

# 基于智能蒸箱的米饭蒸制条件优化

冯瑞红<sup>1</sup>, 杨宏旭<sup>1</sup>, 王科瑜<sup>1</sup>, 陈东坡<sup>2</sup>, 李阿敏<sup>2</sup>, 王勇<sup>2</sup>, 周鹏<sup>1\*</sup>

(1. 江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 杭州老板电器股份有限公司, 浙江 杭州 311100)

**摘要:** 通过家庭用智能蒸箱蒸制稻花香米, 记录米饭蒸制升温曲线, 结合质构测定、感官评价和扫描电镜观察等方式, 分析不同米水比和加热时间对蒸后米饭食味品质的影响。质构结果表明: 随米水比的增加, 米饭整体硬度和个体硬度显著下降, 个体黏性显著上升; 随加热时间的延长, 整体硬度和粘性以及个体硬度呈下降趋势, 个体弹性上升。电镜观察结果显示随蒸制时间延长, 米粒内部变得疏松, 15 min 时米饭开始明显糊化。结合感官评分结果可得出的结论是: 以稻花香为米种, 在室温浸泡 30 min、焖制 20 min 的条件下, 智能蒸箱中蒸制米饭的最佳米水比为 1.0:1.2, 最佳蒸制时间为 35 min。

**关键词:** 蒸箱; 米水比; 食品热加工; 质构; 感官分析; 烹饪工艺

中图分类号: TS 972.131

文献标识码: A

文章编号: 2095-8730(2019)01-0039-06

随着智能厨电行业的飞速发展, 越来越多的智能厨电企业希望将模式菜单简单化和集成化, 从而实现消费者在交互界面前端的简易操作, 为消费者的家庭烹饪提供最大的便捷。米饭是我国居民日常饮食中的重要主食之一, 其烹饪方式已从传统蒸制发展到使用电饭煲, 但后者的烹饪空间较小, 功能相对单一。智能蒸箱较好地 将电饭煲煮饭功能和明火烹饪等功能整合为一体, 可应用不同温度烹饪不同食材, 但由于电饭煲等电器的加热环境与智能蒸箱不同, 其相关烹饪工艺参数无法直接应用, 因此研究智能蒸箱蒸制米饭的工艺参数具有重要意义。米水比和蒸制时间是蒸制米饭时的两个关键因素,<sup>[1]</sup> 本研究旨在通过感官评价<sup>[2]</sup>、质构测定<sup>[3-4]</sup> 和扫描电镜观察等来表征智能蒸箱蒸制米饭的最佳米水比和蒸制时间, 从而为实现蒸箱的一键式智能烹饪工艺提供数据支持。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验材料

五丰稻花香米: 五常市华润五丰米业有限公司; 水等。

### 1.2 实验设备

ZQB400-S226 型蒸汽炉: 杭州老板电器股份有限公司; UT322 型热电偶: 优利德科技(中国)有限公司; TA.XTPlus 型质构仪: 英国 Stable Micro System; PL2002 型电子天平: 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。托盘尺寸: 20 cm × 27 cm × 4.8 cm。BenchTop Pro 台式冻干机: 美国 Virtis; M3030 台式电子显微镜: 日本株式会社日立高新技术那珂事务所。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 米饭制备

米饭的制备参照 GB/T 15682—2008。

#### 1.3.2 不同米水比的范围设定

根据预实验结果, 将实验米水比设定为 1.0:1.0、1.0:1.2、1.0:1.4 和 1.0:1.6, 分别进行米饭的蒸制, 蒸制时间设为 30 min, 参考 GB/T 15682—2008 焖制 20 min, 并进行质构测定和感官评定, 以确定最佳米水比。<sup>[5]</sup>

#### 1.3.3 不同米饭蒸制时间的范围确定

在米水比最终优化结果的基础上, 依据预实验结果, 最长蒸制时间为 40 min, 每隔 5 min 取点, 焖制 20 min, 进行指标检测。

收稿日期: 2018-11-07 \* 通信作者

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-0666)

作者简介: 冯瑞红(1994-), 女, 甘肃兰州人, 江南大学食品科学与技术国家重点实验室硕士研究生, 从事食品物性研究;

