

包装方式对宰后牛肉成熟过程中食用品质的影响
Effects of different packaging methods on beef quality
during the postmortem aging

扶庆权¹ 张万刚^{2,3,4} 王海鸥¹ 宋尚新¹ 陈守江¹
FU Qing-quan¹ ZHANG Wan-gang^{2,3,4} WANG Hai-ou¹ SONG Shang-xin¹ CHEN Shou-jiang¹

(1. 南京晓庄学院食品科学学院, 江苏 南京 211171; 2. 南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095;
3. 南京农业大学肉品加工与质量控制教育部重点实验室, 江苏 南京 210095;
4. 南京农业大学食品安全与营养协同创新中心, 江苏 南京 210095)

(1. School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 211171, China; 2. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 3. Key Laboratory of Meat Processing and Food Control, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 4. Synergetic Innovation Center of Food Safety and Nutrition, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

摘要:以真空包装作为对照,研究托盘包装和气调包装对牛肉宰后成熟过程中食用品质的影响。取 6 头宰后 24 h 的黄牛左侧背最长肌,切割成大小基本相同的肉块并随机分组进行托盘包装、真空包装和气调包装(2.54 cm 厚),在 4℃ 下冷藏成熟 0, 4, 7, 10 d, 分别测定颜色、嫩度、贮藏损失、离心损失、蒸煮损失和水分分布状态,评价包装方式对宰后成熟过程中牛肉食用品质的影响。结果表明:与真空包装相比,托盘包装和气调包装牛肉样品的蒸煮损失在宰后成熟过程中无显著性差异($P>0.05$),而贮藏损失差异显著($P<0.05$);托盘包装和气调包装牛肉样品的 a^* 值和自由水含量较高($P<0.05$),而托盘包装和气调包装牛肉样品的嫩度显著低于对照组($P<0.05$)。说明气调包装和托盘包装有助于改善牛肉的颜色,而对牛肉嫩度和水分分布状态却不具有改善作用。

关键词:牛肉;包装方式;食用品质;嫩度;颜色;持水力

Abstract: Effects of air packaging and modified atmosphere packaging on the quality of fresh beef during postmortem aging was studied using vacuum packaging as control treatment. Six left side of *longissimus dorsi* muscles of yellow cattle were pre-cooled at 4℃ for 24 h. After 24 h postmortem, beef samples (2.54 cm thick) were trimmed and mixed, and randomly divided into three groups. The beef

samples were stored for 4 d, 7 d and 10 d in dark refrigeration house at 4℃ to mimic commercial storage conditions. At the end of each point, the meat color, tenderness, purge loss, centrifuge loss, cooking loss and the state of moisture distribution were determined immediately to evaluate the effect of different packaging methods on beef quality during postmortem aging. The results showed that the cooking loss of samples from air packaging and modified atmosphere packaging was not different significantly compared to vacuum packaging ($P>0.05$), while the purge loss of samples from air packaging and modified atmosphere packaging was significantly different ($P<0.05$). Air packaging and modified atmosphere packaging presented better improvement on CIE a^* values and higher population of free water and lower tenderness compared to vacuum packaging ($P<0.05$). In conclusion, air packaging and modified atmosphere packaging could improve the color of beef samples compared to vacuum packaging. However, air packaging and modified atmosphere packaging could not improve the tenderness and the state of moisture distribution.

Keywords: beef; packaging method; eating quality; tenderness; color; water holding capacity

基金项目:江苏省科技厅自然科学基金青年基金项目(编号: BK20170146);江苏省高校自然科学研究面上项目(编号: 17KJB550006);南京晓庄学院高层次培育项目(编号: 2016NXY14)

作者简介:扶庆权(1975—),男,南京晓庄学院高级实验师,博士。
E-mail: fuqingquan@126.com

收稿日期:2018-03-09

近年来,随着人民生活水平的改善和提高,中国牛肉的销量急剧增长,且消费者对牛肉品质的要求也越来越高^[1]。嫩度、颜色和持水力是评价牛肉品质 4 个最重要的质量指标。颜色是评价鲜肉品质的重要指标之一,颜色的好坏不仅影响消费者衡量鲜肉的新鲜程度,还会影响消费者的购买欲望^[2]。嫩度是评价鲜肉成熟过程中品质好坏的最重要感官特征和质量指标,也是决定消费者是否购买的食用品质之

