

食盐浓度和腌制时间对猪肉渗透动力学及品质的影响

崔莹莹^{1,2,3}, 杨铭铎^{1,2,3*}, 李想³, 邓静³,
易宇文³, 乔明锋³, 钟志惠³, 张宇晴^{1,2}

(1. 哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 哈尔滨 150076; 2. 哈尔滨商业大学 中式快餐研究发展中心博士后
科研基地, 哈尔滨 150076; 3. 四川旅游学院 烹饪学院, 四川 成都 610010)

摘要:以猪里脊肉片为试验材料,研究不同食盐浓度(1~5 g/100 mL)和腌制时间(0~5 h)对猪里脊肉湿腌过程中传质动力学、剪切力和蛋白质降解情况的影响。结果表明:食盐浓度和腌制时间对猪里脊肉质量变化率、水分含量变化率及NaCl含量变化率影响显著($P < 0.05$),且水分含量变化率及NaCl含量变化率与肉质质量变化率具有良好的相关性;当腌制液食盐浓度为3 g/100 mL时,腌制扩散系数(De)最大为 $4.230 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$,此时腌制速率最快;当腌制时间为2 h时,随着食盐浓度的增加,肉质的MFI、CSP、小分子蛋白呈先升高后降低的趋势,并在食盐浓度为3 g/100 mL时各项指标达到较高值,此时剪切力适宜;当腌制时间为5 h时,随着食盐浓度的增加,肉质的MFI、CSP、小分子蛋白逐渐降低。综合结果认为,较佳的食盐浓度为3 g/100 mL,腌制时间应控制在2 h内。该模型可以解释低浓度(1~5 g/100 mL)腌制传质动态变化,为进一步加工生产奠定理论基础。

关键词: 食盐浓度;腌制时间;动力学;嫩度品质;烹饪工艺

中图分类号: TS 972.112

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2020)02-0041-07

腌制是肉制品加工过程中的重要环节,不仅能够丰富肉品的滋味,而且有助于肉质盐溶蛋白的溶出,使蛋白带有较多的电荷,增强与极性水分子间的静电吸引力起到保水致嫩的作用,还具有一定的防腐效果。^[1]常见的腌制方式主要有干腌、湿腌及混合腌制法等。湿腌法作为肉制品腌制调味的常用手段,具有腌制速率快、效果均匀、烹饪损失率小等优点。

腌制的实质主要是腌制液中的溶质与肉质中的水分传递的过程,此外还涉及部分蛋白质及脂肪的水解,腌制液浓度及腌制时间等都是影响腌制效果的主要因素。腌制浓度较低时,肉质滋味较淡,腌制时间长,不适宜批量化生产;腌制浓度过高则会使原料水分损失严重,口感难以接受。目前对于腌制传质动力学的研究大多集中于鸭肉^[2]、鱼肉^[3]等方面,对于猪肉的研究较少。且

近几年对于腌制动动力学的研究主要集中于盐类的高浓度传质变化,^[4]对于低浓度腌制传质动力学的研究还存在一定的空白。因此,为了探究低浓度腌制过程中猪里脊肉片的水分与腌制溶质间的迁移及蛋白质降解情况,本研究通过建立腌制动力学模型来探究其腌制及致嫩机理、优化产品工艺;为贴近实际生产加工,缩短腌制时间,提高肉质嫩度品质奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料及试剂

猪里脊肉、盐、料酒、生姜粉、马铃薯淀粉、玉米胚芽油;四川永辉超市。

KCl、 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 、 MgCl_2 、EGTA、伊红Y(水溶)、乙酸、无水乙醇、磺基水杨酸;成都润泽本土化工有限公司。

收稿日期:2020-03-13 *通信作者

基金项目:国家人事部留学回国人员择优资助项目(RSB0306AD)

作者简介:崔莹莹,女,哈尔滨商业大学旅游烹饪学院硕士研究生,从事烹饪科学研究;

