

大气等离子体处理条件下藏羊肉贮藏品质研究

文晶桃 范国忠 赵瑞娜 王敬宇 何龙 师希雄

(甘肃农业大学食品科学与工程学院, 兰州 730070)

摘要: 为明确等离子体处理对藏羊肉贮藏品质的影响,选取欧拉藏羊后腿肉作为材料,对其进行不同时间(0、2、3、4 min)等离子体处理后,将肉样置于4℃冰箱贮藏不同时间(0、1、3、5、7 d),在不同贮藏时间点分别取样,测定藏羊肉中菌落总数、pH值、色度、质构、蒸煮损失、TBARS值、羰基含量的变化。结果表明:在贮藏7 d时,等离子体处理时间为2、3、4 min的藏羊肉组菌落总数分别比对照组低18.56%、23.08%、27.09%,pH值分别比对照组低1.53%、2.21%、1.02%, a^* 值分别比对照组低4.44%、11.71%、21.62%,硬度分别比对照组低5.79%、26.18%、26.43%,蒸煮损失率分别比对照组低1.66、5.26、2.71个百分点($P < 0.05$)。此外,等离子体处理时间为2、3 min藏羊肉组的TBARS值分别比对照组低1.89%、13.21%,羰基含量分别比对照组低11.33%、13.33%,而处理时间为4 min的藏羊肉组TBARS值比对照组高13.21%,羰基含量比对照组高13.33% ($P < 0.05$)。由此可见,等离子体处理可有效降低藏羊肉菌落总数,提高嫩度与持水性,然而,较长时间的处理对肉色产生了负面影响。综合来看,等离子体处理时间为3 min时,藏羊肉的菌落总数显著降低,嫩度与持水性提高,延缓了脂质和蛋白质氧化。本研究可为大气等离子体技术在羊肉贮藏过程中品质的改善提供理论依据。

关键词: 藏羊肉; 大气等离子体处理; 品质

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)11-0453-08

OSID:



Storage Quality of Tibetan Sheep Meat under Atmospheric Plasma Treatment

WEN Jingtao FAN Guozhong ZHAO Ruina WANG Jingyu HE Long SHI Xixiong

(College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: With the aim to clarify the effect of plasma treatment on the storage quality of Tibetan sheep meat, the hind legs meat of Tibetan sheep was selected as the material. After plasma treatment for different times (0 min, 2 min, 3 min, 4 min), the meat samples were stored in a refrigerator at 4℃ for 0 d, 1 d, 3 d, 5 d, 7 d. The total number of colonies, pH value, color, texture, cooking loss, TBARS value and carbonyl content were measured at different storage time points. The results showed that on the 7 d of storage, the total number of colonies in the Tibetan sheep group with plasma treatment time of 2 min, 3 min and 4 min was 18.56%, 23.08% and 27.09% lower than that of the control group. The pH values were 1.53%, 2.21% and 1.02% lower than those of the control group. The a^* values were 4.44%, 11.71% and 21.62% lower than those of the control group. The hardness values were 5.79%, 26.18% and 26.43% lower than those of the control group. The cooking loss was 1.66 percentage points, 5.26 percentage points and 2.71 percentage points lower than that of the control group, respectively ($P < 0.05$). In addition, the TBARS content of Tibetan sheep group with plasma treatment time of 2 min and 3 min was 1.89% and 13.21% lower than that of the control group, respectively, and the carbonyl content was 11.33% and 13.33% lower than that of the control group, respectively. The TBARS content of Tibetan sheep group with plasma treatment time of 4 min was 13.21% higher than that of the control group, and the carbonyl content was 13.33% higher than that of the control group ($P < 0.05$). It can be seen that plasma treatment can effectively reduce the total number of colonies in Tibetan sheep and improve tenderness and water holding

收稿日期: 2024-01-13 修回日期: 2024-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(32260552)

作者简介: 文晶桃(1996—),女,硕士生,主要从事畜产品加工研究,E-mail: 3013529268@qq.com

通信作者: 师希雄(1977—),男,教授,博士,主要从事畜产品加工研究,E-mail: sxix77@163.com

capacity. However, long-term treatment had a negative impact on meat color. On the whole, when the plasma treatment time was 3 min, the total number of colonies of Tibetan sheep was decreased significantly, the tenderness and water holding capacity were increased, and the oxidation of lipid and protein was delayed. The research result can provide a theoretical basis for the improvement of the quality of mutton during storage by atmospheric plasma technology.

Key words: Tibetan sheep meat; atmospheric plasma treatment; quality

0 引言

藏羊以天然放牧为主且生长在海拔 3 000 m 以上的高山草原上,对低氧、高寒、强紫外线等环境有极强的适应力^[1]。甘南藏羊有 3 种类型:欧拉型、甘加型和乔科型。欧拉型藏羊产肉量多且产肉性能较好,其具有优质蛋白质含量高、脂肪含量低、矿物质元素和氨基酸含量丰富的特点,是一种营养全面的肉类食品,深受消费者的喜爱^[2]。随着生活水平的提高,人们对肉品质的要求越来越高,但肉类在贮藏过程中没有经过物理、化学和生物保鲜方法处理后极易发生品质劣变^[3],因此,研究宰后羊肉品质改善具有重要意义。