一^[3]。持水力是肉类工业和消费者评价鲜肉品质的重要指标,它直接影响鲜肉的颜色、嫩度、硬度、多汁性、风味等食用品质^[4]。

食品包装技术广泛应用于鲜肉的保鲜和保藏,其中托盘包装、真空包装和气调包装是目前中国市场上最常用的 3 种零售包装方式。托盘包装具有包装简单、成本低廉、短时间内形成鲜艳的亮红色等特点,但托盘包装产品货架期较短,易发生蛋白质氧化和脂肪氧化,4~7 d 后鲜肉表面开始褪色^[5]。真空包装能够抑制好氧微生物的生长和繁殖,控制蛋白质氧化和脂肪氧化,从而延长鲜肉的货架期和维持稳定的紫红色。然而,真空包装很容易使产品变形、汁液渗出和明显失重,降低鲜肉的持水性^[6]。气调包装(80% O₂+20% CO₂)能够延长鲜肉的货架期,稳定鲜肉的亮红色长达 14 d。然而,气调包装使用成本过高,且高浓度氧易促进不饱和脂肪酸、肌红蛋白和肌原纤维蛋白等发生氧化,因而会导致肉制品产生不良风味并降低其营养价值^[7]。

目前,国内外关于包装方式对牛肉品质影响的研究鲜有报道。本试验拟研究包装方式对宰后牛肉成熟过程中色泽、嫩度、滴水损失、离心损失、蒸煮损失和水分存在方式的影响,旨在为牛肉产品销售过程中选择合理的包装方式和成熟条件提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取体重 550~700 kg 的鲁西×西门塔尔杂交黄牛 6 头,年龄约为 20 个月,饲养环境和饲养模式完全相同。所有黄牛均在山东新绿食品有限公司屠宰场屠杀,屠宰方式均按照中国常规的屠宰工艺进行操作,4℃冷库排酸 24 h,分别从左半边胴体的第 12~13 根肋骨处取下牛背最长肌。

1.2 仪器与设备

电子分析天平:AUY120 型,日本岛津公司;
 高速匀浆机:Turrax T25 Basic 型,德国 IKA 公司;
 便携式温度计:Testo-105 型,德国 Testo AG 公司;
 落地式高速冷冻离心机:Avanti J-E 型,美国 Beckman Coulter 公司;
 低场核磁共振仪:PQ001 型,上海纽迈电子有限公司;
 质构仪:TA-XT2i 型,英国 Stable Micro System 公司;
 便携式色差仪:CR-400 型,日本柯尼美能达公司;
 气调包装机:Smart 500 型,西班牙 Ulma 公司;
 真空包装机:DC800-FB-E 型,美国快尔卫包装公司;
 托盘透氧包装机:TP 型,山东大宏智能设备有限公司;
 水浴锅:TW20 型,德国 Julabo 公司。

1.3 方法

1.3.1 包装 牛背最长肌取下后,分别剔除其可见脂肪、筋膜和结缔组织,将牛肉样品分割成大小和重量基本相同的肉块(约 300 g),每头肉块混合后将其随机均分成 3 组,分别进行托盘包装[PE 材料,氧气透过率>70 cm³/(m²·d·kPa),二氧化碳透过率>280 cm³/(m²·24 h·kPa)]、真空包装[PA/PE 材料,氧气、二氧化碳透过率分别小于 0.3,

1.2 cm³/(m²·d·kPa)] 和气调包装[80% O₂+20% CO₂; PA/EVOH/PE 材料,氧气、二氧化碳透过率分别小于 0.01, 0.05 cm³/(m²·d·kPa)]。包装后的牛肉模拟商业条件在 4℃分别成熟 0,4,7,10 d,在每个成熟时间点打开样品包装分别测定相关的品质指标。

1.3.2 肉色测定 牛肉样品 *a** 值(红度值)测定使用色差仪进行,采用 D₆₅ 标准光源,测量孔径为 8 mm,标准视角为 10°,色差仪在使用前用标准白瓷板在室温下进行校正。在每个成熟时间点打开包装取出肉样,用吸水纸擦干表面水分并保持肉样平整,选取肉样表面的不同位置随机测定 5 次,结果取其平均值。

