

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.02.017

王金鹏, 路琪帅, 李宏雁, 等. 热烫处理对全麦生鲜面品质及贮藏稳定性的影响[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(2): 120-128.

WANG J P, LU Q S, LI H Y, et al. Effect of hot blanching treatment on the quality and storage stability of whole-wheat fresh noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(2): 120-128.

# 热烫处理对全麦生鲜面品质及贮藏稳定性的影响

王金鹏<sup>1,2</sup>, 路琪帅<sup>1</sup>, 李宏雁<sup>3</sup>, 孙纯锐<sup>2</sup>, 侯汉学<sup>4</sup>,  
李曼<sup>1</sup>, 马萌<sup>1</sup>✉, 孙庆杰<sup>1</sup>

1. 青岛农业大学 食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109;
2. 诸城兴贸玉米开发有限公司, 山东 潍坊 262200;
3. 菏泽华瑞面业有限公司, 山东 菏泽 266109;
4. 山东农业大学 食品科学与工程学院, 山东 泰安 271018)

**摘要:** 为改善全麦制品的品质和贮藏稳定性, 探究了不同温度瞬时热烫和面处理 (60~90 °C) 对全麦生鲜面品质、微观特征及贮藏稳定性的影响。与空白 (25 °C) 相比, 经过热烫处理的全麦生鲜面蒸煮损失和吸水率显著降低, 面片纵向拉伸强度提高; 90 °C 处理组的煮后硬度和咀嚼性增加。扫描电子显微镜图像显示, 热烫处理所制备的全麦生鲜面表面更加致密, 随温度的升高面筋网络团聚现象更明显, 与淀粉颗粒结合更加紧密; 淀粉颗粒形态完整, 未发生明显溶胀。热烫处理使全麦生鲜面中面筋蛋白聚合程度增加, 谷蛋白-醇溶蛋白聚集体生成量随处理温度的上升显著提高;  $\alpha$ -螺旋和无规则卷含量增加,  $\beta$ -转角的含量减少。此外, 80 °C 以上热烫处理后全麦生鲜面初始菌落总数显著降低, 货架期延长 2 倍以上, 并一定程度上抑制生鲜面褐变。

**关键词:** 全麦生鲜面; 热烫处理; 品质特性; 面筋蛋白; 贮藏

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)02-0120-09

网络首发时间: 2025-03-06 11:50:06

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20250304.1759.002>

收稿日期: 2024-07-19; 修回日期: 2024-07-27; 录用日期: 2024-07-29

**基金项目:** 国家自然科学基金“高加水面条加工中面筋蛋白组分的水分响应规律及对面团粘性的调控机制”、“面条加工过程中面筋蛋白组分分布与衍变规律及其质构调节效应”(32372262, 32072135); 中加食品营养与健康实验室开放课题“UV-B 胁迫适度发芽对小麦粉营养和加工品质的影响规律探究”(KFKT-ZJ-2106); 青岛农业大学高层次人才基金项目“H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 对 UV-B 促进大豆芽菜中异黄酮富集的作用机制”(1120038)

**Supported by:** National Natural Science Foundation of China “Response of Gluten Proteins to Water Variation during the Processing of High Water-added Noodles and the Regulation Mechanisms on Dough Adhesion”, “Dynamics of the Distribution and Transition of Gluten Proteins during Noodle Processing and the Regulation Effects on Noodle Texture Thereof” (No. 32372262, 32072135); the Open Project Program of China-Canada Joint Lab of Food Nutrition and Health “Effect of Limited Germination under UV-B Stress on the Nutrients Accumulation and Processing Quality of Wheat Flour” (No. KFKT-ZJ-2106); Advanced Talents Foundation of QAU “Mechanisms of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> in Enhancing UV-B Promoted Isoflavone Enrichment in Soybean Sprouts” (No. 1120038)

**第一作者:** 王金鹏, 男, 1972 年出生, 本科, 高级工程师, 研究方向为食品质量与安全, E-mail: info@xingmao.cn

**通信作者:** 马萌, 男, 1988 年出生, 博士, 副教授, 研究方向为农产品精深加工, E-mail: mameng@qau.edu.cn

## Effect of Hot Blanching Treatment on the Quality and Storage Stability of Whole-wheat Fresh Noodles

WANG Jin-peng<sup>1,2</sup>, LU Qi-shuai<sup>1</sup>, LI Hong-yan<sup>3</sup>, SUN Chun-rui<sup>2</sup>,  
 HOU Han-xue<sup>4</sup>, LI Man<sup>1</sup>, MA Meng<sup>1</sup>✉, SUN Qing-jie<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Zhucheng Xingmao Corn Developing Co., Ltd., Weifang, Shandong 262200, China; 3. Heze Huarui Wheat flour Industry Co., Ltd., Heze, Shandong 274000, China; 4. Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

**Abstract:** In order to improve the quality and storage stability of whole-wheat products, the effects of instantaneous hot blanching treatment at different temperatures (60~90 °C) on the macro quality, micro characteristics, and storage stability of whole-wheat fresh noodles were investigated. Compared with the control (25 °C), the cooking loss and water absorption of whole-wheat fresh noodles after hot blanching treatment were significantly reduced, and the longitudinal tensile strength increased. Hardness and chewiness of cooked noodles increased for 90 °C treated group. The images of scanning electron microscopy showed that the surface of whole-wheat fresh noodles prepared by hot blanching treatment was denser. The gluten network agglomeration was more obvious and the combination with starch granules was much closer with increasing temperature. The starch granules were intact and did not swell significantly. Hot blanching treatment increased the degree of gluten protein polymerization in whole-wheat fresh noodles, and the yield of glutenin-gliadin aggregates significantly increased with the increase of temperature. The content of  $\alpha$ -helix and random coil increased, and the content of  $\beta$ -angle decreased. In addition, the shelf life of whole wheat fresh noodles after hot blanching treatment above 80 °C was extended by more than 2 times, and the browning of fresh noodles can be suppressed to a certain extent.

