

朱文政, 张一凡, 沙文轩, 等. 添加不同酒对红烧肉水分迁移及食用品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(24): 104-111. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070284

ZHU Wenzheng, ZHANG Yifan, SHA Wenxuan, et al. The Effects of Addition of Different Wines on Water Migration and Edible Quality of Braised Pork[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(24): 104-111. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070284

# 添加不同酒对红烧肉水分迁移及食用品质的影响

朱文政<sup>1,2,3</sup>, 张一凡<sup>1</sup>, 沙文轩<sup>1</sup>, 王秋玉<sup>1</sup>, 沈东强<sup>1</sup>, 刘 薇<sup>1</sup>, 徐 艳<sup>1,2,3</sup>, 周晓燕<sup>1,2,3,\*</sup>

(1.扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225127;

2.江苏省淮扬菜产业化工程研究中心, 江苏扬州 225127;

3.中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室, 江苏扬州 225127)

**摘要:**为探究添加不同酒对红烧肉的食用品质和水分迁移规律的影响, 本实验以添加黄酒、木瓜酒、啤酒和混合酒烹制的红烧肉为研究对象, 运用低场核磁共振仪 (low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR) 和质构仪、卡路里量热仪等检测红烧肉食用品质、质构特性、营养成分和内部水分弛豫时间等指标的变化。结果显示, 通过感官评价得知, 黄酒组的红烧肉整体可接受度较高; 而木瓜酒组红烧肉的脂肪、蛋白质和卡路里含量数值最高, 分别为 51.95、38.55 g/100 g 和 623.50 kcal/100 g; 啤酒组的水分含量最高, 含量高达 31.55 g/100 g; 黄酒组红烧肉的硬度和剪切力值最低, 分别为 31.54 和 2.06 N, 肉样达到理想口感和嫩度; 黄酒组的  $L^*$  (亮度) 值和  $a^*$  (红度) 值较高, 色泽更加红亮。通过低场核磁共振分析发现, 啤酒组的弛豫时间  $T_{21}$  最短, 水与底物结合更紧密, 不容易流失, 木瓜酒组的弛豫时间  $T_{22}$  最长以及峰面积  $T_{22}$  最大, 红烧肉中的自由水含量最高。综上所述, 烹制红烧肉过程中添加黄酒烹制的红烧肉成品各方面综合最佳, 其次为混合酒 (黄酒+啤酒) 组效果次之。该研究结果为红烧肉的工业化生产提供了参考, 也为进一步探究酒对中华传统菜肴质地、滋味的影响机制提供一定的基础。

**关键词:**酒, 红烧肉, 水分迁移, 质构特性, 食用品质

中图分类号: TS251

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)24-0104-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070284



本文网刊:

## The Effects of Addition of Different Wines on Water Migration and Edible Quality of Braised Pork

ZHU Wenzheng<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Yifan<sup>1</sup>, SHA Wenxuan<sup>1</sup>, WANG Qiuyu<sup>1</sup>, SHEN Dongqiang<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, XU Yan<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Xiaoyan<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. Tourism and Culinary Institute, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China;

2. Huaiyang Cuisine Industrization Engineering Research Center of Jiangsu Province, Yangzhou 225127, China;

3. Key Laboratory of Chinese Cuisine Intangible Cultural Heritage Technology Inheritance,

Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou 225127, China)

**Abstract:** In order to explore the effect of adding different wines on the eating quality and water migration of braised pork, braised pork cooked with rice wine, papaya wine, beer and mixed wine was taken as the research object, low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) and texture analyzers, calorimeters, etc. were used to detect changes in the edible quality, texture characteristics, nutritional content and internal moisture relaxation time of braised pork in this experiment. The results showed that through sensory evaluation, the overall acceptability of braised pork in the rice wine group was higher; the braised pork in papaya wine group had the highest fat, protein and calorie content, which were 51.95, 38.55 g/100 g and 623.50 kcal/100 g, respectively; the water content of beer group was the highest, up to 31.55 g/100 g; the hardness and

收稿日期: 2021-07-26

基金项目: 扬州市-扬州大学市校合作共建创新科技平台项目 (YZ2020267); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目 (PRKX2020Z06); 四川省哲学社会科学重点研究基地川菜发展研究中心课题 (CC20G03)。

作者简介: 朱文政 (1986-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 烹饪科学与中式菜肴工业化, E-mail: zhuwz@yzu.edu.cn。

\* 通信作者: 周晓燕 (1964-), 男, 本科, 教授, 研究方向: 烹饪科学与中式菜肴工业化, E-mail: ziyuzyz@163.com。

shear force of braised meat in rice wine group were the lowest, which were 31.54 and 2.06 N, respectively, and the meat sample reached ideal taste and tenderness; the  $L^*$ (brightness) value and  $a^*$ (redness) value of the yellow wine group were higher, and the color was more red and bright. Through low-field NMR analysis, it was found that the beer group had the shortest relaxation time  $T_{21}$ , and the water was more tightly bound to the substrate, and it was not easy to lose. The relaxation time( $T_{22}$ ) and peak area  $T_{22}$  of papaya wine group were the longest, and the free water content of braised meat was the highest. To sum up, in the process of cooking braised pork, the braised pork with rice wine was the best in all aspects, followed by the mixed wine(rice wine+beer) group. The research results of this article would provide a reference for the standardized industrial production of braised pork, and also provide a basis for further exploring the mechanism of wine's influence on the texture and taste of traditional Chinese dishes.

