

超声波辅助变压滚揉对鸡肉腌制品质的影响

冯婷¹, 孙京新¹, 徐幸莲², 黄明², 刘晓莹¹

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266109)

(2. 国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 江苏南京 210095)

摘要: 本文研究了超声波辅助变压滚揉对鸡肉腌制品质的影响。取宰后 4 h 剔除筋膜修整之后的新鲜鸡胸肉(每份 50±1 g, 5×4×4 cm) 随机分成两组, 分别浸渍于装有腌制液的自封袋中, 采用常压滚揉和超声波辅助变压滚揉分别处理, 然后对处理后的样品进行剪切力、DSC 等指标的测定。结果表明, 超声波辅助变压滚揉处理组较常压滚揉处理组, 各指标均在较短时间内获得较佳效果; 腌制吸收率随处理时间的延长而显著增加 ($p<0.05$); 超声波辅助变压滚揉能够有效改善鸡肉嫩度, 处理 100 min 时剪切力降至 5.3 N; 蒸煮损失在 100 min 降为 24.98%; MFI 值随处理时间的延长显著增加 ($p<0.05$); SDS-PAGE 电泳图谱看出, 超声波辅助变压滚揉可以缩短大分子量蛋白降解以及小分子量蛋白产生的时间; DSC 结果显示, 滚揉后蛋白对热更加敏感。因此, 超声波辅助变压滚揉能够改善鸡肉的腌制品质。

关键词: 超声波; 变压滚揉; 鸡肉; 腌制品质

文章编号: 1673-9078(2015)5-248-254

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.5.039

Effect of Vacuum-pressure Alternating Tumbling Aided by Ultrasonic Waves on the Quality of Marinated Chicken

FENG Ting¹, SUN Jing-xin¹, XU Xing-lian², HUANG Ming², LIU Xiao-ying¹

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

(2. National Center of Meat Quality and Safety Control, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Effect of vacuum-pressure alternating tumbling, aided by ultrasonic waves on the quality of marinated chicken was investigated in this study. At 4 h post-mortem, fresh chicken breast samples without tendons (50 ± 1 g, 5 × 4 × 4 cm) were randomly divided into two groups, placed into separate Ziploc bags containing marinades, and treated with two different methods including atmospheric tumbling and vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves. Subsequently, shear force, differential scanning calorimetry (DSC), and other indicators of different treatment samples were determined. The results showed that, compared with atmospheric tumbling, vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves produced better indicator values in a relatively shorter time. For instance, the tenderness of chicken breast effectively improved and after a 100-min treatment, shear force reduced to 6.7 N and cooking loss reduced to 34%. With a longer treatment time, rate of marinade absorption ($p < 0.05$) and myofibrillar fragmentation index (MFI) value ($p < 0.05$) increased significantly. Sodium dodecyl sulfate-gel electrophoresis patterns showed that vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic wave significantly shortened the time to degrade high-molecular weight proteins and generate low-molecular weight proteins. DSC results showed that proteins were more sensitive to heat after tumbling. Therefore, vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves was shown to improve the quality of marinated chicken.

Key words: ultrasonic wave; vacuum-pressure-alternating tumbling; chicken; quality of marinated product

收稿日期: 2014-08-24

基金项目: “十二五” 国家科技支撑计划课题 (2012BAD28B03) 资助; 山东省现代农业产业技术体系家禽创新团队项目资助 (SDAIT-13-011-11); 国家肉品质量安全控制工程技术研究中心开放课题 (M2012K03); 特色名校建设工程大学生科技创新项目资助

作者简介: 冯婷 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 动物性食品加工及资源利用

通讯作者: 孙京新 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 畜产品加工

现如今, 随着经济的快速发展, 人们生活水平的不断提高, 健康和高品质的食品越来越受到消费者的喜爱。在所有的肉类中, 鸡肉的蛋白质含量最高, 是属于高蛋白低脂肪的健康食品, 因此被越来越多的消费者所接受^[1]。此外, 其肉质细嫩, 滋味鲜美, 含有较多的不饱和脂肪酸—油酸和亚油酸以及对人体生长发育有重要作用的磷脂类, 因此可弥补牛肉及猪肉的不足^[2]。在鸡肉加工过程中腌制是必不可少的工艺,

如果腌制过程中没有促进食盐快速渗透的有效手段,就会造成食盐渗透缓慢、腌制时间长等一系列的问题,从而导致鸡肉的腐败变质。为了探索出理想高效的腌制工艺,越来越多的学者对肉制品的腌制进行了研究和改进。

