

贮藏温度对不同脂肪含量牛肉糜品质及水分变迁的影响

李玉昕¹, 朱迎春¹, 王水晶², 曹智翔³, 郭艳¹, 李威伟¹

(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太谷 030801) (2. 陕西三正医用营养有限公司, 陕西西安 710000)
(3. 河北农业大学食品科技学院, 河北保定 071000)

摘要: 为探索贮藏温度对不同脂肪含量牛肉糜品质及水分变迁的影响, 本试验将牛脂肪添加量不同的牛肉糜(添加0%、10%、20%牛脂肪)托盘包装, 分别在低温(2℃)和冰温(-1.5℃)条件下贮藏, 于贮藏第0 d、3 d、6 d、9 d和12 d天测定其微生物和理化指标。试验结果表明, 冷藏6 d时, 添加20%牛脂肪组菌落总数及嗜冷菌数均超过6.00 log(cfu/g), 为各处理组中最高值。贮藏第12 d时, 三组冰温组的TVB-N值均低于国标规定的25 mg/100 g最高限值, 而此时冷藏组(25.34~25.81 mg/100 g)已超过该限值。脂肪添加量对TBARS值影响显著, TBARS值增加速率从高到低变化顺序依次为: 牛脂肪添加量20%>10%>0%。利用LF-NMR(low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)检测水分存在状态及迁移规律, 发现冰温贮藏组 T_{22} 水分变化较小, T_{23} 水分的自由度增大, 不易流动水含量(P_{22})降低, 自由水含量(P_{23})先增加后减少, 温度对水分变迁影响显著。试验结果表明贮藏温度影响牛肉糜的理化品质及水分变迁, 冰温贮藏可抑制微生物生长, 提高产品的理化性质及水分存在状态的稳定性, 同时牛脂肪添加对牛肉糜微生物性质及水分迁移影响不显著, 但是会加剧脂质氧化, 导致牛肉糜L*值和b*值增大, a*值降低。本研究为牛肉饼的原料配比及其贮藏方式提供理论指导和科学依据。

关键词: 贮藏温度; 脂肪含量; 牛肉糜; 理化性质; 水分迁移

文章编号: 1673-9078(2019)11-152-160

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.11.022

Effect of Storage Temperature on the Quality of Minced Beef with Different Fat Content and Their Water Migration

LI Yu-xin¹, ZHU Ying-chun¹, WANG Shui-jing², CAO Zhi-xiang³, GUO Yan¹, LI Wei-wei¹

(1.College of Food Science and Engineering, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China)

(2.Shanxi Sanzheng Medical Nutrition Co. Ltd., Xian 710000, China)

(3.College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: In order to investigate the effect of storage temperature on the quality of minced beef with different fat content and their water migration, 0%, 10%, 20% butter were added to the minced beef and then packed in trays. The samples were stored at 2 °C and -1.5 °C, respectively. The microbial, physical and chemical properties were detected on the 0, 3rd, 6th, 9th and 12th day of storage. The total number of colonies and the number of psychrophilic bacteria of the 20% tallow group were more than 6.00 log(cfu/g) on the 6th day of storage, which was the highest value among the treatment groups. On the 12th day of storage, the TVB-N value was lower than 25 mg/100 g (the maximum value stipulated by national standards of). Meanwhile, the TVB-N value in the refrigerated group ranged from 25.34 to 25.81 mg/100 g, exceeding the limit of national standards. The addition amount of fat had a significant effect on the value of TBARS. The order of TBARS value was as follow: 20% butter >10% butter >no butter. LF-NMR was used to evaluate water migration. It was found that the content of T_{22} in ice temperature storage group changed little, while that of T_{23} increased. The non-flowable water content (P_{22}) decreased and the free water content (P_{23}) increases first and then decreases. Temperature had a significant effect on water migration. The results showed that storage temperature affected the physical properties of minced beef and their water migration. Ice temperature storage can inhibit microbial growth and this technology can

收稿日期: 2019-06-28

基金项目: 山西省重点研发计划项目(201703D221027-2); 山西省自然科学基金项目(201701D121104)

作者简介: 李玉昕(1996-), 女, 研究生在读, 研究方向: 农产品贮藏与加工

通讯作者: 朱迎春(1970-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工

improve the physical and chemical stability of the product. Meanwhile, the addition amount of fat had no significant effect on microbial properties and water migration of minced beef. However, it can increase the level of lipid oxidation. As a result, the lightness (L^*) and yellowness (b^*) increased, while redness (a^*) decreased. This study can provide theoretical guidance and scientific basis for the formula of minced beef and their storage.

Key words: storage temperature; fat content; minced beef; physical and chemical properties; water migration

冰温贮藏保鲜技术是继冷藏和气调贮藏之后的第三代保鲜技术,它是将生鲜食品置于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下、冰点以上的温度范围内贮藏,使其生理活性维持在最低程度,但又能维持正常的新陈代谢,不会产生腐败和冻害,从而达到较长时间保鲜的效果^[1]。研究报道显示对肉及肉制品进行冰温贮藏,能极大程度地抑制腐败菌的生长并延长货架期^[2]。

牛肉营养丰富、肉质鲜美,是一种营养价值较高的保健型肉类食品,深受消费者的青睐。牛肉饼作为一种新型的方便食品逐渐被人们所认可和喜爱。牛肉饼中脂肪含量的多少决定着牛肉饼的品质,适量的脂肪不仅可以提高产品的风味、增强产品的光滑性和多汁性,而且能够降低成本^[3]。但是脂肪含量是否会对牛肉饼贮藏过程中的品质有所影响,鲜见研究报道。

低场核磁共振(low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)通过检测肉品中氢原子核在磁场中的弛豫特性来获得肉品中水分分布的信息,能够测定肉品的含水量、水分分布、水分迁移以及与之相关的其他性质,具有分辨率高,稳定性强,不破坏和污染样品,且不受样品状态、形状及大小的限制等特点^[4]。近年来已有学者利用 LF-NMR 技术研究了动物屠宰、加工过程中蒸煮、冻结等过程对肉中水分含量及迁移性的影响^[5-8],但还未见利用 LF-NMR 技术研究牛肉糜在贮藏过程中水分迁移变化的报道。

