

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.10.017

低温贮藏过程中水牛肉质构特性的变化

Study on the change of texture characteristics of water buffalo meat during low temperature storage

刘纯友^{1,2} 付春婷¹ 殷朝敏³

LI Chun-you^{1,2} FU Chun-ting¹ YIN Chao-min³

许金蓉¹ 黄承都¹ 靳国锋²

XU Jin-rong¹ HUANG Cheng-du¹ JIN Guo-feng²

(1. 广西科技大学生物与化学工程学院食品科学与工程系, 广西 柳州 545006; 2. 华中农业大学食品科技学院, 湖北 武汉 430070; 3. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北 武汉 430064)

(1. Department of Food Science and Engineering, School of Biology and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, Guangxi 545006, China; 2. College of Food Science and Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 3. Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan, Hubei 430064, China)

摘要:以广西水牛肉为原料,采用质地多面剖析法探究了低温贮藏过程中水牛肉质构特性变化规律,并进一步分析了水牛肉质构特性各指标间的相关性。结果显示:随着贮藏时间的延长,水牛肉的硬度、弹性、咀嚼性和胶着性呈不断降低的趋势,但水牛肉的内聚性呈不断增加的趋势。低温贮藏期间,水牛肉的硬度与弹性、胶着性、咀嚼性显著正相关($P < 0.05$),但水牛肉的内聚性与各指标没有显著的相关性($P > 0.05$)。3种低温贮藏条件下,−60℃冻藏水牛肉质构特性变化相对缓慢,其保鲜效果优于4℃冷藏和−18℃冻藏。

关键词:水牛肉;质构特性;冷藏;冻藏

Abstract: The changes of texture characteristics of Guangxi water buffalo meat was investigated during low temperature storage using texture profile analysis. Moreover, the

correlation among various indexes of beef texture characteristics of buffalo meat was also analyzed. The results indicated that the hardness, elasticity, chewiness and adhesiveness of buffalo meat decreased continuously with the prolongation of storage time, but the cohesiveness of buffalo meat was increasing. During cryopreservation, there was a significantly positive correlation between the hardness of buffalo meat and characteristics of elasticity, adhesiveness, and chewiness ($P < 0.05$), but no significant correlation between the cohesiveness of buffalo meat and others index was found ($P > 0.05$). Under the control of three kinds of low temperature storage conditions, the texture characteristics of frozen buffalo meat at −60℃ were relatively slow, and the fresh-keeping effect was better than the storage at 4℃ and −18℃.

Keywords: buffalo meat; texture characteristics; refrigerated storage; frozen storage

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31960492,31201390);广西自然科学基金青年基金项目(编号:2016GXNSFBA380009,2016GXNSFBA380075);广西自然科学基金面上项目(编号:2018GXNSFAA138081);广西科技大学博士基金项目(编号:校科博16Z05);广西科技大学自然科学培育计划项目(编号:科大科研发[2019]56号,科大科研发[2018]77号)

作者简介:刘纯友,男,广西科技大学副教授,博士。

通信作者:殷朝敏(1987—),男,湖北省农业科学院助理研究员,博士。E-mail: yinchaomin@163.com
靳国锋(1983—),男,华中农业大学副教授,博士。
E-mail: jgf@mail.hzau.edu.cn

收稿日期:2018-10-24

水牛是生长在热带、亚热带地区的重要特色经济畜种。据相关统计数据^[1],全球水牛主要分布在印度、中国、巴基斯坦等42个国家和地区,中国位居世界第二,年产水牛肉62万t,占世界水牛肉总产量的17.26%,其中又以广西水牛存栏量位居全国首位^[2]。与普通黄牛肉相比,水牛肉中的总脂肪含量低,总蛋白质、必需氨基酸含量高,胆固醇含量低,还含有丰富的磷、钾和镁等矿物质^[1,3],可以显著降低人体患心血管疾病的风险^[4],具有较高的营养价值。

质地是评价肉类食用品质的关键指标之一。长期以

来,国内外研究者对肉类质地品质评价都采用以人为主观的感官评定,容易受评定人员主观意识的影响,存在不准确、重复性差等缺点^[5]。多面剖析法(texture profile analysis, TPA)是将食品的质构特性与食品力学性质及几何特性相结合进行定义,实现对食品质地进行评价弥补了人为主观的感官评价的不足^[6]。目前,多面剖析法被国内外学者^[7-11]广泛应用于肉类质构特性的研究,肉类质构特性主要包括硬度、内聚性、弹性、咀嚼性和胶着性等,试验主要考察贮藏过程中水牛肉这 5 个指标的变化规律。

