

不同包装材料的冷冻藏羊肉品质比较分析

闫光瑾, 院珍珍*, 丁红艳, 侯生珍, 韩丽娟, 高珂, 孙胜男, 桂林生, 王志有, 杨葆春
(青海大学农牧学院, 青海西宁 810016)

摘要: 为延长冷冻藏羊肉的贮藏期。该文以青海藏羊肉为试材, 通过测定菌落总数、pH值、色泽稳定性、保水性、硫代巴比妥酸含量(TBA)、过氧化值(POV)以及肌原纤维蛋白氧化等指标, 探讨不同包装材料: 尼龙复合袋(PA/PE)、聚酯复合袋(PE/PET)、七层共挤袋(PA/TIE/PA/TIE/PE/PE/PE)处理下的藏羊肉在-18℃下贮藏0、3、7、15、30、60、90 d后品质变化情况。结果显示: 与普通保鲜袋相比, 三种包装材料结合真空包装对冷冻藏羊肉品质具有显著影响, 其中尼龙复合袋(PA/PE)可较好的保持冷冻藏羊肉的品质。在冷冻90 d后, 与普通保鲜袋相比, 菌落总数下降了1.7 lg CFU/g, pH值在6.2~6.6范围内, 色泽稳定性较好; 蒸煮损失率、解冻损失率和离心损失率分别上升了4.51%、0.93%和2%; TBA值和POV值显著低于普通保鲜袋, 分别降低了0.78 mmol/kg、0.033 mg/100 g; 肌原纤维蛋白羰基含量降低了1.63 nmol/mg, 巯基降低了0.21 nmol/g, 表面疏水性下降了6.74 μg。综合分析, 尼龙复合袋(PA/PE)结合真空包装进行处理, 在-18℃贮藏条件下, 可保证冷冻藏羊肉的品质, 延长货架期。

关键词: 藏羊肉; 包装材料; 真空包装; 蛋白氧化

文章编号: 1673-9078(2024)11-193-201

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.1346

Comparative Analysis of the Quality of Frozen Tibetan Mutton with Different Packaging Materials

YAN Guangjin, YUAN Zhenzhen*, DING Hongyan, HOU Shengzhen, HAN Lijuan, GAO Ke, SUN Shengnan,
GUI Linsheng, WANG Zhiyou, YANG Baochun

(College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: To extend the storage period of frozen Tibetan mutton, Tibetan mutton from Qinghai was used as the test material. The total bacterial count, pH value, color stability, water-holding capacity, thiobarbituric acid (TBA) content, peroxide value (POV), and myofibrillar protein oxidation were measured. The quality changes of Tibetan mutton stored at -18 °C for 0, 3, 7, 15, 30, 60, and 90 days were investigated under treatments with different packaging materials: nylon composite bags (PA/PE), polyester composite bags (PE/PET), and seven-layer co-extrusion bags (PA/TIE/PA/TIE/PE/PE/PE). The results showed that compared with standard fresh-keeping bags, the three tested packaging materials, combined with vacuum packaging, had a significant effect on the quality of frozen Tibetan mutton. PA/PE bags could help preserve the quality of the mutton more effectively. After 90 days of freezing, the total number of colonies decreased by 1.7 lg CFU/g in the PA/PE bags compared with the standard storage bags. The pH value was in the range of 6.2~6.6, and the color stability

引文格式:

闫光瑾, 院珍珍, 丁红艳, 等. 不同包装材料的冷冻藏羊肉品质比较分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(11): 193-201.

YAN Guangjin, YUAN Zhenzhen, DING Hongyan, et al. Comparative analysis of the quality of frozen tibetan mutton with different packaging materials [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(11): 193-201.

收稿日期: 2023-11-09

基金项目: 青海省科技厅帅才科学家负责制项目(2022-NK-169)

作者简介: 闫光瑾(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工, E-mail: 1041124165@qq.com

通讯作者: 院珍珍(1988-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 藏羊肉保鲜及产品加工, E-mail: yuanzhenzhen-12@163.com

was superior. The cooking loss rate, thawing loss rate, and centrifugal loss rate increased by 4.51%, 0.93%, and 2%. The TBA and POV values were significantly lower in the PA/PE bags than the standard storage bags, showing reductions of 0.78 mmol/kg and 0.033 mg/100 g, respectively. The carbonyl content of myofibrillar protein decreased by 1.63 nmol/mg, the sulfhydryl group content decreased by 0.21 nmol/g, and the surface hydrophobicity decreased by 6.74 μg . Comprehensive analyses showed that the PA/PE bag combined with vacuum packaging, while storing at a temperature of $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, can effectively maintain the quality of frozen Tibetan mutton and prolong its shelf life.

Key words: Tibetan mutton; packaging materials; vacuum packaging; protein oxidation

藏羊, 又称高原藏系羊, 主要分布于我国青藏高原地带^[1]。藏羊肉营养价值丰富, 富含高蛋白、低脂肪, 肉质鲜嫩, 膻味较少^[2]。为了保证藏羊肉在贮藏过程中的品质不被破坏, 适当的包装可以有效防止细菌入侵, 避免干耗和重量损失, 并延长贮存时间。目前在市场上, 常见的包装方式包括透明塑料包装、真空包装以及气调包装^[3]。这些不同的包装方式都有其独特的优势和适用范围。而在低温贮藏中, 真空包装是最常用的方式^[4]。它通过将肉制品放入真空袋中, 抽出袋内空气, 形成真空环境, 从而延长肉制品的保质期。然而, 不同的真空包装材料对肉制品可能产生不同的影响^[5]。因此, 在选择真空包装材料时需要谨慎。一般而言, 选用氧气屏障性能较好的材料, 可有效防止氧气渗透, 延长保质期^[6]。因此, 正确选择适合的真空包装材料可以最大程度地保持藏羊肉制品的品质和口感, 延长保质期。如尼龙(PA)它具有良好的氧气屏障性能和耐撕裂性能^[7], 可以有效保护肉品免受氧化和气味的影响, 延长保质期。聚乙烯(PE)它对氧气和水汽的渗透性较大^[8], 因此与尼龙相比, 它对保持肉品的新鲜度和保质期的效果可能较差。涤纶树脂(PET)包装具有良好的氧气屏障性能^[9], 能有效防止肉类食品变质、腐败和质地变硬。还有铝箔, 它能同时阻隔氧气和光线^[10], 从而保护肉品的新鲜度。然而, 铝箔包装袋较为昂贵, 一般用于需要更长保质期的高档肉制品。

