

桑叶粉添加量对生鲜面条品质及抗氧化活性的影响

戴瑞¹, 杜密英^{1,2}, 付晶晶¹, 孙卉¹, 谢玮¹, 武家宇¹, 王敬涵^{1,2}

(1. 桂林旅游学院休闲与健康学院, 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: 为探究桑叶粉对生鲜面条品质及抗氧化活性的影响, 扩大桑叶粉在面制品中的利用范围。该试验采用不同比例桑叶粉(0、2%、4%、6%、8%、10%)替代小麦粉制成混粉面团, 进行温度扫描测定面团黏弹性。测定面条蒸煮特性、色差、质构、感官、抗氧化性等指标。结果表明, 混合面团的黏弹性均在 75~95 °C 左右显著增大。在一定范围内, 随着桑叶粉比例增加, 面筋网络结构致密均匀, 内部结构显著改善, 面条的硬度也显著增强, 但是过量添加, 导致淀粉颗粒之间缝隙较大, 蛋白结构无序化, 影响面筋网络结构稳定性。当桑叶粉添加量为 4% 时, 生鲜面条断条率为 0, 蒸煮损失为 5.07%, 弹性、咀嚼性、感官评分皆达到最大值, 分别为 0.96 mm、7.70 mJ、90 分。DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除率与对照组相比分别提高了 2.69 和 1.27 倍。在生鲜面条制作时加入一定量的桑叶粉制成的面团具有较好黏弹性, 可以有效改善面条的蒸煮特性、质构特性、色泽以及感官评价, 同时提高面条的抗氧化活性, 为桑叶粉在面食及焙烤食品中的应用提供了参考依据。

关键词: 桑叶粉; 生鲜面条; 面团特性; 抗氧化活性

文章编号: 1673-9078(2023)12-226-233

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.12.1560

Quality and Antioxidant Activity of Fresh Noodles with Different Amounts of Mulberry Leaf Powder

DAI Rui¹, DU Miying^{1,2}, FU Jingjing¹, SUN Hui¹, XIE Wei¹, WU Jiayu¹, WANG Jinghan^{1,2}

(1. College of Leisure and Health, Guilin Tourism University, Guilin 541006, China)

(2. Guangxi Gui Cuisine Industrial Processing and Nutrition safety Engineering Research Center, Guilin 541006, China)

Abstract: The use of mulberry leaf powder in flour products was explored in this study. Different proportions (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%) of mulberry leaf powder were used to replace wheat flour to make fresh noodles. Different proportions of dough were scanned using a rheometer to measure the viscoelasticity. The cooking properties, color, texture, sensory properties, and antioxidant activity of the noodles were measured. The viscoelasticity of the mixed dough increased substantially at 75~95 °C. With the increased addition of mulberry leaf powder within a certain range, the hardness of the noodles increased markedly, the gluten network structure of the noodles was more compact and uniform, and the internal structure improved substantially. However, excessive addition of starch results in larger gap between starch particles, leading to protein structure disorder, which affects the stability of the gluten network structure. At 4% mulberry leaf powder, the breaking rate of fresh noodles was 0, the cooking loss was 5.07%, and the elasticity, chewiness, and sensory score all reached the maximum values of 0.96 mm, 7.70 mJ, and 90 points, respectively. Compared to the control, the free radical scavenging rates of 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt were increased by 2.69- and 1.27-fold, respectively. This indicated that the addition of mulberry leaf powder to fresh noodles had a good antioxidant effect. The dough made with mulberry leaf powder had good viscoelasticity,

引文格式:

戴瑞, 杜密英, 付晶晶, 等. 桑叶粉添加量对生鲜面条品质及抗氧化活性的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(12): 226-233

DAI Rui, DU Miying, FU Jingjing, et al. Quality and antioxidant activity of fresh noodles with different amounts of mulberry leaf powder [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(12): 226-233

收稿日期: 2022-12-09

基金项目: 广西高校中青年骨干教师科研基础能力提升项目(2022KY0823); 桂林旅游学院校级科研立项(2019B01; 2022Z10); 桂林旅游学院大学生创新创业训练项目(202211837020X; S202211837067X); 休闲养生旅游研究中心资助项目(YJZX2016YB07)

作者简介: 戴瑞(1990-), 女, 研究生, 讲师, 研究方向: 大宗农产品加工, E-mail: 243589771@qq.com

通讯作者: 王敬涵(1990-), 男, 研究生, 讲师, 研究方向: 农产品精深加工, E-mail: 827565278@qq.com

which improved the cooking characteristics, texture, and color of noodles in the sensory evaluation. The antioxidant activity of the noodles improved, which promotes the application of mulberry leaf powder in noodles and baked goods.

