

# 牛肉丸制品水煮复热品质变化分析

成军虎<sup>1</sup>, 梁晗妮<sup>1</sup>, 韩忠<sup>1</sup>, 孙大文<sup>1</sup>, 余旭聪<sup>1</sup>, 张天义<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (2. 汕尾市国泰食品有限公司, 广东汕尾 516600)

**摘要:** 为探讨肉丸制品在水煮复热条件下的品质变化规律, 以潮汕牛肉丸为实验对象, 采用沸水和冷水复热两种方式, 进行了感官评定、营养成分(水分、蛋白质、淀粉)、质构、风味变化和微观结构的测定。结果表明: 随着复热时间增加, 牛肉丸水分含量先增加后降低; 蛋白含量整体呈增加趋势, 冷水复热条件下蛋白含量显著性增加, 增加 14%~29%左右; 淀粉含量基本不变。在煮制前后牛肉丸中共鉴定出 28 种挥发性成分, 其中含硫化合物种类和含量均最高, 沸水复热后牛肉丸中的挥发性物质含量最高, 为 11053.24  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。微观结构显示: 经水煮烹饪后, 肉丸加热收缩, 孔径变小。随着烹饪时间增加, 孔径变大, 更加致密。比较水煮复热模式, 发现采用沸水复热肉丸 5.5 min, 使其中心温度达 90  $^{\circ}\text{C}$  左右时为最佳水煮烹饪方式, 此时牛肉丸水分含量为 69.78%, 蛋白含量为 14.43%, 淀粉含量为 4.41%, 感官评分最高。

**关键词:** 水煮复热; 牛肉丸; 营养; 品质

文章编号: 1673-9078(2021)06-150-158

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.0391

## Changes in the Quality of Beef Ball Products Reheated by Water-Bath Cooking

CHENG Jun-hu<sup>1</sup>, LIANG Han-ni<sup>1</sup>, HAN Zhong<sup>1</sup>, SUN Da-wen<sup>1</sup>, YU Xu-cong<sup>1</sup>, ZHANG Tian-yi<sup>2</sup>

(1. South China University of Technology School of Food Science and Engineering, Guangzhou 510640, China)

(2. Shanwei Guotai Food Co. Ltd., Shanwei 516600, China)

**Abstract:** In order to explore the changing trend of the quality of meatball products reheated by water-bath cooking, Chaoshan beef balls were used as the experimental object subjected to reheating with boiling water and cold water, to determine their sensory attributes, nutrient contents (water, protein, starch), texture, flavor change and microstructure. The results show that with the increase of reheating time, the moisture content of beef balls increased first and then decreased, accompanied by an increase in protein content. Under the cold-water reheating conditions, the protein content increased significantly (by 14%~29%), while the starch content remained essentially unchanged. A total of 28 volatile components were identified in beef balls before and after cooking, among which the number and content of sulfur-containing compounds were the highest. After being reheated in boiling water, beef balls had the highest content of volatile substances (11053.24  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Microstructure analysis showed that the meatballs shrank with their pore size becoming smaller after water-bath cooking. As the cooking time extended, the pore size became larger and denser. The comparison of the reheating modes revealed that reheating meat balls in boiling water for 5.5 min was the best water-bath cooking method, making the meat balls having a core temperature and highest sensory score, up to 90  $^{\circ}\text{C}$ , with a moisture content, protein content and starch content of 69.78%, 14.43% and 4.41%, respectively.

**Key words:** water-bath reheating; beef balls; nutrition; quality

引文格式:

成军虎, 梁晗妮, 韩忠, 等. 牛肉丸制品水煮复热品质变化分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 150-158, +236

CHENG Jun-hu, LIANG Han-ni, HAN Zhong, et al. Changes in the quality of beef ball products reheated by water-bath cooking [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 150-158, +236

随着人们消费水平的提高, 生活节奏的加快, 对

收稿日期: 2020-04-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0400404); 广东省级科技创新战略专项资金(2018D1002); 广州市科学研究计划项目(201804010469)

作者简介: 成军虎(1983-)男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品质量与安全检测技术与新型物理加工调控技术

方便食品提出了更高的要求。调理食品由于食用方便、味道鲜美等特点, 深受广大消费者青睐, 得到了快速的发展, 肉丸制品是一种深受消费者欢迎的调理食品, 其中具有代表性的是牛肉丸制品<sup>[1]</sup>。复热是指对储藏后的熟制食物进行复热。对于调理食品而言, 复热是其食用前的必经工序之一。随着调理食品的快速发

复热方式的选择成为一道难题。在保证美味的同时,营养健康也成为选择的依据之一<sup>[2]</sup>。对于不同的原料,其复热方式多种多样,较为常用的包括水煮、气蒸、微波、油炸等等。少数研究者主要集中研究了肉丸工艺改良的研究, Miao Ran<sup>[3]</sup>研究了添加富含不饱和脂肪酸的苏籽对肉丸品质的影响;程佳佳<sup>[4]</sup>探讨宰后成熟时间、斩拌时间和食盐添加量对肉丸质构特性、出品率和感官品质的影响。然而,关于复热对食品品质影响的研究较为少见, Yan Wang<sup>[5]</sup>研究了超声波辅助进行油炸肉丸及其品质的影响。制调理肉制品大多在食用前需要进行二次加热,我国消费者对预制调理肉制品也有热食的习惯,而复热在一定程度上影响产品的品质和风味特性,对调理肉制品复热方式、温度和时间对食品品质的影响需要深入开展研究。

本研究选取潮汕牛肉丸为研究对象,采用冷水和热水两种复热方式,在感官评价的基础上,结合水分、蛋白质、淀粉含量变化和质构、微观结构、风味物质等指标,客观全面地分析水煮复热时间和复热方式对牛肉丸的品质影响,以期期为肉丸制品水煮复热品质变化及机理提供理论依据。

