

## 不同预煮时间的面条冻藏过程中水分的迁移规律

陈乐寒, 张影全, 巨明月, 李明, 张波, 郭波莉\*

(中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部农产品加工综合性重点实验室 北京 100193)

**摘要** 利用低场核磁共振(LF-NMR)检测冷冻熟面内部不同结合状态水分的弛豫时间和比例,分析预煮时间和冻藏时间对冷冻熟面复煮前、后水分状态及分布的影响。结果表明:冷冻熟面中水分以强结合水( $T_{21}$ , 0.20~0.69ms;  $A_{21}$ , 3.97%~11.14%)、弱结合水( $T_{22}$ , 1.44~3.77ms;  $A_{22}$ , 5.87%~15.24%)和自由水( $T_{23}$ , 33.36~67.20ms;  $A_{23}$ , 73.62%~89.68%)3种状态存在。熟面冻藏 120 d 内,水分与面条内部大分子物质的结合强度降低,面条的持水能力下降,面条中心与边缘含水率的差值逐渐缩小,水分梯度趋于平缓。预煮 7 min 和 9 min 的面条冻藏至 28 d,复煮后中心与边缘含水率仍存在显著差异( $P<0.05$ ),保持中心含水率低于边缘含水率的水分梯度;预煮 11 min 的面条冻藏至第 7 天,复煮后中心与边缘含水率无显著差异,水分梯度消失。适当缩短面条预煮时间可延长冻藏过程中面条水分梯度的保持时间,进而提升冷冻熟面的品质。本研究结果为冷冻熟面加工和物流环节品质提升提供理论参考。

**关键词** 冷冻熟面; 水分状态; 水分梯度; 低场核磁共振(LF-NMR)

**文章编号** 1009-7848(2023)03-0240-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.03.025

面条是人类的主要食品之一<sup>[1]</sup>,是我国的传统主食,不同地域有各自特色的面条种类,比如北方的饸饹面、山西的刀削面、关中地区的扯面、兰州拉面等<sup>[2]</sup>。随着社会的发展,人们生活节奏的加快,面条产业走上规模化、工业化的发展方向,而冷冻熟面是适应营养、方便即食的现代食品需求迅速发展起来的产品<sup>[3-4]</sup>。

冷冻熟面由生面条经水煮、冷冻而制成。面条在煮制过程中,水分逐渐由外向内扩散,最终形成外层水分含量高、内部水分含量低的水分梯度;在热量与水的共同作用下,面筋蛋白受热聚合成致密的三维网状结构,将淀粉包裹其中,这使得面条吸水多的表面产生黏性、爽滑等口感,而吸水少的中心部分产生弹韧的口感<sup>[5-6]</sup>。最佳煮制时间的鲜熟面(内部白芯刚好消失的状态)具有最佳食用品质<sup>[7]</sup>。面条经冻藏-解冻-复煮后,其边缘的水分逐渐向中心迁移,导致内、外水分差异减小,最终消失,这会使面条失去筋道、爽滑的口感。因此,面条内部水分梯度与其食用品质相关,在冻藏期间保

持面条良好的水分梯度,可能有助于面条口感的保持<sup>[8-9]</sup>。食品中水分的变化会显著改变食品的结构和组织状态,并影响食品的微观构成<sup>[10]</sup>。低场核磁共振技术因在测定产品水分状态和分布时具有快速、经济、无损等优点而广泛应用于食品领域<sup>[11-14]</sup>。

面条内部水分梯度与食用品质密切相关,不同预煮时间制作的面条冻藏过程中能否有效保持水分梯度,从而提升产品品质还不清楚。本研究系统分析不同预煮时间的面条冻藏过程中水分的迁移规律,旨在为冷冻熟面品质提升提供试验依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

面粉,选用小麦品种郑麦 366 磨制的面粉。将小麦籽粒清理后,测定含水率和硬度,润麦。参照小麦试验制粉(NY/T1094.1-2006),根据籽粒硬度确定润麦加水量,润麦时间为 24 h。采用试验磨粉机磨粉,出粉率 68.1%。

#### 1.2 主要仪器、设备

低场核磁共振成像与分析系统(NMI20-0305-I),苏州纽迈分析仪器股份有限公司;试验磨粉机(MLU202),瑞士 Buhler 公司;真空和面机,河南东方食品机械设备有限公司;试验面条机(JMTD-168/140),北京东孚久恒仪器技术有限公司。

收稿日期: 2022-03-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31972159);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-03);中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2020-IFST)

第一作者: 陈乐寒,男,硕士生

通信作者: 郭波莉 E-mail: guoboli@caas.cn

### 1.3 试验方法

1.3.1 面条的制作 冷冻熟面的制作工艺参照魏益民等<sup>[15]</sup>和刘倩<sup>[16]</sup>的流程并稍作修改。小麦粉+水→真空和面→面絮醒发→压延→切条(直径 3 mm 的圆面条)→预煮熟制→冷却→冻结→冻藏→复煮。

