

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.04.005

马铃薯全浆对小麦面条品质以及风味物质的影响

柳向云, 封亚星, 张凡, 徐志利, 孙剑锋*
(河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071000)

摘要: 以蒸煮特性为评价标准筛选适宜制作面条的马铃薯品种, 并以筛选出的马铃薯为研究对象, 进一步探究马铃薯全浆对面条蒸煮特性、质构特性、色泽以及风味物质的影响, 测定面条巯基含量和蛋白质二级结构, 以揭示马铃薯全浆对面条筋网络结构的影响。结果表明, 马铃薯全浆的加入使得面条的蒸煮特性变差, 面条色泽偏红黄, 面条的硬度、黏附性、咀嚼性整体呈现增加趋势, 内聚性、弹性、回复性整体呈现降低趋势, 品质下降, 但是10%的马铃薯添加量对面条品质的影响较小, 且添加了马铃薯全浆的面条风味物质的种类更为丰富。同时马铃薯全浆的加入使面条中的巯基含量增加, 蛋白质二级结构稳定性降低, 从而降低了面条品质。

关键词: 马铃薯全浆; 面条; 蒸煮特性; 风味; 质构; 色泽

Effect of Whole Potato Pulp on Quality and Flavor Substances of Wheat Noodles

LIU Xiangyun, FENG Yaxing, ZHANG Fan, XU Zhili, SUN Jianfeng*

(College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: The suitable potato varieties for preparing noodles were selected based on the cooking characteristics. The effects of whole potato pulp on the cooking characteristics, texture characteristics, color, and flavor substances of noodles were further investigated with the selected potatoes as the research object. Meanwhile, the content of the sulfhydryl group and the secondary protein structure of noodles were determined to reveal the effect of whole potato pulp on the gluten network structure of noodles. The results showed that the addition of whole potato pulp damaged the cooking characteristics of the noodles. The noodles turned reddish yellow, with higher hardness, adhesion, chewability and adhesion, and lower cohesion, elasticity and resilience. The quality also decreased, but the 10% addition of potato had little effect on the quality of the noodles. Moreover, the varieties of flavor substances were enriched in noodles added with whole potato pulp. At the same time, the addition of whole potato pulp increased the content of the sulfhydryl group in the noodles and reduced the stability of the protein secondary structure, which lowered the quality of the noodles.

Key word: whole potato pulp; noodles; cooking characteristics; flavor; texture; color

引文格式:

柳向云, 封亚星, 张凡, 等. 马铃薯全浆对小麦面条品质以及风味物质的影响[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(4): 33-38.

LIU Xiangyun, FENG Yaxing, ZHANG Fan, et al. Effect of Whole Potato Pulp on Quality and Flavor Substances of Wheat Noodles[J]. Food Research and Development, 2025, 46(4): 33-38.

面条作为我国传统主食之一, 深受消费者喜爱, 但传统面条主要由面粉原料加工而成, 营养单一。2015年我国提出马铃薯主粮化的战略思想, 呼吁将马铃薯加工成面条、馒头、饺子等餐桌上常见的主粮产品, 许多

科研工作者对马铃薯馒头、马铃薯面条进行了诸多研究^[1-2]。然而, 马铃薯粉或淀粉通常是通过一系列加工步骤获得的, 包括清洁、去皮、大气压和高压相结合的颜色保护、干燥和超细粉碎^[3], 但这会导致高能耗、高

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系露地蔬菜创新团队项目(HBCT2021200207); 河北省青年拔尖人才支持计划项目(0316027); 河北农业大学引进人才科研专项(YJ201946)

作者简介: 柳向云(1993—), 女(汉), 博士, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜。

*通信作者: 孙剑锋(1979—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 食品加工技术。

排放和高污染等问题的产生,破坏了蛋白质和膳食纤维等营养成分。相比之下,将马铃薯全浆直接应用于面条制作,不仅简化了加工步骤,而且降低了能源消耗和成本,并保留了更多的营养成分。但是关于马铃薯全浆对面条品质以及风味物质的影响及其机制的研究较少。

本研究将不同添加量(0%~45%)的马铃薯全浆与面粉混合,制作马铃薯全浆面条,研究马铃薯全浆添加量对面条蒸煮特性、色泽、质构特性的影响,同时考察马铃薯全浆对面条风味化合物以及面筋蛋白的影响,以期马铃薯全浆面条的制作提供理论依据与参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

