DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2019.07.011

年龄对牦牛平滑肌食用品质的影响及其相关性分析

Edible quality changes and the correlation of yak rumen smooth muscle during different age stages

李升升[1,2] 李瑞哲[1] 张强龙[1]

LI Sheng-sheng[1,2] *LI Rui-zhe*[1] *ZHANG Qiang-long*[1]

(1. 青海大学畜牧兽医科学院,青海 西宁 810016;
2. 国家牦牛肉加工技术研发专业中心,青海 西宁 810016)

(1. *Academy of Animal and Veterinary Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai* 810016, *China*;
2. *National R&D Center for Yak Meat Processing Technology, Xining, Qinghai* 810016, *China*)

摘要:以 1～6 岁牦牛瘤胃平滑肌为试验原料,测定不同年龄下其瘤胃平滑肌含水率、持水力、蒸煮损失、剪切力和质构等指标的变化,并对年龄与各食用品质指标进行相关性分析。结果表明:随牦牛年龄的增加,其瘤胃平滑肌的含水率、持水力、内聚性、弹性和胶着性显著减小($P<0.05$);蒸煮损失、剪切力、硬度和咀嚼性显著增大($P<0.05$)。相关性分析表明年龄与瘤胃平滑肌各指标显著相关($P<0.01$)。综合来看,随牦牛年龄增加其瘤胃平滑肌的食用品质下降,选择适宜的屠宰年龄可使牦牛平滑肌具有较好的食用品质。

关键词:牦牛;瘤胃平滑肌;年龄;食用品质;相关性分析

Abstract: In order to investigate the edible quality change and correlation of yak rumen smooth muscle under different age. Water content, water holding capacity, cooking loss, shear force, and texture of yak rumen smooth muscle from 1～6 years-old yaks were measured. The results showed that with the increase of age, water content, water holding capacity, cohesiveness, springiness, and gumminess of yak rumen smooth muscle significantly decreased ($P<0.05$); cooking loss, shear force, hardness, and chewiness of yak rumen smooth muscle also significantly increased ($P<0.05$). Correlation analysis indicated that there were significantly correlation of yak age with water content, water holding capacity, cooking loss, shear force, and texture ($P<0.01$). In summary, the yak rumen smooth muscle edible quality decreased with the age increasing. Therefore yak rumen smooth muscle would have a suitable edible quality by slaughter at a right age.

Keywords: yak; rumen smooth muscle; age; edible quality; correlation analysis

牦牛主要生活在中国青藏高原及其沿线高海拔地区,其生长性能受到环境因素和草场质量的影响。关于牦牛出栏及屠宰年龄时间没有相对统一的规定,由此造成了牦牛肉及其产品品质的显著差异[1-3]。平滑肌是存在于动物胃、肠等内脏中的一种肌肉组织,长期以来富含平滑肌的内脏主要被作为副产物处理,未能发挥其肉用价值[4]。

食用品质是肉品的主要品质,包括持水力、蒸煮损失、剪切力和质构等指标,是影响肉品加工和消费的主要指标[5-6]。相关研究[7-12]表明牛肉、羊肉等肉品的嫩度、持水力和可接受性等食用品质均随年龄的增加而呈降低趋势。其中,Li 等[9]指出秦川牛肉的肌纤维直径和密度随年龄增加而显著增加,导致秦川牛肉的嫩度降低。徐瑛[11]报道 3 岁牦牛肉的含水量为 71.94%,而 7 岁以上牦牛肉的含水量降低到 67.04%,而且 7 岁以上牦牛肉的剪切力是 3 岁以下牦牛肉的 2.05 倍。然而对于平滑肌而言,是否也随年龄的增加而劣变,其变化程度如何等问题尚未见报道。

本试验拟研究 1～6 岁牦牛瘤胃平滑肌中含水量、加压系水力、蒸煮损失、剪切力和质构等指标的变化,并进行相关性分析。旨在明确年龄对牦牛瘤胃平滑肌食用品质的影响,为平滑肌产品的开发、加工和品质控制提供理论依据和数据支持。