## 1 仪器试剂、材料与方法

### 1.1 实验仪器

九阳电陶炉,九阳股份有限公司;凯氏定氮仪 2300,德国 FOSS 公司;热电耦温度测量系统 TC-8, Pico Technology Ltd.,英国;紫外分光光度计 UV-1800, 津岛公司;多通量微波消解/萃取系统 JUPITER-B, 上海新仪微波化学科技有限公司;气相色谱仪 Agilent 7820A, Bruker 德国;质构仪 TA-XTplusC, Stable Micro Systems 英国。

### 1.2 材料

牛肉丸,汕尾市国泰食品有限公司(水分含量为 69.5%,蛋白质含量为 14.69%,淀粉含量为 4.37%,脂肪含量为 4.2%);饮用自来水等。

戊二醛、醋酸异戊酯、氯化钠(色谱纯)等;铁氰化钾、乙酸锌、浓硫酸、氢氧化钠等其他试剂均为分析纯。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 水煮复热时间的确定和复热过程

水煮复热时间的确定:实验前先把冷冻牛肉丸放置在 4℃冰箱解冻 12 h。汤锅中倒入 1.5 L 水和解冻后的 6 颗牛肉丸,热电耦分别插于每颗肉丸中心,汤

锅置于电陶炉上进行加热,热电耦温度测量系统记录肉丸中心温度的变化和加热时间。根据肉丸中心温度变化确定水煮复热时间范围和取样点。

水煮复热采用沸水复热和冷水复热两种方式。沸水复热是指:水加热煮沸后再放入牛肉丸;冷水复热是指:冷水中放入肉丸进行复热。

复热过程:汤锅中倒入 1.5 L 水和解冻后的 6 颗牛肉丸,到取样点时,加热停止,取出样品,冷却至室温后进行下一步测定。每个取样点做三组平行试验,取平均值。

#### 1.3.2 蒸煮损失

蒸煮损失率的计算公式如下:

$$\text{蒸煮损失率} / \% = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100\%$$

其中:  $W_1$  为肉丸煮制前称重;  $W_2$  为肉丸煮制后冷却至室温,用吸水纸吸干表面水分再次称重。

#### 1.3.3 水分含量测定

参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》<sup>[6]</sup>。

#### 1.3.4 蛋白含量测定

参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》<sup>[7]</sup>。

#### 1.3.5 淀粉含量测定

淀粉测定参考 GB 5009.9-2016《食品中淀粉的测定》稍作改进<sup>[8]</sup>。称取 2 g 样品于消解罐中,加入 20 mL 氢氧化钾-乙醇溶液(50 g/L),于压力 0.5 MPa 微波加热皂化 5 min,冷却后,将皂化液过滤,用 85%乙醇洗涤沉淀数次,将滤纸钻个孔,用 20 mL 水小心将沉淀完全洗入另一消解罐中,加 1.0 mL 50%的盐酸,于 0.5 MPa 微波加热水解 10 min,置冰箱中加速冷却后,将水解液转移至 100 mL 容量瓶中,加入 2 滴甲基红乙醇指示剂(1 g/L),用 1 mol/L 的氢氧化钠调至中性后,分别加入 3 mL 亚铁氰化钾溶液与乙酸锌溶液,加水定容。15~30 min 后,过滤,弃去初滤液 10 mL,续滤液按《GB/T 5009.7-2003 食品中还原糖的测定》直接滴定法测定其还原糖含量,再折算为样品淀粉含量。

#### 1.3.6 脂肪含量测定

脂肪含量参照国标 GB 5009.6-2016,采用索氏抽提法进行测定。

#### 1.3.7 感官评价

参考国标《GB/T 22210-2008》肉与肉制品感官评定规范中的制样要求<sup>[9]</sup>,并参照有关文献的方法进行,由 10 位食品专业的学生组成感官评定小组,从肉丸的外观、口感气味、滋味 4 个方面进行打分,分值越低,

表示样品的品质越差。所有待评样品烹饪后立刻分装在相同容器中,随机取样,评定员独自进行评定,不同样品之间以清水漱口。评分标准见表1。

表1 牛肉丸系列产品感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards for beef balls

项目	评分标准	分值
外观 (20分)	颜色均匀,呈球型,表面光滑	15~20
	颜色较均匀,呈球型,表面有坍塌	8~14
	颜色不均匀,形状不规则	1~7
气味 (20分)	香气浓郁	15~20
	香气较淡,不明显	8~14
	有腥臭气味	1~7
口感 (40分)	紧致有嚼劲,肉汁充足	27~40
	较紧致,但嚼劲一般,有肉汁	14~26
	松散,无嚼劲,肉汁不足	1~13
滋味 (20分)	咸淡适中,味道鲜美	15~20
	偏咸或偏淡,味道一般	8~14
	有异味	1~7

评分去掉最大值与最小值后取平均值,结果保留到小数点后2位,再对所得数据进行分析。

### 1.3.8 风味物质测定

肉丸经水煮烹饪后,用 SPME-GC-MS 联用仪进行挥发性物质检测<sup>[10]</sup>。

固相微萃取条件:萃取头在 270 °C 下活化 15 min。样品 (5.5 g) 加 3 mL 饱和食盐水混合,用高速均质机进行匀浆 1 min,将匀浆液倒入 20 mL 进样瓶中,迅速用隔垫密封,45 °C 下平衡 15 min。插入萃取头,45 °C 下萃取 45 min。进样口 250 °C 下解析 5 min。

气质条件气相色谱:程序升温,柱初温 40 °C,保持 3 min,以 5 °C/min 的速度升温到 200 °C,保持 2 min,再以 10 °C/min 上升到 250 °C,保持 5 min;载气为氦气,流量 1.0 mL/min,不分流模式进样。质谱:溶剂切除时间 2 min,离子化方式 EI,电离电压 70 eV,离子源温度 230 °C,传输线温度 280 °C,四极杆温度 150 °C;质谱扫描范围 35~350。