国内外的研究学者开展了大量研究, 以评估真空包装对冷鲜肉品质及其新鲜度的影响, 最新研究结果表明, 不同包装方式对冷鲜肉的保鲜效果存在巨大差异, 在 $0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下, 普通有氧包装贮藏到12 d时肉质就已出现腐败, 而真空包装在26 d时仍能保持较好的肉色。可见真空包装与普通包装相比有较好的保鲜效果, 可延长冷鲜肉的货架期^[11,12]。此外, Gómen等^[13]探讨了4种不同包装方式对鲜驴

肉的保鲜效果, 结果显示, 普通托盘包装和高氧气调包装中驴肉的货架期最多为10 d, 而真空包装则可超过14 d, 真空包装效果最佳。目前, 不同包装方式对冷鲜肉品质及其新鲜度影响的研究较多, 而利用不同材料的真空包装袋实现低温贮藏保鲜肉制品的研究少有。本文选取了3种不同材料真空包装袋分别是尼龙复合袋(PA/PE)、聚酯复合袋(PE/PET)、七层共挤袋(PA/TIE/PA/TIE/PE/PE/PE)对青海新鲜藏羊肉进行真空包装, 置于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中贮藏, 在贮藏0、3、7、15、30、60、90 d后对其进行理化指标检验, 研究不同包装材料对高原藏羊肉贮藏期间品质的影响, 为青海藏羊肉的生产包装提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂和仪器

1.1.1 材料及包装材料参数

藏羊肉: 六月龄草膘羔羊, 青海省海北州海晏县库库诺尔食品有限公司; 尼龙光面复合袋: 尼龙/聚乙烯(PA/PE), $160\text{ }\mu\text{m}$, $10\text{ cm}\times 15\text{ cm}$, 河北东光县昊达塑业有限公司; 聚酯光面复合袋: 聚酯/聚乙烯(PE/PET), $160\text{ }\mu\text{m}$, $10\text{ cm}\times 15\text{ cm}$, 河北东光县昊达塑业有限公司; 七层共挤纹路袋: 尼龙/涤纶树脂/尼龙/涤纶树脂/聚乙烯/聚乙烯/聚乙烯(PA/TIE/PA/TIE/PE/PE/PE), $160\text{ }\mu\text{m}$, $10\text{ cm}\times 15\text{ cm}$, 长安园航塑料制品经销部。

1.1.2 试剂

LB肉汤, 北京奥博星生物技术有限责任公司; 琼脂, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 2-硫代巴比妥酸, 上海展云化工有限公司; 碘化钾, 上海展云化工有限公司; 三(羟甲基)氨基甲烷盐酸盐(Tris-HCl), 阿拉丁试剂(上海)有限公司; 溴酚蓝, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 乙二胺四乙

酸钠,天津市河东区红岩试剂厂;蛋白质羰基试剂盒,南京建成生物工程研究所;总巯基含量检测试剂盒,索莱宝生物科技有限公司。

1.1.3 主要仪器设备

BD/BC-201KEMS 转换型冷藏冷冻箱,合肥美的电冰箱有限公司;H/T16MM 台式高速离心机,湖南赫西仪器装备有限公司;UV-1780 紫外可见分光光度计,苏州岛津仪器有限公司;YM50 立式压力蒸汽灭菌器,上海三申医疗器械有限公司;SW-CJ-2FD 洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;MULTISKAN Sky 型全波长酶标仪,北京平利洋经贸有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理

藏羊屠宰后 4 °C 排酸 8 h,取新鲜后腿肉,然后剔除其脂肪和筋膜,将其分割为 3 cm×3 cm×3 cm 的肉块,随机分为 4 组,1 个对照组和 3 个实验组,每组 3 个重复,3 个实验组分别用聚酯复合袋(PE/PET)、尼龙复合袋(PA/PE)、七层共挤袋(PA/TIE/PA/TIE/PE/PE/PE)三种真空包装材料,进行真空包装,对照组用普通保鲜袋包装且不做真空包装,放入 -18 °C 的冰箱中贮藏。

1.2.2 菌落总数的测定

参照 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》中的方法测定。

1.2.3 pH值的测定

参照马英等^[14]的方法测定,采用便携式 pH 计进行测定。每个样品测定 3~4 次,结果取平均值。

1.2.4 色泽的测定

参照马英等^[14]的方法测定,使用校准后的色差仪进行亮度(L^*)、红色度(a^*)、黄色度(b^*)的测定,每个肉块测定 3 个位点。

1.2.5 蒸煮损失的测定

参照刘颜等^[15]的方法进行测定,取约 5 g 的肉块,装入蒸煮袋中,至 70 °C 的水浴锅中加热 35 min,冷却后擦干肉样表面的汤汁。最后准确称重,每组 3 次平行,结果取平均值。蒸煮损失率的计算见公式(1):

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

W ——蒸煮损失率, %;

W_1 ——蒸煮前肉块质量, g;

W_2 ——蒸煮后肉块质量, g。

1.2.6 解冻损失的测定

参照周雨等^[16]的方法进行测定,将藏羊肉在解冻之前称重,然后将样品放置在 4 °C 的环境中过夜进行解冻。解冻后,使用吸水纸将样品表面的汁液吸干,然后再次进行称量。每组进行 3 次平行实验,并计算平均值作为结果。解冻汁液流失率按照上述公式(1)计算。

1.2.7 离心损失的测定

参照 Bertram 等^[17]的方法测定,称取肉样 0.2 g,置于底部有滤纸条的 10 mL 离心管中,在 5 000 r/min、离心 10 min 后再次称质量。每组 3 次平行,结果取平均值。离心损失率按照上述公式(1)计算。