周鹏(1975-), 男, 山东青岛人, 江南大学食品科学与技术国家重点实验室教授, 博士, 从事食品物性、乳制品和水产品加工研究。

### 1.3.4 米饭升温曲线的监测

将一个热电偶探头置于蒸箱内部,另一个插入1/2米量高度处,蒸制开始即记录。

### 1.3.5 米饭质构的测定

米饭焖制结束后,将托盘从蒸箱中取出,立即进行质构的测定。每种条件下分别蒸制两盘米饭,一盘测定6次,得到整体硬度和黏性,重复3次;另一盘搅拌均匀,取3粒米饭在质构平台上排列成辐射状,<sup>[6]</sup>得到个体硬度、弹性和黏性,测定6次,重复3次。采用P/36R型圆柱形压缩探头,整体测试模式为压缩模式,个体测试模式为二次压缩模式。具体质构参数如表1所示。

表1 整体质构及个体质构测定参数

质构参数	整体质构	个体质构
测前速度(mm/s)	2.0	0.5
测中速度(mm/s)	2.0	1.0
测后速度(mm/s)	10	1.0
触发力(g)	20	20
下压距离/形变(mm)	20	第一次下压40%, 第二次下压75%

### 1.3.6 米饭的感官评价

米饭蒸制结束后,采用保鲜膜封口并保存在45℃烘箱内,待全部蒸制完成后统一进行评价。评价方法和评分标准按GB/T 15682—2008实施,6名评价员按要求对米饭气味、外观结构、适口性、滋味和冷饭质地打分,之后对感官评价结果进行汇总分析和讨论。

### 1.3.7 米饭物性变化的测定

米饭加热不同时间并保温后,立即从蒸箱内取出,室温下冷却30 min,测定米饭的质量和体积变化。米饭体积变化参照熊善柏等<sup>[7]</sup>的实验方法进行。

### 1.3.8 扫描电子显微镜(SEM)观察

将蒸制后的米饭室温冷却30 min,取蒸盘中心的米饭进行液氮预冷冻,然后放入真空冷冻干燥机中48 h。取出后用手从垂直于米粒长轴的中心折断,用强力胶将半截米粒粘于扫描电镜专用载物台上,横截面朝上,离子溅射镀膜仪中喷金30 s,置于扫描电子显微镜下观察,电子枪加速电压为15 kV,观察放大200倍和1000倍的米粒横截面结构。

### 1.3.9 数据处理

采用Excel软件对实验数据进行统计和分析,并采用SPSS.20统计分析软件中的ANOVA方法对实验数据进行显著性分析,以 $P < 0.05$ 为差异显著,对米饭的质构特性和感官评分结果进行分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 米饭米水比的优化

#### 2.1.1 米饭升温曲线

不同米水比下箱体温度和中心温度的变化情况如图1所示。

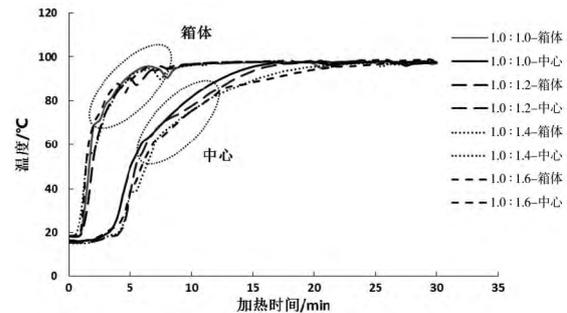


图1 不同米水比的升温曲线

从图1可以看到箱体温度的升温速率较快并很快保持稳定,当米水比为1.0:1.0时,米饭中心升温速率相对较高,1.0:1.2次之,而1.0:1.4与1.0:1.6升温速率较接近且相对较慢。结合不同米水比下米饭外观随时间的变化情况可知,升温阶段大致可分为四部分:0~3 min为第一阶段,由于此时箱体正在升温,中心温度基本维持在20℃左右;3.0~7.5 min为第二阶段,由于米饭中心与箱体环境之间巨大的温差,该阶段升温速率显著加快;而这两个阶段为米饭的吸水阶段,表现为水层高度的降低以及米饭体积的稍许膨胀;7.5~20.0 min为第三阶段,米饭充分吸水后糊化,在热力作用下体积变化显著,<sup>[8]</sup>升温速率有所降低;20~30 min为第四阶段,米饭体积基本维持不变,米粒表面水分进一步蒸发,此时中心温度基本维持在95~97℃之间,温度变化较小。