### 1.3.9 质构测定

肉丸质构的仪器分析采用英国 SMS 公司 TA-XT plusC 型物性测试仪进行,沿肉丸样品的直径方向切成直径 2.5 cm、厚 1 cm 的形状,加载 P/35 的平底柱形探头进行测试。测定条件如下:测前速率 1 mm/s;测试速率 1 mm/s;测后速率 1 mm/s;压缩程度 30%;两次压缩之间停留时间 5 s;数据采集速率 400 pps;触发类型自动;触发力 5 g。通过分析力量—时间曲线获得硬度 (hardness)、内聚性 (cohesiveness)、弹性 (springiness)、咀嚼性 (chewiness) 和回复性

(resilience) 共 5 个 TPA 参数<sup>[11]</sup>。

### 1.3.10 扫描电镜

采用扫描电子显微镜 (scanning electronic microscopy, SEM) 对肉丸的微观结构进行观察。

SEM 样品操作步骤如下:将制备好的样品切成 0.5 cm×1.0 cm×0.5 cm 的长方体,在 2.5%戊二醛溶液 (用 25%戊二醛溶液与 0.1 mol/L、pH 7.4 磷酸缓冲液按 1:9 体积比配制) 中于 4 °C 条件下固定 3 d,然后用 0.1 mol/L、pH 7.4 的磷酸盐缓冲液清洗 3 次,每次 30 min。清洗完之后用乙醇溶液逐级 (30%、50%、70%、90%、100%) 脱水,每级脱水 20 min。最后再用醋酸异戊脂脱水 3 次,每次 10 min。脱水完之后将样品进行冷冻干燥,黏台,离子溅射仪喷金,SEM 观察、拍照<sup>[12]</sup>。

### 1.3.11 数据分析

使用 SPSS 20.0 单因素方差 (ANOVA) 进行数据分析。采用 Duncan 检验分析数据的显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 水煮复热时间的确定和蒸煮损失率

为了确定水煮复热时间,首先进行了升温测试。传统经验判断,牛肉丸浮上水面表示成熟,测得牛肉丸中心温度为 62 °C。根据水煮烹饪温度变化,最终确定沸水复热时间范围选择 3.5~6 min,冷水复热时间范围选择 7.5~10 min,每隔 30 s 为一个取样点,取样点分别计为 1~6。

水煮烹饪牛肉丸的蒸煮损失率如表 2。在不同的水煮复热条件下,随着时间的增加蒸煮损失率逐渐增加,蒸煮损失主要表现在水分、油脂和小分子蛋白的流失,会影响丸子的水分含量和质构等相关性质。

### 2.2 不同加热时间下牛肉丸的基本营养成分变化

水煮复热牛肉丸的主要营养成分变化如表 3 所示。未加热的牛肉丸中水分含量为 69.5%,蛋白质含量为 14.69%,淀粉含量为 4.37%,脂肪含量为 4.2%,经复热处理后,各营养指标均有不同程度的变化。

水分含量是肉制品营养素中一个重要指标,过高过低都会直接影响肉制品的营养品质,而不同的加工方法对水分含量有很大影响<sup>[13]</sup>。在本研究中,随复热时间增加,水分含量先减少后增加。沸水复热 5 min,牛肉丸中心温度为 90 °C 左右时,水分含量达最高,

为 69.93%。这一结论与生肉在加热过程中水分含量变化不同,苏伟等<sup>[14]</sup>研究不同加热温度对鸭肉品质的影响,发现鸭肉水分含量随加热温度上升呈下降趋势,且加热到 90 °C 时,水分含量最低,下降了 25% 左右。在复热过程中水分含量变化是因为肉丸加热后,蛋白

收缩,孔径变小,在毛细管力作用下,水分通过破坏了的蛋白质结构而流失;随着烹饪时间增加,温度上升内部水蒸气析出,导致气孔变大变密,水渗透到肉丸内部,水分含量略微增加。

表 2 水煮烹饪牛肉丸温度变化和蒸煮损失率

Table 2 The temperature and cooking loss rate of beef balls by water-bath reheating

复热方式	时间/min	取样点	温度/°C	蒸煮损失率/%
沸水复热	3.5	1	70.00±9.26	1.37±0.08
	4.0	2	77.89±9.87	1.42±0.14
	4.5	3	79.82±9.60	1.84±0.10
	5.0	4	89.35±2.41	1.90±0.24
	5.5	5	90.90±0.58	1.87±0.14
	6.0	6	92.97±0.56	2.02±0.13
冷水复热	7.5	1	63.59±6.62	1.28±0.29
	8.0	2	68.79±6.65	1.37±0.41
	8.5	3	73.47±5.70	1.79±0.17
	9.0	4	80.34±6.71	2.53±0.21
	9.5	5	83.96±6.65	2.54±0.11
	10.0	6	87.32±1.04	2.61±0.14

表 3 水煮复热牛肉丸基本营养成分变化表

Table 3 The nutrient content of beef balls by water-bath reheating

复热方式	时间/min	水分/%	蛋白含量/%	淀粉含量/%	脂肪含量/%
沸水复热	3.5	69.51±0.40 <sup>ab</sup>	14.66±0.04 <sup>b</sup>	4.23±0.46 <sup>a</sup>	5.19±1.20 <sup>ab</sup>
	4.0	69.02±0.46 <sup>ab</sup>	14.89±0.12 <sup>bc</sup>	4.02±0.05 <sup>a</sup>	6.25±0.35 <sup>b</sup>
	4.5	68.37±0.15 <sup>a</sup>	15.32±0.19 <sup>c</sup>	4.38±0.02 <sup>a</sup>	5.88±0.59 <sup>ab</sup>
	5.0	69.93±0.49 <sup>c</sup>	13.57±0.18 <sup>a</sup>	4.60±0.26 <sup>a</sup>	5.00±0.71 <sup>ab</sup>
	5.5	69.78±0.08 <sup>b</sup>	15.28±0.04 <sup>c</sup>	3.97±0.13 <sup>a</sup>	4.78±0.03 <sup>ab</sup>
	6.0	69.79±0.18 <sup>ab</sup>	14.43±0.13 <sup>b</sup>	4.41±0.24 <sup>a</sup>	4.75±0.54 <sup>ab</sup>
冷水复热	7.5	69.01±0.20 <sup>b</sup>	17.92±0.07 <sup>f</sup>	4.47±0.12 <sup>a</sup>	4.29±0.15 <sup>a</sup>
	8.0	68.63±0.18 <sup>ab</sup>	17.98±0.04 <sup>f</sup>	4.38±0.03 <sup>a</sup>	4.66±0.23 <sup>ab</sup>
	8.5	69.02±0.58 <sup>b</sup>	17.35±0.26 <sup>e</sup>	4.64±0.31 <sup>a</sup>	4.67±0.31 <sup>ab</sup>
	9.0	69.27±0.13 <sup>b</sup>	18.27±0.20 <sup>f</sup>	4.33±0.13 <sup>a</sup>	4.25±0.54 <sup>a</sup>
	9.5	67.68±0.07 <sup>a</sup>	16.78±0.22 <sup>d</sup>	3.98±0.29 <sup>a</sup>	4.34±0.43 <sup>a</sup>
	10.0	68.72±0.40 <sup>ab</sup>	18.97±0.19 <sup>g</sup>	4.24±0.08 <sup>a</sup>	4.50±0.18 <sup>ab</sup>

