

# 牛肉饼中植物源添加物的配方优化 及对牛肉肉糜品质的影响

孟子晴<sup>1</sup>, 赵改名<sup>1</sup>, 祝超智<sup>1</sup>, 田玮<sup>1</sup>, 祁兴磊<sup>2</sup>, 柳艳霞<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002) (2. 恒都综合试验站, 河南驻马店 463000)

**摘要:** 为了得到品质较好、低脂健康的含有植物源添加物的牛肉饼配方, 本研究基于 Box-Behnken 设计原理探究卡拉胶、调和油、香菇对牛肉糜品质、微观结构的影响。结果表明, 卡拉胶、植物油、香菇添加量对牛肉糜的蛋白质含量、水分含量、脂肪含量、色泽、感官评分、硬度等均存在显著性影响 ( $p < 0.05$ )。通过响应面试验获得了感官评分=32.00+73.83\*卡拉胶添加量+3.23\*油脂添加量+4.37\*香菇添加量-126.92\*卡拉胶添加量<sup>2</sup>-0.15\*油脂添加量<sup>2</sup>-0.16\*香菇添加量<sup>2</sup>的方程, 进行了验证。验证结果显示, 添加香菇的优化组降低了硬度、咀嚼性、回复性。只添加油脂的试验组弹性、黏着性最强; 添加香菇的优化组结构较为致密, 脱脂留下的痕迹较均匀。结论: 植物源添加物的最佳添加量为卡拉胶、调和油、香菇分别添加 0.29%, 11.04%, 13.68%, 为低脂、健康的牛肉饼的研究提供参考, 为探究不同添加物对牛肉肉糜品质的影响提供理论依据。

**关键词:** 牛肉肉糜; 香菇; 优化; 品质; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2019)12-166-175

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.022

## Optimization of Plant Additive-containing Formulations for Beef Patties and Its Effect on Beef Minced Meat Quality

MENG Zi-qing<sup>1</sup>, ZHAO Gai-ming<sup>1</sup>, ZHU Chao-zhi<sup>1</sup>, TIAN Wei<sup>1</sup>, QI Xing-lei<sup>2</sup>, LIU Yan-xia<sup>1</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(2. Hengdu Comprehensive Test Station, Zhumadian 463000, China)

**Abstract:** In order to obtain a healthy beef patty formulation containing plant-derived additives with good quality and low fat, this study explored the effects of carrageenan, blending oil and shiitake mushrooms on the quality and microstructure of beef minced meat based on the Box-Behnken design principle. The results showed that the addition of carrageenan, vegetable oil and shiitake mushroom had significant effects on the protein content, water content, fat content, color, sensory score and hardness of beef minced meat ( $p < 0.05$ ). An equation was obtained via the response surface test and then verified: Sensory score=32.00+73.83×carrageenan addition amount+3.23×grease addition amount+4.37×mushroom addition amount-126.92×(carrageenan addition amount)<sup>2</sup>-0.15×(grease addition amount)<sup>2</sup>-0.16×(mushroom addition amount)<sup>2</sup>. The verification results showed that the optimized group with added mushrooms had reduced hardness, chewiness and recovery. The treatment group with added oil only had the greatest elasticity and adhesion; the optimized group with added mushrooms had a denser structure, and the traces left by degreasing were more uniform. Conclusion: The optimum amounts of plant-derived additives for addition were 0.29%, 11.04% and 13.68% for carrageenan, blending oil and shiitake mushroom, respectively. This study provides a reference for the research on low-fat healthy beef patties, and a theoretical basis for the investigations on the impact of different additives on beef minced meat quality.

**Key words:** beef minced meat; shiitake mushroom; optimization; quality; microstructure

近年来, 牛肉肉糜制品以低胆固醇、高蛋白含量

收稿日期: 2019-06-20

基金项目: 国家肉牛牦牛产业技术体系项目 (CARS-37); 河南省重大科技专项 (161100110800); 国家重点研发计划项目 (2018YFD0401200)

作者简介: 孟子晴 (1994-), 女, 硕士, 研究方向: 肉制品加工与质量安全控制

通讯作者: 赵改名 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉制品加工与质量安全控制

的营养价值和方便、快捷的食用特点备受消费者青睐<sup>[1,2]</sup>, 但牛肉糜饼、牛肉肠等产品的动物油脂含量过高, 动物脂肪摄入量与肥胖、高血压、心血管疾病和冠心病有关<sup>[3]</sup>, 有报道称应减少动物脂肪的摄入量<sup>[4-6]</sup>, 因此动物油脂的代替和低脂产品的研发广泛关注。此外, 脂肪过高会加速氧化变质, 导致风味劣变、储存稳定性与品质下降<sup>[7]</sup>。但是, 脂肪不仅是能量、必需脂肪酸的来源, 还是脂溶性维生素的载体, 还能提高肉糜

乳化稳定性、减少烹饪损失、改善风味多汁性等<sup>[4,7]</sup>,会影响肉制品的结合、流变和结构特性,所以不能一味追求降脂。有报道显示肉类研究者们正专注于开发新技术<sup>[8]</sup>,利用植物来源的脂肪替代品(如亲水胶体、植物蛋白、植物油等)取代部分脂肪,维持成品中与脂肪有关的功能和感官特征,开发低脂或减脂肉类产品的制备技术,如少热量、低脂肪的法兰克福肉肠<sup>[9]</sup>等。

卡拉胶具有与肉制品加工密切相关的功能,可以提高肉糜产品的稳定性,提高保水保油性<sup>[10]</sup>,植物油脂中不饱和脂肪酸含量大于动物油脂,还可以改善质地、口感、多汁性等;香菇具有较高的蛋白含量,还具有较好的保水性,口感滑腻多汁,可以一定程度上模拟脂肪口感。

本研究基于 Box-Behnken 设计原理,研究添加卡拉胶、植物油、香菇对牛肉肉糜品质与结构的影响,通过基本成分、色泽、感官、质构、微观结构等指标进行分析,为牛肉肉糜类产品动物脂肪替代研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

牛霖肉:统一于河南伊赛牛肉股份有限公司采样,为同一批次、年龄的西杂品种黄牛,采样后真空包装,2℃冷藏间储存待用;κ-卡拉胶,青岛德惠海洋生物科技有限公司;植物油经前期实验选定使用调和油,金龙鱼 1:1:1 调和油;花香菇与食盐、黑胡椒等辅料均购于郑州丹尼斯花园路拜特超市;乙醇等试验所用相关试剂除特殊交代外均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

CR-5 色彩色差计,日本 KONICA 公司;S-3400N 扫描电镜,日本日立公司;TA-XT plus 食品质构仪,英国 stable micro systems 公司;BPG-9156A 精密鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;AL104 电子天平,上海梅特勒-托利多仪器有限公司;MM12B 绞肉机,广东省韶关市大金食品机械厂;KA-4800 上豪电烤箱,东莞市龙牌实业有限公司;BLKJ-20 搅拌擂溃机,中国艾博公司。