近年来,非热加工技术包括低温等离子体、磁场、超高压、脉冲电场、辐照等用于肉品保鲜,改善肉的贮藏品质,已成为研究热点^[4]。等离子体中含有多种杀菌成分,包括紫外线、带电粒子和自由基等,紫外线可在一定波长范围内破坏 DNA 的复制过程,最终产生的结果是细胞走向死亡。带电粒子和自由基主要是通过攻击细胞壁和细胞膜,使其被破坏或发生损伤,起到杀菌作用^[5]。等离子体技术具有环保、清洁、安全等优点,在用于肉品杀菌时不会对人体产生有害物质,具有很高的安全性,且对肉品质影响较小^[6]。等离子体处理对肉品质的影响在国内外已开展了一些工作。文献[7]发现,经介质阻挡放电大气冷等离子体在 70 kV 下进行不同时间(0、60、180、300 s)的处理后,减少了鸡胸肉微生物的腐败,提高了肉品微生物的安全性。文献[8]研究发现,复合精油协同等离子体处理可显著降低盐水鸭大肠杆菌菌落数,延长保质期,并能使盐水鸭 TBARS 值从等离子体处理组的 6.87 mg/kg 降至 4.58 mg/kg。文献[9]发现,南美白对虾用冷等离子体分别处理 45、90、150 s,冷藏 12 d,能显著降低其 pH 值和 TBARS 值。文献[10]发现,经空气、氮气、氩气滑动弧放电等离子体处理均提高了猪肉的 a^* 值,减少了微生物数量,经氮气和空气放电处理后加速了冷鲜猪肉的脂肪氧化。文献[11]发现,用 70 kV 的介质阻挡放电冷等离子体处理猪肉时,pH 值显著降低,且加速了肌原纤维蛋白的氧化,改善了肉的嫩度。文献[12]研究发现,牛肉经等离子体活

化水处理后可显著增强其持水力,且用等离子体活化水处理 120 s 后,可以显著抑制牛肉的脂质氧化。文献[13]发现,用高功率产生的大气冷等离子体处理未包装的牛肉会导致 a^* 值和 b^* 值增加,可以延缓牛肉包装表面的微生物生长。文献[14]发现,经冷等离子体在 60 kV 下处理 60 s 可将鲭鱼的保质期延长至 14 d,有效地延缓鲭鱼的脂质氧化。文献[15]发现,罗非鱼片经冷等离子体处理 300 s 后, a^* 值显著降低,TBARS 值和羰基含量显著增加。文献[16]发现,随着等离子体处理次数的增加,羊肉 TBARS 值和羰基含量显著下降。综上所述,关于等离子体对肉品质的影响主要集中在鸡肉、猪肉、牛肉、水产品等研究上,关于羊肉研究较少,而对于欧拉藏羊肉品质研究鲜有报道。

本文以欧拉藏羊肉为试验材料,采用大气等离子体技术处理藏羊肉,探究不同处理时间对藏羊肉贮藏过程中品质变化的影响,以期等离子体技术改善藏羊肉品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验原料及样品处理

选取 6 头质量相近((45 ± 5) kg)的 4 岁去势欧拉藏羊后腿肉,将脂肪和结缔组织除去,切成约 3 cm × 4 cm 的肉块,并分成 4 组。第 1 组不作处理作为对照,另外 3 组分别用大气等离子体设备处理 2、3、4 min (电压 10 kV, 电流 10 A, 处理间距 30 mm),将 4 组在 4℃ 冰箱下贮藏 0、1、3、5、7 d 后,进行菌落总数、pH 值、色度、蒸煮损失、TBARS 值、羰基含量测定。

1.1.2 试验仪器与试剂

试验仪器:UNI-SCPT-10 型大气等离子体系统,北京中机华盛机械设备进出口有限公司;FJ200-SH 型高速分散机,上海沪析实业有限公司;PHB-4 型便携式酸度计,南京科环分析仪器有限公司;TA.XT Express 型质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;HH-S 型恒温水浴锅,江苏正基仪器有限公司;H1750R 型高速台式冷冻离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

试验试剂:乙二醇-双-(2-氨基乙醚)四乙酸、盐

酸、生理盐水、酒石酸钾钠、硫代巴比妥酸、 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 等,以上试剂均为分析纯。

1.2 试验方法

1.2.1 菌落总数测定

参照 GB 4789.2—2022《菌落总数》的方法测定。

1.2.2 pH 值测定

参考文献[17]的方法并稍作修改。称取 5 g 肉样,加入装有蒸馏水的离心管中,高速均质 1 min (8 000 r/min),过滤后测定 pH 值。

1.2.3 色度测定

参考文献[18]的方法并稍作修改。取肉块的 3 个点测定藏羊肉的亮度 L^* 、红度 a^* 、黄度 b^* 。

1.2.4 蒸煮损失率测定

根据文献[19]的方法并稍作修改。取 40 g (m_1)肉样于蒸煮袋内,置于 80℃ 的恒温水浴锅中,待肉样中心温度达到 70℃ 时计时,30 min 后称其质量为 m_2 ,计算公式为

$$W_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中 W_1 ——蒸煮损失率, %

m_1 ——蒸煮前肉样质量, g

m_2 ——蒸煮后肉样质量, g

1.2.5 质构特性测定

方法同 1.2.4 节,将肉样切成 1 cm × 1 cm × 1.5 cm 的长条。将肉样放置方向与肌纤维平行地置于 TPA 平板上测定藏羊肉质构特性,设置测前、测中、测后速率分别为 0.8、1.0、1.2 mm/s,应变量为 50%,触发力 2 N,间隔时间 2 s,选用 P/36R 型探头,对其进行两次压缩测试,每组 3 次平行试验。利用 TPA-macro 软件进行分析。

