

水分和温度对猪肉质构及感官品质的影响

张立彦, 胡嘉颖

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 本文以猪里脊肉为原料, 在感官评定、仪器分析的基础上, 结合低场核磁共振测定结果, 考察了水分条件及加热温度对猪肉制品品质的影响。实验数据表明: 猪肉的感官硬度、紧密性及咀嚼感随含水量降低而升高, 感官弹性略有改善, 但 100 °C 热处理的不同干燥样之间没有显著差异($p>0.05$); 质构指标硬度、咀嚼性和剪切力值等与肉品的水分含量呈极显著负相关关系($p<0.01$); 通过降低肉的含水量($<36\%$)可改善 121 °C 热处理导致的肉质软烂和硬度降低。通过 LF-NMR 分析发现: 随干燥程度增大, 各状态水分的 T_2 弛豫时间均向快弛豫方向移动, 加热温度越高, T_{21} 状态的水分弛豫时间移动越明显; 干燥脱水造成的水分分布变化不及高温加热造成的影响显著; 不易流动水与肉的质构特性关系相当密切, 控制其含量可影响脱水肉制品的食用品质。

关键词: 水分含量; 加热温度; 猪肉; 质构特性; 感官品质

文章编号: 1673-9078(2016)9-216-223

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.9.032

Effects of Moisture Content and Heating Temperature on Texture and Sensory Qualities of Pork

ZHANG Li-yan, HU Jia-ying

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Using pork tenderloin as a raw material, the effects of moisture content and heating temperature on the properties of pork products were investigated on the basis of sensory evaluation, instrumental analysis, and the results of low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) analysis. The results revealed that sensory hardness, sensory tightness, and sensory chewiness of pork decreased with the increasing moisture content, whereas sensory springiness was slightly improved, but there were no significant differences among the dried samples heated at 100 °C ($p>0.05$). Hardness, chewiness, the shear force, and other textural properties showed a significant negative correlation with the moisture content of the pork products ($p<0.01$). The soft and loose texture and reduced hardness of the meat heated at 121 °C could be improved by reducing its water content ($<36\%$). The results of LF-NMR indicated that with the increasing degree of drying, the transverse relaxation time (T_2) values of hydration water, immobilized water, and free water decreased, and the shift of relaxation time of water in the T_{21} state was more significant with the increasing heating temperature. Compared with air drying, high-temperature heating had more significant effects on the moisture distribution of pork. Immobilized water was found to be closely related to textural properties. Thus, quality of meat products may be changed by controlling the concentration of immobilized water.

Key words: moisture content; heating temperature; pork; textural properties; sensory qualities

水分是肉类原料中含量最多的成分约占 70~75% (因肉品的肌内脂肪含量不同而有细微差别)^[1], 根据其存在状态的不同可分为结合水、不易流动水和自由水。水分的状态与分布是水分影响肉及肉制品品质和贮藏期的本质因素, 肉类通过脱水可实现长期保藏, 并在此过程中形成特殊风味, 同时其质地发生改变, 如我国的腊肉、火腿、风鸡及板鸭等腌腊类肉制品。这类肉制品是原料肉经预处理、腌制和脱水而制成,

收稿日期: 2015-10-17

基金项目: 广东省科技计划项目 (2013B020312003)

作者简介: 张立彦 (1974-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与保藏

一般需要加热熟制后才能食用, 最明显的特点是煮制后肉质干爽结实, 肌肉断面组织紧密、纤维感强。这种肌肉肉质的变化受多种因素影响, 其中水分含量及状态的影响最为显著^[2,3]。此外, 人们在生产实践中也发现, 未经干燥脱水的鱼肉和鸡肉水分含量高, 熟化后肉质比较软烂, 不利于包装和贮藏。目前, 将鱼片开发成罐装产品时, 需要先进行脱水干燥 (风干或油炸), 使水分含量降到一定水平, 再进行加热或杀菌处理, 以减少加热对肉纤维的破坏, 保持肉质和咀嚼感。

但是, 肉制品水分含量过低, 肉质变硬、失去弹性, 口感不好; 水分含量过高, 则肉质松散、不耐加热和贮藏。目前, 关于畜禽肉类干制品及半干制品的

研究主要集中在微生物群变化、脂肪氧化及风味形成等方面^[4-7]，而加热温度、水分含量及其分布状态对脱水肉制品质地的影响却少有研究。

据此，本文以猪里脊肉为研究对象，研究加热温度及水分条件对熟化猪肉食用品质、质构特性的影响，结合加热后肉中水分分布状态的变化规律，初步揭示水分和温度对肉品质地特性的作用效果。