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31701625);青海省科技合作专项(编号:2018-HZ-816);青海省重点研发与转化项目资助(编号:2019-NK-109)

作者简介:李升升(1984－),男,青海大学助理研究员,博士。E-mail:lishsh123@163.com

收稿日期:2019-03-01

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜牦牛瘤胃：牦牛选自青海裕泰畜产品有限公司养殖厂，并在青海裕泰畜产品有限公司屠宰车间进行屠宰，取样时结合牦牛的养殖记录和牙齿及角的状态判定牦牛的年龄，选取 1～6 岁各年龄的公牦牛各 5 头，取其宰后的牦牛瘤胃进行试验。

1.2 仪器与设备

电子称：JM-B3003 型，诸暨市超泽衡器设备有限公司；

电热恒温鼓风干燥箱烘箱：WH-A-8 型，南京安邦干燥设备有限公司；

应变式控制式无侧限压力仪：YYW-2 型，南京土壤仪器厂有限公司；

质构仪：CT-3 型，美国布鲁克菲尔德工程公司；

电热恒温水浴锅：HH-6 型，上海比朗仪器有限公司；

中心温度计：TP-3001 型，苏州市沧浪区泰式电子经营部。

1.3 方法

1.3.1 样品处理　除去牦牛瘤胃的内容物，用水洗净瘤胃表面杂物，于(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。随后将平滑肌分成(120±5) g 的肉块，分别测定牦牛瘤胃平滑肌的含水量、加压系水力、蒸煮损失、剪切力和质构等指标。

1.3.2 指标测定方法

(1) 含水量的测定：按 GB 5009.3—2010 的直接烘干法执行。

(2) 持水力的测定：按 NY/T 1333—2007 执行。

(3) 蒸煮损失的测定：参照文献[13]。

(4) 剪切力的测定：参照文献[14]。

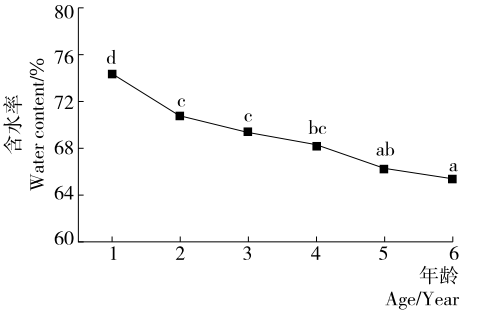
(5) 质构的测定：采用质构仪测定样品的硬度、内聚性、弹性、胶着性和咀嚼性。将肉样切成长×宽为 10 mm×10 mm 的方形，2～3 块堆叠至样品高度 10 mm，采用质地剖面分析 TPA 模式模拟口腔的咀嚼运动，通过对样品的两次压迫对肉样进行测定。测试参数为测试前速率 2 mm/s，测试速率 1 mm/s，测试后速率 1 mm/s，触发力 5 g，样品高度 10 mm，压缩比 50%。TPA 结果采用 TPA-macro 分析，每个样品测定 10 次，取平均值。

1.3.3 统计方法　每个试验重复 5 次，每次 3 个平行样，结果用(均值±标准差)表示。用 SPSS 19.0 对数据进行方差分析(ANOVA)，各处理平均数间采用 Duncan 多重比较法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 对牦牛瘤胃平滑肌含水率的影响

由图 1 可知，随着牦牛年龄的增加，瘤胃平滑肌的含水率显著降低(P＜0.05)，含水率由 1 岁时的(74.34±2.11)%降低到 6 岁时的(65.35±1.87)%，含水率减少了 12.09%，说明年龄对平滑肌含水率有较大影响。随年龄增加，肌肉中的含水率降低，说明肌肉的持水能力随年龄的增加而减少，可能是随年龄增加肌肉中的系水物质减少[15]。与徐瑛[11]报道不同年龄对牦牛肉含水量的影响规律一致。



