

# 小麦淀粉糊化前浸泡处理对凉皮品质的影响

张波波<sup>1,2</sup>, 郑帅帅<sup>1</sup>, 艾志录<sup>1,2\*</sup>, 范超奇<sup>1</sup>, 程增辉<sup>1</sup>, 焦鸿钢<sup>1</sup>, 王超<sup>1</sup>, 范会平<sup>1,2</sup>

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002)

(2. 农业农村部大宗粮食加工重点实验室, 河南郑州 450002)

**摘要:** 因纯小麦淀粉黏着性差, 凉皮常使用小麦粉洗面筋后剩余的浆液蒸制, 导致其标准化和工业化程度较低。该研究考察小麦淀粉糊化前的浸泡处理(0~24 h)对凉皮品质的影响, 以期对凉皮加工提供一定理论支持。结果表明随浸泡时间延长, 凉皮感官评分及食用品质明显升高。与未浸泡组相比, 浸泡 24 h 后所得凉皮的弹性、储能模量和凉皮中淀粉的短程有序性及相对结晶度增加幅度最明显, 分别为 213.64%、122.01%、6.86% 和 41.68%, 即淀粉糊化前的浸泡处理, 促进淀粉凝胶的形成。扫描电子显微镜(SEM)图显示凉皮内孔隙宽度随着浸泡时间延长有减小趋势。另外与未浸泡组相比, 浸泡 24 h 时淀粉中直链淀粉含量明显降低约 16.58%, 而去除此时渗出的直链淀粉后再蒸制凉皮, 其弹性不仅没有增加反而降低 40.38%, 揭示浸泡促进小麦淀粉胶凝作用与直链淀粉渗出关系密切。总之小麦淀粉浸泡处理促进直链淀粉渗出, 能够改善凉皮食用品质, 该研究可为凉皮加工提供参考。

**关键词:** 小麦淀粉; 浸泡; 直链淀粉; 凉皮

文章编号: 1673-9078(2022)04-92-98

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.4.0803

## Effect of Soaking Treatment of Wheat Starch before Gelatinization on Liangpi Quality

ZHANG Bobo<sup>1,2</sup>, ZHENG Shuashuai<sup>1</sup>, AI Zhilu<sup>1,2\*</sup>, FAN Chaoqi<sup>1</sup>, CHENG Zenghui<sup>1</sup>, JIAO Honggang<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>, FAN Huiping<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(2. Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Owing to the poor adhesion of pure wheat starch (WS), Liangpi is traditionally made from wheat flour residues without gluten, and its production has not been standardized or industrialized. To provide theoretical support for the industrialization of Liangpi production, the effects of soaking WS in water (for 0–24 h) before gelatinization on the quality of Liangpi were examined. The sensory score and quality of Liangpi were remarkably increased after soaking WS for an extended duration. After soaking WS for 24 h, the elasticity, storage modulus, short-range molecular order structure level, and relative crystallinity of Liangpi increased significantly by 213.64%, 122.01%, 6.86%, and 41.68%, respectively, compared with the values in the control group (without soaking). These results suggest that soaking before gelatinization promotes the formation of WS gel. According to SEM images, the pore size of Liangpi decreases with an increased soaking duration. In addition, the content of amylose in WS granules decreases by approximately 16.58% after 24 h of soaking compared with that in the control group. However, the elasticity of Liangpi was reduced by 40.38% for WS alone when the soaking water was discarded. These results reveal that Liangpi formation is closely related to the amylase content in water after soaking. Therefore, the quality of Liangpi can be improved by soaking before gelatinization of WS to enhance amylose exudation. This study provides reference data for the processing of Liangpi.

引文格式:

张波波, 郑帅帅, 艾志录, 等. 小麦淀粉糊化前浸泡处理对凉皮品质的影响[J]. 现代食品科技, 2022, 38(4): 92-98, +105

ZHANG Bobo, ZHENG Shuashuai, AI Zhilu, et al. Effect of soaking treatment of wheat starch before gelatinization on Liangpi quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(4): 92-98, +105

收稿日期: 2021-07-27

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2016YFD0401303); “科创中原”科技经济融合行动(豫科协发[2020]92号)一业一科技服务团(16); 河南省高等学校重点科研项目(20B550006)

作者简介: 张波波(1988-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 米面制品加工及营养, E-mail: zhangbobohqwb@163.com

通讯作者: 艾志录(1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品精深加工, E-mail: zhilafod@sina.com

**Key words:** wheat starch; soaking; amylose; Liangpi

凉皮是一类淀粉凝胶食品,包括蒸面皮、酿皮、粉皮,是我国独具特色且被广受欢迎的传统小吃<sup>[1,2]</sup>。传统的凉皮制作方法是小麦粉进行洗面筋处理,再对留下的淀粉调浆处理,在水及热的作用下,淀粉经糊化和老化形成有一定弹性和强度的凝胶(即凉皮)<sup>[2]</sup>。该过程操作复杂,产品质量很大程度上依赖于个人经验,不同店铺甚至不同批次产品的差异较大;另外该传统手工生产方法,存在劳动力转换低、卫生不达标且产量不足的现状。所以利用高纯度的商业食品用小麦淀粉为原料,可以一定程度上解放生产力,提高凉皮质量稳定性及凉皮的产量。但目前关于小麦淀粉加工特性对凉皮品质影响的研究较少<sup>[3,4]</sup>,这限制了凉皮产业的标准化和工业化发展。