1.3.3 剪切力测定 参考 Lagerstedt 等^[8]的方法并进行适当修改。牛肉样品插入热电偶温度计放置于蒸煮袋内,72℃水浴蒸煮处理至肉样中心温度达到 70℃后,取出并用流水冷却至室温,用吸水纸吸干牛肉表面的水分,随机选取肉样沿肌纤维方向切成 1 cm×1 cm×6 cm 的长方形,使用质构仪垂直肌纤维方向测定样品的剪切力。质构仪测定条件^[9]:探头类型为 HDP/BS,触发力 40 g,测定前速度 5 mm/s,剪切速度 1.5 mm/s,测定后速度 5 mm/s,下压距离 2 cm,数据获得率为 200 pps(组每秒)。每个处理样品取 3 个肉块平行测定,每个肉块切 5 个肉条进行测定,结果取其平均值。

1.3.4 贮藏损失测定 参考 Zhang 等^[10]的方法并进行一定的修改。宰后所有待包装牛肉样品都先用吸水纸擦干表面水分并称重(*M*₁),牛肉样品随后进行不同类型的包装,分别置于 4℃冷库分别贮藏成熟 4,7,10 d,每个成熟时间点,取出牛肉样品立即用吸水纸擦掉表面水分并称重(*M*₂)。贮藏损失按式(1)计算:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:
W——贮藏损失,%;
*M*₁——初始重量,g;
*M*₂——放置一定时间后的重量,g。

1.3.5 离心损失测定 参考 Zhang 等^[11]的方法并进行适当修改。将宰后成熟 0,4,7,10 d 后的牛肉样品分别切成 1.0 cm×0.5 cm×0.5 cm 的长条形,将样品轻轻装满 10 mL 塑料离心管中并称重(*M*₁),将装满牛肉的离心管放入离心机于 4℃以 40 000×*g* 离心 15 min,倒去离心管上层水分并用吸水纸擦掉表面水分称重(*M*₂)。离心损失按式(2)计算:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:
W——离心损失,%;
*M*₁——离心前的重量,g;
*M*₂——离心后的重量,g。

1.3.6 蒸煮损失测定 参考张睿^[12]的方法并进行一定的修改。将宰后成熟 0,4,7,10 d 后的牛肉样品切成 3 cm×2 cm×2 cm 大小的肉块,用吸水纸擦去表面水分并准确称重(*M*₁),将称重后的牛肉样品装入高温蒸煮袋里,并置于

72 ℃ 水浴中煮至中心温度达到 70 ℃。取出蒸煮袋并用自来水充分冷却至室温,取出牛肉样品用吸水纸擦掉表面水分后称重(M_2)。蒸煮损失按式(3)计算:

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:

w ——蒸煮损失, %;

M_1 ——煮前重量, g;

M_2 ——煮后的重量, g。

1.3.7 低场核磁测定 参考 Bertram 等^[13]的方法并做适当的修改。所有牛肉样品均平行肌纤维方向分别切成 1.0 cm×1.0 cm×1.5 cm 大小的肉块,将肉块轻轻放入直径为 15 mm 的圆柱形玻璃管中,每个玻璃管装 2 g 样品,再将圆柱形玻璃管放入直径为 18 mm 的圆柱形探针管中。测定之前将称好肉样的核磁检测管置于室温下平衡 30 min,然后将探针管放入低场核磁取样器中进行测定。每个样品平行测定 5 次,然后取其平均值。测定时使用共振频率为 32 ℃ 下 22.6 MHz,回波时间 τ 值为 200 s,重复扫描 4 次,每 2 次扫描间隔 2 s。样品的弛豫时间 T_2 值使用 CPMG 序列反演测定,所有数据使用多元模型分析软件 MultiExp Inv Analysis 进行反演分析。结合水 T_{2B} 、不易流动水 T_{21} 、自由水 T_{22} 以及相对应的水分含量 P_{2B} 、 P_{21} 、 P_{22} 分别表示各种水的移动惰性和分布情况。

1.4 数据统计与分析

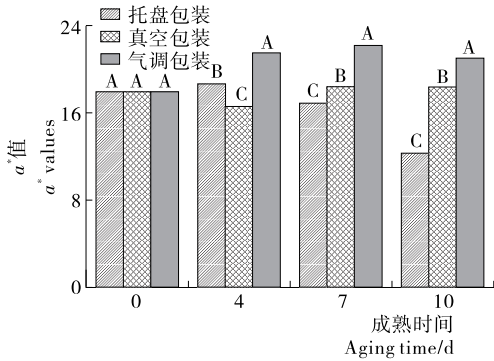
使用 SAS 8.0 软件(美国 SASA 软件研究所)进行单因素数据分析,不同处理组的差异采用 ANOVA 的方差分析,每个指标平均值的比较采用邓肯氏多重比较,差异显著性通过 t -检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 对牛肉 a^* 值的影响