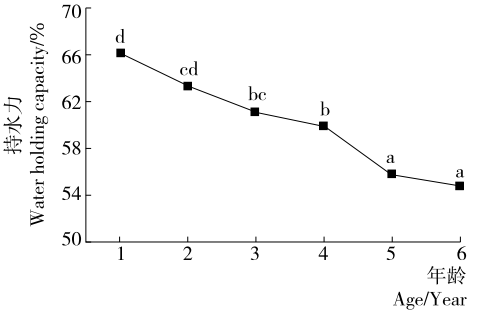
字母不同表示差异显著(P＜0.05)

图 1　年龄对牦牛瘤胃平滑肌含水率的影响

Figure 1　Effect of age on water content of yak rumen smooth muscle

2.2 对牦牛瘤胃平滑肌持水力的影响

年龄对牦牛瘤胃平滑肌持水力的影响如图 2 所示，随年龄增加牦牛瘤胃平滑肌的持水力显著降低(P＜0.05)，从 1～6 岁，其持水力从(66.16±1.71)%减少到(54.86±0.92)%，减少了 17.08%，与年龄对牦牛瘤胃平滑肌含水率的影响规律一致。进一步说明随年龄的增加牦牛瘤胃平滑肌的持水能力显著降低。此结果与牛肉持水力随年龄的变化规律一致[16-17]。



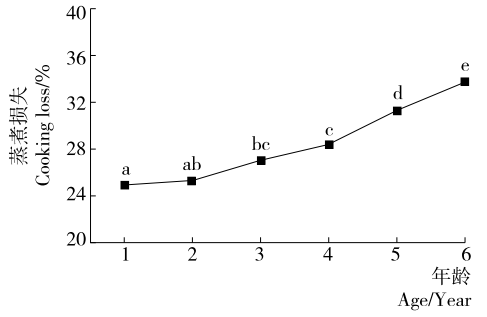
字母不同表示差异显著(P＜0.05)

图 2　年龄对牦牛瘤胃平滑肌持水力的影响

Figure 2　Effect of age on water holding capacity of yak smooth muscle

2.3 对牦牛瘤胃平滑肌蒸煮损失的影响

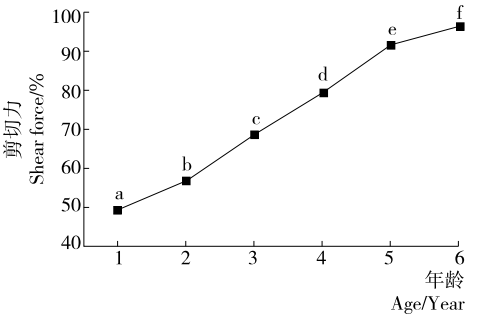
由图 3 可知，在所选取的年龄范围内，随着年龄的增加，牦牛瘤胃平滑肌蒸煮损失显著增加(P＜0.05)，其蒸煮损失由(24.93±0.63)%增加到(33.74±1.45)%，增加了 35.34%。肌肉中的含水率、持水力和蒸煮损失都是反



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 3　年龄对牦牛平滑肌蒸煮损失的影响

Figure 3　Effect of age on cooking loss of yak rumen smooth muscle



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 4　年龄对牦牛瘤胃平滑肌剪切力的影响

Figure 4　Effect of age on shear force of yak rumen smooth muscle

映肉品持水能力的指标,含水率越大、持水率越大,蒸煮损失越小,说明肌肉的持水能力越强,试验结果中蒸煮损失随年龄的增加而增加,与年龄对牦牛瘤胃平滑肌含水率和持水力的结果相反,进一步说明年龄越大,牦牛瘤胃平滑肌的持水能力越差。可能是随年龄增加肌肉中的亲水物质减少,使得肌肉的持水能力降低[18-19]。