‘夏波蒂’马铃薯(水分含量75%)、‘大西洋’马铃薯(水分含量78%)、‘布尔班克’马铃薯(水分含量79%);产自河北张家口;麦芯粉:东苑益海嘉里粮油食品工业有限公司;3-辛醇:上海希格玛高技术有限公司;抗坏血酸、5,5'-二硫代双[5,5'-dithiobis-(2-nitrobenzoic acid),DTNB]、三羟甲基氨基甲烷-甘氨酸缓冲液[tris(hydroxymethyl)aminomethane-glycine,Tris-Gly]、乙二胺四乙酸(ethylenediaminetetraacetic acid,EDTA)、十二烷基磺酸钠(sodium dodecyl sulfate,SDS)、尿素(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

TMS-Pro 质构仪:美国FTC公司;CR-400 色彩色差仪:柯尼卡美能达公司;FKM-160 型压面机:永康市富康电器有限公司;Scientz-100F 真空冷冻干燥机:沈阳航天新阳速冻设备制造有限公司;T6 新世纪紫外可见分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;Neofuge 15R 离心机:上海力申科学仪器有限公司;FLAME-NIR 傅里叶变换红外光谱仪:美国海洋光学公司。

1.3 试验方法

1.3.1 面条制作方法

马铃薯全浆的制备:选取‘夏波蒂’、‘大西洋’和‘布尔班克’3个品种马铃薯,进行削皮、切块,加入2.5%的抗坏血酸进行打浆,打浆时间为8 min。

马铃薯全浆面条的制作:称取一定量的高筋小麦粉于和面机中,加入不同添加量(0%、10%、20%、30%、40%、45%)的马铃薯全浆,加入蒸馏水使面团含水量达到30%,低速搅拌2 min,然后高速搅拌10 min,成团后,将面团置于盆中,使用保鲜膜进行封口,在25℃恒温培养箱醒中发15 min,对面团进行压延,面带厚度达到2 mm左右后,切成宽5 mm、长180~200 mm的面条,即为成品。

1.3.2 蒸煮特性的测定

参考闫文芳等^[4]的方法并稍作修改,测定面条的

蒸煮特性。

1) 蒸煮时间的测定:取20根生面条,放入1 000 mL沸水中蒸煮,开始计时,每隔5 s捞出1根,用玻璃挤压面条的横切面,观察面条中间的白芯,直至白芯刚好消失即为面条的最佳蒸煮时间。

2) 断条率的测定:取20根生面条置于1 000 mL沸水中,以最佳蒸煮时间煮熟后,将面条轻轻捞出,断条率($S, \%$)计算公式如下。

$$S = \frac{N}{20} \times 100$$

式中: N 为断面根数。

3) 蒸煮损失率的测定:取10 g生面条放入250 mL沸水中煮至最佳蒸煮时间,捞出面条,用蒸馏水冲淋面条10 s,对其进行烘干至恒重,称其质量记为 m_1 (g),同时对10 g生面条也烘干至恒重,称其质量记为 m_2 (g),重复试验3次。蒸煮损失率($Z, \%$)计算公式如下。

$$Z = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100$$

4) 膨胀率的测定:取20根面条置于1 000 mL沸水中,煮至最佳蒸煮时间后捞出置于蒸馏水中冷却1 min,用滤纸吸干面条表面的水分后称重,计算膨胀率,公式如下。

$$X = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

式中: X 为膨胀率, $\%$; M_1 为面条总质量,g; M_2 为煮后面条吸干表面水分后总质量,g。

1.3.3 质构特性

参照贾若兵等^[5]的方法并稍作修改,测定面条的质构特性。面条在最佳蒸煮时间下煮熟后,用蒸馏水冲淋30 s,滤纸吸干表面水分后,放在质构仪载物台上,选TA41探头,选取质构仪(texture profile analysis,TPA)模式进行试验。质构仪设定参数为测试速度9 mm/s,触发力0.5 g,压缩时间1 s,变形75%。测定指标为硬度、黏附性、弹性、咀嚼性,每个样品重复6次。

