

# MRI 研究冷冻馒头微波复热过程水分的迁移变化

林向阳<sup>1,2</sup>, 何承云<sup>1</sup>, 阮榕生<sup>1,\*</sup>, 张锦胜<sup>1</sup>, 陈卫江<sup>1</sup>, 朱榕璧<sup>2</sup>  
(1.南昌大学食品科学教育部重点实验室, 江西 南昌 330047;  
2.福州大学生物工程研究所, 福建 福州 350002)

**摘 要:** 普通新鲜馒头在  $-18^{\circ}\text{C}$  的环境中冷冻 24h 后, 取出进行微波解冻加热实验。利用核磁共振成像(MRI)技术研究冷冻馒头复热过程中水分的迁移变化。馒头在受热过程中水分的损失直接影响馒头的品质。实验比较了冷冻馒头在微波蒸碗不加水 and 加水两种方式下含水量的变化, 发现微波蒸碗加水复热对馒头的水分有一定的补偿效果。

**关键词:** 冷冻馒头; MRI; 微波加热; 水分迁移; 含水量

## Studies of Water Mobility in Frozen Steamed Bread under Microwave Reheating Using Magnetic Resonance Imaging

LIN Xiang-yang<sup>1,2</sup>, HE Cheng-yun<sup>1</sup>, RUAN Rong-sheng<sup>1,\*</sup>, ZHANG Jin-sheng<sup>1</sup>,  
CHEN Wei-jiang<sup>1</sup>, ZHU Rong-bi<sup>2</sup>  
(1.The Key Laboratory of Food Science of MOE, Nanchang University, Nanchang 330047, China)  
(2. Institute of Biotechnology Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** The flesh steamed breads were frozen at  $-18^{\circ}\text{C}$  for twenty four hours. Then were reheated through microwave. Water mobility of frozen steamed bread were studied by Magnetic Resonance Imaging. Because water content was one of key factors that influenced the quantity of steamed bread, we compare the two ways to reheat steamed breads: one was no water at the bottom of microwave bowl, other was some boiled water in the bottom of microwave bowl. The result showed the second means could improve the water content of steamed breads.

**Key words:** frozen steamed bread; Magnetic Resonance Imaging; microwave heating; moisture migration; water content

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2005)08-0082-05

馒头作为我国大众传统食品之一, 因其具有营养丰富、口感好、价格低廉等特点而深受人们的喜爱。冷冻馒头也越来越符合快节奏生活人群的需要。微波炉具

有加热速度快、使用方便、易于控制、经济实惠等特点, 利用微波加热冷冻馒头应该还是比较理想的选择。但是, 馒头经微波炉加热后品质会发生变化, 出现复热

收稿日期: 2005-07-08

\*通讯作者

基金项目: 江西省技术带头人培养计划 (Z02605)

作者简介: 林向阳(1969-), 男, 博士研究生, 研究方向为食物资源的开发与利用。

提取工艺的研究[J]. 食品科学, 2002, (2): 62-65.

[4] 王开发, 王隆华, 支崇远, 等. 玉米花粉黄酮类物质对清除自由基的作用[J]. 中国养蜂, 2001, 52(6):

4-5.

[5] 曾小玲. 马齿苋水提物对氧自由基清除作用的研究[J]. 湖南医科大学学报, 1999, 24(2): 133-136.

不完全或者变硬、粗糙等问题。

磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI), 又称核磁共振成像(Nuclear Magnetic Resonance Imaging, NMRI), 作为一种非创伤性、无辐射损伤的成像方法, 已经发展成为医学诊断的重要工具。目前, 磁共振成像技术的应用领域也在逐渐扩大, 在食品和农副产品方面, NMR 和 MRI 成为一种具有快速、非侵入、无损和无毒无副作用的新的研究方法<sup>[1]</sup>。本实验正式利用 MRI 技术的优势, 实现实时、直观检测冷冻馒头复热过程水分运动的变化情况。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

新鲜馒头: 从超市购买当天同批次同一时间蒸出的家常普通馒头, 挑选重量在 60g 左右, 长度在 7.5~8.0cm, 宽度 4.5~5.0cm, 高度 4.5~5.0cm 的馒头作为实验用样品。

### 1.2 仪器

0.3T 1HYOMINGMR2 IMAGING 核磁共振成像系统 宁波健信机械有限公司; WD900(MG-5513M)型微波炉 LG 电子(天津)电器有限公司; BS32SS 型电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司; DW-FL135 型超低温冷冻储存箱 中科美菱低温科技有限责任公司; 恒温鼓风干燥箱 上海精密实验设备有限公司; Testo 迷你温度计 广州市圣高测控科技有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 微波复热实验