冷藏和冷冻是肉类贮藏保鲜的主要方法之一,且低温肉制品是未来肉类制品的重要发展方向。截至目前,关于黄牛肉^[12]、牦牛肉^[13]、驴肉^[14]和水产品^[15]质构特性的文献报道相对较多,但有关冷藏或冻藏过程中水牛肉质构特性的变化中国未见相关报道。试验选取广西水牛肉为原料,模拟冷链运输贮藏过程中 4℃ 冷藏、-18℃ 冻藏和 -60℃ 冻藏 3 个贮藏条件,采用多面剖析法研究低温贮藏过程中水牛肉质构特性的变化规律,以期水牛肉的贮藏保鲜提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

水牛肉(股二头肌):广西柳州市桂中农贸市场。

1.2 主要仪器与设备

质构仪:CT-3 型,美国 Brookfield 公司;

探头:TA44 型,美国 Brookfield 公司;

超低温冰箱:DW-86L386 型,青岛海尔特种电气有限公司;

冰箱:BCD-198 型,博西华家电有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理 将从市场上购得的水牛肉随机分成 3 组,去除表面的脂肪、筋腱和结缔组织后,垂直于肌纤维方向切成 2 cm × 2 cm × 2 cm 肉块,置于低密度聚乙烯保鲜袋,分别于 4, -18, -60℃ 下贮藏。4℃ 条件下分别于贮藏 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 d 时取样检测; -18, -60℃ 条件下分别于贮藏 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 d 时取样检测。

1.3.2 样品测定 参照 Maqsood 等^[16]方法,并做适当修改:采用 TPA 模式测定,选用的探头型号为 TA44。具体条件:对样品进行两次压缩,探头回升到样品表面高度 30 mm;测试前速率 2 mm/s,测试速率 1 mm/s,测试后速率 1 mm/s,触发力 5 g,形变百分率 40%,通过力量-时间曲线获得 TPA 参数,每个样品进行 5 次平行试验,结果取其平均值。

1.3.3 数据处理 采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,水牛肉的硬度、弹性、咀嚼性、胶着性和内聚性等品质指标

独立进行 5 次平行试验,试验结果以(平均值±标准误差)表示。

2 结果与分析

2.1 硬度的变化

由图 1 可知,在低温贮藏期间,随着贮藏时间的延长,水牛肉的硬度总体呈下降趋势。且冷藏(4℃)条件下水牛肉硬度的下降速度明显大于冻藏(-18, -60℃)的水牛肉,特别是冷藏前 8 d,水牛肉硬度的下降率高达 64.54%; -18, -60℃ 冻藏前 10 d,水牛肉硬度的下降率分别为 32.14%, 38.49%, 随后下降趋势趋于平缓。Huidobro 等^[17]研究了西班牙杂交品种牛肉在低温(4℃)成熟过程中硬度的变化,发现第 1 天成熟后公牛牛肉硬度为 2 375 g,经 6 d 低温成熟后硬度降为 1 886 g,下降了 20.59%。贮藏过程中,随着贮藏时间的延长,水牛肉硬度不断下降,可能是由于其内源性蛋白酶作用使肌原纤维蛋白发生水解,导致肌肉组织变软,硬度下降;相对于冻藏而言,冷藏温度较高,可以增强肉样中内源蛋白酶活性^[18],加快肌原纤维蛋白的降解速度,故 4℃ 条件下水牛肉硬度下降较快。

