

低温等离子体处理对牛肉品质的影响

章建浩¹, 乔维维¹, 黄明明¹, 王佳媚²

(1. 江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 国家肉品质量控制工程技术研究中心, 南京农业大学食品科技学院, 江苏南京 210095) (2. 海南大学食品学院, 海南海口 570228)

摘要: 采用低温等离子体处理气调包装(modified atmospheric packaging, MAP) (O₂: CO₂: N₂=35%: 35%: 30%) 鲜牛肉, 研究冷藏过程(4℃)中牛肉 pH、色差、肌红蛋白、剪切力和质构变化, 分析低温等离子体处理对冷藏过程中牛肉品质的影响。结果显示: 在 10 d 冷藏过程中, 经低温等离子体处理的牛肉 pH 值保持稳定, L* 维持较高的亮度, 始终高于未处理组; 处理组牛肉的 a* 值呈先升高后降低的趋势, 在第 4 d 达到最高值 22.91, 始终低于未处理组; b* 值呈显著升高 ($p < 0.05$) 10 d 后高达 14.43, 且始终高于未处理组; 处理组牛肉中的肌红蛋白总量呈减少趋势, 而高铁肌红蛋白含量增加; 10 d 后, 硬度、胶黏性和咀嚼性显著 ($p < 0.05$) 下降 4.78%、2.97% 和 6.13%, 而弹性、内聚性和回复性的变化不明显。低温等离子体处理能够增强冷藏过程中牛肉表面亮度, 降低红色, 使肉色呈变黄趋势, 对牛肉 pH 和质构特性无显著负面影响。

关键词: 低温等离子体; 牛肉; 色泽; 质构; 感官品质

文章编号: 1673-9078(2018)11-194-199

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.029

Effects of Cold Plasma Treatment on Quality of Beef

ZHANG Jian-hao¹, QIAO Wei-wei¹, HUANG Ming-ming¹, WANG Jia-mei²

(1. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, National Center of Meat Quality and Safety Control, College of Food Science and Technology Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)(2. College of Food Science and Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: In order to study the effects of cold plasma treatments (modified atmospheric packaging (O₂: CO₂: N₂=35%: 35%: 30%)) on sensory quality of beef, the pH, myoglobin, surface color, drip loss, shear force and texture changes of samples were analyzed during storage at 4℃ after cold plasma treatment. Results showed that during refrigerator storage, the pH of treated beef was relative stable, L* values were relative high, which were higher than that of untreated samples; a* values of treated samples were increased during 4 days then decreased, though they were lower than that of untreated samples; while the b* values were increased significantly ($p < 0.05$) and higher than that of untreated beef; the total content of myoglobin were reduced, while the metmyoglobin amount was increased during the storage; the hardness, gumminess and chewiness significantly ($p < 0.05$) decreased by 4.78%, 2.97% and 6.13%, respectively, while the elasticity, cohesiveness and recovery changed not significantly. These results indicated that the cold plasma treatment could enhance the brightness, reduce the redness, and increase the yellow color of beef surface, and it had no negative effects on the texture characteristics and pH of beef.

Key words: cold plasma; beef; surface color; texture; sensory quality

杀菌处理对肉的感官及理化性质会产生不同程度的影响。热力杀菌不仅引起一定程度的营养损失, 同时对生鲜肉的色泽和质构也会产生不利影响, 在生鲜肉的杀菌应用中受到限制。非热源性杀菌处理在生鲜肉中应用广泛, 各种处理方法对生鲜肉的感官性质及

收稿日期: 2018-06-28

基金项目: 苏州市科技计划项目(SNG2017074); 苏州高新区科技创新创业人才项目; 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 海南大学科研启动基金(kyqd1560); 江苏省农业创新资金项目(CX(18)3041); 南京市农业科技攻关项目(201805038)

作者简介: 章建浩(1961-)男, 教授, 研究方向: 畜产品加工与质量控制

通讯作者: 王佳媚(1984-)女, 讲师, 研究方向: 肉制品加工与保鲜包装

理化品质影响程度不同。Zakrys 等^[1]研究了多种气调包装条件下牛排储藏期间理化性质的变化, 结果发现气体组分中 O₂ 浓度高时, 牛排的汁液流失较多, 而 O₂ 浓度低时, 牛排的韧性较差。Omer 等^[2]研究了超高压法杀菌处理对发酵香肠理化指标、微生物和感官品质的影响, 结果显示, 处理后的香肠在储藏期间重量损失加快, 色泽变差。现行的非热源性杀菌方法, 如辐照杀菌处理、超高压处理、臭氧气体处理以及紫外线杀菌处理等方法会对肉的颜色、品质产生不同程度的影响, 同时对肉中的脂肪氧化起到不同程度的促进作用。因此, 开发新的非热源性杀菌方法一直是食品杀菌领域的研究热点。

