

郭荣珍, 杨锋, 刘纯友, 等. 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉品质特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 369–377. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030387

GUO Rongzhen, YANG Feng, LIU Chunyou, et al. Effect of Different Packaging Methods on the Quality Characteristics of Buffalo Meat during Refrigerated Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 369–377. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030387

· 贮运保鲜 ·

不同包装方式对冷藏过程中水牛肉品质特性的影响

郭荣珍¹, 杨 锋¹, 刘纯友^{1,2,*}, 丘 静¹, 梁伟伟¹

(1. 广西科技大学生物与化学工程学院, 广西柳州螺蛳粉工程技术研究中心, 广西柳州 545006;

2. 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070)

摘 要: 为研究不同包装方式对冷藏过程中水牛肉品质特性的影响。以水牛肉为原料, 分别采用托盘包装、涂膜托盘包装和真空包装对肉样进行包装, 并测定其在 4 ℃ 冷藏过程中色泽、pH、离心损失、蒸煮损失、挥发性盐基氮 (TVB-N) 值、羰基含量、菌落总数和大肠菌群数等品质指标的变化。结果显示, 随着冷藏时间的延长, 三种包装方式水牛肉的 L^* 值、 a^* 值呈不断下降趋势, 但蒸煮损失、 b^* 值、TVB-N、羰基含量、菌落总数和大肠菌群数呈不断上升趋势, 而 pH、离心损失呈先下降后上升的动态变化。冷藏第 6 d, 托盘包装组的 TVB-N 值达 17.56 mg/100 g, 冷藏第 10 d, 涂膜托盘包装组的 TVB-N 值达 19.17 mg/100 g, 冷藏第 15 d, 真空包装组的 TVB-N 值达 16.20 mg/100 g, 超出国标限定值 (15 mg/100 g)。3 种包装方式中, 真空包装不仅可以保持水牛肉的色泽和保水性, 降低 TVB-N、菌落总数和大肠菌群数, 还能有效抑制蛋白质的氧化。因此, 真空包装对水牛肉的品质保持效果最好, 其保鲜效果优于托盘包装和涂膜托盘包装。

关键词: 水牛肉, 真空包装, 托盘包装, 涂膜托盘包装, 品质变化, 冷藏, 货架期

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)04-0369-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030387



本文网刊:

Effect of Different Packaging Methods on the Quality Characteristics of Buffalo Meat during Refrigerated Storage

GUO Rongzhen¹, YANG Feng¹, LIU Chunyou^{1,2,*}, QIU Jing¹, LIANG Weiwei¹

(1. Schools of Biological and Chemical Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Guangxi Liuzhou

Luosifen Research Center of Engineering Technology, Liuzhou 545006, China;

2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: To investigate the effect of different packaging methods on the quality characteristics of buffalo meat during refrigerated storage, buffalo meat was used as raw material, and meat samples were packaged with pallet packaging, film-coating with pallet packaging, vacuum packaging, respectively, and then stored at 4 ℃. The quality indicators, including the color, pH, centrifugal loss, cooking loss, volatile basic nitrogen (TVB-N), carbonyl content, total number of colonies and the number of coliforms, etc. were analyzed. The results showed that with the extension of the refrigeration time, the L^* and a^* values of buffalo meat with three packaging methods continued to decrease, but the cooking loss, b^* value, volatile basic nitrogen, carbonyl content, total number of colonies and number of coliforms continued to increase, and the pH and centrifugal loss showed a dynamic change trend of first decline and then rise. The TVB-N value of the pallet packaging

收稿日期: 2022-04-01

基金项目: 国家自然科学基金地区基金项目 (31960492); 广西高等学校千名中青年骨干教师培育计划项目 (桂教教师 [2020]58 号); 广西自然科学基金项目 (2018GXNSFAA138081, 2016GXNSFBA380079); 广西高等教育本科教学改革工程项目 (2021JGB235); 广西科技大学博士基金项目 (校科博 16Z05)。

作者简介: 郭荣珍 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 畜产品加工及贮藏工程, E-mail: guorongzhen0721@163.com。

*** 通信作者:** 刘纯友 (1981-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农畜产品加工及贮藏工程, E-mail: chunyoucn@126.com。

group reached 17.56 mg/100 g at the 6th day of cold storage, the TVB-N value of the film-coating with pallet packaging group reached 19.17 mg/100 g at the 10th day of cold storage, and the TVB-N value of the vacuum packaging group reached 16.20 mg/100 g at the 15th day of cold storage, exceeding the national standard limit (15 mg/100 g). Among the three packaging methods, vacuum packaging could not only maintain the color and water holding capacity of buffalo meat, decrease TVB-N, the total number of colonies and the number of coliforms, but also effectively inhibit the protein oxidation. Therefore, vacuum packaging had the best effect on maintaining the quality of buffalo meat, and its fresh-keeping effect was better than that of pallet packaging and film-coating with pallet packaging.

Key words: buffalo meat; vacuum packaging; pallet packaging; film-coating with pallet packaging; quality change; refrigerated storage; shelf life

水牛是一种生长在热带和亚热带地区重要的畜种资源。根据染色体的数目,目前世界水牛可分为河流型($2n=50$)和沼泽型($2n=48$)两大类,其中河流型水牛主要分布印度、巴基斯坦和南非,而沼泽型水牛主要分布东南亚国家和中国南方地区^[1],其中广西壮族自治区是中国水牛的主产区之一,目前广西水牛存栏量达 225 万头,位居全国首位^[2]。水牛肉是一种色泽鲜红、高蛋白、高水分、低脂质、低胆固醇,同时富含多种维生素、矿物质的优质肉类食品^[3]。生鲜肉是我国肉类消费的主要方式之一,占肉与肉制品的 80% 左右^[4]。食用品质是影响生鲜水牛肉商品价值的重要因素,主要包括肉的色泽、嫩度、多汁性和质地,直接影响到消费者的购买决定。目前市场上关于水牛肉的加工肉制品较少,水牛肉消费主要以生鲜肉为主。因此,研究生鲜水牛肉的贮藏保鲜具有重要意义。