将大小均匀、形状基本一致的新鲜馒头储藏在-18℃环境的冷冻储存箱中, 储存 24h 进行微波复热实验。首先做普通微波复热实验, 即将冷冻馒头取出后置入直径约为 20cm 的微波蒸碗中央, 碗底不加水, 再将蒸碗放入炉内转盘中心处后, 选取不同输出功率的微波加热功率档进行解冻加热。然后, 对应于上述方法中每一个加热档解冻加热结束的时间, 再做加水微波复热实验, 即: 在微波蒸碗碗底加入大约 200ml 的自来水, 用微波加热至水温达到 90℃以上后, 再取冷冻馒头置于蒸碗中央进行复热。表 1 是微波炉加热档与输出功率的对应表。表 2 是普通微波复热实验(不加水)加热功率与加热时间的对应表。

#### 1.3.2 磁共振成像(MRI)实验

磁共振成像的基本原理是利用 H 质子在静磁场、梯度磁场和射频脉冲的作用下产生磁共振现象, 在层面选定梯度起作用的同时, 施加一个有选择性的射频脉冲激励被成像物体, 然后通过射频线圈接收被激发质子所发

表 1 WD900 型微波炉加热功率

Table 1 The power of the WD900 microwave oven

微波加热档	输出功率(%)
P-H20	20
P-H40	40
P-H60	60
P-H80	80
P-H100	100

表 2 不加水微波复热实验加热功率与加热时间

Table 2 The power and heating time of the microwave heating experiment that was no water in the bottom of microwave bowl

加热档	加热时间(s)	
P-H20	180	200
P-H40	120	140
P-H60	90	105
P-H80	60	70
P-H100	35	40

表 3 加水微波复热实验加热功率与加热时间

Table 3 The power and heating time of the microwave heating experiment that some had some boiled water in the bottom of microwave bowl

加热档	加热时间(s)								时间间隔(s)
P-H20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
P-H40	20	40	60	80	100	120	140		20
P-H60	15	30	45	60	75	90	105		15
P-H80	10	20	30	40	50	60	70		10
P-H100	10	15	20	25	30	35	40		5

出的共振信号, 通过空间编码技术和傅立叶转换将其转换成图像信息<sup>[2]</sup>。因为不同位置的氢质子的共振频率不同, 所获得的磁共振的信号强度就与质子的密度呈一定的正比关系。通常, 磁共振信号越强的区域, 图像越亮, 质子密度越大; 反之, 图像较暗, 说明该区域信号较弱, 质子密度较小。

本实验采用 YOMINGMR2 IMAGING 核磁共振成像系统对样品进行扫描选层成像。将不加水微波复热后的每一个样品, 立即放置在一个自制泡沫保温盒(10cm×6cm×5cm)中, 然后将样品盒放在磁场中射频线圈的中心位置, 射频线圈的直径 15.6cm。采用自旋回波脉冲序列获得馒头的 T1 加权像(T1-weighted)。序列参数设置: 重复时间 TR=1000ms, 回波时间 TE=20ms, 视野 FOV=16cm, 切层厚度为 10mm; 数据矩阵 1024×128, 傅立叶变换(FFT)后生成矩阵 512×512 的空间分布图像, 最后所得图像均以标准 BMP 的格式保存。

#### 1.3.3 水分含量测定

将微波碗底不加水和不加水两种方式微波解冻复热结束时的馒头, 从微波炉中取出后, 用刀从馒头中间切出 2~10g 的薄片并切碎, 然后根据食物水分测定方法 GB5009.2-85 测出每一个样品的平均含水量, 重复三次, 取平均值。

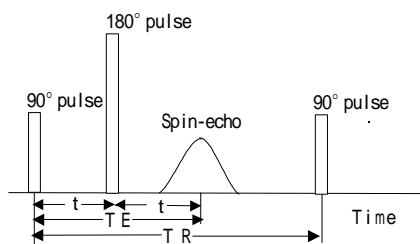


图1 自旋回波序列的射频脉冲时序

Fig.1 The scheduling of radio frequency pulse in spin echo sequence

## 2 结果与讨论

### 2.1 冷冻馒头复热过程水分的迁移

新鲜馒头随着冻藏温度的降低,水分子的运动逐渐变慢,直至形成晶体的刚性结构,表现出来的弛豫信号很弱。加热使冷冻馒头的温度升高,分子的运动加快,自由度增强;当冰受热逐渐融化成液态水时,质子的磁共振信号越来越强。利用磁共振成像技术检测冷冻馒头从解冻到加热结束这一过程水分的移动情况。在大量实验的基础上,我们针对不同的微波加热功率摸索出比较有代表性的加热时间(见表2)。图2至图6是冷冻馒头在不同加热功率下加热不同时间时的MR图像。未解冻的冰层,氢质子的自由度低,弛豫信号很差,在图像上表现为近似黑色;解冻的区域,冰融化成水,弛豫信号明显增强,在图像上表现较亮。

