

# 冷却鸡肉保水性评定指标标准化及其与肉色、嫩度和 $\text{pH}_{24\text{h}}$ 相关性研究

魏心如, 赵颖, 韩敏义, 王鹏, 徐幸莲\*, 周光宏  
(南京农业大学 教育部肉品加工与质量控制重点实验室, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 对鸡肉不同保水性测定指标(蒸煮损失、滴水损失和压榨损失)的处理条件和操作规程进行统一标准化, 同时探讨保水性各指标之间及与肉色、宰后24 h pH值( $\text{pH}_{24\text{h}}$ )的相关关系。结果表明: 滴水时间对滴水损失有显著影响( $P < 0.05$ ); 压力大小和加压时间对压榨损失有显著影响( $P < 0.05$ ); 水浴温度和中心温度对蒸煮损失影响显著( $P < 0.05$ )。根据实验结果以及实际工艺的要求各指标测定条件推荐为: 滴水损失肉块大小为 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 、滴水时间为48 h; 压榨损失压力大小为35 kg、加压时间为5 min; 蒸煮损失水浴温度为75 °C、肉样中心温度为70 °C。相关性分析结果表明: 剪切力值与蒸煮损失呈显著正相关( $P < 0.05$ );  $\text{pH}_{24\text{h}}$ 值与亮度( $L^*$ )值呈极显著负相关( $P < 0.01$ ), 与压榨损失和滴水损失呈显著负相关( $P < 0.05$ ); 滴水损失与其他保水性指标之间均存在显著相关性。 $\text{pH}_{24\text{h}}$ 值在一定程度上影响肉色和保水性, 滴水损失可作为保水性的最佳指示参数。

**关键词:** 鸡胸肉; 保水性; 标准化; 相关性

## Harmonized Methodology for Evaluating the Water-Holding Capacity of Chicken Breast and Its Correlation with Meat Color, Tenderness and $\text{pH}_{24\text{h}}$

WEI Xin-ru, ZHAO Ying, HAN Min-yi, WANG Peng, XU Xing-lian\*, ZHOU Guang-hong

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

**Abstract:** Standardized pretreatment conditions and operating procedure were developed for evaluating the water-holding capacity (WHC) of chicken breast by measuring drip loss, pressure loss and cooking loss. The correlations of each WHC indicator with meat color, shear force and  $\text{pH}_{24\text{h}}$  (pH at 24 h postmortem) and were analyzed as well. The results showed that dripping time (from 24 to 72 h) significantly influenced drip loss ( $P < 0.05$ ). Pressure (from 25 to 40 kg) and holding time (3 to 7 min) had a significant impact on pressure loss ( $P < 0.05$ ). Cooking loss significantly increased with increasing internal temperature (from 65 to 75 °C) and water-bath temperature (from 70 to 80 °C). These results suggested that the following measurement conditions were recommended:  $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$  meat cubes and a dripping time of 48 h for drip loss; a pressure of 35 kg hold for 5 min for pressure loss; and heating in 75 °C water bath to an internal temperature of 70 °C for cooking loss. The results of correlation analysis indicated that shear force had a significantly positive correlation with cooking loss ( $P < 0.05$ ).  $\text{pH}_{24\text{h}}$  was correlated highly significantly negatively with  $L^*$  ( $P < 0.01$ ) and significantly negatively with pressure loss and drip loss ( $P < 0.05$ ). Drip loss had a significant correlation with other parameters of WHC including pressure loss, immobilized water, and so on. In summary,  $\text{pH}_{24\text{h}}$  had some correlations with meat color and WHC and the drip loss was the best index for measuring the WHC.

**Key words:** chicken breast; water-holding capacity; standardization; correlation

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 21-0050-07

doi:10.7506/spkx1002-6630-201421011

食用品质是消费者评判肉质优劣的最关键指标<sup>[1-2]</sup>, 其中, 保水性指标与肉的色香味、营养成分、多汁性、嫩度等品质紧密相关。近年来, 随着鸡肉深加工产业市场份额的扩大, 鸡肉

食用品质(肉色、嫩度、保水性)的重要性越来越突显。

肉的保水性是指当肌肉受到外力作用时, 其保持原有水分与添加水分的能力。影响保水性的因素有肉的品

收稿日期: 2013-11-27

基金项目: 国家现代农业(鸡肉)产业技术体系建设专项(CARS-42-5); “十二五”农村领域国家科技计划子课题(2012BAD28B01-03)

作者简介: 魏心如(1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品质量与安全控制。E-mail: x.r927@163.com

