

荷叶粉添加量对全麦面团特性 及全麦面包品质的影响

陈 芮 龚凌霄

(北京工商大学, 北京 100048)

摘要: [目的]明确全麦粉中荷叶粉最佳添加量,以期在提升全麦面包营养功能的同时维持良好品质。[方法]利用快速黏度分析仪、流变仪和质构仪探究了复配粉的糊化特性、荷叶全麦面团的流变学特性及面包的质构特性,并通过色差仪、感官评定和体外消化评价荷叶粉对全麦面包品质的影响。[结果]随着荷叶粉添加量增加,复配粉的糊化谱及全麦面团的储存模量和损失模量显著降低。但当其添加量 $\leq 2\%$ 时,与对照组相比,荷叶全麦面包的色泽、比容、质构特性及感官评价结果无显著改变。此外,添加1%~5%的荷叶粉可使全麦面包消化液的DPPH自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率和亚铁离子还原力分别提升10.13%~30.59%,39.27%~198.94%,18.67%~77.57%。[结论]将荷叶粉添加量控制在2%以内,可以在保证全麦面包品质及消费者接受度的同时,赋予面包抗氧化属性。

关键词: 荷叶粉;全麦面包;糊化特性;流变特性;质构;抗氧化能力

Effect of lotus leaf powder addition on whole wheat dough characteristics and whole wheat bread quality

Chen Rui Gong Lingxiao

(Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: [Objective] To determine the optimum addition of lotus leaf powder in whole wheat flour, thus improving the nutritional value of whole wheat bread while maintaining high quality. [Methods] Rapid viscosity analyzer, rheometer, and texture analyzer are employed to explore the pasting properties of the composite flour, the rheological characteristics of the dough, and the texture properties of the bread. Additionally, the effect of lotus leaf powder on the quality of whole wheat bread is evaluated using a colorimeter, sensory evaluation, and *in vitro* digestion evaluation. [Results] The analysis reveals that as the lotus leaf powder addition is increased, a significant decrease occurs in the pasting profile of the composite flour, as well as the elastic modulus and viscous modulus of the whole wheat dough. However, when the addition is $\leq 2\%$, no significant change is observed in the color, specific volume, texture properties, or sensory evaluation of the lotus leaf whole wheat bread. Furthermore, an addition of 1% to 5% lotus leaf powder increases DPPH free radical scavenging activity by 10.13% to 30.59%, ABTS⁺ free radical scavenging activity by 39.27% to 198.94%, and ferric ion reducing power by 18.67% to 77.57% in the digestive fluids of whole wheat bread. [Conclusion] When lotus leaf powder addition is controlled within 2%, the quality and consumer acceptability of whole wheat bread can be ensured, while antioxidant properties can be imparted to the bread.

Keywords: lotus leaf powder; whole wheat bread; pasting property; rheological property; texture; antioxidant capacity

荷叶 (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) 为莲科莲属多年生水生植物叶片,是一种天然的药食两用保健食品,在中国来源广泛,价格低廉。荷叶中含有丰富的生物碱、黄酮、酚酸及多糖等生物活性成分,因具有抗氧化特性,已被证

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2024YFF1105603)

通信作者:龚凌霄(1981—),女,北京工商大学教授,博士。E-mail:gonglingxiao@btbu.edu.cn

收稿日期:2025-04-30 改回日期:2026-02-05

引用格式:陈芮,龚凌霄. 荷叶粉添加量对全麦面团特性及全麦面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(7): 120-127.

Citation: Chen Rui, Gong Lingxiao. Effect of lotus leaf powder addition on whole wheat dough characteristics and whole wheat bread quality[J]. Food & Machinery, 2026, 42(7): 120-127.

实可以有效缓解氧化应激、肝功能损伤、抑制糖尿病晚期糖基化终产物形成,预防肥胖等^[1-3]。此外,荷叶中含有的烯类、醇类以及挥发油等化合物又赋予了其加工制品淡雅的清香味^[4]。目前已有研究将荷叶作为营养增强剂、风味改良剂或抗氧化剂,应用于肉糜^[5]、戚风蛋糕^[6]、酸奶^[7]等食品中。

随着消费者健康意识的提升,越来越多的人追求健康食品多样性。面包因具有广泛的消费基础和较强的配方灵活性,被视为人体补充维生素、膳食纤维和酚类抗氧化剂等营养物的理想载体^[8]。近年来,将果渣、谷物麸皮、药食同源植物等天然植物基原料应用于面包制作,从而增强其营养价值和感官特性成为了研究的热点之一^[9-10]。面包中添加如苕麻叶^[11]、洋甘菊粉^[9]、大黄粉^[12]等植物,不仅可直接增加面包的膳食纤维含量,增强面包的持水性,从而减缓面包老化,还因具有较高的多酚含量,从而赋予了面包抗氧化特性。此外,不同于传统面包原料精制小麦粉,全麦粉在研磨过程中保留了整粒小麦的胚乳、麸皮和胚芽^[13],使其制得的全麦面包较传统小麦面包,具有更高水平的膳食纤维(非淀粉多糖)、矿物质、维生素以及酚酸、黄酮、叶酸等生物活性物^[14]。流行病学研究^[15-16]表明,提升全麦粉在膳食中的占比,有助于降低患心脑血管疾病、2型糖尿病、肥胖和癌症等慢性疾病的风险。

