

基于主成分对比食盐对马铃薯生、熟全粉面片质构与面条品质的影响

李璫洋¹ 陈安均¹ 聂伟¹ 李沛珈¹ 刘易^{2,3} 杨茹薇^{2,3}

(1. 四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625000; 2. 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐综合实验站, 新疆 乌鲁木齐 830000; 3. 新疆玉维鲜农业科技中心, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: [目的] 探究马铃薯生粉和熟粉面片质构、面条品质在不同食盐添加量下的变化规律。[方法] 考察食盐添加量对马铃薯全粉面片质构和面条品质的影响, 运用主成分分析法对质构降维, 依靠红外光谱分析蛋白质结构变化, 并结合模糊感官进行相关性分析。[结果] 面片质构主成分 1 为硬度因子, 与断条率、蒸煮损失率等相关性较强, 主成分 2 为弹力因子, 与韧性和拉伸特性相关性较强, 综合质构评价受主成分 1 影响更大; 生粉面片的有序结构含量比熟粉面片的高, 二者分别在食盐添加量为 0.8% 和 1.0% 时的质构、感官、拉伸特性和蒸煮特性最佳。[结论] 适量添加食盐有利于面条品质提升, 食盐通过影响面片中蛋白质网络的构象来影响面片质构, 面片质构与面条品质关系密切, 熟粉面条受食盐影响小, 性质更稳定。

关键词: 马铃薯全粉; 面条; 食盐; 傅里叶变换红外; 主成分分析; 模糊数学评价

Effect of salt on the texture and noodle quality of raw and cooked potato whole flour pasta sheets based on principal component comparison

LI Junyang¹ CHEN Anjun¹ NIE Wei¹ LI Peijia¹ LIU Yi^{2,3} YANG Ruwei^{2,3}

(1. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625000, China; 2. Urumqi Comprehensive Test Station of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830000, China; 3. Xinjiang Yuwei Xian Agricultural Science and Technology Center, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

Abstract: [Objective] To explore the changes in the texture and noodle quality of potato flour and cooked flour pasta sheets under different salt addition levels. [Methods] The effect of salt addition on the texture and quality of potato flour pasta sheets was investigated. Principal component analysis (PCA) was used to reduce the dimensionality of texture data, and infrared spectroscopy was used to analyze protein structural changes. Correlation analysis was conducted using fuzzy sensory evaluation. [Results] The primary principal component of pasta sheet texture is the hardness factor, which shows a strong correlation with breakage rate, cooking loss rate, and other texture characteristics. The second principal component represents elasticity, with a strong correlation to toughness and tensile properties. The overall texture evaluation is more influenced by the primary principal component. The ordered structure content in raw potato flour pasta sheets is higher than in cooked flour pasta sheets. The texture, sensory properties, tensile characteristics, and cooking performance of the pasta sheets are optimal when salt is added at 0.8% and 1.0%, respectively. [Conclusion] A moderate addition of salt improves noodle quality. Salt influences pasta sheet texture by influencing the conformation of protein networks in the pasta sheets. Pasta sheet texture is closely related to noodle quality, and cooked flour noodles are less affected by salt, showing more stable properties.

Keywords: potato flour; noodles; salt; FT-IR; principal component analysis; fuzzy mathematics evaluation

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是一种粮食与蔬菜兼备的多用型作物^[1], 产量高、抗逆性强, 已成为继水稻、小麦、玉米之后的“第四大主粮”。马铃薯全粉由马铃薯去皮后加工而来, 以其营养全面、风味好、易加工、耐贮藏的

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发项目 (编号: 2022B02044-3)

通信作者: 陈安均 (1970—), 男, 四川农业大学教授, 博士。E-mail: chen_anjun@sicau.edu.cn

收稿日期: 2024-07-15 改回日期: 2025-01-13

特点^[2],可应用于婴幼儿食品、老人食品、糕点、膨化食品等^[3],受到马铃薯食品生产企业和国家粮食储备机构的重视^[4]。按照加工方式,马铃薯全粉可分为生全粉和熟全粉^[5],不同的制作工艺造成二者结构产生差异,从而导致复配后的面制品质构特性存在差异。现有研究多以马铃薯熟粉或马铃薯泥作原料进行配方和工艺优化^[6-10];有关生粉、熟粉的对比研究较少,有关其质构属性与面条品质关系的研究尚未见报道。

Pu等^[11]研究了马铃薯全粉添加对面条品质特性的影响,认为在不添加任何辅料的条件下,消费者对马铃薯全粉添加量的接受度可以达到40%;李彩霞等^[12]研究发现,当马铃薯全粉含量超过35%时,面条品质开始下降;高琦等^[13]综合理化性质和质构指标,认为马铃薯全粉的最佳添加量为30%~35%;邓家汶等^[14]探究了马铃薯全粉添加量为0~40%时的面团品质,根据混粉面团的粉质特性、拉伸特性等优选出35%的马铃薯全粉添加比例进行了配方优化。基于上述研究,综合考虑面条品质的可接受度并尽量提高马铃薯的应用比例,选择35%的取代比例进行探究。中式面条往往以小麦粉和水为主要原料,食盐和食用碱为常见配料。一定量的食盐可以提升面条口感,抑制酶活及微生物生长,延长制品保质期^[15];食盐具有增强面筋网络结构和面团硬度的作用,影响化学键的生成,可改变小麦面团面筋网络结构,使面团在颜色、质构、风味上存在明显差异^[16-18]。文瑜等^[19-22]发现马铃薯面条的最适加盐量集中在0.4%~1.5%,此时马铃薯面条的质构、蒸煮、拉伸等特性最佳。

目前,马铃薯全粉面条的品质评价主要包括感官评价和仪器评价。仪器评价主要采用质构仪,该仪器具有准确性高、客观性强和操作简单等特性^[23],但不能直接反映消费者的感受,且对配方和工艺的改进具有滞后性。运用模糊数学的方法采用等级来代替具体分数,可有效降低单个试验数据对整体评价结果的影响,能够最大限度反映不同处理组之间的差异性^[24]。现有对马铃薯全粉面片质构、面条品质的研究多是分离的,且以综合配方优化为主要趋势^[25-27],主要是因为质构指标较多,单独指标变化趋势和规律不明确导致二者相关关系建立困难。研究拟利用主成分分析法降维面片质构指标,建立食盐影响下面片质构与面条品质的相关关系,以期以面片为中间制品的马铃薯全粉产品(如马铃薯面条、馒头、饼干等)的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

马铃薯:垦薯1号,新疆农业科学院综合试验场;

小麦粉:水分含量14.27%、蛋白质含量11.69 g/100 g、脂肪含量0.25%、淀粉含量72.6%,河南商丘虞城县鑫顺面粉厂;

食盐(氯化钠):山东寒亭第一盐场有限公司;

食用纯碱(碳酸钠):佳禾食品工业股份有限公司;

纯净水:市售;

其他化学试剂均为国产分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

振动式超微粉碎机:ZD-10型,深圳雷粤机械设备有限公司;

气流干燥机:JN-030302型,四川洁能干燥设备有限责任公司;

物性分析仪:TA.XT Plus型,英国Stable Micro System公司;

压面机:BJM-8型,德清致一电子科技有限公司;

全自动和面机:M10-MC91型,九阳股份有限公司;

