	8.66±0.57 ^b	55.48±0.34 ^b
2	53.05±0.57 ^c	3.72±0.12 ^c	6.13±0.19 ^c	49.59±0.26 ^c
3	49.63±0.90 ^d	4.06±0.14 ^{bc}	4.90±0.01 ^d	45.75±1.48 ^d
4	48.84±0.31 ^d	4.44±0.18 ^{ab}	4.81±0.19 ^d	44.73±1.07 ^d
5	43.82±1.21 ^e	4.70±0.22 ^a	4.16±0.26 ^d	74.90±0.14 ^a

苷，这些天然色素不仅赋予了桑葚馒头独特的紫红色泽，而且在蒸制过程中，桑葚中的褐变反应也会导致桑葚馒头的色泽进一步加深，导致桑葚馒头的颜色比普通馒头更深，这与陈平的研究结果类似^[26]。

2.6 桑葚粉添加量对馒头质构特性的影响

由表 5 可知，随着桑葚粉添加量的增加，馒头的硬度和咀嚼性呈现出显著增加的趋势。当桑葚粉添加量为 5% 时，馒头的硬度达到了 20.20 g，

是对照组馒头的 185.32%。咀嚼性达到了 221.70 g，比对照组馒头增加了 61.27%，这表明，添加桑葚粉可以显著提高馒头的硬度和咀嚼性，这是由于膳食纤维使其网状结构更加紧密，从而劣化了馒头的品质。与对照组相比，所有桑葚馒头的弹性和内聚性没有显著 ($P>0.05$) 影响。当添加量为 0% 的实验组馒头的内聚性与其他桑葚粉实验组有显著影响 ($P<0.05$)，说明桑葚粉的添加改变了面团内部的组织结构。

表 5 桑葚粉添加量对馒头质构特性的影响
Table 5 Effect of mulberry powder addition on the texture characteristics of steamed bread

添加量/%	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g
0	10.90±1.37 ^d	15.74±1.03 ^a	0.80±0.00 ^b	137.47±9.70 ^c
1	13.62±2.23 ^c	16.01±0.16 ^a	0.73±0.06 ^a	220.10±13.47 ^{ab}
2	15.68±0.43 ^{bc}	14.98±0.15 ^a	0.70±0.00 ^a	211.10±15.98 ^b
3	16.45±0.08 ^b	15.75±0.49 ^a	0.70±0.00 ^a	251.53±14.63 ^a
4	19.63±0.21 ^a	15.73±0.23 ^a	0.70±0.00 ^a	245.63±12.64 ^a
5	20.20±0.43 ^a	14.87±0.39 ^a	0.70±0.00 ^a	221.70±11.70 ^{ab}

2.7 桑葚粉添加量对馒头感官特性的影响

馒头样品进行了感官的评分，采用口感、香气、味道、外观以及弹性等综合方式进行衡量，结果如图 3：加入桑葚粉后，馒头的颜色显著加深，色泽的评分先增加后降低。桑葚粉添加量为 2%，馒头没有桑葚果香。桑葚粉添加量为 4%，馒头色泽均匀呈紫红色，不会有苦涩味，形态良好，评分最高。当桑葚粉添加量为 5% 时，馒头颜色过深，口感苦涩且部分有塌陷，导致评分最低。总体而言，当桑葚粉添加过量，评分随之降低，当添加量为 0%~2% 时，综合评分差异性不显著。因此在馒头中加入适量的桑葚粉，不仅满足食品加工的要求，而且起到对产品的营养补充作用。

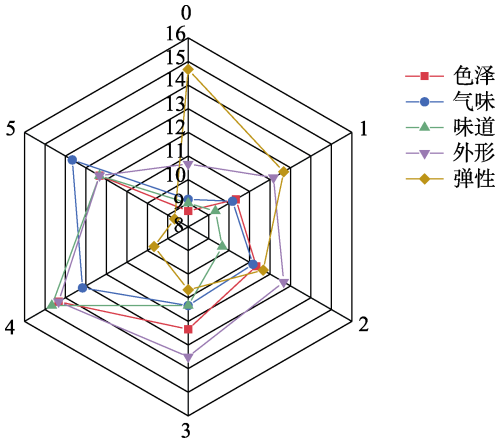


图 3 桑葚粉添加量对馒头感官特性的影响
Fig.3 Effect of mulberry powder added on the sensory properties of steamed bread