Key words: mulberry leaf powder; fresh noodles; dough properties; antioxidant activity

桑叶, 又称铁扇子, 是桑科植物桑树的干叶。目前, 世界上种植桑属植物大约 80 种, 在我国的种植面积约为 1 000 万亩, 年均生产桑叶超过 1 500 万 t^[7]。现代药理学研究表明桑叶中含氨基酸种类丰富、组成合理, 其中谷氨酸、赖氨酸、天冬氨酸等含量较高^[2]。同时桑叶中具有多糖、黄酮、生物碱等多种活性物质, 具有降血糖、降血压和抗氧化等多种生物活性^[3,4]。

桑叶早在 1993 年就被我国卫健委认定为药食同源食品^[5,6]。桑叶除了传统用作养蚕和草药外, 逐渐发展为一种新的食品资源, 应用在食品行业中。在日本, 桑叶茶被称为“长寿茶”, 被作为生活必需品。在云南、广西、广东等省份, 桑叶作为菜肴进入餐桌, 备受青睐。同时, 以桑叶为原料开发了系列食品、保健品、饮料和调味品等, 具有明显的营养保健功效和良好的开发前景, 如超微桑叶粉、桑抹茶饮品、桑叶面条等食品^[7-9]。

黄娟等^[10]以桑叶、小苏打、食盐进行配方优化, 得到了较优桑叶面条的配方参数为小麦面粉质量 100 g, 桑叶粉 5 g, 水 25 mL, 小苏打 0.3 g, 食盐 1 g, 制备的桑叶面条色泽均匀, 品质较佳。陶思洁等^[11]分别以桑叶浆和桑叶粉为研究对象制备桑叶面条, 确定最佳工艺后测定其多酚和黄酮含量, 桑叶粉的多酚和黄酮含量比桑叶浆的含量分别高 32%、15%。说明桑叶粉制备桑叶面条的抗氧化效果更佳。桑叶粉添加量对生鲜面条品质及抗氧化活性的影响的研究还鲜有报道, 基于此, 本研究拟在生鲜面条制备过程中加入不同量的桑叶粉, 通过测定面条的蒸煮特性、质构、抗氧化活性等指标, 并结合各指标分析探讨其可能影响面条品质的机理, 优化桑叶面条的制备工艺, 以期桑叶复合面条及相关产品开发提供重要理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

食盐、中筋面粉(蛋白质含量 11%, *m/m*), 市售; 桑叶粉, 平乐县乐瑶食品有限公司; 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; 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐 [2,2'-Azino-Bis(3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid) Ammonium

Salt, ABTS]、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl, DPPH) (分析纯), 上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

UV-1800 紫外分光光度计, 日本岛津公司; ZK-82B 电热真空干燥箱, 上海实验仪器厂有限公司; MJ-WNS1501B 面条机, 广东美的生活电器制造有限公司; YP-B6002 万分之一电子分析天平, 上海光正医疗仪器有限公司; SN-LSC-40S 离心机, 上海尚普仪器设备有限公司; SB25-12DTD 超声波清洗机、HH-4 数显恒温水浴锅, 金坛市杰瑞尔有限公司; 101-1AB 型电热鼓风干燥箱, 泰斯特仪器有限公司; FTC 质构仪, 盈恒泰科技有限责任公司; FD-2 冷冻干燥机, 博医康实验仪器有限公司; CM-5 色差仪, 柯尼卡美能达公司; S-300 扫描电镜, 日本 Hitachi 公司; MAGNA-IR560 型傅里叶变换红外光谱仪, 美国尼高力公司; Anton Pear MCR 92 流变仪, 奥地利安东帕公司。

1.3 试验方法

1.3.1 面条制作工艺

以混粉质量 100% 为基准, 桑叶粉的添加比例为混合粉总质量的 0%、2%、4%、6%、8%、10%, 固定加水量 39%、海藻酸钠添加量 0.3%、食盐 2%。将所有原料放入自动面条机中充分搅拌 4 min, 使之呈絮状后自动出面。

1.3.2 面条蒸煮特性的测定

(1) 面条吸水率的测定

锅中倒入 2 000 mL 水煮至沸腾, 加入 15 根 15 cm 的面条进行称重记 m_0 , 煮制 15 min, 测定面条蒸煮前、后重量, 根据公式 (1) 计算吸水率 A ^[12]:

$$A = \frac{m_1 - m_0 \times (1 - w_0)}{m_0 \times (1 - w_0)} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

A —吸水率, %;

m_0 —煮前面条的质量, g;

m_1 —煮后面条的质量, g;

w_0 —煮前面条含水量, %。

(2) 面条蒸煮损失率的测定

参考崔彦利等^[13]的方法, 取生面条 5 g, 250 mL 沸水煮至最佳时间捞出面条, 用蒸馏水冲洗面条 10 s,

冷却 4 min 后以 110 ℃ 烘干至恒重, 并称量记录 S_2 。

同时取生面条 5 g, 烘干至恒重后称量 S_1 , 根据公式

(2) 计算蒸煮损失率 W :

$$W = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

W —蒸煮损失率, %;

S_1 —生面条干质量, g;

