

霜桑叶粉对面团特性及面包品质的影响

张二芳 冯 嫣 张艺馨

(吕梁学院生物与食品工程系, 山西 吕梁 033000)

摘要: [目的] 探究霜桑叶粉对面团加工特性、面包品质及贮藏性能的影响。[方法] 在小麦粉中添加霜桑叶粉, 利用流变仪测定面团流变学特性, 通过质构、色泽、比容与感官品质分析面包品质, 结合 TOPSIS 综合评分法进行评分, 比较贮藏期间面包水分和硬度变化。[结果] 添加霜桑叶粉可提高面团的 G' 、 G'' 和 $\tan \delta$, 增加面包硬度和咀嚼度, 降低面包比容。当霜桑叶粉添加量为 5% 时, 面包综合得分指数最高 (0.757)。此时面包硬度适中、口感细腻、色泽光亮、富有弹性与咀嚼性。与未添加霜桑叶粉的对照面包相比, 该配方面包在贮藏期间老化速率较低, 7 d 内水分损失率相近。[结论] 适量添加霜桑叶粉可改善面团的流变特性与面包品质, 并有助于延缓面包老化。

关键词: 霜桑叶粉; 流变学特性; 面包品质; 质构特性; 贮藏特性

Effects of frost mulberry leaf powder on properties of dough and quality of bread

Zhang Erfang Feng Yan Zhang Yixin

(Department of Biological and Food Engineering, Lyuliang University, Lyuliang, Shanxi 033000, China)

Abstract: [Objective] To explore the effects of frost mulberry leaf powder (FMLP) on the processing characteristics of dough and the quality and storage properties of bread. [Methods] FMLP is blended with wheat flour, and the rheological properties of the dough are analyzed by a rheometer. Bread quality is evaluated in terms of texture, color, specific volume, and sensory attributes. The TOPSIS method is adopted for comprehensive evaluation, and variations in moisture and hardness of bread during storage are compared. [Results] The addition of FMLP increases the G' , G'' , and $\tan \delta$ of the dough, enhances the hardness and chewiness of the bread, while reducing the specific volume of the bread. The comprehensive score of the bread reaches a maximum of 0.757 at 5% FMLP. At this ratio, the bread exhibits moderate hardness, fine texture, a bright color, as well as the highest elasticity and chewiness. Compared with the control group (without FMLP) under the same storage conditions, the bread with FMLP demonstrates a decrease in staling rate, while the moisture loss rates within 7 days are similar. [Conclusion] The addition of a proper amount of FMLP improves the rheological properties of the dough and the quality of bread, while also helping retard bread staling.

Keywords: frost mulberry leaf powder; rheological properties; bread quality; texture characteristics; storage characteristics

桑叶 (*Morus alba* L.) 于 1993 年被国家卫生部确认为“药食同源”植物, 并被国际食品卫生组织列入“人类 21 世纪十大保健食品之一”, 是一种极具开发潜力的天然食品资源^[1]。霜桑叶是指在霜降后采集的桑叶, 其黄酮类物质含量显著高于普通桑叶^[2-3], 同时富含多糖、氨基酸和生物碱等, 具有抗氧化、降血脂、降血糖等多种生理功能^[4-5]。

将植物源成分应用于面制品改良已成为食品工业的研究热点。已有研究^[6-9]表明, 添加亚麻籽、甘薯、紫米、黄精粉等植物材料可改善面团的流变学特性并提升面包的营养价值。在桑叶应用方面, 虽有探讨桑叶粉对面包、馒头^[10-11]品质的影响, 但多集中于常规桑叶粉, 有关霜桑叶粉 (frost mulberry leaf powder, FMLP) 在面团体系中的

基金项目: 山西省基础研究计划自然科学研究青年项目 (编号: 202303021212283)

通信作者: 张二芳 (1975—), 女, 吕梁学院副教授, 硕士。E-mail: 593772765@qq.com

收稿日期: 2025-08-26 改回日期: 2026-01-08

引用格式: 张二芳, 冯嫣, 张艺馨. 霜桑叶粉对面团特性及面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(8): 213-218.

Citation: Zhang Erfang, Feng Yan, Zhang Yixin. Effects of frost mulberry leaf powder on properties of dough and quality of bread[J]. Food & Machinery, 2026, 42(8): 213-218.