肉色是生鲜牛肉最重要的感官品质指标之一,肉色的好坏不仅直接影响消费者的购买欲望,而且还对市场价格起着非常重要的调节作用^[14]。包装方式对牛肉样品宰后成熟过程中肉色的影响见图 1。由图 1 可知,成熟 4、7、10 d 时气调包装牛肉样品的 a^* 值(红度值)显著高于托盘包装和真空包装的($P<0.05$),而在成熟 7、10 d 时真空包装牛肉样品的 a^* 值显著高于托盘包装牛肉样品的($P<0.05$)。 a^* 值是评价肉色变化最重要的指标,是评价牛肉新鲜程度和卫生安全性的直观指标,与鲜肉的质量密切相关,与肌肉的持水率呈正相关性^[15]。在牛肉成熟期间,导致 a^* 值(红度值)减少的原因可能是肌红蛋白的氧化产生亮红色的氧合肌红蛋白进而转变为褐色的高铁肌红蛋白。在牛肉冷藏成熟 4 d 时,气调包装和托盘包装牛肉样品的红度值高于真空包装的,表明气调包装和托盘包装的牛肉样品在有氧条件下脱氧肌红蛋白氧化成氧合肌红蛋白,而真空包装的牛肉样品在无氧状态下未被显著氧化^[16]。在牛肉成熟第 7 天和第 10 天时,气调包装和真空包装牛肉样品的红度值与托盘包装相比显示较高,表明在冷藏成熟期间,托盘包装牛肉的氧合肌红蛋白转化为高

铁肌红蛋白,真空包装的脱氧肌红蛋白几乎保持不变,而在气调包装条件下,气调包装中的氧气促进了色素氧化,并在鲜肉的表面形成氧合肌红蛋白,形成的氧合肌红蛋白薄层掩饰了高铁肌红蛋白薄层,从而延长了亮红色的氧合肌红蛋白颜色^[17]。另外,气调包装中填充的高浓度氧对还原型肌红蛋白也具有重要的保护作用。以上研究与 Li 等^[18]报道的基本一致,结果表明气调包装牛肉样品的红度值在冷藏成熟 5 d 后显著高于其它包装的($P<0.05$)。Jayasingh 等^[19]也研究发现气调包装的碎牛肉冷藏成熟 10 d 一直保持鲜艳的亮红色。因此,气调包装能有效地延长鲜牛肉颜色的稳定性并能够改善鲜肉的视觉特征。



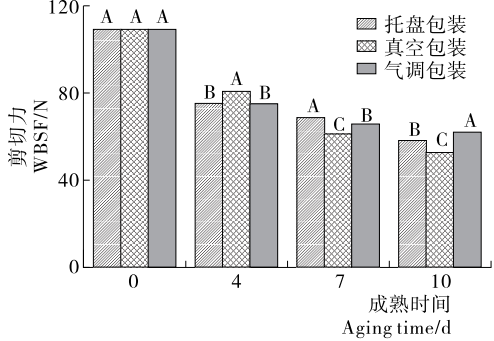
不同字母表示相同成熟时间不同包装方式下差异显著($P<0.05$)

图 1 包装方式对牛肉样品 a^* 值的影响

Figure 1 Effects of packaging methods (AP, VP and MAP) on a^* values of beef samples during 10 d of chilled storage at 4 °C

2.2 对牛肉嫩度的影响

包装方式对牛肉样品宰后成熟过程中嫩度的影响见图 2。由图 2 可知,牛肉成熟 4 d,真空包装牛肉样品的嫩度显著低于托盘包装和气调包装的($P<0.05$),而托盘包装牛肉样品的嫩度和气调包装的相比无显著性差异($P>0.05$)。牛肉成熟 7、10 d 真空包装牛肉样品的嫩度显著高于托盘包装和气调包装的($P<0.05$),而托盘包装的牛肉样品的嫩度显著高于气调包装的($P<0.05$)。嫩度被认为是鲜肉质量的



不同字母表示相同成熟时间不同包装方式下差异显著($P<0.05$)

