

张 坤, 吴海虹, 邹 烨, 等. 超声波联合一磷酸腺苷(AMP)对鸡胸肉的嫩化效果[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(6): 1362-1369.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.06.023

超声波联合一磷酸腺苷(AMP)对鸡胸肉的嫩化效果

张 坤^{1,2}, 吴海虹¹, 邹 烨¹, 王道营¹, 徐为民^{1,3}

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.南京财经大学食品科学与工程学院, 江苏 南京 210046; 3.江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 江苏 南京 210095)

摘要: 为了解超声波与一磷酸腺苷(AMP)对鸡胸肉品质的作用, 采用超声波和 AMP 对鸡胸肉进行处理。测定对照和经超声波、AMP 等不同处理的鸡胸肉 pH、肌原纤维小片化指数(MFI)、过滤残留量、肉品的热力学指标、蒸煮损失、剪切力、肌原纤维蛋白的凝胶电泳图、肉品组织切片和表面微观结构等指标。结果显示, 与对照鸡胸肉相比, 超声波和 AMP 处理后, 肉品 pH 升高、肌原纤维小片化指数显著增大($P < 0.05$), 肌动蛋白和肌球蛋白热敏感性增大, 过滤残留量、蒸煮损失和剪切力则显著减小($P < 0.05$), 组织状态和表面微观结构发生明显变化, 更多的肌原纤维蛋白降解, 肌动蛋白和肌球蛋白含量显著升高, 从而显著改善鸡胸肉的嫩度。因此, 超声波和 AMP 处理均可破坏肌肉中肌原纤维完整结构, 改变肌肉的组织状态使其变柔软, 且超声波和 AMP 联合使用对鸡胸肉的嫩化效果最佳, 可进一步提高鸡胸肉的食物品质。

关键词: 超声波; 一磷酸腺苷; 鸡胸肉; 嫩化; 组织结构

中图分类号: TS251.5⁺5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2018)06-1362-08

Optimization of ultrasonic treatment and 5'-adenosine monophosphate (AMP) on the tenderness of chicken breast

ZHANG Kun^{1,2}, WU Hai-hong¹, ZOU Ye¹, WANG Dao-ying¹, XU Wei-min^{1,3}

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Food Science and Engineering, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210046, China; 3. Collaborative Innovation Center of Meat Production and Processing, Nanjing 210095, China)

Abstract: To investigate the effect of ultrasonic treatment and 5'-adenosine monophosphate(AMP) on meat quality of chicken breast, the chicken breast meat was treated with ultrasound and AMP. It was examined the effects of ultrasonic treatment and AMP on the meat tenderness of chicken breast by pH, muscle fibrillation index (MFI), filter residue, thermodynamics, cooking loss, shear force, sodium dodecyl sulfate-gel electrophoresis of myofibrillar protein, surface micro-

收稿日期: 2017-12-29

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31571863); 国家现代农业(肉鸡)产业技术体系建设专项(CARS-41); 江苏省苏北科技专项(SZ-XZ2017012); 江苏省高校优势学科建设工程资助项目; 江苏省现代农业-研究开发示范类项目(BE2016320)

作者简介: 张 坤(1992-), 女, 山东莱芜人, 硕士研究生, 研究方向为畜禽产品加工与质量控制。(E-mail) 158577714@qq.com

通讯作者: 邹 烨, (E-mail) zouye@jaas.ac.cn; 王道营, (E-mail) wdy0373@aliyun.com

structure and others. The results showed that, compared with those in the control, the pH, MFI, and heat sensitivity of actin and myosin in the treatments of ultrasound and AMP increased, while the filter residue, cooking loss and shear force were significantly reduced ($P < 0.05$), and the tissue section and surface microstructure significantly changed. Additionally, the myofibrillar protein was dissociated, the contents of actin and myosin were significantly increased, thereby the meat tenderness was significantly improved. In conclusion, ultrasound and AMP treatment can destruct the myofibrillar structure, make the

muscle tissue soften, and improve the eating quality of chicken breast.

Key words: ultrasound; 5'-adenosine monophosphate; chicken breast; tenderness; organizational structure