### 1.3 试验设计

#### 1.3.1 牛肉糜饼基础配方与样品处理

以肉重记为 1,腌制时添加 2%食盐、0.3%黑胡椒粉、0.3%复合磷酸盐、0.12%抗坏血酸钠、0.002%烟

酰胺、0.08%嫩肉粉。

挑选符合国家卫生标准的新鲜的牛霖肉,按工艺要求修整,去除筋腱部位,用清水浸泡冲洗干净后用刀切成小块,筛孔直径为 10 mm 的绞肉机搅碎,按配方称取辅料,搅拌均匀后 4℃冷藏腌制 1 h,然后称取变量在搅拌机中搅拌 2 min(添加冰屑,保持温度),制成肉糜,成型为直径 7 cm,厚 1 cm,内无气泡的肉饼,生牛肉糜饼速冻后储存于-30℃冰箱。生牛肉糜饼指标于常温(约 20℃)解冻 5 h,待测;生牛肉糜饼在烤箱中 220℃烤制 10 min 进行熟制,待测。

#### 1.3.2 单因素试验设计

在常压、室温 20℃条件下,搅拌过程中分别添加卡拉胶干粉 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%、0.6%,植物源油脂 3%、6%、9%、12%、15%、18%,香菇 5%、10%、15%、20%、25%、30%,设置空白对照组。

#### 1.3.3 响应面优化试验与验证

综合单因素试验结果,根据 Box-Behnken 试验设计原理,设计三因素三水平共 17 个试验点的响应面分析试验,其中 12 个析因点,5 个零点重复,用以估计试验误差,依次进行试验。响应面优化试验确定的最佳添加量后,牛肉饼测定感官总分进行验证,然后对空白与其他试验组进行质构和微观结构的对比研究。

## 1.4 指标测定

### 1.4.1 基本营养指标

参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分含量的测定》规定的方法测定水分含量<sup>[11]</sup>、参考 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》规定的方法测定蛋白质含量<sup>[12]</sup>、参考 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》规定的方法测定脂肪含量<sup>[13]</sup>。

### 1.4.2 色差

参考张骏龙等<sup>[14]</sup>的方法,略有改动,具体方法如下:将牛肉饼置于仪器探头直径下,通过色差仪测量得到成品的 L\*值、a\*值和 b\*值,每个样品测定 8 个平行。其中 L\*值为亮度, a\*值为红度, b\*值为黄度。

### 1.4.3 TPA

质构剖面分析法(Texture Profile Analysis, 简写 TPA)测定牛肉饼的硬度等<sup>[15]</sup>,方法如下:在环境温度 20℃条件下,设置参数为:测前速度为 2 mm/s,测试速度为 1 mm/s,测后速度为 1 mm/s,压缩比例 75%,探头型号 P/50。每个样品测 8 个平行。

### 1.4.4 感官评价

河南农业大学培训的评分小组人员对熟制后的牛

肉饼从色泽、滋味、口感和组织四个方面进行打分。该实验主要参考王浩田等<sup>[16]</sup>的具体标准,见表1。

### 1.4.5 微观结构

参考Álvarez等<sup>[17]</sup>方法稍加改动,具体方法如下:从熟制肉饼中取1×1×1 cm方块样品放置于含有2.5%戊二醛的0.1 M磷酸缓冲液中固定48 h后切成1 mm薄片,然后用磷酸缓冲液(pH 7.3)浸泡10 min,再漂洗3次,然后用乙醇梯度脱水,每个浓度脱水30 min,然后用丙酮梯度脱水,每个浓度脱水20 min,50 °C

15~20 min 烘至干燥,然后喷金、观察并拍照。

### 1.5 数据处理与统计分析

本研究每组试验除特殊说明外均重复3次,结果以平均值±标准差(Mean±SD)表示。使用SPSS(IBM 16.0)分析、Origin 8.0作图,多重比较误差使用Duncan、LSD法表示,显著水平( $p<0.05$ )、极其显著水平( $p<0.01$ )。

表1 感官评定标准

Table 1 The standard of sensory evaluation

指标	标准	评分
色泽(20分)	表面及内部为肉粉色、色泽均匀	15~20分
	表面及内部为褐色或粉灰色、色泽较均匀	8~14分
	杂色、其他色泽、色泽不均	0~7分
滋味(20分)	滋味纯正适中、余味适中、无异味	15~20分
	滋味浓或较淡较纯正、余香较浓或较淡、稍有异味	8~14分
	滋味不纯、余味无或过浓、强烈异味	0~7分
口感(30分)	咀嚼性适中,滑嫩细腻	21~30分
	咀嚼性偏大或偏小,入口不实或较硬	11~20分
	入口过硬,无咀嚼性	0~10分
组织(30分)	切面界面清晰、富有弹性	21~30分
	切面界面较清晰、弹爽滑一般	11~20分
	切面界面乱、无弹爽滑等口感	0~10分
总计		100分

表2 卡拉胶添加量对牛肉肉糜基本营养指标和色泽的影响

Table 2 Effect of different amount of carrageenan on basic nutritional indicators and color of beef minced meat

添加量/%	水分含量/%	蛋白含量/%	脂肪含量/%	L*	a*	b*
0	70.96±0.52 <sup>b</sup>	17.88±0.16 <sup>a</sup>	6.18±0.25 <sup>bc</sup>	34.42±3.27 <sup>c</sup>	7.93±0.64 <sup>ab</sup>	10.35±2.05 <sup>bc</sup>
0.1	71.63±0.12 <sup>b</sup>	17.14±0.28 <sup>a</sup>	7.22±0.34 <sup>a</sup>	40.36±2.56 <sup>a</sup>	8.93±1.07 <sup>a</sup>	13.37±1.26 <sup>a</sup>
0.2	70.93±0.51 <sup>b</sup>	16.65±0.22 <sup>b</sup>	6.89±0.09 <sup>ab</sup>	40.94±1.30 <sup>a</sup>	6.87±1.48 <sup>b</sup>	12.04±2.17 <sup>ab</sup>
0.3	72.34±0.28 <sup>b</sup>	15.85±0.13 <sup>c</sup>	6.10±0.15 <sup>c</sup>	37.09±3.63 <sup>bc</sup>	6.92±1.69 <sup>b</sup>	11.19±2.52 <sup>abc</sup>
0.4	74.99±2.27 <sup>a</sup>	15.67±0.36 <sup>c</sup>	6.65±0.28 <sup>b</sup>	34.30±2.80 <sup>c</sup>	8.17±1.19 <sup>ab</sup>	9.70±1.83 <sup>c</sup>
0.5	72.11±0.11 <sup>b</sup>	15.47±0.25 <sup>c</sup>	7.11±0.20 <sup>a</sup>	41.13±1.79 <sup>a</sup>	6.91±0.86 <sup>b</sup>	13.04±1.31 <sup>a</sup>
0.6	72.86±0.31 <sup>ab</sup>	14.96±0.37 <sup>d</sup>	6.43±0.40 <sup>b</sup>	38.46±1.88 <sup>ab</sup>	6.95±1.53 <sup>b</sup>	12.40±0.86 <sup>ab</sup>