滚揉是进行“动态腌制”^[3]的过程,是加快腌制速度的一种最常用的方法。其还具有促进发色、改善肉的嫩度、促进某些盐溶性蛋白质的提取等作用^[4],因此国内外学者从20世纪60、70年代起就开始对其进行研究。Hayes^[5]等研究发现,真空滚揉工艺改善了牛肉产品的嫩度和保水性。史培磊等^[6]探讨了经真空滚揉腌制以后鹅肉品质的变化,结果表明滚揉腌制工艺可以显著提高鹅肉的食品品质、提高其保水性、改善肌肉的嫩度。而与传统真空滚揉腌制工艺相比,变压滚揉使肉块在桶内运动过程中,不仅要克服本身重力做功,还要克服相应气体摩擦力做功,因而增加了机械摩擦效率,促进了肉块软化^[7]。钱灵燕等^[8]对猪肉腌制过程中色泽受不同滚揉工艺处理的影响作了初步研究,研究结果显示加压滚揉腌制利用较短的时间便使得猪后腿肉的色泽达到了传统工艺水平。此外,超声波作为一种高效且绿色环保的现代技术,在肉制品加工中也具有很好的应用价值。Jayasooriy 等^[9]研究结果证明超声波处理2 min、4 min能使肉样的剪切力显著降低($p<0.05$),改善肉的嫩度。孙金辉等^[10]研究了超声波处理对鸡肉腌制和谷氨酰胺转氨酶渗透的影响。

目前,国内外关于超声波与变压滚揉相结合的腌制工艺及其效果方面的研究报道较少。本文采用超声波辅助变压滚揉以及传统的滚揉腌制工艺来分别处理生鲜鸡肉,对处理后的肉样进行腌制吸收率等指标的测定,然后进行对比分析,以此来初步探索超声波辅助变压滚揉工艺对鸡肉腌制效果的影响,为这一全新工艺方法的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜鸡胸肉:青岛市城阳区大润发超市;蛋白质Marker (Thermo Scientific #226610 14.4~116.0 ku、10~200 ku) Thermo Fisher Scientific 公司;电泳试剂:均为优级纯;其他试剂:均为分析纯。

1.2 仪器设备

GR-20型滚揉机,诸城市新得利食品机械有限责任公司;JY92-IIID型超声波细胞破碎仪,宁波新芝生

物科技股份有限公司;UDK142型嫩度仪,东北农业大学工程学院;DYY-6C型电泳仪、DYCZ-24DN型电泳模具,北京市六一仪器厂;TA-XT2i型质构仪,英国Stable Micro Systems公司;HH-S6型恒温水浴锅,金坛市恒丰仪器厂;Acculab型电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;DSC1型差示扫描量热仪,瑞士梅特勒-托利多公司

1.3 方法

1.3.1 腌制液的配制

参考苑瑞生^[11]的研究结果配制腌制液,使NaCl的浓度为2.5%,配制腌制液的水要求先预冷,温度控制在0℃左右。

1.3.2 肉样的处理

将新鲜鸡胸肉切成规整的肉块样品(50±1 g),分别浸渍于装有腌制液(腌制液的添加量为样品重的35%^[11])的自封袋中,进行以下两组处理:

常压滚揉处理:将装于盛有腌制液自封袋中的样品平均分为6份,将其加入滚揉机中,滚揉参数:温度0~4℃,转速16 r/min(下同),滚揉压强为标准大气压0.1013 MPa。采用单向连续常压滚揉方式分别处理20、40、60、80、100 min,0 min处理为对照(下同)。

超声波辅助变压滚揉处理:将每份装于自封袋中的肉块样品(50±1 g)先放入超声波细胞破碎仪(25 KHz, 900 W)中处理2 min,然后将其置于真空度-0.08 MPa下单向连续真空滚揉9 min后再于标准大气压0.1013 MPa下单向连续常压滚揉9 min。重复1、2、3、4次,则对应样品处理时间分别为20、40、60、80、100 min。

每组处理重复3次。

1.3.3 腌制吸收率(RMA)

称取处理前每份肉的总质量(w_1),滚揉完成后用吸水纸吸干肉块表面腌制液,再次称其总质量(w_2)。按以下公式计算腌制吸收率:

$$RMA(\%) = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\%$$

1.3.4 剪切力

取处理后的肉块样品,用手术刀顺鸡胸肉肌纤维方向取1.0 cm×0.5 cm×6.0 cm长方条,用嫩度仪测定其剪切力^[12]。

1.3.5 蒸煮损失

将处理后的肉块样品切成2×1.5×1 cm的小块,用滤纸吸去可见的水分,称重(w_3);将肉块用蒸煮袋包装好后,用恒温水浴锅煮肉(设定煮制温度为100℃,

15 min), 使肉中心温度达到 70 °C (将温度计插入肉块中心测量), 将肉块取出, 在冰箱 (4 °C) 放置 16 h, 用滤纸吸去可见的水分。称量煮后肉重(w_4), 然后按以下公式计算:

$$\text{蒸煮损失}/\% = \frac{w_3 - w_4}{w_3} \times 100\%$$

1.3.6 肌原纤维小片化指数 (MFI)