2.4　对牦牛瘤胃平滑肌剪切力的影响

由图 4 可知,牦牛瘤胃平滑肌剪切力值随年龄的增加而显著增加(P<0.05),其变化趋势基本呈"直线",剪切力值从 1 岁的(49.13±1.84) N 增加到 6 岁的(96.53±0.74) N,增加了 96.48%。Li 等[9]报道秦川牛的剪切力也随年龄的增加而显著增加(P<0.05);Slatter 等[20]也指出肌肉的嫩度随年龄增加而变差,肌肉的嫩度主要受肌纤维和结缔组织的影响。大量研究[21-22]表明随着年龄的增加,肌肉中的胶原蛋白交联度增加和肌纤维直径增加造成了肌肉的剪切力值增加;平滑肌与骨骼肌具有类似的结构和组成,推测平滑肌的剪切力随年龄的增加而增加也主要受肌纤维直径、密度增加和胶原蛋白交联的影响。

2.5　对牦牛瘤胃平滑肌质构的影响

不同年龄牦牛瘤胃平滑肌的硬度、内聚性、弹性、胶着性和咀嚼性变化如表1所示。随着年龄的增加,牦牛瘤胃平滑肌的硬度和咀嚼性显著增加(P<0.05),6 岁牦牛瘤胃平滑肌的硬度和咀嚼性与 1 岁相比分别增加了 91%,102%;而内聚性、弹性和胶着性则随牦牛瘤胃平滑肌年龄的增加而显著降低(P<0.05),其降低幅度分别为 25%,32%,39%。说明随着年龄的增加,牦牛瘤胃平滑肌的质构发生了显著的变化,变化趋势表现为肉品的食用品质下降。分析认为肌肉中的主要组成为肌纤维和肌膜,大量研究[23-25]表明肌纤维随年龄的变化表现为直径和密度增加,而肌膜的主要组成是胶原蛋白,表现为交联度增加和溶解性降低;肌纤维和胶原蛋白随年龄变化的结果就是导致肌肉随年龄的增加而表现为硬度和咀嚼性增加,内聚性、弹性和胶着性降低。

2.6　相关性分析

将年龄与牦牛瘤胃平滑肌含水率、持水力、蒸煮损失、剪切力和质构等指标进行相关性分析,结果如表 2 所示,牦牛年龄与瘤胃平滑肌蒸煮损失、剪切力、硬度和咀嚼性呈显著正相关(P<0.01),相关系数分别为 0.938,0.991,0.983,0.974;牦牛年龄与瘤胃平滑肌含水率、持水力、内聚性、弹性和胶着性呈显著负相关(P<0.01),相关系数分别为-0.909,-0.936,-0.795,-0.969,-0.946。

由以上分析可知,牦牛年龄与瘤胃平滑肌含水率、持水力、蒸煮损失、剪切力、硬度、内聚性、弹性、胶着性和咀

表 1　年龄对牦牛瘤胃平滑肌质构的影响†

Table 1　Effect of age on texture of yak rumen smooth muscle

年龄/年	硬度/(N·cm^{-2})	内聚性	弹性/mm	胶着性	咀嚼性/mJ
1	31.67±2.07^{a}	0.68±0.03^{c}	5.53±0.17^{d}	26.27±1.27^{d}	71.56±2.16^{a}
2	36.33±1.43^{b}	0.62±0.11^{bc}	5.38±0.02^{d}	24.89±1.32^{d}	88.99±2.03^{b}
3	42.00±2.62^{c}	0.61±0.04^{bc}	4.91±0.21^{c}	21.49±1.93^{c}	107.63±6.06^{c}
4	50.12±2.78^{d}	0.59±0.03^{abc}	4.25±0.11^{b}	19.06±1.52^{bc}	121.48±8.62^{d}
5	56.55±1.30^{e}	0.53±0.02^{ab}	3.88±0.12^{a}	17.49±0.88^{ab}	134.77±6.60^{e}
6	60.39±1.58^{f}	0.51±0.01^{a}	3.75±0.11^{a}	16.07±1.24^{a}	144.21±8.49^{e}