基于此,将荷叶粉添加到全麦粉中,开发膳食纤维含量高并具有抗氧化功能的全麦面包,不仅可以改善全麦面包的品种单一的缺点,赋予全麦面包独特的风味和色泽,还可以增强全麦面包营养价值,使其符合市场对于具有预防疾病和健康强化食品的需要。然而,荷叶粉添加量对全麦粉加工特性及全麦面包品质特性的影响还未明确。同时,经过焙烤后的荷叶是否仍可赋予全麦面包较强的抗氧化能力亦未可知。因此,研究拟将探究荷叶粉添加量对混合粉糊化特性及面团流变学特性的影响,以及其对成品荷叶全麦面包的颜色、比容、质构、体外抗氧化能力以及消费者可接受程度的影响,以期在满足口感需求的同时,为荷叶全麦面包的开发提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

荷叶粉:亳州市同善堂生物科技有限公司;

全麦粉:郑州山林晨曦食品有限公司;

安佳黄油:恒天然商贸(上海)有限公司;

食用盐、白砂糖、鸡蛋:市售;

安琪高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;

胃蛋白酶:酶活性 0.7 FIP-U/mg,美国 Sigma-Aldrich 公司;

胰酶(来源于猪胰腺):蛋白酶活性 350 U/mg,淀粉酶

活性 350 U/mg,脂肪酶活性 75 U/mg,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;

甲醇、磷酸二氢钾、碳酸氢钠、盐酸、碳酸铵、氯化钙、亚硝酸钠、冰醋酸等:分析纯,北京半夏科技有限公司。

1.2 仪器与设备

马弗炉:SN 323696型,纳博热(上海)工业炉有限公司;

快速黏度分析仪:RVA4800型,波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;

混合流变仪:DHR型,美国TA公司;

质构仪:CT3025K型,美国 Brookfield公司;

便携式精密色差仪:WSC-2B型,上海仪电物理光学仪器有限公司;

紫外—可见分光光度计:Cary 100型,安捷伦科技有限公司;

酶标仪:BioTek Synergy H1MDG型,美国 BioTek Instruments公司;

电子天平:ME104型,梅特勒—托利多仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 荷叶粉基本成分及活性成分含量测定

(1)水分:按GB 5009.3—2016执行。

(2)灰分:按GB 5009.4—2016执行。

(3)蛋白质:按GB 5009.5—2016执行。

(4)膳食纤维:按GB 5009.88—2023执行。

(5)荷叶碱:根据文献[17]。

(6)黄酮:根据文献[18]。

1.3.2 混合粉及荷叶全麦面团制备

(1)混合粉:按质量分数1%,2%,3%,4%,5%将荷叶粉添加到全麦粉中,混合均匀后制得荷叶全麦粉,对照组为不添加荷叶粉的全麦面粉。

(2)面团:将200 g混合粉、140 mL蒸馏水在和面钵中混匀制得面团。静置5 min后,面团分成小块用于后续理化性质测定试验。不含荷叶粉的面团作为空白对照组。

1.3.3 面粉糊化特性分析 根据GB/T 24853—2010修改如下:准确称量3.5 g荷叶全麦混合粉,设定水分含量为14%,加入25 g蒸馏水后搅动混匀。使样品悬浮液在50℃下保持2 min,再以6℃/min的速率加热至95℃,保持4 min后,以9℃/min的速率冷却至50℃,并保持4 min。由RVA曲线可得到糊化温度、峰值时间、峰值黏度、保持黏度、终值黏度,通过计算得到崩解值和回生值。

1.3.4 面团动态流变学特性分析 根据文献[19]修改如下:取5 g面团,揉成表面光滑的小球后轻微压扁,放置于DHR流变仪底盘中心。调整平板间距为2 mm,用刮板刮去多余的面团并用甲基硅油密封面团边缘,防止水分散失。静置5 min后,对样品进行频率扫描流变学试验,频

率扫描测量参数为:40 mm 圆形平板,温度 25 ℃,应变 0.5%(线性黏弹区内),频率变化范围 0.01~100 Hz。

1.3.5 荷叶全麦面包制作 根据 GB/T 14611—2008 修改如下:荷叶全麦混合粉 100 g、酵母 1.2 g、白糖 8 g、盐 0.3 g、水 70 g、黄油 5 g。将材料混合均匀,室温醒发 10 min,醒发后的面团揉搓大约 15 min 至面团表面光滑不粘手,发酵箱(温度 30 ℃,相对湿度 85%)内发酵 1 h,取出后揉搓(排气),再次发酵 0.5 h,之后在上管 150 ℃、下管 170 ℃条件下烘烤 15 min。面包于室温冷却 1 h 后进行荷叶全麦面包性质测定。

1.3.6 全麦面包色泽及比容测定

(1) 色泽:利用色差仪测定各组荷叶全麦面包的 L^* 、 a^* 和 b^* 值。

(2) 比容:按 GB/T 20981—2021 执行,采用小米置换法测面包体积,并称得面包质量,按式(1)计算面包比容。

$$v = \frac{V}{M}, \quad (1)$$

式中:

v ——面包比容, mL/g;

V ——面包体积, mL;

M ——面包质量, g。

1.3.7 全麦面包质构分析 面包在室温下冷却 1 h 后,将面包芯切成大小为 3 cm×3 cm×3 cm 的方块用于质构测试。取切好的面包芯置于测试台上,采用直径 6 mm 的圆柱形平底探头进行质构测试。测试条件:测前速度 2.0 mm/s;测试速度 0.5 mm/s;测后速度 1.0 mm/s;压缩程度 75%;两次压缩之间停留时间 5 s;触发力 0.098 N。每组分别测试 5 个面包芯,通过质构分析仪得到面包的硬度、咀嚼度、内聚性和弹性。