\*通信作者: 徐幸莲(1962—), 女, 教授, 博士, 研究方向为肉品质量与安全控制。E-mail: xlxu@njau.edu.cn

种、肉的解剖学部位、饲养管理、宰前运输与管理、屠宰以及加工处理等<sup>[3]</sup>。保水性传统测定方法主要包括压力法、重力法、离心法和烹饪损失法等,不同的测定方法模拟了处在不同状况下肌肉水分流失的情况<sup>[4]</sup>。压力法是利用外力改变水分结构后再测定肌肉汁液的流失量<sup>[5-6]</sup>。在测定压榨损失时,不同的文献推荐使用的测定条件不同,没有统一标准,缺乏对压力大小和加压时间的具体研究<sup>[7-8]</sup>。滴水损失可以较好地模拟冷鲜肉在贮存过程中水分的流失状况,比较客观地反映肉的持水率<sup>[8]</sup>。研究发现鸡肉自由水含量比猪肉少2%~5%,因而在测定滴水损失时样品的放置时间建议大于24 h<sup>[9]</sup>,但缺乏对滴水损失具体放置时间以及肉样大小对其影响的研究。蒸煮损失主要测定高温条件下从鲜肉到熟肉变化过程中肉样水分的流失状况<sup>[10]</sup>。测定蒸煮损失时缺乏统一的热处理的方式与条件(加热速率和最终温度)<sup>[9]</sup>。保水性的测定方法很多,条件不一,使不同研究的结果难以比较。因此,对鸡肉不同保水性测定方法的处理条件和操作规程进行统一标准化有较为重要的研究价值。

同时,低场核磁共振、电导法、近红外分析技术和蛋白组学技术等一些测定保水性的新技术越来越受青睐<sup>[11]</sup>。其中低场核磁共振作为水分测定一种新技术,该方法利用物理学原理,能够检测出肉与肉制品中水分的多项信息,并以其独特的优点脱颖而出<sup>[12-13]</sup>。鸡肉保水性的研究大多是针对单一方法的研究,而对方法之间的相关性研究较少,对保水性众多测定方法之间的分析比较研究也相对较少。因此,研究鸡肉保水性评定方法标准化以及与其他品质指标的相关性有较重要的意义,同时探讨保水性各指标之间及其与肉色、pH<sub>24h</sub>的关系,可以为建立一套标准的鸡肉保水性评定方法提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

由山东省某企业提供在相同饲养条件下生长的白羽鸡冷却鸡胸肉(雌性,40 d鸡龄),原料胸大肌质量在170~190 g。在工厂分割生产线取样,在0~4℃冷库中用真空袋密封保存24 h。

### 1.2 仪器与设备

Testo735-2温度计 德国Testo AG公司;Minolta CR200便携式色差仪(D65光源,口径8 mm)日本Konica公司;BS200S-WE1电子天平 北京赛多利斯天平有限公司;ZKSY-600恒温水浴锅 南京科尔仪器设备有限公司;Allegra 64R高速冷冻离心机 美国贝克曼库尔特有限公司;YYW-2应变控制式无侧限压力仪 南京土壤仪器厂有限公司;HANNA pH计 葡萄牙哈纳公司;NMR PQ001分析仪 上海纽迈电子有限公司;TA-XT Plus质构仪 英国Stable Micro System公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 pH<sub>24h</sub>值测定

使用校准便携式pH计,将温度调为肉块实际温度后,将pH探针插入肉中进行测定。每块肉测定3个不同位置,取平均值作为最终结果。

#### 1.3.2 肉色测定

从冷库取出胸大肌平放在红色塑料板上,置于0~4℃中发色30 min。选取鸡胸肉靠近胸骨一侧表面的最厚部位,选取3个不同位点进行测定。校正后的色差计紧扣肉样表面进行肉色测定。

#### 1.3.3 滴水损失测定

选取质量、大小相近的胸大肌10块,每块鸡胸肉切成肉样大小为1 cm×2 cm×2 cm、2 cm×2 cm×2 cm、2 cm×2.5 cm×2.5 cm的3种肉块,分成3组。参照Rasmussen等<sup>[14]</sup>的测定方法,将肉块分别放入EZ-滴水损失管中进行测定。在0~4℃条件下分别放置24、36、48、60、72 h后,取出肉块,用滤纸吸干肉样表面水分称质量,并按公式(1)计算滴水损失。

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

式中: $m_1$ 指肉样的初始质量/g; $m_2$ 指放置一定时间后的肉样质量/g。

#### 1.3.4 剪切力测定

用双刃刀和陶瓷刀垂直于肌纤维走向将肉块分割为4 cm×1 cm×1 cm的肉块。质构仪测定参数:测试速率2 mm/s,位移25 mm,触发力5.0 g,探头为Warner-Bratzler V Slot Blade,记录剪切力值,计算平均值。

#### 1.3.5 压榨损失测定

选取质量、大小相近的胸大肌,分成两组,每组10块。每块鸡胸肉分别用直径为2.523 cm的圆筒形取样器进行取样,第1组鸡胸肉每块取4个2 cm厚的肉柱,第2组鸡胸肉每块取5个2 cm厚的肉柱,称质量。用双层纱布和18层滤纸包裹,在压力仪上测试。第1组肉柱分别用25、30、35、40 kg的作用压力,作用时间为5 min。第2组肉柱用35 kg的压力,作用时间分别为3、4、5、6、7 min。测试后去除纱布、吸水纸后称质量,按公式(2)计算压榨损失。

$$\text{压榨损失}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

式中: $m_1$ 指肉样的初始质量/g; $m_2$ 指压力作用后的肉样质量/g。

#### 1.3.6 蒸煮损失测定

挑取质量、大小相近的胸大肌,分成7组,每组

15 块样品。用陶瓷刀将每块鸡胸肉切成4 cm×5 cm×2 cm的肉块。1~3 组样品分别放于70、75、80 °C水浴中加热至中心温度达65 °C，立即取出。4~7 组样品于75 °C水浴中分别加热至中心温度65、70、75 °C，立即取出用滤纸吸干肉样表面水分称质量，并按式（3）计算蒸煮损失。