1.2.8 过氧化值的测定

样品中 POV 参照 GB/T 5009.227-2016《食品中过氧化值测定》中的滴定法进行测定。

1.2.9 硫代巴比妥酸反应物含量的测定

参照 GB/T 5009.181-2016《食品中丙二醛的测定》中的分光光度法进行测定。

1.2.10 肌原纤维蛋白提取

参照 Zhang 等^[18]的方法,并稍作修改,将藏羊肉和预先冷却的 Tris-HCl 缓冲液(包含 0.1 mol/L KCl 和 20 mmol/L Tris-HCl 溶液, pH 值为 7.0)按照 1:4 的比例(以重量和体积计,即肉样重量:缓冲液体积)使用高速匀浆机以 8 000 r/min 的速度匀浆 3 次。将上清液倒出,剩余颗粒收集为粗制肌原纤维蛋白。重复以上步骤 4 次,以获得高质量的肌原纤维蛋白。

1.2.11 肌原纤维蛋白总羰基含量的测定

参考贾娜等^[19]的方法,以藏羊肉肌原纤维蛋白溶液为待测样本,根据羰基测定试剂盒的方法进行测定,在波长为 370 nm 处使用紫外分光光度计测定吸光度。

1.2.12 肌原纤维蛋白巯基含量的测定

参考贾娜等^[19]的方法,以藏羊肉肌原纤维蛋白溶液为待测样本,根据巯基测定试剂盒的方法进行测定,在波长为 412 nm 处使用紫外分光光度计测定吸光度。

表 1 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间菌落总数的影响

Table 1 Effects of packaging materials on the total number of bacterial colonies during storage of frozen Tibetan lamb meat (lg CFU/g)

包装材料	贮藏时间/d						
	0	3	7	15	30	60	90
普通保鲜袋		2.25±0.05 ^a	2.38±0.03 ^a	2.66±0.01 ^a	2.99±0.1 ^a	4.3±0.2 ^a	5±0.1 ^a
尼龙	3.8±0.01	2.15±0.03 ^b	2.16±0.02 ^b	2.4±0.09 ^a	2.64±0.05 ^a	3.37±0.47 ^b	3.3±0.1b ^c
聚酯		2.18±0.01 ^b	2.19±0.01 ^b	2.46±0.01 ^a	2.67±0.03 ^a	4.07±0.21 ^a	4.33±0.55 ^a
七层共挤		2.17±0.03 ^b	2.18±0.01 ^b	2.35±0.03 ^a	2.66±0.01 ^a	3.2±0.2 ^b	3.37±0.35 ^c

注: 同列不同的小写字母表示具有显著差异 ($P<0.05$)。下表同。

表 2 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间pH值的影响

Table 2 Effects of packaging materials on pH during storage of frozen Tibetan lamb meat

包装材料	贮藏时间/d						
	0	3	7	15	30	60	90
普通保鲜袋		6.13 ± 0.02 ^a	6.10 ± 0.02 ^a	6.09 ± 0.03 ^a	5.85 ± 3.38 ^a	6.24 ± 0.04 ^a	6.47 ± 0.05 ^a
尼龙	6.71 ± 0.02	6.09 ± 0.01 ^b	6.06 ± 0.01 ^a	6.03 ± 3.48 ^a	5.86 ± 0.02 ^b	6.14 ± 0.04 ^b	6.23 ± 0.02 ^c
聚酯		6.11 ± 0.01 ^{ab}	6.07 ± 0.03 ^a	6.07 ± 0.02 ^a	5.86 ± 0.03 ^{ab}	6.13 ± 0.02 ^b	6.26 ± 0.02 ^c
七层共挤		6.10 ± 0.01 ^b	6.07 ± 0.04 ^a	6.04 ± 0.02 ^a	5.89 ± 0.01 ^b	6.14 ± 0.02 ^b	6.33 ± 0.05 ^b

1.2.13 肌原纤维蛋白表面疏水性的测定

根据 Chelh 等^[20]的方法测定表面疏水性, 并进行适当修改。将肌原纤维蛋白溶解在浓度为 20 mmol/L、pH 值为 7.0 的磷酸盐缓冲液中, 使得蛋白质质量浓度为 1 mg/mL。取 1 mL 蛋白溶液, 加入 200 μL 质量浓度为 1 mg/mL 的溴酚蓝溶液, 混匀后在室温下搅拌 10 min, 随后以 7 000 r/min 的速度离心 15 min, 取上清液稀释 10 倍后, 在 595 nm 处测定吸光度值。表面疏水性用以下公式:

$$D = \frac{200 \times (A_1 - A_2)}{A_1} \quad (2)$$

式中:

D ——溴酚蓝, μg;

A_1 ——空白组的吸光值;

A_2 ——处理组的吸光值。

1.3 数据处理

实验的数据测定 3 个平行值, 取其平均值。采用 Excel、SPSS 进行处理数据, 采用 Origin 2018 作图。结果上标的字母相同表示差异不显著 ($P>0.05$), 字母不相同表示差异显著 ($P<0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 包装材料对冷冻藏羊肉菌落总数的影响

由表 1 可知, 3 种包装材料藏羊肉的菌落总数

均随贮藏时间的延长而呈上升趋势, 与对照组相比, 聚酯处理组的菌落总数上升速率最快, 其次是七层共挤处理组, 尼龙处理组最慢。在初始贮藏 0 d 时, 藏羊肉的菌落总数为 3.8 lg CFU/g, 经过 90 d 的冷冻贮藏, 普通保鲜袋中的菌落总数为 5.0 lg CFU/g。而使用 3 种不同包装材料的藏羊肉, 其菌落总数分别为尼龙处理组 3.3 lg CFU/g、聚酯处理组 4.33 lg CFU/g、七层共挤处理组 3.37 lg CFU/g 均低于普通保鲜袋。尼龙处理组的菌落总数与普通保鲜袋对照组相比差异显著 ($P<0.05$)。