作用及其对面包综合品质与贮藏稳定性的影响尚未见报道。FMLP 因霜冻导致细胞膜透性改变和多酚氧化酶活性增强,其理化特性不同于普通桑叶粉,引入面包体系后可能通过多酚—蛋白互作、纤维—面筋网络重构等途径影响面团结构和面包老化。试验拟以 FMLP 为对象,系统研究其添加量对面团动态流变学特性、面包质构、色泽、感官接受度以及贮藏期硬度和水分变化的影响,并通过 TOPSIS 多指标综合评价法确定最优添加量,旨在阐明 FMLP 在面包加工中的功能特性,为开发具有延缓老化特性和营养强化功能的桑叶面包提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

FMLP、绵白糖:北京糖业烟酒集团有限公司;
高筋小麦粉:河南新乡良润全谷物食品有限公司;
酵母:安琪酵母股份有限公司;
纯牛奶粉:君乐宝乳业集团股份有限公司;
食盐:中盐新疆维吾尔自治区盐业有限公司;
食用油:益海嘉里金龙鱼食品集团股份有限公司。

1.2 主要仪器与设备

高速多功能粉碎机:DS-Y500A 型,上海市顶帅工贸有限公司;
流变仪:RH-10 型,上海保圣实业发展有限公司;
质构仪:TMS-PILOT 型,美国伯腾仪器有限公司;
烤箱:OJ10A806 型,中山市金广家庭电器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 FMLP 制备与混粉配制 于 2024 年 11 月 3 日,霜降后第 11 天在吕梁市生态公园采摘桑叶,蒸馏水冲洗 3 次后于室内风干至恒重,粉碎,过 100 目筛备用。分别以 0.0%、2.5%、5.0%、7.5%、10.0%、12.5% 的 FMLP 代替高筋小麦粉,配制成混粉。

1.3.2 霜桑叶—小麦混粉发酵面团流变学特性测定 参照索文静^[12]的方法略作调整。使用流变仪测定不同霜桑叶添加下发酵面团的流变学特性。面团于 30℃ 发酵 90 min 后,采用 35 mm 平行板夹具,夹缝间隙 1 mm。测试前将样品于 15℃ 平衡 10 min。测试温度 25℃,剪切应变率 4.0%,振荡角频率 10 rad/s,单点相互间隔 10.00 s,移动速率 10.00 mm/s。记录储能模量(G')、损耗模量(G'')和损耗角正切值($\tan \delta=G''/G'$)。

1.3.3 霜桑叶粉面包制作工艺 将 3.75 g 奶粉、7.5 g 白糖、0.75 g 酵母粉、0.5 g 食盐、3.75 g 植物油溶于 30 g 水中,取 50 g FMLP-小麦混合粉加入 2 g 黄油和面,30℃ 发酵 120 min,待面团发酵至原体积的 1.5 倍时,对面团整形(30 g/个)、排气,继续醒发 20 min 后,于上火 170℃、下火 150℃ 烤箱中烘烤 12 min,冷却,得面包成品。

1.3.4 霜桑叶面包色泽测定 采用色差仪测定面包横切

面色泽,根据 CIELAB 表色系统读取 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.3.5 面包质构分析 参照张英仙等^[13]的方法并稍加修改,将面包芯修整为 2 cm×2 cm×2 cm 的块状,采用质构分析仪测定样品的质构特性。测定条件:TPA 500 N 模式,圆盘挤压形探头,距离 30 mm,停留时间 15 s,形变百分量 50%,测试速率 60 mm/min,起始力 0.75 N。

