

超高压辅助酶法嫩化对鹅肉贮藏期品质的影响

曲瑞鹏^{1,2}, 林奕云³, 张惠朋^{1,2}, 唐道邦², 刘学铭², 王治同^{1*}, 林耀盛^{2*}

(1. 吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林长春 130118) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)
(3. 广东省农业科学院农业质量标准与监测技术研究所, 农业农村部农产品质量安全检测与评价重点实验室, 广东广州 510640)

摘要: 该研究以狮头鹅为原料, 以未处理鹅肉为对照组 (CK), 木瓜蛋白酶 (Papain, E)、静态超高压 (High Hydrostatic Pressure, HHP)、静态超高压 (HHP) 联合木瓜蛋白酶 (E)-HHP+E 处理的鹅肉为对照组, 不同处理鹅肉在 4 °C 贮藏条件下, 贮藏期内的色泽、pH 值、蒸煮损失率、嫩度、脂质氧化 (TBARS)、总挥发性盐基氮含量 (Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)、菌落总数的品质特性进行分析。结果表明, 与 CK 对照比较, 在 0~12 d 的贮藏期, 300 MPa 条件下鹅肉的 *a**、*b** 值变化规律与空白对照组相同, *L** 值随贮藏时间的延长逐渐接近空白对照组; HHP+E 处理的鹅肉的剪切力明显低于其他三组, pH 值的变化与空白对比, 变化趋势基本相同, 证明了 HHP+E 处理保持鹅肉良好的嫩度作用且处在可接受的范围内。经 HHP 处理促进 TBARS 值的升高, 而 HHP+E 处理有效缓解了这种脂质氧化升高趋势。综上所述, 在 4 °C 贮藏条件下, 经 300 MPa-15 min 辅助酶法技术处理条件下贮藏 12 d 后, TBARS 的值为 0.35 mg/kg、TVB-N 的值为 9.18 mg/100 g、微生物菌落总数为 6.47 lg CFU/g, 符合鲜肉的一般建议标准。因此, 超高压辅助酶法嫩化处理不仅改善鹅肉嫩度, 同时有利于提高鹅肉贮藏过程中的品质, 为鹅肉的现代化加工和保鲜技术提供参考。

关键词: 超高压; 木瓜蛋白酶; 嫩化; 鹅肉; 贮藏品质

文章编号: 1673-9078(2025)02-167-174

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.2.1499

Effects of High Hydrostatic Pressure-assisted Enzymatic Tenderization on the Quality of Goose Meat during Storage

QU Ruipeng^{1,2}, LIN Yiyun³, ZHANG Huipeng^{1,2}, TANG Daobang², LIU Xueming², WANG Zhitong^{1*}, LIN Yaosheng^{2*}

(1. College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

(2. Sericultural and Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Food, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510610, China)

(3. Institute of Quality Standard and Monitoring Technology for Agro-products of Guangdong Academy of

引文格式:

曲瑞鹏, 林奕云, 张惠朋, 等. 超高压辅助酶法嫩化对鹅肉贮藏期品质的影响[J]. 现代食品科技, 2025, 41(2): 167-174.

QU Ruipeng, LIN Yiyun, ZHANG Huipeng, et al. Effects of high hydrostatic pressure-assisted enzymatic tenderization on the quality of goose meat during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(2): 167-174.

收稿日期: 2023-12-17

基金项目: 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目 (2023KJ117; 2024KJ117); 广东省基础与应用基础研究基金项目 (2019B1515210018), 博罗县预制菜产业园新产品研发及关键技术研究服务项目 (2023003), 揭阳市科技计划项目 (Dzxny010)

作者简介: 曲瑞鹏 (1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 畜禽加工, E-mail: 1138907191@qq.com;

通讯作者: 王治同 (1974-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 632483553@qq.com; 共同通讯作者: 林耀盛 (1985-),

男, 博士研究生, 副研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: liny.s163@163.com

Agricultural Sciences, Key Laboratory of Testing and Evaluation for Agro-product Safety and Quality, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Untreated lionhead goose meat was used as the control group (CK), whereas three experimental groups were formed by treating lionhead goose meat with papain (E), conducting high hydrostatic pressure (HHP) treatment, and combining HHP and E treatments (HHP+E). The quality characteristics of goose meat subjected to different treatments during the storage period (at 4 °C) were analyzed. The color, pH, cooking loss rate, tenderness, lipid oxidation (thiobarbituric acid reactive substances [TBARS] value), total volatile basic nitrogen (TVB-N) content, and total number of colonies, were determined. The results showed that during the storage period of 0-12 days, the a^* and b^* value changes of goose meat under 300 MPa were similar to those of the CK group, and the L^* value gradually approached that of the CK as the storage duration increased. The shear force of goose meat treated with HHP+E was significantly lower than that of the other three groups, and changes in the pH of the HHP+E were similar to those of the CK group. These results confirmed that HHP+E treatment maintained the texture of goose meat within the acceptable range. HHP treatment promoted an increase in the TBARS value, whereas increased lipid oxidation was alleviated by HHP+E. In summary, after 12 days of storage at 4 °C, for goose meat subjected to HHP+E treatment (300 MP/15 min), the TBARS value was 0.35 mg/kg, TVB-N content was 9.18 mg/100 g, and total number of microbial colonies was 6.47 lg CFU/g. These values are consistent with the general recommended standards for fresh meat. Therefore, HHP+E tenderization treatment not only improves the tenderness of goose meat but also contributes to the enhanced quality of goose meat during storage. These findings provide a reference for the modern processing and preservation technology of goose meat.