傅立叶红外光谱仪:NicoletIS10型,赛默飞世尔科技公司。

1.2 方法

1.2.1 马铃薯生全粉、熟全粉制备

(1)生全粉:将新鲜马铃薯洗净,手工去皮并除去存在损伤变质的部分,于自动切片机上切片,烘干前暂存于装满水的容器内隔绝氧气,然后平铺于塑料隔板上,75℃干燥7 h,粉碎,过100目筛,抽真空备用。

(2)熟全粉:新鲜马铃薯切片后转移至蒸箱蒸煮12 min,再转移至气流干燥箱,烘干前暂存于装满水的容器内隔绝氧气,然后铺平于塑料隔板上,75℃干燥7 h,过100目筛,抽真空备用。

1.2.2 马铃薯全粉理化性质测定

(1)蛋白质:按GB 5009.5—2016执行。

(2)脂肪:按GB 5009.6—2016执行。

(3)淀粉:按GB 5009.9—2016执行。

(4)水分:按GB 5009.3—2016执行。

1.2.3 马铃薯全粉加工指标测定

(1)全粉中碘蓝值:参照冷新明等^[28]的方法。

(2)持水持油性:参照岳静等^[29-30]的方法。

(3)直支比:参照曾凡逵等^[31]的方法。

1.2.4 马铃薯生全粉、熟全粉面片和面条制作 将全粉与小麦粉按质量比7:13共100 g干基充分混合后加入和面机中,将食盐、食用碱加入水中,充分搅拌至完全溶解,从开始和面起,在第0,1,2 min时按照4:4:2向和面机内加入溶液^[16],150 r/min搅拌和面10 min,于压面机5 mm辊距上压延5次,3 mm辊距上压延5次,每次压延后对折,从同一方向进入压辊。压延结束后面片一分为二,一部分进行质构、蛋白质二级结构等的测定,一部分切条制

作面条,宽度为 6 mm。

1.2.5 食盐添加量对面片质构的影响 以垦薯 1 号生全粉、熟全粉、小麦粉为原料,以马铃薯全粉复配小麦粉(共 100 g)为基准,马铃薯生全粉 35%,小麦粉 65%,食用碱 0.4%^[32],水 60%,考察食盐添加量(0.4%,0.6%,0.8%,1.0%,1.2%)对马铃薯全粉—小麦粉面片质构的影响。

1.2.6 马铃薯面片质构测定 参照陈前^[33]的方法略有修改。样品为直径 1 cm 面片,厚 3 mm,使用 P/36R 探头,测前、中、后速度均为 0.3 mm/s,触发力 0.1 N,应变量 75%。

1.2.7 马铃薯面片傅里叶近红外光谱测定 参照赵妍等^[34]的方法略有修改。对面筋蛋白酰胺 I 带(1 600~1 700 cm⁻¹)进行峰分离处理,用 Peak Fit v4.12 分析软件去卷积,进行二阶导数拟合,计算各子峰百分比含量。

1.2.8 马铃薯面条品质测定

(1) 蒸煮损失率、熟断条率:参照 GB 40636—2021 略有改动。取 50 根面条进行蒸煮,根据断裂条数进行计数。

(2) 拉伸距离:将煮熟的面条捞出沥干,取一根面条,将其两端缠绕在拉伸仪上,保持两端相距 20 cm,拉伸面条直至断裂为止,此时拉伸仪拉伸的距离即为面条拉伸距离。

1.2.9 马铃薯面条感官评价 采用模糊感官综合评价法,参照 GB/T 35875—2018 中的评分细则和权重,由 10 名经过相关培训的食品专业人员组成感官评定小组,按照马铃薯全粉面条评分细则(表 1),以面条的表观状态、硬度、韧性和食味为因素集,以优、良、中、差为评语集,建立 4 个因素矩阵,构建主因素突出型综合评判模型。

1.2.10 数据分析 各试验重复 3 次,结果以平均值±标准差表示,采用 IBM SPSS Statistics 24.0 软件对数据进行显著性分析和主成分分析,采用 Origin 8.5 软件作图,相关性分析采用皮尔逊相关系数法,显著性界值为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 马铃薯全粉的基础指标

由表 2 可知,熟全粉经过糊化处理,蛋白质含量减少,持水、持油性增大,直支比增大,碘蓝值增大,说明加热会破坏淀粉分子结构^[35]。

2.2 食盐对马铃薯全粉面片质构的影响

2.2.1 食盐添加量对马铃薯生全粉、熟全粉面片质构的影响 不同食盐添加量下马铃薯生、熟、全粉面片的质构

表 1 马铃薯全粉面条感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for potato whole flour noodles

评价指标	评价标准	等级
表观状态 (25%)	表面结构细密、光滑平顺	优
	表面结构较细密、较光滑平顺	良
	边缘粗糙、膨胀、变形严重	中
	整体粗糙、膨胀、变形严重	差
硬度 (30%)	咬断力道适中	优
	咬断力道偏硬或偏软	良
	咬断力道硬或软	中
	咬断力道太硬或太软	差
韧性 (30%)	富有弹性、有嚼劲	优
	较有弹性、较有嚼劲	良
	弹性不足,咬劲差或太硬	中
	无弹性、无嚼劲,松软	差
食味 (15%)	具有麦清香味和马铃薯香味,且无明显咸味	优
	仅具有麦清香味或马铃薯香味,或有较淡咸味	良
	无令人不愉快的气味,或较咸	中
	有令人不愉快的气味,或很咸	差

特性见表 3。

2.2.2 食盐因素下主成分分析 采用 SPSS 24.0 软件中 Bartlett's 球状检验,其中 KMO 值 >0.6 代表数据适用于因子分析。经计算,生全粉、熟全粉面片的 KMO 值分别为 0.639,0.667, sig 为 0.00,说明测得的各参数相互独立,进行主成分分析可行^[36]。

面片特征值及贡献率见表 4,筛选特征值 >1 的成分为主成分,生全粉面片主成分 1 和主成分 2 累计贡献率达 93.295%,熟全粉面片主成分 1 和主成分 2 累计贡献率达 92.803%。

面片因子载荷和特征向量见表 5,主成分 1 载荷主要包括硬度、胶着性和回复性,为“硬度因子”,主成分 2 载荷包括弹性、咀嚼性和黏着性,为“弹性因子”,与初始主成分矩阵结果保持一致,与魏康等^[37]的研究结果一致。根据“主成分载荷量是主成分特征向量与相应特征值的算术平方根的乘积”的原则^[38],计算出每个主成分对应质构指标的特征向量。根据表 5 构建面片各主成分与 TPA 质构指标之间的关系:

表 2 马铃薯全粉的基础成分和加工特性

Table 2 Basic components and processing characteristics of potato whole flour

样品	水分/%	淀粉/%	蛋白质/%	粗脂肪/%	碘蓝值	持水性/(g·g ⁻¹)	持油性/(g·g ⁻¹)	直支比
生全粉	6.74±0.03	70.26±0.19	7.71±0.03	0.05±0.01	23.59±0.58	4.82±0.12	0.59±0.02	0.47±0.01
熟全粉	9.44±0.04	71.54±0.35	7.62±0.12	0.04±0.01	31.30±0.66	6.44±0.41	0.68±0.02	0.51±0.01