虽然有报道认为,不同粒度的小麦淀粉混合有助于制作品质良好的凉皮,但仍需先离心处理以分离获得不同粒度的淀粉<sup>[5]</sup>。另外虽然糊化小麦淀粉的热稳定性好<sup>[6]</sup>,但高纯度小麦淀粉黏着力较低<sup>[7]</sup>,所以高纯度小麦淀粉不适宜直接调浆以蒸制凉皮。而浸泡是一种安全又经济,且能改变淀粉组成或分子结构,以影响淀粉类食品感官品质的古老加工方法<sup>[8-10]</sup>;如对红薯淀粉进行1~12月的浸泡处理后制成的食物感官品质优于新鲜红薯淀粉<sup>[8]</sup>;对大米<sup>[9]</sup>、荞麦<sup>[10]</sup>籽粒进行4~6 d浸泡处理后,同样能够改善大米淀粉凝胶和荞麦淀粉弹性、咀嚼性和黏着性等特性。然而以上浸泡处理时间较长,一定程度上提高淀粉类食品生产成本;且长时间浸泡过程中会产生大量微生物,也容易造成不同批次食品感官品质不一致的情况。因此,本文拟采用短时间(0~24 h)的浸泡处理,以考察小麦淀粉浸泡处理与凉皮品质的关系。本研究旨在为获得稳定品质的凉皮及为凉皮产业的进一步推广提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料

小麦淀粉购买于滕州市宁源食品有限责任公司。直链淀粉含量检测试剂盒,北京 Solarbio 公司。

### 1.2 主要仪器设备

TA-XA PLUS 质构仪,英国 StableMicro-Systems 公司;DHR-2 流变仪,美国 TA 公司;BTP.8XL 型真空冷冻干燥机,美国 SP Scientific 公司;SU3500 型扫描电子显微镜,日立仪器有限公司;Bruker D8 Advance 型 X 射线衍射仪,布鲁克科技有限公司;TEN-SOR II

型傅里叶红外光谱仪,布鲁克科技有限公司。

### 1.3 小麦淀粉的浸泡处理

利用双蒸水配置含水量 60.00% (*m/m*) 的小麦淀粉混浊液,置于玻璃容器中并使用保鲜膜对容器进行密封,将密封好的小麦淀粉混浊液放于 25 °C 培养箱进行浸泡处理,浸泡时间分别为 0、2、4、8 和 24 h (样品相应编号也为 0~24 h)。

### 1.4 直链淀粉含量测定

浸泡一定时间的小麦淀粉,在 3000×g 条件下离心 5 min,弃去上清液,再加适量水将淀粉悬浮起来,于 3000×g 条件下再次离心 5 min,收集淀粉沉淀。将收集的淀粉沉淀在 45 °C 烘箱中干燥,研磨获得粉状颗粒。使用北京 Solarbio 公司的直链淀粉含量检测试剂盒,按说明书对小麦淀粉中直链淀粉的含量进行分析。以分析浸泡时间对小麦淀粉中直链淀粉含量的影响。

### 1.5 凉皮制作

将 1.3 中浸泡好的小麦淀粉搅拌均匀(不抛弃浸泡用水),并称取一定质量的淀粉浆平摊至直径为 20 cm 的平底托盘中。待蒸锅中水煮沸,将平底托盘放入蒸锅,盖上锅盖,大火蒸制 1 min,将托盘取出,放置冷水中直至托盘冷却,揭下凉皮立即放置 -40 °C 冰箱冷冻或备用。

### 1.6 凉皮感官分析

凉皮的感官分析由 10 名经过感官评定训练的人员通过使用五点量表评价法进行<sup>[5]</sup>。针对凉皮的风味、色泽、外观、咀嚼性、黏着性和整体评价等进行评分,分别为差(1)、中(2)、良(3)、好(4)、优(5)。最终得分为各个方面分数的平均值。

### 1.7 凉皮质构特性的测定

为了研究小麦淀粉浸泡处理对所得凉皮质构特性的影响,本研究使用质构分析仪的 TPA 模式中的 P50 探头,在 0.8 mm/s 的测前速率、测试速率和测后速率,间隔 5 s,触发力 5 g,压缩比为 70% 的条件下对凉皮进行分析。