采用P-H20功率加热时(图2),从40s开始,每延长20s加热一个样品。微波P-H20的功率太低,40s的加热时间对冷冻馒头的改变不大,只有表皮少许冰霜融化凝聚在表皮上,在图像上表现为四周一圈比较亮,中间呈黑色。加热时间60s时,馒头表层部分已经解冻,内部冻结层通过吸收微波能量和表层传递的热量开始慢慢融化,加热时间80s时,内部冻结层只剩下一小部分还未解冻。从MR图像可以看出,加热时间达100s时,冷冻馒头基本解冻完全,水质子分布比较均匀。继续加热,馒头温度迅速升高,分子运动加速,馒头表层的水分开始往外蒸发,馒头内层的水分又开始往外层迁移扩散。在加热时间200s的图像上,馒头内部中心区域的质子信号比外层信号更低一些。在扫描图像时,被测样品加热后都放在自制保温盒中,馒头水分不易向周围空间扩散,便有少许冷凝水聚集在馒头的表皮和保温盒的内壁,有些图像四周异常亮,原因就在与此。

### 2.2 微波复热后馒头含水量的变化

微波输出功率越高,馒头吸收的微波能越大,解冻加热时间就随之缩短。冷冻馒头在P-H40功率、P-H60功率、P-H80和P-H100功率解冻加热过程的MR图像分别如图3~6所示。冷冻馒头的解冻过程以及水分迁移变

化的情况与在P-H20功率加热时的类似,只是微波解冻的效率都要比P-H20功率高。从冷冻馒头的解冻MR图像可以看出,馒头先从表皮开始解冻,再由表层到内层解冻。如果馒头表皮有冻裂的地方,那么馒头就优先从冻裂处开始往内解冻,如图2中的2、图3中的1、

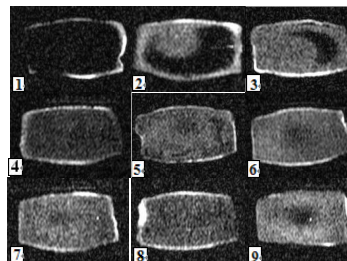


图2 冷冻馒头在微波P-H20加热档每间隔20s加热后的MRI图像(1=40s,……,9=200s)

Fig.2 The magnetic resonance images of frozen steamed bread heated under the P-H20 microwave power every twenty seconds(1=40s,……,9=200s)

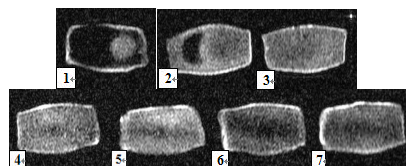


图3 冷冻馒头在微波P-H40加热档每间隔20s加热后的MRI图像(1=20s,……,7=140s)

Fig.3 The magnetic resonance images of frozen steamed bread heated under the P-H40 microwave power every twenty seconds (1=20s,……,7=140s)

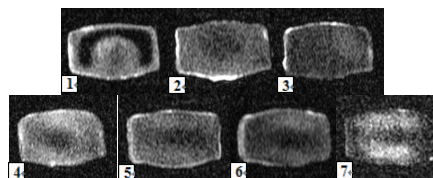


图4 冷冻馒头在微波P-H60加热档每间隔15s加热后的MRI图像(1=15s,……,7=105s)

Fig.4 The magnetic resonance images of frozen steamed bread heated under the P-H60 microwave power every twenty seconds (1=15s,……,7=105s)

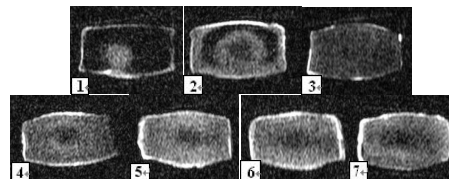


图5 冷冻馒头在微波P-H80加热档每间隔10s加热后的MRI图像(1=10s,……,7=70s)

Fig.5 The magnetic resonance images of frozen steamed bread heated under the P-H80 microwave power every twenty seconds (1=10s,……,7=70s)