1.2.6 TBARS 值测定

参照 GB 5009.181—2016《分光光度法》测定。

1.2.7 羰基含量测定

参考文献[20]的方法,并稍作修改。用 25 mmol/L 磷酸钾缓冲液将肌原纤维蛋白(MP)质量浓度调整为 5 mg/mL。取 0.5 mL 的 MP 溶液加入装有 2 mL 含 0.2% 2,4-二硝基苯肼(DNPH)的 2 mol/L HCl 溶液的离心管中。室温(20℃)避光静置 1 h (每 10 min 涡旋一次)。将溶液用 2 mL 20% 三氯乙酸(TCA)沉淀蛋白后高速离心 10 min,除去上清液。用 2 mL 乙酸乙酯、乙醇混合液(体积比 1:1)清洗沉淀 3 次。待试剂挥发完全后,加入 3 mL 6 mol/L 盐酸胍(含 20 mmol/L 磷酸钾, pH 值 6.5)溶液,在 37℃ 下放置 30 min,使沉淀完全溶解后再次离心除去不溶物。用 2 mol/L HCl 溶液作空白对照。最

后,在 370 nm 处测定上清的吸光度。根据分子吸光系数 2 200 L/(mol·cm)计算羰基含量(质量摩尔浓度),羰基含量表示为 $\frac{3\,000\,000\,000A}{2\,500\varepsilon}$,其中 A 表示溶液吸光度; ε 表示摩尔消光系数,单位为 L/mol。

1.3 数据处理

用 Origin 2021 和 SPSS 20.0 软件处理试验数据,结果用平均值 ± 标准差表示,每组试验重复 3 次取平均值。采用单因素方差分析法进行分析,利用 Duncan's 法对数据进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 等离子体处理对藏羊肉菌落总数的影响

菌落总数是判断肉食品品质的重要指标之一^[21]。如图 1(图中不同小写字母表示同一处理组在不同贮藏时间差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示同一贮藏时间不同处理组间差异显著($P < 0.05$),下同)所示,藏羊肉贮藏过程中,等离子体处理组和对照组菌落总数整体呈明显上升趋势,且等离子体处理组的菌落总数均显著低于对照组($P < 0.05$)。第 7 天时,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组菌落总数分别比对照组低 18.56%、23.08%、27.09%。说明等离子体处理可以有效抑制藏羊肉贮藏过程中微生物的生长,并且处理时间越长效果越好,这可能是由于等离子体处理过程中产生的羟自由基引起膜蛋白发生降解从而有效抑制藏羊肉贮藏过程中的表面微生物^[22]。该结果与文献[23]结果类似。由此可见,等离子体处理可以有效抑制藏羊肉贮藏过程中微生物繁殖。

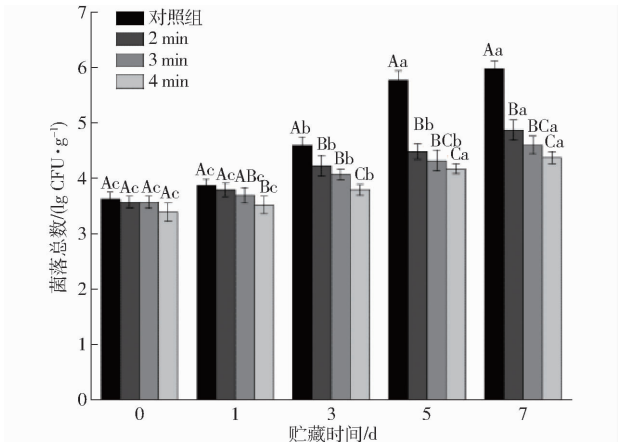


图 1 等离子体处理对藏羊肉菌落总数的影响
Fig.1 Effect of plasma treatment on the total number of colonies of Tibetan sheep meat

2.2 等离子体处理对藏羊肉 pH 值的影响

pH 值是评价肉类新鲜程度的重要指标之

—^[24]。如图 2 所示,藏羊肉贮藏过程中,等离子体处理组和对照组 pH 值基本呈现先下降后上升的趋势。在 0~3 d 内藏羊肉 pH 值显著下降,这是由于肉中肌糖原逐渐分解为乳糖,并经过糖酵解作用后生成乳酸,导致 pH 值下降^[25]。在贮藏 3 d 后,pH 值显著升高($P<0.05$),这是由于在贮藏过程中肉中微生物大量繁殖并分解蛋白质产生一些碱性物质,导致 pH 值的上升^[26]。贮藏 7 d 时,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组 pH 值分别比对照组低 1.53%、2.21%、1.02%。在整个贮藏过程中,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组 pH 值显著低于对照组($P<0.05$)。这可能是由于等离子体产生的一氧化氮、二氧化氮、过氧亚硝酸等活性物质与肉中的水分作用产生酸性物质,且等离子体产生的自由基具有较强的杀菌效果,可直接杀死肉中的微生物,有效减少蛋白质的分解,从而阻滞了碱性化合物生成,延缓了 pH 值的上升^[27]。由此可见,等离子体处理可有效抑制藏羊肉贮藏过程中 pH 值的上升。本试验结果与文献[6]结果相似。

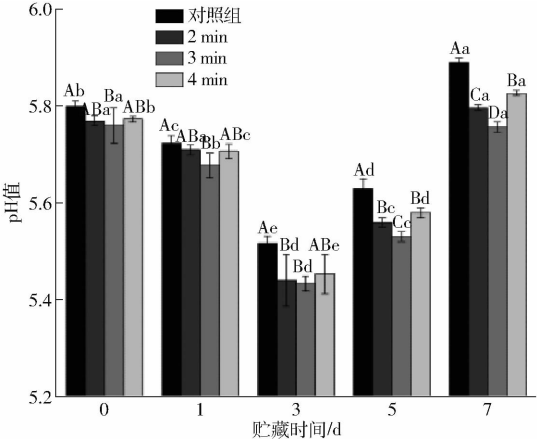


图 2 等离子体处理对藏羊肉 pH 值的影响
Fig. 2 Effect of plasma treatment on pH value of Tibetan sheep meat