1 材料与方法

1.1 材料

客家南塘土猪（生重 130±5 kg），取猪里脊肉。购于广州市华润万家超市，剔除脂肪和结缔组织，在 4℃冰箱放置待测。原料肉湿基含水量为 71.5±0.5%。

1.2 主要仪器设备

电热鼓风干燥箱，DHG9140B，上海市安亭科学仪器厂；多功能真空包装机，DZQ400/2L，南通彩星工贸有限公司；压力蒸汽灭菌器，YX-24HDJ，江阴滨江医疗设备有限公司；质构仪，TA-XT2i，英国Stable Micro Systems公司；核磁共振成像分析仪，MesoMR23-060H-I，上海纽迈电子科技有限公司。

1.3 样品的处理

将猪里脊肉顺着肌纤维方向切割成 30 mm×30 mm×15 mm 方块，保证每块重 16±0.2 g，1%茶多酚溶

液浸泡 5 min 后纱布沥干，脱水（25℃强制对流干燥，风速 4±0.1 m/s）至不同水分含量（30%、33%、36%、39%、42%、45%、48%、51%、54%、57%和 60%，湿基含水量），水分含量测定参照 GB/T 9695.15-2008。用已编号的蒸煮袋真空密封包装，4℃静置 48 h 使水分均匀分布。采用蒸汽加热（100℃，121℃）方式煮制 30 min。取出后于流水中冷却至室温，待测。

1.4 指标测定

1.4.1 感官评价

猪肉样品的感官评价采用质地剖面检验法，用刀具将肉样切成 10 mm×10 mm×10 mm 的规格，参照国标 GB/T 16860-1997，评价标准采取 10 分制，具体见表 1。邀请 20 名食品专业的研究生（10 名男性、10 名女性）组成感官评定小组，每个测试样品的感官评分数据去掉最高和最低评分后取算术平均值。

1.4.2 质构特性

质构参数采用 TA-XT2i 型质构仪的 TPA 模式进行测定，结果选用硬度(Hardness)、弹性(Springiness)、咀嚼性(Chewiness)、回复性(Resilience)等参数来评价猪肉样品的质构特性。将肉样切成 10 mm×10 mm×10 mm 的规格，平行测定 5 次。测定参数：探头：P/36R；测试前速度：2.0 mm/s，测试速度：1.0 mm/s，测试后速度：5.0 mm/s；压缩比：40%；两次压缩时间间隔：5.0 s。

表 1 感官评定描述词汇、定义及参照物

Table 1 Descriptive words, definition, and reference foods for sensory evaluation

质地指标	定义	参照食品
感官硬度 (SHN) Sensory hardness	将样品放在白齿间并均匀咀嚼，评价压迫食品所需的力。	奶油奶酪=1，鸡蛋白=2，法兰克福香肠=3，奶酪（黄色、加工过）=4，绿橄榄=5，花生=6，胡萝卜（未烹调）=7，花生糖（糖果部分）=8，水果硬糖=9
感官弹性 (SSN) Sensory springiness	将样品放在白齿间并进行局部压迫，取消压迫并评价样品恢复变性的速度和程度。	奶油奶酪=0，法兰克福香肠=3，果汁软糖=6，果冻=10
感官粘聚性 (SAN) Sensory adhesiveness	将样品放在白齿间压迫它并评价在样品断裂前的变形量。	玉米饼=1，美洲奶酪=5，白三明治面包=7，果干=10
感官紧密性 (STN) Sensory tightness	将样品放在白齿间进行咀嚼，评价样品断面的紧密度。	面包=1，软糖=5，明胶布丁=10
感官咀嚼性 (SCN) Sensory chewiness	将样品放在口腔中每秒钟咀嚼一次，所用力量与用 0.5 s 内咬穿一块口香糖所需力量相同，评价当可将样品吞咽时所需咀嚼次数或能量。	黑麦面包=1，淀粉制软糖=4，花生粘糖=7，太妃糖=10

1.4.3 剪切力

剪切力测定参考 Christensen 等^[2]的方法，采用质构仪进行。将猪肉样品切成 20 mm×10 mm×10 mm 的规格，用燕子尾刀片在垂直于肌纤维的方向剪切，剪

切曲线的峰值即为剪切力值，平行测定 5 次。测定参数：探头：HDP/BSW；测试前速度：1.0 mm/s，测试速度：1.0 mm/s，测试后速度：10.0 mm/s；测定距离：25 mm；引发力：5.0 g。

1.4.4 NMR 自旋-自旋弛豫时间 (T₂) 测量

NMR 弛豫测量选用 MesoMR23-060H-I 核磁共振成像分析仪 (质子共振频率 23.313 MHz, 磁体强度 0.55 T, 线圈直径为 60 mm, 磁体温度为 32 °C)。选择 CPMG 序列测定肉样横向弛豫时间 T₂, 主要参数设置为: P90=22 μs、P180=39.00 μs、SW=100 kHz、TE=0.3 ms、Tw=2000 ms、RFD=0.1ms、RG1=20 和 DRG1=3, 累加次数 NS=8, 回波数 NECH=3000。使用 NMRAS 分析软件采集信号, 反演后对数据进行归一化处理。

