DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2015.03.033

不同贮藏温度下滩羊肉的保水性与色泽变化特性

Characteristic of water holding capacity and color changes of Tan sheep at different storage temperatures

王 薇 罗瑞明 李俊丽 张 婷

WANG Wei LUO Rui-ming LI Jun-li ZHANG Ting

(宁夏大学农学院,宁夏 银川 750021)

(*College of Agricultural, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia* 750021, *China*)

摘要:以宁夏滩羊肉为研究对象,比较不同贮藏温度对滩羊肉保水性和色泽的影响。将宰后滩羊肉分别放置在 0~4 ℃和 15 ℃下保存,测定保存期间 1~7 d 内滩羊肉的 pH、蒸煮损失、系水力、滴水损失和肉色的动态变化。结果表明:保存在 0~4 ℃的滩羊肉的蒸煮损失和滴水损失均有增加,在 15 ℃保存的滩羊肉的 pH 值下降快,系水力回升速度快,肉色维持时间短。在 0~4 ℃与 15 ℃贮藏的滩羊肉的蒸煮损失无显著性差异($P>0.05$),滴水损失、系水力、L^* 值、a^* 值均有显著性差异($P<0.05$),说明温度对它们的影响较大。在 0~4 ℃贮藏条件下滩羊肉品质指标的变化规律中,pH 的变化与系水力呈极显著正相关,与蒸煮损失、滴水损失和 a^* 值呈极显著负相关;蒸煮损失与 a^* 呈显著正相关;滴水损失与色泽 L^*、a^* 呈极显著正相关;系水力与 a^* 值呈极显著负相关。因此贮藏温度对滩羊肉保水性和色泽的影响很大。随着贮藏时间的延长,不同温度贮藏的滩羊肉的蒸煮损失、系水力、滴水损失均发生变化,其中 pH 的变化对保水性和色泽各指标变化影响较大。

关键词:羊肉;贮藏温度;保水性;色泽

Abstract: In this paper, the water holding capacity and color of Tan sheep were investigated under various storage temperatures. The postmortem Tan sheep preservation at 0~4 ℃ and 15 ℃, dynamic of pH, cooking loss, water holding capacity, dropping loss and meat color were measured at 1~7 d during preservation. The research results indicated that Tan sheep muscle which were preserved at 15 ℃ had fast decreasing speed of pH value, rapid speed of water holding capacity rally and worse meat color. Cooking loss of Tan sheep at 0~4 ℃ showed no significant differences from 15 ℃ ($P>0.05$), dripping loss, water holding capacity, L^*-value, and a^*-value changes of Tan sheep during storage at 0~4 ℃ were more significant than storage at 15 ℃ ($P<0.05$). A positively significant correlation of pH with water holding capacity, and a negatively significant correlation with cooking loss, dripping loss and a^*-value found for the 0~4 ℃. Cooking loss positively significant correlation with a^*-value. Dripping loss has positively significant correlation with L^*-value and a^*-value. And water holding capacity has negatively significant correlation with a^*-value. Therefore, storage temperature affected considerably the water holding capacity of muscles of Tan sheep. As storage time prolonged, Tan sheep presented changes in cooking loss, water holding capacity, drip loss and color, and the water holding capacity and color varied significantly depending on the pH.

Keywords: sheep; storage temperature; water holding capacity; color

滩羊是中国独特的名贵裘肉兼用型绵羊品种,为宁夏优势特色畜种,其肉质细嫩,无膻味、味道鲜美,脂肪分布均匀,营养丰富,风味独特[1,2]。动物宰杀后肌肉的肉质是肉类研究领域关注的重要课题,滩羊肉的品质是鲜肉物理特性和化学特性的综合体现,主要从肉色、pH、多汁性、嫩度等方面进行评定。宰后 pH 值的变化主要是肌糖原酵解产生乳酸的结果,随着乳酸积累 pH 值不断下降,pH 值的变化速度对肉品品质的改变有重要的影响[3,4]。肉的保水性(water holding capacity,WHC)是评价肉品质的重要指标之一,是指当肌肉受到加压、切碎、加热、冷冻、贮存等外力作用时,保持原有水分与添加水分的能力。肌肉中的水以结合水、自由水和不易流动水这 3 种形式存在[5],而决定肉保水性的主要是不易流动水,它存在于肌原纤维和肌纤维膜之间,依赖肌原纤维蛋白的空间结构,蛋白质处于紧缩状态,网络空间小,保水性低,蛋白质处于膨胀状态时,网络空间大,保水性就高[6]。目前主要以滴水损失、离心损失和蒸煮损失等指标来衡量肌肉保水性。肉的保水性与肉的色泽等食用品质具有直接关系[7],而滩羊肉的色泽作为最直观的指标,也是消费者判断肉品质的重要标准[8]。肉的颜色取决于肌红蛋白存在的环

