

超声协同次氯酸钠处理对冷藏鸡胸肉品质的影响

孙永才¹, 孙京新^{1*}, 李 鹏¹, 慕鸿雁¹, 王宝维¹, 黄 明², 李玉峰³, 王虎虎²

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266109; 2. 南京农业大学 国家肉品质量安全控制工程技术研究中心, 江苏 南京 210095; 3. 山东省农业科学院家禽研究所, 禽病诊断与免疫重点实验室, 山东 济南 250023)

摘 要: 为降低鸡胸肉减菌过程中次氯酸钠的使用浓度, 本研究采用了超声 (300 W、工作1 s、停歇1 s、总时间15 min) 与次氯酸钠 (30 mg/L) 相结合的方式对鸡胸肉进行处理。通过对鸡胸肉冷藏 (4 °C) 过程中菌落总数、pH值、色泽、嫩度、质构特性、保水性指标的测定, 探讨了超声协同次氯酸钠 (U/SH₃₀) 处理对鸡胸肉的减菌效果及冷藏过程中品质的影响。结果表明: 与对照组 (浸没在4 °C预冷的90 mL无菌生理盐水中15 min的样品) 相比, 在冷藏第0天时, U/SH₃₀处理对鸡胸肉的pH值、色泽、质构特性无显著影响 ($P>0.05$), 菌落总数显著下降 ($P<0.05$), 嫩度和保水性显著增大 ($P<0.05$); 在冷藏1~6 d, 菌落总数、pH值、 b^* 值、硬度和黏性显著低于对照组 ($P<0.05$), 弹性、 L^* 值、 a^* 值整体上显著高于对照组 ($P<0.05$)。因此, 超声协同次氯酸钠处理可以提高鸡胸肉的嫩度和保水性, 并延长其保鲜期。

关键词: 超声; 次氯酸钠; 减菌; 鸡胸肉品质

Synergistic Effect of Ultrasound and Sodium Hypochlorite Treatment on Quality of Chilled Chicken Breast Meat

SUN Yongcai¹, SUN Jingxin^{1*}, LI Peng¹, MU Hongyan¹, WANG Baowei¹, HUANG Ming², LI Yufeng³, WANG Huhu²

(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; 3. Key Laboratory of Poultry Disease Diagnosis and Immunology, Institute of Poultry Science, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250023, China)

Abstract: In order to reduce the concentration of sodium hypochlorite used to reduce its bacteria count, chicken breast meat was treated by the combination of ultrasound (300 W, on-off pulses of 1 s/1 s, 15 min) and sodium hypochlorite (30 mg/L). The effect of this combined treatment (U/SH₃₀) on the bacterial decontamination and storage quality of chicken breast meat was evaluated through the determination of the total number of colonies, pH, color, tenderness, texture and water-holding capacity of chicken breasts during chilled storage (4 °C). The results showed that U/SH₃₀ treatment had no significant effect on pH, color or texture ($P>0.05$), but decreased significantly total number of colonies ($P<0.05$), and increased tenderness and water-holding capacity ($P<0.05$) on day 0 compared with the control group (immersed for 15 min in sterile saline precooled to 4 °C). Total number of colonies, pH, b^* value, hardness and adhesiveness were lower, while springiness, L^* value and a^* value were higher than those in the control group from day 1 to 6. These results indicated that combining ultrasound with sodium hypochlorite can improve the tenderness and water-holding capacity while prolonging the shelf life of chicken meat.

Keywords: ultrasound; sodium hypochlorite; bacterial decontamination; chicken breast quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180413-168

中图分类号: TS251.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 09-0262-07

引文格式:

孙永才, 孙京新, 李鹏, 等. 超声协同次氯酸钠处理对冷藏鸡胸肉品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(9): 262-268.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180413-168. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2018-04-13

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系家禽创新团队建设项目 (SDAIT-11-11);

“十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFD0501400)

第一作者简介: 孙永才 (1991—) (ORCID: 0000-0002-9602-2997), 男, 硕士研究生, 研究方向为动物性食品加工及资源利用。

E-mail: sunyongcai2012@163.com

*通信作者简介: 孙京新 (1970—) (ORCID: 0000-0002-9211-2151), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品质量与安全控制。

E-mail: jxsun20000@163.com

SUN Yongcai, SUN Jingxin, LI Peng, et al. Synergistic effect of ultrasound and sodium hypochlorite treatment on quality of chilled chicken breast meat[J]. Food Science, 2019, 40(9): 262-268. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx.1002-6630-20180413-168. <http://www.spkx.net.cn>

冷鲜鸡肉是指检疫后的肉鸡经屠宰后迅速使胴体中心温度降低到0~4℃,并在贮运、销售过程中始终保持在温度范围内的新鲜鸡肉^[1]。肉鸡屠宰加工过程的冷却环节主要采用三段式预冷槽预冷,该方法极易产生交叉污染^[2]。因此,有效杀灭预冷槽中的微生物对减少肉鸡胴体表面初始菌落总数、提高冷鲜肉鸡产品品质具有重要意义。