### 1.8 凉皮流变特性的测定

为了研究小麦淀粉浸泡处理对所得凉皮流变特性的影响,参照 Comejo 等<sup>[11]</sup>的方法,采用 DHR-2 流变

仪,在振荡测试模式下,选取 40 mm 夹具,设置夹具与测试台距离 1000 nm,在 25 °C,频率为 0.1~10 Hz,应变为 1%的条件下进行检测。

### 1.9 傅里叶红外光谱分析

将蒸制并冷却至室温的凉皮,立即放置-40 °C冰箱进行冷冻处理,并随后将凉皮冷冻干燥,用研钵将冻干的凉皮研碎,过 200 目筛备用。取 2 mg 凉皮粉末与 200 mg 溴化钾混合研磨,压片法制备样品,室温下使用 FT-IR 在 400~4000  $\text{cm}^{-1}$  波长范围对样品进行扫描。

### 1.10 X-射线衍射测定

取 1.9 中冷冻干燥后的凉皮且过 200 目筛备用;取 20 mg 样品,采用 XRD 在扫描范围 5°~50°,管电压 40 kV,管电流为 40 mA、扫描速度为 5°/min 的条

件下测定。使用 Jade software 6.5 软件分析凉皮中淀粉的相对结晶度。

### 1.11 凉皮微观结构的测定

取 1.9 中冷冻干燥后的凉皮,喷金处理,置于扫描电子显微镜下,观察凉皮截面微观结构。

### 1.12 数据处理

所有数据采用 SPSS 20 数据分析软件进行显著性分析(Duncan)。图表采用 Origin 7.5 进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦淀粉浸泡处理对凉皮的质构特性和感官评分的影响

表 1 小麦淀粉浸泡处理对凉皮质构特性的影响

Table 1 Effect of soaking of wheat starch on texture characteristics of Liangpi

| 样品(浸泡时间)/h | 硬度/g                          | 弹性                      | 内聚性                     | 咀嚼性                            |
|------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 0          | 8362.98±1775.32 <sup>c</sup>  | 0.88±0.11 <sup>d</sup>  | 0.90±0.03 <sup>b</sup>  | 6880.94±2054.95 <sup>e</sup>   |
| 2          | 9365.17±1799.03 <sup>c</sup>  | 0.93±0.02 <sup>cd</sup> | 0.91±0.01 <sup>b</sup>  | 8563.09±1569.78 <sup>e</sup>   |
| 4          | 11895.14±2415.89 <sup>b</sup> | 1.10±0.13 <sup>bc</sup> | 0.92±0.02 <sup>ab</sup> | 12687.56±2161.99 <sup>b</sup>  |
| 8          | 13286.21±2725.85 <sup>a</sup> | 1.21±0.15 <sup>b</sup>  | 0.92±0.05 <sup>ab</sup> | 18374.93±5066.26 <sup>ab</sup> |
| 24         | 14384.01±2240.09 <sup>a</sup> | 2.76±0.35 <sup>a</sup>  | 0.92±0.01 <sup>ab</sup> | 36228.90±4151.92 <sup>a</sup>  |

注:同列右肩小写字母不同表示差异显著,  $p < 0.05$ ,下同。

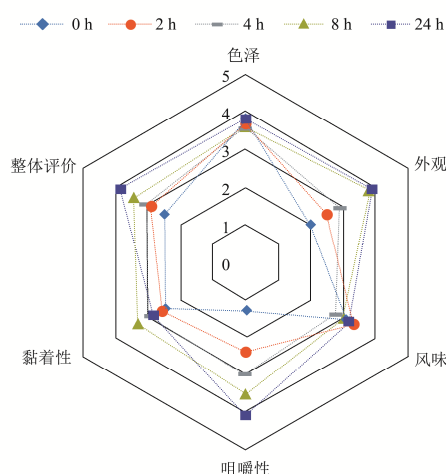


图 1 小麦淀粉浸泡处理对凉皮感官评分的影响

Fig.1 Effect of soaking of wheat starch on sensory evaluation of Liangpi

Son 等<sup>[12]</sup>和 Salehi<sup>[13]</sup>的研究认为,通过食品感官评分(主观评价)获得食物相应咀嚼性、韧性等评分和通过使用质构仪 TPA 模式(客观评价)测得的食物硬度、弹性、咀嚼性等数据有一定相关性。因此本实验拟通过考察凉皮质构特性(见表 1)及感官评分(见

图 1),探究小麦淀粉浸泡处理对凉皮感官品质的影响。

由表 1 可知,随小麦淀粉浸泡时间的延长,所蒸制凉皮的硬度、弹性和咀嚼性均有增加趋势( $p < 0.05$ ),尤其是浸泡 24 h 与未浸泡组(浸泡 0 h)小麦淀粉所制的凉皮相比分别增加了 72.00%、213.64%和 426.51%。有研究认为,在 28 °C 下大米浸泡处理(24 h)使全颗粒大米制成的米粉咀嚼性提高了 43.99%<sup>[9]</sup>;另外对荞麦籽粒浸泡处理(25 °C, 96 h)使荞麦面粉咀嚼性增加了 51.84%<sup>[10]</sup>。而本研究中高纯度小麦淀粉进行了 24 h 浸泡,却使凉皮咀嚼性的提高程度远远大于米粉和荞麦全粉。其原因或许与小麦淀粉、大米淀粉及荞麦淀粉的结构差异有关,也可能是因为本研究中研究对象是高纯度小麦淀粉凝胶产品,而大米米粉和荞麦全粉中可能含有较高含量的可抑制淀粉凝胶形成的蛋白、脂肪或其他物质<sup>[9,10]</sup>。总之本研究条件下小麦淀粉被水浸泡时间越久,所得凉皮耐牙齿剪切的力越大,凉皮中淀粉凝胶强度也越高。