**Key words:** wines; braised pork; water migration; texture characteristics; edible quality

红烧肉是家喻户晓的中华传统美食之一<sup>[1]</sup>,因其口味浓郁、肥而不腻、大块朵颐、色泽诱人而深受人们的喜爱。红烧肉是选用上好的猪五花肉为主料,辅以黄酒、酱油、白糖、葱姜等调味料经过精心烹制而成,因其受到原料、地域、调料和烹制技法的影响,产生了不同地域风味之别,如苏式红烧肉、毛氏红烧肉、东坡肉、上海本帮红烧肉等。红烧肉的烹制技法源远流长,北宋时期,北魏贾思勰所著《齐民要术》中就记载了红烧肉的具体做法:“大块煮然后切成小块继续换水煮,反复煮将五花肉的油脂逼出来,已达到肥而不腻的口感。”清代苏东坡在《食猪肉》诗中描述红烧肉烹制“慢著火,少著水,火候足时它自美。”烹饪会使食物的物理和化学性质发生一系列变化<sup>[2]</sup>。

目前对红烧肉的研究主要集中在红烧肉的工艺优化<sup>[3]</sup>、复合调味包<sup>[4-5]</sup>、品质变化<sup>[6-7]</sup>等方面,而对红烧肉中的水分迁移规律还未见报道。低场核磁共振具有分辨率高、成像参数多、无损伤的特点<sup>[8]</sup>,不受样品状态、形状和大小的限制,能够快速准确地实现实时测量<sup>[9-10]</sup>,用于分析肉与肉制品中的水分的分布状态、不同状态水的含量以及迁移过程等<sup>[11]</sup>。低场核磁共振用于肉与肉制品水分研究主要采用横向弛豫时间( $T_2$ ),因为  $T_2$  数值变化范围明显,易于观察分析<sup>[12]</sup>。盖圣美等<sup>[13]</sup>运用低场核磁共振技术分析样品检测质量及注水比例对水分子弛豫特性的影响,得到变化规律后应用在注水肉检测方面。孟舒雨等<sup>[14]</sup>研究冷冻过程中调理狮子头脂肪氧化与低场核磁共振弛豫特性的相关性,得出结论为肉制品脂肪氧化的检测及科学贮藏提供理论依据。

中西方烹饪中都有将酒入饌的传统和烹饪习惯,黄酒、啤酒、料酒、白酒、葡萄酒等,都是烹饪中常用的酒类。酒可以对菜肴的嫩度、质地、风味等产生显著的影响。烹饪过程中添加黄酒在生活中十分常见,追溯起来已有上千年的历史<sup>[15]</sup>。清代《调鼎集》在第六卷衬菜部中有记载,在烹制红烧肉过程中添加木瓜酒<sup>[16]</sup>。王瑞花等<sup>[17]</sup>通过研究黄酒对猪肉炖煮过程挥发性风味物质变化的影响,得出黄酒对炖煮猪肉风味品质具有较显著的作用。啤酒中对烹饪菜肴产生影响的风味物质与黄酒相似,啤酒可以使食物迅速降温,保持鲜嫩<sup>[18]</sup>。木瓜酒的主要原料是鲜木

瓜、糖和蜂蜜,通过木瓜汁经补糖、前酵、后酵、过滤、灭菌等工艺酿成<sup>[19]</sup>,可以赋予其独特的风味。

在红烧肉制作过程中,为了起到去腥、增香和嫩化的作用,通常添加不同种类的酒。目前不同酒在红烧肉中的应用研究报道还较少。因此本文通过添加黄酒、啤酒、木瓜酒和混合酒,研究添加不同酒条件下红烧肉的感官、色泽、剪切力、质构、营养成分和水分迁移的变化规律,探究添加不同酒对中华传统菜肴红烧肉营养品质的影响。研究得出烹制红烧肉较佳添加酒,以期对红烧肉的工业化生产和品质调控提供一定的依据和参考,同时也为进一步探究酒对中华传统菜肴品质和滋味影响的机制奠定一定的基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

冷鲜猪五花肉 来源于同一饲养场,动物品种、饲养条件及体重相似,购于扬州麦德龙超市;古越龙山绍兴花雕黄酒 酒精度  $\geq 14\%$  vol,浙江古越龙山绍兴酒股份有限公司;青岛啤酒 酒精度  $\geq 4.0\%$  vol,青岛啤酒股份有限公司;木瓜酒 酒精度  $\geq 6\%$  vol,陕西省白河县沁园食品有限公司;大豆油 金龙鱼调和油,益海嘉里金龙鱼粮油股份有限公司;精选老抽、精选生抽 李锦记食品有限公司;白砂糖 南京甘汁园糖业有限公司;食盐 大连盐化集团有限公司;葱、生姜 均购于扬州麦德龙超市。

ZG-TP101 精密天平 哈尔滨众汇衡器有限公司;C21S-C2170 九阳电子炉 九阳股份有限公司;TMS-PRO 质构仪 美国 FTC 公司;GM321 红外线测温枪 无锡非常祥科技有限公司;AccuFat-1050 磁共振分析仪 江苏麦格迈医学科技有限公司;3nH 电脑色差仪 深圳市三恩时科技医学科技有限公司;C-LM2 肌肉嫩度仪 北京朋利驰科技有限公司;CA-HM 卡路里分析仪 日本 JWP 公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 制作工艺与配方

1.2.1.1 工艺流程 红烧肉的制作方法参照朱文政等<sup>[20]</sup>的制作方法,并稍作改动。将五花肉清洗后放入冷水锅中烧煮至断生(中心温度达到  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),取出晾凉后将其切割成规格为  $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}\times 20\text{ mm}$  的块状,肥瘦比控制在 1:1。各称取样品 250 g,分装于

样品袋中,备用。

在锅中倒入色拉油 5 mL,并加入切好的五花肉,用 600 W 火力慢慢煸炒出油脂后,加入小葱 3 g、姜 3 g,然后再加入老抽 7.5 g、生抽 7.5 g、白砂糖 12.5 g,同时添加不同酒,翻炒之后加入农夫山泉矿泉水 375 mL,食盐 1 g,用 800 W 火力将汤汁烧沸后,用 200 W 火力炖煮 1 h,之后用 800 W 火力大火收汁 15 min,室温冷却 30 min 后,用于后续测定。

1.2.1.2 实验分组和配方 实验分 5 个组(1 个空白组和 4 个实验组),猪肉为 250 g 时,不添加酒烹制的红烧肉为空白组;猪肉为 250 g 时,参照朱小玲等<sup>[21]</sup>的烹调添加量,添加黄酒 40 g 为黄酒组;参照《调鼎集》<sup>[22]</sup>第六卷衬菜部中的配方,添加木瓜酒 50 g 为木瓜酒组;参照朱文政等<sup>[20]</sup>的烹饪添加量,添加 75 g 啤酒为啤酒组;添加黄酒 20 g 和啤酒 50 g 为混合酒组。调辅料分别为葱 3 g、姜 3 g、老抽 7.5 g、生抽 7.5 g、白砂糖 12.5 g、矿泉水 375 mL、食盐 1 g。

