

不同保水性鸡肉的品质比较和相关性研究

祝超智¹, 赵改名^{2,*}, 张万刚¹, 徐幸莲¹, 周光宏¹

(1.南京农业大学 肉品加工与质量控制教育部重点实验室, 江苏 南京 210095;

2.河南农业大学食品科学技术学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 采用聚类分析方法将随机取样的18只白羽肉鸡的胸肉聚为低汁液损失率组(汁液损失率 $<2\%$)和高汁液损失率组(汁液损失率 $\geq 2\%$), 比较两组鸡肉的蛋白质、肌纤维结构等特点, 研究其造成保水性差的原因。结果表明: 与低汁液损失率组相比, 高汁液损失率组的样品宰后pH值较低, 亮度值较高, 肌节变短, 肌纤维空隙面积变大, 总蛋白质溶解性较低。差示扫描量热法(DSC)测定结果显示高汁液损失率组肌球蛋白头部变性温度(T_1)和肌球蛋白尾部及肌浆蛋白变性温度(T_2)显著低于低汁液损失率组, 说明高汁液损失率组的肌球蛋白更易变性。通过相关性分析将鸡肉保水性差的原因归结于低pH值、蛋白质变性和肌纤维结构的变化。

关键词: 保水性; 蛋白溶解性; 差示扫描量热法; 肌纤维结构

Comparison of Chicken Meat Quality with Different Water-holding Capacity and Correlation Analysis

ZHU Chao-zhi¹, ZHAO Gai-ming^{2,*}, ZHANG Wan-gang¹, XU Xing-lian¹, ZHOU Guang-hong¹

(1. Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Chicken breasts from eighteen white broilers were divided into lower drip loss group (drip loss $< 2\%$) and higher drip loss group (drip loss $\geq 2\%$) through cluster analysis. The protein and structure of muscle fibers were compared, and correlation analysis was conducted. The results showed that the higher drip loss group had lower pH, higher L^* value, shorter sarcomere and larger ratio of extra cellular space and poorer total protein solubility when compared with the lower drip loss group. The denaturing temperature (T_1) of the head of myosin protein and that (T_2) of the tail of myosin protein and sarcoplasmic protein in the lower drip loss group were lower than that in the higher drip loss group as examined by differential scanning calorimetry (DSC). These results indicated that more pronounced denaturation of myosin protein in meat from high drip loss group happened than that from low drip loss group. The reasons for unacceptable water-holding capacity were attributed to the lower pH and the denaturation of protein as well as the change of muscle fibers.

Key words: water-holding capacity; protein solubility; DSC; muscle fiber structure

中图分类号: TS201.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)13-0045-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201313010

保水性是指肌肉在加工过程中保持自身水分和外加水分的能力, 是肉的重要品质指标, 也是肉类工业和消费者衡量冷却肉品质的主要指标之一。保水性差直接导致肉类工业经济损失增加, 同时会损害冷却肉的感官品质, 影响消费者的购买欲望。冷却肉的保水性主要用汁液损失率(drip loss)来表示, 它是划分PSE(pale, soft, exudative)肉、RFN(reddish-pink, firm, non-exudative)肉和DFD(dark, firm, dry)肉的主要依据之一。

在过去60年里, 对于猪肉保水性的研究较多, 在近20多年, 对于禽肉保水性的研究才逐渐开始^[1]。我国的禽

肉制品人均消费量低于世界平均水平, 禽肉制品的市场发展空间很大。在“国菜”中, 鸡肉以其特有的美味、滋补作用, 被称为“营养之源”。因此, 发展鸡肉制品对加快我国肉类工业的发展有着重要的作用^[2]。含氟烷基因和RN(酸肉)基因的猪, 会引起高汁液损失率, 产生PSE肉。但是在鸡肉中未发现此类基因^[3], Monin等^[4]认为肌浆蛋白在决定猪肉的保水性上有重要作用, 但有关鸡肉滴水损失形成机制的研究还很有限, 可能也与肌浆蛋白和肌原纤维蛋白的变性有关。对蛋白质变性程度除用溶解性来衡量外, 还可以用分析大分子结构的热分析法

收稿日期: 2012-04-13

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD70B02); 国家现代农业(肉鸡)产业技术体系建设专项(CARS-42)