本试验参考西方国家制作牛肉饼时脂肪的添加比例^[9],以新鲜牛肉糜为原料,添加不同比例的牛脂肪,托盘包装后分别进行冰温贮藏($-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)和低温贮藏($2\text{ }^{\circ}\text{C}$),探讨在贮藏过程中温度对不同脂肪含量牛肉糜品质的影响,为牛肉饼的原料配比及其贮藏方式提供理论指导和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

牛背部最长肌,购于天津红旗农贸市场(成熟 72 h 后)。将牛肉去除筋膜、污渍后,绞碎(绞肉机筛板 3 mm 孔径),备用。

牛脂肪,购于天津红旗农贸市场。切碎,备用。

主要试剂:三氯乙酸(Trichloroacetic acid, TCA)、

丁基羟基茴香醚(Butyl hydroxyl anisid, BHA)、2-硫代巴比妥酸、硼酸、盐酸、氧化镁、氯化钾、氯化镁、磷酸氢二钠、氯化钠、氢氧化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、无水乙醇、磷酸等,以上试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

HH-S8 电热恒温水浴锅,北京科伟永兴仪器有限公司;3K15 型高速冷冻离心机,德国 Sigma 公司;紫外/可见分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;HY-2 调速多用振荡器,常州国华电器有限公司;CP114 型分析天平,奥豪斯仪器(上海)有限公司;PHB-4 型便携式酸度计,上海精密科学仪器有限公司;CR-400 型色差仪,日本 Minolta 公司;高剪切分散乳化机,上海弗鲁克流体机械制造有限公司;BC/BD500 卧式新飞冷藏冷冻转换柜,福安市雷诺电气有限公司;DHG-9243BS-恒温鼓风干燥箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;PQ-001 型低场核磁共振成像仪,上海纽迈电子科技有限公司。

1.3 试验设计

将牛肉糜随机分 3 组,其中一组原料肉不添加牛脂肪,另外两组分别加入牛肉重 10%和 20%切碎的脂肪,搅拌均匀后,包裹保鲜膜托盘包装,每盘重量(100 ± 5)g,每组 30 盘,共 90 盘。将包装好的牛肉糜放入(-1.5 ± 0.1) $^{\circ}\text{C}$ 的冰温库和(2 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 的冷藏室分别进行贮藏。在贮藏 0 d、3 d、6 d、9 d、12 d 取出样品进行微生物指标和理化指标(蛋白含量、脂肪含量、灰分、pH、色差、TBARS 值、TVB-N、水分含量)的测定。不添加牛脂肪、添加 10%牛脂肪、添加 20%牛脂肪的试验样品在冰温贮藏条件下表示为 B0、B10、B20;冷藏贮藏条件下 L0、L10、L20。

1.4 试验方法

1.4.1 不同脂肪添加量牛肉糜基本营养成分的测定

粗蛋白含量参照 GB 5009.5-2016 常量凯氏定氮法;粗脂肪含量参照 GB 5009.6-2016 索氏抽提法;水分含量参照 GB 5009.3-2016 食品中水分的测定直接干燥法;灰分测定参照 GB 5009.4-2016 食品中灰分的测

定。

1.4.2 菌落总数的测定

按 GB 4789.2-2016 规定的方法进行平板计数。

1.4.3 嗜冷菌数的测定

同 1.4.2 中菌落总数的测定方法。培养条件: 7 °C /10 d。

1.4.4 pH 的测定

参照 GB 5009.237-2016 的方法, 将牛肉糜准确称取 10.00 g 加入 90 mL 蒸馏水中, 用高剪切分散乳化机 (A 档, 11000 r/min) 将样品乳化, 静置 10 min 后进行过滤, 取上清液用酸度计进行 pH 的测定。

1.4.5 色差的测定

取牛肉糜填充于比色皿内, 压实、抹平, 保证测定表面平整无气泡。使用 D65, 10° 标准光源, 将待测样品置于色差仪反射区 (1 cm), 使反射区完全覆盖。先利用仪器自带白板进行矫正, 然后进行测量, 并记录 L*、a*、b* 值, 作为所测样品的亮度值、红度值和黄度值。

1.4.6 TBARS 值的测定

TBARS 值的测定参考 Liza John^[10]的方法。

1.4.7 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定

TVB-N 按照 GB 5009.228-2016 半微量定氮法进行测定。

1.4.8 CPMG 脉冲序列-自旋-自旋弛豫时间 (T₂) 的测定

在低场核磁共振成像仪 (上海纽迈电子科技有限公司提供 Analyst Software Ver3.3) 上进行。核磁测定参数: 中心频率 22 MHz; 磁体温度 32 °C; 半回波时间 τ -值=200 ms; 回波个数 EchoCount=500。检测结束后保存波串峰点并进入反演程序 (核磁共振弛豫时间反演拟合软件 Ver 4.09) 中反演出 T₂ 分布情况, 用 Excel 数据导出并进行归一化处理。

1.5 数据统计与分析

试验均重复 3 次, 结果用平均值±标准偏差表示。数据统计分析采用 Statistix 8.1 软件包 (St Paul, MN) 中性线性模型 (Linear Model's) 程序进行方差分析, 采用 Tukey HSD 程序进行差异显著性分析 ($p < 0.05$), 采用 SPSS Statistics 17.0 软件进行相关性分析, 采用 SigmaPlot 10.0 绘图软件作图。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分的测定

本试验中三种不同牛脂肪添加量的牛肉糜的粗蛋白、粗脂肪、水分、灰分含量的测定结果如表 1 所示。

表 1 三种牛肉糜的基本营养组成 (%)

Table 1 Nutrients of three different minced beef

牛脂肪添加量/%	粗蛋白含量/%	粗脂肪含量/%	水分含量/%	灰分含量/%
0%	18.13±0.17 ^A	6.81±1.19 ^A	74.04±0.44 ^A	1.02±0.11 ^A
10%	14.26±0.64 ^{AB}	15.62±2.23 ^B	69.07±1.53 ^B	1.05±0.05 ^A
20%	11.05±0.87 ^B	24.94±1.93 ^C	63.27±0.89 ^C	0.74±0.12 ^B