2.2 包装材料对冷冻藏羊肉pH值的影响

由表 2 可知, 随贮藏时间的延长, 3 种包装材料藏羊肉的 pH 值呈先下降后上升的动态变化趋势。根据研究结果显示, 鲜肉的最佳品质对应的 pH 值范围为 5.8~6.2, 而优等品的 pH 值范围为 6.2~6.6, 当肉的 pH 值超过 6.6 时, 则属于变质状态^[21]。冷冻藏羊肉在贮藏 90 d 的 pH 值在 6.2~6.6, 属于优等品。冷冻第 30 d, 保鲜袋对照组、尼龙处理组、聚酯处理组和七层共挤处理组的 pH 值均达到最低值, 分别为 5.85、5.86、5.86 和 5.89, 随后 pH 值呈逐渐上升趋势。冷冻第 90 d, 3 个处理组的 pH 值显著低于保鲜袋对照组 ($P<0.05$)。刚屠宰后的藏羊肉肌肉中的糖酵解作用进行缓慢, 导致乳酸积累和脂肪氧化, 从而使 pH 值逐渐下降至蛋白质等电点附近。随着冷冻时间的延长, 藏羊肉肌肉组织中

的蛋白酶作用较慢，导致蛋白质降解缓慢，直到产生碱性物质时肉 pH 值开始回升^[22]。藏羊肉经过冷冻贮藏后，其 pH 值的变化与包装材料有一定的关联，选择适当的包装材料可以在一定程度上影响其贮藏品质。

2.3 包装材料对冷冻藏羊肉色泽的影响

由表 3 可知，随着冷冻时间延长至 90 d，不同包装材料结合真空包装的冷冻藏羊肉肉色 L^* 值先上升后下降， a^* 值逐渐下降， b^* 值逐渐上升。根据实验结果，3 种处理组藏羊肉的 L^* 值与对照组相比存在显著差异 ($P < 0.05$)，Li 等^[23]的研究结果表

明，在长期冷冻贮藏过程中，真空包装可以保持羊肉的鲜红色泽。在 3 种处理组中，尼龙处理组的变化速度相对于新鲜肉 (0 d) 最慢，其次是七层共挤处理组，最后是聚酯处理组。说明包装材料可以较好地维持藏羊肉的外观颜色，并且不同包装材料对肉色的影响也不同。值得注意的是， L^* 值在冷冻前 60 d 出现上升的趋势，而到了贮藏 90 d 时， L^* 值显著下降 ($P < 0.05$)。Chen 等^[24]提到由于肌红蛋白不断氧化为高铁肌红蛋白，同时自由基还会破坏肌肉中的血红素和高铁肌红蛋白还原酶，从而导致肉品的颜色变暗。

表 3 包装材料对冷冻藏羊肉色泽的影响

Table 3 Effects of packaging materials on colour during storage of frozen Tibetan lamb meat

肉色	包装材料	贮藏时间/d						
		0	3	7	15	30	60	90
L^*	普通保鲜袋		37.38 ± 0.65 ^a	37.85 ± 0.93 ^a	39.08 ± 0.63 ^a	42.06 ± 0.56 ^a	39.68 ± 0.08 ^a	36.68 ± 1.27 ^a
	尼龙	35.08 ± 0.08	36.32 ± 0.45 ^b	37.88 ± 0.88 ^a	38.99 ± 0.89 ^a	39.57 ± 0.41 ^b	41.27 ± 0.93 ^b	39.59 ± 0.64 ^b
	聚酯		35.38 ± 0.10 ^c	37.04 ± 0.60 ^a	38.87 ± 0.78 ^a	40.6 ± 0.48 ^b	41.92 ± 0.05 ^b	41.41 ± 1.58 ^b
	七层共挤		34.02 ± 0.48 ^d	35.70 ± 0.24 ^b	36.23 ± 0.67 ^b	39.75 ± 0.60 ^b	41.65 ± 0.34 ^b	40.14 ± 2.06 ^b
a^*	普通保鲜袋		37.38 ± 0.65 ^b	24.26 ± 0.51 ^b	24.47 ± 0.1 ^a	22.65 ± 1.02 ^b	19.18 ± 0.68 ^c	17.94 ± 3.2 ^a
a^*	尼龙	25.59 ± 0.85	25.4 ± 0.64 ^{ab}	25.65 ± 0.41 ^a	24.72 ± 0.21 ^a	23.91 ± 0.28 ^{ab}	22.11 ± 0.34 ^a	18.37 ± 1.19 ^a
	聚酯		25.88 ± 0.1 ^a	25.6 ± 0.18 ^a	24.59 ± 0.18 ^a	23.77 ± 1.02 ^{ab}	20.58 ± 0.22 ^b	19.45 ± 2.79 ^a
	七层共挤		25.53 ± 0.19 ^{ab}	24.59 ± 0.16 ^a	24.47 ± 0.1 ^a	23.72 ± 0.13 ^a	21.2 ± 0.56 ^{ab}	20.37 ± 0.93 ^a
	b^*		普通保鲜袋	5.02 ± 0.87 ^b	6.64 ± 0.28 ^a	7.40 ± 0.50 ^a	8.45 ± 0.07 ^a	10.09 ± 0.79 ^a
b^*	尼龙	4.39 ± 0.53	5.71 ± 0.20 ^{ab}	5.99 ± 0.39 ^a	7.65 ± 0.94 ^a	7.65 ± 0.58 ^a	8.98 ± 0.3 ^{ab}	9.39 ± 0.59 ^a
	聚酯		6.35 ± 0.17 ^a	6.81 ± 0.28 ^a	7.05 ± 1.49 ^a	7.74 ± 0.91 ^a	9.77 ± 0.79 ^{ab}	10.12 ± 1.77 ^a
	七层共挤		6.31 ± 0.35 ^a	6.87 ± 0.87 ^a	7.30 ± 0.26 ^a	7.94 ± 0.90 ^a	8.62 ± 0.21 ^b	9.54 ± 1.34 ^a

