

不同醒面次数对烩面面团特性及食用品质的影响

张小芳¹, 秦令祥^{1*}, 陈树兴^{1,2}, 孙 艳¹, 高愿军^{1,3}, 曹 源¹

(1. 漯河食品职业学院, 漯河 462300; 2. 中原食品实验室, 漯河 462300;
3. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 郑州 450002)

摘 要: 目的 研究不同醒面次数对烩面面团中湿面筋含量、水分状态和面筋网络微观结构变化及品质特性的影响。**方法** 利用差示扫描量热仪和激光共聚焦显微镜, 结合烩面面团湿面筋含量和面筋指数指标, 同时以烩面拉伸特性、延伸率、蒸煮特性、质构特性及感官评价为指标进行综合分析。**结果** 0~3 次醒面时, 随着醒面次数的增加, 面团中湿面筋含量、面筋指数、烩面的拉伸长度、收缩长度、拉伸收缩比、延伸率、硬度、黏合性和感官评分均显著增加($P<0.05$), 但醒面次数超过 3 次后, 其各指标变化不明显($P>0.05$); 0~3 次醒面时, 随着醒面次数的增加, 面团的可冻结水含量、烩面蒸煮损失率显著降低($P<0.05$), 但醒面次数超过 3 次后, 其指标变化不显著($P>0.05$); 0~3 次醒面时, 随着醒面次数的增加, 烩面的吸水率、弹性、咀嚼性、内聚性均提高, 醒面次数超过 3 次后, 各指标变化不明显($P>0.05$)。增加醒面次数, 能促进形成面团面筋网络结构, 提高烩面拉伸特性, 改善烩面蒸煮特性、质构特性和感官品质。**结论** 3 次醒面能明显改善烩面面团特性, 提高烩面食用品质, 为实际生产提供了理论依据。

关键词: 醒面次数; 烩面; 面团; 面筋; 微观结构

Effects of different dough wake-up times on the characteristics and edible quality of Huimian Noodles dough

ZHANG Xiao-Fang¹, QIN Ling-Xiang^{1*}, CHEN Shu-Xing^{1,2},
SUN Yan¹, GAO Yuan-Jun^{1,3}, CAO Yuan¹

(1. Luohe Food Vocational College, Luohe 462300, China; 2. Zhongyuan Food Laboratory, Luohe 462300 China;
3. School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of different dough wake-up times on wet gluten content, moisture state, microstructure change of gluten network and quality characteristics of Huimian Noodles dough. **Methods** By using differential scanning calorimeter and laser confocal microscope, combined with the test indexes of wet gluten content and gluten index of Huimian Noodles dough, the tensile properties, elongation, cooking properties, texture properties and sensory evaluation of Huimian Noodles were comprehensively analyzed. **Results** When 0~3 times of dough wake-up, with the increase of dough wake-up times, the wet gluten content, gluten index, Huimian Noodles's stretching length, shrinking length, stretching-shrinking ratio, elongation, hardness, adhesiveness and sensory score all increased significantly ($P<0.05$), but after more than 3 times of dough wake-up, their indexes did not change significantly ($P>0.05$). When 0~3 times of dough wake-up, with the increase of dough wake-up times, the freezable

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(22B630008)

Fund: Supported by the Key Research Projects in Higher Education Institutions in Henan Province (22B630008)

*通信作者: 秦令祥, 副教授, 主要研究方向为功能成分提取与应用研究。E-mail: 10663123@qq.com

*Corresponding author: QIN Ling-Xiang, Associate Professor, Luohe Food Vocational College, Intersection of Wenming Road and 107, Yancheng District, Luohe 462300, China. E-mail: 10663123@qq.com

water content and Huimian Noodles cooking loss rate of dough decreased significantly ($P < 0.05$), but after more than 3 times of dough wake-up, their indexes did not change significantly ($P > 0.05$). When 0–3 times of dough wake-up, with the increase of wake-up times, Huimian Noodles's water absorption, elasticity, chewiness, cohesion all improved, but after wake-up times more than 3 times, the indexes did not change obviously ($P > 0.05$). Increasing the dough wake-up times could promote the formation of dough gluten network structure, improve the Huimian Noodles tensile properties, and improve the cooking properties, texture properties and sensory quality of Huimian Noodles.

Conclusion The 3 times of dough wake-up can significantly improve the characteristics of Huimian Noodles dough, improve the edible quality of Huimian Noodles dough, and provide a theoretical basis for actual production.