1.3.6 面包比容测定 面包室温放置 2 h 后,采用小米置换技术测定面包体积^[14]。

1.3.7 面包感官评价 参照 GB/T 20981—2021,安排 10 名专业人员按表 1 进行感官评定。

表 1 FMLP 面包感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for bread with FMLP		
项目	评价标准	分值
外观 (20 分)	外形完整,表面光滑,无斑点	15~20
	外形稍变形,表面较光滑,有少量斑点	8~14
	外形不完整,表面粗糙,斑点多	1~7
色泽 (20 分)	表面棕绿色,面包芯淡绿色,色泽均匀	15~20
	表面棕色或褐灰色,面包芯偏棕色,色泽较均匀	8~14
	表面黑绿色,面包芯发灰或不正常颜色	1~7
组织结构 (20 分)	细腻,有弹性,按压回复程度好,气孔细密均匀	15~20
	按压回复程度较好,气孔基本均匀,有少量不均匀大孔	8~14
	按压回复程度差,大孔洞多	1~7
风味 (20 分)	桑叶香气适中,面包风味浓郁,无异味	15~20
	桑叶香气较淡或较重,面包风味较浓郁,无异味	8~14
	香气过重或无香气,风味较淡,香气不协调,有焦糊味	1~7
口感 (20 分)	口感细腻,不粘牙,甜度适中	15~20
	口感较细腻,稍粘牙,甜味稍淡或稍重	8~14
	口感粗糙,粘牙,甜味过淡或过重	1~7

1.3.8 贮藏期间面包老化率测定 按最佳配方制备 FMLP 面包,密封包装后面包于室温下分别放置 1, 3, 5, 7 d 后,采用质构分析仪测定面包硬度。按式(1)计算面包老化率^[15]。

$$\delta = \frac{H_n - H_0}{n}, \tag{1}$$

式中:
 δ ——老化率, N/d;
 H_n 、 H_0 ——贮藏 n 天后和新鲜面包的硬度, N;
 n ——贮藏时间, d。

1.3.9 贮藏期间面包含水量测定 按 GB 5009.3—2016 执行。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2019 软件进行数据统计分析,根据 SPSSPRO 的优劣解距离法(TOPSIS)得出综合得分,采用 SPSS 26.0 软件的 Duncan 检验法进行显著性分析,采用 Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 对发酵面团流变学特性的影响

Tan δ 可以定量评估面团黏性与弹性之间的动态平衡^[16]。由图 1 可知,随着 FMLP 添加量的增加,发酵面团 G' 、 G'' 与 tan δ 整体呈上升趋势,与张慧娟等^[17]的结果一致。FMLP 中膳食纤维吸水膨胀后填充于面筋网络中起到物理增强作用,面团弹性和机械强度增加,FMLP 面团的 G' 高于对照组。FMLP 中富含水溶性多糖,其吸水后与面筋网络交联使面筋体系的弹性黏性增强,从而提升了面团的储能模量和耗能模量^[18]。当 FMLP 添加量较高时,过量纤维会稀释面筋蛋白,影响蛋白质分子之间的二硫键生成^[19],面团的 tan δ 逐渐上升。同时,随着酵母产气加剧,面团网络松弛^[20]。过量添加 FMLP 造成的面筋网络割裂和过度吸水导致的黏性比例提高,影响了发酵稳定性。综合来看,当 FMLP 添加量为 5.0%~7.5% 时,可在增强面团结构的同时保持较好的黏弹性平衡。

2.2 对面包色泽的影响

由表 2 可知,面包亮度 L^* 值随 FMLP 添加量的增加显著下降,与何冬雪等^[21]的研究结论一致,可能是桑叶中含有叶绿素、黄酮类色素以及面包烘焙时美拉德反应使面包色泽加深^[22]。

面包 a^* 值随着 FMLP 添加量的增加由绿色到红色再偏向绿色。FMLP 添加量较低时,叶绿素绿色覆盖面粉美拉德反应的红色。FMLP 添加量中等时, a^* 值最高,可能是桑叶多酚作为亲核试剂与美拉德反应产生的活性羰基化合物形成颜色更深的复合色素^[23]。FMLP 添加量较多时,过量多酚络合物会抑制美拉德反应,使绿色凸显^[24]。

与对照相比,添加 FMLP 后 b^* 均增高,但随着 FMLP

表 2 FMLP 添加量对面包色泽的影响[†]