低温等离子体 (cold plasma, CP) 作为一种新型的冷杀菌方法, 对预包装食品进行杀菌处理, 以包装内的气体为主要作用介质, 无需添加任何其它抑菌成分, 有效避免了先杀菌后包装产生的二次污染, 近几年在食品杀菌领域受到广泛关注。据报道低温等离子体处理对猪肉表面的菌落总数、酵母菌和霉菌具有良好的抑制作用, 而对肉色和 pH 没有显著影响。CP 在其它食品中也有相关应用研究, 如培根、菠菜、西红柿、鸡肉^[3]等。低温等离子体在鲜牛肉中的杀菌作用已经有相关研究, 乔维维等^[4]人已经证明 CP 可以有效杀死牛肉表面的微生物。Reid 等^[5]人采用低温等离子体处理鲜牛肉, 研究了贮藏条件下牛肉表面微生物菌群的变化, 关于处理后牛肉的感官性质及品质的变化未给予相关报道。目前, 关于低温等离子体处理对鲜牛肉感官品质的作用影响报道还很少。本研究通过处理后牛肉的色泽、pH、肌红蛋白含量、汁液流失率和剪切力等变化, 分析低温等离子体对牛肉冷藏过程中色泽与质构等品质的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

牛背最长肌购于南京苏果超市卫岗店。

1.2 仪器与设备

MAP-H360 复合气调保鲜包装机, 苏州森瑞保鲜设备有限公司; BK130/36 低温等离子体发生器, 美国菲尼克斯公司; CR-400 型全自动色差仪, 柯尼卡美能达控股公司; 电热恒温培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司; XC07-II 无菌拍打式均质器, 南京宁凯仪器有限公司; 千分之一天平, 梅特勒-托利多仪器有限公司; C-LM3B 数显式肌肉嫩度仪, 美国 G-R 公司; pH 计, 梅特勒-托利多仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料处理

鲜牛肉用冰盒运回实验室, 剔除筋、膜、淤血、碎骨和多余脂肪后, 顺着肌纤维的方向切成 50 ± 5 g 的肉块, 随机分为 2 组, 每组 15 块。肉块用气调包装, 气体成分 $O_2:CO_2:N_2=35\%:35\%:30\%$ 。一组用低温等离子体处理, 处理条件为 72 kV, 85 s。处理结束, 样品同时置于 4 °C 贮藏, 第 0、1、4、7 和 10 d 分别抽取 3 盒测定各项指标。另一组不经低温等离子体处理, 作为对照组。

1.3.2 pH 值的测定

参照 GB 5009.237-2016《食品 pH 值的测定》的方法进行测定。

1.3.3 色差的测定

打开包装盒取出样品, 立即将样品置于光源下, 色差计经白板校准后, 测定样品的色差值 L^* (亮度值)、 a^* (红度值)、 b^* (黄度值), 每块样品测定 5 个部位, 取平均值。

1.3.4 肌红蛋白含量的测定

取 2 g 样品, 加入 20 mL 0.04 mol/L pH 6.8 的磷酸盐缓冲液, 室温下均质 25 s。置于冰浴中 1 h, 然后在 4 °C 下 $10000 \times g$ 离心 30 min, 上清液用 Whatman NO.1 滤纸过滤, 滤液定容至 25 mL。使用紫外分光光度计测定波长为 572、565、545 和 525 nm 处的吸光值, 分别记作 A_{572} 、 A_{565} 、 A_{545} 、 A_{525} 。肌红蛋白 (myoglobin, Mb) 总量与高铁肌红蛋白 (metmyoglobin, MetMb) 含量的计算公式分别如下:

$$Mb(\text{mmol/L}) = -0.166A_{572} + 0.086A_{565} + 0.088A_{545} + 0.099A_{525}$$

$$\text{MetMb}(\%) = (-2.541R_1 + 0.777R_2 + 0.800R_3 + 1.098) \times 100$$

$$\text{式中: } R_1 = A_{572}/A_{525}, R_2 = A_{565}/A_{525}, R_3 = A_{545}/A_{525}.$$