KEY WORDS: dough wake-up times; Huimian Noodles; dough; gluten; microstructure

0 引言

醒面又称“熟化”，是烩面制作过程中最重要的步骤^[1]。一定温度和湿度条件下将和好的面团静置一段时间，面团中水分有充足时间均衡渗透到蛋白质胶体的内部，蛋白质充分吸水膨胀、互相黏连，面筋松弛缓解，韧性及延伸性增大，面筋网络结构进一步规则舒展趋于完善^[2–3]。醒面自动调节蛋白质和淀粉之间的水分，起到对淀粉均质化、调质作用^[4–5]，促进面团内部结构稳定，因此醒面是保证烩面较强韧性和弹性的关键。目前，国内外关于醒面对面制品品质影响的研究主要集中在醒面工艺条件。如陈洁等^[2]采用不同的醒面时间，研究其对烩面面团水分分布状态和麦谷蛋白大聚体含量的影响，发现醒面过程可降低烩面面团中半结合水比例，麦谷蛋白大聚体发生聚合，面筋含量和面筋指数显著升高；矫春苗等^[6]研究了 3 次醒面工艺对鲜湿面咀嚼性、蒸煮特性和拉伸特性的影响，并采用响应面法优化醒面工艺条件，优化后的醒面工艺能显著提升鲜湿面的食用品质；刘婧竟^[7]研究了熟化时间、温度和湿度对面条品质的影响，并通过正交实验得出面片的最佳熟化条件；魏小雁等^[4]以产品断条率和烹调损失率为指标，研究确定了藜麦面条最优生产工艺条件；江明等^[8]研究了天麻苦瓜面条加工工艺，发现面团熟化 35 min 可以提升面团感官品质；TURKSOY 等^[9]采用 4℃ 和 25℃ 醒面 5 d 的条件，研究发现醒面对面团的非线性流变学特性变化有一定影响。综上，醒面工艺会直接影响面团和烩面食用品质。

目前，国内外关于醒面的研究关注点主要集中在醒面工艺(温度、时间、湿度)方面，不同醒面次数对烩面面团和烩面食用品质影响的研究不多。本研究采用传统生产工艺加工烩面，探究不同醒面次数对烩面面团的湿面筋品质、可冻结水含量、面筋微观结构及烩面的拉伸特性、蒸煮特性、质构特性和感官等特性的影响，以期在传统烩面的生产确定最佳醒面次数，并为烩面品质的提升提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

高筋面粉(精制粉，蛋白质 $\geq 18\%$ ，沈阳香雪面粉股份有限公司)；无碘食盐(孝感广盐华源制盐有限公司)；罗丹明 B(分析纯，国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

HY-02 真空和面机(河北岳家用品有限公司)；CTX 质构仪(美国博勒飞有限公司)；DSC-8000 差示扫描量热仪(美国 PerkinElmer 股份有限公司)；LSM 900 激光共聚焦显微镜(德国卡尔蔡司有限公司)；JLZM 型面筋离心指数测定仪(上海沪粤明科学仪器有限公司)；STHQ-FJ16 发酵箱(广东圣托智能设备有限公司)；DHG-9053A 电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司)；JE602 多功能电子天平(精度 0.01 g，上海浦春计量仪器有限公司)；ATY-124R 分析天平(精度 0.1 mg，天津市德安特传感技术有限公司)；MD-86L408–80℃ 超低温冰箱(合肥美的生物医疗有限公司)；6250 型冷冻切片机(达科为深圳医疗设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 加工工艺

准确称取 1000 g 高筋面粉、500 g 水、20 g 食盐倒入真空和面机中和面 10 min，和好的面团平均分成 6 份，用保鲜膜包裹置于发酵箱中醒面(温度 30℃，湿度 50%)，每次醒面 30 min，再揉面 2 min，制成烩面坯，备用。

1.3.2 烩面面团品质测定

(1) 烩面面团湿面筋含量和面筋指数的测定

称取面团 10 g，依据 GB/T 5506.1—2008《小麦和小麦粉 面筋含量 第 1 部分：手洗法测定湿面筋方法测定面团湿面筋含量》和 LS/T 6102—1995《小麦粉湿面筋质量测定法面筋指数法》方法，测定面团湿面筋含量和面筋指数。

(2) 烩面面团面筋网络结构的激光共聚焦显微镜观察

将 0.001 g/L 的罗丹明 B 水溶液、食盐、面粉和成面团，揉面至面筋蛋白与染料充分结合。面团置于–80℃冰箱

中冷冻 2 h, 将冷冻后的面团用冷冻切片机切成 10 μm 的薄片放置于载玻片上, 盖上盖玻片, 置于激光共聚焦显微镜下观察^[10-14]。采用 20 倍目镜观察, 发射光波长: 561 nm; 扫描方式: 双向扫描; 图像缩放尺寸: 319.45 μm ×319.45 μm 。

(3) 烩面面团可冻结水含量的测定

精确称取烩面面团 10 mg 样品于铝制坩埚中压盖密封, 置于差示扫描量热仪(differential scanning calorimeter, DSC)的炉体中, 盖上炉盖, 并用空的坩埚作参照。在 20 mL/min 的氮流速条件下, 用液氮以 5°C/min 降温速度使样品温度从 20°C 降到 -40°C, 然后以 5°C/min 的升温速度升至 40°C, 得到结晶和融化过程中的焓变^[15]。每个样品重复测定 3 次, 计算可冻结水含量, 公式如式(1):

$$\text{可冻结水含量}/\% = \frac{\Delta H}{\Delta H_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, ΔH 为样品单位质量水分融化焓变, J/g; ΔH_0 为纯水单位质量焓变, 334 J/g。

1.3.3 烩面品质的测定

(1) 烩面拉伸特性的测定

参照齐兵建等^[16]、赖彩如等^[17]的方法并稍作修改, 拉制好的生烩面切成 20 cm 长, 一端固定在光滑桌面的一端, 另一端用手匀速拉伸生烩面直至拉断, 记录测定拉断时的长度及拉断后重新搭接在一起的长度, 重复实验 3 次取平均值, 计算公式如式(2):

$$K = \frac{L_2}{L_1} \quad (2)$$

式中, K 为拉伸收缩比; L_1 为拉伸长度, cm; L_2 为收缩长度, cm; $L_1 = L_A - 20$, $L_2 = L_A - L_B$; L_A 为拉断时长度, cm; L_B 为拉断后重新搭接在一起的长度, cm。