FMLP 添加量/%	L^*	a^*	b^*
0.0	62.45 ± 1.59 ^a	1.68 ± 2.55 ^b	13.37 ± 0.32 ^c
2.5	54.45 ± 1.73 ^b	-0.18 ± 0.13 ^d	28.50 ± 1.09 ^a
5.0	46.85 ± 2.45 ^c	2.53 ± 0.10 ^a	25.48 ± 2.32 ^{ab}
7.5	41.14 ± 1.47 ^d	0.78 ± 0.17 ^c	22.82 ± 1.09 ^{bc}
10.0	35.34 ± 1.55 ^e	-1.19 ± 0.02 ^e	19.39 ± 1.73 ^{cd}
12.5	33.63 ± 0.34 ^e	-0.17 ± 0.16 ^d	17.40 ± 0.28 ^{de}

[†] 同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

添加量的增加, b^* 逐渐下降,可能是桑叶多酚与面团还原糖发生微弱的美拉德反应,形成黄色羟甲基糠醛, b^* 值增加。FMLP 添加量较高时,桑叶多酚对面团中微量的金属离子形成蓝黑色络合物,中和部分黄色。

2.3 对面包质构的影响

由表 3 可知,随着 FMLP 添加量的增加,面包硬度先增加后降低又增加,弹性、内聚性与之相反。FMLP 添加量较低时,其茶多酚羟基与淀粉分子氢键结合,阻碍淀粉分子间的缠绕与结合,硬度相对较低^[25]。当 FMLP 添加量 $> 10\%$ 时,过量纤维交联阻碍面筋蛋白形成持续网络,持气能力下降,结构密化,硬度增加,黏附性下降,回弹和内聚阻力增大^[26]。当 FMLP 添加量为 7.5% 时,面包咀嚼性崩塌,可能与该添加量下弹性和内聚性骤降,面筋网络松散有关。面包的黏附性与其果胶等多糖遇水溶出后在面团中形成黏性凝胶,咀嚼时黏附口腔有关。总之,添加 FMLP 对面包质构特性的影响存在阈值效应。

2.4 对面包感官品质的影响

由图 2 可知,添加 FMLP 对面包感官评定的影响是先增高后降低。与空白组相比,添加少量 FMLP 可以明显改善面包的外观、色泽、组织结构、风味和口感,消费者更易接受,当 FMLP 添加量为 5% 时,面包的接受度最高,可能是 FMLP 膳食纤维的茶香味在烘烤过程中散发出来,其膳

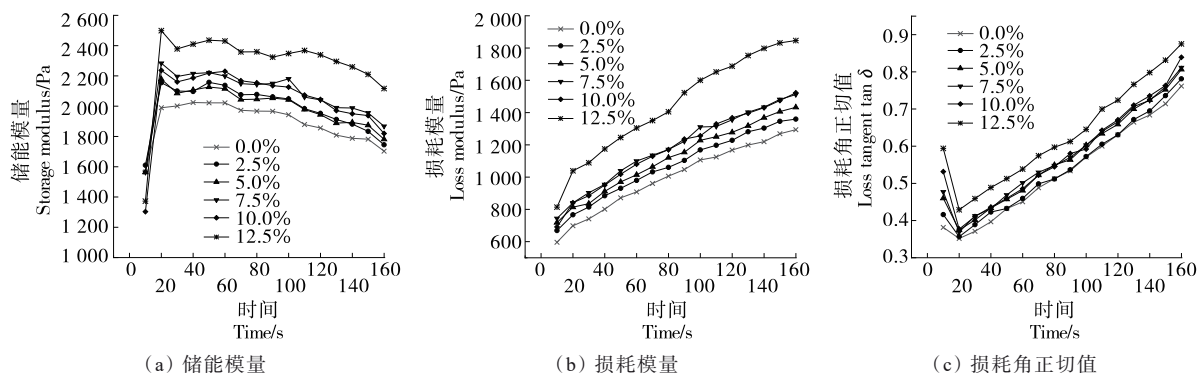


图 1 FMLP 对面团流变学特性的影响

Figure 1 Effects of FMLP on the rheological properties of dough

表 3 FMLP 添加量对面包质构的影响[†]

