

木瓜蛋白酶与超高压技术嫩化驼肉的研究

孙树远¹, 陈琪¹, 何静², 王宇强², 吉日木图^{1,2*}

(¹内蒙古农业大学食品科学与工程学院 呼和浩特 010018

²中国-蒙古国生物高分子应用“一带一路”联合实验室 呼和浩特 010018)

摘要 研究木瓜蛋白酶和超高压嫩化处理对双峰驼腱子肉的嫩度及营养品质的影响。对木瓜蛋白酶浓度、溶剂 pH 值、嫩化温度、嫩化时间、超高压压力水平、压力时间进行单因素实验,通过测定骆驼肉的蒸煮损失、系水力、pH 值、色泽、质构特性和最大剪切力,筛选两种处理方式嫩化骆驼肉的最佳条件。通过 $L_9(3^4)$ 正交试验筛选出驼肉的最佳嫩化工艺,结果表明:驼肉经木瓜蛋白酶和超高压嫩化处理后嫩度均有所提高,木瓜蛋白酶的最佳嫩化条件为:酶浓度 120 U/mL,溶剂 pH 6,嫩化温度 55 °C、嫩化时间 2 h;超高压最佳嫩化条件为:压力 250 MPa、处理时间 20 min。经木瓜蛋白酶嫩化的驼肉剪切力有明显降低,超高压嫩化的效果虽没有酶嫩化效果明显,但能较好地保护肉中的营养物质。研究结果为畜禽肉的相关嫩化技术的应用提供参考依据,也为后续驼肉及其相关产品的开发奠定了基础。

关键词 木瓜蛋白酶;超高压;驼肉;嫩化处理

文章编号 1009-7848(2023)04-0239-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.04.023

我国是世界上双峰驼的主要分布区域之一,目前全国约有骆驼 33 万多峰,主要分布在新疆、内蒙古、甘肃、青海等地。双峰驼平均每只可产肉 230 kg 左右,最高可达 400 kg 以上^[1]。从营养角度分析,驼肉中的水分含量为 70%~77%,还含有 18%~23% 的蛋白质和 1%~1.4% 的灰分^[2-3],是一种典型的高蛋白、高水分的瘦型肉类。驼肉中的脂肪含量为 1.1%~4.2%^[4],与其它红肉类相比,骆驼肉中所含营养种类更齐全,蛋白质含量较丰富,且脂肪含量和胆固醇含量较低,并含有多种人体必需的脂肪酸、矿物质和维生素等,因此可将骆驼肉视为对人类健康有价值的肉类来源。然而,由于驼肉中的肌纤维较多且粗,导致驼肉硬度较大,嫩度较差,不易咀嚼,使骆驼肉的消费受限。因此需要解决此问题,以提高消费者对骆驼肉的接受度,对骆驼肉的嫩化研究具有重要意义。

超高压技术利用帕斯卡定律,将食品密封于耐高压的弹性容器内,以惰性气体、水或油等流体为传递压力的介质,对物料施加压力(100~1 000 MPa),并维持一段时间,以改变食品物化特性和

化学反应速度的一种加工技术^[5-6],进而达到灭菌、物料改性和改变物料的某些理化反应速度的目的。在各种蛋白酶中,木瓜蛋白酶是从木瓜的根、茎、叶和果实中提取的、水解能力较强的、纯天然的一类巯基蛋白酶^[7],主要对肌肉中肌动球蛋白、胶原蛋白和弹性蛋白组织起作用,既能将肌动球蛋白分解为肌动蛋白和肌球蛋白,又能将肉中结缔组织的结构特异性水解而达到嫩化肉类的目的^[8-9]。其安全、廉价,常用于肉类嫩化剂的研究。

本研究采用木瓜蛋白酶和超高压技术对驼肉进行嫩化处理,通过测定剪切力、质构特性、失水率、持水力、pH 值、颜色以及微观结构等理化指标,研究不同加工处理方式对驼肉嫩度及其它品质特性的影响,探寻驼肉的最佳嫩化处理条件,使驼肉更佳鲜美柔嫩。

1 材料与方法

1.1 材料

双峰驼肉:由内蒙古骆驼研究院提供,原料肉取自内蒙古自治区阿拉善双峰驼,在屠宰后 24 h 内获得,获得后放入实验室-20 °C 冰箱中保存待用。

木瓜蛋白酶(800 U/mg),北京吉美生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

HPP600/5L 超高压食品加工设备,包头科发

收稿日期:2022-04-06

基金项目:内蒙古关键技术攻关计划项目(2019GG359);
国家重点研发计划项目(2020YFE0203300)

第一作者:孙树远,男,硕士生

通信作者:吉日木图 E-mail: yeluotuo1999@vip.163.com

食品机械厂;Kjeltec 8100 型新一代凯氏定氮仪,丹麦 FOSS 分析仪器公司;Minolta CR-5 型色差仪,日本 Konica Minolta 公司;FE28 台式 pH 计,瑞士 Mettler Toledo 仪器公司;DHG-9245A 型电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;EX224HZ 电子天平,奥豪斯仪器(常州)有限公司;Centrifuge 58048 高速冷冻离心机,德国 Eppendorf 公司;JJ-2 高速组织捣碎机,上海乔跃电子科技有限公司;Soxtec8000 型索氏提取仪,福斯分析仪器公司;TA-XT2i 型物性测定仪,英国 Stable Micro System 有限公司;数字显示温度计,美国 Delta TRAK 公司;SX2-8-10T2 马弗炉,上海博讯实业有限公司;Milli-Q 超纯水净化仪,美国 Millipore 公司;HH-S1-Ni 型电热恒温水浴锅,北京长安科学仪器厂;封闭电炉,上海力辰邦西仪器科技有限公司;电磁炉,浙江苏泊尔股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理 将驼肉用水清洗干净,去除所有可见脂肪,将肉切成长方形肉块(2 cm × 4 cm × 6 cm),每块约 100 g。

1.3.2 木瓜蛋白酶嫩化处理单因素实验参数 使用磷酸缓冲液配制一定酶活力的木瓜蛋白酶溶液 100 mL,将木瓜蛋白酶溶液按每 100 g 肉注射 20 mL 的量,使用 1 mL/cm³ 的注射针将酶溶液均匀注射到肉块中。注射后,将肉放入真空包装袋中,使用真空包装机密封,去除袋中空气。将密封后的驼肉样品置于恒温水浴锅内,按设定的温度与时间进行嫩化处理,同时以未处理的肉为对照组进行空白对照试验,进行木瓜蛋白酶浓度、木瓜蛋白酶溶剂 pH 值、嫩化温度和嫩化时间的单因素实验,测定相应理化指标以确定其最佳嫩化条件。配制酶浓度分别为 40, 80, 120, 160, 200 U/mL (0.005%~0.025%),溶剂 pH 值分别为 4, 5, 6, 7, 8 的磷酸盐缓冲液,嫩化温度分别为 45, 50, 55, 60, 65 °C,嫩化时间分别为 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 h 进行单因素实验。

1.3.3 木瓜蛋白酶最佳嫩化处理条件的确定

在单因素实验结果的基础上,采用 L₉(3⁴) 正交试验(表 1),以最大剪切力为指标,研究不同木瓜蛋白酶处理参数对驼肉嫩度的影响,确定最佳的木

表 1 木瓜蛋白酶嫩化条件因素水平表

水平	因素			
	A(木瓜蛋白酶浓度)/U·mL ⁻¹	B(木瓜蛋白酶溶剂 pH 值)	C(嫩化温度)/°C	D(嫩化时间)/h
1	80	5	50	1.5
2	120	6	55	2.0
3	160	7	60	2.5