预煮熟制时间:将鲜面条水煮 7, 9, 11 min 得到 3 种熟制程度的面条, 其中 11 min 为面条最佳煮制时间。

#### 1.3.2 试验参数的测定

1.3.2.1 水分状态的测定 将样品切成长 20 mm 的小段, 放入直径 10 mm 的石英管中, 置于永久磁场(磁场强度 0.5T)中心位置的射频线圈中心, 用 CPMG 脉冲序列进行扫描, 测定样品的自旋-自旋弛豫时间  $T_2$ 。序列参数设置为: 主频 SF1=21 kHz, 偏移频率  $O_1=60\ 000$  kHz,  $90^\circ$  脉冲时间  $P_1=9.8\ \mu\text{s}$ ,  $180^\circ$  脉冲时间  $P_2=18.8\ \mu\text{s}$ , 采样点数 TD=30 004, 采样频率 SW=100 kHz, 采样间隔时间 TW=500.0 ms, 累加次数 NS=64。每次取样测定重复 6 次, 检测完成后保存数据。利用仪器自带的程序  $T_2$ -InvfiGeneral 进行数据的 10 万倍拟合反演, 得到  $T_2$  弛豫图谱。

1.3.2.2 核磁成像分析 核磁成像分析过程采用“油浸法”。将样品切成长 20 mm 的小段, 放入直径为 20 mm 的石英瓶中, 在石英瓶中预先加入可淹没样品的大豆油(约 3mL)。将石英瓶放入核磁成像仪中进行自旋回拨(Spin echo, SE)脉冲序列质子密度二维成像。参数设置: 切片宽度(Slice

width)=6.5 mm, 切片间隙(Slice Gap)=0.5 mm, 重复采样等待时间 TR=500.0ms, 回波时间 TE=5.9ms, 累加次数 NS=4。采用 NIUMAG 核磁共振影响系统 Ver1.0 软件处理样品的质子密度图像。将获得的图像文件用 ImageSystem 软件转化为位图, 通过 ImageJ 软件转化为 excel 数据。打开 excel 数据, 去除背景数据和大豆油的信号, 获得约 300 个呈圆形分布的(与冷冻熟面截面对应, 直径约 3 mm 的圆)冷冻熟面中水质子信号数据。根据核磁管的尺寸计算单块像素点代表的实际长度。根据截面含水量、单块像素中干基质量和像素值总和计算出每块像素点代表的含水率, 对距离圆心等距离的对应横向数据和纵向数据取平均值, 然后用 Origin 2017 软件作图。

#### 1.4 数据分析

采用 SPSS24.0、Origin 2017 对试验数据进行显著性分析和绘图。

## 2 结果分析

### 2.1 预煮时间对面条水分状态及分布的影响

2.1.1 预煮时间对面条水分弛豫时间的影响 煮制时间不同的鲜熟面中强结合水、弱结合水、自由水的弛豫时间有显著差异( $P<0.05$ )。随着煮制时间的延长, 面条内部各状态水分的弛豫时间呈增加趋势(表 1)。这说明煮制时间的延长导致面条吸水率增加, 内部各状态水分与有机物结合的紧密程度降低。

表 1 不同预煮时间鲜熟面水分弛豫时间

Table 1 The water relaxation time of fresh cooked noodles with different cooking time

预煮时间/min	$T_{21}/\text{ms}$	$T_{22}/\text{ms}$	$T_{23}/\text{ms}$
7	$0.20 \pm 0.00^b$	$1.44 \pm 0.06^c$	$33.36 \pm 0.51^b$
9	$0.30 \pm 0.04^{ab}$	$1.71 \pm 0.10^b$	$36.02 \pm 0.03^b$
11	$0.33 \pm 0.05^a$	$2.06 \pm 0.03^a$	$41.61 \pm 2.79^a$

注: 不同预煮时间之间的差异用小写字母表示( $P<0.05$ )。

2.1.2 煮制时间对面条水分的影响 不同煮制时间的鲜熟面中强结合水、弱结合水、自由水 3 种状态水分比例有显著差异( $P<0.05$ )。随着煮制时间的延长, 面条内部强结合水和弱结合水的比例呈下降趋势, 而自由水的比例呈上升趋势(表 2)。这说明在煮制过程中煮面水会渗入面条内部。

2.1.3 煮制时间对面条内部水分分布的影响 鲜熟面从中心到边缘存在一定的水分梯度, 即越靠近面条中心点处的含水率越低, 越靠近面条表面的含水率越高(图 1)。随着预煮时间的延长, 面条表面含水率上升幅度较中心点慢, 内、外水分梯度降低。预煮 7 min 的面条从表面到中心含水率梯

表2 不同预煮时间鲜熟面水分比例

Table 2 The moisture proportion of fresh cooked noodles with different cooking time

预煮时间/min	$A_{21}/\%$	$A_{22}/\%$	$A_{23}/\%$
7	$11.14 \pm 0.04^a$	$15.24 \pm 0.28^a$	$73.62 \pm 0.26^c$
9	$8.20 \pm 0.21^b$	$13.49 \pm 0.32^b$	$78.31 \pm 0.48^b$
11	$7.61 \pm 0.17^c$	$11.07 \pm 0.08^c$	$81.32 \pm 0.11^a$

