

高品质紫薯生全粉面条配方的工艺优化

熊添, 何建军, 蔡芳, 王少华, 施建斌, 蔡沙, 隋勇, 陈学玲, 范传会, 家志文, 梅新*

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北省农业科技创新中心农产品加工分中心, 湖北武汉 430064)

摘要: 为解决制作紫薯生全粉面条时常出现的断条率高、易糊汤、适口性不佳、颜色黯淡等问题, 该研究以改善色泽和质构品质为目标对紫薯生全粉面条的配方工艺进行优化, 分析阐明了柠檬酸、植酸钠、曲酸、茶多酚、 β -糊精等护色剂以及卡拉胶、谷朊粉、魔芋葡甘露聚糖等改良剂在不同添加量下对面条色度、质构以及感官评分的影响, 借助 mixolab2 混合实验仪等设备对比分析不同紫薯生全粉添加量下混合粉的粉质特性和糊化特性。结果表明: 紫薯生全粉可影响蛋白网络弱化、淀粉糊化以及淀粉酶水解淀粉的速度, 添加量超过 10% 会减弱面团筋度和耐揉性。紫薯生全粉面条适宜选用护色剂和改良剂分别为 0.6% 柠檬酸和 0.6% 魔芋葡甘露聚糖, 感官评分较各自参照组分别提升 13.56% 和 11.92%。在此基础上, 通过 4 因素 3 水平正交实验确定了最优配方工艺为紫薯生全粉添加量 8%, 水添加量 32%, 柠檬酸添加量 0.6%, 魔芋葡甘露聚糖添加量 0.6%, 感官评分为 85.48。本研究为后续高品质紫薯生全粉面条的工业化生产奠定基础。

关键词: 紫薯生全粉; 面条; 粉质特性; 护色; 质构

文章编号: 1673-9078(2022)04-171-181

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.4.0630

Optimization of High Quality Noodles Made by Raw Purple Sweet Potato Flour

XIONG Tian, HE Jianjun, CAI Fang, WANG Shaohua, SHI Jianbin, CAI Sha, SUI Yong, CHEN Xueling, FAN Chuanhui, JIA Zhiwen, MEI Xin*

(Institute of Agricultural Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Sub-Center of Agricultural Product Processing Research, Hubei Innovation Center of Agriculture Science and Technology, Wuhan 430064, China)

Abstract: In order to solve the problems of high breaking rate, easy paste soup, poor palatability and dim color in the production of purple potato raw whole powder noodles, the formula and technology of purple potato raw whole powder noodles were optimized with the goal of improving color and texture quality. The influences of color-retaining agents such as citric acid, sodium phytate, kojic acid, tea polyphenols and β -dextrin, and improvers such as carrageenan, gluten and konjac glucomannan at different addition levels on the color, texture and sensory score of the noodles. With the aid of other instruments and equipment including the mixolab2 mixing device, the silty characteristics and gelatinization properties of the mixed powder with raw purple sweet potato flour at different addition levels of were compared and analyzed. The results showed that the raw purple sweet potato flour affected the weakening of protein network, starch gelatinization and amylase-catalyzed starch hydrolysis, with the addition greater than 10% decreasing the gluten and kneading resistance of dough. The suitable color-retaining agent and suitable modifier were 0.6% citric acid and 0.6% KGM, respectively, with their sensory scores increasing by 13.56% and 11.92%, respectively, compared with their corresponding reference groups. On this basis, the optimal formulation process of high-quality raw whole purple potato

引文格式:

熊添,何建军,蔡芳,等.高品质紫薯生全粉面条配方的工艺优化[J].现代食品科技,2022,38(4):171-181,+139

XIONG Tian, HE Jianjun, CAI Fang, et al. Optimization of high quality noodles made by raw purple sweet potato flour [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 171-181, +139

收稿日期: 2021-06-16

基金项目: 湖北省技术创新专项(重大项目)(2019AEE022)

作者简介: 熊添(1995-), 女, 研究实习生, 硕士, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用, E-mail: 285108297@qq.com

通讯作者: 梅新(1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与副产物综合利用, E-mail: meixin0898@163.com

powder noodles was determined through four-factor and three-level orthogonal experiments, and the optimal conditions were: addition of raw whole purple potato powder 8%, water 32%, citric acid 0.6%, and KGM 0.6%, with the corresponding sensory score being 85.48. The research lays the foundation for subsequent industrial production of high-quality noodles made with raw whole purple sweet potato flour.

Key words: raw purple sweet potato flour; noodle; silty characteristics; color protection; texture

紫薯 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] 是甘薯的一个特殊品种类型, 兼有粮食物、经济作物和药用作物的特点, 富含淀粉、果胶、纤维素、氨基酸、维生素、蛋白质及多种人体所需的天然矿物质元素, 除了具有普通甘薯的营养物质和功能成分外, 紫薯中还富含大量具有药用价值的花青素, 有助于人体清除自由基, 预防和辅助治疗癌症和心血管疾病^[1]。紫薯生全粉是紫薯原料清洗处理后, 经切分护色干燥粉碎后得到的产品, 其糊化度低, 细胞完整性好, 加工特性优于紫薯熟全粉, 基本保留了紫薯原有的营养、色泽、风味和保健功能, 便于贮藏、运输和加工^[2-4]。将紫薯生全粉和小麦粉混合制作而成的紫薯生全粉面条因其诱人的色泽和丰富的营养价值而深受消费者青睐, 但由于紫薯生全粉不含面筋蛋白, 加入后稀释了面粉中面筋蛋白的比例, 弱化面团形成面筋的网络结构, 影响其拉伸性和延展性, 同时花色苷在加工过程中易发生降解, 因此制作紫薯生全粉面条时易出现成型困难、断条率高, 面条易糊汤、适口性不佳、颜色黯淡等问题^[5,6]。

目前已有学者在面条的护色和质构改良方面进行了大量研究, Gasparre 等^[7]发现亲水胶体能改善面条的结构, 延缓淀粉的糊化, 降低面条的蒸煮损失。胡玲等^[8]通过添加柠檬酸和 D-异抗坏血酸钠为护色剂、辅以食盐和海藻酸钠为品质改良剂, 解决了紫甘蓝挂面在煮制过程中的褪色问题, 制备出口感风味俱佳、颜色悦目、营养价值高的紫甘蓝挂面。于沛沛等^[9]则发现添加海藻酸丙二醇酯和黄原胶这两种增稠剂可对紫薯面条的最大拉伸力和烹煮损失有不同程度的改善。本研究拟以改善色泽和质构品质为目标对紫薯生全粉面条的配方工艺进行系统性优化, 对比多种不同类型的护色剂以及面粉改良剂在不同添加量下对面条色度、质构以及感官评分的影响, 同时借助 Mixolab2 混合实验仪等仪器设备对比分析不同紫薯生全粉添加量下混合粉的粉质特性和糊化特性, 探究紫薯生全粉添加量和水添加量对面条品质的影响。以期筛选出用于高品质紫薯生全粉面条的基础配方, 为后续紫薯生全粉面条的工业化生产奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

紫薯生全粉由湖北根聚地农业发展股份有限公司提供; 高筋五得利小麦粉由河北五得利面粉集团有限公司提供; 柠檬酸、植酸钠、曲酸、茶多酚(白色)、 β -糊精、卡拉胶、魔芋葡甘露聚糖 (Konjac glucomannan, KGM), 购自河南万邦实业有限公司; 谷朊粉由河南聚荣食品配料有限公司提供。所用化学试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

ASM-DA1000 和面机, 北美电器有限公司; BS-210 分析天平, 德国赛多利斯公司; FC1-220 型单相双值电容电动压面切条机, 台州浪腾机电有限公司; C22-F2 电磁炉, 杭州九阳生活电器有限公司; Mixolab2 混合试验仪, 法国肖邦技术公司; HE53 水分活性检测仪, 瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司; TAXT plus 型质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; SC-80C 全自动色差计, 北京康光仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 紫薯生全粉面条的制作工艺

