

# 佛跳墙冷冻调理食品在不同复热方式下的品质变化

胡琴, 黄旭辉, 祁立波, 傅宝尚, 董秀萍, 秦磊

(大连工业大学食品学院, 国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁大连 116034)

**摘要:** 为了探讨不同复热方式对佛跳墙品质的影响规律, 本研究采用水浴、蒸汽、微波 3 种不同复热方式对冷冻佛跳墙产品进行复热加工。以成品新鲜佛跳墙为对照组, 通过测定复热后产品的色泽、丙二醛含量 (MDA 值)、游离氨基酸含量、5'-核苷酸含量、质构、电子舌滋味、感官评分等指标, 综合确定最佳复热方式。结果表明, 蒸汽复热后产品的感官评分最高; 不同的复热方式对主料鲍鱼的质构特性影响较小; 从色泽上看, 三种不同方式复热后的产品  $a^*$  值差异不显著, 微波复热后产品的  $L^*$  值和  $b^*$  值与对照组呈显著性差异; 从脂肪氧化程度上看, 微波复热后产品的 MDA 值最高 (2.86 mg/kg), 与对照组相比, 升高了 36.84%; 电子舌分析发现, 对照组的咸度值为 3.45, 微波复热后产品的咸度值为 4.34, 咸度值增加了 25.79%; 与对照组相比, 微波复热提高了汤汁中的游离氨基酸和 5'-核苷酸含量, 水浴和蒸汽复热均降低了汤汁中的游离氨基酸和 5'-核苷酸含量。综合各项指标, 蒸汽复热是佛跳墙冷冻调理食品较为理想的复热方式。

**关键词:** 佛跳墙; 复热; 食用品质; 冷冻调理食品

文章编号: 1673-9078(2021)04-163-171

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0803

## Quality Changes of Frozen Prepared Fotiaoqiang Product Reheated by Different Methods

HU Qin, HUANG Xu-hui, QI Li-bo, FU Bao-shang, DONG Xiu-ping, QIN Lei

(School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University; National Engineering Research Center of Seafood, Dalian 116034, China)

**Abstract:** Three different reheating methods, including water bath heating, steam heating, and microwave heating were used to reheat the frozen prepared Fotiaoqiang product to investigate their influences on the quality of Fotiaoqiang. Using fresh Fotiaoqiang finished product as the control, the color, MDA content, free amino acid, 5'-nucleotide content, texture, taste perceived by electronic tongue and sensory score of the reheated product were measured to determine the best reheating method. The results showed that the sensory score of the product after steam reheating was the highest. Different reheating methods have little effect on the texture characteristics of the main material abalone. In terms of color, the difference in the  $a^*$  value of the products subjected to three different reheating methods was insignificant. The  $L^*$  value and  $b^*$  value of the product subjected to microwave reheating differed significantly from the control group. In terms of fat oxidation, the MDA value of the microwave reheated product was the highest (2.86 mg/kg; increase by 36.84% compared with the control group). Electronic tongue analysis found that the saltiness of the control group and the microwave reheated product was 3.45 and 4.34, respectively which achieved an (increase by 25.79%). Compared with the control group, the contents of free amino acids and 5'-nucleotides in the soup increased for the microwave reheated product but decreased for the products subjected to water bath and steam reheating. Taken together, steam reheating was an ideal reheating method for frozen prepared Fotiaoqiang product.

**Key words:** Fotiaoqiang; reheat; edible quality; frozen prepared food

引文格式:

胡琴, 黄旭辉, 祁立波, 等. 佛跳墙冷冻调理食品在不同复热方式下的品质变化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 163-171

HU Qin, HUANG Xu-hui, QI Li-bo, et al. Quality Changes of Frozen Prepared Fotiaoqiang Product Reheated by Different Methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 163-171

收稿日期: 2020-08-27

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400404)

作者简介: 胡琴 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程

通讯作者: 秦磊 (1984-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工理论与技术

随着经济的发展,生活水平的提高,“备餐两小时,吃饭十分钟”的就餐方式越来越不能满足当代人快节奏的生活需求,因此冷冻调理食品受到很多消费者的喜爱。佛跳墙是福建菜系中的传统名菜,同时也是中国传统食品的一大瑰宝,它的得名来源于古人称颂的佳句:“增启荤香飘四邻,佛闻弃祥跳墙来”。现有的佛跳墙产品多为酒店以招牌菜的形式限量供应,制作方法仍以地方酒店名厨的烹饪为主。佛跳墙作为一道名菜享誉海内外,深受广大食客的青睐,但由于配料繁多,处理周期长,加工工艺复杂,使其工业化生产难度大,因此将其开发成冷冻调理食品。而冷冻调理制品需要经过复热后才能食用,选择合理的复热方式也至关重要,不同的复热方式会对佛跳墙主料的色泽、质构以及汤汁的营养成分、风味等产生不同程度的影响,这种影响与原料本身的性质有着紧密的联系<sup>[1]</sup>。目前食品的复热方式主要有巴氏复热、水蒸复热、微波复热、烤箱复热等<sup>[2,3]</sup>。对于冷冻调理制品的复热方式已有学者进行了研究,王清波<sup>[4]</sup>研究了微波复热对红烧牛腩品质的影响;赵钜阳<sup>[5]</sup>等研究了微波复热功率及时间对速冻红烧肉品质的影响;彭荣艳<sup>[6]</sup>研究了微波复热对油炸草鱼片的影响。这些研究主要集中在微波复热对冷冻调理制品上,其他复热方式对冷冻调理制品研究较少,也未见有对佛跳墙冷冻调理食品复热的研究。因此本论文以新鲜佛跳墙为对照,研究不同复热方式(蒸汽复热、水浴复热和微波复热)对佛跳墙品质影响,目的是为消费者和生产者选择较合理的佛跳墙复热方式提供理论依据,为冷冻调理食品的工业化生产和高品质新产品的开发提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验原料

猪筒骨、猪皮、猪腱肉、鸭腿、鸡爪、鸡架、猪蹄、牛腱肉、金华火腿、干贝、桂圆干、鲍鱼、鱼唇、鱼肚、蹄筋、贝柱、鹌鹑蛋、花菇、鸭胗、冰糖,均采购于大连长兴市场;海天酱油,佛山市海天调味食品股份有限公司;黄酒,辽宁帝华味精食品有限公司;鸡精,上海太太乐福赐特食品有限公司;食用盐,中国盐业总公司。