#### 2.1.2 不同米水比米饭质构的变化

从米饭整体质构来看(图2),不同米水比对米饭硬度影响显著,随着加水量的增加,米饭整体硬度明显下降( $P < 0.05$ ),其中米水比为1.0:1.2和1.0:1.4的样品硬度值较接近,而当米水比达到1.0:1.6时,米饭充分吸收糊化,硬度值进一步下

降。黏性方面,后三者较接近,而1.0:1.0米水比样品的黏性较大,这可能与样品糊化不充分、米粒体积膨胀较小,导致样品间空隙较小,结合紧密,整体对探头的拉力更大相关。

从米粒个体质构结果分析(图2),其弹性值基本在0.48%左右,而其硬度和黏性随米水比的不同而表现出显著差别( $P < 0.05$ ),其硬度呈现逐渐下降趋势而黏性逐渐上升。黏度越大,米饭粒表面越不光滑,适口性越差。<sup>[9]</sup>

### 2.1.3 不同米水比的米饭感官分析

从表2可知,米水比为1.0:1.0的样品外观结构较完整,但气味和口感并不突出,总体感官评分较低且与后三者存在显著性差别( $P < 0.05$ )。1.0:1.6的样品亮白且富有光泽,但容易黏牙,总体偏软,由于结构破裂严重导致其嚼劲有所下降。而1.0:1.2和1.0:1.4样品的感官品质较接近,具有米饭特有香味且软硬适中,有一定嚼劲,相比1.0:1.2感官评分更高一些。同时从喜好程度来看,米水比为1.0:1.2的米饭样品更受人们喜爱。

综合质构和感官的分析结果,发现米饭品质与米水比的相关度较大,加水量较少时米饭糊化度相对较低,表现为硬度的增加,表面黏性较低;而加水量过多容易造成米粒结构的溶胀破裂,表现为硬度的显著下降和黏性的显著上升,口感上缺乏嚼劲。相比之下,1.0:1.2和1.0:1.4米水比的样品质构和口感较好,且两者品质接近,其中1.0:1.2样品总体升温速率较快,硬度和黏性适中,感官品质稍突出,结合喜好程度决定以1.0:1.2比例作为后续实验的米水比。

## 2.2 米饭蒸制时间的优化

### 2.2.1 米饭的物理性质变化

由图3、图4可知,当加热时间为5 min时,米饭吸水并不充分,表面水层明显,米饭的质量增加率和体积膨胀率较低,分别为84.4%和104.6%。

当加热时间增至10 min及以上时,样品的质量增加率及体积膨胀率达到最大且基本不受时间的影响,质量增加率在115%~116%之间,体积膨胀率在169%~172%之间,这可能是由于20 min保温的作用。