混粉→拌粉→加水→和面→醒面→轧面→晾晒→成品
得到成品挂面水分含量在 15% 以下。

1.3.2 混粉特性的测定

实验前预热仪器并打开冷凝水龙头, 选择 Chopin+ 测试协议进行预实验, 设定面团重量 75 g, 水箱温度 30 °C, 和面转速 80 r/min, 选择湿基 b14% 基准。

混合实验仪参数的设定: 第一阶段 30 °C 保持 8 min; 第二阶段梯度温度为 4 °C/min, 15 min 升温至 90 °C 并保持 7 min, 第三阶段梯度温度为 4 °C/min, 10 min 降温至 50 °C 并保持 5 min。

输入预先测定的样品含水量信息, 软件自动计算加入样品质量。根据软件提示依次加入样品、放好喷嘴, 仪器自动加水实验, 面团和好后会最大峰值, 此时停止实验, 记录 C1 扭矩值。然后清洗和面钵进行正式测试。首先根据软件提示输入预实验相关数据, 按照软件提示, 重新称取样品进行实验, 如果和面初始阶段的峰值能够达到 $1.1 \pm 0.05 \text{ N}\cdot\text{m}$, 说明实验成功, 让实验一直运行至结束, 如果仍未达到 $1.1 \pm 0.05 \text{ N}\cdot\text{m}$,

此时需要将该结果作为第二次预实验的数据,重新开展实验,直到满足条件。混合实验仪各参数所表示的

含义如表 1 所示,由此可对面团的粉质特性及糊化特性进行分析。

表 1 混合实验仪参数及其含义

Table 1 Mixolab parameters and their meanings

参数	含义
吸水率/%	在初始恒温阶段,面粉吸水后达到目标稠度所需加水量
C2/(N·m)	稠度最小值,用于测定蛋白质的弱化程度
C3/(N·m)	峰值粘度,用于淀粉糊化特性的测定
C4/(N·m)	保持粘度,用于测定淀粉糊化热胶稳定性
C5/(N·m)	回生终点粘度,用于测定冷却阶段糊化淀粉的回生特性
C3-C2/(N·m)	表示淀粉糊化特性,数值越大,糊化特性越强
C3-C4/(N·m)	粘度崩解值,表示淀粉糊化热稳定性,数值越小,热稳定性越强
C5-C4/(N·m)	回生值,表示淀粉回生特性,数值越小,回生特性越强
C1 形成时间/min	到达 C1 点所需的时间;面粉筋力越强,形成时间越长
C1 稳定时间/min	扭矩在 89% C1~C1 的维持时间,代表面团的耐揉性
斜率 α	30 °C 恒温结束与 C2 之间的曲线斜率,表示加热作用下蛋白网络弱化的速度
斜率 β	C2 和 C3 之间的曲线斜率,淀粉糊化速度
斜率 γ	C3 和 C4 之间的曲线斜率,淀粉酶水解淀粉的速度

1.3.3 色度的测定

护色剂的选择:将柠檬酸、植酸、植酸钠、曲酸、茶多酚白色、 β -糊精五种护色剂按照 0.5%比例与 100 g 混粉(紫薯生全粉添加量为 8%)混合,加入 80 g 水搅拌均匀,用保鲜膜包裹压成 2.00 mm 厚椭圆形面片,采用全自动色差仪于室温下测定面片正反面的明度 (L^*)、红绿度 (a^*)、蓝黄度 (b^*)。注意测量时保鲜膜透光性能好,面片表面平整,色差仪进光口对准处无气泡。

护色剂添加量的确定:护色剂按照 0、0.2、0.4、0.6、0.8 g/100 g 小麦粉的比例加入制作面条,磨粉后装入色差仪测试盒测定色度。

1.3.4 质构的测定

参照施建斌等^[10]的方法,采用质构仪测定煮熟后面条的剪切力、拉伸力、全质构等特性指标

剪切力测定:使用 A/LKB-F-轻型切刀,测试模式:Compression 模式,目标模式:Strain,测试前速度 10.0 mm/s,测试时速度 0.17 mm/s,压缩力 80%,触发力 Auto-3 g。

拉伸力测定:使用 A/SPR-滚轮拉伸测定装置,测试模式:Tension,目标模式:Distance 模式,测试前速度 1.0 mm/s、测试速度 3.0 mm/s、测试后速度 10.0 mm/s,测试距离 80.0 mm,触发力 Auto-5.0 g。

全质构测定:使用 P/36R-圆柱形平底探头,测试模式:Compression,目标模式:Strain,测试前速度 1.0 mm/s,测试及测试后速度 5.0 mm/s,压缩力 75%,触发力 Auto-5 g,两次压缩间隔 5 s。

1.3.5 感官评价方法

表 2 紫薯生全粉面条感官评价表

Table 2 Sensory evaluation of noodles made by raw purple sweet potato flour

项目	分值	评价标准
外观	20	颜色为鲜亮紫色且表面光滑为 16~20 分; 颜色为紫色但亮度一般且表面略粗糙为 11~15 分; 颜色黯淡且表面粗糙为 1~10 分。
气味	10	有紫薯香味且无异味为 8~10 分; 无紫薯香味且无异味为 5~7 分; 无紫薯香味且有异味为 1~4 分。
适口性	20	软硬适中为 16~20 分; 稍软或稍硬为 11~15 分; 过软或过硬为 1~10 分。
食味	20	吃起来有紫薯清香且无异味为 16~20 分; 无紫薯清香且无异味 11~15 分; 有酸味或异味为 1~10 分。
黏性	10	咀嚼时爽口、不粘牙为 8~10 分; 吃起来稍爽口略粘牙为 5~7 分; 吃起来不爽口很粘牙为 1~4 分
光滑性	10	入口光滑为 8~10 分; 稍光滑为 5~7 分; 光滑程度差 1~4 分。
断条数	10	面条断 10%~20%为 8~10 分; 面条断 30%~40%为 5~7 分 面条断>40%为 1~4 分。

感官评定小组由 10 名经过感官评定培训的专业人员组成, 根据外观、气味和适口性等指标对面条进行综合评分, 总分为 100 分, 评判标准如表 2, 所有测定实验重复三次取平均分为最终感官得分。

1.3.6 正交实验

表 3 响应面实验设计因素和水平

Table 3 Factors and their levels used in response surface analysis (g/100 g wheat flour)

水平	因素			
	A 紫薯生全粉 添加量/%	B 水 添加量/%	C 柠檬酸 添加量/%	D KGM 添加量/%
1	6	30	0.4	0.4
2	8	32	0.6	0.6
3	10	34	0.8	0.8

在单因素实验结果的基础上, 以紫薯粉添加量、水添加量、柠檬酸添加量、KGM 添加量为自变量, 紫薯挂面感官评分为因变量, 设计四因素三水平的正交实验, 见表 3。

1.3.7 数据分析方法

试验数据经 Microsoft Excel 处理后, Origin 作图。

2 结果与讨论

2.1 确定紫薯面条中生全粉添加量

表 4 不同比例紫薯生全粉-小麦粉混合粉的混合仪实验结果

Table 4 Experimental results of different proportions mixed-flour of raw purple sweet potato flour and wheat flour by mixolab

