

# 木瓜蛋白酶对冷冻马肉饼理化特性及感官品质的改良作用

程怡媚<sup>1</sup>, 薛雨菲<sup>1</sup>, 关东<sup>2</sup>, 戴志伟<sup>1</sup>, 张玥<sup>1</sup>, 马静<sup>1</sup>, 梅洁<sup>1</sup>, 孔令明<sup>1</sup>, 冯宪超<sup>3</sup>

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052) (2. 西北农林科技大学创新实验学院, 陕西杨凌 712100) (3. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 为了改善马肉饼品质, 在马肉中添加不同含量的木瓜蛋白酶制成马肉饼, 测定马肉饼的水溶性总氮、持水力、色泽、pH、质构、感官评价以及微观结构的变化, 分析了马肉饼理化特性和感官品质的相关性。结果表明, 与对照组相比, 添加木瓜蛋白酶后, 马肉饼的水溶性总氮含量和亮度( $L^*$ )显著升高( $p < 0.05$ ), 分别提高了 3.76 倍、3.63%; 红度( $a^*$ )无显著变化( $p > 0.05$ ); 解冻损失、烘焙损失、黄度( $b^*$ )、pH、硬度、弹性、咀嚼性显著降低( $p < 0.05$ ), 分别降低了 73.33%、27.59%、29.91%、4.03%、76.69%、38.82%、91.39%。感官评定得出添加 40 U/g 木瓜蛋白酶的马肉饼总体可接受度最高。扫描电镜观察发现, 添加 40 U/g 木瓜蛋白酶的马肉饼呈现出均匀细腻、孔洞较少的三维立体网络结构。马肉饼的嫩度和烘焙损失、硬度呈显著负相关( $p < 0.05$ ), pH 和嫩度、风味呈显著负相关( $p < 0.05$ ), 外观和咀嚼性呈显著正相关( $p < 0.05$ )。试验结果表明木瓜蛋白酶处理可以显著提高马肉饼的保水性、总体可接受度, 抑制其变暗、变黄, 改善其质构特性, 形成均匀细腻、孔洞较少的微观结构。马肉饼的适宜木瓜蛋白酶添加量为 40 U/g, 可为肉饼类制品的加工提供一定的理论依据和方法指导。

**关键词:** 冷冻马肉饼; 木瓜蛋白酶; 质构; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2020)04-46-53

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.4.007

## Improving Effect of Papain on the Physico-chemical and Sensory Characteristics of Frozen Horse Meat Patties

CHENG Yi-mei<sup>1</sup>, XUE Yu-fei<sup>1</sup>, GUAN Dong<sup>2</sup>, DAI Zhi-wei<sup>1</sup>, ZHANG Yue<sup>1</sup>, MA Jing<sup>1</sup>, MEI Jie<sup>1</sup>, KONG Ling-ming<sup>1</sup>, FENG Xian-chao<sup>3</sup>

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. College of Innovation and Experiment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

(3. College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of frozen horse meat patties (FHMP), different amounts of papain were added to horse meat prior to making FHMP. The effect of papain addition on FHMP was evaluated in terms of water soluble total nitrogen, water holding capacity, color, pH, texture profile analysis, sensory evaluation, microstructure and the correlation between physico-chemical and sensory characteristics. The results showed that, compared with the control group, papain addition increased soluble total nitrogen and  $L^*$  significantly ( $p < 0.05$ ) by 3.76 times and 3.63%, respectively, but had no significant effect on  $a^*$  ( $p > 0.05$ ). Papain addition could also decrease thawing loss, baking loss,  $b^*$ , pH, hardness, springiness and chewiness of FHMP significantly by 73.33%, 27.59%, 29.91%, 4.03%, 76.69%, 38.82% and 91.39%, respectively ( $p < 0.05$ ). Sensory evaluation showed that the overall acceptability of FHMP treated with 40 U/g papain was the highest. The scanning electron microscope of FHMP treated with 40 U/g papain indicated a three-dimensional network structure with uniform and fine pores. The tenderness of

引文格式:

程怡媚,薛雨菲,关东,等.木瓜蛋白酶对冷冻马肉饼理化特性及感官品质的改良作用[J].现代食品科技,2020,36(4):46-53

CHENG Yi-mei, XUE Yu-fei, GUAN Dong, et al. Effect of papain on the physico-chemical and sensory characteristics of frozen horse meat patties [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 46-53

收稿日期: 2019-11-18

基金项目: 国家自然地区科学基金项目(31660440)

作者简介: 程怡媚(1994-), 女, 在读硕士, 研究方向: 农产品加工与综合利用

通讯作者: 孔令明(1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与综合利用; 共同通讯作者: 冯宪超(1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工

FHMP was negatively correlated with baking loss and hardness ( $p < 0.05$ ), and pH of FHMP was negatively correlated with tenderness and flavor ( $p < 0.05$ ), while the appearance of FHMP was positively correlated with chewiness ( $p < 0.05$ ). It was suggested that addition of proteases could significantly enhance water-retaining and overall acceptability, inhibit products becoming dark or yellow, improve textural properties and form a uniform and fine pores microstructure. The results will provide a theoretical basis and a guidance method for meat patties products processing.