S_2 —熟面条干质量, g。

(3) 面条断条率的测定

制备的鲜湿面条两端切除, 取 40 根长度 15 cm 的面条, 放入 1 000 mL 的沸水中, 白芯消失后捞出, 计算完整根数 N , 并根据公式 (3) 计算断条率 Q :

$$Q = \frac{40 - N}{40} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

Q —断条率, 以数量分数计, %;

N —完整面条根数。

1.3.3 面条色泽的测定

利用色差仪测定桑叶面条的色泽, 其中 L^* 、 a^* 、 b^* 值分别代表亮度、红绿值、黄蓝值。

1.3.4 面条质构特性的测定

质构仪测试: 采用 P/36R 探头, 设定最大感应力为 300 N, 回升高度为 25 mm, 测试速率为 100 mm/min, 测试后速率为 120 mm/min, 形变 40%, 测试重复 3 次。

剪切测试: 选用剪切探头, 设置最大感应 300 N, 回升高度 25 mm, 测试速率 80 mm/min, 测试后速率 100 mm/min, 起始力 0.3 N, 重复进行 3 次测试^[9]。

1.3.5 面条感官特性的测定

感官评分标准参考 SB/T 10137-93 《面条用小麦粉》中的方法^[14], 并根据桑叶面条的特点略作修改, 由 10 名食品专业的教师和学生组成, 对面条进行感官评定, 感官评价标准见表 1。

表 1 桑叶面条感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard of mulberry leaf noodles

项目	分值/分	评分标准
色泽	20	面条青绿色, 色泽均已, 光亮 (16~20 分);
		亮度一般、变暗 (11~15 分);
		颜色发暗、亮度偏差、色泽不均一 (1~10 分)
表观状态	20	表面结构细密、不粗糙 (17~20 分);
		粗糙 (12~16 分);
		表面粗糙、膨胀、变形严重或者不成型 (1~11 分)
光滑及黏性	15	面条光滑、无黏、弹性足 (12~15 分);
		黏连、光滑度稍差、弹性一般 (6~11 分);
		光滑程度差、黏连严重、弹性较差 (1~5 分)
气味及滋味	20	有桑叶清香味 (15~20 分);
		桑味较重或者偏淡 (9~14 分);
		有异味、桑叶味道浓或者过淡 (1~8 分)
拉伸性	25	拉伸性及弹性好 (18~25 分);
		拉伸性及弹性一般 (11~17 分);
		拉伸性差、无弹性 (1~10 分)

1.3.6 傅里叶红外光谱分析

参照闫文芳等^[16]以及 Rani 等^[17]方法并稍作修改, 将氯化钾和冷冻干燥后的样品按质量比为 100:1 研磨成粉末压片, 傅里叶红外光谱仪 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) 在 400~4 000 cm^{-1} 内扫描。

1.3.7 桑叶粉面条微观结构的测定

参考张剑等^[15]、闫文芳等^[16]的方法, 并稍作修改。将做好的生面条置于零下 80 ℃ 冰箱中预冻 24 h 后再冷冻干燥 24 h, 将干燥后的面条, 离子溅射喷金处理, 对纵切面进行扫描。

1.3.8 面团动态流变学温度测定

参照贺殷媛等^[17]和 Rani 等^[18]流变学测定方法进行温度扫描测定, 设定频率为 1 Hz, 应变 0.5%、升温 and 降温的速度均为 5 ℃/min, 在 30~95 ℃ 进行升温测试。

1.3.9 面条抗氧化能力的测定

(1) 提取液制备

准确称取面条样品 2.50 g, 加入体积分数为 80% 的甲醇 50 mL, 混匀后置于 50 ℃ 水浴提取 2 h, 再超声 30 min, 4 000 r/min 条件下离心 15 min, 取上清液备用^[19]。

(2) DPPH 自由基清除能力的测定

按照王小平等^[20]的方法进行改进。面条多酚提取液 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 (4) 对 DPPH 自由基清除能力进行计算:

$$C_1 = \frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

C_1 —DPPH 自由基清除能力, %;

A_1 —2 mL 试样提取液与 2 mL DPPH 溶液的吸光度值;

A_2 —2 mL 样品与 2 mL 乙醇吸光度值;

A_0 —2 mL 乙醇与 2 mL DPPH 溶液的吸光度值。

(3) 铁还原能力的测定

将 0.5 mL 面条多酚提取液、2.5 mL 0.2 mol/L 的磷酸缓冲液 (pH 值 6.6) 和 2.5 mL $m=1\%$ 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 $\rho=10\%$ 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 $m=0.1\%$ 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)^[21]。

(4) 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 (5):

$$C_2 = \frac{1 - (B_1 - B_2)}{B_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

C_2 —ABTS⁺自由基清除能力, %;

B_0 —2 mL 蒸馏水与 4 mL ABTS 工作液的吸光度值;

B_1 —2 mL 多酚提取液与 4 mL ABTS 工作液的吸光度值;