名称	高筋小麦粉	紫薯生全粉	10%紫薯生全粉-小麦粉混合粉	20%紫薯生全粉-小麦粉混合粉	30%紫薯生全粉-小麦粉混合粉	40%紫薯生全粉-小麦粉混合粉
含水量/%	12.42±0.23 ^b	8.71±0.11 ^e	12.72±0.17 ^a	12.20±0.14 ^b	11.83±0.05 ^c	11.45±0.14 ^d
吸水率/%	55.80±0.01 ^f	63.20±0.00 ^a	56.20±0.01 ^e	56.70±0.08 ^d	57.00±0.16 ^c	57.30±0.04 ^b
C1 形成时间/min	4.26±0.13 ^a	0.74±0.01 ^d	4.12±0.09 ^b	0.98±0.02 ^c	0.98±0.03 ^c	0.83±0.05 ^d
C1 稳定时间/min	7.42±0.09 ^a	1.99±0.07 ^e	6.97±0.10 ^b	5.42±0.18 ^c	5.38±0.09 ^c	5.08±0.13 ^d
C2/(N·m)	0.37±0.00 ^a	-	0.33±0.01 ^b	0.31±0.00 ^c	0.30±0.02 ^c	0.29±0.01 ^c
C3/(N·m)	1.95±0.01 ^a	-	1.88±0.02 ^b	1.85±0.01 ^c	1.78±0.01 ^d	1.64±0.00 ^e
C4/(N·m)	1.78±0.02 ^a	-	1.69±0.02 ^b	1.03±0.00 ^c	0.82±0.01 ^d	0.55±0.01 ^e
C5/(N·m)	3.10±0.16 ^a	-	2.16±0.11 ^b	1.28±0.00 ^c	0.97±0.01 ^d	0.68±0.03 ^e
C3-C2/(N·m)	1.58±0.00 ^a	-	1.54±0.02 ^b	1.54±0.00 ^b	1.48±0.02 ^c	1.35±0.00 ^d
C3-C4/(N·m)	0.17±0.00 ^d	-	0.19±0.01 ^d	0.82±0.02 ^c	0.96±0.00 ^b	1.09±0.06 ^a
C5-C4/(N·m)	1.32±0.13 ^a	-	0.48±0.03 ^b	0.25±0.02 ^c	0.15±0.00 ^{cd}	0.13±0.01 ^d
斜率 α	-0.08±0.01 ^a	-	-0.08±0.00 ^a	-0.08±0.00 ^a	-0.09±0.01 ^{ab}	-0.10±0.00 ^b
斜率 β	0.65±0.01 ^c	-	0.75±0.02 ^a	0.69±0.01 ^b	0.55±0.01 ^d	0.48±0.04 ^e
斜率 γ	-0.01±0.00 ^a	-	-0.02±0.01 ^b	-0.06±0.00 ^c	-0.07±0.00 ^d	-0.07±0.00 ^d

注: 同行不同上标小写字母代表差异显著 ($p < 0.05$); -代表未检出。

2.1.1 不同紫薯生全粉添加量下的混粉特性

紫薯生全粉几乎保留了除水分以外紫薯全部的营养物质, 功能特性与紫薯相似, 膳食纤维含量高, 具有较强的吸水性和膨胀能力^[11,12]。如表 4 所示, 紫薯生全粉的含水量要明显低于小麦粉, 吸水率则高于小麦粉。随着混合粉中紫薯生全粉比例的提升, 含水量逐渐下降, 而吸水率稳步提升。面团的形成时间和稳定时间是评价面粉品质的关键指标, 面粉筋力越强, 形成时间越长; 耐揉性越好, 维持稳定的时间越久。高筋小麦粉的筋力和耐揉性要明显好于紫薯生全粉, 其形成时间和稳定时间分别是后者的 5.76 和 3.73 倍。随着紫薯生全粉添加比例的增大, 混合粉面团的形成时间和稳定时间逐渐缩短, 筋度和耐揉性也越来越差, 当紫薯生全粉添加量为 10% 时, 面团的形成时间和稳定时间分别缩短了 3.29% 和 6.06%, 而当紫薯生全粉添加量为 20%~40% 时, 面团的形成时间和稳定时间分别缩短了 76.99%~80.52% 和 26.95%~31.54%。由此可见, 紫薯生全粉添加量在 0~10% 时对混粉面团的筋度及耐揉性影响较小。C2 为稠度的最小值, 用于表征蛋白质的弱化程度, 值越小代表弱化程度越大。紫薯生全粉本身由于不含面筋蛋白且吸水率强所以无法单独形成面团结构, 因此检测不到 C1-C5、幅度和斜率。添加紫薯生全粉后, 混合粉中面筋蛋白的占比相对减少, 其蛋白质弱化程度逐渐增大, C2 值随混粉中紫薯生全粉添加量的增大而减小。

扭矩 C3、C4 和 C5 分别代表混合粉面团的峰值、保持和回生终点粘度，可以用于表征淀粉糊化特性、热胶稳定性以及回生特性。C3-C2 表示淀粉糊化特性，数值越大，糊化特性越强；C3-C4 为粘度崩解值，表示淀粉糊化热稳定性，数值越小，热稳定性越强；C5-C4 为回生值，表示淀粉回生特性，数值越小，回生特性越弱。随着紫薯生全粉添加量的增大，混合粉面团 C3、C4、C5、C3-C2、C5-C4 逐渐减小，而 C3-C4 逐渐增加。这说明添加紫薯生全粉可减弱面团的糊化、回生特性，增强混合粉面团的热稳定性。

随着紫薯生全粉添加量的增大，混合粉面团的斜率 α 、 β 、 γ 呈下降趋势，斜率 α 为 30 °C 恒温结束与 C2 之间的曲线斜率，可以用于表征加热作用下蛋白网络弱化的速度。斜率 β 为 C2 和 C3 之间的曲线斜率，可以用于表征淀粉糊化速度。斜率 γ 为 C3 和 C4 之间的曲线斜率，可以用于表征淀粉酶水解淀粉的速度。这说明添加紫薯生全粉可影响蛋白网络弱化、淀粉糊化以及淀粉酶水解淀粉的速度。

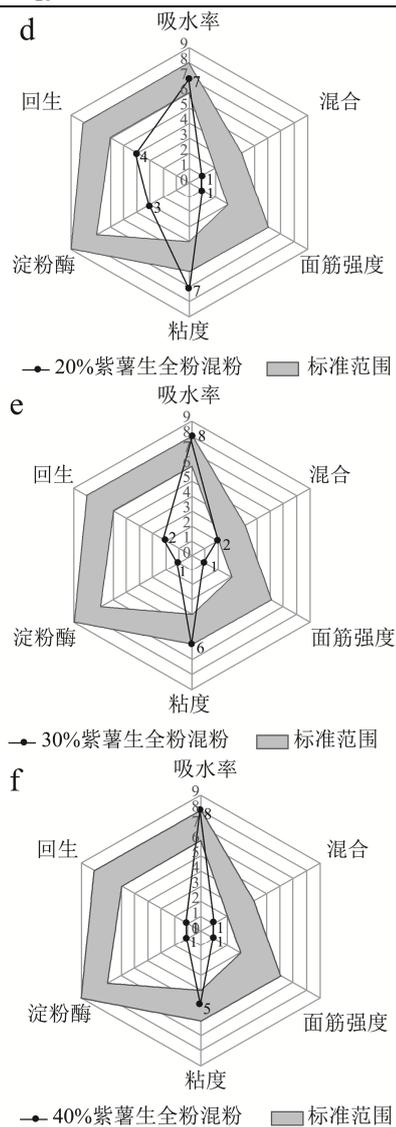
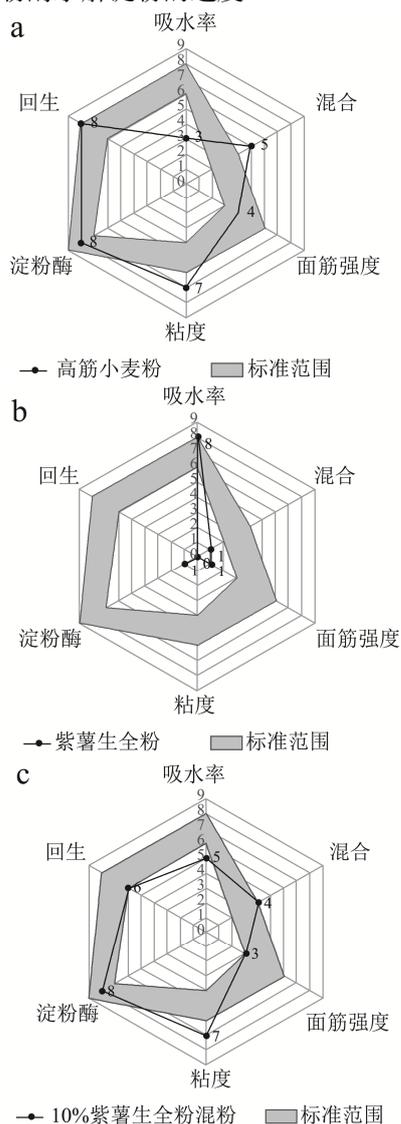