**Key words:** whole-wheat fresh noodles; hot blanching treatment; quality characteristics; gluten protein; storage

全麦生鲜面是用全麦面粉制成的面条，因其制作方法简便，弹性较好，口感柔软爽滑，风味好而广受消费者喜爱。全麦生鲜面是全谷物与传统主食的结合，不仅满足人们对天然健康饮食的追求，还增加人们对于营养物质的摄取，改善人们的膳食结构<sup>[1]</sup>。然而生鲜面水分含量较高，微生物极易生长繁殖，麸皮等组分中聚集了小麦粉中大部分的微生物和氧化酶类，导致全麦制品稳定性差，更易产生变质、变色等现象<sup>[1]</sup>；麸皮、胚芽等组分的引入也会稀释面筋，给全麦生鲜面的食用品质带来不利影响。为提高全麦生鲜面的品质和贮藏稳定性，本研究借鉴热烫对果蔬保藏的作用<sup>[2]</sup>并受我国民间采用热烫处理制备特色面食启发，同时基于热诱导能够有效促进面筋蛋白适度聚合及淀粉组分有限溶胀，通过瞬时热烫和面处理制备全麦生鲜面，系统探究热烫处理对

全麦生鲜面品质、微观特征、组分结构特性及贮藏稳定性的影响，为提升全麦生鲜面的食用品质和贮藏稳定性提供理论指导。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与试剂

香雪全麦粉（蛋白质 11%、脂肪 2.5%、碳水化合物 60%、膳食纤维 10%）：中粮面业营销管理（北京）有限公司。

琼脂粉、二硫苏糖醇、十二烷基硫酸钠（Sodium dodecyl sulfate, SDS）、戊二醛、四氧化钨、乙酸异戊酯、乙醇、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠等：国药集团化学试剂有限公司。

#### 1.2 仪器与设备

AR224CN 型电子天平：奥豪斯仪器有限公司；Kitchen Aid 小型和面机：美国 Whirlpool Corp

公司; JMTD168/140 试验型面条机: 北京东孚久恒仪器技术有限公司; TU-1810S 型紫外可见分光光度计: 北京普析通用仪器有限责任公司; HBM-400B 型拍击式均质器: 天津市恒奥科技发展有限公司; TA.XTPlus 型质构仪: 英国 Stable Micro System 公司; CR410 型色彩色差仪: 日本柯尼卡、美能达公司; 5943B15259 型万能拉伸仪: 美国 Instron 公司; LC-20AT 型高效液相色谱仪: 日本岛津公司; NEXUS-760 型傅里叶变换红外光谱仪: 美国 Thermo 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 全麦生鲜面的制作

准确称取 100 g 全麦粉加入到和面机, 分别量取 35 mL 室温 (25 °C±1 °C, 对照)、60、70、80、90 °C 纯净水, 边低速搅拌边均匀地加入。先快速搅拌 2 min, 再低速搅拌 3 min。将得到的面团用试验型面条机以 1.5 mm 压辊间距压 3 次, 再分别以 1.3、1.1、0.9 mm 压辊间距各压 2 次, 最后切成 1 mm 宽、0.9 mm 厚、20 cm 长的面条。将制得的 5 种不同的全麦生鲜面条样品装入自封袋中, 置于室温下保存。

#### 1.3.2 全麦生鲜面吸水率的测定

取 20 根全麦生鲜面, 称重 ( $M_1$ , g)。放入装有 450 mL 去离子水的锅中煮 4 min (最佳煮面时间), 保持微沸状态, 煮好后将面条捞出放入 4 °C 去离子水中冷却 1 min, 然后用滤纸吸取面条表面的水分后, 称重 ( $M_2$ , g)。

吸水率计算公式:

$$\text{面条吸水率 (\%)} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad \text{式 (1)}$$

#### 1.3.3 全麦生鲜面蒸煮损失的测定

将煮后的全麦生鲜面的面汤充分混匀后转移至烧杯中, 静置冷却至室温。用紫外可见分光光度计在 675 nm 下测定面汤的吸光度 (浊度), 测定时先用去离子水调零, 再将混匀的面汤倒入比色皿中, 以吸光值的大小表征蒸煮损失。

#### 1.3.4 全麦生鲜面质构参数的测定

取 25 根新鲜面条放入 450 mL 煮沸的蒸馏水中至最佳蒸煮时间 (4 min), 然后用蒸馏水冲洗 1 min。为了防止水分蒸发, 面条用滤纸吸收多余

的水分后用保鲜膜覆盖<sup>[3]</sup>。使用 P/36R 探头以 0.8 mm/s 的速度测量全质构 (Texture profile analysis, TPA) 参数, 压缩比为 75%, 间隔时间为 2, s。拉伸实验使用 A/SPR 探头以 2 mm/s 的测试速度、50 mm 的初始距离和 100 mm 的拉伸距离进行测量。剪切实验使用 A/LKB 探头, 测试速度为 0.8 mm/s, 压缩比为 90%, 触发力为 5 g。TPA 和剪切实验每次平行放置 3 根面条, 拉伸试验放置 1 根面条, 每个样品至少测试 6 次。

