

腌制方式对鸭肉腌制速率及品质的影响

陈 星, 沈清武*, 罗 洁

(湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要:为缩短腌制时间、降低生产成本、提高产品品质、指导鸭肉快速腌制,以鸭胸肉为研究对象,考察常压腌制(对照组)、真空滚揉腌制和静态变压腌制方式对鸭肉腌制速率及品质的影响。结果表明:真空滚揉腌制对比静态变压腌制和常压腌制显著($P<0.05$)增加了腌制速率,静态变压腌制与常压腌制差异不明显。真空滚揉腌制2 h亮度值(L^*)显著升高($P<0.05$),红度值(a^*)和黄度值(b^*)显著降低($P<0.05$),肉块色泽得到改善;剪切力显著降低($P<0.05$),硬度显著降低($P<0.05$),提高肉块嫩度;但此时蒸煮损失显著($P<0.05$)高于其他2种腌制方式。静态变压腌制4 h咀嚼性、内聚性、回复性最低,其他品质与常压6 h无显著差异($P>0.05$)。低场核磁共振结果显示,腌制8 h真空滚揉腌制不易流动水横向弛豫时间显著减小($P<0.05$),静态变压腌制与常压腌制差异不显著($P>0.05$)。在同一腌制方式中真空滚揉腌制不易流动水峰面积百分比最大在2 h处,静态变压腌制4 h最大,常压腌制6 h最大。综上,最佳腌制方式时间为真空滚揉腌制小于2 h、静态变压腌制4 h、常压腌制6 h。真空滚揉腌制在适当腌制时长内可有效改善肉质嫩度,缩短腌制时间,降低生产成本。

关键词:鸭肉;真空滚揉腌制;静态变压腌制;腌制速率;水分分布

Effects of Different Curing Methods on the Curing Rate and Quality of Duck Meat

CHEN Xing, SHEN Qingwu*, LUO Jie

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to shorten the curing time, reduce the production cost, improve the product quality and guide rapid curing of duck meat, we examined the effects of normal pressure curing (control group), vacuum tumbling curing and variable pressure static curing on the curing rate and quality of duck meat. The results showed that vacuum tumbling curing significantly increased the curing rate ($P < 0.05$) as compared to two other curing methods, which did not significantly differ from each other. After vacuum tumbling curing for 2 h, brightness (L^*) significantly increased ($P < 0.05$), and redness (a^*) and yellowness (b^*) significantly decreased ($P < 0.05$), suggesting improved color. Shear force and hardness were significantly reduced ($P < 0.05$), and meat tenderness was improved. However, at this time, vacuum tumbling curing resulted in a significantly higher cooking loss ($P < 0.05$) than did the other curing methods. Variable pressure static curing for 4 h gave the lowest chewiness, cohesiveness and resilience, and there was no significant difference in other quality attributes as compared with normal pressure curing for 6 h ($P > 0.05$). Low field nuclear magnetic resonance (NMR) results showed that curing for 8 h with vacuum tumbling significantly reduced the transverse relaxation time of immobile water ($P < 0.05$), and the difference between variable pressure static curing and atmospheric pressure curing was not significant ($P > 0.05$). The maximum peak area percentage of immobile water occurred after 2 h for vacuum tumbling curing, 6 h for variable pressure static curing, and 6 h for normal pressure curing. To sum up, the best curing time was less than 2 h for vacuum tumbling curing, 4 h for variable pressure static curing and 6 h for normal pressure curing. Vacuum tumbling curing for an appropriate period of time could effectively improve the meat tenderness, shorten the curing time and reduce the production cost.

Keywords: duck meat; vacuum tumbling curing; variable pressure static curing; curing rate; moisture distribution

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190603-016

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 12-0007-07

收稿日期: 2019-06-03

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2016YFD0401505)

第一作者简介: 陈星 (1995—) (ORCID: 0000-0003-2446-2640), 女, 硕士研究生, 主要从事畜产品加工研究。

E-mail: 1242547460@qq.com

*通信作者简介: 沈清武 (1973—) (ORCID: 0000-0001-6144-1350), 男, 教授, 博士, 主要从事肉品研究。

E-mail: yaoyao3153@aliyun.com

引文格式:

陈星, 沈清武, 罗洁. 腌制方式对鸭肉腌制速率及品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 7-13. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-20190603-016. <http://www.spkx.net.cn>

CHEN Xing, SHEN Qingwu, LUO Jie. Effects of different curing methods on the curing rate and quality of duck meat[J]. Food Science, 2020, 41(12): 7-13. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx.1002-6630-20190603-016. <http://www.spkx.net.cn>

鸭肉营养价值高, 属于高蛋白、低胆固醇、低脂肪食物^[1-2], 用鸭肉制成的腌鸭肉制品深受消费者喜爱。因此, 改善腌制工艺, 提升产品品质等成为研究热点^[3]。