图1 不同比例紫薯生全粉-小麦粉混合粉的指数剖面图

Fig.1 Index profile of different proportions mixed-flour of raw purple sweet potato flour and wheat flour

混合试验仪可以针对不同用途的粉生成指数剖面图，对面粉的吸水率、揉混能力、面筋筋力、最大粘度、淀粉酶活性和回生特性这6个维度进行指数评价分析，分值为0~9，数字越大代表该项性能越好。如图1所示，阴影部分为 Mixolab2 混合试验仪所提供的的面条目标指数剖面图，被测试样品的指数结果落在剖面图内数量越多，代表越符合该用途粉的性能要求^[13]。试验用高筋小麦粉的面筋强度、淀粉酶和回生这三个指数均落在目标剖面范围内，而吸水率指数相对偏低，混合及粘度指数相对偏高。紫薯生全粉加工性能较差，只有吸水率指数较高符合目标剖面图要求，其余五项指数极低。尽管紫薯生全粉并不符合生产目标面条的性能需求，但能与高筋小麦粉的部分目标指数起到平衡互补的作用。随紫薯生全粉添加量的逐渐增大，混合粉的吸水率指数有所上升，而其余5项指

数则出现了不同程度下降趋势。当紫薯生全粉添加量为10%时,除吸水率和粘度外的其余4项指数的结果均在目标剖面图内,且目标范围外的指数结果与目标值相差甚微。当紫薯生全粉添加量为20%、30%、40%时,指数结果落在剖面图内的数量分别为1、3、2,且部分指数结果与目标值相距甚远。综上所述,为了保持混合粉的耐揉性和面筋强度,维持混合粉面条加工的特性需求,紫薯生全粉的添加量不宜超过10%。

2.1.2 紫薯生全粉添加量对面条质构和感官评分的影响

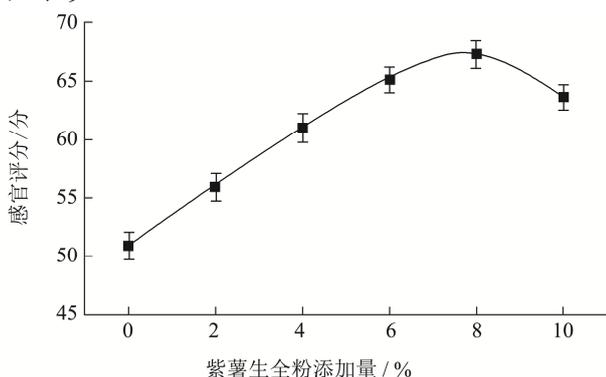


图2 不同紫薯生全粉添加量下面条感官评分的变化

Fig.2 Changes in noodles sensory scores under different raw purple sweet potato flour additions

由表5可知,紫薯生全粉添加量在4%~10%时对面条的回复性、内聚力、弹性指标无显著影响($p>0.05$),而对硬度、胶着性、咀嚼性等其它指标影响显著($p<0.05$)。紫薯生全粉添加量为8%时,面条的筋度有所提升,其硬度、胶着性和咀嚼性指标值要高于其他组,而添加量为10%时,面条的筋度有所下降,其硬度、胶着性和咀嚼性远低于其他组。图2中,紫薯面条的感官评分随紫薯生全粉添加量呈先上升后下降趋势,适度添加紫薯生全粉可以改善面条的色泽和气味,过度添加紫薯生全粉则会对面条的质构产生不利影响,即面条吸湿难成形,筋度下降。紫薯生全粉添加量为8%时感官评分达到峰值,为67.30分,较未添加紫薯全粉面条感官评分提升了20.39%。单珊等^[14]发现颜色深的紫薯面条更受欢迎,但一旦添加量超过20%面条的咀嚼性差、蒸煮与质构品质急速下降,建议紫薯面条中紫薯粉的添加量以5%~15%为宜。结合表4、图2结果来看,紫薯生全粉添加量为8%时,能较好的保持面条的质构和感官品质。

2.2 确定紫薯面条护色剂种类及添加量

2.2.1 护色剂对紫薯生全粉面条色度的影响

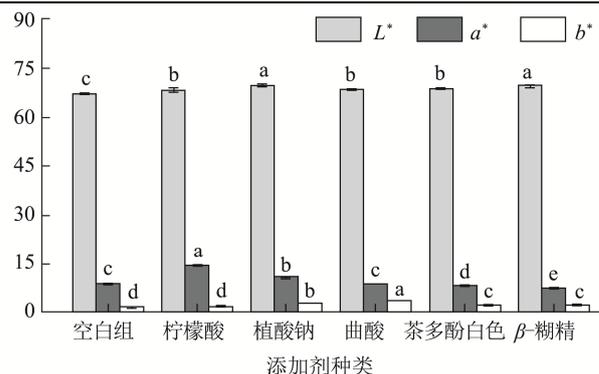


图3 不同护色剂对紫薯生全粉面团色泽的影响

Fig.3 The effect of different color protectants on the color of dough made by raw purple sweet potato flour

注: 条形图上标注不同小写字母代表差异显著 ($p<0.05$)。

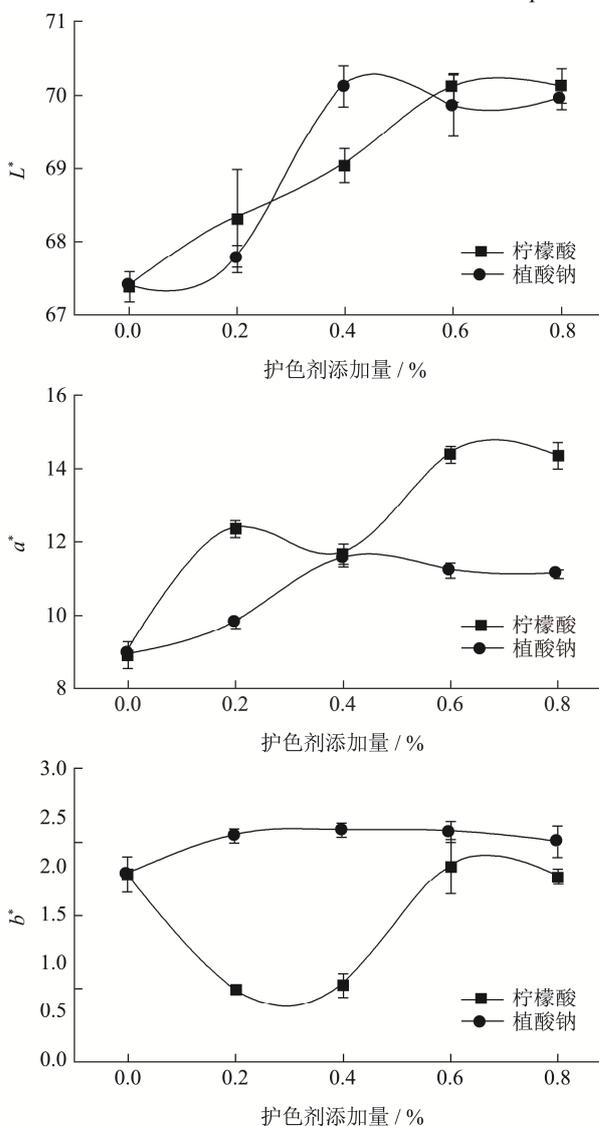


图4 柠檬酸和植酸钠添加量对紫薯生全粉面条色泽的影响

Fig.4 The effect of citric acid and sodium phytate on the color of noodles made by raw purple sweet potato flour