瓜蛋白酶嫩化处理条件,以得出最佳嫩化工艺。

1.3.4 超高压嫩化处理单因素实验参数 将处理好的驼肉块真空密封后放入 5 L 的超高压容器中,立即进行 HPP 处理。以水为传压介质,高压处理温度为 20 °C,高压处理后样品的温度范围为 20~27 °C,以 5 MPa/s 的速度达到需要的压力。在 HPP 处理 0~30 min 后,自动减压,减压时间小于 10 s。选择一定的压力值处理一定时间,以未处理的驼肉为对照组,分别进行超高压压力值和处理时间的单因素实验,测定相应理化指标以确定其最佳嫩化条件。其中压力值选择 100, 150, 200, 250, 300 MPa,处理时间选择 5, 10, 15, 20, 25 min 进行单因素实验。

1.3.5 不同处理条件下驼肉基本特性的测定

1.3.5.1 驼肉最大剪切力(MSF)的测定 按照 NY/T 1180-2006^[10]中的方法进行测定。取适量大小的肉块置于蒸煮袋中,尽量将蒸煮袋中的空气排出,将袋口密封,在 80 °C 恒温水浴锅中加热,当肉中心温度达到 70 °C 时,维持约 30 min,然后冷却至室温取样。沿着肌纤维方向切取 1 cm 厚,1 cm 宽的肉条,然后在 TA-XT2i 型物性仪上测定其剪切力,重复测量 5 次,取其平均值。

1.3.5.2 驼肉质构特性的测定^[11] 将驼肉经 100 °C 水浴蒸煮 5 min 后切成 2 cm × 1 cm × 0.8 cm 的肉块,用质构分析仪对驼肉样品硬度、弹性、咀嚼度和内聚性等参数进行测定。预设参数如下:专用探头为 TA/5 柱形探头(直径 5 mm),测试前速度为 2 mm/s,测试中速度为 1 mm/s,测试后速度为 1 mm/s,目标参数为变形量 40%,触发力 5 g。

1.3.5.3 蒸煮损失(CL)的测定^[12] 对加热前的肉样进行称重作为初始质量,置于 95 °C 恒温水浴锅中,当样品中心温度达到 85 °C 时取出肉样,冷却

至常温后,用吸水纸吸干肉样表面的水分后称重并记录,作为最终质量,使用公式(1)计算蒸煮损失:

$$CL = \frac{\text{初始质量} - \text{最终质量}}{\text{初始质量}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.5.4 系水力(WHC)的测定^[13] 采用常压干燥法测定含水量(MC)。称取 3 g 碎样品,置于 102 °C 烘箱中,直至质量恒定。使用公式(2)计算含水量:

$$MC = \frac{\text{干燥前质量} - \text{干燥后质量}}{\text{干燥前质量}} \times 100\% \quad (2)$$

用剪刀将 5 g 粉碎的样品切碎,在 20 °C 下 4 000 r/min 离心 20 min,去除渗出的水,并根据离心前、后质量之间的差值。使用公式(3)计算系水力:

$$CL = \frac{\text{离心前质量} - \text{离心后质量}}{\text{离心前质量}} \times 100\% \quad (3)$$

1.3.5.5 pH 值的测定 样品的 pH 值参照 GB 5009.237-2016^[14]中规定方法进行测定。

1.3.5.6 色泽测定^[12] 室温下,将经过处理的样品从真空包装中取出,使用 YJ-388A 反射模式的色彩色差计测量色泽,测量面积为 16 mm²(观察角度为 10°,光源为 D65)。测定驼肉的亮度值(L^*)、红色值(a^*)和黄色度值(b^*)。

1.3.6 统计分析 所有来自 3 个重复试验的数据均以“平均值±标准差(SD)”表示,并使用 IBM SPSS 22.0 版(IBM/SPSS Inc.,USA)的 Duncan 多重检验进行评估($P < 0.05$ 被认为具有统计学意义)。

1.3.7 肌原纤维超微观结构分析^[15] 试验确定驼肉的最佳嫩化工艺条件后,将在最佳嫩化条件下处理后的驼肉与未处理的驼肉进行肌原纤维超微观结构分析,以确定嫩化前、后驼肉的微观结构变化。将肉样在 10% 甲醛溶液(1:10)中固定 48 h,然后在 -40 °C 下冷冻。冷冻样品与肌纤维颗粒垂直切片,切割至 10 μm 的厚度。将样品安装在涂有 APES 涂层的玻璃载玻片上,晾干 5 min。

染色步骤如下:1)用苏木精染料染色 3 min;2)用 70% 和 80% 乙醇梯度脱水;3)用 85% 曙红溶液染色 30 s;4)分别用 80%,90%,100% 的乙醇和二甲苯脱水。采用中性胶封条,在显微镜下观察制备的载玻片,以评估细胞形态。

1.3.8 SDS-PAGE 凝胶电泳分析^[16] 利用 SDS-PAGE 凝胶电泳分析法分析肉样中的肌原纤维蛋白。采用 5% 的浓缩胶和 8% 的分离胶体系进行电泳分离,用 0.5 mol/L 的乙酸将样品配制成 0.5 mg/mL 的胶原蛋白溶液,上样量为 5 μL。分别采用浓缩胶电压 80 V,分离胶电压 100 V 进行电泳。电泳结束后,使用考马斯亮蓝 R-250 对胶片进行染色,并用乙醇-乙酸脱色液进行脱色,最后使用凝胶成像仪观察分析染色结果。

2 结果与分析

2.1 不同酶浓度对驼肉嫩度的影响

不同酶浓度对驼肉品质的影响结果见表 2。由表 2 可知,使用木瓜蛋白酶嫩化处理后驼肉的品质显著提高,其中驼肉的蒸煮损失随着木瓜蛋白酶浓度的增加呈先降低后升高的趋势,酶浓度为 120 U/mL 时,驼肉的蒸煮损失最低,最大减少了 16.3%。而其肌肉系水力先升高后降低,最大增加了 21.1%。适当浓度的酶处理对驼肉的品质可起到积极作用,而酶添加过量,会导致肉的肌纤维间隙过大,水分流失,系水力下降,蒸煮损失增加^[17]。马欣欣等^[18]探究了 0~0.12% 的木瓜蛋白酶对驼肉嫩度的影响,结果表明将驼肉使用木瓜蛋白酶嫩化处理后,其失水率最大降低了 69.31%,系水力最大增加了 12.15%,本试验结果与其基本一致。此外,经嫩化处理后驼肉的硬度、内聚性、咀嚼性显著降低,弹性有所增加,说明木瓜蛋白酶嫩化处理后驼肉的肉质变得柔嫩,且抵抗受损,保持自身完整性的能力有所提高。经木瓜蛋白酶处理后驼肉的 L^* 值和 b^* 值显著增加, a^* 值显著降低。并且经木瓜蛋白酶处理后的驼肉与未处理组相比颜色变暗、发淡,不鲜艳。分析颜色变化可能是由于该木瓜蛋白酶嫩化肉质的同时,破坏了肉的细胞膜,肌原纤维受损,使得肉中红细胞被破坏,血红蛋白流失导致。

不同酶浓度对驼肉最大剪切力的影响结果见图 1。由图 1 可知,随着木瓜蛋白酶浓度的增加,驼肉的最大剪切力先降低后升高。未处理组的驼肉剪切力最高为 29.07 kg,经木瓜蛋白酶嫩化后的驼肉剪切力与未处理组相比明显降低。木瓜蛋白酶浓度为 120 U/mL 时,驼肉的剪切力最低,与