(2) 烩面最佳蒸煮时间的测定

量取 500 mL 纯净水于锅中煮沸, 拉制 10 根烩面放入开始计时。保持沸腾状态下煮制 2 min 后取出一根剪断, 观察断面是否有白芯, 间隔 30 s 取样观察, 无白芯的时间就是最佳蒸煮时间^[6,18]。重复实验 3 次。

(3) 烩面延伸率的测定

取 10 根 20 cm 长的鲜烩面, 放入沸腾蒸馏水中, 参考 1.3.3 (2) 最佳蒸煮时间煮好捞出, 用冷水冲洗后置于漏网上沥干水分后, 测量烩面长度 L_3 , 重复实验 3 次取平均值^[17]。延伸率计算公式如式(3):

$$\text{延伸率}/\% = \frac{L_3 - 20}{20} \times 100\% \quad (3)$$

式中, L_3 为煮后烩面长度, cm。

(4) 烩面吸水率的测定

准确称取适量鲜拉制烩面, 放入盛有 1000 mL 的沸水中, 参考 1.3.3 (2) 最佳蒸煮时间煮好捞出沥干, 准确称量, 重复实验 3 次, 取平均值^[19-20]。吸水率计算公式如式(4):

$$\text{吸水率}/\% = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad (4)$$

式中, M_1 为鲜拉制烩面质量, g; M_2 为煮后沥干烩面质量, g。

(5) 烩面蒸煮损失率的测定

煮烩面后的面汤移至烧杯中, 在电炉上蒸去大部分的水, 然后将烧杯放入 105°C 烘箱内烘至恒重, 准确称量, 重复实验 3 次取平均值^[18-19,21]。公式如式(5):

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{M_4 - M_3}{M_1} \times 100\% \quad (5)$$

式中, M_1 为鲜拉制烩面质量, g; M_3 为空烧杯质量, g; M_4 为干物质加空烧杯质量, g。

(6) 烩面质构的测定

将鲜拉制烩面煮至最佳蒸煮时间, 取 1 根 10 cm 长烩面置于测试平板上^[22-23]。测试标准: 全质构(texture profile analysis, TPA); 测试速度: 1 mm/s; 触发力: 5 g; 形变度: 70%。每组做 3 次平行测试, 取其平均值。

(7) 烩面感官评价的测定

烩面感官评定参照 LS/T 3212—2014《挂面》方法和指标进行制定。10 名食品专业人员组成评定小组, 对煮制好的烩面进行观察、触压和品尝, 分别对烩面色泽、表观状态、韧性、黏性、弹性、光滑性、食味等指标评定。

1.4 数据处理

数据以平均值±标准偏差表示, 重复实验 3 次。采用 Excel 2007、Origin 2017 制作图表, 运用统计分析软件 IBM SPSS Statistic 25.0 进行单因素方差分析, 以 $P < 0.05$ 为显著性标准。

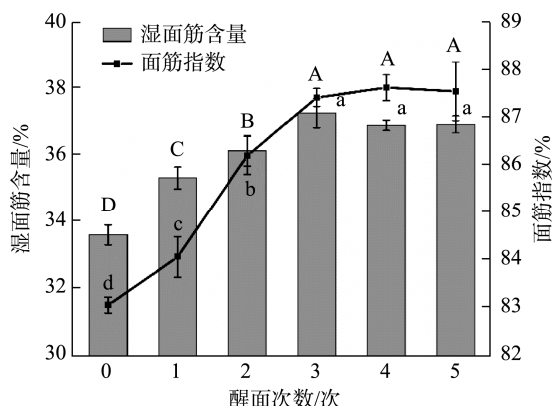
2 结果与分析

2.1 醒面次数对烩面面团品质的影响

2.1.1 醒面次数对烩面面团湿面筋品质的影响

面筋是由麦醇蛋白和麦谷蛋白组成的胶体混合蛋白质, 蛋白质吸水溶胀后形成网状结构。面筋蛋白网络结构的形成有利于包裹淀粉颗粒, 且面筋的生成数量和质量直接影响面团的拉伸弹性, 完善的面筋网络结构会赋予面团良好的黏弹性, 所以是影响面团加工品质的主要因素^[24-25]。

由图 1 可知, 0~3 次醒面时, 随着醒面次数的增加, 面团湿面筋含量和面筋指数显著增加($P < 0.05$), 3 次醒面后, 面筋蛋白质间作用力平衡, 湿面筋含量和面筋指数变化不明显($P > 0.05$)。醒面次数少的面团, 水分没有完全渗入面筋蛋白, 面筋结构不完善, 面团的湿面筋含量和面筋指数低。醒面次数的增加使水分逐渐渗入面团, 充分吸水的麦醇蛋白、麦谷蛋白通过氢键、疏水键等蛋白质间的作用力紧密结合^[26], 形成连续稳定的面筋网络结构, 面团中湿面筋含量增加。同时面筋蛋白中的巯基转化为二硫键, 增加了麦谷蛋白含量, 面筋指数升高^[27-28]。



注: 同组数据不同字母表示具有显著性差异($P < 0.05$), 图4~6同。

图1 醒面次数对烩面面团湿面筋品质的影响

Fig.1 Effects of dough wake-up times on wet gluten quality of Huimian Noodles dough