#### 1.3.5 面片拉伸强度的测定

按制作面条的方法压制面片, 压完后用剪刀在每个面片上横向/纵向分别剪 5 片 10 cm×2 cm 的小面片, 用塑封袋包好保存。用万能拉伸仪测定面片的拉伸强度。

#### 1.3.6 微观结构分析

全麦生鲜面表面微观结构采用扫描电子显微镜 (Scanning electron microscope, SEM) 进行观察。样品用 2.5% 的戊二醛溶液固定过夜, 用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液 (4 °C) 冲洗 4 次, 1% 的四氧化锇固定 2 h, 再次用 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液 (4 °C) 冲洗, 以不同体积分数的乙醇溶液 (30%、50%、70%、90% 和 100%) 梯度脱水, 乙酸异戊酯置换, 置换后的样品经临界点干燥后用离子溅射喷金处理, 置于样品台上观察, 比例尺为 100 μm, 放大倍数为 200 倍。

#### 1.3.7 分子排阻-高效液相凝胶色谱分析

采用分子排阻-高效液相凝胶色谱 (Size-exclusion high performance liquid chromatography, SE-HPLC) 法测定全麦生鲜面中蛋白质的溶解率和分子量分布。分别称取冻干磨粉过筛的面条样品 15 mg, 按照 Luo 等<sup>[4]</sup>的方法, 在 214 nm 波长下测定样品, 并计算峰面积。

#### 1.3.8 二级结构分析

样品的红外光谱图使用带有衰减全反射 (Attenuated total reflection, ATR) 附件的傅里叶红外光谱仪进行测定。取适量冻干磨粉过筛的生鲜面样品覆盖于 ATR 晶体上, 仪器测定参数设置为: 分辨率 4 cm<sup>-1</sup>, 扫描次数 32 次。测定时, 先进行空气背景采集, 再采集样品。使用 Origin 和 Peak Fit4.12 在酰胺 I 带 (1 600~1 700 cm<sup>-1</sup>) 求二

阶导和高斯去卷积对数据进行处理。得到不同二级结构所对应的峰面积，并计算样品中各二级结构所占的百分比。

### 1.3.9 菌落总数的测定

按照国家标准 GB 4789.2—2016《菌落总数测定》，将生鲜面（25 g）置于 0.85% 无菌生理盐水（225 mL）中，用均质器匀浆制成 1:10 的样品匀液吸取 1 mL 样品匀液于无菌平皿内，每个稀释度做两个平皿，及时取 15~20 mL 冷却至 46 °C 的平板计数琼脂培养基（放置于 46 °C±1 °C 恒温水浴箱中保温）倾注平皿，并转动平皿使其混合均匀。待琼脂凝固后，将平板翻转，（36±1）°C 培养（48±2）h 后进行观察计数。菌落形成单位（Colony forming units, CFU）由计算菌落总数（Total plate count, TPC）的公式计算，最终用  $\log_{10}$  CFU/g 来表示。该实验在无菌室采用超净工作台进行。

菌落总数计算公式：

$$N = \frac{\sum C}{(n_1 + 0.1 \times n_2)d} \quad \text{式(2)}$$

式中，N——样品中菌落数； $\sum C$ ——平板（含适宜范围菌落数的平板）菌落数之和； $n_1$ ——第一稀释度（低稀释倍数）平板个数； $n_2$ ——第二稀释度（高稀释倍数）平板个数；d——稀释因子（第一稀释度）。

### 1.3.10 面片色泽的测定

按制作面条的方法压制面片，压完后用剪刀

在每个面片上分别剪 3 片 10 cm×5 cm 的小面片，用色差仪测定其颜色，在每个小面片上取 3 个位置进行测定，记录面片的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值。每隔 12 h 测一次面片色泽，测量 48 h 内面片的颜色变化。

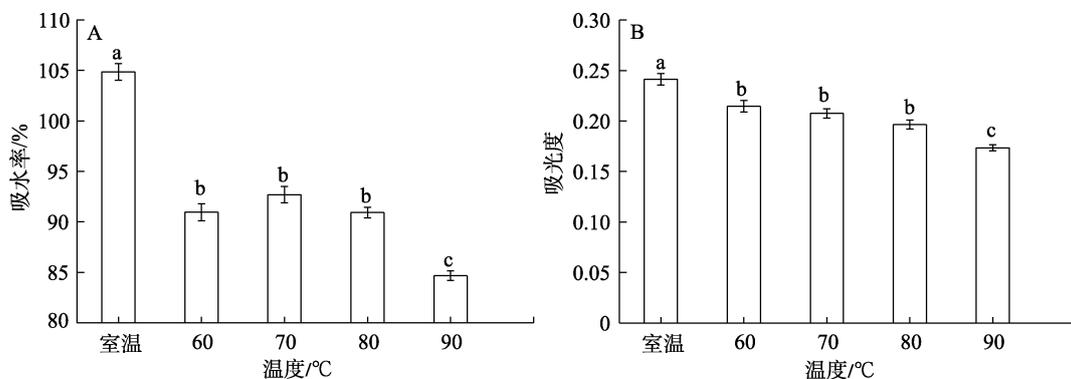
## 1.4 数据处理

所有数据均为 3 次以上测定的平均值；折线图、柱状图的绘制采用 Origin8.5 和 Microsoft Excel；采用 SPSS20.0 来统计分析各项数据间的显著性和相关性；显著性分析中  $P < 0.05$  说明存在显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 热烫处理对全麦生鲜面吸水率和蒸煮损失的影响