表3 食盐添加量下马铃薯生、熟全粉面片的质构特性[†]

Table 3 Texture characteristics of potato raw and cooked whole flour pasta sheets under salt addition

全粉种类	食盐添加量/%	硬度/N	黏着性/(N·s)	弹性	胶着性	咀嚼度	回复性
生全粉	0.4	68.72±2.07 ^f	-4.36±0.36 ^b	0.547±0.091	2 566.0±68.5 ^d	1 429.7±257.9 ^b	0.196±0.004 ^{ef}
	0.6	80.38±3.95 ^{de}	-4.13±0.43 ^b	0.601±0.096	2 972.8±166.9 ^{cd}	1 775.8±289.3 ^{ab}	0.207±0.006 ^{def}
	0.8	92.64±5.07 ^{abc}	-3.38±0.31 ^{ab}	0.526±0.073	3 753.0±262.7 ^{ab}	2 016.5±351.6 ^{ab}	0.236±0.010 ^{ab}
	1.0	101.34±1.23 ^a	-2.74±0.17 ^a	0.424±0.060	4 094.0±79.9 ^a	1 765.4±285.3 ^{ab}	0.245±0.002 ^a
	1.2	73.59±2.99 ^{ef}	-2.94±0.15 ^a	0.552±0.060	2 763.8±123.4 ^d	1 533.3±185.5 ^b	0.193±0.004 ^f
熟全粉	0.4	93.70±2.47 ^{ab}	-6.00±0.39 ^c	0.426±0.037	4 238.0±172.3 ^a	1 848.5±251.3 ^{ab}	0.226±0.003 ^{bc}
	0.6	88.26±1.88 ^{bcd}	-6.46±0.35 ^{cd}	0.465±0.053	3 957.0±118.6 ^a	1 881.5±260.9 ^{ab}	0.218±0.003 ^{cd}
	0.8	74.81±5.50 ^{ef}	-6.16±0.54 ^{cd}	0.615±0.068	3 378.4±26.3 ^{bc}	1 942.4±118.1 ^{ab}	0.211±0.007 ^{de}
	1.0	82.69±1.41 ^{cde}	-7.20±0.46 ^d	0.640±0.052	3 853.8±67.3 ^{ab}	2 485.2±224.7 ^a	0.216±0.002 ^{cd}
	1.2	88.00±3.12 ^{bcd}	-5.77±0.46 ^c	0.488±0.055	4 131.3±229.6 ^a	2 076.7±288.2 ^{ab}	0.224±0.008 ^{bcd}

[†] 小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表4 食盐因素下特征值及贡献率

Table 4 Characteristic values and contribution rates under salt factors

全粉种类	成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
生全粉	1	3.300	55.004	55.004
	2	2.297	38.292	93.295
	3	0.325	5.418	98.714
	4	0.040	0.663	99.377
	5	0.029	0.484	99.862
	6	0.008	0.138	100.000
熟全粉	1	3.018	50.298	50.298
	2	2.550	42.505	92.803
	3	0.313	5.219	98.022
	4	0.092	1.528	99.550
	5	0.020	0.341	99.892
	6	0.007	0.108	100.000

表5 食盐因素下因子载荷和特征向量

Table 5 Factor load and eigenvectors under salt factors

全粉种类	指标	因子载荷		特征向量	
		主成分1	主成分2	主成分1	主成分2
生全粉(Y)	硬度(X_1)	0.986	0.063	0.543	0.042
	黏着性(X_2)	0.589	-0.650	0.324	-0.429
	弹性(X_3)	-0.234	0.945	-0.129	0.624
	胶着性(X_4)	0.967	0.218	0.532	0.144
	咀嚼性(X_5)	0.216	0.956	0.119	0.631
	回复性(X_6)	0.972	0.128	0.535	0.084
熟全粉(M)	硬度(N_1)	0.962	0.134	0.554	0.084
	黏着性(N_2)	0.423	-0.812	0.243	-0.508
	弹性(N_3)	-0.435	0.865	-0.250	0.542
	胶着性(N_4)	0.924	0.354	0.532	0.222
	咀嚼性(N_5)	0.086	0.981	0.050	0.614
	回复性(N_6)	0.929	0.193	0.535	0.121

$$Y_1=0.543X_1+0.324X_2-0.129X_3+0.532X_4+0.119X_5+0.535X_6, \quad (1)$$

$$Y_2=0.042X_1-0.429X_2+0.624X_3+0.144X_4+0.631X_5+0.084X_6, \quad (2)$$

$$Y=0.5500Y_1+0.3829Y_2, \quad (3)$$

$$M_1=0.554N_1+0.243N_2-0.250N_3+0.532N_4+0.050N_5+0.535N_6, \quad (4)$$

$$M_2=0.084N_1-0.508N_2-0.542N_3+0.222N_4+0.614N_5+0.121N_6, \quad (5)$$

$$M=0.5030M_1+0.4251M_2. \quad (6)$$

利用式(1)~式(6)可计算面片质构综合得分,趋势图如图1所示。

由图1(a)可知,生全粉面片中,随着食盐添加量的增

加,主成分1即硬度因子评分呈先上升后下降趋势,在添加量为0.8%~1.0%时达到最大。这是由于初始阶段,盐有助于强化面片的蛋白质网络结构^[39],提高其结构强度,使得面片在受压或变形后能更好地恢复,当食盐添加量为0.8%~1.0%时,盐的过量吸水导致面团内部水分不均匀,影响了淀粉的凝胶化过程及蛋白质网络的稳定性^[40];主成分2即弹力因子评分呈先增大后减小再稳定的趋势,最高点在0.6%~0.8%处,继续增加食盐添加量,主成分2评分下降,这是因为初期盐有助于调节面片水分状态和蛋白质结构,优化口感,继续添加食盐,过高的盐浓度可能会破坏面团结构和水分平衡,导致弹性和咀嚼度下降^[41],而黏着性因为水分分布和面团网络结构的形成饱和而趋于稳定;主成分1的贡献率较大,综合质构评分变

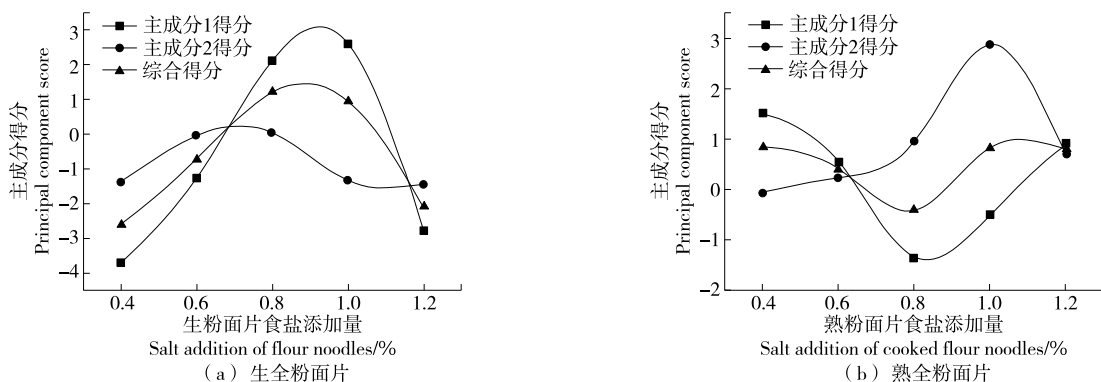


图1 马铃薯全粉面片质构综合评分随食盐添加量的变化

Figure 1 Changes of comprehensive texture score of potato whole flour pasta sheets with the salt addition amount