1.3.4 色泽测定

采用便携式色差仪测定面条色泽,记录亮度(L^*)值、红绿(a^*)值和黄蓝(b^*)值,每个样品重复6次,计算平均值。

1.3.5 风味化合物固相微萃取/气相色谱-质谱联用分析

参考郑开迪等^[6]的方法并稍作修改,测定面条的风味化合物。称取5 g煮熟样品并加入1 μ L质量浓度为0.816 μ g/ μ L的3-辛醇作为内标物于25 mL顶空瓶内,隔垫密封顶空瓶后,置于60℃恒温水浴中平衡20 min,插入萃取头吸附40 min,在温度为250℃的进样口解吸5 min,进行分析。

色谱柱采用ADB-WAX毛细管色谱柱(60 m \times

0.25 mm×0.25 μm)。载气为氦气,流速为 1.2 mL/min,不分流进样。升温程序:初始温度 40 °C,保持 3 min,以 5 °C/min 升温到 200 °C,再以 10 °C/min 升到 230 °C,保持 3 min。质谱条件:电子电离源,电子能量 70 eV,传输线温度 280 °C,离子源温度 230 °C,四极杆温度 150 °C,质量扫描范围 55~500 m/z。每个样品重复 3 次。

1.3.6 面条硫基含量的测定

参考 Fan 等^[7]的方法并稍作修改。称取面条粉末样品 0.5 g,然后加入 10 mL 0.2 mol/L 的 Tris-Gly 缓冲液(pH8.0,含 8 mol/L 尿素,3 mmol/L EDTA,1% SDS),涡旋振荡 30 s 后置于摇床中室温振荡 30 min,5 000 r/min 离心 15 min,然后吸取 4 mL 的上清液,加入 0.1 mL 的 10 mmol/L 的 DTNB 溶液,混匀后,室温下显色 20 min,测定 412 nm 处吸光度。计算硫基含量(Y , μmol/g),公式如下。

$$Y = 73.53 \times A_{412} \times \frac{D}{C}$$

式中: D 为稀释倍数; C 为蛋白浓度,mg/mL; A_{412} 为波长 412 nm 处的吸光值。

1.3.7 面条蛋白质二级结构的测定

采用傅里叶变换红外光谱仪扫描得到面条的红外光谱图,再对红外光谱图进行处理计算面条中蛋白质二级结构的相对含量^[8]。

1.4 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行方差分析,选择最小显著差异法进行差异性检验。采用 SPSS 软件对数据进行方差分析和显著性分析,选择 Duncan 检验在 $P < 0.05$ 水平下对数据进行统计学处理。

2 结果与分析

2.1 不同马铃薯品种对面条蒸煮特性的影响

蒸煮特性指标(断条率、蒸煮损失率、膨胀率和蒸煮时间)被消费者和食品行业确定为预测面条整体烹饪性能的主要参数。一般来说,烹饪质量高的面条具有较低的蒸煮损失率^[9]。通过测定面条蒸煮特性来选取适宜制作面条的马铃薯品种,结果见表 1。

表 1 不同马铃薯品种对面条蒸煮特性的影响

Table 1 Effect of different potato varieties on cooking characteristics of noodles

| 马铃薯品种 | 蒸煮时间/min | 蒸煮损失率/% | 膨胀率/% | 断条率/% |
|--------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| 纯面粉 | 13.17±1.26 ^c | 10.43±0.25 ^c | 108.95±0.17 ^a | 1.11±0.02 ^d |
| ‘大西洋’ | 13.07±0.40 ^c | 12.63±0.31 ^a | 97.27±0.60 ^c | 8.09±0.02 ^b |
| ‘夏波帝’ | 13.03±0.45 ^d | 11.73±0.50 ^b | 99.24±0.57 ^b | 7.78±0.02 ^c |
| ‘布尔班克’ | 13.23±0.45 ^a | 12.73±0.50 ^a | 96.24±0.57 ^d | 8.78±0.02 ^a |

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

从表 1 可以看出,在相同比例马铃薯全浆添加量下,相比于‘大西洋’和‘布尔班克’品种,‘夏波帝’品种面条的蒸煮损失和断条率更低,同时蒸煮时间相对较短,膨胀特性与纯面粉面条更接近。这说明‘夏波帝’品种马铃薯对面条蒸煮特性影响最小,是制作马铃薯全浆面条的最佳品种。后续试验将研究‘夏波帝’品种马铃薯全浆对面条品质的影响及其机制。