**Key words:** frozen horse meat patties; papain; texture; microstructure

以汉堡包为代表的西式快餐在快餐业占据着较大的份额, 广泛用于生产汉堡包肉饼的肉类原料是牛肉<sup>[1]</sup>。与牛肉相比, 马肉更易被消化, 是一种高蛋白、低脂肪、低胆固醇、高营养价值的新兴肉类食品<sup>[2,3]</sup>, 但其肉质较为粗糙, 口感、嫩度较差<sup>[4]</sup>。蛋白水解酶是肉嫩化的常用方法, 木瓜蛋白酶是目前产业化应用最为广泛的蛋白酶之一。贮存和运输过程中保存肉类最常用方法是冷冻, 但冷冻和解冻对肉品嫩度、保水性等品质造成影响<sup>[5]</sup>。周珠法等<sup>[6]</sup>在对牛肉嫩化的研究中发现, 木瓜蛋白酶可以通过降解牛肉肌纤维蛋白来达到提高牛肉嫩度的目的。崔春等<sup>[7]</sup>研究发现, 添加蛋白酶可以显著改善冻藏肉的质构特性, 提高其亮度, 提高其保水性, 抑制其变暗、变黄。Abdel 等<sup>[8]</sup>在骆驼肉汉堡肉饼配方中加入木瓜蛋白酶后, 显著提高胶原蛋白溶解度以及感官评分, 显著降低剪切力值。温度对肌肉的成熟进程和肉品质有重要影响, 宰后成熟温度越低, 肉品最终感官品质和卫生指标越好, 最常见的保鲜方法是将鲜肉冷藏于 4 °C<sup>[9]</sup>, 故本研究酶解温度设在 4 °C。丛懿洁等<sup>[10]</sup>研究在 4 °C 腌制猪肉糜过程中添加木瓜蛋白酶后, 改善肉的质构特性, 提高肉的保水性。

国内外对木瓜蛋白酶的研究主要是针对肉的嫩化, 但是冷冻前添加木瓜蛋白酶对解冻后马肉饼的理化特性和感官品质研究还鲜有报道。因此, 本研究利用木瓜蛋白酶改善马肉饼食用品质, 观察木瓜蛋白酶处理对马肉饼的理化特性和感官品质的影响, 并分析其相关性, 确定木瓜蛋白酶的最适添加量, 在一定程度上弥补冻藏肉中内源酶活性的损失。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜马后腿肉, 购自当地牛羊肉配送中心; 木瓜蛋白酶(酶活力 $\geq 2000$  U/mg), 购自阿拉丁试剂(上海)有限公司; 其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

AMG199AM3-200 绞肉机, 中山市欧博尔电器有限公司; BCD-160 TB 型冰箱, 青岛海尔股份有限

公司; 多功能烤箱, 欧尼尔公司; XH-BWL 凯氏定氮仪, 上海昕沪实验设备有限公司; CM-5 色差仪, 日本柯尼卡美能达公司; 雷磁 PHS-3C pH 仪, 上海仪电科学仪器股份有限公司; TA.XT Plus 物性测定仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; JSM-7610F Plus 热场发射扫描电子显微镜, 日本电子株式会社。

## 1.3 方法

### 1.3.1 马肉饼制作

工艺流程: 马后腿肉→剔除可见脂肪、筋膜、切块→绞碎→加盐→加入木瓜蛋白酶的溶液酶解→模具成型→4 °C 腌制→20 °C 冷冻→4 °C 解冻→烘烤→成品。

基本配方: 以马后腿肉 1000 g 计, 加入 250 g 水、18 g 盐。空白组为基本配方, 处理组分别添加 20、40、60 与 80 U/g 的木瓜蛋白酶溶液。

工艺操作要点: 新鲜的马后腿肉, 按工艺要求修整, 用孔板直径为 4 mm 的绞肉机搅碎, 此过程重复 5 次, 以保证肉糜的均匀程度。按配方称取基本配料和原料肉, 搅拌均匀后装在双层聚乙烯塑料袋中 4 °C 腌制 24 h, 用模具将搅拌均匀的肉糜制成直径为 7 cm、厚度为 1 cm 的肉饼, 在 -20 °C 条件下放置 24 h, 然后在 4 °C 条件下解冻 12 h, 样品一部分置于 4 °C 冰箱, 一部分放入多功能烤箱于 220 °C 烤制 9 min。

### 1.3.2 马肉饼理化指标的测定

#### 1.3.2.1 马肉饼水溶性总氮的测定

参照丛懿洁等<sup>[10]</sup>的方法, 制作好的熟肉糜的水溶性提取物用蒸馏水以 1:10 的比例提取, 并在 8000 r/min 高速均质 1 min, 10000 r/min 离心 20 min, 用凯氏定氮法测定上清液中的蛋白质含量。

#### 1.3.2.2 马肉饼解冻损失的测定

参照 Xia 等<sup>[11]</sup>的方法, 将样品分别在解冻前称其质量 ( $m_1$ ), 在解冻完全后, 用滤纸轻擦拭样品表面残留水渍及汁液并后称其质量 ( $m_2$ ), 每个样品重复测定 3 次。然后按照下式计算解冻汁液损失率。

$$\text{解冻损失率} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

#### 1.3.2.3 马肉饼烘焙损失的测定

参照常海军等<sup>[12]</sup>的方法, 将样品分别在烘焙前称

其质量 ( $m_3$ ), 在烘焙 9 min 后, 将样品取出冷却至室温并称其质量 ( $m_4$ ), 每个样品重复测定 3 次。然后按照下式计算烘焙损失率。

$$\text{烘焙损失率} = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100\%$$

### 1.3.2.4 马肉饼色泽的测定

参照 Shin 等<sup>[13]</sup>的方法, 利用色差计测定不同马肉饼表面的颜色参数: 亮度值 ( $L^*$ )、红度值 ( $a^*$ )、黄度值 ( $b^*$ )。在解冻完全的样品上取 3 个点测定颜色参数, 取其平均值。