作者简介: 祝超智(1985—), 女, 博士研究生, 研究方向为畜产品加工与质量控制。E-mail: zhuchaozhi66@163.com

*通信作者: 赵改名(1965—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉类加工与产品质量控制技术。E-mail: gmzhao@126.com

即差示扫描量热法(differential scanning calorimetry, DSC)对其热学性质测定。DSC被用于研究肌肉中蛋白质的热学特性测量,可用肌肉直接测定其中的蛋白质变性,而不用将蛋白质提出,这样避免了蛋白质提取过程中对蛋白性质的损伤^[5-7]。而用透射电镜可直接观察肌纤维的内部结构,对保水性差异作出解释。

本实验采用聚类分析方法,根据汁液损失率将样品聚类后,比较其保水性指标的差异,并用DSC测量肌肉蛋白质热学特性,透射电镜观察肌纤维的结构,并进行汁液损失的相关性分析,以期找到造成鸡肉保水性差异的相关因素。

1 材料与方法

1.1 材料

选择由某鸡场提供的品种和饲养管理相同的白羽肉鸡,原料鸡胴体质量在2.10~2.25kg,饲养时间为42d。宰后1.5h的胴体在0~4℃的条件下冷却24h。取鸡大胸作为测定样品。

1.2 仪器与设备

BCD-277型直冷式冷藏冷冻箱 博西华家用电器有限公司; SC-80C型全自动色差计 北京康光仪器有限公司; HY-5型回旋式振荡器、HH-501型数显超级恒温水浴锅 金坛市杰瑞尔电器有限公司; 温度测量仪器 德国Testo公司; Neofuge23R型冷冻离心机 美国Heal Force公司; FA2004A型电子天平 上海精天电子仪器有限公司; T6新世纪型分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; HI8424探针式自动酸度计 意大利Hanna公司; 449C热分析仪 德国耐驰公司。

1.3 方法

1.3.1 滴水损失率

按照蔡淑伟^[8]相应的测定方法进行。剪取10g左右的鸡胸肉样,用丝线吊起,外套1个食品保鲜袋并系紧袋口,悬挂于0~4℃冰箱24h后,用滤纸吸去肉样表面水分称质量,并按式(1)计算滴水损失率。

$$\text{滴水损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_2 指悬挂24h后的肉样质量/g; m_1 指冷却结束后肉样的初始质量/g。

1.3.2 离心损失率

按照蔡淑伟^[8]相应的测定方法进行。取10g左右肉样,称质量 m_1 ,用吸水纸包严,并在加入一定棉花配平,在冷冻离心机中以5000r/min离心10min后,取出肉样称质量 m_2 ,并按式(2)进行计算。

$$\text{离心损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

式中: m_2 指离心后的肉样质量/g; m_1 指离心前的肉样质量/g。

1.3.3 蒸煮损失率

按照蔡淑伟^[8]相应的测定方法进行。取无肌腱和脂肪的肉样用绞肉机搅碎,取10g左右碎肉,称质量 m_1 ,然后将所称取碎肉搓圆并插入温度计,最后把肉样及温度计一同放入蒸煮袋,密封好,把蒸煮袋放入恒温水浴锅中,待碎肉样中心温度达70℃,取出冷却至室温,称质量 m_2 ,按式(3)计算。

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

式中: m_2 指蒸煮后的肉样质量/g; m_1 指蒸煮前的肉样质量/g。

1.3.4 pH值

每个样品测3个位点,取平均值作为这一时间的pH值。测定分别在屠宰结束后1.5、3、6、12、24h进行。

1.3.5 肉色

按SC-80C型全自动色差计的使用方法进行测定 L^* (亮度值)、 a^* (红度值)、 b^* (黄度值)。测定前将肉样切开,在空气中暴露10min^[9]。

1.3.6 蛋白溶解性

参照Joo等^[10]的方法测定蛋白质溶解性。

肌浆蛋白质溶解度: 1g肉样加10mL冰冷的0.025mol/L磷酸钾缓冲液(pH7.2),冰浴条件下9500r/min匀浆20s 3次,4℃摇动抽提12h。1500r/min离心20min,上清液用双缩脲法测定蛋白含量。