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 2　年龄与牦牛平滑肌各品质指标的相关性分析†

Table 2　Correlation analysis of yak rumen smooth muscle quality and age

含水量	持水力	蒸煮损失	剪切力	硬度	内聚性	弹性	胶着性	咀嚼性
−0.909**	−0.936**	0.938**	0.991**	0.983**	−0.795**	−0.969**	−0.946**	0.974**

†　**表示在 0.01 水平上显著相关。

嚼性等食用指标显著相关(P<0.01)。牦牛瘤胃平滑肌蒸煮损失、剪切力、硬度和咀嚼性随年龄的增加呈劣变趋势,表现为数值增大;而含水率、持水力、内聚性、弹性和胶着性随年龄的增加也呈劣变趋势,表现为数值减小;总体来看牦牛瘤胃平滑肌的食用品质随年龄增加而呈现劣变,说明选择适宜的屠宰年龄是肉品食用品质得以保持的主要因素。

3　结论

本试验研究了牦牛年龄对其瘤胃平滑肌含水率、持水力、蒸煮损失、剪切力和质构的影响,并对年龄与牦牛平滑肌各食用品质指标进行了相关性分析。结果表明,随牦牛年龄的增加,其瘤胃平滑肌的含水率、持水力、内聚性、弹性和胶着性显著减小;蒸煮损失、剪切力、硬度和咀嚼性显著增大。相关性分析表明年龄与瘤胃平滑肌各指标显著相关,牦牛年龄与瘤胃平滑肌蒸煮损失、剪切力、硬度和咀嚼性呈显著正相关(P<0.01);与瘤胃平滑肌含水率、持水力、内聚性、弹性和胶着性呈显著负相关(P<0.01)。综合分析可见,牦牛屠宰年龄越大,其食用品质越低,选择适宜的屠宰年龄可使牦牛平滑肌具有较好的食用品质。本试验研究了牦牛瘤胃平滑肌随年龄增加的变化规律,但对年龄增加是通过影响肌肉中哪些成分的变化而影响其食用品质的问题未进行深入探讨,后续将进行重点研究。

参考文献

[1] 马志杰. 牦牛 Y 染色体分子遗传学研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(2): 93-99.

[2] 李升升, 余群力. 牦牛骨骼肌、平滑肌和心肌氨基酸和脂肪酸组成分析及营养评价[J]. 营养学报, 2018, 40(2): 194-196.

[3] 杨巧能, 梁琪, 文鹏程, 等. 宰后成熟时间对不同年龄牦牛肉用品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 237-241.

[4] CHANG Ya-shou, STROMER M H, CHOU Rong-ghi. μ-Calpain is involved in the postmortem proteolysis of gizzard smooth muscle [J]. Food Chemistry, 2013, 139(2): 384-388.

[5] 李升升, 靳义超. 加热介质和时间对牦牛肉品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 174-178.

[6] 李升升, 靳义超. 基于主成分和聚类分析的牦牛部位肉品质评价[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(2): 159-164.

[7] 莎丽娜. 自然放牧苏尼特羊肉品质特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 56-65.

[8] SCHONFELDT H C, STRYDOM P E. Effect of age and cut on tenderness of South African beef[J]. Meat Science, 2011, 87(3): 206-218.

[9] LI Li-qiang, TIAN Wan-qiang, ZAN Lin-sen. Effects of age on quality of beef from Qinchuan cattle carcass[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(11): 1 765-1 771.

[10] 卢桂松, 王复龙, 朱易, 等. 秦川牛花纹肉剪切力值与胶原蛋白吡啶交联和热溶解性的关系[J]. 中国农业科学, 2013, 46(1): 130-135.

[11] 徐瑛. 年龄对牦牛肉肉用品质及钙激活酶活性影响的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014: 36-38.