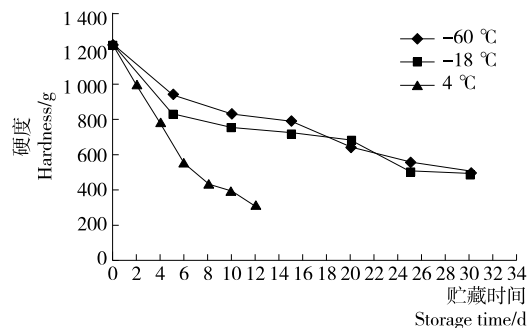


图 1 低温贮藏过程中水牛肉硬度的变化

Figure 1 Change in hardness of buffalo meat during low temperature storage

2.2 内聚性的变化

由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,不同贮藏条件下水牛肉的内聚性总体呈不断增加趋势,且贮藏温度越高,内聚性增加越大。3 种贮藏条件下,4℃ 冷藏水牛肉的内聚性增加幅度最大,其次是一 18℃ 的。这因为肌肉的内聚性与 ATP 酶活性密切相关,但 ATP 酶活性与贮藏温度有密切联系,由于 4℃ 冷藏较 -60, -18℃ 冻藏可以提高肌肉中的肌球蛋白 ATP 酶活性,进一步促进 ATP 的分解和减少,随着 ATP 的丧失促使肌球蛋白细丝和肌球蛋白粗丝之间交联形成肌球蛋白,从而引起肌肉连续性收缩,进而使得肌肉肌原纤维产生较高的紧张度,使得肌肉内聚性增加^[19-20],故 4℃ 冷藏水牛肉的内聚性最大, -60℃ 冻藏水牛肉的内聚性最小。

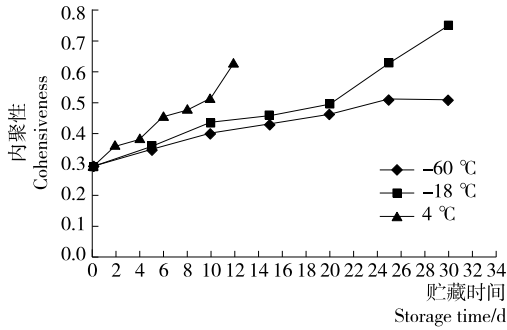


图 2 低温贮藏过程中水牛肉内聚性的变化

Figure 2 Change in cohesiveness of buffalo meat during low temperature storage

2.3 弹性的变化

由图 3 可知,水牛肉在低温贮藏前 4 d,水牛肉的弹性呈急剧下降趋势,下降率达 24.25%,随后逐渐趋于平缓,-18,-60 °C 冻藏条件下水牛肉的弹性均大于 4 °C 冷藏的。低温贮藏过程中水牛肉弹性不断下降,可能与低温可以有效抑制内源酶活性,肌肉中肌球蛋白发生变性少肌肉间结合力较大有关^[21];也可能是由贮藏过程中水牛肉滴水损失不断增加和持水力不断降低所致。张丽等^[13]研究了牦牛肉在温度 4 °C 成熟过程中质构特性变化,结果发现随着成熟时间的延长,牦牛肉的弹性逐渐降低,7 d 后牦牛肉的弹性较屠宰时减少 14.09%。敖冉等^[14]研究了驴肉在 4 °C 低温成熟过程中弹性的变化,发现成熟 7 d 后驴肉的弹性由原来的 6.6 mm 下降为 5.8 mm,下降了 12.12%。陈涛等^[22]研究了不同贮藏条件下东海马鲛鱼鱼肉弹性的变化,发现低温可以有效降低肌肉中内源蛋白酶的活性,减少肌肉间的结合力。由此可见,不同肉类(水牛肉、牦牛肉和驴肉)在低温贮藏或成熟过程中弹性下降率存在一定差异,可能与动物种类、品种、肌肉肌纤维大小以及肌肉内源酶活性有着密切联系。