2.1.2 醒面次数对烩面面团面筋网络微观结构的影响

图2为不同醒面次数面团的光学切片图像, 面筋蛋白被罗丹明B染成红色。0次醒面面团面筋网络结构没有充分形成, 导致结构疏松(圆圈所示)。1次、2次醒面后的面团中网络结构自动调节, 面筋蛋白吸水胀润, 形成了面筋网络骨架结构, 但面筋网络结构分布不均匀、不紧密。3次、4次醒面的面团面筋蛋白充分吸水溶胀, 蛋白质的空间结构发生变化, 面筋蛋白分子相互间的连接性越来越好, 逐步形成更均匀紧密且稳定的面筋网络结构。观察4次、5次醒面面团的面筋网络微观结构, 与3次醒面变化不明显。表明经过3次醒面后, 面团中面筋结构已经稳定形成, 再增加醒面次数, 面筋结构没有明显变化。

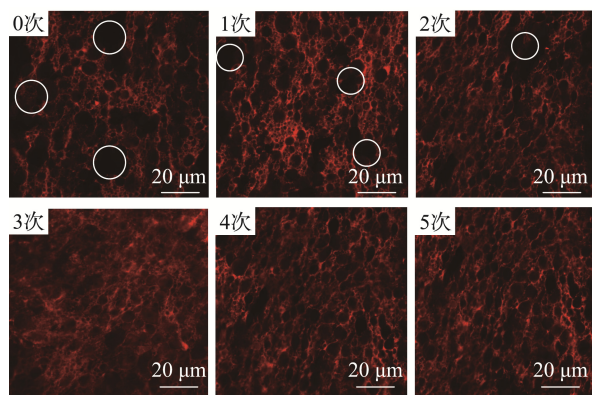


图2 醒面次数对烩面面团面筋网络微观结构的影响

Fig.2 Effects of dough wake-up times on microstructure of Huimian Noodles dough gluten network

2.1.3 醒面次数对烩面面团可冻结水含量的影响

水分在面团形成过程中起重要作用^[29]。面筋蛋白和水结合形成面筋网络结构, 水分含量、分布及与其他组分的结合状态、结合程度会影响面筋网络结构^[15,30]。面团中的水根据存在状态可以分为强结合水、弱结合水和自由水^[31],

与面筋蛋白和淀粉以氢键结合形成面筋网络结构的水称为结合水, 形成面筋结构的结合水越多, 面团中的可冻结水含量越低。

图3是DSC测定烩面面团融化焓值分析曲线, 计算吸热峰面积可得出样品单位质量水分融化焓变。由图4可知, 0~3次醒面时, 随着醒面次数的增加, 面团的可冻结水含量显著降低($P < 0.05$), 3次醒面后, 面筋网络结构达到稳定状态, 可冻结水含量变化不明显($P > 0.05$)。原因是醒面过程中水分与面筋蛋白和淀粉形成氢键, 促进水合作用发生, 增加了深层结合水相对含量, 舒展了面筋网络, 改善面团延展性能, 增加了面团的稳定性^[31]。5次醒面可冻结水含量又稍增加, 可能是过度醒面导致面团内部结合水从已形成的网络结构内向外迁移, 向外延伸了面筋网络结构, 破坏了原来稳定结构, 打开了面筋蛋白内部二硫键, 部分强结合水再次转化为弱结合水, 束缚水的能力降低, 增加了面团中水分子的流动性^[31-32]。

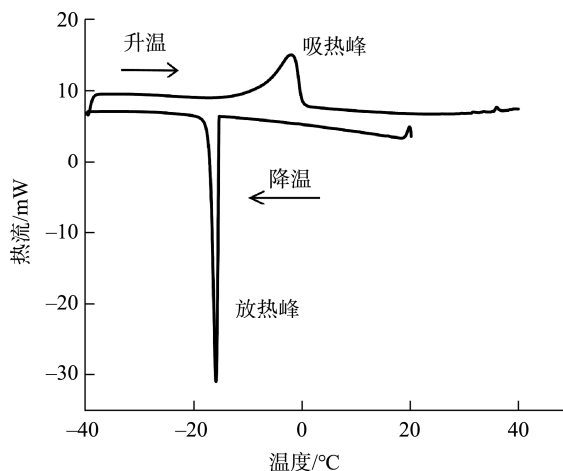


图3 DSC测定烩面面团融化焓值图

Fig.3 DSC determination of melting enthalpy of Huimian Noodles dough

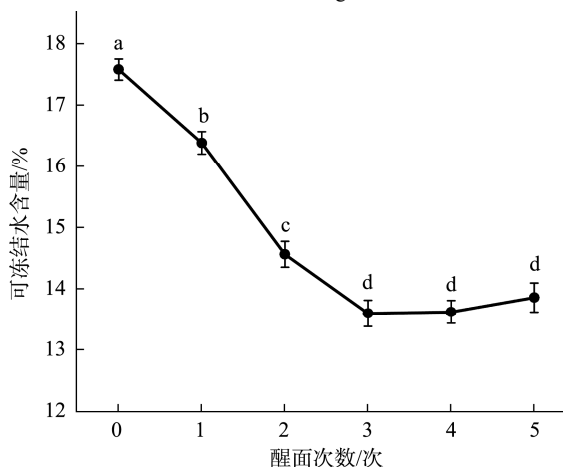


图4 醒面次数对烩面面团可冻结水含量影响

Fig.4 Effects of dough wake-up times on freezable water content of Huimian Noodles dough