### 1.3.2.5 马肉饼 pH 的测定

参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准食品 pH 值的测定》方法, 略有修改。冰浴条件下, 取 2 g

样品置于 50 mL 离心管内, 加入 20 mL 蒸馏水混合, 9000 r/min 速度下均质 30 s, 室温静置 5 min, 将 PHS-3C 型 pH 计的玻璃电极直接插入肉水混合物内测定 pH 值。

### 1.3.3 马肉饼质构特性的测定

参照杨震等<sup>[14]</sup>方法并稍作修改。用刀片在马肉饼上随机取样, 将其切成大小一致、形状相同的长方体 (长×宽×高: 1.5 cm×1.2 cm×0.8 cm), 利用质构分析仪对其进行 TPA 测定, 具体参数设置如下: 选用直径 50 mm 的圆柱形探头 (P/36R)。测前速率、测试中速率、测后速率均为 1 mm/s; 触发力为 5 g; 压缩变形量设置为 30%; 间隔时间 5 s。数据采集率为 200 pps。

### 1.3.4 马肉饼感官评定

表 1 酶添加量对马肉饼感官品质的影响

Table 1 Effect of enzyme addition on the sensory quality of horse meat patties

评价指标	评分标准	感官评分
外观	产品外观是否整齐、切面有无明显气孔、颜色是否有异样	1~9
风味	是否有马肉香气, 是否有其他异味	1~9
嫩度	是否多汁, 含水量是否适中	1~9
口感	是否有嚼劲, 是否松软或过硬	1~9
总体可接受度	整体感观是否可以接受	1~9

烘烤不同添加量的酶液腌制的马肉饼, 对成品的感官指标进行评定, 评价指标包括外观、风味、嫩度、口感和总体可接受度。感官评价由 10 名感官评价人员进行评定, 男女各五人。主要参考 Abdel 等<sup>[8]</sup>感官评价, 评分标准见表 1。

### 1.3.5 扫描电镜

参照 Álvarez 等<sup>[15]</sup>方法, 并稍作修改。从熟制肉饼中取 3 mm×3 mm×1 mm 的小块, 放入固定液 (2.5% 戊二醛, 2% 多聚甲醛缓冲液) 中 4 °C 固定 3 d, 用 0.1 mol/L (pH=7.4) 缓冲液漂洗 3 次 (各 40 min), 随后采用体积分数为 30%, 50%, 70%, 80%, 90% 乙醇进行梯度脱水, 每次 15 min; 用体积分数 100% 乙醇脱水 2 次, 每次 30 min; 将样品置于叔丁醇中置换, 进行冷冻干燥, 喷金, 5000 倍下观察结构。

## 1.4 数据处理

采用 Excel 2003 进行绘图, 用 SPSS 19.0 软件进行相关性分析, Duncan's 法对数据进行多重比较, 数据表示为平均值±标准差。

## 2 结果与讨论

### 2.1 马肉饼理化指标分析

#### 2.1.1 木瓜蛋白酶处理对马肉饼水溶性总氮的

影响

表 2 酶添加量对马肉饼水溶性总氮含量的影响

Table 2 Effect of enzyme addition on the water soluble total

nitrogen of horse meat patties

酶添加量/(U/g)	总氮/%
0	0.2086±0.0005 <sup>a</sup>
20	0.2404±0.0013 <sup>b</sup>
40	0.6098±0.0020 <sup>c</sup>
60	0.7989±0.0027 <sup>d</sup>
80	0.9931±0.0030 <sup>e</sup>

注: 表中同列不同小写字母表示同一指标不同酶添加量之间具有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

随着木瓜蛋白酶添加量的增加, 马肉饼的水溶性总氮含量显著升高 ( $p < 0.05$ ), 当酶添加量为 80 U/g 时, 总氮含量最高为 0.9931%, 与对照组 0.2086 相比提高了 3.76 倍 (表 2)。由此可知, 酶添加到马肉饼中腌制后发生了一定的降解作用, 大分子蛋白降解成小分子肽、氨基酸等, 这些小分子更易溶于水而被提取出来。从懿洁<sup>[10]</sup>研究发现, 随着酶添加量的增加, 水溶性总氮含量显著升高, 总氮含量提高了 1.2 倍, 与本研究结果相似。实验结果表明, 在 4 °C 条件下, 木瓜蛋白酶仍具备活力, 且随着酶添加量的增加, 酶的作用效果越明显, 降解作用程度越大。