[12] MODZELEWSKA-KAPITULA M, NOGALSKI Z. Effect of gender on collagen profile and tenderness of infraspinatus and semimembranosus muscles of Polish Holstein-Friesian × Limousine crossbred cattle[J]. Livestock Science, 2014, 167(9): 417-424.

[13] 李升升. 热处理对牦牛肉品质的影响及其相关性分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 207-210.

[14] 李升升, 余群力, 靳义超. 适宜加热温度保持牦牛瘤胃平滑肌加工品质和组织结构[J]. 农业工程学报, 2017, 33(23): 300-305.

[15] JEREMIAH L E, GIBSON L L, AALHUS J L, et al. Assessment of palatability attributes of the major beef muscles[J]. Meat Science, 2003, 65(3): 949-958.

[16] 李升升, 靳义超, 谢鹏. 包装材料阻隔性对牛肉冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 256-260.

[17] ZAKRYS-WALIWANDER P I, O'SULLIVAN M G, O'NEILL E E, et al. The effects of high oxygen modified atmosphere packaging on protein oxidation of bovine M. longissimus dorsi muscle during chilled storage[J]. Food Chemistry, 2012, 131(2): 527-532.

[18] DUBOST A, MICOL D, PICARD B, et al. Structural and biochemical characteristics of bovine intramuscular connective tissue and beef quality[J]. Meat Science, 2013, 95(3): 555-561.

[19] 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.

[20] SLATTER D A, AVERY N C, BAILEY A J. Collagen in its fibrillar state is protected from glycation[J]. The International of Biochemistry & Cell Biology, 2008, 40(10): 2 253-2 263.

(下转第 180 页)

基化改性使玉米谷蛋白 Fe^{2+} 螯合能力进一步增加，两者螯合 Fe^{2+} 的 EC_{50} 值分别为 2.94，1.67 mg/mL。分析可能的原因是糖基化改性使玉米谷蛋白的结构发生改变，谷氨酰胺残基上的一些配位能力较强的基团例如羰基(—C═O)裸露出来，更易于与 Fe^{2+} 发生络合反应，因此糖基化改性玉米谷蛋白可以通过螯合 Fe^{2+} 来阻止 Fe^{2+} 与 H_2O_2 反应产生羟基自由基，从而消除自由基对机体造成的氧化性损伤，与 2.2.2 的结果相一致。

3　结论

玉米谷蛋白是结构紧密、分子量巨大而复杂的大分子蛋白质，其溶于稀酸碱性溶液的特性限制了其在食品工业中的应用。本试验利用 TGase 和 *D*-氨基半乳糖对玉米谷蛋白进行糖基化改性，研究了糖基化改性对玉米谷蛋白结构性质和抗氧化活性的影响。红外光谱的测定结果表明，在 TGase 的催化下，玉米谷蛋白与 *D*-氨基半乳糖发生了共价结合，但结合量较低。与玉米谷蛋白相比，*D*-氨基半乳糖的共价结合使玉米谷蛋白的结构变得无序而松散，热稳定性降低；同时，糖基化改性使玉米谷蛋白的抗氧化活性显著提高，说明酶法糖基化是一种适合于对玉米谷蛋白进行改性的有效方法。在此基础上，可以采用细胞试验和动物试验进一步研究糖基化玉米谷蛋白的毒性及生理功能特性，这对糖基化玉米谷蛋白能否成功应用于食品工业具有重要意义。

参考文献

[1] GIOIA L D, CUQ B, GUILBERT S. Effect of hydrophilic plasticizers on thermomechanical properties of corn gluten meal[J]. Cereal Chemistry, 1998, 75: 514-519.

[2] WANG Xiao-jie, ZHENG Xi-qun, KOPPARAPU N K, et al. Purification and evaluation of a novel antioxidant peptide from corn protein hydrolysate[J]. Process Biochemistry, 2014, 49(9): 1 562-1 569.

[3] 罗晶，涂瑾，黄婷玉，等. 玉米醇溶蛋白的磷酸化修饰及结构研究[J]. 现代食品科技，2015，31(8)：88-94.

