

# 面条蒸制过程中水分迁移及糊化特性

陈洁, 余寒, 王远辉, 卞科

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 运用低场核磁共振、核磁成像、快速黏度分析和光学显微镜研究蒸制过程中面条的水分分布、迁移、糊化特性及微观结构的变化。对水分含量、弛豫时间( $T_2$ )、质子密度( $M_2$ )和糊化特性进行相关性分析。结果表明: 面条中的水分主要以弱结合水的形式存在。在蒸制过程中, 水分由面条外部向内部迁移, 总水分、弱结合水和深层结合水含量整体呈现先增加后稳定的趋势, 深层结合水增长趋势缓慢; 弱结合水自由度逐渐增大。面条峰值黏度、衰减值随蒸制时间延长呈下降趋势。观察面条微观结构发现, 蒸制使面条淀粉糊化, 体积变大, 表层淀粉糊化程度高于内层。相关性分析结果表明, 水分含量与 $T_{22}$ 、 $M_{22}$ 和 $M_{\text{总}}$ 呈极显著正相关( $P < 0.01$ ); 水分含量、 $T_{22}$ 、 $M_{22}$ 及 $M_{\text{总}}$ 均与峰值黏度、衰减值、最终黏度呈显著负相关( $P < 0.05$ )或极显著负相关( $P < 0.01$ )。

**关键词:** 面条; 蒸制; 低场核磁共振; 核磁成像; 水分迁移; 糊化特性

## Moisture Migration and Pasting Profiles of Noodles during Steaming

CHEN Jie, YU Han, WANG Yuanhui, BIAN Ke

(College of Cereal and Food, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** Low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR), magnetic resonance imaging (MRI), a rapid viscosity analyzer (RVA) and an optical microscope were used to study the moisture migration, water status, pasting properties and microstructure of noodles during steaming. The correlation among moisture content, transverse relaxation time ( $T_2$ ), proton density ( $M_2$ ) and pasting properties was also analyzed. The results showed that less tightly bound water was the major component of the total moisture in steamed noodle. During steaming, moisture migrated from the surface to the interior until reaching the core. Moisture content and the proportions of less tightly bound water and tightly bound water increased until reaching a plateau; the proportion of tightly bound water showed a slower increase and the mobility of less tightly bound water gradually rose. Both peak viscosity and breakdown decreased with the increase of steaming time. The microscopic investigation showed that starch granules swelled, and became greater in size. Moreover, starch granules in the central region of steamed noodles had a lower degree of gelatinization than in the external region. Correlation analysis showed that moisture content was highly significantly correlated with  $T_{22}$ ,  $M_{22}$  and  $M_{\text{total}}$  ( $P < 0.01$ ), and each of these was significantly ( $P < 0.05$ ) or extremely significantly ( $P < 0.01$ ) with peak viscosity, breakdown and final viscosity.

**Keywords:** noodle; steaming; low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR); magnetic resonance imaging (MRI); moisture migration; pasting properties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804006

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 04-0032-05

引文格式:

陈洁, 余寒, 王远辉, 等. 面条蒸制过程中水分迁移及糊化特性[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 32-36. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804006. <http://www.spkx.net.cn>

CHEN Jie, YU Han, WANG Yuanhui, et al. Moisture migration and pasting profiles of noodles during steaming[J]. Food Science, 2018, 39(4): 32-36. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201804006. <http://www.spkx.net.cn>

蒸面是将鲜湿面经过蒸制、包装后得到的一类面条, 作为一种速食的方便食品, 深受消费者喜爱。蒸面的食用方式多样, 可做汤面、拌面、炒面、卤面。蒸面

是一种低水分面条, 其自身水分含量有限, 经蒸制后面条糊化程度较低, 面条干、颜色发白、易断裂, 吃起来“夹生”, 品质较差。“着水”是将面条瞬间浸在水中

收稿日期: 2016-11-03

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303070)

第一作者简介: 陈洁(1963—), 女, 教授, 硕士, 研究方向为东方食品加工原理与技术。E-mail: [cjie06@163.com](mailto:cjie06@163.com)