2.1.2 木瓜蛋白酶处理对马肉饼持水力的影响

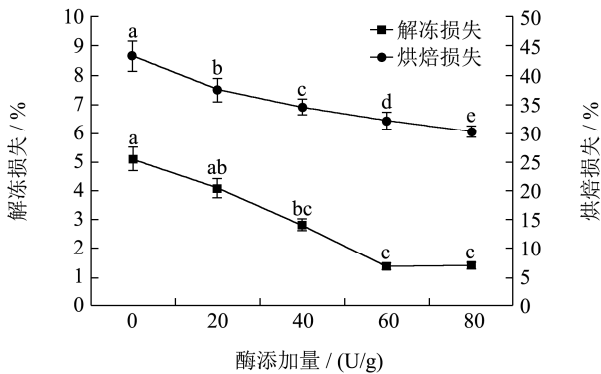


图1 酶添加量对马肉饼持水力的影响

Fig.1 Effect of enzyme addition on the water holding capacity of horse meat patties

注: 图中不同小写字母, 表示有显著性差异( $p < 0.05$ ), 图2同。

解冻损失率和烘焙损失率是衡量肌肉具有保水性的重要指标, 冻融所导致的水分损失对肉质存在一定的负面影响, 因为冻融的过程会使冷冻肉结构损伤从而导致其表面干燥和汁液损失<sup>[16]</sup>。随着木瓜蛋白酶浓度的增加, 样品的解冻损失率、烘焙损失率呈现出逐渐降低的趋势。当酶添加量为 60 U/g 时, 解冻损失率最低为 1.36%, 与对照组 5.10% 相比降低了 73.33%。

表3 酶添加量对马肉饼色差的影响

指标	木瓜蛋白酶添加量/(U/g)				
	0	20	40	60	80
$L^*$	56.50±0.33 <sup>d</sup>	57.04±0.32 <sup>cd</sup>	57.63±0.11 <sup>bc</sup>	58.15±0.43 <sup>ab</sup>	58.55±0.56 <sup>a</sup>
$a^*$	2.02±0.08 <sup>a</sup>	1.81±0.03 <sup>a</sup>	1.72±0.06 <sup>a</sup>	1.78±0.04 <sup>a</sup>	2.03±0.09 <sup>a</sup>
$b^*$	14.88±0.69 <sup>a</sup>	14.01±0.66 <sup>a</sup>	12.31±0.56 <sup>b</sup>	11.95±0.51 <sup>b</sup>	10.43±0.41 <sup>c</sup>

注: 表中同行右肩不同小写字母, 表示差异显著( $p < 0.05$ ), 表4-5同。

2.1.4 木瓜蛋白酶处理对马肉饼 pH 的影响

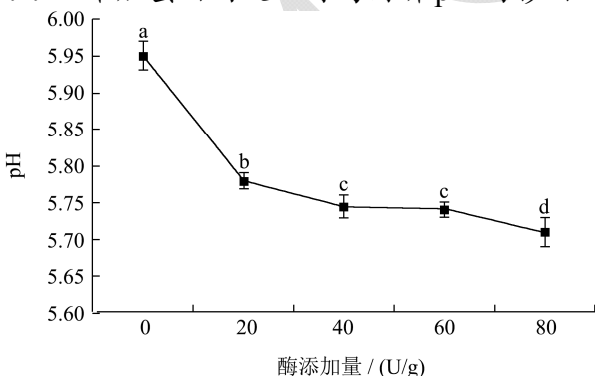


图2 酶添加量对马肉饼 pH 的影响

Fig.2 Effect of enzyme addition on the pH of horse meat patties

由图2可见, 木瓜蛋白酶处理后, pH 显著降低 ( $p < 0.05$ ), 酶添加量为 80 U/g 时达到最小值 pH 为 5.71, 与对照组 pH 5.95 相比降低了 4.03%, 且随着酶添加量的增加, pH 逐渐降低。分析由于木瓜蛋白酶作

当酶添加量为 80 U/g 时, 烘焙损失率最低为 30.28%, 与对照组 43.21% 相比降低了 27.61% (图1)。

有研究表明, 木瓜蛋白酶对肉质中的蛋白质进行裂解达到嫩化作用, 肉中的蛋白质从大分子降解为小分子, 使水分子更易渗透到降解的小分子间, 将小分子逐渐包围, 从而形成较为致密的结构, 因而减少了冻融时蛋白质被冰晶体破坏的机率, 提高了一定的持水性<sup>[17]</sup>。

2.1.3 木瓜蛋白酶处理对马肉饼色差的影响

由表3可以看出, 木瓜蛋白酶处理后,  $L^*$  值显著升高 ( $p > 0.05$ ), 酶添加量为 80 U/g 时达到最大值为 58.55, 与对照组 56.50 相比升高了 3.63%;  $a^*$  值无显著差异 ( $p > 0.05$ );  $b^*$  值显著下降 ( $p < 0.05$ ), 酶添加量为 80 U/g 时达到最小值为 10.43, 与对照组 14.88 相比降低了 29.91%。蛋白酶使马肉饼中肌原纤维蛋白降解为一些小分子的肽、氨基酸, 体系 pH 值下降, 在低 pH 值下保护亚铁血红素的球蛋白变性导致肉表面产生褪色漂白的效果<sup>[18]</sup>。生肉饼经烘焙变成熟肉饼, 肌红蛋白变性, 红度值变化不显著<sup>[7]</sup>。黄度值下降可能是由于蛋白酶作用产生的小分子在加热条件下, 和其他物质反应生成黄度值较低的小分子物质<sup>[19]</sup>。