注: 同列数值后字母不同表示有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

水煮复热后,牛肉丸蛋白质含量与未煮前相比增加,且在冷水复热条件下蛋白含量增加更多,增加了 14%~29%。这与张兰<sup>[15]</sup>的研究结果一致,他采用三种高温加热方式处理牛肉,蛋白含量与对照组相比均增加,且随温度升高、时间延长而增加。有研究认为<sup>[16]</sup>,蛋白质的含量实质上是不变的,导致其含量发生变化的原因主要是水分和脂肪的变化。高温使得肉制品中脂肪融化流出而造成损失,同时可能是肉块的水分、蛋白质和脂肪含量百分比升高的一部分原因。采用冷

水复热的牛肉丸蛋白含量高于沸水复热,可能是由于复热时间长,水溶性成分析出更多导致,而沸水中肉丸内部结构更致密,使得内部物质不易扩散出来。肉丸的蒸煮损失率也印证了这一结论,采用冷水复热的牛肉丸蒸煮损失率更大,说明其水溶性成分析出更多。研究发现随着温度和时间的增加,水溶性成分易溶于水随着水分流出而损失<sup>[17]</sup>。

淀粉在加热糊化过程中能吸收比自身体积大几十倍的水分形成凝胶,能够较好的对肉块起粘结作用,

具有增稠和乳化效果,改善食品品质<sup>[18]</sup>。结果显示随着水煮时间的增加,牛肉丸的淀粉含量基本不变,是因为肉丸预熟定型后,淀粉吸水溶胀后嵌在肌原纤维蛋白所形成的蛋白网络结构中,性质较稳定,不会受外界因素影响,所以以水为传热介质的加工过程中淀粉含量基本不变。

脂肪是肉与肉制品的另一个重要营养素指标,能显著影响风味、嫩度以及适口性。经复热后牛肉丸的脂肪含量先增加后减少。可能是于肉丸复热初始时,脂肪融化和水溶性析出,肉丸质量减少,脂肪含量相对增加。随着复热时间增加,温度上升,在高温条件下,脂肪氧化分解,形成游离脂肪酸和挥发性风味成分,所以脂肪含量减少。经沸水复热后牛肉丸中脂肪含量高于冷水复热,可能是因为肉丸结构致密,油滴的渗出量少导致。

### 2.3 质构

TPA 是用客观的方法来描述质地感官参数,清晰明了,在一定程度上弥补了感官评价的不足,其广泛应用于肉类产品开发中。硬度和弹性是衡量肉丸品质和质构特性的具有代表性的指标和参数,硬度在一定程度上反映了牛肉丸的组织状态,而弹性越好,肉丸口感越好,越有嚼劲且不易破裂<sup>[19]</sup>。

水煮复热牛肉丸硬度和弹性变化曲线如图 1 所示,复热方式不同,硬度和弹性的变化趋势不同。冷水复热,随时间增加,牛肉丸的硬度下降,弹性先增加后下降;沸水复热,随时间增加,牛肉丸的硬度先增加后降低。弹性则刚好相反,先下降后增加,在沸

水复热 5.5~6 min 时,牛肉丸的硬度、弹性与咀嚼性均较高。比较两种复热方式,牛肉丸的硬度、黏性和咀嚼性有显著性变化,说明复热方式对牛肉丸的质构有一定影响。这一结论与王波等研究不同<sup>[20]</sup>。王波等研究了不同复热方式对预制调理猪肉的品质影响,发现肉品的弹性和弹性都显著的降低。可能是调理食品品种差异导致,有研究发现,弹性与食品本身含水率有关,在一定范围下,含水率越高,弹性越大,另一方面随脂肪含量升高减小<sup>[21]</sup>。

另外由表 4 可得知,水煮复热对牛肉丸的咀嚼性影响较大,冷水复热的牛肉丸更耐咀嚼,需要的咬劲更大。冷水复热,随着时间增加,牛肉丸的咀嚼性先增加后下降;沸水复热,咀嚼性增加,在复热 5.5 min 时,出现显著性增加。综合比较,复热方式和复热时间对牛肉丸的 TPA 有一定影响,为了获取较优的食用口感,可采取沸水复热 5.5~6 min。

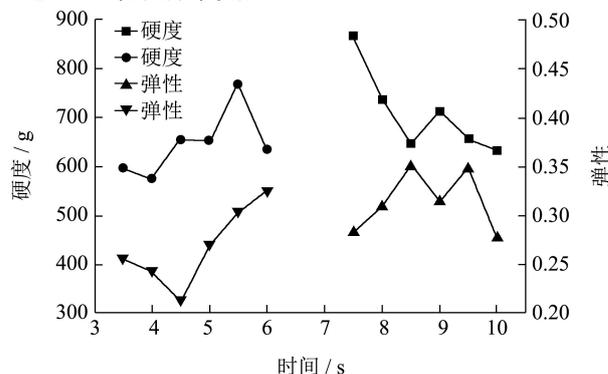


图 1 为水煮复热牛肉丸硬度和弹性变化

Fig.1 Effect of water-bath reheating time on hardness and springiness of beef balls