总蛋白质溶解性: 1g肉样加20mL冰冷的1.1mol/L碘化钾在0.1mol/L磷酸钾缓冲液(pH7.2),冰浴条件下9500r/min匀浆20s 3次,4℃摇动抽提12h。1500r/min离心20min,上清液用双缩脲法测定。

肌纤维蛋白质溶解性/(mg/g)=总蛋白质溶解性/(mg/g)-肌浆蛋白质溶解性/(mg/g) (4)

1.3.7 DSC测定

测定时参照杜桌民^[7]方法并修改如下: 取肉样10mg左右立刻密封在样品盒中,放入DSC仪在20℃条件下平衡2min。首先研究不同升温速率对DSC曲线的影响。从20℃开始以2℃/min或3℃/min或5℃/min升到100℃,从中确定最佳的扫描升温速率。

1.3.8 肌肉组织观察

肌节长度按Cross等^[11]的方法测定200个肌节的长度。肌细胞外空隙参照Schafer等^[12]的方法测定,并稍作修改。将刚从胴体上分割下来的肉样和解冻结束后的肉样,用解剖剪剪下小块组织放在体积分数为4%戊二醛溶液中固定2h或更长时间,用磷酸缓冲液(pH7.3)漂洗,再用体积分数为1%的锇酸后固定,用双蒸水漂洗3次,乙醇梯度脱水,醋酸双氧铀和柠檬酸铅染色,然后用

Epon812环氧树脂进行包埋。然后用超薄切片机进行切片,最后在JEM1400透射电子显微镜下观察拍照。每个样品随机测定10张图片的肌细胞外空隙面积占肌束面积的百分比。

1.4 数据处理

采用SPSS 10.0中的K-means cluster程序对18个样品进行聚类,而后用One-Way单因素方差分析程序对各测定指标进行方差分析和差异性检验,同时进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 聚类分析

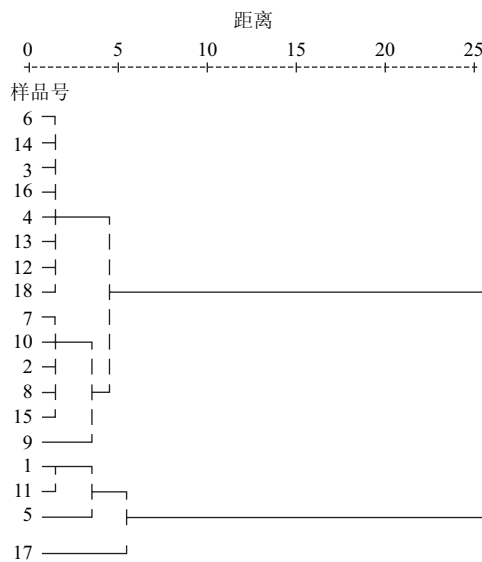


图1 类平均法聚类树图

Fig.1 Dendrogram obtained using average linkage

如图1所示,根据汁液损失率的大小,将18个样品分为低汁液损失率组($n=14$)和高汁液损失率组($n=4$)。两组的汁液损失率变异范围分别是0.97%~1.86%和2.68%~4.08%。

2.2 pH值和肉色分析

表1 不同保水性鸡肉pH值和肉色的比较($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of pH and color between different both drip loss groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	高汁液损失率组	低汁液损失率组
pH(1.5h)	6.53 \pm 0.06 ^a	6.76 \pm 0.12 ^b
pH(3h)	6.17 \pm 0.08 ^a	6.30 \pm 0.06 ^b
pH(6h)	6.05 \pm 0.05	6.12 \pm 0.05
pH(12h)	5.68 \pm 0.07 ^a	5.92 \pm 0.20 ^b
pH(24h)	5.63 \pm 0.07 ^a	5.89 \pm 0.17 ^b
<i>L</i> *	48.55 \pm 2.41 ^a	42.87 \pm 2.49 ^b
<i>a</i> *	2.00 \pm 1.23	1.72 \pm 0.74
<i>b</i> *	12.30 \pm 2.11	13.41 \pm 1.18

