

预制面条制作过程中品质变化研究

蒲华寅, 尹志慧, 呼矿矿, 黄峻榕

Analysis of Quality in Preprocessed Noodles during the Producing Process

PU Huayin, YIN Zhihui, HU Kuangkuang, and HUANG Junrong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040198>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

盐藻多糖对冻藏中国对虾水分分布和品质变化的影响

Effect of Dunaliella salina polysaccharide on water distribution and quality changes of Chinese shrimp Fenneropenaeus chinensis during frozen storage

食品工业科技. 2017(07): 315-319 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.07.053>

SPI与SPH及其复配产物对面团特性和面条品质的影响机制

Mechanism of SPI,SPH and Their Mixed Products on Dough Properties and Noodle Quality

食品工业科技. 2020, 41(3): 46-51,57 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.03.009>

超声波解冻对壳聚糖涂膜罗非鱼片的水分分布及品质相关性研究

The relationship between water distribution and quality of tilapia fillets with chitosan film as affected by different ultrasonic wave

食品工业科技. 2017(02): 332-336 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.02.056>

小麦淀粉结构、组成、改性对其理化性能及面条品质的影响研究进展

Research Progress on the Effects of Structure, Composition and Modification of Wheat Starch on Its Physicochemical Properties and Noodle Quality

食品工业科技. 2019, 40(14): 307-313 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.051>

毛肚涨发工艺优化及其水分分布和组织结构变化研究

Optimization of Process for Rehydrated Beef Tripe and Researches on Changes of Its Water Distribution and Histology

食品工业科技. 2020, 41(18): 157-163,169 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.18.025>

脱水过程中蚕豆种子内部水分相态变化及表面水分损失动力学研究

Internal Water Phase Changes and Surface Moisture Loss Kinetics of Broad Bean Seeds during Dehydration

食品工业科技. 2020, 41(17): 51-57 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.17.009>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

蒲华寅,尹志慧,呼矿矿,等. 预制面条制作过程中品质变化研究[J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 76–83. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040198

PU Huayin, YIN Zhihui, HU Kuangkuang, et al. Analysis of Quality in Preprocessed Noodles during the Producing Process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(3): 76–83. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040198

· 研究与探讨 ·

预制面条制作过程中品质变化研究

蒲华寅,尹志慧,呼矿矿,黄峻榕*

(陕西科技大学食品科学与工程学院,陕西西安 710021)

摘要:本研究以不同煮制时间(0、30、60、90、120、150和180 s)的面条为研究对象,通过对面条及其主要组分结构及理化特性的研究,分析预制面条品质形成过程。研究结果表明,与生面条相比,预制面条的质构参数显著增加($P<0.05$),但随着煮制时间的延长,硬度降低,且在煮制60 s内变化最为明显。当煮制时间由30 s增加到180 s时,蒸煮损失率增加2.90%,吸水率增加43.61%。煮制导致预制面条中淀粉回生值、崩解值下降,结晶结构由A型向V型转变。随着烹煮时间的延长,与面条刚性相关的蛋白质 β -折叠结构含量从39.12%降低至25.27%,而 β -转角含量从32.43%上升至44.81%。面条中水分主要以强结合水(66.01%)和自由水(18.70%)形态存在,在煮制过程中依次经过了煮制初期(30~60 s)、熟化阶段(60~150 s)以及过度煮制阶段(150~180 s)。生面条中强结合水含量相对较高,煮制过程中自由水(P_{24})含量增加,强结合水(P_{21})含量降低。相关性分析研究发现,预制面条水分含量与硬度、 P_{21} 呈极显著负相关($P<0.01$),与弹性呈显著正相关($P<0.05$);硬度与 P_{21} 呈极显著正相关($P<0.01$)。结果表明在预制面条生产过程中,可以通过水分含量及状态来预测面条质构特性,相关研究为预制面条的开发提供了基础数据。

关键词:预制面条,煮煮,面条品质,水分分布

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)03-0076-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040198



本文网刊:

Analysis of Quality in Preprocessed Noodles during the Producing Process

PU Huayin, YIN Zhihui, HU Kuangkuang, HUANG Junrong*

(School of Food Science and Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: In this study, the structure and physicochemical properties of the preprocessed noodles with different cooking times (0, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 s), and their main components were studied to analyze the quality formation process of the preprocessed noodles. The results showed that the textural parameters of preprocessed noodles increased significantly compared to the fresh noodles ($P<0.05$), but the hardness decreased with the increasing in cooking time, and the changes were most obvious within 60 s. When the cooking time increased from 30 s to 180 s, the cooking loss rate increased by 2.90% while water absorption increased by 43.61%. Cooking resulted in the decrease in setback and breakdown viscosities for starch in noodles and a crystalline structure translation from A type to V type. With the extension of cooking time, the content of β -sheets structure for protein related to noodle rigidity decreased from 39.12% to 25.27%, while that of β -turns increased from 32.43% to 44.81%. The water in raw noodles mainly existed in the form of strong bound water (66.01%) and free water (18.70%). In addition, the preprocessed noodles went through the initial stage (30~60 s), the cooking stage (60~150 s) and the overcooking stage (150~180 s) in turn. The content of strongly bound water in fresh noodles was relatively high. During the cooking, the content of free water increased while the content of bound water decreased. Correlation analysis showed that the moisture content of preprocessed noodles was highly significantly ($P<0.01$) or significantly ($P<0.05$) correlated with hardness, P_{21} and springiness, while hardness was positively ($P<0.01$) correlated with P_{21} . The results show that the textural characteristics can be predicted by moisture content and state in the production

收稿日期: 2022-04-19

基金项目: 陕西省重点研发计划项目(2022NY-011, 2023-YBNY-175); 陕西省教育厅自然科学专项项目(20JK0530); 陕西科技大学博士科研启动基金项目(BJ14-14)。

作者简介: 蒲华寅(1986-),男,博士,副教授,研究方向:淀粉资源的开发与利用,E-mail: puhuayin@sust.edu.cn。

* 通信作者: 黄峻榕(1971-),女,博士,教授,研究方向:天然食品高分子资源的开发与利用研究,E-mail: huangjunrong@sust.edu.cn。

process of preprocessed noodles. The research provides basic data for the development of preprocessed noodles.