1.3.5 汁液流失率的测定

牛肉样品在包装前测定质量; 在每一测定点拆除包装, 测定吸水纸吸除表面汁液后的质量, 包装前后测定所得质量差与包装前牛肉质量的比值, 即为牛肉的汁液流失率。

1.3.6 剪切力的测定

将样品沿肌纤维平行方向切取 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 肉样, 使用肌肉嫩度仪沿肌纤维垂直方向剪切, 测定样品的剪切力值 (kg)。每个肉样剪切 5 次, 记录读数, 最终结果取 5 个测定值的平均值作为一个肉样的嫩度。

1.3.7 质构测定

采用物性测定仪应用质构剖面分析 (texture profile analysis, TPA) 模式测定样品的硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性和回复性。将样品进一步切成大小为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的肉样, 室温条件下用物性测试仪进行测定。测试前速率为 2 mm/s, 测试速率为 1 mm/s, 测试后速率为 1 mm/s, 触发力为 5 g, 样品高度为 10 mm, 压缩比 75%, 测定间隔时间为 5 s, 探头型号为 P/50。每种样品测试均重复 3 次, 结果取平均值。

1.4 数据分析

本文数据表示形式采用平均值 \pm 方差, 实验重复 3 次, 用 origin 8.5 作图, 采用 SPSS 软件进行 ANOVA 方差分析, 不同处理间差异采用 Duncan's 多重比较,

显著水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 冷藏过程中牛肉色泽与肌红蛋白含量变化

表 1 所示随着冷藏时间延长,牛肉的 L*值逐渐降低。处理组牛肉的 L*值波动范围较小,在 10 d 后依

然保持较高亮度,达到 47.84,显著高于对照组(45.47) ($p < 0.05$)。冷藏前 4 d,处理组与对照组的 L*值相近(都在 48 左右),无显著差异。处理组的表面湿润,牛肉表面的水分含量相对较高,增加对光的折射,导致牛肉 L*值上升,即增加牛肉表面亮度。贮藏 4 d 后, L*值开始下降明显,可能与牛肉汁液流失、水分含量减少有关。低温等离子体对 L*值的促进作用在培根中有报道, Kim 等^[6]人采用等离子体处理培根,发现处理后培根的 L*值显著增加。

表 1 牛肉储藏期间色差、肌红蛋白总量及高铁肌红蛋白含量的变化

Table 1 The color, myoglobin and metmyoglobin content of beef during storage

变量	处理	贮藏天数/d				
		0	1	4	7	10
L*值	对照组	46.52±0.33 ^{AB}	48.85±0.37 ^{AA}	48.08±0.32 ^{AA}	46.25±0.20 ^{BB}	45.47±0.17 ^{BC}
L*value	处理组	46.52±0.33 ^{AD}	48.58±0.18 ^{AA}	48.24±0.22 ^{AA}	47.18±0.24 ^{AC}	47.78±0.13 ^{AB}
a*值	对照组	20.36±0.14 ^{AD}	23.18±0.09 ^{AB}	24.12±0.04 ^{AA}	22.99±0.13 ^{AB}	21.98±0.12 ^{AC}
a* value	处理组	20.36±0.14 ^{AD}	20.96±0.12 ^{BC}	22.91±0.11 ^{BA}	21.45±0.06 ^{BB}	19.03±0.18 ^{BE}
b*值	对照组	11.70±0.03 ^{AD}	12.26±0.08 ^{BC}	12.89±0.14 ^{BB}	13.13±0.07 ^{BB}	13.59±0.21 ^{BA}
b* value	处理组	11.70±0.03 ^{AE}	12.51±0.07 ^{AD}	13.53±0.15 ^{AC}	13.96±0.32 ^{AB}	14.43±0.16 ^{AA}
肌红蛋白总量/%	对照组	3.85±0.02 ^{AA}	3.79±0.12 ^{AA}	3.62±0.01 ^{BB}	3.39±0.07 ^{AC}	3.21±0.10 ^{BD}
	处理组	3.85±0.02 ^{AA}	3.83±0.05 ^{BA}	3.68±0.04 ^{AB}	3.49±0.13 ^{AC}	3.30±0.04 ^{AD}
高铁肌红蛋白 / (mol/ml/L)	对照组	13.94±0.11 ^{AC}	12.38±0.26 ^{BD}	13.79±0.18 ^{BC}	20.48±0.21 ^{BB}	27.50±0.15 ^{BA}
	处理组	13.94±0.11 ^{AE}	18.03±0.07 ^{AD}	19.23±0.63 ^{AC}	22.85±0.09 ^{AB}	30.98±0.33 ^{AA}