后立即捞出,使其表面附着一层水分。工业生产过程中,为解决面条干、不易糊化、品质差等问题,将面条蒸制一段时间后进行着水、复蒸,从而改善蒸制面条品质<sup>[1-3]</sup>。

面条的水分迁移与分布对于蒸制面条的品质有很重要的影响。低场核磁共振(low field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)技术是利用氢质子在磁场中的自旋-弛豫特性,通过弛豫时间的变化研究样品的水分形态与分布。核磁成像(magnetic resonance imaging, MRI)技术是将样品的质子密度、弛豫时间等性质通过图像的形式直观地表现出来<sup>[4-6]</sup>。Bosmans<sup>[7]</sup>、李田田<sup>[8]</sup>、Zhang Jinsheng<sup>[9]</sup>等利用LF-NMR和MRI研究贮藏过程中不同温度条件下面包水分迁移变化、不同贮藏条件对面条水分状态的影响以及面包和乳酪中水分分布的差异。Serial<sup>[10]</sup>、Lin Xiangyang<sup>[11]</sup>、刘锐<sup>[12]</sup>、薛雅萌<sup>[13]</sup>等运用LF-NMR研究添加纤维素对饼干面团水分迁移的影响、添加抗性淀粉和不同和面方式对面团水分迁移的影响。Lai等<sup>[14]</sup>运用MRI技术研究盐白面条在煮制及贮存过程中的水分分布情况。本实验通过LF-NMR和MRI技术,研究面条在蒸制过程中内部水分分布及迁移情况,同时研究蒸制过程中面条淀粉糊化特性的变化,探讨不同蒸制阶段面条水分含量与弛豫时间( $T_2$ )、质子密度( $M_2$ )、糊化特性之间的相关性。在实际生产过程中,通过快速测定面条的水分含量来预测面条品质及糊化程度,为蒸制面条工业化生产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

金苑特一粉 河南金苑粮油有限公司;无碘食盐 河南省盐业总公司。

### 1.2 仪器与设备

HZT-B5000电子天平 福州华志科学有限公司;BSA和面机 广州威力事实业有限公司;JMTD-168/140小型制面机组 北京腾威机械有限公司;MicroMR-CL- I 变温型核磁共振食品农业成像分析仪 上海纽迈电子科技有限公司;RVA-4型快速黏度仪 澳大利亚Newport科学仪器公司;FD-1A-50冷冻干燥机 北京博医康实验仪器有限公司;202-00A电热恒温干燥箱 天津泰斯特仪器有限公司;N-300M型生物显微镜 宁波永新光学股份有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品制作

取面粉500 g于和面机中,加入150 g水(含2.5 g食盐),和面15 min,室温条件下熟化10 min,压延6次,辊间距依次为3、2.5、2.0、1.6、1.3、1.0 mm,制得鲜湿面条,由前期实验可知,面条的最佳蒸制工艺为:先蒸

制3 min后,进行着水(水温25℃),随后复蒸8 min。为研究蒸制不同阶段面条水分、糊化特性及微观结构变化,将蒸制过程分为5个阶段,具体实验条件为:第1阶段:生面条;第2阶段:蒸3 min;第3阶段:蒸3 min,着水,复蒸2 min;第4阶段:蒸3 min,着水,复蒸4 min;第5阶段:蒸3 min,着水,复蒸8 min。其中,“着水”指将面条瞬间浸在水中后立即捞出。

#### 1.3.2 水分含量的测定

制得的面条按照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》方法测定水分含量。

#### 1.3.3 LF-NMR实验

称取约长5 cm面条样品1.00 g放入样品管中,用自旋回波脉冲序列进行扫描。主要参数设置:采样点数41 612、采样频次200.00 kHz、采样间隔时间2 000.00 ms、回波个数1 000、半回波时间0.100 ms、累加次数16,将 $T_2$ 进行反演,可以得到反演图<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.4 MRI实验

称取约长1 cm面条样品放入样品管中,对其进行自旋回波SE脉冲序列质子密度二维成像。实验参数:重复时间500 ms、回波时间20 ms、矩阵256×256、层厚6.0 mm、扫描次数8。得到样品的质子密度图像<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.5 糊化特性分析