干燥果蔬及其加工过程中,常因酶促褐变而影响产品的色泽和品质。传统的护色是采用亚硫酸盐类溶液浸泡处理,利用亚硫酸盐产生微量二氧化硫的方法来预防食物变色,虽然亚硫酸盐虽然毒性较低,但其毒性作用是多方面的,人体长期过量摄入二氧化硫及亚硫酸盐等会破坏维生素 B₁,影响生长发育,易患多发性神经炎^[15]。研究选用柠檬酸、植酸盐等无硫护色技术,在提高干制果蔬食品品质的同时保证产品的食用安全性。

L^* 、 a^* 、 b^* 分别代表亮度、红绿度和黄蓝度, L^* 值越大,色彩越明亮; a^* 值越大,色彩越偏红; b^* 值越大,色彩越偏蓝。优质的紫薯面条色泽为色彩饱和度较高的紫色,紫薯面条的 L^* 、 a^* 值偏大所而 b^* 值较小。由图 3 色差仪数据表及肉眼观测结果来看,添加护色剂后紫薯面团的亮度显著($p<0.05$)提升,而柠檬酸和植酸钠这两种护色剂对紫薯面团的护色效果优于其他组,添加柠檬酸的面团呈现鲜亮粉红色,添加植酸钠的面团样品呈现鲜亮紫色,在此基础上选择柠檬酸和植酸钠继续开展紫薯面条护色工艺优化实验。

由图 4 可知,随着柠檬酸和植酸钠添加量的增加,面条的亮度有所提升,当两者的添加量在 0.6%~0.8%时面条的色度变化趋于平缓,差异较小。相同浓度下,使用柠檬酸护色的面条要比植酸钠护色的面条 a^* 值高,颜色更加偏红紫色;相而使用植酸钠护色的面条要比柠檬酸护色的面条 b^* 值高,颜色更加偏蓝紫色。柠檬酸一方面通过降低面条组织体系的 pH,使其偏离褐变关键酶多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的最适 pH,另一方面与 PPO 活性中心的金属离子螯合来延缓和抑制酶促褐变^[16]。植酸钠则是通过与金属离子螯合及自身的抗氧化作用来进行护色^[17]。

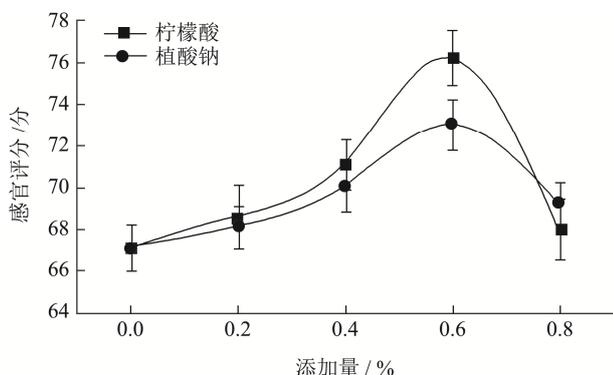


图5 柠檬酸和植酸钠添加量对紫薯生全粉面条感官评分的影响

Fig.5 The effect of citric acid and sodium phytate on the sensory scores of noodles made by raw purple sweet potato flour

2.2.2 护色剂对紫薯生全粉面条感官评分的影响

适量护色剂的使用会使产品的色泽更加鲜艳动人,而过量护色剂的使用往往会影响产品的口感和风味。从图 5 感官评分变化趋势可以看出,使用柠檬酸和植酸钠护色的紫薯生全粉面条感官评分随添加量的增加呈先上升后下降趋势,护色剂添加量为 0.6%时面条感官评分均出现峰值,此时使用柠檬酸和植酸钠护色的紫薯生全粉面条感官评分分别为 76.20 分和 73.0 分,较空白参照组分别提升了 13.56%和 8.79%。当柠檬酸添加量在 0.8%时,面条的感官评分大幅降低,此时柠檬酸的过量添加增加了面条酸度,影响食味。综合评估护色效果和感官评分的结果,0.6%柠檬酸更适宜用于紫薯生全粉面条的护色。

2.3 确定紫薯面条改良剂种类及添加量

2.3.1 改良剂对紫薯生全粉面条质构的影响

由表 6 可知,添加改良剂后紫薯生全粉面条的剪切力、硬度、内聚力、弹性、回复性胶着性、咀嚼性等指标数值显著提升,粘力显著下降。卡拉胶在添加量为 0.6%时剪切力达到最大值,较对照组增加了 33.81%;谷朊粉在添加量为 8%时剪切力达到最大值,较对照组增加了 118.07%;KGM 在添加量为 0.4%时剪切力达到最大值,较对照组增加了 52.81%。

三种改良剂中,6%~8%谷朊粉及 0.4%~0.6%KGM 对面条剪切力的影响更为显著。卡拉胶和对面条的拉伸力无显著改良效果,而在谷朊粉添加量为 4%~8%及 KGM 添加量 0.6%时,面条拉伸力、硬度、弹性、胶着性以及咀嚼性显著增强($p<0.05$),粘力显著降低($p<0.05$)。

在面条的制作过程中,添加改良剂能对面团的黏度、硬度及弹性进行改善,使制成的面条更耐烹煮,且煮后的面条具有表面光亮、富有弹性、口感清爽、有嚼劲^[18],常用于面条品质改良剂主要包括乳化剂、胶体、酶制剂、淀粉类等。研究选用的卡拉胶和 KGM 属亲水胶体,对面团的流变特性具有改善作用,具有增筋、增稠、增黏及增进面制品的韧性、光滑度等作用^[19]。

Pongpichaiudom 等^[20]利用瓜尔豆胶、黄原胶和羧甲基纤维素等亲水胶体改善了方便面的蒸煮损失和质构特性,面条的微观结构表面光滑。谷朊粉是从小麦(面粉)中提取出来的天然蛋白质,具有粘性、弹性、延伸性、成膜性和吸脂性,梅新等^[21,22]研究报道谷朊粉可增强面筋筋力、提高面条的硬度以及咀嚼性,本文研究结果与其一致。

表5 不同紫薯生全粉添加量下面条质构的变化

Table 5 Changes in noodles texture under different raw purple sweet potato flour additions