2.4 包装材料对冷冻藏羊肉蒸煮损失的影响

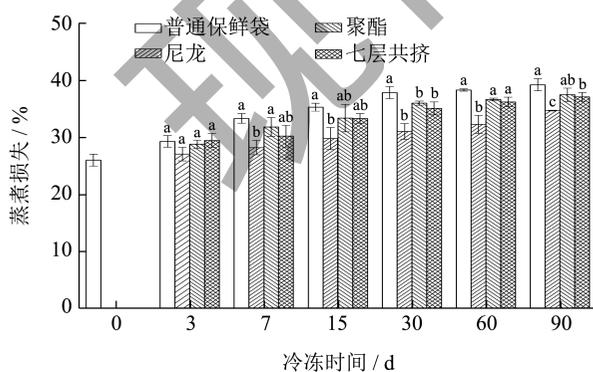


图 1 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间蒸煮损失的影响

Fig.1 Effects of packaging materials on cooking loss during storage of frozen Tibetan lamb meat

注：同组间不同的小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。

下图同。

由图 1 所示，采用不同包装材料在冷冻藏羊肉，其蒸煮损失率随着贮藏时间的延长呈上升趋势。同时，保水性也随贮藏时间的延长而变差。贮藏初期羊肉的蒸煮损失率为 26.01%，贮藏 90 d 后，保鲜袋对照组上升至 39.22%，尼龙处理组上升至 34.71%，聚酯对照组上升至 37.47%，七层共挤处理组上升至 37.08%。这可能是因为宰后肌糖原进行糖酵解，导致 pH 值逐渐下降至约 5.8，接近羊肉中主要蛋白质的等电点，从而导致羊肉的持水能力下降。在贮藏后期，随着 pH 值上升，当其达到 6.0 后，肉的持水能力也会变差。根据图 1 的结果显示，在相同贮藏温度下，3 种不同的包装材料处理组与保鲜袋对照组相比，其蒸煮损失率较低，其中尼龙处理组与普通保鲜袋对照组相比差异显著 ($P < 0.05$)。Duran 等^[25]的研究表明经过真空包装的肉样汁液损

失较多，导致藏羊肉中的自由水减少，当肉在煮制过程中渗出的汁液减少。

2.5 包装材料对冷冻藏羊肉解冻损失的影响

由图 2 所示，不同包装材料藏羊肉的解冻损失率均随贮藏时间的延长呈上升趋势。贮藏初期羊肉的解冻损失率为 3.2%，贮藏 90 d 时，保鲜袋对照组上升至 10.50%，尼龙处理组上升至 9.57%，聚酯对照组上升至 9.81%，七层共挤处理组上升至 9.76%。在贮藏过程中，藏羊肉肌肉组织内部发生生理生化反应和酶的作用。这导致内部纤维蛋白网络结构减弱，使肉的持水能力下降，从而导致汁液的流失。并且在整个贮藏期内呈现出缓慢上升的趋势，且 3 个处理组解冻损失率的上升速度显著低于普通保鲜袋组 ($P < 0.05$)，这可能是因为在真空包装时，处理组的肉样部分自由水被挤压出，导致肌肉的持水能力减弱。

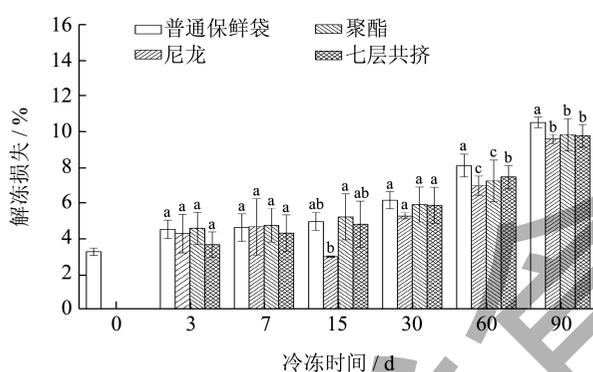


图 2 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间解冻损失的影响
Fig.2 Effects of packaging materials on thawing loss of frozen lamb during storage

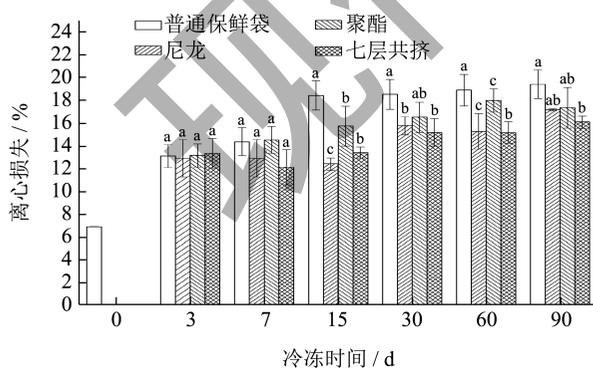


图 3 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间离心损失的影响
Fig.3 Effects of packaging materials on centrifuge loss during storage of frozen Tibetan mutton

2.6 包装材料对冷冻藏羊肉离心损失的影响

由图 3 所示，不同包装材料藏羊肉的离心损失

率均随贮藏时间的延长呈上升趋势。贮藏初期羊肉的离心损失率为 6.91%，贮藏 90 d 时，保鲜袋对照组上升至 19.15%，尼龙处理组上升至 17.15%，聚酯对照组上升至 17.33%，七层共挤处理组上升至 16.07%。由于在贮藏过程中低温导致纤维蛋白结构减弱，使肉的持水能力下降，且 3 个处理组离心损失率的上升速度显著低于普通保鲜袋组 ($P < 0.05$)。

2.7 包装材料对冷冻藏羊肉过氧化值的影响

POV 值可以用来反映脂肪初级氧化产物氢过氧化物的积累程度，其数值越高说明积累量也越高。脂肪初级氧化产物会随着时间的推移而逐渐积累，这会导致肉品质量下降，口感变差。由图 4 可以看出，在冷冻贮藏下，不同包装材料的藏羊肉的 POV 值随着贮藏时间的延长，整体呈先上升后下降的趋势，并且在冷冻第 30 天达到峰值，普通保鲜袋 9.11 mmol/kg、尼龙处理组 6.44 mmol/kg、聚酯处理组 8.00 mmol/kg、七层共挤处理组 7.12 mmol/kg。在冷冻 30 d 到 90 d，处理组均显著低于对照组 ($P < 0.05$)，其中尼龙处理组 POV 值最低，为 5.11 mmol/kg；其次是七层共挤处理组，为 5.67 mmol/kg；最后是聚酯处理组，为 5.78 mmol/kg。Maqsood 等^[26]研究中提到脂肪氧化初期，氢过氧化物的产生速度快于氢过氧化物的分解速度，导致氢过氧化物在贮藏过程中的积累和增多，进而造成 POV 值的增大。然而，氢过氧化物是不稳定的，随着时间的推移，它会进一步氧化分解为次级氧化产物，如醛、酮、酸等。当分解氢过氧化物的速度大于生成氢过氧化物的速度时，氢过氧化物的含量逐渐减少，进而使得 POV 值逐渐减小。