鸡肉具有高蛋白、低脂肪、富含微量元素及矿物质等优点,但鸡胸肉相较于鸡腿、鸡翅等,其肌纤维密度大且纤维直径宽等原因导致肉质老、嫩度差、口感不好等,这在一定程度上限制了鸡胸肉的销量,目前亟需恰当的处理方法提高鸡胸肉的食用品质,以提高肉鸡产业的经济效益,促进肉鸡产业的快速稳定发展。目前关于改善鸡肉肉质的方法较多,主要包括电刺激嫩化法、生物酶嫩化法^[1]、复合嫩化法^[2-3]等。其中超声波是近年来应用较广的一种嫩化方法,其空化效应、机械效应等能在极短时间内破坏肌肉结构,缩短肌肉僵直期,快速嫩化肉品,Chemat等^[4]及秦卫东等^[5]的研究结果均表明超声波的嫩化作用明显,但是所需超声功率较大,超声时间较长,引起肉品表面结构的变化,导致肉品感官评价不佳,消费者满意度不好,影响肉品销售及产业发展。本课题组近年来研究发现,一磷酸腺苷(5'-Adenosine monophosphate, AMP)在食品加工中通常作为畜禽肉类的风味改性剂或食品添加剂,已被证实适当的添加有助于肌肉快速解僵,嫩化效果明显^[6-8]。目前,超声波与其他嫩化方法共同作用的复合嫩化法效果较好,应用较广。本研究将超声波与AMP这2种新型嫩化方法复合使用嫩化鸡胸肉与超声波及AMP单独使用处理鸡胸肉等作对比,通过分析鸡胸肉肌原纤维小片化指数(MFI)、剪切力、组织切片、超微结构等,研究超声波与AMP复合嫩化鸡胸肉的方法是否具有可行性,为深入了解肌肉嫩化机制,改善肌肉品质与风味及开发肌肉嫩化方法提供新的思路和理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本试验所采用的鸡胸肉购自江苏苏食食品有限公司,剔除表面结缔组织和肌膜后,待用。

一磷酸腺苷由美国Sigma公司生产,预染宽范围标准蛋白由加拿大Fermentas公司生产。

1.2 仪器与设备

超声波细胞破碎仪由宁波新芝生物科技股份有限公司生产,T-25型数显匀浆机由德国IKA公司生产,HI-9025酸度计由意大利Hanna公司生产,Uni-

CenMR冷冻离心机由德国Herolab公司生产,多功能酶标仪由美国Biotek仪器有限公司生产,冷冻干燥机由德国CHRIST公司生产,Q20差式量热扫描仪由美国TA公司生产,Mini-PROTEAN Tetra Cell垂直电泳系统由美国Bio-Rad公司生产,JS-680C全自动凝胶成像分析仪由上海培清科技有限公司生产,Nikon Eclipse E100正置光学显微镜由日本尼康公司生产,NIKON DS-U3成像系统由日本尼康公司生产,EVO-LS10扫描电镜由德国ZEISS Oberkochen公司生产等。

1.3 试验方法

1.3.1 试验材料处理 选取大小、薄厚相近的鸡胸肉,切成5 cm×5 cm×2 cm的块状[(50±5)g],从中随机选取25块分别做以下处理:第一组不做任何处理放置30 min,作为对照,标记为“CK”;第二组经去离子水腌制30 min,标记为“水”;第三组超声波处理(功率:300 W,时间:5 min)后经去离子水腌制25 min,标记为“水+U”;第四组经32 mmol/L AMP腌制30 min,标记为“AMP”;第五组则先经超声波处理(功率:300 W,时间:5 min)后用32 mmol/L AMP腌制25 min,标记为“AMP+U”。每组处理做3个平行。

1.3.2 肉品pH测定 称取不同处理鸡胸肉各2 g,用手术刀切碎成肉糜置于离心管中,加入18 ml去离子水,冰浴均质(3 000 r/min, 10 s)后用酸度计测定其pH,测定3次取均值。

1.3.3 肌原纤维小片化指数测定 参考Culler等^[9]的方法并稍作修改测定肌原纤维小片化指数:称取2 g肉糜,加入20 ml MFI提取缓冲液(0.1 mol/L KCl, 1 mmol/L Na₂SO₄, 7 mmol/L KH₂PO₄, 18 mmol/L K₂HPO₄, 1 mmol/L MgCl₂, 1 mmol/L EGTA, pH7.0, 4℃),冰浴均质(12 000 r/min, 30 s, 2次),冷冻离心(12 000 g, 15 min, 4℃),沉淀加20 ml MFI提取缓冲液再次离心(12 000 g, 15 min, 4℃),沉淀加25 ml MFI提取缓冲液,搅匀,经2层纱布过滤,滤液即为肌原纤维蛋白(Myofibrillar protein, MP)溶液。

MP溶液用考马斯亮蓝试剂盒测定蛋白质浓度,调整MP浓度为0.5 mg/ml,立即用多功能酶标

仪测定其在 540 nm 处吸光值,测定 3 次取平均值。

$$MFI = OD_{540} \times 200$$

1.3.4 过滤残留量的测定 采用冷冻干燥法:称取不同处理鸡胸肉各 5 g,加入 20 ml 0.02 mol/L 的 pH 7.5 的磷酸缓冲液,匀浆(16 000 r/min, 30 s)后离心(2 000 g, 15 min),沉淀再加入 20 ml 0.02 mol/L 的 pH 7.5 的磷酸缓冲液,匀浆(16 000 r/min, 30 s)后离心(2 000 g, 15 min)。收集沉淀加入 20 ml 0.5 mol/L NaCl 溶液,匀浆后用一层纱布过滤,再用 0.5 mol/L 的 NaCl 溶液重复 2 遍,收集纱布上沉淀冷冻干燥,称质量。

1.3.5 热力学性质变化分析 以量热差式扫描仪测定样品 TG/DSC 曲线,由变性温度(T_g)表征蛋白质样品的热稳定性。铝坩埚中放入 12 mg 左右的鸡胸肉样品。温度 25~105 °C,升温速率 5 °C/min,测定其 TG/DSC 曲线。通过 TA Universal Analysis 软件对热变曲线中的峰进行处理得到热变性温度(T_m),并对其面积积分后得出焓变(ΔH)。