包装方式是影响生鲜肉品质的重要方式,目前市场上生鲜牛肉的包装方式主要有托盘包装、真空包装、涂膜包装和气调包装等包装方式。Bagdatli 等^[5]研究发现高氧气调包装增加了生鲜普通牛肉的氧化程度,但真空包装不仅可以保持普通牛排较好的色泽,还能有效延长普通牛排的货架期。Gedara-watte 等^[6]研究发现喷涂细菌素纳米晶涂层显著增加真空包装牛肉中微生物的增值,但喷涂链球菌肽涂层可显著抑制真空包装水牛肉中微生物的繁殖。Hoa 等^[7]发现与未涂膜的空白对照组相比,含月桂酸的壳聚糖涂膜包装不仅可以降低普通牛肉的 TVB-N 值,还能显著延长有氧条件下冷藏过程中普通牛肉的货架期。Manzoor 等^[8]研究发现喷淋乳酸的水牛肉亮度值优于空白对照组,且其好氧微生物的数量显著低于空白对照组。可见,不同包装方式对贮藏过程中生鲜牛肉品质影响较大。

为探究不同包装方式对贮藏过程中生鲜水牛肉品质特性的影响,本研究以中国沼泽型水牛肉为原料,采用托盘包装、涂膜托盘包装和真空包装对水牛肉进行包装,并将其置于温度 4 ℃ 冷藏,测定贮藏过程中水牛肉的色差值、离心损失、蒸煮损失、pH、挥发性盐基氮、羰基值、菌落总数和大肠菌群数等指标,探讨不同包装方式对冷藏过程中水牛肉品质特性的影响机制,以为生鲜水牛肉的贮藏保鲜提供理论

依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

水牛肉 水牛品种为富钟,选取来自广西壮族自治区富川县的年龄 3 岁、体格强健、公水牛 5 头,水牛宰杀前禁食禁水,宰杀后迅速选取左侧外脊肉,用聚乙烯塑料薄膜包裹,肉样四周放置冰袋并迅速运回实验室备用;聚乙烯托盘、真空包装袋 广西冠超市有限公司柳州分公司;2,4-二硝基苯肼、盐酸、三氯乙酸、无水乙醇、乙酸乙酯、盐酸胍、邻苯二甲酸氢钾、磷酸二氢钾、氧化镁、溴甲酚绿、硼酸、氢氧化钠、甲基红、氯化钠等均为分析纯、壳聚糖(生物试剂) 国药集团化学试剂有限公司。

UV-2600 紫外-可见分光光度计 岛津仪器苏州有限公司;BCD-569WPCX 冰箱 合肥美菱股份有限公司;Avanti J-26 XPI 高速冷冻离心机 美国贝克曼库尔特有限公司;H-88 真空包装机 烟台缘盛机械有限公司;WSC-S 型色差计 上海仪电物理光学仪器有限公司;SW-CJ-2FD 洁净工作台 苏净集团苏州安泰空气技术有限公司;JYH-103 恒温恒湿箱 上海跃进医疗器械有限公司;RE-5203 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂;PHS-25CW 酸度计 上海般特仪器制造有限公司;HH-8 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;AE2204 电子分析天平 湘仪天平仪器设备有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 水牛肉包装及贮藏 参照鲜、冻分割牛肉(GB 17238-2022)^[9],动物宰杀后迅速选取水牛左侧外脊肉,将肉样置于温度 4 ℃ 排酸 24 h,再用刀去除肉眼可见的脂肪和结缔组织后,将样品分割成 500 g 左右的肉块,随机分成 3 个组。a.托盘包装组:将肉样置于普通塑料托盘,用聚乙烯薄膜包裹;b.涂膜托盘包装组:将肉样浸于 1% 的壳聚糖溶液约 15 s,取出沥干后置于普通塑料托盘中,再用聚乙烯薄膜包裹;c.真空包装组:将肉样置于聚乙烯真空包装袋,再用真空包装机抽真空进行真空包装,至真空度-0.1 Mpa。因冷藏过程中托盘包装组、涂膜托盘包装组的品质变化较快,故每隔 2 d 测定肉样的品质指标;真空包装组的品质变化相对较慢,故每隔 5 d 测定肉样的品质指标。三种包装方式的肉样分别测定色差值、pH、

离心损失、蒸煮损失、挥发性盐基氮、羰基值、菌落总数和大肠菌群数等品质指标。当菌落总数和挥发性盐基氮分别超过 6 lg(CFU/g) 和 15.0 mg/100 g, 水牛肉的贮藏实验结束。三种包装方式每个贮藏时间点进行 3 次独立平行试验, 结果取其平均值±标准偏差表示。

1.2.2 微生物与挥发性盐基氮的测定 参照国标 GB 4789.2-2016^[10] 测定肉样中的菌落总数, 采用 GB 4789.3-2016 MPN 计数法^[11] 测定肉样中的大肠菌群数, 参照国标 GB 5009.228-2016^[12] 测定肉样中的挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 含量。参照王芳等^[13] 方法: 一级鲜肉的菌落总数 <4 lg(CFU/g), 二级鲜肉菌落总数为 4~6 lg(CFU/g), 变质肉的菌落总数 >6 lg(CFU/g)。国标规定: 鲜(冻) 畜禽、禽产品中挥发性盐基氮含量 ≤ 15.0 mg/100 g^[14]。

1.2.3 色泽的测定 参照 Tavares 等^[15] 的方法并稍作修改, 将样品切成 2 cm×2 cm×2 cm 的肉片, 用 WSC-S 型色差计进行色泽测定, 读取色差计显示的 L^* 、 a^* 、 b^* 值。普通托盘包装和涂膜托盘包装组打开后立即测定, 真空包装组打开包装后将肉样在空气中暴露 20 min, 待肉的颜色稳定后再进行测定。

1.2.4 pH 的测定 参考 Cai 等^[16] 方法并稍作修改。pH 测定前, 先用 pH4.00 和 pH7.00 标准溶液对酸度计进行校正。称取 5.0 g 样品, 加入 45 mL 去离子水搅拌后, 均质 1 min, 静置 30 min, 过滤, 测定所得滤液的 pH。