未处理组相比降低了47.2%。Cheng等^[19]发现使用40 U/g的木瓜蛋白酶处理马肉后,其剪切力降低了73.35%;Ma等^[20]使用80 U/mL的木瓜蛋白酶对牦牛肉进行嫩化处理后发现牦牛肉的剪切力降低42.95%。本研究结果与上述两位研究人员的结论基本一致,说明木瓜蛋白酶可以改善驼肉嫩度,对降低驼肉的剪切力有明显作用。木瓜蛋白酶的嫩化作用可归因于其分解肌原纤维蛋白和结缔组织的能力,由于其降解肌纤维蛋白质或结缔组织蛋白质,并且使肌原纤维结构和肌肉的结缔组织被破坏而增加驼肉嫩度。然而由于酶添加过量和浓度过大,驼肉组织中的蛋白结构被过度裂解且结缔组织过分降解,导致肌肉组织的超微网状结构被破坏,使剪切力上升。因此,本试验最佳的酶添加量为120 U/mL。

表2 木瓜蛋白酶浓度对驼肉品质的影响

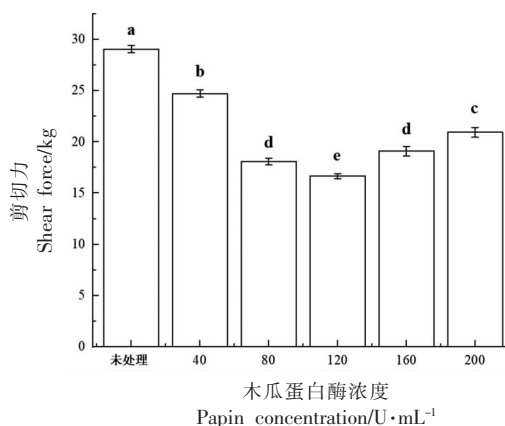
Table 2 Effect of papain concentration on the quality of camel meat

指标	未处理	木瓜蛋白酶浓度/U·mL ⁻¹				
		40	80	120	160	200
蒸煮损失/%	47.61 ± 2.57 ^a	43.09 ± 1.84 ^b	42.27 ± 0.93 ^{ab}	39.85 ± 1.55 ^d	40.84 ± 3.45 ^{cd}	42.03 ± 3.91 ^{abc}
系水力/%	60.31 ± 0.94 ^c	64.92 ± 0.27 ^d	68.32 ± 0.49 ^{bc}	73.04 ± 1.31 ^a	69.57 ± 0.90 ^b	67.45 ± 0.46 ^c
pH	6.08 ± 0.02 ^e	6.31 ± 0.01 ^a	6.32 ± 0.01 ^a	6.18 ± 0.00 ^d	6.28 ± 0.01 ^c	6.35 ± 0.02 ^a
L*	38.86 ± 0.09 ^f	40.12 ± 0.10 ^c	41.62 ± 0.09 ^d	51.95 ± 0.05 ^a	47.54 ± 0.05 ^b	44.54 ± 0.14 ^c
a*	10.50 ± 0.14 ^d	11.32 ± 0.09 ^c	11.27 ± 0.09 ^c	12.95 ± 0.14 ^a	9.07 ± 0.04 ^e	11.75 ± 0.08 ^b
b*	6.09 ± 0.06 ^d	8.69 ± 0.10 ^c	8.66 ± 0.06 ^c	12.69 ± 0.03 ^a	8.58 ± 0.03 ^c	10.43 ± 0.04 ^b
硬度/g	4 813.88 ± 207.44 ^a	3 612.21 ± 225.48 ^b	3 096.36 ± 332.49 ^{cd}	2 813.85 ± 169.65 ^d	3 134.32 ± 173.82 ^{cd}	3 408.45 ± 268.37 ^{bc}
弹性	0.49 ± 0.01 ^d	0.55 ± 0.04 ^c	0.56 ± 0.04 ^c	0.72 ± 0.03 ^a	0.67 ± 0.02 ^b	0.63 ± 0.01 ^b
内聚性	0.59 ± 0.02 ^a	0.57 ± 0.03 ^{ab}	0.56 ± 0.01 ^{ab}	0.50 ± 0.07 ^b	0.52 ± 0.04 ^{ab}	0.54 ± 0.01 ^{ab}
咀嚼度	793.26 ± 154.31 ^a	687.15 ± 73.40 ^{ab}	519.31 ± 177.37 ^{bc}	378.28 ± 43.12 ^c	435.56 ± 157.56 ^c	470.03 ± 61.71 ^{bc}

注:不同字母表示具有显著性差异, $P<0.05$ 。

2.2 不同酶溶剂 pH 值对驼肉嫩度的影响

表3为不同酶溶剂pH值对驼肉嫩度的影响,结果表明,使用不同pH值的磷酸盐缓冲液溶解木瓜蛋白酶后处理的驼肉品质差异显著。随着pH值的升高,蒸煮损失呈现先降低后升高的趋势,pH值为6时,驼肉的蒸煮损失最低,与空白组相比减少了19.28%。而其肌肉系水力呈相反趋势,与空白组相比最大增加了13.50%。对比其它数据,不同pH值嫩化处理后驼肉的硬度、内聚性、咀嚼性均有所降低,且弹性显著增加,说明驼



注:不同字母表示具有显著性差异, $P<0.05$ 。

图1 木瓜蛋白酶浓度对驼肉最大剪切力的影响

Fig.1 Effect of papain concentration on the maximum shearing force of camel meat

肉的品质得到了显著改善。

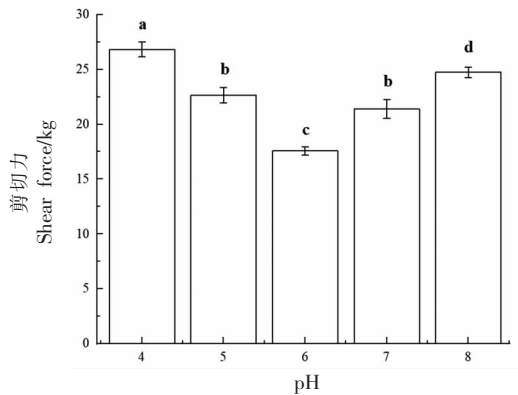
不同酶溶剂pH值对驼肉最大剪切力的影响结果见图2。随着酶溶剂pH值的增加,驼肉的最大剪切力先减小后增大。木瓜蛋白酶溶剂pH值为6时,样品的剪切力达到最小值,嫩度最好,与未处理组相比降低了39.53%。由于木瓜蛋白酶的最适pH值为5~7,当溶剂的pH值为6时,木瓜蛋白酶的酶活力最大,酶解最彻底,所发挥的酶活性最高,因此剪切力最小,嫩化效果较充分。张海燕^[21]发现使用pH值为6的木瓜蛋白酶溶液处理