将处理后的肉块样品根据 Culler 等^[13]和 Hopkins^[14]的方法制备肌原纤维蛋白悬液, 在 540 nm 处测定其吸光率 A, 通过 $MFI=A \times 200$ 计算 MFI 值。肌原纤维蛋白悬液的蛋白质浓度根据双缩脲法测定。

1.3.7 SDS-PAGE 电泳

参考 Hughes 等^[15]的方法制备肌浆蛋白, 用双缩脲法测定蛋白浓度。采用 12% 的分离胶、5% 的浓缩胶, 选用分子量范围在 14.4~116.0 ku 的低分子量的标准蛋白, 参考 Tomaewska^[16]、汪家政 (2005)^[17]的方法对肌浆蛋白进行 SDS-PAGE 电泳。

取 1.3.6 方法中测定 MFI 的肌原纤维蛋白悬液, 参考汪家政 (2005)^[17]的方法, 采用 10% 的分离胶、5% 的浓缩胶, 选用分子量范围在 10.0~200.0 ku 的高分子量的标准蛋白, 对肌原纤维蛋白进行 SDS-PAGE 电泳。

1.3.8 差示扫描量热法 (DSC)

将处理后的肉块样品, 精确取约 20 mg 置于 DSC 坩埚中, 将样品在坩埚底部压实, 并加盖密封, 以空坩埚作为参比, 从 25 °C 加热到 105 °C, 升温速率为 1 °C/min, 样品室用循环水冷却, 氮气流量 20 mL/min, 保护气流量 60 mL/min。记录差示扫描量热仪吸热曲线上的变性温度 (T_{01} 、 T_{02} 、 T_{03}) 和变性焓 (ΔH_1 、 ΔH_2 、 ΔH_3)。

1.3.9 统计分析

采用统计软件 SPSS 17.0 及 Excel 2003 对数据进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 超声波辅助变压滚揉对腌制鸡肉腌制吸收率 (RMA) 的影响

由图 1 可看出, 在两种不同的滚揉方式处理下, 随着处理时间的逐渐增加, 鸡肉的腌制吸收率均增大。其中超声波辅助变压滚揉组的腌制吸收率的变化较常压滚揉处理组差异显著 ($p < 0.05$), 其在 20 min 时的腌制吸收率比常压滚揉组处理 100 min 后的值还要高。超声波辅助变压滚揉较常压滚揉处理增加了变压

和超声波这两种工艺, 变压处理会使肌肉细胞的渗透性发生改变, 从而促使盐水迅速、均匀地分散到肌肉纤维的各部分; 同时超声波作用会改变反应物的质量传输机制, 提高酶的活性, 加速细胞新陈代谢过程, 促进氯化钠的渗透与扩散^[18], 因此, 其 RMA 要显著优于常压滚揉处理。此外, 在 60 min 后两组的增长趋势趋于平缓, 这可能是由于短时间的摔打按摩, 使机械与肉块之间, 肉块与肉块之间发生的拉牵和挤压不足以使肌肉组织变得更松弛、肌原纤维分散、结缔组织软化以及可能是由于前期受超声波的影响, 肌肉结构破坏程度不再受进一步的影响, 进而对 RMA 的影响不显著。

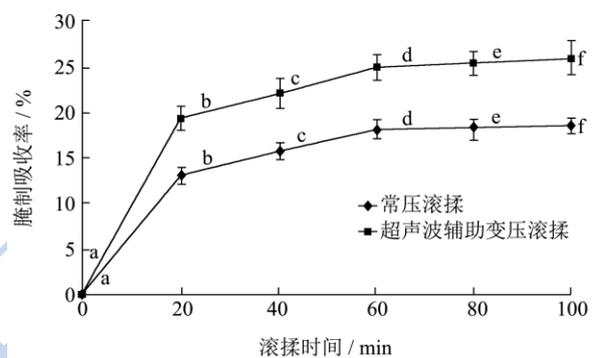


图 1 超声波辅助变压滚揉对鸡肉腌制吸收率的影响

Fig.1 Effect of vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves on the rate of marinade absorption

注: a~f 表示相同处理方式不同滚揉时间之间差异显著, ($p < 0.05$)。

2.2 超声波辅助变压滚揉对腌制鸡肉剪切力的影响

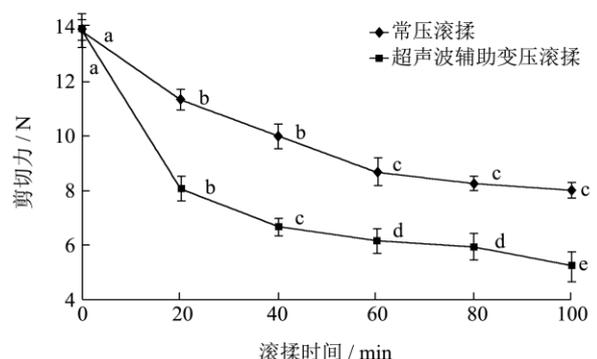


图 2 超声波辅助变压滚揉对腌制鸡肉剪切力的影响

Fig.2 Effect of vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves on the shear force of marinated chicken