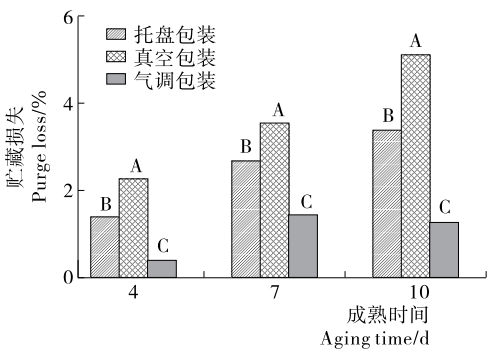
图 2 包装方式对牛肉样品剪切力的影响

Figure 2 Effects of packaging methods (AP, VP and MAP) on WBSF of beef samples during 10 d of chilled storage at 4 °C

重要指标,与消费者的满意度直接相关^[20]。嫩度的大小一般用剪切力值来表示。在牛肉样品成熟第7天和第10天,真空包装牛肉样品的嫩度显著高于气调包装和托盘包装的,可能是在宰后成熟过程中蛋白质氧化抑制了牛肉钙激活酶的活性,从而进一步抑制了钙蛋白酶对骨架结构蛋白的降解。Zakrys-Waliwaner等^[21]报道了类似的结果,气调包装的牛排样品在冷藏成熟8,14 d后的嫩度显著低于真空包装的($P<0.05$)。Lund等^[22]也报道真空包装的猪肉样品在冷藏8,14 d后的嫩度显著高于气调包装的($P<0.05$)。

2.3 对牛肉持水力的影响

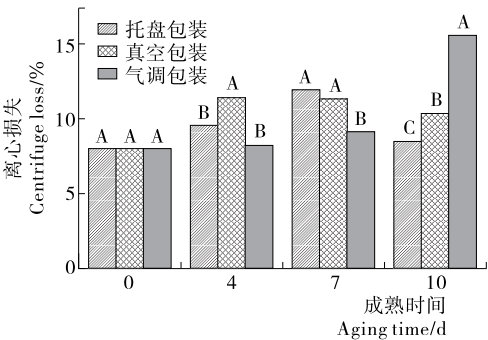
包装方式对宰后牛肉成熟过程中牛肉样品贮藏损失的影响见图3。由图3可知,成熟4,7,10 d时3种包装方式的牛肉贮藏损失呈现显著性差异,真空包装牛肉样品的贮藏损失显著高于托盘包装和气调包装的($P<0.05$),而托盘包装牛肉样品的贮藏损失显著高于气调包装的($P<0.05$)。



不同字母表示相同成熟时间不同包装方式下差异显著($P<0.05$)
图3 包装方式对牛肉贮藏损失的影响

Figure 3 Effect of packaging methods (AP,VP and MAP) on purge loss of beef samples during 10 d of chilled storage at 4 °C

包装方式对宰后成熟过程中牛肉样品离心损失的影响见图4。由图4可知,牛肉成熟4 d后,真空包装牛肉样品的离心损失显著高于托盘包装和气调包装的($P<0.05$),而托盘包装和气调包装牛肉样品的离心损失无显著性差异($P>0.05$)。

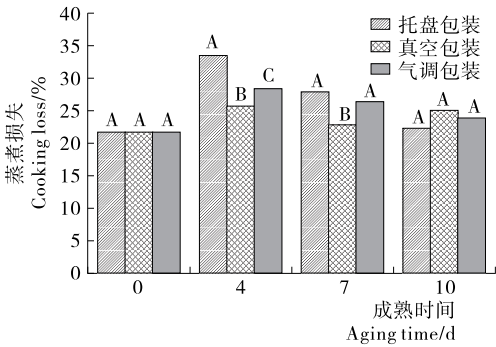


不同字母表示相同成熟时间不同包装方式下差异显著($P<0.05$)
图4 包装方式对牛肉离心损失的影响

Figure 4 Effect of packaging methods (AP,VP and MAP) on centrifuge loss of beef samples during 10 d of chilled storage at 4 °C

0.05)。牛肉成熟7 d后,托盘包装和真空包装牛肉样品的离心损失显著高于气调包装的($P<0.05$),而托盘包装和真空包装的牛肉样品离心损失无显著性差异($P>0.05$)。牛肉冷藏成熟10 d后,气调包装牛肉样品的离心损失显著高于真空包装和托盘包装的($P<0.05$),而真空包装牛肉样品的离心损失显著高于托盘包装的($P<0.05$)。

包装方式对宰后成熟过程中牛肉样品蒸煮损失的影响见图5。由图5可知,牛肉成熟4 d后,托盘包装牛肉样品的蒸煮损失显著高于气调包装和真空包装的($P<0.05$),而气调包装牛肉样品的蒸煮损失显著高于真空包装的($P<0.05$)。牛肉成熟7 d后,托盘包装和气调包装牛肉样品的蒸煮损失显著高于真空包装的($P<0.05$),而托盘包装牛肉样品的蒸煮损失和气调包装的无显著性差异($P>0.05$)。牛肉成熟10 d后,3种包装的牛肉样品的蒸煮损失均无显著性差异($P>0.05$)。