1.5 数据分析

实验数据用 Excel 和 SPSS 19.0 软件进行方差分析, 采用新复极差分析法 Duncan 比较各处理水平差异的显著性, 取 95%置信度(p<0.05), 采用 Pearson 进行相关性分析。数值以均值±标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 水分含量及加热温度对感官品质的影响

表 2 100 °C加热条件下水分含量对猪肉感官品质的影响

Table 2 Effects of moisture content on sensory qualities of pork heated at 100 °C

	感官硬度	感官弹性	感官粘聚性	感官紧密性	感官咀嚼性
对照(未干燥)	3.42±0.49 ^g	3.12±0.62 ^b	4.22±0.93 ^b	4.39±0.90 ^h	3.68±0.96 ^h
60%	3.62±0.44 ^g	3.69±0.67 ^a	4.39±0.81 ^b	4.63±0.92 ^{gh}	4.16±0.70 ^{gh}
57%	3.71±0.45 ^g	3.87±0.73 ^a	4.68±1.04 ^{ab}	4.87±0.86 ^{fgh}	4.21±0.73 ^{gh}
54%	3.92±0.44 ^g	3.97±0.63 ^a	4.92±0.97 ^{ab}	5.13±0.83 ^{efg}	4.47±0.78 ^{fg}
51%	4.09±0.57 ^{fg}	3.98±0.62 ^a	5.02±0.99 ^a	5.38±0.81 ^{def}	4.69±1.01 ^{efg}
48%	4.23±0.52 ^f	4.06±0.75 ^a	5.16±0.88 ^a	5.49±0.70 ^{cde}	4.96±0.81 ^{ef}
45%	4.73±0.46 ^f	4.02±0.50 ^a	5.06±0.75 ^a	5.56±0.80 ^{cde}	5.14±0.83 ^{de}
42%	5.13±0.51 ^e	4.16±0.62 ^a	5.27±0.69 ^a	5.81±0.73 ^{bcd}	5.54±0.72 ^{cd}
39%	5.39±0.64 ^{cd}	4.17±0.74 ^a	5.28±0.67 ^a	5.91±0.86 ^{bcd}	5.92±0.91 ^{bc}
36%	5.71±0.61 ^{bc}	4.18±0.66 ^a	5.17±0.78 ^a	6.07±0.74 ^{abc}	6.11±0.80 ^{abc}
33%	6.03±0.65 ^b	4.23±0.86 ^a	5.14±0.72 ^a	6.34±0.73 ^{ab}	6.38±0.76 ^{ab}
30%	6.51±0.68 ^a	4.19±0.73 ^a	5.13±0.87 ^a	6.58±0.72 ^a	6.59±0.79 ^a

注: 图中同列数据字母相同表示差异不显著 (p>0.05), 不同表示有显著性差异 (p<0.05), 下同。

表 3 121 °C加热条件下水分含量对猪肉感官品质的影响

Table 3 Effects of moisture content on sensory qualities of pork heated at 121 °C

	感官硬度	感官弹性	感官粘聚性	感官紧密性	感官咀嚼性
对照(未干燥)	3.29±0.39 ^j	3.06±0.65 ^d	4.46±0.79 ^c	4.67±0.77 ^h	3.54±0.87 ⁱ
60%	3.55±0.63 ^{gh}	3.73±0.76 ^c	4.51±0.99 ^{bc}	4.77±0.92 ^h	4.06±0.85 ^{hi}
57%	3.61±0.62 ^{gh}	3.86±0.72 ^{bc}	4.86±1.07 ^{abc}	4.87±0.83 ^{gh}	4.28±0.81 ^{gh}
54%	3.73±0.58 ^g	3.89±0.59 ^{bc}	4.96±0.94 ^{abc}	4.99±0.91 ^{fgh}	4.47±0.79 ^{gh}
51%	3.93±0.51 ^{fg}	3.91±0.61 ^{bc}	4.91±0.93 ^{abc}	5.21±0.83 ^{efgh}	4.74±0.80 ^{fg}
48%	4.21±0.57 ^f	3.89±0.75 ^{bc}	5.12±0.88 ^{ab}	5.42±0.86 ^{defg}	5.11±0.99 ^{ef}
45%	4.62±0.47 ^e	3.97±0.72 ^{bc}	5.18±0.82 ^a	5.59±0.85 ^{cdef}	5.43±0.89 ^{de}
42%	4.96±0.56 ^{de}	4.09±0.67 ^{abc}	5.24±0.97 ^a	5.79±0.84 ^{dce}	5.76±0.78 ^{cd}
39%	5.31±0.53 ^d	4.12±0.80 ^{abc}	5.16±0.76 ^{ab}	5.96±0.85 ^{bcd}	6.09±0.91 ^c
36%	5.67±0.58 ^c	4.17±0.87 ^{abc}	5.28±0.73 ^a	6.13±0.86 ^{abc}	6.39±0.97 ^{bc}
33%	6.14±0.56 ^b	4.38±0.85 ^{ab}	5.36±0.74 ^a	6.46±0.86 ^{ab}	6.79±1.04 ^{ab}
30%	6.69±0.44 ^a	4.58±0.70 ^a	5.41±0.93 ^a	6.69±0.76 ^a	7.09±0.91 ^a