Key words: high hydrostatic pressure; papain; tenderization; goose meat; storage quality

鹅肉所含的营养成分丰富, 其以高蛋白、低脂肪、高不饱和脂肪酸及其独特风味等优势深受消费者喜爱^[1]。我国是鹅肉消费和生产大国, 占世界饲养量的 90% 以上, 位居世界首位^[2]。但与鸭和鸡等其他家禽类相比, 狮头鹅的养殖周期较长, 特别是狮头鹅老龄鹅养殖时间一般 2~3 年以上的肉质具有肌肉纤维粗糙、嫩度差、肉质致密等特点, 屠宰后鹅肉储藏加工过程存在色泽、蒸煮损失率、脂质氧化、新鲜度以及菌落总数的变化等问题, 限制了鹅肉的食用品质和商品价值。因此, 如何有效改善鹅肉嫩度及保持贮藏期的品质成为鹅肉高值化利用的关键, 对鹅肉产业的整体发展意义重大。

目前酶法嫩化作为一种常见的生物嫩化方法被广泛应用, 其可以影响肉制品的嫩度, 并有助于提高肉制品的消化率^[3,4]。木瓜蛋白酶是一种天然的蛋白质分解酶, 不仅可以破坏结缔组织, 在适当的浓度下还可以温和而安全地改变肌肉的蛋白质结构^[5]。目前注射法和浸泡法作为常用方法应用于肉类腌制与嫩化中。相比之下, 浸泡法更为常用, 但也有一些不可忽视的缺点, 如浸泡法需要相对较长的时间才能达到良好的整体嫩化效果, 而且难以实现肉的内部嫩化^[6]。为了在不影响肉制品质量的前提下达到更好的嫩化及保鲜效果, 需要开发一种新型高效的非破坏性加工技术。

超高压 (HHP) 是一种非热加工技术, 最初

作为杀菌技术应用在食品领域。研究人员发现, 在肉制品加工过程中, 超高压技术通过改善肌肉蛋白的性质, 使肌肉的宏观品质发生改变且不会对食品的营养、功能等特性造成影响, 因此被应用在食品加工的其他领域^[7,8]。同时, 超高压处理还可以免除宰杀后的冷却步骤, 从而降低能量损失^[9]。Chan 等^[10]发现使用高压加工 (200 MPa, 5min) 提高了火鸡肉的持水能力, 并改善了其质地; Marciniak 等^[11]认为超高压可以有效地增强蛋白酶活性, 超高压体系的菌落总数始终低于非超高压体系, 这是由于超高压具有一定的杀菌作用, 同时蛋白酶促进产生了更多了抗氧化水解产物, 从而保证了贮藏后期菌落总数的优势。

目前关于物理技术联合生物酶法对鸡肉^[12], 鸭肉^[13], 鱼肉^[14]品质优化开展相关研究; Yang 等^[15]的研究表明, 高压可促进氢键的结合; 本课题组 Zhang 等^[16]研究, 发现 α -helix 比率较低, 这可能是由于 HHP 增强木瓜蛋白酶活性, 这使得使得破坏氢键的能力大于促进氢键结合的能力, 而压力造成了 α -helix 含量下降的结果, 所以超高压处理可以增强酶的活性作用。而关于超高压辅助木瓜蛋白酶对贮藏过程中的品质影响方面的研究却鲜有报道, 对鹅肉嫩化及贮藏过程品质变化的相关机制仍不明确。因此本文以生鲜鹅肉为研究对象, 探索不同处理技术对鹅肉在贮藏期 (0、3、6、9、12 d) 的色泽、

pH值、蒸煮损失率、嫩度、TBARS、TVB-N、菌落总数等品质指标变化规律的影响, 以期为鹅肉的现代化加工和保质保鲜提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

狮头鹅6只购自广东省佛山市本地养殖场, 均为公鹅, 以相同饲养条件喂养, 达到6月龄后进行宰杀。屠宰后从胴体上取下胸肉, 腿肉, 尽可能去除筋膜, 结缔组织和脂肪组织, 4℃成熟24h后真空包装, 于-20℃保存, 实验前于4℃解冻24h。

主要试剂: 木瓜蛋白酶(2000 U/mg), 上海生物工程技术有限公司; 平板计数培养基022070, 广州环凯微生物科技有限公司; 硼酸、甲基红, 天津福晨化学试剂有限公司; 盐酸, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 碳酸钾, 广州化学试剂厂; 溴甲酚绿, 天津天新精细化工开发中心; 无水乙醇, 天津富宇精细化工有限公司; 三氯乙酸, 天津市大茂化学试剂厂。以上试剂皆为分析纯。

1.2 仪器与设备

OZ-500真空包装机, 深圳远大智能机械有限公司; SHPP-57DZM-600超高压, 山西三水河科技有限公司; TGL-16M冷冻离心机, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; Ultra Scan VISX全自动色差仪, 美国HunterLab公司; T25D匀浆机, 德国IKA集团; UV-1800紫外分光光度计, 岛津仪器(苏州)有限公司; C-LM4数显式肌肉嫩度测定仪, 北京天翔飞域科技有限公司; MV-100涡旋振荡器, 武汉塞维尔生物科技有限公司; PB-10台式pH计, 北京赛多利斯科学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