基金项目:国家科技支撑计划课题(编号:2012BAD28B01)

作者简介:王薇(1989—),女,宁夏大学在读硕士研究生。
E-mail:wangweicuiying@163.com

通讯作者:罗瑞明

收稿日期:2015-01-28

境，肌红蛋白有 3 种存在形式：脱氧肌红蛋白、氧合肌红蛋白、高铁肌红蛋白，肉色主要取决于它们之间的比例[9]。研究表明，动物宰后肉的变化，因贮藏的温度不同，其肌细胞代谢速度及方式不同，其保水性及色泽也会存在明显的差异[10]。

目前，关于禽肉、猪肉、鱼类的保水性和色泽的报道很多，滩羊肉的保水性及色泽却未见报道。本研究拟通过对不同贮藏温度下滩羊肉的保水性与色泽的变化特性进行研究，旨在了解不同贮藏温度下滩羊肉的保水性及色泽随时间的变化规律，为正确评价滩羊肉食用品质提供可靠参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料

盐池滩羊肉：宁夏盐池县鑫海清真食品有限公司。取屠宰后的滩羊背最长肌，并分块用聚乙烯袋抽真空封口。分别置于 0～4 ℃和 15 ℃条件下进行贮藏待分析。

1.2 仪器与设备

数字酸度计：PHS-3C 型，上海光学仪器厂；

恒温水浴锅：H-SY2L-NI 6-C 型，北京长源试验设厂；

电子天平：AL204 型，梅特勒—托利多仪器（上海）有限公司；

自动色差仪：CR-400 型，上海图新电子科技有限公司；

恒温培养箱：LRH-150B 型，广东省医疗机械厂；

台式离心机：TDL-5-4 型，北京安亭科学仪器厂制造；

多功能真空封装机：DZ-280/2SD 型，上海宏睿金属制品有限公司。

1.3 试验方法

选择活重（45±5）kg，饲养管理条件相同的盐池滩羊 16 只，随机分成 2 组（每组 8 只）。屠宰放血后迅速选取背最长肌部分，切成肉样大小、形状相近，重 100 g 左右的肉块，并用聚乙烯袋抽真空封口，分别于 0～4 ℃和 15 ℃温度条件下贮藏 1，2，3，4，5，6，7 d，对其 pH、保水性和色泽各指标进行测定。每项指标做 3 个重复。

1.3.1 pH 值测定 参照文献[6]，并稍作修改。取贮藏肉样 10 g 先用小刀切成碎末，再用研钵磨成肉泥置于小烧杯内加入 10 倍体积的蒸馏水混合，不断搅拌，在室温静置 10 min 后，用 pH 计测量 pH 值。

1.3.2 系水力测定 将肉样取出后，分别称取肉样 10 g 左右于离心管中，2 500 r/min 离心 20 min，取出用滤纸吸去表面渗出的水分后称质量，按式(1)计算系水力：

$$w=\left(1-\frac{m_0-m_1}{m_0}\right)\times 100\% \quad (1)$$

式中：

w——系水力，%；

m_0——离心前肉样的质量，g；

m_1——离心后肉样的质量，g。

1.3.3 滴水损失的测定 参照文献[11]，并稍作修改。在屠宰后 24 h 取样，将肉样切成 2 cm 厚，长 5 cm，宽 3 cm 的长条，用电子天平称重（m_0）。用铁丝钩住肉条的一端，使肌纤维垂直向下，悬挂于聚乙烯的塑料袋中（肉样不得与聚乙烯袋接触），扎紧袋后分别悬挂于 0～4 ℃和 15 ℃的贮藏条件下，24 h 后取出肉条用电子天平称重（m_1），按式(2)计算滴水损失：