Key words: preprocessed noodles; cooking; noodle quality; water distribution

面条历史悠久,是亚洲国家饮食结构中重要组成部分。随着食品工业的发展和人们消费习惯的变化,面条加工方式已经多样化。“即食餐(ready meal, RM)”是一种经过制作、加工和包装的食品,消费者无需烹饪或只需简单烹饪即可食用^[1]。方便湿面是在我国连锁便利店畅销的一种“即食餐”,一般通过生产预制面条、密封包装、低温储存、微波复热加工而成。低温储存的方便湿面在不添加任何食品添加剂的条件下,通常具有 3 d 的保质期,消费者购买后只需经过短时间微波复热即可以食用。相较传统方便面条能耗低,更加健康、安全、方便^[2-3]。然而,在低温储存的过程中面条硬度降低,脆性增大,使面条失去坚韧紧实的口感^[4];其次,消费者二次加热也会加剧面条品质劣变^[5],导致成品面条口感会劣于常规烹饪的面条,这已成为制约方便湿面销售的主要因素。因此,优化方便湿面的加工工艺是加快新型面条产业化生产的必然选择。

方便湿面品质受面条制作过程的影响。例如油炸使面条失去营养成分的同时会产生丙烯酰胺等有害物质,热风干燥的面条烹饪时间长,速冻熟面条耗能高,口感差^[6]。另外,在速冻熟面、冷冻调理面等新型面条制作加工过程中,都将煮制作为面条加工前期主要的熟制方式^[7-8]。因此,本研究将水煮作为方便湿面前期的加热方式。在烹煮过程中,淀粉、蛋白质和水的混合物及其之间相互作用对面条食用品质的形成具有重要意义,这也是抵御低温储存过程造成损害的关键因素^[9]。因此,明确预制面条煮制过程中的品质变化及其潜在机制是调控方便湿面质量的前提与关键。

前人研究的方便湿面大都集中于新产品开发、保鲜防腐、安全控制等方面。郑柏根^[10]通过响应面优化防腐配方(ϵ -聚赖氨酸盐、乳酸链球菌素、纳他霉素),确定了复配防腐剂在方便湿面中的最适添加量为 260 mg/kg。李盘欣^[11]采用保鲜保质的新工艺开发出一款柔软、光滑、松散的方便湿面新产品——凉面。而关于面条的前期制作工艺及内在机理鲜有研究。基于此,本研究以煮制过程中的面条为研究对象,并从主要组分(淀粉和蛋白质)结构及理化特性等方面阐明预制面条品质变化,一方面有助于调控面条的煮制时间,另一方面为新型面条的工业化生产提供一定的数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

家庭通用小麦粉(蛋白质含量 11.0%、淀粉含量 73.5%、水分含量 11.35%) 益海嘉里粮油股份有限公司(中国上海);碘盐 陕西省盐业专营公司(中国陕西);自封袋 浙江柏盛包装科技有限公司(中国浙江)。

DCK202 和面机 广东顺德地一日用电气科技有限公司;FK156-3 家用多功能压面机 浙江俊媳妇机械设备有限公司;TA.XT Plus C 物性分析仪 美国 SMS 公司;D8Advance X-射线衍射仪、STA449 F3 傅里叶红外光谱仪 德国布鲁克公司;RVA-TecMASTER 快速黏度分析仪 澳大利亚 Newport Scientific 公司;PQ001-20-025V 低场核磁共振分析仪 苏州纽迈分析仪器股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 面条制作方法 生面条的制作方法参考文三彬^[12]的方法并稍做修改。称取小麦粉 100 g、盐 2 g 倒入和面机中,缓慢加入 40 mL 蒸馏水后在转速 30 r/min 下和面 10 min,将制作好的面团放入自封袋中 30 ℃ 醒发 25 min。熟化后的面条用压面机延压 10 次,切成长 20 cm、厚 2 mm、宽 2.5 mm 的面条(Control)。

预制面条的制作: 将制作好的生面条放入盛有 1500 mL 沸腾蒸馏水中的铝锅进行煮制,煮制时间分别为 30、60、90、120、150、180 s,煮制完成后立即在蒸馏水中冷却,并用吸水纸吸取表面多余水分放入自封袋待测。

1.2.2 预制面条品质分析

1.2.2.1 预制面条质构特性测定 面条质构特性的测定方法参考季香青等^[13]的方法并稍做修改。利用 TA.XT plus 物性分析仪测定预制面条的硬度、回复性、弹性等指标。设置参数为: A/LKB 型探头,校准距离 15 mm,测试前、中、后速度都为 1 mm/s,形变量 75%,触发力 5 g。

1.2.2.2 预制面条蒸煮特性测定 按照 1.2.1 中预制面条的煮制时间,取 20 根生面条(M_1 g),500 mL 沸水加热 30 s 后将面条捞出,用滤纸吸干表面水分后称重(M_2 g)。将面汤转移至 500 mL 的容量瓶中,用蒸馏水冲洗盛面汤的烧杯数次,并将冲洗的水一并转入容量瓶中,定容至 500 mL 并混合均匀,量取 100 mL 面汤放入 250 mL 的烧杯中,先在电炉上加热蒸发掉大部分面汤,然后置于铝盒中,在 105 ℃ 烘箱中烘至恒重(M_3 g)。重复上述步骤测定 60、90、120、150、180 s 的蒸煮损失。吸水率(X%)及蒸煮损失率(P%)计算公式如下^[14]:

$$X = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

$$P = \frac{5 \times M_3}{M_1} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.2.2.3 预制面条白度测定 利用 CM-5 分光测色测定预制面条样品,测定面条的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。白度(W%)的计算公式如下:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L')^2 + a'^2 + b'^2} \quad \text{式(3)}$$