用于肉中肌原纤维蛋白、胶原蛋白、弹性蛋白等, 蛋白质降解时会产生羧基和氨基, 而羧基电离产生  $H^+$ , 使 pH 下降<sup>[10]</sup>。崔春等<sup>[20]</sup>研究不同酶解时间对 pH 的影响, 发现 pH 下降是由于肽键的打开, 在相同初始 pH 条件下, 随着酶解时间的增加, 反应前后 pH 降低的幅度逐渐增加。

2.1.5 木瓜蛋白酶处理对马肉饼质构的影响

质构可以反映肉品的食用品质。硬度是食品保持其形状的内部结合力, 是反映牙齿间用来压迫样品所需最大力, 可较好地反映肉的嫩度。对于肉品来说, 硬度、弹性和咀嚼性之间存在正相关的关系, 硬度越大, 弹性越高, 咀嚼性所需的能量也就越高<sup>[21]</sup>。

与对照组相比, 随着木瓜蛋白酶添加量的增加, 样品的硬度、弹性、咀嚼性均呈现出显著降低的趋势 ( $p < 0.05$ )。当木瓜蛋白酶添加量为 80 U/g 时, 硬度、弹性、咀嚼性达到最小值分别为 2.49 N、0.52、

0.55, 与对照组 10.68 N、0.85、6.39 相比分别降低了 76.69%、38.82%、91.39% (表 4)。这是由于在木瓜蛋白酶的作用下, 肌原纤维上 Z 线弱化和降解, 促使肌节产生部分断裂, 肌原纤维的横向交联被逐渐破坏, 使肌原纤维产生小片化; 部分胶原蛋白被水解, 降低了肉质本身的强度和对肌纤维的束缚, 从而使肉

质发生一定的嫩化效果<sup>[22]</sup>, 没有对照组的口感粗糙、韧性大而咀嚼费力的特征。综上, 木瓜蛋白酶显著改善肉的硬度, 提高肉的嫩度。柳艳霞<sup>[23]</sup>、杨艳<sup>[24]</sup>、明建等<sup>[25]</sup>选用木瓜蛋白酶分别对调理猪排、牛肉干、牛肉进行嫩化, 硬度、弹性、咀嚼性呈现显著下降趋势, 与本研究趋势相同。

表 4 酶添加量对马肉饼质构的影响

Table 4 Effect of enzyme addition on the texture of horse meat patties

指标	木瓜蛋白酶添加量/(U/g)				
	0	20	40	60	80
硬度/N	10.68±0.52 <sup>a</sup>	7.17±0.39 <sup>b</sup>	4.96±0.68 <sup>c</sup>	4.06±0.52 <sup>d</sup>	2.49±0.27 <sup>c</sup>
弹性	0.85±0.02 <sup>a</sup>	0.80±0.03 <sup>b</sup>	0.67±0.05 <sup>c</sup>	0.63±0.08 <sup>c</sup>	0.52±0.04 <sup>d</sup>
咀嚼性	6.39±0.20 <sup>a</sup>	4.50±0.13 <sup>b</sup>	3.89±0.15 <sup>c</sup>	1.29±0.02 <sup>d</sup>	0.55±0.02 <sup>c</sup>

### 2.1.6 木瓜蛋白酶处理对马肉饼感官评价的影响

表 5 酶添加量对马肉饼感官评价结果的影响

Table 5 Effect of enzyme addition on the sensory evaluation of horse meat patties

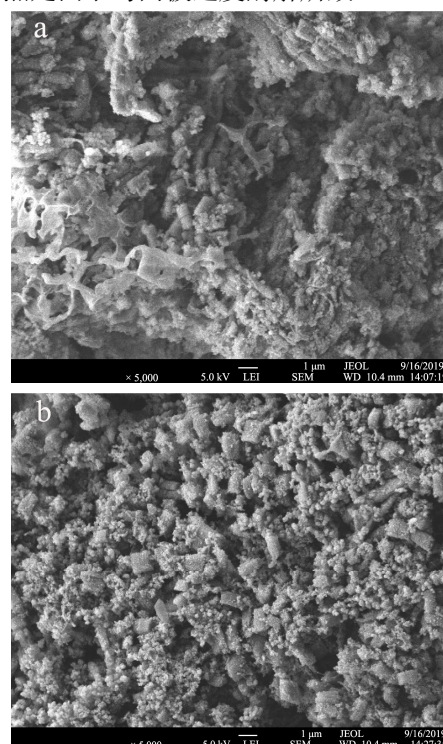
指标	木瓜蛋白酶添加量/(U/g)				
	0	20	40	60	80
外观	6.10±0.2 <sup>a</sup>	6.10±0.2 <sup>a</sup>	6.20±0.2 <sup>a</sup>	4.20±0.1 <sup>b</sup>	3.50±0.2 <sup>c</sup>
嫩度	4.40±0.1 <sup>c</sup>	6.20±0.2 <sup>b</sup>	6.60±0.1 <sup>a</sup>	6.70±0.2 <sup>a</sup>	6.80±0.1 <sup>a</sup>
口感	5.20±0.2 <sup>c</sup>	6.30±0.1 <sup>b</sup>	7.00±0.1 <sup>a</sup>	5.00±0.1 <sup>c</sup>	4.20±0.2 <sup>d</sup>
风味	6.30±0.2 <sup>b</sup>	6.50±0.2 <sup>ab</sup>	6.70±0.2 <sup>a</sup>	6.70±0.1 <sup>a</sup>	6.60±0.1 <sup>ab</sup>
总体可接受度	6.00±0.1 <sup>c</sup>	6.70±0.1 <sup>b</sup>	7.10±0.2 <sup>a</sup>	5.90±0.2 <sup>c</sup>	4.50±0.1 <sup>d</sup>