将鹅肉分为四组: 空白组(CK)、酶法对照组(E)、超高压对照组(HHP)、超高压辅助酶试验组(HHP+E), 通过本课题组Zhang等^[16]前期研究确定超高压辅助酶法嫩化鹅肉的最佳工艺: 在300 MPa下保压15 min作为超高压处理条件, 贮藏库温度为4℃, 贮藏时间12 d, 每个处理3袋, 每隔3 d取样一次, 测定鹅肉的品质指标。

CK组: 静置15 min后转移至无菌密封袋保存。

E组: 在木瓜蛋白酶溶液中浸泡15 min进行嫩化, 嫩化结束后用无菌水冲洗以去除表面残酶, 最

后转移至无菌密封袋保存。

HHP组: 真空包装后放入超高压设备, 超高压结束后转移至无菌袋密封保存。

HHP+E组: 将鹅肉与木瓜蛋白酶溶液放入真空包装袋中, 以一定条件下进行超高压处理, 超高压结束后用无菌水冲洗去除残酶, 最后转移至无菌密封袋保存。

1.3.2 色泽

色泽的测定参考Botinestean等^[17]的方法, 使用UltraScan VIS色差仪对不同条件处理鹅胸肉的色泽进行测定, 记录其 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.3.3 蒸煮损失率

蒸煮损失率的测定参考Shang等^[18]的方法, 略有修改。将样品放入蒸煮袋中, 在沸水中蒸煮保持5 min, 并用自来水冷却至室温, 用滤纸除去样品表面多余的水。蒸煮损失率通过蒸煮前后的质量差来计算。

$$A = \frac{M-N}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

A —蒸煮损失率, %;

M —鹅肉蒸煮前质量, g;

N —鹅肉蒸煮后质量, g。

1.3.4 剪切力

将样品置于蒸煮袋中, 在85℃水浴中煮至中心温度达到75℃后取出, 冷却至室温, 用吸水纸擦干表面水分。使用圆形取样器平行于肌纤维方向取样, 长度不低于25 mm, 使用肌肉嫩度仪测定剪切力, 每组至少测定三次。

1.3.5 pH

pH的测定参考Zou等^[19]的方法略有修改, 以质量比1:9将生鹅肉与蒸馏水混合均质后, 使用pH计测定。

1.3.6 TBARS

参考Gurunathan等^[20]的方法。取约2.5 g样品加入12.5 mL蒸馏水匀浆1 min, 加入约12.5 mL 10 wt.%三氯乙酸(TCA), 将混合物涡旋1 min, 然后通过中速滤纸过滤, 在试管中收集4 mL滤液, 并加入1 mL 0.06 mol/L 硫代巴比妥酸(TBA)。将试管在80℃水浴中孵育90 min, 使用UV-VIS分光光度计在532 nm处记录吸光度, 将2 mL蒸馏水+2 mL 10 wt.% TCA+1 mL 0.06 mol/L TBA设为空白, 吸光度结果即为TBARS[mg丙二醛(MDA)/kg]。

表 1 超高压辅助酶法处理下鹅肉贮藏期色泽的变化

Table 1 Changes in color of goose meat during storage under HHP assisted enzymatic treatment

处理方式	贮藏时间/d					
	0	3	6	9	12	
<i>L</i> *	CK	43.49 ± 2.11 ^{Bc}	41.55 ± 1.23 ^{BCc}	40.93 ± 0.27 ^{Cc}	48.76 ± 0.23 ^{Ac}	49.26 ± 0.62 ^{Ab}
	E	45.23 ± 1.97 ^{Ac}	42.25 ± 2.31 ^{Bc}	40.18 ± 0.54 ^{Bc}	44.93 ± 0.53 ^{Ad}	45.06 ± 0.23 ^{Ac}
	HHP	53.68 ± 1.89 ^{Ab}	47.73 ± 2.13 ^{Bb}	55.12 ± 1.86 ^{Ab}	55.69 ± 2.53 ^{Aa}	54.21 ± 2.03 ^{Aa}
	HHP+E	57.89 ± 1.77 ^{Aa}	55.12 ± 2.06 ^{Ba}	58.77 ± 0.44 ^{Aa}	52.39 ± 0.15 ^{Cb}	51.26 ± 1.11 ^{Cb}
	CK	9.93 ± 0.52 ^{Aa}	9.43 ± 0.71 ^{ABab}	8.19 ± 1.23 ^{Ba}	6.89 ± 0.11 ^{Cc}	6.39 ± 0.37 ^{Cb}
<i>a</i> *	E	9.37 ± 0.25 ^{Aa}	8.55 ± 0.74 ^{ABb}	7.02 ± 0.51 ^{CDb}	7.97 ± 0.79 ^{BCab}	6.70 ± 0.78 ^{Dab}
	HHP	9.28 ± 1.01 ^{Ba}	10.52 ± 0.66 ^{Aa}	8.26 ± 0.66 ^{BCa}	8.67 ± 0.42 ^{BCa}	7.56 ± 0.49 ^{Ca}
	HHP+E	9.50 ± 0.49 ^{Aa}	9.99 ± 0.23 ^{ABab}	6.68 ± 0.45 ^{Cb}	7.42 ± 0.21 ^{Bbc}	6.17 ± 0.17 ^{Cb}
	CK	9.77 ± 1.27 ^{Abc}	10.60 ± 0.86 ^{Ab}	10.25 ± 1.36 ^{Abc}	10.02 ± 2.04 ^{Ac}	11.28 ± 0.32 ^{Ac}
	E	8.48 ± 1.35 ^{BCc}	10.27 ± 0.38 ^{ABb}	8.00 ± 0.75 ^{Cc}	11.47 ± 1.59 ^{Abc}	11.28 ± 0.60 ^{Ac}
<i>b</i> *	HHP	11.18 ± 1.11 ^{Bb}	14.03 ± 0.70 ^{Aa}	11.57 ± 1.69 ^{Bb}	12.80 ± 0.45 ^{ABab}	12.07 ± 0.26 ^{Bb}
	HHP+E	14.66 ± 0.64 ^{ABCa}	13.77 ± 0.36 ^{Ca}	16.05 ± 1.26 ^{Aa}	14.44 ± 0.95 ^{BCa}	15.49 ± 0.04 ^{ABa}