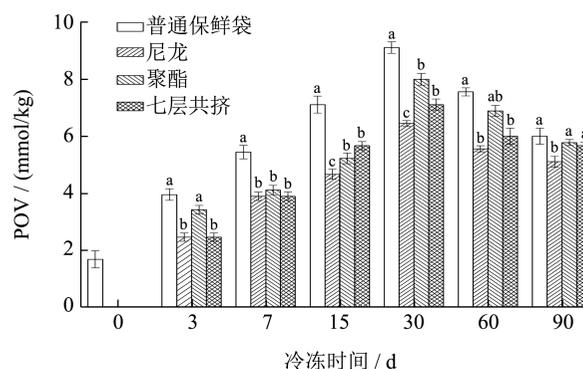


图 4 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间 POV 值的影响
Fig.4 Effects of packaging materials on POV value of frozen Tibetan lamb during storage

2.8 包装材料对冷冻藏羊肉硫代巴比妥酸值的影响

硫代巴比妥酸值通常用于评估肉类及其制品的脂质氧化程度。由图 5 可以看出, 在冷冻贮藏下, 不同包装材料的藏羊肉的 TBARS 值均随贮藏时间的延长整体呈现先上升后下降趋势, 并且在冷冻第 60 天达到峰值, 普通保鲜袋 0.11 mg/100 g、尼龙 0.087 mg/100 g、聚酯 0.10 mg/100 g, 七层共挤 0.095 mg/100 g。在冷冻 90 d, 三个处理组显著低于对照组 ($P<0.05$), 其中尼龙处理组 TBARS 值最低, 达到 0.056 mg/100 g, 其次是七层共挤处理组, 为 0.069 mg/100 g, 最后是聚酯处理组, 为 0.074 mg/100 g。贮藏过程中, Mar 等^[27]研究表明脂肪氧化导致组织结构出现多个小孔隙, 这些孔隙能够增加了肉与空气接触的表面积, 从而促进了油脂的氧化反应。在贮藏 60 d 后, 观察到 3 种包装材料处理组的藏羊肉样品中的 TBARS 值有所下降。这种下降可能是由于脂肪氧化产物丙二醛与蛋白质发生相互作用, 导致丙二醛的产生速率小于其与蛋白质结合的速率。这一现象可能有助于减缓脂肪氧化反应的进行。

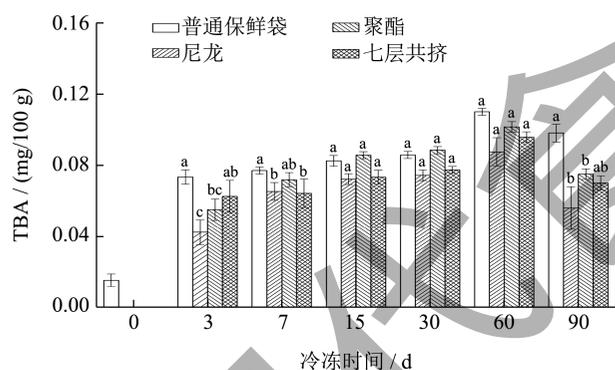


图 5 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间 TBA 值的影响

Fig.5 Effects of packaging materials on TBA value of frozen Tibetan lamb during storage

2.9 包装材料对冷冻藏羊肉蛋白羰基含量的影响

糖基化是蛋白质氧化的一个典型特征, 在肉类中, 羰基含量可以有效地反映其中蛋白质氧化的情况和程度。肉类食品中的羰基含量越高, 表明蛋白质氧化变性的程度也越高, 这两者之间呈现正相关关系。由图 6 所示, 随着贮藏时间的延长, 不同包装材料处理组的藏羊肉羰基含量总体上呈现先上升后下降的趋势, 并且在冷冻 60 d 有最大值, 普通保鲜袋为 8.26 nmol/mg, 尼龙为 6.21 nmol/mg, 聚酯为 7.96 nmol/mg, 七层共挤为 7.48 nmol/mg。在冷

冻 90 d, 三个处理组羰基含量均显著低于对照组 ($P<0.05$), 普通保鲜袋为 6.39 nmol/mg, 尼龙为 4.76 nmol/mg, 聚酯为 6.70 nmol/mg, 七层共挤为 4.90 nmol/mg。在真空包装的条件下, 低氧环境限制了微生物对肌肉蛋白质的分解作用, 从而保护了其完整性, 其中尼龙处理组的羰基含量在冷冻 90 d 后显著低于对照组及其他处理组 ($P<0.05$)。孙克奎等^[28]在研究腌制猪肉的蛋白氧化中提到蛋白羰基含量一开始呈上升趋势, 是由于细胞器破裂所致, 这会释放氧化酶和促氧化剂, 释放越多氧化反应越频繁。因此, 氧化反应加速了蛋白质的氧化过程, 增加了蛋白质中羰基的形成。在贮藏 60 d 后, 羰基含量呈下降趋势, 李瑶琪^[4]的研究表明这是由于新生成的羰基通过与蛋白质中的亲核物发生羰氨缩合反应, 从而降低了羰基含量。

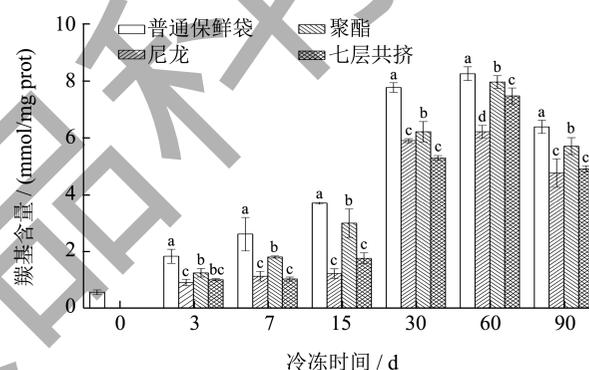


图 6 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间蛋白羰基的影响

Fig.6 Effects of packaging materials on protein carbonyl groups during storage of frozen lamb meat