2.2 马铃薯全浆添加量对面条蒸煮特性的影响

马铃薯全浆添加量对面条蒸煮特性的影响结果如表 2 所示。

表 2 马铃薯全浆添加量对面条蒸煮特性的影响

Table 2 Effect of whole potato pulp content on cooking characteristics of noodles

| 马铃薯全浆添加量/% | 断条率/% | 蒸煮损失率/% | 膨胀率/% | 蒸煮时间/min |
|------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 0 | 1.11±0.02 ^c | 10.43±0.25 ^f | 108.95±0.17 ^c | 13.17±1.26 ^c |
| 10 | 1.09±0.02 ^c | 10.63±0.31 ^e | 119.27±0.60 ^b | 14.07±0.40 ^b |
| 20 | 2.22±0.02 ^d | 11.17±0.26 ^d | 121.00±1.00 ^a | 14.13±0.42 ^a |
| 30 | 7.78±0.02 ^c | 11.73±4.97 ^e | 99.24±0.57 ^d | 13.03±0.45 ^d |
| 40 | 12.22±0.02 ^b | 12.33±0.21 ^b | 78.87±0.58 ^e | 12.40±0.40 ^e |
| 45 | 15.58±0.02 ^a | 12.53±0.31 ^a | 40.31±0.15 ^f | 11.97±0.35 ^f |

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

从表 2 可以看出,与全麦面条相比,马铃薯全浆添加量为 10% 的面条断条率差异不显著($P > 0.05$)。然而,随着马铃薯全浆添加量的进一步增加,断条率显著增加($P < 0.05$)。这可能是因为马铃薯全浆的添加使面条中缺乏足够的麸质蛋白来形成连续的麸质网络。

随着马铃薯全浆添加量的增加,面条蒸煮损失率均显著增加($P < 0.05$),这表明马铃薯全浆的加入对面条的烹饪质量产生了负面影响。这可能是因为全麦面条中直链淀粉在蒸煮时从颗粒中浸出,可以与蛋白质相互作用形成稳定的蛋白质糊化淀粉基质,并降低蒸煮损失率。同时蒸煮损失率的增加通常被认为是由蛋白质-淀粉基质的减弱和破坏引起的^[10]。所以推测马铃薯全浆面条蒸煮损失率的增加可归因于添加马铃薯粉使面筋部分稀释,导致淀粉在热处理过程中从面筋网络中分离出来。

与全麦面条相比,添加 10%~20% 马铃薯全浆会导致面条膨胀率显著增加($P < 0.05$);随后显著下降($P < 0.05$)。面条蒸煮过程中的膨胀率主要取决于淀粉的糊化和加热过程中面筋网络的膨胀。这表明 10%~20% 马铃薯全浆的加入可以使面条在蒸煮过程中结合水能力提高。然而,当马铃薯全浆添加量大于 20% 时,随着糊化淀粉含量的增加和麸质蛋白含量的降低,淀粉和麸质网络的膨胀能力减弱^[11]。

最佳蒸煮时间定义为热处理过程中面条中心的白芯消失的时间,并且与水分子进入面条网络相关^[12]。

由表2可以看出,当马铃薯全浆添加量在10%~20%时,面条的蒸煮时间显著增加($P<0.05$);随后显著降低($P<0.05$)。这可能与糊化淀粉含量的增加和蛋白质含量的减少有关^[13]。

2.3 马铃薯全浆添加量对面条色泽的影响

马铃薯全浆添加量对面条色泽的影响结果如表3所示。

由表3可知,马铃薯全浆的添加显著降低了面条的 L^* 值($P<0.05$),显著增加了 a^* 值和 b^* 值($P<0.05$)。这表明马铃薯全浆的添加会导致面条色泽偏红黄,这可能是因为马铃薯全浆在面条制作过程中接触空气中的氧气发生氧化变色。