将面条样品真空冷冻干燥、粉碎,过80目筛。参照GB 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定 快速粘度仪法》所述方法,用快速黏度分析仪测定面条淀粉糊化特性的变化<sup>[16]</sup>。

#### 1.3.6 微观结构分析

将面条试样在冰箱中冷冻3 h后,将面条进行切片,将薄片放在载玻片上展开,用0.1%的亮绿水溶液染色1 min,再用10%的Lugol氏碘液染色1 min,盖上盖玻片。将载玻片置于光学显微镜下,用10×40倍观察面条微观结构的变化<sup>[17]</sup>。

### 1.4 数据处理

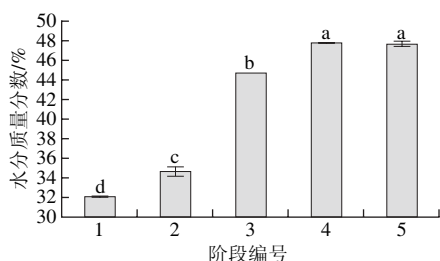
采用Origin 8.5进行整理数据和制作图表。采用SPSS 16.0对得到的数据进行方差分析及显著性检验和相关分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 蒸制过程中面条水分含量变化

如图1所示,随着蒸制时间的延长面条水分含量呈增加趋势,在复蒸4 min后基本趋于平稳。蒸制过程中,面条与蒸锅内高密度的水蒸气间存在浓度差,以及高密度水蒸气产生的压力,使水分子由面条外部向内部迁移,面条水分增加。着水后,面条周围的水分子密度急剧增加,有助于水分向面条内部迁移。着水后,

面条水分含量显著增加,此后随着蒸制时间的延长,面条内部与外部的的水分达到平衡状态,水分含量稳定在一定范围内<sup>[18]</sup>。



小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

图1 蒸制过程中面条水分的变化

Fig. 1 Variation in moisture content of noodles during steaming

## 2.2 LF-NMR实验结果

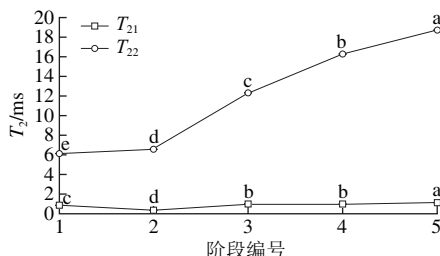


图2 蒸制过程中面条T<sub>2</sub>的变化

Fig. 2 Changes in T<sub>2</sub> of noodles during steaming

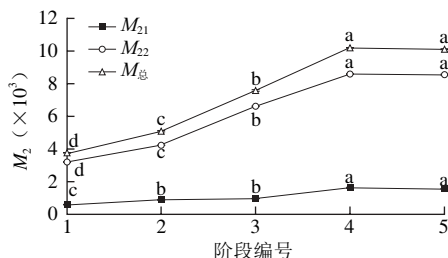


图3 蒸制过程中面条M<sub>2</sub>的变化

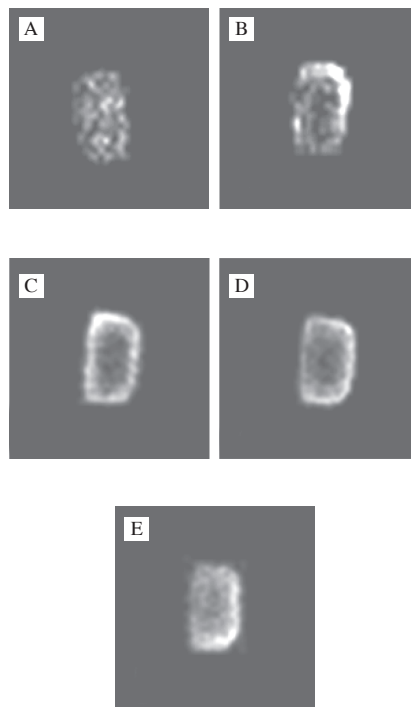
Fig. 3 Changes in M<sub>2</sub> of noodles during steaming