1.2.5 离心损失的测定 参考 Zhu 等^[17] 方法, 称取 10 g 样品(m_0), 于 2500 r/min 转速下离心 15 min, 离心结束取出样品, 用吸水纸吸干其表面渗出的水分后称重(m_1), 按公式(1)计算离心损失:

$$\text{离心损失}(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

1.2.6 蒸煮损失的测定 参照 Xia 等^[18] 方法并稍作修改, 将样品切成 2 cm×2 cm×2 cm 大小, 擦干样品表面水分后称重(m_2), 装入耐高温的自封袋中, 扎紧袋口, 于 80 ℃ 水浴加热 20 min 后, 取出样品冷却至室温, 擦去表面水分后称重(m_3)。蒸煮损失按公式(2)计算:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

1.2.7 羰基含量的测定 参照 Zhang 等^[19] 的方法稍作修改。取 0.1 mL 的蛋白液与 0.5 mL 含有 0.02 mol/L 2,4-二硝基苯肼(溶于 2 mol/L HCl 溶液)于 1.5 mL 离心管中, 在 25 ℃ 下反应 40 min, 空白样品中加入 0.5 mL 不含 2,4-二硝基苯肼的 2 mol/L HCl 溶液。然后在上述反应液中分别加入 0.5 mL 质量分数为 20% 的三氯乙酸, 振荡后于 4000 r/min 转速下离心 15 min, 离心结束弃上清液, 沉淀用 1 mL 的乙醇-乙酸乙酯溶液洗涤 3 次, 洗涤结束待溶剂挥发后, 将蛋白

质重新溶于 1 mL 6mol/L 盐酸胍溶液中, 在 37 ℃ 条件水浴 30 min。以空白为对照, 370 nm 下测定吸光度, 蛋白质羰基衍生物的含量使用摩尔吸光系数 22000 M⁻¹cm⁻¹ 计算。计算公式如下:

$$\text{羰基含量}(\text{nmol/mg}) = \frac{A \times n \times 10^6}{\xi \times \rho} \quad \text{式 (3)}$$

式中: A 表示 370 nm 处的吸光度; n 表示稀释倍数; ξ 表示摩尔吸光系数 22000/(L/(mol·cm)); ρ 表示蛋白质质量浓度(mg/mL)。

1.3 数据处理

每个试验独立重复 3 次, 试验结果采用 SPSS19.0 统计软件进行单因素方差(one-way analysis of variance)分析、邓肯氏(Duncan's multiple-range test)和皮尔逊(Pearson)分析, 试验结果以平均值±标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉菌落总数的影响

菌落总数是评价贮藏过程中肉品腐败变质的重要微生物指标之一^[20]。由图 1 可知, 3 种包装方式水牛肉的菌落总数均随贮藏时间的延长而呈上升趋势, 且托盘包装组的菌落总数上升速率最快, 其次是涂膜托盘包装组, 真空包装组最慢。冷藏 0 d, 水牛肉的初始菌落总数为 4.23 lg(CFU/g), 冷藏第 4 d, 托盘包装的细菌总数为 5.47 lg(CFU/g), 属于二级鲜度范围; 当贮藏第 6 d 时, 细菌总数达 6.48 lg(CFU/g), 失去食用价值, 故托盘包装组的保质期约为 5 d。当冷藏第 8 d 时, 涂膜托盘包装组的菌落总数为 5.87 lg(CFU/g), 属于二级鲜肉, 但冷藏到 10 d 时, 菌落总数达 6.76 lg(CFU/g), 判定为变质肉, 故涂膜托盘包装组的保质期为 8 d。但是, 当冷藏第 10 d 时, 真空包装组的细菌总数为 5.33 lg(CFU/g), 仍属于二级鲜肉范围, 但贮藏 15 d 时, 菌落总数达 6.34 lg(CFU/g), 属于变质肉范围(菌落总数 >6 lg(CFU/g)), 故真空包装组的保质期约为 14 d。冷藏过程中涂膜托盘包装组的菌落

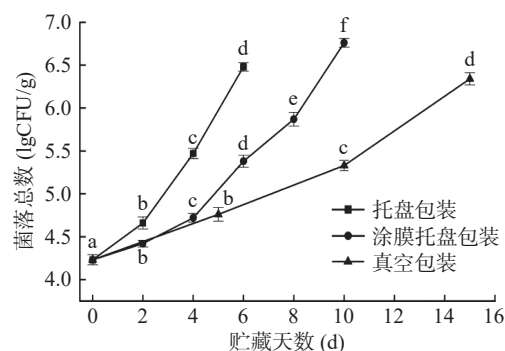


图 1 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉细菌总数的影响

Fig.1 Effects of different packaging methods on the total bacterial count of buffalo meat during refrigerated storage

注: 同一折线不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 同一折线相同小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$); 图 2~图 7 同。

总数低于托盘包装,这可能是由于壳聚糖中带正电的氨基与带负电的微生物细胞膜发生相互作用,改变了微生物细胞膜的通透性,最终导致细菌细胞死亡^[21]。冷藏过程中真空包装组的菌落总数低于涂膜托盘包装组,可能是由于真空环境抑制了水牛肉表面的假单胞菌、肠杆菌和索丝菌等优势腐败菌的生长及其代谢活动所致^[22]。

2.2 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉大肠菌群数的影响

大肠菌群是评价肉品质的另一个重要卫生指标之一。由图2可知,随着贮藏时间的增加,三种包装方式水牛肉大肠菌群数总体呈显著上升趋势($P<0.05$),且托盘包装组的大肠菌群增长最快,其次涂膜托盘包装,真空包装最慢。当冷藏第2 d时,托盘包装组大肠菌群数由初始的2.48 lg(MNP/100 g)增加至3.81 lg(MNP/100 g);冷藏第6 d,水牛肉中的大肠菌群数达5.04 lg(MNP/100 g),而涂膜托盘包装组和真空包装组分别于第10 d和第15 d才达到该数值。冷藏过程中涂膜托盘包装组的大肠菌群数低于托盘包装组,这是由于壳聚糖涂膜对大肠菌群具有较强的杀灭作用,壳聚糖可以增加大肠菌群外膜和内膜的通透性,使其细胞质膜发生破裂,破坏大肠菌群的细胞结构,细胞内组分渗漏,最终导致大肠菌群死亡^[23-24]。冷藏过程中真空包装组的大肠菌群数低于涂膜托盘包装组,这证明真空包装组在一定程度上通过隔绝空气中的氧气可以明显抑制大肠菌群的增殖。综上,真空包装和涂膜托盘包装都能有效抑制冷藏过程中水牛肉中大肠菌群数的生长繁殖。