### 1.2 实验试剂

三氯乙酸(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;无水乙醇(分析纯),上海生工生物股份有限公司;浓盐酸(分析纯),天津市科密欧化学试剂有限公司;氯化钾(分析纯),大连博诺有限公司;氯仿

(色谱纯),上海国药集团;甲醇(色谱纯),天津市科密欧化学试剂有限公司;2-硫代巴比妥酸,BC,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.3 主要仪器与设备

质构仪(TA.XT Plus),英国 Stable Micro System 公司;测色仪(Ultra Scan Pro),美国 Hunter Lab 公司;高效液相色谱-串联质谱联用仪(5500QTRAP/LC-30AD),美国 AB SCIEX 公司/日本岛津公司;反压高温蒸煮锅(ZM-100),广州标记包装设备有限公司;微波炉(NE-1753),松下电器;电子舌(TS-5000Z),日本 INSENT 公司。

### 1.4 实验方法

#### 1.4.1 原料准备

##### 1.4.1.1 样品处理

参考王崇人<sup>[7]</sup>熬制高汤的方法将新鲜的猪筒骨、猪蹄、猪皮、鸡架、鸡爪、鸭肉、猪腱肉、牛腱肉、分别沸水焯水 5 min,去除血水和表面油污,捞出备用。在锅中加入 3000 mL 水,按照液料比 3:1,加入上述焯水猪筒骨、焯水鸡架、焯水鸭肉、焯水鸡爪、焯水猪蹄、焯水猪皮、焯水猪腱肉、焯水牛腱肉,将黄酒、干贝、金华火腿片、桂圆肉、桂皮,陈皮、白胡椒粒放入锅中,将汤锅加盖后放置于灭菌锅中,煮制时间为 120 min,煮制温度为 120 °C,煮制结束后,通过 6 层纱布过滤,除去固形物和表面油脂得到剩余的高汤,高汤备用。将干制鲍鱼、干制蹄筋、干制鱼唇花菇经一定温度和时间的泡发<sup>[8]</sup>后,清洗干净并预煮一段时间;冷冻贝柱、冷冻鱼肚在室温下流水解冻 1h 即可;鸭胗洗净后,切成 0.2 mm~0.3mm 的薄片;鹌鹑蛋凉水下锅煮 15 min 后捞出,剥壳;盐渍海参脱盐后经 25 °C 水发 12 h 后,除去内脏并清洗干净,备用。

##### 1.4.1.2 佛跳墙冷冻包的制备

将制备好高汤倒入锅中,先放入处理好的鲍鱼、蹄筋、鹌鹑蛋、鸭胗,煮制 1 h 后放入鱼唇、鱼肚、贝柱、海参,将制作好的成品冷却至室温,用耐高温蒸煮袋进行热封包装。所述成品包装好后放入-50 °C 的速冻机中进行急速冷冻,使得速冻后产品中心温度 ≤-18 °C。最后将成品放在-18 °C 以下冷冻贮存,即可得到佛跳墙冷冻调理包。

#### 1.4.2 不同复热方式佛跳墙产品的感官评价

选取冻藏 7 d 的佛跳墙冷冻调理包进行不同的复热方式处理:蒸汽复热(烤箱 100 °C 蒸 10 min)、水浴复热(电磁炉沸水加热 10 min)、微波复热(微波

炉中火加热 10 min), 复热完毕后将样品取出待测, 新鲜制作的佛跳墙作为对照组。

参考马浩然的方法<sup>[10]</sup>, 事先针对实验目的、感官评价标准挑选 6 名小组成员 (3 男 3 女) 并进行适当

的培训, 感官评定主要从外观、气味、滋味、口感和整体这 5 个方面的指标入手。采用百分制, 取佛跳墙冷冻调理包, 蒸汽复热 10 min 后进行评价, 取平均值。见表 1。

表 1 佛跳墙感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of Fotiaoqiang

分值	外观	气味	滋味	口感	整体
16~20	颜色为黄褐色, 色泽均匀, 浮油少	具有良好的鲜味, 以及肉香味	味道鲜香, 回味好	汤汁浓郁荤香, 主料软嫩柔润, 口感好, 无腥味	整体感觉很好, 无不悦感官体验
11~15	颜色稍微偏浅或偏深, 色泽较均匀, 浮油较少	具有较好的鲜味, 以及肉香味, 不良气味少	味道较鲜美, 回味较好	汤汁较浓郁, 主料软嫩柔润, 口感较好, 腥味不明显	整体感觉较好, 不悦感官较少
6~10	颜色偏深或偏浅, 色泽不均匀, 浮油较多	鲜味以及肉香味不明显, 有不良气味	味道一般, 回味较差	汤汁较稀, 不够浓郁, 主料偏硬或偏烂, 口感较差, 有腥味	整体感觉一般, 有不悦感官体验
0~5	颜色灰暗, 浮油多	无鲜味以及肉香味, 不良气味较多	味道差, 杂味多, 回味差	汤汁稀, 不醇厚主料无嚼劲, 口感差, 腥味重	整体感觉很差, 不悦感官非常明显

#### 1.4.3 不同复热方式鲍鱼的质构特性

参考王阳<sup>[11]</sup>的方法稍作改动, 取样器取鲍鱼中间部位, 直径为 1.27 cm、高度为 1.00 cm 的圆柱形样。质构仪测试探头选择 P/50, 测前、测后与测试速率均为 1 mm/s; 压缩程度为 60%; 每个实验重复 6 次。取样器在鲍鱼的中间部位取直径为 1.27 cm 圆柱形样。测试条件如下: 测试探头为 HDP/BS, 对样品进行剪切力测定。探头测试速度 1.00 mm/s, 返回速度为 10.00 mm/s, 下行距离 8 mm; 每个实验重复 6 次<sup>[12]</sup>。

#### 1.4.4 不同复热方式佛跳墙汤汁色泽的测定

参考朱文娴<sup>[13]</sup>等人的方法稍作改动, 采用全自动测色色差计进行汤汁色泽测定: 在透射模式下用黑板和白板进行校准, 以去离子水作为参比液, 取过滤好的佛跳墙汤汁倒入 10 cm 玻璃比色皿中测定  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ , 重复 3 次。其中,  $L^*$  表示亮度值;  $a^*$  表示红绿值, 正值表明偏向红色, 负值表明偏向绿色;  $b^*$  表示黄蓝值, 正值表明偏向黄色, 负值表明偏向蓝色。