1.2.2 感官评定 感官评定采用评分法,选择受过专业培训的感官评价人员共 10 名组成感官评定小组,该小组对添加不同原料酒的红烧肉从组织状态、香气、色泽、肉质、整体可接受度 5 个方面进行评定打分,所有红烧肉样品随机取样,评定前后都需要用清水漱口,每次只对一个指标打分评定,同时禁止评定员之间互相交流,评分标准参考王瑞睿<sup>[23]</sup>的方法,稍作改变,详见表 1。

1.2.3 色泽的测定 使用便携式色差仪测定红烧肉样品表面的  $L^*$ (亮度)、 $a^*$ (红绿度)、 $b^*$ (黄蓝度)值。 $a^*$ 值为正数时表征肉表面的红度,负数为绿度, $b^*$ 值为正数时表征肉表面的黄度,负数为蓝度<sup>[24]</sup>。色差仪经标准白板校正,标准化后镜头垂直固定在肉面,防止漏光,然后轻按摄像按钮,每个样品均测定 3 次后取平均值。

1.2.4 质构的测定 将添加不同酒处理的红烧肉冷却至 4 °C,其中块状红烧肉的规格为 30 mm×30 mm×20 mm,用 P/35 平底柱形探头进行质构测试。参考朱文政等<sup>[25]</sup>的方法并稍作修改,具体的参数设置为:距离 30 mm,测试前速率和测试速率为 1.0 mm/s,测试后速率为 1.0 mm/s,形变程度 40%,测试力 1 N,触发值 500 N,2 次压缩时间间隔 5 s。每组实验重复 5 次,剔除最大去掉最小值取平均值。

1.2.5 剪切力的测定 采用 C-LM2 肌肉嫩度仪对红烧肉样品的剪切力进行测定。红烧肉的规格为 30 mm×20 mm×10 mm,将红烧肉样品置于载样台上,记录刀片切断红烧肉样品所需要的剪切力数值,每个样品重复 3 次。

1.2.6 营养成分的测定 将红烧肉成品切成碎粒状用保鲜膜包好备用,采用卡路里分析仪对红烧肉中的水分、脂肪、蛋白质和卡路里值进行测定,首先将卡路里分析仪和计算机中的分析仪软件打开,预热 30 min,

表 1 红烧肉感官评价参考标准

Table 1 Sensory evaluation reference standard for braised pork

评分项目	评分参考	分值(分)
组织状态	干柴紧密或松散变形	1
	组织较紧密,有弹性	2-3
	组织紧密度一般	4-5
	组织较松软	6-7
	组织松软,入口即化	8-9
	颜色褐变严重或过浅	1
色泽	颜色较暗或较浅	2-3
	色泽一般	4-5
	色泽较红亮	6-7
	色泽红亮	8-9
香气	没有香味	1
	轻微的肉香味	2-3
	一般的肉香味	4-5
	较浓的肉香味	6-7
	很浓的肉香味	8-9
肉质	过于干柴或过于软烂	1
	瘦肉有韧性,肥肉油腻	2-3
	瘦肉较有弹性,肥肉较油腻	4-5
	瘦肉微松软,肥肉微油腻	6-7
	瘦肉松软,肥肉油而不腻	8-9
整体可接受度	不可接受	1
	难以接受	2-3
	勉强接受	4-5
	可以接受	6-7
	接受性非常高	8-9

打开样品仓,放置反射空白板,点击开始,将装好样品放置样品仓内;最后点击软件中的开始进行测试。之后按上述步骤继续测试样品,保存电脑软件中显示的营养成分数值。每组实验重复 3 次。

1.2.7 水分迁移的测定 实验采用 LF-NMR 测定红烧肉内部水分迁移。参考汤晓娟<sup>[26]</sup>的实验方法并稍作修改:准确称取 13 g 红烧肉块状样品,用保鲜膜包裹后置于核磁管中,并用保鲜膜封口,放入 NMR 仪中检测每个样品的弛豫时间。采用 CPMG 脉冲序列测定样品中自旋-自旋弛豫时间  $T_2$ 。检测参数:接收增益=120 dB,回波间隔=400  $\mu$ s,采样点数=2048,扫描次数=16,间隔时间 Recycle delay=2000 ms。每个样品重复测定 3 次,取平均值进行反演、作图。

### 1.3 数据处理

使用 Excel、SPSS 23.0 和 Origin 8.0 软件对数据进行分析及绘图,所有实验测定结果以平均值±标准误差表示,每组试验随机抽样,且均重复三次。方差分析法采用 Duncan 法,显著性水平设置为  $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 感官评价分析

通过专业的评分小组,从红烧肉的组织状态、色泽、香气、肉质、整体可接受度几个方面打分评定。由表 2 可知,在烹制红烧肉过程中未添加酒的红烧肉感官评价的各项指标评分都是远低于其他组的,说

明烹制红烧肉过程中添加酒对红烧肉的感官具有正面影响。同时添加不同酒对红烧肉的组织状态影响有显著差异( $P<0.05$ ),组织紧密度都一般,其中啤酒组的组织状态评分最高。色泽方面的评分显示,黄酒组的评分显著高于其他组( $P<0.05$ ),说明在酱油、糖等影响色泽的变量保持定量时,黄酒会对红烧肉色泽有积极影响,而木瓜酒组的色泽偏暗,说明木瓜酒对红烧肉没有增亮效果。木瓜酒中主要含有的多酚物质为儿茶素、原儿茶酸和绿原酸,其中儿茶素含量最高;儿茶素的结构中存在酚性羟基,易被多酚氧化酶氧化催化,也可在光照和高温等条件下发生氧化聚合缩合反应,形成有色物质,故木瓜酒组肉制品色泽偏暗<sup>[27]</sup>。同时黄酒组在香气方面的评分也显著高于其他组( $P<0.05$ ),说明炖煮红烧肉时适量添加黄酒能够起到增香的作用<sup>[17]</sup>,黄酒中含有丰富的糖和氨基酸物质,在炖煮过程中发生了氨基酸的降解和美拉德反应产生;不饱和脂肪酸氧化形成的过氧化物裂解及糖类降解,也会产生比较重要的风味成分,这都对红烧肉风味有重要贡献<sup>[28]</sup>。这是因为酒中的乙醇能够使肉类中具有腥味的蛋白和胺类物质挥发掉,且不破坏肉的蛋白和脂类,达到去腥增香的目的<sup>[29]</sup>。其次添加啤酒也可以获得好的肉香。从品质方面来看,烹制过程中添加木瓜酒和啤酒获得的红烧肉成品更加松软且肥而不腻。在整体可接受度方面,添加黄酒的红烧肉接受度非常高,其次是啤酒和木瓜酒。其中混合酒的感官评价指标评分都处于中等水平,并没有高于单独添加黄酒和啤酒烹制红烧肉的评分,所以烹制红烧肉时最好选择单独添加黄酒或者啤酒。