经过不同程度风干处理的猪肉在 100 °C加热后其质地感官评定结果如表 2 所示。经过干燥的猪肉块感官硬度均在 3.6~6.5 之间, 相比于未经干燥的样品, 水分含量在 45%以下的猪肉感官硬度随水分含量变化

较大; 猪肉的感官紧密性、感官咀嚼性变化情况与感官硬度类似, 随水分含量的降低而升高; 猪肉干燥后感官弹性有所改善, 但 100 °C不同干燥样之间没有明显差异。

121 °C加热条件下不同水含量猪肉的感官评分见表3。脱水肉经121 °C加热后,感官硬度、感官紧密性、感官咀嚼性及感官弹性的变化趋势与100 °C加热的猪肉类似。对比100 °C热处理,经121 °C加热的猪肉感官硬度随水分含量的变化程度更大,干燥样的硬度评分值在3.3~7.0之间,明显高于100 °C加热的肉样。随着干燥程度的加大,经121 °C加热的猪肉感官硬度由原来的较低水平向明显高于100 °C样品的趋势变化,这表明原料肉经较高温度(121 °C)热处理表现出的肉质软烂并且硬度较低的现象,可通过降低肉块水分含量得到一定程度的改善。

2.2 水分含量及加热温度对猪肉质构特性的影响

不同水分含量猪肉经加热后硬度、咀嚼性、恢复性、弹性和剪切力变化如图1至图5。可见,随水分含量降低,硬度、咀嚼性和剪切力升高,总体呈现非线性负相关。水分含量在45%以上时,脱水程度对猪肉制品硬度的影响较小;当把肉品继续风干至水分含量45%以下,硬度随水分含量下降而急剧增大。猪肉的咀嚼性和剪切力值也表现出类似的趋势。这一变化趋势与Ruiz-Ramirez^[9,10]、高媛^[11]等的研究结果有类似之处。Serra^[12]等对于腌火腿肉的水分含量、水分活度与质构参数的关系进行研究,也发现样品的硬度和水分含量、水分活度呈非线性负相关关系,临界水分含量值(硬度突增)出现在水分含量35%左右;陈利忠等在牛肉干工艺及产品特性的研究实验中指出,当水分含量低于40%,随水分含量降低牛肉干的硬度及咀嚼性迅速增大。上述研究均是基于低温干燥肉类展开,高温(100 °C~121 °C)加热后脱水猪肉的质构变化尚未见有研究报道。