腌制具有延长肉品保藏期、形成腌肉制品独特风味和色泽、提高产品品质^[4-5]的作用。滚揉是西式肉制品前处理的重要手段, 能够促进腌制液的渗入, 减少腌制时间, 改善嫩度、提高品质^[5-7]。随着肉品加工技术的发展, 目前生产中最常用的滚揉方式是真空滚揉, 真空有助于清除肉块中的气泡和针孔, 容纳更多腌制液^[8]。研究表明真空滚揉腌制能缩短腌制时间, 提高腌制效率。如: 生产平遥牛肉真空滚揉只需8 h, 静腌需24 h^[9]。同时, 也能提高腌制肉制品品质^[10]。如: 对鹅肉、兔肉、鸡肉、同安封肉进行真空滚揉腌制能显著提高产品品质, 改善肌肉嫩度和质构特性, 提高保水性^[11-16]。静态变压腌制, 是指将物料放置在静止的腌制液中, 在常压、真空和加压的压力交替变化状态下进行腌制的一种方法^[17-18]。它能较好地保持原料肉的外观和组织结构^[18], 不会使肉块发生软化形变。研究显示, 与常压腌制、真空腌制和加压腌制相比, 静态变压腌制可显著提高腌制效果、改善肉质^[18], 且吸收率显著高于注射腌制^[19]。低场核磁共振技术是一种新型的分析检测技术, 可用于分析样品中水分存在状态和迁移途径, 但是目前缺少应用在对不同腌制方式过程中肌肉内部水分分布状态及迁移规律的研究。

因此, 本实验为了解常压腌制、静态变压腌制、真空滚揉腌制技术在腌制中的作用效果, 通过测定腌制过程中腌制速率并通过低场核磁共振技术分析腌制过程中水分存在状态和迁移途径, 以期深入了解不同腌制方式的优越性及水分变化之间的关系提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻鸭胸肉: 樱桃谷鸭购于菏泽盛佳烽食品有限公司; 食盐为市购; 氯化钾、硝酸银、硫氰酸钾、硝酸等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

FiveEasy Plus FE20K pH计 梅特勒-托利多国际贸

易(上海)有限公司; WSC-Y自动测色色差计 北京光学仪器厂; TA.XT Plus质构仪 英国SMS仪器公司; C-LM3型数显式肌肉嫩度仪 南京铭奥仪器设备有限公司; MesoMR23-060H-I低场核磁共振分析及成像系统 上海纽迈电子科技有限公司; GR50真空滚揉机 石家庄晓进食品机械制造科技有限公司; DGG-9240A型电热恒温鼓风干燥箱 上海森信实验仪器有限公司; HH-4型数显恒温水浴锅 金坛市富华仪器有限公司; BSA323S型电子天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; 静态变压腌制设备由湖南农业大学自制。

1.3 方法

1.3.1 腌制方式

鸭胸肉室温静水解冻, 去皮、筋、腱、脂肪后, 修剪成5 cm×5 cm×1 cm的长方体肉块, 随机分成3组, 每组80块进行常压腌制、真空滚揉腌制和静态变压腌制。腌制液为4%食盐水, 料液比1:2(g/mL), 每2 h取样进行分析。

常压腌制: 室温腌制8 h, 每2 h取样(定时翻动, 防止汁液聚集于容器底部); 真空滚揉腌制: 放入真空滚揉机, 真空度为-0.06 MPa; 按照滚揉10 min, 间歇20 min的方式循环; 静态变压腌制: 以减压(-0.08 MPa, 10 min)→常压(0.1 MPa, 10 min)→加压(0.16 MPa, 10 min)不断循环的方式进行。

1.3.2 氯化物含量的测定

按照GB 5009.44—2016《食品中氯化物的测定》中的佛尔哈德法进行测定^[20]。

1.3.3 含水量测定

按照GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》中的直接干燥法进行测定^[21]。

1.3.4 pH值测定

参考GB 5009.237—2016《食品中pH值的测定》的方法^[22], 略作修改。取1 g切碎的肉样品, 加入10 mL 0.01 mol/L KCl溶液, 匀浆处理后, 将电极插入其中, 待稳定后读数。

1.3.5 色泽测定

使用WSC-Y自动测色色差计测定色差, 先将色差计通过校正板标准化, 然后将样品紧扣在测样镜口, 测定样品CIE-L*a*b*值, 表色系中的L*(明度, 反映色泽的亮度), a*(红色度标度中的a轴值, 正数代表红色, 负

数代表绿色), b^* (黄色度标度中的 b 轴值, 正数代表黄色, 负数代表蓝色)。每个样品测取3个点, 取各颜色指标的平均值。

1.3.6 蒸煮损失的测定

将5 cm×5 cm×1 cm肉样均分两等份, 取其中一份, 称质量(W_1)后用蒸煮袋密封, 将数显温度计插入肉样中心, 置于80℃水浴锅中, 当肉样中心温度到达70℃, 取出, 迅速在流水中冷却到室温, 用吸水纸吸干表面水分, 再次称质量(W_2)。蒸煮损失率按下式计算:

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

1.3.7 嫩度测定

参照NY/T 1180—2006《肉嫩度的测定 剪切力测定法》^[23], 略作修改。将测完蒸煮损失的肉块放在4℃冰箱中过夜测。测定时切成宽1 cm、厚1 cm的长条, 用沃布氏嫩度仪沿肌纤维垂直方向剪切肉柱, 记录剪切力值。

1.3.8 质构测定

将5 cm×5 cm×1 cm肉样均分两等份, 取其中一份, 使用质构仪TA.XT Plus测定分析仪, 并用系统自带软件加以控制, 测定鸭胸肉的硬度、弹性、黏合性、胶黏性、回复性、咀嚼性。设定参数为: 压缩比50%, 测前速率2.00 mm/s, 测试速率1.00 mm/s, 返回速率1 mm/s, 触发点负载5 g, 探头P/36R。

1.3.9 水分存在状态分析

参照谢小雷等^[24]的方法, 使用MesoMR23-060H-I低场核磁共振分析及成像系统, 取2.5 cm×2.5 cm×1 cm的鸭胸肉放入永磁场中心位置的射频线圈, 打开核磁共振分析软件点击进入硬脉冲序列。通过CPMG脉冲序列测量样品的弛豫时间(T_2)。

主要参数设置: 共振频率23 MHz, 磁体强度0.55 T, 线圈直径60 mm, 磁体温度32℃, 谱宽250 kHz, 偏移频率292 064.41 Hz, 采样点数287 572, 累加次数4, 回波数5 000, 模拟增益110.0 db。采样结束后保存实验结果, 然后用反演软件反演出实验结果。

1.4 数据处理

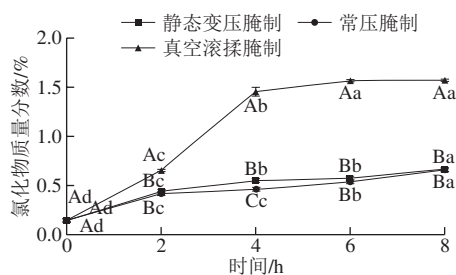
运用SPSS 17.0对实验数据进行单因素方差分析(ANOVA), 并用多重比较分析法进行比较, $P < 0.05$, 差异显著。每个实验6次平行, 结果均以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用GraphPad Prism 8.0作图。

2 结果与分析

2.1 腌制方式对鸭肉氯化物含量的影响

由图1可知, 随着腌制的进行, 3种不同腌制方式处理的鸭肉氯化物含量呈增加趋势, 且腌制时间对氯化物

含量具有显著影响($P < 0.05$)。真空滚揉腌制氯化物含量在腌制过程中显著($P < 0.05$)高于常压和静态变压腌制, 在相同腌制时间下与常压和静态变压腌制存在显著差异($P < 0.05$), 常压和静态变压腌制仅在腌制4 h存在显著差异($P < 0.05$)。真空滚揉腌制氯化物含量在4 h既与不同腌制时间又与不同腌制方式间存在显著差异($P < 0.05$), 此时鸭肉氯化物质量分数为1.47%。常压腌制和静态变压腌制氯化物渗入速率慢, 在腌制8 h质量分数达到最大, 分别为0.66%、0.67%。真空滚揉腌制氯化物含量在前4 h增加迅速, 4~8 h增加减缓, 这是由于前4 h鸭肉中氯化物含量较少, 根据渗透原理氯化物快速进入组织中, 4~8 h趋于饱和, 所以氯化物含量增加减缓。真空滚揉腌制氯化物含量高、渗入速率快, 一方面是因为肉在真空条件下的滚揉机滚筒中腌制时, 受到滚揉机提供的机械作用力, 使肉块组织细胞破裂, 肌肉组织松弛, 细胞膜渗透性增强^[7], 同时, 真空有助于清除肉块中的气泡和针孔, 容纳更多腌制液^[7]。另一方面, 随着氯化物的渗入, Na^+ 和 Cl^- 促使肌原纤维中肌粗丝解离^[25], 导致肌原纤维溶胀可以容纳更多的腌制液。因此, 真空滚揉腌制能促进腌制液的渗入, 增大有效扩散系数, 缩短生产周期, 与刘然等^[26]研究结果一致。该研究发现, 不同腌制方式(湿腌、醋腌、真空滚揉腌制、干腌)腌制草鱼时, 达到相同含盐量真空滚揉所需时间最少。