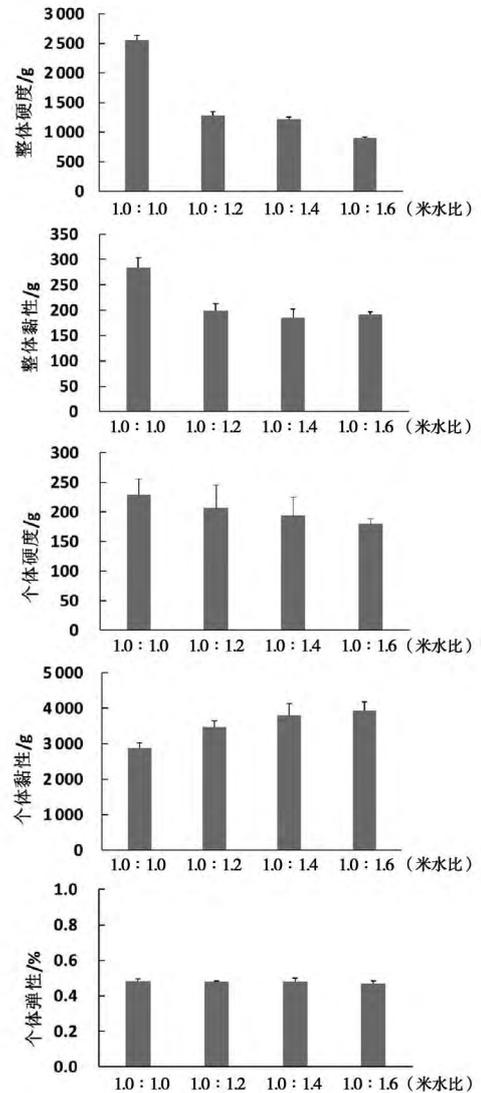


图2 不同米水比米饭质构的变化

表2 评分法感官分析结果

感官指标	1.0:1.0	1.0:1.2	1.0:1.4	1.0:1.6
气味(20分)	13.17 ± 1.33 <sup>a</sup>	16.17 ± 1.17 <sup>b</sup>	16.50 ± 2.43 <sup>b</sup>	15.67 ± 2.25 <sup>b</sup>
外观结构(20分)	16.33 ± 2.66 <sup>a</sup>	16.67 ± 1.63 <sup>a</sup>	16.67 ± 1.37 <sup>a</sup>	17.50 ± 0.84 <sup>a</sup>
适口性(30分)	20.00 ± 5.90 <sup>a</sup>	24.83 ± 1.94 <sup>a</sup>	24.33 ± 3.08 <sup>a</sup>	22.67 ± 2.73 <sup>a</sup>
滋味(25分)	18.83 ± 1.83 <sup>a</sup>	20.67 ± 1.63 <sup>a</sup>	20.83 ± 1.83 <sup>a</sup>	20.83 ± 1.47 <sup>a</sup>
冷饭质地(5分)	2.83 ± 1.17 <sup>a</sup>	4.33 ± 0.82 <sup>b</sup>	4.00 ± 0.63 <sup>b</sup>	4.17 ± 1.33 <sup>b</sup>
总分(100分)	71.17 ± 9.54 <sup>a</sup>	82.67 ± 4.32 <sup>b</sup>	82.33 ± 5.89 <sup>b</sup>	80.83 ± 3.31 <sup>b</sup>

注:表中不同小写字母数值间代表组内差异显著,相同小写字母数值间代表组内无显著差异。

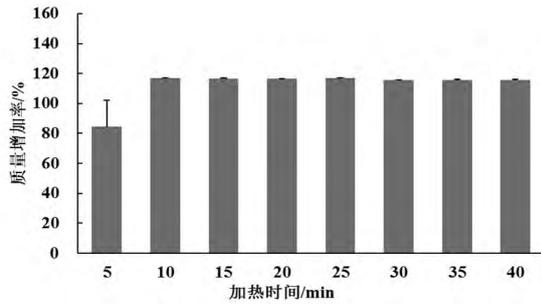


图3 米饭蒸制前后质量的变化

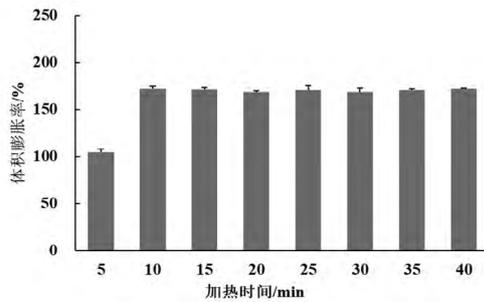


图4 米饭蒸制前后体积的变化

### 2.2.2 不同蒸制时间下米饭质构的变化

图5为不同蒸制时间下米饭整体硬度和黏性,以及个体硬度、弹性和黏性的变化趋势。

整体质构特性方面,其硬度和黏性随加热时间的延长均呈现下降趋势,加热时间为5 min和10 min时,由于米饭并未完全糊化,中心仍有些夹生,因而在硬度上显著偏高( $P < 0.05$ ),体积膨胀度小而黏性大。15~40 min内米饭的硬度和黏性稍有下降,但并不存在显著差别,表明此时样品内部基本吸水完全,无夹生及硬心现象。

从个体质构数据来看,前15 min质构变化显著( $P < 0.05$ ),主要为硬度的显著下降及弹性、黏性的显著上升。适当地延长蒸制时间能有效提高米饭糊化程度,<sup>[10]</sup>15 min之后,样品的质构特性均有稍许下降,米粒进一步糊化,表面逐渐变得干燥。40 min时的个体黏性与前几个时间点相比存在显著差异( $P < 0.05$ ),这可能是由于米粒已充分糊化,表面水分蒸发导致。