注: a~e 表示相同处理方式不同滚揉时间之间差异显著, ($p < 0.05$)。

剪切力表示嫩度的高低, 剪切力值越大, 肌肉嫩

度越小,反之则嫩度越大^[19]。由图2可看出,两种滚揉方式处理后,鸡肉的剪切力均随着滚揉时间的延长而逐渐减小,这表明其嫩度逐渐增大。超声波辅助变压滚揉处理组与常压滚揉相比,其剪切力变化更为明显,其可以在较短时间内达到常压滚揉组处理100 min时的嫩化效果。这与 Pohlman^[20]等的研究结果基本一致,产生这种差异的原因可能是由于超声波的空化效应使得鸡肉肌原纤维和结缔组织在短时间内遭到破坏,组织内的嫩化酶被释放出来,进而使得嫩化效果显著优于常压滚揉组;此外,在变压条件下,样品之间的碰撞、摩擦等作用会使得肌肉的组织结构发生变化,肌肉细胞膨胀破裂,部分具有胶粘作用的蛋白质渗出,提高了嫩度。60 min之后,两组处理组的剪切力的变化趋势减弱,这可能是由于滚揉的作用效果是有限的,所以导致嫩化速率减缓。

2.3 超声波辅助变压滚揉对腌制鸡肉蒸煮损失率的影响

的影响

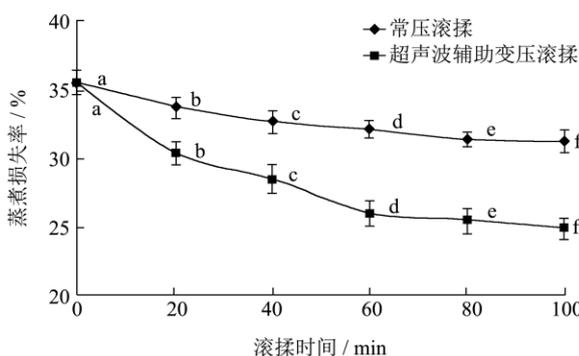


图3 超声波辅助变压滚揉对腌制鸡肉蒸煮损失率的影响

Fig.3 Effect of vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves on the rate of cooking-loss of marinated chicken

注: a-f 表示相同处理方式不同滚揉时间之间差异显著, ($p < 0.05$)。

由图3可看出,随着滚揉时间的延长,两种滚揉方式处理后的鸡肉的蒸煮损失率均呈现出不断减小的趋势。这可能是因为随着滚揉时间的延长,促进了鸡肉肉块表面组织的破裂,使得大量盐溶性蛋白质向肉的表面富集,经过加热处理后就形成了大量的凝胶体,从而使得蒸煮损失降低,提高了肉的保水性,这个结果与苑瑞生等^[21]的研究结果相一致。此外,超声波辅助变压滚揉组在0~60 min时间段内显著降低,60 min后趋于平稳,这与 Krause 等^[22]的研究结果较一致,可能是由于超声波处理可以在一定程度上促进了盐溶性蛋白向肉表面的富集,提高了肉块表面阻止水分向外扩散的能力;而且超声波的空化效应也可以穿透组织

内部,破坏组织结构,释放出更多的盐溶性蛋白,从而随着处理时间的增加,从而使得蒸煮损失率显著性减小。此外,在变压条件下,压强的交替变化也会造成肌肉细胞内的水分易被锁住,从而在蒸煮时不易流失。

2.4 超声波辅助变压滚揉对腌制鸡肉 MFI 值

的影响

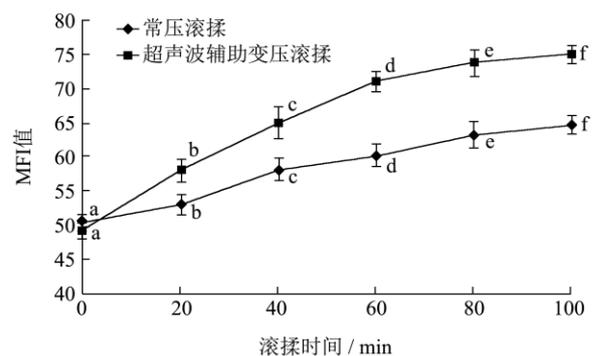


图4 超声波辅助变压滚揉对腌制鸡肉 MFI 值的影响

Fig.4 Effect of vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves on the myofibrillar fragmentation index value of marinated chicken