2.8 桑葚粉馒头的微观结构分析

图 4 显示了桑葚粉的添加量对馒头微观结构

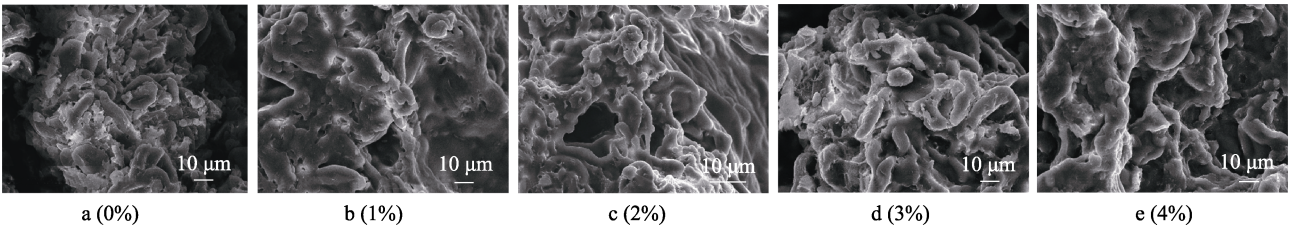


图 4 不同桑葚粉添加量对馒头微观结构的影响
Fig.4 Effect of different mulberry powder supplementation on the microstructure of steamed bread

的影响,可以看出在不加入桑葚粉的馒头中,其馒头的组织结构是完整的、连续的、有规律的,并且淀粉粒子分布在面团的网络中。加入 1%~2% 的桑葚粉后,对馒头的影响由 4b、4c 两图可以看出存在少量明显气孔,可能产生了局部的断裂。添加量为 3% 以上时,由图 4d 面团的淀粉颗粒暴露不被包裹,孔隙变大。结果表明,加入桑葚粉后馒头的组织形态发生变化,对于馒头的组织形态具有一定的优化能力,这与 2.6 桑葚粉的添加量对于馒头质构特性的影响结果吻合。

2.9 面团特性与馒头品质的相关性分析

由表 6 可知,面团的亮度 L^* 与馒头红绿度 a^* 呈负相关显著水平 ($P<0.05$),与黄蓝度 b^* 呈正相关极显著水平 ($P<0.01$)。面团的红绿度 a^* 与馒头黄蓝度 b^* 、弹性、内聚性呈负相关显著水平 ($P<0.05$)。面团的硬度与馒头的弹性、内聚性、咀嚼性呈正相关极显著水平 ($P<0.01$)。面团的弹性与馒头的内聚性、咀嚼性呈正相关极显著水平 ($P<0.01$)。面团的内聚性与馒头的咀嚼性呈正相关极显著水平 ($P<0.01$)。

表 6 面团特性与馒头品质的相关性

Table 6 Correlation between dough characteristics and steamed bread quality

指标	馒头 亮度 L^*	馒头 红绿度 a^*	馒头 黄蓝度 b^*	馒头 硬度	馒头 弹性	馒头 内聚性	馒头 咀嚼性
面团亮度 L^*	1	-0.62*	0.96**	-0.41	-0.22	-0.19	-0.37
面团红绿度 a^*	-0.62*	1	-0.69*	-0.45	-0.60*	-0.61*	-0.49
面团黄蓝度 b^*	0.96**	-0.64*	1	-0.34	-0.11	-0.06	-0.30
面团硬度	-0.41	-0.45	-0.34	1	0.94**	0.92**	0.98**
面团弹性	-0.22	-0.60*	-0.11	0.94**	1	1.00**	0.97**
面团内聚性	-0.19	-0.61*	-0.06	0.92**	1.00**	1	0.94**
面团胶粘性	-0.38	-0.48	-0.31	0.98**	0.97**	0.94**	1.00**
面团咀嚼性	-0.37	-0.49	-0.30	0.98**	0.97**	0.94**	1

注: * 在 0.05 级别,显著水平; ** 在 0.01 级别,极显著水平。

Note: * At level 0.05, significant level; ** Very significant level at level 0.01.