杨铭铎,男,哈尔滨商业大学旅游烹饪学院教授,博士,博导,从事烹饪科学与烹饪教育、餐饮管理与饮食美学研究。

1.2 主要仪器及设备

8685 pH计:衡欣科技股份有限公司;DF40B恒温油炸锅:中山市韩科电器有限公司;TP377数字食品温度计:温州米尔特智能科技有限公司;101-0电热鼓风干燥箱:北京中兴伟业仪器有限公司;XHFD高速分散器:宁波新芝生物科技股份有限公司;JP-001多功能羊牛肉切片器:山西智汇经贸有限公司;JS-11B厨房定时器:天津品煜悠佳商贸有限公司;DTJ-2R磁力搅拌器:鼎泰(湖北)生化科技设备制造有限公司;WS-200盐度计:东莞市盛山电子科技有限公司;CX41双目生物显微镜:上海普赫光电科技有限公司;UVBLueStar A紫外分光光度计:北京苯伯泰科仪器有限公司;1645050十二烷基凝胶电泳:伯乐bio-rad通用基础电泳仪。

1.3 实验方法

1.3.1 工艺流程

猪里脊肉腌制预处理工艺流程如下所示:

腌制液 →

里脊肉 → 切片 → 腌制 → 挂糊油炸 → 产品。

1.3.2 猪肉片腌制工艺操作要点

腌制:用多功能切片器及肉片模具将里脊肉改刀切成长×宽×高为4.0 cm×3.0 cm×0.5 cm的大片,重约7 g,用吸水纸轻轻吸去表面水分,均匀撒上提前配置好的腌制液(料酒8.0 g、生姜粉0.8 g、食盐3.0 g,并用100 g的去离子水进行配置,腌制液的基础配方参考吴鹏等^[5]及前期试验结果)并搅拌均匀,放置在(4.0±0.5)℃的冰箱中腌制,按照1:3的肉与腌制液质量比进行腌制(每0.5 h用磁力搅拌器搅拌1次,搅拌速率为50 r/min)。分别进行质量变化率、水分含量变化率、NaCl含量变化率、MFI、CSP、蛋白质降解程度等相关指标的测定。

挂糊油炸:将腌制后的肉片进行挂糊,糊的最佳配方为马铃薯淀粉80 g、面粉20 g、泡打粉1 g、水92 g(糊与肉的质量比为1:1),料油比为1:10,加热油温为180℃,油炸时间为2.0 min。取样进行剪切力测定。

1.3.3 腌制过程中抽样检测

将猪里脊肉片编号、称重,测得其腌制前的平均水分含量为62.76%、盐含量为0.19%。试验中通过改变食盐的浓度为1.0、2.0、3.0、4.0及5.0 g/100 mL;腌制时间为0.0、0.5、1.0、2.0、

3.0、4.0及5.0 h。取样进行质量、水分含量以及食盐含量的检测。

1.4 主要检测指标

1.4.1 水分含量测定

参照GB/T 9695.15—2008^[6]直接干燥法。

1.4.2 食盐含量测定

参照徐微微等^[7]的方法进行测定。

1.4.3 质量测定

腌制后的肉制品,在规定的时间内取出用定性滤纸吸去表面的腌制液并称重(g)。

1.4.4 剪切力测定

参照任政伟等^[8]的方法进行测定。

1.4.5 肌原纤维小片化指数(MFI)测定

参考CULLER等^[9]的方法进行提取并测定。

蛋白质标准曲线方程为 $y = 0.05292x + 0.00229$, $R^2 = 0.9993$ 。

1.4.6 可溶性蛋白质含量(CSP)测定

参考苏丹^[10]的方法进行测定。

1.4.7 肌原纤维显微镜观察

参考苏丹^[10]的方法进行观察。

1.5 腌制过程中的渗透动力学变化

肉质的水分含量变化率、盐含量变化率及质量变化率计算方式:在肉质湿腌的过程中,肉质的总质量变化率(ΔM_t^0)实际上就是肉质的水分含量变化率(ΔM_t^W)及盐分含量变化率(ΔM_t^{NaCl})之和。具体的计算公式如下:

$$\Delta M_t^0 = (M_t^0 - M_0^0) / M_0^0 \times 100\%$$

$$\Delta M_t^W = (M_t^0 \times X_t^W - M_0^0 \times X_0^W) / M_0^0 \times 100\%$$

$$\Delta M_t^{NaCl} = (M_t^0 \times X_t^{NaCl} - M_0^0 \times X_0^{NaCl}) / M_0^0 \times 100\%$$

式中: M_t^0 、 M_0^0 分别表示腌制时间为 t 时及初始腌制0时肉质的总质量(g); X_t^W 、 X_0^W 分别表示腌制时间为 t 时及初始腌制0时肉质的水分含量(%); X_t^{NaCl} 、 X_0^{NaCl} 分别表示腌制时间为 t 时及初始腌制0时肉质的盐分含量(%).