注: A~D 代表不同行的差异性, a~c 代表不同列的差异性 ($P < 0.05$)。CK: 空白组; E: 酶法对照组; HHP: 超高压对照组; HHP+E: 超高压辅助酶试验组。

1.3.7 TVB-N

参照《GB 5009.228-2016 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的第二法自动凯氏定氮仪法进行测定。称取 5.0 g 加入 100 mL 水置于 250 mL 三角瓶中, 震荡 40 min, 过滤, 得到过滤液, 按照粗蛋白蒸馏操作, 并加入的碱为氧化镁溶液 (10 g/L、1 wt.%) 6 mL, 然后用 HCl 溶液滴定, 滴定终点为灰红色。结果以挥发性盐基氮 (TVB-N) (mg) 表示。

1.3.8 菌落总数

参考 Zhang 等^[21]的方法, 平板计数琼脂 (PCA) 用于使用倾注平板法测量菌落总数, 培养温度为 (36 ± 1) °C, 培养时间为 (48 ± 2) h。结果以对数菌落形成单位 (CFU/g) 表示。

1.4 数据统计

实验数据采用 Origin 2022 绘图, SPSS 23 软件进行显著性分析, 对各组实验数据采用单因素方差分析 (ANOVA), 显著性水平设置为 $P < 0.05$, 所有试验重复三次。

2 结果与分析

2.1 色泽的变化

鹅肉的色泽变化如表 1 所示。在 0~12 d 贮藏期

间, 四种不同处理方式下的鹅肉 *L**、*b** 值之间存在着显著性差异 ($P < 0.05$)。经酶法处理后鹅肉的 *L** 值为 45.23, 相比于 CK 变化并不显著, 而 HHP 和 HHP+E 处理组中, 鹅肉的 *L** 值 (53.68、57.89) 均高于 CK 组, 这是由于超高压作用下肉的纤维结构变得相对松散, 水分流失到表面从而导致光的折射路线发生了变化^[22]。而 0~12 d 贮藏时间的延长, CK 组的 *L** 值逐渐提高, HHP+E 组的 *L** 值则逐渐降低, 在第 12 d 时二者并无差异, 这或许与水分的流失有一定的关联。贮藏过程中, HHP+E 组的 *a** 值总体呈现先升高而后降低的趋势。不同处理组之间 *a** 值变化不显著, 贮藏过程 *a** 值总体呈现减低的趋势, 其中 HHP+E 组的 *a** 值达到了最低值 6.17, 这是由于在超高压的作用下, 高铁肌红蛋白快速累积; 同时木瓜蛋白酶的活性得到了提高, 使得鹅肉更易被氧化, 而氧化也是造成肉类色泽发生变化的重要原因, 因此 *a** 值的变化可能是二者共同作用所导致的^[23]。对照组与实验组的 *b** 值从大到小的顺序 HHP+E (14.66) > HHP (11.18) > E (8.48) > CK (9.77), 在贮藏过程中, CK 和不同处理组样品的 *b** 值呈逐步升高, E 样品的 *b** 值变化总体趋势与 CK 较为接近, 而 HHP、HHP+E 两组的 *b** 值均发生了显著的提高, 说明超高压对于鹅肉的 *b** 值有一定的影响, 但 *b** 值在 12 d 内的变化相对稳定。结果表明超高压辅助酶处理相较于其他 3 组, 色泽