2.10 包装材料对冷冻藏羊肉蛋白巯基的影响

巯基是肉类蛋白质中最能够反映功能活性的基团, 在保持肉类肌原纤维蛋白空间结构稳定方面具有至关重要的作用。由图 7 所示, 随着贮藏时间的延长, 不同包装材料处理组的藏羊肉的总巯基含量总体上呈现逐步下降的趋势。三个处理组巯基含量在每一个时间段均低于对照组。贮藏初期巯基含量为 4.01 nmol/g, 在冷冻 90 d, 三个处理组巯基含量分别为: 尼龙 0.66 nmol/g, 聚酯 0.68 nmol/g, 七层共挤 0.65 nmol/g。普通保鲜袋对照组的巯基含量为 0.87 nmol/g, 显著高于 3 个处理组 ($P<0.05$)。其中尼龙处理组的巯基含量在每一个时间段都是最低。此结果与冉丽丹等^[29]研究的羊肚冷藏期间肌原纤维蛋白氧化结果一致, 随着贮藏温度和时间的影响, 蛋白分子构像发生改变, 会暴露出蛋白质中的活性巯基, 并产生氧化还原反应, 从而形成二硫键。

活性巯基是蛋白质分子中的一部分，它们在未受到氧化反应时通常处于还原状态。一旦受到氧化反应的影响，活性巯基将暴露出来，并形成二硫键，从而影响蛋白质的结构和性质，因此巯基含量会下降。结合张泓等^[7]研究表明包装袋阻隔性越强，密封性越好越有利于保持腊肉的品质，说明不同的包装材料结合真空包装相对于普通保鲜袋而言，可以有效减缓蛋白质的变性速度及总巯基含量的下降速率，保护羊肉的品质状态。

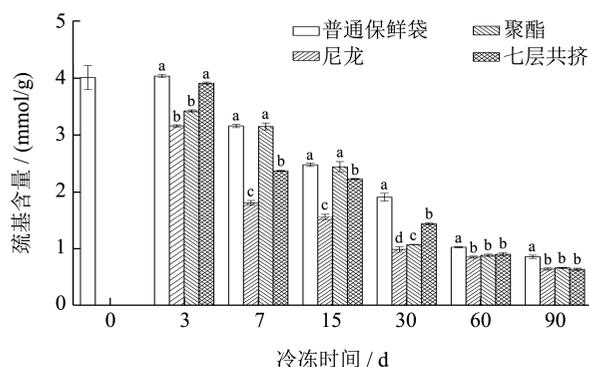


图7 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间蛋白巯基的影响

Fig.7 Effects of packaging materials on protein sulfhydryl groups during storage of frozen lamb meat

2.11 包装材料对冷冻藏羊肉蛋白表面疏水性的影响

蛋白质表面的疏水性可以反映蛋白质结构的展开程度，因此可以用作评估蛋白质变性程度的指标。由图8所示，随着贮藏时间的延长，不同包装材料处理组的藏羊肉的表面疏水性在冷冻90 d内随着冷冻时间的延长总体上呈现先上升后下降的趋势。贮藏初期蛋白表面疏水性为35.09 μg ，在冷冻3 d和7 d，三种包装材料与普通保鲜袋相比，差异显著 ($P < 0.05$)。在冷冻30 d达到峰值，普通保鲜袋为84.45 μg ，尼龙为74.47 μg ，聚酯为73.45 μg ，七层共挤为81.51 μg 。此现象与Luo等^[30]研究培根蛋白表面疏水性结果相似，说明蛋白质氧化后，分子通过折叠和肽键断裂等一系列变化，蛋白分子构象发生改变，由此分子内部的疏水基团暴露在外面，分子表面疏水性增强。相之，蛋白分子一旦发生聚集或交联现象，表面疏水性则会减弱。在整个贮藏过程中，三个处理组的表面疏水性均表现出低于对照组的表面疏水性，尼龙处理组蛋白表面疏水性最低，但在冷冻90 d，差异并不显著 ($P > 0.05$)。这说明不同材料的真空包装处理对于冷冻贮藏肌原纤维蛋白的表面疏水性具有一定程度的改善效果，相较于于

普通的包装处理，更能保持肌原纤维蛋白的构象。

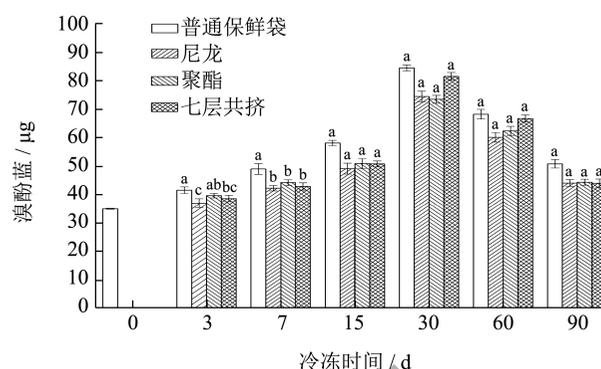


图8 包装材料对冷冻藏羊肉贮藏期间蛋白表面疏水性的影响
Fig.8 Effects of packaging materials on protein surface hydrophobicity groups during storage of frozen lamb meat

3 结论

在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下，采用普通保鲜袋和不同包装材料结合真空包装处理的藏羊肉在贮藏过程中肉品质均发生了不同程度的变化。在贮藏90 d后，采用3种包装材料的藏羊肉的菌落总数、pH值均低于普通保鲜袋，且包装材料对藏羊肉的色泽稳定性也有影响；同时，保水性也随贮藏时间的延长而变差，蒸煮损失率、解冻损失率和离心损失率均呈上升趋势；而且在整个冻藏过程中，3种包装材料结合真空包装的藏羊肉POV值和TBA值始终显著低于普通保鲜袋；肌原纤维蛋白羰基含量增加，巯基流失，表面疏水性增加，说明3种包装材料结合真空包装与普通保鲜袋相比保鲜效果更好，可以有效抑制蛋白质氧化。综合分析，尼龙包装材料(PA/PE)对藏羊肉品质保持效果最好，其次是七层共挤包装材料(PA/TIE/PA/TIE/PE/PE/PE)，而聚酯包装材料(PE/PET)效果最差，故尼龙包装材料结合真空包装可作为藏羊肉长期冷冻贮藏期间的理想包装材料。本研究为青海藏羊肉的贮藏保鲜提供一定的理论参考。