热烫处理对全麦生鲜面吸水率及蒸煮损失的影响如图 1 所示。从图 1 (a) 中可以看出，经过热烫处理的全麦生鲜面与空白样品（室温）相比吸水率降低，特别是 90 °C 处理后，这可能是由于经热烫处理后生鲜面中部分淀粉已经适度溶胀，因此煮面过程中吸水率相对下降；图 1 (b) 的结果表明，随着和面水温度的升高，面汤浊度降低，说明生鲜面在蒸煮过程中游离出的干物质减少，相对应面条的蒸煮损失越少<sup>[5]</sup>。这可能是因为热烫处理诱导生鲜面中蛋白发生一定程度聚合，面筋网络结构加强，与适度溶胀的淀粉之间的相互作用加强，同时面筋网络局部固化，降低了吸水能力和溶解能力<sup>[6]</sup>。



注：A. 吸水率；B. 蒸煮损失。图中不同小写字母表示差异性显著（ $P < 0.05$ ），下同。

Note: A. water absorption; B. cooking loss. Different lowercase letters indicated significantly differences ( $P < 0.05$ ), the same as below.

图 1 热烫处理对全麦生鲜面蒸煮特性的影响

Fig.1 Effect of hot blanching treatment on the water absorption and cooking loss of whole-wheat fresh noodles

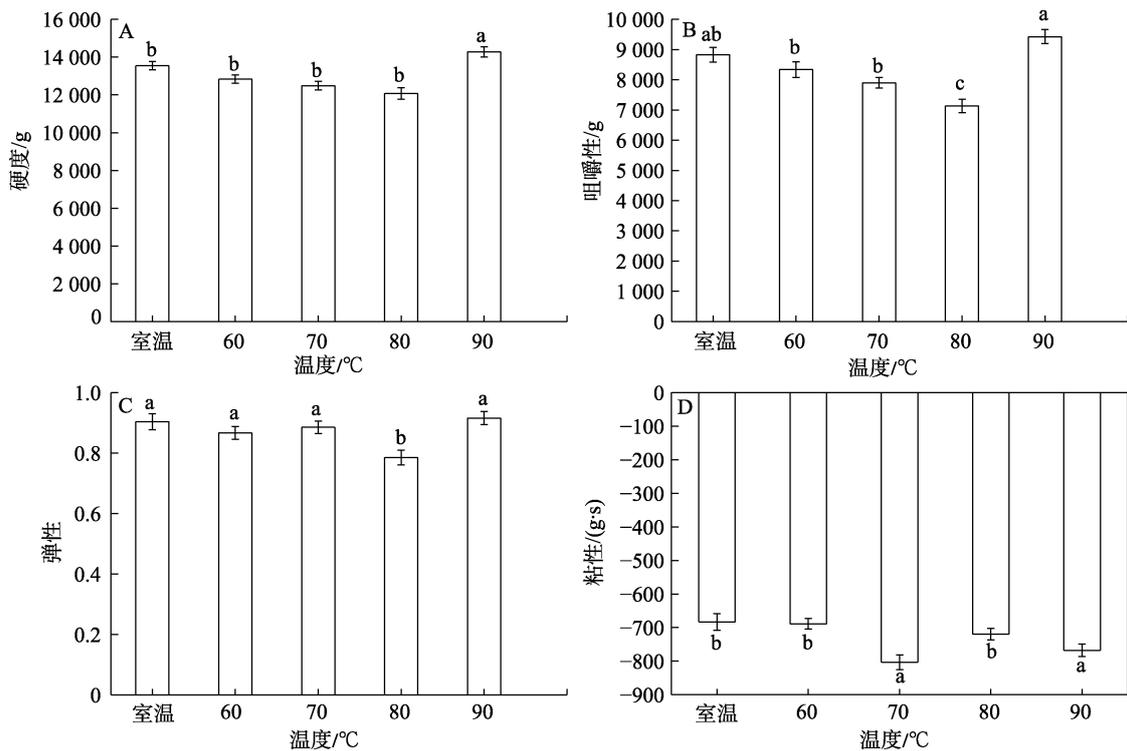
### 2.2 热烫处理对全麦生鲜面质构品质的影响

热烫处理对全麦生鲜面蒸煮后质构参数的影响如图 2 所示。经过热烫处理后面条的硬度、咀嚼性都随着和面水温度升高略有下降；但当水温升高到 90 °C 时，生鲜面的硬度、咀嚼性均显著增加，而热烫处理对面条煮后的弹性、粘性都没有显著的影响。这可能是因为 90 °C 处理使面筋蛋白及其亚组分（麦谷蛋白与麦醇溶蛋白）发生