2.2 醒面次数对烩面食品品质的影响

2.2.1 醒面次数对烩面面团拉伸特性和最佳蒸煮时间的影响

烩面拉伸长度越大, 烩面的延伸性越好, 越有利于面团的拉伸; 收缩长度越大, 烩面的弹性越强, 面团内部结构越细腻均匀, 口感越筋道; 拉伸收缩比 K 表示面团弹性和延伸性之间的配合是否恰当。当拉伸长度等于正常区间的较大值时, K 值越大, 面团的强度越高^[16]。

由表 1 可知, 0~3 次醒面时, 随着醒面次数的增加, 烩面的拉伸长度、收缩长度、拉伸收缩比、延伸率显著增加 ($P<0.05$), 3 次醒面后, 面筋网络结构已经达到最佳状态, 变化不明显 ($P>0.05$)。没有醒面或醒面不充分时, 面筋网络结构无序不紧密, 面团结构粗糙硬度大, 不易被拉伸。多次醒面后, 面筋网络结构松弛缓和, 面团变软, 易于被拉伸, 表明醒面可以提高烩面的拉伸特性和筋力^[6]。不同醒面次数的烩面的最佳蒸煮时间变化不显著 ($P>0.05$)。

对于拉伸性要求较高的面条, 只有保证面团中的面筋蛋白充分吸水, 面筋网络结构充分形成, 才能使面团的拉伸性显著提高^[10]。烩面筋道的口感要求保证足够的醒面次数和时间, 才能使面团面筋蛋白与水分充分结合, 烩面坯的拉伸性才能显著的提高。

2.2.2 醒面次数对烩面吸水率和蒸煮损失率的影响

张影全等^[33]利用红外显微成像分析技术, 清晰地展示淀粉颗粒吸水膨胀、扩展和被蛋白质网络包被的过程, 以及蛋白质扩展和面筋网络形成过程。如图 5 所示, 0 次醒面面团没有形成网络, 蛋白质胶体粒子和淀粉颗粒吸水不充分, 烩面吸水率低, 蒸煮过程中游离蛋白小分子和淀粉颗粒易析出, 烩面蒸煮损失率大^[34]。0~3 次醒面时, 随着醒面次数的增加, 面筋结构逐渐完善, 蛋白质、淀粉、水分自动调节, 面团中蛋白质胶体粒子充分吸水膨胀, 吸水率呈增加趋势。同时蛋白质结构扩展黏连, 形成稳定连续紧密的面筋网络组织^[35], 淀粉颗粒及小分子物质被充分包裹, 蒸煮过程中不容易流失, 蒸煮损失率显著降低 ($P<0.05$)。3 次醒面后, 面团形成稳定致密网络结构, 烩面的吸水率和蒸煮损失率变化不明显 ($P>0.05$)。

2.2.3 醒面次数对烩面质构和感官品质的影响

由表 2 可以看出, 随着醒面次数的增加, 烩面的硬

度、弹性、内聚性、黏合性呈先增加后稳定趋势。0~3 次醒面时, 硬度和黏合性随着醒面次数的增加呈增加趋势, 具有显著差异 ($P<0.05$), 3 次醒面后变化不明显 ($P>0.05$)。与 0 次醒面组相比, 3 次醒面时弹性发生显著变化 ($P<0.05$), 3 次醒面后变化不明显 ($P>0.05$)。与 0 次醒面组相比, 3 次醒面烩面的咀嚼性和内聚性发生显著变化 ($P<0.05$)。醒面使麦谷蛋白分子间氢键含量增加, 麦谷蛋白、麦醇蛋白和水更加紧密结合, 优化形成了面筋网络, 提高了面筋强度。醒面缓解了面团的紧张结构, 松弛了面筋蛋白, 增加了烩面的黏弹性, 赋予了烩面筋道顺滑口感^[36]。当面筋网络结构已经达到最佳状态时, 再继续增加醒面次数, 不能显著改善烩面质构特性 ($P>0.05$)。

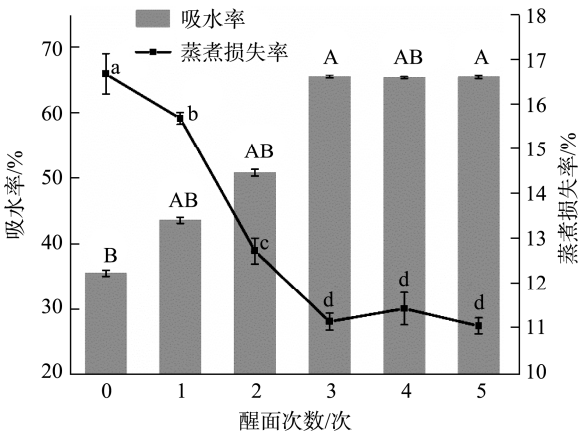


图5 醒面次数对烩面面团蒸煮特性的影响
Fig.5 Effects of dough wake-up times on cooking characteristics of Huimian Noodles dough

如图 6 所示, 0~3 次醒面时, 随着醒面次数的增加, 烩面的感官评分呈增加趋势, 具有显著差异 ($P<0.05$), 3 次醒面后, 面筋网络结构已形成, 变化不明显 ($P>0.05$)。醒面次数少, 面团结构粗糙, 面筋网络结构不紧密, 淀粉颗粒不能完全被包裹在面筋网络结构中, 烩面不光滑、不筋道、不爽口, 游离在面筋网络结构外的淀粉使烩面口感发黏。醒面次数的增加, 缓解了面团紧张结构, 松弛了面筋蛋白, 烩面口感筋道柔软。