$$D=\frac{m_0-m_1}{m_0}\times 100\% \quad (2)$$

式中：

D——滴水损失，%；

m_0——悬挂前肉样重，g；

m_1——悬挂后肉样重，g。

1.3.4 蒸煮损失的测定 参照文献[12]，并稍作修改。取 0～4 ℃和 15 ℃贮藏后的肉样，去除肉块表面的皮下脂肪和结缔组织，准确称取质量（m_0），装入真空袋放入 80 ℃水浴中加热 40 min 后，在 0～4 ℃条件下冷却至室温，吸干肉样表面的汁液，称重（m_1），按式(3)计算蒸煮损失：

$$c=\frac{m_0-m_1}{m_0}\times 100\% \quad (3)$$

式中：

c——蒸煮损失，%；

m_0——煮前肉样重，g；

m_1——煮后肉样重，g。

1.3.5 色泽的测定 利用色差计对每个样本的 L^*、a^* 值进行测定。在使用色差计前，先对其进行校正，校正时选用配套的白板进行白板校正[13]。根据肉的形状选点测量，使测量点在肉样上均匀分布，所选点的位置并不影响测量值[14]。本试验选取 3 个点，每个点连续测量 3 次，取测量的结果平均值作为该肉样的测定值。L^*：表示亮度，$L^*=100$ 为白，$L^*=0$ 为暗；L^* 值越大，色泽越白。a^*：$a^*>0$ 表示红色程度，$a^*<0$ 表示绿色程度。

1.4 统计分析

所有试验数据用 SPSS 19.0 软件和 Excel 进行处理，上述试验进行 3 次重复，结果采用平均值±标准差的形式。

2 结果与分析

2.1 处理温度对滩羊肉贮藏期间 pH 值的影响

由图 1 可知，在 0～4 ℃和 15 ℃条件下连续放置 7 d 的滩羊肉的 pH 值呈先下降后上升趋势，其中 15 ℃贮藏 2 d 时滩羊肉 pH 值达到最小值，随后 pH 缓慢上升，而贮藏于 0～4 ℃的在 3 d 时达到最低 pH 值，随后逐渐回升。在屠宰刚刚完成时，机体处于无氧状态，机体自身发生糖酵解反应，糖酵解的最终产物是乳酸，生成乳酸的多少决定 pH 值的高低。从试验结果看出，在 15 ℃贮藏的滩羊肉的 pH 下降速度比 0～4 ℃贮藏的快，说明在 15 ℃贮藏的滩羊肉糖酵解速度快。从 pH 的变化规律可以看出，pH 随着成熟的过程变化比较明显，0～4 ℃贮藏条件下的滩羊肉的成熟过程比

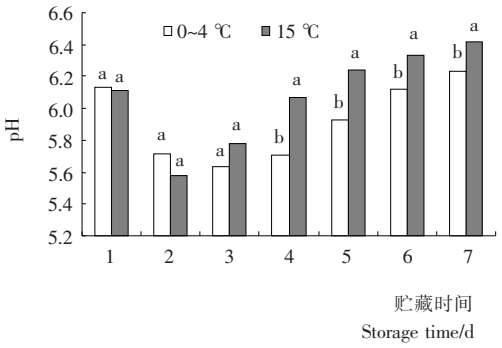


图 1　贮藏温度对滩羊肉 pH 值的影响

Figure 1　Effects of different storage temperatures on pH value in Tan sheep

15 ℃贮藏的慢,滩羊肉在经历了僵直,解僵,进入成熟阶段的时间较长。本试验中,15 ℃贮藏条件下的滩羊肉在第 4 天时滩羊肉表面发粘,第 5 天时 pH 值达到 6.21,颜色变绿,原因是由于温度高,滩羊肉很快完成僵直和解僵的过程,即很快完成成熟阶段,随后滩羊肉进入自溶阶段,此时滩羊肉的品质迅速变劣,说明肉质已经转变为腐败肉,影响食用质量。