有差异显著 ($P < 0.05$), 但随着贮藏时间的不断延长, HHP+E 组的 L^* 、 a^* 、 b^* 值与对照组逐渐接近。

2.2 蒸煮损失率的变化

蒸煮损失是肉制品热加工时持水能力的象征。图 1 为鹅肉在 12 d 内的蒸煮损失率。第 0 天时 CK 组的蒸煮损失率为 33.33%, HHP 组与其并无显著性差异 ($P > 0.05$), E 组、HHP+E 组与 CK 组均具有显著性差异, 其中 HHP+E 组蒸煮损失率相比 CK 组提高了 6.70%。对照组与实验组的蒸煮损失率从大到小的顺序 HHP+E (41.46%) > HHP (38.65%) > E (24.88%) > CK (33.33%), 在 0~12 d 贮藏过程中, 四个处理组出现先上升后下降的趋势, 这些结果说明了超高压处理并不会对鹅肉的蒸煮损失率造成影响, 酶处理会对蒸煮损失率产生影响。超高压辅助酶处理可能是通过提高酶的催化活性从而促进了蒸煮过程中出现更多的溶出。在 12 d 的贮藏过程中, 蒸煮损失率总体上呈现先下降后上升的趋势, 这可能是在贮藏前期, 鹅肉中的内源酶发挥作用增加了蛋白质的溶解度从而提高了持水能力, 后期在内源酶的进一步作用之下肌肉结构被破坏从而导致了蒸煮损失的提高^[24]。

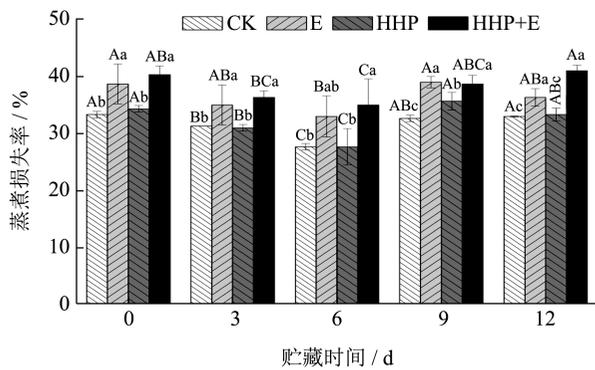


图 1 超高压辅助酶法处理下鹅肉贮藏期蒸煮损失率的变化
Fig.1 Changes of cooking loss rate of goose during storage under HHP assisted enzymatic treatment

注: CK: 空白组。E: 酶法对照组。HHP: 超高压对照组。HHP+E: 超高压辅助酶试验组。图中柱上大写字母代表不同天数的差异性, 柱上小写字母代表不同处理方式的差异性。下同。

2.3 剪切力的变化

肉品的嫩度通常使用剪切力作为评价标准, 剪切力越低代表嫩度越高。图 2 反映了鹅肉在贮藏过程中嫩度的变化情况。对照组与实验组的剪切力从大到小的顺序 CK (43.95%) > E (33.56%) > HHP

(32.41%) > HHP+E (24.55%), 第 0 天时, HHP+E 组的剪切力显著低于其他三组, 与 CK 组相比剪切力下降了 19.45 wt.%, 超高压辅助酶法技术对于鹅肉嫩化具有显著的效果。贮藏初期, 各组的剪切力呈现出小幅度上升的态势, 这可能是由于各组鹅肉在前期 pH 值的影响下先后达到了本身的最大僵直阶段, 从而导致剪切力的提高^[25]。贮藏中后期随着微生物的活动和内源酶的作用, 蛋白质结构逐渐被破坏, 溶解度降低造成剪切力下降^[26]。在贮藏过程中, HHP+E 组的剪切力始终低于其他三组, 这说明了超高压辅助酶法嫩化效果具有一定的稳定性。

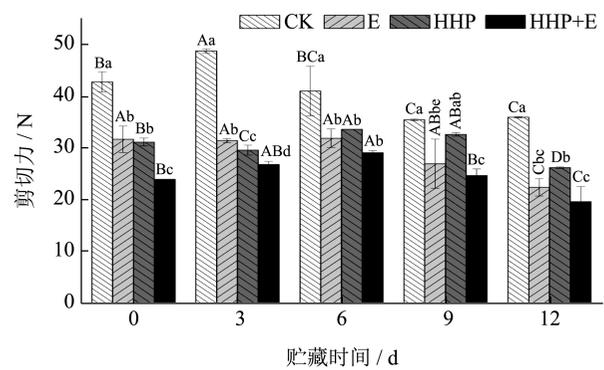


图 2 超高压辅助酶法处理下鹅肉贮藏期剪切力的变化
Fig.2 Changes of shear force of goose during storage under HHP assisted enzymatic treatment

2.4 pH 值的变化

由图 3 可知, 各组 pH 值的呈现一个逐渐上升的趋势, 这符合肉品贮藏过程中 pH 值的变化规律。对照组与实验组的剪切力从大到小的顺序 HHP+E (5.94) > HHP (5.90) > E (5.88) > CK (5.78), 第 0 天时, 由于植物蛋白酶具有改变肌肉之中连接键的能力, 酸性基团减少, 因此 E、HHP+E 组的 pH 值均高于 CK 组^[27]。由于超高压导致蛋白质结构的变化, 酸性基团被包裹, 因此 HHP 组的 pH 值也出现上升。而在贮藏过程中, 所有组在不同贮藏时间有时会出现 pH 值下降的情况, 这可能是由于糖酵解和 ATP 分解产生酸性物质所导致的^[24]。当贮藏 12 d 时 E 对照组的 pH 值为 5.99, 是四个组中最大的, 通常肉品在贮藏过程中的 pH 升高与微生物作用和内源酶作用产生的碱性氮分子有关^[28]。一般鲜肉的 pH 值在 6 以下, HHP+E 试验组虽然会导致 pH 值的提高, 但是截至第 12 天, 其最大 pH 值为 6.07, 这说明超高压辅助酶法对于鹅肉的 pH 值的影响是可以接受的^[29]。