注:平均值(MEAN)±标准差(SD)。同列均值有共同上标字母者表示差异不显著( $p>0.05$ ),同列均值有不同上标小写字母者表示差异显著( $p<0.05$ )、不同大写字母表示差异极其显著( $p<0.01$ ),下同。

## 2 结果与分析

### 2.1 卡拉胶添加量对牛肉饼品质影响单因素

#### 试验

#### 2.1.1 卡拉胶添加量对生牛肉糜基本成分与色泽的影响

从表2可以看出,随着卡拉胶添加量的增加,牛肉糜的水分含量呈先增加然后波动稳定趋势,0.4%添加量下水分含量最大为74.99%;蛋白质含量呈减少趋势( $p<0.05$ ),从17.88%下降到14.96%,但脂肪含量在添加量大于0.3%时反而有所增加。从表2可以看出,随着卡拉胶添加量的增加,牛肉糜的L\*值呈先降低后增加趋势( $p<0.05$ ),b\*为先降低后升高趋势,黄度值在0.4%时最小,这与于建行等人研究结果一致<sup>[18]</sup>,a\*

基本呈现为持续降低趋势,一直减小到 6.95,可能是因为随着卡拉胶质量分数的增加,试样的持水力越来越强,其蒸煮损失逐渐降低,水基数增大,使得其中肌红蛋白浓度被稀释造成的<sup>[19]</sup>。

### 2.1.2 卡拉胶添加量对熟制牛肉糜饼质构、感官的影响

质构参数是食品组织结构的一组物理特性参数(主要是力学特性参数)<sup>[20]</sup>,是评价食品品质的重要依据,通常其测定结果与感官评定的结果有很好的相关性<sup>[21]</sup>,肉制品加工方式及贮藏条件、添加物的种类和含量、肌肉蛋白质的环境条件都会对质构品质产生

影响。由表 3 可以看出,随着卡拉胶添加量的增加,硬度、粘性、咀嚼性值呈现先减少后增加趋势( $p < 0.05$ ),在添加量为 0.4%时最低,硬度最低为 22223.49 g,比空白对照组下降了 40.67%,黏着性最低为 8391.24,比空白对照组下降了 45.70%,咀嚼性最低为 6901.32 g,比空白对照组下降了 45.47%,回复性最低为 0.12,比空白对照组下降了 20.00%。随着卡拉胶的添加,凝胶弹性没有显著影响,与杨玉玲等<sup>[22]</sup>研究一致,与 Jarmoluk 等<sup>[23]</sup>结果不一致,可能是因为作为原料肉的猪肉和牛肉本身肉质上的差异。

表 3 卡拉胶添加量对牛肉饼质构、感官评分的影响

Table 3 Effect of different amount of carrageenan on texture and sensory score of beef patties

指标	添加量/%				
	0	0.1	0.2	0.3	
质构	硬度/g	37455.15±5224.27 <sup>a</sup>	33895.15±6524.27 <sup>ab</sup>	23454.36±13030.26 <sup>c</sup>	28508.58±3489.11 <sup>abc</sup>
	弹性	0.83±0.02	0.85±0.02	0.82±0.02	0.84±0.04
	黏着性	15453.49±4109.27 <sup>a</sup>	14453.52±3816.27 <sup>a</sup>	9777.07±5479.183 <sup>b</sup>	12017.07±2042.14 <sup>ab</sup>
	咀嚼性/g	12656.87±2726.21 <sup>a</sup>	12199.86±3025.82 <sup>a</sup>	7966.933±4498.89 <sup>b</sup>	10119.41±1933.11 <sup>ab</sup>
	回复性	0.15±0.02 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>	0.15±0.02 <sup>ab</sup>	0.14±0.02 <sup>ab</sup>
感官	色泽	13.78±2.09 <sup>ab</sup>	14.50±2.24 <sup>ab</sup>	15.00±2.34 <sup>a</sup>	15.75±1.96 <sup>a</sup>
	滋味	14.98±2.01	14.42±2.43	15.92±2.31	15.58±2.64
	口感	20.89±4.19	20.17±4.53	20.83±4.15	20.08±4.68
	组织	19.25±2.13 <sup>b</sup>	21.33±2.42 <sup>ab</sup>	21.50±2.28 <sup>ab</sup>	24.92±3.12 <sup>a</sup>
	总分	63.26±6.26 <sup>b</sup>	71.42±6.78 <sup>ab</sup>	74.25±7.32 <sup>a</sup>	76.33±8.87 <sup>a</sup>
指标	添加量/%				
	0.4	0.5	0.6		
质构	硬度/g	22223.49±2794.40 <sup>c</sup>	25173.07±9984.84 <sup>bc</sup>	36297.62±5401.02 <sup>a</sup>	
	弹性	0.82±0.04	0.84±0.03	0.84±0.02	
	黏着性	8391.24±1347.40 <sup>b</sup>	9938.92±3989.08 <sup>b</sup>	15203.06±3259.78 <sup>a</sup>	
	咀嚼性/g	6901.32±1350.77 <sup>b</sup>	8301.04±3455.38 <sup>b</sup>	12823.36±2927.88 <sup>a</sup>	
	回复性	0.12±0.01 <sup>c</sup>	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.16±0.02 <sup>a</sup>	
感官	色泽	15.17±2.04 <sup>a</sup>	13.25±2.77 <sup>ab</sup>	12.17±1.25 <sup>b</sup>	
	滋味	15.67±2.84	15.67±3.08	15.67±3.58	
	口感	20.92±5.16	20.92±4.93	21.58±4.48	
	组织	23.58±4.66 <sup>a</sup>	21.00±4.86 <sup>ab</sup>	21.25±2.24 <sup>ab</sup>	
	总分	74.33±7.21 <sup>a</sup>	72.83±9.32 <sup>a</sup>	72.67±8.98 <sup>a</sup>	

从表 3 可以看出,感官评分中,色泽、组织、总分存在显著性差异( $p < 0.05$ ),0.3%添加量时组织结构和感官总分最高,滋味和口感评分不存在显著性差异( $p > 0.05$ );比空白对照组组织结构 19.25 的评分相比,0.3%卡拉胶组提高至 24.92;与空白对照组的感官总分 63.26 相比,0.3%卡拉胶组中提高至 76.33。可能是因为卡拉胶对肉糜的交联作用较大程度改变了组织结构,对感官总分呈正影响,与 Marek 等人<sup>[24]</sup>添加卡拉