2.2　处理温度对滩羊肉贮藏期间系水力的影响

由图 2 可知,在 0～4 ℃和 15 ℃条件下连续放置 7 d 的滩羊肉的系水力呈先下降后上升的趋势,其中 15 ℃贮藏 2 d 时滩羊肉系水力降至最小值,随后逐渐回升,而保存于 0～4 ℃在 4 d 时系水力降至最低,随后呈上升趋势,系水力回升,滩羊肉的保水性变好,说明不同温度贮藏的滩羊肉的系水力随时间的变化比较明显。两种贮藏温度之间,滩羊肉系水力在第 1 天差异显著($P<0.05$),第 3 天和第 4 天时差异极显著($P<0.01$),而其他时间点不显著($P>0.05$)。与 0～4 ℃贮藏条件下的系水力相比较,15 ℃条件下贮藏的滩羊肉的系水力明显要高,原因可能是温度高有助于滩羊肉内部发生各种生物化学变化,温度越高,酶的活力就越高,导致肌原纤维蛋白溶解,肌动蛋白和肌球蛋白解离,蛋白质的空间结构发生变化,最终导致肉的保水性越高[15]。

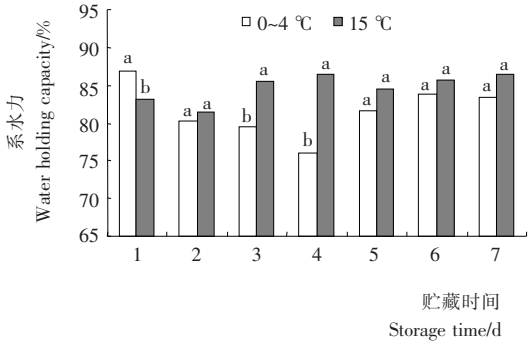


图 2　贮藏温度对滩羊肉系水力的影响

Figure 2　Effects of different storage temperatures on water holding capacity in Tan sheep

2.3　处理温度对滩羊肉贮藏期间蒸煮损失的影响

由图 3 可知,0～4 ℃和 15 ℃条件下保存 7 d 的滩羊肉的蒸煮损失整体呈先上升后下降趋势,其中 0～4 ℃的滩羊肉蒸煮损失在 4 d 达到最大值,随后逐渐下降,15 ℃的滩羊肉在 2 d 时达到最大值,随后逐渐下降。两种贮藏温度之间,滩羊肉蒸煮损失在 5 d 时差异显著($P<0.05$),2 d 和 4 d 时差异极显著($P<0.01$),其他时间不显著($P>0.05$)。原因可能是动物死后机体组织缺氧,体内有氧代谢停止,肌肉没有足够的 ATP 解开肌动球蛋白,网络空间减少,保水性下降,蒸煮损失上升,随着成熟时间的延长,尸僵逐渐消失,保水性又开始回升,蒸煮损失减少[16]。且温度越高,滩羊肉进入僵直期就越早,就越快的完成解僵和成熟过程,从而使蒸煮损失由升高转为降低的速度越快,即肌肉保水性回升的速度就越快。

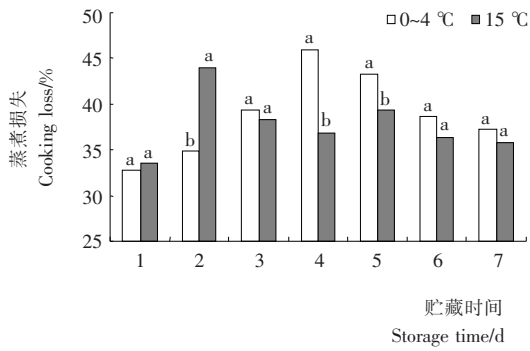


图 3　贮藏温度对滩羊肉蒸煮损失的影响

Figure 3　Effects of different storage temperatures on cooking loss in Tan sheep

2.4　处理温度对滩羊肉贮藏期间滴水损失的影响

滴水损失是反映肉的保水性时应用最多的指标,是指在只受重力作用时蛋白质系统释放的液体量,也称自由滴水。因此它能更好地模拟生肉在自然吊挂以及销售过程中水分的流失情况,能更准确地反映肉在生产加工过程中的失水情况。滴水损失能基本反映肉在贮藏期间的失水情况[17]。不同贮藏温度下滩羊肉滴水损失随时间的变化结果见图 4。0～4 ℃和 15 ℃条件下保存 7 d 的滩羊肉的滴水损失整体呈先上升后下降的趋势,其中在 0～4 ℃放置 3 d 时滴水损失达最大值,随后开始下降;15 ℃放置 4 d 的滩羊肉的滴水损失最大,随着贮藏时间的延长损失有所减小。两种贮藏温度之间,第 4 天和第 5 天时滩羊肉滴水损失显著差异($P<0.05$),在贮藏第 2 天和第 3 天时差异极显著($P<0.01$),其他时间点差异不显著($P>0.05$)。说明不同贮藏温度对滩羊肉的滴水损失有重要的影响。