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

式中： $m_1$ 指蒸煮前的初始质量/g； $m_2$ 指蒸煮后的肉样质量/g。

### 1.3.7 离心损失测定

按照蔡淑伟<sup>[15]</sup>的测定方法。切取胸大肌中心部位质量为10 g左右的肉，称质量。用滤纸包裹，放入50 mL的离心管中（内放入脱脂棉），于4 °C条件下，9 798 ×g离心10 min，取出样品剥去滤纸称质量，并按公式（4）计算离心损失。

$$\text{离心损失}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (4)$$

式中： $m_1$ 指离心前的初始质量/g； $m_2$ 指离心后的肉样质量/g。

### 1.3.8 低场核磁共振测定

测试条件为：质子共振频率为22.4 MHz，测量温度为32 °C。将规格约为1 cm×1 cm×1.5 cm、2.00 g的肉品放入硼硅玻璃样品管中（直径12 mm、容积1.5 mL），为防止水分蒸发，用无核磁弛豫信号的封口膜封口。用CPMG序列测定自旋-自旋弛豫时间（ $T_2$ ）。测定参数为： $\tau$ -值（90° 脉冲和180° 脉冲间隔时间）为200 μs。重复扫描28次，得到3 200个回波。弛豫时间用 $T_{2b}$ 、 $T_{21}$ 和 $T_{22}$ 表示，对应峰面积用 $P_{2b}$ 、 $P_{21}$ 和 $P_{22}$ 表示。

### 1.3.9 相关性分析

取30 块质量、大小相近的胸大肌进行肉色、pH<sub>24h</sub>以及保水性各指标之间的相关性分析。pH<sub>24h</sub>、肉色、剪切力、离心损失和核磁共振均按照上述方法条件进行测定；滴水损失测定条件为肉样大小2 cm×2 cm×2 cm，悬挂时间为48 h；压榨损失测定条件为压榨压力为30 kg，压榨时间为5 min；蒸煮损失测定条件为蒸煮水浴温度为75 °C，肉块中心温度为70 °C。

### 1.4 统计方法

采用SPSS软件对实验结果进行平均值，标准偏差，变异系数计算，并进行方差分析和相关性分析，通过LSD法对数据进行多重比较，其中采用双因素方法分析研究滴水时间和样品大小对滴水损失的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 鸡肉滴水损失测定中样品大小和滴水时间的确定

表1 样品大小和时间变化对鸡肉滴水损失的影响

Table 1 Effect of sample size and dripping time on drip loss of chicken breast

规格	悬挂时间/h				
	24	36	48	60	72
1 cm×2 cm×2 cm	1.72±1.46 <sup>3a</sup>	3.05±1.57 <sup>3ab</sup>	4.31±1.54 <sup>3bc</sup>	5.30±1.69 <sup>3cd</sup>	6.34±1.74 <sup>3d</sup>
2 cm×2 cm×2 cm	1.65±0.94 <sup>3a</sup>	2.68±1.34 <sup>3ab</sup>	3.69±1.65 <sup>3bc</sup>	4.72±1.86 <sup>3cd</sup>	5.68±1.94 <sup>3d</sup>
2 cm×2.5 cm×2.5 cm	1.91±0.48 <sup>3a</sup>	3.14±0.80 <sup>3b</sup>	4.17±1.11 <sup>3c</sup>	5.05±1.36 <sup>3d</sup>	5.72±1.56 <sup>3d</sup>

注：同列大写字母不同表示差异显著（ $P < 0.05$ ）；同行小写字母不同表示差异显著（ $P < 0.05$ ）。

表2 样品大小和悬挂时间对鸡肉滴水损失影响的双因素方差分析

Table 2 Double-factorial analysis of variance for the effect of sample size and dripping time on drip loss of chicken breast

差异源	平方和	自由度	均方	F值	P值
样品	280.095	14	20.007	10.102	0.000**
列	1 914.573	1	1 914.573	966.693	0.000**
样品大小	5.004	2	2.502	1.263	0.287
时间	265.862	4	66.466	33.559	0.000**
交互作用	2.105	8	0.263	0.133	0.998
内部	217.859	110	1.981		
总计	2 435.175	125			
相关性总计	487.954	124			

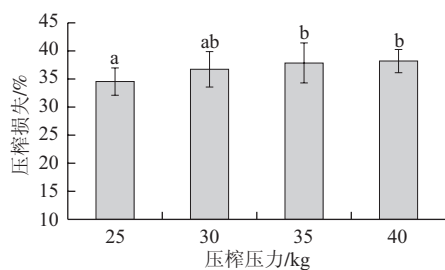
注：\*\*。该因子效应极显著（ $P < 0.01$ ）。

采用双因素方法分析滴水时间和样品大小对滴水损失的影响。由表1、2可知，样品大小、样品大小和滴水时间交互作用对鸡肉滴水损失影响不显著（ $P > 0.05$ ），而滴水时间对滴水损失影响极显著（ $P < 0.01$ ）。