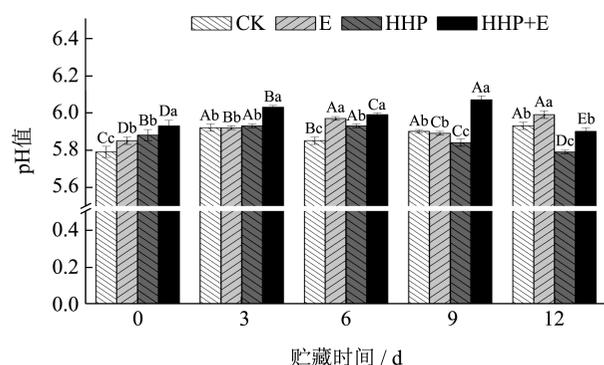


图3 超高压辅助酶法处理下鹅肉贮藏期 pH 的变化

Fig.3 Changes of pH value of goose during storage under HHP assisted enzymatic treatment

2.5 TBARS值的变化

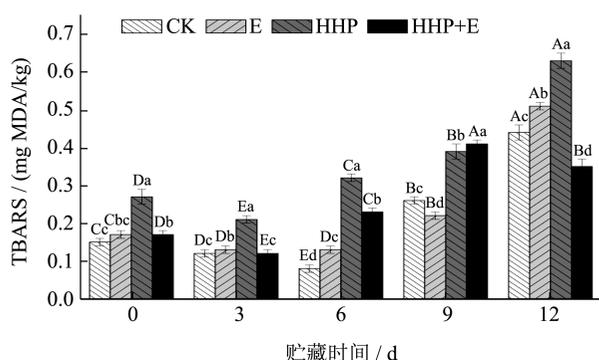


图4 超高压辅助酶法处理下鹅肉贮藏期 TBARS 值的变化

Fig.4 Changes of TBARS value of goose meat during storage under HHP assisted enzymatic treatment

贮藏过程中的脂质氧化程度可以通过 TBARS 值来评价, 图 4 为贮藏过程中 TBARS 值的变化。0~12 d 在贮藏过程中, CK 和不同处理组样品的 TBARS 值呈逐步升高, 在 0 d 时, 从结果已知 HHP 组的 TBARS 值为 0.27 mg/kg, HHP+E 组为 0.17 mg/kg, 二者均显著高于 CK 组的 0.15 mg/kg, 这说明了超高压加工对于鹅肉的脂质氧化有着显著的促进作用 ($P > 0.05$), 此时的 E 组与 CK 组并无显著差异, 说明酶处理后短时间内对于脂质氧化并无促进作用。所有分组的 TBARS 值在 6 d 之前均呈现出先下降再上升的趋势, 因为脂质氧化是一个复杂的动态过程, 所以这可能是由于丙二醛在贮藏前期首先氧化成酸和醇而并未直接开始积累所导致的^[30]。贮藏过程中, 除 9 d 以外, HHP+E 组的 TBARS 值均显著低于 HHP 组, 这说明超高压辅助酶处理有助于减缓超高压所带来的脂质氧化效果。

2.6 TVB-N的变化

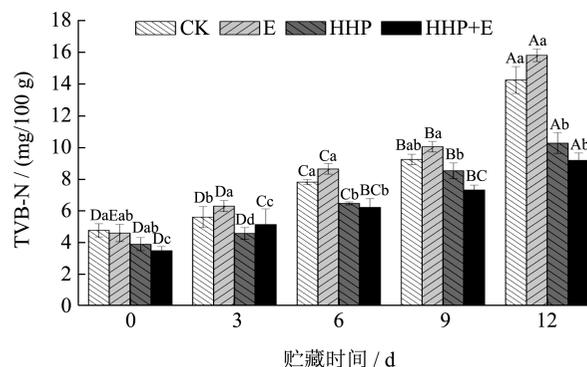


图5 超高压辅助酶法处理下鹅肉贮藏期 TVB-N 值的变化

Fig.5 Changes of TVB-N value of goose meat during storage under HHP assisted enzymatic treatment

挥发性盐基氮对于确定肉品的新鲜程度具有重要的参考意义。结果如图 5 所示。根据 GB 2707-2016 食品安全国家标准鲜(冻)畜、禽产品中的规定, 鲜肉的 TVB-N 值需低于 15 mg/100 g, 0~12 d 在贮藏过程中, CK 和不同处理组样品的 TVB-N 值呈逐步升高, 当贮藏至第 12 天时 E 组的 TVB-N 值达到了 15.81 mg/100 g, 而有些研究中提到 TVB-N 值在 15~20 mg/100 g 范围内的肉被称为二级鲜度标准下的次级肉^[31]。贮藏 12 d 中, CK 组的 TVB-N 值从 4.77 mg/100 g 增加到 14.25 mg/100 g, E 样品从 4.59 mg/100 g 增加到 15.81 mg/100 g, HHP 组从 3.89 mg/100 g 增加到 10.27 mg/100 g, HHP+E 组从 3.48 增加到 9.18 mg/100 g, 各组的 TVB-N 值均随着贮藏时间的延长而增长, 这是由于细菌代谢产物将蛋白质分解为生物胺类物质^[32]。0 d 时 HHP、HHP+E 组的 TVB-N 值低于 CK 组, 这可能是超高压抑制了鹅肉中内源酶的活性, 而内源酶发挥作用会造成 TVB-N 值的升高。在后期的贮藏之中, HHP 组与 HHP+E 组之间并无显著的差异, 而 E 组的 TVB-N 值却显著高于其他三组, 由于 TVB-N 与微生物活动密切相关, 所以出现这种现象的原因可能是 E 组有较多的微生物活动, 产生了更多的含氮物质^[26]。总体看来, 超高压辅助酶处理可以抑制 TVB-N 的增长, 有利于鹅肉贮藏过程中的鲜度保持。