[4] 吴景，杨光，杨鹏飞. 琥珀酰化对玉米醇溶蛋白消化率的影响[J]. 食品工业科技，2007，28(1)：57-59.

[5] 康伟. 糖基化玉米醇溶蛋白对脂肪氧化的抑制作用[J]. 粮食与油脂，2018，31(10)：52-55.

[6] 徐晶，刘晓兰，郑喜群. 玉米谷蛋白的美拉德糖基化改性[J]. 食品科技，2016，41(7)：244-250.

[7] FU Miao, ZHAO Xin-huai. Modified properties of a glycated and cross-linked soy protein isolate by transglutaminase and an oligochitosan of 5 kDa[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 97(1): 58-64.

[8] ZHU Chang-yue, WANG Xiao-peng, ZHAO Xin-huai. Property modification of caseinate responsible to transglutaminase-induced glycosylation and crosslinking in the presence of a degraded chitosan[J]. Food Science & Biotechnology, 2015, 24 (3): 843-850.

[9] CHEN Lin, ULLAH N, LI Chen-yi, et al. Incorporated glucosamine adversely affects the emulsifying properties of whey protein isolate polymerized by transglutaminase[J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(5): 3 413-3 423.

[10] COLAS B, CAER D, FOURNIER E. Transglutaminase-catalyzed glycosylation of vegetable proteins: Effect on solubility of pea legumin and wheat gliadins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993, 41(11): 1 811-1 815.

[11] 王长远，全越，李玉琼，等. 燕麦麸皮球蛋白的糖基化结构修饰及功能性变化[J]. 食品科学，2017，38(9)：143-148.

[12] 李丽，崔波. 玉米蛋白粉的综合利用及研究进展[J]. 粮食科技与经济，2010，35(3)：45-50.

[13] 刘金玲，刘晓兰，郑喜群. 转谷氨酰胺酶催化壳寡糖糖基化修饰玉米谷蛋白[J]. 食品科技，2015，40(9)：9-11.

[14] 姚欣彤. 酪蛋白和大豆蛋白的脱酰胺和酶法糖基化交联修饰及产物性质[D]. 哈尔滨：东北农业大学，2014：46.

[15] 苏钰琦. 苹果多糖的分离纯化与抗氧化活性深入研究[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2008：60-62.

[16] 曲悦，王晓杰，刘晓兰，等. 酶法糖基化修饰对玉米醇溶蛋白部分结构及流变学性质的影响[J]. 食品与机械，2018，34(9)：11-14，29.

[17] 夏秀芳，王博，郑幸子，等. 大豆糖蛋白的抗氧化特性[J]. 食品科学，2018，39(7)：91-97.

[18] 王晓杰，刘晓兰，丛万锁，等. 壳寡糖酶法糖基化修饰对玉米醇溶蛋白功能性质的影响[J]. 食品科学，2018，39(8)：13-20.

(上接第 66 页)

[21] YANG Xiao-yin, ZHANG Yi-min, ZHU Li-xian, et al. Effect of packaging atmosphere on storage quality characteristics of heavily marbled beef longissimus steaks[J]. Meat Science, 2016, 117: 50-56.

[22] BAO Yu-long, PER E. Relationship between oxygen concentration, shear force and protein oxidation in modified atmosphere packaged pork[J]. Meat Science, 2015, 110(7): 174-179.

[23] HYLDIG G, NIELSEN D. A review of sensory and instrumental methods used to evaluate the texture of fish muscle[J]. Journal of Texture Studies, 2001, 329(3): 219-242.

[24] DE-HUIDOBRO F R, MIGUEL E, BLAZQUEZ B, et al. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat[J]. Meat Science, 2005, 69(3): 527-536.

[25] GUDMUNDSSON M, HAFSTEINSSON H. Gelatin from cod skins as affected by chemical treatments[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(1): 37-39.