2.4 咀嚼性的变化

由图 4 可知,随着贮藏时间的延长,不同贮藏温度下

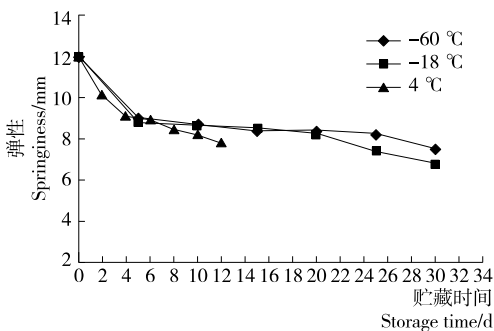


图 3 低温贮藏过程中水牛肉弹性的变化

Figure 3 Change in springness of buffalo meat during low temperature storage

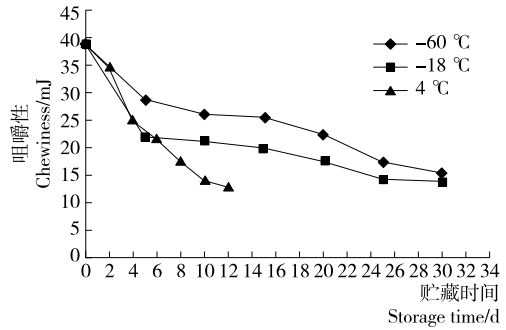


图 4 低温贮藏过程中水牛肉咀嚼性的变化

Figure 4 Change in chewiness of buffalo meat during low temperature storage

水牛肉咀嚼性不断降低,且冷藏(4 °C)条件下水牛肉的咀嚼性几乎呈直线下降趋势,下降幅度显著大于冻藏(-18,-60 °C)条件下的。冻藏期间,前 5 d 水牛肉的咀嚼性下降幅度较大,-18,-60 °C 冻藏的水牛肉分别下降了 28.01%,44.73%,随后下降趋势减缓;整个贮藏期间,-60 °C 冻藏的水牛肉咀嚼性始终大于-18 °C 冻藏的。低温贮藏过程中水牛肉的咀嚼性不断降低,可能是由于在某些特殊腐败微生物、蛋白酶 I、蛋白酶 II、组织蛋白酶 B、D、H 和 L 等肌肉内肽酶的共同作用下,肌肉蛋白质发生降解,肌肉组织变软,水牛肉口感不断降低所致^[23]。许婷婷等^[24]研究了不同贮藏条件下鲈鱼鱼肉咀嚼性的变化,结果发现随着贮藏时间的延长,-55 °C 冻藏的鲈鱼咀嚼性高于-20 °C 冻藏的,且冻藏的鲈鱼样品始终高于 5 °C 冷藏的。尽管水牛肉与鱼肉的肌肉来源不同,但两者在不同贮藏条件下其咀嚼性呈现类似变化趋势,证明降低贮藏温度,可以有效提高肉类的咀嚼性,即肉的嚼劲。而且进一步证实了降低贮藏温度可以增加水牛肉的硬度(图 1)。

2.5 胶着性的变化

由图 5 可知,随着贮藏时间的延长,水牛肉的胶着性不断降低。4 °C 冷藏期间,前 4 d 水牛肉的胶着性呈直线下降,下降率高达 37.43%;冻藏期间,前 5 d 水牛肉的胶着性下降幅度较大,-18,-60 °C 冻藏的水牛肉分别下降了 22.88%,32.24%,随后水牛肉胶着性下降趋势趋于平缓,且两者变化趋势基本一致,而且-60 °C 冻藏的水牛肉胶着性始终大于-18 °C 冻藏的。Maqsood 等^[25]研究了 4 °C 冷藏过程中驼肉的胶着性的变化,发现随着冷藏时间的延长,驼肉的胶着性不断下降,贮藏 9 d 后驼肉的胶着性下降率高达 65.36%。水牛肉的胶着性随着贮藏时间的延长不断降低,可能是低温贮藏期间,水牛肉肌原纤维发生了氧化降解,暴露出更多的疏水性基团所导致。而且,4 °C 冷藏过程中,水牛肉胶着性的下降幅度低于驼肉,

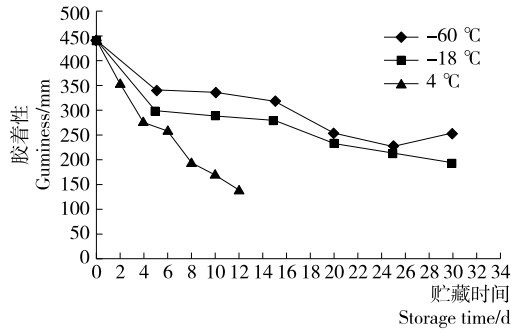


图5 低温贮藏过程中水牛肉胶着性的变化

Figure 5 Change in gumminess of buffalo meat during low temperature storage

可能与动物肌原纤维种类、粗细程度和肌肉中组织蛋白酶种类及其含量密切相关。

2.6 质构指标的相关性分析

2.6.1 4 °C 冷藏过程中质构指标的相关性分析 如表 1 所示,硬度与弹性、胶着性、咀嚼性显著正相关 ($P < 0.05$),是由于冷藏过程中水牛肉的硬度变化与弹性、胶着性和咀嚼性三者变化总体均呈下降趋势。内聚性与硬度、弹性、胶着性、咀嚼性没有显著的相关性 ($P > 0.05$);弹性与硬度、胶着性、咀嚼性显著正相关,胶着性与硬度、弹性、咀嚼性也有显著的相关性 ($P < 0.05$),是由于冷藏过程中水牛肉弹性、胶着性两者变化与硬度、咀嚼性的变化总体呈降低趋势;咀嚼性与硬度、弹性、胶着性三者显著正相关 ($P < 0.05$),是由于咀嚼性是硬度、弹性和胶着性等共同作用所致。

