

不同压力熟制对牦牛平滑肌质构和微观结构的影响

赵立柱¹, 魏占楠², 张燕¹, 李升升^{1*}, 王冠宇³

(1. 青海大学 畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海大学 农牧学院, 青海 西宁 810016;
3. 抚顺市食品检验检测中心, 辽宁 抚顺 113000)

摘要: 为研究不同压力熟制对牦牛平滑肌质构和微观结构的影响, 将牦牛瘤胃平滑肌分别在 0.15、0.20、0.24 MPa 下熟制 10 min 后取出, 测定不同压力下牦牛平滑肌蒸煮损失率、热收缩率、剪切力、质构、胶原蛋白含量和微观结构的变化, 并进行相关性分析。结果表明: 随压力的升高, 牦牛平滑肌的蒸煮损失率、剪切力、硬度、胶着性、咀嚼性和胶原蛋白含量均明显下降, 弹性明显增加, 热收缩率和内聚性呈增加趋势但差异不显著。微观结构显示随压力的升高, 牦牛平滑肌的肌纤维从完整到破碎, 肌束膜从细小到粗大, 肌纤维与肌束膜间的间隙由有到无。相关性分析表明, 除热收缩率和内聚性外, 压力大小和胶原蛋白含量与牦牛平滑肌各指标间的相关系数均在 0.8 以上, 说明压力和胶原蛋白含量对牦牛平滑肌的品质影响较大。综上, 牦牛平滑肌的食用品质和微观结构随压力的升高而下降, 在 0.20 MPa 下牦牛平滑肌的食用品质较好。

关键词: 牦牛瘤胃平滑肌; 压力; 质构; 微观结构; 相关性分析

Effect of Different Pressure Cooking on Texture and Microstructure of Yak Rumen Smooth Muscle

ZHAO Lizhu¹, WEI Zhannan², ZHANG Yan¹, LI Shengsheng^{1*}, WANG Guanyu³

(1. Qinghai Academy of Animal and Veterinary Science, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China;
2. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China;
3. Fushun Food Inspection and Testing Center, Fushun 113000, Liaoning, China)

Abstract: To investigate the effects of different pressure cooking on the texture and microstructure of yak rumen smooth muscle, yak rumen smooth muscle was cooked under pressures of 0.15, 0.20 MPa and 0.24 MPa for 10 min. The changes in cooking loss, thermal shrinkage, shear force, texture, collagen content and microstructure of yak rumen smooth muscle under different pressures were determined, followed by correlation analysis. The results showed that with increasing pressure, the cooking loss, shear force, hardness, adhesiveness, chewiness and collagen content of yak rumen smooth muscle significantly decreased, while elasticity significantly increased. Thermal shrinkage and cohesiveness showed an increasing trend, but the differences were not significant. Microstructural analysis revealed that with increasing pressure, the muscle fibers of yak rumen smooth muscle went from intact to fragmented, the fascicles became thicker, and the gaps between muscle fibers and fascicles decreased. Correlation analysis indicated that, except for thermal shrinkage and cohesiveness, the correlation coefficients between pressure magnitude, collagen content, and various indicators of yak rumen smooth muscle were all above 0.8, suggesting that pressure and collagen content had a significant influence on the quality of yak rumen smooth muscle. In conclusion, the edibility and microstructure of yak rumen smooth muscle decreased with increasing pressure, and yak rumen smooth muscle cooked under 0.20 MPa exhibited better edibility.

Key words: yak rumen smooth muscle; pressure; texture; microstructure; correlation analysis

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1602312); 青海省科技特派员专项(2023-NK-P42)

作者简介: 赵立柱(1997—), 男(汉), 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全。

* 通信作者: 李升升(1984—), 男(汉), 副研究员, 博士, 研究方向: 畜产品科学与工程。

引文格式:

赵立柱,魏占楠,张燕,等.不同压力熟制对牦牛平滑肌质构和微观结构的影响[J].食品研究与开发,2023,44(19):28-33.
ZHAO Lizhu, WEI Zhannan, ZHANG Yan, et al. Effect of Different Pressure Cooking on Texture and Microstructure of Yak Rumen Smooth Muscle[J]. Food Research and Development, 2023, 44(19): 28-33.