1.3.6 蒸煮损失的测定 称取(50±5) g 鸡胸肉块,用滤纸吸干表面水分后称质量,记录蒸煮前肉块质量 m_1 。然后将肉块置于自封袋中,将数显温度计插入肉块中央。在 95 °C 水浴锅中加热至中心温度 75 °C,立即取出流水冲至室温,再次用滤纸吸干表面水分后称质量,记录蒸煮后肉块质量 m_2 。根据蒸煮前后肉块质量计算肉块蒸煮损失率。

$$\text{蒸煮损失率} = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\%$$

1.3.7 剪切力的测定 测定鸡胸肉块剪切力:将方法 1.3.6 中蒸煮后的肉块用手术刀和直尺沿肌纤维方向切割成 3 cm×1 cm×1 cm 大小肉条,使用 TVT-300XP 质构仪连接的刀片式探头,垂直肌纤维的方向进行剪切,测定其剪切力变化曲线,记录最大剪切力值,每块肉条测量 3 次,多次测量取平均值。剪切力测定参数设定为:预试速度:10 mm/s,测试速度:2 mm/s,测后速度:10 mm/s,距离:30 mm,触发力:50 g。

1.3.8 肌原纤维蛋白的十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)分析 取 100 μl 方法 1.3.3 中提取的 MP 溶液,加入 20 μl 上样缓冲液后灭酶(95 °C, 5 min),离心(12 000 g, 5 min),取上清液用于 SDS-PAGE。采用变性不连续电泳,12%分离胶,5%浓缩胶[丙烯酰胺:甲叉双丙烯酰胺=36.5:1.0(质量比)]。每孔等体积上样 25 μl,200 V 恒压

约 50 min。凝胶块用考马斯亮蓝染色液染色 10 min 后取出,加入适量的脱色液,脱色时放在摇床上使脱色更为均匀迅速,1 h 后更换脱色液,直至脱色完成,用凝胶成像仪对胶块进行成像分析,并用 ImageJ 软件扫描条带,得到光密度值用于数据分析。

1.3.9 鸡胸肉组织切片分析 将方法 1.3.1 中经过处理的鸡胸肉切成 5 mm 厚的小块,用 3% 的戊二醛固定后做石蜡切片,然后将石蜡切片脱蜡后先后用苏木素和伊红染色,之后脱水封片,经正置光显微镜镜检,采集图像进行分析。每个样品做 3 个重复。

1.3.10 超微结构分析 鸡胸肉样的微观结构用扫描电镜(Scanning electron microscopy, SEM)测定。将方法 1.3.1 中经过不同处理的鸡胸肉沿肌原纤维方向切成 5 mm×2 mm×2 mm 小块,用 3% 戊二醛固定,喷金镀膜后 SEM 观察样品超微结构。

1.3.11 鸡肉嫩度的感官评价 挑选 10 位受过训练的学生进行感官评价测试。取标号 1~25 的肉样放入 100 °C 沸水中煮至肉中心温度达到 80 °C,持续 10 min 使肉完全被煮熟,取出切成 20 mm×10 mm×10 mm 的肉块,送入感官评价实验室给每位评价者进行感官评价^[10]。

1.4 数据分析

采用 Excel 软件统计数据。用 SPSS18.0 进行单因素方差分析和相关性分析。分析统计图使用 Origin 8.0 绘制。

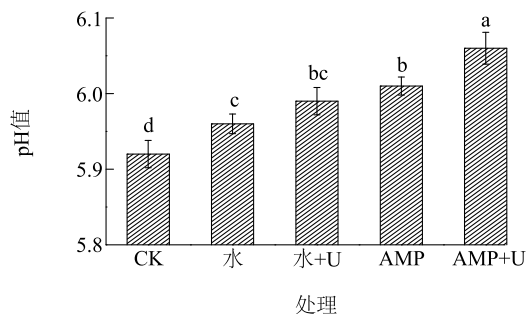
2 结果与分析

2.1 鸡胸肉 pH

肌肉的 pH 变化是复杂的生理生化过程,反映了宰后肌肉糖原酵解速率和肌肉中乳酸含量的变化^[11],pH 的变化速率和变化程度又和肌肉品质密切相关^[12-13],肌肉成熟期 pH 升高,肉质变嫩。

如图 1 所示,pH 值范围均符合鸡胸肉宰后僵直成熟期的 pH 范围(5.8~6.5)^[14],不同处理方式的鸡胸肉 pH 差异显著($P < 0.05$)。未经任何处理的对照组 pH 最小,与对照组相比,单独使用去离子水腌制嫩化与超声波和去离子水联合嫩化均能使鸡胸肉 pH 显著升高,且 2 种嫩化方法差异不显著,原理可能与“水震波嫩化”^[15]和“注水滚揉嫩化”^[16]法相关。超声波与 AMP 联合作用的鸡胸肉 pH 最大且显著高于其他处理,嫩化效果最佳。这可能是由于 AMP 可以与肌肉中的肌动球蛋白某些结合位点