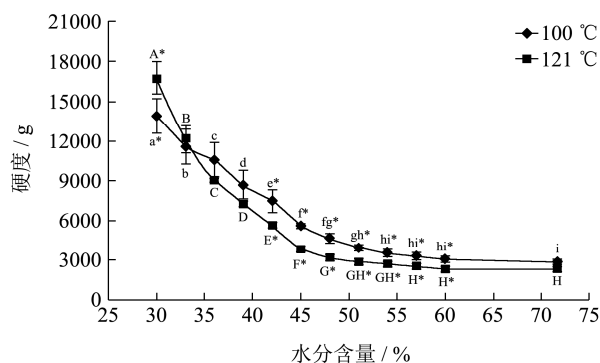


图1 水分含量对猪肉硬度的影响

Fig.1 Effects of moisture content on the hardness of pork

注:图中字母相同表示差异不显著($p>0.05$),不同表示有显著性差异($p<0.05$);*表示同一水分含量条件下,不同温

度处理样之间有显著性差异($p<0.05$),下同。

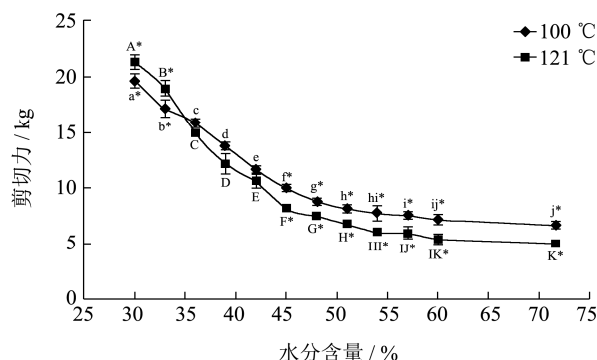


图2 水分含量对猪肉剪切力的影响

Fig.2 Effects of moisture content on the shear force of pork

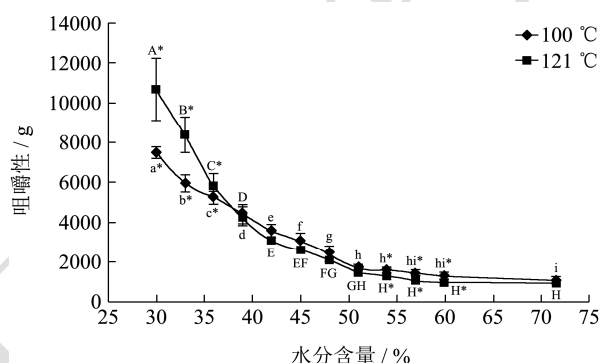


图3 水分含量对猪肉咀嚼性的影响

Fig.3 Effects of moisture content on the chewiness of pork

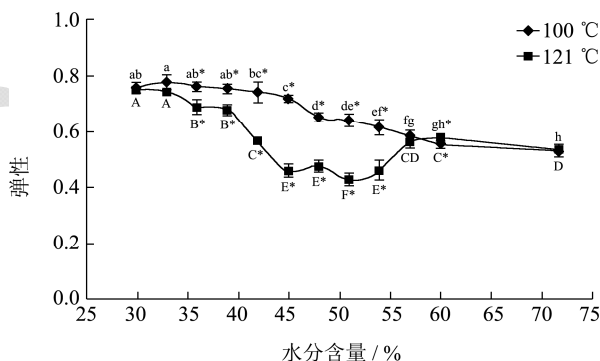


图4 水分含量对猪肉弹性的影响

Fig.4 Effects of moisture content on the springiness of pork

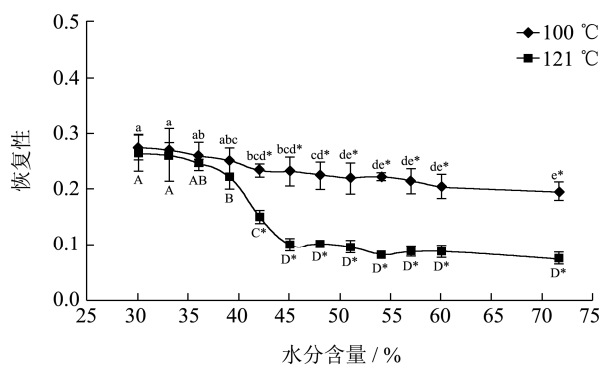


图5 水分含量对猪肉恢复性的影响

Fig.5 Effects of moisture content on the resilience of pork

对比不同加热温度的研究结果可知,含水量较高的猪肉经高强度加热(121 °C)后表现出更低的硬度、韧性和咀嚼性,但当脱水至一定程度(33%~36%),121 °C加热反而使肉品更干硬,耐咀嚼,且不易咬断。究其原因,可能是由于高热引起肉样进一步脱水,致使质构变化。

猪肉样品经 100 °C加热后弹性和恢复性随水分含量降低变化不大;而采用 121 °C的加热温度时,随着水分含量的降低,样品弹性先降低后升高,恢复性

在 45%的水分含量以下时有所上升。

猪肉水分含量与质构参数指标间的相关性分析结果见表 4。由表 4 可知,加热后猪肉的硬度、剪切力、咀嚼性与水分含量呈极显著负相关 ($p<0.01$);弹性与恢复性也表现出与水分含量的显著负相关关系 ($p<0.05$)。另外,表 4 还显示,121 °C加热后肉样的各质构参数与水分含量的相关系数均小于 100 °C 条件下的,可能是由于此时温度对肉质的破坏作用较强,减弱了水分的影响。

表 4 不同温度加热后猪肉水分含量、剪切力值及质构参数的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of total water content, the shear force value, and TPA of heated pork

	水分含量	硬度	剪切力	弹性	咀嚼性	恢复性	
100 °C	水分含量	1	-0.913**	-0.909**	-0.938**	-0.907**	-0.777**
	硬度		1	0.993**	0.862**	0.984**	0.768**
	剪切力			1	0.845**	0.987**	0.762**
	弹性				1	0.844**	0.718**
	咀嚼性					1	0.764**
	恢复性						1
	水分含量	1	-0.804**	-0.858**	-0.627**	-0.773**	-0.854**
121 °C	水分含量	1	-0.804**	-0.858**	-0.627**	-0.773**	-0.854**
	硬度		1	0.992**	0.819**	0.979**	0.898**
	剪切力			1	0.813**	0.972**	0.898**
	弹性				1	0.842**	0.865**
	咀嚼性					1	0.866**
	恢复性						1
	水分含量	1	-0.804**	-0.858**	-0.627**	-0.773**	-0.854**

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

2.3 水分状态变化及对肉质构特性的影响

低场核磁共振技术可以分析肉与肉制品中水分的分布状态、不同状态水的含量以及迁移过程。弛豫时间 T_2 反映了样品内部氢质子所处的化学环境,与氢质子所受的束缚力及其自由度有关,表征经加热处理后脱水猪肉中多种状态水分子的分布情况,及各状态下水分的结合状态和自由移动程度。图 6 和图 7 为不同水分含量猪肉加热后 LF-NMR 的 T_2 分析图谱,一共出现 4 个峰,其中 T_{20} 在 0~1 ms 之间,表示与蛋白质分子表面极性基团紧密结合的水分子层; T_{21} 在 4~40 ms,表示存在于肌原纤维细胞间质及细胞内的不易流动水层; T_{22} 和 T_{23} 在 40~600 ms 之间,表示位于肌原纤维外的自由水层^[13]。通过图 6 和 7 计算出各状态水分子的弛豫峰面积百分数,进而估算氢质子的相对含量,其变化可以表征经加热处理后肉样中各种状态水分子的分布情况。