1.2.2.4 预制面条含水量测定 分别称取预制面条样品 5 g 置于 105 ℃ 烘箱烘至恒重(M_4 g)。含水量(H%)的计算公式如下:

$$H = \frac{5 - M_4}{5} \times 100 \quad \text{式(4)}$$

1.2.3 预制面条糊化特性测定 将预制面条冻干后过 100 目筛,加入蒸馏水制成 8%(w/w)淀粉混合乳,利用快速黏度分析仪测定面条糊化特性^[15]。设置参数为:最初转速为 960 r/min(10 s),之后保持 160 r/min;温度设置 50 ℃(1 min),然后升高到 95 ℃(3.75 min)并保持 2.5 min,升温速率为 12 ℃/min,再降至 50 ℃(3.75 min)并保持 2 min。

1.2.4 预制面条结晶结构测定 利用 X 射线衍射仪分析 1.2.3 中制备的预制面条冻干粉的结晶特性。设置参数为:步长 0.02°,扫描速率 4°/min,管压 40 kV,管流 40 mA,在 4°~40°范围进行扫描。用分析软件 Jade 6.0 计算面条相对结晶度(RC%)。计算公式如下^[16]:

$$RC = \frac{B}{A} \times 100 \quad \text{式(5)}$$

式中: A-谱线与基线间的面积; B-谱线与分割线间的面积。

1.2.5 预制面条蛋白质二级结构测定 利用 STA449 F3 型号的傅里叶红外光谱仪测定 1.2.3 制备的预制面条冻干粉中蛋白质二级结构。参数设置:扫描样本次数 16,分辨率 4 cm⁻¹,扫描范围 4000~400 cm⁻¹,使用 Peak fit 4.12 软件分析酰胺 I 带(1700~1600 cm⁻¹),计算各部分二级结构所占的比例^[17]。

1.2.6 预制面条水分分布 参照屈展平等^[18]的方法并稍作修改。取 1.2.1 中制备的预制面条,置于 2 mL 的离心管并置入低场核磁腔体中进行测定。设置参数为:测试程序 CPMG,采样频率 200 kHz,回波时间 0.10 ms,回波个数 2000,累加次数 4。

1.2.7 预制面条的微观结构 将冷冻干燥过的预制面条固定在载物片上,离子溅射喷金 20 s 之后,用 Q45 扫描电子显微镜扫描,分析预制面条断面的形貌及结构。设置参数为:电流 10 mA,真空度 10 Pa。

1.3 数据处理

使用 Origin 2018 软件进行绘图,数据采用方差的统计分析通过 ANOVA(显著性水平 $P < 0.05$)进行,运用 SPSS 26.0 软件进行据进行各指标之间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 预制面条食用品质

2.1.1 煮制对预制面条质构特性的影响 不同煮制时间面条的质构特征参数如表 1 所示。与生面条相比,预制面条的硬度、弹性、内聚性、回复性都显著

($P < 0.05$)增加,可能是因为加热使面条中的淀粉糊化,蛋白质网络结构更加致密,膨胀后的淀粉颗粒能更好填充及支撑,形成的网络结构刚性和弹性更强,这与张颜颜、Delcour 等^[19-20]的研究结果一致。然而,随着煮制时间的延长,面条的硬度呈现降低的趋势,由 84.60 g 降低到 53.02 g;而弹性、内聚性和回复性变化不大。长时间的蒸煮使面条中的淀粉颗粒进一步吸水膨胀,并加剧蛋白质变性,进而可能导致面筋网络结构的部分破坏,硬度降低。此外,低分子量麦谷蛋白聚合进一步破坏面筋蛋白网络可能也是导致预制面条硬度下降的原因^[12,21]。

表 1 不同煮制时间预制面条的质构参数
Table 1 Textural parameters of preprocessed noodles at different cooking time

时间(s)	硬度(g)	弹性	内聚性	回复性
Control	0.49±0.30 ^c	0.39±0.04 ^c	0.31±0.05 ^b	0.06±0.01 ^b
30	84.60±3.03 ^a	0.72±0.06 ^b	0.57±0.04 ^a	0.17±0.03 ^a
60	59.53±3.48 ^{ab}	0.76±0.04 ^{ab}	0.58±0.02 ^a	0.18±0.01 ^a
90	61.33±3.23 ^b	0.78±0.04 ^{ab}	0.54±0.11 ^a	0.18±0.01 ^a
120	54.81±3.27 ^{cd}	0.82±0.05 ^{ab}	0.54±0.07 ^a	0.18±0.01 ^a
150	55.68±4.54 ^{bcd}	0.81±0.06 ^{ab}	0.55±0.05 ^a	0.19±0.01 ^a
180	53.02±1.03 ^d	0.85±0.07 ^a	0.56±0.03 ^a	0.19±0.01 ^a

注:同列肩标字母不同表示差异显著($P < 0.05$),表2~表4同。

2.1.2 煮制对预制面条蒸煮特性和白度的影响 面条蒸煮损失是指面条蒸煮后水中残留的固体物质总量^[22],通常能够反映蛋白质-淀粉基质的弱化或破坏^[23]。从表 2 可以看出,随着煮制时间的延长,其吸水率和含水量均呈现上升趋势,其中吸水率从 30.92% 增加到 74.53%,含水量从 34.67% 增加到 55.33%。一般认为,煮制会导致淀粉糊化,破坏淀粉颗粒结晶区的氢键,导致羟基暴露^[12],进而导致面条吸水率和含水量的增加。虽然含水量的增加会提高淀粉分子迁移速率,但浓度的降低会抑制淀粉分子重新有序排列,降低淀粉老化重结晶速率,从而有利于抑制淀粉老化,这对于预制面条的研发具有一定的指导意义^[24]。

表 2 不同煮制时间预制面条的蒸煮特性
Table 2 Cooking properties of preprocessed noodles at different cooking time