1.3.8 感官评定 根据文献[20]修改如下:面包在室温下冷却 1 h 后,邀请 12 位 25~30 岁评价人员(男女比例为 1:1),对荷叶全麦面包表面颜色、面包芯颜色、面包质地、气味、口感以及整体可接受性 6 个方面进行感官评定。评分 1~2 分表示非常不喜欢、3~4 分表示不喜欢、5~6 分表示中立、7~8 分表示喜欢、9~10 分表示非常喜欢,以此反映评价人员对荷叶全麦面包的喜好程度,取评分的平均值作为感官评定结果。

1.3.9 全麦面包抗氧化性测定

(1) 样品的体外模拟消化:将荷叶全麦面包冷冻干燥后粉碎得到面包粉。根据文献[21]对各组面包粉进行体外模拟消化,消化液保存于 -20 ℃待测。

(2) DPPH 自由基清除能力:向 10 mL 具塞管中准确移取 0.1 mL 消化液和 2.9 mL 0.000 1 mol/L 的 DPPH 甲醇溶液,漩涡混匀。室温下避光放置 1 h 后测定 517 nm 处吸光值,以 0.1 mL 甲醇和 2.9 mL DPPH 溶液反应的混合液为空白,根据式(2)计算 DPPH 自由基清除率。

$$A = \left(1 - \frac{A_1}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

A ——自由基清除率,%;

A_1 ——样品组的吸光度值;

A_0 ——空白组的吸光度值。

(3) ABTS⁺自由基清除能力:将 125 mL 7 mmol/L 的 ABTS 溶液与 22 mL 140 mmol/L 的过硫酸钾溶液混合均匀,室温下避光静置 15 h,形成稳定的 ABTS⁺溶液。使用前利用甲醇稀释 ABTS⁺溶液,使其在 734 nm 处的吸光值为 0.70,得到 ABTS⁺工作液。移取 0.1 mL 消化液与 2.9 mL ABTS⁺工作液于试管中,漩涡混匀,避光反应 6 min 后于 734 nm 处测定吸光值。以 0.1 mL 甲醇与 2.9 mL ABTS⁺工作液反应的混合液为空白,根据式(2)计算 ABTS⁺自由基清除率。

(4) 亚铁离子还原力(FRAP):将 100 mL 300 mmol/L 醋酸缓冲液(pH 3.6)、10 mL 10 mmol/L 二硫代苏糖醇溶液和 10 mL 20 mmol/L 氯化铁溶液混合均匀制得 FRAP 溶液。取 0.1 mL 浓度分别为 200, 400, 600, 800, 1 000 μmol/L 的 FeSO₄ 溶液和 0.1 mL 具塞管中,加入 0.3 mL 去离子水和 3.9 mL FRAP 溶液,漩涡混匀。置于 37 ℃水浴处理 4 min 后,于 593 nm 处测定吸光值,绘制标准曲线。以 FeSO₄ 标准曲线计算测定样品相应的 FeSO₄ 浓度,结果表示为每 100 g 样品中相当于 FeSO₄ 的量 (mmol FeSO₄/100 g 样品)。

1.4 数据处理

试验数据以平均值±标准偏差表示,采用 SPSS Statistics 27 进行差异显著性分析, $P < 0.05$ 被认为具有统计学意义。利用 Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 荷叶粉添加量对全麦粉糊化特性的影响

荷叶粉的组成成分如表 1 所示,其具有较高水平的膳食纤维及黄酮、植物蛋白等生物活性物质,适当添加到全麦粉中有助于提升全麦面包的功能属性,发挥更多健康功效。

淀粉糊化时,淀粉颗粒发生吸水、膨胀、结晶结构被破坏并滤出直链淀粉等过程,从而产生黏度变化,这一过程与食品的质构特性和成品品质密切相关^[22]。荷叶全麦粉的糊化特性曲线(图 1)可以反映混合粉中淀粉在加热和冷却过程中的黏度变化及糊化进程,添加荷叶粉后,淀粉糊化的黏度谱呈降低趋势,且下降程度与其添加量正相关。

糊化过程中相关参数变化如表 2 所示,混合粉的糊化温度及峰值时间随荷叶粉添加量增加而降低,表明添加荷叶粉后全麦面粉更容易发生糊化。此外,峰值黏度、保

表 1 荷叶粉组成成分

Table 1 Composition of lotus leaf powder

水分/%	灰分/%	蛋白质/%	膳食纤维/%	总黄酮/(mg·g ⁻¹)	荷叶碱/(mg·g ⁻¹)
3.35±0.51	10.10±0.13	4.24±0.10	39.71±0.34	44.79±2.58	2.05±0.12

持黏度、终值黏度也随着荷叶粉的增加逐渐降低,可能是荷叶粉部分替代了全麦面粉后导致体系中淀粉含量降低,从而使糊化特性减弱。同时,荷叶粉中的膳食纤维具有物理阻隔作用,不仅会与淀粉颗粒竞争水分,还可能会对淀粉颗粒造成机械损伤,从而影响全麦粉中淀粉的溶胀和糊化行为^[23]。

崩解值是衡量淀粉颗粒在高温条件下抗剪切能力的一个重要指标,添加3%~5%的荷叶粉使全麦面粉的崩解值显著降低($P<0.05$),说明淀粉颗粒的热稳定性增强^[24],有利于保持面团的结构强度。回生值反映淀粉的成胶能力和回生程度,淀粉回生现象将导致面包在贮藏过程中质地变硬,口感降低。荷叶粉的加入显著降低了体系的回生值($P<0.05$),可能是荷叶粉中多酚类物质的羟基与淀粉通过氢键、疏水相互作用等方式结合,阻碍了淀粉分子自身的羟基缔结,从而减少其重排再结晶^[25]。因此,添加荷叶粉能有效延缓全麦粉体系中淀粉的老化