## 2.2 添加不同酒对红烧肉色泽的影响

色泽是影响食物食用品质的重要因素之一,往往直接呈现在食用者眼前。使用色差测定仪通过 $L^*$ 值(明度,反映色泽的亮度)、 $a^*$ 值(红绿度,正数代表红色,负数代表绿色)、 $b^*$ 值(黄蓝度,正数代表黄

色,负数代表蓝色)对添加不同酒的红烧肉色泽进行分析。由表 3 可知, $L^*$ 值从大到小依次为黄酒组、啤酒组、木瓜酒组、混合酒组和空白组,所以不添加酒时,红烧肉表面附着的深色物质较多,亮度降低, $L^*$ 值最小,添加黄酒时, $L^*$ 值最大。同时,与生肉相比,五组红烧肉的亮度都有所降低,这可能是由于热处理后肉块表面对光的反射能力下降所致<sup>[30]</sup>。五组红烧肉中,添加黄酒烧炖的红烧肉 $a^*$ 最大,其他四组数值相差不大,因为 $a^*$ 值为负数时,数值越小则颜色越偏绿<sup>[31]</sup>,说明黄酒对红烧肉的色泽有显著的正面影响,而木瓜酒组的 $a^*$ 值与空白组相近,所以添加木瓜酒对红烧肉色泽 $a^*$ 值影响不大。 $b^*$ 值为正数时颜色偏黄,而负数则代表红烧肉颜色偏蓝,由表 3 可得,五组红烧肉中只有黄酒组的颜色偏黄,其他组颜色都偏蓝。所以色泽方面呈现最好的就是添加黄酒的红烧肉,通过感官也发现黄酒组的红烧肉色泽最佳。

## 2.3 添加不同酒对红烧肉质构特性的影响

质构对红烧肉的口感有很重要的影响,烹调过程中添加不同酒会引起红烧肉品质结构的变化。由表 4 可知,添加酒烹制的红烧肉其硬度与空白组相比有显著性差异( $P<0.05$ ),从硬度的角度分析,空白组的红烧肉硬度最大,四个添加酒实验组之间差异不显著( $P>0.05$ );黄酒组和啤酒组弹性与空白组相比有显著性差异( $P<0.05$ ),黄酒组红烧肉的弹性值最大,啤酒组弹性最小;咀嚼性最低的是啤酒组,其次是木瓜酒组,最高的是空白组。咀嚼性是硬度、黏附性、内聚性、弹性和胶黏性的综合反映<sup>[30]</sup>。从数据变化上来看,在烹调过程中添加酒可以有效改善红烧肉的口感,添加黄酒能够使红烧肉的质构保持在较好的水平,在口感上,红烧肉更容易被消费者所接受。

## 2.4 添加不同酒对红烧肉剪切力的影响

剪切力的大小可以直接反映红烧肉的嫩度<sup>[32]</sup>,

表 2 添加不同酒对红烧肉感官评价的影响

Table 2 Effect of adding different wines on sensory evaluation of braised pork

品种	组织状态	色泽	香气	肉质	整体可接受度
空白	2.50±0.14 <sup>c</sup>	2.00±0.13 <sup>d</sup>	2.96±0.11 <sup>d</sup>	3.96±0.44 <sup>c</sup>	4.67±0.18 <sup>c</sup>
黄酒	5.17±0.36 <sup>a</sup>	7.25±0.38 <sup>a</sup>	7.50±0.19 <sup>a</sup>	6.46±0.15 <sup>b</sup>	8.17±0.15 <sup>a</sup>
木瓜酒	4.33±0.11 <sup>b</sup>	2.75±0.13 <sup>c</sup>	4.38±0.26 <sup>c</sup>	7.67±0.11 <sup>a</sup>	7.54±0.18 <sup>d</sup>
啤酒	5.63±0.07 <sup>a</sup>	5.67±0.26 <sup>b</sup>	6.29±0.11 <sup>b</sup>	7.79±0.11 <sup>a</sup>	7.75±0.14 <sup>d</sup>
混合酒	4.08±0.11 <sup>b</sup>	3.21±0.31 <sup>c</sup>	5.96±0.33 <sup>b</sup>	5.96±0.23 <sup>b</sup>	6.46±0.27 <sup>b</sup>

注:同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),表3-表6同。

表 3 添加不同酒对红烧肉色泽的影响

Table 3 Effect of adding different wines on the color of braised pork

品种	$L^*$	$a^*$	$b^*$
空白	18.27±0.17 <sup>a</sup>	-4.16±0.02 <sup>b</sup>	-0.27±0.02 <sup>a</sup>
黄酒	19.35±0.41 <sup>b</sup>	-1.62±0.70 <sup>a</sup>	0.18±0.13 <sup>a</sup>
木瓜酒	18.30±0.22 <sup>b</sup>	-4.19±0.05 <sup>b</sup>	-0.30±0.01 <sup>a</sup>
啤酒	18.59±0.35 <sup>b</sup>	-3.46±0.61 <sup>b</sup>	-1.18±1.03 <sup>a</sup>
混合酒	18.29±0.85 <sup>ab</sup>	-4.10±0.25 <sup>b</sup>	-0.25±0.04 <sup>a</sup>