注:不同预煮时间之间的差异用小写字母表示( $P<0.05$ )。

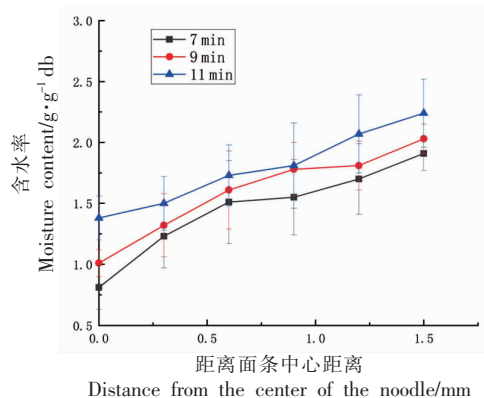


图1 煮制过程面条中心和边缘不同距离含水率的变化曲线

Fig.1 The changing curves of moisture content at different distance between center and edge of fresh cooked noodle

度最大,煮制 11 min 的面条从表面到中心含水率梯度最小。

## 2.2 冻藏时间对面条水分状态及分布的影响

2.2.1 冻藏时间对面条水分弛豫时间的影响 随着冻藏时间的延长,面条内部各状态水分的弛豫时间均呈上升趋势(图 2~7)。在冻藏时间相同时,

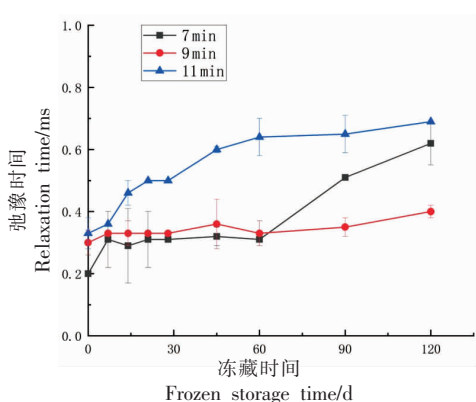


图2 复煮前面条中强结合水弛豫时间随冻藏时间变化曲线

Fig.2 The changing curves of water relaxation time of strongly bound water in noodles with frozen storage time before cooking again

预煮时间越长的面条各状态水分的弛豫时间越高(图 2~7)。冻藏后面条各状态水分的弛豫时间均显著高于鲜熟面各状态水分的弛豫时间( $P<0.05$ )。说明冻藏和煮制时间的延长使水与面条中大分子物质,如淀粉、蛋白质等结合的紧密程度降低。

2.2.2 冻藏时间对面条水分的影响 由图 8~13 可以看出,在冻藏过程中,复煮前、后面条内部的  $A_{21}$  和  $A_{22}$  呈显著下降趋势,  $A_{23}$  呈显著上升趋势( $P<0.05$ ),说明冻藏和煮制时间的延长使强结合水和弱结合水转化为自由水;冻藏时间相同时,预煮时间越长的面条,  $A_{21}$  和  $A_{22}$  越低,  $A_{23}$  越高。

2.2.3 冻藏时间对面条水分分布的影响 面条经冻藏后整体含水率呈下降趋势,中心含水率呈上升趋势,边缘含水率呈下降趋势,水分梯度逐渐降低。冻藏期间面条内部始终保持靠近中心部分的含水率显著低于边缘部分的含水率( $P<0.05$ )的水分梯度。面条冻藏复煮后的含水率高于鲜熟面,随着冻藏时间的延长,复煮后的含水率呈下降趋势,可能是由于冻藏和复煮对面条内部结构的破坏导

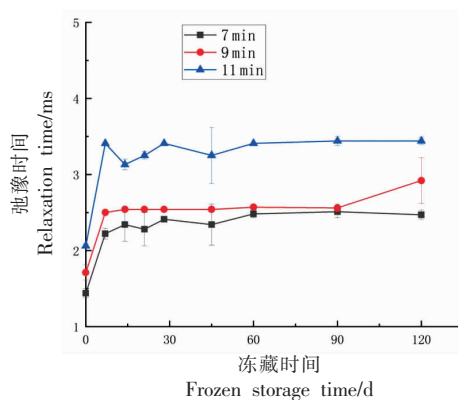


图3 复煮前面条中弱结合水弛豫时间随冻藏时间变化曲线

Fig.3 The changing curves of water relaxation time of weakly bound water in noodles with frozen storage time before cooking again

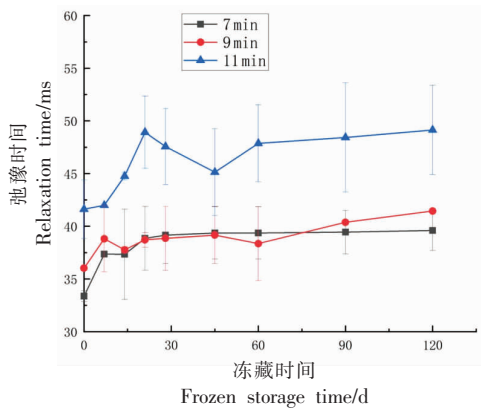


图 4 复煮前面条中自由水弛豫时间随冻藏时间变化曲线  
Fig.4 The changing curves of water relaxation time of free water in noodles with frozen storage time before cooking again