### 2.2.3 不同蒸制时间的米饭感官分析

前期感官评价得出,当加热时间在5~20 min时,米饭熟化不完全,口感较差。因此,最终从25、30、35和40 min时间点内选出最佳蒸制时间。感官评价结果如表3所示。

可以看出,25 min时米饭的光泽度较突出,但

相对缺乏其特有香气、口感上粘牙、有淀粉味,总体评分在四者中最低。30 min和40 min总分相同,30 min口感较湿润,稍有黏牙感;而40 min米粒表面较干燥,光泽度稍差,口感上较富有嚼劲,两者各有侧重。相比而言,35 min样品口感最佳,香气浓郁且软硬适中、咀嚼时富有嚼劲和香味、感官品质较优。

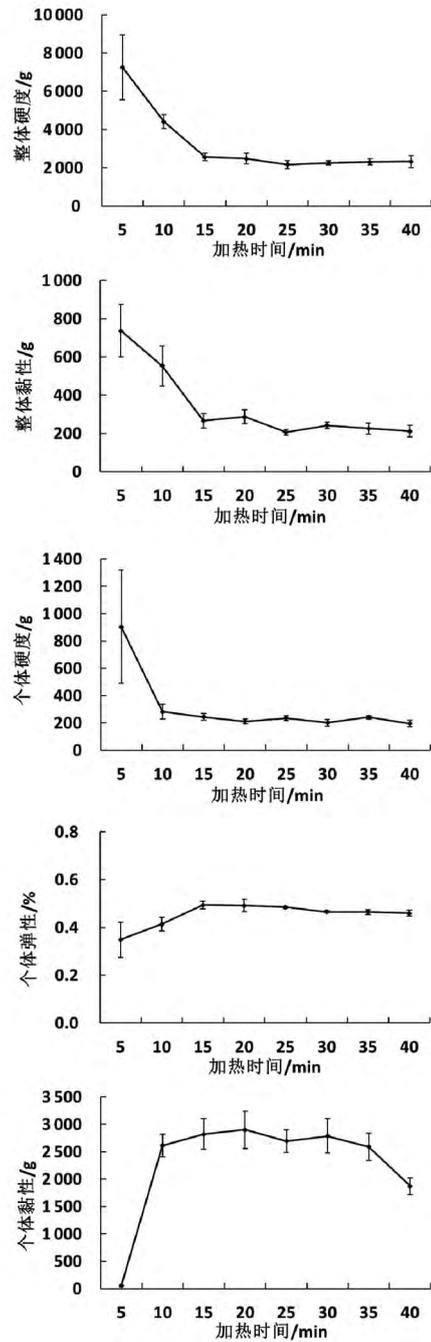


图5 不同加热时间米饭质构的变化

表3 评分法感官分析结果

感官指标	25 min	30 min	35 min	40 min
气味(20分)	14.17 ± 1.94 <sup>a</sup>	16.33 ± 1.63 <sup>b</sup>	18.00 ± 0.63 <sup>b</sup>	16.67 ± 2.25 <sup>b</sup>
外观结构(20分)	18.50 ± 1.22 <sup>a</sup>	17.33 ± 1.97 <sup>a</sup>	17.67 ± 1.03 <sup>a</sup>	17.67 ± 1.75 <sup>a</sup>
适口性(30分)	21.67 ± 2.88 <sup>a</sup>	22.67 ± 3.27 <sup>a</sup>	24.17 ± 1.72 <sup>a</sup>	23.67 ± 2.16 <sup>a</sup>
滋味(25分)	19.33 ± 2.16 <sup>a</sup>	21.17 ± 2.86 <sup>a</sup>	21.33 ± 1.97 <sup>a</sup>	19.67 ± 3.01 <sup>a</sup>
冷饭质地(5分)	4.17 ± 0.75 <sup>a</sup>	3.83 ± 0.98 <sup>a</sup>	4.17 ± 0.75 <sup>a</sup>	3.67 ± 0.52 <sup>a</sup>
总分(100分)	77.83 ± 5.42 <sup>a</sup>	81.33 ± 7.79 <sup>a</sup>	85.33 ± 4.41 <sup>a</sup>	81.33 ± 6.68 <sup>a</sup>