随着装备制造技术的发展,压力容器和装备的普及,压力技术尤其是超高压技术被誉为21世纪食品和生物制品领域最具潜力和发展前途的技术之一。在高压条件下,食品的颜色、组织结构会发生显著变化,对于肉及肉制品,高压可以改善其组织结构、调节鲜肉中酶活力并提高肌肉蛋白的凝胶特性^[1]。超高压技术在食品保藏中还可以通过抑制微生物的生长来提高产品的保质期^[2],在肉制品的加工中结合超高压技术也显著改善肉制品的品质^[3]。

Dixon等^[4]研究发现经过高压处理的牛肉,其色泽和微生物含量发生显著变化,货架期也有所提高。陈武东等^[5]研究发现经过高压处理的牛腩肉的质构、持水性及出品率等指标得到改善,且其感官评价具有更高的可接受度。Zhu等^[6]的研究结果表明超高压处理降低了牛肉肠的感官品质和质构特性,但有助于保证香肠储藏的微生物环境。Shao等^[7]研究发现随着压力的增加,小龙虾的硬度、弹性和咀嚼性等指标先急剧增加后逐渐下降,但均高于对照组。国内外的学者研究表明压力处理可显著影响肉品骨骼肌的品质,然而平滑肌是处于畜体内脏、血管等处的肌肉,属于内脏肌,在不同压力条件下熟制,其品质变化规律如何,相关报道较少。

本试验研究不同压力对牦牛平滑肌蒸煮损失率、热收缩率、剪切力、质构、胶原蛋白含量和微观结构变化的影响,并分析压力与牦牛平滑肌熟制品各指标间的相关性,旨在为平滑肌的加工提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

新鲜牦牛瘤胃:青海裕泰食品有限公司;硫酸、氯胺T、对二甲氨基苯甲醛(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司;无水乙醇(分析纯):天津红岩化学试剂有限公司;二甲苯(分析纯):天津市富宇精细化工有限公司;苏木精染液、伊红(均为分析纯):台湾贝索生物技术有限公司。

1.1.2 仪器与设备

JM-B3003电子天平:诸暨市超泽衡器设备有限公司;卡尺(0~150 mm):上海申韩量具有限公司;CT3质构分析仪:美国布鲁克菲尔德工程公司;722N紫外

可见分光光度计:上海精密仪器仪表有限公司;IX71显微镜:日本奥林巴斯株式会社;YXQ-LS-SII全自动立式电热压力蒸汽锅:上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理

随机选取3~4岁牦牛的牦牛瘤胃,除去瘤胃内容物,用水清洗干净瘤胃表面,在(3±1)℃保温箱中运回实验室进行试验,在实验室中除去瘤胃表面的绒毛、黏膜、脂肪,得牦牛瘤胃平滑肌。将平滑肌分成(150±10)g肉块,分别选择0.15、0.20、0.24 MPa 3种压力处理10 min后取出,测定各样品胶原蛋白含量、蒸煮损失率、热收缩率、剪切力、质构、胶原蛋白含量的变化,并观察不同压力下制品的微观结构。

1.2.2 指标测定方法

1.2.2.1 胶原蛋白含量的测定

参考GB/T 9695.23—2008《肉与肉制品 羧脯氨酸含量的测定》,将测得的羧脯氨酸含量乘以系数7.25换算为胶原蛋白含量。

1.2.2.2 蒸煮损失率的测定

称取处理前肉样质量,取出热处理后的肉样并称取质量,蒸煮损失率计算公式如下。

$$Y = \frac{W_1 - W_n}{W_1} \times 100$$

式中:Y为蒸煮损失率,%;W₁为肉样处理前的质量,g;W_n为肉样处理后的质量,g。

1.2.2.3 热收缩率的测定

用最小刻度为1 mm卡尺测量每个样品沿肌纤维方向的长度,测量样品热处理前的长度和样品热处理后的长度,热收缩率计算公式如下。

$$W = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

式中:W为热收缩率,%;L₁为肉样热处理前的长度,mm;L₂为肉样热处理后的长度,mm。

1.2.2.4 剪切力的测定

采用CT3质构分析仪测定,沿平行于肌纤维方向切取40 mm×10 mm×10 mm肉样,切刀垂直于肌纤维方向切割,剪切速度1.5 mm/s,剪切距离为40 mm。每个肉样测定5个平行,取平均值。