注:同一行内不同字母表示差异显著($P<0.05$)。表2、3同。

由表1可以看出,低汁液损失率组的pH值在宰后1.5、3、12、24h均显著高于高汁液损失率组($P<0.05$)。在宰后6~12h之间,高汁液损失率组的pH值急速下降,从6.05降至5.68。而低汁液损失率组的终pH值还维持在5.80以上。pH值的差异可能是由于个体的抗应激能力不同,因此在宰前和屠宰时发生不同程度的应激反应。较高强度的应激会导致宰后早期肌肉糖酵解加快,pH值快速下降。高汁液损失率组的pH值偏低,可能就是由于这类鸡的抗应激能力差造成的。因此选用优良品种的鸡,减少宰前和宰中应激能够降低汁液损失率。另外,高汁液损失率组的亮度值显著高于低汁液损失率组($P<0.05$),是因为损失的水分附着在肉的表面,使表面游离水增多,增加了光的反射。

2.3 汁液损失率和蛋白质溶解性

表2 组间汁液损失率和蛋白质溶解性比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of water-holding capacity and protein solubility between both drip loss groups ($\bar{x} \pm s$)

指标	高汁液损失率组	低汁液损失率组
滴水损失率/%	3.38 \pm 0.70 ^a	1.43 \pm 0.44 ^b
离心损失率/%	23.62 \pm 0.72 ^a	20.39 \pm 3.22 ^b
蒸煮损失率/%	16.84 \pm 2.08	14.92 \pm 1.81
肌浆蛋白溶解性/(mg/g)	102.40 \pm 5.66	105.83 \pm 14.78
肌原纤维蛋白溶解性/(mg/g)	74.82 \pm 10.01	87.23 \pm 18.39
总蛋白溶解性/(mg/g)	177.22 \pm 5.27 ^a	192.71 \pm 13.69 ^b

从表2可以看到,两组间滴水损失率和离心损失率存在显著差异($P<0.05$),低汁液损失率组的滴水损失率和离心损失率分别比高汁液损失率组低57.69%和13.67%,蒸煮损失率差异不显著。高汁液损失率组的总蛋白含量显著低于低汁液损失率组($P<0.05$)。可能是宰后早期肌肉的低pH值和高温导致蛋白变性,使其溶解性下降进而导致汁液损失率增大。肌原纤维蛋白溶解性与肌浆蛋白溶解性差异并不显著($P>0.05$)。

2.4 鸡肉蛋白质的DSC分析

由于蛋白质热分析是一种动态分析过程,所以有很多因素会影响最终的曲线,改变实验条件如升温速率、DSC曲线峰的位置、形状等都会改变。为准确得到鸡肉蛋白质变性温度曲线,首先研究不同升温速率对鸡肉蛋白质的DSC曲线的影响。当以5℃/min升温时出峰较大,峰I和II未能分开,以2℃/min升温时出峰较小,峰I和II的分离稍好,但灵敏度较差,不能直观地观察出结果。只有采用3℃/min升温才能将3个峰分开。所以样品实测时采用3℃/min升温速率。根据之前的研究^[13-15]认为峰I代表肌球蛋白头部变性引起的热流变化(大约55℃);峰II代表肌球蛋白尾部及肌浆蛋白变性引起的热流变化(大约65℃);峰III代表肌动蛋白变性引起的热流变化(大约75~80℃)。

由表3可知,两组间的肌球蛋白头部变性温度(T_1)和肌球蛋白尾部及肌浆蛋白变性温度(T_2)存在显著差异($P<0.05$),高汁液损失率组的肌球蛋白和肌浆蛋白变性温度均小于

低汁液损失率组，说明宰后高汁液损失率组的肌球蛋白和肌浆蛋白在相同的条件下更易发生变性。

表3 DSC分析结果($\bar{x} \pm s$)
Table 3 Results of DSC analysis ($\bar{x} \pm s$)

指标	高汁液损失率组	低汁液损失率组
峰 I 变性温度(T_1)/ $^{\circ}\text{C}$	54.90 ± 1.45^a	57.08 ± 0.90^b
峰 I 的变性焓(DH_1)/(J/g)	0.23 ± 0.15	0.38 ± 0.18
峰 II 变性温度(T_2)/ $^{\circ}\text{C}$	64.13 ± 0.60^a	66.36 ± 1.11^b
峰 II 的变性焓(DH_2)/(J/g)	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.02
峰 III 变性温度(T_3)/ $^{\circ}\text{C}$	75.90 ± 0.29	76.56 ± 0.75
峰 III 的变性焓(DH_3)/(J/g)	0.33 ± 0.17	0.25 ± 0.09