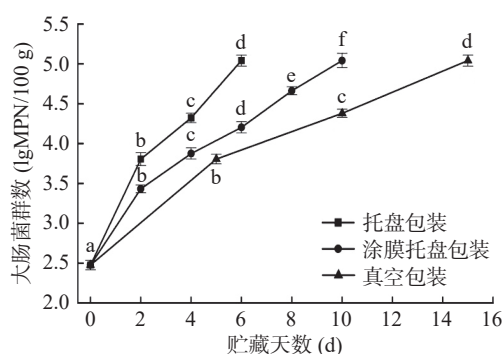


图2 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉大肠菌群数的影响
Fig.2 Effects of different packaging methods on the coliform count of buffalo meat during refrigerated storage

2.3 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉挥发性盐基氮的影响

挥发性盐基氮(TVB-N值)是衡量肉品新鲜度的一个关键指标之一,用于评价肉品贮藏过程中新鲜度的变化^[25]。由图3可知,随着贮藏时间的延长,三种包装方式水牛肉TVB-N值总体呈上升趋势,且托盘包装组最快,其次是涂膜托盘包装组,真空包装组最慢。冷藏0~2 d,托盘包装组和涂膜托盘包装组由最初的6.53 mg/100 g分别增加到9.08和7.64 mg/100 g,

增加幅度分别达39.05%和17.00%,随后两者中的TVB-N值呈快速上升趋势。冷藏第6 d,托盘包装组的TVB-N值达17.56 mg/100 g,超出国标(GB 2707-2016)限定值(15.00 mg/100 g),故托盘包装组的货架期约为5 d。冷藏第8 d,涂膜托盘包装的TVB-N值为14.86 mg/100 g,故涂膜托盘包装组的货架期为8 d;冷藏第10 d,涂膜托盘包装组的TVB-N值达19.17 mg/100 g,超过国标限定值,但真空包装组的TVB-N值为13.75 mg/100 g。当冷藏第15 d时,真空包装组的TVB-N值达16.20 mg/100 g,超过国标限定值,故真空包装组的货架期约为14 d。冷藏过程中涂膜托盘包装的TVB-N值低于托盘包装,这是由于壳聚糖具有较强的抗菌作用^[26],图1和图2进一步证实了壳聚糖的抗菌特性,降低了水牛肉蛋白质在细菌作用下降解成氨或胺的降解速度。冷藏过程中真空包装组的TVB-N值低于涂膜托盘包装,这可能是由于真空环境抑制水牛肉中大部分细菌的生长,大大降低了蛋白质的降解及氧化速度。Duran等^[27]研究了真空包装、壳聚糖涂膜结合真空包装对普通牛肉货架期的影响,研究发现普通牛肉的TVB-N值由0 d的5.41 mg/100 g,贮藏45 d后达到14.93 mg/100 g,接近国标限定值(15.0 mg/100 g)。与涂膜托盘包装相比,壳聚糖涂膜结合真空包装不仅可以抑制肉品表面微生物的生长,降低肉品中氧的含量,抑制肉品中蛋白质的氧化程度,有效延长肉品的货架期。冷藏过程中,水牛肉中的TVB-N值不断增加,可能是由于水牛肉中的蛋白质降解成小分子的肽和氨基酸,进一步分解生成三甲胺、氨基酸、硫化物等代谢物^[28];而且,肉品腐败过程中,TVB-N可与分解的有机酸结合,形成基态氮盐,增加肉中TVB-N含量^[29]。综上,不同包装方式对肉品货架期的影响较大。

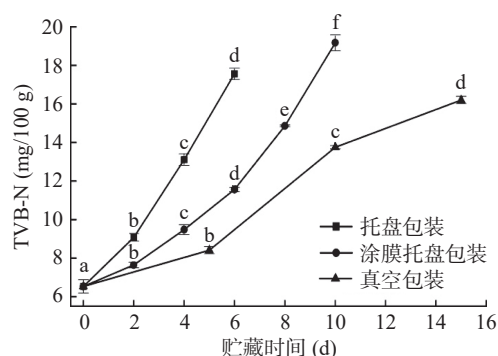


图3 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉TVB-N的影响
Fig.3 Effects of different packaging methods on TVB-N of buffalo meat during refrigerated storage

2.4 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉色泽的影响

肉色是评价肉品新鲜度的直观指标,也是决定消费者购买意愿的重要因素之一。由图4可知,随着贮藏时间的增加,三种包装方式中托盘包装组的 L^* 和 a^* 值下降最快,其次是涂膜托盘包装组,真空包装组最慢;托盘包装组的 b^* 值上升最快,其次是涂膜

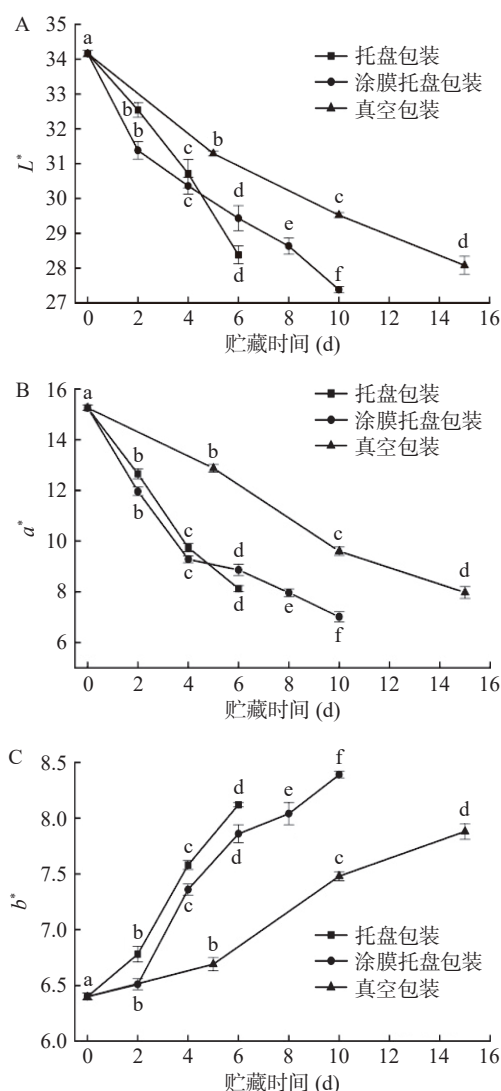


图 4 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉色泽的影响

Fig.4 Effects of different packaging methods on the color of buffalo meat during refrigerated storage