#### 1.4.5 不同复热方式佛跳墙汤汁 MDA 含量的测定

参照 Liza John<sup>[14]</sup>的操作方法稍作改动: 取 1 mL 过滤好的佛跳墙汤汁加入 5 mL 混合液 (0.375% TBA+15% TCA+0.25 mol/L HCl) 涡旋震荡 10 s, 在 95 °C 水浴中保持 20 min 后取出, 用流水冷却至室温, 4 °C 下 8000 r/min 离心 15 min, 取显色后样品 200  $\mu$ L 点入 96 孔板, 采用酶标仪测定 532 nm 处吸光度值, 平行做 3 次。

计算公式如下:

$$\text{MDA (mg/kg)} = A_{532\text{nm}} \times 13.86$$

#### 1.4.6 电子舌滋味的测定

参考吴进菊等人<sup>[15]</sup>的方法稍作改动, 取出传感器, 加入 200  $\mu$ L 内部液 (3.3 mmol/L KCl+饱和氯化银), 将其置于呈有基准液 (30 mmol/L KCl+0.3 mmol/L 酒石酸) 的样品杯中活化 24 h, 用封口膜将样品杯封好。取出参比电极, 加入内部液直至页面距离玻璃管顶部大约 5 mm 的位置, 然后将其置于呈有 3.3 mmol/L KCl 溶液的样品杯中浸泡 24 h, 用封口膜将样品杯封好。取 20 mL 过滤好的佛跳墙汤汁, 加入 100 mL 40 °C 的去离子水将其稀释 5 倍, 25 °C 5000 r/min 离心 10 min, 取上清液进行过滤。为了确保传感器响应信号的可靠性和稳定性, 对电子舌系统进行自检。将过滤好的样品分别直接倒入两个样品杯中, 开始进行数据采集。每个样品测试进行 4 次循环, 取后 3 次的测量数据进行分析。

#### 1.4.7 游离氨基酸和核苷酸的测定

参考 Dong<sup>[16]</sup>等人的方法, 具体如下: 取 200  $\mu$ L 佛跳墙汤汁加入 800  $\mu$ L 去离子水 800  $\mu$ L, 漩涡振荡 20 s, 恒温水浴振荡 1 min (80 °C) 后快速置于冰水中, 冰温超声 5 min 后取出, 在 4 °C 9190 g 离心 10 min。之后取 100  $\mu$ L 上清液加入 100  $\mu$ L 混合内标和 800  $\mu$ L 冰氯仿-甲醇混合液 (2:1 V/V 混合均匀, 4 °C 冰箱提前预冷), 振荡 1 min, 在 4 °C 的环境中静置 10 min, 接着在 4 °C 20000 g 离心 10 min, 取 200  $\mu$ L 上清液, 用真空冷冻干燥机浓缩至干。再用 1 mL 0.1% 甲酸-水复溶, 漩涡振荡仪振荡 1 min 后冰温超声 12 min, 取冰温超声后的样品在 4 °C 20000 g 离心 10 min, 取 750  $\mu$ L 上清液进样, 用 HPLC 测定样品中游离氨基酸和核

苷酸含量。色谱条件: 色谱柱 ACE Excel 3 AQ(150×3.0 mm), 进样体积为 1 μL, 流动相 A: 0.1%甲酸-水溶液 (V/V); 流动相 B: 0.1%甲酸-乙腈溶液 (V/V), 流速: 0.4 mL/min。

### 1.4.8 数据处理

实验所得数据以平均值±标准差表示, 采用 SPSS Statistics 19 以及 Excel 进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同复热方式佛跳墙产品的感官评分

如图 1 所示, 分别从外观、气味、滋味、口感和整体五个方面评价不同复热方式对佛跳墙冷冻调理食品的影响。其中, 蒸汽复热的感官评分最高, 为 81.23 分, 而微波复热的感官评分最低, 为 70 分。就外观而言, 蒸汽和水浴复热后的产品汤汁呈黄褐色, 颜色均匀, 而微波复热后, 汤汁颜色呈深褐色, 鹌鹑蛋因高温而造成部分破损, 汤汁表面漂浮着部分蛋黄, 导致外观较差, 这也是造成微波复热感官评分最低的主要原因, 此结果与汪倩<sup>[17]</sup>的研究结果相似; 就口感而言, 三种不同复热方式后的产品汤汁都较为浓郁, 主料软嫩, 但微波后的汤汁因蒸发了部分水分而导致偏咸, 影响了感官体验; 就滋味而言, 产品味道鲜香, 其中蒸汽复热后的产品与对照组最为接近, 其次为水浴复热, 微波复热。就气味而言, 复热后的产品具有良好的鲜味、以及肉香味, 微波复热后有轻微的哈喇味, 这可能是因为高温下, 汤汁中的不饱和脂肪酸发生了脂质氧化。因此, 相比较而言, 蒸汽复热后的产品与新鲜制作的佛跳墙更为接近。

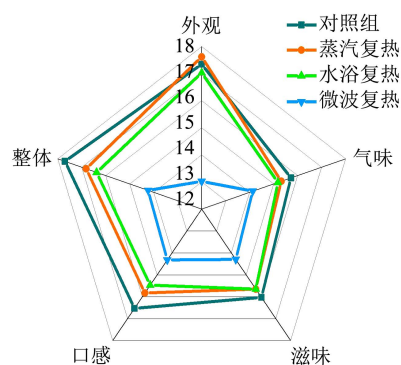


图 1 不同复热方式佛跳墙产品的感官评分

Fig.1 Sensory scoring of Fotiaoqiang products with different reheat modes

### 2.2 不同复热方式鲍鱼的质构特性分析

佛跳墙营养丰富, 含有多种海珍品, 其中鲍鱼作为佛跳墙主料之一, 属于耐热性强的主料, 经过复热

后, 鲍鱼质构会发生变化, 对食用品质有一定的影响。质构特性常被用于评定食品的口感及组织形态, 是评价食品品质科学且直观的重要方法。目前, 质构分析最常用的测试模型为质地剖面分析 (TPA) 和剪切力。