B_2 —2 mL 试样提取液与 4 mL 蒸馏水的吸光度值。

1.3.10 数据分析

所有试验重复 3 次, 结果以平均值±标准偏差表示。SPSS 18.0 软件进行方差分析, 邓肯氏多重比较进行差异显著性检验, 以 $P<0.05$ 表示不同组别数据之间差异显著, Origin 9.2 软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 桑叶粉添加量对面条品质的影响

2.1.1 桑叶粉添加量对面条蒸煮特性的影响

由表 2 可知, 吸水率随着桑叶粉添加量呈上升趋势, 添加量在 0% 到 4% 吸水率变化不显著。当添加量超过 4% 时, 与空白组 (0%) 的对比吸水率显著上升。添加量在 10% 时吸水率达到最大值。这是由于桑叶中富含膳食纤维和亲水物质, 具有较强的吸水能力。

在 0~4% 范围内, 面团的蒸煮特性随桑叶粉添加量的增加逐渐增强但变化不显著, 面条也有所改善。当添加 4% 桑叶粉时蒸煮损失率及断条率达到最低值, 较空白组分别小降了 3.33%、3.75%。随着桑叶粉的继续添加, 桑叶面条的蒸煮损失率及断条率呈现上升趋势且变化显著。这是因为桑叶粉的继续添加使得面团有更强的亲水性^[23]。同时吸收更多的水分, 面筋网络结构更为松散, 韧性降低, 在烹饪过程造成淀粉和桑叶粉颗粒更容易流失, 从而面条的蒸煮损失率与断条率增大。

表 2 桑叶粉添加量对生鲜面条蒸煮特性的影响 ($n=3$)

Table 2 Effects of mulberry leaf powder addition on cooking characteristics of fresh noodles ($n=3$)

桑叶粉添加量/%	吸水率/%	蒸煮损失率/%	断条率/%
0	98.92±0.01 ^c	8.02±0.02 ^{cd}	3.75±0.02 ^{ab}
2	101.49±0.01 ^{bc}	5.35±0.06 ^d	1.25±0.02 ^{bc}
4	104.84±0.02 ^{abc}	5.07±0.02 ^d	0.00±0.00 ^c
6	105.81±0.03 ^{ab}	11.83±0.01 ^{bc}	3.75±0.02 ^{ab}
8	107.14±0.06 ^{ab}	14.86±0.02 ^{ab}	5.00±0.00 ^a
10	110.29±0.02 ^a	18.85±0.00 ^a	6.25±0.02 ^a

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

2.1.2 桑叶粉添加量对面条色泽的影响

不同添加量的桑叶粉面条成品见图 1 (从左到右依次为桑叶粉添加量从 0% 到 10%), 从外观看从白色到浅绿、墨绿、黄绿, 面条颜色逐渐加深。



图 1 不同添加量桑叶生鲜面条外观

Fig.1 The appearance of different added amounts of fresh mulberry leaf noodles

色差测定结果见表 3。面条的亮度 L^* 从 78.80 降至 44.57，说明桑叶粉的添加显著降低了面条的亮度。这可能是由于桑叶粉的添加置换等量面粉导致面筋蛋白含量降低，面筋蛋白网络结构发生变化，光反射比下降^[22]。随着桑叶粉用量在 2%~10% 范围内的增加， a^* 和 b^* 先升高后下降，桑叶面条中的绿色主要来源于叶绿素，这一结果说明桑叶粉添加量超过一定添加量时桑叶粉中叶绿素并未被较好保留至桑叶面条中，可能是加工过程导致其降解损失。添加 4% 桑叶面条的 a^* 达到 -1.28， a^* 的绝对值越大，面条色泽越绿， b^* 为 20.07，面条色泽越黄，即绿黄度值最高，利于感官品质评价。这与胡瑞波^[24] 研究面条成品色泽亮度 L^* 与 a^* 、 b^* 呈负相关结果类似， L^* 显著降低， a^* 绝对值显著增大，即绿度增加， b^* 显著增大，即黄度值增加，感官评分提升。因此，桑叶粉的添加量在 2%~4% 的范围

内，表现出较好的色泽品质。

表 3 桑叶粉添加量对生鲜面条色泽的影响 ($r=3$)

Table 3 Effects of mulberry leaf powder addition on the color of fresh noodles ($n=3$)

桑叶粉添加量/%	L^*	a^*	b^*
0	78.80±0.19 ^a	1.71±0.01 ^a	16.97±0.03 ^c
2	60.90±0.24 ^b	-1.07±0.01 ^c	19.60±0.02 ^{ab}
4	56.77±0.06 ^c	-1.28±0.01 ^b	20.07±0.04 ^a
6	47.00±0.30 ^d	-0.99±0.01 ^d	19.60±0.04 ^b
8	45.74±0.20 ^e	-0.94±0.03 ^e	18.90±0.44 ^c
10	44.57±0.09 ^f	-0.79±0.04 ^f	18.27±0.03 ^d