表 1 4 °C 冷藏过程中水牛肉质构特性的相关性分析[†]

Table 1 Correlation analysis among texture indexes of buffalo meat during refrigerated storage (4 °C)

指标	硬度	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性
硬度	1.000				
内聚性	0.058	1.000			
弹性	0.478*	0.250	1.000		
胶着性	0.595*	0.141	0.747*	1.000	
咀嚼性	0.657*	0.177	0.547*	0.650*	1.000

[†] *表示 $P < 0.05$ 水平(双侧)时相关性显著。

2.6.2 -18 °C 冻藏过程中质构指标的相关性分析 由表 2 可知,-18 °C 冻藏过程中,水牛肉的硬度与咀嚼性、弹性、胶着性呈显著的正相关 ($P < 0.05$);内聚性与各指标没有显著的相关性 ($P > 0.05$);弹性与硬度、咀嚼性呈显著的正相关,胶着性与硬度、咀嚼性亦呈显著的正相关 ($P < 0.05$);咀嚼性与硬度、胶着性、弹性呈显著的正相关 ($P < 0.05$)。

2.6.3 -60 °C 冻藏过程中质构指标的相关性分析 由表 3 可知,-60 °C 冻藏过程中,水牛肉的硬度与咀嚼性、

表 2 -18 °C 冻藏过程中水牛肉质构特性的相关性分析[†]
Table 2 Correlation analysis among texture indexes of buffalo meat during frozen storage (-18 °C)

指标	硬度	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性
硬度	1.000				
内聚性	-0.056	1.000			
弹性	0.726*	0.224	1.000		
胶着性	0.664*	0.217	0.462	1.000	
咀嚼性	0.833*	-0.168	0.619*	0.636*	1.000

[†] *表示 $P < 0.05$ 水平(双侧)时相关性显著。

表 3 -60 °C 冻藏过程中水牛肉质构特性的相关性分析[†]
Table 3 Correlation analysis among texture indexes of buffalo meat during frozen storage (-60 °C)

指标	硬度	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性
硬度	1.000				
内聚性	-0.285	1.000			
弹性	0.691*	-0.084	1.000		
胶着性	0.834*	-0.286	0.809*	1.000	
咀嚼性	0.870*	-0.332	0.825*	0.920*	1.000

[†] *表示 $P < 0.05$ 水平(双侧)时相关性显著。

胶着性、弹性呈显著的正相关 ($P < 0.05$);内聚性与各指标没有显著的相关性 ($P > 0.05$);弹性与咀嚼性、胶着性、硬度呈显著的正相关 ($P < 0.05$);胶着性与咀嚼性、硬度、弹性呈显著的正相关 ($P < 0.05$);咀嚼性与胶着性、硬度、弹性呈显著的正相关 ($P < 0.05$)。

由此可见,冷藏和冻藏过程中,水牛肉的硬度与弹性、胶着性、咀嚼性呈显著正相关,但冻藏水牛肉的硬度与弹性、胶着性、咀嚼性的正相关系数(0.664~0.920)高于冷藏的水牛肉(0.478~0.657),且-60 °C 冻藏水牛肉的硬度与弹性、胶着性、咀嚼性的正相关系数(0.691~0.920)高于-18 °C 冻藏的水牛肉(0.664~0.833);但冷藏和冻藏过程中,水牛肉的内聚性与其他指标没有显著的相关性。

3 结论

采用质地多面剖析法对 3 种不同低温贮藏过程中水牛肉的质构特性进行测定,结果显示随着贮藏时间的延长,水牛肉的硬度、弹性、咀嚼性和胶着性呈不断降低的趋势,而水牛肉的内聚性呈不断增加的趋势;冷藏、冻藏过程中,水牛肉的硬度与弹性、胶着性、咀嚼性显著正相关 ($P < 0.05$),但水牛肉的内聚性与各指标没有显著的相关性 ($P > 0.05$)。3 种低温贮藏条件下,-60 °C 冻藏水牛肉质构特性变化相对缓慢,其保鲜效果优于 4 °C 冷藏和 -18 °C 冻藏。试验仅探究了 4 °C 冷藏和 -18,-60 °C 冻藏过程中水牛肉质构特性的变化,而未探讨贮藏过程中

水牛肉的色泽、风味和微生物的变化情况,后续可研究贮藏过程中水牛肉的食用品质变化规律。

参考文献

[1] NAVEENA B M, KIRANT M. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security [J]. *Animal Frontiers*, 2014, 4(4): 18-24.