腌制传质动力学模型:根据BARAT等^[11]对于腌制动力学的研究可知,肉质腌制过程中腌制量的变化率与腌制时间的平方根有直接的关联,具体的计算公式如下所示:

$$\Delta M_t^i = k_1 \times t^{0.5} + k_2 + 1$$

式中: ΔM_t^i 表示肉质质量的变化率、水分含量变化及盐含量变化率;斜率 k_1 与传质动力学的扩散机制关联;截距 k_2 为腌制初始阶段肉质重量,

水分含量及盐含量,与流体力学的压力梯度有关。

腌制平衡方程:腌制平衡时,肉质水相中的含盐量(Z_e^{NaCl})与腌制液中的含盐量(Y_e^{NaCl})相等,计算公式如下:

$$Z^{\text{NaCl}} = X^{\text{NaCl}} / (X^{\text{W}} + X^{\text{NaCl}})$$

$$Z_e^{\text{NaCl}} = Y_e^{\text{NaCl}} = \left(\frac{M_0^{\text{GG}}}{M_0^{\text{BS}}} X_0^{\text{NaCl}} + Y_0^{\text{NaCl}} \right) /$$

$$\left[\frac{M_0^{\text{GG}}}{M_0^{\text{BS}}} (X_0^{\text{W}} + X_0^{\text{NaCl}}) + (Y_0^{\text{W}} + Y_0^{\text{NaCl}}) \right]$$

式中: X^{W} 、 X^{NaCl} 分别表示肉质的水分含量以及盐含量; $\frac{M_0^{\text{GG}}}{M_0^{\text{BS}}}$ 表示腌制初肉质与腌制溶液的质量比值,本实验中该数值为1; X_0^{W} 、 X_0^{NaCl} 表示腌制初肉质中的水分含量以及盐含量; Y_0^{W} 、 Y_0^{NaCl} 表示腌制初腌制液中的水分含量以及盐含量。

有效扩散系数 De :根据 Fick 方程,利用 Z^{NaCl} 及 Y^{NaCl} (腌制液中的 NaCl 含量) 的变化来确定腌制液中有有效扩散系数 De ,具体公式如下所示:

$$1 - y_i^{\text{NaCl}} = 1 - \left[(Z_i^{\text{NaCl}} - Y_i^{\text{NaCl}}) / (Z_0^{\text{NaCl}} - Z_e^{\text{NaCl}}) \right] = 2 \times \left(\frac{De \cdot t}{\pi \cdot L^2} \right)^{0.5} + K$$

式中: De 表示有效扩散系数(m^2/s); y_i^{NaCl} 表示肉质中水相及腌制液间的传质驱动力; Z_i^{NaCl} 、 Z_0^{NaCl} 、 Z_e^{NaCl} 分别表示腌制 t 时、0 时及腌制达到平衡点时肉质水相中 NaCl 的含量; Y_i^{NaCl} 表示腌制 t 时腌制液中 NaCl 的含量; L 表示猪肉片厚度的 $1/2(\text{m})$; K 表示独立项。

1.6 数据处理

实验数据经 SPSS 19.0 软件进行显著性及方差分析,显著水平设为 0.05,绘图采用 Origin 2018 中文版进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度食盐腌制液腌制过程肉中水分含量、盐含量及质量变化率

由图 1、图 2 可知,随着腌制时间及食盐浓度的增加,肉样中的水分含量变化率及 NaCl 含量变化率逐渐增加($P < 0.05$),且增幅逐渐减慢。在腌制初始阶段 0.5 h 范围内,各浓度(1 ~ 5 g/100 mL)腌制液中肉质的水分含量及 NaCl 含量增加速率最快,^[12]主要是由于腌制初始阶段,腌制液中的 NaCl 含量远高于肉质中的 NaCl 含量,因此细胞内外渗透压较大,传质速度较快;随