2.1.3 桑叶粉添加量对面条质构特性的影响

面条质构特性会影响消费者选择，具有较高咀嚼性及弹性的面条更受消费者青睐^[9]。桑叶粉不同添加量对面条特性的影响结果见表 4。

表 4 桑叶粉添加量对面条质构特性的影响 ($r=3$)

Table 4 Effects of mulberry leaf powder addition on noodle texture characteristics ($n=3$)

桑叶粉添加量%	硬度/g	内聚性/(g·s)	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ	剪切力/N
0	40.15±0.87 ^c	0.20±0.00 ^a	0.82±0.12 ^{abc}	7.27±0.53 ^{ab}	5.90±0.60 ^{bc}	1.77±0.16 ^c
2	41.18±0.65 ^c	0.20±0.00 ^a	0.89±0.02 ^{ab}	7.47±0.28 ^{ab}	6.70±0.36 ^{ab}	2.53±0.13 ^b
4	43.67±0.60 ^d	0.20±0.00 ^a	0.96±0.05 ^a	7.99±0.98 ^a	7.70±1.15 ^a	2.59±0.07 ^b
6	47.46±1.34 ^c	0.20±0.00 ^a	0.76±0.13 ^{bc}	6.64±0.17 ^b	5.06±1.00 ^c	2.90±0.19 ^a
8	52.18±1.36 ^b	0.20±0.00 ^a	0.72±0.03 ^c	6.71±0.48 ^b	4.86±0.35 ^c	3.08±0.19 ^a
10	57.05±1.66 ^a	0.16±0.05 ^a	0.80±0.03 ^{bc}	6.62±0.66 ^b	5.30±0.69 ^{bc}	3.17±0.04 ^a

随着桑叶粉添加量的增加，添加量大于 2% 时面条的硬度显著增大，同时剪切力与对照组相比显著提高。这可能是因为桑叶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^[25,26]。凝胶结构使得面条更紧密，硬度随之增加，当添加量为 10% 时，面团硬度最高，面条很难挤压成型。

面条的咀嚼性和弹性与口感呈显著相关性，添加 4% 的桑叶粉与对照组相比，弹性和咀嚼性增加，其弹性和咀嚼性达到最大值分别为 0.96 mm、7.70 mJ。但是随着添加量从 6% 到 8% 继续增加，桑叶粉与面筋结合达到饱和，桑叶粉中其他成分的相对增加反而会使面筋蛋白被稀释，致使面筋网络结构变得松散。另外，桑叶含量过高，纤维的高持水性导致面条中的蛋白质及淀粉颗粒不能充分吸水膨胀，面条弹性和咀嚼性下降。

2.1.4 面条感官评价结果与分析

面条感官评价结果见图 2，由图 2 可知，桑叶粉从 0% 到 10% 添加，面条的感官评分先升高后下降，添加 4% 桑叶粉与对照组相比，面条光滑性、口味以及拉伸性均有较大提高，且感官评分达到最大值 90 分。添加 10% 桑叶粉导致面条粗糙、光滑性下降，桑

叶风味过于浓郁较难接受。

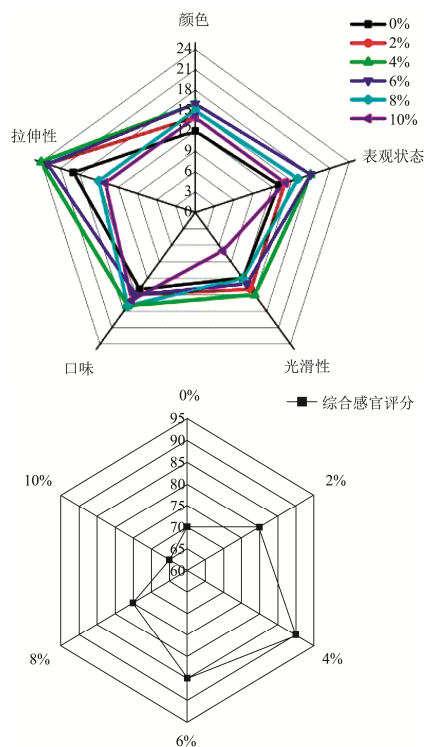


图 2 桑叶粉面条的综合感官结果

Fig.2 Comprehensive sensory results of mulberry leaf noodles

2.1.5 傅里叶红外光谱结果与分析

如图 3 所示, 蛋白质的酰胺 I 区为 $1\ 600\sim 1\ 700\text{ cm}^{-1}$ [27]。在 $3\ 600.00\sim 3\ 300.00\text{ cm}^{-1}$ 处有宽而强的吸收带, 这是典型的碳水化合物缔合-OH 伸缩振动吸收, 与分子间的氢键连接有关。游离的-OH 伸缩振动为一尖峰, 出现在较高频 $3\ 600.00\text{ cm}^{-1}$ 处[28]。同时, 图 4 中 $3\ 424.37\text{ cm}^{-1}$ 处峰位置为蛋白质分子间氢键 O-H 伸缩振动 (O-H 伸缩振动波段为 $3\ 500\sim 3\ 300\text{ cm}^{-1}$), 说明桑叶粉可以提高面筋蛋白中氢键作用力。