五点评定量表法可用于从主观角度分析样品与传统凉皮间的相近性<sup>[5]</sup>。由图 1 可知,随小麦淀粉浸泡

时间延长,凉皮的外观、咀嚼性和整体评价均呈上升趋势,逐渐与传统凉皮优等级的品质接近,其中整体评价为 2.52~3.87 分。因此凉皮的整体评价与凉皮弹性、咀嚼性等数据随淀粉浸泡时间延长的变化趋势一致。且大米、荞麦籽粒浸泡后同样具有较好感官评分或食用品质<sup>[9,10]</sup>。即小麦淀粉的浸泡处理确实可以改善凉皮的感官品质。

## 2.2 小麦淀粉浸泡处理对凉皮流变学特性的影响

### 影响

为了分析小麦淀粉浸泡处理改善凉皮感官品质的原因,本实验以频率为变化因子在非破坏性区域内探究凉皮的储能模量 ( $G'$ ) 和损耗模量 ( $G''$ ) 变化,考察小麦淀粉浸泡处理后,凉皮的硬度和凝胶强度 ( $G'$ ) 及凉皮内部黏性特征 ( $G''$ ) 差异。结果如表 2 所示。

表 2 小麦淀粉浸泡处理对凉皮的动态流变特性影响

Table 2 Effect of soaking of wheat starch on dynamic rheological properties of Liangpi

| 样品编号 | 储能模量/Pa                      | 损耗模量/Pa                   | 损耗角正切(1 Hz)            |
|------|------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 0 h  | 1781.46±389.01 <sup>c</sup>  | 176.52±47.90 <sup>c</sup> | 0.10±0.01 <sup>b</sup> |
| 2 h  | 2809.11±580.63 <sup>bc</sup> | 305.00±71.94 <sup>b</sup> | 0.11±0.00 <sup>b</sup> |
| 4 h  | 3179.86±615.88 <sup>ab</sup> | 336.07±64.67 <sup>b</sup> | 0.11±0.00 <sup>b</sup> |
| 8 h  | 3249.14±186.02 <sup>ab</sup> | 369.73±33.26 <sup>b</sup> | 0.11±0.01 <sup>b</sup> |
| 24 h | 3955.08±695.17 <sup>a</sup>  | 510.01±95.91 <sup>a</sup> | 0.13±0.01 <sup>a</sup> |

由表 2 可知,本研究中凉皮的损耗角正切均小于 1。而损耗角正切值 ( $G''/G'$ ) 一定程度上表示凉皮的黏弹性<sup>[14]</sup>,这与凉皮是固态食品的事实相符。在振荡频率为 1 Hz 时,凉皮的  $G''$  随着小麦淀粉浸泡时间延长而增大。与未浸泡组相比,浸泡 24 h 后所得凉皮的  $G'$  和  $G''$  分别增加了 122.01% 和 189.02% ( $p < 0.05$ )。与之相似,浸泡处理 (0~21 d) 在改善荞麦全粉弹性和咀嚼性的同时,也使黏性提高 0%~871.05%<sup>[10]</sup>。即一定时间的小麦淀粉浸泡处理不仅提高了凉皮凝胶强度,同时也增加凉皮的黏性特征,从而使凉皮获得较好的粘弹性口感。

## 2.3 小麦淀粉浸泡处理对所得凉皮 FT-IR 和 XRD 图谱的影响

与此同时,淀粉凝胶结构有序性也可一定程度上反映淀粉凝胶形成的强度<sup>[15-18]</sup>。FT-IR 是分析淀粉材料化学官能团及化学键强弱的有效工具,也能提供淀

粉颗粒表面分子双螺旋的有序结构的信息<sup>[19,20]</sup>。如  $1047\text{ cm}^{-1}$  处的吸光度值表示淀粉的结晶区情况, $1022\text{ cm}^{-1}$  处吸光度值可表示淀粉的无定型区情况,所以  $R(1047/1022)$  值能体现淀粉短程有序的程度<sup>[21,22]</sup>。而 XRD 可用于分析淀粉相对结晶度及淀粉的长程有序性<sup>[23]</sup>。因此本研究结合使用 FT-IR 及 XRD 技术分析真空冷冻干燥后凉皮中淀粉结构有序性差异,以期进一步探究小麦淀粉浸泡处理对淀粉凝胶形成的影响。