2.3 等离子体处理对藏羊肉色度的影响

肉的外观是影响消费者判断肉品好坏程度的重要因素之一,其中肉色能够直观反映肉的新鲜程

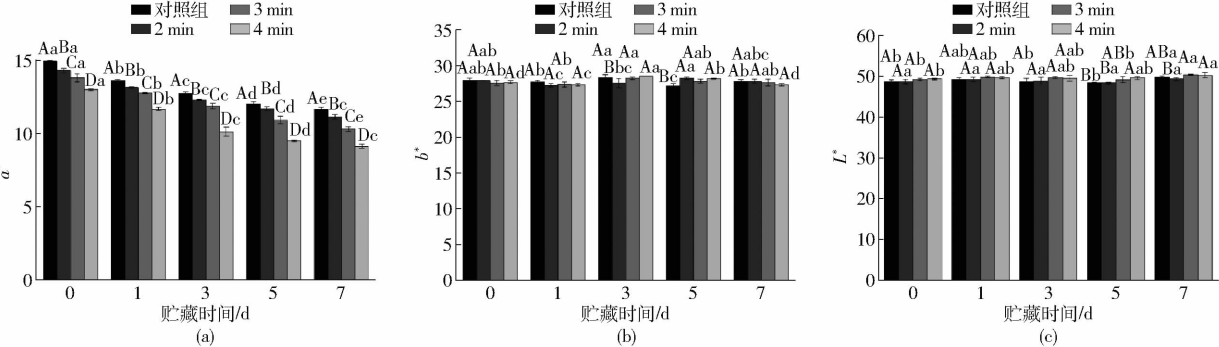


图 3 等离子体处理对藏羊肉色度的影响

Fig. 3 Effects of plasma treatment on colouration of Tibetan sheep meat

度^[28]。如图 3a 所示,藏羊肉贮藏过程中,等离子体处理组和对照组藏羊肉 a^* 值均呈现明显降低趋势。贮藏 7 d 时,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组 a^* 值分别比对照组低 4.44%、11.71%、21.62%。在整个贮藏过程中,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组 a^* 值均明显低于对照组($P<0.05$)。这可能是由于等离子体产生的羟自由基、过氧化氢、臭氧等物质加速了藏羊肉中的氧合肌红蛋白的氧化,促进了高铁肌红蛋白含量的积累,进而导致 a^* 值的下降^[16]。如图 3b、3c 所示,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组 b^* 值和 L^* 值与对照组没有显著性差异($P>0.05$)。由此可见,等离子体处理时间过长,会对藏羊肉 a^* 值产生不利影响。本试验结果与文献[17,29]结果相似。

2.4 等离子体处理对藏羊肉蒸煮损失的影响

持水力可作为评价肉嫩度、风味、色泽等品质的重要指标,一般可用蒸煮损失来表示^[30]。如图 4 所示,藏羊肉贮藏过程中,等离子体处理组和对照组蒸煮损失均呈现先上升后下降的趋势。贮藏 7 d 时,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组蒸煮损失率分别比对照组低 1.66、5.26、2.71 个百分点($P<0.05$)。在整个贮藏过程中,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组蒸煮损失低于对照组($P<0.05$)。这可能是由于等离子体处理过程中电离产生的自由电子、自由基、紫外线辐射等杀灭了肉体表面的微生物,从而有效减缓了微生物生长繁殖进程,最终延缓了肌肉中滴水通道的形成^[31]。由此可见,等离子体处理有效减少水分的流失,其中 3 min 处理后藏羊肉持水能力最好。该结果与文献[32]结果类似。

2.5 等离子体处理对藏羊肉质构的影响

硬度可以作为评价肉品嫩度的主要指标。骨架蛋白有稳定肌纤维结构的作用。羊肉在贮藏过程中,由于骨架蛋白的降解,肌纤维结构遭到破坏,从而提高了羊肉的嫩度^[33]。如表 1 所示,藏羊肉在贮

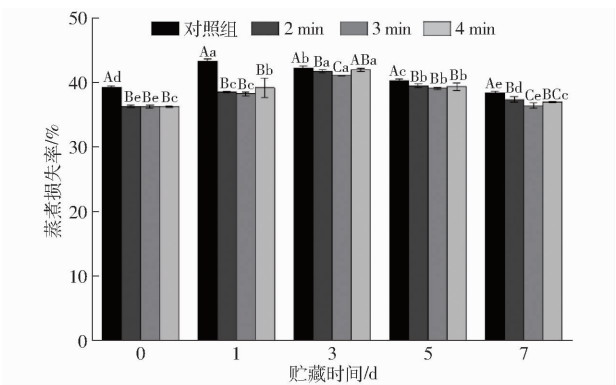


图 4 等离子体处理对藏羊肉蒸煮损失的影响

Fig.4 Effect of plasma treatment on cooking loss of Tibetan sheep meat

藏过程中,等离子体处理组和对照组硬度整体呈现先上升后下降的趋势,贮藏 7 d 时,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组硬度分别比对照组低 5.79%、26.18%、26.43% ($P < 0.05$)。在整个贮藏过程中,等离子体处理时间为 2、3、4 min 的藏羊肉组硬度显著低于对照组 ($P < 0.05$),但是弹性和粘聚性差异不显著($P > 0.05$)。这可能是由于等离子体在处理过程中产生一些超氧阴离子自由基破坏了肌纤维内部结构的完整性,导致骨架蛋白发生变性或降解,进而提高了藏羊肉贮藏期间的嫩度^[34]。由此可见,等离子体处理能有效改善藏羊肉嫩度。该结果与文献[35]结果相似。