参考文献

- [1] 孙海玲.藏羊产业成为青海推进乡村振兴支柱产业[N]. 农民日报,2021-10-16.
- [2] WANG Q, LIU H J, BAI Y, et al. Research progress on mutton origin tracing and authenticity [J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131-387.
- [3] 程雅婷,揭晓蝶,田旭,等.不同包装材料对冷冻猪肉品质及营养成分的影响[J].肉类工业,2018,449(9):40-44.
- [4] 李瑶琪.不同包装材料对冷、冻藏猪肉在贮藏期间品质

- 的影响[D].大连:大连工业大学,2018.
- [5] 骆双灵,张萍,高德.肉类食品保鲜包装材料与技术的研究进展[J].食品与发酵工业,2019,45(4):220-228.
- [6] 吴仕达,张玉斌,郜晶晶,等.不同包装材料结合乳酸钙处理冷却藏羊肉色泽稳定性的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(10):152-158.
- [7] 张泓,黄艳杰,胡宏海,等.包装袋阻隔性对腊肉储存期间品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(16):346-351.
- [8] 牟广磊.不同包装方式对冷却牛肉品质及微生物影响的研究[D].泰安:山东农业大学,2015.
- [9] 郭艳婧,杨勇,李静,等.不同包装材料对罐罐肉理化特性的影响[J].食品科学,2014,35(22):336-339.
- [10] 黄文颖.青海牧区高寒草甸草地放牧藏羊肉品质分析[J].肉类研究,2015,29(5):10-12.
- [11] ZHANG Q Y, QUE M, LI W, et al. Gangba sheep in the Tibetan plateau: Validating their unique meat quality and grazing factor analysis [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2021, 101: 117-122.
- [12] ATSBHA K, GEBREMARIAM T, AREGAWI T. Slaughter performance and meat quality of Begait breed lambs fattened under different diets [J]. *Heliyon*, 2021, 7(5): e06935.
- [13] GÓMEN M, LORENZO J M. Effect of packaging conditions on shelf-life of fresh foal meat [J]. *Meat Science*, 2012, 91(4): 513-520.
- [14] 马英,韩丽娟,张雪,等.不同屠宰体重下青海藏羊肉品质的分析[J].饲料研究,2022,45(6):67-72.
- [15] 刘颜,周颖,贾永京,等.安徽白山羊肉品质及其低温加工特性[J].食品与发酵工业,2021,47(16):211-218.
- [16] 周雨,罗章,张文会,等.西藏不同品种藏系绵羊育肥屠宰后肉品质的分析[J].畜牧与饲料科学,2019,40(3):21-27.
- [17] BERTRAM H C, ANDERSEN H J, KARLSSON A H. Comparative study of low-field NMR relaxation measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork [J]. *Meat Science*, 2016, 57(2): 125-132.
- [18] ZHANG Z Y, YANG Y L, ZHOU P, et al. Effects of high pressure modification on conformation and gelation properties of myofibrillar protein [J]. *Food Chemistry*, 2017, 217: 678-686.
- [19] 贾娜,金伯阳,刘丹,等.儿茶素对肌原纤维蛋白氧化、结构及凝胶特性的影响[J].肉类研究,2020,34(4):13-19.
- [20] CHELH I, GATELLIE RP, SANTÉ-LHOUELLIER V. Technical note: A simplified procedure for myofibrillar hydrophobicity determination [J]. *Meat Science*, 2006, 74(4): 681-683.
- [21] 窦玉琴,孙万成,罗毅皓,等.不同部位及地区藏羊肉的肉品质及其组织学特性[J].食品研究与开发,2023,44(9):59-68.
- [22] ABDULLAH I, DA-WEN S, PAUL A. Prediction of moisture, color and pH in cooked, pre-sliced turkey hams by NIR hyperspectral imaging system [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117(1): 42-51.
- [23] LI X, ZHANG Y, LI Z Y, et al. The effect of temperature in the range of -0.8 to 4 °C on lamb meat color stability [J]. *Meat Science*, 2017, 134: 28-33.
- [24] CHEN C, YU Q L, HAN L, et al. Effects of aldehyde products of lipid oxidation on the color stability and metmyoglobin reducing ability of bovine Longissimus muscle [J]. *Animal Science Journal*, 2018, 89(5): 810-816.
- [25] DURAN A, KAHVE, H I. The effect of chitosan coating and vacuum packaging on the microbiological and chemical properties of beef [J]. *Meat Science*, 2020, 162: 107-961.
- [26] MAQSOOD S, BENJAKUL S, BALANGE A K. Effect of tannic acid and kiam wood extract on lipid oxidation and textural properties of fish emulsion sausages during refrigerated storage [J]. *Food Chemistry*, 2012, 130(2): 408-416.
- [27] MAR R, TERESA A, MONICA A, et al. Effect of different temperature-time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins [J]. *Food Chemistry*, 2014, 149: 129-136.
- [28] 孙克奎,金声琅,潘雅燕,等.等离子体活性水腌制对猪肉肌原纤维蛋白氧化及结构的影响[J].食品科学,2020,41(14):36-41.
- [29] 冉丽丹,李文慧,赵超,等.茶多酚-β-环糊精包合物对羊肚冷藏期间肌原纤维蛋白氧化的影响[J].食品科学,2021,42(3):227-235.
- [30] LUO J, MUSTAPHA M N, WEN J Y, et al. Effects of dielectric barrier discharge cold plasma treatment on the structure and binding capacity of aroma compounds of myofibrillar proteins from dry-cured bacon [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 117: 108606.