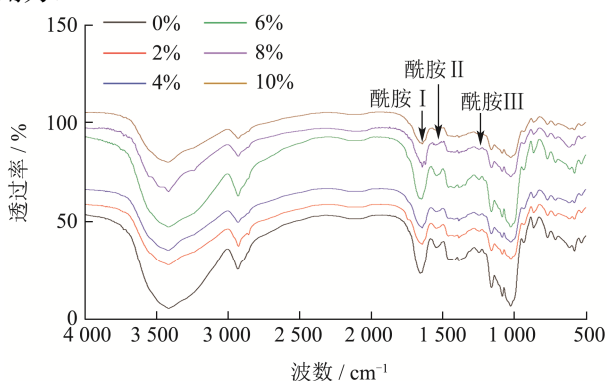


图 3 FT-IR 测定桑叶粉对面条蛋白质结构的影响

Fig.3 Effects of mulberry leaf powder on protein structure of noodles determined by FT-IR

2.1.6 面条的微观结构分析

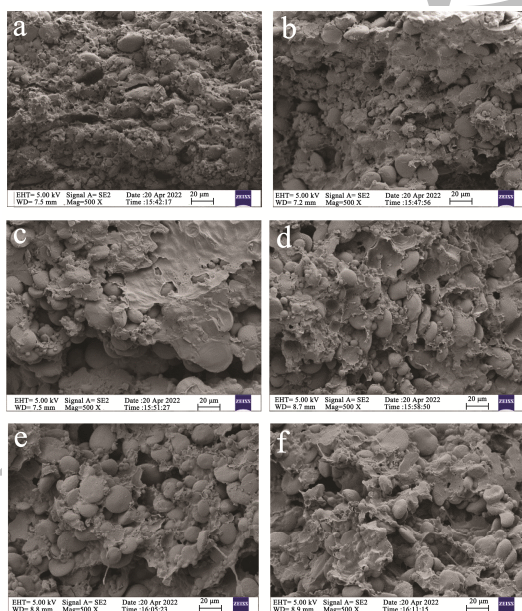


图 4 不同桑叶粉添加量对面条微观结构的影响

Fig.4 Effects of different addition of mulberry leaf powder on noodles microstructure

注: a: 空白组 0% (500×); b: 桑叶粉 2% (500×); c: 桑叶粉 4% (500×); d: 桑叶粉 6% (500×); e: 桑叶粉 8% (500×); f: 桑叶粉 10% (500×)。

面团是淀粉颗粒和面筋蛋白网络包裹气泡的体

系, 经过压面工艺, 它支撑着面筋网络结构[29]。由图 4a 可以清晰地观察到淀粉颗粒被面筋网络包裹于蛋白质网络结构中, 形成片状的面筋蛋白, 但相对松散, 网络间存在较大孔隙, 完整性较差。由图 4b、c 可以看出, 随着桑叶粉添加导致孔隙开始变小, 且淀粉颗粒与面筋蛋白连接越来越紧密, 微观结构开始变得紧实。说明添加桑叶粉可以明显改善面筋蛋白网络结构, 使面条品质更好。由图 4d、e、f 可知, 随着桑叶粉的继续添加, 面筋网络形成不够明显, 淀粉颗粒之间缝隙较大, 连接不紧, 有游离于网络结构之外不被包裹的情况。这可能因为桑叶粉无可塑性和延伸性, 加入桑叶粉后稀释面筋蛋白含量, 降低面团强度、可塑性及延展性, 使鲜面条断条率增加, 降低面条的食用价值。因此, 一定量的桑叶粉使面条的内部结构明显改善, 面筋网络完整, 同时面团的稳定性和延展性也明显增强, 咀嚼性和弹性得到提高。

2.1.7 面团流变学特性结果与分析

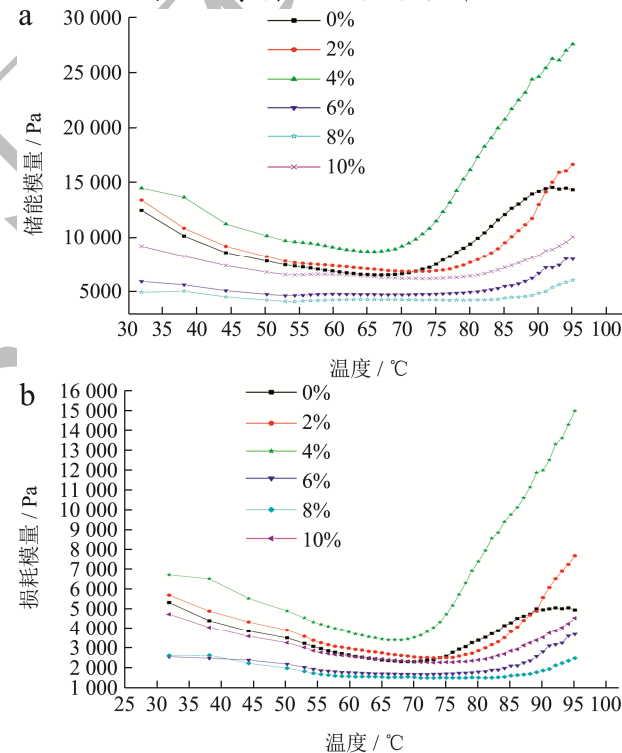


图 5 不同桑叶粉添加量对混合面团的温度扫描曲线图

Fig.5 Scanning curve of temperature of mixed dough with different addition of mulberry leaf powder