表 3 木瓜蛋白酶溶剂 pH 值对驼肉品质的影响

Table 3 Effect of pH value of papain solvent on quality of camel meat

指标	木瓜蛋白酶溶剂 pH 值				
	4	5	6	7	8
蒸煮损失/%	43.03 ± 0.37 ^a	40.25 ± 0.68 ^b	38.43 ± 1.19 ^c	39.53 ± 0.73 ^{bc}	42.12 ± 0.69 ^a
系水力/%	62.86 ± 0.32 ^d	66.36 ± 1.82 ^b	70.58 ± 1.24 ^a	68.45 ± 0.87 ^{ab}	63.79 ± 0.47 ^c
pH 值	5.94 ± 0.02 ^d	6.16 ± 0.01 ^c	6.32 ± 0.01 ^a	6.26 ± 0.01 ^b	6.33 ± 0.02 ^a
<i>L</i> [*]	39.22 ± 0.17 ^d	44.54 ± 0.08 ^{bc}	43.97 ± 0.26 ^c	48.18 ± 0.59 ^a	45.52 ± 1.04 ^b
<i>a</i> [*]	9.04 ± 0.11 ^c	11.12 ± 0.78 ^{ab}	11.46 ± 0.11 ^{ab}	12.30 ± 1.23 ^a	10.36 ± 0.42 ^{bc}
<i>b</i> [*]	6.89 ± 0.32 ^c	9.03 ± 0.55 ^a	8.91 ± 0.47 ^a	7.27 ± 0.68 ^{bc}	8.22 ± 0.09 ^{ab}
硬度/g	3 629.21 ± 107.89 ^a	3 135.75 ± 129.07 ^b	2 790.10 ± 255.38 ^c	2 951.36 ± 147.20 ^{bc}	3 146.73 ± 224.21 ^b
弹性	0.56 ± 0.04 ^c	0.79 ± 0.01 ^{ab}	0.84 ± 0.02 ^a	0.80 ± 0.03 ^a	0.73 ± 0.04 ^b
内聚性	0.51 ± 0.03 ^{ab}	0.55 ± 0.02 ^a	0.55 ± 0.03 ^a	0.49 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.04 ^b
咀嚼度	635.70 ± 52.73 ^a	514.89 ± 26.10 ^b	484.30 ± 22.83 ^b	495.03 ± 16.74 ^b	492.99 ± 25.70 ^b

注:不同字母表示具有显著性差异, $P < 0.05$ 。



注:不同字母表示具有显著性差异, $P < 0.05$ 。

图 2 木瓜蛋白酶溶剂 pH 值对驼肉最大剪切力的影响

Fig.2 Effect of pH value of papain solvent on the maximum shearing force of camel meat

牛肚时,其剪切力最低;明建等^[22]探究不同 pH 值的木瓜蛋白酶对牛肉的嫩化效果,发现木瓜蛋白酶溶液的 pH 值为 5 时,牛肉的剪切力降低了 47%。本研究结果与上述两位研究人员的结论基本一致,说明溶剂的 pH 值在木瓜蛋白酶的最适范围内时,嫩化效果较明显。因此,本试验最佳的溶剂 pH 值为 6。

2.3 不同嫩化温度对驼肉嫩度的影响

不同嫩化时间对驼肉品质的影响见表 4。由表 4 可知,嫩化时间为 2 h 时,驼肉的品质得到明显改善。与未处理组相比其蒸煮损失减小了 14.14%,系水力增加了 7.58%。张海燕^[21]探究了不同嫩化温度对牛肚品质的影响,通过将牛肚在

表 4 嫩化温度对驼肉营养品质的影响

Table 4 Effect of tenderization temperature on the quality of camel meat

指标	嫩化温度/°C				
	45	50	55	60	65
蒸煮损失/%	44.91 ± 0.57 ^a	42.19 ± 0.26 ^c	40.82 ± 0.40 ^d	43.06 ± 0.99 ^{bc}	43.88 ± 0.29 ^{ab}
系水力/%	61.05 ± 0.25 ^d	63.90 ± 0.26 ^b	66.20 ± 0.37 ^a	63.11 ± 0.96 ^{bc}	62.02 ± 0.87 ^{cd}
pH 值	6.11 ± 0.03 ^c	6.06 ± 0.01 ^d	6.30 ± 0.02 ^b	6.37 ± 0.02 ^a	6.40 ± 0.01 ^a
<i>L</i> [*]	37.42 ± 0.15 ^c	41.06 ± 0.06 ^b	43.01 ± 0.22 ^a	36.89 ± 0.29 ^d	34.41 ± 0.06 ^c
<i>a</i> [*]	11.66 ± 0.15 ^a	11.29 ± 0.09 ^c	11.32 ± 0.11 ^{bc}	11.64 ± 0.27 ^{ab}	9.85 ± 0.14 ^d
<i>b</i> [*]	7.17 ± 0.05 ^c	8.71 ± 0.08 ^a	8.85 ± 0.11 ^a	7.80 ± 0.23 ^b	6.46 ± 0.03 ^d
硬度/g	3 350.94 ± 294.59 ^a	2 448.96 ± 213.75 ^{bc}	1 791.94 ± 256.72 ^d	2 190.19 ± 173.22 ^{cd}	2 687.98 ± 206.45 ^b
弹性	0.62 ± 0.01 ^b	0.74 ± 0.02 ^a	0.65 ± 0.04 ^b	0.53 ± 0.02 ^c	0.55 ± 0.03 ^c
内聚性	0.58 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.03 ^c	0.43 ± 0.03 ^d	0.47 ± 0.02 ^{cd}	0.55 ± 0.02 ^b
咀嚼度	660.35 ± 146.88 ^a	577.89 ± 47.43 ^{ab}	483.94 ± 63.14 ^c	526.37 ± 122.93 ^c	623.47 ± 40.31 ^{ab}

注:不同字母表示具有显著性差异, $P < 0.05$ 。

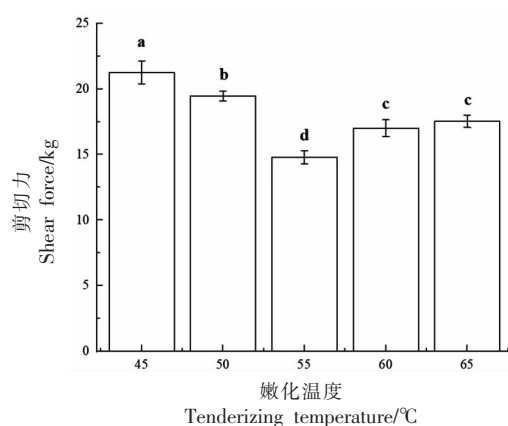
30~70 °C的温度下嫩化,得出结论为随着温度的升高,酶解作用不断增强,酶活力不断加大,系水力升高;当酶解温度过低或过高时,酶活力受到一定程度的抑制,导致酶活力下降,水分流失,嫩化效果不佳,本试验结果与其结论相同。

图3为不同嫩化温度对驼肉最大剪切力的影响结果。分析图3可知,随着嫩化温度的升高,驼肉的最大剪切力呈先降低后升高的趋势。嫩化温度为55 °C,样品的剪切力达到最低值,为14.79 kg,与未处理组相比降低了49.12%。由于木瓜蛋白酶的最佳作用温度为50~60 °C,温度过低,无法充分激活木瓜蛋白酶的活性,使其未能有效降低驼肉剪切力;嫩化温度过高,超出其最适温度,导致木瓜蛋白酶高温失活,降低嫩化效果导致剪切力升高。因此,保持合适的温度以确保木瓜蛋白酶活性得到最大限度的发挥可充分提高驼肉嫩度。柳艳霞等^[23]探究了木瓜蛋白酶添加量、嫩化时间、嫩化温度对调理猪排嫩度的影响,与本研究结论基本一致。因此,最佳嫩化温度为55 °C。

2.4 不同嫩化时间对驼肉嫩度的影响

不同嫩化时间对驼肉品质的影响见表5。嫩化时间为2 h时,驼肉的品质得到了明显改善。与未处理组相比其蒸煮损失减小了14.14%,系水力增加了7.58%。Doneva等^[24]发现将火鸡肉经100 U/mL的木瓜蛋白酶嫩化处理24 h后,火鸡肉的系水力增加了25%,本试验结果与其结论基本一致。

不同嫩化时间对驼肉最大剪切力的影响结果见图4。随着嫩化时间的延长,驼肉的最大剪切力



注:不同字母表示具有显著性差异, $P<0.05$ 。

图3 嫩化温度对驼肉最大剪切力的影响

Fig.3 Effect of tenderization temperature on the maximum shearing force of camel meat