时间(s)	蒸煮损失率(%)	吸水率(%)	含水量(%)	白度(%)
Control	-	-	34.67±0.002 ^f	63.39±0.45 ^c
30	3.06±0.05 ^f	30.92±1.05 ^d	35.00±0.017 ^e	64.53±1.32 ^c
60	3.43±0.06 ^e	41.91±0.27 ^c	50.00±0.005 ^d	66.55±0.42 ^b
90	3.37±0.06 ^d	45.82±0.65 ^c	47.67±0.002 ^c	67.24±0.56 ^b
120	4.61±0.08 ^c	58.75±0.72 ^b	52.33±0.009 ^{bc}	67.73±1.24 ^b
150	4.58±0.03 ^b	65.84±0.66 ^b	51.67±0.002 ^b	66.79±1.75 ^b
180	5.96±0.17 ^a	74.53±1.51 ^a	55.33±0.017 ^a	68.47±1.07 ^a

由表 2 可知,预制面条的蒸煮损失呈升高趋势,从 3.06% 增加到 5.96%。生面条中的淀粉颗粒被面筋蛋白紧紧包裹,经过煮制后的面筋蛋白会发生不同程度的破裂,不能够完全束缚淀粉颗粒,这会极大的降低淀粉与蛋白质的交联作用,导致预制面条蒸煮损

失增大。烹煮 120、150 s 的预制面条蒸煮损失分别为 4.61%、4.58%，这一时间段蒸煮损失相对变化不大。这可能是因为面筋网络结构对淀粉的糊化有阻碍作用，烹煮过程中面条表面淀粉糊化后，内部淀粉不容易糊化所致。然而，过度烹煮会削弱面筋-淀粉网络体系，引起其对淀粉，尤其是直链淀粉的束缚能力下降，直链淀粉游离，从而导致蒸煮损失率进一步的增加^[12]，180 s 时蒸煮损失增大到 5.96%，过大的蒸煮损失对预制面条产品品质不利，同时也说明可以通过调控预制面条加热时间来抑制面条发黏，粘连现象。

色泽是决定面条品质的重要因素，奶油色、亮黄色的面条可以更好地吸引消费者。预制面条的外观和颜色可以用肉眼和色度计来评定。由图 1 和表 2 可知，生面条颜色暗黄，而烹煮后的面条明显变白，白度也由 63.39% 增加到 68.47%。这可能是因为淀粉受热糊化，其分子构象发生变化，无序度增大导致面条透光率增大。

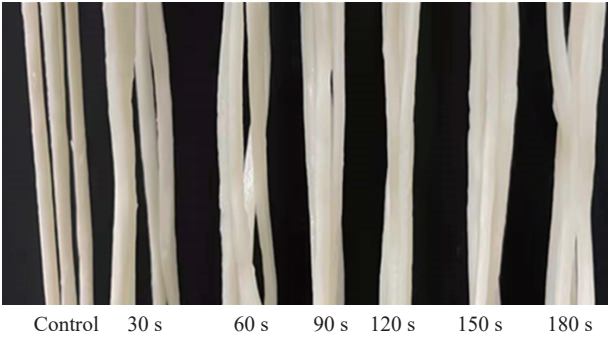


图 1 不同烹煮时间预制面条照片

Fig.1 The appearance of preprocessed noodles at different cooking time

2.2 煮制对预制面条淀粉糊化特性的影响

糊化过程中黏度特性与面条品质息息相关，淀粉颗粒吸水膨胀和直链淀粉溶出是影响糊化黏度的关键因素。不同烹煮时间预制面条的糊化特性如图 2 所示，相关特征参数见表 3。与生面条相比，预制面条整体黏度下降，表明淀粉结构的持续破坏。由表 3 可知，随着烹煮时间的延长，面条的峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度、回生值均显著($P<0.05$)降低。峰值黏度是淀粉颗粒膨胀和破裂的平衡点^[25]，煮面时间越长面条中淀粉的糊化程度越高，直链淀粉溶出量越大，残余完整颗粒淀粉越少，溶胀度降低，进而

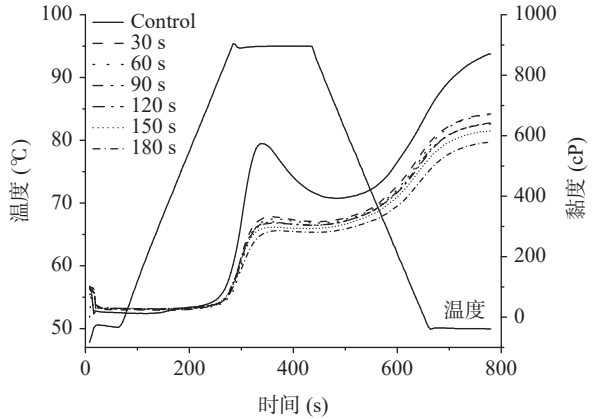


图 2 不同烹煮时间预制面条 RVA 曲线

Fig.2 RVA curve of preprocessed noodles at different cooking time

导致峰值黏度降低。崩解值可以反映淀粉糊在高温和高剪切下的耐受性^[26]，烹煮过程中预制面条逐渐形成均匀的凝胶体系，面条的温度和剪切力的耐受性降低。随着烹煮时间的延长，面条回生值呈现减小趋势，表明蒸煮时间越长，预制面条中淀粉短期回生现象得到改善^[27]。这可能是因为烹煮过程中淀粉暴露，吸水性强，从而抑制回生。

2.3 煮制对预制面条淀粉结晶结构的影响

图 3 是预制面条熟化期间的 X 射线衍射图。生面条呈现谷物淀粉典型的 A 型结晶特征，在 2θ 为 15° 、 17° 、 18° 和 23° 附近出现衍射峰。短时间(30 s)加热后，面条主要衍射峰就已完全消失，并在 2θ 为 20° 处呈现新的衍射峰，且随处理时间的延长，预制面