注:同行大写字母不同者差异显著 ($p < 0.05$); 同列小写字母不同者差异显著 ($p < 0.05$)。

表 1 显示随着贮藏时间延长,牛肉样品的 a*值呈先升高后降低的趋势,在第 4 d 达到最高值。处理组的 a*值在第 4 d 时达到 22.91 低于对照组 (24.12),冷藏过程中处理组牛肉的 a*始终低于对照组,说明低温等离子体处理促进牛肉 a*值降低。贮藏初期,牛肉中的肌红蛋白主要为不稳定的鲜红色氧合肌红蛋白,牛肉整体颜色发亮、发红。

随着贮藏时间延长,处理组牛肉的肌红蛋白总量显著降低 ($p < 0.05$),而 MetMb 含量呈显著增加趋势 ($p < 0.05$),处理组的 MetMb 含量显著高于对照组 ($p < 0.05$),低温等离子体处理促进 MetMb 含量的升高,可能是等离子体中部分活性物质与氧合肌红蛋白发生氧化反应,破坏高铁肌红蛋白还原酶系统,引起 MetMb 不能及时被还原而含量增加,导致牛肉 a*值下降^[7]。

牛肉 b*值随着贮藏时间延长呈显著增加 ($p < 0.05$),处理组 b*值第 10 d 时高达 14.43,显著高于对照组 (13.59) ($p < 0.05$),说明经低温等离子体处理后牛肉表面有变黄趋势。

综上所述,在一定贮藏时间内,低温等离子体杀菌处理能使鲜牛肉保持较好的亮度 (L*值),同时红

度 (a*值) 下降,对牛肉的红色具有不利影响。

2.2 冷藏期间牛肉 pH 值变化

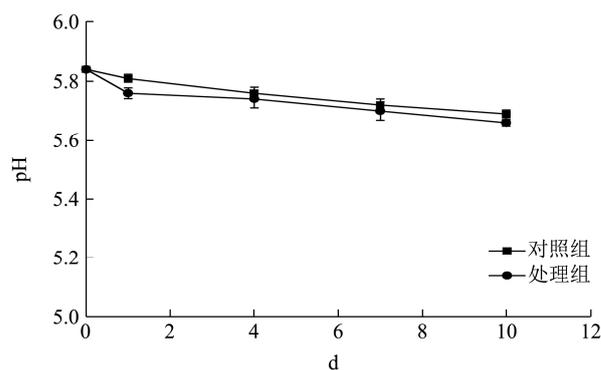


图 1 牛肉储藏期间 pH 值的变化

Fig.1 The changes of pH values of beef during storage

图 1 在冷藏过程中牛肉的 pH 值波动范围不大,对照组与处理组的 pH 值比较接近且变化趋势一致,处理组牛肉的 pH 值一直略低于对照组。冷藏过程中,牛肉的 pH 变化原因有多种,一种可能的原因是:低温等离子体处理过程中产生含氧、含氮活性基团,这些活性基团与牛肉中的水分反应,形成酸性基团,使牛肉酸性增强;同时,由于等离子体中活性自由基的

直接杀灭以及低 pH 的抑制反馈作用, 致使微生物生长缓慢, 其分解蛋白质产生的碱性成分降低, 导致牛肉的 pH 始终保持在较低的水平^[7]。

另外, pH 值变化可以在一定程度上反应微生物生长繁殖状态。通常在贮藏初期, 由于糖元的分解产生大量乳酸, 乳酸使 pH 值降低。随着贮藏时间延长, 牛肉中的微生物开始大量繁殖, 微生物生长繁殖过程中分解营养成分产生碱性物质, 生成一些碱性的含氮化合物, 如生物胺等, 这些化合物会引起 pH 值升高。低温等离子体处理能抑制牛肉表面微生物生长, 减少肉中蛋白质成分被分解, 阻碍碱性化合物的生成, 从而抑制 pH 升高, 最终表现为处理组 pH 值低于对照组。