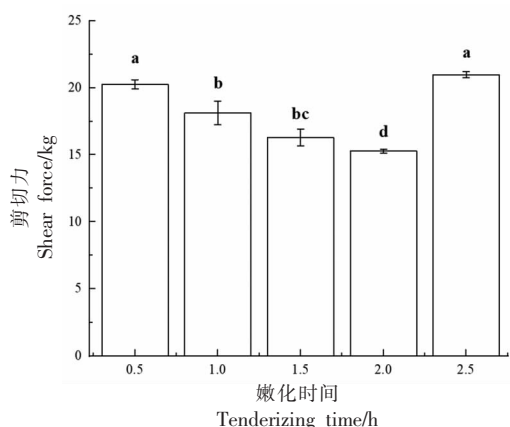
先降低后升高。向驼肉中注射120 U/mL的木瓜蛋白酶于55 °C下低温嫩化2 h时,样品的剪切力最低,与未处理组相比降低了46.67%。分析原因可能由于嫩化时间过短,木瓜蛋白酶发挥活性的时长不充分,导致嫩化效果不明显;嫩化时间过长,导致嫩化过度,破坏了驼肉的形态结构,并且低温蒸煮时长过长,导致驼肉的熟化程度加大,造成剪切力升高的现象。钜晓艳等^[25]探究了嫩化时间对鲈鱼嫩度及食用品质的影响,其研究结论与本文基本一致。然而所有处理组的剪切力与空白组相比均有不同程度的降低,说明嫩化时间的延长也可以提高驼肉嫩度。因此,本试验最佳的嫩化时间为2 h。

表5 嫩化时间对驼肉品质的影响

Table 5 Effect of tenderization time on the quality of camel meat

指标	嫩化时间/h				
	0.5	1	1.5	2	2.5
蒸煮损失/%	44.83 ± 0.64 ^a	43.78 ± 0.34 ^{ab}	41.39 ± 1.02 ^{bc}	40.88 ± 1.19 ^c	43.39 ± 0.72 ^{ab}
系水力/%	61.57 ± 0.76 ^d	62.66 ± 0.46 ^c	63.83 ± 0.35 ^b	64.88 ± 0.33 ^a	62.39 ± 0.45 ^{bc}
pH值	6.26 ± 0.02 ^d	6.40 ± 0.01 ^a	6.36 ± 0.02 ^b	6.34 ± 0.02 ^b	6.32 ± 0.01 ^c
L*	46.81 ± 0.12 ^a	42.63 ± 0.22 ^d	44.87 ± 0.13 ^b	43.68 ± 0.15 ^c	44.00 ± 0.08 ^c
a*	11.93 ± 0.4 ^c	11.19 ± 0.17 ^a	10.21 ± 0.18 ^c	11.43 ± 0.12 ^a	10.72 ± 0.05 ^b
b*	10.03 ± 0.05 ^a	8.92 ± 0.13 ^d	9.54 ± 0.09 ^c	9.97 ± 0.07 ^b	8.83 ± 0.05 ^d
硬度/g	2 623.76 ± 133.82 ^a	1 753.99 ± 195.3 ^{ab}	1 525.73 ± 228.98 ^b	1 081.87 ± 189.57 ^c	1 385.09 ± 254.73 ^{bc}
弹性	0.54 ± 0.03 ^c	0.53 ± 0.01 ^c	0.61 ± 0.02 ^b	0.64 ± 0.01 ^{ab}	0.66 ± 0.03 ^a
内聚性	0.53 ± 0.01 ^c	0.56 ± 0.01 ^{ab}	0.55 ± 0.04 ^{ab}	0.59 ± 0.02 ^b	0.67 ± 0.02 ^a
咀嚼度	819.34 ± 52.39 ^a	696.49 ± 75.30 ^b	369.12 ± 68.23 ^d	339.26 ± 42.39 ^d	513.09 ± 41.32 ^c

注:不同字母表示具有显著性差异, $P<0.05$ 。



注:不同字母表示具有显著性差异, $P<0.05$ 。

图 4 嫩化时间对驼肉最大剪切力的影响

Fig.4 Effect of tenderization time on the maximum shearing force of camel meat

2.5 木瓜蛋白酶最佳嫩化工艺正交试验结果

本试验在单因素实验的基础上,选取木瓜蛋白酶浓度、溶剂 pH 值、嫩化温度、嫩化时间 4 个影响因素进行 4 因素 3 水平的正交试验,以此来确定木瓜蛋白酶的最佳嫩化条件。

木瓜蛋白酶嫩化工艺正交试验结果见表 6,当木瓜蛋白酶浓度为 120 U/mL,溶剂 pH 值为 6,嫩化温度为 55 °C,嫩化时间为 2 h 时,达到最佳嫩

化工艺效果,其中酶浓度对剪切力的影响最大,嫩化温度和溶剂 pH 值次之,嫩化时间对驼肉剪切力的影响最小。

2.6 不同压力对驼肉嫩度的影响

表 7 为不同压力对驼肉品质的影响结果。随着压力的增加,驼肉的蒸煮损失先降低后升高,系水力呈现相反的趋势。压力为 250 MPa 时,驼肉的蒸煮损失最低,肌肉系水力最高。与未处理组相比其蒸煮损失减小了 9.7%,系水力增加了 4.69%。上述结果与 Yang 等^[26]和 Souza 等^[5]的研究结果一致, Yang 等^[26]发现同等条件下将香肠于 200 MPa 下处理 2 min,蒸煮损失平均降低了 2.8%;Souza 等^[5]将猪肉在 215 MPa 下超高压处理 15 s,发现处理后样品的系水力增加了 3.5%,嫩度提高了 30%。与未处理的样品相比,超高压嫩化处理后的驼肉硬度、内聚性显著降低,弹性显著提高;且驼肉的 L^* 值和 b^* 值略有升高,表明肉有漂白现象,与马汉军等^[27]的研究结果相似。此外,超高压处理后的样品 a^* 值显著高于经木瓜蛋白酶嫩化后的样品,说明超高压嫩化处理会对驼肉的色泽造成的影响更小,并对驼肉中的血红蛋白有一定保护作用。

不同压力对驼肉最大剪切力的影响结果见图

表 6 木瓜蛋白酶嫩化工艺正交试验结果

Table 6 Orthogonal test results of papain tenderization process

试验号	A	B	C	D	剪切力/kg
1	1	1	1	1	19.344
2	1	2	2	2	13.761
3	1	3	3	3	22.059
4	2	1	2	3	15.104
5	2	2	3	1	16.701
6	2	3	1	2	18.822
7	3	1	3	2	22.326
8	3	2	1	3	23.822
9	3	3	2	1	21.275
K_1	55.164	56.774	61.988	57.32	
K_2	50.627	54.284	50.14	54.909	
K_3	67.423	62.156	61.086	60.985	
k_1	18.388	18.925	20.663	19.107	
k_2	16.876	18.095	16.713	18.303	
k_3	22.475	20.719	20.362	20.328	
极差 R	5.599	2.624	3.95	2.205	
因素主次	A>C>B>D				
最优组合	A ₂ C ₂ B ₂ D ₂				