注: 大写字母不同表示纵向比较差异显著 ($p < 0.05$)。

从表 1 中可以看出, 牛脂肪添加量不同, 三种样品的粗脂肪含量变化显著 ($p < 0.05$), 不添加牛脂肪、牛脂肪添加量为 10% 以及牛脂肪添加量为 20% 的样品粗脂肪含量分别为 6.81%、15.62% 和 24.94%, 而随着实际脂肪添加量的增多, 牛肉糜中蛋白质、水分及灰分含量相应的减少。三种不同脂肪含量的牛肉糜的粗蛋白含量为 11.05%~18.13%; 水分含量为 63.27%~74.04%; 灰分含量达到 0.74%~1.05%, 各组的差异性均显著 ($p < 0.05$)。

2.2 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中菌落总数的变化

牛肉的腐败变质多数情况下由细菌引起。贮藏期间, 细菌利用牛肉中蛋白质、糖原等营养物质迅速繁

殖, 使细菌数量增加, 因此, 菌落总数可以作为衡量牛肉腐败程度的重要指标^[11]。图 1 为不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中菌落总数的变化。由图可知, 新鲜的牛肉糜菌落总数为 3.83 log(cfu/g), 表明品质良好。在 0~12 d 贮藏中各组样品菌落总数均呈上升趋势。6 组样品在贮藏 0~3 d 时差异不显著 ($p > 0.05$), 3~12 d 内差异显著 ($p < 0.05$)。冰温贮藏样品的菌落总数始终小于冷藏组, L20 组在贮藏第 6 d 时达到 6.03 log(cfu/g), 超过国家标准 6 log(cfu/g), 而其他五组均 < 6 log(cfu/g); 贮藏 9~12 d 时, 冷藏组菌落总数为 8.53~8.78 log(cfu/g), 高于冰温组 [8.04~8.52 log(cfu/g)], 说明冰温具有抑制微生物生长繁殖的作用。这是因为在冰温条件下水分子呈有序状态排列, 可供微生物利用的自由水含量降低, 从而抑制微生物的生长^[12]。总体而言, 脂肪含量对菌落总数没有显著影响 ($p > 0.05$)。

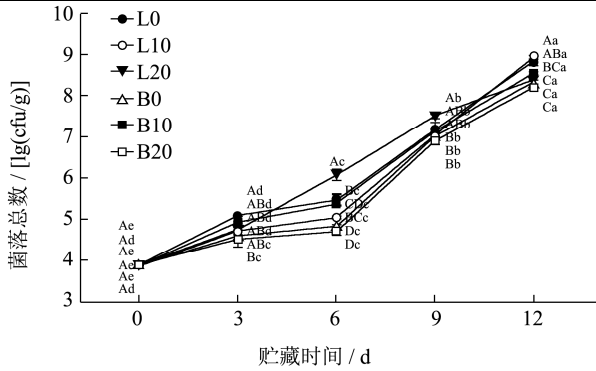


图1 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程菌落总数的变化

Fig.1 Total number of colonies in minced beef for different days

注：大写字母不同表示同一贮藏时间的样品差异显著 ($p < 0.05$)。小写字母不同表示同一样品不同贮藏时间差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

2.3 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中嗜冷菌的变化

嗜冷菌由于特殊的细胞结构和含有抗冷物质，能在一定程度上耐受低温，是低温环境下能够存活的微生物。由图2可以看出，嗜冷菌数的变化趋势与菌落总数基本一致。牛肉糜初始值为 3.64~3.82 log(cfu/g)，随着贮藏时间的延长，6 组不同处理的牛肉糜嗜冷菌数显著提高 ($p < 0.05$)。不同贮藏温度比较，冰温组的嗜冷菌数均小于冷藏组，特别是在贮藏 6 d 后冰温组嗜冷菌增长速度较为缓慢，第 12 d 时，B0 组嗜冷菌数为 7.80 log(cfu/g)，而 L0 的嗜冷菌则达到最高值 8.83 log(cfu/g)。不同脂肪含量的样品间比较，各组差异均

不显著 ($p > 0.05$)。

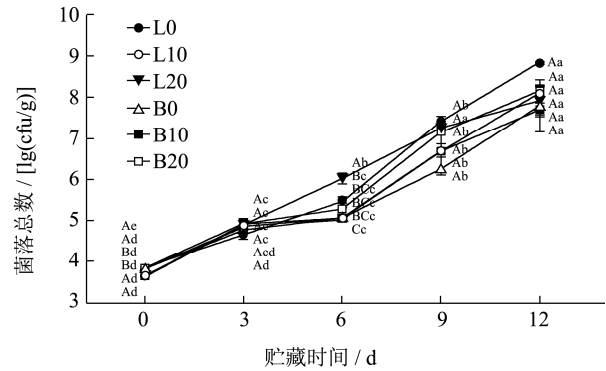


图2 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程嗜冷菌数的变化

Fig.2 Total Psychrophilic bacteria in minced beef for different days

2.4 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 pH 的变化

pH 是检测牛肉糜新鲜与否的重要指标。表 2 结果表明，牛肉糜初始 pH 为 5.45~5.47，贮藏 3 d 时，6 组不同样品的 pH 均下降，这可能是由于宰后肌肉中的糖原在糖原酵解酶作用下产生乳酸导致的^[13]。随着贮藏时间的延长，糖原被消耗殆尽，蛋白质和其他含氮物质分解产生氨及其他碱性物质，pH 略有上升^[14]，这一点在贮藏中后期 (9~12 d) 的数值体现出来。冰温组在整个贮藏过程中 pH 维持在 5.24~5.63 之间，而冷藏组在第 12 d 时最高达到 6.93 (L0)。由此可知，冰温贮藏能延缓蛋白质和其他含氮物质分解，从而比冷藏更能够维持 pH 的相对稳定。