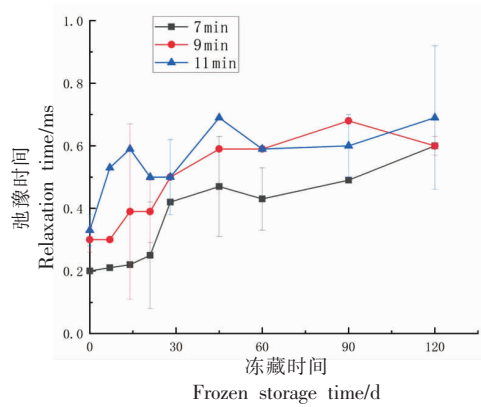


图 5 复煮后面条中强结合水弛豫时间随冻藏时间变化曲线

Fig.5 The changing curves of water relaxation time of strongly bound water in noodles with frozen storage time after cooking again

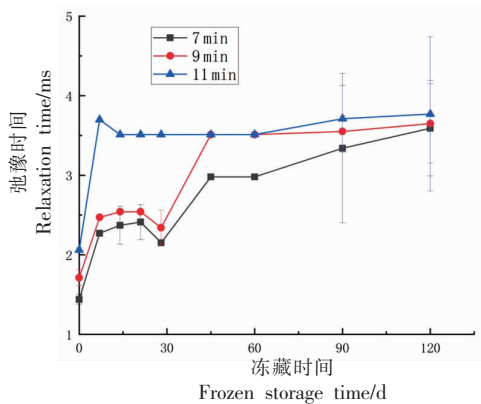


图 6 复煮后面条中弱结合水弛豫时间随冻藏时间变化曲线

Fig.6 The changing curves of water relaxation time of weakly bound water in noodles with frozen storage time after cooking again

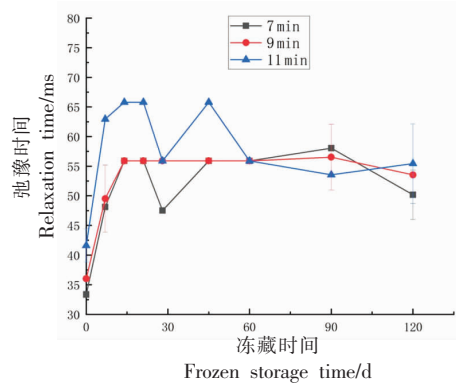


图 7 复煮后面条中自由水弛豫时间随冻藏时间变化曲线

Fig.7 The changing curve of water relaxation time of free water in noodles with frozen storage time after cooking again

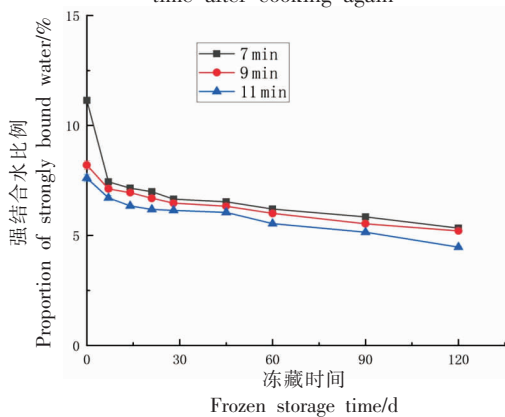


图 8 复煮前面条中强结合水比例随冻藏时间变化曲线

Fig.8 The changing curves of the proportion of strongly bound water in noodles during frozen storage before cooking again

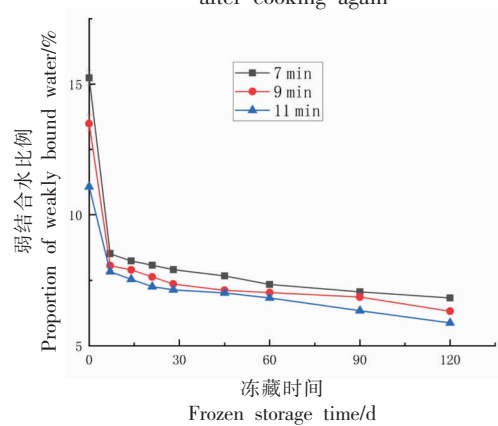


图 9 复煮前面条中弱结合水比例随冻藏时间变化曲线

Fig.9 The changing curves of the proportion of weakly bound water in noodles during frozen storage before cooking again

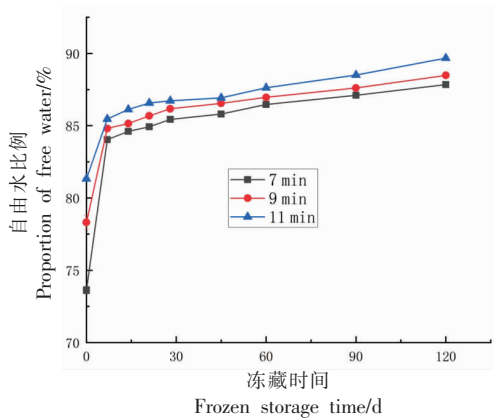


图 10 复煮前面条中自由水比例随冻藏时间变化曲线

Fig.10 The changing curve of the proportion of free water in noodles during frozen storage before cooking again