托盘包装组,而真空包装组最慢。当贮藏 0~6 d 时,托盘包装组的 L^* 值由初始的 34.2 下降至 28.38,下降幅度达到 16.92%。当贮藏第 10 d 时,涂膜托盘包装组和真空包装组的 L^* 值分别下降达 19.8 % 和 13.6 %。贮藏 0~6 d,托盘包装组的 a^* 值由最初 15.25 下降至 8.12,下降幅度达到 46.75%。当贮藏第 10 d,涂膜托盘包装组和真空包装组的 a^* 值分别下降幅度达 54.0% 和 37.0%。冷藏过程中涂膜托盘包装组的 L^* 和 a^* 值下降速度低于托盘包装组,但托盘包装组的 b^* 值上升速度高于涂膜托盘包装组,可能是壳聚糖涂膜具有较强的抗氧化作用,能有效抑制肌红蛋白(Mb)氧化成高铁肌红蛋白(MetMb)^[30]。真空包装组的 L^* 和 a^* 值下降速度低于涂膜托盘包装组,但真空包装组的 b^* 值上升速度低于涂膜托盘包装组,可能是真空条件下水牛肉中脱氧肌红蛋白(DeoxyMb)含量较高,使肌肉色呈较稳定的紫红色^[31]。综上,真空包装和涂膜托盘包装通过隔绝空气中的氧气,有效降低空气中的氧气对肌肉中肌红蛋白氧化反应速率,从而有效提高水牛肉色泽的稳定性。

2.5 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉 pH 的影响

由图 5 可知,随贮藏时间的延长,三种包装水牛肉冷藏过程中的 pH 呈先下降后上升的动态变化趋势。冷藏第 2 d,托盘包装组、涂膜托盘包装组的 pH 均达到最低值,分别为 5.75 和 5.43,随后两者的 pH 呈逐渐上升趋势。冷藏第 5 d,真空包装组的 pH 达到最低,达 5.60,接着水牛肉 pH 开始不断上升。冷藏期间涂膜托盘包装组的 pH 下降最快,其次是真空包装,托盘包装最慢,可能是由于壳聚糖在水牛肉表面形成薄膜^[30],使乳酸菌成为优势菌,乳酸菌发酵产生乳酸,故涂膜包装组的 pH 下降较快。冷藏期间托盘包装组的 pH 上升最快,其次是涂膜托盘包装,真空包装组最慢。冷藏期间托盘包装组的 pH 上升速度高于涂膜托盘包装,这是由于托盘包装组在有氧环境条件下,水牛肉在大部分微生物和内源酶的作用下,蛋白质被分解产生大量的胺和氨等碱性物质^[32],故托盘包装组的 pH 快速上升。冷藏期间真空包装组的 pH 上升速度低于涂膜托盘包装组,可能是由于真空环境抑制了大部分细菌的生长(图 1),进而使蛋白质的降解成碱性物质的速率减缓,故真空包装组的 pH 升高最慢。

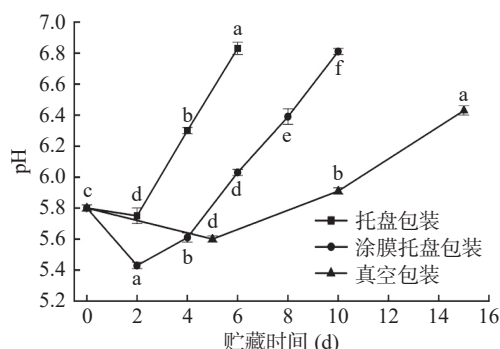


图 5 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉 pH 的影响

Fig.5 Effect of different packaging methods on the pH of buffalo meat during refrigerated storage

2.6 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉保水性的影响

保水性是评价肉品食用品质的重要指标,而离心损失是评价肉品保水性的重要指标之一。如图 6A 所示,随着贮藏时间的延长,三种包装水牛肉的离心损失总体呈现先下降后上升的动态变化趋势。当贮藏第 2 d 时,托盘包装组和涂膜托盘包装组的离心损失达到最低值,分别为 87.2% 和 88.9%;当贮藏第 5 d 时,真空包装组的离心损失达到最低值,其值为 91.5%。当贮藏第 2 d 之后,托盘包装组和涂膜托盘包装组的离心损失逐渐增加;当贮藏第 5 d 之后,真空包装组的离心损失不断上升。三种包装方式中托盘包装组的离心损失下降和上升速度最快,其次是托盘包装组,真空包装组最慢,这可能是由于壳聚糖涂膜降低了冷藏过程中水牛肉蛋白质的氧化程度,故涂膜托盘包装的离心损失低于托盘包装^[33];而真空包装的良好空气阻隔性抑制了冷藏过程中水牛肉的蛋白

质氧化,故真空包装组的离心损失最低^[5]。随着贮藏时间的延长,水牛肉的离心损失总体呈先下降后上升的变化趋势,这可能与水牛肉蛋白质的净电荷效应、遗传因素和空间效应有关^[34]。

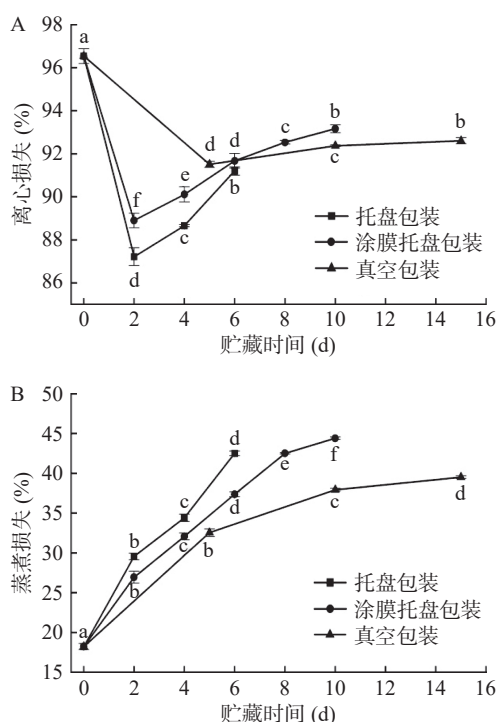


图6 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉离心损失(A)和蒸煮损失(B)的影响

Fig.6 Effects of different packaging methods on centrifugation loss (A) and cooking loss (B) of buffalo meat during refrigerated storage