胶的香肠试验基本一致。

## 2.2 油脂添加量对牛肉饼品质影响单因素试验

### 2.2.1 油脂添加量对生牛肉糜基本成分与色泽的影响

过量的动物脂肪摄入会引起各种身体疾病,植物

源油脂代替动物油脂受到了广泛关注<sup>[25]</sup>。表4所示,随着调和油添加量的增加,牛肉饼的水分含量、蛋白含量逐渐减小 ( $p<0.05$ ),水分含量从75.46%下降71.08%,蛋白含量从18.30%下降到16.54%,脂肪含量逐渐增加 ( $p<0.05$ ),从3.28%逐渐增加到17.32%。虽然油脂添加量增多增加了重量基数,使得蛋白含量的百分比下降,但有研究证明,低脂肪能够降低肌原纤维蛋白在加热过程中蛋白质降解的速度<sup>[25]</sup>。色泽

上,随着调和油添加量的增加,亮度值呈先增加后减少趋势,9%时最高 ( $p<0.05$ ),黄度值呈先增加然后保持平稳波动趋势;  $a^*$ 不存在显著性差异 ( $p>0.05$ ),说明添加油脂对红-绿色光线的吸收和反射无显著影响。色泽主要受肌红蛋白含量的影响,当瘦肉数量一定时,贡献的肌红蛋白量较恒定;当肌红蛋白含量保持不变时,肉糜产品的颜色受脂肪含量、水分含量影响。

表4 油脂添加量对牛肉饼基本成分与色泽的影响

Table 4 Effect of different amount of oil on the basic composition and color of beef patties

添加量/%	水分含量/%	蛋白含量/%	脂肪含量/%	L*	a*	b*
0	75.46±0.34 <sup>a</sup>	18.30±0.28 <sup>a</sup>	3.28±0.67 <sup>f</sup>	36.82±0.81 <sup>cd</sup>	3.99±0.68	4.75±0.95 <sup>c</sup>
3	75.03±0.62 <sup>a</sup>	18.25±0.19 <sup>a</sup>	4.14±0.72 <sup>f</sup>	39.74±1.69 <sup>b</sup>	4.49±0.45	7.31±0.85 <sup>abc</sup>
6	73.23±0.51 <sup>b</sup>	18.15±0.25 <sup>a</sup>	7.22±0.81 <sup>e</sup>	40.44±0.20 <sup>b</sup>	4.30±0.87	7.32±1.02 <sup>abc</sup>
9	72.28±0.48 <sup>c</sup>	17.86±0.32 <sup>ab</sup>	10.07±1.14 <sup>d</sup>	42.79±0.58 <sup>a</sup>	4.58±0.47	7.95±0.43 <sup>ab</sup>
12	71.64±1.27 <sup>cd</sup>	17.05±0.33 <sup>bc</sup>	12.98±1.23 <sup>c</sup>	39.69±2.52 <sup>b</sup>	4.44±0.95	7.00±1.62 <sup>b</sup>
15	71.83±0.31 <sup>d</sup>	17.49±0.46 <sup>b</sup>	14.57±0.85 <sup>b</sup>	38.28±2.23 <sup>bc</sup>	5.68±1.25	9.63±3.68 <sup>a</sup>
18	71.08±0.51 <sup>e</sup>	16.54±0.38 <sup>c</sup>	17.32±2.09 <sup>a</sup>	35.82±2.48 <sup>d</sup>	5.24±1.37	7.68±2.57 <sup>ab</sup>

表5 油脂添加量对牛肉饼质构、感官评分的影响

Table 5 Effect of different amount of oil on texture and sensory score of beef patties

指标	添加量/%				
	0	3	6	9	
质构	硬度/g	34016.37±4071.29 <sup>a</sup>	33144.77±3071.18 <sup>ab</sup>	38008.85±9560.39 <sup>a</sup>	27694.56±4191.48 <sup>abc</sup>
	弹性	0.84±0.04	0.84±0.02	0.85±0.02	0.78±0.16
	黏着性	14937.66±2971.41 <sup>ab</sup>	15993.66±1971.84 <sup>ab</sup>	18379.49±6139.49 <sup>abc</sup>	12391.54±1394.55 <sup>c</sup>
	咀嚼性/g	16178.78±1989.18 <sup>a</sup>	13348.78±1480.41 <sup>ab</sup>	15585.12±5240.35 <sup>a</sup>	9739.02±2473.72 <sup>bc</sup>
	回复性	0.18±0.04	0.17±0.02	0.18±0.04	0.15±0.02
感官	色泽	13.18±1.79 <sup>b</sup>	13.52±1.84 <sup>b</sup>	14.03±2.03 <sup>ab</sup>	15.11±2.12 <sup>a</sup>
	滋味	14.28±1.71 <sup>c</sup>	15.81±2.12 <sup>bc</sup>	16.92±1.71 <sup>b</sup>	17.79±2.34 <sup>ab</sup>
	口感	20.89±3.69 <sup>b</sup>	22.17±4.13 <sup>ab</sup>	22.83±4.45 <sup>ab</sup>	23.92±4.75 <sup>ab</sup>
	组织	19.51±2.31 <sup>c</sup>	21.53±2.42 <sup>bc</sup>	22.55±2.08 <sup>b</sup>	26.46±3.56 <sup>a</sup>
	总分	68.13±6.06 <sup>b</sup>	73.29±7.18 <sup>b</sup>	76.95±7.62 <sup>ab</sup>	83.43±8.17 <sup>a</sup>

指标	添加量/%			
	12	15	18	
质构	硬度/g	26322.6±15226.32 <sup>bc</sup>	24252.55±8980.10 <sup>bc</sup>	20753.48±12061.66 <sup>c</sup>
	弹性	0.86±0.02	0.83±0.02	0.86±0.04
	黏着性	12391.54±1394.55 <sup>c</sup>	12234.89±7171.95 <sup>bc</sup>	11058.87±4123.88 <sup>bc</sup>
	咀嚼性/g	10527.83±6106.53 <sup>bc</sup>	9189.12±3451.95 <sup>bc</sup>	7972.15±4709.75 <sup>c</sup>
	回复性	0.16±0.02	0.16±0.01	0.15±0.01
感官	色泽	16.32±2.57 <sup>a</sup>	14.52±1.66 <sup>ab</sup>	14.47±1.43 <sup>ab</sup>
	滋味	18.27±1.68 <sup>a</sup>	17.48±2.21 <sup>ab</sup>	18.73±2.28 <sup>a</sup>
	口感	23.12±4.96 <sup>ab</sup>	23.08±3.81 <sup>ab</sup>	25.58±4.29 <sup>a</sup>
	组织	26.27±3.63 <sup>a</sup>	24.56±3.01 <sup>ab</sup>	22.84±2.14 <sup>b</sup>
	总分	84.33±8.62 <sup>a</sup>	79.37±7.87 <sup>ab</sup>	80.72±7.18 <sup>ab</sup>