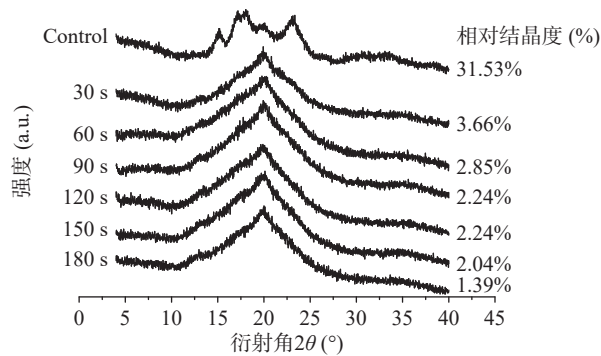


图 3 不同烹煮时间预制面条的淀粉颗粒 X-射线衍射图

Fig.3 X-ray diffraction patterns of preprocessed noodles at different cooking time

表 3 不同烹煮时间预制面条糊化特征参数

Table 3 Gelatinization characteristics of preprocessed noodles at different cooking time

时间 (s)	峰值黏度 (cP)	谷值黏度 (cP)	崩解值 (cP)	最终黏度 (cP)	回生值 (cP)
Control	570.5±5.0 ^a	392.5±0.7 ^a	178.0±4.2 ^a	870.5±0.7 ^a	478.0±1.4 ^a
30	332.5±0.7 ^b	315.0±1.4 ^b	17.5±0.7 ^b	680.5±12.0 ^b	365.5±13.4 ^{bc}
60	324.0±1.4 ^{bc}	308.0±4.2 ^{bc}	16.0±2.8 ^b	675.0±7.0 ^{bc}	367.0±11.3 ^b
90	319.0±5.7 ^c	308.0±5.7 ^{bc}	11.0±0 ^c	653.5±16.2 ^c	345.5±10.6 ^{cd}
120	305.5±7.8 ^d	298.5±7.8 ^{cd}	7.0±0 ^{cd}	628.5±14.9 ^d	330.0±7.1 ^{de}
160	299.5±2.1 ^d	294.5±2.1 ^d	5.0±0 ^d	617.0±1.4 ^d	322.5±0.7 ^{ef}
180	288.0±2.8 ^e	282.0±2.8 ^e	6.0±0 ^d	584.5±9.1 ^e	302.5±6.4 ^f

条 X 衍射图峰型相似,这表明生面条加热后其中淀粉结晶会从 A 型结构转变成 V 型结晶结构,这一般认为与淀粉单螺旋的形成有关^[28]。淀粉的结晶度是衡量淀粉晶体特性另一个重要的指标^[16],生面条的相对结晶度为 31.53%,煮制后样品相对结晶度明显较原淀粉更低,且随着煮制时间的延长相对结晶度持续下降。

2.4 煮制对预制面条蛋白质二级结构的影响

红外光谱常用其来表征蛋白质二级结构。由表 4 可知,生面条中蛋白质二级结构主要以 β -折叠、 β -转角为主,含量分别为 40.23% 和 32.43%。随着烹煮时间的延长, β -折叠含量由 39.12% 降到 25.27%, β -转角含量由 32.43% 上升到 44.81%,无规则卷曲含量先减小后增加,而 α -螺旋含量先增加后减小。这可能是因为预制面条烹煮的过程中,蛋白质受热发生解螺旋化,维系蛋白质螺旋结构的氢键顺序发生变化,导致部分 β -折叠转变为 β -转角^[12]。此外,研究表明 β -折叠结构含量与蛋白质分子的刚度和面团的强度成正相关^[29],其含量下降会导致面条硬度降低,这与质构研究结果一致。

表 4 不同烹煮时间预制面条面筋蛋白二级结构含量
Table 4 Secondary structure content of preprocessed noodles at different cooking time

时间(s)	β -折叠(%)	无规卷曲(%)	α -螺旋(%)	β -转角(%)
Control	40.23±2.90 ^a	13.06±0.74 ^{bc}	14.28±1.53 ^{cd}	32.43±0.62 ^c
30	39.12±0.42 ^a	13.17±0.46 ^{abc}	15.28±0.38 ^{abc}	32.43±0.48 ^c
60	36.72±2.71 ^{ab}	14.30±1.27 ^{ab}	15.34±0.08 ^{abc}	33.63±1.50 ^c
90	36.71±0.12 ^{ab}	11.75±0.41 ^c	16.35±0.26 ^{ab}	35.20±0.04 ^{bc}
120	36.80±0.16 ^{ab}	11.51±0.20 ^c	16.57±0.17 ^a	35.13±0.17 ^{bc}
150	34.15±0.26 ^b	12.26±0.07 ^{bc}	12.89±0.15 ^d	40.70±0.48 ^{ab}
180	25.27±2.90 ^c	15.48±1.91 ^a	14.43±1.34 ^{bcd}	44.81±6.16 ^a

2.5 煮制对面条中水分分布的影响

低场核磁共振可以动态监测面条中水分分布和水分迁移^[30]。图 4 是预制面条中不同形态水分的相对含量,其体系中的水分含量对淀粉的老化交联和重结晶核的生长有一定的影响。由图 4 可知,面条中

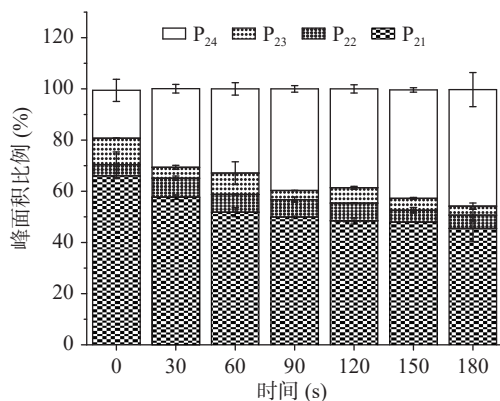


图 4 不同烹煮时间预制面条水分状态

Fig.4 Water state of preprocessed noodles at different cooking time

水分主要以四种形态存在, P_{21} 代表强结合水、 P_{22} 代表弱结合水、 P_{23} 代表束缚水、 P_{24} 代表自由水。生面条中水分主要以强结合水(66.01%)和自由水(18.70%)形态存在。烹煮后,自由水比例增加,而结合水比例降低。对于预制面条,随着烹煮时间的延长,自由水峰面积比例由 29.52% 增加到 45.54%,而结合水峰面积比例由 57.70% 降低到 45.50%。一般认为,体系中自由水含量的增加会改善体系中淀粉分子的流动性,增加分子碰撞机会,从而更易老化重结晶^[31]。