表7 压力值对驼肉品质的影响

Table 7 Effect of pressures levels on the quality of camel meat

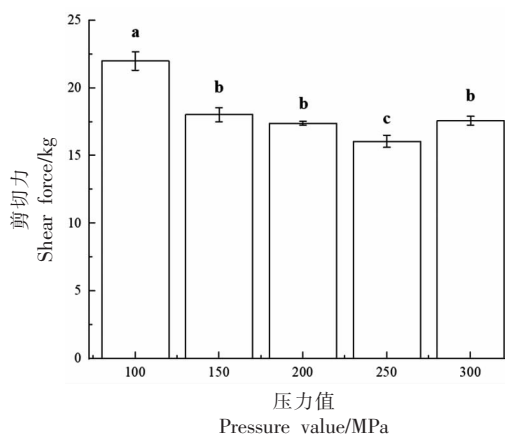
指标	压力/MPa				
	100	150	200	250	300
蒸煮损失/%	42.99 ± 0.84 ^a	42.15 ± 0.30 ^{ab}	41.51 ± 0.45 ^c	40.21 ± 0.22 ^d	42.61 ± 0.42 ^a
系水力/%	59.96 ± 0.15 ^d	62.83 ± 0.30 ^b	63.14 ± 0.54 ^b	65.01 ± 0.45 ^a	61.73 ± 0.43 ^c
pH	6.10 ± 0.00 ^b	6.07 ± 0.01 ^c	6.08 ± 0.01 ^c	6.12 ± 0.01 ^a	6.05 ± 0.01 ^d
<i>L</i> [*]	35.05 ± 0.07 ^d	38.94 ± 0.21 ^c	40.54 ± 0.13 ^b	42.89 ± 0.29 ^a	43.17 ± 0.29 ^a
<i>a</i> [*]	17.16 ± 0.11 ^c	16.47 ± 0.18 ^a	16.09 ± 0.14 ^b	16.95 ± 0.22 ^a	15.84 ± 0.15 ^c
<i>b</i> [*]	8.32 ± 0.07 ^d	9.02 ± 0.16 ^c	9.63 ± 0.11 ^b	10.05 ± 0.17 ^a	8.85 ± 0.08 ^c
硬度/g	3 653.24 ± 224.82 ^a	3 292.89 ± 320.08 ^{ab}	2 865.58 ± 287.50 ^b	2 346.00 ± 122.58 ^c	2 936.72 ± 215.69 ^b
弹性	0.67 ± 0.01 ^c	0.66 ± 0.02 ^c	0.69 ± 0.03 ^{bc}	0.74 ± 0.02 ^b	0.85 ± 0.03 ^a
内聚性	0.62 ± 0.00 ^c	0.63 ± 0.02 ^c	0.66 ± 0.02 ^{bc}	0.69 ± 0.04 ^b	0.74 ± 0.03 ^a
咀嚼度	711.29 ± 156.15 ^a	532.21 ± 43.48 ^b	423.19 ± 55.40 ^c	328.43 ± 28.77 ^c	371.98 ± 56.36 ^c

注:不同字母表示具有显著性差异, $P < 0.05$ 。

5,随着压力的增加,驼肉的最大剪切力呈现先降低后升高的趋势。与未处理组的驼肉相比,经超高压嫩化处理嫩化后的驼肉的剪切力均有一定程度的降低。压力为250 MPa时样品剪切力最低,与未处理组相比降低了47.47%。James等^[15]探究了超高压处理对热骨牛肉嫩度的影响,结果表明使用175,250 MPa的压力处理后,样品的嫩度分别提高了63.09%,67.92%;Otavio等^[28]使用100~400 MPa的压力范围对瘤牛肉进行嫩化处理,结果发现100,200 MPa压力下处理的样品剪切力都显著降低,200 MPa下样品的剪切力最低并且与空白组相比降低了21.1%,而在300,400 MPa压力下处理的样品剪切力随之升高。本研究结论与上述研究人员的研究结论基本一致,说明超高压可以在一定程度上提高驼肉的嫩度和品质,降低驼肉的剪切力,然而过高的压力会导致嫩化效果降低。由于高压可以减小肌肉组织中肌球蛋白分子间的氢键作用使分子间的相互作用逐渐减弱从而提高肉的嫩度,压力过高则会引起蛋白质变性和聚集,使剪切力上升。因此,本试验最佳的压力为250 MPa。

2.7 不同压力时间对驼肉嫩度的影响

表8为不同压力时间对驼肉品质的影响。压力时间为20 min时,驼肉的品质相对较好。与未处理组相比,其蒸煮损失减小了20.44%,系水力增加了10.63%。与未处理的样品相比,经250 MPa嫩化处理20 min后的驼肉硬度和内聚性最小,弹



注:不同字母表示具有显著性差异, $P < 0.05$ 。

图5 压力值对驼肉最大剪切力的影响

Fig.5 Effect of pressures levels on the maximum shearing force of camel meat

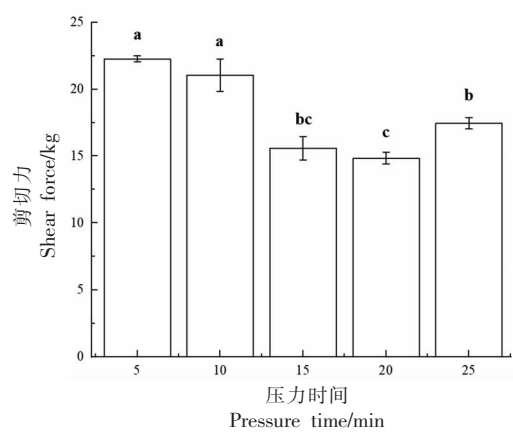
性也显著提高。此条件下样品的*L*^{*}值显著升高,表明肉的亮度增加;且*a*^{*}值和*b*^{*}值显著优于其它样品组,说明该条件下脂肪氧化程度较低,血红蛋白流失较少,颜色变化较小。

不同压力时间对驼肉最大剪切力的影响结果见图6。驼肉的最大剪切力随着压力时间的延长呈先降低后升高的趋势。压力时间为20 min时,样品的剪切力最低,与未处理组相比降低了50.91%。Gao等^[29]探究了不同压力水平和加压时间对鹅胸肉嫩度的影响,结果发现随着压力值和加压时间的增加,鹅胸肉剪切力最大降低了34.78%,且压力和加压时间对硬度值、蒸煮损失率和保水性均有显著影响,本研究结论与Gao等^[29]的研究结论

表 8 压力时间对驼肉品质的影响
Table 8 Effect of pressures time on the quality of camel meat

指标	压力时间/min				
	5	10	15	20	25
蒸煮损失/%	40.92 ± 0.45 ^b	42.41 ± 0.42 ^a	39.83 ± 0.31 ^c	37.88 ± 0.99 ^d	41.00 ± 0.11 ^b
系水力/%	59.10 ± 0.53 ^c	63.06 ± 0.83 ^b	64.12 ± 0.50 ^b	66.72 ± 0.69 ^a	57.81 ± 0.83 ^c
pH	6.16 ± 0.01 ^c	6.09 ± 0.01 ^d	6.16 ± 0.01 ^c	6.22 ± 0.00 ^b	6.39 ± 0.01 ^a
L*	37.15 ± 0.17 ^d	41.78 ± 0.22 ^c	41.52 ± 0.07 ^c	42.88 ± 0.12 ^a	42.46 ± 0.16 ^b
a*	14.27 ± 0.10 ^c	17.11 ± 0.21 ^b	18.31 ± 0.19 ^a	18.39 ± 0.16 ^a	18.64 ± 0.31 ^a
b*	7.34 ± 0.09 ^c	9.06 ± 0.11 ^b	10.39 ± 0.09 ^a	8.83 ± 0.12 ^b	10.62 ± 0.19 ^a
硬度/g	3 909.63 ± 360.66 ^a	3 836.20 ± 301.51 ^b	3 415.56 ± 126.16 ^c	2 758.48 ± 182.59 ^c	3 186.33 ± 202.05 ^d
弹性	0.75 ± 0.03 ^{ab}	0.74 ± 0.02 ^{ab}	0.83 ± 0.03 ^a	0.77 ± 0.02 ^b	0.71 ± 0.01 ^c
内聚性	0.64 ± 0.02 ^b	0.62 ± 0.02 ^b	0.61 ± 0.03 ^b	0.69 ± 0.02 ^a	0.65 ± 0.03 ^b
咀嚼度	799.66 ± 136.54 ^a	663.81 ± 127.10 ^{ab}	602.34 ± 40.33 ^{bc}	425.30 ± 55.84 ^c	568.57 ± 75.40 ^{bc}