由于1 cm×2 cm×2 cm肉样太小，导致滴水损失较大，推荐选择较大规格的肉样。2 cm×2.5 cm×2.5 cm肉样的滴水损失大于2 cm×2 cm×2 cm肉样，可能是由于肉样过大，撑满整个容器，容器对肉样施加一定的压力，导致肉样的失水较多。考虑到切样的简便性以及容器等影响因素，确定鸡肉滴水损失测定肉样规格为1 cm×2 cm×2 cm。肉样吊挂24、48、72 h的肉样滴水损失差异显著（ $P < 0.05$ ），肉块大小为1 cm×2 cm×2 cm时，48 h与36、60 h的滴水损失差异不显著（ $P > 0.05$ ），即滴水时间为48 h前后肉样的滴水损失值较为稳定，而72 h后，肉的黏度增加，新鲜度下降，测定结果较不稳定。推荐测定时间为48 h。

### 2.2 压榨损失测定中压力大小和时间的确定

由图1可知，在实验压力范围内，随着压力的增加压榨损失逐渐增大。25 kg与35、40 kg差异显著（ $P < 0.05$ ），30 kg和35、40 kg差异不显著（ $P > 0.05$ ），说明30~40 kg肉样水分被充分压榨，压榨损失值稳定性较好，同时参照国内常用的肌肉压榨损失条件（35 kg）<sup>[16]</sup>，推荐压力设置为35 kg。



小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

图1 压力大小对鸡肉压榨损失的影响

Fig.1 Effect of pressure on press loss of chicken breast

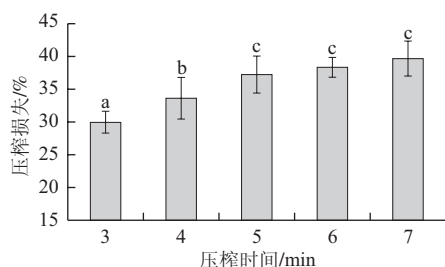


图2 压榨时间对鸡肉压榨损失的影响

Fig.2 Effect of pressurization time on press loss of chicken breast

由图2可知, 加压时间对压榨损失有显著影响, 随着加压时间的增加压榨损失逐渐增大 ( $P < 0.05$ )。加压3、4 min和5 min差异显著 ( $P < 0.05$ ), 而5、6 min和7 min之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。在实验中发现, 加压时间越长, 残留在纱布上的肉样增多, 会对实验结果造成比较大的误差, 因此加压时间推荐为5 min。

### 2.3 蒸煮损失测定中水浴温度和加热中心温度的确定

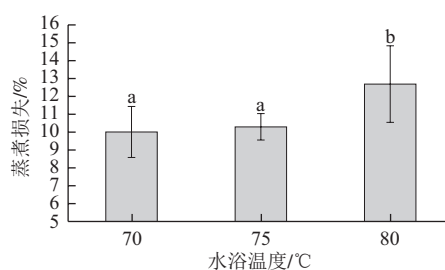


图3 不同水浴温度对鸡胸肉蒸煮损失的影响

Fig.3 Effect of cooking temperature on weight loss of chicken breast during cooking

由图3可知, 肉样蒸煮损失随着水浴温度的升高而增加。70 °C和75 °C对蒸煮损失影响差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 70、75 °C与80 °C的水浴温度对肉样的蒸煮损失差异显著 ( $P < 0.05$ )。另外, 加热速率随着水浴温度的升高而加快, 水浴温度为75 °C时与70 °C相比加热至中心温度达65 °C用时更短, 同时此温度下测得的蒸煮损失变异系数最小 (标准差为7.09)。因此水浴温度应选择75 °C。

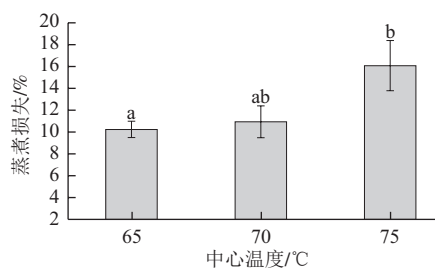


图4 不同中心温度对鸡胸肉蒸煮损失的影响

Fig.4 Effect of heating temperature on weight loss of the breast during cooking

由图4可知, 相同的水浴温度, 肉样的蒸煮损失会随着中心温度的升高而增加, 中心温度65 °C和75 °C对蒸煮损失影响差异显著 ( $P < 0.05$ ), 70 °C与65、75 °C之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。同时, 中心温度为70 °C的蒸煮损失变异系数比75 °C的较小, 且70 °C与一般肉制品加工温度接近。因此, 肉样的中心温度建议设置为70 °C。

### 2.4 冷却鸡胸肉肉色、剪切力、pH<sub>2.4h</sub>值及保水性

表3 冷却鸡胸肉颜色、剪切力、pH<sub>2.4h</sub>及保水性  
Table 3 Statistics of color parameters, pH<sub>2.4h</sub> and water-holding capacity of chicken breast

参数	数量	平均值	标准偏差	最大值	最小值	变异系数/%
$L^*$	30	48.80	2.36	53.28	43.68	4.84
$a^*$	30	2.86	0.84	4.75	1.19	29.38
$b^*$	30	6.07	1.60	9.10	3.23	26.36
pH <sub>2.4h</sub>	30	5.94	0.14	6.22	5.70	2.37
剪切力/N	30	23.47	5.23	37.21	15.09	22.29
蒸煮损失/%	30	11.53	1.69	15.53	8.75	14.68
滴水损失/%	30	2.58	1.14	6.30	0.88	43.98
压榨损失/%	30	34.15	2.41	39.25	28.12	7.05
离心损失/%	30	14.08	4.29	31.00	6.53	30.45
不易流动水含量/%	30	92.95	1.92	95.18	87.83	2.07
自由水含量/%	30	3.40	2.09	8.73	1.13	61.42