不同小写字母表示同一腌制方式不同时间差异显著($P < 0.05$); 不同大写字母表示同一时间点不同腌制方式差异显著($P < 0.05$)。下图同。

图1 腌制方式对鸭肉氯化物含量的影响

Fig. 1 Effects of different curing methods on salt content of duck meat

2.2 腌制方式对鸭肉含水量的影响

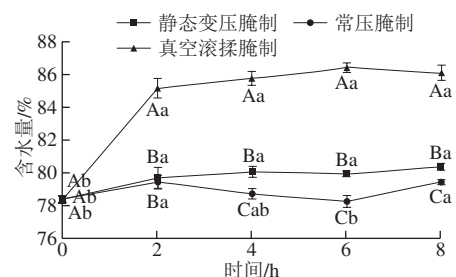


图2 腌制方式对鸭肉含水量的影响

Fig. 2 Effects of different curing methods on water content of duck meat

由图2可知,随着腌制时间的延长,真空滚揉腌制方式处理的鸭肉含水量呈先增加后降低的趋势,常压和静态变压腌制呈先增加后降低再增加的趋势。真空滚揉腌制含水量在腌制过程中显著($P<0.05$)高于常压和静态变压腌制,在相同腌制时间下与常压和静态变压腌制存在显著差异($P<0.05$),常压腌制和静态变压腌制在腌制2 h后存在显著差异($P<0.05$)。真空滚揉腌制在2 h水分渗入速率达到最大,6 h含水量最多。常压腌制和静态变压腌制8 h含水量最多,但与2 h无显著差异($P>0.05$)。综上,在腌制过程中样品含水量为真空滚揉>静态变压>常压腌制。在3种不同腌制过程中,始终伴随着食盐及其他腌制剂向肉组织中扩散和水分在腌制液和肉组织中的迁移。因此,结合氯化物含量的结果分析,真空滚揉腌制时,在机械作用力和真空条件下,含水量显著($P<0.05$)高于常压和静态变压腌制。在第8小时含水量下降,可能因为滚揉时间过长,细胞机械损伤严重,持水能力下降,水分外渗。常压腌制和静态变压腌制出现含水量下降的现象,可能因为食盐的扩散和水分的渗透未达到平衡,根据氯化物含量的结果分析,此时样品中食盐正快速扩散到肉组织中,肉组织中的水分向外迁移。之后水分含量又出现上升现象,可能由于 Na^+ 和 Cl^- 的作用加速了蛋白质降解和盐溶性蛋白的析出,盐溶性蛋白形成的三维网状结构,容纳更多水分^[27]。

2.3 腌制方式对鸭肉pH值的影响

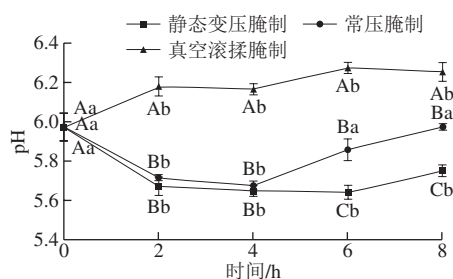


图3 腌制方式对鸭肉pH值的影响

Fig. 3 Effects of different curing methods on pH value of duck meat

由图3可知,随着腌制时间的延长,常压腌制和静态变压腌制方式处理的鸭肉pH值呈现先降低后增加的趋势,在4 h后差异显著($P<0.05$)。真空滚揉腌制pH值显著($P<0.05$)高于常压和静态变压腌制,这可能是由于食盐和水分的大量渗入,引起pH值的升高,之后pH值下降可能是因为蛋白发生水解和变性,释放出酸性基团。常压腌制和静态变压腌制pH值呈现先降低后增加的趋势,可能是微生物分解产酸,之后又逐渐上升可能是蛋白质分解产生大量碱性含氮物质使pH值上升^[28]。