感官评价的高低可直接反映马肉饼被消费者接受的程度。本实验中, 随着木瓜蛋白酶添加量的增加, 马肉饼的嫩度显著升高 ( $p < 0.05$ ), 风味显著增加 ( $p < 0.05$ ), 马肉饼的外观、口感、总体可接受度均先增加后减少, 在木瓜蛋白酶添加量为 40 U/g 时达到最高值为 7.1, 说明木瓜蛋白酶添加量为 40 U/g 时, 马肉饼各项感官评分较受人们喜欢。当木瓜蛋白酶添加量超过 40 U/g 后, 产品失去原有光泽马肉饼发白, 组织状态疏松多孔、口感发柴、弹性和咀嚼性较差, 导致其总体接受性差, 消费者接受程度低 (表 5)。木瓜蛋白酶的添加能显著改善马肉饼品质特性, 使马肉饼口感软硬适中, 咀嚼性强。

### 2.1.7 木瓜蛋白酶处理对马肉饼微观结构的影响

图 3 为不同马肉饼样品的扫描电镜图, 如图所示, 未添加木瓜蛋白酶的肉糜凝胶内部结构疏松粗糙, 孔洞较多、不均匀、不致密。随着木瓜蛋白酶添加量的增加, 结构上空洞逐渐变小且逐渐减少, 质地更加均匀、细腻, 获得更好的立体网络结构。当添加 20 U/g 木瓜蛋白酶时, 肉糜结构比较紧凑, 但致密性较差。当添加 40 U/g 木瓜蛋白酶时, 肉糜结构更加紧凑及致密, 而且肉糜中的肌肉蛋白也呈现典型的均匀细腻、

孔洞较少的三维立体网络结构, 有助于捕获更多的水分。当添加 60、80 U/g 木瓜蛋白酶时, 凝胶结构被破坏, 显然是由于马肉被过度酶解所致。



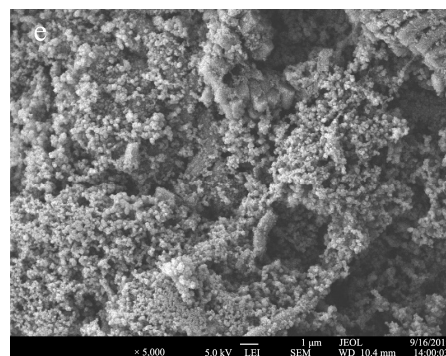
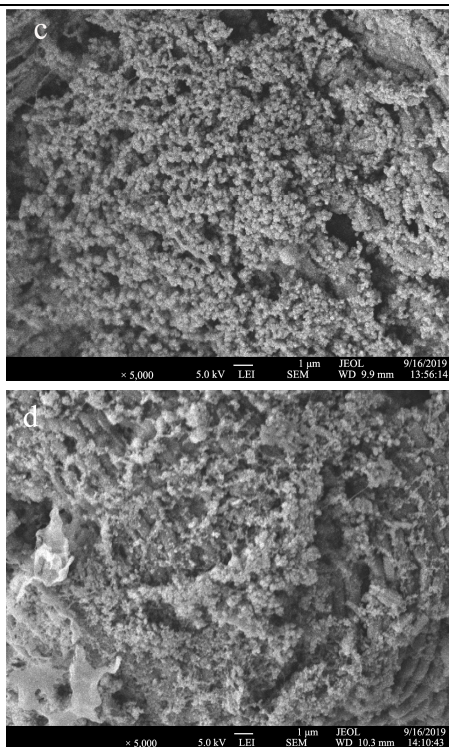


图3 扫描电镜观察酶添加量对马肉饼微观结构的影响 (×5000)

Fig.3 Effect of enzyme addition on the microstructure of horse meat patties observed by scanning electron micrographs(×5000)

注: a-e 分别为酶添加量 0、20、40、60、80 U/g。

## 2.2 相关性分析

表6 马肉饼理化特性与感官品质相关性分析

Table 6 Correlation analysis between physico-chemical characteristics and sensory evaluation of horse meat patties

食用品质	肉质特性								
	解冻损失	烘焙损失	L*	a*	b*	pH	硬度	弹性	咀嚼性
外观	0.837	0.770	-0.861	-0.343	0.821	0.567	0.749	0.844	0.911*
嫩度	-0.857	-0.942*	0.858	-0.486	-0.828	-0.997**	-0.942*	-0.804	-0.833
口感	0.391	0.275	-0.431	-0.757	0.402	0.015	0.251	0.442	0.518
风味	-0.845	-0.867	0.794	-0.652	-0.762	-0.899*	-0.868	-0.745	-0.739
总体可接受度	0.477	0.418	-0.559	-0.769	0.568	0.183	0.409	0.597	0.610

注: \*表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。 \*\*表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关。