表 5~8 分别显示了经不同温度加热脱水样品水分流动性和水分含量变化情况。由表 5 和表 7 可以看出,随着干燥程度的增大,结合水、不易流动水、自由水

对应的 T_2 弛豫时间均向快弛豫方向移动,表明水的结合度增强、自由度和流动性下降;且随水分含量下降而显著变化 ($p<0.05$),其中 T_{23} 状态的水分变化最明显。LI Miao-yun 等^[14]也发现类似规律。另外,加热温度越高, T_{21} 状态的水分弛豫时间向快弛豫方向移动越明显,表明此状态的水分受温度影响较大。

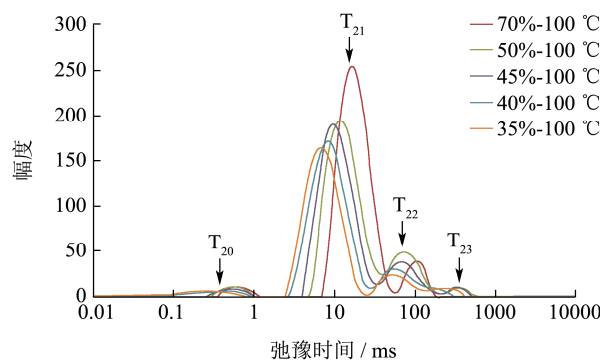


图 6 100 °C加热条件下猪肉的弛豫时间(T_2)图谱

Fig.6 Transverse relaxation time (T_2) of pork heated at 100°C

图 6 和 7 显示,随着水分含量降低,各状态水分的峰面积逐渐减少,且 121 °C下各峰面积下降更明显。对比表 7 和表 8 可知,不同程度干燥处理及加热温度

对第 2、第 3 和第 4 个峰的峰面积百分数有显著影响 ($p < 0.05$), 但对第 1 个峰的峰面积百分数影响不大 ($p > 0.05$)。由上述变化发现: 水分含量低于 45% 之后, 100 °C 加热对肉样中水分的状态分布影响不再显著 ($p > 0.05$); 而在 121 °C 下, T_{21} 峰面积百分数随水分含量下降而明显增加 ($p < 0.05$), T_{22} 和 T_{23} 的峰面积百分数则显著下降 ($p < 0.05$) (在含水量 30~35% 之间时下降尤其明显), 且都比 100 °C 加热条件下对应水分含量肉样中相应状态的水分变化程度大, 表明此温度下加热造成肌原纤维显著收缩, 使 T_{22} 和 T_{23} 状态的自由水或流动水进一步失去, 提高了其他两种状态水分的相对含量, 也造成了肉样的硬度、咀嚼性及剪切力值的相应变化; 干燥脱水造成的水分分布变化不及高温

加热造成的影响显著。

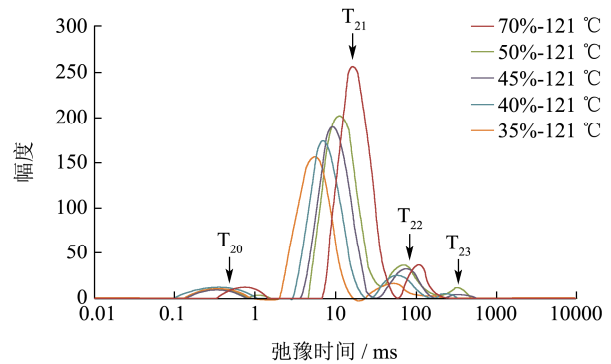


图 7 121 °C 加热条件下猪肉的弛豫时间 (T_2) 图谱

Fig.7 Transverse relaxation time (T_2) of pork heated at 121 °C

表 5 100 °C 加热条件下水分含量对猪肉弛豫时间的影响

Table 5 Effects of moisture content on transverse relaxation time of pork heated at 100 °C

水分含量/%	T_{20}/ms	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms
对照	0.63±0.05 ^a	16.30±0 ^a	104.99±8.65 ^a	892.11±70.13 ^a
50	0.57±0 ^{ab}	12.33±0 ^b	75.65±0 ^b	368.65±30.36 ^b
45	0.52±0.04 ^{ab}	9.79±0.81 ^c	65.79±0 ^{bc}	335.87±26.40 ^{bc}
40	0.44±0.22 ^b	8.11±0 ^d	54.74±4.30 ^{cd}	227.02±69.12 ^d
35	0.21±0.02 ^c	7.05±0 ^e	52.25±4.30 ^d	248.58±66.96 ^{cd}
30	0.20±0.02 ^c	5.34±0 ^f	44.17±11.30 ^d	126.45±9.94 ^e