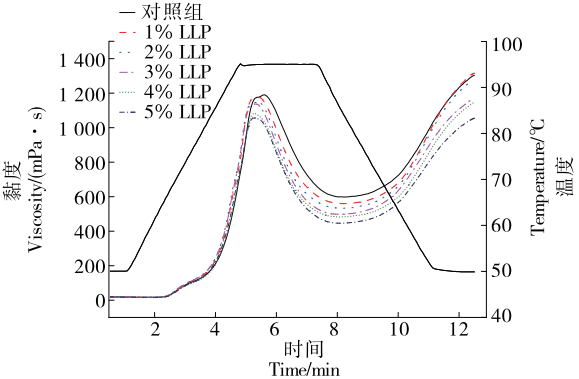


图 1 荷叶粉添加量对全麦粉糊化特性的影响

Figure 1 Effect of lotus leaf powder addition on pasting properties of whole wheat flour

速率,从而起到维持面包口感,延缓面包短期老化的作用,提高产品的保存性能。

表 2 荷叶粉添加量对全麦粉糊化特性的影响†

Table 2 Effect of lotus leaf powder addition on pasting properties of whole wheat flour

荷叶粉添加量/%	糊化温度/℃	峰值时间/min	峰值黏度/(mPa·s)	保持黏度/(mPa·s)	终值黏度/(mPa·s)	崩解值/(mPa·s)	回生值/(mPa·s)
对照组	70.43±0.43 ^a	5.53±0.12 ^a	1 200±44 ^a	584±30 ^a	1 281±59 ^a	616±25 ^a	696±29 ^a
1	69.37±0.12 ^a	5.24±0.04 ^b	1 132±27 ^a	518±25 ^b	1 165±30 ^a	614±23 ^a	647±12 ^b
2	69.28±0.08 ^a	5.22±0.10 ^{bc}	1 122±77 ^a	513±8 ^b	1 154±18 ^{ab}	609±45 ^{ab}	641±12 ^{bc}
3	68.95±0.65 ^a	5.26±0.07 ^b	1 102±49 ^a	508±14 ^{bc}	1 163±34 ^a	594±39 ^b	655±32 ^b
4	68.28±0.03 ^{ab}	5.22±0.38 ^{bc}	974±24 ^b	482±22 ^{bc}	1 102±79 ^b	492±24 ^d	620±66 ^c
5	67.40±0.18 ^b	5.17±0.39 ^c	977±22 ^b	473±34 ^c	1 009±67 ^c	504±19 ^c	536±33 ^d

† 同列小写字母不同代表有显著性差异($P<0.05$)。

2.2 荷叶粉添加量对全麦面团动态流变学特性的影响

如图2(a)和图2(b)所示,随着荷叶粉添加量的增大,面团的储存模量(G')和损失模量(G'')均呈现显著降低趋势。这可能是荷叶粉的加入稀释了面团中面筋蛋白和淀粉,同时荷叶粉中富含的膳食纤维可能阻碍了面筋网络结构的形成,从而导致面团的黏弹性降低,此结果与糊化特性规律一致。 $\tan \delta$ (损耗正切)是 G'' 与 G' 的比值,反映了面团的弹性与黏性的关系。由图2(c)可以看出, $\tan \delta$ 始终小于1,说明面团的 G' 始终大于 G'' ,即面团的弹性大于黏性,并且在荷叶粉添加量1%,2%,3%时,荷叶粉与全麦粉发生了交联作用,导致体系中高聚物的数量增多或聚合度增大^[26],进一步增强了这种特性。添加量为2%

时, $\tan \delta$ 最小,面团品质最好。荷叶粉的添加改变了全麦面团的流变特性,将进而影响其加工性能和加工过程中的物理变化。

2.3 荷叶粉添加量对全麦面包品质的影响

2.3.1 色泽 如图3所示,与对照组相比,随着荷叶粉添加量的增加, L^* 和 a^* 值分别从66.92及3.68下降到了44.41及2.80,而 b^* 值从23.12显著增加到了27.29($P<0.05$)。表明荷叶粉的加入改变了面包的整体色泽,使其变得更加暗沉,并呈现一定的黄绿色调。并且由于荷叶粉中含有大量的叶绿素和叶黄素,即使在焙烤过程中叶绿素被部分还原,但其绿色特征依旧不变^[27]。

2.3.2 比容 如图4所示,低添加量(1%,2%)的荷叶粉

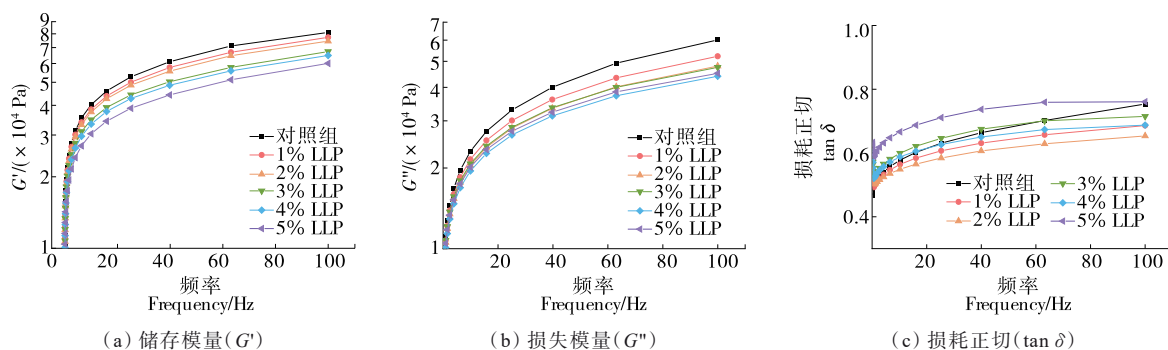


图 2 荷叶粉添加量对全麦粉流变特性的影响

Figure 2 Effect of lotus leaf powder addition on viscoelastic modulus of whole wheat flour