Table 3 Effect of FMLP addition on the texture of bread

FMLP 添加量/%	硬度/N	黏附性/(N·s)	内聚性	弹性	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
0.0	8.22±1.54 ^b	0.31±0.01 ^{bc}	0.35±0.004 ^{ab}	4.81±0.12 ^a	3.38±0.62	16.37±3.39
2.5	9.81±2.24 ^b	0.33±0.04 ^{bc}	0.32±0.017 ^{ab}	4.52±0.49 ^a	3.68±0.73	16.49±3.13
5.0	9.35±1.85 ^b	0.46±0.04 ^{ab}	0.38±0.024 ^a	5.05±0.53 ^a	4.06±0.52	20.71±3.68
7.5	9.41±1.24 ^b	0.57±0.05 ^a	0.31±0.012 ^b	4.19±0.14 ^a	3.33±0.47	14.05±2.35
10.0	15.21±3.69 ^a	0.23±0.02 ^c	0.30±0.013 ^b	3.78±0.34 ^a	4.61±0.78	16.68±2.90
12.5	15.71±2.29 ^a	0.32±0.04 ^{bc}	0.29±0.032 ^b	3.78±0.50 ^a	4.94±0.69	19.07±2.37

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

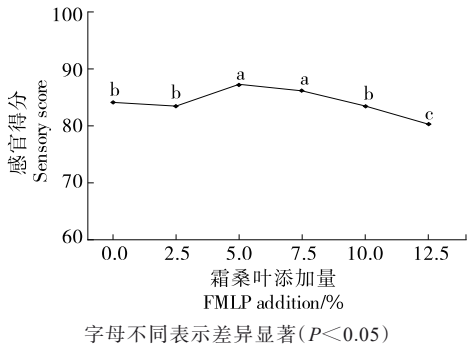


图 2 FMLP 添加量对面包感官品质的影响

Figure 2 Effect of FMLP addition on the sensory quality of bread

食纤维的膨胀性使面包回弹力好,外观饱满。添加过量 FMLP 的面包茶香更浓郁,但其硬度偏大、表面光滑度差,咀嚼时黏附口腔,并伴有一定的颗粒粗糙感,面包内部气孔不均匀。

2.5 对面包体积、质量和比容的影响

由表 4 可知,随着 FMLP 添加量的增加,面包比容逐渐降低。当 FMLP 添加量为 0%~7.5% 时,面包比容由 2.40 mL/g 降至 2.25 mL/g,各处理组间无显著差异,说明较低添加水平下霜桑叶中的纤维多糖可能在一定程度上辅助面筋网络结构的形成,有利于气体保持,从而维持较为稳定的比容。当 FMLP 添加量>10.0% 以上时,面包比容显著下降($P<0.05$),表明高添加量下膳食纤维可能破坏面筋蛋白的连续性,削弱面筋网络强度,导致持气能力下降。此外,霜桑叶中不溶性纤维可能增强体系持水性,促使水分更多分布于纤维间隙中,而可溶性纤维因高溶解性与低膨胀性无法有效支撑气体膨胀,进一步造成比容的显著降低^[27]。

2.6 对面包综合得分指数的影响

以面包的硬度、黏附性和胶黏性为负向指标,弹性、内聚性、咀嚼性、比容和感官评价为正向指标,利用 SPSSPRO 软件中的优劣解距离法(TOPSIS)得到不同 FMLP 添加量下面包的综合得分指数。由图 3 可知,当 FMLP 添加量为 5% 时,面包的综合得分最高,为 0.767。

表 4 FMLP 添加量对面包比容的影响[†]

Table 4 Effect of FMLP addition on the specific volume of bread

FMLP 添加量/%	面包体积/mL	面包质量/g	比容/(mL·g ⁻¹)
0.0	72.67±1.76 ^a	30.36±1.60	2.40±0.08 ^a
2.5	73.67±2.33 ^a	31.35±1.39	2.35±0.03 ^a
5.0	73.23±1.69 ^a	31.91±1.40	2.30±0.07 ^a
7.5	73.38±0.31 ^a	32.70±1.29	2.25±0.08 ^a
10.0	61.23±0.62 ^b	33.02±1.37	1.86±0.09 ^b
12.5	63.92±0.61 ^b	33.59±2.43	1.92±0.06 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.7 对面包贮藏期间硬度的影响