超声波作为一种安全的非热物理杀菌方式得到广泛的认可^[3]。然而,超声波的空化效应在介质中的作用面积是非常有限的,只有少数微生物能够恰好被空穴气泡作用到,这也限制了超声波杀菌在实际生产中的应用效果^[4]。因此,超声波与其他减菌方式相结合受到关注。Kordowska-Wiater等^[5]比较了单独超声和超声结合体积分数1%乳酸溶液处理对水浴中的鸡皮肤表面革兰氏阴性菌的减菌效果,结果表明,超声结合乳酸处理组的减菌效果比单独超声处理组更显著。Andersen^[6]、Boysen^[7]、Musavian^[8]等结合超声与热蒸汽共同用于肉鸡胴体减菌,其作用效果显著,杀菌效率高而且对肉鸡胴体的品质没有影响。Haughton等^[9]研究了在不同温度 and 不同处理时间条件下,不同强度超声对空肠弯曲杆菌菌悬液、鸡皮肤与鸡腿表面微生物的杀菌效果,结果表明空肠弯曲杆菌对超声结合热处理更加敏感,相对于菌悬液,鸡皮肤和鸡腿表面的空肠弯曲杆菌更难被清洗和杀死。Lee等^[10]研究了超声结合不同质量浓度(100、200 mg/L)次氯酸钠对鸡皮肤表面沙门氏菌的杀灭效果,结果表明超声结合200 mg/L次氯酸钠处理5 min能够显著减少沙门氏菌菌落数,并且对黏附在鸡皮肤表面的沙门氏菌具有显著的清除作用。在超声与次氯酸钠、氧化钙、酸性电解水、植物提取精油、二氧化氯在水果和蔬菜上的应用实验中,均发现超声能够增强减菌剂的减菌效果^[11-17]。

次氯酸钠是肉鸡工厂化生产中常用的胴体减菌剂,已有研究表明,次氯酸钠使用质量浓度大于50 mg/L时会对胴体的色泽、气味产生不利影响,余氯残留会产生三氯甲烷(一种致癌物)、氨基脲等有害物的潜在危害^[18-21]。因此,降低次氯酸钠的使用浓度并保证安全可靠的杀菌效果对工厂化肉鸡屠宰企业的生产具有实际的指导意义。肉鸡的羽毛、皮肤、粪便和消化道等处携带有大量微生物,家禽胴体尤其容易携带大肠杆菌^[22]。大肠杆菌是生产过程中微生物安全控制的指示菌,因此可以以大肠杆菌作为代表菌监测微生物情况。

尽管已有很多报道证明了超声能够增强化学减菌剂的减菌效果,但关于超声协同低质量浓度(30 mg/L)次

氯酸钠在鸡胸肉减菌及其保鲜效果的应用还尚未鲜有报道。本研究实验利用超声(20 kHz、300 W)协同低质量浓度(30 mg/L)次氯酸钠处理冰鲜鸡胸肉,对冷藏过程中菌落总数、pH值、嫩度、色泽、质构、保水性及鸡肉相关品质等指标进行了测定,以期降低鸡肉减菌过程中次氯酸钠使用质量浓度,并提高工业化生产中鸡肉胴体减菌方式的安全性。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鸡胸肉购买于青岛市城阳区春阳路大润发超市。

大肠杆菌(CICC10899) 中国工业微生物菌种管理保藏中心; 无菌生理盐水 上海博华生物科技有限公司; 营养肉汤、胰蛋白胍大豆琼脂 北京陆桥技术股份有限公司。

1.2 仪器与设备

JY-92IID超声细胞破碎仪 宁波新芝生物科技股份有限公司; HI9005 pH计 上海智川工贸有限公司; CM-700D LM3肌肉嫩度仪 东北农业大学工程学院; 7500F扫描电子显微镜 日本电子技术公司。

1.3 方法

1.3.1 菌种制备

将大肠杆菌菌种接种到营养肉汤培养基中,在37℃培养24 h,重复2次。将上述营养肉汤菌悬液4℃离心10 min(12 000 r/min)得到菌体沉淀,用无菌生理盐水重悬并稀释到菌浓度为6 lg(CFU/mL)作为接种液备用。采用胰蛋白胍大豆琼脂平板计数。

1.3.2 样品制备

在无菌操作条件下,用灭菌手术刀将鸡胸肉分割成3 cm×3 cm×1 cm(约10 g)的肉片;用无菌生理盐水冲洗肉片2次,并在无菌生理盐水中浸泡2 min。将肉片转移到无菌均质袋中,注入20 mL大肠杆菌接种液,4℃浸泡10 min,取出肉片于无菌培养皿中,在冰块上放置2 h。最后在无菌生理盐水中轻轻漂洗,以去除肉片表面未附着的大肠杆菌,得到样品备用。

1.3.3 样品处理

样品放入盛有90 mL次氯酸钠溶液(无菌生理盐水配制,质量浓度为30 mg/L,4℃预冷)的烧杯中,并立刻用超声细胞破碎仪进行超声处理,记作U/SH₃₀处理组,该组探头直径6 mm,深入液面下1 cm,工作1 s,停歇1 s,总时间15 min;以浸没在90 mL无菌生理盐水(4℃

预冷) 15 min中的样品为对照组, 然后取出放入无菌平板中于4℃冷藏, 作为处理组。从第0天开始, 每天取样1次, 得到待测样品。每组处理均做3个平行。

1.3.4 菌落总数的测定

参考Zhang等^[23]的方法测定菌落总数, 取10 g待测样品分别放入置有90 mL无菌生理盐水的均质袋内, 拍打2 min制成1:9 (m/V) 的样品匀液。将样品匀液以10倍系列稀释3~4个梯度, 吸取适宜梯度的稀释液1 mL加入无菌平皿内, 及时将冷却至46℃的胰蛋白胨大豆琼脂倾注到平皿中并摇匀, 于37℃条进下培养48 h后, 进行菌落计数, 计数结果以lg (CFU/g) 表示, 测定3次取平均值。

1.3.5 pH值、色泽的测定

参考Mcgeehin等^[24]的方法测定pH值, 将待测样品制成肉糜, 准确称取2.000 g于50 mL烧杯中, 加入18 mL蒸馏水, 搅拌均匀, 静置30 min, 用pH计测定pH值, 测定3次取平均值。

参照Lee^[10]、Rossow^[25]等方法, 采用色差计对待测样品的亮度 (L^*)、红度 (a^*)、黄度 (b^*) 进行测定, 测量面积8 mm, 每次测定前用比色板对色差计进行校准, 测定6次取平均值。