表 4 水煮复热牛肉丸 TPA

Table 4 TPA of beef balls by water-bath reheating

复热方式	时间/min	硬度/kg	弹性	内聚性	黏性	咀嚼性	回复性
沸水复热	3.5	0.60±0.04 <sup>a</sup>	0.26±0.04 <sup>a</sup>	0.36±0.05 <sup>a</sup>	200.6±23.8 <sup>a</sup>	48.77±16.78 <sup>a</sup>	0.14±0.02 <sup>a</sup>
	4.0	0.57±0.14 <sup>a</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>	0.33±0.02 <sup>a</sup>	190.9±29.61 <sup>a</sup>	46.13±18.26 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>
	4.5	0.65±0.06 <sup>ab</sup>	0.21±0.02 <sup>a</sup>	0.30±0.02 <sup>a</sup>	198.4±21.35 <sup>a</sup>	41.73±7.57 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>
	5.0	0.65±0.08 <sup>ab</sup>	0.27±0.04 <sup>a</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>	239.7±20.07 <sup>ab</sup>	63.11±12.87 <sup>ab</sup>	0.16±0.10 <sup>a</sup>
	5.5	0.77±0.15 <sup>ab</sup>	0.30±0.03 <sup>a</sup>	0.41±0.03 <sup>a</sup>	309.8±19.58 <sup>b</sup>	92.63±17.37 <sup>bc</sup>	0.17±0.01 <sup>a</sup>
	6.0	0.63±0.07 <sup>ab</sup>	0.32±0.06 <sup>a</sup>	0.43±0.06 <sup>a</sup>	274.9±20.98 <sup>ab</sup>	92.38±19.01 <sup>bc</sup>	0.20±0.04 <sup>a</sup>
冷水复热	7.5	0.80±0.04 <sup>b</sup>	0.27±0.03 <sup>a</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>	303.6±28.08 <sup>b</sup>	85.18±24.07 <sup>bc</sup>	0.16±0.01 <sup>a</sup>
	8.0	0.73±0.07 <sup>ab</sup>	0.31±0.08 <sup>a</sup>	0.41±0.08 <sup>a</sup>	301.5±37.41 <sup>b</sup>	94.79±33.92 <sup>bc</sup>	0.19±0.05 <sup>a</sup>
	8.5	0.65±0.02 <sup>ab</sup>	0.35±0.06 <sup>a</sup>	0.48±0.04 <sup>a</sup>	308.5±27.80 <sup>b</sup>	109.49±28.38 <sup>c</sup>	0.24±0.03 <sup>a</sup>
	9.0	0.72±0.05 <sup>ab</sup>	0.31±0.03 <sup>a</sup>	0.42±0.04 <sup>a</sup>	301.9±34.03 <sup>b</sup>	95.75±23.76 <sup>bc</sup>	0.19±0.02 <sup>a</sup>
	9.5	0.65±0.04 <sup>ab</sup>	0.35±0.09 <sup>a</sup>	0.45±0.12 <sup>a</sup>	303.2±17.00 <sup>b</sup>	110.61±27.87 <sup>c</sup>	0.22±0.10 <sup>a</sup>
	10.0	0.63±0.09 <sup>ab</sup>	0.28±0.05 <sup>a</sup>	0.37±0.06 <sup>a</sup>	240.4±21.57 <sup>ab</sup>	69.81±20.24 <sup>ab</sup>	0.15±0.03 <sup>a</sup>

注: 同列数值后字母不同表示有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

表5 水煮牛肉丸挥发性成分种类及相对含量

Table 5 The content and varieties of volatile compounds in beef balls in different boiling mode

序号	保留时间/min	化合物名称	相对含量/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			化合物种类
			0 min	冷水 10 min	沸水 6 min	
1	11.43	D-柠檬烯	4.96	62.63	139.36	
2	12.08	$\beta$ -罗勒烯	3.42	4.04	47.54	
3	14.91	5-甲氧基-4-甲基-1-庚烯	3.98	-	-	
4	19.02	茴香烯	339.77	380.26	2246.86	
5	22.14	(-)-异丁香烯	9.52	-	-	烯烃 (9 种)
6	22.49	丁香烯	14.50	24.19	91.66	
7	24.06	A-姜黄烯	3.73	-	18.08	
8	24.68	反式- $\beta$ -法尼烯	2.69	-	-	
9	11.44	1-甲基-5-(1-甲基乙炔基)环己烯(R)	-	-	154.25	
10	18.77	3,5-二甲基辛烷	-	-	19.11	烷烃 (2 种)
11	21.92	2,2,3,4-四甲基戊烷	-	-	19.15	
12	13.78	壬醛	85.59	96.02	-	醛类 (1 种)
13	18.13	苯甲醚	-	7.77	-	
14	16.59	4-烯丙基苯甲醚	24.57	10.76	105.12	芳香族 (3 种)
15	20.99	丁香酚	-	-	179.45	
16	6.29	二烯丙基硫醚	5.89	6.92	32.90	
17	7.95	烯丙基甲基二硫醚	38.56	147.44	-	
18	9.18	二硫杂环戊二烯	23.12	3.78	27.67	
19	12.99	二烯丙基二硫醚	1212.78	1347.88	6713.70	
20	13.64	(E)-2-烯丙基硫醚	1214.78	76.10	181.82	
21	14.74	甲基烯丙基三硫醚	59.58	59.43	85.51	含硫化合物 (12 种)
22	20.98	5-甲基-1,2,3,4-噻烷	70.73	80.55	-	
23	16.45	三硫杂环己二烯	119.53	102.87	79.53	
24	16.91	3-乙烯基-1,2-二硫杂-5-环己烯	-	14.41	-	
25	20.24	3-乙烯基-1,2-二硫杂-4-环己烯	154.84	161.58	546.62	
26	16.91	四磺基化二烯丙基	15.36	-	29.97	
27	16.45	大蒜素	33.31	30.96	45.73	
28	10.33	2-正戊基呋喃	34.11	-	289.21	杂环类 (1 种)
总量			3475.32	2617.59	11053.24	