着腌制液中 NaCl 逐渐的渗透到肉质中,肉质与腌制液中的 NaCl 含量渐渐趋于平衡,渗透力减弱,样品中 NaCl 含量及水分含量的变化率逐渐降低,直至腌制趋于平衡。^[13]整体状态下肉质中的水分含量及盐含量逐渐上升,随着肉样中 NaCl 含量的逐渐升高,肌肉组织中的离子强度增大,使得氢键的结合位点增多结合更多的水分,同时肌肉膨胀产生膨胀压,因此肉质中的水分得以提高。

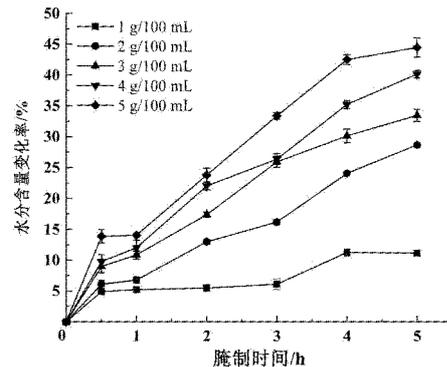


图 1 不同浓度食盐溶液腌制过程中猪肉水分含量变化率

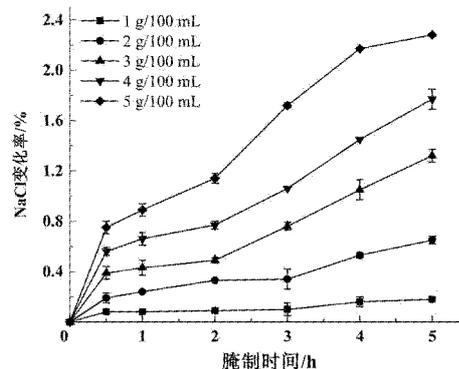


图 2 不同浓度食盐溶液腌制过程中猪肉 NaCl 含量变化率

肌肉的质量变化率是用来衡量肉质出品率及腌制液吸收状态的一个指标。产品的质量增加越多,肉质的出品率就越大。由图 3 可知,随着食盐浓度及腌制时间的增加,肉质质量的变化率也逐渐增加($P < 0.05$),并于食盐浓度为 5 g/100 mL,腌制时间为 5 h 时肉质的质量分数达到整体最大值,与苏燕^[14]的研究结果一致,说明低浓度(≤ 5 g/100 mL)的腌制处理有助于提高肉质的出品率。由图 4 可以看出,肉质中盐含量变化率及水分含量变化率之和近似等于肉质质量变化率,且相关性较强($R^2 = 0.947$),说明肉质质量的变化实质上是由水分与盐的变化引起的。但图中

散点与拟合曲线并未完全融合,其中4 g/100 mL与5 g/100 mL腌制液的散点与回归曲线稍有偏差,说明浓度为4 g/100 mL与5 g/100 mL腌制条件下肉质质量的变化与蛋白质及脂肪的溶出也有一定的关系。