注:不同字母表示具有显著性差异, $P < 0.05$ 。



注:不同字母表示具有显著性差异, $P < 0.05$ 。

图 6 压力时间对驼肉最大剪切力的影响

Fig.6 Effect of pressures time on the maximum shearing force of camel meat

一致。超压力处理过程会引起肌肉微观结构的损伤和失稳,以及肌节和肌肉细胞的收缩,加压时间

过长会导致肌内胶原纤维被破坏和断裂,使细胞极度脱水和老化,致使剪切力上升。因此,本试验最佳的压力时间为 20 min。

2.8 不同嫩化方法对驼肉肌纤维超微结构的影响

经不同嫩化方法处理的驼肉肌纤维超微结构的横截面如图 7 所示。未处理驼肉的肌纤维横切面见图 7a,未经处理的驼肉样品所显示的细胞结构较完整,细胞形状和大小均匀一致,细胞间隔较窄。在使用木瓜蛋白酶进行嫩化处理的样品中(图 7b),细胞间隙增大,细胞膜有明显的破裂。细胞结构呈现不规则状甚至溶解和流出,细胞的完整性受到破坏且损伤严重。在使用超高压进行嫩化处理的样品中(图 7c),与空白组相比细胞间距有所增大,细胞尺寸略有变小且细胞大小存在一定程度的收缩,细胞的空间结构变大,肌肉组织变得更松弛。

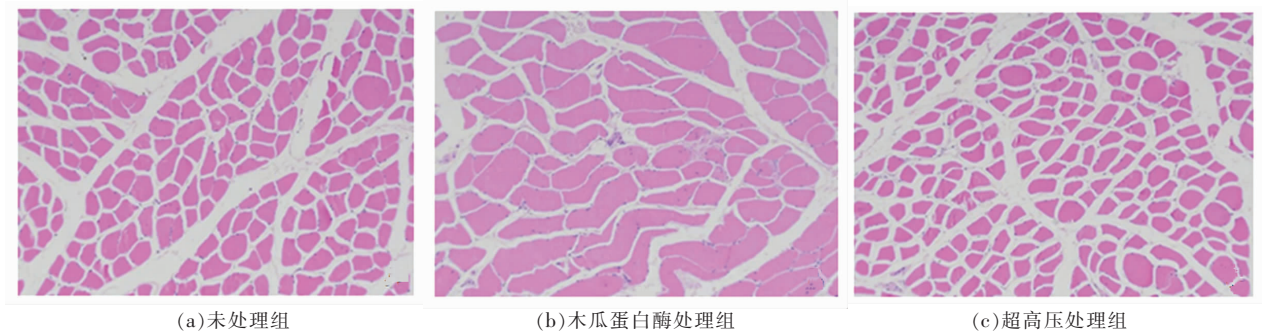
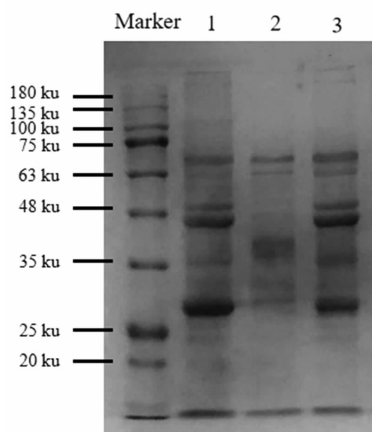


图 7 不同嫩化方法对驼肉肌纤维超微结构的影响

Fig.7 Effect of different tenderization methods on the ultrastructure of camel meat muscle fibers

2.9 不同嫩化方法对驼肉蛋白组成变化的影响

图8为利用SDS-PAGE凝胶电泳对不同嫩化方法处理后的驼肉进行全蛋白组分分析的结果。与空白组相比,经木瓜蛋白酶嫩化的驼肉蛋白组成及含量出现明显变化,63 ku处的谱带比空白组更清晰,而48 ku处谱带变得模糊,下方出现较小的分子谱带,表明这些小分子带是由木瓜蛋白酶水解大分子蛋白而产生的;28 ku处谱带完全消失,表明其肌球蛋白轻链1消失。相比之下,经超高压嫩化处理后的驼肉蛋白组成无明显变化,未观察到新条带的出现,然而48 ku和28 ku处的谱带相对清晰,表明其肌球蛋白和肌动蛋白含量升高。经不同方法嫩化后,驼肉的肌球蛋白和肌动蛋白均出现了明显的变化。因此,木瓜蛋白酶和超高压处理可促进蛋白质解离。木瓜蛋白酶对蛋白质水解作用较为明显,超高压处理能较好的保持样品色泽。



注:1. 未处理组;2. 木瓜蛋白酶处理组;3. 超高压处理组。

图8 不同嫩化方法对驼肉蛋白组成变化的影响

Fig.8 Effect of different tenderization methods on the changes of camel meat protein composition

3 结论

木瓜蛋白酶和超高压处理均可对驼肉起到嫩化作用。使用pH值为6的磷酸盐缓冲液配制浓度为120 U/mL的木瓜蛋白酶溶液,于55℃处理2 h,木瓜蛋白酶的嫩化效果最佳。可明显降低驼肉的剪切力和硬度,提高驼肉的系水力。超高压处理在250 MPa的压力下嫩化处理20 min为最佳嫩化条件,能够改善驼肉的嫩度,提高其品质。经上

述分析,木瓜蛋白酶嫩化处理的效果比较明显,通过破坏肌肉细胞的细胞膜,将肉中结缔组织的结构特异性蛋白水解,使肌肉中的纤维蛋白和胶原蛋白进行不同程度的降解,导致肌原纤维完整性被破坏,进而达到嫩化的目的,因此对肌肉组织中的营养物质破坏严重。而超高压嫩化通过使肌肉组织中分子的间距增大和极性区域暴露,降解肌纤维中的结构蛋白,提高肉的嫩度,能较好的保持肉中的营养物质,而嫩化效果没有木瓜蛋白酶明显。因此,可考虑将两种嫩化技术结合,达到嫩化目的的同时,尽量减少嫩化处理过程中对肉质造成不必要的改变。

参 考 文 献

- [1] 段连敖. 内蒙古骆驼产业发展战略[J]. 北方经济, 2010(13): 9-10.
DUAN L A. Inner Mongolia camel industry development strategy[J]. Northern Economy, 2010(13): 9-10.
- [2] 哈那提·吐尔逊汉, 杰恩斯古丽·吐尔德拜. 浅谈骆驼的经济价值[J]. 新疆畜牧业, 2010(1): 12-14.
HANATI T, JAYNESGULLY T. Talking about the economic value of camels[J]. Xinjiang Animal Husbandry, 2010(1): 12-14.
- [3] ASKALE A, SAMSON L. Medicinal value of camel milk and meat[J]. Journal of Applied Animal Research, 2018, 46(1): 552-558.
- [4] ESKANDARI M H, MAJLESI M, GHEISARI H R, et al. Comparison of some physicochemical properties and toughness of camel meat and beef[J]. Journal of Applied Animal Research, 2013, 41(4): 442-447.
- [5] SOUZA C M, BOLER D D, CLARK D L, et al. The effects of high pressure processing on pork quality, palatability, and further processed products[J]. Meat Science, 2011, 87(4): 419-427.
- [6] FREDERIQUE D, HELENE S, ROMUALD C, et al. Effect of high pressure and salt on pork meat quality and microstructure[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(8): E188-E194.
- [7] 陈星星, 黄振华, 潘道东, 等. 蛋白酶在肉制品加工中的应用进展[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(6): 1000-1002.
CHEN X X, HUANG Z H, PAN D D, et al. Ap-