表 1 醒面次数对烩面面团拉伸特性和最佳蒸煮时间影响
Table 1 Effects of dough wake-up times on tensile properties and optimal cooking time of Huimian Noodles dough

醒面次数/次	拉伸长度/cm	收缩长度/cm	拉伸收缩比(K)	延伸率/%	最佳蒸煮时间/s
0	32.93±0.71 ^d	14.48±0.03 ^d	0.43±0.01 ^d	14.69±0.15 ^d	246±1.52 ^a
1	45.46±0.37 ^c	22.69±0.16 ^c	0.50±0.01 ^c	16.30±0.20 ^c	244±2.08 ^a
2	53.45±0.14 ^b	28.86±0.13 ^b	0.54±0.01 ^b	18.91±0.04 ^b	243±2.08 ^a
3	61.29±0.06 ^a	38.18±0.06 ^a	0.62±0.00 ^a	21.47±0.24 ^a	243±6.51 ^a
4	61.35±0.07 ^a	38.21±0.04 ^a	0.62±0.00 ^a	21.51±0.16 ^a	241±3.61 ^a
5	61.35±0.03 ^a	38.27±0.05 ^a	0.62±0.00 ^a	21.60±0.26 ^a	243±6.51 ^a

注: 同列不同小写字母表示具有显著性差异 ($P<0.05$), 下同。

表 2 醒面次数对烩面面团质构的影响
Table 2 Effects of wake-up times on texture of Huimian Noodles dough

醒面次数/次	硬度/g	弹性/mm	咀嚼性/mJ	内聚性	黏合性/g	回复性
0	4289.67±60.04 ^d	0.85±0.02 ^b	3470.33±54.90 ^d	0.67±0.04 ^c	2806.33±32.25 ^d	0.44±0.03 ^a
1	4697.00±49.24 ^c	0.87±0.02 ^b	3594.33±17.62 ^c	0.74±0.03 ^b	3277.00±52.42 ^c	0.44±0.02 ^a
2	5058.00±80.88 ^b	0.87±0.03 ^b	3615.33±20.84 ^c	0.78±0.03 ^b	3648.00±70.93 ^b	0.43±0.01 ^a
3	5322.67±68.88 ^a	0.93±0.02 ^a	3791.67±30.71 ^b	0.83±0.02 ^a	3869.67±50.77 ^a	0.46±0.01 ^a
4	5373.33±35.58 ^a	0.94±0.02 ^a	3745.33±49.90 ^{ab}	0.84±0.03 ^a	3946.00±75.49 ^a	0.45±0.01 ^a
5	5389.33±61.50 ^a	0.93±0.02 ^a	3815.00±28.51 ^a	0.83±0.02 ^a	3863.00±67.44 ^a	0.44±0.02 ^a

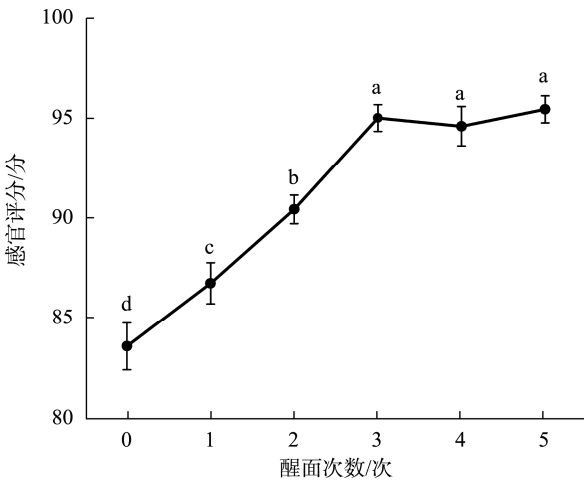


图6 醒面次数对烩面面团感官品质的影响
Fig.6 Effects of wake-up times on sensory quality of Huimian Noodles dough

3 结 论

本研究结果表明 3 次醒面能够明显促进蛋白质、淀粉和水结合作用,降低面团中可冻结水含量,增加面团筋含量,有利于形成稳定紧密的筋网络结构,改善烩面面品质;3 次醒面能明显增强烩面弹性及拉伸特性,增加蒸煮烩面的吸水性,降低烩面蒸煮损失率,提高烩面感官品质。醒面次数不是越多越好,3 次醒面后烩面面团和烩面食用品质不再明显改善,原因是面团中蛋白质、淀粉和水分相互调节已形成平衡的连续相和稳定的筋网络结构。醒面次数过多,面团在微生物作用下轻微发酸,颜色发黄暗淡,且会增加生产成本。醒面是面团加工的重要步骤,广泛应用于面条加工中。已有研究发现,和面的过程中,挤压和机械拉伸使面团内部形成应力,醒面熟化松弛筋网络组织,改善面团紧张状态^[37-38]。醒面促进了水分进入面团内部,使面团结构均匀且表面光滑,增加面团水分含量和降低水分流动性可能增加筋网络强度,提高面条的延伸性^[36]。

本研究探究了不同醒面次数对面团中可冻结水含量、湿面筋品质、筋网络微观结构及烩面食用品质的影响,

后期还可以更深入研究不同醒面次数对面团水分迁移规律、面团流变特性、蛋白质二级结构、分子间作用力等的影响,为烩面生产工艺优化提供理论依据。

参考文献

[1] ZHANG M, MA M, YANG T, *et al.* Dynamic distribution and transition of gluten proteins during noodle processing [J]. Food Hydrocolloid, 2022, 123(2022): 1–11.