表 1 等离子体处理对藏羊肉质构的影响

Tab.1 Effect of plasma treatment on texture of Tibetan sheep meat

参数	处理	贮藏时间/d				
		0	1	3	5	7
硬度/g	对照组	(3 797.12 ± 51) ^{Ae}	(4 175.94 ± 115) ^{Ab}	(4 794.62 ± 36) ^{Aa}	(3 898.53 ± 74) ^{Ae}	(3 303.61 ± 32) ^{Ad}
	2 min	(3 745.5 ± 127) ^{Bc}	(3 960.91 ± 77) ^{Bb}	(4 439.43 ± 101) ^{Ba}	(3 480.84 ± 68) ^{Bd}	(3 112.22 ± 60) ^{Be}
	3 min	(3 725.51 ± 50) ^{Bc}	(3 877.56 ± 55) ^{Bb}	(4 079.95 ± 69) ^{Ca}	(2 655.23 ± 86) ^{Cd}	(2 438.63 ± 119) ^{Ce}
	4 min	(3 442.72 ± 68) ^{Bb}	(2 904.95 ± 61) ^{Cc}	(4 187.80 ± 39) ^{Ca}	(2 608.36 ± 60) ^{Cd}	(2 430.61 ± 109) ^{Ce}
弹性指数	对照组	(0.91 ± 0.02) ^{Aa}	(0.85 ± 0.05) ^{Aab}	(0.83 ± 0.03) ^{Ab}	(0.86 ± 0.01) ^{Aab}	(0.81 ± 0.03) ^{Ab}
	2 min	(0.90 ± 0.02) ^{Aa}	(0.82 ± 0.03) ^{ABb}	(0.78 ± 0.02) ^{Bb}	(0.78 ± 0.02) ^{Bb}	(0.82 ± 0.03) ^{Ab}
	3 min	(0.72 ± 0.01) ^{Bb}	(0.76 ± 0.01) ^{Bb}	(0.83 ± 0.02) ^{Aa}	(0.84 ± 0.02) ^{Aa}	(0.74 ± 0.01) ^{Bb}
	4 min	(0.72 ± 0.02) ^{Bb}	(0.81 ± 0.02) ^{Aab}	(0.80 ± 0.02) ^{ABa}	(0.75 ± 0.02) ^{Bb}	(0.85 ± 0.03) ^{Aa}
粘聚性指数	对照组	(0.59 ± 0.01) ^{Aa}	(0.59 ± 0.02) ^{Ba}	(0.57 ± 0.01) ^{Bab}	(0.55 ± 0.02) ^{Bb}	(0.54 ± 0.02) ^{Bb}
	2 min	(0.58 ± 0.01) ^{Aa}	(0.59 ± 0.02) ^{Ba}	(0.60 ± 0.02) ^{Aa}	(0.60 ± 0.02) ^{Aab}	(0.59 ± 0.02) ^{Aa}
	3 min	(0.58 ± 0.01) ^{Ab}	(0.63 ± 0.02) ^{Aa}	(0.61 ± 0.01) ^{Aa}	(0.62 ± 0.02) ^{Aa}	(0.61 ± 0.01) ^{Aa}
	4 min	(0.55 ± 0.01) ^{Bb}	(0.59 ± 0.02) ^{Ba}	(0.57 ± 0.01) ^{Bab}	(0.57 ± 0.02) ^{Bab}	(0.55 ± 0.01) ^{Bb}

注:不同小写字母表示同一处理组在不同贮藏时间差异显著($P < 0.05$),不同大写字母表示同一贮藏时间不同处理组间差异显著($P < 0.05$)。

2.6 等离子体处理对藏羊肉 TBARS 值的影响

脂质氧化是因为肉中的脂质化学性质不稳定,易受微生物、氧浓度、温度等因素的影响,产生如醛类、酯类、醇类等化合物,肉的脂质氧化程度可用丙二醛含量来表示,含量越高,则说明脂质氧化越严重^[36]。如图 5 所示,藏羊肉贮藏过程中,等离子体处理组和对照组 TBARS 值(该值可反映与丙二醛反应的硫代巴比妥酸质量,用以表征丙二醛含量)均呈现显著上升趋势($P < 0.05$)。贮藏 7 d 时,等离子体处理时间为 2 min 和 3 min 的藏羊肉组 TBARS 值分别比对照组低 1.89%、13.21%,这可能是由于等离子体产生的电磁波诱导了微生物的 DNA 损伤,进一步抑制了藏羊肉脂质氧化^[37]。而等离子体处理时间为 4 min 的藏羊肉组 TBARS 值比对照组高 13.21%,这可能是由于等离子体处理过程会产生自由基的积累,处理时间越长脂质氧化越严重^[38]。由此可见,选择 3 min 等离子体处理时间可以有效抑制藏羊肉贮藏过程中脂质氧化。本结果与文献[39]