- plication progress of protease in meat processing[J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(6): 1000-1002.
- [8] 冯改霞. 嫩化酶及其在肉类加工中的运用[J]. 食品界, 2019(2): 157.
- FENG G X. Tenderizing enzyme and its application in meat processing[J]. Food Industry, 2019(2): 157.
- [9] 王远铜. 木瓜蛋白酶: 一种高效水解酶的应用与研究现状[J]. 科技创新导报, 2019, 16(17): 244-245.
- WANG Y J. Papain: A high-efficiency hydrolase application and research status[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2019, 16(17): 244-245.
- [10] 中华人民共和国农业部. 肉嫩度的测定 剪切力测定法: NY/T 1180-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1-4.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of meat tenderness: Shear force determination method: NY/T 1180-2006 [S]. Beijing: China Standard Press, 2006: 1-4.
- [11] BOTINESTEAN C, HOSSAIN M, MULLEN A M, et al. The influence of the interaction of sous-vide cooking time and papain concentration on tenderness and technological characteristics of meat products[J]. Meat Science, 2021, 177: 108491.
- [12] ISABELA R, MARCO A T, FRANCIELE R C, et al. Effect of high pressure processing on physico-chemical and microbiological properties of marinated beef with reduced sodium content[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 38: 328-333.
- [13] EMMA C, MASSIMILIANO R, ELENA V, et al. Cooking of pork Longissimus dorsi at different temperature and relative humidity values: Effects on selected physico-chemical properties [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(2): 158-165.
- [14] 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 pH 值的测定: GB 5009.237-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-6.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standard Determination of Food pH Value: GB 5009.237-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-6.
- [15] JAMES D M, GRANT P, HANNAH Y Y L, et al. High pressure processing improves the tenderness and quality of hot-boned beef [J]. Meat Science, 2017, 133: 69-74.
- [16] 姜明慧, 田元勇, 闫丽新, 等. 冷藏过程中虾夷扇贝横纹肌微观结构变化与肌原纤维蛋白稳定性[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 175-181.
- JIANG M H, TIAN Y Y, YAN L X, et al. Changes of striated muscle microstructure and stability of myofibrillary protein in scallop during cold storage[J]. Food Science, 2020, 41(21): 175-181.
- [17] 朱俊玲, 柳青山, 卢智. 木瓜蛋白酶、淀粉和磷酸盐对鸡肉系水力的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(2): 19-21.
- ZHU J L, LIU Q S, LU Z. Effect of papain, starch and phosphate on the hydraulic power of chicken system [J]. Food Industry, 2018, 39(2): 19-21.
- [18] 马欣欣, 双全, 李秀丽, 等. 木瓜蛋白酶对骆驼肉嫩化效果的研究[J]. 食品工业, 2012, 33(12): 60-62.
- MA X X, SHUANG Q, LI X L, et al. Study on the tenderization effect of papain on camel meat[J]. Food Industry, 2012, 33(12): 60-62.
- [19] CHENG Y M, JIANG X F, XUE Y F, et al. Effect of three different proteases on horsemeat tenderness during postmortem aging [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(7): 2528-2537.
- [20] MA Y, YUAN Y P, BI X F, et al. Tenderization of yak meat by the combination of papain and high-pressure processing treatments[J]. Springer US, 2019, 12(4): 681-693.
- [21] 张海燕. 木瓜蛋白酶对牛肚嫩化品质效果的影响研究[J]. 肉类工业, 2019(8): 48-50, 58.
- ZHANG H Y. Study on the effect of papain on the quality of beef tripe tenderization[J]. Meat Industry, 2019(8): 48-50, 58.
- [22] 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 J, ZENG K F, LI H J. Study on the effect of tenderizing beef with papain [J]. Food Science, 2009, 30(7): 210-214.
- [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, 23.
- LIU Y X, ZHANG H, ZHAO L J, et al. Optimization of technological conditions for papain tenderizing and conditioning pork chops [J]. Modern Food Technology, 2018, 34(8): 172-179, 23.

- [24] DONEVA M, MITEVA D, DYANKOVA S, et al. Efficiency of plant proteases bromelain and papain on turkey meat tenderness[J]. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2015, 31(3): 407-413.
- [25] 鈕晓艳, 邹开封, 叶丽秀, 等. 嫩化时间对大口黑鲈半成品品质的影响[J]. *肉类研究*, 2016, 30(7): 1-5.
- CHU X Y, ZOU K F, YE L X, et al. The effect of tenderization time on the quality of semi-finished largemouth bass[J]. *Meat Research*, 2016, 30(7): 1-5.
- [26] YANG H J, MUHAMMAD A. K., YU X B et al. Changes in protein structures to improve the rheology and texture of reduced-fat sausages using high pressure processing[J]. *Meat Science*, 2016, 121: 79-87.
- [27] 马汉军, 周光宏, 徐幸莲, 等. 高压处理对牛肉肌红蛋白及颜色变化的影响[J]. *食品科学*, 2004(12): 36-39.
- MA H J, ZHOU G H, XU X L, et al. Effect of high pressure treatment on beef myoglobin and color change[J]. *Food Science*, 2004(12): 36-39.
- [28] OTAVIO C N, AMAURI R, ROSIRES D, et al. Effects of hydrostatic pressure processing on texture and color of zebu beef[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(4): 837-843.
- [29] GAO H Y, ZENG J, MA H J, et al. Improving tenderness of goose breast by ultra-high pressure[J]. *International Journal of Food Properties*, 2015, 18(8): 1693-1701.

Tenderization and Comparison of Camel Meat by Papain and Ultra-High Pressure Technology

Sun Shuyuan¹, Chen Qi¹, He Jing², Wang Yuqiang², Jirimutu^{1,2*}

¹College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018

²China-Mongolia Biopolymer Application "Belt and Road" Joint Laboratory, Hohhot 010018)

Abstract This article studied the effects of papain and ultra-high pressure tenderization on the tenderness and nutritional quality of Bactrian camel tendon meat. Experiments on papain concentration, solvent pH, tenderization temperature, tenderization time, ultra-high pressure level, and pressure time, by measuring the cooking loss, water power, pH value, color, texture characteristics and maximum shear force of camel meat, the best conditions for tenderizing camel meat with two treatment methods were screened out. The results showed that the tenderness of camel meat was improved after papain and ultra-high pressure tenderization. The optimal tenderization conditions for papain are: enzyme concentration 120 U/mL, solvent pH 6, tenderization temperature 55 °C, tenderization time 2 h; the optimal tenderization conditions for ultra-high pressure are: pressure value of 250 MPa and pressure treatment time of 20 min. The shearing force of camel meat tenderized by papain is significantly reduced, and the effect of ultra-high pressure tenderization is not as obvious as that of enzyme tenderization, but it can better protect the nutrients in the meat. The research results provide a basis for the application of related tenderization technologies for livestock and poultry meat, and also lay a foundation for the subsequent development of camel meat and related products.

Keywords papain; ultra-high pressure; camel meat; tenderization