通过预制面条水分布研究,可认为制备预制面条的蒸煮过程主要分为三个阶段。煮制初期(30~60 s):与生面条相比,自由水比例明显增加,峰面积比例由 18.70% 增加到 32.90%,强结合水含量减少峰面积比例由 66.01% 降低到 51.83%,这可能是因为烹煮过程中面条外部的水分向内迁移,总体水分含量增大,引起自由水含量的相对性增加。烹煮过程中煮制 30 s 的预制面条结合水的水分含量占比量高,水与蛋白质或淀粉的结合最稳定^[32]。预制面条熟化阶段(60~150 s):该阶段中,煮制 60 s 至 120 s 时自由水峰面积比例由 32.90% 增加到 38.63%,强结合水峰面积比例由 51.82% 降低到 48.44%,其中自由水含量在 90 s 后基本保持稳定。随着煮制的进行面条持续吸水,淀粉糊化程度越高,对水分的束缚力减小,导致自由水含量持续上升,强结合水含量下降。煮制 120 s 至 150 s 时,自由水峰面积比例由 38.63% 增加到 42.37%,强结合水峰面积比例由 48.44% 降低到 47.95%,面条完全糊化形成了亲水性胶体,自由水和强结合水比例基本不变^[33],说明此时水分的结合达到一定程度平衡。过度煮面阶段(150~180 s):该阶段中自由水峰面积比例由 42.37% 增加到 45.54%,而强结合水峰面积比例由 47.96% 降低到 45.50%。煮制时间过长导致面条表面的蛋白质网络结构破坏严重,部分进入水中,这时水分更易进入面条内部导致面条自由水比例上升,强结合水比例下降,180 s 时,强结合水水分含量占比最低,面筋结构疏松,刚性降低,此时面条硬度最低。说明不同烹煮时间会影响面条的水分分布,在预制面条的加工过程中,要调控面条的水分迁移速率,在适宜的范围内增强面条结合水含量,使面条口感更佳。

2.6 煮制对预制面条微观结构的影响

用扫描电镜在放大倍数为 2000 倍下观察预制面条(外周层)的微观结构(图 5)。在生面条(Control)、煮面初期(30~60 s)和面条熟化(60~150 s)中都可以观察到明显的淀粉颗粒,但在过度煮面阶段(150~180 s)中淀粉颗粒无法被观察到,这与预制面条的糊化特性测定结果一致,这说明随着烹煮时间的增大面条中淀粉颗粒的完整性会降低。生面条中孔隙相对于煮煮后面条的孔隙小,结构较为致密。随着烹煮时间的延长预制面条结构逐渐变得松散,说明面筋网络的连续性随着烹煮时间的延长而降低。不同面筋网

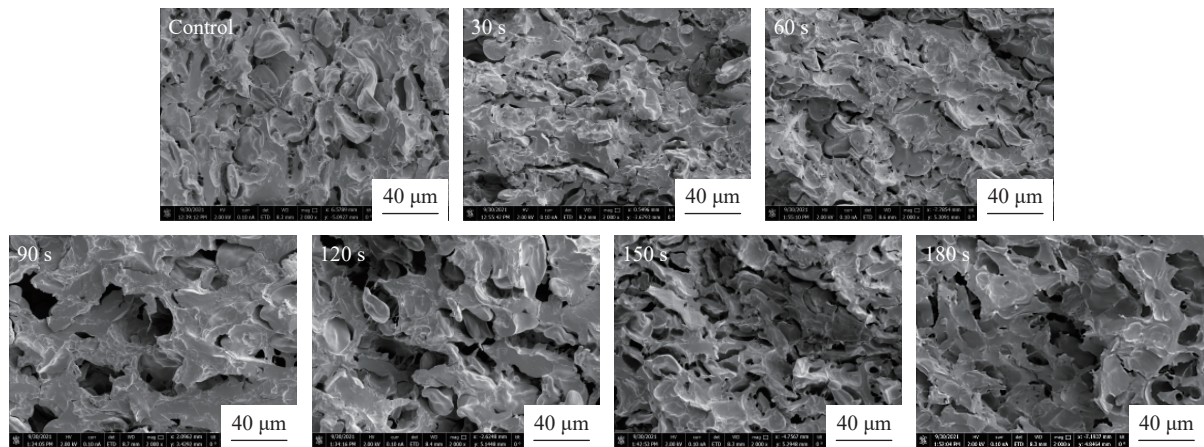


图 5 不同烹煮时间预制面条 SEM 图

Fig.5 Scanning electron micrographs of preprocessed noodles at different cooking time

表 5 预制面条数据的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of preprocessed noodles

	含水量	硬度	弹性	P ₂₁	P ₂₄	蒸煮损失	峰值黏度	谷值黏度	终值黏度
含水量	1								
硬度	-0.992**	1							
弹性	0.899*	-0.874*	1						
P ₂₁	-0.956**	0.948**	-0.968**	1					
P ₂₄	0.780	-0.766	0.923**	-0.926**	1				
蒸煮损失	0.759	-0.694	0.931**	-0.840*	0.848*	1			
峰值黏度	-0.826*	0.787	-0.969**	0.921**	-0.935**	-0.968**	1		
谷值黏度	-0.810	0.753	-0.945**	0.889*	-0.898*	-0.988**	0.986**	1	
终值黏度	-0.756	0.712	-0.951**	0.884*	-0.943**	-0.970**	0.990**	0.979**	1