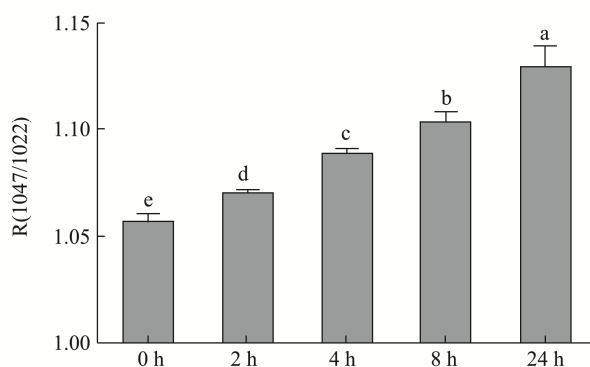
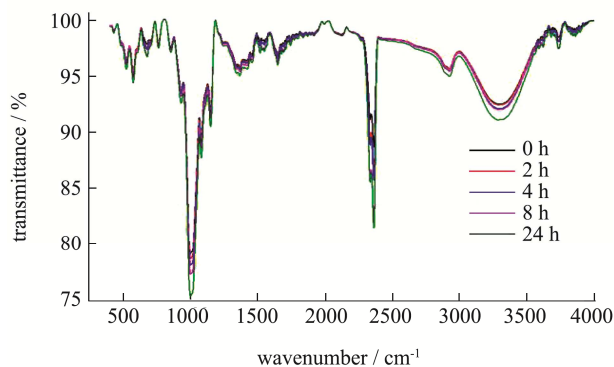


图 2 小麦淀粉浸泡处理对凉皮 FT-IR 图谱和  $R(1047/1022)$  值的影响

Fig.2 Effect of soaking of wheat starch on FT-IR map and  $R(1047/1022)$  value of Liangpi

由图 2 可知,随小麦淀粉浸泡时间延长,凉皮在  $3100\sim 3700\text{ cm}^{-1}$  波数范围的吸光度越高。而  $3100\sim 3700\text{ cm}^{-1}$  范围内的吸收峰显示着淀粉凝胶中氢键的水平<sup>[19]</sup>,本结果显示小麦淀粉浸泡后,蒸制的凉皮中淀粉凝胶结构中氢键水平显著增多。且结合图 2 和 3 可知,随小麦淀粉浸泡时间延长,凉皮中  $R(1047/1022)$  值、相对结晶度均明显增加,其中与未浸泡组相比,浸泡 24 h 后所得凉皮的  $R(1047/1022)$  值和相对结晶度分别增加了 6.86% 和 41.68% ( $p < 0.05$ )。而淀粉形成凝胶过程即糊化淀粉中直链淀粉在短期内重新形成氢键和聚集结晶的过程<sup>[24]</sup>。这些表明小麦淀粉浸泡处理改善凉皮中淀粉结构有序性,或许与围绕在淀粉颗粒外的直链淀粉含量相关。

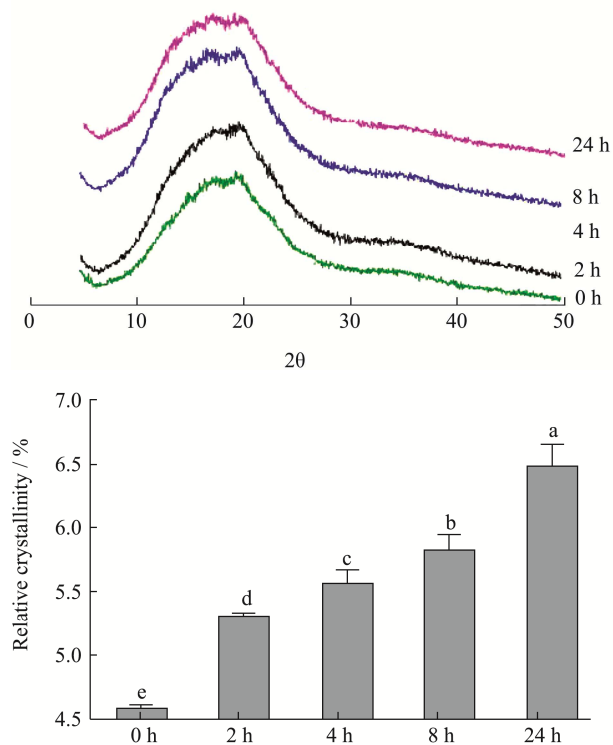


图3 小麦淀粉浸泡处理对凉皮相对结晶度的影响

Fig.3 Effect of soaking of wheat starch on relative crystallinity value of Liangpi

## 2.4 小麦淀粉浸泡处理对凉皮微观结构的影响

以上实验从凉皮感官品质、黏弹性和淀粉结构有序性等角度，证明小麦淀粉浸泡处理改善凉皮品质，促进凝胶形成，但对于凉皮中淀粉凝胶内部结构的影响仍需进一步研究。而扫描电镜可用于研究食品内部的微观结构，因此本文分析不同凉皮样品的 SEM 图，以期考察小麦淀粉浸泡时间对凉皮中淀粉凝胶网络结构的影响。