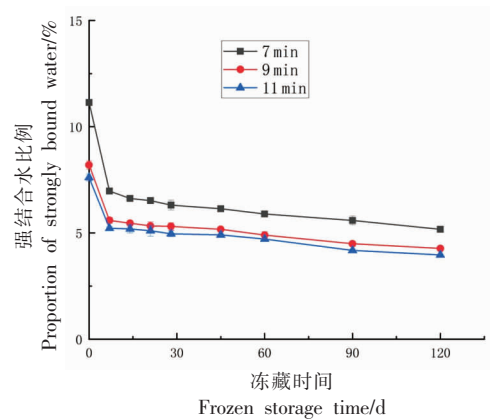


图 11 复煮后面条中强结合水比例随冻藏时间变化曲线

Fig.11 The changing curves of the proportion of strongly bound water in noodles during frozen storage after cooking again

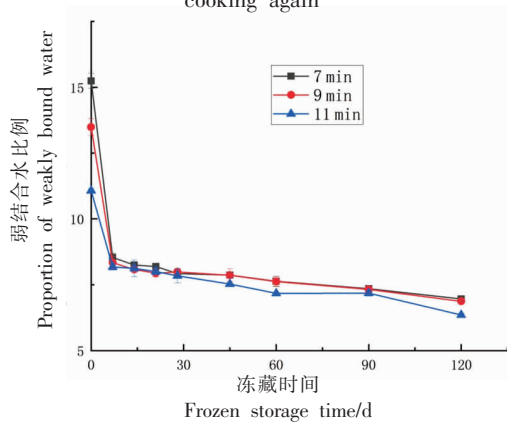


图 12 复煮后面条中弱结合水比例随冻藏时间变化曲线

Fig.12 The changing curves of the proportion of weakly bound water in noodles during frozen storage after cooking again

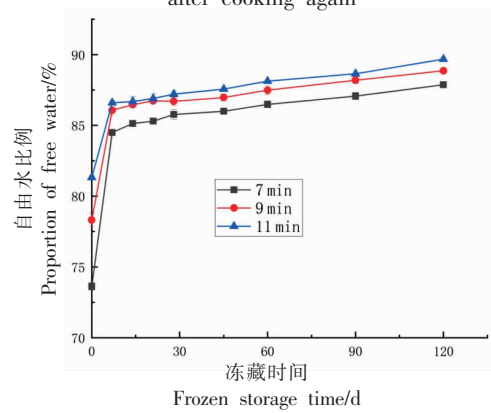


图 13 复煮后面条中自由水比例随冻藏时间变化曲线

Fig.13 The changing curves of the proportion of free water in noodles during frozen storage after cooking again

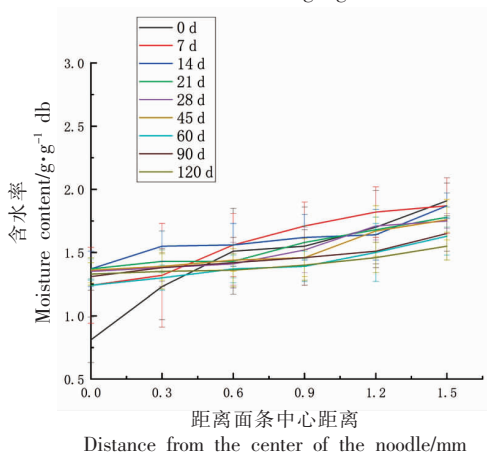


图 14 预煮 7 min 面条复煮前内部水分分布随冻藏时间的变化

Fig.14 The changing curves of internal water distribution of noodles precooked for 7 min before re-cooking during frozen storage

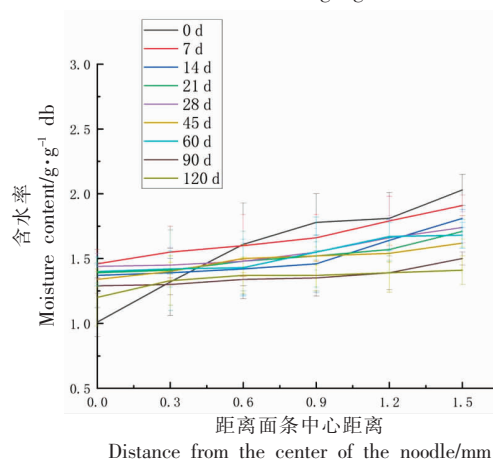


图 15 预煮 9 min 面条复煮前内部水分分布随冻藏时间的变化

Fig.15 The changing curves of internal water distribution of noodles precooked for 9 min before re-cooking during frozen storage



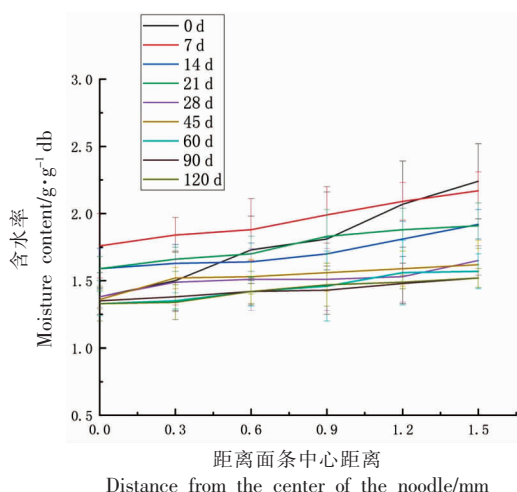


图 16 预煮 11min 面条复煮前内部水分分布随冻藏时间的变化

Fig.16 The changing curves of internal water distribution of noodles precooked for 11 min before re-cooking during frozen storage