表 2 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 pH 的变化

Table 2 pH in minced beef for different days

贮藏时间/d	0	3	6	9	12
L0	5.47±0.02 ^{Ad}	5.41±0.03 ^{Ad}	5.58±0.03 ^{Ac}	6.44±0.03 ^{Ab}	6.93±0.02 ^{Aa}
L10	5.45±0.02 ^{Ab}	5.40±0.04 ^{Ab}	5.41±0.06 ^{Bb}	6.23±0.02 ^{Ba}	6.19±0.05 ^{Ca}
L20	5.45±0.01 ^{Ac}	5.28±0.12 ^{ABd}	5.46±0.03 ^{ABc}	5.88±0.00 ^{Cb}	6.62±0.04 ^{Ba}
B0	5.47±0.02 ^{Aabc}	5.34±0.01 ^{ABc}	5.40±0.06 ^{Bbc}	5.53±0.05 ^{Dab}	5.63±0.12 ^{Da}
B10	5.45±0.02 ^{Aab}	5.42±0.02 ^{Ab}	5.49±0.06 ^{ABab}	5.51±0.03 ^{Da}	5.49±0.03 ^{DEab}
B20	5.45±0.01 ^{Aab}	5.24±0.02 ^{Bc}	5.49±0.06 ^{ABab}	5.50±0.03 ^{Da}	5.40±0.05 ^{Eb}

注：大写字母不同表示同一贮藏时间的样品差异显著 ($p < 0.05$)，小写字母不同表示同一样品不同贮藏时间差异显著 ($p < 0.05$)。

2.5 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中色差的变化

肉色是反映肉品质量的一类重要指标，Shi^[15]试验表明，在贮藏过程中，脂肪氧化和色素降解等反应都会导致肉的颜色发生变化。表 3 为牛肉糜在贮藏过程

中色差的变化。由表 3 可知，随着贮藏时间的延长，6 组不同牛肉糜的 L* 值总体上均略有升高，这是由于贮藏过程中肉糜保水性下降，肉糜内部水分移动、向外流出，造成肉样表面自由水增多，增强对光照的反射能力^[16]。通过比较不同脂肪含量的样品发现，脂肪含量越高，L* 值越大，这是脂肪对光照的反射能力较强的缘故。

表 3 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中色差的变化

Table 3 Color differences in minced beef for different days

色差参数	贮藏时间	L0	L10	L20	B0	B10	B20
L*	0	38.94±0.55 ^B	39.22±1.14 ^B	43.80±1.56 ^A	38.94±0.55 ^B	39.22±1.14 ^B	43.80±1.56 ^A
	3	38.44±0.09 ^B	40.11±2.28 ^B	43.51±0.32 ^A	39.23±0.92 ^B	40.61±0.47 ^B	43.93±0.35 ^A
	6	38.65±0.08 ^B	42.67±1.45 ^A	43.86±1.45 ^A	39.17±0.83 ^B	40.91±0.87 ^B	43.97±1.58 ^A
	9	39.31±0.53 ^B	43.07±0.04 ^A	44.08±1.07 ^A	39.82±0.63 ^B	42.91±0.96 ^{AB}	45.77±2.12 ^A
	12	40.47±0.86 ^B	43.47±0.45 ^A	45.13±0.83 ^A	42.00±0.53 ^A	42.82±0.85 ^A	44.14±1.60 ^A
a*	0	7.38±0.27 ^A	6.76±0.08 ^{AB}	6.26±0.53 ^B	7.38±0.27 ^A	6.76±0.08 ^{AB}	6.26±0.53 ^B
	3	6.22±0.30 ^A	6.26±0.50 ^A	5.50±0.20 ^A	6.54±0.33 ^A	6.21±0.50 ^A	5.79±0.34 ^A
	6	5.25±0.48 ^A	5.15±0.57 ^A	4.75±0.23 ^A	5.80±0.38 ^A	5.72±0.58 ^A	5.31±0.97 ^A
	9	3.32±0.56 ^A	3.27±0.92 ^A	2.06±0.19 ^A	4.85±0.05 ^A	4.32±0.27 ^{AB}	3.45±0.67 ^B
	12	1.89±0.77 ^A	2.17±0.11 ^A	1.89±0.74 ^A	2.45±0.33 ^A	2.07±0.31 ^A	1.94±0.35 ^A
b*	0	5.92±0.48 ^B	7.81±0.14 ^A	8.66±0.43 ^A	5.92±0.48 ^B	7.81±0.14 ^A	8.66±0.43 ^A
	3	6.22±0.56 ^B	6.92±0.43 ^{AB}	8.24±0.76 ^A	7.86±0.34 ^B	7.95±0.31 ^B	8.87±0.10 ^A
	6	8.69±0.22 ^B	9.76±0.55 ^{AB}	10.19±0.61 ^A	7.52±0.13 ^B	7.75±0.28 ^B	8.62±0.43 ^A
	9	10.70±0.11 ^A	11.42±0.40 ^A	11.00±0.30 ^A	9.26±0.51 ^A	10.25±0.74 ^A	10.84±1.32 ^A
	12	11.49±0.64 ^C	13.65±0.56 ^B	16.14±0.69 ^A	10.06±0.76 ^A	10.45±0.13 ^A	10.98±1.34 ^A

注：大写字母不同表示同一贮藏时间的样品差异显著(p<0.05)。

a*值随贮藏时间的延长呈下降趋势。贮藏过程中由于氧气的作用，肌红蛋白更易形成高铁肌红蛋白，使肉中氧合肌红蛋白含量降低^[17]，a*值变小。随着脂肪含量的增大，肉糜中所含有的氧合肌红蛋白数量越少，故a*值降低。6组样品的b*值在整个贮藏期间呈上升趋势，且随着脂肪含量的增加，b*值显著升高(p<0.05)。分析原因可知，在贮藏过程中脂肪会发生氧化(如下面图3所示)，而脂肪氧化会促进蛋白质氧化，使牛肉糜肉色变暗^[18]。Xiong等^[19]的研究也表明，脂肪的氧化会引起L*值和b*值增大，a*值降低。