## 2.4 风味物质

食品在加热过程中会发生一系列的化学反应,从而生成特定的滋味和特定的香气。肉制品的主要风味物质包括:醛类、醇类、酯类、烃类、酯类、含氮化合物、含硫化合物、杂环化合物等<sup>[22]</sup>。

水煮复热牛肉丸挥发性成分种类及相对含量如表5所示。从GC-MS结果可以看出,在煮制前后牛肉丸中共鉴定出化合物28种,包括烯烃12种,烷烃4种,醛类2种,醇类1种,酮类2种,芳香族5种,含硫类12种,杂环类1种。其中牛肉丸中检出的含硫化合物种类和含量均最高,沸水复热后牛肉丸中的风味物

质含量最高,为11053.24  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,是未复热牛肉丸的3.18倍,冷水复热的4.22倍。所有化合物中二烯丙基二硫醚含量最高,这与Liping Xu等<sup>[23]</sup>的研究一致,表明其是牛肉中关键香气成分。

牛肉丸复热后,烃类物质含量增加。烃类物质主要来自脂肪酸烷氧自由基的均裂<sup>[24]</sup>,推测牛肉丸脂肪酸自由基均裂基本发生在加热阶段。饱和烃类物质阈值偏高对风味贡献不大。醛类来源于脂质氧化降解作用也是牛肉丸中重要的风味物质,其在冷水复热牛肉丸中质量比较大(96.02  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ),是生牛肉丸的1.12倍。但在沸水复热牛肉丸中未检出。这与Cambero等<sup>[24]</sup>的结果一致。这些醛类化合物在加热煮制过程中更

易产生。醛类物质对肉的特征风味有突出贡献，但是检出的醛类物质种类最少，可能原因是生成的醛大多是挥发性较强的种类，在加热过程中有损失。

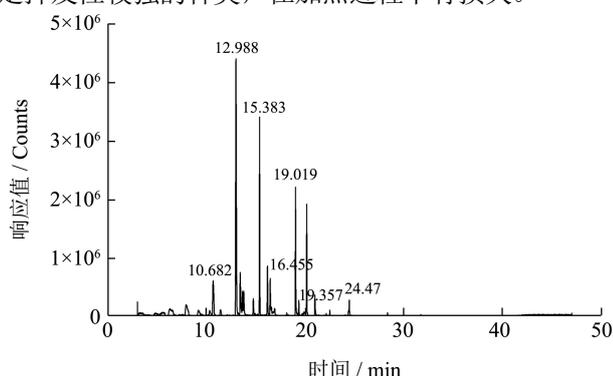


图2 为牛肉丸挥发性风味物质总离子流色谱图

Fig.2 Total ion current chromatogram of volatile flavor compounds in beef balls

含硫化物主要来源于美拉德反应或氨基酸热解，具有非常小的阈值并且是牛肉中重要的风味物质[25]。在煮制前后牛肉丸中都检测到的大量的含硫化物，这与石华治[26]的研究结果一致，他在煮制前后牛肉丸中共鉴定出42种挥发性成分，其中含硫化物最多，有11种。有研究表明它们是蒜和蒜薹的关键香气成分[27]；可见，牛肉丸制作时添加的辅料为牛肉丸贡献了大量的含硫化物。

在杂环挥发性物质中检出2-正戊基咪喃，通常被认为是肉制品中最重要的风味物质。采用沸水复热含量最高为289.21 μg/kg，具有肉汁香气。

## 2.5 SEM

为了进一步了解微观结构变化对肉丸品质的影响，采用扫描电子显微镜对肉丸的微观结构进行观察。结果如图3所示，图片经Nano measurer软件处理分析和统计学计算，得到图中小孔个数和面积。其中图3a~e单位面积气孔个数分别为20~30、80~90、120~130、60~70、70~80个，气孔平均面积约为5000、530、440、690、820 μm<sup>2</sup>。

牛肉丸在未复热前(图3a)组织结构致密，表面平滑，仅有少数在加工过程中产生的气孔。其致密结构的形成是由于蛋白凝胶形成三维网状结构，这种结构能较好的锁住水分[28,29]。经水煮复热后，网状结构变得疏松和不规则，出现大小不等的孔洞，形成“蜂窝”状结构，这可能是肉丸加热收缩，孔径变小，水分和部分脂肪流失，造成牛肉丸组织结构粗糙。沸水复热牛肉丸，随着复热时间增加，气孔数量增多，面积变小，导致肉丸硬度增加，弹性也增强。肉丸加工煮制过程中，由于肌原纤维蛋白聚集形成凝胶，脂肪颗粒

通过与蛋白质相连被物理包埋固定。这些不连续的脂肪颗粒以填充物或共聚物的形式来稳定蛋白凝胶网络。在复热过程中，随着时间和温度的增加，脂肪在高温条件下分解氧化，使得网状结构变得疏松。冷水复热牛肉丸(图3d和3e)形成较大的团块，形成的气孔比沸水复热时大，这在一定程度上能够影响牛肉丸的保水性和质构特性，造成凝胶网状结构疏松、均匀度差，牛肉丸的硬度和弹性下降。

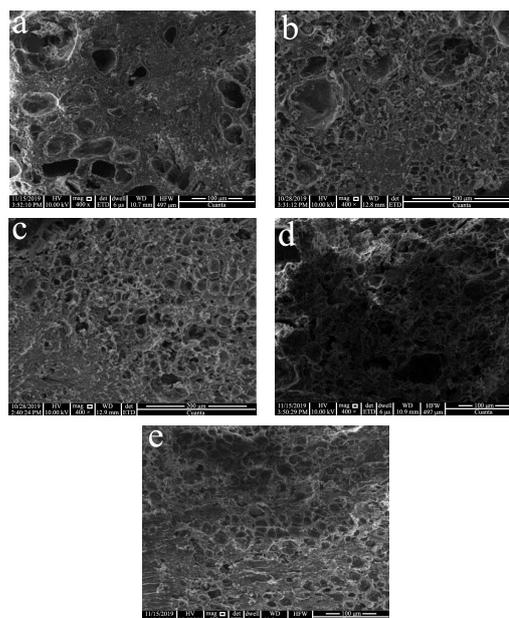


图3 水煮复热时间对牛肉丸微观结构的影响(400×)