注: a-f 表示相同处理方式不同滚揉时间之间差异显著, ($p < 0.05$)。

由图4所示可看出,两组处理后鸡肉的 MFI 值均随着滚揉时间的延长不断增加,其中超声波辅助变压滚揉处理组变化更为显著。超声波辅助变压滚揉处理组在0~60 min时间段中,MFI 值的增长速率显著增加 ($p < 0.05$),这可能是因为超声波作用使组织结构进一步破坏,肌纤维的破碎程度进一步扩大;此外,压强的改变使得肌纤维受到更多的作用力,从而使得肌纤维的破碎程度增大。已有研究表明 MFI 值越大,肌原纤维内部结构完整性受到破坏的程度越大, MFI 值和肉的嫩度显著相关^[23],并将 MFI 值作为预测生鲜肉嫩度的一个重要指标。试验结果表明超声波变压滚揉处理使肌原纤维小片化程度扩大,提高了肌原纤维片段化程度,改善了鸡肉的嫩度,这与剪切力的测定结果相吻合。

2.5 SDS-PAGE 电泳

从图5中发现,两组处理组在66.2~116.0 ku之间部分大分子蛋白条带随着处理时间的延长逐渐变细、颜色逐渐变淡;25.0~45.0 ku部分蛋白条带随着处理时间的延长逐渐加宽、颜色变深。这些现象表明样品在处理过程中,大分子量肌浆蛋白不断降解产生较多

的小分子量肌浆蛋白。产生这种现象的原因可能是由于滚揉的机械作用使得鸡肉中的鸡浆蛋白溶出，大分子量的蛋白发生分解产生较小分子量的蛋白，而且超声波的作用可以使得鸡肉细胞破裂，肌浆蛋白溶出，在酶的作用下发生分解产生小分子量的蛋白。图 5a 常压滚揉组中，60 min 时 33.0~35.0 ku 间的蛋白增多；图 5b 超声波辅助变压滚揉组中，在 20 min 时 33.0~35.0 ku 间的蛋白较 0 min 处理组已显著增加，因此可以看出，超声波以及变压的作用可以加速肌浆蛋白的溶出、大分子量肌浆蛋白的分解以及小分子量蛋白的溶出。

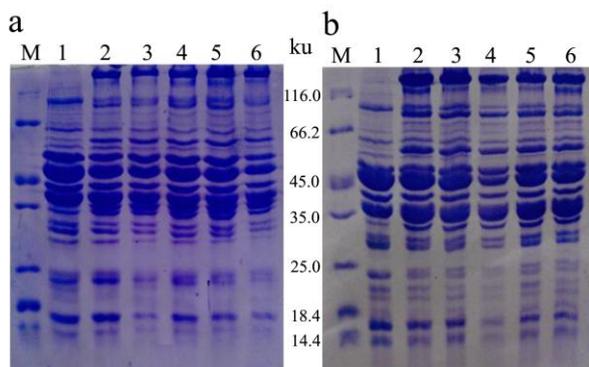


图 5 超声波辅助变压滚揉后的鸡肉肌浆蛋白 SDS-PAGE 图谱

Fig.5 SDS-PAGE patterns of chicken sarcoplasmic proteins after vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves

注：1~6 分别为处理 0 min、20 min、40 min、60 min、80 min、100 min，M 为标准蛋白 Marker(分子量范围为 14.4~116.0 ku)，a 为常压滚揉处理，b 为超声波辅助变压滚揉处理。

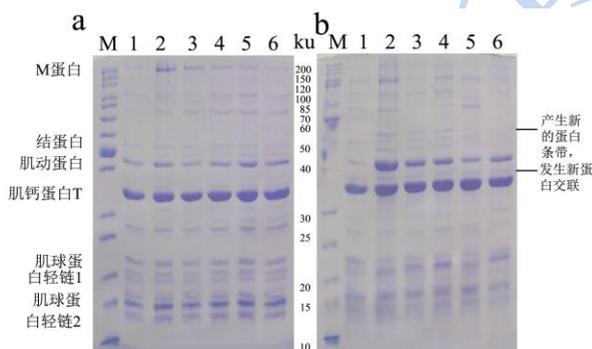


图 6 超声波辅助变压滚揉后的鸡肉肌纤维蛋白 SDS-PAGE 图谱

Fig.6 Sodium dodecyl sulfate-gel electrophoresis patterns of chicken myofibrillar proteins after vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves

注：1~6 分别为处理 0 min、20 min、40 min、60 min、80 min、100 min，M 为标准蛋白 Marker(分子量范围为 10~200 ku)，a 为常压滚揉处理，b 为超声波辅助变压滚揉处理。