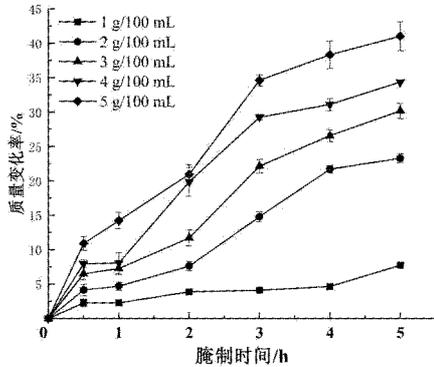


图3 不同浓度食盐溶液腌制过程中猪肉质量分数的变化率

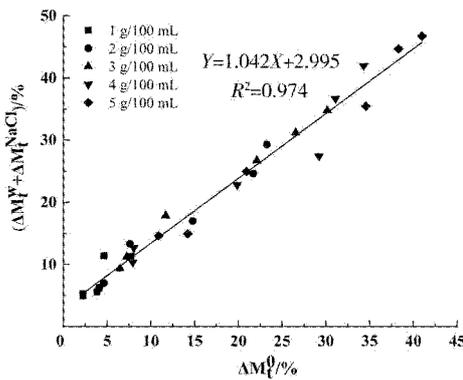


图4 水分和盐变化量之和与总质量变化量的回归曲线

2.2 腌制过程中表观扩散系数(De)计算

通过计算可知,当达到腌制平衡时,肉质水相中盐含量 Z_e^{NaCl} 分别为 0.007、0.013、0.019、0.025、0.031。而实际情况下,各食盐浓度腌制条件下的肉样腌制 5 h 其水相中的 Z^{NaCl} 分别为 0.005、0.009、0.015、0.018、0.023,理论数据皆大于实际数值,说明各浓度腌制液的肉片在腌制时间为 5 h 时尚未达到腌制终点。结合表 1 得出 3 g/100 mL 的腌制液扩散速率最快,表示此腌制液更适用于腌制加工,可缩短腌制时间;然而随着腌制液浓度的增大,腌制速率反而降低,可能由于腌制浓度的增加,肉质蛋白的空间结构发生轻微扭曲,影响了腌制溶质的扩散速率。

表 2 描述的是肉质的总质量变化、水分含量变化及盐分含量变化的动力学参数值 (K_1 、 K_2) 及

其与相关系数的指标结果,结合图 6、图 7 可知,随着腌制液中食盐浓度的逐渐增加,各参数下的 K_1 数值逐渐变大, R^2 均超过 85%,说明运用该动力学模型来模拟猪肉片传质变化与时间的关系是可行的。

表 1 理论动力学参数值

食盐质量分数/(g/100 mL)	扩散系数 $De/(m^2/s)$	K	R^2
1.0	2.370×10^{-10}	-0.131	0.779
2.0	2.519×10^{-10}	-0.304	0.812
3.0	4.230×10^{-10}	-0.513	0.760
4.0	2.638×10^{-10}	-0.467	0.845
5.0	2.193×10^{-10}	-0.437	0.936

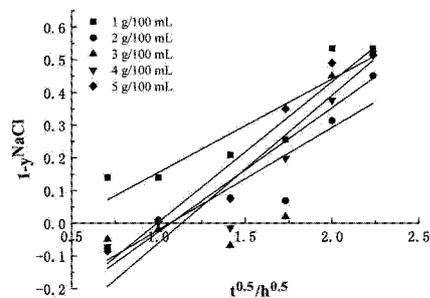


图5 传质驱动力与 $t^{0.5}/L$ 关系的回归曲线及腌制平衡时肉质水相中盐含量

表 2 猪肉总质量、水分及盐分变化的动力学参数及其相关系数

指标	食盐浓度/(g/100 mL)	斜率 K_1	截距 K_2	相关系数 R^2
ΔM_0^0	1	2.899	-0.214	0.864
	2	10.956	-3.344	0.867
	3	14.024	-3.312	0.915
	4	16.737	-3.084	0.941
	5	19.488	-2.451	0.962
ΔM_0^W	1	4.639	0.271	0.846
	2	2.611	2.841	0.919
	3	15.475	-2.003	0.972
	4	18.165	-2.728	0.968
	5	20.639	-2.226	0.964
ΔM_0^{NaCl}	1	0.710	0.006	0.880
	2	0.266	-0.019	0.924
	3	0.541	-0.069	0.899
	4	0.722	-0.046	0.937
	5	1.035	-0.066	0.967

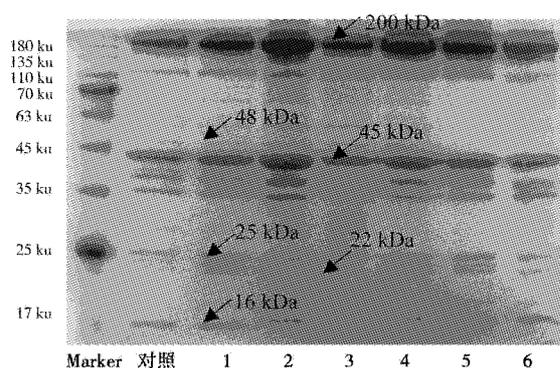


图6 腌制处理对猪肉片骨架蛋白条带的影响

注: Marker 为标准蛋白;1 号代表腌制条件为 1 g/100 mL-2 h;2 号代表腌制条件为 3 g/100 mL-2 h;3 号代表腌制条件为 5 g/100 mL-2 h;4 号代表腌制条件为 1 g/100 mL-5 h;5 号代表腌制条件为 3 g/100 mL-5 h;6 号代表腌制条件为 5 g/100 mL-5 h。