紫薯生全粉添加量/%	剪切力/g	拉伸力/g	硬度/g	粘力/g	回复性/%	内聚力	弹性/%	胶着性	咀嚼性
0	205.15±5.69 ^a	30.99±2.54 ^{ab}	3847.61±90.47 ^{ab}	-30.44±6.06 ^a	32.51±1.4	0.63±0.03	85.3±2.97	2521.09±42.27 ^a	2053.09±87.22 ^{ab}
2	186.48±2.15 ^b	33.51±1.46 ^a	3603.07±145.55 ^{bc}	-41.35±5.15 ^b	29.56±1.83	0.63±0.02	84.15±5.33	2673.72±122.8 ^a	1946.92±79.97 ^{bc}
4	161.79±4.84 ^d	28.25±1.59 ^{bc}	3481.28±201.36 ^{cd}	-27.04±5.62 ^a	30.01±1.45	0.61±0.01	86.96±3.34	2152.31±141.27 ^b	1871.21±128.51 ^{bc}
6	158.14±0.26 ^d	27.87±1.16 ^c	3615.92±142.37 ^{bc}	-32.74±3.41 ^{ab}	30.29±2.41	0.62±0.02	81.37±2.97	2122.85±37.33 ^{bc}	1757.45±94.93 ^c
8	178.87±1.71 ^c	29.83±1.19 ^{bc}	3958.21±118.72 ^a	-33.13±2.68 ^{ab}	30.83±1.44	0.61±0.03	81.52±6.58	2621.61±102.14 ^a	2201.35±111.69 ^a
10	158.92±0.85 ^d	26.90±1.19 ^c	3240.54±156.87 ^d	-33.72±4.02 ^{ab}	30.69±4.60	0.61±0.04	81.14±5.99	1911.79±238.84 ^c	1557.72±144.49 ^d

注：同列不同上标小写字母代表差异显著 ($p < 0.05$)，下同。

表6 添加改良剂后紫薯生全粉面条质构的变化

Table 6 Changes in texture of noodles made by raw purple sweet potato flour under different modifiers additions

改良剂种类	剪切力/g	拉伸力/g	硬度/g	粘力/g	回复性/%	内聚力	弹性/%	胶着性	咀嚼性
对照组 (空白)	192.87±4.22 ^k	36.65±1.68 ^{de}	4420.24±181.27 ^f	-27.43±3.09 ^a	34.36±0.92 ^{ef}	0.64±0.01 ^f	84.31±0.13 ^{ef}	2842.21±151.49 ^{fg}	2452.22±194.06 ⁱ
0.2%卡拉胶	210.21±7.79 ^j	35.98±1.51 ^e	3839.18±86.39 ^g	-37.44±2.32 ^{cd}	31.64±1.93 ^g	0.65±0.01 ^{ef}	88.06±0.65 ^{ab}	2492.45±67.07 ^h	2194.58±49.16 ^j
0.4%卡拉胶	193.66±3.40 ^k	28.74±2.23 ^{ij}	4478.67±242.32 ^f	-32.67±5.23 ^{ab}	43.83±2.05 ^a	0.72±0.01 ^a	85.62±2.65 ^{abcde}	3231.05±198.42 ^{cde}	2766.42±188.17 ^{efgh}
0.6%卡拉胶	258.08±7.20 ^f	35.12±0.48 ^{ef}	5450.52±99.93 ^{bc}	-52.12±7.54 ^f	36.45±1.35 ^{de}	0.69±0.01 ^{bc}	84.61±3.08 ^{cdef}	3756.72±79.25 ^b	3178.52±133.15 ^{bcd}
0.8%卡拉胶	222.28±7.88 ⁱ	33.12±0.94 ^{fg}	4617.19±147.02 ^{ef}	-38.09±2.80 ^{bcd}	39.18±2.09 ^{bc}	0.70±0.02 ^{ab}	85.02±2.96 ^{bcdef}	3211.79±176.48 ^{de}	2728.91±149.84 ^{efgh}
2%谷朊粉	230.51±1.17 ^h	32.30±1.18 ^{gh}	4420.38±168.73 ^f	-33.06±5.09 ^{ab}	37.58±1.11 ^c	0.68±0.02 ^{bcd}	86.4±1.15 ^{abcd}	3028.14±145.91 ^{ef}	2615.42±113.54 ^{hi}
4%谷朊粉	271.48±1.25 ^e	43.64±2.25 ^c	4585.25±214.30 ^{ef}	-38.58±0.87 ^{bcd}	39.93±1.20 ^b	0.69±0.01 ^{bc}	85.25±1.26 ^{bcde}	3184.84±111.43 ^{de}	2672.16±115.21 ^{ghi}
6%谷朊粉	295.83±1.68 ^b	47.30±1.19 ^b	5138.66±97.53 ^{cd}	-36.16±2.73 ^{bc}	34.63±1.61 ^{ef}	0.67±0.02 ^{cde}	84.5±1.27 ^{def}	3379.74±66.97 ^{cd}	2855.27±45.93 ^{efgh}
8%谷朊粉	420.59±1.07 ^a	57.48±1.70 ^a	6371.7±317.99 ^a	-50.04±0.93 ^f	33.37±0.35 ^{fg}	0.66±0.01 ^{def}	87.41±0.92 ^{abcd}	4238.22±138.46 ^a	3639.89±178.60 ^a
0.2% KGM	232.70±1.42 ^h	34.34±1.07 ^{efg}	4842.25±192.89 ^{de}	-42.30±0.12 ^{cde}	39.00±0.99 ^{bc}	0.70±0.02 ^{ab}	88.04±0.92 ^{ab}	3336.83±144.12 ^{cd}	2964.96±161.51 ^{def}
0.4% KGM	294.72±0.83 ^b	36.37±0.11 ^{de}	5490.11±18.95 ^b	-44.66±3.96 ^{def}	35.83±1.06 ^{de}	0.69±0.01 ^b	87.72±1.43 ^{abc}	3775.83±74.15 ^b	3310.63±10.92 ^b
0.6% KGM	286.02±1.66 ^c	42.54±1.88 ^c	5515.23±137.14 ^b	-48.26±5.10 ^{ef}	36.05±0.17 ^{de}	0.69±0.00 ^{bc}	88.68±1.41 ^a	3783.13±87.71 ^b	3356.34±129.73 ^b
0.8% KGM	278.52±1.86 ^d	38.75±0.88 ^d	4875.96±102.16 ^{de}	-46.33±3.68 ^{ef}	36.00±0.38 ^{de}	0.68±0.01 ^{bcd}	86.92±0.60 ^{abcd}	3289.84±81.56 ^{cd}	2879.37±77.47 ^{efg}

表7 不同水添加量下紫薯生全粉面条质构的变化

Table 7 Changes in texture of noodles made by raw purple sweet potato flour under different water additions

水添加量/%	切割力/g	拉伸力/g	硬度/g	粘力/g	回复性/%	内聚力	弹性/%	胶着性	咀嚼性
对照组 (30)	192.87±4.22 ^a	36.65±1.68 ^a	4420.24±181.27 ^a	-27.43±1.68 ^{ab}	34.36±0.92 ^d	0.64±0.01 ^b	84.31±0.13 ^a	2842.21±151.49 ^a	2452.22±194.06 ^a
32	160.16±0.41 ^b	25.91±1.45 ^b	3986.15±110.32 ^b	-30.26±1.94 ^{ab}	38.3±1.76 ^{bc}	0.67±0.02 ^b	85.23±2.68 ^a	2760.47±253.05 ^a	2392.51±64.58 ^a
34	132.14±5.68 ^c	26.48±2.42 ^b	3664.77±87.19 ^c	-29.52±5.00 ^{ab}	37.16±2.07 ^{bcd}	0.64±0.03 ^b	84.36±1.70 ^a	2469.89±24.93 ^b	2067.51±1.50 ^b
36	121.38±2.36 ^d	22.17±1.64 ^c	3474.41±113.27 ^c	-24.78±1.68 ^b	35.30±1.80 ^{cd}	0.65±0.03 ^b	82.17±0.94 ^a	2467.58±81.82 ^b	2096.43±56.47 ^b
38	121.66±2.78 ^d	20.02±1.40 ^c	3106.25±123.97 ^d	-31.96±4.43 ^a	39.07±2.45 ^b	0.68±0.05 ^b	87.87±0.40 ^a	2430.95±196.17 ^b	2129.11±170.32 ^b
40	114.57±4.50 ^e	15.83±2.56 ^d	2602.26±136.60 ^e	-25.34±1.99 ^b	49.15±0.56 ^a	0.74±0.01 ^a	75.06±6.65 ^b	1937.14±76.61 ^c	1564.58±66.16 ^c