由图 4 可知，小麦淀粉经浸泡处理对凉皮内部微观结构影响很大。若小麦淀粉不进行浸泡就蒸制，则凉皮内部出现较大孔隙；随着浸泡时间（0~24 h）的延长，凉皮中孔隙越来越小，且凉皮内部凝胶结构也更显紧密。研究报道淀粉糊化前的吸水溶胀使淀粉颗粒更加饱满分布更均匀，或许有助于形成稳定坚实淀粉凝胶结构<sup>[25]</sup>。另外，研究认为浸泡处理因使大米或荞麦籽粒中蛋白脂肪等物质降解减少了对淀粉的包裹作用，从而加速糊化过程中淀粉颗粒膨胀及直链淀粉的渗出，是导致淀粉凝胶质地致密且强度增强的关键<sup>[9,10]</sup>。但是常温下发生于无定形区的淀粉吸水溶胀，也能引起直链淀粉从淀粉颗粒中游离<sup>[8,26]</sup>。因此，有理由认为糊化前后游离在淀粉颗粒外的直链淀粉应均

对淀粉凝胶类食品品质起着重要作用。

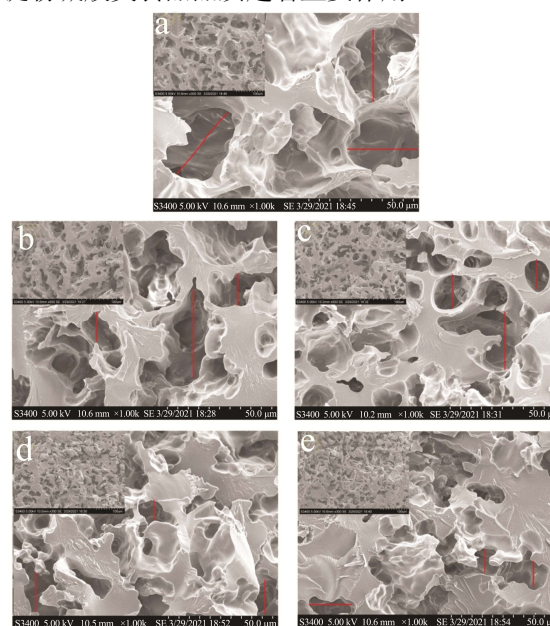


图4 小麦淀粉浸泡处理后凉皮截面的 SEM 图

Fig.4 SEM images of Liangpi after soaking at different time

注：a：浸泡 0 h；b：浸泡 2 h；c：浸泡 4 h；d：浸泡 8 h；e：浸泡 24 h；红线指凉皮内部孔洞的宽度。

## 2.5 浸泡引起直链淀粉渗出改善凉皮感官品质

为进一步考察小麦浸泡处理是否影响直链淀粉渗出及是否能参与凉皮中淀粉凝胶的形成过程，对浸泡不同时间的小麦淀粉进行离心、清洗、再次离心和低温干燥，以去除浸泡用水及其中可能渗出的直链淀粉。检测此时淀粉颗粒中直链淀粉含量（见图 5）并利用这些淀粉再蒸制凉皮，通过研究凉皮的质构特性（见表 3），探究浸泡过程中渗出的直链淀粉对凉皮感官品质的影响。

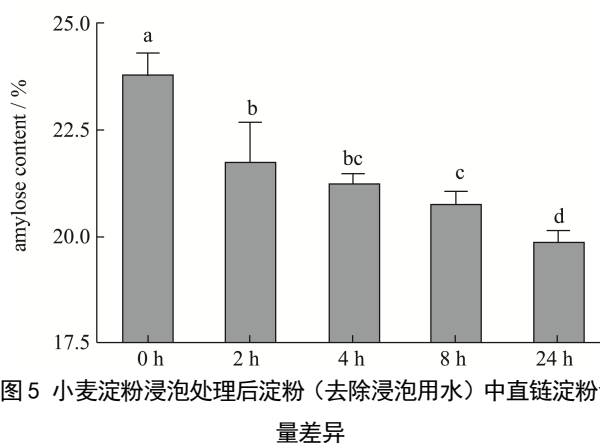


图5 小麦淀粉浸泡处理后淀粉（去除浸泡用水）中直链淀粉含量差异

Fig.5 Effect of soaking on amylose content of wheat starch without the soaking water