2.3 冷藏期间牛肉保水性变化

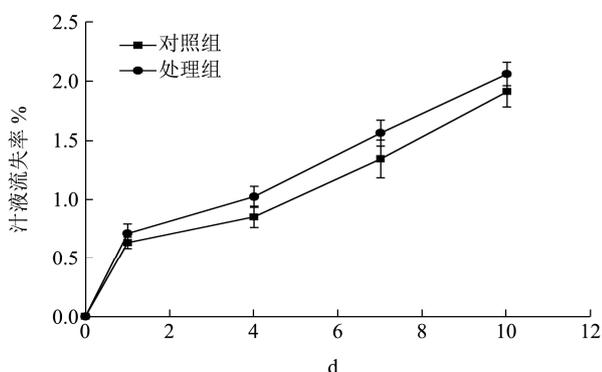


图2 牛肉冷藏期间汁液流失率的变化

Fig.2 The change of drip loss of beef during storage

保水性是评价牛肉品质的一项重要指标, 保水性降低会影响牛肉的外观, 也会造成营养物质流失。图2所示随着冷藏时间延长, 牛肉的汁液流失率呈上升趋势, 10 d 后处理组和未处理组分别达到 1.88% 和 2.05%。汁液流失率增加可能与冷藏过程中随着微生物生长蛋白质被分解, 导致肌肉纤维组织结构松散, 网络结合力减弱, 水分状态发生变化, 自由水增多并向细胞外扩散有关。低温等离子体对保水性影响微弱, 可能是低温等离子体处理引起肌原纤维结构改变, 或者处理过程中产生带电的粒子、基团, 促进了牛肉结合水分子的能力。

上述结果表明低温等离子体处理对牛肉的保水性负面影响不大, 低温等离子体作为冷杀菌处理技术对牛肉的保水性影响微弱, 优于超高压和热处理技术。超高压和加热法处理真空包装牛肉, 结果显示在贮藏期间, 牛肉的保水性严重下降, 重量损失严重^[8]。

2.4 冷藏期间牛肉剪切力变化

牛肉嫩度是评价可食用程度的重要指标, 剪切力越小, 表明牛肉越嫩。图3可知, 随着冷藏时间延长,

处理组和非处理组牛肉剪切力呈现不同变化趋势。非处理组剪切力显著升高可能是由于 O_2 促进蛋白质间形成二硫键并且抑制蛋白降解, 造成嫩度下降。处理组牛肉剪切力第1 d 和第10 d 时分别比对照组降低了 6.76% 和 13.48%。牛肉嫩度与含水量呈正相关, 这与前面等离子体处理减少汁液流失率, 提高保水性的结果一致。低温等离子体激发形成的部分活性成分能与肌原纤维蛋白反应, 引起肌原纤维变性或降解, 在一定程度上改善牛肉嫩度。

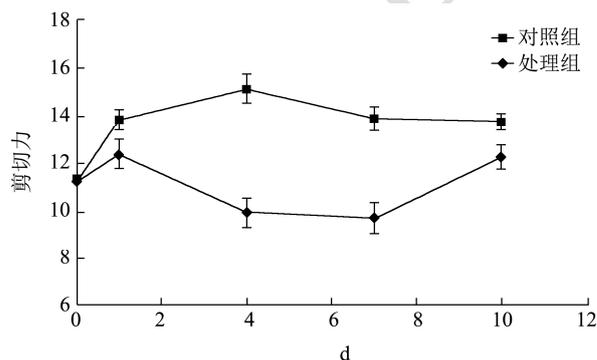


图3 牛肉贮藏期间剪切力的变化

Fig.3 The change of shear force of beef during storage

2.5 冷藏期间牛肉质构变化

牛肉冷藏期间质构变化见表2, 随着贮藏时间延长, 牛肉的硬度值显著降低 ($p < 0.05$)。整个贮藏期内, 处理组的牛肉硬度值显著低于对照组 ($p < 0.05$), 10 d 后硬度值降至 1655.73, 比对照组降低了 4.78%; 各处理组牛肉的弹性呈升高趋势, 处理组与对照组间的弹性值差异不显著; 内聚性随着贮藏时间延长呈增加趋势, 处理组的内聚性与对照组无明显区别; 处理组与对照组牛肉的胶黏性以及咀嚼性都呈下降趋势, 在第10 d 时, 等离子体处理组样品的胶黏性和咀嚼性比未处理组分别降低了 2.97% 和 6.13%。贮藏期内, 处理组的胶黏性及咀嚼性的数值始终显著低于对照组, 处理组和对照组牛肉的回复性贮藏时间延长呈显著下降 ($p < 0.05$), 处理组的回复性数值低于对照组, 但差异不显著。