## 2.2.2 油脂添加量对熟制牛肉饼质构、感官的影响

由表 5 可知,随着调和油添加量的增加,硬度、黏着性、咀嚼性持续降低,分别从 34016.37 g、14937.66、16178.78 g 分别下降到 20753.48 g、11058.87、7972.15 g,18%时达到最低 ( $p<0.05$ ),这与添加动物油脂时结果不一致,Brian 等<sup>[26]</sup>研究认为低脂肪(牛油)含量(30%、40%)时的脂肪添加量与牛肉饼硬度有负相关,高脂肪(牛油)含量(50%、60%)时与硬度正相关、与弹性高度相关。还有研究认为,较小的颗粒能够很好地嵌入蛋白质基质中,在狭窄的粒径分布内,蛋白质凝胶中含有较小的脂肪球体使其具有较高的凝胶强度<sup>[27]</sup>,但是植物源油脂添加量较多时,会使得肉糜流动性增强,肉饼硬度减小。另外,表征受力按压后能迅速恢复到原有形状的能力的弹性和回复性不存在显著性差异 ( $p>0.05$ )。

植物油取代动物油脂后,随着植物油添加量的增加,感官评分中色泽、口感、滋味评分持续上升 ( $p<0.05$ );9%、12%添加量时色泽评分最高,两者之间差异不显著;9%、12%、15%、18%添加量之间滋味评分差异不显著 ( $p>0.05$ )。组织上,评分呈先上升后下降趋势,9%添加量的组织评价最好,但与12%、15%添加量之间无显著性差异 ( $p>0.05$ );总分呈先上升后下降趋势,9%、12%时的感官评价总分最高,分别为 83.43 和 84.33。有研究表明<sup>[26]</sup>,高脂肪肉饼(牛油 50%、60%)的多汁性评分高于低脂肪肉饼(牛油 30%、40%)的评分,高脂肪与多汁性呈正相关。综合来看,植物油添加量对感官评分的最优值在 6%~15%。

## 2.3 香菇添加量对牛肉饼品质影响单因素试验

### 2.3.1 香菇添加量对生牛肉糜饼基本成分与色

表 6 香菇添加量对牛肉饼基本成分与色泽的影响

Table 6 Effect of different amount of mushrooms on the basic composition and color of beef patties

添加量/%	水分含量/%	蛋白含量/%	脂肪含量/%	L*	a*	b*
0	72.39±1.01 <sup>c</sup>	17.15±0.42 <sup>a</sup>	5.71±0.38 <sup>a</sup>	38.62±2.48 <sup>AB</sup>	4.45±0.95 <sup>AB</sup>	6.99±2.21 <sup>A</sup>
5	73.23±1.12 <sup>b</sup>	14.61±0.48 <sup>b</sup>	4.48±0.44 <sup>a</sup>	36.51±1.71 <sup>B</sup>	5.32±0.90 <sup>A</sup>	6.13±0.81 <sup>AB</sup>
10	74.56±1.25 <sup>ab</sup>	16.41±0.32 <sup>b</sup>	3.29±0.33 <sup>b</sup>	33.61±2.28 <sup>C</sup>	4.61±0.89 <sup>AB</sup>	4.82±1.17 <sup>B</sup>
15	74.89±0.70 <sup>ab</sup>	16.20±0.62 <sup>ab</sup>	2.53±0.25 <sup>c</sup>	37.55±2.64 <sup>B</sup>	4.68±1.26 <sup>AB</sup>	6.67±1.37 <sup>A</sup>
20	75.10±1.22 <sup>ab</sup>	14.74±0.26 <sup>c</sup>	3.65±0.28 <sup>b</sup>	40.50±4.27 <sup>A</sup>	3.93±1.02 <sup>BC</sup>	7.72±2.68 <sup>A</sup>
25	75.57±0.41 <sup>a</sup>	13.82±0.15 <sup>d</sup>	2.96±0.23 <sup>c</sup>	39.25±4.61 <sup>AB</sup>	3.49±1.36 <sup>C</sup>	6.91±1.69 <sup>A</sup>
30	76.29±0.81 <sup>a</sup>	13.06±0.27 <sup>e</sup>	2.78±0.41 <sup>c</sup>	38.12±2.48 <sup>AB</sup>	3.13±0.92 <sup>C</sup>	7.03±1.12 <sup>A</sup>

### 泽的影响

如表 6 所示,随着香菇添加量的增加,牛肉饼的水分含量逐渐增大 ( $p<0.05$ ),从 72%左右增加到 76%左右,与香肠中添加量的香菇对香肠水分含量影响的结果一致<sup>[28]</sup>;蛋白含量由 17.15%逐渐减低到 13.06% ( $p<0.05$ ),可能是因为香菇吸水造成质量基数变大,与 WANG 等研究一致,添加香菇后的蛋白质含量均低于空白对照组<sup>[28]</sup>;脂肪含量由 5.71%降低到 2.78% ( $p<0.05$ );亮度值呈先减小后增大趋势 ( $p<0.01$ ),红度值呈持续减小趋势 ( $p<0.01$ ),黄度值持续增大 ( $p<0.01$ ),说明添加香菇赋予产品较高黄度,这可能受香菇本身的颜色影响。

### 2.3.2 香菇添加量对熟制牛肉饼质构、感官的影响

由表 7 所示,随着香菇添加量的增加,试验组的硬度、黏着性、咀嚼性呈现先降低后增加趋势,15%时达到最低值,分别为 18726.73 g、9420.17、7340.77 g。有报道称香菇可以降低香肠的硬度、黏着性、咀嚼性和弹性,主要原因是香菇质地柔软<sup>[28]</sup>,这一结果本文先降低后增加趋势不一致,可能是因为添加范围不一致、其自身含水量和蛋白质含量等差异造成的。

感官评分方面,试验组之间的色泽、滋味、口感、组织、总分均呈现显著性差异 ( $p<0.05$ )。随着香菇添加量的增加,色泽评分逐渐从 16.18 分下降到 13.71 分,可能是因为香菇的颜色遮盖了肉品本身的颜色,肉红色降低,颜色暗淡,导致评分降低;滋味和口感评分呈先上升后下降趋势,15%的添加量时评分最高,分别为 18.58、26.08;组织评分呈持续下降趋势,从 24.51 分下降到 18.25 分;总分上,呈先升高后降低趋势,15%时评分最高,最高为 83.74 分,远高于空白对照组的 76.15 分。30%香菇添加量下的感官总分为 69.73,远低于空白对照组和其他试验组,可以看出过量添加香菇会对感官评分造成不良影响。