面包老化是指面包贮藏过程中表皮逐渐失去光泽,面包芯硬化易掉渣以及水分发生迁移或散失的现象。面包的硬度是面包新鲜程度的关键指标之一。硬化越快,表明老化速率越高。以综合评分最高的 FMLP 面包为试验组,未添加 FMLP 面包(对照组)进行硬度对比,如图 4 所示,随着贮藏时间的延长,两种面包硬度均呈先上升后下降趋势,试验组硬度始终高于对照组。对照组和试验组在第 5 天的硬度分别增加 68.73% 和 49.15%,老化率分别为 1.29,1.15 N/d,表明添加 FMLP 可以抑制面包老化,更好地维持面包新鲜度^[28]。贮藏初期,面包硬度上升可

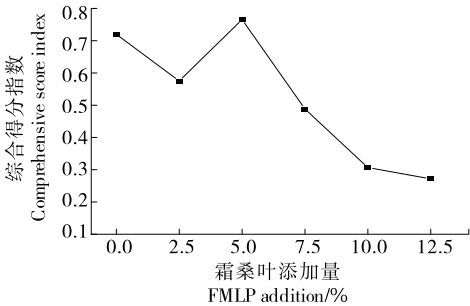
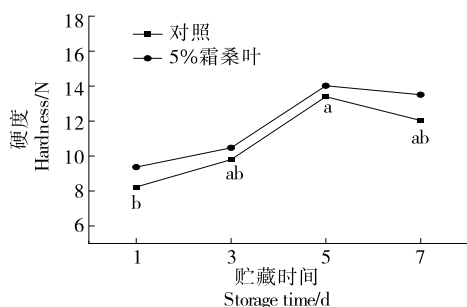


图 3 FMLP 添加量对面包综合得分指数的影响

Figure 3 Effect of FMLP addition on the comprehensive score index of bread

能源于水分散失以及组织间 CO_2 减少,导致内部结构致密,硬度增加。贮藏第7天,硬度均下降,可能与常温保存条件下频繁取样引入一定微生物有关,微生物代谢消耗面包营养,使面包结构坍塌,硬度降低。



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图4 贮藏期间面包的硬度变化

Figure 4 Changes in hardness of bread during storage

2.8 对面包贮藏期间水分含量的影响

面包贮藏期间水分的减少速率在一定程度上可以反映面包的新鲜程度。由图5可知,试验组FMLP面包在初期含水量低于对照组,可能与桑叶纤维竞争吸水有关^[29]。随着贮藏时间的延长,两种面包的含水量均有所下降,贮藏第7天,对照组和试验组含水量比第1天分别降低6.41%和6.16%,表明添加FMLP对贮藏期间面包水分含量的影响较小。

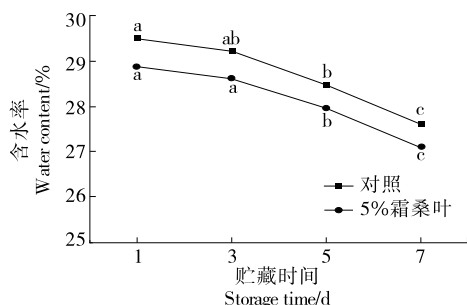


图5 贮藏期间面包的水分含量变化

Figure 5 Changes in moisture content of bread during storage

3 结论

研究表明,霜桑叶粉添加量越高,面团的储能模量、损耗模量和损耗角正切值越高,但霜桑叶粉添加量 $>10\%$ 时,因纤维物理阻隔和酚类物质与面筋蛋白相互作用,面团结构稳定性减弱。添加霜桑叶粉可使面包色泽改变,硬度、咀嚼性和茶香风味增加,比容降低,抗老化能力显著提升,过量添加则会使面包色泽暗沉,黏附性强,口感变差。综合各指标,霜桑叶粉的最佳添加量为5%,此时面包硬度适中、弹性与咀嚼性最佳,色泽喜人且淡淡的茶香风味协调,感官接受度好。后续可结合体外消化特性