由表3可知, 30块鸡胸肉pH<sub>2.4h</sub>值的变化范围为5.70~6.22, 平均值为5.94。肉块剪切力的变化范围为15.07~37.21 N, 平均值为5.23 N, 变异系数为22.29%。亮度 ( $L^*$ ) 值变化范围为43.68~53.28, 红度 ( $a^*$ ) 值变化范围为1.19~4.75, 黄度 ( $b^*$ ) 值的变化范围为3.23~9.10; 3个颜色指标之间 $L^*$ 值的变异系数最小,  $a^*$ 值的变异系数最大, 说明不同肉样之间 $L^*$ 值最稳定,  $a^*$ 值和 $b^*$ 值变化幅度较明显。

保水性各指标中, 蒸煮损失变化范围为8.75%~15.53%, 平均值为11.53%; 滴水损失变化范围为0.88%~6.30%, 平均值为2.58%; 压榨损失变化范围为28.12%~39.25%, 平均值为34.15%; 离心损失变化范围为6.53%~31.00%, 平均值为14.08%; 不易流动水含量变化范围为87.83%~95.18%, 平均值为92.95%; 自由水含量变化范围为1.13%~8.73%, 平均值为3.40%。所有指标中核磁共振测得的自由水含量的变异系数最大, 其次是滴水损失的变异系数, 而核磁共振所测得的不易流动水



含量的变异系数最小,其次是压榨损失的变异系数相对较小。说明以自由水含量和滴水损失在表示鸡肉保水性不同样本之间数据波动明显,而不易流动水含量和压榨损失在表示肉样保水性时不同样本之间的数据波动较稳定。

## 2.5 各指标间相关性分析

表4 各指标间相关性分析  
Table 4 Correlation of the indicators

指标	$a^*$	$b^*$	pH <sub>24h</sub> 值	剪切力	蒸煮损失	滴水损失	压榨损失	离心损失	自由水含量	不易流动水含量
$L^*$	-0.575**	0.673**	-0.545**	0.267	0.270	0.465*	0.453*	0.062	0.527**	-0.532**
$a^*$		-0.654**	0.062	-0.186	-0.365	-0.129	-0.341	0.165	-0.549**	0.541**
$b^*$			-0.402*	-0.105	0.258	0.397*	0.362*	0.043	0.622**	-0.621**
pH <sub>24h</sub> 值				-0.250	-0.250	-0.380*	-0.404*	-0.119	-0.283	0.316
剪切力					0.186*	-0.076	0.256	-0.216	0.152	-0.189
蒸煮损失						0.389*	0.076	-0.105	0.261	-0.266
滴水损失							0.424*	0.696**	0.532**	-0.504**
压榨损失								0.132	0.394*	-0.406*
离心损失									0.093	-0.055
自由水含量										-0.995**

注: \*.显著相关 ( $P < 0.05$ ); \*\*.极显著相关 ( $P < 0.01$ )。

由表4可知,剪切力仅与蒸煮损失呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ),表明蒸煮的条件和蒸煮过程中水分含量的变化会影响鸡肉的嫩度。蒸煮损失越大,剪切力值越大,嫩度越小。pH<sub>24h</sub>值与 $L^*$ 值呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ ),与 $b^*$ 值呈显著负相关 ( $P < 0.05$ ),表明鸡胸肉宰后24 h的pH值变化会影响其肉色参数变化。pH<sub>24h</sub>值与压榨损失和滴水损失呈显著负相关 ( $P < 0.05$ ),说明pH<sub>24h</sub>值在一定程度上影响肉的保水性。因此,采取措施(如宰前短期饲料添加物VD<sup>[17]</sup>、减少动物运输应激<sup>[18]</sup>和超高压处理<sup>[19]</sup>等)提高宰后24 h的pH值有助于保持冷却鸡肉的新鲜肉色和提高肉质的保水性,减少肉品在加工过程中因水分流失带来的经济损失和品质下降。

$L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值之间呈极显著相关 ( $P < 0.01$ )。  $L^*$ 、 $b^*$ 值与滴水损失和压榨损失呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ),  $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值与自由水和不易流动水含量呈极显著相关 ( $P < 0.01$ ),说明肉色与肉的保水性之间存在显著相关性,因此肉色可作为冷却鸡肉保水性的指示参数。同时,可以根据肉色 $L^*$ 值来判定禽肉类PSE肉一般以肉色 $L^*$ 值为分类指标 ( $L^* > 53$ )<sup>[20]</sup>:  $L^*$ 值高、pH<sub>24h</sub>值低的禽肉保水性较差,出现类PSE肉的概率较大,因此可以使用 $L^*$ 值来预测鸡肉的保水特性以及类PSE肉的产生率。