注: *显著相关($P<0.05$); **极显著相关($P<0.01$)。

络强度对水分迁移的阻碍作用力大小不同^[34], 因此可以通过控制面筋网络的强度来调控水分迁移速率。

2.7 相关性分析

如表 5 所示, 预制面条含水量与硬度、 P_{21} 呈极显著负相关($P<0.01$), 与弹性、峰值黏度呈显著正相关或负相关($P<0.05$), 与 P_{24} 没有显著的线性相关性($P>0.05$), 可能是由于烹煮过程中随着预制面条烹饪时间的延长预制面条吸水, 体系中自由水水分含量占比上升的同时, 有一部分水与淀粉和蛋白结合形成其他形态。此外, 由表 5 可以看出, 硬度与弹性呈显著负相关($P<0.05$), 与 P_{21} 呈极显著正相关($P<0.01$)。结合之前相关研究, 随着烹煮时间的延长, 水分含量增大, 强结合水占比降低, 面条硬度减弱弹性增强。说明在烹煮面条生产过程中, 可以通过水分含量来预测面条质构特性, 从而判断烹煮过程中预制面条品质。

3 结论

本研究表明, 预制面条烹煮过程中品质发生了明显变化。与生面条相比, 烹煮后面条硬度、弹性、回复性都显著增加($P<0.05$), 但随着烹煮时间的延长, 预制面条的硬度呈现降低的趋势。同时, 随着烹煮时间的延长, 预制面条的白度、蒸煮损失率及吸水率显著增加($P<0.05$)。烹煮过程中淀粉糊化, 面条的整体黏度、回生值、崩解值逐渐下降, 加热使淀粉结

晶类型从 A 型转变成 V 型; 面条受热使维系蛋白质螺旋结构的化学键发生变化, 导致面筋网络结构破裂, 甚至不能够完全束缚淀粉颗粒, 但随着烹煮时间的延长 β -折叠含量呈现降低趋势, β -转角含量呈现上升趋势; 烹煮后面条水分分布改变, 结合水逐渐降低, 自由水含量逐渐增大。面筋网络的连续性及淀粉颗粒的完整性随着烹煮时间的延长而降低。在烹煮过程中, 加热赋予面条食用性的同时也破坏面条了面条内部结构的稳定性, 使面条的面筋网络结构产生不可逆损伤。由相关性分析可知, 煮后面条水分含量与硬度、 P_{21} 呈极显著负相关($P<0.01$), 与弹性呈显著正相关($P<0.05$); 硬度与 P_{21} 呈极显著正相关($P<0.01$)。表明烹煮后面条的水分含量与硬度、弹性、 P_{21} 之间关系密切。实现了通过水分含量对烹煮过程中面条品质的预测, 为预制面条进行后续冷藏及复热工序提供理论依据。

参考文献

[1] SOYOUNG K, SUYOUN K. Recent surge of ready meals in South Korea: Can they be healthy alternatives?[J]. Public Health Nutrition, 2019, 23(4): 1-10.

[2] 王金荣. 空心挂面加工和品质的影响因素研究及机理探讨[D]. 无锡: 江南大学, 2021. [WANG Jinrong. Study on the factors processing and quality of dried Kongxin noodles and the underlying mechanism[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.]