1.2.2.5 质构的测定

采用CT3质构分析仪测定样品的硬度、内聚性、弹

性、胶着性和咀嚼性。将肉样切成 10 mm×10 mm 的方形, 2~3 块堆叠至样品自然高度 10 mm, 采用质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)模式模拟口腔的咀嚼运动, 通过对样品的 2 次压迫对肉样进行测定。测试参数为测试前速度为 2 mm/s, 测试速度为 1 mm/s, 测试后速度为 1 mm/s, 触发力为 5 g, 样品高度为 10 mm, 压缩比 50%。TPA 结果采用 TPA-macro 分析。每个样品测定 10 个平行, 取平均值。

1.2.2.6 平滑肌微观结构的测定

样品处理后, 沿平行于肌纤维方向切取, 在 IX71 显微镜下观察不同压力下牦牛平滑肌微观结构的变化并拍照。

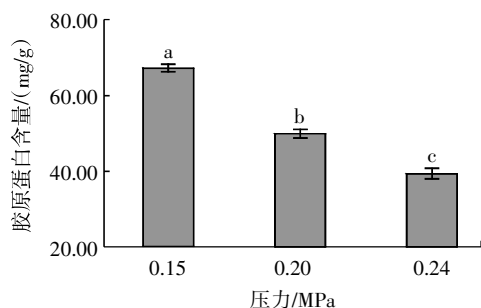
1.2.3 统计方法

采用 SPSS22.0 对数据进行方差分析, 各处理平均数间采用 Duncan 多重比较法进行差异显著性分析, 差异显著水平为 $P<0.05$, 极显著水平为 $P<0.01$ 。

2 结果与分析

2.1 不同压力对牦牛平滑肌胶原蛋白含量的影响

胶原蛋白为肌肉结缔组织的重要组成部分^[8], 研究表明胶原蛋白影响肌肉的背景硬度, 对肌肉的质构有重要影响。不同压力对牦牛平滑肌胶原蛋白含量的影响如图 1 所示。



不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

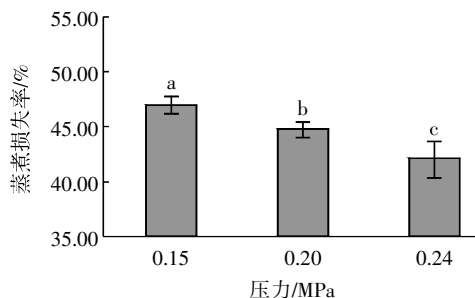
图 1 不同压力对牦牛平滑肌胶原蛋白含量的影响

Fig.1 Effect of pressure treatment on collagen content of yak smooth muscle

如图 1 所示, 随着压力的升高, 牦牛肉平滑肌中胶原蛋白含量显著减少($P<0.05$), 从 0.15 MPa 时的 67.40 mg/g 下降到 0.24 MPa 时的 39.38 mg/g, 下降了 41.57%。肌肉中的胶原蛋白主要分为可溶性胶原蛋白与不可溶性胶原蛋白, 随着压力的升高, 可溶性胶原蛋白会溶于水中, 不可溶性胶原蛋白的三螺旋结构逐渐松散^[9-10], 使胶原蛋白明胶化, 导致样品中平滑肌的胶原蛋白含量减少^[11], 而明胶含量影响肌肉的保水性^[12]。在试验压力范围内, 随着压力的升高, 牦牛肉平滑肌中胶原蛋白含量显著降低, 说明压力处理会影响胶原蛋白含量的变化, 从而影响牦牛肉平滑肌质构和品质。