2.3.2 改良剂对紫薯生全粉面条感官评分的影响

添加改良剂后的紫薯生全粉面条感官评分均呈现出先上升后下降的趋势，KGM、谷朊粉、卡拉胶感官评分分别在添加量为 0.6%、4%、0.6%时出现峰值，其最佳感官评分分别为 75.10、74.90、70.50，较空白参照组分别提升了 11.92%、11.62%和 5.06%。其中卡拉胶对面条的适口与质构优化效果不明显，因此评分较低。谷朊粉在添加量超过 4%后，紫薯面条明显膨胀变粗，严重影响了紫薯面条的外观评分。6% KGM 适口性和外观表现更佳，综合感官评分的结果选择 6% KGM 为改良剂最优添加量。

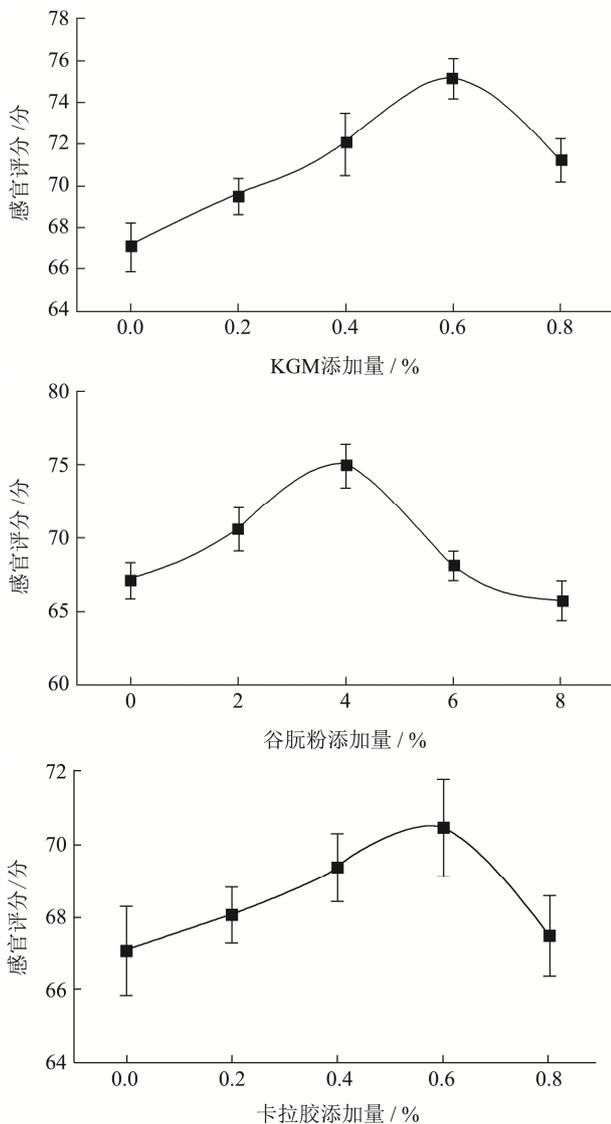


图6 改良剂对紫薯生全粉面条感官评分的影响

Fig.6 The effect of thickening agent on the sensory scores of noodles made by raw purple sweet potato flour

2.4 确定紫薯面条水添加量

2.4.1 水添加量对紫薯生全粉面条质构的影响

从表7可看出，紫薯生全粉面条的切割力、拉伸力、硬度以及咀嚼性等指标随着水添加量的增加而下降，特别是在水添加量达到34%后，下降幅度均超过15%。而粘力、回复性、内聚力等指标随着水添加量的增加呈不规律的变化趋势。这说明水添加量过多会从切割力、拉伸力、硬度以及咀嚼性等方面影响到面条的适口性。综合来看，水添加量在30%~34%之间时，面条更加筋道有嚼劲。

2.4.2 水添加量对紫薯生全粉面条感官评分的影响

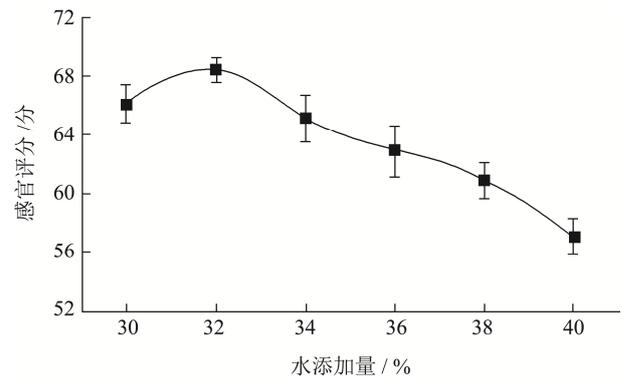


图7 不同水添加量下紫薯生全粉面条质构的变化

Fig.7 Changes in sensory scores of noodles made by raw purple sweet potato flour under different water additions

水添加量对面条的色泽影响不大，但对其表现形态、黏弹性、适口性、光滑性、食味等指标影响显著。一旦加水量过多，将增加面条制作过程中擀制、切条的难度，和成的面团结构疏松、流动性及黏性过大、弹性不好、面片表面不光滑；当加水量过少，和成的面团颗粒细碎，不易成团，揉着过程中面筋不能充分形成，压出的面片表面结构不均匀、粗糙，口感过硬，耗能增加，面条弹性差^[23]。如图7所示，水添加量在32%时，紫薯生全粉面条感官评分出现峰值，68.40分。水添加量低于32%时，面条硬度大，延压出来的面条易出现裂纹，水添加量高于32%后，面条的粘度及湿度增加、质构较变软，适口性下降。综合感官评分的结果来看，紫薯生全粉面条的适宜水添加量为32%。苑建伟等^[24]研究紫薯挂面加工工艺时发现水添加量在28%~34%时挂面外观、光滑度较好，与本文研究结果一致。

2.5 正交实验结果

制作半干马铃薯热干面 L₉ (3⁴) 正交实验结果如表8所示，从极差值 R 来看，所考察三个因素中，对紫薯生全粉面条感官评价影响大小顺序为 C>A>B>D，说明对半干马铃薯热干面感官评分影响最大因素是柠檬酸的添加量，其次是水添加量和紫薯

生全粉添加量, KGM 添加量对其影响较小。分析得各因素水平得到最优组合为 A₂B₂C₂D₂。由于极差分析得到的最优工艺组合并未在所实施的正交实验中, 为考虑优化条件的再现性, 对所得优化工艺进行三次重

复实验验证, 得到的综合评分结果为 85.48, 分数高于正交表中各组合感官评价。因此, 制作紫薯生全粉面条最佳工艺为: 紫薯生全粉添加量 8%, 水添加量 32%, 柠檬酸添加量 0.6%, KGM 添加量 0.6%。

表 8 正交实验因素水平表

Table 8 Orthogonal experiment factor level table

序号	因素				感官评分
	A (水添加量/%)	B (紫薯生全粉/%)	C (柠檬酸添加量/%)	A (KGM 添加量/%)	
1	1 (30%)	1 (6%)	1 (0.4%)	1 (0.4%)	76.18
2	1 (30%)	2 (8%)	2 (0.6%)	2 (0.6%)	83.45
3	1 (30%)	3 (10%)	3 (0.8%)	3 (0.8%)	69.32
4	2 (32%)	1 (6%)	2 (0.6%)	3 (0.8%)	84.37
5	2 (32%)	2 (8%)	3 (0.8%)	1 (0.4%)	78.81
6	2 (32%)	3 (10%)	1 (0.4%)	2 (0.6%)	81.25
7	3 (34%)	1 (6%)	3 (0.8%)	2 (0.6%)	75.64
8	3 (34%)	2 (8%)	1 (0.4%)	3 (0.8%)	81.36
9	3 (34%)	3 (10%)	2 (0.6%)	1 (0.4%)	83.10
K ₁	76.317	78.730	79.597	79.363	
K ₂	81.477	81.207	83.640	80.113	
K ₃	80.033	77.890	74.590	78.350	
极差 R	5.160	3.317	9.050	1.763	
较好水平	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	
主次顺序	C>A>B>D				