1.3.6 质地、嫩度的测定

参照Zamri等^[26]的方法, 采用物性测试仪在TPA测定模式下, 测定待测样品的硬度、弹性、黏性, 参数设置如下: 测试前、中、后探头速率分别为1.0、1.5、1.0 mm/min, 压缩比75%、触发力5.0 g、探头型号P_{0.5}、探头二次测定时间间隔5.0 s, 测定6次取平均值。

参考Zhuang Hong等^[27]的方法测定剪切力, 以剪切力表征嫩度, 将待测样品顺着肌肉纤维方向切成1 cm×1 cm×5 cm的长条状, 采用肌肉嫩度仪对其剪切力进行测量, 做6组平行。

1.3.7 保水性的测定

保水性的测定参考Karakaya等^[28]的方法并稍加改动, 取待测样品 (10.000±0.001) g和10 mL无菌生理盐水于100 mL离心管中, 10 000 r/min、4℃离心10 min, 取出后用滤纸吸干表面水分, 再次称质量, 测定6次取平均值。保水性按下式进行计算。

$$\text{保水性}/\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100$$

式中: m_0 、 m_1 分别表示离心前、后待测样品的质量/g。

1.3.8 微观结构的测定

微观结构的测定参照Lee等^[10]的方法并稍加修改, 将待测样品用锋利的手术刀切成1 mm³左右的小块, 置于4℃、体积分数2.5%戊二醛溶液中固定过夜, 用0.1 mol/L的磷酸盐缓冲液漂洗6次, 每次15 min; 再将样品放入体积分数1%的四氧化锇溶液中4℃固定2 h后, 用0.1 mol/L的磷酸盐缓冲液漂洗3次; 漂洗后依次用体积分数50%、

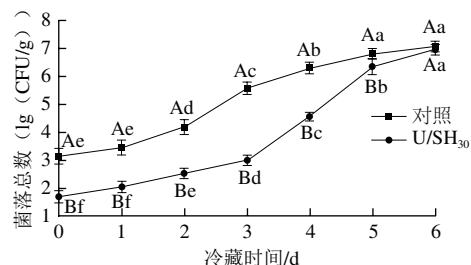
60%、70%、80%、90%乙醇梯度脱水15 min, 100%乙醇脱水2次, 每次15 min, 无水乙醇和纯叔丁醇按体积比1:1混匀后对样品进行漂洗; 样品脱水后用纯叔丁醇置换3次; 磷酸盐缓冲液漂洗和梯度脱水时间均为15 min; 真空冷冻干燥机内干燥, 随后进行喷金处理, 最后通过扫描电子显微镜进行微观结构观察。设置扫描电子显微镜电压1 kV、电流10 μA, 分别放大500倍和5 000倍观察。

1.4 数据统计与分析

本实验采用SPSS17.0软件对结果进行单因素方差分析, 使用Duncan multiple range test多重比较模式判断差异显著性, $P<0.05$ 表示差异显著。采用Origin 8.0软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同处理对鸡胸肉冷藏过程中菌落总数的影响



大写字母不同表示同一冷藏时间、不同处理组之间差异显著 ($P<0.05$); 小写字母不同表示同一处理组、不同冷藏时间差异显著 ($P<0.05$); 下同。

图1 冷藏过程中鸡胸肉表面菌落总数

Fig. 1 Total number of colonies on chicken breast surface during storage

由图1可知, U/SH₃₀处理可以显著降低鸡胸肉表面的初始菌落总数 ($P<0.05$), 经U/SH₃₀处理后, 鸡胸肉表面降低了1.44 (lg (CFU/g)), 在冷藏过程中, 对照组菌落总数始终显著高于U/SH₃₀处理组 ($P<0.05$), 这说明U/SH₃₀处理能够抑制鸡胸肉表面微生物的生长繁殖; 但在3~6 d, U/SH₃₀处理组菌落总数增长速度明显高于对照组, 这可能是以大肠杆菌为主的微生物在此时进入对数生长期, 并且部分因次氯酸钠亚致死的菌体自我修复并重新开始生长所致, Alonso-Hernando等^[29]研究酸化亚氯酸钠在肉鸡胴体上的抑菌效果时也得到相似的结果。Lillard等^[30]发现氯水结合超声处理能使鸡皮肤沙门氏菌降低3.62 (lg (CFU/cm²)), 而超声和氯水单独处理组仅分别降低了1.07、0.42 (lg (CFU/cm²))。Kordowska-Wiater等^[5]比较了单独超声 (40 kHz、2.5 W/cm²) 和超声结合体积分数1%乳酸溶液处理对水浴中的鸡皮肤表面革兰氏阴性菌的减菌效果, 结果表明超声与次氯酸钠具有明显的协同作用。超声能够将细菌从胴体皮肤上清洗下来, 并且其空化作用能够导致微生物细胞壁

和细胞膜变薄或通透性的改变进而促进了化学杀菌剂的杀菌效果^[31-32]。Lee等^[10]以鸡皮肤表面的大肠杆菌为研究对象,利用超声(37 kHz、380 W)结合次氯酸钠(100、200 mg/L)处理鸡皮肤5 min,发现其能够使沙门氏菌显著减少0.54~0.99 (lg (CFU/g)),并且能够对黏附在鸡皮肤表面的沙门氏菌具有明显的清除作用。Piñon等^[33]的研究表明超声处理能够显著降低鸡胸肉表面的微生物数量,并且能使鸡胸肉在冷藏过程中的微生物数量持续保持较低的增长率。一般认为当菌落总数超过6.0 (lg (CFU/g))时肉已经不再新鲜,本实验中,U/SH₃₀处理组在第5天菌落总数达到6.34 (lg (CFU/g)),而对照组在第4天达到6.30 (lg (CFU/g)),因此与对照组相比,处理组的保鲜期延长了1 d。