2.4 马铃薯全浆添加量对面条质构的影响

质构品质是评价面条品质的重要指标之一,硬度是最直接反映口感的指标,黏附性是反映粘牙程度的

表3 马铃薯全浆添加量对面条色泽的影响

Table 3 Effect of whole potato pulp content on color of noodles

| 马铃薯全浆添加量/% | L^* 值 | a^* 值 | b^* 值 |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 0 | 79.07±0.03 ^a | 5.83±0.04 ^f | 14.72±0.02 ^f |
| 10 | 77.61±0.11 ^b | 6.13±0.05 ^e | 16.92±0.03 ^c |
| 20 | 76.15±0.07 ^c | 6.67±0.09 ^d | 17.67±0.07 ^d |
| 30 | 73.41±0.09 ^d | 7.16±0.05 ^c | 18.21±0.03 ^c |
| 40 | 70.83±0.13 ^e | 7.84±0.16 ^b | 18.75±0.05 ^b |
| 45 | 69.77±0.10 ^f | 8.13±0.03 ^a | 19.03±0.03 ^a |

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

指标,弹性是代表面条的筋道程度的指标,咀嚼性是硬度、弹性和内聚性的综合体现^[14]。内聚性、回复性和弹性与面筋网络结构密切相关^[15]。马铃薯全浆添加量对面条品质的影响结果如表4所示。

表4 马铃薯全浆添加量对面条质构特性的影响

Table 4 Effect of whole potato pulp content on texture characteristics of noodles

| 马铃薯全浆添加量/% | 硬度/N | 黏附性/N | 内聚性 | 弹性/mm | 胶着性/N | 咀嚼性/mJ | 回复性 |
|------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| 0 | 4.87±0.60 ^d | 0.08±0.01 ^c | 0.18±0.01 ^a | 0.75±0.05 ^a | 0.89±0.06 ^{bc} | 0.67±0.09 ^a | 0.11±0.02 ^a |
| 10 | 6.17±1.06 ^{cd} | 0.08±0.02 ^c | 0.17±0.01 ^a | 0.70±0.03 ^a | 1.07±0.22 ^{ab} | 0.75±0.17 ^a | 0.09±0.01 ^{abc} |
| 20 | 6.17±0.12 ^{cd} | 0.09±0.01 ^{bc} | 0.14±0.01 ^b | 0.57±0.00 ^b | 0.86±0.05 ^c | 0.49±0.07 ^b | 0.10±0.03 ^{ab} |
| 30 | 7.20±0.10 ^c | 0.11±0.02 ^{abc} | 0.12±0.01 ^c | 0.35±0.05 ^c | 0.84±0.03 ^c | 0.29±0.05 ^c | 0.08±0.01 ^{bcd} |
| 40 | 11.30±1.77 ^b | 0.12±0.02 ^{ab} | 0.09±0.01 ^d | 0.25±0.00 ^d | 0.97±0.09 ^{abc} | 0.24±0.01 ^c | 0.07±0.01 ^{cd} |
| 45 | 13.27±0.67 ^a | 0.13±0.02 ^a | 0.09±0.03 ^d | 0.12±0.04 ^c | 1.14±0.05 ^a | 0.26±0.04 ^c | 0.06±0.01 ^d |

注:同列不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$ 。

由表4可知,随着马铃薯全浆添加量的增加,面条的硬度、黏附性整体呈现增加趋势,胶着性呈现先增加后降低再增加的趋势,而内聚性、弹性、回复性整体呈降低趋势。而当马铃薯全浆添加量为10%时,面条咀嚼性与全麦面条差异不显著($P>0.05$);当马铃薯全浆添加量大于10%后,咀嚼性显著降低($P<0.05$)。这说

明马铃薯全浆的加入改变了面条质构特性,分析原因可能是马铃薯全浆对面筋蛋白的稀释以及较多的淀粉导致其黏附性升高,使面条口感变差,品质降低。

2.5 马铃薯全浆添加量对面条风味物质的影响

马铃薯全浆添加量对面条风味物质的影响结果如表5所示。

表5 马铃薯全浆添加量对面条风味物质相对含量的影响

Table 5 Effect of whole potato pulp content on flavor substances relative content of noodles