表7 香菇添加量对牛肉饼质构、感官评分的影响

Table 7 Effect of different amount of mushrooms on texture and sensory score of beef patties

指标	添加量/%				
	0	5	10	15	
质构	硬度/g	27008.85±9560.39 <sup>a</sup>	24085.22±10762.60 <sup>bc</sup>	23213.00±11322.88 <sup>bc</sup>	18726.73±2898.69 <sup>c</sup>
	弹性	0.80±0.02	0.78±0.03	0.77±0.04	0.73±0.06
	黏着性	17391.49±5191.98 <sup>a</sup>	9930.75±4527.99 <sup>bc</sup>	9420.17±4885.28 <sup>bc</sup>	6745.80±1243.06 <sup>c</sup>
	咀嚼性/g	14585.12±5240.35 <sup>a</sup>	7752.81±3603.33 <sup>bc</sup>	7340.77±3865.24 <sup>bc</sup>	4900.91±924.71 <sup>c</sup>
	回复性	0.18±0.04	0.13±0.01 <sup>bc</sup>	0.13±0.02 <sup>bc</sup>	0.11±0.01 <sup>d</sup>
感官	色泽	16.18±2.12 <sup>a</sup>	16.49±2.04 <sup>a</sup>	15.03±2.47 <sup>ab</sup>	15.39±1.62 <sup>ab</sup>
	滋味	14.18±2.01 <sup>c</sup>	15.42±2.43 <sup>bc</sup>	16.12±2.31 <sup>b</sup>	18.58±2.04 <sup>a</sup>
	口感	20.11±3.19 <sup>b</sup>	21.37±3.23 <sup>b</sup>	23.23±4.54 <sup>ab</sup>	26.08±4.18 <sup>a</sup>
	组织	24.51±2.14 <sup>a</sup>	23.43±2.16 <sup>ab</sup>	22.83±2.46 <sup>ab</sup>	21.62±2.32 <sup>b</sup>
	总分	76.15±8.61 <sup>b</sup>	78.12±6.82 <sup>b</sup>	79.45±6.12 <sup>ab</sup>	83.79±8.91 <sup>a</sup>

指标	添加量/%			
	20	25	30	
质构	硬度/g	31808.46±6747.54 <sup>ab</sup>	21429.00±8861.61 <sup>c</sup>	33244.37±7504.15 <sup>a</sup>
	弹性	0.78±0.04	0.72±0.06	0.77±0.07
	黏着性	12971.02±3312.08 <sup>ab</sup>	8230.43±4436.19 <sup>c</sup>	14485.02±3740.49 <sup>a</sup>
	咀嚼性/g	10180.25±2782.85 <sup>ab</sup>	6134.14±3671.09 <sup>c</sup>	11291.35±3346.43 <sup>a</sup>
	回复性	0.14±0.02 <sup>ab</sup>	0.12±0.03 <sup>cd</sup>	0.15±0.02 <sup>a</sup>
感官	色泽	14.47±2.02 <sup>ab</sup>	14.05±2.17 <sup>b</sup>	13.71±1.58 <sup>b</sup>
	滋味	16.67±2.24 <sup>b</sup>	16.67±3.08 <sup>b</sup>	13.38±3.58 <sup>c</sup>
	口感	24.92±4.19 <sup>ab</sup>	23.92±3.32 <sup>ab</sup>	21.58±3.61 <sup>b</sup>
	组织	20.58±2.32 <sup>b</sup>	19.00±4.43 <sup>bc</sup>	18.25±2.36 <sup>c</sup>
	总分	77.03±6.85 <sup>b</sup>	75.83±7.13 <sup>b</sup>	69.73±7.72 <sup>c</sup>

表8 响应面试验设计及结果

Table 8 Experiment design and result of the response surface

序号	卡拉胶添加量/%	油脂添加量/%	香菇添加量/%	感官评分	序号	卡拉胶添加量/%	油脂添加量/%	香菇添加量/%	感官评分
1	0.25	15	20	81.32	10	0.25	5	20	77.04
2	0.25	10	15	90.31	11	0.1	5	15	79.31
3	0.25	15	10	86.05	12	0.25	10	15	87.66
4	0.25	10	15	89.63	13	0.4	10	20	81.55
5	0.4	10	10	85.71	14	0.1	10	20	81.89
6	0.4	15	15	87.25	15	0.25	10	15	92.01
7	0.1	15	15	82.41	16	0.4	5	15	84.27
8	0.25	5	10	84.26	17	0.1	10	10	82.73
9	0.25	10	15	89.51					

### 2.4 响应面优化试验

为获得最优的植物源添加物配比，面向消费人群进行试验设计，结合单因素试验结果与试验操作的控制可实现性，以卡拉胶添加量 0.1%~0.4%、油脂添加量 5%~15%和香菇添加量 10%~20%作为变量范围，感

官评分作为响应值设计如下试验（表 8），得到结果如表 9 所示。

采用逐步回归法得出卡拉胶添加量、油脂添加量、香菇添加量对感官评分的优化方程，优化方程如下：

$$\text{感官} = 32.00 + 73.83 * \text{卡拉胶添加量} + 3.23 * \text{油脂添加量} + 4.37 * \text{香菇添加量} - 126.92 * \text{卡拉胶添加量}^2 - 0.15 * \text{油}$$

脂添加量<sup>2</sup>-0.16\*香菇添加量<sup>2</sup>

表 9 表明可知, 失拟项为 16.76>0.05, 表明误差引起的失拟不显著, 试验误差小;  $R^2=0.9038$ , 矫正  $R^2=0.8461$ , 说明模型拟合程度较好; 信噪比 10.794 高于临界值 4, 表明二次多元回归模型极其显著。

## 2.5 优化验证

Design Expert 软件推荐了以最大感官为目标的最优添加量为卡拉胶、油脂、香菇添加量分别为 0.29%, 11.04%, 13.68%。经过试验验证, 预测感官值为 90.47, 实际测得感官值为 89.92, 模型可信。

## 3 不同处理组牛肉糜质构、微观结构

根据优化结果进行验证, 进行优化后的对比分析, 在空白组、卡拉胶组 (0.29%卡拉胶)、油脂组 (11.04%调和油)、复合组 (0.29%卡拉胶+11.04%调和油)、优化组 (0.29%卡拉胶+11.04%调和油+13.68%香菇) 进行对比分析。