化趋势与之相似。

由图1(b)可知,熟全粉面片中,随着食盐添加量的增加,主成分1评分先减小后增大,在食盐添加量为0.8%时硬度因子评分最低,与王文琪等^[42-43]的结果相似;弹力因子变化趋势与硬度因子变化趋势相反,综合评分变化趋势与主成分1变化趋势相似,但变化程度较小。由于热处理导致熟粉中蛋白质含量减少,在少量食盐的作用下不足以明显促进蛋白质网络结构的形成,而糊化作用破坏了马铃薯淀粉颗粒,岩石状的形态增加了吸水率,相同加水量下水分迁移和淀粉吸水膨胀更充分,导致面片松软,硬度下降;持续添加食盐,大量的氯离子和钠离子会中和蛋白质表面电荷^[44],使蛋白质更容易聚集和相互作用,加速了面筋网络的形成,胶着性和硬度增大。

2.3 食盐添加量对马铃薯全粉面片红外光谱及蛋白质二级结构的影响

由图2可知,随着食盐添加量的增加,红外光谱峰形大致相似,说明没有新的共价键结合和新的基团产生。生粉面片中,随着食盐添加量的增加,—OH吸收峰先向高频移动后向低频移动,表明水与蛋白质聚合物的氢键作用强度先增强后减弱;熟粉面片中—OH吸收峰移动方

向相反,这也解释了熟粉面片主成分1即硬度因子得分呈先下降后上升的趋势。

添加食盐会影响蛋白质结构,导致4种构象之间的转化,进而影响面筋蛋白质的性质和面制品的食用品质。其中 β -折叠与 α -螺旋属于蛋白质的有序结构,无规卷曲与 β -转角属于无序结构^[45]。有序结构中存在较多的氢键,从而使二级结构具有一定的刚性;无序结构中不存在氢键,使得肽段中的残基具有更大的自由度,从而赋予蛋白质分子一定的柔性。由表6可知,随着食盐添加量的增加,两种全粉面片的有序结构增多,与陈洁^[46]的研究结果一致,可能是因为食盐的化学修饰作用改良了蛋白体系,增强了淀粉与蛋白质之间的分割强度,体系中形成了更多的 α -螺旋和 β -折叠^[47]。生粉面片中食盐添加量 $>0.6\%$,熟粉中食盐添加量 $>0.8\%$ 时,有序结构含量减少,残基自由度增加,从而使蛋白质分子柔性增大,面片延伸性增加。熟粉面片的有序结构含量整体比生粉面片低,主要差异是 β -折叠含量较低, α -螺旋是由蛋白质链内氢键引起的结构,而 β -折叠是由蛋白质链间氢键引起的结构^[48],由此可知,熟粉面片形成链间氢键能力较弱,这也会导致面筋结构较松散,网络孔隙较大。

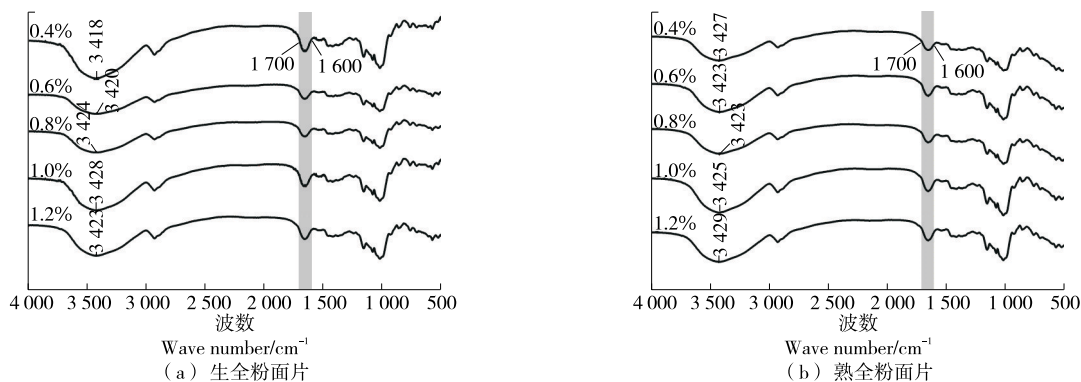


图2 马铃薯全粉面片傅里叶近红外光谱图

Figure 2 Fourier near infrared spectrogram of potato whole flour pasta sheets

表 6 马铃薯全粉面片蛋白质二级结构含量[†]

Table 6 Protein secondary structure content of potato whole flour pasta sheets

%

全粉种类	食盐添加量	β -折叠	无规卷曲	α -螺旋	β -转角	有序(β -折叠+ α -螺旋)	无序(无规卷曲+ β -转角)
生全粉	0.4	19.31±1.48 ^a	28.48±3.76 ^a	31.67±0.55 ^{ab}	20.54±5.81 ^{ab}	50.98±2.01 ^{ab}	49.02±2.06 ^{bc}
	0.6	20.86±1.62 ^a	32.19±3.83 ^a	32.31±0.65 ^a	14.64±5.96 ^b	53.17±2.27 ^a	46.83±2.13 ^c
	0.8	19.52±0.01 ^a	31.31±0.23 ^a	30.92±0.19 ^b	18.25±0.03 ^{ab}	50.44±0.19 ^b	49.56±0.26 ^b
	1.0	19.53±0.01 ^a	30.80±0.04 ^a	31.12±0.23 ^b	18.56±0.01 ^{ab}	50.65±0.24 ^{ab}	49.35±0.05 ^b
	1.2	15.86±0.10 ^b	28.95±0.27 ^a	31.56±0.18 ^{ab}	23.62±0.10 ^a	47.43±0.08 ^c	52.57±0.37 ^a
熟全粉	0.4	11.45±0.10 ^c	27.36±0.08 ^a	32.47±0.15 ^{ab}	28.72±0.06 ^a	43.92±0.05 ^a	56.08±0.02 ^a
	0.6	10.53±0.07 ^d	27.63±0.05 ^a	33.50±0.18 ^{ab}	28.34±0.21 ^a	44.03±0.24 ^a	55.97±0.26 ^a
	0.8	12.35±0.07 ^b	23.18±0.04 ^b	34.60±0.33 ^a	29.87±0.04 ^a	46.95±0.26 ^a	53.05±0.08 ^a
	1.0	14.19±0.80 ^a	27.42±3.20 ^a	32.03±5.03 ^{ab}	26.36±8.86 ^a	46.22±5.82 ^a	53.78±5.67 ^a
	1.2	13.47±0.78 ^a	24.20±3.23 ^{ab}	27.01±5.00 ^b	35.32±8.93 ^a	40.48±5.77 ^a	59.52±5.70 ^a