深入探讨霜桑叶粉面包中黄酮、多糖等活性成分与小麦蛋白的互作效应。

参考文献

- [1] 吴均, 杨碧文, 赵珮, 等. 桑叶多糖提取工艺优化及体外抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(12): 170-177.
Wu J, Yang B W, Zhao P, et al. Optimization of extraction process of polysaccharides from mulberry leaves and determination of the antioxidant activity in vitro[J]. Food & Machinery, 2024, 40(12): 170-177.
- [2] 曾晓艳, 谭朝阳, 刘伟, 等. 霜桑叶的生药学鉴别及品质分析[J]. 中药材, 2022, 45(2): 316-320.
Zeng X Y, Tan X Y, Liu W, et al. Pharmacognostic identification and quality analysis of frost mulberry leaf[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2022, 45(2): 316-320.
- [3] 王丽, 文海朝, 张凌峰, 等. 不同经霜时间霜桑叶品质的变化规律[J]. 蚕业科学, 2023, 49(4): 299-312.
Wang L, Wen H C, Zhang L F, et al. Change in quality of frosted mulberry leaves after different frosting time[J]. Acta Sericologica Sinica, 2023, 49(4): 299-312.
- [4] 宣佳佳. 乳酸菌的筛选及富 γ -氨基丁酸桑叶粉酸面团面包的制备[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2024: 1-3.
Xuan J J. Screening of lactic acid bacteria and preparation of sourdough bread with mulberry leaf powder rich in γ -aminobutyric acid[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2024: 1-3.
- [5] 方太松, 朱帅, 丁晓雯, 等. 桑叶超微粉奶茶降脂功效的评价[J]. 现代食品科技, 2017, 33(12): 23-28.
Fang T S, Zhu S, Ding X W, et al. Evaluation of the lipid-lowering effect of mulberry leaf ultrafine powder milk tea[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(12): 23-28.
- [6] 刘海波, 付文军, 郑万琴, 等. 不同粒度甘薯渣纤维对面包品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(4): 51-58.
Liu H B, Fu W J, Zheng W Q, et al. Effects of different particle size of sweet potato residue cellulose on bread quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(4): 51-58.
- [7] 程琳, 逮蕾, 贾颖, 等. 亚麻籽粉添加量对面包品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2024, 58(5): 862-869.
Cheng L, Lu L, Jia Y, et al. Effect of flaxseed meal addition on bread quality[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2024, 58(5): 862-869.
- [8] 覃宇悦, 余虹达, 陈柯君, 等. 紫米粉和羊肚菌粉添加对面团及面包品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(4): 42-49.
Qin Y Y, Yu H D, Chen K J, et al. Effects of purple rice and morchella esculenta powder substitution on the quality of dough and bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(4): 42-49.
- [9] 吴坤伟, 魏明, 钱森和, 等. 黄精粉对面团特性及面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(7): 190-198.
Wu K W, Wei M, Qian S H, et al. Effect of *Polygonatum sibiricum* powder on properties of dough and quality of bread[J]. Food & Machinery, 2025, 41(7): 190-198.
- [10] 陈文博, 陈思嘉, 袁华冰, 等. 桑叶粉对面包品质及抗氧化能