2.2 不同压力对牦牛平滑肌蒸煮损失率的影响

蒸煮损失是指在蒸煮过程中, 肉品中损失的水的质量, 直接反映肉的持水能力。不同压力对牦牛平滑肌蒸煮损失率的影响如图 2 所示。



不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

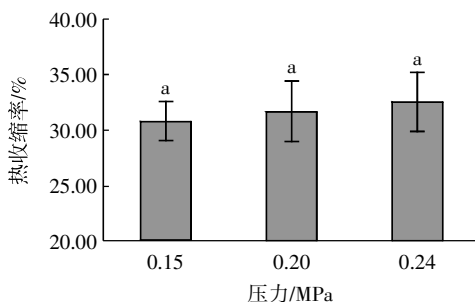
图 2 不同压力对牦牛平滑肌蒸煮损失率的影响

Fig.2 Effect of pressure treatment on cooking loss of yak smooth muscle

由图 2 可知, 随着压力的升高, 牦牛肉平滑肌的蒸煮损失率显著减小($P<0.05$), 由 0.15 MPa 时的 46.98% 减小到 0.24 MPa 时的 41.94%, 减小了 10.73%。这与常海军^[13]研究的不同超高压处理牛肉的蒸煮损失增加的结果不一致。随着压力的升高, 肌肉结构逐渐被破坏, 肌肉中的肌纤维蛋白和胶原蛋白在压力下收缩, 使肌肉的持水能力下降导致蒸煮损失增加; 另一方面, 发生明胶化的胶原蛋白的亲水性能和凝胶性能提高导致蒸煮损失减少^[14-15], 因此, 随着压力的升高, 牦牛肉平滑肌中胶原蛋白变成明胶导致牦牛肉平滑肌的蒸煮损失减少, 这与 Xue 等^[16]的研究结果一致。

2.3 不同压力对牦牛平滑肌热收缩率的影响

不同压力对牦牛平滑肌热收缩率的影响如图 3 所示。



相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。

图 3 不同压力对牦牛平滑肌热收缩率的影响

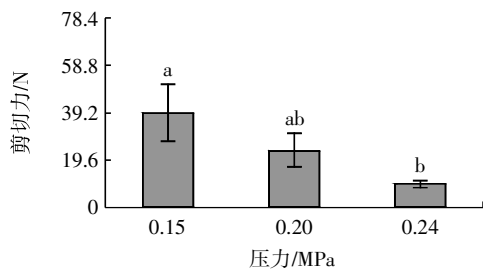
Fig.3 Effect of pressure treatment on heat shrinkage rate of yak smooth muscle

由图 3 可知, 在试验压力范围内, 牦牛肉平滑肌顺着肌纤维方向的热收缩率随着压力的升高呈现增加的趋势, 但差异不显著($P>0.05$)。压力为 0.15~0.24 MPa 时, 平滑肌的热收缩率由 30.80% 增加到 32.48%, 热收

缩率增加了5.45%。平滑肌的收缩性能较强,肌纤维蛋白会因环境的变化而发生收缩,而胶原蛋白在压力作用下变成明胶会受热吸水膨胀^[17],抵消因肌纤维蛋白收缩的影响。因此即使压力升高,但肌纤维的收缩和明胶的膨胀作用力基本相当,虽然牦牛肉平滑肌的热收缩率呈增加趋势,但差异不显著。

2.4 不同压力对牦牛肉剪切力的影响

剪切力作为牦牛肉的主要食用指标,能够反映出肉品各组织含量与性质与肌原纤维蛋白的化学结构的状态,直接反映肉品的质地^[8]。不同压力对牦牛平滑肌剪切力的影响如图4所示。



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图4 不同压力对牦牛平滑肌剪切力的影响

Fig.4 Effect of pressure treatment on shear force of yak smooth muscle

由图4可知,随着压力的升高,牦牛平滑肌的剪切力呈下降的趋势,剪切力由0.15 MPa时的39.40 N减小到0.24 MPa时的9.80 N,减小了75.13%。肌肉的肌原纤维和胶原蛋白在受到压力的情况下会由于失水而发生收缩,肌纤维变粗,肌纤维在单位横截面上的排列更加紧密,导致剪切力升高^[18-19]。牦牛肉平滑肌中的胶原蛋白由于压力的变化变成明胶,而明胶本身的剪切力值较小,使得牦牛平滑肌的剪切力值减小。同时,高压处理会使肌纤维断裂进一步造成牦牛平滑肌剪切力值减小。从试验结果来看,胶原蛋白的明胶化和肌纤维蛋白的断裂是影响高压熟制条件下牦牛平滑肌剪切力的主要因素。