表 6 121 °C 加热条件下水分含量对猪肉弛豫时间的影响

Table 6 Effects of moisture content on transverse relaxation time of pork heated at 121 °C

水分含量/%	T_{20}/ms	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms
对照	0.72±0.06 ^a	16.30±0 ^a	104.99±8.65 ^a	979.16±80.63 ^a
50	0.48±0.04 ^b	10.72±0 ^b	69.08±5.69 ^b	335.87±26.40 ^b
45	0.45±0.04 ^{bc}	9.33±0 ^c	66.22±9.22 ^b	335.87±26.40 ^b
40	0.38±0.05 ^c	7.05±0 ^d	60.45±9.25 ^b	220.98±17.37 ^c
35	0.27±0.05 ^d	5.34±0 ^e	52.95±11.58 ^b	248.58±66.96 ^c
30	0.25±0.03 ^d	4.06±0.30 ^f	32.96±4.59 ^c	88.60±19.75 ^d

表 7 100 °C 加热条件下水分含量对猪肉弛豫峰面积百分数 (T_2) 的影响

Table 7 Effects of moisture content on the proportion of T_2 peak area of water in pork heated at 100 °C

水分含量/%	T_{20} 峰面积百分数/%	T_{21} 峰面积百分数/%	T_{22} 和 T_{23} 峰面积百分数/%
对照	4.06±0.25 ^a	87.51±0.99 ^a	8.44±1.22 ^c
50	3.91±0.22 ^a	75.89±0.66 ^c	20.20±0.79 ^a
45	4.75±0.27 ^a	79.60±2.20 ^b	15.66±1.93 ^b
40	4.44±0.63 ^a	79.77±1.42 ^b	15.80±0.93 ^b
35	4.73±0.94 ^a	81.76±0.62 ^b	13.51±0.36 ^b
30	4.77±0.86 ^a	81.92±1.97 ^b	13.31±1.87 ^b

分析了不同加热温度下脱水猪肉质构参数与水分含量及状态分布的相关性, 结果如表 9 和 10 所示。由此两表可以看出加热温度显著影响水分条件与各质构参数的相关性。100 °C 加热条件下, 除弹性外, 脱水猪肉的质构参数与总峰面积显著负相关

($p < 0.01$); 肉样的硬度及剪切力与 T_{21} 对应的峰面积 A_{21} 显著负相关 ($p < 0.05$), 而弹性、咀嚼性及恢复性则呈极显著负相关关系 ($p < 0.01$); 肉样质构参数与其他水分条件的相关性不显著 ($p > 0.05$), 表明 100 °C 时肉中的不易流动水, 也就是存在于肌原纤维网格中

的水分含量与肉的质构状态关系相当密切, 控制其含量可能对脱水肉制品的品质控制有重要影响, 值得进一步研究探讨。

121 °C加热条件下, 脱水猪肉的质构参数与不同状态水分的含量(各状态水分的峰面积)都有很大关系, 尤其与结合水(T₂₀)的含量呈极显著负相关关系

($p < 0.01$, 除咀嚼性外), 但与其分布(T₂峰面积百分数)关系不大。这可能是由于高温加热显著破坏了肌原纤维蛋白的结构及与水的结合, 肉中水分的状态及含量均发生显著变化, 结合脱水作用综合导致肉的质构发生相应变化。

表 8 121 °C加热条件下水分含量对猪肉弛豫峰面积百分数(T₂)的影响

Table 8 Effects of moisture content on the proportion of T₂ peak area of water in pork heated at 121 °C

水分含量/%	T ₂₀ 峰面积百分数/%	T ₂₁ 峰面积百分数/%	T ₂₂ 和T ₂₃ 峰面积百分数/%
对照	4.90±0.65 ^a	87.23±1.08 ^a	7.86±0.69 ^c
50	5.43±0.25 ^a	80.55±0.77 ^d	14.02±0.65 ^a
45	5.23±0.48 ^a	82.69±0.57 ^c	12.08±0.48 ^b
40	5.30±0.42 ^a	83.53±0.56 ^{bc}	11.17±0.18 ^b
35	5.30±0.67 ^a	86.05±1.95 ^a	8.65±1.29 ^c
30	5.39±0.59 ^a	85.34±1.35 ^{ab}	9.27±0.96 ^c

表 9 100 °C加热后脱水猪肉质构参数与水分条件的相关性分析

Table 9 Correlation analysis between textural properties and water status of pork heated at 100 °C

	T ₂₀ 百分数	T ₂₁ 百分数	T ₂₂ 和T ₂₃ 百分数	A ₂₀	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	总峰面积
硬度	0.759	-0.047	-0.029	-0.789	-0.914*	-0.605	0.343	-0.993**
剪切力	0.760	-0.046	-0.030	-0.787	-0.913*	-0.605	0.344	-0.992**
弹性	0.797	-0.453	0.370	-0.504	-0.954**	-0.174	0.532	-0.867*
咀嚼性	0.782	-0.062	-0.016	-0.765	-0.921**	-0.588	0.337	0.994**
恢复性	0.775	-0.271	0.192	-0.730	-0.980**	-0.407	0.501	-0.977**