图 6 显示，两组处理组中，M 蛋白(160 ku)、结蛋白(53 ku)、肌动蛋白(41.8~61 ku)的蛋白条带随着处理时间的延长呈现出逐渐变细、颜色逐渐变淡的

趋势；此外 20~25 ku 之间的部分低分子量蛋白条带随着处理时间的延长逐渐加宽、颜色变深。这些现象可以表明随着处理时间的增加，大分子量肌原纤维蛋白出现不同程度的降解，部分小分子量肌原纤维蛋白产生。产生这种现象的原因很可能是滚揉的物理作用促使某些酶的释放，从而使得肌纤维蛋白的几种主要蛋白发生降解，生成分子量较小的亚基或多肽。此外，超声波辅助变压滚揉处理组在分子量 30~40 ku 之间，有新的蛋白条带产生，出现蛋白交联现象，而常压滚揉处理组并未出现这一现象，这一差异可能是由于超声波处理能使溶酶体膜破坏，释放组织蛋白酶，与钙蛋白酶体系共同发挥蛋白降解的作用，从而加速了大分子量蛋白的降解，这与李兰会等^[24]的研究结果相一致。此外，结蛋白是组成中间丝结构和 Costmaeres 蛋白质的一种组成成分^[25]，其能通过 Z-线将相邻的肌原纤维连接在一起，还可以将肌原纤维连接到其他细胞结构上，结蛋白发生降解就能破坏肌原纤维本身结构的完整性、破坏肌原纤维和肌纤维膜的连接，从而改善嫩度，这与之前的结论相对应。

2.6 不同滚揉方式处理后腌制鸡肉 DSC 热流曲线的变化

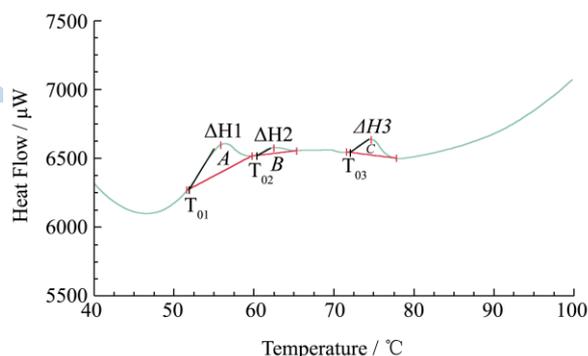


图 7 未处理鸡肉的 DSC 热流图

Fig.7 Differential scanning calorimetry thermogram of unprocessed chicken

未进行任何处理的鸡肉的 DSC 热流曲线如图 7 所示，曲线上一共出现了 3 个峰，分别为峰 I、峰 II、峰 III。已有相关研究报道^[26]峰 I 为肌球蛋白变性引起的热流变化；峰 II 为胶原蛋白变性引起的热流变化；峰 III 为肌动蛋白变性引起的热流变化。总体上来说，随着滚揉时间的增加，两种滚揉方式处理后的样品的 3 个峰点的变性温度及焓值均呈现出减小的趋势，且差异显著 ($p < 0.05$)；在滚揉一段时间后代表肌原蛋白的峰 II 消失。这表明滚揉腌制对这 3 种蛋白的热稳定性具有显著的影响，其使得蛋白对热更加敏感，这个

结果与史培磊等^[6]的研究相一致, 其研究表示产生这种现象的原因可能是滚揉腌制改变了蛋白的高级结构, 使其空间立体性增加, 或者使得蛋白与蛋白之间交联改变, 包括粗丝细丝距离增加、肌原纤维骨架蛋白的降解、胶原蛋白组成链中赖氨酰吡啶啉和羟赖氨酰吡啶啉的交联遭到破坏等。这个结果也与

SDS-PAGE 电泳的结果相一致, 肌球蛋白等肌纤维蛋白在滚揉过程中可能发生了降解。超声波辅助变压滚揉后样品的 3 个峰点的变性温度低于常压处理组, 这表明超声波与变压促进了滚揉对蛋白热稳定性的作用。

表 1 不同滚揉方式处理后腌制鸡肉的变性温度和变性焓

Table 1 Thermal denaturation temperature and denaturation enthalpy of chicken through vacuum-pressure alternating tumbling aided by ultrasonic waves