[†] 小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 马铃薯全粉面条感官模糊综合评价

将 10 名评价员的评价结果汇总后进行统计分析,统计结果见表 7。根据不同食盐添加量下生粉、熟粉面条的感官评价结果,可以建立表观状态、硬度、韧性和食味 4 个单因素模糊评价矩阵。以生全粉添加 0.4% 食盐的面条为例, $A_{\text{表观状态}}=[0.0\ 0.7\ 0.2\ 0.1]$, $A_{\text{硬度}}=[0.0\ 0.3\ 0.6\ 0.1]$, $A_{\text{韧性}}=[0.0\ 0.5\ 0.4\ 0.1]$, $A_{\text{食味}}=[0.0\ 0.5\ 0.5\ 0.0]$ 。

将对熟面条品质感官的 4 个因素评价结果合成一个评判关系矩阵,即

$$R_1=\begin{bmatrix}r_{11}&r_{11}&\cdots&r_{1m}\\r_{21}&r_{22}&\cdots&r_{2m}\\\vdots&\vdots&\vdots&\vdots\\r_{n1}&r_{n2}&\cdots&r_{nm}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A_1\\A_2\\\vdots\\A_4\end{bmatrix}=$$

$$\begin{bmatrix}0.0&0.7&0.2&0.1\\0.0&0.3&0.6&0.1\\0.0&0.5&0.4&0.1\\0.0&0.5&0.5&0.0\end{bmatrix}。(7)$$

同理可以得到其他添加量下面条的模糊评判关系矩阵。

经过模糊线性转换,得到模糊综合评判矩阵:

$$B=V\cdot R=(b_1,\cdots b_p,\cdots,b_4),\tag{8}$$

$$b_p=V\cdot R_{ip}(p=1,2,3,4)。(9)$$

经 计 算 可 得： $B_1=V\cdot R_1=(100, 80, 60, 40)\times$

$$\begin{bmatrix}0.0&0.7&0.2&0.1\\0.0&0.3&0.6&0.1\\0.0&0.5&0.4&0.1\\0.0&0.5&0.5&0.0\end{bmatrix}=(72,64,68,70)。$$

表 7 食盐不同添加量下马铃薯面条的感官评价结果

Table 7 Sensory evaluation results of potato noodles under different salt addition levels

全粉种类	食盐添加量/%	表观状态				硬度				韧性				食味			
		优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
生全粉	0.4	0	7	2	1	0	3	6	1	0	5	4	1	0	5	5	0
	0.6	0	6	1	3	4	5	1	0	1	7	2	0	0	10	0	0
	0.8	0	2	5	3	7	3	0	0	0	9	1	0	10	0	0	0
	1.0	0	1	3	6	9	1	0	0	0	5	3	2	7	3	0	0
	1.2	0	3	7	0	0	8	2	0	0	5	3	2	0	8	2	0
熟全粉	0.4	0	1	9	0	1	7	2	0	0	1	9	0	3	7	0	0
	0.6	0	5	4	1	1	7	2	0	0	3	6	1	6	3	1	0
	0.8	0	8	2	0	0	7	3	0	0	3	7	0	6	4	0	0
	1.0	0	7	1	2	1	7	1	1	0	6	4	0	5	5	0	0
	1.2	0	5	3	2	1	7	2	0	0	4	5	1	4	6	0	0

同理可得 $B_2, B_3, \dots, B_m$ 。

模糊综合评判总分 $T=W \cdot B$ 。

得到总分 $T_1=(0.25, 0.3, 0.3, 0.15) \times (72, 64, 68, 70)=68.1$ 。

同理可以计算出其他添加量下模糊感官综合评价结果,见表 8。

表 8 食盐不同添加量下马铃薯面条的感官综合评价结果
Table 8 Sensory comprehensive evaluation results of potato noodles under different salt addition levels

全粉种类	食盐添加量/%	表观状态	硬度	韧性	食味	综合感官评分
生全粉	0.4	72	64	68	70	68.1
	0.6	66	86	78	80	77.7
	0.8	58	94	78	100	81.1
	1.0	50	98	66	94	75.8
	1.2	66	76	66	76	70.5
熟全粉	0.4	62	78	62	86	70.4
	0.6	68	78	64	90	73.1
	0.8	76	74	66	92	74.8
	1.0	70	76	72	90	75.4
	1.2	66	78	66	88	72.9

由表 8 可知,生粉面条和熟粉面条的综合感官评价随着食盐添加量的增加呈先上升后下降趋势,与张婧娟等^[49]的研究结果一致。适当添加食盐可以强化面筋结构,增加蛋白有序结构含量,使面条表面紧致,改善口感^[50],而过量的食盐会使面条口感变硬,咸味过重,掩盖了马铃薯和小麦的清香。熟粉面条的综合感官评价变化程度较小,表明熟粉面条受食盐添加量影响较小,品质比

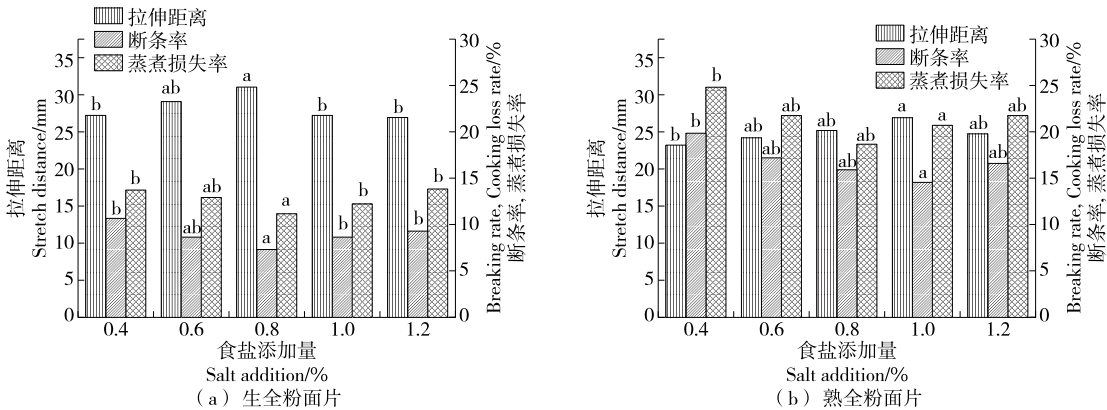
生粉面条更稳定;其次熟粉经历了糊化过程,马铃薯清香更加浓郁,掩盖了盐带来的咸味。

2.5 食盐不同添加量下马铃薯全粉面条的拉伸和蒸煮特性

由图 3 可知,随着食盐添加量的增加,生粉面条和熟粉面条的拉伸距离均呈先增加后减小趋势,分别在食盐添加量为 0.8% 和 1.0% 时达到最大值;断条率和蒸煮损失率呈先减小后增加趋势,与蛋白质二级结构变化趋势相同,表明食盐可以通过作用于面片的蛋白质二级结构,从而影响蛋白构型,最终影响面条的拉伸特性和蒸煮特性。

食盐中的钠离子能够与面筋蛋白发生相互作用,增强面筋蛋白之间的键合力,形成更强、更稳定的蛋白质网络,这种增强的网络结构能够承受更大的外力,减少断条的发生;此外,食盐具有吸湿性,适量的食盐可以使面团中的水分分布更加均匀,防止局部水分过多或过少导致的结构不稳定,进而减少了断条的发生。食盐能够通过离子间作用改变蛋白质的疏水性,疏通面条水分扩散通道,使面筋充分吸水,达到强化面筋网络的目的^[51],从而减少蒸煮过程中淀粉颗粒的溶出,降低面条蒸煮损失率;食盐具有亲水性,过高的食盐添加量会减少游离水的含量,不利于面筋的水合作用进而影响面筋的形成,导致面条内部组织松散,包裹淀粉颗粒的能力减弱^[52];Fu 等^[53]研究表明,淀粉间及淀粉与水之间的相互作用会受到钠离子和氯离子的影响,这或许也促进了蒸煮损失的增加。