2.6 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 TBARS

的变化

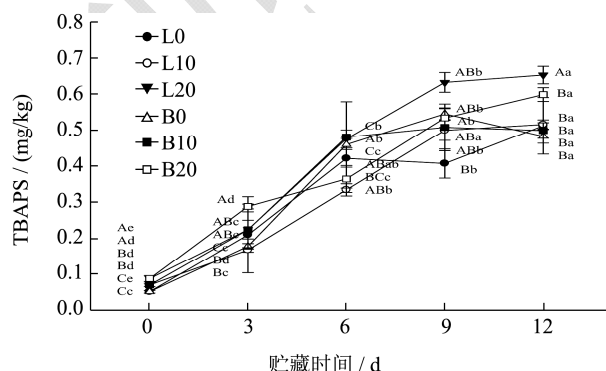


图 3 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 TBARS 值的变化

Fig.3 Total TBARS value in minced beef for different days

TBARS 值反映肉样脂质过氧化程度，涵盖了大部

分氧化反应产生的醛酮类物质，因而常作为判定脂质过氧化程度的指标^[20]。由图 3 可知，TBARS 值随着贮藏时间的延长呈显著上升趋势(p<0.05)。其中，冰温组 TBARS 值显著小于冷藏组(p<0.05)，第 12 d 时，B0 TBARS 值为 0.48 mg MDA/kg，而 L0 为 0.51 mg MDA/kg。这可能是因为随着时间的延长，冷藏组细胞器破裂，释放促氧化剂和氧化酶，致使脂质氧化加快^[21]。贮藏期间，脂肪含量越高，TBARS 值上升的速率越快，L20 和 B20 组 TBARS 值从第 0 d 值的 0.09 mg MDA/kg 上升为第 12 d 的 0.65 mg MDA/kg 和 0.60 mg MDA/kg，分别增加了 6.22 倍和 5.66 倍。有研究表明，当 TBARS 值大于 0.5 mg MAD/kg 时，就会因脂肪氧化而产生酸败味^[22]，故牛肉糜中脂肪含量的增加加速了脂质的氧化，从而带来品质的劣变。

2.7 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 TVB-N

的变化

TVB-N 值反映肉中蛋白质在酶或微生物的作用下分解产生挥发性氨和胺类化合物的程度^[23]。由图 4 可知，随着贮藏时间的延长，6 组牛肉糜的 TVB-N 值均呈上升趋势。新鲜未添加牛脂肪的牛肉糜 TVB-N 值为 7.00 mg/100 g。贮藏第 3 d，各处理组 TVB-N 值的变化不显著，且均小于 15.00 mg/100 g，符合国家标准 GB 2707-2016 对 TVB-N 值的规定。贮藏第 6~12 d，冰温组和冷藏组呈现显著性差异(p<0.05)。贮藏至

第 12 d, 冰温组 TVB-N 分别为 21.98 mg/100 g (B0)、23.57 mg/100 g (B10)和 23.94 mg/100 g (B20), 均低于 25 mg/100 g。而冷藏组达到 25.34 mg/100 g (L0)、25.81 mg/100 g (L10)和 25.71 mg/100 g (L20), 已全部超过 25 mg/100 g。不同脂肪含量样品比较, 上升速率为 20%>10%>0%, 但是各组差异并不显著($p>0.05$)。

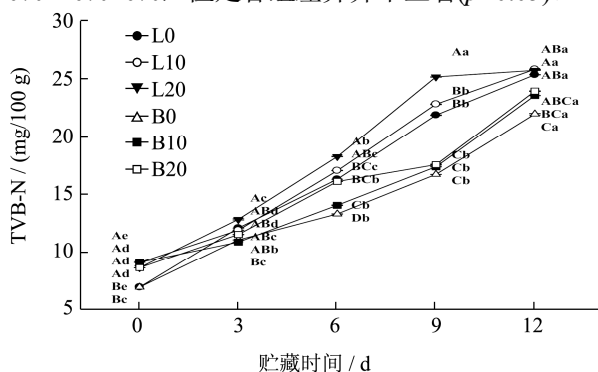


图 4 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 TVB-N 值的变化
Fig.4 Total TVB-N value in minced beef for different days

2.8 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 T_2 的变化

表 4 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 T_2 的变化

Table 4 Temporal evolution of T_2 during controlled freezing point storage beef

时间/d	B0			B10		
	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms
0	0.90±0.35 ^c	43.29±0.00 ^a	163.37±16.10 ^b	3.35±0.98 ^{ab}	43.65±0.00 ^a	151.99±0.00 ^a
3	2.16±0.21 ^b	43.29±0.00 ^a	200.92±0.00 ^a	4.69±0.92 ^a	43.29±0.00 ^a	174.75±0.00 ^a
6	2.01±0.00 ^b	37.65±0.00 ^a	151.99±0.00 ^{bc}	3.51±0.00 ^{ab}	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^a
9	2.01±0.00 ^b	37.65±0.00 ^a	151.99±0.00 ^{bc}	2.16±0.21 ^b	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^a
12	3.05±0.00 ^a	37.65±0.00 ^a	132.19±0.00 ^c	3.05±0.00 ^{ab}	37.65±0.00 ^b	132.19±0.00 ^a
时间/d	B20			L0		
	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms
0	2.03±0.40 ^a	40.47±3.99 ^a	151.99±0.00 ^a	0.90±0.35 ^c	43.29±0.00 ^{ab}	163.37±16.10 ^c
3	2.89±1.62 ^a	37.65±0.00 ^{ab}	174.75±0.00 ^a	2.33±0.46 ^b	43.29±0.00 ^{ab}	200.92±0.00 ^b
6	3.51±0.00 ^a	37.75±0.00 ^b	132.19±0.00 ^a	3.51±0.00 ^a	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^{cd}
9	2.03±0.40 ^a	37.65±0.00 ^{ab}	151.99±0.00 ^a	2.31±0.00 ^b	40.47±3.99 ^b	132.19±0.00 ^d
12	4.64±0.00 ^a	37.65±0.00 ^{ab}	151.99±0.00 ^a	1.52±0.00 ^c	49.77±0.00 ^a	305.39±0.00 ^a
时间/d	L10			L20		
	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms
0	3.35±0.98 ^b	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^b	2.03±0.40 ^a	40.47±3.99 ^{ab}	151.99±0.00 ^b
3	2.68±0.53 ^b	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^b	3.28±0.32 ^a	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^b
6	3.05±0.00 ^b	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^b	3.05±0.00 ^a	37.65±0.00 ^b	151.99±0.00 ^b
9	2.20±0.64 ^b	40.47±3.99 ^b	142.09±14.00 ^b	4.59±2.18 ^a	40.47±3.99 ^{ab}	142.09±14.00 ^b
12	6.14±0.00 ^a	49.77±0.00 ^a	200.92±0.00 ^a	5.34±0.00 ^a	49.77±0.00 ^a	200.92±0.00 ^a