2.5　处理温度对滩羊肉贮藏期间色泽的影响

由图 5(a)可知,0～4 ℃和 15 ℃贮藏条件下的滩羊肉肌肉亮度 L^* 值变化均呈先升高后降低的趋势,这与李泽等[10]对宰后羊肉、田甲春等[18]对牦牛肉和吴菊青等[19]对牛肉及

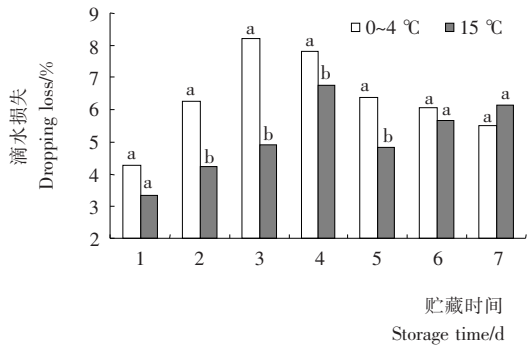
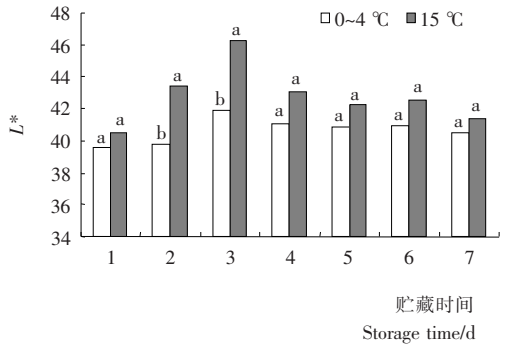
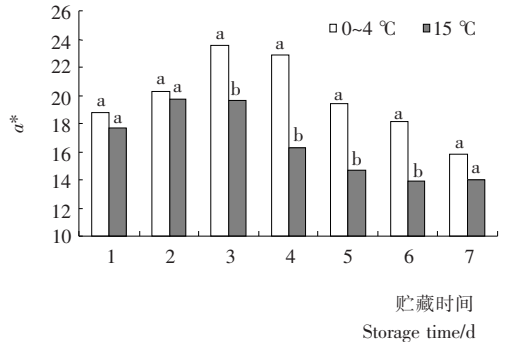


图 4 贮藏温度对滩羊肉滴水损失的影响

Figure 4 Effects of different storage temperatures on drip loss in Tan sheep



(a) L^* 值



(b) a^* 值

图 5 贮藏温度对滩羊肉 L^* 值和 a^* 值的影响

Figure 5 Effects of different storage temperatures on L^* value and a^* value in Tan sheep

猪肉中色泽的研究结果相似。两贮藏温度之间,15 ℃放置 2 d 和 3 d 的滩羊肉的 L^* 值较 0～4 ℃的大,达显著水平($P<0.05$),其他时间点不显著($P>0.05$)。在 15 ℃贮藏条件下的滩羊肉的 L^* 值比 0～4 ℃贮藏条件下的 L^* 值要高,说明温度高羊肉的亮度增加,其原因是环境温度高加快了滩羊肉的氧化速度,随着氧化的进行,滩羊肉的亮度变大。

不同贮藏温度下滩羊肉肌肉红度 a^* 值的变化见图 5(b)。两种贮藏温度下的滩羊肉的 a^* 值均呈先上升后下降的趋势,与李利[15]对宰后羊肉色泽的研究结果一致。0～4 ℃贮藏条件下滩羊肉 a^* 值要比 15 ℃贮藏条件下高,原因是滩羊肉的颜色与滩羊肉的组织氧化程度呈正相关[20]。有文献[21]表明:脂肪氧化与色素氧化是相伴而生的,脂肪氧化过程中产生的自由基使肌红蛋白的血红素辅基中心的 Fe^{2+} 被氧化成 Fe^{3+},而 Fe^{3+} 是脂肪氧化的催化剂;另一方面这些自由基破坏肉中高铁肌红蛋白还原酶的活性,肉在贮藏过程中产生的高铁肌红蛋白不能及时被还原,使滩羊肉颜色逐渐由鲜红色变为棕褐色。这就是贮藏温度越高滩羊肉红度越下降的原因[15]。