保水性各指标中滴水损失与蒸煮损失、压榨损失、离心损失之间均存在显著或极显著相关性 ( $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ),与自由水和不易流动水含量呈极显著相关 ( $P < 0.01$ ),压榨损失与自由水和不易流动水含量呈显著相关 ( $P < 0.05$ ),说明滴水损失能很好的评价肉的失水率,可作为保水性的最佳指示参数。压榨损失、蒸煮损失和离心损失互相之间均不存在相关性 ( $P > 0.05$ ),说明这3个指标在测定时由于受外力作用影响较大,作为鸡肉保水性的评定指标存在一定的局限性。

## 3 讨论

本实验选择EZ-滴水损失法研究滴水时间对鸡肉滴水损失的影响,测定效率高、实际应用价值高。Ocampo<sup>[21]</sup>、Moeske<sup>[22]</sup>、Christensen<sup>[23]</sup>等对滴水损失的两种测定方法(Honikel的袋装法<sup>[24]</sup>和EZ-滴水损失法<sup>[14]</sup>)进行比较发现EZ-滴水损失法能很好的代替传统的袋装法,使测定更加高效、简便、易操作。Bowker等<sup>[25]</sup>在研究时间对肉样(猪肉和鸡肉)的滴水损失的影响中发现随着贮藏时间的延长肉样滴水损失显著增加,与实验结果一致,可能是由于贮藏环境中相对湿度、空气流速和温度波动等因素造成的<sup>[20]</sup>。目前滴水损失测定条件中对于肉样大小的确定不统一,王晓宇<sup>[26]</sup>研究的关于猪肉滴水损失的实验选择袋装法、推荐的肉样大小为2 cm×3 cm×5 cm,而Christensen等<sup>[23]</sup>选用直径为25 mm的圆形取样器,切取2.5 cm厚的肉样进行实验。本实验中选用圆形取样器进行肉样的选取更加方便、简洁,更加适合EZ-滴水损失法。

Child等<sup>[27]</sup>最早建立压榨法用来测定熟牛肉的失水率,压力条件为113 kg、作用时间10 min;而国内最早且目前普遍使用的压榨损失条件是陈润生等<sup>[16]</sup>对猪肉保水性测定方法研究中推荐的作用压力为35 kg,作用时间5 min。两者的区别在于预处理条件(熟肉、生肉)以及肉样种类(牛肉、猪肉)的不同,而处理的肉样尺寸均与本实验相近,经过加热处理后的肉样失水率会明显比生肉的高。压榨法的原理是压榨过程中肉样的微观结构随着压力的作用被破坏,大量的不易流动水因挤压而流失<sup>[5]</sup>。因而压榨作用时间和作用压力的选择对于测定结果至关重要。王晓宇<sup>[26]</sup>研究猪肉压榨损失的实验结果表明使用35 kg的力,作用时间5 min为理想条件。本实验推荐的35 kg,作用时间5 min的结果与陈润生和王晓宇的研究结果相同。

Davis等<sup>[28]</sup>发现感官评定指标的多汁性与蒸煮损失之间存在显著正相关。随着中心温度和水浴温度的升高,肉样的蒸煮损失逐渐增加<sup>[29]</sup>,这是由于肉样在加热过程肌纤维之间的自由水和肌纤维细胞中溶出的少量脂肪、肌浆蛋白、弹性蛋白等肌浆汁液流失<sup>[30]</sup>。因此,中心温度的选择越低,失水率越少。生产中一般肉制品加工中心温度在72℃左右,而目前学术界对于中心温度和水浴温度的条件的确定不统一。本实验针对不同的水浴温度以及中心温度进行比较,使蒸煮损失率保持在最稳定的值并且参考实际工艺条件,选择水浴温度为75℃、中心温度70℃。

Lawrance等<sup>[31]</sup>发现蒸煮损失与牛肉肉样的剪切力值呈正相关;Davide等<sup>[32]</sup>研究的鸡胸肉嫩度与蒸煮损失的感官评定结果统计学分析得出蒸煮时间与嫩度、蒸煮损

失显著正相关(中心温度为75℃)。本实验蒸煮损失测定温度条件为中心温度70℃、水浴温度75℃,用质构仪来测定剪切力值,结果发现剪切力值与蒸煮损失呈显著正相关( $P<0.05$ )。不同的肉样、不同的温度条件和不同的测定方法均得出蒸煮损失与剪切力值的相关性,表明剪切力值与蒸煮损失间有一定的联系,有待进一步的 research。

pH<sub>24h</sub>值能预测鸡肉最终品质(滴水损失、蒸煮损失以及肉色),在控制鸡肉品质特性上很有大的作用<sup>[33-34]</sup>。Berri等<sup>[35]</sup>研究发现胸大肌的纤维横截面积越大,宰后15 min的pH值越高,pH<sub>24h</sub>值也越高。实验中pH<sub>24h</sub>值与 $L^*$ 值呈极显著负相关( $P<0.01$ ),pH<sub>24h</sub>值与压榨损失和滴水损失呈显著负相关( $P<0.05$ ),与上述结论相符。