传统的高温高压杀菌处理对肉的质构具有明显负面影响, 引起肉的弹性、黏聚性、回复性、咀嚼性和硬度等降低。赵冰等^[9]认为高温高压杀菌处理严重破坏了肌肉纤维和肌肉组织的内部结构, 从而导致肉的质构下降。而低温等离子体处理能够提高牛肉嫩度, 增强弹性, 降低胶黏性和咀嚼性, 对牛肉的胶黏性、咀嚼性和硬度影响相对较大, 对其它质构参数影响不大。低温等离子体处理能降低牛肉的胶黏性、咀嚼性、硬度、弹性、内聚性和回复性等质构参数, 从而提高

了牛肉的嫩度,改善口感。与热源性杀菌相比较,低温等离子体维持牛肉良好质构,因此,低温等离子

体在鲜牛肉的非热源性杀菌应用方面具有良好的开发前景。

表2 牛肉储藏期间质构变化

Table 2 The change of texture of beef during storage

变量 Variable	处理 Treatment	贮藏天数/d Storage days				
		0	1	4	7	10
硬度	对照组	2826.33±107 ^B	2818.35±95 ^{aA}	2743.94±53 ^{aB}	2183.55±47 ^{aC}	1738.80±42 ^{aD}
Hardness/N	处理组	2826.33±107 ^A	2409.68±63 ^{bB}	2084.25±76 ^{cC}	1844.31±39 ^{bD}	1655.73±59 ^{bE}
弹性	对照组	0.64±0.003 ^C	0.63±0.005 ^{aC}	0.62±0.008 ^{aC}	0.69±0.004 ^{aB}	0.71±0.012 ^{aA}
Springiness/mm	处理组	0.64±0.003 ^B	0.65±0.009 ^{aB}	0.65±0.007 ^{aB}	0.68±0.006 ^{aA}	0.68±0.008 ^{aA}
内聚性	对照组	0.65±0.007 ^C	0.66±0.006 ^{aC}	0.67±0.010 ^{aB}	0.67±0.012 ^{aB}	0.69±0.004 ^{aA}
Cohesiveness	处理组	0.65±0.007 ^C	0.66±0.004 ^{aB}	0.67±0.003 ^{aB}	0.67±0.009 ^{aB}	0.70±0.007 ^{aA}
胶黏性	对照组	1837.11±67 ^B	1840.31±33 ^{aA}	1846.67±92 ^{aB}	1467.35±68 ^{aC}	1192.82±59 ^{aD}
Gumminess/N	处理组	1837.11±67 ^A	1718.10±86 ^{bA}	1404.79±61 ^{cB}	1237.53±40 ^{bC}	1157.35±55 ^{aD}
咀嚼性	对照组	1175.74±59 ^B	1168.35±22 ^{aA}	1144.94±51 ^{aB}	1005.13±46 ^{aC}	842.13±38 ^{aD}
Chewiness/mJ	处理组	1175.74±59 ^A	1123.64±26 ^{bA}	915.92±19 ^{bB}	842.76±42 ^{bC}	790.47±47 ^{aC}
回复性	对照组	0.32±0.005 ^A	0.32±0.002 ^{aA}	0.31±0.003 ^{aB}	0.29±0.002 ^{aC}	0.29±0.003 ^{aC}
Resilience/mm	处理组	0.32±0.005 ^B	0.31±0.003 ^{bA}	0.30±0.002 ^{aB}	0.29±0.004 ^{aB}	0.27±0.002 ^{bC}

注:同行大写字母不同者差异显著 ($p<0.05$); 同列小写字母不同者差异显著 ($p<0.05$)。

2.6 品质指标的相关性分析

牛肉感官品质可从多个方面评价,包括 pH、色差值、肌红蛋白含量、汁液流失率、剪切力、硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等。剪切力、硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等参数是评价肉口感质量的重要指标,与肉的水分含量及肌原纤维状态相关。硬度可较好地反映牛肉的嫩度,硬度值越高说明牛肉嫩度越差;弹性反映牛肉受外力作用时的形变及撤力后的恢复能力,牛肉越嫩其弹性就越好;胶黏性数值上等于硬度与内聚性的乘积,咀嚼性数值上等于硬度、弹性与内聚性的乘积,内聚性反映牛肉内部键力对咀嚼抵抗性的大小,内聚性越高,牛肉的口感越细腻,其变化趋势与弹性相一致。用 SPSS 软件对牛肉冷藏期间的色差、保水性及质构等指标间的相关性进行分析,结果见表 3。