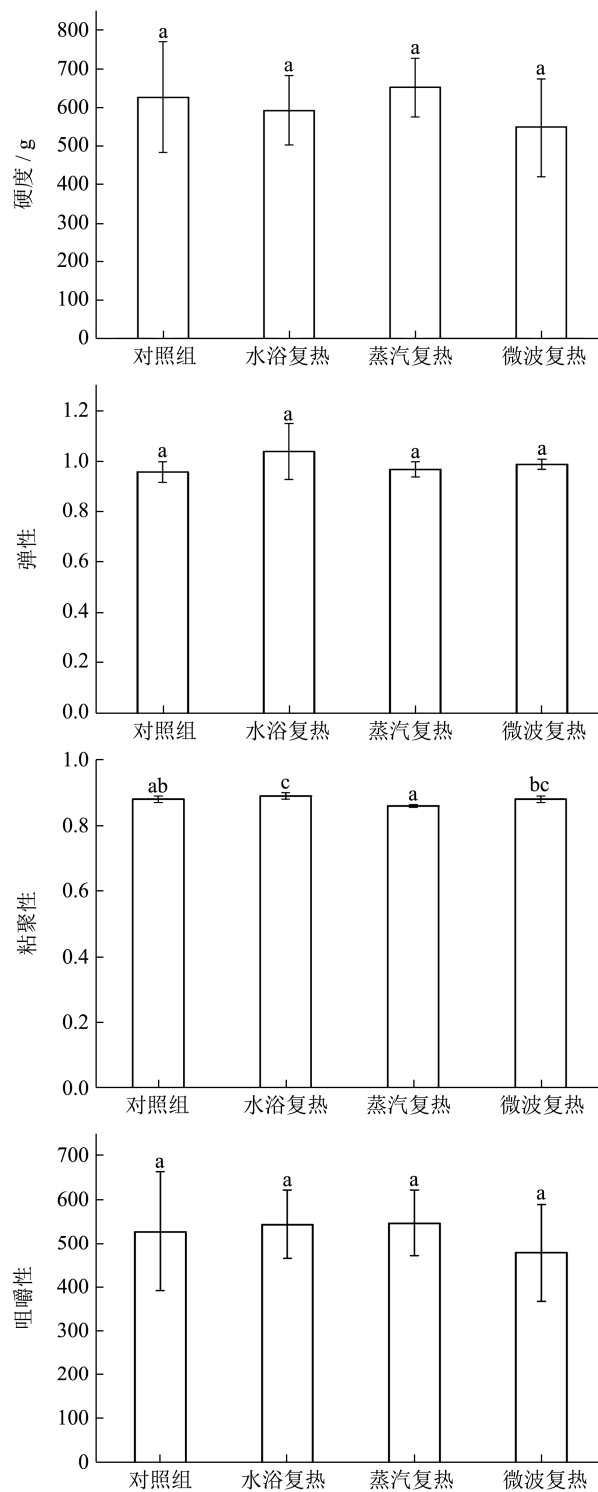


图 2 不同复热方式鲍鱼 TPA 测定分析

Fig.2 Determination and analysis of abalone TPA different reheat modes

注: 不同字母表示差异性显著,  $p < 0.05$ , 下同。

图 2 是经不同复热方式后佛跳墙主料鲍鱼质构特

性的变化,由图2可以发现,通过TPA测定结果显示,不同复热方式对鲍鱼质构的变化有所不同,从硬度上来看,经过水浴复热、蒸汽复热和微波复热后鲍鱼的硬度均值分别为592.18 g、652.34 g、547.10 g,对照组为626.65 g,微波复热后的鲍鱼硬度最小,从弹性上来看,经过水浴复热、蒸汽复热和微波复热后鲍鱼弹性的均值分别为1.04、0.97、0.99,对照组为0.96,水浴复热后鲍鱼的弹性最大,蒸汽复热后鲍鱼的弹性最接近对照组;从粘聚性上看,水浴复热、蒸汽复热和微波复热后粘聚性的均值分别为0.89、0.86、0.88,对照组为0.88,蒸汽复热后鲍鱼的粘聚性最小;从咀嚼性来看,水浴复热、蒸汽复热和微波复热后咀嚼性的均值分别为543.46、546.44、477.99,对照组为527.30,其中水浴复热和蒸汽复热与对照组差异较小,微波复热后鲍鱼的咀嚼性最小。通过上述结果可知,经过蒸汽复热处理后的产品其鲍鱼质构特性与对照组最为接近。

这可能是由于水浴、蒸汽、微波复热方式的温度、传热速率、传热介质不同,对鲍鱼内部组织破坏程度不同,导致鲍鱼质构特性发生了不同的变化。王阳<sup>[11]</sup>通过不同的熟化方式(水煮、蒸制、微波、真空煮制)对鲍鱼的食用品质和风味物质进行研究,发现蒸制是鲍鱼较适宜的熟化方式。与上述结果一致。

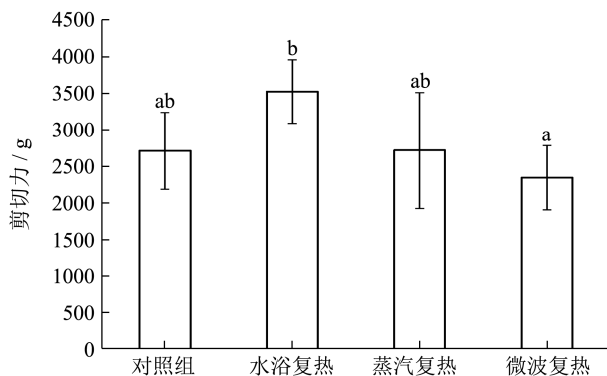


图3 不同复热方式鲍鱼嫩度测定分析

Fig.3 Determination and analysis of abalone tenderness in different reheat modes

剪切力是用来表示嫩度最常用的指标,根据图3中可以看出,使用不同的复热方式,佛跳墙主料中鲍鱼的嫩度会有所不同,经过水浴复热、蒸汽复热和微波复热后鲍鱼的嫩度分别为3545.28 g、2736.75 g、2363.49 g,其中经过蒸汽复热后的鲍鱼嫩度与对照组相比,无显著性差异( $p>0.05$ ),经过水浴复热后鲍鱼的剪切力有所增大,经过微波复热后的鲍鱼的剪切力最小,嫩度最大,与王波<sup>[18]</sup>等人结果相似。有研究表明,温度对嫩度同时具有硬化和嫩化两方面的作用。

一方面加热先使肉质变硬,达到足够中心温度后变嫩;另一方面加热时的肌原纤维收缩导致肉质变硬,而加热处理导致胶原蛋白凝胶化,使得肉质变嫩<sup>[19]</sup>。由结果可知,微波复热后鲍鱼具有更好的嫩度品质,但蒸汽复热后鲍鱼的嫩度更为接近对照组的鲍鱼嫩度,因此,选择蒸汽复热作为佛跳墙产品的复热方式最合适。