如图2、3所示,  $T_2$ 反演图中,不同波峰对应的 $T_2$ 值由小到大分别记作 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ ,将 $T_2$ 对应的峰面积分别记作 $M_{21}$ 、 $M_{22}$ 。 $T_{21}$ 对应的水分结合形式是深层结合水,这部分水与淀粉、蛋白质的羟基、氨基等极性基团通过静电作用力或氢键形成紧密结合的水分子层,其自由度较低; $T_{22}$ 对应的水分结合形式是弱结合水,这部分水或被面筋蛋白的网络结构包裹,或存在于淀粉等大分子颗粒间隙中,其自由度介于深层结合水和自由水之间<sup>[4,12,19-20]</sup>; $M_{21}$ 、 $M_{22}$ 表示对应类型氢质子密度,质子密度越大,说明该类型水分含量越高; $M_{22}$ 越大,说明弱结合水含量越高<sup>[13]</sup>。如图2所示,蒸制3 min时, $T_{21}$ 减小, $T_{22}$ 无显著变化,短时间的蒸制使水与蛋白质和淀粉水合,使它们

之间的结合更加紧密<sup>[21]</sup>,深层结合水自由度降低。着水后,随着蒸制时间延长 $T_{21}$ 没有显著性变化, $T_{22}$ 逐渐增大。面条表面附着的水分,在热的作用下发生迁移,更多的水分与面条淀粉、蛋白结合,并以弱结合水的形式存在,弱结合水自由度增加<sup>[22]</sup>。

如图3所示,蒸制3 min时, $M_{2总}$ (总质子密度)和 $M_{22}$ 增大, $M_{21}$ 略有增大。着水后,随着复蒸时间延长 $M_{2总}$ 和 $M_{22}$ 呈现先增大后稳定的趋势,复蒸4 min和8 min时的 $M_{21}$ 、 $M_{22}$ 和 $M_{2总}$ 均无显著性差异。着水后复蒸2 min时, $M_{2总}$ 和 $M_{22}$ 显著增大, $M_{21}$ 无显著变化,说明此时迁移至面条内部水分主要以弱结合水的形式存在。复蒸4 min时, $M_{21}$ 、 $M_{22}$ 和 $M_{2总}$ 显著增大,而面条内的深层结合水和弱结合水含量均有大幅度增加,说明随着复蒸时间的延长,在水分进入面条内部转变成弱结合水的同时,有一部分弱结合水发生迁移转变成深层结合水。复蒸4 min后 $M_2$ 均无显著变化,说明此时水分的结合达到一定程度平衡,此结果与图1相同。

## 2.3 MRI实验结果



A~E.阶段编号1~5。

图4 蒸面过程面条MRI图像的变化

Fig. 4 Changes in MRI images of noodles during steaming

利用MRI研究蒸制面条中水分分布及迁移情况,如图4所示,单位体积质子密度越大,信号越强,在图片中亮度越亮;质子密度越小,信号越弱,在图片中亮度越暗<sup>[23-24]</sup>。由图4可知,生面条的MRI图像较暗但明暗均匀,说明生面条水分含量较低但其水分分布较为均匀。蒸制3 min后面条部分表面区域亮度增加,短时间的蒸

制使面条表面水分增加。面条表面附着一层水分后,经2 min复蒸,面条表面区域亮度显著增强;着水使面条表层周围水分子密度大幅度增加。此后,随着蒸制时间的延长,水分由面条表面向内部迁移。蒸制完成时,面条内部相对较为均匀。这与水煮盐白面条在煮制过程中的水分迁移相似<sup>[14]</sup>。