[2] 陈洁, 汪磊, 吕莹果, 等. 醒面时间对烩面面团水分分布及麦谷蛋白大聚体的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(6): 167–172.

CHEN J, WANG L, LV YG, *et al.* Effect of dough waking time on moisture distribution and glutenin macromolecules in Huimian Noodles [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2018, 18(6): 167–172.

[3] 周文化, 周翔宇. 鲜湿面工业化生产理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2019.

ZHOU WH, ZHOU XY. Theory and technology of industrialized production of fresh and wet noodles [M]. Beijing: Science Press, 2019.

[4] 魏小雁, 成宇峰. 响应面优化藜麦面条加工工艺[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(12): 53–58.

WEI XY, CHENG YF. Optimization of processing technology of quinoa noodles by response surface methodology [J]. J Cere Oils, 2020, 33(12): 53–58.

[5] 张毅. 制面过程小麦面团特性及筋网络结构影响机理的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.

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.

[6] 矫春苗, 胡中泽, 沈汪洋, 等. 三次醒面工艺对鲜湿面食用品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(5): 213–218.

JIAO CM, HU ZZ, SHEN WY, *et al.* Effect of three-times dough resting on the edible quality of fresh and wet noodles [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(5): 213–218.

[7] 刘婧竟. 面片熟化工艺对面条品质的影响[J]. 消费导刊, 2007, (5): 207–208.

LIU JJ. Effect of dough curing technology on noodle quality [J]. Consum Guide, 2007, (5): 207–208.

- [8] 江明, 杨龙瑞, 何娅, 等. 天麻苦瓜面条加工工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(2): 38–42.
- JING M, YANG LR, HE Y, *et al.* Study on processing technology of *Gastrodia elata* and balsam pear noodles [J]. J Cere Oils, 2021, 34(2): 38–42.
- [9] TURKSOY S, ERTURK MY, BONILLA J, *et al.* Effect of aging at different temperatures on LAOS properties and secondary protein structure of hard wheat flour dough [J]. J Cere Sci, 2020, 92: 1–32.
- [10] 汪磊. 烩面面团加工特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- WANG L. Research on processing characteristics of stewed noodles [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016.
- [11] JEKEL M, BECKER T. Dough microstructure: Novel analysis by quantification using confocal laser scanning microscopy [J]. Food Res Int, 2011, 44(2011): 984–991.
- [12] JIA F, MA Z, HU X. Controlling dough rheology and structural characteristics of chickpea-wheat composite flour-based noodles with different levels of *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum addition [J]. Int J Biol Macromol, 2020, 150(2020): 605–616.
- [13] BERNKLAU I, LUCAS L, JEKLE M, *et al.* Protein network analysis-A new approach for quantifying wheat dough microstructure [J]. Food Res Int, 2016, 89(pt.1): 812–819.
- [14] GAO X, LIU T, DING M, *et al.* Effects of HMW-GS Ax1 or Dx2 absence on the glutenin polymerization and gluten micro structure of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Food Chem 2018, 240(2018): 626–633.
- [15] 刘锐, 武亮, 张影全, 等. 基于低场核磁和差示量热扫描的面条面团水分状态研究[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 288–294.
- LIU R, WU L, ZHANG YQ, *et al.* Water state and distribution in noodle dough using low-field nuclear magnetic resonance and differential scanning calorimetric [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2015, 31(9): 288–294.
- [16] 齐兵建, 冯新胜. 面条拉伸试验与面包专用粉品质相关性研究[J]. 西部粮油科技, 2003, (5): 15–17.
- QI BJ, FENG XS. Study on the correlation between noodle tensile test and the quality of bread flour [J]. West Grain Oil Technol, 2003, (5): 15–17.
- [17] 赖彩如, 仇东朝, 宋洪波, 等. 机械化加工拉面关键技术研究[J]. 徐州工程学院学报, 2013, 28(1): 79–84.
- LAI CR, QIU DC, SONG HB, *et al.* Research on key technologies of mechanized machining of Lamian Noodles [J]. J Xuzhou Inst Technol, 2013, 28(1): 79–84.
- [18] 黄滢洁, 冯龙斐, 梁新红, 等. 甘薯渣混合粉面条工艺优化及品质分析[J]. 扬州大学学报, 2020, 41(5): 87–94.
- HUANG YJ, FENG LF, LING XH, *et al.* Technology optimization of with sweet potato residue-wheat flour noodles and its qualities evaluation [J]. J Yangzhou Univ, 2020, 41(5): 87–94.
- [19] 焦婷婷. 马铃薯全粉冷冻熟制烩面工艺研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
- JIAO TT. Study on the technology of frozen cooked Huimian Noodles with whole potato powder [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.
- [20] HU Y, WEI J, CHEN Y. The impact of salt on the quality of fresh wheat noodle [J]. Acta Univ Cibin Ser Food Technol, 2017, 21(2): 53–61.
- [21] 李彩霞, 魏润霞, 韩雪, 等. 复合添加剂对马铃薯方便面品质影响的研究[J]. 河西学院学报, 2020, 36(2): 82–89.
- LI CX, WEI RX, HAN X, *et al.* Study on the influence of compound additives on the quality of potato instant noodles [J]. J Hexi Univ, 2020, 36(2): 82–89.
- [22] YANG Y, GUAN E, ZHANG T, *et al.* Influence of water addition methods on water mobility characterization and rheological properties of wheat flour dough [J]. J Cere Sci, 2019, 89(2019): 1–31.
- [23] 杨淑祯, 赵仁勇. 热风微孔化方便面干燥工艺参数的优化[J]. 现代食品科技, 2019, 35(9): 232–239.
- YANG SZ, ZHAO RY. Optimization of drying process parameters of hot air microporous instant noodles [J]. Mod Food Sci Technol, 2019, 35(9): 232–239.
- [24] 皮俊翔, 张根义. 茶多酚对面团中面筋蛋白结构的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(18): 1–7, 16.
- PI JX, ZHANG GY. Effect of tea polyphenols on the structural property of gluten in wheat dough [J]. Food Ind Sci Technol, 2020, 41(18): 1–7, 16.
- [25] WANG P, XU L, NIKOO M, *et al.* Effect of frozen storage on the conformational, thermal and microscopic properties of gluten: Comparative studies on gluten-, glutenin- and gliadin-rich fractions [J]. Food Hydrocolloid, 2014, 35(3): 238–246.
- [26] IWAKI S, HAYAKAWA K, FU BX, *et al.* Changes in hydrophobic interactions among gluten proteins during dough formation [J]. Processes, 2021, 9(7): 1244.
- [27] 李翠翠, 陆敏玉, 马宇翔, 等. 巯基、二硫键变化对小麦面筋蛋白性质的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(7): 93–98.
- LI CC, LU QY, MA YX, *et al.* Effects of sulfhydryl and disulfide bond changes on properties of wheat gluten protein [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(7): 93–98.
- [28] 王钰冰, 陈洁, 许飞, 等. 基于结构特性分析工艺对速食面叶复水性及品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(16): 232–241.
- WANG YW, CHEN J, XU F, *et al.* Based on structural characteristics, the influence of processing technology on rehydration and quality of instant noodle leaves was analyzed [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(16): 232–241.
- [29] CHEN Y, ZHANG Y, JIANG L, *et al.* Moisture molecule migration and quality changes of fresh wet noodles dehydrated by cold plasma treatment [J]. Food Chem, 2020, 328(2020): 1–10.
- [30] 吕冰冰, 张乐道, 郭梦圆, 等. 马铃薯对小麦面团水分状态的影响规律研究[J]. 粮食与饲料工业, 2018, (7): 24–26.