L^* 值与汁液流失率呈极显著负相关 ($p<0.01$),相关性系数为-0.894;肌红蛋白总量与汁液流失率呈极显著负相关 ($p<0.01$),相关性系数为-0.855,其与高铁肌红蛋白含量呈显著负相关 ($P<0.05$)。

肉色是影响消费者选购新鲜肉的重要因素,肉色主要与肉中的肌红蛋白有关。当肌红蛋白总量降低时,牛肉色会变暗。当肌肉中氧气含量较少时,肌红蛋白会与水分子结合,呈暗红色;当肉再次与氧气接触时,

会生成鲜红色的氧合肌红蛋白,即消费者较喜欢的颜色;如果氧气接触时间过长,则会生成高铁肌红蛋白,肉色呈褐色,品质开始下降^[10],影响消费者的消费态度。汁液流失率是评价鲜肉保水性的重要指标,其与肉中蛋白质结构有关,如果蛋白质结构遭到破坏将会导致肌肉中水分存储空间减小,致使保水性能下降^[11]。汁液流失率越高,牛肉的保水性越差,引起表面失去明亮色泽,同时会造成部分营养成分损失。而赵菲等^[12]采用气调包装牛羊肉并在冰温下贮藏,发现随着储藏时间延长,肉的汁液流失率逐渐增加,色泽 a^* 值逐渐降低。本研究中低温等离子体处理对牛肉保水性无显著影响,而汁液流失率下降能适度提高牛肉贮藏期内的嫩度。

肌红蛋白总量与牛肉的硬度、胶黏性和咀嚼性有极显著正相关性 ($p<0.01$),相关性系数分别是 0.867、0.878 和 0.837;硬度与弹性呈极显著负相关性,与胶黏性和咀嚼性呈极显著正相关 ($p<0.01$),相关性系数分别为 0.986 和 0.943。

研究显示,水分含量在一定范围内降低时,导致肉的剪切力、硬度、内聚性和咀嚼性等增加,而超出一定范围,则会下降^[13]。路立立等^[14]研究气调包装中猪肉品质变化,发现猪肉保水性差造成剪切力增大、嫩度降低。此现象与本研究结果一致,低温等离子体处理使牛肉汁液流失率和剪切力降低,嫩度相对增加。

表3 牛肉冷藏期间品质参数相关性分析

Table 3 Correlation analysis of beef sensory quality during refrigerator storage

项目	L*	a*	b*	高铁肌红蛋白	肌红蛋白总量	汁液流失	剪切力	硬度	弹性	内聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性
L*	1.000	0.293	-0.067	-0.457	0.645*	-0.894**	0.196	0.360	-0.405	0.155	0.425	0.403	0.341
a*		1.000	0.120	-0.590	0.348	-0.215	0.641*	0.426	-0.108	-0.212	0.436	0.482	-0.173
b*			1.000	0.185	-0.425	0.262	0.142	-0.168	0.286	0.007	-0.186	-0.139	-0.272
高铁肌红蛋白				1.000	-0.808**	0.645*	-0.543	-0.841**	0.701*	0.477	-0.841**	-0.804**	0.079
肌红蛋白总量					1.000	-0.855**	0.317	0.867**	-0.723*	-0.382	0.878**	0.837**	0.056
汁液流失						1.000	-0.265	-0.611*	0.594	0.075	-0.655*	-0.619*	-0.304
剪切力							1.000	0.593	-0.315	-0.138	0.623*	0.635*	0.153
硬度								1.000	-0.766**	-0.568	0.986**	0.943**	-0.100
弹性									1.000	0.631*	-0.717*	-0.556	0.141
内聚性										1.000	-0.425	-0.303	0.795**
胶黏性											1.000	0.977**	0.050
咀嚼性												1.000	0.117
回复性													1.000