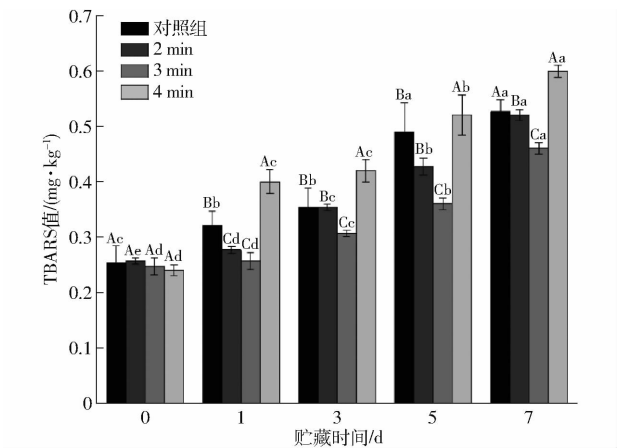


图 5 等离子体处理对藏羊肉 TBARS 值的影响

Fig.5 Effect of plasma treatment on TBARS value of Tibetan sheep meat

的报道相似。

2.7 等离子体处理对藏羊肉肌原纤维蛋白羰基含量的影响

肌原纤维蛋白羰基含量的高低可以作为蛋白质

氧化程度的指标^[40]。如图 6 所示,在贮藏过程中,等离子体处理组和对照组藏羊肉肌原纤维蛋白羰基含量均呈现显著上升趋势。贮藏 3 d 后,等离子体处理时间为 2 min 和 3 min 的藏羊肉组羰基含量显著低于对照组 ($P < 0.05$)。等离子体处理时间为 4 min 的藏羊肉组羰基含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。贮藏 7 d 时,等离子体处理时间为 2 min 和 3 min 的藏羊肉组羰基含量分别比对照组低 11.33%、13.33%,这可能是由于等离子体在处理过程中产生的活性物质对藏羊肉中的蛋白质进行了改

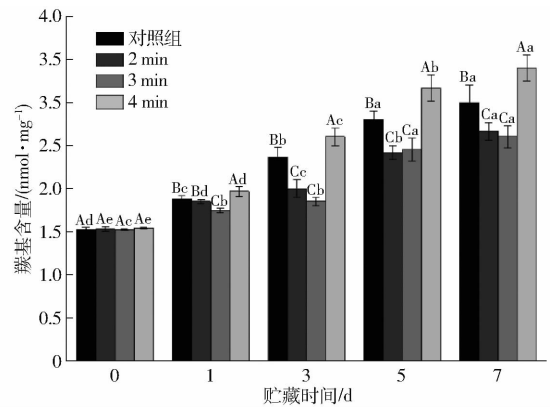


图 6 等离子体处理对藏羊肉肌原纤维蛋白羰基含量的影响

Fig.6 Effect of plasma treatment on carbonyl content of myofibrillar proteins in Tibetan sheep meat

性修饰^[41]。而等离子体处理时间为 4 min 的藏羊肉组羰基含量比对照组高 13.33%。这可能是由于等离子体处理产生的活性氧、活性氮含量随着时间的延长逐渐积累,破坏了肌原纤维结构的完整性,进而加剧了蛋白质的氧化程度,促进了蛋白质羰基的形成^[42]。由此可见,2~3 min 的处理时间可以显著降低藏羊肉贮藏过程中蛋白质氧化。文献[43]研究发现,金鲳鱼随着等离子体处理时间的延长和处理次数的增加会加速其脂质和蛋白质氧化。文献[16]发现,低温等离子体处理时间为 3 min,处理次数从 1 增加至 4 时,有效降低了羊肉羰基含量。以上结果与本研究结果相似。

3 结束语

等离子体处理可有效降低藏羊肉贮藏过程中菌落总数,提高持水性,改善嫩度,且维持 b^* 值和 L^* 值的稳定性,但较长时间的处理对 a^* 值产生了负面影响。综合来看,等离子体处理时间为 3 min 时,藏羊肉贮藏品质最好,藏羊肉的菌落总数明显下降,嫩度与持水性提高,延缓了脂质与蛋白质的氧化。因此,在采用等离子体处理肉品时,应控制好处理时间,避免由于处理时间过长而导致肉品品质下降。本研究结果可为羊肉保鲜以及保水性、嫩度、肉色等食用品质的改善提供理论依据。

参 考 文 献

[1] 师希雄,张攀高,赵瑞娜,等. 冰温贮藏甘南藏羊肉色稳定性与线粒体 MMb 还原能力研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(5): 400–405.
SHI Xixiong, ZHANG Pangao, ZHAO Ruina, et al. Color stability and mitochondrial MMb reducing ability of Gannan Tibetan sheep meat by freezing point storage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(5): 400–405. (in Chinese)

[2] 师希雄,王建忠,陈敬敬,等. 超高压处理对藏羊肉肌原纤维蛋白特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(16): 169–174, 181.
SHI Xixiong, WANG Jianzhong, CHEN Jingjing, et al. Influences of ultra-high pressure on the properties of myofibrillar proteins from Tibetan sheep meat[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(16): 169–174, 181. (in Chinese)

[3] OLATUNDE O O, SHIEKH K A, BENJAKUL S. Pros and cons of cold plasma technology as an alternative non-thermal processing technology in seafood industry[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 111: 617–627.

[4] 程腾,薛冬,郑凯茜,等. 冷等离子体处理对生鲜鸡胸肉杀菌效果及品质影响[J]. 包装工程, 2023, 44(13): 84–92.
CHENG Teng, XUE Dong, ZHENG Kaixi, et al. Effect of cold plasma treatment on microbial inactivation and quality attributes of fresh chicken breasts[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(13): 84–92. (in Chinese)

[5] 郭俭. 低温等离子体杀菌机理与活性水杀菌作用研究[D]. 杭州:浙江大学,2016.
GUO Jian. The inactivation mechanism of non-thermal plasma agents and bactericidal effect of plasma activated water[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016. (in Chinese)

[6] 杜曼婷,黄俐,高梦丽,等. 介质阻挡放电低温等离子体处理对宰后羊肉品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(21): 87–92.
DU Manting, HUANG Li, GAO Mengli, et al. Effect of dielectric barrier discharge low temperature plasma treatment on lamb meat quality[J]. Food Science, 2022, 43(21): 87–92. (in Chinese)

[7] ZHUANG H, ROTHROCK JR M J, HIETT K L, et al. In-package air cold plasma treatment of chicken breast meat: treatment time effect[J]. Journal of Food Quality, 2019(1):1837351.