表4 馒头在不同微波功率下加热不同时间后的含水量

Table 4 The water content of steamed bread heated under different microwave power after different time

加热档		P-H20		P-H40		P-H60		P-H80		P-H100	
加热时间(s)		180	200	120	140	90	105	60	70	35	40
含水量	不加水	36.11	32.10	35.59	32.91	34.02	33.95	35.34	33.77	33.95	32.05
(%)	加水	39.05	39.00	37.61	36.59	36.58	36.55	37.31	36.62	38.54	37.88

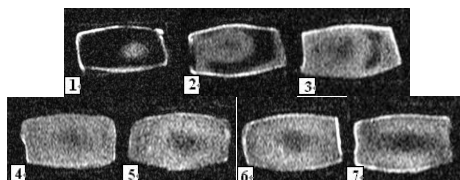


图6 冷冻馒头在微波 P-H100 加热档每间隔 5s 加热后的 MRI 图像 (1=10s,……,7=40s)

Fig 6 The magnetic resonance imagings of frozen steamed bread heated under the P-H80 microwave power every twenty seconds(1=10s,……,7=40)

图4中的1、图5中的1和图6中的2。冷冻馒头从冰箱中取出到置入微波炉中这段时间,与空气接触,表皮温度迅速升高,冰霜少许融化。开始加热时,馒头表皮层冰层吸收微波能量后迅速融化成水。因为,液态水吸收微波能量的速度比冰更快<sup>[3]</sup>,所以馒头表层的温度很快升高,冻结冰很快就会融化,而且冻裂处比表皮完整处吸收的微波能量更多一些。

馒头表层解冻后,温度比内层冰层高的多,就开始向比它温度更低的馒头内层和外部空间传递热量,因为馒头在保温盒中热量不易向外部空间散失,所以热量主要是向内部冻层传递。因此,馒头内部冻层就通过吸收微波能量和表层传递的热量开始逐渐融化,至完全解冻为止。进一步加热时,馒头表层温度升高速率比内层温度升高速率更快,所以馒头表层水分就因为蒸发而损失<sup>[4]</sup>。这时,馒头内层的水分吸收的微波能量就比外层吸收的微波能量高,温度迅速升高<sup>[5]</sup>,进而热量又开始往馒头外层扩散,水分开始向馒头表层迁移。这个现象体现在每个加热功率档加热时间比较长的MR图像上。

### 2.3 微波复热后馒头含水量的变化

水分含量是影响馒头微波复热后品质的主要因素。刚蒸出的馒头的含水量大约40%<sup>[6]</sup>。冷冻复热后,馒头水分损失越多,品质就变的越差。因此,在参照微波直接加热馒头的基础上,我们进一步研究了微波蒸碗带水加热对馒头含水量的补偿效果,主要以微波解冻完全后的时间段为研究重点。馒头在不同加热功率下加热时间后的含水量如表4所示。

从表4中可以看出,在微波碗底加少许热水对复热后的馒头的含水量有很好的补偿效果。两种复热方式下水分含量的变化以柱形图表现出来更加直观,如图7所

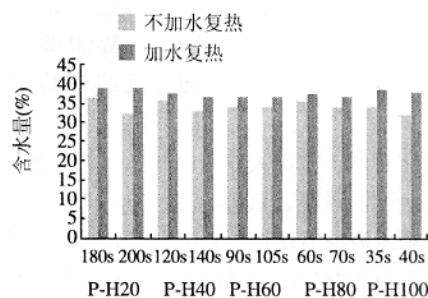


图7 加水复热和不加水复热后馒头的含水量

Fig.7 The water content of steamed bread after heated adding water and no water

示。不加水复热时,馒头在低功率下受热的时间长,水分损失也较严重一些。但是,P-H60功率加热90s和105s后,馒头的含水量很接近。P-H80和P-H100功率加热结束前后两个时间段,馒头水分损失的幅度比P-H20和P-H40功率加热结束前后两个时间段馒头水分损失幅度稍小一些。加水复热时,碗底水分继续受热产生的蒸汽阻碍了馒头水分的蒸发,能有效地提高馒头复热后的含水量。