结合发生作用,促进肌动球蛋白解离为肌动蛋白等^[17-18],从而加快肌动球蛋白解离速度,使鸡胸肉 pH 显著上升。另外,现有研究结果证实超声波处理能加快肌肉宰后成熟速度,加速肌动球蛋白解离,糖原酵解速度加快,促进鸡胸肉 pH 的显著升高。超声波处理和 AMP 处理对鸡胸肉的嫩化均有显著效果,二者联用效果更佳。



CK:对照;水:去离子水腌制 30 min;水+U:超声波处理后去离子水腌制 25 min;AMP:一磷酸腺苷腌制 30 min;AMP+U:超声波处理后一磷酸腺苷腌制 25 min。不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图1 超声波和 AMP 处理对鸡胸肉 pH 的影响

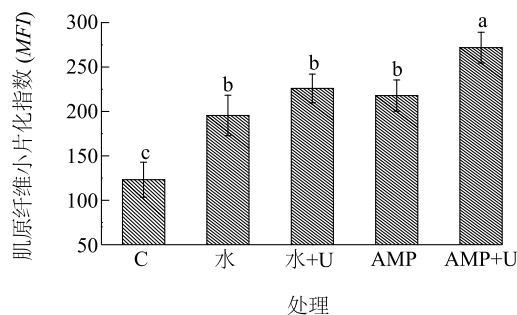
Fig.1 Effects of ultrasound and 5'-adenosine monophosphate (AMP) treatments on pH of chicken breast

2.2 鸡胸肉 MFI

肌肉的 MFI 是衡量宰后肌肉肌原纤维完整程度的参数,是表征肌肉嫩度的重要指标,肌原纤维结构越破碎,肌肉的 MFI 值越大,肌肉嫩度越好^[19]。如图 2 所示,AMP 与超声波联合处理的鸡胸肉 MFI 与其他处理差异显著。去离子水处理和单独 AMP 处理之间差异不显著,但与对照间差异显著。可能是超声波的“空化效应”和强穿透力使肌纤维在短时间内被破坏,肌原纤维断裂为肌小节片,使用超声波处理的鸡胸肉 MFI 值较对照组差异显著。另一方面,AMP 与肌原纤维中的肌动球蛋白作用,促进肌动球蛋白快速解离为小分子的肌动蛋白和肌球蛋白,破坏了肌原纤维蛋白的完整程度,利于肌原纤维小片化指数的增加,因此超声波与 AMP 联用使肌原纤维小片化指数显著增大,鸡胸肉嫩化效果较好。

2.3 过滤残留量

过滤残留物是结缔组织和肌原纤维中不溶性蛋白的混合物,不容易被匀浆分离,能较好的反应肌肉中不溶性蛋白的含量^[20]。从图 3 可以明显看出,超

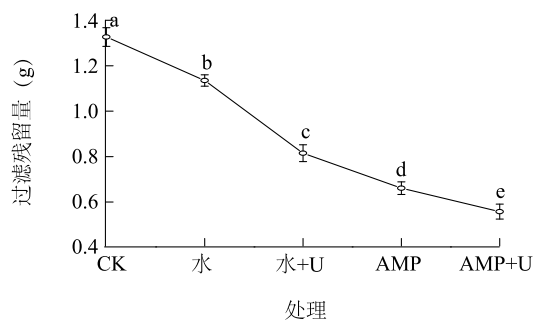


CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图2 超声波和 AMP 处理对鸡胸肉 MFI 的影响

Fig.2 Effects of ultrasound and AMP treatments on muscle fibrillation index (MFI) of chicken breast

声波和 AMP 处理均能显著减少鸡胸肉的过滤残留量,复合处理的鸡胸肉过滤残留量最少。超声波对过滤残留量产生的作用可能是因为空化效应破坏了肌肉的完整结构,肌肉组织中的内源酶大量释放,大量降解结缔组织,分解部分不溶性蛋白,另外,超声波的热效应可能导致胶原蛋白变性,对过滤残留量的显著减少有较大贡献^[21]。而 AMP 的作用比超声波更明显,AMP 可以与肌原纤维中的蛋白结合从而促使它们降解为分子量较小的可溶性蛋白,过滤残留量显著减少,同时,肌原纤维和结缔组织的混合物变得容易分离,肌肉韧性减小,嫩度增大。



CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

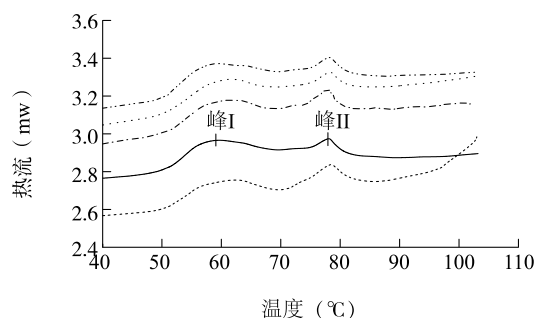
图3 超声波和 AMP 处理对鸡胸肉过滤残留量的影响

Fig.3 Effects of ultrasound and AMP treatments on filter residue of chicken breast