2.6 相关性分析

由上述分析可知,在 0～4 ℃和 15 ℃下贮藏的滩羊肉的各指标变化规律基本相似,而且 15 ℃贮藏下的滩羊肉在第 5 天就已经出现不良气味,肉的品质已明显降低。所以本试验只对 0～4 ℃贮藏条件下滩羊肉的品质指标进行了相关性分析。分析结果见表 1。

表 1 0～4 ℃贮藏条件下滩羊肉的品质指标的相关性分析†

Table 1 Correlational analyses of quality indices in Tan sheep under 0～4 ℃ storage conditions

变量	蒸煮损失	滴水损失	系水力	色泽 L^*	色泽 a^*
pH 值	−0.516**	−0.755**	0.731**	−0.177	−0.890**
蒸煮损失		0.752**	−0.879**	0.355	0.504*
滴水损失			−0.870**	0.641**	0.798**
系水力				−0.374	−0.720**
色泽 L^*					0.416

† * 表示显著相关($P<0.05$),** 表示极显著相关($P<0.01$)。

由表 1 可知,在 0～4 ℃贮藏条件下滩羊肉品质指标的变化规律中,pH 值的变化与蒸煮损失和滴水损失呈极显著负相关($P<0.01$),说明 pH 值可以在很大程度上影响系水力和滴水损失;pH 与系水力存在极显著正相关($P<0.01$);pH 值与色泽 a^* 之间存在极显著负相关($P<0.01$),即 pH 值越高,a^* 值越小。肉色的变化是因为肌红蛋白的氧化,本试验结果说明这一氧化过程与 pH 值关系密切。蒸煮损失与滴水损失之间存在极显著正相关($P<0.01$),蒸煮损失与系水力呈极显著负相关($P<0.01$),与 a^* 存在显著正相关($P<0.05$)。滴水损失与系水力之间存在极显著负相关($P<0.01$)。滴水损失与 L^* 和 a^* 之间存在极显著正相关($P<0.01$)。系水力与色泽 a^* 值之间存在极显著负相关($P<0.01$)。

3 结论

在不同贮藏温度条件下,对滩羊肉的品质指标的变化和规律进行测定。试验结果表明:不同贮藏温度下滩羊肉的 pH、系水力、蒸煮损失、滴水损失、L^* 值、a^* 值不同,贮藏在 15 ℃条件下的滩羊肉的 pH 下降速度快,蒸煮损失和滴水损失大,系水力由降低转为回升的速度较快,a^* 值下降,在第 4

天时,滩羊肉表面发粘,第 5 天时肉色变绿,严重影响肉的品质和货架期;0～4 ℃贮藏的滩羊肉成熟较缓慢,成熟时间较长,pH 下降速度慢,肉的保水性较好,低温抑制了滩羊肉的氧化,肉色可以维持很长时间,在贮藏期内滩羊肉的品质一直保持良好。综合各因素考虑,低温(0～4 ℃)条件下贮藏滩羊肉可以有效地减缓滩羊肉的成熟,使滩羊肉保持良好品质,延长它的货架期。

参考文献

1 杨秀芳. 宁夏盐池滩羊品种资源的保护现状及发展建议[J]. 调查研究,2006,26(6):36.

2 李伟. 宁夏滩羊肉的特征香气成分分析[J]. 现代食品科技,2013,29(5):1 173～1 177.

3 Enfalt A C, Lundstrom K, Hansson I, et al. Comparison of non-carriers and heterozygous carriers of the RN-allele for carcass composition, muscle distribution and technological meat quality in Hampshire-sired pigs[J]. Livesock Production Science, 1997, 47(3): 221～229.

4 Eikelenboom G, Monin G. Evaluation and control of meat quality in pigs[M]. The Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, 1987: 447.

5 尹靖东. 动物肌肉生物学与肉品科学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2011.

6 鲁蒙. 冻藏时间及 pH 对宰后不同部位羊肉保水性变化的影响[J]. 肉类研究,2013,27(9):26～30.