### 2.3 不同复热方式对佛跳墙汤汁色泽的影响

表2 不同复热方式对汤汁色泽的影响

Table 2 Effect of different reheating methods on color of soup

组别	L*值	a*值	b*值
对照组	9.90±0.10 <sup>b</sup>	1.81±0.22 <sup>a</sup>	10.19±0.15 <sup>b</sup>
水浴复热	11.75±0.14 <sup>a</sup>	1.77±0.27 <sup>a</sup>	11.60±0.22 <sup>a</sup>
蒸汽复热	9.72±0.01 <sup>b</sup>	1.54±0.07 <sup>a</sup>	10.22±0.24 <sup>b</sup>
微波复热	4.62±0.10 <sup>c</sup>	1.54±0.11 <sup>a</sup>	5.91±0.05 <sup>c</sup>

注:不同字母代表同一列有显著性差异( $p<0.05$ )。

色泽是消费者评价食品品质的重要指标之一,也是评价佛跳墙复热后感官特征的重要指标。由表2可以看出,经过三种不同方式复热后,水浴复热、蒸汽复热和微波复热后的产品L\*值分别为11.75、9.72、4.62,微波复热后的产品L\*值大大显著低于其他两种复热方式,水浴复热反而使样品的L\*值增加,与对照组相比,经过蒸汽复热后的产品与新鲜佛跳墙L\*差异不显著( $p>0.05$ ),代表红度的a\*值在经过三种不同复热方式后,无明显差异( $p>0.05$ ),说明复热方式对佛跳墙产品的红绿值无太大影响。b\*值表示黄蓝值,也是体现佛跳墙汤汁的重要指标,微波复热后的产品b\*值最小,而蒸汽复热后的产品与对照组差异不显著,与L\*值的结果一致。经过比较,微波复热后产品的L\*至和b\*值均显著低于蒸汽复热和水浴复热,其中水浴复热能增加产品的L\*值和b\*值,而蒸汽复热后的产品与新鲜佛跳墙更为接近,因此,水浴复热和蒸汽复热均能较好的保持佛跳墙产品的色泽。

### 2.4 不同复热方式对佛跳墙产品MDA含量分析

佛跳墙产品汤汁为重要组成部分,在加工过程中汤汁容易受到氧化,汤汁中的脂肪氧化涉及到很多因素,比如不同的脂肪结构、氧气浓度的高低、油滴带电量<sup>[20]</sup>的多少、抗氧化剂的浓度和界面性质<sup>[21]</sup>等都会影响脂肪氧化;其中不饱和脂肪酸高温时会氧化生成丙二醛,丙二醛含量越高说明脂质氧化越严重,从而产生哈喇味,导致产品感官品质下降<sup>[22]</sup>。

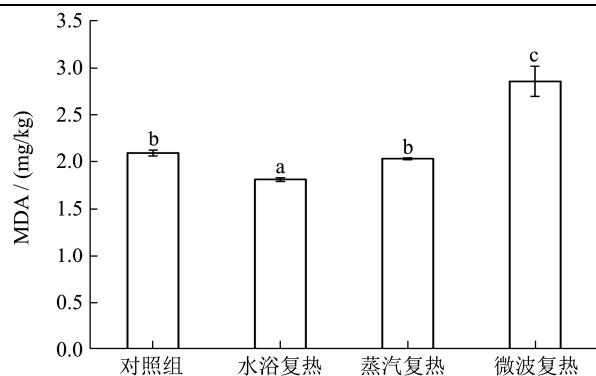


图4 不同复热方式对佛跳墙产品 MDA 含量分析

Fig.4 Content analysis of the products MDA Fotiaoqiang by different reheating methods

由图4可知,经过三种不同方式复热后,其中水浴复热的产品MDA值最低,其次为蒸汽复热,微波复热后的产品MDA值最高。与对照组相比,微波复热后的产品MDA值大大增加,可能是微波的传热方式不同,微波加热穿透深度大、加热速率快,因此导致了佛跳墙汤汁发生了不同程度的脂质氧化。王瑞花<sup>[23]</sup>等研究了二次加热方式对红烧猪肉脂质氧化的影响发现微波加热红烧猪肉的脂质氧化程度要显著大于气蒸红烧猪肉。Yoshida等<sup>[24]</sup>人发现微波加热会导致食物中磷脂的多不饱和脂肪酸减少,这些减少的脂肪酸会引起二次氧化产物的量增加,加速脂肪氧化的速度。与对照组相比,经过水浴复热后的样品MDA值小于对照组,说明水浴复热能降低脂肪氧化的程度,通过蒸汽复热的样品的MDA含量与新鲜佛跳墙样品的MDA含量无显著性差异,所以选择蒸汽复热或水

浴复热对佛跳墙产品进行复热,都能得到较好的感官品质。

## 2.5 不同复热方式对佛跳墙产品电子舌滋味

### 测定分析

电子舌是通过模拟人体口腔味觉器官来对样品滋味进行检测<sup>[25]</sup>,与常规感官评价相比,电子舌能够克服人为主观意识对样品感官评价的影响,减小外界因素的影响,实现对酸、苦、涩、咸、鲜、甜6种基本滋味及苦、涩、鲜3种回味的检测<sup>[26]</sup>。

表3表示的是不同复热方式对佛跳墙电子舌滋味的影响,从表3中可以看出,不同复热方式对佛跳墙产品的酸味、涩味无显著差异( $p>0.05$ ),从苦味上分析,经过水浴复热、蒸汽复热和微波复热后产品的苦味值分别为10.41、9.03、8.24,微波复热后的佛跳墙苦味值最低;水浴复热后佛跳墙苦味值最大,从咸味上分析,经过水浴复热、蒸汽复热和微波复热后产品的咸味值分别为2.84、2.90、4.34,与对照组相比,微波复热后产品的咸味值增加了25.79%。综上所述,微波复热后佛跳墙的苦味值最低,鲜味值最高,但咸味值大大增加,可能是微波复热过程中水分损失较大,导致产品咸味值增加。蒸汽复热相较于水浴复热而言,在酸味、苦味、涩味、鲜味和咸味等滋味上更接近新鲜制作的佛跳墙,因此,蒸汽复热能更好的保持佛跳墙产品的滋味。