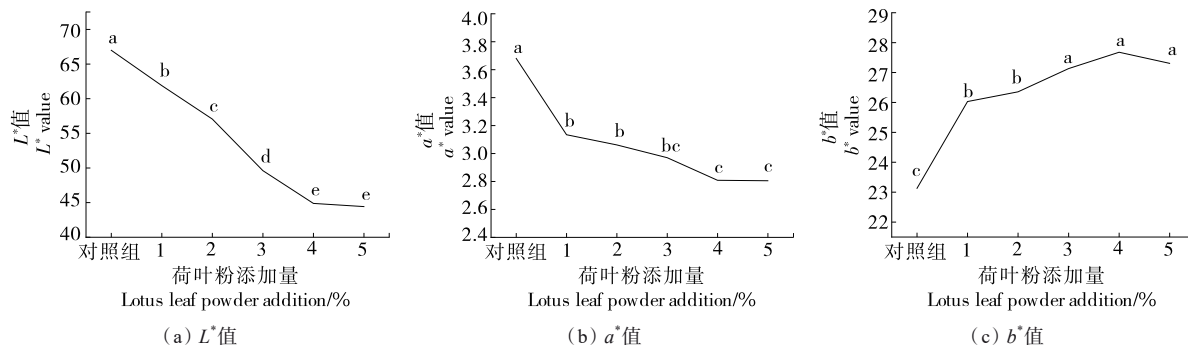
小写字母不同代表有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 3 荷叶粉添加量对全麦面包颜色的影响

Figure 3 Effect of lotus leaf powder addition on color of whole wheat bread

对全麦面包比容无显著影响,然而当添加量提高到3%及以上时,将导致面包体积降低,比容较空白对照组显著 ($P < 0.05$) 降低。

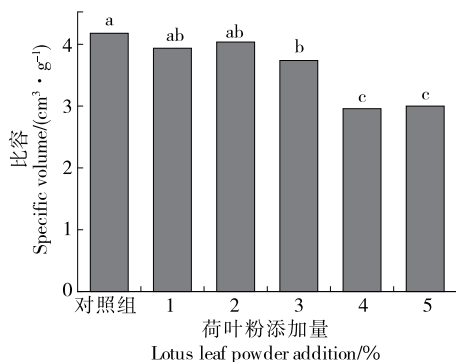
小写字母不同代表有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 4 荷叶粉添加量对全麦面包比容的影响

Figure 4 Effect of lotus leaf powder addition on specific volume of whole wheat bread

研究^[28]表明,面包的比容与醒发过程中面筋网络的形成密切相关,良好的面筋网络能够增加面团的持气能力,促进其体积膨胀,从而提升面包的比容。添加高比例(3%,4%,5%)荷叶粉将增加体系中的膳食纤维含量,从

而显著削弱这一过程。一方面,较高含量的膳食纤维将直接导致面包膨胀过程中面筋网络结构发生机械损伤。另一方面,其与面筋蛋白竞争性结合体系中的水分,导致面筋基质的构象发生改变,引发面筋聚合物网络的结构塌陷^[29]。这一结构劣化直接导致面团气室过早破裂,面团对 CO_2 气体的持气性降低,最终导致面包体积减小,面包比容下降^[30-31]。此结果与 Junejo 等^[32]的研究结果一致,添加膳食纤维含量高的粉末(燕麦、豌豆、柠檬和苹果)将导致面包比容降低,品质下降。

2.3.3 质构特性 如表3所示,荷叶粉对全麦面包的内聚性无显著影响,然而,与对照组相比,添加高比例的荷叶粉将导致全麦面包的硬度和咀嚼度分别升高 19.66%~36.38% 和 36.36%~60.06%,同时弹性显著降低 10.25%~15.13%。过硬的质地会阻碍面团的膨胀,高比例荷叶粉的加入对面筋造成的不良影响,使其无法有效包裹气体,最终导致面包气孔粗大、质地紧实,硬度显著提高^[33]。在面粉中添加菠菜粉^[32]、罗望子粉^[34]、荔枝浆^[31]等不溶性膳食纤维含量高的物质,同样出现了面包硬度和咀嚼性增加的质构品质负面影响。

2.4 荷叶粉添加量对全麦面包感官评分的影响

如表4所示,荷叶粉的添加会影响人们对全麦面包表面及内部颜色、质地、气味、口感的喜好程度以及整体可

表3 荷叶粉添加量对全麦面包质构的影响[†]

Table 3 Effect of lotus leaf powder addition on texture of whole wheat bread

荷叶粉添加量/%	硬度/N	咀嚼性/mJ	内聚性	弹性/mm
对照组	3.40±0.61 ^b	16.20±3.98 ^c	0.63±0.06	8.00±0.62 ^a
1	3.61±0.61 ^{ab}	20.85±2.97 ^{bc}	0.64±0.07	7.80±0.59 ^{ab}
2	3.79±0.52 ^{ab}	20.44±3.12 ^{bc}	0.63±0.02	7.66±0.55 ^{ab}
3	4.07±0.61 ^{ab}	22.09±2.70 ^{ab}	0.64±0.07	7.18±0.47 ^{bc}
4	4.17±0.25 ^{ab}	25.08±2.01 ^{ab}	0.69±0.06	6.55±0.49 ^c
5	4.64±0.43 ^a	25.93±0.11 ^a	0.72±0.04	6.79±0.65 ^c