2.4 腌制方式对鸭肉部分食用品质的影响

由氯化物含量、样品含水量结果,选取真空滚揉腌制2 h、静态变压腌制4 h、常压腌制6 h时间点测定样品食

用品质。嫩度是肉品食用品质的一个重要指标,剪切力的大小可以反映肉的嫩度,剪切力越小肉越嫩^[29]。由表1可知,剪切力为真空滚揉腌制<静态变压腌制<常压腌制,真空滚揉腌制与静态变压腌制、常压腌制间差异显著($P<0.05$),静态变压腌制与常压腌制差异不显著($P>0.05$)。但此时蒸煮损失率为真空滚揉腌制>常压腌制>静态变压腌制,结合氯化物含量、样品含水量的结果分析可知,在腌制处理2 h后真空滚揉腌制氯化物含量、含水量、pH值均显著上升,但蒸煮损失率显著($P<0.05$)高于其他2种腌制方式。其原因可能是滚揉过度,机械力的作用致使细胞破损严重,组织持水能力下降,样品虽含水量丰富,但这些水分只是自由水,外部条件变化会使得水分大量流失,导致蒸煮损失增大。据报道,适当的真空滚揉处理能有效降低蒸煮损失^[30]。本实验真空滚揉腌制蒸煮损失率增加可能原因有:温度太高,现有研究大多在4℃环境进行;滚揉机太大,物料填充较少,易导致滚揉过度。腌制处理2 h后,真空滚揉腌制鸭肉 L^* 值显著升高($P<0.05$),一方面是在滚揉过程中大量的水进入组织细胞中,改变了肉的反射特征,提高了肉的亮度^[31];另一方面,肌红蛋白氧化生成氧合肌红蛋白,其比例增加会使肌肉亮度增加^[31];有研究指出, L^* 值与肉的保水性有关^[32]。静态变压腌制 L^* 值略高于常压腌制。真空滚揉腌制 a^* 值显著下降($P<0.05$),有三方面原因^[33]:一是滚揉腌制过程中肉中残存的血液流出,降低了血红蛋白的含量;二是食盐的渗入加速了肉中肌红蛋白氧化成颜色较浅的高铁肌红蛋白;三是大量水分的渗入降低了血红蛋白和肌红蛋白浓度,此外较低的氧分压有利于高铁肌红蛋白的生成。 b^* 值为真空滚揉腌制<静态变压腌制<常压腌制,真空滚揉与静态变压及常压腌制间差异显著($P<0.05$), b^* 值越高肉样越不新鲜。综上,真空滚揉腌制有助于改善鸭肉色泽,降低剪切力,提高肉品嫩度;常压腌制与静态变压腌制在食用品质方面差异不显著($P>0.05$)。

表1 腌制方式对鸭肉食用品质的影响

Table 1 Effects of different curing methods on eating quality of duck meat

指标	常压腌制组 (6 h)	静态变压腌制组 (4 h)	真空滚揉腌制组 (2 h)
L^*	40.73±0.77 ^b	40.95±1.33 ^b	43.99±0.65 ^a
a^*	9.94±0.26 ^a	9.37±0.29 ^{ab}	8.96±0.24 ^b
b^*	5.88±0.23 ^a	5.76±0.22 ^a	4.84±0.25 ^b
蒸煮损失率/%	18.95±0.01 ^b	18.81±0.01 ^b	35.17±0.02 ^a
剪切力/kg	1.49±0.13 ^a	1.43±0.11 ^a	0.95±0.12 ^b

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表2同。

2.5 腌制方式对鸭肉质构的影响

由表2可知,硬度为真空滚揉腌制<静态变压腌制<常压腌制。这是由于真空滚揉腌制过程中机械作用造

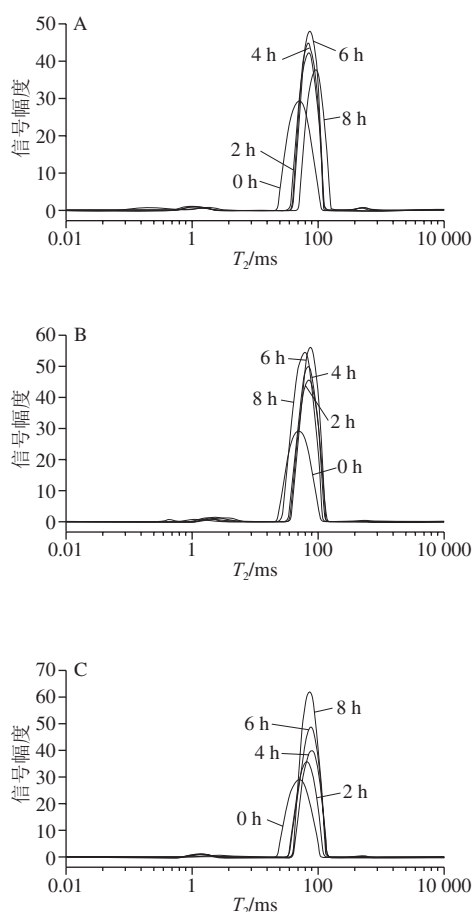
成了细胞损伤,肌原纤维断裂以及相关蛋白酶的激活对结构蛋白质的作用、肌纤维蛋白质的酶解以及 Na^+ 和 Cl^- 对肌粗丝的解离使鸭肉硬度减小。静态变压腌制4 h对比常压腌制6 h肉品咀嚼性、回复性显著($P<0.05$)减小,此时,肉眼明显看到静态变压腌制6 h肉体积缩小。说明静态变压腌制处理4 h后,鸭肉在常压、真空和加压的压力交替变化下使肉体积缩小,嫩度增加。综上,真空滚揉腌制有效改善肉质硬度,静态变压腌制有效降低肉质咀嚼性。

表2 腌制方式对鸭肉质构特性的影响

Table 2 Effects of different curing methods on texture characteristics of duck meat