#### 2.4 蒸制过程中面条糊化特性的变化

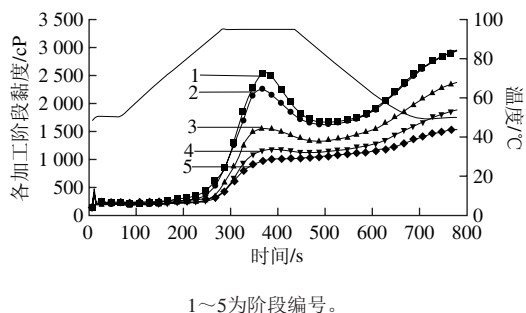


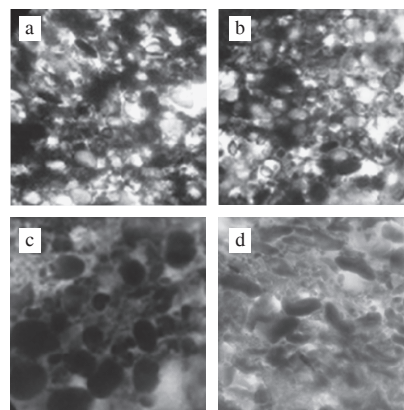
图5 蒸制过程中面条糊化特性的变化

Fig. 5 Changes in RVA pasting profiles of noodles during steaming

如图5所示,随着蒸制时间的延长整体黏度、峰值黏度逐渐降低。复蒸4 min和8 min时,图中已不能明显体现衰减值的的变化。淀粉黏度的变化与淀粉颗粒膨胀和破裂有关<sup>[25]</sup>。蒸制过程中淀粉吸水、膨胀、结晶结构破坏,导致黏度下降<sup>[26-27]</sup>。由图1可知,着水、复蒸2 min后面条内水分含量显著增加,此时黏度显著降低,说明水分的大量进入可以大大促进淀粉膨胀破裂。衰减值的降低说明在蒸制过程中已糊化淀粉不断增多,面条中淀粉发生不可逆的变化,结构更加稳定<sup>[28]</sup>。有研究表明,未着水面条蒸制3 min后,面条黏度性质变化缓慢<sup>[29]</sup>,由此可见,着水可以大大提高面条的糊化。

#### 2.5 蒸制后面条微观结构变化

运用光学显微镜观察蒸制后面条微观结构变化,用碘液和亮绿分别将淀粉和蛋白染色,染色后,蛋白质呈绿色,淀粉呈紫色或黑褐色<sup>[30]</sup>。将蒸制3 min,过水,复蒸8 min的蒸制面条与生面条,对其表面以及中心部位分别进行切片、染色,结果如图6所示。生面条表层和内部淀粉均呈圆形和椭圆形,其颗粒完整光滑,包裹在清晰的蛋白质网络结构中。蒸制后,蛋白质在水和热的作用下发生交联,形成更加致密的结构,形成均匀的框架,使淀粉颗粒紧凑的镶嵌在其中;面条表面和内层的淀粉颗粒均吸水膨胀,体积明显变大,表层的淀粉颗粒中间有明显塌陷<sup>[16]</sup>,有少数淀粉破裂;内层的淀粉没明显塌陷。说明面条表面的淀粉糊化程度高于面条内部<sup>[21]</sup>。



a.生面条(内部); b.生面条(表层); c.蒸制面条(内部); d.蒸制面条(表层)。

图6 蒸制前后面条微观结构变化

Fig. 6 Optical micrographs of fresh noodles and steamed noodles

#### 2.6 相关性分析结果

表1 蒸制面条水分含量、 $T_2$ 、 $M_2$ 及糊化特性的相关性分析

Table 1 Correlation analysis between moisture content, gelatinization degree and relaxation times ( $T_2$ ) and proton density ( $M_2$ )

	水分含量	$T_{21}$	$T_{22}$	$M_{21}$	$M_{22}$	$M_{23}$	峰值黏度	衰减值	最终黏度
$T_{21}$	0.712	1							
$T_{22}$	0.959**	0.765	1						
$M_{21}$	0.513	0.524	0.703	1					
$M_{22}$	0.986**	0.681	0.979**	0.570	1				
$M_{23}$	0.978**	0.662	0.978**	0.577	0.999**	1			
峰值黏度	-0.988**	-0.688	-0.984**	-0.621	-0.995**	-0.992**	1		
衰减值	-0.991**	-0.618	-0.948*	-0.526	-0.986**	-0.982**	0.989**	1	
最终黏度	-0.928*	-0.773	-0.996**	-0.756	-0.958*	-0.959**	0.965**	0.917*	1
糊化温度	0.861	0.361	0.865	0.659	0.892*	0.899*	-0.911*	-0.918*	-0.850