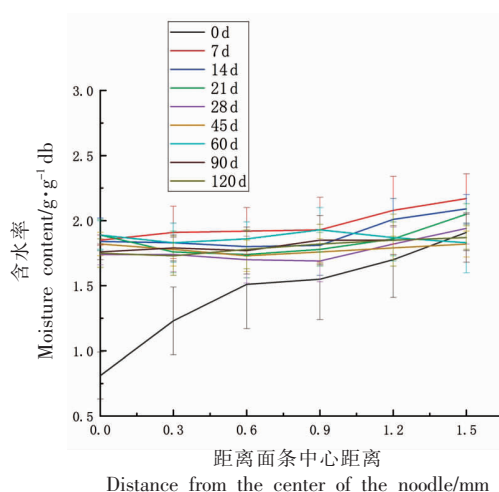


图 17 预煮 7 min 面条复煮后内部水分分布随冻藏时间的变化

Fig.17 The changing curves of internal water distribution of noodles precooked for 7 min after re-cooking during frozen storage

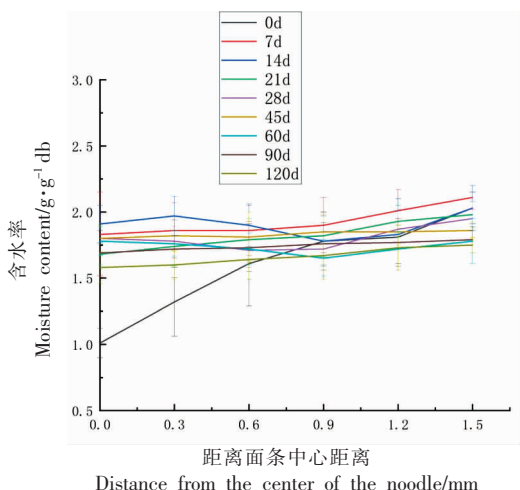


图 18 预煮 9 min 面条复煮后内部水分分布随冻藏时间的变化

Fig.18 The changing curves of internal water distribution of noodles precooked for 9 min after re-cooking during frozen storage

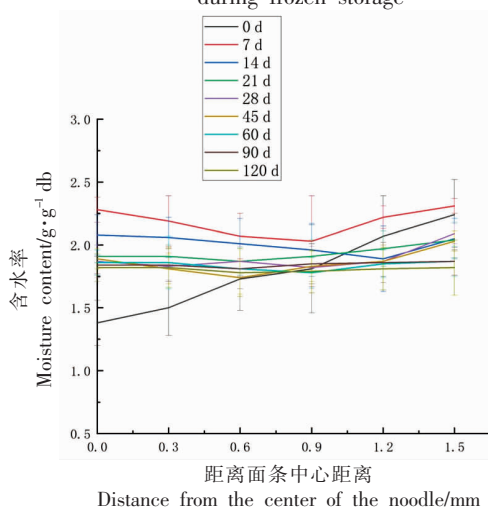


图 19 预煮 11 min 面条复煮后内部水分分布随冻藏时间的变化

Fig.19 The changing curves of internal water distribution of noodles precooked for 11 min after re-cooking during frozen storage

致其保水能力下降。预煮 7 min 和 9 min 的面条冻藏 0~28 d 时复煮后仍为靠近中心部分的含水率显著低于边缘部分的含水率 ( $P < 0.05$ ) 的水分梯度。第 45 天时, 面条内部含水率差异不显著, 水分梯度消失。预煮 11 min 的面条保存至第 7 天, 复煮后靠近中心部分的含水率与边缘含水率的差异不显著, 水分梯度消失, 这可能是由于冻藏和复煮过程破坏了面条内部结构而导致其内部致密程度

改变。

### 3 讨论

#### 3.1 煮制时间对面条水分状态及分布的影响

面条煮制是外部水分向内渗透的过程。国内对面条煮制过程水分状态及分布的变化研究较少, 水分迁移难以观察。通过低场核磁共振可以获得鲜熟面内部的水分状态及分布情况。本研究利