Fig.3 Effect of water-bath reheating time on the microstructure of beef balls (400×)

注：a为牛肉丸原样；b和c分别为牛肉丸沸水复热3.5 min、6 min；d和e分别为牛肉丸冷水复热7.5 min、10 min。

## 2.6 感官评分

肉丸制品品质最直观和综合的评价方法是进行感官评定。水煮复热牛肉丸感官评分如表6所示。

表6 水煮复热牛肉丸感官评分表

Table 6 The sensory evaluation scores of beef balls by water-bath reheating

取样点	感官评分(100分)	
	沸水复热	冷水复热
1	70.00±10.00 <sup>a</sup>	65.00±6.62 <sup>a</sup>
2	70.00±9.54 <sup>a</sup>	65.00±5.70 <sup>a</sup>
3	73.00±11.38 <sup>a</sup>	67.00±6.71 <sup>ab</sup>
4	73.33±13.32 <sup>a</sup>	75.65±6.03 <sup>c</sup>
5	76.00±6.00 <sup>a</sup>	73.33±6.65 <sup>c</sup>
6	76.01±6.06 <sup>a</sup>	71.67±1.04 <sup>bc</sup>

注：同列数值后字母不同表示有显著性差异(p<0.05)。冷水复热对牛肉丸的感官评分影响显著，而沸水

复热对牛肉丸的感官评分影响不显著。沸水复热 6 min、冷水复热 9 min 时,牛肉丸感官评分值最高,分别为 76.01 分和 75.65 分。主要是因为牛肉丸弹性最好,口感最佳,贡献较高的感官评分值。随着时间增加,沸水复热牛肉丸感官评分值增加,且高于冷水复热。是因为随着煮制时间的增加,产品的质地逐渐变软,口感和滋味更易于接受;但煮制时间过长(采用冷水复热)则会出现感官评分值低,因为随着水分过多浸入肉丸,肉丸内的香辛料会出现一定程度的流失,并且部分挥发性风味物质溶解于水中,从而导致感官评价员所捕捉到的香气较淡,牛肉丸风味变差,出现蒸煮异味<sup>[30]</sup>。复热前后风味物质变化印证了这一规律,采用冷水复热风味物质种类和含量均低于沸水复热。另外在沸水复热后的牛肉丸中杂环挥发性物质 2-正戊基呋喃含量较高,具有肉汁香气,使肉丸肉味浓郁。肉的风味主要来自脂肪,其特有滋味的形成主要由脂肪决定,沸水复热后牛肉丸中脂肪含量高于冷水复热,所以采用冷水复热风味不佳,是由于加热过程中脂肪和挥发性成分的流失。另外冷水复热牛肉丸口感较粗糙使得感官评分值偏低,从微观结构观察可知冷水复热牛肉丸中形成凝胶网状结构疏松、均匀度差,导致口感粗糙。综上所述,为了获取较优的感官品质,可采取沸水复热方式。

### 3 结论

3.1 在营养性方面,水煮复热牛肉丸,水分含量先增加后降低;蛋白含量均比复热前高,主要是复热过程中水溶性物质的析出,干物质的相对含量增加导致;淀粉含量基本不变。

3.2 在加工品质方面,与沸水复热相比,冷水复热后牛肉丸的硬度、弹性和咀嚼性较高,说明冷水复热的牛肉丸更耐咀嚼,需要的咬劲更大;冷水复热牛肉丸感官评分值低于沸水复热,是因为肉丸的风味不佳、口感粗糙。沸水复热 6 min 时,感官评分值最高,此时牛肉丸弹性最好,口感最佳,贡献较高的感官评分值。沸水复热牛肉丸中的风味物质含量较高,为 11053.24  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,其中二烯丙基二硫醚含量最高,为牛肉中的关键香气成分。结合风味物质分析推测沸水复热牛肉丸感官评分较高可能是因为肉味浓郁。

3.3 综合分析比较,采用沸水复热肉丸 5.5 min,使其中心温度达 90  $^{\circ}\text{C}$ 左右时为最佳水煮复热方式,此时牛肉丸水分含量为 69.78%,蛋白含量为 14.43%,淀粉含量为 4.41%,感官评分最高。

### 参考文献

- [1] 郑海云,陈中.香辛料提取物对潮汕牛肉丸感官品质和保鲜效果的影响[J].食品工业,2018,39(1):116-118  
ZHENG Hai-yun, CHEN Zhong. Effect of spice extract on sensory quality and preservation effect of Chaoshan beef balls [J]. The Food Industry, 2018, 39(1): 116-118
- [2] 张凯华,臧明伍,张哲奇,等.水浴复热时间对猪肉糜制品挥发性风味的影响[J].食品科学,2019,40(2):186-191  
ZHANG Kai-hua, ZANG Ming-wu, ZHANG Zhe-qi, et al. Effects of water-bath reheating time on volatile compounds in cooked minced pork [J]. Food Science, 2019, 40(2): 186-191
- [3] Miao Ran, Changyong Chen, Cuiqin Li, et al. Effects of replacing fat with Perilla seed on the characteristics of meatballs [J]. Meat Science, 2019, 161: 107995
- [4] 程佳佳,胡胜杰,马汉军,等.成熟时间和斩拌时间对低盐牛肉丸品质的影响[J].肉类研究,2018,32(5):9-14  
CHENG Jia-jia, HU Sheng-jie, MA Han-jun, et al. Effect of postmortem aging time and chopping time on the quality of low-salt beef meatballs [J]. Meat Research, 2018, 32(5): 9-14
- [5] Yan Wang, Wangang Zhang, Guanghong Zhou. Effects of ultrasound - assisted frying on the physiochemical properties and microstructure of fried meatballs [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(10): 2915-2926
- [6] GB 5009.3-2016.食品安全国家标准食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016  
GB 5009.3-2016. Determination of moisture in food according to national food safety standards [S]. Beijing: Standards press of China, 2016
- [7] GB 5009.5-2016.食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016  
GB 5009.5-2016. Determination of protein in food according to national food safety standards [S]. Beijing: Standards press of China, 2016
- [8] 黄会秋.微波皂化水解法测定肉制品中淀粉[J].中国卫生检验杂志,2008,1:81-82  
HUANG Hui-qiu. Determination of starch in meat products by microwave-saponifying-hydrolyzing [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2008, 1: 81-82
- [9] GB/T 22210-2008.肉与肉制品感官评定规范[S].北京:中国标准出版社,2008  
GB/T 22210-2008. Specification for sensory evaluation of meat and meat products [S]. Beijing: Standards press of China, 2008
- [10] 宋泽,徐晓东,许锐,等.不同部位牛肉炖煮风味特征分析[J].食品科学,2019,40(4):206-214