指标 ^[34]	常压 腌制组(6 h)	静态变压 腌制组(4 h)	真空滚揉 腌制组(2 h)
硬度/g	11 262.54±315.08 ^a	10 806.47±464.42 ^{ab}	10 051.45±346.58 ^b
弹性/mm	0.75±0.01 ^b	0.75±0.00 ^b	0.78±0.00 ^a
内聚性	0.57±0.00 ^{ab}	0.56±0.00 ^b	0.58±0.00 ^a
咀嚼性/g	4 592.86±382.47 ^a	3 394.94±363.29 ^b	4 689.03±298.17 ^a
回复性	0.36±0.01 ^a	0.33±0.01 ^b	0.36±0.01 ^a

2.6 腌制方式对鸭胸肉水分存在状态分析的影响



A.常压腌制; B.真空滚揉腌制; C.静态变压腌制。

图4 腌制方式对鸭胸肉横向弛豫时间 T_2 的影响Fig. 4 Effects of different curing methods on T_2 relaxation time of duck meat samples表3 腌制方式对鸭胸肉弛豫时间 T_2 峰面积所占比例 P_{22} 的影响Table 3 Effects of different curing methods on area proportion of T_2 relaxation time of duck meat samples

腌制方式	$P_{22}/\%$				
	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h
常压腌制	96.43±0.001 37 ^{bc}	96.81±0.001 78 ^{bc}	97.01±0.000 89 ^{bc}	97.64±0.000 68 ^{bc}	97.16±0.001 68 ^{bc}
静态变压腌制	96.43±0.001 37 ^{bc}	97.34±0.001 5 ^{bc}	97.71±0.001 87 ^{bc}	97.48±0.001 04 ^{bc}	97.43±0.001 74 ^{bc}
真空滚揉腌制	96.43±0.001 37 ^{bc}	98.12±0.001 22 ^{bc}	97.74±0.001 15 ^{bc}	97.78±0.002 23 ^{bc}	97.12±0.002 98 ^{bc}

注:同行不同小写字母表示同一腌制方式不同时间差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一时间点不同腌制方式差异显著($P<0.05$)。表4同。

表4 腌制方式对鸭胸肉弛豫时间 T_{22} 的影响Table 4 Effects of different curing methods on T_{22} relaxation time of duck meat samples

腌制方式	T_{22}/ms				
	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h
常压腌制	47.69±0.00 ^{Ab}	66.50±2.83 ^{Ab}	67.56±1.91 ^{Ab}	71.11±1.21 ^{Ab}	77.81±3.95 ^{Ab}
静态变压腌制	47.69±0.00 ^{Ab}	69.99±2.51 ^{Ab}	72.41±2.05 ^{Ab}	73.71±2.41 ^{Ab}	74.93±1.50 ^{Ab}
真空滚揉腌制	47.69±0.00 ^{Ac}	73.81±3.30 ^{Ab}	68.69±1.21 ^{Ab}	68.77±2.25 ^{Ab}	60.91±2.19 ^{Ab}

从图4可以看出,在1~10 ms左右有1个小峰,为 T_{21} 峰,代表与蛋白质等大分子相结合的结合水;在10~100 ms处出现1个较大的峰,为 T_{22} 峰,代表肌肉中存在于肌原纤维与膜之间的不易流动水;100~1 000 ms处峰为 T_{23} 峰,代表细胞外间隙中能自由流动的自由水^[35]。 T_{22} 峰为主峰,表明在不同腌制方式的腌制过程中鸭肉组织中水分的主要存在形态为不易流动水,这部分水与肉的保水性具有极强的相关性^[36]。3种不同腌制方式处理鸭肉的水分形态及分布存在差异。有研究表明,弛豫时间 T_2 可以间接表明水分的自由度, T_2 越短表明水与底物结合越紧密; T_2 时间越长表明水分越自由^[37-38]。

由表3可以看出,真空滚揉腌制2 h P_{22} 值最大,说明此时不易流动水含量最多。一方面是由于在机械作用力和真空条件下促进了水的渗入,使肉中的不易流动水增加;另一方面,由于蛋白质降解和盐溶性蛋白的析出,形成的三维网状结构容纳更多的结合水和不易流动水。由表4可知,真空滚揉腌制2 h T_{22} 值对比静态变压腌制4 h、常压腌制6 h最大,说明此时水分最自由,较易失去。静态变压腌制 P_{22} 值在腌制4 h最大,常压腌制在6 h最大,说明静态变压腌制4 h不易流动水含量最多,保水性最好,常压腌制6 h不易流动水含量最多,保水性最好。腌制处理8 h后, T_{22} 值真空滚揉腌制<静态变压腌制<常压腌制,说明真空滚揉腌制能促使水分与底物的结合,但此时不易流动水含量显著($P<0.05$)减少。综上,不易流动水含量最多的腌制时长为真空滚揉腌制2 h、静态变压腌制4 h、常压腌制6 h。有研究发现通过提高 P_{22} 值,有助于提高肉和肉制品的保水性,改善产品品质,同时增加出品率、提高经济效益^[39-40]。

