

负向近冰点温度下绵羊宰后 肌肉主要理化指标变化

崔丽娟¹, 仁庆考日乐², 王政纲², 张艳萍², 景 慧², 德力格尔桑^{2,*}

(1. 包头轻工职业技术学院乳品工程系, 内蒙古包头 014040;

2. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古呼和浩特 010018)

摘要:以宰后未经速冷处理的绵羊左后大腿为对照组,以宰后经过6h速冷处理的绵羊左后大腿为处理组,在-1~1℃贮存,并对其3~216h内肌肉中糖原、巯基、pH、失水率、游离钙离子浓度、游离氨基酸、游离羟脯氨酸的变化进行了研究。结果表明,在宰后3~216h内处理组的糖原含量、pH、失水率始终显著($P < 0.05$)高于对照组;处理组巯基含量始终稍低于对照组,游离羟脯氨酸含量处理组稍低于对照组,但差异不显著;游离钙离子浓度、游离氨基酸含量宰后3~48h先下降随后逐渐升高到最大值后转为下降的($p < 0.05$)变化规律基本一致。并且得出了部分相应的相关方程。利用主成分分析及METLAB软件对肉样的七项指标进行分析可知,在3~216h内糖原含量、pH、失水率、巯基含量、游离氨基酸含量等对肌肉僵直化进程起着重要的作用。所测定的肉样在宰后9h就进入了僵直起始阶段,在宰后48h僵直结束。

关键词:绵羊,骨骼肌,近冰点,僵直化

Changes of biochemical properties of sheep muscle stored at the temperature close to cryoscopic point

CUI Li-juan¹, Ren-qing-kao-ri-le², WANG Zheng-gang², ZHANG Yan-ping², JING Hui², De-li-ge-er-sang^{2,*}

(1. Dairy Engineering Department, Baotou Light Industry Vocational Technical College, Baotou 014040, China;

2. Food Science and Engineering College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Changes of level of glycogen, sulfhydryl group, pH value, water depletion, free calcium, free amino acid and free hydroxyproline of muscle sample collected from left legs of sheep muscle after slaughter were studied. The samples were divided into two groups. One was the control group stored at the temperature of -1~1℃. The other, the treatment group, treated with -25℃ for 6 hours, then stored at the temperature of -1~1℃. Both of the control group and the treatment group were observed for 216 hours. The results showed that the glycogen concentrations, pH, water depletion rate of the treatment group were significantly higher than the control group ($P < 0.05$); the level of sulfhydryl group of the treatment group was slightly lower than the control group. The free hydroxyproline of the treatment group was slightly lower than the control group. The variation of free calcium concentration and free amino acid of the two groups was much similar. The principal component analysis and METLAB were conducted to indicate influence of properties on rigor setting. Based on the contribution to the rigor setting, the glycogen concentration, level of sulfhydryl group, pH value, water depletion rate and free calcium concentration showed strong influence on the procedure. The rigor mortis stated at the 9th hour after slaughter, and ended at the 48th hour.

Key words: sheep; skeletal muscle; close to freezing point; stiffness

中图分类号: TS251.5+3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)01-0063-05

目前,市场上出售的生肉有3种:一是活畜宰杀不久、直接上市的白条肉,俗称“热鲜肉”(多见于集贸市场);二是将肉品进行快速深度冷冻(-23℃以下

的温度并在-18℃左右贮藏)的“冷冻肉”;三是将肉品迅速进行冷却处理(即排酸)使其中心温度(一般为后腿内部肌肉的温度)在24h内降到0~4℃,且在之后的冷藏、运输直到消费的一系列过程中也处于0~4℃,保持相对鲜态的“冷却肉”^[1]。冷却肉相对其它两种鲜肉在安全卫生、风味、营养方面都是最佳的^[2]。20世纪80年代,我国才开始冷却肉的研究与生产,由于经济、技术等方面的原因,进展相对滞后。我国肉类

收稿日期: 2010-06-07 * 通讯联系人

作者简介: 崔丽娟(1981-),女,硕士,研究方向:农产品加工原理及贮藏技术。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(3044070)。