生粉面条的拉伸距离比熟粉面条的长,断条率和蒸煮损失率比熟粉的小,可能是因为熟全粉的蛋白质含量较少,直支比较大,不利于面筋网络结构的形成。此外,熟粉面条较弱的链间氢键可能会导致面条在蒸煮过程中面筋网络更容易被破坏,减弱熟面条的面筋强度,导致拉伸距离更短,断条率更高。



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 3 食盐添加量对熟面条拉伸特性和蒸煮特性的影响

Figure 3 Effect of different salt addition levels on the tensile and cooking characteristics of cooked noodles

2.6 面片质构与面条品质的相关性分析

由图4(a)可知,生粉面片的质构主成分1即硬度因子与熟面条的表观状态、断条率和蒸煮损失率呈显著负相关,与面条硬度、食味和感官综合评分呈显著正相关;主成分2即弹力因子与面条韧性、感官综合评分和拉伸距离

呈显著正相关;面片质构综合评价的相关性与主成分1相似,原因是主成分1贡献率较大。说明在不同食盐添加量影响下,生粉面片的硬度、胶着性和回复性会显著影响面条的硬度、表观状态、食味和蒸煮损失率,黏着性、弹性和咀嚼度与面条的韧性和拉伸距离密切相关。

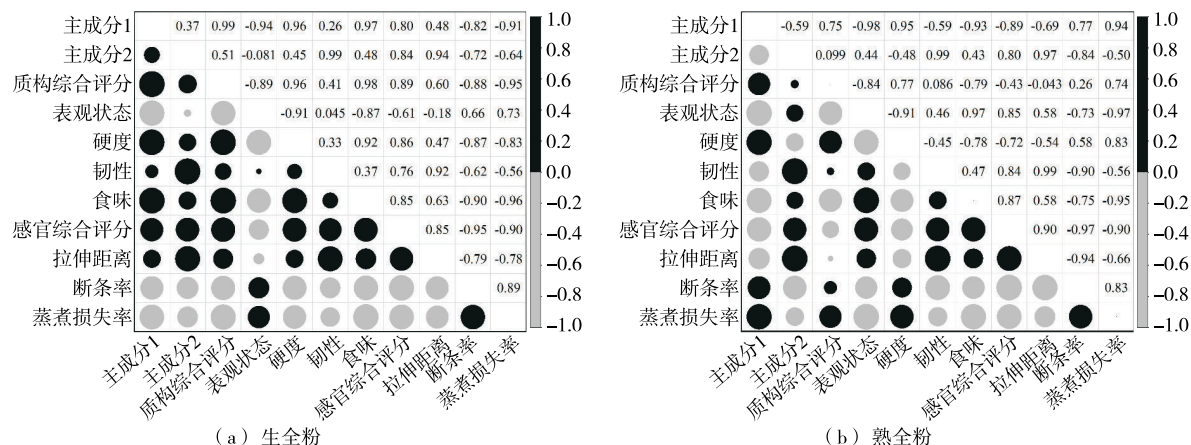


图4 面片质构主成分与面条品质相关性热图

Figure 4 Heat map of the correlation between the principal components of pasta sheet texture and noodle quality

由图4(b)可知,熟粉面片的质构主成分1即硬度因子与熟面条表观状态、食味和感官综合评分呈显著负相关,与面条断条率和蒸煮损失率呈显著正相关;主成分2即弹力因子与面条韧性、拉伸距离呈显著正相关,与断条率呈显著负相关。说明在不同食盐添加量下,熟粉面片的硬度、胶着性和回复性与面条的表观状态、食味和感官综合评分关系密切,黏着性、弹性和咀嚼度与面条的韧性和拉伸距离关系密切。

生粉面片与熟粉面片在主成分1与食味、感官综合评分、断条率和蒸煮损失率上相关性相反,这是由食盐对二者主成分1影响趋势相反导致的,归因于马铃薯熟粉经糊化处理后本身的性质改变,一方面糊化后蛋白质含量减少^[54],少量食盐的作用不足以促进面筋结构的快速构建;另一方面,被破坏的淀粉颗粒拥有更大的比表面积^[41],相同加水量下持水性更高,导致面片过度水化变软,吸水率过大也会导致面片水分分布不均,胶着性和回复性均下降;随着食盐添加量的增加,氯化钠溶于水产生大量的离子促进蛋白质聚集相互作用,使得硬度、胶着性和回复性开始恢复。

3 结论

通过主成分分析法、模糊感官综合评价和相关性分析,研究了食盐添加量对马铃薯生粉、熟粉面片质构和面条品质的影响。结果表明,面片质构的硬度、胶着性和回复性构成主成分1,黏着性、弹性和咀嚼度构成主成分2,

质构评价以主成分1为主。随着食盐添加量的增加,生粉面片的质构综合评价先升高后降低,熟粉面片的变化相反且波动较小,二者的面条拉伸距离、断条率和蒸煮损失分别在食盐添加量为0.8%和1.0%处达到最佳水平,与面片的质构结果一致。相关性分析表明,主成分1与面条表观状态、硬度、食味、断条率和蒸煮损失率密切相关,主成分2与面条韧性和拉伸距离密切相关。综上,适量添加食盐会改善面片的质构和面条品质,生粉和熟粉面片、面条对食盐的反应不同,分别在食盐添加量为0.8%和1.0%时效果最佳。面片质构和面条品质相关性较强,未来能否通过原料、添加剂等优化质构的某一特定参数来针对性优化面条的特定品质有待进一步研究。

参考文献

- [1] SINGH J, KAUR L, MOUGHAN P J. Importance of chemistry, technology and nutrition in potato processing[J]. Food Chemistry, 2012, 133(4): 1 091.
- [2] CARILLO P, CACACE D, DE ROSA M, et al. Process optimisation and physicochemical characterisation of potato powder[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(1): 145-151.
- [3] 陶银, 文韵漫. 马铃薯全粉加工制品及营养价值研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(4): 10-13.
- TAO Y, WEN Y M. Research progress of potato whole flour processed products and nutritional value[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(4): 10-13.