2.5 不同压力对牦牛平滑肌质构的影响

质构是体现肉品品质的重要指标^[20],质地剖面分析的原理模拟口腔的咀嚼运动开发,是目前评价肉品品质的最为客观的方法之一^[21]。不同压力对牦牛平滑肌的质构指标的影响如表1所示。

由表1可知,随着压力的升高,牦牛平滑肌的硬度、胶着性和咀嚼性逐渐减小且差异明显,硬度、胶着性和咀嚼性分别由0.15 MPa时的1.97 g、1.21、55.26 mJ,减小到0.24 MPa时的0.66 g、0.50、28.15 mJ,分别减小了66.50%、58.68%、49.06%。牦牛平滑肌的内聚性呈增加趋势,但差异不显著($P > 0.05$);牦牛平滑肌的弹性

表1 不同压力对牦牛平滑肌质构的影响

Table 1 Effect of pressure treatment on texture of yak smooth muscle

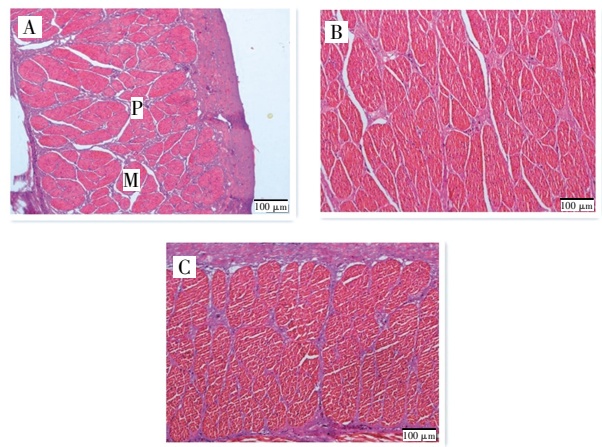
压力/MPa	硬度/g	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性/mJ
0.15	1.97±0.12 ^a	0.67±0.03 ^a	4.81±0.05 ^b	1.21±0.20 ^a	55.26±2.56 ^a
0.20	1.01±0.29 ^b	0.77±0.05 ^a	6.99±0.85 ^a	0.75±0.13 ^b	47.58±2.50 ^b
0.24	0.66±0.14 ^b	0.88±0.18 ^a	6.95±0.27 ^a	0.50±0.11 ^b	28.15±3.26 ^c

注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

整体呈增加趋势,弹性由0.15 MPa时的4.81增加到0.24 MPa时的6.95,增加了44.49%。肌肉中质构的变化与肌肉中肌纤维蛋白和胶原蛋白含量的变化相关,不同压力下熟制会使得肌纤维蛋白断裂和胶原蛋白发生变性和收缩^[22-23],胶原蛋白在此过程中会因压力的变化而变成明胶,明胶具有吸水膨胀的特性^[24],同时肌纤维蛋白在压力和热的作用下会断裂^[25]。这几种力作用的结果使得牦牛平滑肌的硬度、胶着性和咀嚼性降低,而内聚性和弹性增加。

2.6 微观结构观察结果

不同压力处理对牦牛平滑肌的微观结构的影响如图5所示。



A、B、C分别表示0.15、0.20、0.24 MPa条件下平滑肌组织结构的变化;M:肌纤维;P:肌束膜。

图5 不同压力对牦牛平滑肌微观结构的影响

Fig.5 Effect of pressure treatment on microstructure of yak smooth muscle

由图5A可知,当熟制压力为0.15 MPa时,牦牛瘤胃平滑肌的肌纤维结构完整,肌束膜细致,肌纤维与肌束膜之间存在较大的间隙;当熟制压力升高到0.20 MPa时,牦牛瘤胃平滑肌的肌纤维中出现白色空隙,肌束膜吸水膨胀,肌纤维与肌束膜间的间隙变窄;熟制压力升至0.24 MPa时,肌纤维内的白色空隙增多,肌束膜进一步吸水膨胀,肌束膜与肌纤维的间隙基本消失。总体表现为随着压力的升高,牦牛肉平滑肌的肌纤维