注: a 为储能模量图; b 为损耗模量图。

动态流变学试验测定面团的黏弹性模量, 从而判断其是以黏性为主还是弹性为主, 并同时反映其内部凝胶网络结构的形成情况, 混合面团的动态流变学温度扫描特性结果如图 5 所示, 储能模量和损耗模量随着扫描温度从 $30\sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高都表现出先降低后升高, $60\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始混合面团内的淀粉吸水膨胀发生糊化。

混合面团 G' 和 G'' 均在 75 °C 左右发生骤然增加,这是由于混粉在升温过程中超过 75 °C 后开始形成热诱导凝胶,它一定程度导致混合面团的变性,使面团的 G' 、 G'' 显著增大。

其次,随着桑叶粉添加量增加其储能模量 G' 和损耗模量 G'' 表现出桑叶粉的添加量对生鲜面条内部结构作用为先增强,后削弱。桑叶粉添加量为 4% 时,面团的 G' 、 G'' 均为最大值,说明添加 4% 桑叶粉有助于改善面团特性,增加桑叶生鲜面条品质。当添加量大于 4% 时,面团包裹淀粉能力下降,随着温度升高引起蛋白质的弱化和分子动能增加,面团变软,黏弹性下降。

2.1.8 桑叶粉对面条抗氧化活性的影响

桑叶粉对面条抗氧化活性的测定结果如图 6,随着桑叶粉量的添加,生鲜面条抗氧化活性各指标显著增强,这是由于桑叶的绿原酸、芦丁、槲皮素等酚类活性物质,可提高其抗氧化活性^[29,30]。当添加量为 4% 时, DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除率与对照组相比分别由 20.63%、23.54% 增长为 55.67%、30.09%,提高了 2.69 倍和 1.27 倍。当添加量为 10% 时 DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除率与对照组相比分别提高了 3.37 倍和 2.98 倍,但是其质构特性、蒸煮品质显著下降。

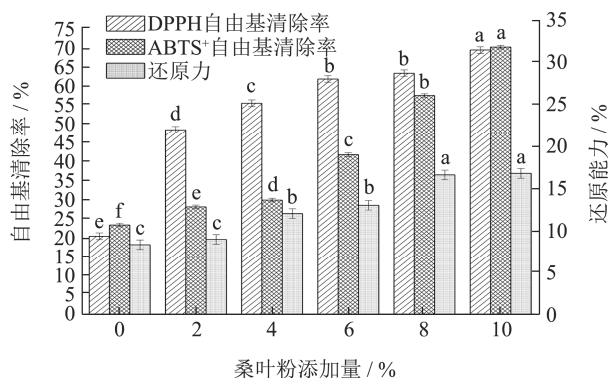


图 6 不同桑叶粉添加量对面条抗氧化活性的影响 ($n=3$)

Fig.6 Effects of different addition of mulberry leaf powder on antioxidant activity of noodles ($n=3$)

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

谷物中的麸皮及胚乳层中富含多酚类物质,具有抗氧化作用。但是在其加工粉碎过程中损耗较多,因此在面粉及其制品中添加来源于桑叶的天然抗氧化物质,可有效提高制品的抗氧化能力。

3 结论

本研究以桑叶粉、面粉为混粉,系统研究桑叶粉添加量对面条的品质及其抗氧化性的影响。结果表明 2%~4% 的桑叶粉添加量对面条的蒸煮特性、断条率、弹性和咀嚼性有所改善,当添加量为 4% 时面团的黏

弹性最强,面筋结构最为规则致密,淀粉颗粒大部分被包裹在网状结构中,此时桑叶生鲜面条的品质最佳。通过面条的微观结构分析更进一步说明制作桑叶面条其添加量不宜超过 4%。本试验中,桑叶粉用量在 2%~4% 时,面条的整体评价较高,蒸煮损失率变化较空白组不显著,4% 时断条率显著降低,感官品质得分最高。综合分析,推荐制作桑叶面条的适宜桑叶粉添加量为 2%~4%,另一方面结合各指标分析探讨其影响面条品质可能的机理对陶思洁等人的实验结果进行补充。桑叶粉可有效清除 ABTS⁺ 和 DPPH 自由基,具有较强的抗氧化及还原能力,具有较高的食用与营养价值,因此在面粉及其制品中添加来源于桑叶的天然抗氧化物质,可有效提高其制品的抗氧化能力。