由表 6 可知, 外观和咀嚼性呈显著正相关, 相关系数为 0.911。嫩度和烘焙损失呈显著负相关, 相关系数为 -0.942; 嫩度和 pH 呈极显著负相关, 相关系数为 -0.997, 这与 Hoffman 等<sup>[26]</sup>研究结果一致, 发现随着 pH 增加, 跳羚肉的嫩度显著下降 ( $p < 0.05$ ), 可能是由于 pH 值降低导致使肌肉中某些酶活性变化。嫩度和硬度呈显著负相关, 相关系数为 -0.942, 这与 Oltra 等<sup>[27]</sup>研究发现烤羊肉剪切力与感官评价嫩度呈负相关结果一致。风味和 pH 呈显著负相关, 相关系数为 -0.899。

## 3 结论

本研究以马后腿肉为原料, 研究了冷冻前添加木瓜蛋白酶对解冻后马肉饼的理化特性和感官品质的影响。研究发现适宜的木瓜蛋白酶处理可以显著提高马肉饼的保水性和亮度, 抑制其变暗、变黄, 改善其质

构特性, 添加 40 U/g 木瓜蛋白酶的马肉饼总体可接受度最高, 微观结构上肉糜结构更加紧凑及致密, 呈现典型的均匀细腻、孔洞较少的三维立体网络结构。而过量的木瓜蛋白酶导致产品失去原有光泽马肉饼发白, 组织状态疏松多孔、口感发柴、弹性和咀嚼性较差, 导致其总体接受性差, 消费者接受程度低, 并且马肉被过度酶解导致凝胶结构被破坏。综上所述, 木瓜蛋白酶在马肉饼中的适宜添加量为 40 U/g, 可为实际肉饼类制品产业化加工生产起到一定的借鉴作用。

## 参考文献

- [1] Utrera M, Morcuende D, Estévez, et al. Fat content has a significant impact on protein oxidation occurred during frozen storage of beef patties [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 56(1): 62-68
- [2] 孔令明,李芳,张文,等.不同电刺激处理时间对宰后马肉成

- 熟过程中嫩度的影响[J].食品科学,2018,39(9):76-81
- KONG Ling-ming, LI Fang, ZHANG Wen, et al. Effect of electrical stimulation on horsemeat tenderness during postmortem aging [J]. Food Science, 2018, 39(9): 76-81
- [3] Dobranić, Vesna, Njari B, et al. Chemical composition of horse meat [J]. Meso Prvi Hrvatski Časopis O Mesu, 2009, 11(1): 62-67
- [4] 蒋小锋,李芳,任雯雯,等.木瓜蛋白酶结合滚揉处理对马肉嫩度的影响[J].食品与发酵工业,2014,40(12):230-234
- JIANG Xiao-feng, LI Fang, REN Wen-wen, et al. Effects of papain combined with rolling treatment on horse meat tenderness [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(12): 230-234
- [5] 冯宪超,周光宏.快速冷冻工艺对牛肉品质和组织结构的影响[J].食品科学,2016,37(19):1-7
- FENG Xian-chao, ZHOU Guang-hong. Effects of fast freezing on the quality and microstructure of beef [J]. Food Science, 2016, 37(19): 1-7
- [6] 周珠法.响应面法优化木瓜蛋白酶嫩化牛肉工艺[J].食品工业科技,2018,2:86-91
- ZHOU Zhu-fa. Optimization of beef tenderizing technology with papain by response surface methodology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 2: 86-91
- [7] 崔春,丛懿洁,孙为正,等.加酶腌制对冻藏猪肉品质的影响[J].现代食品科技,2013,10:118-123
- CUI Chun, CONG Yi-jie, SUN Wei-zheng, et al. Effects of the addition of different proteases on properties of frozen pork in the curing process [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 10: 118-123
- [8] Abdel-Naeem H H S, Mohamed H M H. Improving the physico-chemical and sensory characteristics of camel meat burger patties using ginger extract and papain [J]. Meat Science, 2016, 8: 52-60
- [9] 张成云,何兴兴,庞广昌,等.不同温度贮藏对宰后猪里脊肉乳酸代谢通量的影响[J/OL].食品科学:1-11[2019-10-29].  
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20191012.1041.012.html>
- ZHANG Cheng-yun, HE Xing-xing, PANG Guang-chang, et al. Effects of different temperature storage on lactic acid metabolism network flux in post-mortem pork [J/OL]. Food science: 1-11[2019-10-29].  
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20191012.1041.012.html>
- [10] 丛懿洁,孙为正,崔春,等.腌制过程中添加木瓜蛋白酶对猪肉糜的影响[J].食品工业科技,2013,34(12):292-295
- CONG Yi-jie, SUN Wei-zheng, CUI Chun, et al. Effects of papain on the minced pork during the curing process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(12): 292-295
- [11] Xia X F, Kong B H, Liu J, et al. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 46(1): 280-286
- [12] 常海军,唐翠,唐春红.不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J].食品科学,2014,35(10):1-5
- CHANG Hai-jun, TANG Cui, TANG Chun-hong. Effects of different thawing methods on pork quality [J]. Food Science, 2014, 35(10): 1-5
- [13] Shin H G, Choi Y M, Kim H K, et al. Tenderization and fragmentation of myofibrillar proteins in bovine longissimus dorsi muscle using proteolytic extract from sarcodon aspratus [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(8): 1389-1395
- [14] 杨震,贡慧,刘梦,等.辅料配比及烹饪方式对速冻羊肉饼品质的影响[J].肉类研究,2018,32(1):23-29
- YANG Zhen, GONG Hui, LIU Meng, et al. Effects of auxiliary materials and cooking conditions on quality of quick-frozen mutton patties [J]. Meat Research, 2018, 32(1): 23-29
- [15] 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
- [16] 张春晖,李侠,李银,等.低温高湿变温解冻提高羊肉的品质[J].农业工程学报,2013,29(6):267-273
- ZHANG Chun-hui, LI Xia, LI Yin, et al. Low-variable temperature and high humidity thawing improves lamb quality [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(6): 267-273
- [17] Whipple G, Koochmaria M. Freezing and calcium chloride marination effects on beef tenderness and calpastatin activity [J]. Journal of Animal Science, 1992, 70(10): 3081-3085
- [18] Jay B, Fox JR. The Pigments of Meat [M]. The Science of Meat and Meat Products, 1987: 193-216
- [19] 李霄,史秋峰,王慧蓉,等.正交实验法优化鸡肉丸加工工艺[J].食品工业科技,2012,33(24):266-268
- LI Xiao, SHI Qiu-feng, WANG Hui-rong, et al. Optimization by orthogonal array design of chicken meatballs' processing [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(24): 266-268
- [20] 崔春,赵谋明,刘珊,等.低值鱼蛋白酶解产物对酱香型美拉