注: 大写字母不同表示纵向比较差异显著($p<0.05$)。下表同。

肉中不同状态水分的含量分别以 P_{21} (结合水)、 P_{22} (不易流动水) 和 P_{23} (自由水) 表示。表 5 为 6

在肉与肉制品中, 弛豫时间的测量多用 H 质子的横向弛豫时间 T_2 来表示。一般来说, 肉品中存在三种不同水分群落, 其弛豫时间 T_2 值范围依次为 T_{21} (1~10 ms)、 T_{22} (10~100 ms)及 T_{23} (100~1000 ms)。其中 T_{21} 代表结合水, 与肌肉结合最为紧密; T_{22} 代表不易流动水, 占水分的绝大多数, 肉的保水性能主要取决于肌肉对这部分水分的保持能力^[24]; T_{23} 代表自由水, 是肉组织中结合最不紧密的水, 也是最易失去的水。

从表 4 可以看出, 在整个贮藏期间, 随着贮藏时间的延长, 冰温组的 T_{22} 值波动较小, 无显著性变化 ($p>0.05$)。冷藏组的 T_{22} 值 0~6 d 呈下降趋势, 之后 9~12 d 显著上升 ($p<0.05$)。说明在冰温贮藏过程中, 不易流动水的变化很小或没有改变, 而冷藏条件下变化较为明显, 特别是在贮藏后期, T_{22} 显著升高, 表示水的自由度增加, 一部分不易流动水有转换为自由水的可能。表 4 显示冰温组和冷藏组的自由水 T_{23} 值在 0~3 d 呈上升趋势, 之后 6~12 d 呈下降趋势, 说明在贮藏前期, 自由水的流动性越来越强, 即越来越自由, 后期自由水的流动性开始缓慢下降。

组牛肉糜不同状态水分含量的变化情况。由表 5 可知, 六组样品的结合水 P_{21} 的含量在 0.01%~0.04%之间波

动, 无显著差异($p>0.05$)。冰温组 P_{22} 含量随着贮藏时间的延长呈下降趋势, 可能是一部分不易流动水转化为自由水, 这也和同期 P_{23} 含量升高相对应。冷藏组贮藏前期变化趋势和冰温组一致, 但在贮藏终点 P_{22} 含量急剧上升, 这是因为 P_{23} 明显降低之后 P_{22} 所占比

例增大的缘故。6 组牛肉糜 P_{23} 含量在贮藏前期(0~3 d)显著上升($p<0.05$), 3 d 之后 P_{23} 显著下降($p<0.05$)。说明在贮藏前期, 随着部分不易流动水转为自由水, 自由水含量升高, 中后期自由水流失到肉的表面并最终失去, 此时自由水含量极少。

表 5 不同脂肪含量牛肉糜贮藏过程中 P_2 的变化Table 5 Changes of different states of water content P_2 from beef

时间/d	B0			B10		
	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{21}	P_{22}	P_{23}
0	0.03±0.01 ^a	0.86±0.07 ^a	0.11±0.06 ^b	0.03±0.00 ^a	0.83±0.04 ^a	0.15±0.02 ^c
3	0.02±0.00 ^a	0.74±0.03 ^b	0.23±0.05 ^a	0.02±0.01 ^a	0.74±0.00 ^b	0.20±0.01 ^a
6	0.01±0.00 ^a	0.72±0.00 ^b	0.23±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.74±0.00 ^b	0.23±0.00 ^a
9	0.02±0.01 ^a	0.70±0.00 ^b	0.23±0.02 ^a	0.03±0.00 ^a	0.79±0.00 ^{ab}	0.17±0.02 ^b
12	0.02±0.00 ^a	0.70±0.00 ^b	0.18±0.00 ^{ab}	0.02±0.00 ^a	0.78±0.00 ^{ab}	0.17±0.00 ^b
时间/d	B20			L0		
	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{21}	P_{22}	P_{23}
0	0.03±0.00 ^a	0.83±0.05 ^a	0.11±0.05 ^c	0.03±0.01 ^a	0.86±0.07 ^a	0.11±0.06 ^b
3	0.03±0.01 ^a	0.74±0.00 ^b	0.26±0.01 ^a	0.03±0.00 ^a	0.68±0.03 ^b	0.28±0.00 ^a
6	0.04±0.00 ^a	0.74±0.00 ^c	0.27±0.00 ^a	0.02±0.00 ^a	0.64±0.00 ^b	0.27±0.00 ^a
9	0.03±0.00 ^a	0.68±0.00 ^c	0.29±0.03 ^a	0.02±0.00 ^a	0.61±0.08 ^b	0.16±0.09 ^{ab}
12	0.03±0.00 ^a	0.74±0.00 ^b	0.21±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a	0.84±0.00 ^a	0.14±0.00 ^b
时间/d	L10			L20		
	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{21}	P_{22}	P_{23}
0	0.03±0.00 ^a	0.73±0.04 ^{bc}	0.22±0.02 ^{ab}	0.03±0.00 ^a	0.83±0.05 ^{ab}	0.11±0.05 ^c
3	0.03±0.00 ^a	0.74±0.02 ^{bc}	0.23±0.02 ^{ab}	0.04±0.01 ^a	0.69±0.04 ^c	0.27±0.03 ^a
6	0.03±0.00 ^a	0.66±0.00 ^c	0.29±0.00 ^a	0.03±0.00 ^a	0.78±0.00 ^{bc}	0.19±0.00 ^b
9	0.03±0.00 ^a	0.80±0.06 ^{ab}	0.16±0.06 ^c	0.02±0.01 ^a	0.77±0.00 ^{bc}	0.19±0.04 ^b
12	0.02±0.00 ^a	0.90±0.00 ^a	0.07±0.00 ^d	0.03±0.00 ^a	0.93±0.00 ^a	0.03±0.00 ^d