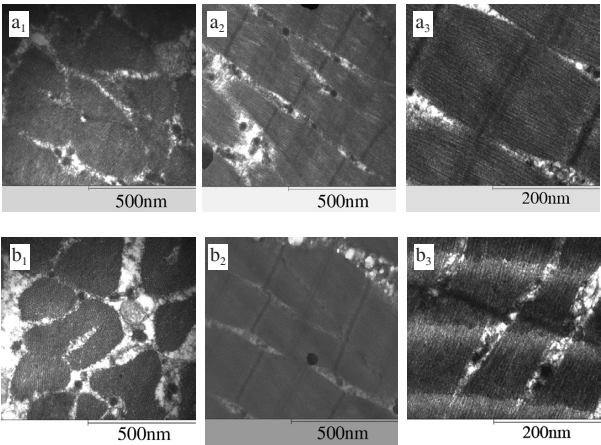
2.5 肌肉组织形态

表4 不同保水性鸡肉的肌节长度和肌束内肌细胞间空隙面积比较($\bar{x} \pm s$)
Table 4 Comparison of sarcomere length and extracellular area between both drip loss groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	肌节长度/ μm	肌节宽度/ μm	肌纤维空隙面积/%
高汁液损失率组	1.24 ± 0.13^a	0.48 ± 0.08	22.17 ± 1.88^a
低汁液损失率组	1.63 ± 0.13^b	0.46 ± 0.06	12.99 ± 2.18^b

注：同一列内小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

由表4可知，两组间的肌节长度、肌束内肌细胞外空隙面积占肌束面积的百分比存在显著差异($P < 0.05$)，低汁液损失率组的肌纤维空隙面积比高汁液损失率组低41.23%。由图2可以非常直观地看出，两组间肌肉组织结构的差异。从图2a₁、b₁肌细胞的横截面图中可以看出，高汁液损失率组肌细胞外形成了很多空隙。从图2a₂、b₂可以看出，高汁液损失率组的肌原纤维沿横切面断裂、小片化、少部分Z线有断裂现象。图2a₃、b₃为在80000倍电镜下观察得到的情况，可以看到低汁液损失率组的肌节完整清晰，而高汁液损失率组部分肌节扭曲、变形、排列不整齐、部分Z线偏离，紧贴Z线附近的肌间隙蛋白等其他蛋白可能出现了降解，而后附着在Z线。



a.低汁液损失率组；b.高汁液损失率组；下脚标1、2、3分别为横截面($\times 40000$)、纵截面($\times 40000$)、纵截面($\times 80000$)。

图2 低汁液损失率组和高汁液损失率组肉样的组织结构比较

Fig.2 Comparison of muscle fiber structure between both drip loss groups

2.6 各测定指标之间的相关性

表5 肌肉pH值、肉色、保水性、蛋白质溶解性和肌肉组织结构的相关性
Table 5 Correlation between pH, color, WHC, protein solubility and muscle structure

指标	滴水损失率	离心损失率	蒸煮损失率
pH值	pH(1.5h)	-0.53*	-0.30*
	pH(3h)	-0.43	-0.18
	pH(6h)	-0.23	-0.11
	pH(12h)	-0.35	-0.12
	pH(24h)	-0.48*	-0.23
蛋白溶解性	肌浆蛋白溶解性	-0.18	-0.11
	肌原纤维蛋白溶解性	-0.18	-0.08
	总蛋白溶解性	-0.41*	-0.20
DSC指标	峰 I 变性温度	-0.57*	-0.52*
	峰 I 的变性焓	-0.32	-0.66*
	峰 II 变性温度	-0.59	-0.44
	峰 II 的变性焓	-0.16	-0.27
	峰 III 变性温度	-0.32	-0.32
肌肉组织形态	峰 III 的变性焓	-0.31	-0.45
	肌节长度	-0.59	-0.42
	肌节宽度	-0.28	-0.19
	肌纤维空隙面积	-0.74**	-0.21
			-0.05