表3 佛跳墙电子舌滋味分析

Table 3 Electronic tongue analysis of the Fotiaoqiang

滋味特征	对照组	水浴复热	蒸汽复热	微波复热
酸味	-38.20±0.26 <sup>a</sup>	-37.81±0.45 <sup>a</sup>	-37.79±0.32 <sup>a</sup>	-37.70±0.43 <sup>a</sup>
苦味	9.44±0.08 <sup>c</sup>	10.41±0.31 <sup>d</sup>	9.03±0.17 <sup>b</sup>	8.24±0.22 <sup>a</sup>
涩味	-1.46±0.05 <sup>a</sup>	-1.56±0.06 <sup>a</sup>	-1.57±0.04 <sup>a</sup>	-1.57±0.03 <sup>a</sup>
鲜味	12.82±0.04 <sup>b</sup>	12.61±0.14 <sup>a</sup>	12.56±0.09 <sup>a</sup>	12.87±0.15 <sup>b</sup>
咸味	3.45±0.11 <sup>b</sup>	2.84±0.05 <sup>a</sup>	2.90±0.02 <sup>a</sup>	4.34±0.07 <sup>c</sup>

注:不同字母代表同一行有显著性差异( $p<0.05$ )。下表同。

## 2.6 不同复热方式对佛跳墙产品游离氨基酸

### 含量分析

游离氨基酸的含量对佛跳墙汤汁的口感起着至关重要的作用,佛跳墙汤汁中游离氨基酸按呈味特性不同可分成鲜、甜和苦3类。其中呈鲜味的游离氨基酸为谷氨酸和天冬氨酸;呈甜味的游离氨基酸为甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸和苏氨酸;呈苦味的游

离氨基酸为缬氨酸、甲硫氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸、赖氨酸和精氨酸。

不同复热方式佛跳墙汤汁中游离氨基酸的含量如表4所示,由表可知,与对照组相比,经过蒸汽复热和水浴复热后佛跳墙汤汁中游离氨基酸总量降低,经过微波复热后的游离氨基酸总量升高,可能是因为在微波复热过程中,加热升温的速度较快、温度分布均匀、导致花菇中原有的游离氨基酸更好的释放到汤中以及蛋白质的降解<sup>[27]</sup>。3种复热方式后佛跳墙汤汁中

游离氨基酸含量最高的均为谷氨酸,经过微波复热后的佛跳墙汤汁中谷氨酸含量为2462.42  $\mu\text{g/mL}$ ,与其他2组相比含量相对较高。其次,游离氨基酸含量较高的为甘氨酸,天冬氨酸在3种复热方式中的含量分别为318.08  $\mu\text{g/mL}$ (水浴复热)、341.33  $\mu\text{g/mL}$ (蒸汽

复热)、400.42  $\mu\text{g/mL}$ (微波复热),谷氨酸和天冬氨酸具有鲜味对佛跳墙汤汁的滋味具有重要贡献;三种复热方式中半胱氨酸的含量均最少。由结果可知,微波复热可增加游离氨基酸含量。

表4 佛跳墙游离氨基酸含量分析 ( $\mu\text{g/mL}$ )

Table 4 Analysis on the content of free amino acid of the Fotiaoqiang

名称	对照组	水浴复热	蒸汽复热	微波复热
赖氨酸 (Lys)	336.75±41.46 <sup>a</sup>	288.5±35.10 <sup>a</sup>	313.67±30.27 <sup>a</sup>	358.75±46.86 <sup>a</sup>
精氨酸 (Arg)	406.5±17.14 <sup>ab</sup>	363.58±20.21 <sup>a</sup>	373.25±11.96 <sup>a</sup>	459.33±64.71 <sup>b</sup>
组氨酸 (His)	39.50±18.15 <sup>a</sup>	37.20±12.67 <sup>a</sup>	46.83±9.51 <sup>a</sup>	65.9±4.57 <sup>a</sup>
谷氨酰胺 (Gln)	277.36±28.40 <sup>a</sup>	258.58±16.73 <sup>a</sup>	291.47±45.93 <sup>a</sup>	307.08±41.25 <sup>a</sup>
苯丙氨酸 (Phe)	177.94±20.78 <sup>ab</sup>	150.38±20.11 <sup>a</sup>	147.75±20.87 <sup>a</sup>	213.27±31.99 <sup>b</sup>
色氨酸 (Trp)	24.62±1.23 <sup>ab</sup>	21.21±1.91 <sup>a</sup>	24.97±4.80 <sup>ab</sup>	31.22±4.38 <sup>b</sup>
异亮氨酸 (Ile)	131.03±1.38 <sup>ab</sup>	116.06±15.11 <sup>a</sup>	121.61±14.69 <sup>a</sup>	152.03±10.10 <sup>b</sup>
亮氨酸 (Leu)	245.05±12.79 <sup>a</sup>	202.23±37.08 <sup>a</sup>	215.19±18.31 <sup>a</sup>	271.35±36.49 <sup>a</sup>
酪氨酸 (Tyr)	66.33±3.11 <sup>a</sup>	62.69±8.97 <sup>a</sup>	70.46±8.21 <sup>a</sup>	71.77±12.67 <sup>a</sup>
蛋氨酸 (Met)	60.12±7.00 <sup>ab</sup>	51.94±2.06 <sup>a</sup>	55.29±5.57 <sup>ab</sup>	69.34±9.34 <sup>b</sup>
缬氨酸 (Val)	171.85±13.39 <sup>ab</sup>	134.74±17.75 <sup>a</sup>	149.62±17.32 <sup>a</sup>	203.25±22.18 <sup>b</sup>
脯氨酸 (Pro)	134.83±11.32 <sup>a</sup>	112.88±19.42 <sup>a</sup>	119.58±15.30 <sup>a</sup>	158.27±22.96 <sup>a</sup>
苏氨酸 (Thr)	103.89±4.90 <sup>a</sup>	85.37±16.11 <sup>a</sup>	89.08±10.85 <sup>a</sup>	113.93±9.47 <sup>a</sup>
半胱氨酸 (Cys)	11.25±0.78 <sup>a</sup>	11.53±0.67 <sup>a</sup>	12.62±1.60 <sup>a</sup>	11.27±1.49 <sup>a</sup>
天冬酰胺 (Asn)	45.57±4.29 <sup>a</sup>	42.33±3.99 <sup>a</sup>	43.88±5.82 <sup>a</sup>	53.63±2.58 <sup>a</sup>
天冬氨酸 (Asp)	378.17±29.84 <sup>a</sup>	318.08±69.91 <sup>a</sup>	341.33±43.75 <sup>a</sup>	400.42±33.95 <sup>a</sup>
甘氨酸 (Gly)	1853.42±79.36 <sup>ab</sup>	1584.42±202.75 <sup>a</sup>	1802.00±309.58 <sup>ab</sup>	2212.83±201.55 <sup>b</sup>
谷氨酸 (Glu)	2564.92±156.09 <sup>a</sup>	2349.33±448.65 <sup>a</sup>	2232.42±131.85 <sup>a</sup>	2462.42±150.98 <sup>a</sup>
丙氨酸 (Ala)	319.00±23.12 <sup>a</sup>	292.75±43.65 <sup>a</sup>	315.83±30.33 <sup>a</sup>	378.75±37.47 <sup>a</sup>
丝氨酸 (Ser)	175.14±6.30 <sup>a</sup>	150.25±35.05 <sup>a</sup>	168.65±26.14 <sup>a</sup>	201.38±15.01 <sup>a</sup>
羟脯氨酸 (Hpro)	18.14±0.57 <sup>ab</sup>	13.79±2.31 <sup>a</sup>	15.28±3.89 <sup>ab</sup>	20.80±1.96 <sup>b</sup>
氨基酸总量 (TAA)	7541.37±209.21 <sup>ab</sup>	6647.85±189.98 <sup>a</sup>	6950.76±190.07 <sup>a</sup>	8216.99±217.71 <sup>b</sup>