总产量虽居世界第一,但90%以上都是未经深加工的热鲜肉和冷冻肉,冷却肉的比例很低。目前,我国只有少量大型企业生产冷却肉,如河南双汇、湖南唐人神、江苏雨润、北京千喜鹤、山东金锣、山东得利斯,而且只在一些大型超市中才有销售。而在国外,早在20世纪50年代和60年代,发达国家就开始冷却肉的研究与推广。目前,国外冷却肉生产已经按标准、成体系、成规则。国外的生肉消费市场上90%以上都是冷却肉。欧美和日本等国家都有了科学的加工工艺和流通技术,以及完善有效的质量控制体系,这些国家的食品超市和商店中出售的都是冷却肉。英美等发达国家甚至提出口号不吃冻肉,澳大利亚、新西兰、丹麦等国家生产的冷却肉,除满足国内市场外,还出口到其他国家。目前,优质冷却肉已成为国际生鲜肉生产的主流。本文旨在从测定绵羊宰后骨骼肌理化指标的角度推测出羊肉的僵直化进程,从而对羊肉的冷却加工及保藏起到一定的指导作用。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验所用肉羊为锡林郭勒盟地区乌珠穆沁肥尾羊及其杂交后代。将羊宰杀后,取其左后腿平均分割为十块后,当天将对照组肉样胴体置于温度为 $-1\sim 1^{\circ}\text{C}$ 的冷藏库中贮藏,处理组肉样置于 -25°C 冷库中速冷6h后转移到温度为 $-1\sim 1^{\circ}\text{C}$ 的冷藏库中贮藏,连续贮藏216h,每天将胴体左后大腿部的肌肉搅碎后测定其生化指标。实验结束后整理分析数据,研究确定胴体在宰后各阶段(尸僵前、尸僵建立、解僵、成熟)的生化变化。

1.2 实验方法

1.2.1 糖原的测定 蒽酮比色法^[3-5]。

1.2.2 巯基的测定 Ellman氏试剂法^[6]。

1.2.3 羊肉的pH测定 国标ISO2917-1974^[5,7]。

1.2.4 肉保水性(滤纸法)的测定 加压重量法^[8-9]。肌肉的持水力与其失水率呈高度的负相关。

1.2.5 游离钙离子浓度的测定 乙二胺四乙酸钠(EDTA- Na_2)滴定法^[10-11]。

1.2.6 游离氨基酸的测定 茚三酮比色法^[12-14]。

1.2.7 游离羟脯氨酸的测定 比色法^[15-16]。

2 结果与分析

将各项指标对照组与处理组绘于同一坐标上,并在组间进行方差分析。

2.1 糖原含量变化

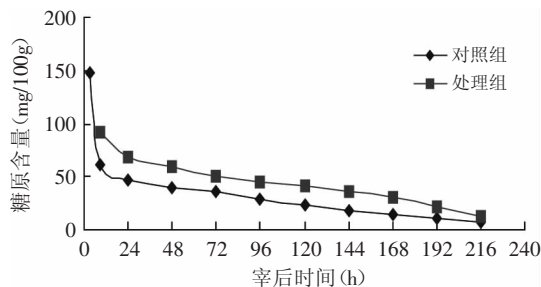


图1 对照组与处理组肉样糖原含量变化

Fig.1 Changes of the glycogen concentration of the control group and the treatment group

由图1可以看出,对照组与处理组肉样在宰后3~216h中糖原含量总体变化是不断减少的,而且对照组与处理组糖原含量在宰后3~216h中均呈显著下降趋势($p<0.05$);其中处理组的糖原含量始终高于对照组。对肉样对照组与处理组糖原含量进行差异显著性检验,结果表明对照组与处理组糖原含量在宰后第9、24、48、72、96、192h均差异显著($p<0.05$);在宰后第120、144、168h差异极显著($p<0.01$)。

当宰后肌肉糖原的含量不是限制因素时,对于不同类型的肌肉,宰后pH下降到最终值5.4~6.3左右。但是Immonen和Puolanne报道牛肉在宰后变化后仍有部分糖原残留,此时肌肉最终pH为5.75以下,糖原残留量为 $10\sim 85\text{mmol/kg}$ ^[17]。在本实验中当对照组与处理组pH分别为5.96和6.01时糖原含量分别为 $40.047\text{mg}/100\text{g}$ 和 $59.673\text{mg}/100\text{g}$,且一直到宰后216h时仍有一部分残留($7.051\text{mg}/100\text{g}$, $13.297\text{mg}/100\text{g}$)。这表明绵羊骨骼肌中糖原并没有完全降解,与Immonen和Puolanne报道结果吻合。

在整个实验过程中处理组糖原含量始终高于对照组可能与冷冻对糖原磷酸化酶和糖原脱支酶的活性有一定的抑制作用有关。

2.2 巯基含量

由图2可以看出,宰后肉样3~216h内巯基含量总体变化是不断减少的。对照组巯基含量从宰后3h的 0.0403mmol/mL 显著下降到宰后9h的 0.0380mmol/mL ,并从宰后24h的 0.0320mmol/mL 开始缓慢下降到216h的 0.0011mmol/mL ($p<0.05$);而处理组从宰后9h开始一直是缓慢下降的。处理组肉样巯基含量在宰后9h稍高于对照组,在宰后24~216h内始终稍低于对照组,但差异不显著。