2.10 桑葚粉添加量对馒头抗氧化活性的影响

抗氧化实验结果由图 5 显示,在一定范围内,馒头的 DPPH 自由基清除能力与桑葚粉添加量呈现正相关,馒头的 DPPH 自由基清除率从 39.05% 提高到了 76.28%,提高了 37.23%。同时,馒头的还原能力也比对照组提高了 282.5%。此外,桑

葚粉添加量增加显著提高了馒头的 ABTS 自由基清除率,提高了 35.94%。据黄新球^[28]等研究发现,果用桑葚中的总多酚含量为 28.13~57.65 $\mu\text{g/g}$,总黄酮含量为 0.94~12.03 $\mu\text{g/g}$,总酚和黄酮这些物质具有清除自由基效果并抑制氧化应激反应。这些结果表明,桑葚粉具有很强的抗氧化活性,能够显著提高馒头的抗氧化能力。

3 结论

随着桑葚粉的添加,馒头的比容逐渐减小,硬度增加,其水分含量、弹性和咀嚼性呈现先增加再下降的趋势。面团与馒头的色泽都是 L^* 值和 b^* 值降低, a^* 值升高,色泽也逐渐变得更深。桑葚粉可以提高馒头的抗氧化能力,添加 5% 的桑葚粉较未添加桑葚粉馒头的 DPPH 自由基清除率从 39.05% 提高到了 76.28%,提高了 37.23%。桑葚粉添加量增加显著提高了馒头的还原能力,比对照组提高了 282.5%。且 ABTS 自由基清除率随着

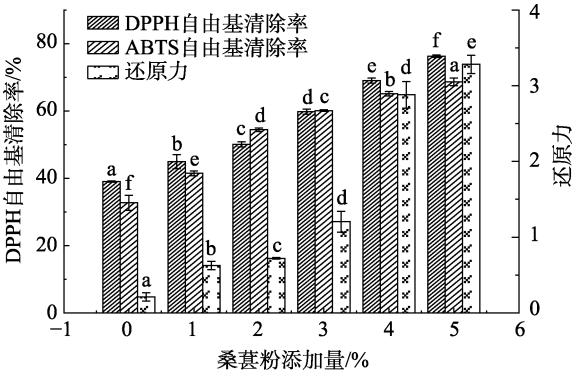


图 5 不同桑葚粉添加量对馒头抗氧化活性的影响 ($n=3$)

Fig.5 The effect of different amounts of mulberry powder on the antioxidant activity of steamed bread ($n=3$)

桑葚粉的增加而增加,提高了 35.94%。当桑葚粉的添加量达到 4%时,馒头的口感和其他特性都会更加出色,从而获得更好的口感和品质。

参考文献:

- [1] 唐敏, 刘刚, 王雪力, 等. 桑葚酵素复合与自然发酵的功效成分、感官评价与抗氧化活性比较[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2022, 45(1): 73-78.
TANG M, LIU G, WANG X L, et al. Comparison of functional components, sensory evaluation and antioxidant activity by multi microorganism fermentation in mulberry enzymes with those by natural fermentation[J]. Journal of Sichuan Normal University(Natural Science), 2022, 45(1): 73-78.
- [2] 夏川林, 殷浩, 王香君, 等. 桑葚功能性成分研究现状与综合利用[J]. 四川蚕业, 2021, 49(3): 42-45.
XIA C L, YIN H, WANG X J, et al. Research status and comprehensive utilization of functional components of mulberry[J]. Sichuan Sericulture, 2021, 49(3): 42-45.
- [3] 陈春华, 唐炜, 殷军艺, 等. 桑葚多糖结构特征和生物活性研究进展[J]. 中国食品学报, 2022, 22(5): 367-382.
CHEN C H, TANG W, YIN J Y, et al. Research progress on structure characteristics and biological activity of polysaccharide from fructus Mori[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(5): 367-382.
- [4] LI S, JIN C, GAO P, et al. A novel pectin-like glycopeptide isolated from the fruit of fructus mori impedes aggregation and production of A β 42[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2022, 70(32): 9908-9918.
- [5] 彭凯雄, 郑钰涵, 陈晓明. 桑葚活性成分及其现代食品开发研究进展[J]. 淮阴工学院学报, 2021, 30(5): 9-14.
PENG K X, ZHENG Y H, CHEN X M. Research progress of mulberry active ingredients and their usage in modern food development[J]. Journal of Huaiyin Institute of Technology, 2021, 30(5): 9-14.
- [6] 王坤华, 徐怀德. 不同成熟度桑葚品质特性及抗氧化能力研究[C]. //中国食品科学技术学会第十七届年会论文集. 2020: 319-320.
WANG K H, XU H D. Study on quality characteristics and antioxidant capacity of mulberry with different maturity[C]. //Abstracts of the 17th Annual Meeting of CIFST. 2020: 319-320.
- [7] WANG C Y, NG C C, SU H, et al. Probiotic potential of noni and mulberry juice ferment with lactic acid bacteria[J]. Asian Journal of Dairy and Food Research, 2009, 60(S6): 98-106.
- [8] 伍彦华, 梁艳玲, 蒙秋燕. 桑葚提取物功能性研究进展[J]. 轻工科技, 2020, 36(10): 1-4+15.
WU Y H, LIANG Y L, MENG Q Y. Research progress on functionality of mulberry extract[J]. Light Industry Science and Technology, 2020, 36(10): 1-4+15.
- [9] 冯彬. 桑葚蜜酒生产工艺优化、抗氧化活性研究及品质分析[D]. 太原: 山西农业大学, 2019.
FENG B. Production technology optimization, antioxidant activity research and quality analysis of mulberry honey wine[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2019.
- [10] 马春兰. 新疆药桑抗氧化性成分的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011.
MA C L. Isolation and identification of chemical constituent and antioxidant activity of extracts from *Morus nigra* Linn[D]. Shihezi: Shihezi University, 2011.
- [11] 刘晓颖. 河南省主要果桑综合利用价值研究——以洛阳市伊川县吕店乡温沟村果桑园为例[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
LIU X Y. Study on the comprehensive utilization value of the main fruit mulberry in Henan province——Take the fruit mulberry garden in Lvdian village, Yichuan county, Luoyang city for example[D]. Zhengzhou: Zhengzhou Agricultural University, 2018.
- [12] 李雨晨, 续飞, 闫倩倩, 等. 桑葚发酵食品研究进展[J]. 中国果菜, 2020, 40(7): 44-46.
LI Y C, XU F, YAN Q Q, et al. Research progress on fermented food of mulberry[J]. China Fruit & Vegetable, 2020, 40(7): 44-46.
- [13] 盛金凤, 何雪梅, 唐雅园, 等. 桑葚全果粉与果渣粉对曲奇饼干品质和抗氧化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(10): 1-7.
SHENG J F, HE X M, TANG Y Y, et al. Effects of mulberry powder and mulberry pomace powder on the quality and antioxidant properties of cookies[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(10): 1-7.
- [14] 丘文聪, 杨芊芊, 黎诗丽, 等. 桑葚无糖天使蛋糕的制作工艺优化及质构性质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 198-204.
QIU W C, YANG Q Q, LI S L, et al. Optimization of processing technology and texture analysis of mulberry sugar free angel cake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 198-204.
- [15] 曹红妹, 胡桂萍, 蔡翔, 等. 体外模拟消化对桑葚酸奶酚类化合物稳定性和抗氧化活性的影响[J]. 江西农业学报, 2022, 34(1): 178-185.
CAO H M, HU G P, CAI X, et al. Effects of simulated digestion in vitro on stability and antioxidant activity of mulberry yogurt phenol compounds[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2022, 34(1): 178-185.
- [16] 杜萌畅, 刘已钰, 张宇心, 等. 白果桑葚软糖的研制[J]. 农产品加工, 2019(20): 17-18+21.
DU M C, LIU S Y, ZHANG Y X, et al. Development of fructus ginkgo and mulberry jelly[J]. Farm Products Processing, 2019(20): 17-18+21.
- [17] HUANG X, SUN L, DONG K, et al. Mulberry fruit powder