3 结 论

通过对鸭肉进行常压腌制、静态变压腌制和真空滚揉腌制处理后, 研究发现: 在相同时间检测点处真空滚揉腌制氯化物含量、水分含量、pH值均显著 ($P<0.05$) 高于常压腌制和静态变压腌制。静态变压腌制与常压腌制差异不明显。真空滚揉腌制2 h对比静态变压腌制4 h、常压腌制6 h, 真空滚揉腌制肉块亮度值 (L^*) 显著升高 ($P<0.05$), 红度值 (a^*) 和黄度值 (b^*) 显著降低 ($P<0.05$), 肉块色泽得到改善; 剪切力和硬度显著降低 ($P<0.05$), 提高了肉块的嫩度; 但蒸煮损失率显著升高 ($P<0.05$), 此时, 不易流动水横向往弛豫时间显著增加 ($P<0.05$), 推测滚揉时间过长, 样品保水性下降。在同一腌制方式中真空滚揉腌制不易流动水峰面积百分比最大在2 h处, 静态变压腌制4 h最大, 常压腌制6 h最大。静态变压腌制对比常压腌制6 h, 降低了肉块硬度, 咀嚼性、内聚性、回复性最低。因此, 综合考虑腌制速率、品质以及生产效率、经济效益等, 最佳腌制方式为真空滚揉腌制小于2 h、静态变压腌制4 h、常压腌制6 h。本研究为今后真空滚揉腌制、静态变压腌制技术在畜禽肉制品深加工中的应用以及相关设备的开发提供一定理论依据, 并为核磁共振技术在对比研究不同腌制方式在肉制品腌制过程中水分存在状态和迁移途径的应用提供理论依据。

参考文献:

- [1] JO Y, AN K A, ARSHAD M S, et al. Effects of e-beam irradiation on amino acids, fatty acids, and volatiles of smoked duck meat during storage[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2018, 47: 101-109. DOI:10.1016/j.ifset.2017.12.008.
- [2] 于林宏, 孙京新, 李鹏, 等. 超声波辅助变压滚揉工艺对鸭肉食用品质的影响[J]. *肉类研究*, 2016, 30(12): 17-21. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.12.004.
- [3] YUSOP S M O, SULLIVAN M G, KERRY J F, et al. Influence of processing method and holding time on the physical and sensory qualities of cooked marinated chicken breast fillets[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 46(1): 363-370. DOI:10.1016/j.lwt.2011.08.007.
- [4] INGUGLI E S, ZHANG Z, TIWARI B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products: a review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 59: 70-78. DOI:10.1016/j.tifs.2016.10.016.
- [5] OLESENI P T, MEYER A S, STAHNKE L H. Generation of flavour compounds in fermented sausages influence of curing ingredients, *Staphylococcus* starter culture and ripening time[J]. *Meat Science*, 2004, 66(3): 675-687. DOI:10.1016/S0309-1740(03)00189-X.
- [6] 王兆明, 贺稚非, 李洪军, 等. 真空滚揉腌制对伊拉兔肉品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 54-58. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201517011.
- [7] 李慧, 张崑, 郭添荣, 等. 滚揉技术在肉制品加工中的应用研究进展[J]. *肉类研究*, 2020, 34(2): 99-104. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20191120-281.
- [8] BOSSE R, THIERMANN N, GIBIS M, et al. Effect of mechanical curing treatments on particle distribution to simulate non-motile bacteria migration in cured raw ham[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 194: 58-66. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2016.09.005.
- [9] 陈泽刚, 李述瑞. 真空滚揉静腌对平遥牛肉品质的影响[J]. *农产品加工(创新版)*, 2011(5): 74-76.
- [10] GAO T, LI J L, ZHANG L, et al. Effect of different tumbling marination treatments on the quality characteristics of prepared pork chops[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2015, 28(2): 260-267. DOI:10.5713/ajas.14.0511.
- [11] 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.
- [12] 王兆明, 贺稚非, 李洪军, 等. 真空滚揉腌制对伊拉兔肉品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 54-58.
- [13] 赖彩如, 张志刚, 苏永裕, 等. 真空滚揉腌制对同安封肉品质的影响及参数优化[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(7): 208-214. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201507039.
- [14] 汤春辉, 黄明, 樊金山, 等. 调理鸭胸肉制品滚揉腌制工艺优化[J]. *食品科学*, 2013, 34(14): 63-67.
- [15] POPAT D S, MANOHAR G R, RAMAM U N, et al. Effect of vacuum tumbling on cooking yield and physical property of tandoori chicken[C]. *Scientific Research Forum*, 2018, 7(1): 169-177.
- [16] POPAT D S, MANOHAR G R, RAMAMURTHY N, et al. Effect of vacuum tumbling on sensory and economy of tandoori chicken prepared from asee native chicken meat[J]. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 2017, 6(2): 1535-1541.
- [17] 郭昕. 不同地域传统腊肉差异性分析及静态变压腌制工艺技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015. DOI:10.7666/d.Y2787610.
- [18] 郭昕, 黄峰, 张春江, 等. 静态变压腌制技术对猪肉品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(11): 2229-2240. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2015.11.014.
- [19] 焦慎江. 红烧肉品质改善和营养评价及冷链冻融循环研究[D]. 保定: 河北大学, 2017.
- [20] 国家卫生与计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中氯化物的测定: GB 5009.44—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] 国家卫生与计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [22] 国家卫生与计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品pH值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [23] 农业部. 肉嫩度的测定 剪切力测定法: NY/T 1180—2006[J]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [24] 谢小雷, 李侠, 张春晖, 等. 牛肉干中红外-热风组合干燥工艺中水分迁移规律[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(14): 322-330. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2014.14.040.
- [25] SHEN Q W, SWARTZ D R, WANG Z, et al. Different actions of salt and pyrophosphate on protein extraction from myofibrils reveal the mechanism controlling myosin dissociation[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(6): 2033-2039. DOI:10.1002/jsfa.7314.
- [26] 刘然, 吕飞, 丁玉庭. 不同腌制方式对草鱼腌制速率和理化性质的影响[J]. *食品工业*, 2012, 33(12): 67-71.
- [27] BOMBRUN L, GATELLIER P, CARLIER M, et al. The effects of low salt concentrations on the mechanism of adhesion between two pieces of pork semimembranosus muscle following tumbling and cooking[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 5-13. DOI:10.1016/j.meatsci.2013.06.029.
- [28] 谢碧秀. 粉蒸肉加工工艺及其产品特性的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009. DOI:10.7666/d.y1598409.