2.7 菌落总数的变化

图 6 是菌落总数的变化, 不同组样品的菌落总数都随着贮藏时间的延长而增加, 在 0 d 时 CK 组的菌落总数为 3.02 lg CFU/g, E 组的菌落总数为

3.02 lg CFU/g, HHP 和 HHP+E 组的菌落总数分别为 2.30 和 2.45 lg CFU/g, HHP 组和 HHP+E 组显著低于 CK 组, E 组显著高于 CK 组 ($P > 0.05$), 这种结果的出现与超高压的杀菌能力具有密切的关联。E 组由于木瓜蛋白酶对蛋白质的分解作用, 使得鹅肉结构疏松, 在加工过程中外界的细菌更易附着滋生。在 0~3 d 之间, E 组的菌落总数增长速率仅为 11.45%, 这或许与渗入鹅肉内部的木瓜蛋白酶在贮藏过程中继续分解蛋白质产生的某些具有抑菌效果的肽类物质有关^[33]。但由于起始的菌落总数过多, 随着木瓜蛋白酶逐渐失去效果, 贮藏后期的菌落总数仍高于其他三组。从图中看到, HHP 组和 HHP+E 组在贮藏期内的菌落总数总体上差异并不显著, 这可能是超高压作用在贮藏过程菌落总数的变化中起到了主导地位而非酶体系, 这种情况的出现也表明了超高压辅助酶法相比于酶法嫩化在微生物安全方面具有一定的优势。

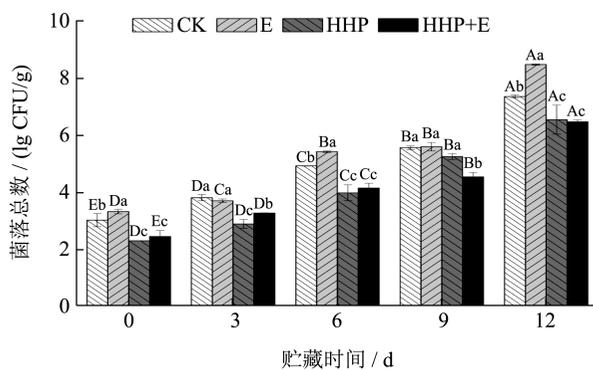


图 6 超高压辅助酶法处理下鹅肉贮藏期菌落总数的变化

Fig.6 Changes in the total number of colonies of goose meat during storage under HHP assisted enzymatic treatment

3 结论

本实验在 4 °C 贮藏条件下, 采用木瓜蛋白酶 E 组、超高压 HHP 组、HHP+E 为处理组, 分析在贮藏期间新鲜鹅肉的色泽、蒸煮损失率、嫩度、TBARS、TVB-N 值、pH 值、菌落总数的变化规律。结果显示, 随着贮藏时间延长, 新鲜鹅肉达到了本身最大僵直阶段 pH 变化而导致剪切力的提高以及微生物菌落总数的增加, 经 HPP+E 处理后的鹅肉的剪切力显著低于其他三组, 与 CK 组比较剪切力下降了 43.95%, 第 12 天时 HHP+P 的 pH 值为 5.9, TBARS 的值为 0.35 mg/kg、TVB-N 的值为 9.18 mg/100 g、微生物菌落总数为 6.47 lg CFU/g, 综合 12 d 贮藏过程中品质的变化结果显示, HHP+E > HHP > E, 在

300 MPa 下保压 15 min 辅助木瓜蛋白酶法技术, 不仅具有嫩化鹅肉的效果, 同时灭菌效果有利于延长鹅肉的贮藏期, 在实际鹅肉的嫩化生产过程中节约时间和抑制细菌, 对鹅肉的保质保鲜具有一定的现实意义。

参考文献

- [1] 刘雅娜, 齐风敏, 王定云, 等. 宰后成熟过程对新疆鹅肉挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 138-144.
- [2] 周静鹏, 陈志, 杨章平. 鹅的营养需要研究进展[J]. 河南农业, 2020, 24: 48-49.
- [3] ZHAO D, LI H, HUANG M X, et al. Influence of proteolytic enzyme treatment on the changes in volatile compounds and odors of beef longissimus dorsi [J]. Food Chemistry, 2020, 333(15): 127549.
- [4] ZHAO D, XU Y J, GU T Y, et al. Peptidomic investigation of the interplay between enzymatic tenderization and the digestibility of beef semimembranosus proteins [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(4): 1136-1146.
- [5] ASHIE I N A, SORENSEN T L, NIELSEN P M. Effects of papain and a microbial enzyme on meat proteins and beef tenderness [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(6): 2138-2142.
- [6] SOROUR B, SOLTANIZADEH N. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2017, 39: 223-229.
- [7] KIM K W, KIM Y T, KIM M, et al. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) treatment on flavor, physicochemical properties and biological functionalities of garlic [J]. Food Science & Technology, 2014, 55(1): 347-354.
- [8] RASTOGI N K, RAGHAVARAO K S M S, BALASUBRAMANIAM V M, et al. Opportunities and challenges in high pressure processing of foods [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007, 47(1): 69-112.
- [9] 梁超. 鹅肉超高压保鲜的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- [10] CHAN J T Y, OMANA D A, BETTI M. Application of high pressure processing to improve the functional properties of pale, soft, and exudative (PSE)-like turkey meat [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2011, 12(3): 216-225.
- [11] ALICE M, SUWAL S, NADERI N, et al. Enhancing enzymatic hydrolysis of food proteins and production