3 讨论

色泽是评判肉品质的重要指标之一, 也是消费者是否具有购买欲的重要因素。本试验中脂肪含量的增加导致牛肉饼的亮度(L^*)值和黄度(b^*)值增加($p<0.05$), 而红度(a^*)值降低($p<0.05$), 牛肉饼的可接受程度逐渐降低。牛肉饼颜色变化的原因较为复杂, 主要是由于肌红蛋白(myoglobin, Mb)或氧合肌红蛋白(oxy-myoglobin, MbO₂)氧化造成了高铁肌红蛋白(metmyoglobin, MMB)的积累。贮藏过程中脂肪的氧化产生大量的铁离子作为 Mb 和 MbO₂ 氧化的促进剂也可生成 MMB^[25]。Mariana 等^[26]研究证实脂肪氧化产生的自由基可以与肌肉蛋白质褐色素中的自由氨基反应, 加速褐色素物质的生成, 导致肌肉的红度(a^*)值下降。Thanonkaew^[27]研究发现脂肪氧化会使亮度(L^*)值增加并导致黄色素大量生成。这与本试验的结果相同。

温度对肉制品的贮藏品质起着决定性的作用^[28]。经前期测定, 牛肉糜的冰点为-2.2 °C, 将其贮藏于-1.5 °C的冰温库中(冰温库温度波动控制在±0.1 °C), 既可避免形成冰晶而引起肌原纤维蛋白的不可逆变性, 同时又保证牛肉糜尽可能贮藏于较低的冷藏温度下。根据低温对微生物的作用规律, 即便是嗜冷微生物, 在 5 °C 以下的生长速度也较为缓慢, 代谢时间显著延长, 当温度降至-2 °C 时, 细菌生长几乎完全被抑制^[25]。姜长红^[29]等人考察鸡肉在冰温和冷藏温度下的贮藏效果, 结果表明, 冰温组微生物的繁殖得到了明显地抑制, 货架期比冷藏组明显延长。许立兴^[30]等人研究了冰温贮藏对鸭胸肉品质变化的影响, 也得出相同的结论。菌落总数为 6 log(cfu/g)被认为是鲜肉制品可接受的界限值。根据这一原则, 当牛肉糜的微生物含量超过 6 log(cfu/g)时, 就到达了贮藏终点。本试验发现冰温贮藏组牛肉糜菌落总数始终小于冷藏组。在贮藏第 6 d 时 L20 组菌落总数达到 6.03 log(cfu/g), 而

B20 组则为 4.72 log(cfu/g); 贮藏第 12 d 时, B0 组嗜冷菌数(7.80 log(cfu/g))比 L0 组(8.83 log(cfu/g))高了一个数量级, 这充分显示了冰温贮藏抑制微生物生长方面的优越性, 故在今后贮藏方式的选择上, 运用冰温贮藏效果较好且前景广阔。

本实验室前期试验发现随着脂肪添加量的增加, 牛肉饼的质地、光滑性和多汁性显著增加, 在脂肪添加量达到 20%时质构和多汁性得分最高^[31]。但是脂肪氧化的终产物(醛、酮类)会产生酸败味, 较高的脂肪添加量产生较多的醛和酮类物质。扈莹莹^[32]对挥发性化合物分析发现, 脂肪含量较高的肉制品, 因脂质的自动氧化而产生了更多的醛、酮、酸、醇和脂类物质, 使 TBARS 值显著上升。Utreat^[33]研究了不同脂肪含量的牛肉饼在冻藏过程中 TBARS 值的变化, 也得出相同的结论。本试验研究发现贮藏至第 9 d 时, 牛脂肪添加量为 20%的牛肉糜 TBARS 值(冷藏组 0.65 mg MDA/kg, 冰温组 0.60 mg MDA/kg)超过了 0.5 mg MDA/kg, 且比第 0 d(0.09 mg MDA/kg)增加了 5.66~6.22 倍, 而牛脂肪添加量为 10%组的 TBARS 值 < 0.5 mg MDA/kg, 据报道, TBARS 值高于 0.5 mg MDA/kg 时极易产生腐臭气味, 因此在肉制品的加工过程中脂肪应限制在一定添加量之内。

4 结论

本研究以牛肉糜为原料, 研究了不同贮藏温度对不同脂肪含量的牛肉糜微生物指标、理化指标和水分迁移的影响。研究发现冰温(-1.5 °C)贮藏更有利于抑制微生物的生长, 延缓蛋白质的分解和脂肪的氧化; 牛脂肪添加量的增加会促进脂肪氧化与色泽褐变; 经 LF-NMR 检测可知, 在贮藏过程中, 牛肉糜中一部分不易流动水转化为自由水, 自由水后期有所流失, 而冰温与冷藏相比, 不易流动水和自由水变化较小; 且贮藏温度较脂肪含量而言, 对牛肉糜水分的影响更大。综上所述, 温度和脂肪含量对牛肉糜品质均产生显著影响。在后续的试验中, 将深入研究冰温贮藏对微生物的抑制机制和脂肪氧化机制, 进一步利用低场核磁共振技术展开弛豫参数与肉制品品质的相关性研究。