| 序号 | 挥发性风味物质 | 相对含量/% | | | | |
|----|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0% | 10% | 30% | 40% | 45% |
| 1 | 1,3 二甲苯 | 3.87±0.02 | | | | |
| 2 | (E)-2-己烯醛 | 4.98±0.01 | 5.33±0.01 | 5.83±0.15 | 6.52±0.13 | 8.07±0.11 |
| 3 | 2-戊基呋喃 | 1.28±0.03 | 1.38±0.04 | 1.61±0.05 | 2.53±0.06 | 5.35±0.07 |
| 4 | 3-辛酮 | | 2.22±0.01 | 2.99±0.02 | 6.37±0.12 | 3.72±0.06 |
| 5 | 壬醛 | 1.64±0.02 | 1.72±0.01 | 2.29±0.01 | 3.14±0.02 | 5.34±0.03 |
| 6 | 苯甲醛 | | 4.78±0.01 | 4.10±0.03 | 4.15±0.01 | 6.54±0.02 |
| 7 | (E)-壬烯醛 | 3.45±0.01 | 4.13±0.02 | 3.07±0.04 | 2.32±0.01 | 9.05±0.13 |
| 8 | 精萘 | | 1.23±0.01 | 1.20±0.03 | 1.50±0.01 | 5.03±0.14 |
| 9 | (E,E)-2,4-萘二烯醛 | 1.39±0.01 | 2.96±0.02 | 1.43±0.01 | 1.48±0.02 | 8.02±0.21 |
| 10 | 2,4-二叔丁基苯酚 | | 0.65±0.04 | 0.30±0.01 | 1.40±0.03 | 2.98±0.12 |
| 11 | 邻苯二甲酸二乙酯 | 2.56±0.02 | 1.09±0.01 | 0.39±0.11 | | |
| 12 | 正己酸乙酯 | 0.98±0.01 | 0.55±0.02 | 0.44±0.01 | | |
| 13 | 癸醛 | 1.21±0.01 | 1.29±0.01 | 2.19±0.02 | 2.04±0.01 | 2.99±0.01 |

续表5 马铃薯全浆添加量对面条风味物质相对含量的影响

Continue table 5 Effect of whole potato pulp content on flavor substances relative content of noodles

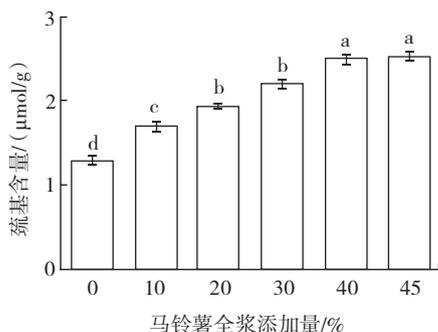
| 序号 | 挥发性风味物质 | 相对含量/% | | | | |
|----|----------|--------|-----|-----------|-----------|------------|
| | | 0% | 10% | 30% | 40% | 45% |
| 14 | 糠醇 | | | 0.63±0.02 | 1.20±0.01 | 3.20±0.11 |
| 15 | 香叶基丙酮 | | | 1.25±0.01 | 0.95±0.01 | 3.48±0.12 |
| 16 | 苯醇 | | | 0.19±0.01 | 0.43±0.02 | 2.67±0.01 |
| 17 | 邻甲酚 | | | 0.67±0.01 | 0.37±0.02 | 1.41±0.02 |
| 18 | 甲基庚烯酮 | | | 0.30±0.01 | 0.21±0.02 | 0.68±0.02 |
| 19 | 醋酸 | | | | 2.37±0.12 | 6.97±0.13 |
| 20 | 5-甲基呋喃醛 | | | | 0.44±0.02 | 1.97±0.01 |
| 21 | 糠醛 | | | | | 7.60±0.14 |
| 22 | 5-羟甲基糠醛 | | | | | 2.76±0.03 |
| 23 | 邻苯二甲酸二丁酯 | | | | | 12.73±0.15 |

由表5可知,当马铃薯全浆添加量为45%时,共检测出20种风味化合物,马铃薯全浆添加量为40%时,共检测出17种风味化合物,马铃薯全浆添加量为30%时,共检测出17种风味化合物,马铃薯全浆添加量为10%时,共检测出12种风味化合物,全麦面条共检测出9种风味化合物。这一结果表明马铃薯全浆添加量的增加,可以使面条中的挥发性风味化合物的种类更丰富。这可能是因为马铃薯中的香味物质在蒸煮过程中,会发生美拉德和糖降解反应产生醛类和硫化物等化合物^[16-18]。

2.6 马铃薯全浆对面条的面筋网络结构的影响

2.6.1 马铃薯全浆对面条巯基含量的影响

巯基含量是反映食品中蛋白质结构变化的重要指标之一,巯基含量的变化可以反映二硫键的断裂与形成情况,与面筋蛋白结构的稳定性有着密切关系^[19-20]。马铃薯全浆添加量对面条中巯基含量的影响如图1所示。