2.2 不同处理对鸡胸肉冷藏过程中pH值的影响

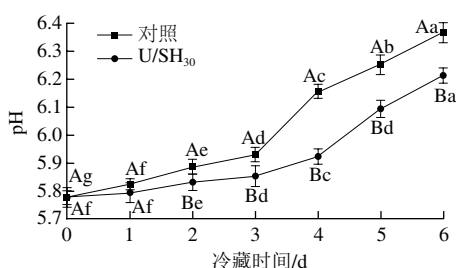


图2 冷藏过程中鸡胸肉pH值变化

Fig. 2 pH change of chicken breast during chilled storage

由图2中可知,第0天时,U/SH₃₀处理对鸡胸肉pH值无显著影响($P>0.05$),冷藏第2~6天对照组pH值显著高于U/SH₃₀处理组,3~4 d对照组的pH值迅速从5.93升高到6.16,而U/SH₃₀处理组则是在4~5 d迅速升高,这说明U/SH₃₀处理能够延缓pH值的增加。新鲜鸡胸肉的pH值大约为5.7~6.0,微生物的繁殖、脂肪氧化等会导致pH值升高^[27]。Alonso-Hernando等^[29]分别采用酸化亚氯酸钠(1 200 mg/L)、二氧化氯(50 mg/L)处理鸡腿,结果表明二氧化氯对鸡腿初始pH值无显著影响($P>0.05$),酸化亚氯酸钠能显著降低鸡腿肉初始pH值($P<0.05$),且随着冷藏过程中微生物数量的增长,鸡腿肉pH值逐渐增大。Khan等^[34]研究结果表明,经丁香酚和迷迭香酸处理后的鸡胸肉pH值在0~10 d冷藏过程中增大速度显著低于对照组($P<0.05$),该结果与图1菌落总数变化相一致,可知pH值升高与微生物繁殖有关。本实验结果表明,在冷藏过程中,U/SH₃₀处理组鸡胸肉pH值始终低于对照组,说明劣变程度始终低于对照组。

2.3 不同处理对鸡胸肉冷藏过程中色泽的影响

冰鲜禽产品中色泽是影响商品品质的重要因素,反映了鸡肉的新鲜程度^[24],表1为鸡胸肉在冷藏过程中色泽(L^* 、 a^* 、 b^* 值)的变化。在第0天,U/SH₃₀与对照组相比鸡胸肉的色泽无显著差异($P>0.05$),但冷藏

过程U/SH₃₀处理能够显著延缓色泽的变化($P<0.05$)。U/SH₃₀处理组和对对照组鸡胸肉在冷藏过程中 L^* 值显著降低($P<0.05$), a^* 值呈先增大后减小的趋势, b^* 值均显著增大($P<0.05$);对照组从冷藏第1天开始 L^* 值显著低于U/SH₃₀处理组,在第3天时达到稳定;实验组 L^* 值在第0~3天差异不显著($P>0.05$),到第4天之后显著下降($P<0.05$)。对于 a^* 值,对照组在0~3 d快速升高,然后迅速降低,5 d后趋于平稳;处理组在0~2 d缓慢增大而后迅速减小,冷藏过程中整体显著低于对照组($P<0.05$)。1 d后,U/SH₃₀处理组 b^* 值显著低于对照组($P<0.05$)。Insausti等^[35]研究表明,肌肉中血红蛋白的氧化伴随着 a^* 值的下降和 b^* 值的增大。Millar等^[36]报道了冷藏过程中鸡腿肉的 L^* 值、 a^* 值显著降低, b^* 值显著增大。Lucera等^[37]研究了香芹酚、麝香草酚对生鲜鸡肉饼冷藏过程中色泽的影响,结果表明随着生鲜鸡肉饼新鲜度的下降, L^* 值显著降低($P<0.05$), a^* 值呈先增大后减小的趋势, b^* 值显著增大($P<0.05$);但香芹酚、麝香草酚能够通过抗氧化作用抑制这一变化过程。Wang Jiamei等^[38]研究发现,经低温等离子体处理后的鸡胸肉在冷藏过程中 L^* 值逐渐降低,认为这与微生物的繁殖有关,因此 L^* 值能够反映鸡胸肉的新鲜度。一些有机酸化学减菌剂,如柠檬酸、苹果酸、乳酸等使用浓度不当会对肉鸡胴体的颜色产生影响^[39]。Zhang Huiyun等^[40]在鸡肉表面涂膜丁香提取物,在冷藏过程中 L^* 值、 a^* 值显著增大, b^* 值降低,与本实验结果不同,可能是丁香提取物与次氯酸钠对鸡胸肉作用不同造成的。总之,超声协同次氯酸钠处理有助于在冷藏过程中保持鸡胸肉原有的色泽。

表1 冷藏过程中鸡胸肉色泽变化

Table 1 Changes in color parameters of chicken breast during chilled storage

冷藏时间/d	L^*		a^*		b^*	
	对照	U/SH ₃₀	对照	U/SH ₃₀	对照	U/SH ₃₀
0	60.73±0.83 ^{As}	61.48±1.40 ^{As}	3.62±0.24 ^{Ac}	3.68±0.15 ^{Ab}	4.67±0.26 ^{Ad}	4.73±0.18 ^{Ac}
1	58.73±1.74 ^{Bb}	61.36±0.52 ^{As}	4.07±0.15 ^{Ab}	4.05±0.14 ^{As}	5.31±0.15 ^{Ac}	4.76±0.21 ^{Bc}
2	56.79±0.59 ^{Bc}	60.95±0.57 ^{As}	4.67±0.16 ^{As}	4.15±0.23 ^{Ba}	5.25±0.16 ^{Ab}	4.86±0.15 ^{Bc}
3	54.39±1.79 ^{Bd}	59.37±0.56 ^{Ab}	4.81±0.14 ^{As}	4.04±0.16 ^{Ba}	5.48±0.17 ^{Ab}	5.02±0.11 ^{Bbc}
4	54.22±0.54 ^{Bd}	58.90±1.05 ^{Ab}	3.44±0.20 ^{Ac}	3.34±0.15 ^{Bc}	5.52±0.24 ^{Ab}	5.19±0.17 ^{Bab}
5	53.92±1.25 ^{Bd}	55.61±0.53 ^{Ac}	2.68±0.13 ^{Ad}	2.43±0.14 ^{Bd}	5.61±0.17 ^{Ab}	5.42±0.10 ^{Ba}
6	51.71±0.85 ^{Bc}	54.50±1.61 ^{Ad}	2.64±0.14 ^{Ad}	2.26±0.22 ^{Bd}	5.73±0.13 ^{As}	5.46±0.15 ^{Ba}