- 力的影响[J]. 食品工业, 2025, 46(5): 1-6.
- Chen W B, Chen S J, Yuan H B, et al. Effects of mulberry leaf powder on bread quality and antioxidant capacity[J]. The Food Industry, 2025, 46(5): 1-6.
- [11] 郭金环, 刘冠卉, 黄礼荣, 等. 桑叶馒头的制备及品质分析[J]. 食品科技, 2022, 47(11): 136-141.
- Guo J H, Liu G H, Huang L R, et al. Preparation and quality analysis of mulberry leaf steamed bread[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(11): 136-141.
- [12] 索文静. 甘薯生浆对面团加工特性及面包品质的影响研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2023: 7-11.
- Suo W J. Effect of addition of sweet potato pulp on dough processing characteristics and bread quality[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2023: 7-11.
- [13] 张英仙, 于明, 祖力皮牙·买买提, 等. 苕菁超微粉对面团性质及面包品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2025, 38(2): 17-23.
- Zhang Y X, Yu M, Zulipiya M, et al. Effects of ultra-fine turnip powder on dough property and bread quality[J]. Cereals & Oils, 2025, 38(2): 17-23.
- [14] 李霞, 徐宗喜, 宁兴燕, 等. 异麦芽酮糖对面包和馒头品质的影响[J]. 中国食品添加剂, 2025, 36(5): 82-88.
- Li X L, Xu Z X, Ning X Y, et al. Effect of isomaltulose on the quality of bread and steamed buns[J]. China Food Additives, 2025, 36(5): 82-88.
- [15] 黄圣博, 张瑶, 俞玥, 等. 加工方法对苦荞粉添加吐司面包品质的影响研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(13): 198-203.
- Huang S B, Zhang Y, Yu Y, et al. Effect of processing methods on quality of Tartary buckwheat flour-containing bread[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(13): 198-203.
- [16] 苏珊, 徐瑞霞, 张顺, 等. 乳酸菌发酵豆渣酸面团对馒头面团特性和馒头品质的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(11): 2 218-2 228.
- Su S, Xu R X, Zhang S, et al. Effects of lactic acid bacteria fermented soybean dregs sourdough on steamed bread dough characteristics and steamed bread quality[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2022, 36(11): 2 218-2 228.
- [17] 张慧娟, 冯钰琳, 付冰冰, 等. 麦麸酚酸类物质对面团聚集态的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(4): 55-63.
- Zhang H J, Feng Y L, Fu B B, et al. Effect of phenolic acids from wheat bran on aggregation state of dough[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(4): 55-63.
- [18] Zhang Y, Hong T T, Yu W J, et al. Structural, thermal and rheological properties of gluten dough: comparative changes by dextran, weak acidification and their combination[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127154.
- [19] 左祥莉, 章焰, 陈洁, 等. 米糠粉对面团流变学特性影响研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(7): 60-67.
- Zuo X L, Zhang Y, Chen J, et al. Effects of rice bran powder on dough rheological properties[J]. Food Research and Development, 2022, 43(7): 60-67.
- [20] 李心灵, 岳清华, 郑雁, 等. 红米粉对小麦面团特性及馒头品质的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(2): 146-152.
- Li X L, Yue Q H, Zheng Y, et al. Effects of red rice flour on wheat flour dough characteristics and steamed bread quality[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(2): 146-152.
- [21] 何冬雪, 苏光林, 谢文佩. 桑叶粉对海绵蛋糕品质及质构性质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(5): 113-118.
- He D X, Su G L, Xie W P. Effect of mulberry leaf powder on quality and texture properties of sponge cake[J]. Storage and Process, 2020, 20(5): 113-118.
- [22] 刘莉. 青稞面包质构特性和微观结构研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2024: 23-26.
- Liu L. Study on the texture and microstructure of highland barley bread[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2024: 23-26.
- [23] 尹梓如, 秦芳媛, 韩雪. 膳食多酚对美拉德反应产物化学及生物活性的影响[J]. 河北科技大学学报, 2025, 46(3): 296-303.
- Yin Z R, Qin F Y, Han X. Effect of dietary polyphenols on chemical and biological activities of Maillard reaction products[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2025, 46(3): 296-303.
- [24] 李华, 轩滋. 多酚对美拉德反应有害衍生物影响的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(1): 132-138.
- Li H, Xuan Z. Research progress on the influences of polyphenols on harmful Maillard reaction derivatives[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(1): 132-138.
- [25] 陈南, 陈龙, 何强, 等. 茶多酚对小麦淀粉理化特性和面包品质的影响及机理[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 8-16.
- Chen N, Chen L, He Q, et al. Effects of tea polyphenols on physicochemical properties of wheat starch and bread quality and their action mechanism[J]. Food Science, 2021, 42(21): 8-16.
- [26] 王小媛, 王文静, 丁俊豪, 等. 红枣粉对小麦面团特性以及微观结构的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(9): 28-32, 39.
- Wang X Y, Wang W J, Ding J H, et al. Effect of jujube powder on properties and microstructure of wheat dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 28-32, 39.
- [27] 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: 36-43.
- Song Y B. Preparation, physical-chemical, functional properties analysis and application in bread of dietary fibre obtained from coconut flour[D]. Haikou: Hainan University, 2017: 36-43.
- [28] Jin Y C, Tu J, Han X Y, et al. Characteristics of mulberry leaf powder enriched with γ -aminobutyric acid and its antioxidant capacity as a potential functional food ingredient[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 900718.
- [29] 汪金萍, 曹蒙, 王雪菲, 等. 抹茶粉对面团流变学特性及面条品质的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(8): 229-235, 115.
- Wang J P, Cao M, Wang X F, et al. Effects of matcha powder on dough rheological properties and noodle quality[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 229-235, 115.