较大程度的聚集，形成了刚性较强的网络结构<sup>[3]</sup>，因而其硬度增大，且较硬的面条往往更具咀嚼性。

### 2.3 热烫处理对全麦生鲜面拉伸特性的影响

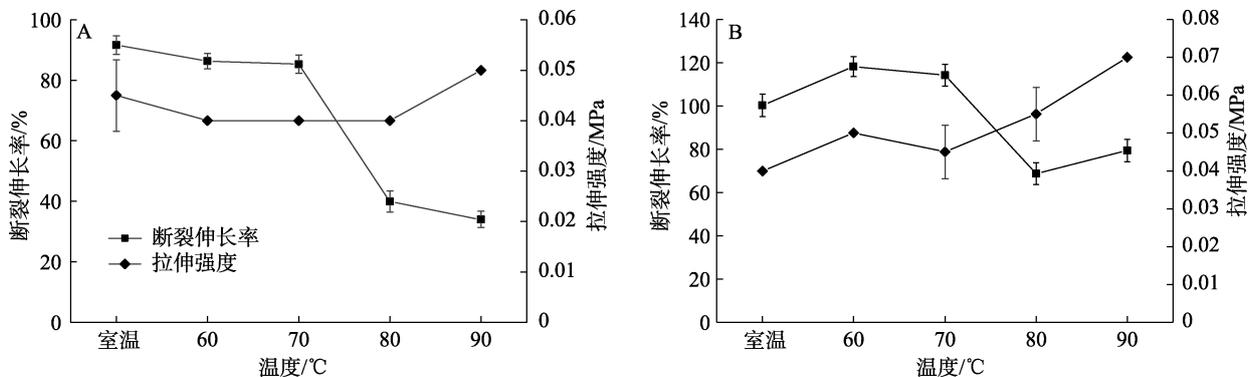
图 3 所示为热烫处理后全麦生鲜面片的横向和纵向拉伸特性。从图中可以看出，总体来说，热烫温度较高时（80 °C 以上），生鲜面片的横向和纵向拉伸强度均显著提升，断裂伸长率显著下降。纵向拉伸特性对温度变化更为敏感，60 °C 和



注：A. 硬度；B. 咀嚼性；C. 弹性；D. 粘性。  
Note: A. hardness; B. chewiness; C. elasticity; D. adhesiveness.

图 2 热烫处理对生鲜面质构品质的影响

Fig. 2 Effect of hot blanching treatment on textural quality of whole-wheat fresh noodles



注：A. 横向；B. 纵向。  
Note: A. transverse; B. longitudinal.

图 3 热烫处理对生鲜面拉伸特性的影响

Fig. 3 Effect of hot blanching treatment on the tensile properties of whole-wheat fresh noodles

70 °C 热烫处理的生鲜面片纵向拉伸强度和断裂伸长率均有所上升, 说明温度适当升高使得大分子聚合物片段趋于较为有序、稳定的排列, 形成了密度较高的立体网状结构<sup>[7]</sup>。而过高的温度则迅速使蛋白聚集, 网络韧性强而延伸性下降, 同时面筋蛋白与淀粉的混合容易不充分, 导致拉伸强度虽有所增强, 但断裂伸长率降低。

#### 2.4 热烫处理全麦生鲜面表面微观结构变化

热烫处理和面所制得的全麦生鲜面表面微观结构变化如图 4 所示。经不同温度热烫处理的全

麦生鲜面中淀粉颗粒均能够维持原有的颗粒形貌, 未发生明显溶胀与破裂, 说明瞬时热烫处理并未造成大量淀粉颗粒糊化。其次, 从 SEM 图像可以明显看出, 经热烫处理和面后生鲜面表面更加致密, 60 °C 处理即能达到明显效果。随着瞬时热烫温度的升高, 面筋蛋白网络团聚现象更明显, 与淀粉颗粒结合更加紧密, 说明适度的热烫处理和面能够使全麦面团及面条质地得到改善, 这也能从微观结构的角度进一步解释热烫处理后全麦生鲜面吸水率和蒸煮损失的下降。