[†] 同列小写字母不同代表有显著性差异($P<0.05$)。

接受度。荷叶粉添加量为0%,1%,2%,3%,4%,5%的全麦面包整体可接受度分别为7.38,7.31,7.50,6.88,6.13,6.00,荷叶全麦面包的感官评分顺序为:荷叶粉比例为1%=2%>3%>4%>5%。因此,在荷叶粉低添加量情况下,消费者对荷叶全麦面包的接受度普遍较高,可能是低添加量的荷叶粉对全麦面包的表面颜色和面包芯颜色影响较小,其绿色调被消费者接受甚至喜爱,同时,在该添加量下,荷叶粉对全麦面包的质地、气味和整体可接受度无显著负面影响,整体评分接近对照组,说明1%~2%荷

叶粉的添加量在感官品质上是可行的。然而,高添加量($\geq 3\%$)的荷叶粉显著降低了荷叶全麦面包的感官品质,尤其在颜色和质地方面表现出明显劣势。随着添加量增加,面包表面和内部颜色评分逐渐下降,绿色变得更加浓重且暗淡,使得消费者的视觉接受度降低。同时,高含量荷叶粉中的膳食纤维阻碍了面筋网络的形成,使面包的内部结构更加紧密,质地变硬,导致硬度和咀嚼性增加,从而显著降低质地评分。

此外,尽管低添加量的荷叶粉能赋予面包一种独特的植物芳香气味,增加其气味评分,但高添加量时可能因苦涩味而降低了消费者的喜好度。因此,综合分析,1%~2%荷叶粉的添加量对感官品质影响较小,是可被消费者接受的最佳范围,而高添加量则对面包的颜色、质地和口感产生显著负面影响,显著降低整体可接受度。

2.5 荷叶粉添加量对全麦面包抗氧化活性的影响

如图5所示,随着荷叶粉添加量的提高,面包体外消化液DPPH自由基和ABTS⁺自由基清除率分别提高了10.13%~30.59%,39.27%~198.94%,亚铁离子还原能力增加了18.67%~77.57%,荷叶粉具有提升全麦面包的抗氧化性能的能力。而且2%的添加量即可使DPPH自由基和ABTS⁺自由基清除率显著提高16.31%和71.32%,亚铁离子还原能力从403.83 mmol FeSO₄/100 g增加到

表4 荷叶粉添加量对全麦面包感官品质的影响[†]

Table 4 Effect of lotus leaf powder addition on sensory quality of whole wheat bread

荷叶粉添加量/%	面包表面颜色	面包芯颜色	面包质地	气味	口感	整体可接受度
对照组	8.38±1.09 ^a	7.81±1.11 ^a	7.69±1.35 ^a	7.00±1.59 ^b	7.19±1.87 ^a	7.38±1.31 ^a
1	7.75±1.18 ^a	8.00±1.46 ^a	7.84±1.23 ^a	7.44±1.41 ^a	7.13±1.75 ^a	7.31±1.54 ^a
2	6.38±1.50 ^{bc}	7.91±1.37 ^a	7.56±1.36 ^{ab}	7.31±1.74 ^a	6.91±1.37 ^{ab}	7.50±1.41 ^a
3	6.75±1.00 ^b	6.94±1.24 ^{ab}	6.38±1.45 ^c	7.06±1.39 ^b	6.47±1.43 ^b	6.88±1.37 ^b
4	6.06±1.38 ^{bc}	6.25±1.77 ^b	6.56±1.79 ^{bc}	6.88±1.86 ^{bc}	6.00±1.71 ^c	6.13±1.36 ^c
5	5.69±1.89 ^c	5.88±1.59 ^b	6.38±1.82 ^c	6.81±1.94 ^{bc}	6.00±1.55 ^c	6.00±1.03 ^c

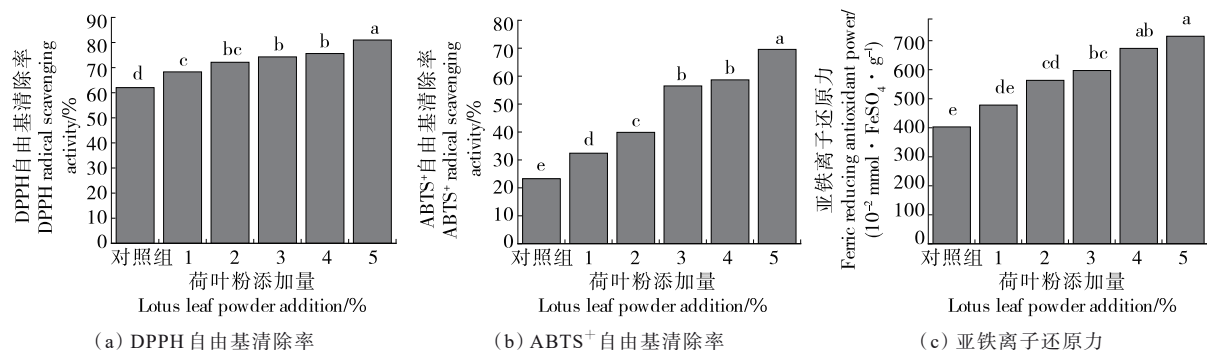
[†] 同列小写字母不同代表有显著性差异($P<0.05$)。

图5 荷叶粉添加量对全麦面包抗氧化性的影响

Figure 5 Effect of lotus leaf powder addition on antioxidant activity of whole wheat bread