蒸煮损失是评价肉品保水性的另一个重要指标。由图6B可知,三种包装方式水牛肉的蒸煮损失随着贮藏时间的延长而呈现不断增加的趋势,且冷藏期间托盘包装组的蒸煮损失最大,其次是涂膜托盘包装组,而真空包装组最小。这可能是由于壳聚糖在水牛肉表面形成一层薄膜,在一定程度上抑制了水牛肉中水分的蒸发,故涂膜托盘包装组的蒸煮损失低于托盘包装;而真空包装袋具有优良的隔水隔氧特性,大大降低了水牛肉中水分的蒸发,故真空包装组的蒸煮损失低于涂膜托盘包装。童光森等^[35]探讨了包装方式对冷藏过程中牦牛肉蒸煮损失的影响,研究发现托盘包装组的蒸煮损失最大,其次真空包装组,而气调包装组最小。冷藏期间水牛肉与普通牛肉的蒸煮损失存在较大差异,这可能与牛肉品种、包装方式和冷藏条件密切相关。不同包装方式水牛肉冷藏过程中蒸煮损失不断增加可能是由于热处理导致水牛肉中蛋白质发生收缩聚集,肌原纤维之间的水分容易流出,进而导致水牛肉蒸煮损失的增加^[36]。综上,包装方式对冷藏过程中水牛肉蒸煮损失影响较大。

2.7 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉羰基含量的影响

羰基是评价蛋白质氧化程度的重要指标之一。

由图7可知,随着贮藏时间的延长,三种包装方式中水牛肉羰基含量总体呈显著上升趋势,且托盘包装组的羰基含量增加最快,其次是涂膜托盘包装组,而真空包装组最慢。冷藏0~2 d,托盘包装组和涂膜托盘包装组的羰基含量增加缓慢,随后两者的羰基含量随贮藏时间的延长快速增加。当贮藏第6 d时,托盘包装组和涂膜托盘包装组的羰基含量分别为1.38和1.08 nmol/mg。与托盘包装组相比,冷藏过程中涂膜托盘包装组的羰基含量增加速度较慢。当贮藏第10 d时,真空包装组和涂膜托盘包装组的羰基含量分别为1.19和1.56 nmol/mg,真空包装组的羰基值较涂膜托盘包装组低,且冷藏过程中真空包装组的羰基值增加较为缓慢。由于壳聚糖涂膜对空气中的氧气有一定的阻隔作用,降低了水牛肉中蛋白质的氧化速率,故冷藏过程中涂膜托盘包装组的羰基值低于托盘包装组。真空包装组因隔绝了空气中的氧气和水牛肉的接触机会,大大降低了水牛肉中蛋白质的氧化速度,减少了水牛肉中的羰基含量,故冷藏过程中真空包装组的羰基值低于涂膜托盘包装组。冷藏过程中,水牛肉羰基含量不断增加可能是由于自由基与侧链氨基酸的基团反应,生成羰基化合物以及蛋白质的侧链或肽键被羟基、 α -氨基己二酸半醛和 γ -缬氨酸攻击所致^[37]。综上,氧气对冷藏过程中水牛肉中的羰基含量有显著影响。

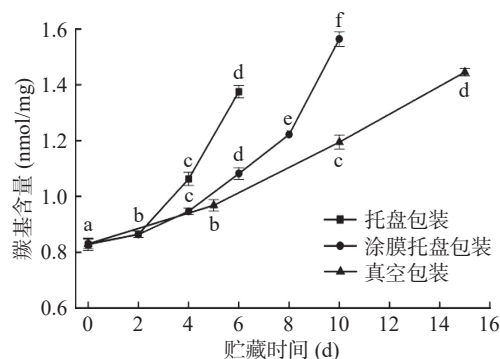


图7 不同包装方式对冷藏过程中水牛肉羰基含量的影响

Fig.7 Effects of different packaging methods on the carbonyl content of buffalo meat during refrigeration

2.8 冷藏期间不同包装方式的水牛肉品质指标的相关性分析

由表1可知,冷藏期间托盘包装水牛肉的 L^* 与 a^* 值呈极显著正相关,与 b^* 、蒸煮损失、羰基含量和TVB-N呈极显著负相关($P<0.01$),但与离心损失没有相关性($P>0.05$)。 a^* 值与 b^* 值、蒸煮损失呈极显著负相关($P<0.01$),与羰基含量、TVB-N值呈显著负相关($P<0.05$),但与pH、离心损失相关性不显著。 b^* 值与TVB-N值呈极显著正相关($P<0.01$),与pH、羰基含量呈显著正相关($P<0.05$),pH与羰基含量呈极显著正相关($P<0.01$),与TVB-N值呈显著正相关($P<0.05$)。蒸煮损失与羰基含量显著正相关($P<0.05$),羰基含量与TVB-N值呈显著正相关

表 1 冷藏期间托盘包装的水牛肉品质指标相关性分析

Table 1 Correlation analysis of quality indicators of buffalo meat in pallet packaging during refrigerated storage

指标	L^*	a^*	b^*	pH	离心损失	蒸煮损失	羰基含量	TVB-N
L^*	1							
a^*	0.979**	1						
b^*	-0.977**	-0.991**	1					
pH	-0.952*	-0.905	0.960*	1				
离心损失	0.198	0.342	-0.243	-0.101	1			
蒸煮损失	-0.967**	-0.969**	0.935*	0.786	-0.394	1		
羰基含量	-0.979**	-0.921*	0.931*	0.991**	-0.014	0.920*	1	
TVB-N	-0.999**	-0.979*	0.995**	0.966*	-0.351	0.917	0.978*	1