- [4] 郭心义. 马铃薯全粉生产状况及前景展望[J]. 粮油加工与食品机械, 2003(10): 8-9, 12.
- GUO X Y. Production status and prospect of whole potato flour[J]. Machinery for Cereals, Oil and Food Processing, 2003(10): 8-9, 12.
- [5] 邓峰. 马铃薯生全粉物化性质与应用特性研究[J]. 食品安全导刊, 2023(27): 55-57.
- DENG F. Study on the physicochemical properties and application characteristics of potato raw whole powder[J]. China Food Safety Magazine, 2023(27): 55-57.
- [6] 刘新华, 韩风, 朱潇, 等. 马铃薯全粉面团特性及其韧性饼干制备[J]. 粮食与油脂, 2023, 36(3): 31-35.
- LIU X H, HAN F, ZHU X, et al. Characteristics of whole potato flour dough and preparation of tough biscuit[J]. Cereals & Oils, 2023, 36(3): 31-35.
- [7] 陈前, 李娜, 贺晓光, 等. 瓜尔豆胶对马铃薯—小麦混合粉面团质构和流变特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 198-203.
- CHEN Q, LI N, HE X G, et al. Effect of guar gum on texture and rheology property of potato-wheat dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(6): 198-203.
- [8] 郑莹, 李铭媛, 郝素颖, 等. 酸碱盐糖对超声调制马铃薯全粉加工性能改良效应的研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(3): 166-172.
- ZHENG Y, LI M Y, HAO S Y, et al. Enhancement effect of edible acid, alkali, salt, and sugar on the processing characteristics of ultrasonically treated potato powder[J]. Food and Fermentation Industry, 2024, 50(3): 166-172.
- [9] 许丹, 赵宇慈, 曾凡逵, 等. 添加马铃薯雪花粉对面团特性和纸杯蛋糕营养品质的影响[J]. 现代食品科技, 2021, 37(3): 154-162.
- XU D, ZHAO Y C, ZENG F K, et al. Effects of supplemented with potato flake on properties of dough[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 154-162.
- [10] XU F, HU H H, LIU Q N, et al. Rheological and microstructural properties of wheat flour dough systems added with potato granules[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(Supp1): S1 145-S1 157.
- [11] PU H Y, WEI J L, WANG L, et al. Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 76: 236-242.
- [12] 李彩霞, 刘玉环, 焦扬, 等. 35% 马铃薯全粉方便面生产工艺优化[J]. 食品科技, 2019, 44(11): 192-200.
- LI C X, LIU Y H, JIAO Y, et al. Production process optimization of 35% potato instant noodles[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(11): 192-200.
- [13] 高琦, 曹丹, 王迪, 等. 马铃薯全粉对酥性饼干理化性质和结构的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(4): 40-48.
- GAO Q, CAO D, WANG D, et al. Effect of potato granules on the physicochemical properties and structure of crisp biscuits[J]. Food Research and Development, 2024, 45(4): 40-48.
- [14] 邓家汶, 陈志成, 李明月. 小麦粉中马铃薯全粉添加量对面团品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2018(6): 10-14, 22.
- DENG J W, CHEN Z C, LI M Y. Effect of different content of potato granule on the quality of wheat flour[J]. Cereal & Feed Industry, 2018(6): 10-14, 22.
- [15] LI M, ZHU K X, GUO X N, et al. Natural additives in wheat-based Pasta and noodle products: opportunities for enhanced nutritional and functional properties[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2014, 13(4): 347-357.
- [16] 张毅. 制面过程小麦面团特性及面筋网络结构影响机理的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021: 8.
- ZHANG Y. Study on the influence mechanism of dough making process on wheat dough characteristics and gluten network structure[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021: 8.
- [17] FAN H P, AI Z L, CHEN Y H, et al. Effect of alkaline salts on the quality characteristics of yellow alkaline noodles[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 84: 159-167.
- [18] 贾若兵, 韩传武, 孙庆杰, 等. 盐碱面条品质形成及差异机制的对比分析[J]. 食品科学, 2023, 44(16): 91-97.
- JIA R B, HAN C W, SUN Q J, et al. Comparative study on the effects and mechanisms of salt and alkali on the quality formation of noodles[J]. Food Science, 2023, 44(16): 91-97.
- [19] 文瑜, 帅蝶, 彭凌, 等. 5 种改良剂对马铃薯挂面品质的影响研究[J]. 现代食品, 2021, 27(1): 70-75.
- WEN Y, SHUAI D, PENG L, et al. Effects of five modifiers on potato dried noodles and its quality[J]. Modern Food, 2021, 27(1): 70-75.
- [20] 张笑笑, 李瑜. 响应面法优化马铃薯泥面条工艺配方[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(3): 20-24.
- ZHANG X X, LI Y. Optimization of mashed potatoes noodle process formula by response surface method[J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(3): 20-24.
- [21] 张旭, 陈安均, 蒋成, 等. 基于熵权法优化不同比例马铃薯全粉面条基础配方[J]. 食品与机械, 2019, 35(6): 205-211.
- ZHANG X, CHEN A J, JIANG C, et al. Optimization of basic formula of different proportions of potato powder noodles based on entropy-right method[J]. Food & Machinery, 2019, 35(6): 205-211.
- [22] 范莹莹, 李家寅, 庞凌云, 等. 基于 DMA 和 DSC 分析技术研究马铃薯泥面条特性[J]. 粮食加工, 2020, 45(2): 15-19.
- FAN Y Y, LI J Y, PANG L Y, et al. Characteristics of mashed potato noodles on processing analysis technology[J]. Grain Processing, 2020, 45(2): 15-19.