7 夏列,蒋爱民,卢艳,等. 不同冷却方式下猪肉贮藏期持水力的变化[J]. 食品与机械,2013,29(2):154～158.

8 段虎,王祎娟,马汉军. 超高压处理对肉及肉制品食用品质的影响[J]. 食品与机械,2012,27(1):151～154.

9 Bekhit A E D, Geesink Ilian G H, Ilian M A, et al. The effects of natural antioxidants on oxidative processes and metmyoglobin reducing activity in beef patties[J]. Food Chemistry, 2003, 81(2): 175～187.

10 李泽,靳烨,马霞. 不同贮藏温度下宰后羊肉的肉质变化及其影响因素[J]. 农业工程学报,2010,26(增刊 1):338～342.

11 路文敏,张建国,刘萍. 滴水损失与汁液流失关系的研究[J]. 肉类工业,2010(7):29～31.

12 Honikel K O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat [J]. Meat Science, 1998, 49(4): 447～457.

13 杨霞,王鸥,冯媛媛,等. 宰后成熟过程中猪肉色泽变化研究[J]. 食品工业,2012,33(4):96～98.

14 Wulf D M, Wise J W. Measuring muscle color on beef carcasses using the $L^* a^* b^*$ color space[J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(9): 2 418～2 427.

15 李利. 不同温度处理对羊肉宰后成熟速度和食用品质的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2003.

16 贾文婷. 宰后不同处理对羊肉品质影响的研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.

17 周玄. 宰后处理方式对冷却肉保水性的影响研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2012.

18 田甲春,韩玲,刘昕,等. 牦牛肉宰后成熟机理与日用品质研究[J]. 农业机械学报,2012,43(12):146～150.

19 吴菊清,李春保,周光宏,等. 宰后成熟过程中冷却牛肉、猪肉色泽和嫩度的变化[J]. 食品科学,2008,29(10):136～139.

20 冯京海,张敏红,郑姗姗,等. 日循环高温对肉鸡线粒体活性氧产生量,钙泵活性及胸肌品质的影响[J]. 畜牧兽医学报,2006,37(12):1 304～1 311.

21 李莉. 冷却肉品质变化及调控措施[J]. 肉类研究,2010,24(8):17～20.

(上接第 121 页)

参考文献

1 周显宏,余以刚. 豆皮加工与利用研究进展[J]. 粮食与食品工业,2010,17(2):9～12.

2 韩智,石谷孝佑,李再贵. 不同豆浆浓度和浆液深度对腐竹生产的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(11):179～181.

3 欧阳平一,刘炜松. 腐竹工业化加工工艺优化研究[J]. 食品与机械,2010,26(2):123～126.

4 李诗龙,刘协舫,张永林. SFZCX125 型腐竹自动成形机的研制[J]. 粮油加工,2006(12):72～74.

5 李诗龙,丁文平,张永林,等. 腐竹的机械化生产关键技术研究[J]. 农业工程学报,2009,23(10):224～228.

6 晁贻存,刘延美. 自动化悬浮式腐竹机:中国,CN2316821[P]. 1999—05—05.

7 孙德胜,孙庆新,孙艳红. 自动腐竹加工机:中国,CN1582727[P]. 2005—02—23.

8 罗绯,林亲录,陆玲,等. 超声提取豆皮水溶性膳食纤维的工艺研究[J]. 食品与机械,2008,24(6):44～45.

9 乔元勐. 豆腐皮机械化生产线的设计[D]. 杭州:浙江大学,2008.

10 侯传亮,李诗龙. SFZCX125 型腐竹结膜成形机研制[J]. 农业机械,2011(1):149～152.

11 刘梦飞,郑甲红,高警. 采摘机－核桃树系统的仿真与试验[J]. 食品与机械,2014,30(1):107～110.

12 朱文华,马登哲,张健希. 虚拟装配技术应用的研究[J]. 机械设计与研究,2014,20(6):47～51.

13 Liu G H, Yao Y X. Development of a new virtual environment system for assembly[J]. Key Engineering Materials, 2006, 316(5): 556～560.

14 夏平均,姚英学. 虚拟装配的研究综述与分析[J]. 哈尔滨工业大学学报,2008(5):2～6.

15 Laycock S D, Day A M. A survey of haptic rendering techniques [J]. Computer Graphics Forum, 2007, 26(1): 50～65.