注:同一指标同行肩标大写字母不同表示差异显著($P<0.05$);同列肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

2.4 不同处理对鸡胸肉冷藏过程中质构特性的影响

由表2可知,冷藏第0天时,U/SH₃₀处理对鸡胸肉肉质特性无显著影响($P>0.05$);0~3 d,U/SH₃₀处理组和对对照组的硬度均逐渐降低,且无显著差异($P>0.05$);4~6 d U/SH₃₀处理组硬度显著高于对照组

($P<0.05$)。冷藏过程中, U/SH₃₀处理组和对照组弹性均逐渐降低, 3~6 d U/SH₃₀处理组弹性显著高于对照组($P<0.05$)。经U/SH₃₀处理后鸡胸肉表面的黏性显著降低($P<0.05$), 在冷藏过程中对照组黏性显著高于U/SH₃₀处理组($P<0.05$); 因此U/SH₃₀处理能够抑制冷藏过程中鸡胸肉表面黏性的增大。Sun Tianli等^[41]研究表明, 牛肉在冷藏过程中, 微生物分解蛋白形成多肽, 增加了表面黏度。徐亚丹等^[42]发现冷藏过程中牛肉硬度下降的结果与本研究结论一致, 但黏性变化无显著规律, 并认为黏性不能反映牛肉的新鲜度, 分析原因可能是除了微生物的分解作用, 解冻后部分牛肉细胞被冰晶损伤也可导致表面黏性物质增多, 因此导致黏性不稳定。本研究结果能够反映微生物的分解作用导致鸡胸肉黏性增大, 这是因为超声作用能够去除鸡胸肉表面的多肽等黏性物质, 同时超声与次氯酸钠均没有对鸡胸肉细胞产生破坏。

表2 冷藏过程中鸡胸肉质构特性的变化

Table 2 Changes in texture of chicken breast during chilled storage

冷藏 时间/d	硬度/g		弹性		黏性/g	
	对照组	U/SH ₃₀	对照组	U/SH ₃₀	对照组	U/SH ₃₀
0	3 147.7±26.8 ^{Aa}	3 162.3±29.3 ^{Aa}	0.845±0.024 ^{Aa}	0.847±0.024 ^{Aa}	85.02±5.47 ^{Af}	56.74±5.95 ^{Af}
1	3 039.6±42.9 ^{Ab}	3 054.7±29.9 ^{Ab}	0.835±0.016 ^{Aa}	0.832±0.034 ^{Ab}	123.76±5.31 ^{Ac}	75.91±3.52 ^{Bf}
2	2 998.7±45.0 ^{Ab}	2 996.3±35.1 ^{Ac}	0.802±0.032 ^{Ab}	0.811±0.012 ^{Ab}	179.07±5.74 ^{Ad}	98.73±4.92 ^{Bc}
3	2 878.7±32.6 ^{Ac}	2 913.0±30.3 ^{Ad}	0.713±0.011 ^{Bc}	0.793±0.022 ^{Ab}	196.47±6.09 ^{Ac}	159.01±5.90 ^{Bd}
4	2 802.7±43.3 ^{Bd}	2 864.3±31.5 ^{Ad}	0.672±0.017 ^{Bd}	0.745±0.011 ^{Ac}	208.11±5.85 ^{Ab}	178.07±5.46 ^{Bc}
5	2 654.2±29.5 ^{Bc}	2 795.7±26.1 ^{Ac}	0.631±0.022 ^{Bc}	0.675±0.026 ^{Ad}	216.38±4.12 ^{Ab}	194.03±5.68 ^{Bb}
6	2 524.4±30.2 ^{Bf}	2 687.7±24.8 ^{Af}	0.609±0.018 ^{Bc}	0.649±0.016 ^{Ad}	221.08±5.20 ^{Ab}	210.20±6.19 ^{Ba}

2.5 不同处理对鸡胸肉冷藏过程中嫩度的影响

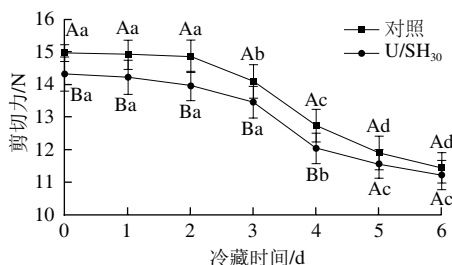


图3 冷藏过程中鸡胸肉剪切力的变化

Fig. 3 Changes in shear force of chicken breast during chilled storage

剪切力是反映肉嫩度的重要指标, 剪切力越低, 肌肉越嫩^[43]。如图3所示, 经U/SH₃₀处理后鸡胸肉剪切力显著降低($P<0.05$), 冷藏过程中对照组和U/SH₃₀处理组剪切力逐渐降低。0~4 d U/SH₃₀处理组剪切力变化不显著($P>0.05$), 随后迅速降低; 对照组在0~3 d剪切力变化不显著, 随后显著降低($P<0.05$)。Jayasooriya等^[44]报道了超声处理能够提高羊肉组织中钙激活蛋白酶活性、松解肌肉纤维束, 进而提高羊肉的嫩度。Dickens等^[45]认为是超声(40 kHz、2 400 W、