## 3.1 不同处理对牛肉糜质构的影响

由表 10 可知, 各试验组之间硬度值、弹性、黏着性、咀嚼性、回复性均存在极其显著性差异 ( $p<0.05$ )。添加油脂组的弹性最大、黏着性最强, 分别为 0.55、8470.74; 添加优化组的咀嚼性、回复性最低, 分别为 2791.31 g、0.26; 添加油脂和卡拉胶的复合组硬度、弹性、咀嚼性均最高。糜类肉制品是由多种体系构成的复杂体系, 其中包括游离脂肪液滴、盐溶性蛋白质的水溶液、蛋白包围住的脂肪、蛋白质胶体结构乳液等, 与糜类制品的硬度、弹性、咀嚼性等指标具有较强的关联。不同试验组之间 TPA 的差异可以说明, 油脂-胶体体系可以增强凝胶网络结构, 增加香菇可以破坏这个结构稳定性, 使得内部结构松散, 从而降低了硬度、咀嚼性等, 与 WANG 等研究一致<sup>[28]</sup>, 他们研究表明, 香菇这种植物源添加物的添加量越多, 对结构的破坏越大, Zakaria 等人<sup>[29]</sup>的研究也证明了这一点。

表 9 感官评分回归模型方差分析结果

Table 9 ANOVA analysis of regression model of sensory score

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	
Model	249.81	6	41.63	15.66	0.0001	significant
A	19.34	1	19.34	7.28	0.0224	
B	18.45	1	18.45	6.94	0.025	
C	35.91	1	35.91	13.51	0.0043	
A <sup>2</sup>	34.34	1	34.34	12.91	0.0049	
B <sup>2</sup>	56.35	1	56.35	21.19	0.001	
C <sup>2</sup>	67.31	1	67.31	25.31	0.0005	
残差	26.59	10	2.66			
失拟项	16.76	6	2.79	1.14	0.4721	Not significant
误差项	9.83	4	2.46			
总和	276.4	16				
R-Squared	0.9038					
AdjR-Squared	0.8461					
信噪比	10.794					

表 10 不同处理对牛肉糜的凝胶 TPA 的影响

Table 10 Effect of different treatments on the color and texture of beef patties

组别	硬度/g	弹性	凝聚力	黏着性	咀嚼性/g	回复性
空白组	7278.35±1122.49 <sup>B</sup>	0.53±0.10 <sup>C</sup>	0.74±0.05 <sup>A</sup>	5319.49±503.98 <sup>BC</sup>	2869.73±758.56 <sup>C</sup>	0.32±0.04 <sup>A</sup>
卡拉胶组	9520.61±1407.30 <sup>A</sup>	0.63±0.05 <sup>A</sup>	0.67±0.04 <sup>B</sup>	6395.65±820.95 <sup>B</sup>	4025.44±682.94 <sup>B</sup>	0.27±0.02 <sup>B</sup>
油脂组	11393.85±2644.92 <sup>A</sup>	0.55±0.10 <sup>BC</sup>	0.75±0.05 <sup>A</sup>	8470.74±1504.07 <sup>A</sup>	4808.74±1547.39 <sup>AB</sup>	0.34±0.04 <sup>A</sup>
复合组	11313.84±4131.97 <sup>A</sup>	0.66±0.06 <sup>A</sup>	0.73±0.02 <sup>A</sup>	8208.33±2962.04 <sup>A</sup>	5431.98±2090.88 <sup>A</sup>	0.32±0.01 <sup>A</sup>
优化组	7228.33±580.25 <sup>B</sup>	0.61±0.05 <sup>AB</sup>	0.64±0.06 <sup>B</sup>	4574.73±316.33 <sup>C</sup>	2791.31±212.78 <sup>C</sup>	0.26±0.04 <sup>B</sup>



### 3.2 不同处理对牛肉饼微观结构的影响

与空白对照 a 组比较, 添加卡拉胶的 b 组结构上更加致密, 几乎没有大的脂肪聚集, 添加油脂的 c 组出现了脂肪颗粒且脂肪颗粒分布极其不规则, 加热之后, 脂肪大面积流失、结构松散、絮状结构和空洞较多, 未形成均一连续的蛋白-脂肪基质。添加卡拉胶和油脂的复合 d 组结构上比 a 组致密, 比 b 组光滑; 添加香菇的 e 组较致密, 脂肪脱离后的空洞分布较均匀, 结构较好。可以说明卡拉胶可以增强三维网络结构的强度, 香菇可以破坏三维网络结构, 可以进一步解释说明香菇降低了硬度、咀嚼性的原因。

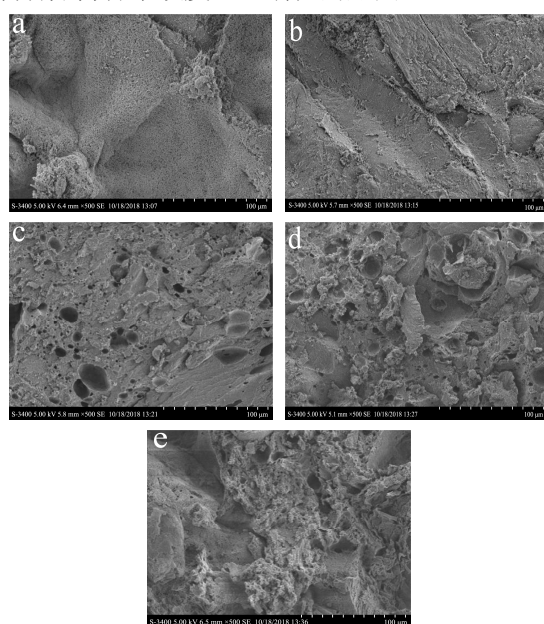


图 1 不同处理对牛肉饼微观结构的影响

Fig.1 Effects of different treatment on the microstructure of beef patties

注: 微观结构为放大 500 倍下的观察图; a: 空白对照组; b: 卡拉胶组; c: 油脂组; d: 复合组; e: 优化组。

## 4 结论

添加卡拉胶、调和油、香菇都改变了牛肉糜的基本成分、质构、色泽、感官评分, 在一定程度上模拟了脂肪口感。肉糜类制品体系复杂, 不仅包含了游离脂肪液滴、盐溶性蛋白质的水溶液, 还包括蛋白包裹的脂肪、蛋白质胶体结构等, 与色泽、质构、微观结构等具有较强的关联。卡拉胶、植物油主要通过影响水分含量、脂肪含量导致体系肌红蛋白浓度改变进而影响色泽; 香菇改变色泽主要是因为自身的颜色造成的。不同试验组之间 TPA 的差异可以说明, 油脂-胶体体系可以增强凝胶网络结构, 香菇可以破坏结构稳定性, 使得内部结构松散, 从而降低了硬度、咀嚼性