注: *表示差异显著 ($p < 0.05$), **表示差异极显著 ($p < 0.01$)。

3 结论

牛肉经低温等离子体处理后在 10 d 冷藏过程中 pH 无显著变化且相对稳定, b*值持续升高至 14.43, a*值呈先升高后降低趋势, 在第 4 d 达到最高值 22.91, 汁液流失率仅为 1.88%, 剪切力呈下降趋势, 10 d 后降低了 13.48%, 同时硬度也呈现下降趋势, 而弹性未发生明显变化。说明低温等离子体处理对牛肉的色泽有一定负面影响, 而对汁液流失率影响作用不明显, 对维持牛肉的剪切力、增强嫩度、提高弹性、降低牛肉的胶黏性与咀嚼性有良好作用。低温等离子体处理对牛肉品质无显著不良影响, 在牛肉冷杀菌应用领域具有潜在发展前景。

参考文献

- [1] Zakrys P I, O'Sullivan M G, Allen P, et al. Consumer acceptability and physicochemical characteristics of modified atmosphere packed beef steaks [J]. Meat Science, 2009, 81(4): 720-725
- [2] Omer M K, Prieto B, Rendueles E, et al. Microbiological, physicochemical and sensory parameters of dry fermented sausages manufactured with high hydrostatic pressure processed raw meat [J]. Meat Science, 2015, 108: 115-119
- [3] Wang, J., Zhuang, H., Hinton Jr. A., et al. Influence of in-package cold plasma treatment on microbiological shelf life and appearance of fresh chicken breast fillets [J]. Food Microbiology, 2016, 60: 142-146
- [4] 乔维维, 黄明明, 王佳媚, 等. 低温等离子体对生鲜牛肉杀菌效果及色泽的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 237-242
- [5] QIAO Wei-wei, HUANG Ming-ming, WANG Jia-mei, et al. Effect of cold plasma on sterilization and color of fresh beef [J]. Food Science, 2017, 38(23): 237-242
- [6] Reid, R., Fanning, S., Whyte, P., et al. The microbiology of beef carcasses and primals during chilling and commercial storage [J]. Food Microbiology, 2017, 61: 50-57
- [7] Kim, B., Yun, H., Jung, S., et al. Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions [J]. Food Microbiology, 2011, 28(1), 9-13
- [8] 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 & Polymers, 2010, 7(1), 33-42
- [9] 朱迎春, 李茜, 马佩珍, 等. 不同包装方式和贮藏温度对牛肉保水性的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(22), 15-19
- [10] ZHU Ying-chun, LI Qian, MA Li-zhen, et al. Effect of packaging methods and storage temperature on the water holding capacity of beef [J]. Food Research and Development, 2016, 37(22): 15-19
- [11] 赵冰, 任琳, 张春江, 等. 不同杀菌方式对熏肉的影响[J]. 肉类研究, 2012, 10: 13-17.
- [12] ZHAO Bing, REN Lin, ZHANG Chun-jiang, et al. Effect of different sterilization methods on smoked meat [J]. Meat Research, 2012, 10: 13-17
- [13] An K-A, Arshad M S, Jo Y, et al. E-beam irradiation for improving the microbiological quality of smoked duck meat

- with minimum effects on physicochemical properties during storage [J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(4): 865-872
- [11] Florek M, Drozd L, Skalecki P, et al. Proximate composition and physicochemical properties of European beaver (*Castor fiber L.*) meat [J]. *Meat Science*, 2017, 123: 8-12
- [12] 赵菲,荆红彭,伍新龄,等.不同气调包装结合冰温贮藏对羊肉保鲜效果的影响[J]. *食品科学*,2015,14:232-237
ZHAO Fei, JING Hong-peng, WU Xin-ling, et al. Effect of modified atmosphere packaging in combination with ice-temperature on quality of mutton during storage [J]. *Food Science*. 2015, 14: 232-237
- [13] 李茂华,董建国,潘润淑,等.高压处理对牛肉肠质构及微观结构的影响[J]. *食品研究与开发*,2016,37(7):9-12
LI Mao-hua, DONG Jian-guo, PAN Run-shu, et al. Effects of high pressure treatment on the texture and microstructure of beef sausage [J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(7): 9-12
- [14] 路立立,胡宏海,张春江,等.气调包装中氧气含量对冷鲜猪肉品质的影响[J]. *食品与发酵工业*,2015,41(7):215-219
LU Li-li, HU Hong-hai, ZHANG Chun-jiang, et al. Effect of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on the quality of fresh pork meat [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(7): 215-219