注:表中不同小写字母数值间代表组内差异显著,相同小写字母数值间代表组内无显著差异。

#### 2.2.4 扫描电子显微镜观察

图6所示为生米粒及不同蒸制时间后米饭粒的扫描电镜图,可以看出在米粒横截面中心区域分布着呈一定几何形状的淀粉颗粒,生米粒的淀粉颗粒间排列紧密,随蒸制时间增加,颗粒间排列变得疏松,且由于淀粉逐渐糊化而形成越来越多的小网格结构。此外,淀粉颗粒形状也随着蒸制时间的增加越来越模糊,5 min和10 min时的淀粉颗粒与生米粒较相似,15 min之后的米饭粒呈现出越来越多的网格结构,尤其在40 min时,中心区域的颗粒几何形状不仅不明显,且中心出现空洞。30 min和35 min微观结构较类似,都呈现出较大面积的小网格。

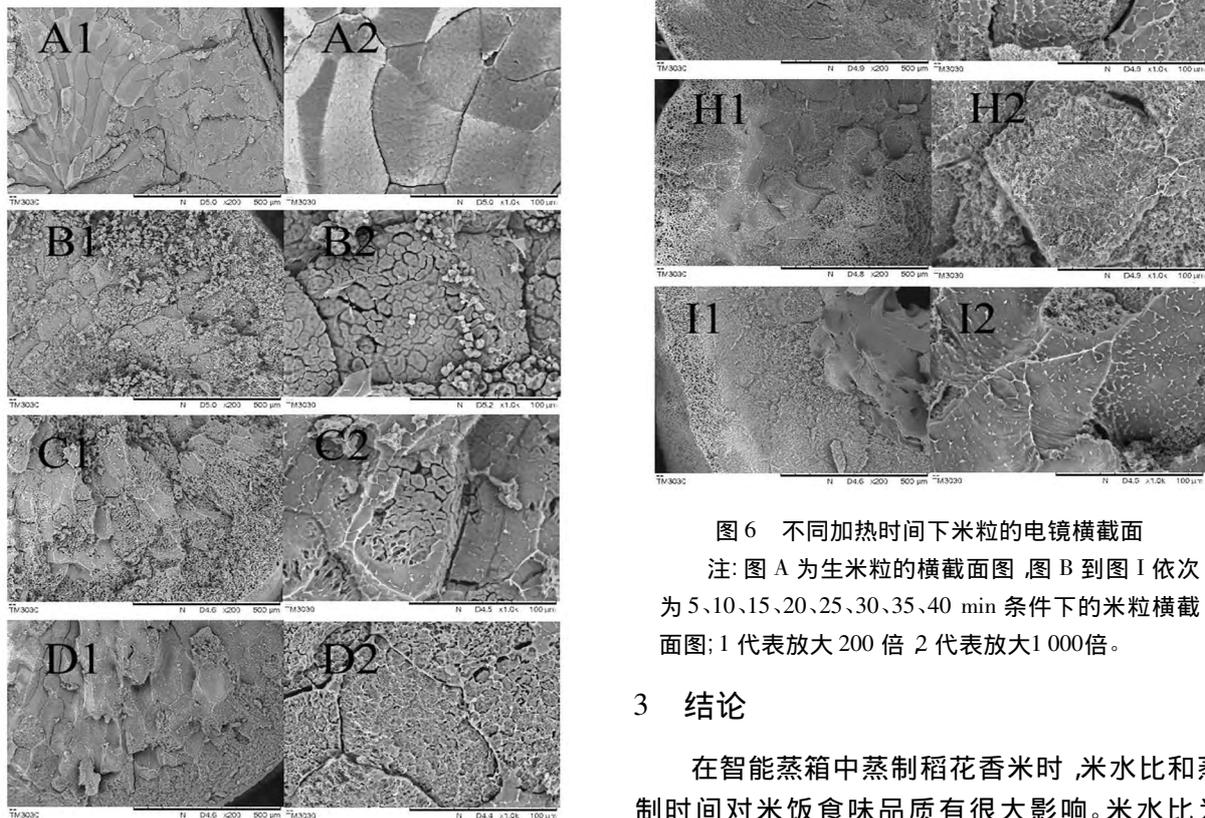


图6 不同加热时间下米粒的电镜横截面

注:图A为生米粒的横截面图,图B到图I依次为5、10、15、20、25、30、35、40 min条件下的米粒横截面图;1代表放大200倍,2代表放大1000倍。

### 3 结论

在智能蒸箱中蒸制稻花香米时,米水比和蒸制时间对米饭食味品质有很大影响。米水比为

1.0:1.2时,米饭硬度显著下降,该条件下感官评分最高,是较佳的米水比条件。在此米水比的基础上,蒸制5 min和10 min时米饭整体硬度和黏性显著偏高,个体黏性和弹性显著偏低,米粒结构较紧密,糊化不充分。15 min前后米饭在质构和微观结构上差异明显,是一个转变时间点;40 min时米饭硬度下降,在微观结构上表现为充分的糊化以及米粒中心出现空洞;而35 min时的口感最佳,香气浓郁、软硬适中且富有嚼劲。因此以稻花香为米种,在室温浸泡30 min、焖制20 min的条件下,智能蒸箱中蒸制米饭的最佳米水比为1.0:1.2,最佳蒸制时间为35 min。该实验结果可为智能蒸箱中蒸制米饭的工艺提供数据支持,但米种、焖制时间、米水比和时间的相互作用等因素在智能蒸箱中对米饭食味品质的影响有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 徐润琪. 大米品质评价技术的开发研究——米饭含水率及糊化度对米饭品质的影响[J]. 西华大学学报(自然科学版) 2003 22(1): 45-49.
- [2] 张玉荣,刘敬婉,周显青,等. 米饭适口性仪器评价与其感官评价的关联性研究[J]. 粮食加工 2015(3): 26-30.
- [3] 战旭梅,郑铁松,陶锦鸿. 质构仪在大米品质评价中的应用研究[J]. 食品科学 2007 28(9): 62-65.
- [4] 杨柳. 大米蒸煮溶出淀粉对米饭质构的影响及米饭质构的电化学评价[D]. 长春: 吉林大学 2017.
- [5] 周显青,张玉荣. 大米食味品质评价技术进展[J]. 粮食与饲料工业 2011 12(5): 37-41.
- [6] 邓灵珠. 大米蒸煮与米饭物性及食味形成机理[D]. 郑州: 河南工业大学 2012.
- [7] 熊善柏,赵思明,李建林,等. 米饭理化指标与感官品质的相关性研究[J]. 华中农业大学学报 2002 21(1): 83-87.
- [8] 吴建永. 过热蒸汽法制备轻碾营养米及其理化性质研究[D]. 南昌: 南昌大学 2016.
- [9] 周显青,王云光,王学锋,等. 质构仪对米饭适口性的评价研究[J]. 粮油食品科技 2013 21(5): 47-51.
- [10] 刘波,范志红,曹展. 烹制处理条件对米饭碳水化合物消化特性的影响[J]. 中国农业大学学报 2008, 13(2): 67-72.