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

如表1所示,面条水分含量与 $T_{22}$ 、 $M_{22}$ 和 $M_{23}$ 呈极显著正相关 ( $P<0.01$ );同时,水分含量、 $T_{22}$ 、 $M_{22}$ 及 $M_{23}$ 均与峰值黏度、衰减值、最终黏度呈显著负相关 ( $P<0.05$ )或极显著负相关 ( $P<0.01$ )。此外,由表1可以看出, $T_{21}$ 和 $M_{21}$ 与面条水分含量、糊化特性没有显著的线性相关性,可能是由于蒸制和着水使面条增加的水分主要以弱结合水的形式存在,而弱结合水增加,说明与淀粉结合的水增加,淀粉糊化程度增加。结合2.1~2.3节可知,蒸制过程中随着着水及蒸制时间的延长,水分含量升高,弱结合水含量增加,利于面条糊化。因此,在蒸制面条生产过程中,可以通过水分含量来预测面条的结构状态和糊化程度,从而判断面条品质的优劣。

### 3 结论

本实验研究了蒸制过程中面条水分含量、水分迁移和分布以及糊化特性的变化情况。结果表明:短时间的蒸制,面条周围蒸汽密度增加,使一部分水蒸气进入面

条表面, 深层结合水和弱结合水质子密度增大; 同时, 在面条周围高温作用下, 一部分淀粉发生糊化。着水使水分大量进入面条, 使弱结合水质子密度急剧增加; 此后随着复蒸时间延长, 水分由面条表层向深层迁移, 淀粉不断吸水、膨胀、原有结构破坏, 致使其糊化黏度下降。蒸制完成时, 面条内水分自由度最大, 淀粉糊化黏度最低。由于着水使面条水分含量增加的程度有限, 水分经过由外而内迁移后, 内部水分含量总体上仍低于表面的水分。因而, 虽然面条表层和内部淀粉基本上均已糊化, 但面条表层淀粉的糊化程度高于内部; 相对与面条内部的淀粉而言, 表层淀粉颗粒中心有明显的塌陷。由相关性分析可知, 蒸制过程中, 水分含量与 $T_{22}$ 、 $M_{22}$ 和 $M_{总}$ 呈极显著正相关( $P<0.01$ ); 同时, 水分含量、 $T_{22}$ 、 $M_{22}$ 及 $M_{总}$ 均与峰值黏度、衰减值、最终黏度呈显著负相关( $P<0.05$ )或极显著负相关( $P<0.01$ )。因此, 蒸制面条的水分含量、弱结合水自由度、弱结合水含量、淀粉糊化峰值黏度及衰减值之间相关性显著, 这一关系的研究, 实现了通过水分含量对蒸制过程中水分分布及面条淀粉糊化程度的预测, 为蒸制面条的工业化生产提供技术和理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 李曼. 生鲜面制品的品质劣变机制及调控研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 2-5.
- [2] 吴昊, 陈存社, 杨菊芳, 等. 不同压力蒸汽对面条汽蒸处理效果的比较研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(21): 111-114.
- [3] 周惠明. 冷冻熟面的工艺技术研究[J]. 粮食与饲料工业, 1998(1): 34-35.
- [4] 张锦胜. 核磁共振及其成像技术在食品科学中的应用研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 2-9.
- [5] KIRTI E, OZTOP M H.  $^1\text{H}$  Nuclear magnetic resonance relaxometry and magnetic resonance imaging and applications in food science and processing[J]. Food Engineering Reviews, 2016, 8(1): 1-22. DOI:10.1007/s12393-015-9118-y.
- [6] PASINI G, GRECO F, CREMONINI M A, et al. Structural and nutritional properties of pasta from *Triticum monococcum* and *Triticum durum* species. A combined  $^1\text{H}$  NMR, MRI and digestibility study[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2015, 63(20): 5072. DOI:10.1021/acs.jafc.5b01993.
- [7] BOSMANS G M, LAGRAIM B, OOMS N, et al. Storage of parbaked bread affects shelf life of fully baked end product: a  $^1\text{H}$  NMR study[J]. Food Chemistry, 2014, 165: 149-156. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.05.056.
- [8] 李田田, 王晓曦, 马森, 等. 储藏条件对生鲜湿面条水分状态及相关品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2014(7): 31-35. DOI:10.7633/j.issn.1003-6202.2014.07.009.
- [9] ZHANG S Y, LIN X Y, RUAN R S, et al. Mobility of water in binary system of bread and cheese as studied by magnetic resonance imaging[J]. 食品科学, 2006, 37(11): 132-138. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2006.11.026.
- [10] SERIAL M R, BLANCO C M, CARPINELLA M, et al. Influence of the incorporation of fibers in biscuit dough on proton mobility characterized by time domain NMR[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 950-957. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.101.
- [11] LIN X Y, ZHANG J S, LIU Y Y, et al. Evaluation effects of adding different resistant starches on firmness and stickiness of dough by NMR during proofing[C]. 福建: 中国科学技术协会年会, 2010.