15 min)的空化作用使肌原纤维断裂, 提高了鸡胸肉的嫩度。Faucitano等^[46]研究表明, 高功率超声(2 200 W)处理猪里脊肉6 min, 其剪切力下降了12.1%, 并且在后续冷藏48 h过程中, 剪切力继续下降了15.3%。Xiong Guoyuan等^[47]的研究结果表明, 超声能够提高鸡胸肉组织中的蛋白酶活性, 在冷藏的0~7 d过程中剪切力下降了3.69 N。Zou Ye等^[48]研究认为超声处理能够提高鸡肉嫩度, 并缩短鸡肉成熟时间, 这可能是超声增大了肌原纤维间隙所造成。

2.6 不同处理对鸡胸肉冷藏过程中保水性的影响

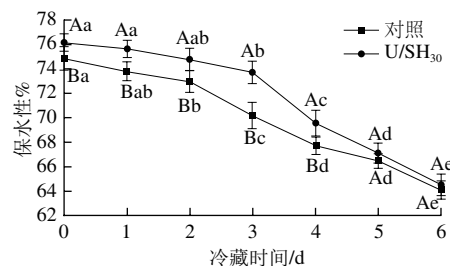


图4 冷藏过程中鸡胸肉保水性的变化

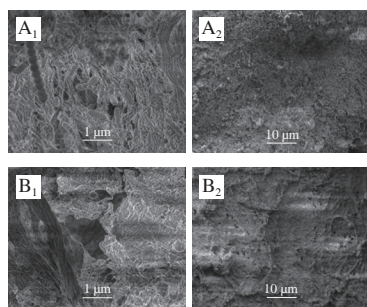
Fig. 4 Changes in water-holding capacity of chicken breast during chilled storage

如图4所示, 鸡胸肉保水性随冷藏时间延长逐渐下降。与对照组相比, U/SH₃₀处理后, 鸡胸肉的保水性显著增大($P<0.05$), 且U/SH₃₀处理组在0~2 d变化不显著($P>0.05$), 3 d后迅速降低; 对照组鸡胸肉在整个冷藏过程中保水性一直保持较快的速度降低。Dickens等^[45]认为超声(40 kHz、2 400 W) 15 min可以显著提高鸡胸肉的保水性。Jayasooriya等^[44]报道了在羊肉排酸过程中采用超声处理能够提高钙激活蛋白酶活性, 可在缩短僵直期的同时提高羊肉的保水性。Amiri等^[49]研究了超声对牛肉肌原纤维蛋白理化特性、流变特性的影响, 结果表明, 肌原纤维蛋白保水性和凝胶强度随着超声处理功率的增大和时间延长而增强, 分析认为是超声的均质作用使水分子与蛋白结合更加紧密导致的。Zou Ye等^[48]的研究结果表明, 超声处理能够提高鸡肉肌原纤维碎片化, 提高肌动球蛋白解离度, 最终使鸡肉保水性显著提高, 这与本研究结果一致。

2.7 不同处理对鸡胸肉冷藏过程中微观结构的影响

如图5A₁、A₂所示, 对照组鸡肉表面附着有大量大肠杆菌, 尤其是在肌肉纤维的缝隙中, 而经过U/SH₃₀处理后鸡肉表面几乎没有大肠杆菌; 由图5B₁、B₂可知, 对照组鸡胸肉表面较为紧密, 覆盖有一层不明物质, 而U/SH₃₀处理后胶状物质消失, 鸡肉纤维清晰地裸露在外, 并且可见肌原纤维之间存在细小空隙。有报道表明肉鸡胴体表面的微生物除了吸附在皮肤和肌肉光滑的表面, 还有相当一部分分布在鸡皮肤毛囊、皮肤褶皱和肌肉缝隙中, 而这部分微生物通常难以清除^[10,50]。Yang Hong等^[51]认为肉鸡皮肤表面的油脂能够阻碍氯水

等消毒剂有效地清除皮肤表面的沙门氏菌。本研究结果表明U/SH₃₀处理能够将鸡胸肉褶皱和缝隙中的大肠杆菌等微生物清洗出来,并清除鸡肉表面的油脂等阻隔物,从而提高了次氯酸钠对大肠杆菌的作用效率,这与Demirdöven^[32]、Piyasena^[52]等的研究结论一致。肌原纤维之间存在细小空隙与Zou Ye等^[48]的研究结果一致,同时印证了2.6节中U/SH₃₀处理能提高鸡肉保水性的结论。



A.对照组; B. U/SH₃₀处理组; 下标1、2.分别表示放大500、5 000 倍。

图5 鸡胸肉扫描电子显微镜图像

Fig. 5 Scanning electron microscopic images of chicken breast

3 结论

超声协同次氯酸钠能够有效杀灭鸡胸肉表面微生物,提高鸡胸肉嫩度和保水性;在冷藏过程中,能够抑制大肠杆菌生长,延缓鸡胸肉的劣变。超声强烈的清洗作用可以将微生物从肌原纤维缝隙中清除,提高鸡肉的嫩度和保水性。综上所述,超声协同次氯酸钠处理能够有效降低鸡胸肉表面微生物数量、提高鸡肉品质,并延长保鲜期。本研究为冷鲜鸡肉的工业化生产减菌方式提供了理论支持。

参考文献:

- [1] 张新笑,章彬,卞欢,等.不同二氧化碳比例气调对冷鲜鸡肉中荧光假单胞菌的抑制作用[J].食品科学,2018,39(13):266-271. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201813040.
- [2] LILLARD H S. Factors affecting the persistence of *Salmonella* during the processing of poultry[J]. Journal of Food Protection, 1989, 52(11): 829-832. DOI:10.4315/0362-028X-52.11.829.
- [3] KENTISH S, ASHOKKUMAR M. The physical and chemical effects of ultrasound[M]// FENG H, BARBOSA-CANOVAS, WEISS J. Ultrasound technologies for food and bioprocessing. New York: Springer, 2011: 1-12.
- [4] AMOS A J. New methods of food preservation[J]. Royal Society of Health Journal, 1957, 77(8): 443-445. DOI:10.1177/146642405707700806.
- [5] KORDOWSKA-WIATER M, STASIAK D M. Effect of ultrasound on survival of Gram-negative bacteria on chicken skin surface[J]. Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy, 2011, 55(2): 207-210.
- [6] ANDERSEN A Z, DUELUND L, BREWER J, et al. Biophysical evaluation of food decontamination effects on tissue and bacteria[J]. Food Biophysics, 2011, 6(1): 170-182. DOI:10.1007/s11483-011-9205-4.
- [7] BOYSEN L, ROSENQUIST H. Reduction of thermotolerant *Campylobacter* species on broiler carcasses following physical decontamination at slaughter[J]. Journal of Food Protection, 2009, 72(3): 497-502. DOI:10.4315/0362-028X-72.3.497.
- [8] MUSAVIAN H S, KREBS N H, NONBOE U, et al. Combined steam and ultrasound treatment of broilers at slaughter: a promising intervention to significantly reduce numbers of naturally occurring campylobacters on carcasses[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 176: 23-28. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.001.
- [9] HAUGHTON P N, LYG J G, MORGAN D J, et al. An Evaluation of the potential of high-intensity ultrasound for improving the microbial safety of poultry[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(3): 992-998. DOI:10.1007/s11947-010-0372-y.
- [10] LEE N Y, PARK S Y, KANG I S, et al. The evaluation of combined chemical and physical treatments on the reduction of resident microorganisms and *Salmonella* Typhimurium attached to chicken skin[J]. Poultry Science, 2014, 93(1): 208-215.
- [11] XU Yuting, ZHANG Lifan, ZHONG Jianjun, et al. Power ultrasound for the preservation of postharvest fruits and vegetables[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2013, 6(2): 116-125. DOI:10.3965/j.ijabe.20130602.0013.
- [12] FORGHANI F, RAHMAN S M E, PARK M S, et al. Ultrasonication enhanced low concentration electrolyzed water efficacy on bacteria inactivation and shelf life extension on lettuce[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(1): 131-136. DOI:10.1007/s10068-013-0018-8.
- [13] FORGHANI F, ESKANDARI M, OH D H. Application of slightly acidic electrolyzed water and ultrasound for microbial decontamination of kashk[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(3): 1011-1016. DOI:10.1007/s10068-015-0129-5.
- [14] PARK S Y, SONG H H, HA S D. Synergistic effects of NaOCl and ultrasound combination on the reduction of *Escherichia coli* and *Bacillus cereus* in raw laver[J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2014, 11(5): 373-378. DOI:10.1089/fpd.2013.1665.
- [15] YOON J H, BAE Y M, JUNG K S, et al. Combined effect of calcium oxide and sonication to reduce foodborne pathogens on fresh produce[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(1): 275-278. DOI:10.1007/s10068-013-0037-5.
- [16] MILLAN-SANGO D, GARRONI E, FARRUGIA C, et al. Determination of the efficacy of ultrasound combined with essential oils on the decontamination of *Salmonella* inoculated lettuce leaves[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 73: 80-87. DOI:10.1016/j.lwt.2016.05.039.
- [17] MILLAN-SANGO D, SAMMUT E, VAN IMPE J F, et al. Decontamination of alfalfa and mung bean sprouts by ultrasound and aqueous chlorine dioxide[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 78: 90-96. DOI:10.1016/j.lwt.2016.12.015.
- [18] BUNCIC S, SOFOS J. Interventions to control *Salmonella* contamination during poultry, cattle and pig slaughter[J]. Food Research International, 2012, 45(2): 641-655. DOI:10.1016/j.foodres.2011.10.018.
- [19] CHANG C Y, HSIEH Y H, SHIH I C, et al. The formation and control of disinfection by-products using chlorine dioxide[J]. Chemosphere, 2000, 41(8): 1181-1186. DOI:10.1016/S0045-6535(00)00010-2.
- [20] HOENICKE K, GATERMANN R, HARTIG L, et al. Formation of semicarbazide (SEM) in food by hypochlorite treatment: is SEM a specific marker for nitrofurazone abuse?[J]. Food Additives and Contaminants, 2004, 21(6): 526-537. DOI:10.1080/02652030410001712484.