等, 香菇显示出对结构的破坏性也有报道<sup>[28,29]</sup>。这可能是因为加热过程中κ-卡拉胶与牛肉糜中盐溶蛋白结构充分展开, 相互作用增强, 还发生了变性与聚集, 束缚了水分子运动, 形成强有力的三维网状结构, 将水保持在难以移动的状态, 植物油添加之后, 与胶体形成了乳化凝胶体系, 但是香菇添加之后, 由于香菇本身颗粒较大, 分布在肉糜体系之中就破坏了网络结构的稳定性。研究获得感官评分的回归模型方程: 感官=32.00+73.83×卡拉胶添加量+3.23×油脂添加量+4.37×香菇添加量-126.92×卡拉胶添加量<sup>2</sup>-0.15×油脂添加量<sup>2</sup>-0.16×香菇添加量<sup>2</sup>, 模型显著, 得到了以最大感官为目标的卡拉胶、油脂、香菇添加量分别为 0.29%, 11.04%, 13.68%, 为牛肉肉糜类产品动物脂肪替代研究提供理论依据, 为低脂、健康的牛肉饼的研究提供参考, 为探究不同添加物对牛肉肉糜品质的影响提供理论支撑。

## 参考文献

- [1] Baugreet S, Kerry J P, Allen P, et al. Optimisation of protein-fortified beef patties targeted to the needs of older adults: a mixture design approach [J]. *Meat Science*, 2017, 134: 111-118
- [2] 孟子晴, 祝超智, 赵改名, 等. 牛肉肉糜类制品加工技术研究进展[J]. *肉类研究*, 2018, 32(12): 55-61  
MENG Zi-qing, ZHU Chao-zhi, ZHAO Gai-ming, et al. Recent progress in processing technologies for minced beef products [J]. *Meat Research*, 2018, 32(12): 55-61
- [3] Luruena M A, Vivar Q A M, Revillae I. Effect of locust bean/xanthan gum addition and replacement of pork fat with olive oil on the quality characteristics of low-fat frankfurters [J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 383-389
- [4] Choi Y, Choi J, Han D, et al. Optimization of replacing pork back fat with grape seed oil and rice bran fiber for reduced-fat meat emulsion systems [J]. *Meat Science*, 2010, 84(1): 212-218
- [5] Selani M M, Shirado G A N, Margiotta G B, et al. Pineapple by-product and canola oil as partial fat replacers in low-fat beef burger: Effects on oxidative stability, cholesterol content and fatty acid profile [J]. *Meat Science*, 2016, 115: 9-15
- [6] Alejandro M, Passarini D, Astiasaran I, et al. The effect of low-fat beef patties formulated with a low-energy fat analogue enriched in long-chain polyunsaturated fatty acids on lipid oxidation and sensory attributes [J]. *Meat Science*, 2017, 134: 7-13
- [7] Choi Y M, Ryu Y C, Lee S H, et al. Effects of supercritical

- carbon dioxide treatment for sterilization purpose on meat quality of porcine longissimus dorsi muscle [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(2): 317-322
- [8] Martinez B, Miranda J M, Franco C M, et al. Evaluation of transglutaminase and caseinate for a novel formulation of beef patties enriched in healthier lipid and dietary fiber [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2011, 44(4): 949-956
- [9] Choi Y, Kim H, Hwang K, et al. Physicochemical properties and sensory characteristics of reduced-fat frankfurters with pork back fat replaced by dietary fiber extracted from makgeolli lees [J]. *Meat Science*, 2014, 96(2): 892-900
- [10] Buiv T N T, Nguyen B T, Reenou F, et al. Rheology and microstructure of mixtures of iota and kappa-carrageenan [J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 89: 180-187
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3-2016[S]  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards Determination of moisture in food: GB 5009.3-2016 [S]
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中蛋白含量的测定:GB 5009.5-2016 [S]  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards Determination of Protein Content in Food: GB 5009.5-2016 [S]
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S]  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards Determination of fat in food: GB 5009.6-2016 [S]
- [14] 张骏龙.肉糜热诱导凝胶形成过程中水合特征变化规律研究[D].锦州:渤海大学,2017  
ZHANG Jun-long. Study on the change law of hydration characteristics during the formation of gelatin-induced gel formation [D]. Jinzhou: Bohai University, 2017
- [15] 高雪琴.大豆分离蛋白和卡拉胶复配对调理猪肉制品品质的影响及机理研究[D].南京:南京农业大学,2015  
GAO Xue-qin. Effect and mechanism of soy protein isolate and carrageenan on the quality of conditioned pork products [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural College, 2015
- [16] 王浩田.植物复合脂肪对牛肉饼品质影响的研究[D].北京:中国农业科学院,2012  
WANG Hao-tian. Study on the effect of plant compound fat on the quality of beef patties [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012
- [17] Álvarez D, Xiong Y L, Castillo M, et al. Textural and viscoelastic properties of pork frankfurters containing canola-olive oils, rice bran, and walnut [J]. *Meat Science*, 2012, 92(1): 8-15
- [18] 周光宏.畜产品加工学[Z].北京:中国农业出版社,2002,59-63  
ZHOU Guang-huog. Animal Product Processomg [Z]. Beijing: China Agricultural Press, 2002, 59-63
- [19] 于建行,夏杨毅,尚永彪,等.卡拉胶和黄原胶对转谷氨酰胺酶处理PSE兔肉糜蒸煮损失与成胶能力的影响[J].食品科学,2014,35(15):77-81  
YU Jian-hang, XIA Yang-yi, SHANG Yong-biao, et al. Effects of carrageenan and xanthan concentration on cooking loss and gelling capacity of transglutaminase-treated PSE rabbit meat batters [J] *Food science*, 2014, 35(15): 77-81
- [20] 赵改名,郝红涛,柳艳霞,等.肉糜类制品质地的感官评定方法[J].中国农业大学学报,2010,15(2):100-105  
ZHAO Gai-ming, HAO Hong-tao, LIU Yan-xia, et al. Sensory evaluation approaches for texture characteristics of minced meat products [J] *Journal of China Agricultural University*, 2010, 15(2): 100-105
- [21] 郝红涛,赵改名,柳艳霞,等.肉类制品的质构特性及其研究进展[J].食品与机械,2009,25(3):125-128  
HAO Hong-tao, ZHAO Gai-ming, LIU Yan-xia, et al. The texture characteristics and advances of meat products [J]. *Food and Machinery*, 2009, 25(3): 125-128
- [22] 杨玉玲,姜攀,贾继荣,等.鸡肉肌原纤维蛋白与卡拉胶混合凝胶质构特性的研究[J].食品与发酵工业,2008,6:16-19.  
YANG Yu-ling, JIANG Pan, JIA Ji-rong, et al. Study on texture properties of chicken myofibrillar protein and carrageenan hybrid gel [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2008, 6: 16-19
- [23] Jarmoluk A, Pietrasik Z. Response surface methodology study on the effects of blood plasma, microbial transglutaminase and  $\kappa$ -carrageenan on pork batter gel properties [J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 60(3): 327-334
- [24] Cierach M, Modzelewska K M, Szacilo K. The influence of carrageenan on the properties of low-fat frankfurters [J]. *Meat Science*, 2009, 82(3): 295-299

(下转第 76 页)