不同字母表示相同成熟时间不同包装方式下差异显著($P<0.05$)
图5 3种包装方式对牛肉蒸煮损失的影响

Figure 5 Effect of packaging methods (AP,VP and MAP) on cooking loss of beef samples during 10 d of chilled storage at 4 °C

弛豫时间的变化反映样品水分的自由程度,峰面积的变化反映样品的水分含量,也就是考察各种状态下水分在细胞内外的结合状态和自由移动程度。包装方式对宰后成熟过程中牛肉样品的低场核磁结果见表1、2和图6。由表1可知,成熟4,7,10 d时3种包装牛肉样品的结合水弛豫时间均呈显著性差异($P<0.05$),气调包装牛肉样品的结合水弛豫时间显著高于真空包装的($P<0.05$),而真空包装牛肉样品的结合水弛豫时间又显著高于托盘包装的($P<0.05$)。由表1还可知,成熟4,7,10 d时真空包装牛肉样品的不易流动水和自由水弛豫时间与托盘包装和气调包装相比呈现显著性差异($P<0.05$),而托盘包装牛肉样品的不易流动水和自由水弛豫时间与气调包装相比无显著性差异($P>0.05$)。由表2可知,成熟4,7,10 d,真空包装牛肉样品的自由水含量和结合水含量与托盘包装和气调包装相比有显著性差异($P<0.05$),而托盘包装牛肉样品的自由水含量和结合水含量与气调包装相比无显著性差异($P>0.05$);3种包装的牛肉样品,在宰后成熟期间不易流动水的含量均无显著性差异($P>0.05$)。持水力是生鲜牛肉最重要的品质指标之一,直接影响肉品加工企业的经济效益。持水力测定方法包括贮

表 1 成熟过程中不同方式包装牛肉弛豫时间的变化[†]

Table 1 The changes of relaxation time of packaging methods (AP,VP and MAP) beef samples during 10 d of chilled storage at 4 ℃

成熟时 间/d	T _{2B} /ms			T ₂₁ /ms			T ₂₂ /ms		
	托盘包装	真空包装	气调包装	托盘包装	真空包装	气调包装	托盘包装	真空包装	气调包装
0	0.71±0.01 ^a	0.71±0.01 ^a	0.71±0.01 ^a	48.15±1.62 ^a	48.15±1.62 ^a	48.15±1.62 ^a	174.15±0.00 ^a	174.15±0.00 ^a	174.15±0.00 ^a
4	0.50±0.08 ^c	0.68±0.06 ^b	0.79±0.02 ^a	46.53±3.25 ^a	43.29±0.10 ^b	46.53±3.25 ^a	199.35±1.57 ^a	187.84±13.09 ^b	210.98±7.56 ^a
7	0.72±0.02 ^c	0.76±0.03 ^b	0.88±0.10 ^a	49.77±0.00 ^a	43.61±0.33 ^b	49.77±0.00 ^a	258.26±7.34 ^a	207.34±6.38 ^b	223.49±7.52 ^a
10	0.80±0.04 ^b	0.70±0.02 ^c	1.13±0.03 ^a	49.64±0.13 ^a	43.31±0.05 ^b	49.77±0.00 ^a	220.01±2.21 ^a	200.92±0.63 ^b	215.97±15.01 ^a

† 不同字母表示相同成熟时间不同包装方式下差异显著(P<0.05)。

表 2 成熟过程中不同方式包装牛肉峰面积的变化[†]

Table 2 on the changes of peak areas of packaging methods (AP,VP and MAP) beef samples during 10 d of chilled storage at 4 ℃