564.61 mmol FeSO₄/100 g。这一现象可归因于荷叶粉中富含的黄酮类物质,其中,槲皮素衍生物包括金丝桃苷、异槲皮苷和槲皮素 3-*O*-葡萄糖醛酸苷是荷叶中的优势黄酮类化合物^[35-36]。这类化合物分子中酚羟基上的氢原子可以与过氧自由基结合,从而起到清除自由基的作用^[37-39]。此外,荷叶粉额外赋予全麦面包的抗氧化特性不受高温焙烤的影响,说明其抗氧化活性成分具有良好的稳定性。

3 结论

将荷叶粉应用于全麦面包制作,可在增加其营养价值的同时,赋予其新的口感和风味。研究显示,荷叶粉在全麦面包中的添加量不宜超过 2%,高比例(3%,4%,5%)添加将显著弱化混合粉的糊化行为,降低面团的黏弹性,从而影响成品面包的品质。低添加量(1%,2%)的荷叶粉对全麦面包的质构、比容无显著影响,而且结合感官评价结果分析发现,在该添加量下,荷叶全麦面包的气味被显著增强,并具有荷叶独特的清香味。不仅如此,荷叶粉中富含多酚组分,2%的荷叶粉添加量即可有效增强全麦面包的抗氧化特性。因此,荷叶粉添加量不高于 2%时,可以在保证全麦面包质构特性、感官品质和消费者整体接受度的同时,充分发挥荷叶粉的营养价值和抗氧化功能。

参考文献

- [1] Lin M C, Kao S H, Chung P J, et al. Improvement for high fat diet-induced hepatic injuries and oxidative stress by flavonoid-enriched extract from *Nelumbo nucifera* leaf[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(13): 5 925-5 932.
- [2] Huang J X, He G H, Wu L Y, et al. The edible lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) and its byproducts as valuable source of natural antioxidants: a review of phytochemicals, health benefits, safety and food applications[J]. Future Foods, 2025, 11: 100603.
- [3] 张萌, 陈着, 何瑞瑞, 等. 荷叶及其有效成分治疗代谢综合征研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2025, 27(1): 115-120.
Zhang M, Chen Z, He R R, et al. Research progress of Heye (*nelumbinis folium*) and its active components in the treatment of metabolic syndrome[J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2025, 27(1): 115-120.
- [4] 李亦龙, 尚铂昊, 王建辉, 等. 荷叶活性成分及其药理功能研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(12): 218-225.
Li Y L, Shang B H, Wang J H, et al. Research progress on active ingredients and pharmacological functions of lotus leaf[J]. Food & Machinery, 2022, 38(12): 218-225.
- [5] 杜明静, 唐成, 刘超峰, 等. 荷叶粉对猪肉糜脯风味的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(15): 148-156.
Du M J, Tang C, Liu C F, et al. Effect of lotus leaf powder on the flavor of dried minced pork slices[J]. Food Science, 2024, 45(15): 148-156.
- [6] Kim H S, Lee C H, Oh J W, et al. Quality characteristics of sponge cake with added lotus leaf and lotus root powders[J]. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 2011, 40(9): 1 285-1 291.
- [7] Kim D H, Cho W Y, Yeon S J, et al. Effects of lotus (*Nelumbo nucifera*) leaf on quality and antioxidant activity of yogurt during refrigerated storage[J]. Food Science of Animal Resources, 2019, 39(5): 792-803.
- [8] Gómez-Mejía E, Sacristán I, Rosales-Conrado N, et al. Valorization of *Citrus reticulata* blanco peels to produce enriched wheat bread: phenolic bioaccessibility and antioxidant potential[J]. Antioxidants, 2023, 12(9): 1 742.
- [9] Kerbab K, Sanah I, Djeghim F, et al. Nutritional composition, physicochemical properties, antioxidant activity, and sensory quality of *Matricaria chamomilla*-enriched wheat bread[J]. Foods, 2025, 14(5): 838.
- [10] Zain M Z M, Shori A B, Baba A S. Potential functional food ingredients in bread and their health benefits[J]. Biointerface Research in Applied Chemistry, 2022, 12(5): 6 533-6 542.
- [11] Maietti A, Tedeschi P, Catani M, et al. Nutrient composition and antioxidant performances of bread-making products enriched with stinging nettle (*Urtica dioica*) leaves[J]. Foods, 2021, 10(5): 938.
- [12] Göksu F, Özlü Z, Bölek S. Rhubarb powder: potential uses as a functional bread ingredient[J]. Journal of Food Science, 2024, 89(4): 2 017-2 024.
- [13] 李雪杰, 张剑, 郑文刚, 等. 小麦麸皮挤压加工对全麦粉面团及馒头的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(5): 181-187.
Li X J, Zhang J, Zheng W G, et al. Effects of extrusion processing wheat bran on the dough and steamed bread of whole wheat flour[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(5): 181-187.
- [14] Sun X Y, Wu S M, Koksel F, et al. Effects of ingredient and processing conditions on the rheological properties of whole wheat flour dough during breadmaking - a review[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 135: 108123.
- [15] Tian W F, Zheng Y, Wang W Q, et al. A comprehensive review of wheat phytochemicals: from farm to fork and beyond[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022, 21(3): 2 274-2 308.
- [16] Bhat N A, Wani I A, Hamdani A M, et al. Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value added snacks from whole wheat (*Triticum aestivum* L.) flour [J]. Food Chemistry, 2019, 276: 22-32.
- [17] 黄旭东, 晁鲁平, 项庆琰, 等. 不同产地荷叶功能性成分的评价[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(12): 153-158.
Huang X D, Chao L P, Xiang Q Y, et al. Evaluation of functional components of lotus leaves from different regions [J]. Food Research and Development, 2017, 38(12): 153-158.
- [18] 靳素荣, 徐翌, 雷家珩, 等. 超声提取荷叶黄酮的工艺研究 [J]. 食品科技, 2007(10): 97-99.