- 德反应产物风味的影响[J].现代食品科技,2006,2:9-12  
CUI Chun, ZHAO Mou-ming, LIU Shan, et al. The effect of different low-valued fish hydrolysates on sauce flavor synthesis by maillard reaction [J]. Modern Food Science and Technology, 2006, 2: 9-12
- [21] 林婉玲,杨贤庆,李来好,等.脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J].现代食品科技,2013,29(1):1-7  
LIN Wan-ling, YANG Xian-qing, LI Lai-hao, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of crisp grass carp [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(1): 1-7
- [22] 胡芬,李小定,熊单柏,等.5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J].食品科学,2011,32(11):69-73  
HU Fen, LI Xiao-ding, XIONG Dan-bai, et al. Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components [J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-73
- [23] 柳艳霞,张豪,赵莉君,等.木瓜蛋白酶嫩化调理猪排工艺条件的优化[J].现代食品科技,2018,34(8):172-179  
LIU Yan-xia, ZHANG Hao, ZHAO Li-jun, et al. Optimization for tenderization process of conditioning pork chop by papain [J]. Modern Food Science & Technology, 2018, 34(8): 172-179
- [24] 杨艳,于功明,王成忠.木瓜蛋白酶对牛肉干品质的影响[J].肉类工业,2009,7:48-51  
YANG Yan, YU Gong-ming, WANG Cheng-zhong. Effect of papain on nature construction of beef jerky [J]. Meat Industry, 2009, 7: 48-51
- [25] 明建,曾凯芳,李洪军.木瓜蛋白酶嫩化牛肉效果的研究[J].食品科学,2009,30(7):210-214  
MING Jian, ZENG Kai-fang, LI Hong-jun. Study on effects of papain treatment on tenderness of beef [J]. Food Science, 2009, 30(7): 210-214
- [26] Hoffman L C, Kroucamp M, Manley M. Meat quality characteristics of springbok (*Antidorcas masupialis*). 4: Sensory meat evaluation as influenced by age, gender and production region [J]. Meat Science, 2007, 76(4): 774-778
- [27] Oltra O R, Farmer L J, Gordon A W, et al. Identification of sensory attributes, instrumental and chemical measurements important for consumer acceptability of grilled lamb longissimus lumborum [J]. Meat Science, 2015, 100(1): 97-109

---

(上接第 97 页)

- [18] 赵翠,田英姿,英犁,等.新疆杏和华北杏果实品质的比较分析[J].现代食品科技,2014,30(7):286-291  
ZHAO Cui, TIAN Ying-zi, YING Li, et al. Analysis of fruit quality of Xinjiang apricot and north China apricot [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(7): 286-291
- [19] 张倩茹,尹蓉,李捷,等.不同杏品种果仁油脂的脂肪酸组成分析[J].中国粮油学报,2018,33(5):37-42,48  
ZHANG Qian-ru, YIN Rong, LI Jie, et al. Analysis on composition of fatty acid in kernel oil of different apricot varieties [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(5): 37-42, 48
- [20] 陈毅琼.杏不同品种果仁主要营养成分比较[D].杨凌:西北农林科技大学,2015  
CHEN Yi-qiong. Comparison of main nutrient components of different apricot kernels [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2015
- [21] 孙家正,张大海,张艳敏,等.新疆栽培杏品种杏仁油脂脂肪酸组成及其遗传多样性[J].园艺学报,2011,38(2):251-256  
SUN Jia-zheng, ZHANG Da-hai, ZHANG Yan-min, et al. Genetic diversity and constituents of fatty acid in almond oil in southern Xinjiang apricot cultivars [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(2): 251-256
- [22] 田洪磊,詹萍.新疆小白杏杏仁油理化特性及其脂肪酸组成分析研究[J].粮油加工,2008,2:68-70  
TIAN Hong-lei, ZHAN Ping. Analysis of physicochemical properties and fatty acid composition of almond oil from xiaobai almond in Xinjiang [J]. Cereals and Oils Processing, 2008, 2: 68-70