用低场核磁共振研究鲜熟面煮制过程中的水分状态及分布情况。低场核磁共振测得的  $T_2$  数据表示水与固体之间相互作用的强度,食物的稳定性会受到这种作用的影响,较短的  $T_2$  表示水和固体之间的结合更紧密,较长的  $T_2$  表示水的流动性更强,水的流动性随  $T_2$  的延长而增强<sup>[17]</sup>。研究表明,鲜熟面和冷冻熟面包含3种状态水<sup>[18]</sup>:强结合水( $T_{21}$ , 0.20~0.69ms;  $A_{21}$ , 3.97%~11.14%)、弱结合水( $T_{22}$ , 1.44~3.77ms;  $A_{22}$ , 5.87%~15.24%)和自由水( $T_{23}$ , 33.36~67.20ms;  $A_{23}$ , 73.62%~89.68%)。在煮制过程中(7~11min),面条内部的自由水比例  $A_{23}$  显著升高( $P<0.05$ ),成为面条内部水分的主要存在形式,而强结合水和弱结合水的比例( $A_{21}$ 、 $A_{22}$ )显著下降( $P<0.05$ ),这表明在煮制过程大量的沸水作为游离水进入面条,少量的水变成与大分子紧密结合的结合水;3种状态水分的横向弛豫时间( $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 、 $T_{23}$ )均随煮制时间的延长而增加,这表明面条煮制过程中各状态水分与面条结合的紧密程度降低;圆形具有各向同性,在研究煮制过程中水分分布时具有优势<sup>[19]</sup>。随着煮制时间的延长,面条内部含水率梯度是逐渐变化的。煮制7min时,面条内部整体含水率低于煮制9min和11min的面条,其中心含水率与边缘含水率的差值最大(约1.10g/g干基),随着煮制时间的延长,面条中心含水率与边缘含水率的差距逐渐缩小,仍存在边缘含水率高于中心含水率的水分梯度(9min:1.02g/g干基;11min:0.86g/g干基),这表明面条煮制过程中,边缘因与沸水直接接触,使得边缘含水率增加;边缘的淀粉颗粒吸收水分并糊化,随着水分的渗透和从边缘到中心的糊化,面条中心的含水率随之增加,这与前人研究结果一致<sup>[20]</sup>。

### 3.2 冻藏时间对面条水分状态及分布的影响

水作为一种活性物质,被认为是影响冷冻食品质量的关键因素<sup>[21]</sup>。冷冻熟面的含水量高达60%以上,随着冻藏时间的延长,面条内部强结合水和弱结合水的比例显著下降( $P<0.05$ ),自由水的比例显著上升( $P<0.05$ ),且3种状态水分的横向弛豫时间显著上升( $P<0.05$ ),表明在冻藏过程中面条内部的紧密结构因冷冻储藏而被破坏,水

分与面条内部大分子物质结合的紧密程度下降,使结合水转化为可冻结成冰的自由水<sup>[22-23]</sup>。面条中心与边缘的含水率的差值降低,水分梯度逐渐降低。这表明面条冻藏过程中,水分由含量高的部分向含量低的部分迁移,且冰晶的形成和生长对面筋网络结构造成物理损伤<sup>[24]</sup>,导致面条内部水分分布趋于均匀;复煮后的冷冻熟面各状态水分比例和弛豫时间的变化趋势与未复煮的冷冻熟面变化趋势一致;复煮后的冷冻熟面整体含水率高于未复煮的冷冻熟面,中心含水率与边缘含水率的差值降低,冻藏破坏面条的内部结构,复煮是面条第2次受热吸水的过程,使面条在最初熟制时未糊化的淀粉发生糊化,水分更充分地渗入面条中心。

在相同的冻藏时间下,预煮时间短的面条未复煮时,其内部强结合水和弱结合水的比例显著高于最初煮制时间长的面条( $P<0.05$ ),自由水的比例显著低于预煮时间长的面条( $P<0.05$ ),3种状态水的横向弛豫时间显著低于预煮时间长的面条( $P<0.05$ )。表明预煮时间短的面条内部水分与大分子物质结合的紧密程度相对较高;预煮时间短的面条中心与边缘含水率的差值低于预煮时间长的面条,水分梯度较大;复煮后,预煮时间短的面条中心与边缘含水率的差值大于预煮时间长的面条,水分梯度较大。这表明熟制时间增加,使面条中自由水含量增加,面条冻结过程中形成较多的冰晶,破坏冷冻熟面内部面筋的结构,复煮后冷冻熟面内部淀粉溶出,这可能是煮制时间适当缩短的面条复煮后的口感优于煮制时间长的面条的原因。

## 4 结论

熟面冷冻储藏过程中,内部水分状态和分布发生显著变化,水分流动性增加,内部水分梯度降低,保水性降低。面条复煮后,内部结构再次被破坏,中心与边缘含水率的差异缩小,造成面条口感下降。适当缩短面条预煮制时间,可延长冻藏过程中面条水分梯度的保持时间,进而提升冷冻熟面的品质。