表3 除去浸泡用水后凉皮质构特性的差异

| 样品编号 (去除浸泡用水) | 硬度/g                          | 弹性                      | 内聚性                    | 咀嚼性                           |
|---------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 0 h           | 12750.30±1344.31 <sup>a</sup> | 1.04±0.20 <sup>a</sup>  | 0.87±0.04 <sup>a</sup> | 11364.11±971.09 <sup>a</sup>  |
| 2 h           | 11540.69±1202.86 <sup>a</sup> | 0.94±0.05 <sup>ab</sup> | 0.84±0.07 <sup>a</sup> | 9922.80±2106.70 <sup>ab</sup> |
| 4 h           | 9203.78±1389.33 <sup>b</sup>  | 0.68±0.17 <sup>bc</sup> | 0.90±0.06 <sup>a</sup> | 7408.19±1627.01 <sup>bc</sup> |
| 8 h           | 7587.39±1491.11 <sup>bc</sup> | 0.70±0.10 <sup>bc</sup> | 0.88±0.05 <sup>a</sup> | 6298.45±586.72 <sup>c</sup>   |
| 24 h          | 6852.56±1005.82 <sup>c</sup>  | 0.62±0.18 <sup>c</sup>  | 0.80±0.10 <sup>a</sup> | 5513.62±132.11 <sup>c</sup>   |

由图5可知,延长小麦淀粉的浸泡时间确实可以促进小麦淀粉颗粒中直链淀粉渗出,其中与未浸泡组相比,浸泡24 h后淀粉中直链淀粉含量降低了16.58%。文献报道红薯淀粉、荞麦及大米籽粒的浸泡处理均促进直链淀粉渗出<sup>[8,10,27]</sup>,且浸泡24 h的籼米中直链淀粉降低了27.32%<sup>[9]</sup>。本研究中小麦淀粉直链淀粉渗出程度没有那么大的原因或许与高纯度小麦淀粉提取过程中直链淀粉损失有关。总之浸泡处理确实仍可促进直链淀粉渗出。但浸泡用水中直链淀粉的含量是否是造成凉皮中淀粉凝胶强度差异显著的重要原因,尚需研究。

通过使用去除浸泡用水的小麦淀粉重新调浆、浸泡3 h(即淀粉溶胀程度一致)蒸制凉皮,此时直链淀粉含量明显降低的小麦淀粉蒸制所得凉皮的硬度、弹性和咀嚼性也相应显著降低。其中与未浸泡组相比,浸泡24 h后所得凉皮的硬度、弹性、咀嚼性分别降低了46.26%、40.38%和51.48%。与本研究相似,大米籽粒浸泡后去除浸泡用水并提取大米淀粉,其淀粉凝胶强度(以G'值为例)与未浸泡处理的相比降低约40.43%<sup>[27]</sup>。说明尽管淀粉溶胀程度或许一定程度上能影响凝胶品质<sup>[25]</sup>,但浸泡用水中直链淀粉含量差异确实和凉皮中淀粉凝胶强度有密切相关,是造成凉皮品质不同的主要原因。

综上,小麦淀粉浸泡处理引起的直链淀粉渗出可改善凉皮品质。但考虑到食品的安全性,本研究也对浸泡后淀粉浑浊液pH进行了分析。发现浸泡2~24 h后,体系pH值没有明显差异,而>24 h时pH显著降低(未显示数据)。提示淀粉进行更长时间浸泡后,凉皮可能会存在较多初始微生物而更易变质。建议综合考虑凉皮品质、时间成本和潜在食用风险对小麦淀粉进行适当浸泡处理以获得相应品质的产品。

### 3 结论

凉皮生产过程的标准化程度是促进凉皮产业发展的重要环节。浸泡处理不仅有效改善淀粉类食品食用品质也仅需较低成本,因而被受科研工作者关注。本文对小麦淀粉进行浸泡(0、2、4、8、24 h)处理并

蒸制凉皮,结果表明五组凉皮的整体感官评分在2.52~3.87,其中浸泡时间越久凉皮感官评分越高。随着淀粉浸泡时间延长,凉皮质弹性、储能模量和损耗模量均有增加趋势,且与未浸泡组相比,浸泡24 h组的凉皮中以上指标分别增加了213.64%、122.01%和189.02%;另外浸泡24 h组的凉皮中淀粉短程有序性和相对结晶度也分别显著增加6.86%和41.68%。即淀粉浸泡处理显著提高凉皮感官品质并改善淀粉凝胶强度。微观结构的结果表明,不同凉皮样品中孔隙大小存在差异且随小麦淀粉浸泡时间延长有变小趋势。总体来说,在0~24 h范围内延长淀粉浸泡时间,凉皮有更好的凝胶结构和食用品质。而小麦淀粉浸泡处理引起的直链淀粉渗出对于凉皮品质的形成有积极作用。研究结果初步探究了小麦淀粉浸泡时间与凉皮品质的关系。以上发现可以为凉皮标准化和工业化提供技术支撑和理论依据。

### 参考文献

- [1] 孙川惠,武强,张炳文.淀粉凝胶食品-粉皮、凉粉的研究进展[J].中国食物与营养,2016,22(1):40-43  
SUN Chuanhui, WU Qiang, ZHANG Bingwen. Research progress of starch gel foods - sheet jelly and jelly [J]. Food and Nutrition in China, 2016, 2(1): 40-43
- [2] 张雷.传统蒸面皮工艺条件优化及品质变化研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016  
ZHANG Lei. Traditional Zhengmianpi process conditions optimization and the quality change [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2016
- [3] 林致通.凉皮食用品质标准建立和方便凉皮生产技术研究[D].重庆:西南大学,2020  
LIN Zhitong. Establishment of Liangpi edible quality standards and research on convenient Liangpi production technology [D]. Chongqing: Southwest University, 2020
- [4] 王艳,孙丽枫,王敏群,等.兰州市地方小吃酿皮中柠檬黄色素含量的调查分析[J].中国卫生检验杂志,2011,21(11):2760-2762  
WANG Yan, SUN Lifeng, WANG Minqun, et al. The