[8] 钱婧,王晨,严文静,等. 天然精油协同等离子体对盐水鸭杀菌保鲜及脂质氧化的调控[J]. 肉类研究, 2022, 36(11): 23–28.
QIAN Jing, WANG Chen, YAN Wenjing, et al. Effect of natural essential oil combined with plasma on preservation of salted

- duck and regulation of lipid oxidation[J]. Meat Research, 2022,36(11):23–28. (in Chinese)
- [9] ZOUELM F, ABHARI K, HOSSEINI H, et al. The effects of cold plasma application on quality and chemical spoilage of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during refrigerated storage[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2019, 28(6): 624–636.
- [10] 翟国臻, 李佳, 郭杉杉, 等. 滑动弧放电等离子体处理对冷鲜猪肉保鲜的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(1): 189–197.
ZHAI Guozhen, LI Jia, GUO Shanshan, et al. Effect of gliding arc discharge plasma treatment on the preservation effect of cold fresh pork[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(1): 189–197. (in Chinese)
- [11] LUO J, XU W, LIU Q, et al. Dielectric barrier discharge cold plasma treatment of pork loin: effects on muscle physicochemical properties and emulsifying properties of pork myofibrillar protein[J]. LWT, 2022, 162: 113484.
- [12] 应可沁, 李子言, 程序, 等. 等离子体活化水作为解冻介质对牛肉杀菌效能及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 338–345.
YING Keqin, LI Ziyang, CHENG Xu, et al. Effect of plasma-activated water as thawing media on the sterilization and quality of beef[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 338–345. (in Chinese)
- [13] BAUER A, NI Y, BAUER S, et al. The effects of atmospheric pressure cold plasma treatment on microbiological, physical-chemical and sensory characteristics of vacuum packaged beef loin[J]. Meat Science, 2017, 128: 77–87.
- [14] CHEN J, WANG S Z, CHEN J Y, et al. Effect of cold plasma on maintaining the quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(1): 39–46.
- [15] WANG J, FU T, WANG Y, et al. Effects of high-voltage atmospheric cold plasma treatment on microbiological and quality characters of tilapia fillets[J]. Foods, 2022, 11(16): 2398.
- [16] 岑南香, 刘宸成, 陈姑, 等. 低温等离子体处理对羊肉脂质与蛋白质氧化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 85–93.
CEN Nanxiang, LIU Chencheng, CHEN Gu, et al. Effects of cold plasma treatments on lipids and protein oxidation properties of mutton[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(14): 85–93. (in Chinese)
- [17] LAWRIE R A, SHARP J G, BENDALL J R, et al. Treatment of meats with ionising radiations. VIII.—pH, water-binding capacity and proteolysis of irradiated raw beef and pork during storage, and the ATP-ase activity of irradiated rabbit muscle [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1961, 12(11): 742–751.
- [18] JAYASENA D D, KIM H J, YONG H I, et al. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes[J]. Food Microbiology, 2015, 46: 51–57.
- [19] LI X, HUTCHINGS S, WARNER R D, et al. The texture and mastication properties of sheep biceps femoris from different finishing feeds and retail packaging methods[J]. Journal of Texture Studies, 2022, 53(2): 185–195.
- [20] KONG D, HAN R, YUAN M, et al. Ultrasound combined with slightly acidic electrolyzed water thawing of mutton: effects on physicochemical properties, oxidation and structure of myofibrillar protein[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2023, 93: 106309.
- [21] 钟萍, 陈鲜丽, 罗威, 等. 不同贮藏温度对鱼肉嫩度和菌落总数的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(7): 45–49.
ZHONG Ping, CHEN Xianli, LUO Wei, et al. Effects of different storage temperature on tenderness and total number of bacterial colonies of fish[J]. Food Research and Development, 2021, 42(7): 45–49. (in Chinese)
- [22] LEE E S, JEON Y J, MIN S C. Microbial inactivation and quality preservation of chicken breast salad using atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment[J]. Foods, 2021, 10(6): 1214.
- [23] ALBERTOS I, MARTIN-DIANA A B, CULLEN P J, et al. Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh mackerel (*Scomber scombrus*) fillets[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 44: 117–122.
- [24] 范小宁, 陈敬敬, 赵瑞娜, 等. 桑叶提取物-壳聚糖可食性涂膜对静宁烧鸡保鲜效果的研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(11): 201–208.
FAN Xiaoning, CHEN Jiingjing, ZHAO Ruina, et al. Research on fresh-keeping effect of mulberry leaf extract chitosan edible coating on Jingning roasted chicken[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(11): 201–208. (in Chinese)
- [25] 陈雪妍, 罗瑞明, 张倩, 等. 氯化钙对宰后成熟期间滩羊肉能量水平及品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(24): 9–15.
CHEN Xueyan, LUO Ruiming, ZHANG Qian, et al. Effects of calcium chloride on energy level and quality of Tan sheep during post-slaughter ageing[J]. Food Science, 2023, 44(24): 9–15. (in Chinese)
- [26] 马小菊, 王延尧, 俞佳, 等. 生物保鲜剂处理结合气调包装对冷鲜滩羊肉贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(11): 263–271.
MA Xiaoju, WANG Yanyao, YU Jia, et al. Effects of biological preservative treatment combined with modified atmosphere packaging on storage quality of chilled Tan mutton[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(11): 263–271. (in Chinese)
- [27] IKAWA S, KITANO K, HAMAGUCHI S. Effects of pH on bacterial inactivation in aqueous solutions due to low-temperature atmospheric pressure plasma application[J]. Plasma Processes and Polymers, 2010, 7(1): 33–42.
- [28] 杨世虎, 刘贵珊, 张远绿, 等. 贮藏期间亚硝酸钠对滩羊肉品质特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(11): 209–215.
YANG Shihu, LIU Guishan, ZHANG Yuanlü, et al. Influence of sodium nitrite on quality characteristics of cured Tan mutton during storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(11): 209–215. (in Chinese)

[29] BAE S C, PARK S Y, CHOE W, et al. Inactivation of murine norovirus-1 and hepatitis A virus on fresh meats by atmospheric pressure plasma jets[J]. Food Research International, 2015, 76: 342 – 347.