注：*，两者显著相关；**，两者极显著相关。

由表5可知，滴水损失率和宰后初期pH值和终pH值呈显著负相关，这是由于不同个体抗应激能力不同，造成宰后鸡肉糖酵解速率存在差异，抗应激能力差的鸡，在受到应激后，使得宰后pH值降低。汁液损失率与总蛋白质溶解性呈现出强的负相关性，pH值对肌肉蛋白质的变性有重要作用。宰后早期肌肉的低pH值和高温会导致蛋白质变性，使其溶解性下降进而导致汁液损失率增大。但肌原纤维蛋白溶解性与汁液损失率相关性则比较弱，有研究^[15]认为肌原纤维蛋白的结构变化也会导致溶解性降低。对高汁液损失率样品和低汁液损失率样品进行DSC分析与汁液损失率的相关性分析显示滴水损失率与肌球蛋白头部变性温度呈显著负相关，而离心损失率与肌球蛋白尾部和肌浆蛋白变性温度呈显著负相关。汁液损失率差异显著的两组间肌原纤维蛋白质溶解性没有差异，但DSC分析结果显示两组间肌浆蛋白和肌球蛋白的变性程度存在明显差异，而且肌浆蛋白和肌球蛋白的变性温度与滴水损失率和离心损失率的相关性好于肌肉蛋白质溶解性与汁液损失率的相关性，可见用DSC测定蛋白质变性程度的灵敏度更高。高汁液损失率组的 T_1 和 T_2 偏低，这很可能是宰后早期低pH值的原因。因为，肌球蛋白头部对温度最敏感，肌球蛋白尾部和肌浆蛋白对pH值的变化最敏感^[15]。滴水损失率和肌纤维空隙面积呈极显著负相关，相关系数达到-0.74，这可能是由于pH值的差异造成的，肌肉转变为肉的过程中产生乳酸导致pH值下降，当pH值达到或接近主要蛋白质的等电点(PI)时(如肌球蛋白的PI5.4)蛋白质的静电荷为0，即蛋白质的正

负电荷相等,这时蛋白质相互吸引,降低了对水分的吸引,肌纤维的横向收缩程度增强,低pH值还会导致肌原纤维的网格结构发生收缩。

3 结论与讨论

水分主要保存在肌原纤维内部、肌原纤维之间以及肌细胞之间。一旦鸡被屠宰,肌肉组织中水分的含量和分布会发生很大变化。这些变化在个体之间存在差异,实验中鸡肉的滴水损失率分布范围很大,从0.97~4.08不等。以前的研究^[16]表明,滴水损失受多种因素影响,包括肌肉组织本身的变化以及处理方式等。目前的研究集中主要于蛋白质的变化和肌肉组织结构变化导致储水空间的变化,从而造成了滴水损失的形成。实验中高汁液损失率组的样品宰后pH值显著低于低汁液损失率组,这可能是由于个体的抗应激能力不同,因此在宰前和屠宰时发生不同程度的应激反应。抗应激能力差的鸡在宰后早期温度升高、pH值下降加快。高汁液损失率组的亮度值高是由于高汁液损失率组的肉样水分损失多,导致鸡肉表面游离水增多,反射加强造成的^[17-18]。

先前的研究表明,细胞内蛋白质之间的交联提供了维持水分的空间^[19]。当蛋白质变性后,尤其是一些维持细胞骨架结构的连接蛋白,如肌间线蛋白、伴肌动蛋白、组蛋白等的变性会导致汁液损失增加^[20]。实验中高汁液损失率组样品的总蛋白质溶解性低于低汁液损失率组样品,但肌浆蛋白和肌纤维蛋白差异不显著,由于pH值对肌肉蛋白质变性有重要作用,高汁液损失率组的低pH值可能是造成蛋白质溶解性下降的主要原因。另外由于流出水分的增加,会产生溶质浓缩效应,可能也会造成总蛋白质溶解性的降低。DSC测定结果显示高汁液损失率组样品的 T_1 和 T_2 显著小于低汁液损失率组($P<0.05$),即高汁液损失率组的肌球蛋白头部、肌球蛋白尾部和肌浆蛋白的变性温度低于低汁液损失率组,而且肌浆蛋白和肌球蛋白的变性温度与滴水损失率和离心损失率呈显著负相关性,说明高汁液损失率组的肌球蛋白和肌浆蛋白更易变性。