表4 添加不同酒对红烧肉质构的影响

Table 4 Effect of different wines on texture of braised pork

品种	硬度(N)	黏附性(mJ)	内聚性(Ratio)	弹性(mm)	胶黏性(N)	咀嚼性(mJ)
空白	54.64±4.64 <sup>a</sup>	0.47±0.21 <sup>ab</sup>	0.47±0.08 <sup>a</sup>	7.84±0.39 <sup>bc</sup>	20.39±3.00 <sup>a</sup>	157.42±16.65 <sup>a</sup>
黄酒	31.54±0.39 <sup>b</sup>	0.24±0.04 <sup>b</sup>	0.48±0.03 <sup>b</sup>	10.18±0.02 <sup>b</sup>	15.14±1.07 <sup>b</sup>	123.53±11.18 <sup>a</sup>
木瓜酒	32.39±1.62 <sup>b</sup>	0.25±0.07 <sup>b</sup>	0.44±0.02 <sup>b</sup>	6.72±0.45 <sup>cd</sup>	15.75±2.69 <sup>ab</sup>	105.84±22.68 <sup>a</sup>
啤酒	31.80±1.33 <sup>b</sup>	0.37±0.06 <sup>b</sup>	0.51±0.07 <sup>a</sup>	6.45±0.30 <sup>d</sup>	18.17±2.09 <sup>ab</sup>	105.50±17.70 <sup>a</sup>
混合酒	34.32±4.95 <sup>b</sup>	0.34±0.09 <sup>ab</sup>	0.52±0.06 <sup>a</sup>	8.65±0.62 <sup>b</sup>	17.51±2.22 <sup>ab</sup>	115.36±29.11 <sup>a</sup>

剪切力与嫩度成反比,剪切力值越小,红烧肉越嫩,反之,剪切力值越大,红烧肉越硬。由图1可知,添加不同酒烹制的红烧肉的剪切力有明显差异。与空白组相比,黄酒组的红烧肉剪切力值最小,其次为啤酒组,木瓜酒组和混合酒组的剪切力值最大,二者处于同一水平。从剪切力的变现水平来看,红烧肉在烹制过程中,黄酒对红烧肉的剪切力产生了最理想的烹饪效果。可能是因为烹制过程中添加黄酒使肉中的蛋白酶未完全失活,对肌原纤维蛋白的降解作用比其他添加酒的红烧肉增强,肌肉嫩度的增加弥补了水分损失所引起的剪切力增加<sup>[33]</sup>。同时烹饪热加工时间也会使样品中的胶原蛋白溶解、明胶化导致肌原纤维蛋白的流失和肌肉组织的破碎,致使剪切力下降<sup>[34]</sup>。综上所述,添加不同酒对红烧肉剪切力值的表现作用依次为:黄酒组>啤酒组>混合酒组>木瓜酒组。黄酒组表现效果最佳。

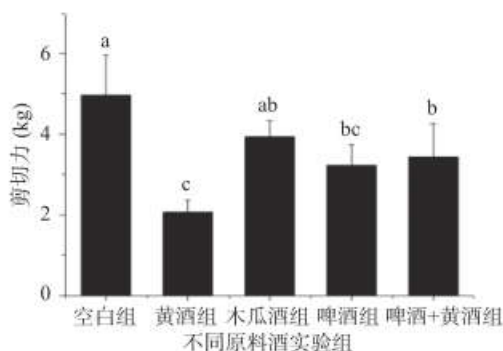


图1 添加不同酒对红烧肉剪切力的影响

Fig.1 Effect of adding different wines on the shearing force of braised pork

注:不同小写字母表示差异显著,  $P < 0.05$ 。

## 2.5 添加不同酒对红烧肉营养品质的影响

烹制红烧肉过程中添加不同酒会对红烧肉基本的营养品质产生影响。由表5可知,水分含量对肉制品的影响十分重要,通常水分含量越高,红烧肉的

口感越嫩,水分含量越少,红烧肉口感越硬,甚至发柴<sup>[35]</sup>。五组红烧肉中,制作过程中添加啤酒的红烧肉的水分含量最高,说明添加啤酒烹制红烧肉过程中较少的水分流失到汤汁中,而添加黄酒的红烧肉水分含量最低,说明水分伴随黄酒挥发更多;同时由于湿热加工过程中,结缔组织收缩使得脂肪细胞受到较大的压力后破碎,液化而流入汤汁中,油脂的不断析出导致了脂肪损失,并且还有脂肪在一定程度上受热融化产生脂肪酸、风味物质等,这也是形成红烧肉肥而不腻口感的原因之一<sup>[6]</sup>。另外木瓜酒组的脂肪含量最高达 51.95 g/100 g,而啤酒组的脂肪含量最少,为 36.90 g/100 g。导致木瓜酒组的脂肪含量高的原因可能是木瓜酒生产过程中酚类物质种类和含量变化,对木瓜酒品质产生了一些的影响<sup>[27]</sup>。蛋白质是肉类食品中十分重要的营养成分,也对食品的食用品质具有显著影响。五组红烧肉中,添加木瓜酒的红烧肉蛋白质含量明显最高,啤酒组蛋白质含量最低,这表明添加啤酒的烹调方法会使蛋白质更容易降解同时水溶性蛋白损失更多<sup>[36-37]</sup>,而添加木瓜酒则会使蛋白质降解较少。卡路里数值与脂肪相对应,木瓜酒组卡路里值最大,而啤酒组卡路里值最小,摄入过多的卡路里会导致肥胖,还会诱发一些心血管疾病,所以食用添加啤酒烹制的红烧肉更加健康。

## 2.6 添加不同酒对红烧肉水分迁移的影响

水分是肉制品中重要的化学成分,含量约占 70%左右。低场核磁共振技术通过检测水分的横向弛豫时间( $T_2$ )来反映水分的结合状态<sup>[38]</sup>,弛豫时间越短表明水与底物结合越紧密,水分越不自由,而时间越长表明水分越自由<sup>[39]</sup>。所以可以通过计算弛豫时间  $T_2$  来判断水分的自由度。一般将弛豫时间  $T_2$  按照由小到大的顺序分为反映位于高度组织化蛋白质结构内部的水(含肌动蛋白/原肌球蛋白细纤维与肌球蛋白粗纤维之间)即不易流动水( $T_{21}$ ),而  $T_{22}$  为肌原