- [21] HA J H, LEE J Y, CHUNG M S, et al. synergism of combined vitamin B₁ and NaClO treatment for the reduction of microbiological contamination in head lettuce[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2012, 37(1): 86-92. DOI:10.1111/j.1745-4549.2011.00634.x.
- [22] ÁLVAREZ-FERNÁNDEZ E, CANCELO A, DÍAZ-VEGA C, et al. Antimicrobial resistance in *E. coli* isolates from conventionally and organically reared poultry: a comparison of agar disc diffusion and Sensi Test Gram-negative methods[J]. Food Control, 2013, 30(1): 227-234. DOI:10.1016/j.foodcont.2012.06.005.
- [23] ZHANG L, SINGH P, LEE H C, et al. Effect of hot water spray on broiler carcasses for reduction of loosely attached, intermediately attached, and tightly attached pathogenic (*Salmonella* and *Campylobacter*) and mesophilic aerobic bacteria[J]. Poultry Science, 2013, 92(3): 804-810. DOI:10.3382/ps.2012-02504.
- [24] MCGEEHIN B, SHERIDAN J J, BUTLER F. Factors affecting the pH decline in lamb after slaughter[J]. Meat Science, 2001, 58(1): 79-84. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00134-0.
- [25] ROSSOW M, LUDEWIG M, BRAUN P G. Effect of cold atmospheric pressure plasma treatment on inactivation of *Campylobacter jejuni* on chicken skin and breast fillet[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 91: 265-270. DOI:10.1016/j.lwt.2018.01.052.
- [26] ZAMRI A I, LEDWARD D A, FRAZIER R A. Effect of combined heat and high-pressure treatments on the texture of chicken breast muscle (*Pectoralis fundus*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(8): 2992-2996. DOI:10.1021/jf051791x.
- [27] ZHUANG Hong, SAVAGE E M. Variation and Pearson correlation coefficients of Warner-Bratzler shear force measurements within broiler breast fillets[J]. Poultry Science, 2009, 88(1): 214-220. DOI:10.3382/ps.2007-00442.
- [28] KARAKAYA M, SARICOBAN C, YILMAZ M T. The effect of various types of poultry pre- and post-rigor meats on emulsification capacity, water-holding capacity and cooking loss[J]. European Food Research and Technology, 2005, 220(3/4): 283-286. DOI:10.1007/s00217-004-1068-1.
- [29] ALONSO-HERNANDO A, ALONSO-CALLEJA C, CAPITA R. Effectiveness of several chemical decontamination treatments against Gram-negative bacteria on poultry during storage under different simulated cold chain disruptions[J]. Food Control, 2013, 34(2): 574-580. DOI:10.1016/j.foodcont.2013.05.020.
- [30] LILLARD H S. Bactericidal effect of chlorine on attached salmonellae with and without sonification[J]. Journal of Food Protection, 1993, 56(8): 716-717. DOI:10.4315/0362-028X-56.8.716.
- [31] PIYASENA P, MOHAREB E, MCKELLAR R C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 87(3): 207-216.
- [32] DEMIRDÖVEN A, BAYSAL T. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation[J]. Food Reviews International, 2008, 25(1): 1-11. DOI:10.1080/87559120802306157.
- [33] PIÑON M I, ALARCON-ROJO A D, RENTERIA A L, et al. Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound[J]. Ultrasonics, 2018. DOI:10.1016/j.ultras.2018.01.001.
- [34] KHAN A, ALLEN K, WANG X X. Effect of type I and type II antioxidants on oxidative stability, microbial growth, pH, and color in raw poultry meat[J]. Food and Nutrition Sciences, 2015, 6(16): 1541-1551. DOI:10.4236/fns.2015.616159.
- [35] INSAUSTI K, BERIAIN M J, PURROY A, et al. Shelf life of beef from local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere[J]. Meat Science, 2001, 57(3): 273-281. DOI:10.1016/S0309-1740(00)00102-9.
- [36] MILLAR S J, MOSS B W, STEVENSON M H. The effect of ionising radiation on the colour of leg and breast of poultry meat[J]. Meat Science, 2000, 55(3): 361-370. DOI:10.1016/S0309-1740(99)00165-5.
- [37] LUCERA A, MASTROMATTEO M, SINIGAGLIA M, et al. Combined effects of thymol, carvacrol and grapefruit seed extract on lipid oxidation and colour stability of poultry meat preparations[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2009, 44(11): 2256-2267. DOI:10.1111/j.1365-2621.2009.02067.x.
- [38] WANG Jiamei, ZHUANG Hong, HINTON 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. DOI:10.1016/j.fm.2016.07.007.
- [39] WIDEMAN N, O'BRYAN C A, CRANDALL P G. Factors affecting poultry meat colour and consumer preferences: a review[J]. Worlds Poultry Science Journal, 2016, 72(2): 353-366. DOI:10.1017/S0043933916000015.
- [40] ZHANG Huiyun, WU Jinguan, GUO Xinyu. Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality[J]. Food Science and Human Wellness, 2016, 5(1): 39-48. DOI:10.1016/j.fshw.2015.11.003.
- [41] SUN Tianli, ZHANG Xiumei, ZHANG Ping, et al. Effect of controlled freezing point storage combined with vacuum packaging on texture and histological structure of beef[J]. Food Science, 2013, 34(22): 327-331. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201322066.
- [42] 徐亚丹, 代丽. 牛肉低温储藏期间质构参数分析及新鲜度指标的确定[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 267-272. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.12.038.
- [43] 张坤, 王道营, 张淼, 等. 高强度超声对鹅胸肉嫩度及品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 122-127. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201815018.
- [44] 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 *Semitenidinosus* and *Longissimus* muscles[J]. Meat Science, 2007, 75(4): 628-635. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.09.010.
- [45] DICKENS J A, LYON C E, WILSON R L. Effect of ultrasonic radiation on some physical characteristics of broiler breast muscle and cooked meat[J]. Poultry Science, 1991, 70(2): 389-396. DOI:10.3382/ps.0700389.
- [46] FAUCITANO L, IELO M C, STER C, et al. Shelf life of pork from five different quality classes[J]. Meat Science, 2010, 84(3): 466-469. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.09.017.
- [47] XIONG Guoyuan, ZHANG Lili, ZHANG Wei, et al. Influence of ultrasound and proteolytic enzyme inhibitors on muscle degradation, tenderness, and cooking loss of hens during aging[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2012, 30(3): 195-205. DOI:10.17221/136/2011-CJFS.
- [48] ZOU Ye, ZHANG Kun, BIAN Huan, et al. Rapid tenderizing of goose breast muscle meat based on actomyosin dissociation by low frequency ultrasonication[J]. Process Biochemistry, 2018, 65: 115-122. DOI:10.1016/j.procbio.2017.11.010.
- [49] AMIRI A, SHARIFIAN P, SOLTANIZADEH N. Application of ultrasound treatment for improving the physicochemical, functional and rheological properties of myofibrillar proteins[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111: 139-147. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2017.12.167.
- [50] JANG K I, KIM M G, HA S D, et al. Morphology and adhesion of *Campylobacter jejuni* to chicken skin under varying conditions[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2007, 17(2): 202-206.
- [51] YANG Hong, LI Yanbin, JOHNSON M G. Survival and death of *Salmonella* Typhimurium and *Campylobacter jejuni* in processing water and on chicken skin during poultry scalding and chilling[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(6): 770-776. DOI:10.4315/0362-028X-64.6.770.
- [52] PIYASENA P, MOHAREB E, MCKELLAR R C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 87(3): 207-216. DOI:10.1016/S0168-1605(03)00075-8.