- enhanced the antioxidant capacity and gel properties of hammered minced beef: Oxidation degree, rheological, and structure[J]. LWT, 2022, 154: 112648.
- [18] 刘瑜. 桑葚冻干果粉的制备工艺及其在面包中的应用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- LIU Y. Preparation of freeze-dried mulberry fruit powder and its application in bread[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019.
- [19] SIGUENZA-ANDRES T, GALLEGO C, GOMEZ M. Can cassava improve the quality of gluten free breads?[J]. LWT, 2021, 149: 111923.
- [20] 徐向波, 庞敏, 吴照莎, 等. 秋葵藜麦馒头的研制[J]. 粮食加工, 2023, 48(1): 34-38.
- XU X B, PANG M, WU Z S, et al. Development of okra and quinoa steamed bread[J]. Grain Processing, 2023, 48(1): 34-38.
- [21] 张剑, 王亚运, 胡广甫, 等. 玉米粉对面条的蛋白质二级结构及微观结构的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2017, (6): 14-18.
- ZHANG J, WANG Y Y, HU G F, et al. Effects of corn flour on protein secondary structures and microstructure of the noodles[J]. Cereal & Feed Industry, 2017(6): 14-18.
- [22] 王小平, 雷激, 刘江, 等. 麸皮对挂面品质及抗氧化性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41 (2): 185-191.
- WANG X P, LEI J, LIU J, et al. Effects of wheat bran on quality and antioxidant capacity of fine dried noodle[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(2): 185-191.
- [23] 宋杰. 睡莲多酚的制备、生物活性及其凝胶剂的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2021.
- SONG J. Preparation, bioactivity and gelatinization of polyphenols from *Nymphaea candida*[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2021.
- [24] 杨森, 敖常伟, 张贺, 等. 柿粉馒头的研制及营养特性分析[J]. 粮食与饲料工业, 2022(2): 27-33.
- YANG M, AO C W, ZHANG H, et al. Study on processing of persimmon powder steamed bread and nutritional characteristics[J]. Cereal & Feed Industry, 2022(2): 27-33.
- [25] 李少辉, 赵巍, 闵光, 等. 谷子面粉添加量对馒头色度变化的影响[J]. 食品工业, 2020, 41(10): 127-131.
- LI S H, ZHAO W, MIN G, et al. Effect of different varieties and addition of brown millet flour on chromaticity change of steamed bread[J]. The Food Industry, 2020, 41(10): 127-131.
- [26] 陈平, 李瑞琦. 桑葚红色素的提取纯化及在果冻中的稳定性研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2015, 31(6): 715-720+728.
- CHEN P, LI R Q. Extraction of mulberry red pigment and stability in jelly[J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2015, 31(6): 715-720+728.
- [27] 段梦杰, 王振华, 郑妍妍, 等. 小米粉添加量对生鲜面条品质与多酚含量及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(3): 137-144.
- DUAN M J, WANG Z H, ZHENG Y Y, et al. Effect of millet flour ratio on fresh noodles quality, polyphenol content and antioxidant activities[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 40(3): 137-144.
- [28] 黄新球, 杨文, 杨娟, 等. 云南省主要果用桑葚的营养品质及理化特性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49 (21): 181-187.
- HUANG X Q, YANG W, YANG J, et al. Nutritional quality and physicochemical characteristics of major fruiting mulberries in Yunnan Province[J]. Jiangsu Agric Sci, 2021, 49(21): 181-187. 141