参考文献

- [1] 赵玉明, 田晋梅, 彭晓光. 复合香辛料精油配方优化及对冰温贮藏牛肉保鲜效果研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(12): 182-187
ZHAO Yu-ming, TIAN Jin-mei, PENG Xiao-guang. Formula optimization of complex spice essential oil and effect on the quality of beef under the condition of vacuum packing and
- [2] 周果, 崔燕, 杨文鸽, 等. 冰温贮藏对梭子蟹品质影响及其货架期模型的建立[J]. 核农学报, 2017, 31(4): 719-727
ZHOU Guo, CUI Yan, YANG Wen-ge, et al. Impact of controlled freezing-point storage on the *Portunustritu berculatus* quality and model construction of its shelf-life [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2017, 31(4): 719-727
- [3] 封莉, 邓绍林, 黄明, 等. 脂肪酶对中式香肠脂肪降解、氧化和风味的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 51-58
FENG Li, DENG Shao-lin, HUANG Ming, et al. Effect of palatase on lipid hydrolysis, lipid oxidation and sensory attributes of Chinese sausage [J]. Food Science, 2015, 36(1): 51-58
- [4] Zhang Q Q, Li W, Li H K, et al. Low-field nuclear magnetic resonance for online determination of water content during sausage fermentation [J]. Journal of Food Engineering, 2017, 212: 291-297
- [5] Bertram H C, Oksbjerg N, Young J F. NMR-based metabolomics reveals relationship between pre-slaughter exercise stress, the plasma metabolite profile at time of slaughter, and water-holding capacity in pigs [J]. Meat Science, 2010, 84(1): 108-113
- [6] CHENG S S, WANG X H, LI R R, et al. Influence of multiple freeze-thaw cycles on quality characteristics of beef semimembranous muscle: With emphasis on water status and distribution by LF-NMR and MRI [J]. Meat Science, 2018, 147: 44-52
- [7] Li J Q, Xia K X, Li Y, et al. Influence of freezing-thawing cycle on water dynamics of turbot flesh assessed by Low-field nuclear magnetic resonance and magnetic resonance imaging [J]. International Journal of Food Engineering, 2018, 14(1): 1-10
- [8] Micklander E, Bertram H C, Henrik M, et al. Early post-mortem discrimination of water-holding capacity in pig longissimus muscle using new ultrasound method [J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(5): 437-445
- [9] Spingarn N E, Garvie-gould C, Vuolo L L, et al. Formation of mutagens in cooked foods. IV: Effect of fat content in fried beef patties [J]. Cancer letters, 1981, 12(1): 93-97
- [10] John L, Cornforth D, Carpenter C E, et al. Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum [J]. Meat Science, 2005, 69(3): 441-449

- [11] 高乾坤,杜贺超,赵云飞,等.不同生物保鲜剂对带鱼冷藏保鲜效果的比较[J].食品工业科技,2018,39(22):270-275
GAO Qian-kun, DU He-chao, ZHAO Yun-fei, et al. Comparisons of different natural preservatives on the chilled storage of hairtail [J]. Food Industry Technology, 2018, 39(22): 270-275
- [12] 张娟,娄永江.冰温技术及其在食品保鲜中的应用[J].食品研究与开发,2006,27(8):150-152
ZHANG Juan, LOU Yong-jiang. Controlled freezing-point technique and its applications in food fresh-keeping [J]. Food Research and Development, 2006, 27(8): 150-152
- [13] Gholamreza Z, Huang Xi, Feng Xi, et al. How can heat stress affect chicken meat quality: A review [J]. Poultry Science, 2019, 98(3): 1551-1556
- [14] 宋敏.冻结方式和低盐腌制对鲶鱼片品质影响研究[D].无锡:江南大学,2018
SONG Min. Effects of freezing methods and lightly salting on the quality of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018
- [15] Shi C, Cui J Y, Yin X F, et al. Grape seed and clove bud extracts as natural antioxidants in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets during chilled storage: Effect on lipid and protein oxidation [J]. Food Control, 2014, 40: 134-139
- [16] 孙天利.冰温保鲜技术对牛肉品质的影响研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2013
SUN Tian-li. Influences of controlled freezing point storage on beef [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2013
- [17] 林森森,戴志远.鱼肉肌红蛋白的呈色机理及其在热加工中对肉色的影响[J].肉类工业,2019,453(1):58-63
LIN Sen-sen, DAI Zhi-yuan. The coloring mechanism of myoglobin of fish and the effect on meat color during hot processing [J]. Meat Industry, 2019, 453(1): 58-63
- [18] 秦丽波.气调包装对不同极限 pH 值牛肉肉色的影响[D].泰安:山东农业大学,2017
QING Li-bo. Influence of MAP methods on meat color of different pH beef [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2017
- [19] Xiong Y L, Agyare K, Addo K. Hydrolyzed wheat gluten suppresses transglutaminase-mediated gelation but improves emulsification of pork myofibrillar protein [J]. Meat Science, 2008, 80(2): 535-544
- [20] Grotta L, Castellani F, Palazzo F, et al. Treatment optimisation and sample preparation for the evaluation of lipid oxidation in various meats through TBARs assays before analysis [J]. Food Analytical Methods, 2016, 10(6): 1-11
- [21] Mok J H, Her J Y, Kang T, et al. Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) combination technology on the extension of super cooling for chicken breasts [J]. Journal of Food Engineering, 2017, 196: 27-35
- [22] 陈锐颖.冰温贮藏牛肉特定腐败菌分析及靶向抑菌技术研究[D].晋中:山西农业大学,2016
CHEN Rui-yin. Analysis of special spoilage organisms and targeted antimicrobial technology on beef during ice storage [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2016
- [23] 李颖畅,宋素珍,孙彤,等.洋葱与生姜提取物对冷藏鱿鱼丸的保鲜作用[J].中国食品学报,2018,18(9):226-231
LI Yin-chang, SONG Su-zhen, SUN Tong, et al. Effect of onion and ginger extracts on preservation of squid balls during refrigerated storage [J]. Chinese Food Journal, 2018, 18(9): 226-231
- [24] 吴焯,许柯,徐幸莲,等.低场核磁共振研究 pH 值对兔肌球蛋白热凝胶特性的影响[J].食品科学,2010,31(9):6-11
WU Ye, XU Ke, XU Xing-lian, et al. Effect of pH on gelation properties of rabbit myosin [J]. Food Science, 2010, 31(9): 6-11
- [25] Leygonie C, Britz T J, Hoffman L C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review [J]. Meat Science, 2012, 91(2): 93-98
- [26] Mariana U, David M, Mario E. 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
- [27] Thanonkaew A, Benjakul S, Visessanguan W, et al. The effect of metal ions on lipid oxidation, color and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles [J]. Food Chemistry, 2006, 95(4): 591-599
- [28] 尹德凤,张莉,张大文,等.生鲜肉类产品中腐败细菌研究[J].农产品质量与安全,2018,93(3): 21-29
YING De-feng, ZHANG Li, ZHANG Da-wen, et al. Spoilage bacteria in fresh meat products: A review [J]. Quality and Safety of Agricultural Products, 2018, 93(3): 21-29

(下转第 260 页)