## Rice steaming conditions optimization based on intelligent steamer

FENG Ruihong<sup>1</sup>, YANG Hongxu<sup>1</sup>, WANG Keyu<sup>1</sup>,  
CHEN Dongpo<sup>2</sup>, LI A-min<sup>2</sup>, WANG Yong<sup>2</sup>, ZHOU Peng<sup>1\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Hangzhou Robam Appliances Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311100, China)

**Abstract:** Daohuaxiang rice was steamed in a home-use intelligent steamer to record the rice steaming temperature-rising curve. In combination with texture measurement, sensory evaluation, and scanning electron microscopy, the effect of rice-water ratio and heating time on the quality of steamed rice was analyzed. The results showed that with the increase of rice-water ratio, the overall and individual hardness of cooked rice decreased significantly, and the individual viscosity increased significantly. Increasing heating time, the overall hardness, cohesiveness and individual hardness decreased while the individual elasticity increased. Electron microscope observation showed that with the extension of steaming time, the inside of rice grains became loose, and the rice began to gelatinize from 15 min on. Soaked for 30 min at 25°C, the sensory analysis demonstrated that the optimum rice-water ratio and steaming time for steaming rice in the steamer were 1.0:1.2 and 35 min, respectively, followed by stewing for 20 min.

**Key words:** steamer; rice-water ratio; thermal processing; textures; sensory analysis; cooking technology  
(责任编辑: 赵勇)