[30] 杨川,武广玉,李应彪,等. 低压静电场结合高湿解冻对羊肉保水性的影响[J]. 食品科学,2023,44(11):86 – 94.
YANG Chuan, WU Guangyu, LI Yingbiao, et al. Effect of low voltage electrostatic field combined with high humidity thawing on water holding capacity of frozen lamb meat[J]. Food Science, 2023,44(11):86 – 94. (in Chinese)

[31] 张婉玉. 等离子体活性水处理生鲜牛肉工艺优化及其品质控制研究[D]. 扬州:扬州大学,2021.
ZHANG Wanyu. Study on the optimization of fresh beef process and its quality control of plasma active water[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021. (in Chinese)

[32] 陈家盛,宫玉婷,董依雪,等. 低温等离子体处理对冰鲜鱿鱼品质特性的影响[J]. 食品工业,2021,42(5):231 – 235.
CHEN Jiasheng, GONG Yuting, DONG Yixue, et al. Effect of plasma treatment on quality characteristics of chilled squid[J]. The Food Industry, 2021,42(5):231 – 235. (in Chinese)

[33] 狄雨晗,廖博群,李加慧,等. 宰后肌肉嫩度检测技术研究进展[J]. 肉类研究,2023,37(7):52 – 59.
DI Yuhan, LIAO Boqun, LI Jiahui, et al. Advances in techniques for testing postmortem muscle tenderness[J]. Meat Research, 2023,37(7):52 – 59. (in Chinese)

[34] 郭荣珍,梁茂文,刘纯友,等. 芒果核提取物对冷藏过程中水牛肉品质的影响[J]. 广西科技大学学报,2022,33(4):100 – 106.
GUO Rongzhen, LIANG Maowen, LIU Chunyou, et al. Effect of mango kernel seeds extracts on the meat quality characteristics of buffalo meat during chilled storage[J]. Journal of Guangxi University of Science and Technology, 2022, 33(4): 100 – 106. (in Chinese)

[35] 章建浩,乔维维,黄明明,等. 低温等离子体处理对牛肉品质的影响[J]. 现代食品科技,2018,34(11):194 – 199, 150.
ZHANG Jianhao, QIAO Weiwei, HUANG Mingming, et al. Effects of cold plasma treatment on quality of beef[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(11): 194 – 199, 150. (in Chinese)

[36] 张诗琦,杨尚霖,王翔宇,等. 不同间歇微波解冻方式对牦牛肉品质特性、脂质氧化的影响[J]. 食品工业科技,2024,45(12):38 – 46.
ZHANG Shiqi, YANG Shanglin, WANG Xiangyu, et al. Effects of different intermittent microwave thawing methods on the quality characteristics and lipid oxidation of yak meat[J]. Science and Technology of Food Industry,2024,45(12):38 – 46. (in Chinese)

[37] 仇俊,翟国臻,孙运金. 等离子体处理对生鲜牛肉杀菌效果及营养品质的影响[J]. 肉类研究,2022,36(4):41 – 47.
QIU Jun, ZHAI Guozhen, SUN Yunjin. Effects of plasma treatment on the sterilization and nutritional quality of fresh beef [J]. Meat Research, 2022, 36(4): 41 – 47. (in Chinese)

[38] WU J, CUI C, LI L. Effect of cold plasma on lipid oxidation of fish and fish-based products; a review[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2024, 59(3): 1958 – 1967.

[39] 孙运金,仇俊,翟国臻,等. 等离子体处理对生鲜牛肉杀菌保鲜效果及营养品质的影响[J]. 数字印刷,2022(2):122 – 131.
SUN Yunjin, QIU Jun, ZHAI Guozhen, et al. Effect of plasma treatment on sterilization preservation and nutritional quality of fresh beef[J]. Printing and Digital Media Technology Study, 2022(2): 122 – 131. (in Chinese)

[40] SUN Y, LUO H, CAO J, et al. Structural characteristics of Sheldrake meat and secondary structure of myofibrillar protein; effects of oxidation[J]. International Journal of Food Properties, 2017, 20(Supp. 2): 1553 – 1566.

[41] 陈家盛. 基于蛋白质组学分析低温等离子体技术调控冰鲜鱿鱼品质稳定的作用机制[D]. 舟山:浙江海洋大学,2022.
CHEN Jiasheng. Proteomic analysis of the mechanism of low temperature plasma technology in regulating quality stability of chilled squid[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2022. (in Chinese)

[42] STOICA M, ALEXE P, MIHALCEA L. Atmospheric cold plasma as new strategy for foods processing—an overview[J]. Innovative Romanian Food Biotechnology, 2014 (15): 1 – 8.

[43] 符婉丽,桑晓涵,陈姑,等. 低温等离子体对金鲳鱼蛋白质和脂质氧化的影响[J]. 食品研究与开发,2022,43(22):15 – 22.
FU Wanli, SANG Xiaohai, CHEN Gu, et al. Effects of cold plasma treatment on protein and lipid oxidation of trachinotus ovatus[J]. Food Research and Development, 2022, 43(22): 15 – 22. (in Chinese)