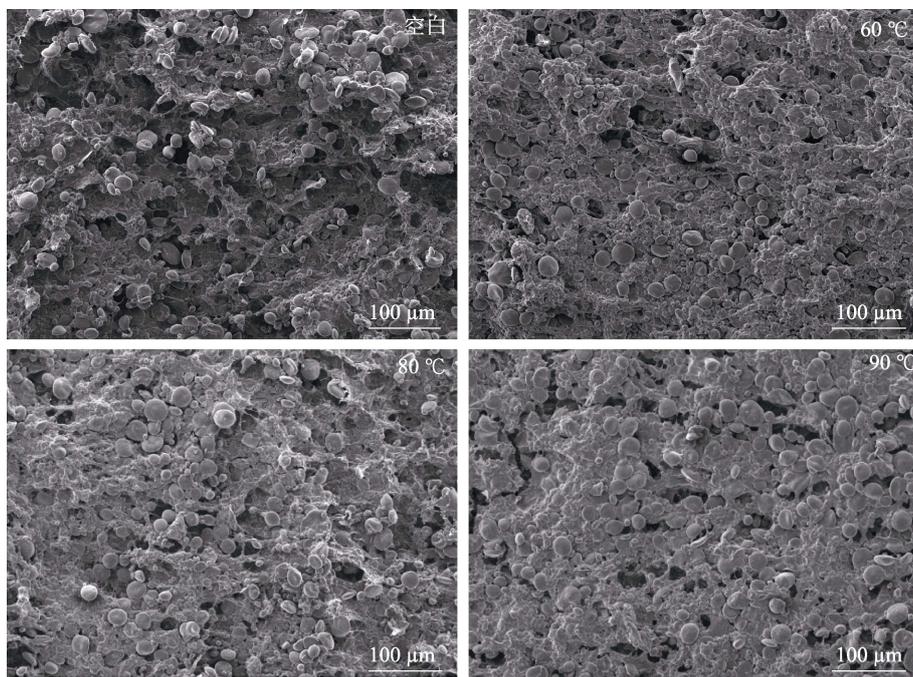


图 4 热烫处理全麦生鲜面表面微观结构图

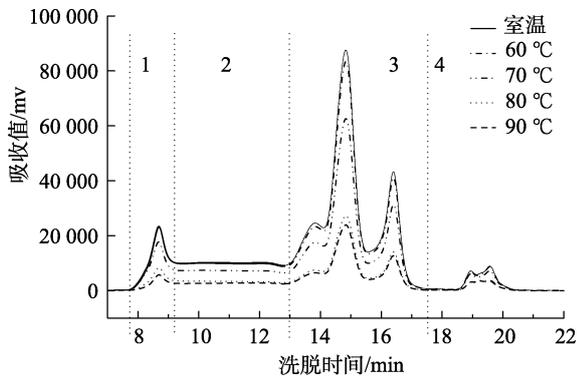
Fig. 4 SEM images of surface of hot blanching treated whole-wheat fresh noodles

#### 2.5 热烫处理对全麦生鲜面中蛋白质分子量分布变化的影响

热烫处理全麦生鲜面中蛋白组分的 SE-HPLC 图谱如图 5 所示。在面条制品的加工过程中, 小麦蛋白经过一系列复杂的解聚和再聚合, 决定了面条的食用品质<sup>[8]</sup>。热处理会导致二硫键或者是其他非共价键的形成, 也会导致蛋白组分的构象发生变化。麦谷蛋白是由多个亚基通过分子间二硫键交联形成的多聚体<sup>[9]</sup>, 能够增强面团强度、改善面条质地, 对产品的品质有着决定性作用; SE-HPLC 可以很好地指示加工过程面条中蛋白质分子交联度的变化。

全麦生鲜面中蛋白质的 SE-HPLC 图谱可分为四个部分, 包括大麦谷蛋白聚合物(第一个峰)、中等麦谷蛋白聚合物(第二个峰)、单体蛋白(第三个峰)、肽和氨基酸(第四个峰)<sup>[4]</sup>。在非还原模式下, 经过热烫处理的样品与空白样品相比峰高和峰面积都减小, 且随着和面水温度的升高, 峰高和峰面积逐渐减小。这表明, 随着热烫处理温度的升高, 游离—SH 热诱导交联生成更多的二硫键(S—S), 促进了麦谷蛋白交联聚合反应的进行, 面筋蛋白聚合度增加, 相对分子量变大, 不能被 SDS 提取的谷蛋白-醇溶蛋白聚集体增加, 故而峰高和峰面积都减小, 这一结果也能更好地

解释随热烫处理温度的升高, 面片拉伸强度及煮后质构参数的变化。



注: 1: 大麦谷蛋白聚合物, 2: 中等麦谷蛋白聚合物, 3: 单体蛋白, 4: 肽和氨基酸。

Note: 1: large glutenin polymers, 2: medium glutenin polymers, 3: monomeric proteins, 4: peptides and amino.

图 5 热烫处理全麦生鲜面中蛋白组分的 SE-HPLC 分析

Fig. 5 SE-HPLC profiles of proteins in whole-wheat noodles produced by hot blanching treatment

## 2.6 热烫处理对全麦生鲜面中蛋白质二级结构变化的影响

热烫处理对全麦面条中蛋白质二级结构的影响如表 1 所示。蛋白质二级结构是多肽链通过氢键连接盘旋而形成的结构, 包括  $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -折叠、

$\beta$ -转角和无规则卷曲 4 种结构, 其中前两者为规则有序结构, 后两者相较于前两者表现的更加无序<sup>[10]</sup>。当蛋白质受到外界条件影响时, 蛋白质二级结构会发生一定程度的改变, 从而导致其功能特性发生变化。傅里叶红外图谱中酰胺 I 带的理论研究较为成熟, 常被用来分析蛋白质的二级结构<sup>[11]</sup>。在  $1\ 612\sim 1\ 614\ \text{cm}^{-1}$  和  $1\ 687\sim 1\ 690\ \text{cm}^{-1}$  波段范围内为  $\beta$ -折叠, 在  $1\ 629\sim 1\ 632\ \text{cm}^{-1}$  波段范围内为反向  $\beta$ -折叠, 在  $1\ 640\sim 1\ 650\ \text{cm}^{-1}$  波段范围内为无规则卷曲, 在  $1\ 650\sim 1\ 660\ \text{cm}^{-1}$  波段范围内为  $\alpha$ -螺旋, 在  $1\ 665\sim 1\ 671\ \text{cm}^{-1}$  为  $\beta$ -转角<sup>[12]</sup>。

由表 1 可知, 热烫处理使  $\alpha$ -螺旋的含量显著增多;  $\beta$ -转角的含量减少, 且显著少于室温组, 这表明在热烫处理下小麦蛋白质的二级结构存在氢键的相互转换。 $\beta$ -折叠的含量随温度变化不大, 只有处理温度为  $70\ \text{°C}$  时  $\beta$ -折叠的含量与室温条件下有显著性差异。 $60\ \text{°C}$  的处理温度对无规则卷曲的含量影响不大, 随着处理温度的升高, 无规则卷曲的含量显著增多, 这是因为加热破坏了蛋白质之间的结构, 使蛋白质分子内相互作用减弱, 有规则的肽链结构被打开, 呈松散状不规则的结构, 整个蛋白质的无序结构增加<sup>[11]</sup>。