2.4 鸡胸肉 DSC 变化

不同处理的鸡胸肉差式量热扫描热流曲线如图 4 所示,在每条热流曲线上都可以看出 2 个明显的峰,峰 I 和峰 II 分别代表了肌球蛋白和肌动蛋白热

变性引起的热流变化^[22]。表 1 显示,超声波和 AMP 处理的鸡胸肉热变性温度 T_m 右移,焓变呈增大趋势,肌球蛋白和肌动蛋白的热变性温度均高于对照,表明超声波和 AMP 处理对肌动蛋白和肌球蛋白的热稳定性具有显著影响,可能是超声波及 AMP 处理使蛋白空间立体性增加,构象变化引起相变,改变了肌肉蛋白质的高级结构^[23],或者肌原纤维蛋白骨架降解,肌原纤维蛋白粗细丝即肌动蛋白和肌球蛋白间的间距增大,肌肉柔软性增加,嫩度得到改善。



从下到上曲线分别为对照组 CK 和 S、S+U、AMP、AMP+U 的热流曲线图。CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。

图 4 鸡胸肉的差式量热扫描图

Fig.4 Differential scanning calorimetry thermogram of chicken breast

表 1 超声波和 AMP 对鸡胸肉变性温度和变性焓的影响

Table 1 Effects of ultrasound and AMP treatments on thermal denaturation temperature and denaturation enthalpy of chicken breast

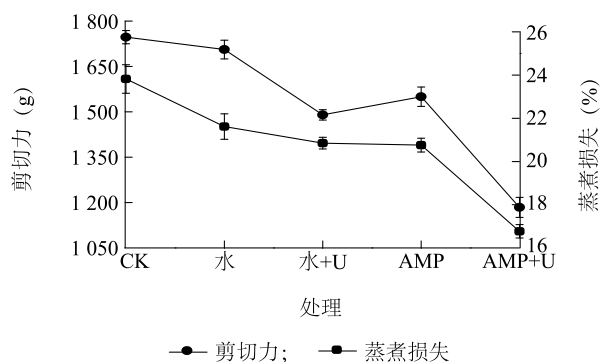
处理方式	T_1 (°C)	ΔH_1 (J/g)	T_2 (°C)	ΔH_2 (J/g)
CK	58.21	1.109	78.25	0.3525
水	58.12	1.316	78.29	0.2489
水+U	58.16	1.367	78.12	0.3806
AMP	59.27	1.049	78.42	0.3411
AMP+U	60.23	1.322	78.58	0.6848

CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。 T_1 和 T_2 分别为肌动蛋白和肌球蛋白热变性温度, ΔH 为变性焓。

2.5 鸡胸肉蒸煮损失和剪切力变化

图 5 为不同处理的鸡胸肉蒸煮损失和剪切力变化图,由图 5 可看出,随处理方式的不同,蒸煮损失和剪切力变化趋势基本一致。与对照组相比,蒸煮损失由 24%降低到了 16%,剪切力由 1 800 g 降低到 1 050

g,AMP 和超声波处理均能显著降低($P<0.05$)鸡胸肉的蒸煮损失和剪切力,两者联合处理的鸡胸肉蒸煮损失和剪切力最小。AMP 腌制降低肉品的蒸煮损失和剪切力的原因可能是 AMP 能与肌动球蛋白特异性结合,促进了肌动球蛋白解离,肌动球蛋白解离使肌肉僵直状态解除,肌肉变柔软,因此,剪切力显著降低($P<0.05$),鸡胸肉嫩度得到显著改善。而超声波处理不仅能破坏肌原纤维蛋白结构并释放大量盐溶性蛋白^[24],还能促进盐溶性蛋白向肌肉表面富集,增强肌肉表面阻止水分外溢的能力^[25],因此超声波处理使鸡胸肉蒸煮损失显著减小,嫩化效果较好,超声波处理与 AMP 联合处理嫩化效果最佳。



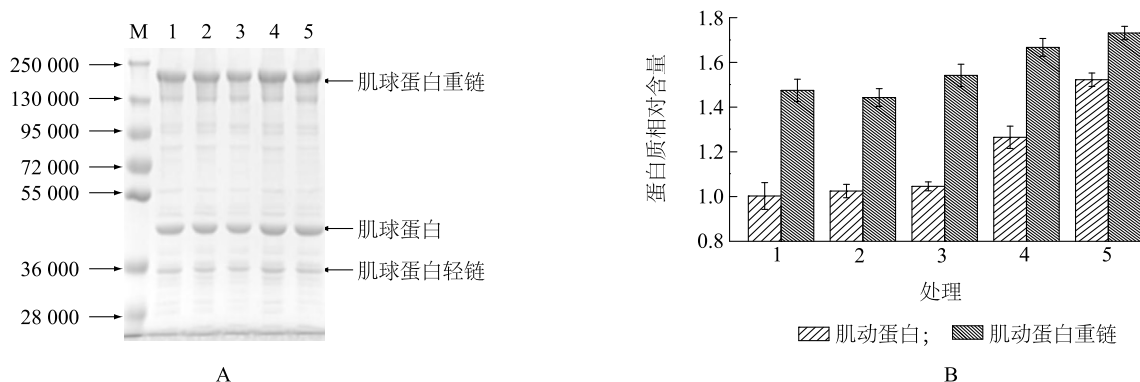
CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。