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

表 10 121 °C加热后脱水猪肉质构参数与水分条件的相关性分析

Table 10 Correlation analysis between textural properties and water status of pork heated at 121 °C

	T ₂₀ 百分数	T ₂₁ 百分数	T ₂₂ 和T ₂₃ 百分数	A ₂₀	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	总峰面积
硬度	0.474	0.329	-0.383	-0.933**	-0.882*	-0.858*	0.780	-0.953**
剪切力	0.532	0.289	-0.345	-0.940**	-0.910*	-0.838*	0.762	-0.974**
弹性	0.203	0.587	-0.632	-0.984**	-0.664	-0.937**	0.450	-0.810
咀嚼性	0.498	0.238	-0.289	-0.878*	-0.899*	-0.793	0.839*	-0.945**
恢复性	0.512	0.310	-0.365	-0.950**	-0.842*	-0.815*	0.613	-0.922**

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 结论

猪肉的硬度、咀嚼性、剪切力值等指标与肉品的水分含量呈极显著负相关关系($p < 0.01$), 其临界水分含量值(硬度突增)出现在水分含量 45%左右。质构测定结果表明, 原料肉经较高温(121 °C)热处理表现出的肉质软烂、硬度较低的现象, 可通过降低肉块水分含量得到一定程度的改善。通过低场核磁共振分析可以发现: 随着干燥程度的增大, 各状态水分的T₂弛豫时间均向快弛豫方向移动, 水的结合度增强、自由度和流动性下降; 加热温度对猪肉水分状态有显著影响, 其中不易流动水受温度影响较大; 同时, 不

易流动水与肉的质构特性关系相当密切, 控制其含量可影响脱水肉制品的食用品质。

参考文献

[1] Y Deng, K Rosenvold, A H Karlsson, et al. Relationship between thermal denaturation of porcine muscle proteins and water-holding capacity [J]. Journal of Food Science, 2002, 67(5): 1642-1647

[2] G Ferrini, J Arnau, M D Guàrdia, et al. The effect of thermal processing condition on the physicochemical and sensory characteristics of fermented sausages dried by Quick-Dry-Slice process [J]. Meat Science, 2014, 96(2):

- 688-694
- [3] X Serra, J Ruiz-Ramírez, J Arnau, et al. Texture parameters of dry-cured ham m. biceps femoris samples dried at different levels as a function of water activity and water content [J]. *Meat Science*, 2005, 69(2): 249-254
- [4] DENG Yun, LUO Ya-li, WANG Yue-gang, et al. Effect of different drying methods on the myosin structure, amino acid composition, protein digestibility and volatile profile of squid fillets [J]. *Food Chemistry*, 2015, 171(15): 168-176
- [5] FU Xiang-jin, LIN Qing-lu, XU Shi-ying, et al. Effect of drying methods and antioxidants on the flavor and lipid oxidation of silver carp slices [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 61(1): 251-257
- [6] Thomas Petit, Yanis Caro, Anne-Sophie Petit, et al. Physicochemical and microbiological characteristics of biltong, a traditional salted dried meat of South Africa [J]. *Meat Science*, 2014, 96(3): 1313-1317
- [7] M Gratacós-Cubarsí, C Sárraga, M Castellari, et al. Effect of pH 24h, curing salts and muscle types on the oxidative stability, free amino acids profile and vitamin B2, B3 and B6 content of dry-cured -3214ham [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3): 3207-3214
- [8] Saowakon Wattanachant, Soottawat Benjakul, David A Ledward. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle [J]. *Food Chemistry*, 2005, 93(2): 337-348
- [9] J Ruiz-Ramírez, X Serra, J Arnau, et al. Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin [J]. *Meat Science*, 2005, 69(3): 519-525
- [10] J Ruiz-Ramírez, J Arnau, X Serra, et al. Relationship between water content, NaCl content, pH and texture parameters in dry-cured muscles [J]. *Meat Science*, 2005, 70(4): 579-587
- [11] 高媛. 风干牦牛肉品质形成规律与工艺改进技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013
- GAO Yuan. Studies on the rule of quality forming and technology improvement of airing yak beef [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013
- [12] X Serra, J Ruiz-Ramírez, J Arnau, et al. Texture parameters of dry-cured ham m. biceps femoris samples dried at different levels as a function of water activity and water content [J]. *Meat Science*, 2005, 69(2): 249-254
- [13] H C Bertram, R L Meyer, Z Wu, et al. Water distribution and microstructure in enhanced pork [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(16): 7201-7207
- [14] LI Miao-yun, WANG Hai-biao, ZHAO Gai-ming, et al. Determining the drying degree and quality of chicken jerky by LF-NMR [J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 139: 43-49