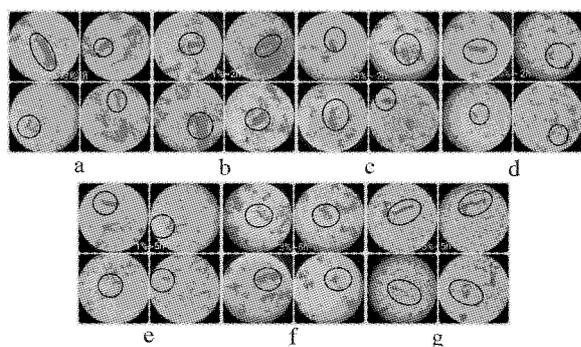


图7 腌制处理对猪肉片肌原纤维显微结构的影响

注:a 为原料肉;b 为腌制条件 1 g/100 mL-2 h;c 为腌制条件 3 g/100 mL-2 h;d 为腌制条件 5 g/100 mL-2 h;e 为腌制条件 1 g/100 mL-5 h;f 为腌制条件 3 g/100 mL-5 h;g 为腌制条件 5 g/100 mL-5 h。

2.3 腌制处理对猪肉片剪切力的影响

剪切力除与腌制浓度、腌制时间有关外,还与加热温度、加热时间关系比较密切,可通过固定油炸温度及挂糊量来降低加热温度及时间对试验结果的影响。

由表 3 可知,剪切力随着腌制时间(0~4 h)延长,各个浓度食盐溶液(1~5 g/100 mL)腌制条件下肉质的剪切力呈现先降低后轻微升高的趋势($P < 0.05$),其中 1 g/100 mL 与 2 g/100 mL 浓度腌制条件下肉质的剪切力差别不显著($P > 0.05$)。随着腌制液中食盐浓度(1~5 g/100 mL)的升高,各个腌制时间条件下肉质的剪切力逐渐降低($P < 0.05$),各个腌制时间(0~5 h)条件下,4 g/100 mL 与 5 g/100 mL 腌制液腌制的肉质剪切力差别不显著($P > 0.05$),说明并不是腌制时间越长,食盐浓度越高肉质嫩度品质越好。综合试验结果及时间成本认为最佳的腌制液浓度范围为 3~4 g/100 mL,腌制的时间应控制在 2 h 内,与吴亮亮等^[15]的研究结果一致。

2.4 腌制对肉质 MFI、CSP 及组织蛋白的影响

为了更直观的观察肉质在腌制过程中的嫩化机制,试验中通过探究肉质在食盐浓度为 1、3、5 g/100 mL 腌制 2、5 h 时,肉质肌原纤维小片化指数(MFI)、可溶性蛋白质(CSP)及肉质蛋白质降解情况来探究嫩化机制。

由表 4 可知,随着腌制浓度的增加,猪里脊肉片的 MFI 呈逐渐上升趋势($P < 0.05$),CSP 也逐渐的增加。当腌制条件为 3 g/100 mL-2 h 及 5 g/100 mL-5 h 时肉质的 MFI 及 CSP 较高,分别为 152.4/75.4 及 150.2/80.80。盐溶液有助于肉质蛋白结构发生溶胀,降解,致使纤维结构断裂,可溶蛋白溶出率增加。

表3 不同腌制条件对猪肉片剪切力的影响($\bar{x} \pm SD, n=5$)

食盐浓度/ (g/100 mL)	腌制时间/h					
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
空白组	28.96 ± 3.18					
1.0	26.96 ± 0.56 ^{abA}	26.61 ± 3.87 ^{abA}	21.35 ± 4.44 ^{aC}	22.20 ± 3.44 ^{bC}	25.10 ± 1.10 ^{aAB}	27.96 ± 3.18 ^{aA}
2.0	24.16 ± 3.57 ^{abA}	21.05 ± 1.10 ^{abcBC}	17.27 ± 3.56 ^{bcC}	22.17 ± 2.13 ^b	25.40 ± 1.94 ^{aA}	19.04 ± 3.18 ^{bC}
3.0	20.69 ± 0.48 ^{bcA}	17.75 ± 4.80 ^{bcB}	16.57 ± 3.79 ^{bcC}	14.44 ± 1.24 ^{cC}	18.11 ± 2.32 ^{bB}	15.57 ± 3.81 ^{bcC}
4.0	17.12 ± 1.56 ^{cA}	16.77 ± 3.84 ^{cA}	13.32 ± 0.14 ^{dB}	13.76 ± 1.04 ^{cB}	13.73 ± 1.30 ^{cB}	12.07 ± 0.96 ^{cB}
5.0	16.23 ± 1.57 ^{cA}	15.40 ± 1.68 ^{cA}	14.38 ± 1.94 ^{cdA}	12.52 ± 1.53 ^{cA}	15.17 ± 1.55 ^{bcA}	13.44 ± 0.65 ^{cA}