- [23] 罗斌, 赵有斌, 尹学清, 等. 质构仪在果蔬品质评定中应用的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(5): 209-213.
- LUO B, ZHAO Y B, YIN X Q, et al. Application progress of texture analyzer in the research of fruit and vegetable quality evaluation[J]. Food Research and Development, 2019, 40(5): 209-213.
- [24] 张平安, 宋莲军, 张建威. 应用模糊数学综合评判优化大豆改性蛋白饼干工艺[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(6): 449-451.
- ZHANG P A, SONG L J, ZHANG J W. Optimization of soybean modified protein cookie process by applying fuzzy mathematics comprehensive judgment[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011, 39(6): 449-451.
- [25] 陈洁, 李璞, 汪磊, 等. 马铃薯生全粉—小麦粉混粉的特性及其对面条品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(4): 16-23.
- CHEN J, LI P, WANG L, et al. Study on the characteristics of raw potato flour-wheat flour mixture and its effect on noodle quality[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(4): 16-23.
- [26] 王乐, 黄峻榕, 张宁, 等. 马铃薯面条制作工艺及品质研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 78-82.
- WANG L, HUANG J R, ZHANG N, et al. Study on processing technology and quality of potato noodles[J]. Food Research and Development, 2017, 38(1): 78-82.
- [27] 于洋, 祁岩龙, 张忆洁, 等. 马铃薯湿面条品质改良[J]. 食品工业, 2023, 44(4): 127-132.
- YU Y, QI Y L, ZHANG Y J, et al. Quality improvement of potato fresh noodles[J]. The Food Industry, 2023, 44(4): 127-132.
- [28] 冷明新, 郑淑芳, 王涛. 马铃薯全粉蓝值的测定[J]. 山西食品工业, 2001(4): 39-40.
- LENG M X, ZHENG S F, WANG T. Determination of blue value of whole potato flour[J]. Shanxi Food Engineering, 2001 (4): 39-40.
- [29] 岳静, 朱志成, 曹贺. 不同品种马铃薯全粉基本特性的研究[J]. 饲料研究, 2012(10): 81-83.
- YUE J, ZHU Z C, CAO H. Study on the basic characteristics of potato whole meal of different varieties[J]. Feed Research, 2012(10): 81-83.
- [30] 朱新鹏, 刘姣, 郭皓月, 等. 模糊数学在马铃薯桃酥配方优化中的应用[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(6): 58-60, 63.
- ZHU X P, LIU J, GUO H Y, et al. Application of fuzzy mathematics to optimize the formulation of potato walnut cake[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2014, 50 (6): 58-60, 63.
- [31] 曾凡逵, 赵鑫, 周添红, 等. 双波长比色法测定马铃薯直链/支链淀粉含量[J]. 现代食品科技, 2012, 28(1): 119-122.
- ZENG F K, ZHAO X, ZHOU T H, et al. Dual-wavelength colorimetric method for measuring amylose and amylopectin contents of potato starch[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(1): 119-122.
- [32] 张旭. 马铃薯全粉面条研制[D]. 雅安: 四川农业大学, 2019: 18.
- ZHANG X. Development of potato granule noodles[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2019: 18.
- [33] 陈前. 马铃薯—小麦混合粉面团物性研究及面条的品质改良[D]. 银川: 宁夏大学, 2020: 9.
- CHEN Q. Study on physical properties of potato-wheat mixed flour dough and improvement of noodles quality[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2020: 9.
- [34] 赵妍, 刘晓林, 王若兰, 等. 储藏微环境对小麦蛋白质二级结构影响[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(1): 36-38.
- ZHAO Y, LIU X L, WANG R L, et al. Influence of storage microenvironment to the secondary structure in wheat proteins [J]. Cereals & Oils, 2014, 27(1): 36-38.
- [35] 李志洪, 申光辉, 宋春怡, 等. 果胶酶酶解预处理对马铃薯泥干燥特性及生粉加工特性的影响[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(4): 138-147.
- LI Z H, SHEN G H, SONG C Y, et al. Effect of pectinase enzymolysis pretreatment on drying characteristics of raw mashed potato and processing properties of native potato flour [J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 40(4): 138-147.
- [36] 焦扬, 王治江, 魏阳, 等. 马铃薯变性淀粉对马铃薯—小麦混粉糊化特性的影响及其在马铃薯面条中的应用[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 58-64, 71.
- JIAO Y, WANG Z J, WEI Y, et al. Effects of potato modified starch on the pasting properties of potato-wheat mixed powder and its application in potato noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(5): 58-64, 71.
- [37] 魏康, 王伟涛, 魏新林, 等. 马铃薯全粉与小麦粉配比对面团品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(4): 218-222.
- WEI K, WANG W T, WEI X L, et al. The effect of the mixture ratio of potato flour and wheat flour on dough quality[J]. The Food Industry, 2021, 42(4): 218-222.
- [38] 詹磊, 徐卓越, 蓝国玮, 等. 基于主成分分析构建混合多糖凝胶品质综合评价模型[J]. 现代食品科技, 2023, 39(4): 214-223.
- ZHAN L, XU Y J, LAN G W, et al. Construction of a comprehensive evaluation model for assessing the quality of mixed polysaccharide gels based on principal component analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39 (4): 214-223.
- [39] ROSS. Sheetting characteristics of salted and alkaline Asian noodle doughs: comparison with lubricated squeezing flow attributes[J]. Cereal Foods World, 2006, 51: 191-196.

- [40] 涂金金, 高淑娟, 苏煜娴, 等. 面筋蛋白在发酵面团加工中的作用机制及研究进展[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(4): 210-222.
- TU J J, GAO S J, SHU Y X, et al. Mechanism and research progress of gluten protein in fermented dough processing[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2024, 39(4): 210-222.
- [41] 展小彬, 温纪平, 高青阳, 等. 麦胚粉添加量及粒径大小对混合粉特性及面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(16): 1-12.
- ZHAN X B, WEN J P, GAO Q Y, et al. Effects of addition amount and particle size of wheat germ flour on characteristics of blended flour and bread quality[J]. Food Research and Development, 2024, 45(16): 1-12.
- [42] 王文琪, 王爱红, 刘振海, 等. 响应面优化乳酸菌发酵空心挂面制作工艺[J]. 现代食品科技, 2024, 40(9): 144-152.
- WANG W Q, WANG A H, LIU Z H, et al. Optimizing lactic acid bacteria fermented hollow noodle production using response surface methodology[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(9): 144-152.
- [43] 张珊, 任传英, 程建军, 等. 基于主成分和响应面分析三种改良剂对发酵玉米面条品质的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(1): 214-223.
- ZHANG S, REN C Y, CHENG J J, et al. The influences of three quality improvers on the quality of fermented corn noodles based on principal component analysis and response surface methodology[J]. Modern Food Science & Technology, 2024, 40(1): 214-223.
- [44] 金绍娣, 许雪儿, 杨静. 玉米醇溶蛋白/阿拉伯胶负载槲皮素纳米颗粒制备[J]. 食品工业, 2020, 41(3): 57-61.
- JIN S D, XU X E, YANG J. Preparation of zein-Arabic gum nanoparticles loaded with quercetin[J]. The Food Industry, 2020, 41(3): 57-61.
- [45] MECOZZI M, STURCHIO E. Effects of essential oil treatments on the secondary protein structure of Vicia faba: a mid-infrared spectroscopic study supported by two-dimensional correlation analysis[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2015, 137: 90-98.
- [46] 陈洁, 石林凡, 汪礼洋, 等. 食盐对拉面面团延伸性影响的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2015(2): 35-38.
- CHEN J, SHI L F, WANG L Y, et al. Influence of salt on the extensibility of ramen dough[J]. Cereal & Feed Industry, 2015(2): 35-38.
- [47] 王一茜, 胡雪微, 温成荣, 等. 不同变性淀粉对蛋白棒品质改良的研究[J/OL]. 食品与发酵工业. (2024-06-11) [2024-07-14]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039621>.
- WANG Y X, HU X W, WEN C R, et al. Study on the quality improvement of protein bars by different modified starches[J/OL]. Food and Fermentation Industry. (2024-06-11) [2024-07-14]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.039621>.
- [48] LI S H, TANG D, LIU S T, et al. Improvement of noodle quality: the effect of ultrasonic on noodles resting[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 96: 103089.
- [49] 张婧娟, 吴子煜, 丁媛, 等. 马铃薯全粉面条配方的优化[J]. 现代食品, 2023, 29(17): 106-109.
- ZHANG J J, WU Z Y, DING Y, et al. Optimization of the formula of potato noodles[J]. Modern Food, 2023, 29(17): 106-109.
- [50] 施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 马铃薯全粉面条的制备工艺研究[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(24): 132-135, 142.
- SHI J B, SUI Y, CAI S, et al. Preparation technology of white-noodles from milled potato[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(24): 132-135, 142.
- [51] PRESTON K R. Effects of neutral salts of the lyotropic series on the physical dough properties of a canadian red spring wheat flour[J]. Cereal Chemistry, 1989, 66(3): 144-148.
- [52] LI P H, HUANG C C, YANG M Y, et al. Textural and sensory properties of salted noodles containing purple yam flour[J]. Food Research International, 2012, 47(2): 223-228.
- [53] FU Z, CHEN J, LUO S J, et al. Effect of food additives on starch retrogradation: a review[J]. Starch-Stärke, 2015, 67(1/2): 69-78.
- [54] 沈汪洋. 全麦粉加工及其应用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(7): 1-4, 16.
- SHEN W Y. Research progress on processing of whole wheat flour and its application[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(7): 1-4, 16.