成熟时 间/d	P _{2B} /%			P ₂₁ /%			P ₂₂ /%		
	托盘包装	真空包装	气调包装	托盘包装	真空包装	气调包装	托盘包装	真空包装	气调包装
0	4.28±0.34 ^a	4.28±0.34 ^a	4.28±0.34 ^a	91.25±0.26 ^a	91.25±0.26 ^a	91.25±0.26 ^a	4.57±0.71 ^a	4.57±0.71 ^a	4.57±0.71 ^a
4	4.31±0.24 ^a	3.66±0.14 ^b	3.97±0.57 ^a	92.09±0.31 ^a	91.91±0.96 ^a	91.91±1.71 ^a	4.08±0.25 ^b	5.51±0.14 ^a	4.85±0.24 ^b
7	3.41±0.09 ^a	3.11±0.05 ^b	3.27±0.02 ^a	93.89±1.19 ^a	93.71±0.52 ^a	93.25±0.23 ^a	3.08±0.73 ^b	3.31±0.19 ^a	3.57±0.15 ^b
10	3.73±0.43 ^a	3.28±0.18 ^b	3.73±0.28 ^a	94.12±0.97 ^a	93.06±0.28 ^a	92.40±0.51 ^a	2.61±0.63 ^c	3.66±0.22 ^b	4.53±0.45 ^a

† 不同字母表示相同成熟时间不同包装方式下差异显著(P<0.05)。

藏损失、离心损失、蒸煮损失、低场核磁共振测定水分含量和分布。贮藏损失模拟了生鲜牛肉在冷藏成熟过程中的水分损失状况,离心损失则反映了施加外部压力情况下牛肉保持其水分的能力。蒸煮损失则反映鲜牛肉保持水分的能力。低场核磁技术则能够准确地分析出肌肉中不同水分的存在状态、迁移和分布情况,从而对其持水力的高低做出准确判断^[23]。肌肉在宰后成熟过程中的贮藏损失主要来源于其中的自由水,而不易流动水和结合水与蛋白质分子表面结合紧密,在贮藏状态中基本不会出现损失^[24]。宰后成熟过程中,真空包装牛肉样品的自由水比例显著低于托盘包装和气调包装,这能够解释真空包装牛肉样品在宰后成熟过程中更高的贮藏损失。O’Keeffe 等^[25]研究发现,真空包装的牛肉样品与气调包装和托盘包装相比,其贮藏损失均较大。这可能是真空包装下的肉样承受抽真空的压力以及外界物理压强的挤压,肉样中的部分自由水被挤压出来,而造成较大的汁液损失。而气调包装和托盘包装下肉样未受到外力作用,蛋白质网状结构之间均匀疏松从而保留水分,贮藏损失也相对较小。在牛肉成熟 10 d 时,气调包装和托盘包装牛肉样品的离心损失显著高于真空包装组,表明气调包装和托盘包装组具有较强的肌肉收缩能力,蛋白质结构紧密,而肌细胞之间的空隙明显,因而能够储存较多水分。这与 Lindahl 等^[26]的研究结果一致:牛肉样品在氧化环境中能够促进蛋白质氧化和抑制蛋白质降解,同时也会破坏骨骼肌细胞的有序性和完整性,弱化肌原纤维与水结合、贮藏水分的能力。在牛肉宰后成熟 10 d,当施加蒸煮等外部压力时,自由水与不易流动水都会从组织中流出成为汁液流失。因此,不同包装方式下

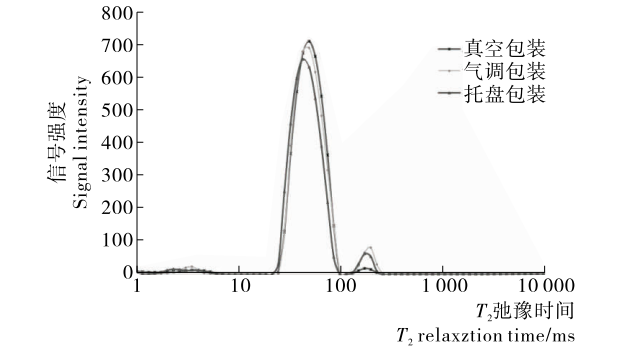


图 6 包装方式对牛肉低场核磁峰面积的影响

Figure 6 Effect of packaging methods (AP,VP and MAP) on population of water molecular of beef

牛肉样品的蒸煮损失均没有显著差异。

3 结论

与真空包装相比,托盘包装和气调包装牛肉样品均具有较低的嫩度。气调包装牛肉样品在成熟过程中一直维持鲜红的颜色,而托盘包装牛肉样品成熟后期颜色较差。托盘包装和气调包装牛肉样品具有较低的贮藏损失和离心损失,托盘包装和气调包装牛肉样品的自由水含量较低,而蒸煮损失却无显著性差异。本试验未研究包装方式对牛肉颜色、嫩度和持水性影响的机理,后续工作将从脂肪氧化和蛋白质氧化角度去阐述。

参考文献

[1] 潘君慧. 冻藏方式、猪肉蛋白质氧化及猪肉品质关系的研究[D].