## 参 考 文 献

- [1] 魏益民. 中华面条之起源[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(7): 881-887.  
WEI Y M. The origin of Chinese noodles[J]. Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(7): 881-887.
- [2] 邵丽芳. 制面工艺对冷冻熟面品质的影响及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018.  
SHAO L F. Study on the effects and mechanisms of processing procedures on the qualities of frozen cooked noodles[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [3] 何承云, 葛晓虹, 孙俊良, 等. 我国传统主食面条研究进展[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(5): 5-7.  
HE C Y, GE X H, SUN J L, et al. Research progress of noodles as traditional staple food in China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(5): 5-7.
- [4] 周惠明. 冷冻熟面的工艺技术研究[J]. 粮食与饲料工业, 1998, 8(1): 32-33.  
ZHOU H M. Research on the technology of freezing cooked noodle[J]. Cereal & Feed Industry, 1998, 8(1): 32-33.
- [5] 骆丽君. 冷冻熟面加工工艺对其品质影响的机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015.  
LUO L J. Effects and mechanisms of processing technology on the quality of frozen cooked noodle[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [6] 冯俊敏, 张晖, 王立, 等. 冷冻面条品质改善的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(10): 1080-1086.  
FENG J M, ZHANG H, WANG L. Improvement of frozen noodle quality[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2012, 31(10): 1080-1086.
- [7] LAMACCHIA C, LUCCIA A D, BAIANO A, et al. Changes in pasta proteins induced by drying cycles and their relationship to cooking behaviour[J]. Journal of Cereal Science, 2006, 46(1): 58-63.
- [8] 何宏, 王永斌. 冷冻面条的生产技术及原理[J]. 食品工业, 1999, (5): 11-12.  
HE H, WANG Y B. Production technology and principle of frozen noodles[J]. The Food Industry, 1999, (5): 11-12.
- [9] 冯俊敏. 冷冻面条品质改善的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.  
FENG J M. Study on the improvement of frozen noodle quality[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [10] 桂俊, 陆啟玉. 阴离子对面条水分分布、蛋白二级结构和微观结构的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(6): 159-165.  
GUI J, LU Q Y. Effects of anions on water distribution, protein secondary structure and microstructure of noodles[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(6): 159-165.
- [11] XING H J, PAWAN S T, GREG H, et al. NMR imaging of continuous and intermittent drying of pasta[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 78(1): 61-68.
- [12] LI M, MA M, ZHU K Z, et al. Delineating the physico-chemical, structural, and water characteristic changes during the deterioration of fresh noodles[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 374-381.
- [13] LAI H M, HWANG S C. Water status of cooked white salted noodles evaluated by MRI[J]. Food Research International, 2004, 37(10): 957-966.
- [14] HILLS B P, GODWARD J, WRIGHT K M. Fast radial NMR microimaging studies of pasta drying[J]. Journal of Food Engineering, 1997, 33(3): 321-335.
- [15] 魏益民, 王振华, 于晓磊, 等. 挂面干燥过程水分迁移规律研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(12): 1-12.  
WEI Y M, WANG Z H, YU X L, et al. Study on water transfer during the drying process of Chinese dried noodles[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(12): 1-12.
- [16] 刘倩. 冷冻熟面在冻藏过程中品质变化规律及调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.  
LIU Q. Study on quality change and regulation of frozen cooked noodles during storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [17] HAGER A S, BOSMANS G M, DELCOUR J A. Physical and molecular changes during the storage of gluten-free rice and oat bread[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(24): 5682-9.
- [18] LIANG Y, QU Z T, LIU M, et al. Further interpretation of the strengthening effect of curdlan on frozen cooked noodles quality during frozen storage: Studies on water state and properties[J]. Food Chemistry, 2021, 346: 128908-128908.
- [19] 于晓磊. 挂面干燥过程水分状态及运动规律研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.



- YU X L. Study on the water state and distribution of Chinese dried noodles during drying process[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2017.
- [20] LING X W, TANG N, ZHAO B, et al. Study on the water state, mobility and textural property of Chinese noodles during boiling[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55(4): 1716–1724.
- [21] CHEN X, WU J H, LI L, et al. The cryoprotective effects of antifreeze peptides from pigskin collagen on texture properties and water mobility of frozen dough subjected to freeze–thaw cycles[J]. *European Food Research and Technology*, 2017, 243(7): 1149–1156.
- [22] LIU Q, GUO X N, ZHU K X. Effects of frozen storage on the quality characteristics of frozen cooked noodles[J]. *Food Chemistry*, 2019, 283: 522–529.
- [23] PAN Z L, HUANG Z M, MA J Y, et al. Effects of freezing treatments on the quality of frozen cooked noodles [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(5): 1926–1935.
- [24] LAMACCHIA C, DI L A, BAIANO A, et al. Changes in pasta proteins induced by drying cycles and their relationship to cooking behaviour[J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 46(1): 255–260.

### The Water Migration of Noodle with Different Precooking Time during Frozen Storage

Chen Lehan, Zhang Yingquan, Ju Mingyue, Li Ming, Zhang Bo, Guo Boli\*  
(*Institute of Food Science and Technology CAAS/Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193*)

**Abstract** Low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) was used to detect the relaxation time and proportion of water in different binding states in frozen cooked noodles, and the effects of cooking time and frozen storage time on water state and distribution of noodles before and after re-cooking were analyzed. The results showed that the water in frozen cooked noodles existed in three binding states: strong bound water ( $T_{21}$ , 0.20–0.69 ms.  $A_{21}$ , 3.97%–11.14%), weak bound water ( $T_{22}$ , 1.44–3.77 ms.  $A_{22}$ , 5.87%–15.24%) and free water ( $T_{23}$ , 33.36–67.20 ms.  $A_{23}$ , 73.62%–89.68%). The bonding of water and macromolecular substances in noodles decreased, the water holding capacity of noodles decreased, the difference between water content in the center and edge of noodles gradually decreased, and the water gradient gradually decreased during frozen storage of 120 days. In addition, the water content between center and edge still showed significant difference for precooked noodles of 7 min and 9 min stored till 28 days ( $P < 0.05$ ), but the water gradient disappeared for precooked noodles cooking for 11 minutes. Properly shortening the precooking time of noodles could prolong the retention time of noodle water gradient during frozen storage, and then improve the quality of frozen cooked noodles. The study will provide theoretical guidance for quality improvement of frozen cooked noodles during processing and logistics.

**Keywords** frozen cooked noodles; water state; water gradient; low field–nuclear magnetic resonance (LF-NMR)