注: **表示极显著相关($P<0.01$); *表示显著相关($P<0.05$); 表2~表3同。

($P<0.05$), 但离心损失与其他指标相关性不显著($P>0.05$)。

由表 2 可知, 冷藏期间涂膜托盘包装水牛肉的 L^* 与 a^* 呈极显著正相关、与 b^* 和 TVB-N 值呈极显著负相关($P<0.01$), 与蒸煮损失、羰基含量呈显著负相关($P<0.05$), 但与离心损失没有相关性($P>0.05$)。 a^* 与 b^* 、蒸煮损失呈极显著负相关($P<0.01$), 与 TVB-N 值呈显著负相关($P<0.05$), 与 pH、羰基含量相关性不显著。 b^* 值与蒸煮损失、TVB-N 值呈极显著正相关($P<0.01$), 与 pH、羰基含量呈显著正相关($P<0.05$); pH 与羰基含量、TVB-N 值呈极显著正相关($P<0.01$), 与离心损失、蒸煮损失相关性不显著。 蒸煮损失与 TVB-N 值呈极显著正相关($P<0.01$), 与羰基含量呈显著正相关($P<0.05$); 羰基含量与 TVB-N 值呈极显著正相关($P<0.01$)。

由表 3 可知, 冷藏期间真空包装水牛肉的 L^* 与

a^* 呈极显著正相关, 与 b^* 、蒸煮损失呈极显著负相关($P<0.01$), 与羰基值、TVB-N 值呈显著负相关($P<0.05$), 但与离心损失没有相关性($P>0.05$)。 a^* 与 b^* 、TVB-N 值呈极显著负相关($P<0.01$), 与蒸煮损失、羰基含量呈显著负相关($P<0.05$)。 b^* 值与羰基含量、TVB-N 值呈极显著正相关($P<0.01$), 与蒸煮损失、pH 呈显著正相关($P<0.05$), pH 与羰基含量呈显著正相关($P<0.05$), 羰基含量与 TVB-N 值呈显著正相关($P<0.05$), 蒸煮损失与羰基含量、TVB-N 值相关性不显著($P>0.05$)。 综上, 冷藏期间三种包装方式水牛肉品质指标之间具有良好的相关性。

3 结论

在 4 ℃ 冷藏条件下, 三种包装方式的水牛肉的色泽、保水性、pH、羰基含量、TVB-N、菌落总数和大肠菌群数等品质指标均发生相应的变化, 而且冷藏

表 2 冷藏期间涂膜托盘包装的水牛肉品质指标相关性分析

Table 2 Correlation analysis of quality indicators of buffalo meat in film-coating combined with pallet packaging during refrigerated storage

指标	L^*	a^*	b^*	pH	离心损失	蒸煮损失	羰基含量	TVB-N
L^*	1							
a^*	0.984**	1						
b^*	-0.939**	-0.939**	1					
pH	-0.729	-0.656	0.843*	1				
离心损失	0.321	0.367	-0.035	0.398	1			
蒸煮损失	-0.988**	-0.975**	0.966**	0.775	-0.228	1		
羰基含量	-0.874*	-0.806	0.896*	0.945**	0.112	0.875*	1	
TVB-N	-0.911*	-0.855*	0.929**	0.937**	0.062	0.921**	0.992**	1

表 3 冷藏期间真空包装的水牛肉品质指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis of quality indicators of buffalo meat in vacuum packaging during refrigerated storage

指标	L^*	a^*	b^*	pH	离心损失	蒸煮损失	羰基含量	TVB-N
L^*	1							
a^*	0.989**	1						
b^*	-0.965**	-0.992**	1					
pH	-0.797	-0.857	0.910*	1				
离心损失	0.625	0.511	-0.401	-0.050	1			
蒸煮损失	-0.976**	-0.942*	0.895*	0.653	-0.766	1		
羰基含量	-0.926*	-0.955*	0.976**	0.946*	-0.334	0.843	1	
TVB-N	-0.957*	-0.991**	1.000**	0.829	-0.526	0.880	0.985*	1

期间三种包装方式的水牛肉品质指标之间具有良好的相关性。真空包装的水牛肉色泽和保水性均较好,且羰基值、菌落总数和大肠菌群数增长缓慢。托盘包装的水牛肉货架期约为5 d,涂膜托盘包装和真空包装水牛肉的货架期分别可达8和14 d。因此,真空包装对水牛肉品质保持效果最好,其次是涂膜托盘包装,而托盘包装效果最差,故真空包装可作为生鲜水牛肉的理想包装方式。本研究为生鲜水牛肉的贮藏保鲜提供一定的理论参考。