图 5 超声波和 AMP 处理对鸡胸肉剪切力和蒸煮损失的影响

Fig.5 Effects of ultrasound and AMP treatments on shear force and cooking loss of chicken breast

2.6 MP 的 SDS-PAGE 电泳分析

肌原纤维蛋白主要由肌动蛋白、肌球蛋白等组成,肌球蛋白由 2 条重链和多条轻链组成,为大分子蛋白质,在 SDS 凝胶电泳中只能分别以肌球蛋白重链和轻链的形式呈现。由图 6 可以看出,不同处理间肌动蛋白和肌球蛋白重链条带深浅变化明显,AMP 处理的肌动蛋白含量和肌球蛋白重链含量均与其他处理差异明显($P<0.05$),超声波与 AMP 联合处理的肌动蛋白含量最高,AMP 单独处理的鸡胸肉肌动蛋白含量其次,对照和去离子水腌制处理的无明显差异。这表明 AMP 处理比超声波处理对鸡胸肉的嫩化效果明显,可能是 AMP 与大量肌动球蛋白发生特异性反应,肌动球蛋白大量解离为肌动蛋白和肌球蛋白,而超声波与 AMP 联合处理是超声波促进了 AMP 对肌动球蛋白解离的反应,因此,联合处理的嫩化效果明显。



1:对照;2:为去离子水腌制 30 min;3:超声波处理后去离子水腌制 25 min;4:一磷酸腺苷腌制 30 min;5:超声波处理后一磷酸腺苷腌制 25 min。

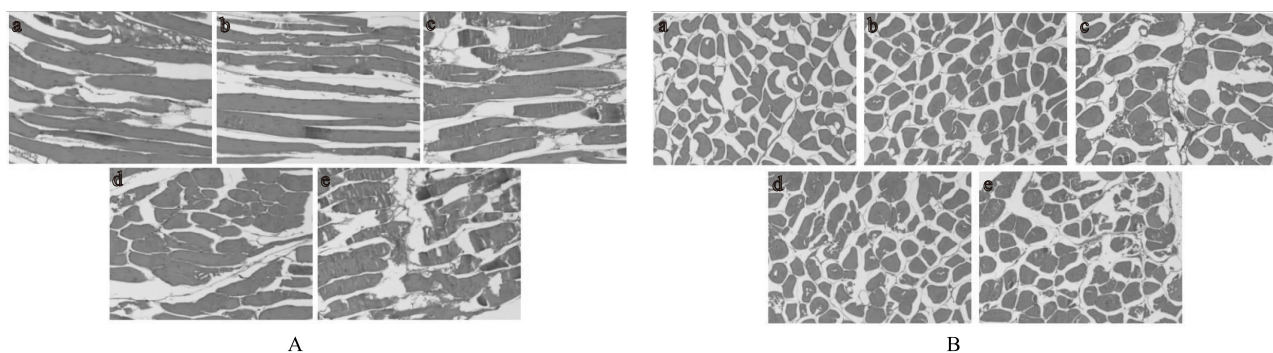
图 6 鸡胸肉肌原纤维蛋白的 SDS-PAGE 图 (A) 和定量分析图 (B)

Fig.6 Sodium dodecyl sulfate-gel electrophoresis patterns and quantity analysis of myofibrillar protein in chicken breast

2.7 鸡胸肉组织切片

图 7 为不同嫩化方式处理后的鸡胸肉组织学图像。图 7A 和 图 7B 分别为鸡胸肉组织纵切和横切图,由图可以看出,对照具有形状和大小较为一致的圆柱形肌纤维,肌原纤维束完整,纤维间间隔较小且一致,而其他 4 组处理的肌原纤维结构均遭到一定程度的破坏,可观察到内容物的释放和肌原纤维破碎,纤维间间隔增大且不均匀,肌纤维结构不再完整且断裂为大小不一的碎片,且能在纤维内部看到明显的空隙。超声波的空化效应引起肌纤维沿着肌肉组织 Z 线断裂,同时造成组织内容物包括内源酶的释放,增强了组织蛋白酶的活性,对肌纤维结构破坏

产生促进作用^[20,26]。而 AMP 本身作为三磷酸腺苷即 ATP 的分解产物,能与肌原纤维蛋白中的肌动球蛋白产生特异性反应,促进肌动球蛋白解离,破坏肌原纤维结构,当人为添加 AMP 作为嫩化剂,AMP 的作用更为明显,这也合理解释了图 7Ae 和图 7Be 即超声波与 AMP 复合应用组的纤维断裂程度最显著,肌原纤维破碎明显且片段小而均一,其次,超声波与 AMP 单独处理的也出现肌纤维较显著断裂。这也证实了上述肌原纤维小片化指数的结论。肌纤维结构破碎和纤维间间隔变化对肉类嫩化有良好的促进,使肌肉具有更好的食用效果。



a:CK;b:水;c:水+U;d:AMP;e:AMP+U。CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。