不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图1 马铃薯全浆添加量对面条巯基含量的影响

Fig.1 Effect of whole potato pulp content on sulfhydryl content of noodles

由图1可以看出,与全麦面条相比,马铃薯全浆的添加增加了面条中巯基的含量,并且随着马铃薯全浆添加量的增加,面条中巯基含量呈现明显增加的趋势。这可能是因为马铃薯全浆的添加稀释了面条中面筋蛋

白,并且马铃薯全浆的添加会阻碍或破坏面条中原有二硫键的形成。

2.6.2 马铃薯全浆对面条蛋白质二级结构的影响

马铃薯全浆添加量对面条蛋白质二级结构相对含量的影响如图2所示。

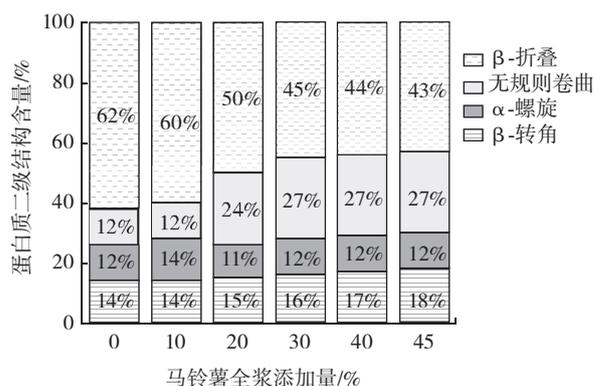


图2 马铃薯全浆添加量对面条蛋白质二级结构的影响

Fig.2 Effect of whole potato pulp content on secondary structure of noodle protein

蛋白质二级结构中β-折叠和α-螺旋是比较有序的结构,具有较高的稳定性,而β-转角和无规则卷曲是无序结构^[21]。随着马铃薯全浆添加量的增加,面条中β-折叠含量不断降低,β-转角和无规则卷曲含量不断增加,说明面条中面筋蛋白结构稳定性变差,品质受到影响,这一结果与马铃薯全浆添加量对面条蒸煮特性和质构品质的影响结果一致。推测可能原因是,马铃薯全浆的添加破坏了面条中面筋蛋白的立体网络结构,导致有序的β-折叠转化为无序的β-转角和无规则卷曲,使得面条品质变差。

3 结论

本研究以马铃薯全浆和小麦粉为原料制作马铃薯面条,分析了不同马铃薯全浆添加量对面条蒸煮特性、色泽、质构、风味物质品质的影响,并进一步通过研究马铃薯全浆对面条中巯基含量、蛋白质二级结构的影

响,探究其对影响面条筋网络结构的机制。结果表明,随着马铃薯全浆添加量的增加,面条的蒸煮特性变差,面条色泽偏红黄,面条的硬度、黏附性、咀嚼性整体呈现增加趋势,内聚性、弹性、回复性整体呈现降低趋势,品质下降。同时使面条中巯基含量增加,使蛋白质二级结构稳定性降低。但是10%的马铃薯全浆添加量对面条蒸煮特性中的断条率和质构特性中的咀嚼性的影响无统计学差异。同时添加了马铃薯全浆的面条风味物质的种类丰富。所以在未来马铃薯面条应用中,可以选择马铃薯添加量为10%的工艺参数,这样既可以提高面条风味和营养,又能缩短工艺流程,减少能源浪费。

参考文献:

- [1] 李丽,王慧莹,闫含,等.马铃薯淀粉添加量对混合粉面团特性及发酵面条消化性的影响[J].中国食品学报,2024(3):1-11.
LI Li, WANG Huiying, YAN Han, et al. Effect of addition amount of potato starch on dough characteristics of mixed flour and digestibility of fermented noodles[J]. Chinese Journal of Food Science, 2024(3): 1-11.
- [2] 曹燕飞,李思齐,郝鑫,等.马铃薯生浆馒头加工工艺[J].农村新技术,2023(5):65.
CAO Yanfei, LI Siqi, HAO Xin, et al. Processing technology of potato raw pulp steamed bread[J]. New Technology in Rural Areas, 2023(5): 65.
- [3] 王丽,李淑荣,句荣辉,等.马铃薯粉品质特性研究进展[J].现代食品科技,2021,37(5):332-337,270.
WANG Li, LI Shurong, JU Ronghui, et al. Research progress on the quality characteristics of potato flour[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 332-337, 270.
- [4] 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.
YAN Wenfang, LI Wenzhao, DAI Renren, et al. Effect of modified egg white powder on noodle quality[J]. Food Science, 2021, 42(22): 70-76.
- [5] 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 Ruobing, HAN Chuanwu, SUN Qingjie, 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.
- [6] 郑开迪,梁杉,张敏,等.添加马铃薯全粉对面条挥发性风味化合物的影响[J].食品科学,2020,41(6):239-245.
ZHENG Kaidi, LIANG Shan, ZHANG Min, et al. Effects of potato flour on volatile flavor compounds in noodles[J]. Food Science, 2020, 41(6): 239-245.
- [7] FAN L, WANG H P, LI M Y, et al. Impact of wheat bran dietary fiber on gluten aggregation behavior in dough during noodle processing[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 257(Pt 2): 128765.
- [8] GUO Q, LI Y T, CAI J H, et al. The optimum cooking time: A possible key index for predicting the deterioration of fresh white-salted noodle[J]. Journal of Cereal Science, 2023, 109: 103627.
- [9] ZHOU B L, ZHU F, SHAN F, et al. Gluten enhances cooking, textural, and sensory properties of oat noodles[J]. Cereal Chemistry, 2011, 88(3): 228-233.
- [10] 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.
- [11] MAJZOBI M, OSTOVAN R, FARAHNAKY A. Effects of hydroxypropyl cellulose on the quality of wheat flour spaghetti[J]. Journal of Texture Studies, 2011, 42(1): 20-30.
- [12] CAI J W, CHIANG J H, TAN M Y P, et al. Physicochemical properties of hydrothermally treated glutinous rice flour and xanthan gum mixture and its application in gluten-free noodles[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 186: 1-9.
- [13] KAUR A, SINGH N, KAUR S, et al. Relationship of various flour properties with noodle making characteristics among durum wheat varieties[J]. Food Chemistry, 2015, 188: 517-526.
- [14] 李卓瓦.质构仪在面条品质测定中的应用[J].农产品加工(学术刊),2008(7):188-189,192.
LI Zhuowa. Application of texture analyzer to determination of noodle quality[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008(7): 188-189, 192.
- [15] 林江涛,郭晓丹,苏东民.小麦粉吸水速率对面团特性及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(8):40-45.
LIN Jiangtao, GUO Xiaodan, SU Dongmin. The effect of water absorption speed of wheat flour on dough characteristics and quality of steamed bread[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 40-45.
- [16] ULRICH D, HOBERG E, NEUGEBAUER W, et al. Investigation of the boiled potato flavor by human sensory and instrumental methods[J]. American Journal of Potato Research, 2000, 77(2): 111-117.
- [17] ORUNA-CONCHA M J, BAKKER J, AMES J M. Comparison of the volatile components of two cultivars of potato cooked by boiling, conventional baking and microwave baking[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002, 82(9): 1080-1087.
- [18] 刘琳,徐健,姜红,等.生马铃薯和蒸煮马铃薯的风味物质及影响因素[J].中国马铃薯,2022,36(5):443-457.
LIU Lin, XU Jian, JIANG Hong, et al. Flavor substances and influencing factors of raw, steamed or boiled potatoes[J]. Chinese Potato Journal, 2022, 36(5): 443-457.
- [19] WANG K Q, LUO S Z, CAI J, et al. Effects of partial hydrolysis and subsequent cross-linking on wheat gluten physicochemical properties and structure[J]. Food Chemistry, 2016, 197(Pt A): 168-174.
- [20] LAMACCHIA C, BAIANO A, LAMPARELLI S, et al. Polymeric protein formation during pasta-making with barley and semolina mixtures, and prediction of its effect on cooking behaviour and acceptability[J]. Food Chemistry, 2011, 129(2): 319-328.
- [21] 赵红倩,马亚娟,王文秀,等.紫色马铃薯粉及Na₂CO₃对小麦-紫色马铃薯熟面的品质改良[J].中国粮油学报,2022,37(8):151-158.
ZHAO Hongqian, MA Yajuan, WANG Wenxiu, et al. Quality improvement of wheat-purple potato cooked noodles by purple potato powder and Na₂CO₃[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(8): 151-158.