参考文献

- [1] DI S L, BRUGIAPAGLIA A. Current knowledge on river Buffalo meat: A critical analysis[J]. *Animals*, 2021, 11(7): 2111.
- [2] 中国农科院广西壮族自治区水牛研究所. 自治区副主席方春明调研广西水牛奶业[EB/OL]. (2021-01-07). <https://ibr.caas.cn/xxzx/bsdt/262844.html>. [Guangxi Buffalo Research Institute, CAAS. Fang Chunming, vice president of the autonomous region, investigates the buffalo dairy industry in Guangxi[EB/OL]. (2021-01-07) <https://ibr.caas.cn/xxzx/bsdt/262844.html>.]
- [3] HUSSAIN T, BABAR M E, ALI A, et al. Microsatellite based genetic variation among the Buffalo breed populations in Pakistan[J]. *Journal of Veterinary Research*, 2017, 61(4): 535-542.
- [4] 赵莹鑫, 张德权, 葛岳, 等. 包装方式和宰后不同时间包装对羊肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 199-208. [ZHAO Y X, ZHANG D Q, GE Y, et al. Effect of packaging methods and packaging at different postmortem time on the quality of lamb meat[J]. *Food Science*, 2022, 43(15): 199-208.]
- [5] BAGDATLI A, KAYAARDI S. Influence of storage period and packaging methods on quality attributes of fresh beef steaks[J]. *CYTA-Journal of Food*, 2015, 13(1): 124-133.
- [6] GEDARAWATTE S T, RAVENSDALE J T, JOHNS M L, et al. Evaluation of the water-holding and anti-spoilage effect of a bacterial cellulose nanocrystal coating for the storage of vacuum-packaged beef[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022, 31: 100818.
- [7] HOA V B, SONG D H, SEOL K H, et al. Coating with chitosan containing lauric acid (C12: 0) significantly extends the shelf-life of aerobically-packaged beef steaks[J]. *Meat Science*, 2022, 184: 108696.
- [8] MANZOOR A, JASPAL M H, YAQUB T, et al. Effect of lactic acid spray on microbial and quality parameters of Buffalo meat[J]. *Meat Science*, 2020, 159: 107923.
- [9] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 17238-2022 鲜、冻分割牛肉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022. [State Administration for Market Regulation, National Standardization Administration. GB 17238-2022 Fresh and frozen beef cuts[S]. Beijing: China Standards Press, 2022.]
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划委员会, 国家食品药品监督管理总局. 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[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [The National Health and Planning Commission of the People's Republic of China, the State Food and Drug Administration. GB 4789.2-2016 National food safety standards, food microbiological inspection, aerobic plate count[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 4789.3-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群数[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [The National Health and Planning Commission of the People's Republic of China, the State Food and Drug Administration. GB 4789.3-2016 National food safety standards, food microbiological inspection, coliform count[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划委员会. GB 5009.228-2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [The National Health and Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.228-2016 National food safety standards, determination of total volatile basic nitrogen in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [13] 王芳, 刘璐, 于栋, 等. 静电纺丝纳米纤维抑制吸水衬垫对气调包装中冷却肉贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(10): 357-364. [WANG F, LIU Q, YU D, et al. Effect of antibacterial nanofiber water-absorbent mats prepared by electrospinning on the preservation of modified atmosphere packaged chilled[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(10): 357-364.]
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 2707-2016 食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [The National Health and Planning Commission of the People's Republic of China, the State Food and Drug Administration. GB 4789.3-2016 Fresh (frozen) live-stock, poultry products[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [15] TAVARES W P S, DONG S, JIN W, et al. Effect of different cooking conditions on the profiles of Maillard reaction products and nutrient composition of hairtail (*Thichiurus lepturus*) fillets[J]. *Food Research International*, 2018, 103: 390-397.
- [16] CAI L Y, WAN J L, LI X X, et al. Effects of different thawing methods on conformation and oxidation of myofibrillar protein from largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(3): 2470-2480.
- [17] ZHU M M, PENG Z Y, LU S, et al. Physicochemical properties and protein denaturation of pork longissimus dorsi muscle subjected to six microwave-based thawing methods[J]. *Foods*, 2020, 9: 26.
- [18] XIA X F, KONG B H, LIU Q, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. *Meat Science*, 2009, 83(2): 239-245.
- [19] ZHANG B, FANG C D, HAO G J, et al. Effect of kappa-carrageenan oligosaccharides on myofibrillar protein oxidation in peeled shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during long-term frozen storage[J]. *Food Chemistry*, 2018, 245: 254-261.
- [20] 刘纯友, 付春婷, 许金蓉, 等. 低温贮藏过程中水牛肉品质变化研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(2): 273-278, 287. [LIU C Y, FU C T, XU J R, et al. Quality changes of buffalo meat during low temperature storage[J]. *Science and Technology of Food Science*, 2020, 41(2): 273-278, 287.]
- [21] KUMAR S, MUKHERJEE A, DUTTA J. Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives[J]. *Trends in Food Science and Technology*,

- 2020, 97: 196–209.
- [22] 张一敏, 朱立贤, 张万刚, 等. 生鲜牛肉中的腐败微生物概述[J]. *食品科学*, 2018, 39(13): 289–296. [ZHANG Y M, ZHU L X, ZHANG W G, et al. An overview of spoilage microorganism in fresh beef[J]. *Food Science*, 2018, 39(13): 289–296.]
- [23] LI X F, FENG X Q, YANG S, et al. Chitosan kills *Escherichia coli* through damage to be of cell membrane mechanism[J]. *Carbohydrate Polymer*, 2010, 79: 493–499.
- [24] OLADZADABBASABADI N, NAFCHI A M, ARIFFIN F, et al. Recent advances in extraction, modification, and application of chitosan in packaging industry[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 277: 118876.
- [25] WANG F F, LIANG R R, ZHANG Y M, et al. Effects of packaging methods combined with frozen temperature on the color beef rolls[J]. *Meat Science*, 2021, 171: 108292.
- [26] 党晓燕, 王凯丽, 王伟, 等. 天然保鲜剂对猪肉微冻贮藏中生物胺含量的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(7): 253–259. [DANG X Y, WANG K L, WANG W, et al. Effect of natural preservatives on inhibition of biogenic amine formation during superchilled storage of pork[J]. *Food Science*, 2017, 38(7): 253–259.]
- [27] 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: 107961.
- [28] BEKHIT A E, HOLMAN B W B, GITERU S G, et al. Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 109: 280–302.
- [29] TSAI Y H, CHANG S C, KUNG H F, et al. Histamine production by enterobacter aerogenes in sailfish and milkfish at various storage temperatures[J]. *Journal of Food Protection*, 2005, 68: 1690–1695.
- [30] 赵娅英, 史巧, 王馨蕊, 等. 可食性膜在肉及肉制品保质中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(19): 411–417. [ZHAO Y Y, SHI Q, WANG X R, et al. Research progress of edible film in meat and meat products[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 411–417.]
- [31] LI X, LINDAHL G, ZAMARATSKAIA G, et al. Influence of vacuum skin packaing on color stability of beef longissimus lumborum compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging[J]. *Meat Science*, 2012, 92: 604–609.
- [32] 孔保华, 陈倩. 肉品科学与技术(第三版)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2018: 111–112. [KONG B H, CHEN Q. Meat science and technology (Third edition)[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2018: 111–112.]
- [33] 唐森, 何剑, 张义浩, 等. 壳聚糖-咖啡酸衍生物涂膜对多宝鱼保鲜效果的研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(7): 99–103. [TANG S, HE J, ZHANG Y H, et al. Study on preservation effect of chitosan-caffeic acid derivative coating on turbot[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(7): 99–103.]
- [34] 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.
- [35] 童光森, 欧阳灿. 包装方式对超市牦牛肉冷藏品质及烹饪效果的影响[J]. *食品工业*, 2020, 21(3): 106–109. [TONG G S, OU Y C. Effect of packaging methods on the quality and cooking effect of supermarket yak meat[J]. *Food Industry*, 2020, 21(3): 106–109.]
- [36] LI X X, SUN P, MA Y Y, et al. Effect of ultrasonic thawing on the water-holding capacity, physicochemical properties and structure of frozen tuna (*Thunnus tonggol*) myofibrillar proteins[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99: 5083–5091.
- [37] ZHANG H L, AI M Y, SHI F F, et al. Deterioration mechanism of minced mutton induced by Fenton oxidation treatment[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 134: 109980.