实验中滴水损失与其他保水性指标均有不同程度的显著相关性,尤其与核磁弛豫时间 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 极显著相关。由于滴水损失测定较好地模拟了生肉在贮存销售过程中水分的流失状况,比较客观地反映肉样的持水率。很多研究者在研究保水性时会优先选用滴水损失为测定指标。John等<sup>[36]</sup>研究的关于预测保水性指标的测定方法中指出滴水损失率与近红外光谱测定的水分含量相关系数到达0.5,Jesper等<sup>[37]</sup>研究比较不同的保水性测定方法中,核磁弛豫时间 $T_2$ 相比近红外与滴水损失的相关性更高。 $T_{21}$ 表示高度组织化蛋白质结构内部的水(即不易流动水),而 $T_{22}$ 为肌原纤维蛋白外部水包括肌浆蛋白部分(即自由水)<sup>[38-39]</sup>。LF-NMR的 $T_2$ 值与肉制品系水力的一些传统测定方法之间有较强的相关性,可用于预测肉与肉制品的系水力<sup>[40-41]</sup>。Brondum等<sup>[42]</sup>研究发现 $T_2$ 与Honikel's袋法和滤纸压力法所得系水力的相关系数分别为0.75和0.53,Brown等<sup>[43]</sup>研究发现二者分别为0.74和0.71。本实验测得结果表明, $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 分别与滴水损失、压榨损失显著相关,其中滴水损失与 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 之间的相关系数分别为-0.504和0.532( $P<0.01$ )。Tornberg等<sup>[44]</sup>研究发现 $T_{21}$ 值与肉的风味有关。李伟妮等<sup>[45]</sup>对山羊肉品质变化的核磁研究中发现 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 与羊肉的滴水损失、pH值、肉色有显著的相关性。本实验中 $T_{21}$ 、 $T_{22}$ 分别与 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值极显著相关( $P<0.01$ )。

#### 4 结 论

滴水损失的肉块大小推荐为2 cm×2 cm×2 cm、滴水时间为48 h;压榨损失的压力大小推荐为35 kg、加压时间为5 min;蒸煮损失的水浴温度推荐为75℃、肉样中心温度为70℃。pH<sub>24h</sub>在很大程度上影响肉色和肉的保水性,提高pH<sub>24h</sub>值有助于保持冷却鸡肉的新鲜肉色以及提高肉质的持水力。滴水损失作为鸡肉保水性的评定指标能很好的评价肉的失水率,可作为保水性的最佳指示参

数。压榨损失、蒸煮损失和离心损失在测定时由于受外力作用影响较大,作为鸡肉保水性的评定指标存在一定的局限性。

#### 参考文献:

- [1] United States Department of Agriculture. Livestock and poultry: world markets and trade[R]. America: USDA, 2013.
- [2] FLETCHER D L. Poultry meat quality[J]. World's Poultry Science Journal, 2002, 58(2): 131-145.
- [3] 周光宏,李春保,徐幸莲. 肉类食品品质评价方法研究进展[J]. 中国科技论文在线, 2007, 2(2): 75-82.
- [4] 李红民,陈韬,卢杰. 肉及肉制品持水性测定方法的研究进展[J]. 肉类研究, 2009, 23(3): 54-57.
- [5] 张伟力. 猪肉系水力测定方法[J]. 养猪, 2002(3): 25-26.
- [6] KAUFFMAN R G, EIKELEMBOM G, ZAAR M, et al. A Comparison of methods to estimate water-holding capacity in post-rigor porcine muscle[J]. Meat Science, 1986, 18(4): 307-322.
- [7] ZHANG M, MITTAL G S, BARBUT S. Optimum conditions to measure water holding capacity of beef products by press method[J]. Muscle Food, 1993(4): 255-268.
- [8] KAPPER C, WALUKONIS C J, SCHEFFLER T L, et al. Moisture absorption early postmortem predicts ultimate drip loss in fresh pork[J]. Meat Science, 2014, 96(2): 971-976.
- [9] PETRACCI M, BAEZA E. Harmonization of methodologies for the assessment of poultry meat quality features[J]. Worlds Poultry Science Journal, 2011, 67(2): 417-418.
- [10] SCHONFELDT H, STRYDOM E. Effect of age and cut on cooking loss, juiciness and flavor of South African beef[J]. Meat Science, 2011, 87(3): 180-190.
- [11] DAMEZ J L, CLEJON S. Meat quality assessment using biophysical methods related to meat structure[J]. Meat Science, 2008, 80(1): 132-149.
- [12] LIU Chunli, PAN Daodong, YE Yangfang, et al. <sup>1</sup>H NMR and multivariate data analysis of the relationship between the age and quality of duck meat[J]. Meat Science, 2013, 141(2): 1281-1286.
- [13] PEARCE K L, ROSENVOLD K, HENRIK J, et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes: a review[J]. Meat Science, 2011, 89(2): 111-124.
- [14] RASMUSSEN A J, ANDERSSON M. New method for determination of drip loss in pork muscles[C]//Proceedings of the 42<sup>nd</sup> International Congress of Meat Science and Technology. Lillehammer, Norway, 1996: 286-287.
- [15] 蔡淑伟. 冷却猪肉保水性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004: 11-19.
- [16] 陈润生. 猪生产学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 67-74.
- [17] JONES M H, STRYDOM P E, FRYLINCK L, et al. Effect of dietary beta-agonist treatment, vitamin D<sub>3</sub> supplementation and electrical stimulation of carcasses on color and drip loss of steaks from feedlot steers[J]. Meat Science, 2012, 90(3): 607-612.
- [18] GAJANA C S, NKUKWANA T T, MARUME U, et al. Effects of transportation time, distance, stocking density, temperature and lairage time on incidences of pale soft exudative(PSE) and the physico-chemical characteristics of pork[J]. Meat Science, 2013, 95(3): 520-525.
- [19] JACKY C T Y, DILEEP A, OMAMA, et al. Application of high pressure processing to improve the functional properties of pale, soft, and exudative (PSE)-like turkey meat[J]. Innovation Food Science and Emerging Technologies, 2011, 12(3): 216-225.
- [20] 朱学伸. 家禽类PSE肉的主要特征及相关因素研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011: 37-39.