由完整变为破碎,肌束膜逐渐膨胀,肌纤维与肌束膜间的间隙逐渐消失。

肌内膜包裹多条肌纤维形成肌束,肌束由肌束膜间开,最后由肌外膜将肌束包裹形成肌肉^[26],肌纤维是肌纤维蛋白,肌内膜、肌束膜和肌外膜等主要是由胶原蛋白组成^[27],在初始的熟制压力下肌纤维和肌束膜受到热和压力的影响发生收缩与变性,其收缩速率快慢使得肌纤维和肌束膜间出现大小不一的间隙,当熟制压力进一步升高时由肌束膜中的胶原蛋白变性

而来的明胶吸水膨胀,而肌纤维会因受压力的影响而断裂^[28]。肌束膜受热膨胀会导致肌肉剪切力、硬度、胶着性和咀嚼性降低,蒸煮损失率和热收缩率减少,弹性降低;肌纤维的断裂进一步提高了肌肉的剪切力、硬度和咀嚼性下降。这些变化与平滑肌的蒸煮损失、热收缩率、剪切力和质构随压力升高的变化趋势一致。

2.7 相关性分析

对不同压力和牦牛平滑肌各品质指标进行相关性分析,结果如表2所示。

表2 不同压力与牦牛平滑肌各品质指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of yak meat quality after pressure treatment

项目	压力	蒸煮损失率	热收缩率	剪切力	硬度	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性	胶原蛋白含量
压力	1									
蒸煮损失率	-0.906**	1								
热收缩率	0.322	-0.464	1							
剪切力	-0.875**	0.786*	-0.242	1						
硬度	-0.943**	0.883**	-0.389	0.901**	1					
内聚性	0.690*	-0.377	-0.147	-0.641*	-0.540	1				
弹性	0.824**	-0.726*	0.022	-0.759*	-0.861**	0.606*	1			
胶着性	-0.921**	0.844**	-0.333	0.943**	0.972**	-0.533	-0.790*	1		
咀嚼性	-0.932**	0.842**	-0.386	0.828**	0.802**	-0.723*	-0.601*	0.809**	1	
胶原蛋白含量	-0.995**	0.902**	-0.315	0.867**	0.946**	-0.663*	-0.845**	0.927**	0.907**	1

注:*表示在0.05水平上显著相关;**表示在0.01水平上极显著相关。

由表2可知,压力与牦牛平滑肌的蒸煮损失率、剪切力、硬度、胶着性、咀嚼性和胶原蛋白含量呈负相关,相关系数分别为-0.906、-0.875、-0.943、-0.921、-0.932和-0.995;压力与牦牛平滑肌内聚性、弹性呈正相关,相关系数分别为0.690、0.824;压力与牦牛平滑肌热收缩率相关性差异不显著。牦牛平滑肌的蒸煮损失率与剪切力、硬度、胶着性、咀嚼性和胶原蛋白含量呈显著正相关,相关系数分别为0.786、0.883、0.844、0.842、0.902;蒸煮损失率与弹性呈显著负相关,相关系数为-0.726;蒸煮损失率与热收缩率和内聚性相关性差异不显著。牦牛平滑肌的热收缩率与剪切力、硬度、内聚性、弹性、胶着性、咀嚼性和胶原蛋白含量相关性差异不显著。牦牛平滑肌的剪切力与硬度、胶着性、咀嚼性和胶原蛋白含量呈极显著正相关,相关系数分别为0.901、0.943、0.828、0.867;剪切力与内聚性和弹性呈显著负相关,相关系数分别为-0.641、-0.759。牦牛平滑肌的硬度与胶着性、咀嚼性和胶原蛋白含量呈极显著正相关,相关系数分别为0.972、0.802、0.946;硬度与弹性呈极显著负相关,相关系数为-0.861;硬度与内聚性相关性差异不显著。牦牛平滑肌的内聚性与咀嚼性和胶原蛋白含量呈显著负相关,相关系数分别为-0.723、-0.663;内聚性与弹性呈显著正相关,相关系数为0.606;内聚性与胶着性相关性差异不显著。牦牛平滑肌的弹性与胶