- [29] 佚名. 加热温度和时间对牛肉嫩度影响的主成分分析评价[J]. 农业工程学报, 2018, 34(13): 311-318. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2018.13.037.
- [30] 姜英杰, 贡汉坤. 不同滚揉腌制工艺对野鸭腿肉品质的影响[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2016, 32(4): 465-468. DOI:10.19492/j.cnki.1672-0946.2016.04.021
- [31] JOHANSSON G, TORNBERG E, LUNDSTRÖM K. Meat colour in loin and ham muscles of normal meat quality from Hampshire, Swedish Landrace and Yorkshire Pigs[C]//International Congress of Meat Science and Technology, 1993: 394-397.
- [32] KAEWTHONG P, WAIYAGAN K, WATTANACHANT S. Imaging analysis by digital camera for separating broiler breast meat with low water-holding capacity[J]. Journal of Poultry Science, 2017, 54(3): 253-261. DOI:10.2141/jpsa.0160122.
- [33] SARANYA S, KALAIKANNAN A, SANTHI D, et al. Effect of ginger oil on tenderization of spent goat meat[J]. Indian Journal of Small Ruminants, 2017, 23(1): 68-72. DOI:10.5958/0973-9718.2017.00026.5.
- [34] 夏军军, 李洪军, 贺稚非, 等. 不同腌制方式对牛肉品质特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(2): 12-19. DOI:10.13718/j.cnki.xdzk.2016.02.002.
- [35] 李侠, 孙圳, 杨方威, 等. 适宜冻结温度保持牛肉蛋白稳定性抑制水分态变[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 238-245. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2015.23.032.
- [36] ZHANG M, LI F, DIAO X, et al. Moisture migration, microstructure damage and protein structure changes in porcine *longissimus* muscle as influenced by multiple freeze-thaw cycles[J]. Meat Science, 2017, 133: 10-18. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.05.019
- [37] CHENG S S, WANG X H, LI R R, et al. Influence of multiple freeze-thaw cycles on quality characteristics of beef semimembranous muscle: with emphasis on water status and distribution by LF-NMR and MRI[J]. Meat Science, 2019, 147: 44-52. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.08.020.
- [38] UGUZ S S, OZVNTAL E B, BEIRA M J, et al. Use of NMR relaxometry to identify frankfurters of different meat sources[J]. Molecular Physics, 2019, 117(7/8): 1015-1019. DOI:10.1080/00268976.2018.1542162.
- [39] STRAADT I K, RASMUSSEN M, ANDERSEN H J, et al. Aging-induced changes in microstructure and water distribution in fresh and cooked pork in relation to water-holding capacity and cooking loss: a combined confocal laser scanning microscopy (CLSM) and low-field nuclear magnetic resonance relaxation study[J]. Meat Science, 2007, 75(4): 687-695. DOI:10.1016/j.meatsci.2006.09.019.
- [40] LI C B, LIU D Y, ZHOU G H, et al. Meat quality and cooking attributes of thawed pork with different low field NMR T_{21} [J]. Meat Science, 2012, 92(2): 79-83. DOI:10.1016/j.meatsci.2011.11.015.