注:同列数据中不同字母上标表示数值间差异显著($P < 0.05$)。

由图6可见,不同腌制条件下猪里脊肉的肌原纤维蛋白 SDS - PAGE 电泳条带发生明显变化。其中,当腌制时间为2 h时,随着腌制浓度的增加,代表大分子质量的肌间线蛋白(48 ku)、肌钙蛋白T(17 ku)条带,肽链(32 ku、28 ku)逐渐减弱,肌间线蛋白是连接Z线间的骨架蛋白,肽链是连接I带,Z盘的连接结构。I带、Z线断裂产生肌原纤维小片化。而分子质量小的蛋白,如肌动蛋白(45 ku)、肌球蛋白轻链(25 ku、15 ku)等电泳条带先明显增强后有所减弱。肌球蛋白是由一条重链(200 ku)、三条轻链(22 ku、18 ku、16 ku)及肌动蛋白杂带链(43 ku)组成,^[16]此些条带的增强表示肌动蛋白发生了降解。当腌制时间为5 h时,随着腌制浓度的增加,分子质量小的蛋白质条带逐渐降低。

表4 腌制过程中肉质的MFI及CSP的变化

样 品	测定指标	
	MFI	CSP/(mg/g)
对照组	135.0 ± 0.01 ^d	61.49 ± 0.07 ^d
1 g/100 mL - 2 h	146.6 ± 0.01 ^{bc}	71.40 ± 0.07 ^c
3 g/100 mL - 2 h	152.4 ± 0.01 ^a	75.40 ± 0.06 ^b
5 g/100 mL - 2 h	144.6 ± 0.01 ^c	74.40 ± 0.05 ^b
1 g/100 mL - 5 h	144.6 ± 0.03 ^a	73.60 ± 0.01 ^{bc}
3 g/100 mL - 5 h	148.0 ± 0.01 ^b	77.40 ± 0.07 ^{ab}
5 g/100 mL - 5 h	150.2 ± 0.01 ^a	80.80 ± 0.02 ^a

注:同列数据中不同字母上标表示数值间差异显著($P < 0.05$)。

2.5 腌制处理对肉样肌原纤维显微结构的影响

由图7可见,随着腌制时间的延长,肌原纤维不断产生小片化,肉质得以嫩化;然而当腌制液中食盐浓度达到5 g/100 mL时,肌原纤维的显微结构较3 g/100 mL的更为完整,分析原因可能是由于该条件下的盐浓度对肌肉中的组织蛋白酶产生了影响,降低了其分解肌肉蛋白组织的能力。此肌原纤维微观结构的变化与上述理化指标的变化较为一致,可较好地解释肉质在腌制过程中的嫩度变化。

3 结论

3.1 腌制传质动力学

随着食盐浓度(1~5 g/100 mL)及腌制时

间(0~5 h)的增加,猪里脊肉的NaCl、质量及水分含量逐渐增加,剪切力逐渐降低($P < 0.05$),这说明低浓度(1~5 g/100 mL)的腌制液有助于提高肉质的保水性;采用Fick第二定律对猪肉腌制过程中的传质动力学进行理论研究,得出猪里脊肉的质量变化近似等于猪里脊肉中的NaCl含量变化及水分含量变化之和,且相关系数 R^2 较大为0.974;此腌制动力学模型可以用来解释猪里脊肉在食盐浓度为1~5 g/100 mL、腌制时间5 h内的传质变化;当盐浓度为3 g/100 mL时,猪里脊肉的传质系数 De 最大,此时腌制速度最快,可缩短腌制时间。