着性、咀嚼性呈显著负相关,相关系数分别为-0.790、-0.601;牦牛平滑肌的胶着性与咀嚼性和胶原蛋白含量呈极显著正相关,相关系数分别为0.809、0.927。牦牛平滑肌咀嚼性与胶原蛋白含量呈极显著正相关,相关系数为0.907。

由以上分析可知,除热收缩率外,压力和胶原蛋白含量与牦牛平滑肌各指标间相关性较大,除内聚性外压力和胶原蛋白含量与牦牛平滑肌各指标间的相关系数均在0.8以上,说明压力大小和胶原蛋白含量对牦牛平滑肌的各品质指标影响显著。相关性分析的结果与不同压力对牦牛平滑肌胶原蛋白含量、剪切力、蒸煮损失率和质构的影响与微观结构的变化一致。

3 结论

随压力的升高,牦牛平滑肌的蒸煮损失率、剪切力、硬度、胶着性、咀嚼性和胶原蛋白含量均明显降低,弹性明显增加,热收缩率和内聚性呈增加趋势但差异不显著。微观结构的变化表明,随压力的升高,牦牛平滑肌的肌纤维从完整到断裂,肌束膜逐渐膨胀,肌纤维与肌束膜间的间隙逐渐消失。除热收缩率和内聚性外,压力大小和胶原蛋白含量与牦牛平滑肌各指标间的相关系数均在0.8以上。综合分析可见,牦牛平滑肌的质构和微观结构受压力的影响较大,在0.20 MPa下