- Jin S R, Xu Z, Lei J H, et al. Study on flavonoid ultrasonic extraction from lotus leaf[J]. Food Science and Technology, 2007(10): 97-99.
- [19] Kuang J W, Xu K. Comparative molecular conformation, interaction, and network characteristics of wheat gluten modulated by sodium chloride and sodium carbonate[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2023, 58(12): 6 621-6 632.
- [20] Taghdir M, Mazloomi S M, Honar N, et al. Effect of soy flour on nutritional, physicochemical, and sensory characteristics of gluten-free bread[J]. Food Science & Nutrition, 2017, 5(3): 439-445.
- [21] 陈树俊, 李乐, 胡洁, 等. 核桃多肽—苦荞—藜麦复合粉制备工艺及体外消化和抗氧化功能特性分析[J]. 食品科学, 2018, 39(12): 254-261.
- Chen S J, Li L, Hu J, et al. Preparation, digestibility and antioxidant activity *in vitro* of composite powder of walnut peptide-buckwheat-quinoa[J]. Food Science, 2018, 39(12): 254-261.
- [22] 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.
- [23] Zhuang J R, Zhu J, Cheung P C K, et al. The physical and chemical interactions between starch and dietary fiber: their impact on the physicochemical and nutritional properties of starch [J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 149: 104566.
- [24] 陈思, 华雨, 方诗怡, 等. 葛根淀粉对混合粉面团特性及酥性饼干品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(11): 108-116.
- Chen S, Hua Y, Fang S Y, et al. Effects of kudzu starch incorporation on the properties of dough of blended flour and quality of shortbread biscuits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(11): 108-116.
- [25] 熊佳佩, 胡帅, 牛丽亚, 等. 抹茶对糯米粉圆加工特性、抗氧化性及淀粉消化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(17): 106-116.
- Xiong J P, Hu S, Niu L Y, et al. Impact on the processing characteristics, antioxidant capacity and starch digestibility of glutinous rice flour boba by matcha[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(17): 106-116.
- [26] 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.
- [27] Balaban O T, Kamiloglu A, Kara H H. Changes of some bioactive and physicochemical properties during the black tea processing[J]. Journal of Food Science, 2022, 87(6): 2 474-2 483.
- [28] 张锦程, 徐宝才, 仇菊, 等. 燕麦麸皮对大米面包烘焙品质及消化特性影响[J]. 中国粮油学报, 2025, 40(5): 27-34.
- Zhang J C, Xu B C, Qiu J, et al. Effects of oat bran on baking quality and digestive characteristics of rice bread[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2025, 40(5): 27-34.
- [29] Xin T, Tang S Y, Su T, et al. Impact of replacing wheat flour with lychee juice by-products on bread quality characteristics and microstructure[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 165: 113696.
- [30] Kaack K, Pedersen L, Laerke H N, et al. New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread[J]. European Food Research and Technology, 2006, 224(2): 199-207.
- [31] Cotovanu I, Mironeasa S. Impact of different amaranth particle sizes addition level on wheat flour dough rheology and bread features[J]. Foods, 2021, 10(7): 1 539.
- [32] Junejo S A, Rashid A, Yang L D, et al. Effects of spinach powder on the physicochemical and antioxidant properties of durum wheat bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 150: 112058.
- [33] Ma S, Wang Z, Liu H M, et al. Supplementation of wheat flour products with wheat bran dietary fiber: purpose, mechanisms, and challenges[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 123: 281-289.
- [34] Syu P C, Zhang Q F, Lin S D. Physicochemical, antioxidant, sensory, and starch digestibility properties of steamed bread fortified with tamarillo powder[J]. Foods, 2023, 12(12): 2 306.
- [35] Chen S, Zheng Y, Fang J B, et al. Flavonoids in lotus (*Nelumbo*) leaves evaluated by HPLC - MSn at the germplasm level[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 796-803.
- [36] Tang X S, Tang P, Liu L L. Molecular structure-affinity relationship of flavonoids in lotus leaf (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) on binding to human serum albumin and bovine serum albumin by spectroscopic method[J]. Molecules, 2017, 22(7): 1 036.
- [37] Speisky H, Shahidi F, Costa De Camargo A, et al. Revisiting the oxidation of flavonoids: loss, conservation or enhancement of their antioxidant properties[J]. Antioxidants, 2022, 11(1): 133.
- [38] 黄金枝, 王军文, 陈紫梅, 等. 桑叶、荷叶复配物抗氧化和降糖降脂活性研究[J]. 食品科技, 2024, 49(5): 187-193.
- Huang J Z, Wang J W, Chen Z M, et al. Antioxidant, hypoglycemic and hypolipidemic activities of complexes of mulberry leaves and lotus leaves[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(5): 187-193.
- [39] 赵骏, 王强. 荷叶抗氧化活性部位的研究[J]. 中药材, 2006(8): 827-829.
- Zhao J, Wang Q. Study on the antioxidant active fractions of lotus leaves[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2006(8): 827-829.