表5 添加不同酒烹制红烧肉的营养品质变化

Table 5 Changes of nutritional quality of braised pork cooked with different wines

品种	水分(g/100 g)	脂肪(g/100 g)	蛋白质(g/100 g)	卡路里(kcal/100 g)
空白	26.10±0.10 <sup>b</sup>	39.65±0.15 <sup>d</sup>	33.40±0.10 <sup>e</sup>	490.00±1.00 <sup>d</sup>
黄酒	17.75±1.00 <sup>d</sup>	45.50±0.20 <sup>b</sup>	35.75±0.45 <sup>b</sup>	525.50±3.50 <sup>b</sup>
木瓜酒	19.50±3.55 <sup>d</sup>	51.95±3.55 <sup>a</sup>	38.55±0.15 <sup>b</sup>	623.50±1.50 <sup>a</sup>
啤酒	31.55±1.55 <sup>a</sup>	36.90±0.20 <sup>e</sup>	30.75±0.15 <sup>d</sup>	455.00±1.00 <sup>e</sup>
混合酒	23.80±1.05 <sup>c</sup>	40.40±0.20 <sup>e</sup>	34.80±0.30 <sup>b</sup>	503.00±3.00 <sup>e</sup>

表 6 添加不同酒对红烧肉水分迁移的影响

Table 6 Effect of adding different wines on water transfer of braised pork

品种	T <sub>21</sub> 弛豫时间(ms)	T <sub>22</sub> 弛豫时间(ms)	T <sub>21</sub> 峰面积	T <sub>22</sub> 峰面积
空白	2.26±0.10 <sup>a</sup>	429.18±0.97 <sup>b</sup>	0.79±0.1105 <sup>a</sup>	30.85±0.46 <sup>b</sup>
黄酒	2.31±0.07 <sup>a</sup>	372.48±4.11 <sup>c</sup>	0.79±0.0096 <sup>a</sup>	27.72±0.40 <sup>c</sup>
木瓜酒	1.74±0.12 <sup>b</sup>	480.27±0.89 <sup>a</sup>	0.77±0.0027 <sup>b</sup>	35.91±0.55 <sup>a</sup>
啤酒	1.27±0.12 <sup>c</sup>	378.71±1.56 <sup>c</sup>	0.74±0.0088 <sup>b</sup>	28.08±0.10 <sup>c</sup>
混合酒	1.69±0.05 <sup>b</sup>	363.08±0.60 <sup>d</sup>	0.77±0.0011 <sup>ab</sup>	24.13±0.42 <sup>d</sup>

纤维蛋白外部水包括肌浆蛋白部分即自由水<sup>[11]</sup>。影响 T<sub>21</sub> 弛豫时间主要因为加热过程中肌原纤维蛋白发生变性、收缩,不易流动水被挤出<sup>[40]</sup>。

由表 6、图 2 可知,其中弛豫时间最短的是添加啤酒烹制的红烧肉,所以啤酒组的红烧肉蛋白质变性、收缩程度最大,水分从肌原纤维间排出,不易流动水含量减小,表现在 T<sub>21</sub> 的峰面积最小,同时,弛豫时间 T<sub>21</sub> 最短,表明红烧肉中水分被束缚的最紧,不容易流失;而黄酒组的弛豫时间最长,不易流动水流失最少,说明黄酒在一定程度上对蛋白质结构稳定有积极影响,但同时,黄酒组的红烧肉中不易流动水分更容易流失。五组红烧肉中的自由水(T<sub>22</sub>)的弛豫时间除了黄酒和啤酒组之间无显著性差异外,其余组之间均存在显著差别(P<0.05),因为较长的弛豫时间 T<sub>22</sub> 与肌原纤维之间的空间水分有关<sup>[11]</sup>,当肌原纤维之间的空间水分变大时,自由水 T<sub>22</sub> 的含量增高,因为肌原纤维中的不易流动水向外迁移,所以木瓜酒组的弛豫时间最长,它的肌原纤维之间的空间水分含量即自由水含量最大,表现在 T<sub>22</sub> 的峰面积最大,此时水分与底物结合不紧密,容易流失<sup>[41]</sup>。

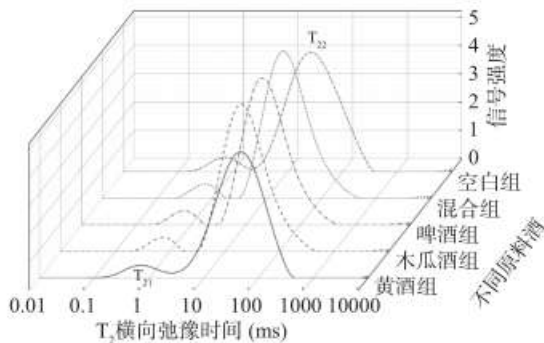


图 2 添加不同酒烹制红烧肉后的 T<sub>2</sub> 横向弛豫时间变化  
Fig.2 Changes of T<sub>2</sub> transverse relaxation time of braised pork cooked with different wines

综上所述,通过比较五组添加不同酒烹制红烧肉后弛豫时间 T<sub>2</sub> 以及对应水分相对含量的变化,发现啤酒组的弛豫时间 T<sub>21</sub> 最短,说明水与底物结合最紧密,水分不易流失,这主要与红烧肉中的水分含量有一定的影响;而黄酒组的弛豫时间 T<sub>21</sub> 最长,水分较自由,容易流失;其中木瓜酒组的弛豫时间 T<sub>22</sub> 最长和峰面积 T<sub>22</sub> 最大,所以红烧肉中自由水含量较高。