牦牛平滑肌的各项品质指标较好。本试验研究了牦牛平滑肌随处理压力变化的品质变化,但没有深入研究在不同压力下其肌纤维蛋白和胶原蛋白的结构变化,及其与品质变化的相关性,这将是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] CHUANG S, SHEEN S. High pressure processing of raw meat with essential oils—microbial survival, meat quality, and models: A review[J]. *Food Control*, 2022, 132: 108529.
- [2] GAYÁN E, TORRES J A, PAREDES-SABJA D. Hurdle approach to increase the microbial inactivation by high pressure processing: Effect of essential oils[J]. *Food Engineering Reviews*, 2012, 4(3): 141–148.
- [3] XU J M, YANG L L, NIE Y H, et al. Effect of transglutaminase crosslinking on the structural, physicochemical, functional, and emulsion stabilization properties of three types of gelatins[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2022, 163: 113543.
- [4] DIXON E, RABANSER I, DZIECIOL M, et al. Reduction potential of steam vacuum and high—pressure water treatment on microbes during beef meat processing[J]. *Food Control*, 2019, 106: 106728.
- [5] 陈武东, 杜险峰. 高压和常压熟制工艺对番茄红烧牛肉食用品质的影响[J]. *肉类工业*, 2021(4): 29–35.
CHEN Wudong, DU Xianfeng. Effects of cooking technology with high pressure and normal pressure on the edible quality of braised beef with tomato[J]. *Meat Industry*, 2021(4): 29–35.
- [6] ZHU Y C, YAN Y W, YU Z H, et al. Effects of high pressure processing on microbial, textural and sensory properties of low—salt emulsified beef sausage[J]. *Food Control*, 2022, 133: 108596.
- [7] SHAO Y, XIONG G Q, LING J G, et al. Effect of ultra—high pressure treatment on shucking and meat properties of red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*)[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2018, 87: 234–240.
- [8] BRUCE H L, KHALIQ M, PUENTE J, et al. Influence of Canadian beef quality grade and method of intramuscular connective tissue isolation on collagen characteristics of the bovine longissimus thoracis[J]. *Meat Science*, 2022, 191: 108848.
- [9] 高艳蕾, THEODORA OJANGBA, 杨超, 等. 超高压技术辅助优化牛皮胶原低脂牛肉饼工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(2): 86–93.
GAO Yanlei, THEODORA O, YANG Chao, et al. Ultra—high pressure technology assists optimizing the process of cowhide collagen low—fat beef patties[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(2): 86–93.
- [10] 黄丹丹, 马良, 周梦柔, 等. 超高压时间对胶原明胶化及成品明胶品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(16): 109–114.
HUANG Dandan, MA Liang, ZHOU Mengrou, et al. Effects of pressure level on collagen gelatinizing and properties of extracted gelatins[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(16): 109–114.
- [11] KRISTOFFERSEN K A, AFSETH N K, BÖCKER U, et al. Post—enzymatic hydrolysis heat treatment as an essential unit operation for collagen solubilization from poultry by—products[J]. *Food Chemistry*, 2022, 382: 132201.
- [12] GAO Y L, QIU Y, NAN H L, et al. Ultra—high pressure—assisted preparation of cowhide gelatin as a promising fat substitute: Improve the nutrition ratio and antioxidant capacity of beef patties[J]. *Food Research International*, 2022, 157: 111260.
- [13] 常海军. 不同加工条件下牛肉肌内胶原蛋白特性变化及其对品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
CHANG Haijun. Studies on effects of different processing conditions on characteristics changes of collagen and meat quality of beef muscle[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2010.
- [14] SOLADOYE O P, PIETRASIK Z. Utilizing high pressure processing for extended shelf life meat products[M]/Reference Module in Food Science. Amsterdam: Elsevier, 2018.
- [15] WANG Y, TIAN X J, LIU X Z, et al. Focusing on intramuscular connective tissue: Effect of cooking time and temperature on physical, textural, and structural properties of yak meat[J]. *Meat Science*, 2022, 184: 108690.
- [16] XUE S W, YANG H J, YU X B, et al. Applications of high pressure to pre—rigor rabbit muscles affect the water characteristics of myosin gels[J]. *Food Chemistry*, 2018, 240: 59–66.
- [17] VASKOSKA R, VÉNIEN A, HA M, et al. Thermal denaturation of proteins in the muscle fibre and connective tissue from bovine muscles composed of type I (*masseter*) or type II (*cutaneous trunci*) fibres: DSC and FTIR microspectroscopy study[J]. *Food Chemistry*, 2021, 343: 128544.
- [18] BAYRAKTAROGLU A G, KAHRAMAN T. Effect of muscle stretching on meat quality of *Biceps femoris* from beef[J]. *Meat Science*, 2011, 88(3): 580–583.
- [19] LI X Y, HA M, WARNER R D, et al. Meta—analysis of the relationship between collagen characteristics and meat tenderness[J]. *Meat Science*, 2022, 185: 108717.
- [20] PEMATILLEKE N, KAUR M, RAI WAI C T, et al. Effect of the addition of hydrocolloids on beef texture: Targeted to the needs of people with dysphagia[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106413.
- [21] CHEN Q M, ZHANG Y C, GUO Y H, et al. Non—destructive prediction of texture of frozen/thaw raw beef by Raman spectroscopy[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 266: 109693.
- [22] DU X, LI H J, NUERJIANG M, et al. Application of ultrasound treatment in chicken gizzards tenderization: Effects on muscle fiber and connective tissue[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 79: 105786.
- [23] SUPAPHON P, KERDPIBOON S, VÉNIEN A, et al. Structural changes in local Thai beef during sous vide cooking[J]. *Meat Science*, 2021, 175: 108442.
- [24] TANG C, ZHOU K, ZHU Y C, et al. Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 131: 107748.
- [25] POGORZELSKI G, POGORZELSKA—NOWICKA E, POGORZELSKI P, et al. Towards an integration of pre— and post—slaughter factors affecting the eating quality of beef[J]. *Livestock Science*, 2022, 255: 104795.
- [26] SIKES A L, JACOB R, D’ARCY B, et al. Very fast chilling modifies the structure of muscle fibres in hot—boned beef loin[J]. *Food Research International*, 2017, 93: 75–86.
- [27] LEBEDOVÁ N, BUREŠ D, NEEDHAM T, et al. Histochemical characterisation of high—value beef muscles from different breeds, and its relation to tenderness[J]. *Livestock Science*, 2021, 247: 104468.
- [28] WAN Y F, GAO Y F, SHAO J H, et al. Effects of ultrasound and thermal treatment on the ultrastructure of collagen fibers from bovine tendon using atomic force microscopy[J]. *Food Chemistry*, 2021, 347: 128985.