表 1 热烫处理对全麦生鲜面中蛋白质二级结构变化的影响

Table 1 Effect of hot blanching treatment on protein secondary structure of whole-wheat noodles

温度	$\alpha$ -螺旋	$\beta$ -折叠	$\beta$ -转角	无规则卷曲	%
室温	15.20±0.26 <sup>a</sup>	2.57±0.03 <sup>a</sup>	11.28±0.03 <sup>b</sup>	2.57±0.03 <sup>a</sup>	
60 °C	16.67±0.73 <sup>b</sup>	2.66±0.03 <sup>ab</sup>	7.20±0.12 <sup>a</sup>	5.46±0.11 <sup>a</sup>	
70 °C	17.13±0.13 <sup>b</sup>	2.73±0.02 <sup>b</sup>	7.34±0.02 <sup>a</sup>	16.83±4.43 <sup>c</sup>	
80 °C	17.20±0.07 <sup>b</sup>	2.67±0.03 <sup>ab</sup>	7.27±0.01 <sup>a</sup>	15.20±0.26 <sup>bc</sup>	
90 °C	16.69±0.92 <sup>b</sup>	2.65 ±0.13 <sup>ab</sup>	6.67±0.98 <sup>a</sup>	11.28±5.98 <sup>b</sup>	

注: 同列不同小写字母表示差异性显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters within the same column represent significant differences ( $P<0.05$ ).

## 2.7 热烫处理对全麦生鲜面贮藏稳定性的影响

### 2.7.1 贮藏过程中菌落总数的变化

热烫处理和面所制备的全麦生鲜面贮藏过程中菌落总数的变化如图 6 所示。首先, 随着热烫处理温度的升高, 制备的生鲜面初始 TPC 逐渐降低,  $70\ \text{°C}$  以上时可降低 1 个数量级。在贮藏期间, 空白组 TPC 迅速增加, 在 24 h 后即超过  $6\ \text{lgCFU/g}$ 。热烫处理后的样品在 0~12 h 期间显示出与对照相比显著降低的微生物生长速率, 一是

由于热烫处理后初始微生物含量较低, 二是因为热烫处理对微生物细胞的破坏作用, 从而导致微生物生长的滞后期延长。随着贮藏时间的延长, 样品间 TPC 的差异逐渐减小, 48 h 后热烫处理样品的 TPC 均达到  $6\ \text{lgCFU/g}$ , 表明随着营养物质的消耗和个体竞争, 微生物的生长逐渐受到抑制。由此可见, 适当的热烫处理和面能够将全麦生鲜面的货架期延长 2 倍以上, 有利于全麦生鲜面的保藏。然而, 由于生鲜面条是极易腐败变质的食

品, 其水分和营养物质含量高, 因此还应结合其他保鲜技术, 以进一步延长全麦生鲜面的货架期, 确保其工业化生产和销售。

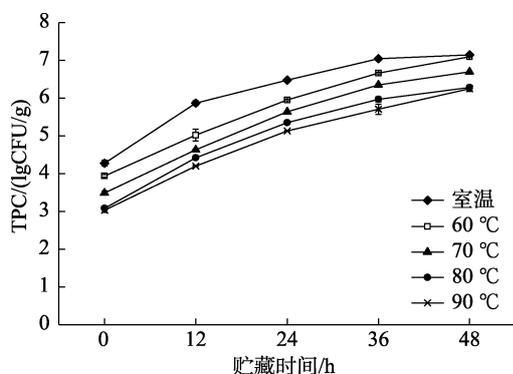


图 6 热烫处理对全麦生鲜面贮藏过程中菌落总数变化的影响  
 Fig. 6 Effect of hot blanching treatment on the changes in TPC of whole-wheat fresh noodles

### 2.7.2 贮藏过程中的色泽变化

热烫处理全麦生鲜面贮藏过程中色泽变化的影响如图 7 所示。全麦生鲜面含水量高, 且酚类物质及氧化酶类活性均更高, 贮藏过程中的氧化褐变也是影响其贮藏品质和可销售性的关键因素<sup>[1]</sup>。生鲜面色度测定中  $L^*$  值代表白度和亮度, 是表征其褐变的有效指标<sup>[3]</sup>。热烫处理会导致全麦生鲜面片的初始  $L^*$  值下降, 这主要与热诱导的蛋白聚合和淀粉有限溶胀有关<sup>[13]</sup>, 其次, 热烫可能会诱导少量羰氨反应, 导致颜色加深。随着贮藏时间的延长, 生鲜面的  $L^*$  值均逐渐下降, 但热烫处理样品的  $L^*$  值下降的程度逐渐降低, 特别是在褐变速率最高的前 24 h 内, 热烫处理可破坏生鲜面中多酚氧化酶的结构, 钝化其活性, 从而延缓了生鲜面的褐变<sup>[14]</sup>。

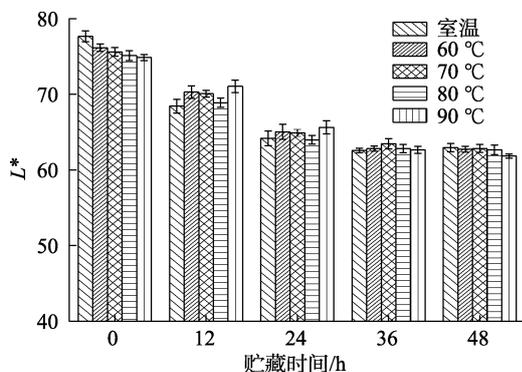


图 7 热烫处理全麦生鲜面贮藏过程中  $L^*$  值的变化  
 Fig. 7 Changes in  $L^*$  value of hot blanching treated whole-wheat fresh noodles during storage