- SONG Ze, XU Xiao-dong, XU Rui, et al. Analysis of flavor characteristics of stewed beef from different carcass parts [J]. Food Science, 2019, 40(4): 206-214
- [11] 殷俊,梅灿辉,陈斌,等.肉丸品质的质构与感官分析[J].现代食品科技,2011,27(1):50-55
- YIN Jun, MEI Can-hui, CHEN Bin, et al. Sensory evaluation and instrumental measurement of meatballs [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(1): 50-55
- [12] 贾娜,陈璐,刘蹇,等.香辛料提取物对牛肉丸冻藏过程中质构和微观结构的影响[J].食品工业科技,2013,34(16):300-303,312
- JIA Na, CHEN Lu, LIU Qian, et al. Effects of spice extract on the textural properties and microstructure of beef balls during frozen storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(16): 300-303, 312
- [13] Janet M Roseland, Quynhanh V Nguyen, Juhi R Williams, et al. Protein, fat, moisture and cooking yields from a U.S. study of retail beef cuts [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 43: 131-139
- [14] 苏伟,陈旭,易重任,等.不同加热温度对三穗鸭肉品质的影响[J].广东农业科学,2013,40(12):125-129
- SU Wei, CHEN Xu, YI Zhong-ren, et al. Effects of heating temperature on Sansui duck meat quality [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(12): 125-129
- [15] 张兰,高天丽,刘永峰,等.传统中式烤、炸、煎工艺对牛肉营养品质的影响[J].食品与生物技术学报,2019,38(5):132-139
- ZHANG Lan, GAO Tian-li, LIU Yong-feng, et al. Effect of Chinese traditional cooking of broiling, frying, and pan-frying on nutritional quality of beef [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(5): 132-139
- [16] Xiaojing Tian, Wei Wu, Qianqian Yu, et al. Quality and proteome changes of beef *M.longissimus dorsi* cooked using a water bath and ohmic heating process [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 34: 259-266
- [17] 钟华珍.不同加工工艺对三类畜禽肉品质的影响[D].西安:陕西师范大学,2018
- ZHONG Hua-Zhen. Effects of different processing on the quality of three kinds of livestock and poultry meat [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2018
- [18] 魏晓明,陈佳佳,邹美丽,等.蜡质玉米淀粉对速冻肉丸品质的影响[J].食品科技,2019,44(9):148-152
- WEI Xiao-ming, CHEN Jia-jia, HUAN Mei-li, et al. The effect of waxy corn starch on the quality of quick-frozen meatballs [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(9): 148-152
- [19] 陈玉玲,杨梅,牛跃庭,等.大豆素丸和三种肉丸的营养成分与质构特性比较[J].现代食品科技,2020,36(1):84-90,7
- CHEN Yu-ling, YANG Mei, NIU Yue-ting, et al. Comparison of nutrient ingredients and texture properties between soy protein ball and three other meatballs [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 84-90, 7
- [20] 王波,谢安国,康怀彬,等.微波复热对不同预制调理肉品的品质影响研究[J].食品研究与开发,2018,39(8):78-83
- WANG Bo, XIE An-guo, KANG Huai-bin, et al. Study on the effect of microwave reheating on the quality of meat prefabricated by different methods [J]. Food Research and Development, 2018, 39(8): 78-83
- [21] Han-Jun Ma, D A Ledward. High pressure/thermal treatment effects on the texture of beef muscle [J]. Meat Science, 2004, 68(3): 347-355
- [22] Liping Xu, Xiaodan Wang, et al. A predictive model for the evaluation of flavor attributes of raw and cooked beef based on sensor array analyses [J]. Food Research International, 2019, 122: 16-24
- [23] Kim S, Li J L, Lim N R, et al. Prediction of warmed-over flavour development in cooked chicken by colorimetric sensor array [J]. Food Chemistry, 2016, 211: 440-447
- [24] Cambero M I, Seuss I, Honikel K O. Flavor compounds of beef broth as affected by cooking temperature [J]. Journal of Food Science, 1992, 57(6): 1285-1290
- [25] Khan M I, Jo C, Tariq M R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: a systematic review [J]. Meat Science, 2015, 110: 278-284
- [26] 石华治,王娟,刘玉平,等.潮汕牛肉丸煮制前后关键性香气成分对比分析[J].食品科学技术学报,2018,36(5):44-50
- SHI Hua-zhi, WANG Juan, LIU Yu-ping, et al. Comparative analysis of key odorants in Chaoshan beef balls before and after boiling [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(5): 44-50
- [27] Qingqing Chai, Khizar Hayat, E Duhoranimana, et al. Investigating the optimum conditions for minimized 3-chloropropane-1,2-diol esters content and improved sensory attributes during savory beef flavor preparation [J]. Food Chemistry, 2018, 243: 96-102
- [28] Rawdkune S, Saiut S, Khamsorn S, et al. Biochemical and gelling properties of tilapia surimi and protein recovered using an acid-alkaline process [J]. Food Chemistry, 2009, 112(1): 112-119