- [21] OCAMPO I, IVAN D, BERMUDEZ M F, et al. Effect of storage time, muscle type, and animal genotype on drip loss in raw pork[J]. *Acta Agronómica*, 2009, 58(3): 180-188.
- [22] MOESEKE W V, SMET S D. Effect of time of deboning and sample size on drip loss of pork[J]. *Meat Science*, 1999, 52(2): 151-156.
- [23] CHRISTENSEN L B. Drip loss sampling in porcine *M. longissimus dorsi*[J]. *Meat Science*, 2003, 63(4): 469-477.
- [24] HONIKEL K O. The water binding of meat[J]. *Fleischwirtschaft*, 1987, 67(9): 1098-1102.
- [25] BOWKER B, ZHUANG H. Water-holding capacity of broiler breast muscle during the first 24 h postmortem[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 474.
- [26] 王晓宇. 冷却猪肉食用品质测定方法标准化[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 49-50.
- [27] CHILD A M, BALDELLI M. Press fluid from heated beef muscle[J]. *Journal of Agriculture Research*, 1934, 48(12): 1127-1134.
- [28] DAVIS G W, SMITH G C, CARPENTER Z L, et al. Relationships of quality indicators to palatability attributes of pork loins[J]. *Journal of Animal Science*, 1975, 41(5): 1305-1313.
- [29] PALKA K, DAUN H. Changes in texture, cooking losses and myofibril structure of bovine *M. semitendinosus* during heating[J]. *Meat Science*, 1999, 51(4): 237-243.
- [30] 周光宏. 肉品学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 43-47.
- [31] LAWRENCE T E, WHATLEY J D, MONTGOMERY T H, et al. Influence of dental carcass maturity classification on carcass traits and tenderness of *longissimus* steaks from commercially fed cattle[J]. *Journal of Animal Science*, 2001, 79(8): 2092-2096.
- [32] DAVIDE B, MARINA P. Influence of cooking conditions on cooking loss and tenderness of raw and marinated chicken breast meat[J]. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 2004, 38(8): 895-901.
- [33] PUOLANNE E, PELTONEN J. The effects of high salt and low pH on the water-holding of meat[J]. *Meat Science*, 2013, 93(2): 167-170.
- [34] HAMOEN J R, VOLLEBREGT H M, VAN R G M, et al. Prediction of the time evolution of pH in meat[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(3): 2363-2372.
- [35] BERRI C, L BIJAN-DUVAL E. Consequence of muscle hypertrophy on characteristics of pectoralis major muscle and breast meat quality of broiler chickens[J]. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(8): 2005-2011.
- [36] JOHN C, MARK T M, CLAUS B, et al. Development of technology for the early post mortem prediction of water holding capacity and drip loss in fresh pork[J]. *Meat Science*, 2000, 55(1): 115-122.
- [37] JESPER B, LARS M, POUL H, et al. Prediction of water-holding capacity and composition of porcine meat by comparative spectroscopy [J]. *Meat Science*, 2000, 55(2): 177-185.
- [38] BERTRAM H C, KARLSSON A H, ANDERSEN H J. The significance of cooling rate on water dynamics in porcine muscle from heterozygote carriers and non-carriers of the halothane gene-a low-field NMR relaxation study[J]. *Meat Science*, 2003, 65(4): 1281-1291.
- [39] BERTRAM H C. Field gradient CPMG applied on postmortem muscles[J]. *Magnetic Resonance Imaging*, 2004, 22(4): 557-563.
- [40] LI Chunbao, LIU Dengyong, ZHOU Guanghong, 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.
- [41] BERTRAM H C, ANDERSEN H J, KARLSSON A H. Comparative study of low-field NMR relaxation measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork[J]. *Meat Science*, 2001, 57(2): 125-132.
- [42] BRONDUM J, MUNCK L, HENCKEL P, et al. Prediction of water-holding capacity and composition of porcine meat by comparative spectroscopy[J]. *Meat Science*, 2000, 55(2): 177-185.
- [43] BROWN R J S, CAPOZZI F, CAVANI C, et al. Relationships between  $^1\text{H}$  NMR relaxation data and some technological parameters of meat: achemometric approach[J]. *Journal of Magnetic Resonance*, 2000, 147(1): 89-94.
- [44] TORNBERG E, ANDERSSON A, GORANSSON A, et al. Water and fat distribution in pork in relation to sensory properties[M]// PUOLANNEE, DEMEYER D I, RUUSUNEN M, et al. Pork quality, genetic and metabolic factors. Oxon: CAB International, 1993: 239-258.
- [45] 李伟妮, 韩剑众. 冷藏山羊肉品质变化的核磁共振研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(1): 125-127.