- of bioactive peptides using high hydrostatic pressure technology [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 80: 187-198.
- [12] 才卫川,张坤生,任云霞.TG酶协同超高压处理对鸡肉糜制品品质的影响[J].食品科学,2014,35(18):22-27.
- [13] 赵立,周振,贺倩倩,等.超声波与菠萝蛋白酶协同作用对鸭肉嫩化的影响[J].食品科学,2018,39(12):93-100.
- [14] SEBASTIÁN P O, VILBETT B L, MARIOP W, et al. Enzymatic impregnation by high hydrostatic pressure as pretreatment for the tenderization process of Chilean abalone (*Concholepas concholepas*) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020, 65: 102451.
- [15] YANG H, TAO F, CAO G, et al. Stability improvement of reduced-fat reduced-salt meat batter through modulation of secondary and tertiary protein structures by means of high pressure processing [J]. Meat Science, 2021, 176: 108439.
- [16] ZHANG H P, TANG D B, YANG H G, et al. Effects of high hydrostatic pressure assisted enzymatic tenderization on goose meat texture and myofibril protein [J]. Food Science & Technology, 2023, 184: 114845
- [17] BOTINESTEAN C, HOSSAIN M, MULLEN A M, et al. The influence of the interaction of sous-vide cooking time and papain concentration on tenderness and technological characteristics of meat products [J]. Meat Science, 2021, 177: 108491.
- [18] SHANG S, WU B C, FU B S, et al. Enzyme treatment-induced tenderization of puffer fish meat and its relation to physicochemical changes of myofibril protein [J]. Food Science and Technology, 2022, 155: 112891.
- [19] ZOU J H, LIU X M, WANG X P, et al. Influence of gelatin-chitosan-glycerol edible coating incorporated with chlorogenic acid, gallic acid, and resveratrol on the preservation of fresh beef [J]. Foods, 2022, 11(23): 3813.
- [20] GURUNATHAN K, TAHSEEN A, MANYAM S. Effect of aerobic and modified atmosphere packaging on quality characteristics of chicken leg meat at refrigerated storage [J]. Poultry Science, 2022, 101(12): 102170.
- [21] ZHANG B, LIU Y, WANG HUANHUAN, et al. Effect of sodium alginate-agar coating containing ginger essential oil on the shelf life and quality of beef [J]. Food Control, 2021, 130: 108216.
- [22] 陈腊梅,唐善虎,李思宁,等.超高压处理对牦牛肉贮藏性能的影响[J].食品工业科技,2023,44(6):351-360.
- [23] WANG Z M, HE Z F, EMARA A M, et al. Effects of malondialdehyde as a byproduct of lipid oxidation on protein oxidation in rabbit meat [J]. Food Chemistry, 2019, 288: 405-412.
- [24] 李明奇.复合嫩化剂对兔肉理化特性及贮藏品质的影响[D].重庆:西南大学,2020.
- [25] 巴吐尔·阿不力克木.不同贮藏条件下新疆巴什拜羊肉品质变化机制的研究[D].南京:南京农业大学,2016.
- [26] YANG L, SHANG Y B, SONG Y, et al. Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures [J]. Meat Science, 2016, 117: 173-181.
- [27] DONG K, LUO X, LIU L, et al. Effect of high - pressure treatment on the quality of prepared chicken breast [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(4): 1597-1607.
- [28] YU C, WARNER R D, FANG Z X. Effect of chitosan/nisin/gallic acid coating on preservation of pork loin in high oxygen modified atmosphere packaging [J]. Food Control, 2019, 10: 19-16.
- [29] ALIREZALU K, MOVLAN H S, YAGHOUBI M, et al. Varepsilon-polylysine coating with stinging nettle extract for fresh beef preservation [J]. Meat Science, 2021, 176: 108474.
- [30] ANDRES V, VILLANUEVA M J, TENORIO M D. The effect of high-pressure processing on colour, bioactive compounds, and antioxidant activity in smoothies during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2016, 192: 328-335.
- [31] CHENG Y X, HU J F, WU S J. Chitosan based coatings extend the shelf-life of beef slices during refrigerated storage [J]. Food Science & Technology, 2021, 138: 110694.
- [32] 闫玉雯.超高压处理对减盐牛肉乳化肠品质影响及贮藏特性研究[D].太原:山西农业大学,2021.
- [33] XING L J, LIU R, CAO SONGMIN, et al. Meat protein based bioactive peptides and their potential functional activity: a review [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(6): 1956-1966.