- [12] 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. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2015.09.043.
- [13] 薛雅萌, 赵龙, 李保国. 低场核磁共振法测定热烫面团水分迁移特性及超微结构分析[J]. 食品科学, 2014, 35(19): 96-100. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201419020.
- [14] 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. DOI:10.1016/j.foodres.2004.06.008.
- [15] 刘锐. 和面方式对面团理化结构和面条质量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015: 35-45.
- [16] 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: 12-30.
- [17] 汪磊. 烩面面团加工特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016: 30-39.
- [18] 谢小雷, 李侠, 张春晖, 等. 牛肉干中红外-热风组合干燥工艺中水分迁移规律[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 322-330. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.14.040.
- [19] 肖东, 周文化, 陈帅, 等. 亲水多糖对鲜湿面货架期内水分迁移及老化进程的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 298-303. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201618047.
- [20] BLANCHARD C, LABOURE H, VERELA A, et al. Study of the impact of wheat flour type, flour particle size and protein content in a cake-like dough: proton mobility and rheological properties assessment[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(3): 691-698. DOI:10.1016/j.jcs.2012.08.005.
- [21] PETITOT M, ABECASSIS J L, MICARD V. Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity[J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 20(11/12): 521-532. DOI:10.1016/j.tifs.2009.06.005.
- [22] 陈卫江. 核磁共振技术在淀粉糊化回生中的研究与应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2007: 30-36.
- [23] 林向阳, 阮榕生, 陈卫江, 等. NMR和MRI技术研究面团的发酵过程[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 142-146. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2006.11.028.
- [24] 林向阳, 陈卫江, 何承云, 等. 核磁共振及其成像技术在面团形成过程中的研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(6): 163-167. DOI:10.3321/j.issn.1003-0174.2006.06.039.
- [25] ZAVAREZE E D R, STORCK C R, DE CASTRO L A S, et al. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content[J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 358-365. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.12.036.
- [26] GULER S, KOKSEL H, PKW N. Effects of industrial pasta drying temperatures on starch properties and pasta quality[J]. Food Research International, 2002, 35: 421-427. DOI:10.1016/S0963-9969(01)00136-3.
- [27] LUO L J, GUO X N, ZHU K X. Effect of steaming on the quality characteristics of frozen cooked noodles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(2): 1134-1140. DOI:10.1016/j.lwt.2015.02.008.
- [28] E L E S A N D R A D A R O S A Z, C Á T I A R E G I N A S, L U I S A N T O N I O S U I T A D C, et al. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content[J]. Food Chemistry, 2010, 121: 358-365. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.12.036.
- [29] 李晶, 骆丽君, 郭晓娜, 等. 蒸制对冷冻荞麦熟面品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(2): 9-12. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2016.02.003.
- [30] 陈洁, 石林凡, 汪礼洋, 等. 食盐对拉面面团延伸性影响的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2015(2): 35-38. DOI:10.7633/j.issn.1003-6202.2015.02.009.