[2] 催保威, 王复龙, 崔昱清, 等. 我国水牛产业现状简析[J]. *肉类研究*, 2013, 27(11): 37-40.

[3] 李玲, 唐艳, 农皓如, 等. 杂交水牛肉与黄牛肉营养特性对比研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(3): 95-97.

[4] MELLO J L M, RODRIGUES A B B, GIAMPIETRO-GANECO A, et al. Characteristics of carcasses and meat from feed-finished buffalo and *Bos indicus* (Nelore) bulls[J]. *Animal Production Science*, 2018, 58(7): 1 366-1 374.

[5] 张秋会, 李苗云, 黄现青, 等. 肉制品的质构特性及其评价[J]. *食品与机械*, 2012, 28(3): 36-39, 121

[6] 郝洪涛, 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.

[7] WANG Wen-hang, WANG Xiao, ZHAO Wen-ping, et al. Impact of pork collagen superfine powder on rheological and texture properties of Harbin red sausage[J]. *Journal of Texture Studies*, 2018, 49(3): 300-308.

[8] LAPCIK L, VASINA M, LAPCIKOVA B, et al. Application of a vibration damping technique in characterizing mechanical properties of chicken meat batters modified with amaranth[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2017, 11(4): 1 987-1 994.

[9] LUCKETT C R, KUTAPPAN V A, JOHNSON L G, et al. Comparison of three instrumental methods for predicting sensory texture attributes of poultry deli meat[J]. *Journal of Texture Studies*, 2014, 29(3): 171-181.

[10] SHAO Ying, XIONG Guang-quan, LING Jiang-gang, 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(3): 234-240.

[11] 许鹏, 郑亚东, 诸晓旭, 等. 不同碱性氨基酸对乳化香肠品质特性的影响[J]. *肉类研究*, 2017, 31(5): 5-9.

[12] 金颖, 董玉影, 李官浩, 等. 成熟期间不同部位延边黄牛肉嫩度及质构特性的相关性分析[J]. *食品科技*, 2015, 40(3): 132-135.

[13] 张丽, 师希雄, 余群力, 等. 甘南牦牛肉质特性分析[J]. *肉类研究*, 2013, 27(9): 19-21.

[14] 敖冉, 赵雪聪, 王伟, 等. 驴肉在低温成熟过程中质构变化研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(7): 126-128.

[15] 陈军, 赵立, 郑春华. 前处理对 4℃贮藏条件下鲢鱼质构的影响[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(6): 108-110.

[16] MAQSOOD S, BENJAKUL S, BALANGE A K. Effect of tannic acid and kiam wood extract on lipid oxidation and textural properties of fish emulsion sausage [J]. *Food Chemistry*, 2012, 130(2): 408-416.

[17] HUIDORO F R, MIGUEL E, ONEGA E, et al. Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem[J]. *Meat Science*, 2003, 65(4): 1 439-1 446.

[18] LAKSMANAN R, PIGGOTT J R, PATERSON A. Potential application of high pressure for improvement in salmon quality[J]. *Trend in Food Science and Technology*, 2003, 14(9): 354-362.

[19] 孙天利. 冰温保鲜技术对水牛肉品质的影响研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013: 39-40.

[20] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 56-57.

[21] 戴志远, 崔雁娜, 王宏海. 不同冻藏条件下养殖大黄鱼肉质构变化的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(8): 188-191.

[22] 陈涛, 陆云飞, 叶晓峰, 等. 不同贮藏条件下东海马鲛鱼肉质构变化研究[J]. *食品科技*, 2012, 37(9): 129-132.

[23] RIEBROY S, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, et al. Effect of iced storage of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) on the chemical composition, properties and acceptability of somfug, a fermented Thai fish mince [J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(1): 279-280.

[24] 许婷婷, 丁静平, 林甘露, 等. 不同贮藏条件下东海鲈鱼肉质构变化研究[J]. *食品工业*, 2012, 33(7): 99-103.

[25] MAQSOOD S, ABUSHELAIBI A, MANHEEM K, et al. Characterization of the lipid and protein fraction of fresh camel meat and the associated changes during refrigerated storage[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015, 41: 212-220.