3.2 腌制对猪肉片嫩度的影响

当腌制时间为2 h时,肉质的MFI、CSP的含量呈先升高后降低的趋势,并在食盐浓度为3 g/100 mL时各项指标达到较高值,此时肌动蛋白(45 ku)、肌球蛋白轻链(25 ku、15 ku)等电泳条带最为明显,肉质最嫩;当腌制时间为5 h时,随食盐浓度的增加,肌动蛋白(45 ku)、肌球蛋白轻链(25 ku、15 ku)等电泳条带有所减弱,MFI及CSP也有所降低,肉质嫩度下降;综合以上指标,认为较佳的腌制液盐浓度为3 g/100 mL,腌制时间以2 h为宜。

参考文献:

- [1] 匡威,安亮,徐军,等. 鸭腿减盐滚揉腌制过程中的传质动力学[J]. 食品科学, 2019, 40(23): 1-7.
- [2] 张晨曦,贺稚非,韩辉,等. 木瓜蛋白酶对鸡肉湿腌过程中传质动力学的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(10): 65-70.
- [3] GALLART L, BARAT J M, RUSTAD T, et al. A comparative study of brine salting of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79(1): 261-270.
- [4] 郭丽媛,刘登勇,徐幸莲,等. 猪肉腌制过程中的传质动力学研究[J]. 食品科学, 2015, 36(1): 31-36.
- [5] 吴鹏,王恒鹏,王苏月,等. 不同蒸制时间条件下鲈鱼片预制品品质比较[J]. 美食研究, 2017, 34(2): 57-60.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 9695.15—2008 肉与肉制品水分含量测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] 徐薇薇,王振宇,倪娜,等. 羊肉脉动真空腌制工艺参数优化及腌制模型建立[J]. 食品科学, 2015, 36

- (14):29-33.
- [8] 任政伟, 彭毅秦, 丁捷, 等. 响应面法优化泡椒猪肝超声波腌制液配方[J]. 美食研究, 2018, 35(1): 28-33.
- [9] CULLER R D, SMITH G C, CROSS H R. 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] 苏丹. 老龄梅花鹿肉嫩化方法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2012.
- [11] BARAT J M, RODRIGUEZ B S, ANDRES A, et al. Influence of increasing brine concentration in the codsalting process[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 67(5): 1922-1925.
- [12] 张勉, 徐玉娟, 刘忠义, 等. 盐焗鸡腿加工过程中食盐的渗透规律研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(8): 908-911.
- [13] 付宝华. 海鳗腌制加工及过程动力学研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(36): 20735-20736.
- [14] 苏燕. 兔肉湿腌过程的传质动力学研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [15] 吴亮亮, 罗瑞明, 孔丰, 等. 食盐添加量对滩羊肉蒸煮损失、嫩度及水分分布的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 322-325, 366.
- [16] 吕彤, 林俊杰, 周昌瑜, 等. 热处理强度对猪肉肌球蛋白结构及风味成分吸附特性的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 285-291.

Effects of salt concentration and time on curing osmotic kinetics and quality of pork

CUI Yingying^{1,2,3}, YANG Mingduo^{1,2,3}, LI Xiang³, DENG Jing³,
YI Yuwen³, QIAO Mingfeng³, ZHONG Zhihui³, ZHANG Yuqing^{1,2}

(1. School of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China;

2. Post-doctoral Research Base, Center for Chinese Fast Food Research and Development, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China; 3. School of Cuisine, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610010, China)

Abstract: Using pork slices used as the experimental material, the effects of salt concentration (1~5 g/100 mL) and curing time (0~5 h) on mass transfer dynamics, shear force and protein degradation of pork tenderloin during wet curing were studied. The results showed that the salt mass fraction and curing time had significant effects on the mass change rate, water content change rate and NaCl content change rate of pork tenderloin ($P < 0.05$), and the water content change rate and NaCl content change rate had good correlation with the meat quality change rate ($R^2 = 0.974$). At a salt solution of 3 g/100 mL, the maximum curing diffusion coefficient (De) was $4.230 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, and the curing rate was the fastest. At a curing time of 2 h, the MFI, CSP, small molecule protein of meat increased first and then decreased with the increase of salt concentration, and the indexes reached higher values, the shear force is suitable at salt concentration of 3 g/100 mL. At a curing time of 5 h, the MFI, CSP, and small molecule protein of meat gradually decreased with the increase of the curing mass fraction.

Key words: salt concentration; curing; dynamics; tenderness; cooking process

(责任编辑:赵 勇)