高汁液损失率组样品的肌节显著变短,肌纤维空隙面积大。这可能是由于pH值降低至蛋白等电点,造成的蛋白质的正负电荷相等,这时蛋白质相互吸引,降低了对水分的吸引,同时肌原纤维之间距离减小,pH值的下降速度过快,终pH值过低,都会造成肌肉保水性的下降。在肌肉温度仍处在较高水平时,过低的pH值会导致蛋白质的变性,包括这些储存水分的蛋白质,如肌球蛋白头部^[21]。低pH值还会导致肌原纤维的网格结构发生收缩。由此可见,蛋白质溶解性的变化、蛋白质变性温度的变化以及肌纤维结构的变化最终都归结于pH值的变化。

参考文献:

- [1] ZHANG L, BARBUT S. Rheological characteristics of fresh and frozen PSE, normal and DFD chicken breast meat[J]. British Poultry Science, 2005, 46(6): 687-693.
- [2] 廖洪波, 马海霞, 尚勇彪, 等. 大力发展鸡肉制品工业[J]. 肉类工业, 2003(12): 44-47.
- [3] WOELFEL R L, OWENS C M, HIRSCHLER E M, et al. The characterization and incidence of pale, soft and exudative broiler meat in a commercial processing plant[J]. Poultry Science, 2002, 81: 579-584.
- [4] MONIN G, LABORDE D. Water holding capacity of pig muscle protein: interaction between the myofibrillar protein and sarcoplasmic compounds[J]. Science Aliments, 1985, 5: 341-345.
- [5] PAREDDI M E, TOMAS M C, CRUPKIN M, et al. Thermal denaturation of muscle protein from male and female Squid (*Illex argentinus*) at different sexual maturation stages. A differential scanning calorimetric study[J]. Journal of Agriculture and Food and Chemistry, 1996, 44: 3812-3816.
- [6] MURPHY R Y, MARKE B H, MARCY J K. Apparent specific heat of chicken breast patties and their constituent protein by differential scanning calorimetry[J]. Journal of Food Science, 1998, 63: 88-91.
- [7] 杜卓民. 实用组织学技术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1982: 102-114.
- [8] 蔡淑伟. 冷却猪肉保水性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
- [9] HONIKEL K O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat[J]. Meat Science, 1998, 49: 447-457.
- [10] JOO S T, KAUFFMAN R G, KIM B C, et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to color and water-holding capacity in porcine longissimus muscle[J]. Meat Science, 1999, 52: 291-297.
- [11] CROSS H R, WEST R L, DUTSON T R. Comparison of methods for measuring sarcomere length on beef semitendinosus muscle[J]. Meat Science, 1981, 5: 261-266.
- [12] SCHAFER A, ROSENVOLD K, PURSLOW P P, et al. Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork[J]. Meat Science, 2002, 61: 355-366.
- [13] FERNANDEZ-MARTIN F, OTERO L, SOLAS M T, et al. Protein denaturation and structural damage during high-pressure-shift freezing of porcine and bovine muscle[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(6): 1002-1008.
- [14] ZHU S, le BAIL A, CHAPLEAY N, et al. Pressure shift freezing of pork muscle: effect on color, drip loss, texture, and protein stability[J]. Biotechnology Progress, 2004, 20: 939-945.
- [15] DENG Y, RONSENVOLD K, KARLSSON A H, et al. Relationship between thermal denaturation of porcine muscle proteins and water-holding capacity[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(5): 1642-1647.
- [16] HONIKEL K O. Water-holding capacity of meat[M]//PAS M F W, EVERTS M E, HAAGSMAN H P. Cambridge: CABI Publishing, 2004: 389-400.
- [17] BENDALL J R, SWATLAND H J. A review of the relationships of pH with physical aspect of pork quality[J]. Meat Science, 1988, 24: 85-99.
- [18] PAGE K J, WULF D M, SCHWOTZER. A survey of beef muscle color and pH[J]. Animal Science, 2001, 79: 678-687.
- [19] HUFF-LONERGAN E, LONERGAN S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes[J]. Meat Science, 2005, 71: 194-204.
- [20] HUFF-LONERGAN E, ZHANG W G, LONERGAN S M. Biochemistry of postmortem muscle: lessons on mechanisms of meat tenderization[J]. Meat Science, 2010, 86: 184-195.
- [21] BARBUT S, SOSNICKI A A, LONERGAN S M, et al. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat[J]. Meat Science, 2008, 79: 46-63.