表5 佛跳墙核苷酸含量分析 ( $\mu\text{g/mL}$ )

Table 5 Analysis of nucleotide content of the Fotiaoqiang

名称	对照组	水浴复热	蒸汽复热	微波复热
5'-GMP	45.22±1.22 <sup>a</sup>	37.97±16.59 <sup>a</sup>	33.57±4.79 <sup>a</sup>	72.91±5.32 <sup>b</sup>
5'-IMP	119.53±27.46 <sup>a</sup>	118.27±45.07 <sup>a</sup>	112.02±33.63 <sup>a</sup>	187.07±62.25 <sup>a</sup>
5'-XMP	49.28±1.77 <sup>a</sup>	47.34±1.79 <sup>a</sup>	47.86±0.69 <sup>a</sup>	46.73±0.54 <sup>a</sup>
5'-AMP	318.92±60.91 <sup>ab</sup>	243.03±63.94 <sup>a</sup>	247.54±45.27 <sup>a</sup>	412.58±60.92 <sup>b</sup>
5'-UMP	44.03±9.92 <sup>a</sup>	41.83±5.31 <sup>a</sup>	40.13±9.61 <sup>a</sup>	47.69±7.40 <sup>a</sup>
5'-CMP	8.07±7.22 <sup>a</sup>	7.14±4.19 <sup>a</sup>	2.74±2.03 <sup>a</sup>	12.44±4.54 <sup>a</sup>
总量	585.05±36.65 <sup>ab</sup>	495.58±28.66 <sup>a</sup>	483.85±28.71 <sup>a</sup>	779.42±48.31 <sup>b</sup>

## 2.7 不同复热方式对佛跳墙产品核苷酸含量分析

表5表示的是3种不同复热方式条件下佛跳墙汤

汁中核苷酸含量的变化,从表5中可以看出,与对照组相比,水浴复热和蒸汽复热后核苷酸的含量有所下降,微波复热后核苷酸的含量增加。不同复热条件下佛跳墙汤汁中含量最高的核苷酸均为5'-AMP,经过微波复热后的佛跳墙汤汁中5'-AMP含量为412.58

$\mu\text{g}/\text{mL}$ , 与其他 2 组相比含量相对较高。5'-AMP 是食用菌中的主要呈味氨基酸之一, 有很强的助鲜作用。其次含量最高的核苷酸为 5'-IMP, 在核苷酸中主要呈味核苷酸就是 IMP 和 GMP, 其中 IMP 主要存在于动物性食物和海产鱼类中, 而 GMP 则主要存在于植物性食品如香菇和藻类等中<sup>[28]</sup>。佛跳墙中含有大量的海产品和花菇, 具有较强的鲜味, 由此可知, 微波复热有助于呈味核苷酸的释放。

### 3 结论

本文以佛跳墙冷冻调理包为研究对象, 采用家庭烹饪中常用的三种复热方式(水浴复热、蒸汽复热和微波复热)探究不同复热方式对佛跳墙产品中汤汁及其鲍鱼质构、感官、色泽、MDA 值、电子舌滋味、游离氨基酸和核苷酸的影响。经感官评价可得, 蒸汽复热后产品的感官评分最高, 为 81.23 分, 从色泽上看, 三种不同方式复热后的产品  $a^*$  值差异不显著, 微波复热后产品的  $L^*$  值和  $b^*$  值与对照组呈显著性差异; 与对照组相比, 经过微波复热后产品的  $L^*$  值从 9.90 降低到 4.62,  $b^*$  值从 10.19 降低到 5.91; 经质构特性分析, 蒸汽复热后鲍鱼的嫩度、弹性更接近于新鲜佛跳墙产品中的鲍鱼; 根据脂肪氧化程度可以看出, 经过复热后佛跳墙汤汁会发生不同程度的脂肪氧化, 蒸汽复热后的样品与新鲜样品无显著性差异, 微波复热后的样品脂肪氧化较为严重, 与对照组相比, 升高了 36.84%; 经电子舌分析结果显示, 微波复热后的佛跳墙汤汁咸味和鲜味值最高, 与对照组相比, 咸度值增加了 25.79%; 对于呈味物质, 经过复热后, 微波复热明显的提高了佛跳墙汤汁中的游离氨基酸和核苷酸含量, 其他两种复热方式均降低了佛跳墙汤汁中的游离氨基酸和核苷酸含量。综合各项指标, 蒸汽复热是佛跳墙冷冻调理包较为合适的复热方式。