处理方式	处理时间/min	T ₀₁ /°C	ΔH ₁ (J/g)	T ₀₂ /°C	ΔH ₂ (J/g)	T ₀₃ /°C	ΔH ₃ (J/g)
常压滚揉	0	57.69±0.21 ^{aA}	0.43±0.02 ^{aA}	65.04±0.11 ^{aA}	0.088±0.001 ^{aA aA}	78.84±0.26 ^{aA}	0.25±0.02 ^{aA}
	20	55.23±0.27 ^{ba}	0.31±0.02 ^{ba}	64.74±0.13 ^{ba}	0.066±0.001 ^{ba}	73.31±0.27 ^{ba}	0.18±0.03 ^{ba}
	40	55.07±0.18 ^{cA}	0.21±0.01 ^{cB}	64.36±0.09 ^{cA}	0.014±0.001 ^{cA}	70.57±0.12 ^{cA}	0.20±0.03 ^{bb}
	60	54.52±0.23 ^{da}	0.18±0.01 ^{da}	-	-	66.67±0.51 ^{da}	0.17±0.01 ^{ba}
	80	54.19±0.35 ^{eA}	0.15±0.02 ^{dB}	-	-	65.98±0.42 ^{eA}	0.17±0.01 ^{ba}
	100	54.01±0.23 ^{fA}	0.17±0.01 ^{da}	-	-	65.62±0.11 ^{fA}	0.18±0.03 ^{ba}
超声波辅助 变压滚揉	0	57.95±0.26 ^{aA}	0.45±0.03 ^{aA}	65.44±0.13 ^{aA}	0.092±0.003 ^{aA}	78.93±0.49 ^{aA}	0.27±0.01 ^{aA}
	20	54.58±0.42 ^{bd}	0.26±0.02 ^{bb}	63.74±0.51 ^{bd}	0.018±0.001 ^{bb}	71.89±0.73 ^{bd}	0.13±0.07 ^{cb}
	40	54.79±0.12 ^{cC}	0.24±0.04 ^{bb}	-	-	66.51±0.32 ^{cD}	0.19±0.03 ^{bb}
	60	53.18±0.47 ^{bd}	0.13±0.02 ^{dB}	-	-	64.98±0.35 ^{dc}	0.13±0.02 ^{cA}
	80	53.15±0.33 ^{dc}	0.20±0.01 ^{cA}	-	-	64.62±0.37 ^{cC}	0.12±0.02 ^{cb}
	100	53.15±0.62 ^{dc}	0.17±0.03 ^{cA}	-	-	64.63±0.37 ^{eb}	0.11±0.02 ^{cb}

注: “-”表示未出现峰; a-f 表示相同处理方式不同滚揉时间之间差异显著, (p<0.05); A-D 表示相同滚揉时间不同处理方式之间差异显著, (p<0.05)。

3 结论

本文研究了超声波辅助变压滚揉对鸡肉腌制品质的影响, 通过对腌制吸收率、剪切力、SDS-PAGE 电泳等指标的综合对比, 确定并验证了超声波辅助变压滚揉在腌制效率以及改善鸡肉腌制后的品质方面都要优于传统常压滚揉腌制工艺。因此, 将超声波应用于生鲜鸡肉制品的腌制和加工具有切实的可行性, 超声波技术与变压滚揉工艺相结合的应用效果以及应用前景也将更为广阔, 本文也为其在肉品生产及加工中的应用可行性提供了一定的理论依据。但是目前国内外的并没有可应用的超声波辅助变压滚揉设备以及单纯的变压滚揉设备, 对于设备参数的确定和优化仍需要进一步研究。

参考文献

[1] Sáyo-Ayerdi S G, Brenes A, Viveros A. Antioxidative effect of dietary grape pomace concentrate on lipid oxidation of chilled and long-term frozen stored chicken patties [J]. Meat Science, 2009, 83(3): 528-533

[2] 张永明, 孙晓蕾. 鸡肉的营养价值与功能 [J]. 肉类工

业, 2008, 8: 57

ZHANG Yong-ming, SUN Xiao-lei. Nutritional value and function of chicken [J]. Meat Industry, 2008, 8: 57

[3] 张瑞宇. 物理新技术改进肉类肌肉结构的机理和应用 [J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2005, 22(1): 44-48

ZHANG Rui-yu. Mechanism of muscle texture improvement by newly physical techniques and its application [J]. J Chongqing Technol. Business Univ. (Nat. Sci. Ed), 2005, 22(1): 44-48

[4] 吴亚杰. 滚揉技术浅析 [J]. 肉类工业, 2005, 4: 45-46

WU Ya-jie. Simple analysis of tumbling technology [J]. Meat Industry, 2005, 4: 45-46

[5] Hayes J E, Kenny T A, Ward P, et al. Development of a modified dry curing process for beef [J]. Meat Science, 2007, 77(3): 314-323

[6] 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

SHI Pei-lei, MIN Hui-hui, LI Chun-bao, et al. Changes in meat quality characteristics of goose breast muscle after tumbling [J]. Food Science, 2011, 32(11): 88-92