### 3 结论

微波复热冷冻馒头既快速又方便。但是,人们对微波复热冷冻馒头过程的理论研究却很少。我们引进磁共振成像系统这一非破坏非侵入的分析工具,研究冷冻馒头在不同的微波加热功率下水分和热量的变化,为进一步研究其在解冻加热过程的质传和热传奠定基础。尽管微波加热有很多优点,但是对食品来说,人们更关注食品微波加热后的品质。通过比较两种复热方式馒头含水量的变化,我们得到加水复热对馒头的水分有一定的补偿作用。低功率加热需要的时间比较长,消耗的微波能量也较多,馒头含水量变化的幅度也比较大,不适宜采用;不加水复热时,加热功率过高,虽然加热时间短,利用率高,但是水分损失很严重,也不适宜采用。从图7中可见,当不加水复热时,P-H60加热功率加热结束前后含水量变化不大,比较适宜采用。如果采用加水复热,碗底水分蒸汽对P-H20加热功率和P-H100加热功率的改善效果最好。综合上述,采用加水高功率复热是比较理想的复热方式,既节能又能保证馒头的品质。

# 大杯伞菌丝体培养及其延缓离体腓肠肌疲劳的研究

黄清荣, 辛晓林, 杨立红, 潘永胜  
(烟台师范学院生命科学学院, 山东 烟台 264025)

**摘要:** 目的: 探讨大杯伞菌丝体培养的最佳液体培养基及其对骨骼肌疲劳的影响。方法: 采用深层培养方法, 筛选出较优的碳源、氮源、无机盐, 设计三因素四水平的正交试验, 筛选大杯伞的最适培养基; 采用脉冲式电流直接刺激蟾蜍离体腓肠肌作为疲劳模型, 观察大杯伞菌丝体和任氏液对蟾蜍腓肠肌收缩能力的影响。结果: 最适培养基为红糖 2%、麦麸 3%、磷酸二氢钾 0.2%; 0.8、0.3mg/ml 的大杯伞菌丝体能够延长肌肉收缩下降到最大收缩幅度的 90%、50% 和 10% 的时间, 与对照组相比有统计学意义, 0.1mg/ml 的大杯伞菌丝体能够延长肌肉收缩幅度下降到最大收缩幅度的 90% 的时间, 与对照组相比有统计学意义 ( $p < 0.05$ )。结论: 大杯伞菌丝体对离体骨骼肌的疲劳有延缓作用。

**关键词:** 大杯伞; 深层培养; 正交试验; 离体腓肠肌; 肌肉疲劳

## Study of the Submerged Culture of *Clitocybe maxima* Mycelia and Its Effect on Isolated Skeletal Muscular Fatigue Induced by Electric Stimulation in Toad

HUANG Qing-rong, XIN Xiao-lin, YANG Li-hong, PAN Yong-sheng  
(College of Life Science, Yantai Normal University, Yantai 264025, China)

**Abstract:** Object: To study the submerged culture of *Clitocybe maxima* mycelia and its effect on skeletal muscle fatigue. Method: Selecting the optimum carbon sources, nitrogen sources and inorganic salt to get the optimum liquid medium recipe by the orthogonal test in three factors and four levers; Isolated toad gastrocnemius stimulated by pulse electricity was regarded as fatigue model and *Clitocybe maxima* mycelia was compared with Ringer solution to see what influence they had on muscle contract ability. Results: The optimum liquid medium recipe was brown sugar 2%, wheat-bran 3%,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.2%. *Clitocybe maxima* mycelia of 0.8mg/ml and 0.3mg/ml could delay the time when muscle contract extent was 90%, 50% and 10% of its maximum, while that of 0.1mg/ml could delay the time when contract extent was 90% of its maximum ( $p < 0.05$ ). Conclusion: *Clitocybe*

收稿日期: 2005-07-03

作者简介: 黄清荣 (1970-), 男, 高级实验师, 本科, 主要从事微生物和食用菌的教学与科研。

### 参考文献:

- [1] R Roger Ruan, Paul L Chen. Water in foods and biological materials-A nuclear magnetic resonance approach[M]. Technomic Publishing Company, Inc. ISBN No. 1-56676-589-7. 1998, 75-91.
- [2] 俎栋林. 核磁共振成像学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 53-86.
- [3] 成坚, 曾庆孝, 吴小勇. 冻结食品的微波吸收特性初探[J]. 食品科技, 1999, (2): 16-18.
- [4] 陈卫, 张灏, 赵建新, 等. 冷冻馒头微波复热过程中温度和水分变化的研究[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(5).
- [5] Kevin P Notta, Laurance D Halla, et al. MRI phase mapping of temperature distributions induced in food by microwave heating[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2000, (18): 69-79.
- [6] 赵仁勇, 王金水, 崔剑峰. 馒头老化指标的初步研究[J]. 中国粮油学报, 2000, 17(5): 14-17.