图 7 鸡胸肉组织肌原纤维纵切图 (A) 和肌原纤维横切图 (B)

Fig.7 Tissue section of chicken breast

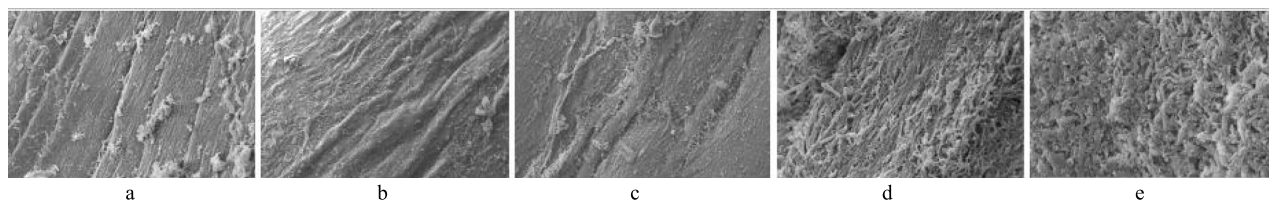
2.8 鸡胸肉超微结构

通过扫描电镜拍摄到不同处理的鸡胸肉的超微结构如图 8 所示。由图 8 可知,对照的鸡胸肉结构

完整,肌纤维紧密规则排列,肌原纤维完整且相互之间基本没有空隙、孔洞,图 8b 显示,鸡胸肉因水浸泡腌制表面吸水膨胀,但仍可以看出肌原纤维结构完

整未受到损坏,图 8c 显示,超声波处理的鸡胸肉可以明显看出肌纤维束分布不再均匀,部分肌纤维出现长度、直径差异,说明超声波对肌原纤维结构有一定的破坏作用,可能是超声波的机械效应和空化效应的作用使肌肉结构变松散,部分肌原纤维遭到“声波”的巨大冲击而断裂^[27-28],而作用不很明显的原因可能是超声波处理时间太短。AMP 浸泡腌制

的鸡胸肉(图 8d)和复合处理的鸡胸肉(图 8e)肌纤维结构完整性遭到严重破坏,完整且粗壮的肌原纤维变为短小、破碎的肌原纤维碎片,且复合处理组的肌原纤维破碎更显著,这是因为高浓度的 AMP 与肌肉中大量肌动球蛋白发生特异性反应造成大分子量的蛋白质解离^[29],肌原纤维变得松散无序,肌肉因此柔软,嫩度好。



a: CK; b: 水; c: 水+U; d: AMP; e: AMP+U。CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。

图 8 超声波和 AMP 处理的鸡胸肉的扫描电镜图

Fig.8 The scanning electron microscopy photographs of chicken breast in the treatments of ultrasound and AMP

2.9 鸡胸肉感官评价

感官评价分值(表 2)表明 16 号、6 号和 24 号鸡胸肉的嫩度感官评价最好,12 号、17 号和 1 号感官评价最低。对应地得出对照嫩度最差,而 AMP 和超声波联合嫩化的鸡胸肉嫩度最好的结论,与各样品剪切力值得出的结论基本一致,因此,感官评价能分辨出鸡胸肉之间的嫩度差异,但分辨率较剪切力等不明显。

3 结论

本试验对未处理的对照和经超声波、AMP 等不同嫩化处理的鸡胸肉进行对比分析,结果表明,超声波和 AMP 处理均可使鸡胸肉 pH 和 *MFI* 升高,过滤残留量减少且显著减小蒸煮损失和剪切力,使肉品热敏性、组织学结构和表面微观结构发生明显变化,肌动蛋白和肌球蛋白含量显著增大($P < 0.05$),从而改善鸡胸肉嫩度。但仍需进一步试验证实超声波与 AMP 联合对肌肉的嫩化效果与肌动球蛋白解离的关系及其复合嫩化方法的优化,确定肌动球蛋白解离与肌肉嫩化及超声波嫩化与 AMP 嫩化之间的关系,这将有助于更清楚地了解肌肉的宰后成熟机理,为改善禽类肉品质提供新的方向和方法。

表 2 各肉样的剪切力值和感官评价

Table 2 Shear force and sensory evaluation of chicken breast

处 理	剪切力值 (g)	感官评价 (分)	样品号
CK	1 769	3	4
	1 749	1	12
	1 725	1	17
	1 752	2	23
	1 740	1	1
水	1 704	3	22
	1 730	4	18
	1 687	3	3
	1 721	3	25
	1 698	4	13
水+U	1 483	7	19
	1 503	7	7
	1 473	8	14
	1 485	6	8
	1 506	7	2
AMP	1 552	5	11
	1 562	5	9
	1 563	4	15
	1 532	4	5
	1 541	5	21
AMP+U	1 213	9	16
	1 154	9	6
	1 182	8	20
	1 170	9	24
	1 201	7	10