### 3 结论

本文研究了黄酒、木瓜酒、啤酒、混合酒等四种不同原料酒对红烧肉感官、食用品质、营养成分和水分迁移变化的影响。从感官评价上来说,黄酒和啤酒是对红烧肉口感风味等整体贡献价值较大。添加不同的酒明显影响红烧肉的营养成分变化,与空白实验组相比,木瓜酒实验组的红烧肉中脂肪、蛋白质和卡路里含量最高;从食用品质方面来看,黄酒实验组对红烧肉的食品品质整体贡献度最高,其色泽、口感、滋味、水分变化等最佳。啤酒组的弛豫时间 T<sub>21</sub> 最短,水与底物结合更加紧密,水分不易流失,而黄酒组的弛豫时间 T<sub>21</sub> 最长,水分较自由,其中因为木瓜酒组的弛豫时间 T<sub>22</sub> 最长和峰面积 T<sub>22</sub> 最大,所以红烧肉中的自由水含量最高,进而对红烧肉的口感产生积极的影响。本文在研究过程中汲取了中华烹饪古籍中关于红烧肉添加木瓜酒的嫩化方法;在木瓜酒的选择和烹饪过程中的使用方法可能对木瓜酒的真正作用产生了一定的影响,后续将进一步探究。本文主要探究不同酒对中华菜肴红烧肉营养与品质的影响,比较了不同酒对红烧肉品质影响之间的关系,探索了酒在中式菜肴中的应用,研究结果也为酒对中华传统菜肴品质和风味影响的机制提供一定的研究基础和参考。

### 参考文献

- [1] SEO S H, KIM E M, KIM Y B. Preferences and consumption patterns of consumer to develop processed pork products for export[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2012, 32(1): 18-23.
- [2] DOMINGUEZ R, GOMEZ M, FONSECA S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat[J]. *Meat Science*, 2014, 97(2): 223-230.
- [3] 纪有华, 路新国. 红烧肉烹饪工艺及其影响因素研究[J]. 扬州大学烹饪学报, 2010, 27(2): 31-36. [JI Y H, LU X G. Study on the cooking technology of braised pork and its influencing factors[J]. *Culinary Journal of Yangzhou University*, 2010, 27(2): 31-36.]
- [4] 张根生, 郭洁, 石慧, 等. 红烧肉调味料配方的研究[J]. 中国调味品, 2013, 38(2): 114-117. [ZHANG G S, GUO J, SHI H, et al. Study on the recipe of braised pork seasoning[J]. *China Condiments*, 2013, 38(2): 114-117.]
- [5] 石奇磊, 任红涛, 余秋颖, 等. 二次正交旋转组合设计优化红烧肉酱汁加工工艺[J]. 中国调味品, 2020, 45(8): 87-91. [SHI Q

- L, REN H T, YU Q Y, et al. Optimizing the processing technology of braised pork sauce with quadratic orthogonal rotation combination design[J]. *China Condiments*, 2020, 45(8): 87-91.]
- [6] 史笑娜, 赵志磊, 黄峰, 等. 红烧肉加工过程中主要营养品质和食用品质的变化规律研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(13): 86-91. [SHI X N, ZHAO Z L, HUANG F, et al. Study on the main nutritional quality and edible quality of braised pork during processing[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(13): 86-91.]
- [7] 顾伟钢, 张进杰, 姚燕佳, 等. 红烧肉制作过程中脂肪氧化和脂肪酸组成的变化[J]. *食品科学*, 2011, 32(17): 76-80. [GU W G, ZHANG J J, YAO Y J, et al. Fat oxidation and fatty acid composition changes during braised pork production[J]. *Food Science*, 2011, 32(17): 76-80.]
- [8] LV W, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Smart NMR method of measurement of moisture content of vegetables during microwave vacuum drying[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10(11): 2251-2260.
- [9] 李鹏程, 刘宸, 王娇, 等. 低场核磁共振技术在食品品质分析中的研究进展[J]. *吉林医药学院学报*, 2017, 38(6): 465-467. [LI P C, LIU C, WANG J, et al. Research progress of low-field nuclear magnetic resonance technology in food quality analysis[J]. *Journal of Jilin Medical College*, 2017, 38(6): 465-467.]
- [10] BERTRAM H C, ERSEN H J. Applications of NMR in meat science[J]. *Annual Reports on NMR Spectroscopy*, 2004, 53: 157-202.
- [11] 杨赫鸿, 李沛军, 孔保华, 等. 低场核磁共振技术在肉品科学研究中的应用[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(13): 400-405. [YANG H H, LI P J, KONG B H, et al. Application of low-field nuclear magnetic resonance technology in meat science research[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(13): 400-405.]
- [12] HINRICHS R, GOTZ J, NOLL M, et al. Characterisation of the water-holding capacity of fresh cheese samples by means of low resolution nuclear magnetic resonance[J]. *Food Research International*, 2004, 37(7): 667-676.
- [13] 盖圣美, 张中会, 邹玉峰, 等. 利用低场核磁共振检测分析注水猪肉水分子弛豫特性[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(6): 1980-1986. [GAI S M, ZHANG Z H, ZOU Y F, et al. Analysis of the relaxation characteristics of water molecules in water-injected pork using low-field nuclear magnetic resonance detection[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2017, 8(6): 1980-1986.]
- [14] 孟舒雨, 赵改名, 李苗云, 等. 反复冻融过程中调理狮子头脂肪氧化与低场核磁共振弛豫特性的相关性[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(20): 75-80. [MENG S Y, ZHAO G M, LI M Y, et al. The correlation between conditioning of lion's head fat oxidation and low-field NMR relaxation characteristics during repeated freeze-thaw cycles[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(20): 75-80.]
- [15] 长红. 料酒小档案[J]. *饮食科学*, 2009(9): 23. [CHANG H. A small archive of cooking wine[J]. *Diet Science*, 2009(9): 23.]
- [16] 江玉祥. 从东坡肉到东坡肘子[J]. *文史杂志*, 2019(3): 101-105. [JIANG Y X. From Dongpo meat to Dongpo pork[J]. *Journal of Literature and History*, 2019(3): 101-105.]
- [17] 王瑞花. 烹饪条件和配送方式对传统红烧猪肉品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2016. [WANG R H. The effect of cooking conditions and delivery methods on the quality of traditional braised pork[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.]
- [18] 高庆, 汪志君. 啤酒的风味物质与啤酒烹饪[J]. *扬州大学烹饪学报*, 2004(2): 13-19. [GAO Q, WANG Z J. Flavor substances of beer and beer cooking[J]. *Culinary Journal of Yangzhou University*, 2004(2): 13-19.]
- [19] 周帼萍, 张佑红, 汪芳安. 酿制木瓜果酒的工艺研究[J]. *酿酒*, 2005(6): 51-53. [ZHOU W P, ZHANG Y H, WANG F A. Study on the technology of brewing papaya fruit wine[J]. *Wine Making*, 2005(6): 51-53.]
- [20] 朱文政, 严顺阳, 徐艳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同烹制时间红烧肉挥发性风味成分[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(2): 247-253. [ZHU W Z, YAN S Y, XU Y, et al. Analysis of volatile flavor components of braised pork with different cooking time by headspace solid PM-GC-MS[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(2): 247-253.]
- [21] 朱小玲. 东坡肉的风味优化及成品的保鲜研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013. [ZHU X L. Study on flavor optimization of Dongpo meat and preservation of finished products[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013.]
- [22] 佚名. 中国烹饪古籍丛刊: 调鼎集[M]. 北京: 中国商业出版社, 1986. [ANONYMOUS. Chinese culinary ancient books series: Tiao Ding Ji[J]. Beijing: China Commercial Publishing House, 1986.]
- [23] 王瑞睿. 过热蒸汽加工对猪肉品质影响研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019. [WANG R R. Study on the effect of superheated steam processing on pork quality[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.]
- [24] KIM Y H, KEETON J T, SMITH B, et al. Evaluation of antioxidant capacity and colour stability of calcium lactate enhancement on fresh beef under highly oxidising conditions[J]. *Food Chemistry*, 2008, 115(1): 272-278.
- [25] 朱文政, 徐艳, 刘薇, 等. 烹制时间对狮子头营养品质和挥发性风味物质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 208-214. [ZHU W Z, XU Y, LIU W, et al. The effect of cooking time on the nutritional quality and volatile flavor compounds of lion head[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 208-214.]
- [26] 汤晓娟. 产胞外多糖面团发酵及其冷冻面团抗冻机理研究[D]. 杨凌: 江南大学, 2019. [TANG X J. Study on the fermentation of extracellular polysaccharide-producing sourdough and the antifreeze mechanism of frozen dough[D]. Yangling: Jiangnan University, 2019.]
- [27] 谭悦, 王晓静, 陈光静, 等. 木瓜酒发酵过程中多酚类物质的高效液相色谱测定及含量变化分析[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(2): 209-216. [TAN Y, WANG X J, CHEN G J, et al. Determination of polyphenols in papaya wine fermentation process by high performance liquid chromatography and content change