目前桑叶粉的综合利用技术尚不成熟,以桑叶粉面条为例将会是未来提升桑叶粉综合利用价值的一种重要方式。研究结果进一步完善了桑叶面条的理论基础,并为桑叶制品的加工与生产提供了新的指导。

参考文献

- [1] 张金龙,张宁,杨雪,等.发酵桑叶粉对肉鸡生长性能、血清生化指标及肠道组织形态结构的影响[J].饲料工业,2017,38(20):38-42.
- [2] Hassan F, Arshad Ma, Li M, et al. Potential of mulberry leaf biomass and its flavonoids to improve production and health in ruminants: Mechanistic insights and prospects [J]. Animals, 2020, 10(11): 2076.
- [3] 李霞,刘耕,肖建中.等.桑叶蛋白营养价值与开发利用[J].四川蚕业,2109,473:15-17.
- [4] Ge Q, Chen L, Tang M, et al. Analysis of mulberry leaf components in the treatment of diabetes using network pharmacology [J]. Eur J Pharm Sci, 2018, 833: 50-62.
- [5] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(2015年版):1部[M].北京:中国医药科技出版社,2015:297-298.
- [6] Jin Q, Yang J F, Ma L Y, et al. Comparison of polyphenol profile and inhibitory activities against oxidation and α -glucosidase in mulberry (*Genus morus*) cultivars from China [J]. J food Sci, 2015, 80(11): 2440-2451.
- [7] Ji T, Li J, Sus L, et al. Identification and determination of the polyhydroxylated alkaloids compounds with α -glucosidase inhibitor activity in mulberry leaves of different origins [J]. Molecules, 2016, 21(2): 206.
- [8] 李林,苏小军,李清明,等.桑叶在食品中的应用研究[J].食品研究与开发,2017,38(13):217-220.
- [9] 徐国荣.桑叶粉在畜禽饲料添加剂中的应用[J].新农业,2021,14:36.

- [10] 黄娟,龚壁燃,祁伟亮,等.优质桑叶面条的设计工艺[J].食品工业,2021,42(5):10-13.
- [11] 陶思洁,徐水,程杰,等.桑叶面的制备及其功能成分测定[J].西南大学学报(自然科学版),2014,36(2):36-40.
- [12] 蔡茜茜,陈旭,陈选,等.超微绿茶粉对面条品质特性的影响及绿茶面条配方优化[J].食品与机械,2021,37(9):179-185.
- [13] 崔彦利,乔雨雨,刘沁沁,等.挤压膨化小扁豆粉对面团特性及面条品质的影响[J].中国粮油学报,2021,36(10):1-7.
- [14] 唐春红,游欢,赵久毅,等.基于主成分分析对 3D-全麦粉与普通全麦粉品质的比较研究[J].食品研究与开发,2022,43(9):23-31.
- [15] 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.
- [16] 闫文芳,李文钊,代任任,等.改性蛋清粉对面条品质的影响[J].食品科学,2021,42(22):70-76.
- [17] 贺殷媛,陈凤莲,李欣洋,等.稻米-高筋混合粉面团的静态和动态流变学特性[J].食品科学,2022,43(9):30-38.
- [18] Rani S, Singh R, Kamble D, et al. Structural and quality evaluation of soy enriched functional noodles [J]. Food Biosci, 2019, 32(C): 100465-100465.
- [19] 姚月华,王亚琴,贾鑫,等.茶多酚对生鲜面品质及抗氧化特性的影响[J].核农学报,2020,34(10):2261-2270.
- [20] 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.
- [21] 陈岑,方雨婷,韩艳丽,等.玫瑰花粉添加对馒头品质及抗氧化能力的影响[J].食品科技,2019,44(4):178-183.
- [22] 张文秀,陆红佳,戴媛.蓝莓酒渣的粒度及添加量对面条品质的影响[J].食品科技,2020,45(11):167-174.
- [23] 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.
- [24] 胡瑞波.小麦面粉与面条色泽的影响因素及其稳定性分析[D].泰安:山东农业大学,2004.
- [25] 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.
- [26] 刘书航,陈洁,韩锐.预糊化玉米粉对挂面品质的影响研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(3):26-32.
- [27] 刘燕琪,李梦琴,周玉瑾,等.葡萄糖氧化酶对面团水分状态及蛋白质结构的影响[J].现代食品科技,2014,30(10):126-133,140.
- [28] Han C W, Ma M, Zhang H H, et al. Progressive study of the effect of superfine green tea, soluble tea, and tea polyphenols on the physico-chemical and structural properties of wheat gluten in noodle system [J]. Food Chem, 2020, 308: 125676.
- [29] 张凤婕,张天语,曹燕飞,等.甘薯全粉对小麦面团及馒头品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(15):11-16,39.
- [30] 卢琦仪,眭红卫.食物抗氧化活性的研究进展[J].食品安全导刊,2020,33:161-162,164.