无锡：江南大学，2011：1.

[2] SHACKELFORD S D, WHEELER T L, MEADE M K, et al. Consumer impressions of tender selected beef[J]. Journal of Animal Science, 2001, 79: 2 605-2 614.

[3] TROUT G R. Techniques for measuring water-binding capacity in muscle foods: A review of methodology[J]. Meat Science, 1988, 23(4): 235-252.

[4] 陈琳. 高氧包装方式下蛋白质氧化对猪肉品质的影响研究[D]. 南京：南京农业大学，2016：5.

[5] 迟雅宁, 周伟伟, 戴瑞彤. 托盘和真空包装对冷却猪肉中 MetMb 还原活性的影响[J]. 食品科技, 2007(11): 194-197.

[6] JOSÉ M L, MARÍA G. Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 610-618.

[7] LEYGONIE C, BRITIZ T J, HOFFMAN L C. Protein and lipid oxidative stability of fresh ostrich M. Iliofibularis packaged under different modified atmospheric packaging conditions[J]. Food Chemistry, 2011, 127: 1 659-1 667.

[8] LAGERSTEDT Å, LUNDSTRÖM K, LINDHAL G. Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef *M. longissimus dorsi* steaks after different ageing times[J]. Meat Science, 2011, 87(2): 101-106.

[9] FU Qing-quan, LIU Rui, ZHANG Wan-gang, et al. Effects of different packaging systems on beef tenderness through protein modifications[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(3): 580-588.

[10] ZHANG Wan-gang, LONERGAN S M, GARDNER M A, et al. Contribution of postmortem changes of integrin, desmin and μ -calpain to variation in water holding capacity of pork[J]. Meat Science, 2006, 74(3): 578-585.

[11] ZHANG Wan-gang, MARWAN A H, SAMARAWEERA H, et al. Breast meat quality of broiler chickens can be affected by managing the level of nitric oxide[J]. Poultry Science, 2013, 92 (11): 3 044-3 049.

[12] 张睿. 不同宰后处理方式对牦牛肉品品质的影响[D]. 泰安：山东农业大学，2014：12.

[13] BERTRAM H C, ANDERSEN R H, ANDERSEN H J. Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage[J]. Meat Science, 2007, 75 (1): 128-133.

[14] 许洋. 不同包装方式对猪肉食用及安全品质的影响[D]. 南京：南京农业大学，2012：6.

[15] 刘佳东, 余群力, 李永鹏. 宰后冷却牦牛肉排酸过程中肉用品质的变化[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(2): 111-114.

[16] KIM Y H, KEETON J T, YANG H S, et al. Color stability and biochemical characteristics of bovine muscles when enhanced with *L*-or *D*-potassium lactate in high-oxygen modified atmospheres [J]. Meat Science, 2009, 82 (2): 234-240.

[17] MANCINI R A, HUNT M C. Current research in meat color[J]. Meat Science, 2005, 71(1): 100-121.

[18] LI Xin, LINDAHL G, ZAMARATSKAIA G, et al. Influence of vacuum skin packaging on color stability of beef longissimus lumborum compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 604-609.

[19] JAYASINGH P, CORNFORTH D P, BRENNAND C P, et al. Sensory evaluation of ground beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(9): 3 493-3 496.

[20] SHACKELFORD S D, WHEELER T L, MEADE M K, et al. Consumer impressions of tender select beef[J]. Journal of Animal Science, 2001, 79(10): 2 605-2 614.

[21] 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.

[22] LUND M N, LAMETSH R, HVIID M S, et al. High oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage[J]. Meat Science, 2007, 77(3): 295-303.

[23] BERTRAM H C, PURSLOW P P, ANDERSEN H J. Relationship between meat structure, water mobility, and distribution: a lowfield nuclear magnetic resonance study[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(4): 824-829.

[24] HUFF-LONERGAN E, LONERGAN S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes[J]. Meat Science, 2005, 71 (1): 194-204.

[25] O’KEEFFE M, HOOD D E. Anoxic storage of fresh beef 2: Colour stability and weight loss[J]. Meat Science, 1981, 5(4): 267-281.

[26] LINDAHL G, LAGERSTEDT Å, ERTBJERG P, et al. Ageing of large cuts of beef loin in vacuum or high oxygen modified atmosphere: Effect on shear force, calpain activity, desmin degradation and protein oxidation[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 160-166.