3 结论

3.1 紫薯生全粉不含面筋蛋白且吸水率强, 无法单独形成面团结构, 添加紫薯生全粉后, 混合粉中面筋蛋白的占比相对减少, 蛋白质弱化程度逐渐增大, 面团的糊化、回生特性减弱。适度添加紫薯生全粉可以改善面条的色泽和气味, 而过度添加紫薯生全粉则会对面条的质构产生不利影响, 即面条吸湿难成形、筋度、咀嚼性、蒸煮品质急速下降。综合来看, 紫薯生全粉添加量为 8% 时能较好的保持面条的质构和感官品质。

3.2 对比柠檬酸、植酸、植酸钠、曲酸、茶多酚白色、β-糊精这五种绿色无硫护色剂, 相同剂量下柠檬酸和植酸钠对紫薯面团的护色效果优于其他组, 颜色更加鲜亮。添加柠檬酸制作的面条颜色偏红紫色, 添加植酸钠制作的面条颜色偏蓝紫色。柠檬酸通过降低面条组织体系的 pH 及与金属离子螯合来延缓和抑制酶促褐变, 植酸钠则是通过与金属离子螯合及自身的抗氧化作用进行护色。综合评估护色效果和感官评分的结果, 0.6% 柠檬酸更适宜用于紫薯生全粉面条的护色。

3.3 添加卡拉胶、谷朊粉、KGM 等改良剂后紫薯生全粉面条的剪切力、硬度、内聚力、弹性、回复性胶着性、咀嚼性等指标数值显著提升, 粘力显著下降。

卡拉胶对面条的拉伸力无显著改良效果, 谷朊粉在添加量超过 4% 后, 紫薯面条明显膨胀变粗, 感官评分降低。由于 0.6% KGM 适口性和外观表现更佳, 感官评分高, 更适宜用作紫薯生全粉面条的品质改良。

3.4 影响紫薯生全粉面条品质的因素顺序为柠檬酸添加量>水添加量>紫薯生全粉添加量>KGM 添加量, 优化得到紫薯生全粉面条最佳配方工艺为: 紫薯生全粉添加量 8%, 水添加量 32%, 柠檬酸添加量 0.6%, KGM 添加量 0.6%。在此条件下制作的紫薯生全粉面条不断条、不糊汤、适口性好且颜色鲜亮, 感官评分达最高值 85.48。后续可在此基础上对紫薯生全粉面条配方进一步调整和优化和应用, 以期实现高品质紫薯生全粉面条的工业化生产的目标。

参考文献

- [1] Zheng Y, Wang Q, Li B, et al. Characterization and prebiotic effect of the resistant starch from purple sweet potato [J]. *Molecules*, 2016, 21(7): 932
 - [2] 张梦潇, 周文化, 莫华, 等. 不同品种紫薯粉面团品质特性[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(2): 12-18, 25
- ZHANG Mengxiao, ZHOU Wenhua, MO Hua, et al. Quality characteristics of different varieties of purple sweet potato

- flour dough [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(2): 12-18, 25
- [3] 邢丽君.紫薯粉条加工工艺条件优化及品质分析[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014
XING Lijun. Processing conditions optimization and qualities analysis of purple sweet potato starch noodles [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2014
- [4] 揭小玲.紫薯全粉品质特性及紫薯饼干加工技术研究[D].福州:福建农林大学,2013
JIE Xiaoling. Study on the quality characteristics of purple sweet potato flour and the processing technology of purple sweet potato biscuits [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013
- [5] 丁瑞琴,赖谱富,张思耀,等.花色面条品质改良剂和加工工艺的探讨[J].粮油加工,2009,1:87-90
DING Ruiqin, LAI Pufu, ZHANG Siyao, et al. Discussion on quality improver and processing technology of fancy noodles [J]. Ereals and Oils Processing, 2009, 1: 87-90
- [6] 范会平,陈月华,王娜,等.紫薯全粉面加工工艺的优化[J].食品与发酵工业,2017,43(2):154-160
FAN Huiping, CHEN Yuehua, WANG Na, et al. Optimization of the process of purple sweet potato noodles [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(2): 154-160
- [7] Gasparre N, Rosell C M. Role of hydrocolloids in gluten free noodles made with tiger nut flour as non-conventional powder [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 97: 105194
- [8] 胡玲,张俊,雷激.紫甘蓝挂面制备的关键技术研究[J].食品科技,2019,44(11):185-191
HU Ling, ZHANG Jun, LEI Ji. Study on the key technologies of the preparation of purple cabbage fine dried noodles [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(11): 185-191
- [9] 于沛沛,毛延妮,姜启兴,等.不同增稠剂对紫薯面条品质的影响[J].食品工业,2018,39(5):13-16
YU Peipei, MAO Yanni, JIANG Qixing, et al. Effect of different thickeners on quality of purple sweet potato noodles [J]. The Food Industry, 2018, 39(5): 13-16
- [10] 施建斌,蔡沙,何建军,等.鲜马铃薯熟干面的制作工艺研究[J].湖北农业科学,2016,55(23):6211-6214
SHI Jianbin, CAI Sha, HE Jianjun, et al. Technology of hot-and-dry noodles from fresh potato [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(23): 6211-6214
- [11] LIAO Luyan, LIU Huihui, WU Weiguo. Processability and physical-functional properties of purple sweet potato powder as influenced by explosion puffing drying [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(1): 944-952
- [12] 陈芳芳.紫薯粉对面团烘焙特性的影响及其机理[D].上海:华东理工大学,2014
CHEN Fangfang. The influence and mechanism of purple sweet potato powder on baking performance of wheat dough [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2014
- [13] 张纷,赵亮,靖卓,等.藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺[J].食品科学,2019,40(14):323-332
ZHANG Fen, ZHAO Liang, JING Zhuo, et al. Dough characteristics of quinoa-wheat composite flour and optimization of mantou processing [J]. Food Science, 2019, 40(14): 323-332
- [14] 单珊.紫薯-小麦混合粉的性质及面条品质研究[D].无锡:江南大学,2012
SHAN Shan. Physicochemical properties and noodle making quality of purple sweet potato flour and wheat flour blends [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [15] 陈健敏,冉梦楠,王美霞.亚硫酸盐在食品中的研究进展[J].核农学报,2021,35(7):1639-1647
CHEN Jianmin, RAN Mengnan, WANG Meixia. Research progress of sulfites in food [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(7): 1639-1647
- [16] Chiumarelli M, Pereira L M, Ferrari C C, et al. Cassava starch coating and citric acid to preserve quality parameters of fresh-cut "Tommy Atkins" mango [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(5): E297-304
- [17] 沙如意,崔艳丽,王少林,等.植酸/植酸钠在食品工业上的应用研究进展[J].现代食品科技,2018,34(6):293-309
SHA Ruyi, CUI Yanli, WANG Shaolin, et al. Application advances of phytic acid/sodium phytate in food industry [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(6): 293-309
- [18] Padalino L, Mastromatteo M, Vita P D, et al. Effects of hydrocolloids on chemical properties and cooking quality of gluten-free spaghetti [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2013, 48(5): 972-983
- [19] 翟玮玮.增稠剂对面粉品质改良机理的研究[J].食品工业科技,2009,1:136-138
ZHAI Weiwei. Effect mechanism of thickening agents on dough [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 1: 136-138

(下转第 139 页)