- LV BB, ZHAGN LD, GUO MY, *et al.* Study on the influence of potato on the moisture state of wheat dough [J]. *Cere Feed Ind*, 2018, (7): 24–26.
- [31] 陈丽. 冷冻对非发酵面团水分状态和冰晶形态的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- CHEN L. Effect of freezing on moisture state and ice crystal morphology of non-fermented dough [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021.
- [32] 赵丹丹. 拉面面团性质研究及制面工艺优化[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015.
- ZHAO DD. Study on Lamian Noodles dough properties and optimization of dough making technology [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015.
- [33] 张影全, 师振强, 赵博, 等. 小麦粉面团形成过程水分状态及其比例变化[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(15): 299–306.
- ZHANG YQ, SHI ZQ, ZHAO B, *et al.* Changes of water status and proportion during wheat flour dough mixing [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2020, 36(15): 299–306.
- [34] 汪磊, 陈洁, 吕莹果, 等. 谷朊粉对烩面面团流变学性质及烩面品质的影响研究[J]. *食品科技*, 2015, (6): 182–185.
- WANG L, CHEN J, LV YG, *et al.* Effects of gluten on dough rheological properties and quality of stewed noodles [J]. *Food Sci Technol*, 2015, (6): 182–185.
- [35] 汪磊, 陈洁, 吕莹果, 等. 响应面法优化烩面加工工艺的研究[J]. *河南工业大学学报*, 2015, 36(4): 63–68.
- WANG L, CHEN J, LV YG, *et al.* Optimization on processing technology of stewed noodles by response surface methodology [J]. *J Henan Univ Technol*, 2015, 36(4): 63–68.
- [36] 杨玉玲. 作用力方式和醒发过程对面团特性及面条品质影响机理研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.
- YANG YL. Study on the influence mechanism of force mode and proofing process on dough characteristics and noodle quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022.
- [37] LIU S, LIU Q, LI X, *et al.* Effects of dough resting time on the development of gluten network in different sheeting directions and the textural properties of noodle dough [J]. *LWT*, 2021, 141(2021): 1–7.
- [38] 张艳艳, 李银丽, 吴萌萌, 等. 超声波对醒面过程中面团流变学特性、水分分布及蛋白二级结构的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(21): 72–77.
- ZHAGN YY, LI YL, WU MM, *et al.* Effects of ultrasonic wave on rheological properties, moisture distribution and protein secondary structure of dough during dough warping [J]. *Food Sci*, 2018, 39(21): 72–77.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



张小芳, 硕士, 高级实验师, 主要研究方向为功能性食品及发酵制品研究。
E-mail: 449002463@qq.com



秦令祥, 副教授, 主要研究方向为功能成分提取与应用研究。
E-mail: 10663123@qq.com