### 参考文献

- [1] Kim T, Hwang K, Kim Y, et al. Effects of pre-cooking methods on quality characteristics of reheated marinated pork loin [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2018, 38(5): 970-980
- [2] Ferreira V C, Morcuende D, Madruga M S, et al. Effect of pre-cooking methods on the chemical and sensory deterioration of ready-to-eat chicken patties during chilled storage and microwave reheating [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(6): 2760-2769
- [3] Soladoye O P, Shand P J, Dugan M E, et al. Influence of cooking methods and storage time on lipid and protein oxidation and heterocyclic aromatic amines production in bacon [J]. Food Research International, 2017, 99: 660-669
- [4] 王清波. 杀菌、冷藏及微波复热对红烧牛腩品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018  
WANG Qing-bo. Effect of sterilization, cold storage and microwave reheating on the quality of braised beef brisket [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018
- [5] 赵钜阳, 石长波, 张琪. 微波复热功率及时间对速冻红烧肉品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3519-3525  
ZHAO Ju-yang, SHI Chang-bo, ZHANG Qi. Effect of microwave reheating power and time on quality of quick-frozen braised meat [J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2017, 8(9): 3519-3525
- [6] 彭荣艳. 微波加热型预油炸草鱼鱼片品质特性的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015  
PENG Rong-yan. A study on the quality characteristics of pre-fried grass carp fillets by microwave heating [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015
- [7] 王崇人. 即食“佛跳墙”食品生产工艺优化及品质保持研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2018  
WANG Chong-ren. A study on process optimization and quality maintenance of ready-to-eat "Buddha's Jump Wall" food [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018
- [8] 廖伟, 邓伟文. 干鲍鱼的水发方法[J]. 四川烹饪, 2002, 6: 16  
LIAO Wei, DENG Wei-wen. Dry abalone water hair method [J]. Sichuan Cuisine, 2002, 6: 16
- [9] 梁军. 几种珍贵干料的涨发[J]. 中国烹饪, 2004, 3: 66-67  
LIANG Jun. Rise of several precious dry materials [J]. Chinese Cooking, 2004, 3: 66-67
- [10] 马浩然, 卜宁霞, 徐昊, 等. 响应面法优化发酵鸡肉干加工工艺[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 107-113  
MA Hao-ran, BU Ning-xia, XU Hao, et al. Optimization of dry processing technology of fermented chicken by response surface [J]. Method Chinese Condiments, 2019, 44(2): 107-113
- [11] 王阳. 不同预制条件和熟化方式对鲍鱼品质的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2017  
WANG Yang. Effects of different prefabrication conditions and maturing methods on the quality of abalone [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2017
- [12] 冯婷婷. 嫩化焙烤鲍鱼质构、色泽品质形成及 5-羟甲基糠醛评价研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2018  
FENG Ting-ting. Evaluation of texture, color quality formation and 5-hydroxymethylfurfural in tender roasted



- abalone [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018
- [13] 朱文娟,夏必帮,廖红梅,等.四种红肉火龙果品种榨汁适宜性评价研究[J].食品与发酵工业,2020,46(3):167-173  
ZHU Wen-xian, XIA Bi-bang, LIAO Hong-mei, et al. A study on the suitability of juice making of four red-meat red-meat firefruit varieties [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(3): 167-173
- [14] John L, Cornforth D, Carpenter C E, et al. Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum [J]. Meat Science, 2005, 69(3): 441-449
- [15] 吴进菊,王越,曾瑞萍,等.电子舌在绿茶饮料滋味品质评价中的应用研究[J].保鲜与加工,2018,18(4):114-118  
WU Jin-ju, WANG Yue, ZENG Rui-ping, et al. Application of electronic tongue in evaluation of taste quality of green tea beverage [J]. Preservation and Processing, 2018, 18(4): 114-118
- [16] Dong M, Qin L, Xue J, et al. Simultaneous quantification of free amino acids and 5'-nucleotides in shiitake mushrooms by stable isotope-labeling-LC-MS/MS analysis [J]. Food Chemistry, 2018, 268: 57-65
- [17] 汪倩.燕麦麸猪肉丸的配方优化及烹饪、储藏和复热对其品质影响[D].杭州:浙江大学,2017  
WANG Qian. Effect of recipe optimization and cooking, storage and reheating on quality of oat bran pork meatballs [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017
- [18] 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. Effect of microwave reheating on quality of different prefabricated meat products [J]. Study Food Research and Development, 2018, 39(8): 78-83
- [19] 李超.加热处理对鸭肉嫩度的影响及其机制研究[D].南京:南京农业大学,2012  
LI Chao. Effects of heating treatment on tenderness of duck meat and its mechanism [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012
- [20] Lepetit J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness [J]. Meat Science, 2007, 76(1): 147-159
- [21] Mei L, McClements D J, Wu J, et al. Iron-catalyzed lipid oxidation in emulsion as affected by surfactant, pH and NaCl [J]. Food Chemistry, 1998, 61(3): 307-312
- [22] Silvestre M P C, Chaiyasit W, Brannan R G, et al. Ability of surfactant head group size to alter lipid and antioxidant oxidation in oil-in-water emulsions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(6): 2057-2061
- [23] 王瑞花,陈健初,叶兴乾,等.配送和冷藏条件及二次加热方式对红烧猪肉脂质氧化、挥发性风味物质和脂肪酸组成的影响[J].中国食品学报,2017,17(9):157-167  
WANG Rui-hua, CHEN Jian-chu, YE Xing-qian, et al. Effects of distribution and refrigeration conditions and secondary heating method on lipid oxidation, volatile flavor substances and fatty acid composition of braised pork in [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(9): 157-167
- [24] Yoshida H, Hirakawa Y, Tomiyama Y, et al. Fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in peanut seeds (*Arachis hypogaea* L.) following microwave treatment [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18(1): 3-14
- [25] 黄嘉丽,黄宝华,卢宇靖,等.电子舌检测技术及其在食品领域的应用研究进展[J].中国调味品,2019,44(5):189-193,196  
HUANG Jia-li, HUANG Bao-hua, LU Yu-jing, et al. Advances in electronic tongue detection technology and its application in food field [J]. Chinese Condiments, 2019, 44(5): 189-193, 196
- [26] 董蕴,张一涵,杨小丽,等.基于电子舌技术对甜面酱滋味品质的评价[J].保鲜与加工,2019,19(1):121-126  
DONG Yun, ZHANG Yi-han, YANG Xiao-li, et al. Evaluation of taste quality of sweet paste based on electronic tongue technique [J]. Preservation and Processing, 2019, 19(1): 121-126
- [27] Raaholt B W, Isaksson S, Hamberg L, et al. Continuous tubular microwave heating of homogeneous foods: evaluation of heating uniformity [J]. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 2016, 50(1): 43-65
- [28] 赵静,丁奇,孙颖,等.香菇菌汤及酶解液中滋味成分及呈味特性的对比分析[J].食品科学,2016,37(24):99-104  
ZHAO Jing, DING Qi, SUN Ying, et al. Comparative analysis of flavor components and flavor characteristics in mushroom soup and enzymatic hydrolysate [J]. Food Science, 2016, 37(24): 99-104