- analysis of tartrazine content in the local snack Niangpi in Lanzhou [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2011, 21(11): 2760-2762
- [5] 夏锐,吴思佳,袁甜甜,等.小麦粉洗面筋后的不同粒度组分复配对酿皮品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(6):33-40,48  
XIA Rui, WU Sijia, YUAN Tiantian, et al. Effect of different size components of wheat flour washed out residual on Niangpi quality [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(6): 33-40, 48
- [6] 陈颖,陈勉,王璐,等.几种淀粉的相对分子量分布、微晶结构及形貌的研究[J].中国粮油学报,2014,29(3):19-23  
CHEN Ying, CHEN Mian, WANG Huan. Molecular weight distribution, structures and microscopic morphology of several different starches [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(3): 19-23
- [7] Bemiller James-N, Whistler Roy-L. Starch Chemistry and Technology 3rd Ed [M]. Elsevier: 2009
- [8] YE Fayin, LI Xiao, LIANG Yuanyuan, et al. Spontaneous fermentation tunes the physicochemical properties of sweet potato starch by modifying the structure of starch molecules [J]. Carbohydrate Polymers, 2019, 213: 79-88
- [9] 蒋紫妍.自然发酵对大米理化特性与米粉品质影响的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2016  
JIANG Ziyan. Research on properties and effects of natural fermented rice flour and rice starch [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016
- [10] 张吉文.发酵法应用于荞麦改性的研究[D].长春:吉林农业大学,2011  
ZHANG Jiwen. Improving properties of buckwheat powder by *Lactobacillus* fermentation [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2011
- [11] Yaeel Comejo-ramirez, Francisco Cinco-moroyoqui, Elizabeth Carvajal-millán, et al. Dynamic rheology and microstructure of starch gels affected by triticale genomic composition and developing stage [J]. International Agrophysics, 2019, 33(1): 21-30
- [12] Shim Son-eun, Kim Hee-sup. Comparison of various cooked wheat noodles from four countries in terms of texture and sensory characteristics [J]. Journal of the Korean Society of Food Culture, 2014, 29: 454-463
- [13] Salehi Fakhreddin. Effect of common and new gums on the quality, physical, and textural properties of bakery products: a review [J]. Journal of Texture Studies, 2020, 51(2): 361-370
- [14] 刘敏,赵欣,阚建全,等.黄原胶对莲藕淀粉糊化性质及流变与质构特性的影响[J].食品科学,2018,39(6):45-50  
LIU Min, ZHAO Xin, KAN Jianquan, et al. Effect of xanthan gum on pasting, rheological and texture properties of lotus root starch [J]. Food Science, 2018, 39(6): 45-50
- [15] SUN Binghua, TIAN Yaoqi, WEI Benxi, et al. Effect of reaction solvents on the multi-scale structure of potato starch during acid treatment [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 97: 67-75
- [16] Shevkani Khetan, Singh Narpinder, Bajaj Ritika, et al. Wheat starch production, structure, functionality and applications - a review [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2017, 52(1): 38-58
- [17] TANG Chiming, Copeland Les. Investigation of starch retrogradation using atomic force microscopy [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 70(1): 1-7
- [18] Nagataki Atsuko, Tomita Haruo, Himeda Yuki, et al. A quantification method of retrogradation for cooked rice based on a single isolated peak in X-ray diffraction [J]. Journal of Cereal science, 2017, 79: 80-85
- [19] Areli Flores-morales, Manuel Jiménez-estrada, Rosalva Mora-escobedo. Determination of the structural changes by FT-IR, Raman, and CP/MAS 13C NMR spectroscopy on retrograded starch of maize tortillas [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 61-68
- [20] Van-soest Jeroen, Tournois Hubertus, Wit Dick-de, et al. Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier transform IR spectroscopy [J]. Carbohydrate Research, 1995, 279: 201-214
- [21] GONG Yuyuan, XU Shuya, HE Ting, et al. Effect of quick-freezing temperature on starch retrogradation and ice crystals properties of steamed oat roll [J]. Journal of Cereal Science, 2020, 96: 103-109
- [22] YANG Yong, ZHENG Shuaishuai, LI Zhen, et al. Influence of three types of freezing methods on physicochemical properties and digestibility of starch in frozen unfermented dough [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 115: 1-8
- [23] 孙悦.无定型淀粉有序结构表征及对消化性的影响[D].天津:天津科技大学,2018  
SUN Yue. The characterization of ordered structure of amorphous starch and its effect on starch digestibility [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018