- [3] JAVAID A B, XIONG H, XIONG Z, et al. Effects of xanthan gum and sodium dodecyl sulfate on physico-chemical, rheological and microstructure properties of non-fried potato instant noodles[J]. *Food Structure*, 2021, 28: 100172.
- [4] 帅天罡. 重庆小面专用面粉品质特点研究及保鲜湿即食重庆小面的研制[D]. 重庆: 西南大学, 2018. [SHUAI Tiangang. Investigation of the characteristics of Chongqing noodles and its tailored flours and development of instant wet Chongqing noodles[D]. Chongqing: Southwest University, 2018]
- [5] 李田田. 小麦粉水分状态与品质关系研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015. [LI Tiantian. Study on the relationship of quality properties and moisture state of wheat flour henan[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015]
- [6] OBADI M, ZHANG J Y, SHI Y N, et al. Factors affecting frozen cooked noodle quality: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 109(8): 662–673.
- [7] 邱保文, 赵战通, 乔勇. 冷冻调理面的制备工艺: 中国, CN102524669A[P]. 2012-02-28. [QIU Baowen, ZHAO Zhantong, QIAO Yong. Preparation technology of frozen conditioning surface: China, CN102524669A[P]. 2012-02-28.]
- [8] 岳凤玲. 面粉特性及组成对冷冻熟面品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017. [YUE Fengling. Study on the effect of characteristics and components of wheat flour on the quality frozen cooked noodles[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.]
- [9] PORINITA D, SWEETY K, MRIDULA S B, et al. Instant rice-based composite pasta requiring no cooking[J]. *Food Science and Technology International*, 2021, 27(7): 635–648.
- [10] 郑柏根. ϵ -聚赖氨酸盐在方便湿面中的应用及其增效途径研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016. [ZHENG Bogen. Studies on the application of Epsilon-polylysine hydrochloride in instant wet noodle and its synergetic ways[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2016]
- [11] 李盘欣. 方便湿面新产品凉面[EB/OL]. 2019. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=SNAD&dbname=SNAD&filename=SNAD000001859479&uniplatform=NZKPT&v=TjRX_0fSS4sJreRfaokzMSTwIBNQBQQISnFlIGDsRToX6HTyw6qO32Aqnprq-XRYF4bdLdAwBu4%3d. [LI Panxin. Convenient wet noodles new product cold noodles[EB/OL]. 2019. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=SNAD&dbname=SNAD&filename=SNAD000001859479&uniplatform=NZKPT&v=TjRX_0fSS4sJreRfaokzMSTwIBNQBQQISnFlIGDsRToX6HTyw6qO32Aqnprq-XRYF4bdLdAwBu4%3d]
- [12] 文三彬. 煮制对面条中蛋白质及食用品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015. [WEN Sanbin. Effect of cooking on the protein noodle and edible quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2015.]
- [13] 季香青, 杨定宽, 曾承, 等. 四种生物酶对红豆小麦面团流变性质和面条质构性质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(20): 94–99. [JI Xiangqing, YANG Dingkuan, ZENG Cheng, et al. Effects of four enzymes on rheology of dough and texture of noodles of red bean wheat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(20): 94–99.]
- [14] 蒲华寅, 牛伟, 孙玉利, 等. 马铃薯泥面条制作工艺优化及品质分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(2): 170–174. [PU Huayin, NIU Wei, SUN Yuli, et al. Processing technology optimization and quality analysis of mashed potato noodles[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(2): 170–174.]
- [15] 于思文, 王玉超, 李丹, 等. 奇亚籽面条的质构和挥发性风味研究[J]. *粮食与油脂*, 2022, 35(1): 40–44. [YU Siwen, WANG Yuchao, LI Dan, et al. Study on texture and volatile flavor of chia seed noodles[J]. *Cereals & Oils*, 2022, 35(1): 40–44.]
- [16] 岳苗. 马铃薯浆-小麦面粉复配面团特性及面条品质研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2021. [YUE Miao. Research of potato pulp and wheat flour formulated dough properties and the noodle quality[D]. Xian: Shaanxi University of Science & Technology, 2021.]
- [17] 马薇薇, 李文钊, 魏敬, 等. 蛋清粉对糜米-小麦粉面团特性及馒头品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(14): 30–35. [MA Weiwei, LI Wenzhao, WEI Jing, et al. Effect of egg white powder on the characteristics of proso millet-wheat flour dough and steamed bread[J]. *Food Science*, 2020, 41(14): 30–35.]
- [18] 屈展平, 任广跃, 张迎敏, 等. 马铃薯燕麦复合面条热泵-热风联合干燥质热传递规律分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(5): 57–65. [QU Zhanping, REN Guangyue, ZHANG Yingmin, et al. Analysis of mass and heat transfer characteristics of potato and oat composite noodles during combined heat pump-hot air drying[J]. *Food Science*, 2020, 41(5): 57–65.]
- [19] 张颜颜, 郑学玲, 李利民, 等. 热处理及不同浓度食盐对生鲜面条品质及货架期的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(10): 13–18. [ZHANG Yanyan, ZHENG Xueling, LI Limin, et al. Effect of heat treatment and different concentration salt addition on the quality and shelf-life of fresh noodles[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(10): 13–18.]
- [20] DELCOUR J A, JOYE I, PAREYT B, et al. Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products[J]. *Annual Review of Food Science & Technology*, 2012, 3(1): 469.
- [21] 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 Xiaolei. Study on the water state and distribution of chinese dried noodles during drying process[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017.]
- [22] 黄峻松, 马珂莹, 蒲华寅, 等. 面团冻藏对陕西 Biangbiang 面条品质变化的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(2): 79–85. [HUANG Junrong, MA Keying, PU Huayin, et al. Effect of dough frozen storage on the quality change of Shaanxi Biangbiang noodles[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(2): 79–85.]
- [23] IZYDORCZYK M S, SL LAGASSÉ, HATCHER D W, et al. The enrichment of Asian noodles with fiber-rich fractions derived from roller milling of hull-less barley[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 85(12): 2094–2104.
- [24] 闫喜梅, 胡新中, 李俊俊, 等. 水分含量对燕麦淀粉糊化老化特性影响的研究[J]. *中国粮油学报*, 2015, 30(4): 27–32. [YAN Ximei, HU Xinzong, LI Junjun, et al. Effects of moisture content on the gelatinization and retrogradation of oat starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2015, 30(4): 27–32.]
- [25] 戚明明, 郭鹏, 汪陈洁, 等. 挤压对淀粉微观结构和理化性质影响的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(5): 305–310. [QI Mingming, GUO Peng, WANG Chenjie, et al. Research progress of

the effects of extrusion on microstructure and physicochemical properties of starch[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(5): 305–310.]

[26] 周梦露, 钱晓洁, 孙冰华, 等. 蛋白质及其水解物对谷物淀粉糊化、回生及消化性的影响研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(2): 180–187. [ZHOU Menglu, QIAN Xiaojie, SUN Binghua, et al. The effect of protein and its hydrolysates on the gelatinization, retrogradation and digestibility of cereal starch: A review[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(2): 180–187.]

[27] 刘少广, 邹恩坤, 张立军. 预糊化小麦粉的热力学和糊化特性研究[J]. *粮食与食品工业*, 2017, 24(6): 73–77. [LIU Shao-guang, ZOU Enkun, ZHANG Lijun. The characteristic analysis on pre-gelatinized wheat flour of different gelatinization degrees[J]. *Cereal and Food Industry*, 2017, 24(6): 73–77.]

[28] 赵永青, 何小维, 黄强, 等. 淀粉颗粒的结晶性及非晶化方法[J]. *现代化工*, 2007, 27(11): 67–69. [ZHAO Yongqing, HE Xiaowei, HUANG Qiang, et al. Crystallinity properties of starch granule and non-crystallization methods for it[J]. *Modern Chemical Industry*, 2007, 27(11): 67–69.]

[29] 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*, 2017, 246:

342–335.

[30] PITOMBO R, LIMA G. Nuclear magnetic resonance and water activity in measuring the water mobility in Pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) fish[J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 58(1): 59–66.

[31] 赵思明. 稻米淀粉特性与老化机理研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2001. [ZHAO Siming. Study on the properties and retrogradation mechanism of rice starch[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2001.]

[32] 曲秦坤, 张岚, 陈玥彤, 等. 亲水性胶体对玉米鲜湿面水分迁移及质构的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(15): 48–52. [QU Qinkun, ZHANG Lan, CHEN Yuetong, et al. Effects of hydrocolloids on water migration and texture of fresh corn noodles[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(15): 48–52.]

[33] 李妍. 利用核磁共振及成像技术研究即食海带湿面的加工与储藏过程[D]. 福州: 福州大学, 2014. [LI Yan. Using the NMR and MRI to study the processing and storage of kelp fresh noodles[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2014.]

[34] 田萍萍. 小麦粉特性对速冻熟制面条在冻结及保藏期间品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017. [TIAN Pingping. Effect of wheat flour on the quality of frozen cooked noodles during freezing and storage process[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017.]