## 3 结论

本研究系统探讨了不同温度瞬时热烫和面处理对全麦生鲜面品质、微观特征及贮藏稳定性的影响。研究表明经热烫处理后全麦生鲜面的蒸煮损失和吸水率显著降低, 蒸煮特性得到改善; 一定热烫温度处理下面片横向和纵向拉伸强度提高; 90 °C 处理组生鲜面煮后硬度和咀嚼性增加。热烫处理所制备的全麦生鲜面中淀粉颗粒形态完整, 说明瞬时热烫处理并未引起明显的淀粉颗粒溶胀与破裂; 同时热烫处理全麦生鲜面表面更加致密, 面筋网络与淀粉颗粒结合更加紧密。热烫处理使全麦生鲜面中面筋蛋白发生明显聚合, 谷蛋白-醇溶蛋白聚集体生成量显著提高, 说明蛋白组分对热烫处理更加敏感; 此外, 80 °C 以上热烫处理后能有效降低全麦生鲜面中微生物含量, 抑制多酚氧化酶活性, 将其货架期延长 2 倍以上。因此, 热烫处理和面可以作为一种提高全麦生鲜面制品品质及贮藏稳定性的有效手段。

## 参考文献:

- [1] LI M, SUN Q J, ZHU K X. Delineating the quality and component changes of whole-wheat flour and storage stability of fresh noodles induced by microwave treatment[J]. LWT, 2017, 84, 378-384.
- [2] 毕秀芳, 谢玲, 刘晓翠, 等. 热烫处理对鲜切根茎菜品质的影响[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2019, 38 (4): 45-49.  
 BI X F, XIE L, LIU X C, et al. Effect of blanching treatments on the quality of fresh-cut root vegetables[J]. Xihua University (Nat Sci Ed), 2019, 38(4): 45-49.
- [3] LI M, SUN Q J, HAN C W, et al. Comparative study of the quality characteristics of fresh noodles with regular salt and alkali and the underlying mechanisms[J]. Food Chemistry, 2018, 246: 335-342.
- [4] LUO Y, LI M, ZHU K X, et al. Heat-induced interaction between egg white protein and wheat gluten[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 699-708.
- [5] MA M, HAN C W, LI M, et al. Inhibiting effect of low-molecular weight polyols on the physico-chemical and structural deteriorations of gluten protein during storage of fresh noodles[J]. Food Chemistry, 2019, 287: 11-19.
- [6] LAMACCHIA C, LANDRISCINA L, D'AGNELLO P. Changes in wheat kernel proteins induced by microwave treatment[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 634-640.
- [7] 唐正弦, 贺玉婷. 温度和甘油对海藻酸钠/羧甲基纤维素钠膜

- 阻隔性的影响[J]. 轻工科技, 2015, 31(1): 25-27.
- TANG Z X, HE Y T. The effects of temperature and glycerol on sodium alginate/sodium carboxymethyl cellulose membrane barrier property[J]. Light Industry Science and Technology, 2015, 31(1): 25-27.
- [8] DON C, LICHTENDONK W J, PLIJTER J J, et al. The effect of mixing on glutenin particle properties: aggregation factors that affect gluten function in dough[J]. Journal of Cereal Science, 2005, 41(1): 69-83.
- [9] 高文川, 马猛, 王爱娜, 等. 不同品质类型小麦籽粒麦谷蛋白亚基及谷蛋白聚合物形成和累积动态[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1769-1776.
- GAO W C, MA M, WANG A N, et al. Accumulation dynamics of glutenin subunits and glutenin polymer in wheat cultivars with different qualities during grain development[J]. Acta Agron Sin, 2010, 36(10):1769-1776
- [10] 梁恽红, 卢涵, 张香美. 蛋白二、三级结构对鱼糜凝胶质构和持水力的影响及其测定方法研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(10): 87-96.
- LIANG Y H, LU H, ZHANG X M. Research progress on the effects of protein secondary and tertiary structures on texture and water holding capacity of surimi gel and protein structure determination methods[J]. Journal of Northeast University, 2021, 52(10): 87-96.
- [11] 张剑, 王亚运, 胡广甫, 等. 玉米粉对面条的蛋白质二级结构及微观结构的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2017, 12(6): 14-18.
- ZHANG J, WANG Y Y, HU G F, et al. Effects of corn flour on protein secondary structures and microstructure of the noodles[J]. Cereal & Feed Industry, 2017(6): 14-18.
- [12] WELLNER N, MILLS E N C, BROWNSEY G, et al. Changes in protein secondary structure during gluten deformation studied by dynamic Fourier transform infrared spectroscopy[J]. Biomacromolecules, 2005, 6(1): 255-261.
- [13] 胡新中, 张国权, 张正茂, 等. 小麦面粉、面条色泽与蛋白质组分的关系[J]. 作物学报, 2005, 31(4): 515-518.
- HU X Z, ZHANG G Q, ZHANG Z M, et al. Relationship between wheat flour color, noodle color and protein components [J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(4): 515-518.
- [14] LI M, ZHU K X, SUN Q J, et al. Quality characteristics, structural changes, and storage stability of semi-dried noodles induced by moderate dehydration[J]. Food Chemistry, 2016, 194, 797-804. 