表中感官评价分值为 1~9 分,感官评价分值均为平均值。CK、水、水+U、AMP、AMP+U 见图 1 注。

参考文献:

- [1] 刘海霞. 淘汰蛋鸡的嫩化、腌制和风干成熟工艺及其品质研究[D]. 南京:南京农业大学, 2008.
- [2] 杨保刚, 霍建聪, 王 炜. 淘汰鸡肉嫩化方法的实验研究[J]. 肉类工业, 2006(3): 14-16.
- [3] 姚伟伟, 帅 瑾, 廖定容, 等. 淘汰蛋鸡肌肉复合嫩化技术的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 238-245.
- [4] CHEMAT F, ZILL-E-HUMA, KHAN M K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(4): 813.
- [5] 秦卫东, 马利华, 陈学红, 等. 超声波与氯化钙对鸭肉嫩化的协同作用[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 53-56.
- [6] BEHRMANN E, MÜLLER M, PENCZEK P A, et al. Structure of the rigor actin-tropomyosin-myosin complex[J]. Cell, 2012, 150(2): 327.
- [7] NAKAMURA Y, MIGITA K, OKITANI A, et al. Mode of IMP and pyrophosphate enhancement of myosin and actin extraction from porcine meat.[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2013, 77(6): 1214-1218.
- [8] ORLOVA A, EGELMAN E H. Cooperative rigor binding of myosin to actin is a function of F-actin structure 1[J]. Journal of Molecular Biology, 1997, 265(5): 469-474.
- [9] CULLER R D, JR F C P, SMITH G C, et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle [J]. Journal of Food Science, 1978, 43(4): 1177-1180.
- [10] 杨 勇, 任 健, 王存堂, 等. 鹅肉嫩度的测定及感官评价[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2009, 30(6): 29-32.
- [11] 朱学伸. 动物宰后肌肉成熟期间乳酸含量与 pH 的变化[D]. 南京:南京农业大学, 2007.
- [12] 郭建凤, 武 英, 呼红梅, 等. 不同储存温度、时间对长白猪肌肉 pH 及失水率的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(1): 33-36.
- [13] 苏建军. 肌肉 pH 变化及其意义[J]. 肉类工业, 1997(2): 43-45.
- [14] 李兰会, 张宏鑫, 李潭清, 等. 宰后肉品 pH 值变化与嫩度的关系[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2008(5): 25-26.
- [15] 赵改名, 王艳玲, 朱河水. 牛肉嫩度的改善措施[J]. 中国牛业科学, 2000, 26(3): 47-52.
- [16] 薛维利. 提高火腿、红肠和烤肉口感的新方法[J]. 肉类工业, 2001(9): 13.
- [17] NAKAMURA Y, MIGITA K, OKITANI A, et al. Mode of IMP and pyrophosphate enhancement of myosin and actin extraction from porcine meat.[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2013, 77(6): 1214-1218.
- [18] OUALI A, HERRERA-MENDEZ C H, COULIS G, et al. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms[J]. Meat Science, 2006, 74(1): 44.
- [19] XIE C W, ZHU Y Z, WANG D Y, et al. Changes in meat quality of different duck varieties during postmortem aging[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(1): 161-165.
- [20] BAREKAT S, SOLTANIZADEH N. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 39: 223-229.
- [21] CHANG H J, XU X L, ZHOU G H, et al. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing[J]. Food & Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 285-297.
- [22] DERGEZ T, LÖRINCZY D, KÖNCZÖL F, et al. Differential scanning calorimetry study of glycerinated rabbit psoas muscle fibres in intermediate state of ATP hydrolysis[J]. BMC Structural Biology, 2007, 7(1): 41.
- [23] 史培磊, 闵辉辉, 李春保, 等. 滚揉腌制前后鹅肉品质的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 88-92.
- [24] YUAN R S, LIANG R R, LUO X. Effect of tumbling time and sodium chloride concentrations on the water-holding capacity and salt soluble proteins extracts of chicken breast[J]. Food & Fermentation Industries, 2011, 37(1): 162-161.
- [25] KRAUSE R J, OCKERMAN H W, KROL B, et al. Influence of tumbling, tumbling time, trim and sodium tripolyphosphate on quality and yield of cured hams[J]. Journal of Food Science, 2010, 43(3): 853-855.
- [26] MCDONNELL C K, ALLEN P, MORIN C, et al. The effect of ultrasonic salting on protein and water-protein interactions in meat[J]. Food Chemistry, 2014, 147(6): 245-251.
- [27] STADNIK J, DOLATOWSKI Z J, BARANOWSKA H M. Effect of ultrasound treatment on water holding properties and microstructure of beef during ageing[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2151-2158.
- [28] JAYASOORIYA S D, TORLEY P J, D'ARCY B R, et al. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles[J]. Meat Science, 2007, 75(4): 628-639.
- [29] OKITANI A, ICHINOSE N, KOZA M, et al. AMP and IMP Dissociate actomyosin into actin and myosin[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2008, 72(8): 2005-2011.

(责任编辑:陈海霞)