[7] 詹文圆, 郇延军, 孙敬, 等. 变压滚揉腌制工艺对冷却猪肉中

- 微生物的影响[J].食品工业科技,2009,30(1):211-213
- ZHAN Wen-yuan, HUAN Yan-jun, SUN Jing, et al. Effect of pressure-transform tumbling craft on the microbe existed in the cooling pork [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(1): 211-213
- [8] 钱灵燕, 郇延军, 刘成林. 不同滚揉腌制工艺处理对猪肉腌制过程中色泽的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(4): 125-128
- QIAN Ling-yan, HUAN Yan-jun, LIU Cheng-lin. Effect of different tumbling crafts on the color in pork curing process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2010, 31(4): 125-128
- [9] Jayasooriya P J, Torley B R, Arcy D, et al. Tenderization of semitendinosus muscle using high intensity ultrasound [J]. Meat Science, 2007, 75(4): 628-639
- [10] 孙金辉, 管俊峰, 刘爽, 等. 超声波处理对鸡肉腌制和谷氨酰胺转氨酶渗透的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007, 37(12): 172-176
- SUN Jin-hui, GUAN Jun-feng, LIU Shuang, et al. The effects of ultrasonic treatment on the penetration of pickling and Tgase [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(12): 172-176
- [11] 苑瑞生. 滚揉工艺对鸡肉调理制品食用品质影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011
- YUAN Rui-sheng. Study of rubbing technology on the edible quality of prepared chicken [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2011
- [12] 彭增起, 蒋爱明. 畜产品加工学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 9-10
- PENG Zeng-qi, JIANG Ai-ming. Experimental technology of animal products processing [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 9-10
- [13] Culler R D, Parrish F C, Smith G C, et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle [J]. Food Science, 1978, 43(4): 1177-1180
- [14] Hopkins D L, Littlefield J M, Thompson J M. A research on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation [J]. Meat science, 2000, 56(1): 19-22
- [15] Hughes M C, Keny J P, Arendt E K, et al. Characterization of proteolysis during the ripening of semi-dry fermented sausages [J]. Meat Science, 2002, 62(2): 205-216
- [16] Tomaszewska G J, Kijowski J, Schreurs F J. Quantitative determination of titin and nebulin in poultry meat by SDS-PAGE [J]. Meat Science, 2002, 62(1): 61-66
- [17] 汪家政, 范明. 蛋白质技术手册[M]. 北京: 科学出版社, 2005
- WANG Jia-zheng, FAN Ming. Technical manual of protein [M]. Beijing: Science Press, 2005
- [18] 郑玉锴, 刘树滔, 陈躬瑞, 等. 超声波技术在咸蛋腌制中的应用及其机理初探[J]. 福州大学学报(自然科学版), 1996, 24(3): 71-74
- ZHENG Yu-qiang, LIU Shu-tao, CHEN Gong-rui, et al. Application of ultrasonic wave to the production of salted duck eggs and its mechanism [J]. Journal of Fuzhou University (Natural Science), 1996, 24(3): 71-74
- [19] 朱仁俊, 黄启超, 唐臻睿, 等. 云南武定鸡肌肉组织学特性与嫩度分析[J]. 食品科技, 2012, 37(7): 128-130
- ZHU Ren-jun, HUANG Qi-chao, TANG Zhen-rui, et al. Analysis on muscular histological traits and meat tenderness of Yunnan Wuding chicken [J]. Food Science and Technology, 2012, 37(7): 128-130
- [20] Pohlman F W, Dikeman M E, Kropf D H. Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packages and unpackaged beef pectoralis muscle [J]. Meat Science, 1997, 46(1): 89-100
- [21] 苑瑞生, 梁荣蓉, 罗欣. 滚揉时间和食盐浓度对鸡肉调理制品的保水性及盐溶性蛋白质溶出量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(1): 162-166
- YUAN Rui-sheng, LIANG Rong-rong, LUO Xin. Effect of tumbling time and sodium chloride concentrations on the water-holding capacity and salt soluble proteins extracts of chicken breast [J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(1): 162-166
- [22] 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, 1978, 43(3): 853-855
- [23] Geensink G H, Taylor R G, Bekhit A E, et al. Evidence against the non-enzymatic calcium theory of tenderization [J]. Meat Science, 2001, 59(4): 417-422
- [24] 李兰会, 张志胜, 李艳琴, 等. 超声波在羊肉嫩化中的应用研究[J]. 食品科学, 2005, 26(4): 107-111
- LI Lan-hui, ZHANG Zhi-sheng, LI Yan-qin, et al. Study on supersonic wave treatment on mutton tenderization [J]. Food Science, 2005, 26(4): 107-111
- [25] Olson D G. Myfibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage [J]. Journal of Food Science, 1976, 41(5): 1036-1040
- [26] Martens H, Stabursvik E, Martens M. Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal

denaturation of muscle proteins [J]. Journal of Texture

Studies, 1982, 13(3): 291-309

现代食品科技