- analysis[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(2): 209–216. ]
- [ 28 ] 周惠健,周瑞铮,吴满刚,等.啤酒对红烧老鹅品质的影响[J].*中国调味品*, 2019, 44(2): 20–31. [ ZHOU H J, ZHOU R Z, WU M G, et al. The influence of beer on the quality of braised old goose[J]. *China Condiments*, 2019, 44(2): 20–31. ]
- [ 29 ] 赵笑颖,秦雅莉,沈圆圆,等.料酒腌制对油炸罗非鱼风味的变化分析[J].*现代食品科技*, 2021, 37(3): 233–240. [ ZHAO X Y, QIN Y L, SHEN Y Y, et al. The effect of cooking wine marinating on the flavor changes of fried tilapia[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(3): 233–240. ]
- [ 30 ] 赵越.红烧肉在加工和储藏过程中的品质变化研究[D].杨凌:江南大学, 2017 [ ZHAO Y. Study on the quality changes of braised pork during processing and storage[D]. Yangling: Jiangnan University, 2017. ]
- [ 31 ] SHUIBI A M, ABDULLAH B M. Substitution of nitrite by sorbate and the effect on properties of mortadella[J]. *Meat Science*, 2002, 62(4): 473–478.
- [ 32 ] 黄明,黄峰,张首玉,等.热处理对猪肉食用品质的影响[J].*食品科学*, 2009, 30(23): 189–192. [ HUANG M, HUANG F, ZHANG S Y, et al. The effect of heat treatment on the eating quality of pork[J]. *Food Science*, 2009, 30(23): 189–192. ]
- [ 33 ] ZHU X, RUUSUNEN M, GUSELLA M, et al. High post-mortem temperature combined with rapid glycolysis induces phosphorylase denaturation and produces pale and exudative characteristics in broiler pectoralis major muscles[J]. *Meat Science*, 2011, 89(2): 181–188.
- [ 34 ] ISHIWATARI N, FUKUOKA M, SAKAI N. Effect of protein denaturation degree on texture and water state of cooked meat[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117(3): 361–369.
- [ 35 ] 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 J Y, SHI C B, ZHANG Q. The effect of microwave reheating power and time on the quality of quick-frozen braised pork[J]. *Journal of Food Safety Quality Inspection*, 2017, 8(9): 3519–3525. ]
- [ 36 ] 刘玲玲.红烧肉加工过程中营养成分变化及丙烯酰胺抑制研究[D].南昌:南昌大学, 2016. [ LIU L L. Study on the changes of nutrients and acrylamide inhibition during braised pork processing[D]. Nanchang: Nanchang University, 2016. ]
- [ 37 ] TORNBERG E. Effects of heat on meat proteins-Implications on structure and quality of meat products[J]. *Meat Science*, 2005, 70(3): 493–508.
- [ 38 ] 马志强,钟艳,魏雪林,等.不同冻藏时间的猪肉品质比较及其变化机制研究[J].*食品工业科技*: 1–15. [ MA Z Q, ZHONG Y, WEI X L, et al. Comparison of pork quality in different frozen storage time and its change mechanism[J]. *Food Industry Science and Technology*: 1–15. ]
- [ 39 ] 姜晓文,韩剑众.生鲜猪肉持水性的核磁共振研究[J].*食品工业科技*, 2009, 30(7): 128–130,133. [ JIANG X X, HAN J Z. Nuclear magnetic resonance study on water holding capacity of fresh pork[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(7): 128–130,133. ]
- [ 40 ] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness[J]. *Meat Science*, 2014, 98(3): 520–532.
- [ 41 ] XIAO Q, TONG Q, LIM L T. Drying process of pullulan edible films forming solutions studied by ATR-FTIR with two-dimensional correlation spectroscopy[J]. *Food Chemistry*, 2014, 150(150): 267–273.