根据黄鸿兵、徐幸莲的研究,活性巯基含量随着冷冻时间的延长而显著增加。由此可见速冷处理对肌肉中巯基含量的变化有一定影响。

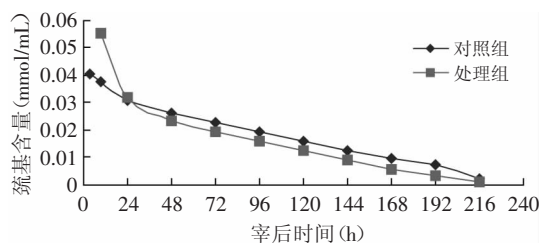


图2 对照组与处理组肉样巯基含量变化

Fig.2 Changes of the sulfhydryl group of the control group and the treatment group

2.3 pH的变化

由图3可以看出,宰后肉样3~216h内pH总体变化是先减少后增加,再趋于平缓。对照组pH由宰后3h的6.44显著下降到宰后48h的5.95 ($p<0.05$),然后开始缓慢上升,到96h的6.06后趋于平缓。处理组pH由宰后9h的6.34显著下降到宰后48h的6.01,然后开始缓慢上升 ($p<0.05$),到96h的6.138后趋于平缓。在宰后3~216h内处理组pH始终高于对照组。对肉样对照组与处理组pH进行差异显著性检验,结果表明肉样对照组与

处理组pH在宰后第9、24、96h差异均显著($p < 0.05$)。

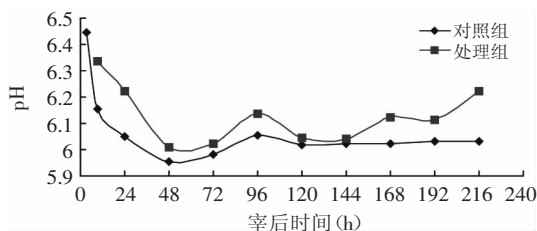


图3 对照组与处理组pH变化

Fig.3 Changes of the pH value of the control group and the treatment group

最初呈现pH下降至酸性变动可能是由宰后肉中原有的两种物质产酸引起的。一是肉中的肌糖原无氧酵解产生大量乳酸;二是肌糖原分解殆尽时,肌纤维肉浆里的ATP酶促ATP分解出磷酸。第一次pH回升是因为肉在最初的酸性环境下引起肌间中的结缔组织(即为内外肌膜)和其内的硬蛋白质(主要为胶原纤维蛋白)吸水膨胀软化,同时消耗酸性介质^[18],另外酸性环境中的肌纤维破碎,释放肌浆中蛋白酶分解蛋白质为肽、胺、氨基酸等,增多肉中双性电解质;在酸性环境中,它们显碱性,使pH略有升高,又因肌浆中的ATP酶促ATP磷酸化过程,仍在继续进行,所以pH再次下降。肌间结缔组织吸水膨胀软化,使肌纤维间松弛,因此僵直状态的肉就开始松软。肌间胶体渗透压和肉的持水性也在增高,所以肉质松软有弹性,又具有香味,这正是肉成熟期的特征^[18]。

2.4 保水性

由图4可以看出,宰后肉样3~216h内失水率总体变化是不断上升的。其中对照组失水率从宰后3h开始呈缓慢上升趋势($p < 0.05$),到宰后192h上升到最大值后下降。处理组变化趋势基本与对照组一致,并在3~216h内始终高于对照组。对肉样对照与处理组失水率进行差异显著性检验,结果表明肉样对照组与处理组失水率在宰后第9h时差异极显著($p < 0.01$),在宰后48、72h时差异均显著($p < 0.05$)。

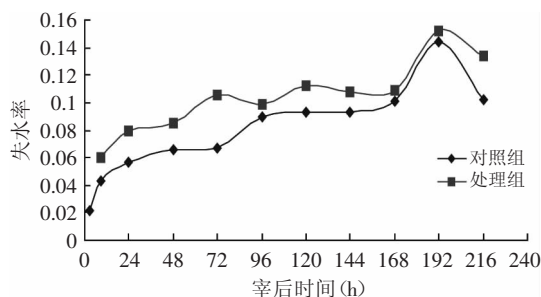


图4 肉样对照组与处理组失水率变化

Fig.4 Changes of the water depletion rate of the control group and the treatment group

决定肉保水性的重要因素是凝胶结构和蛋白质所带净电荷的数量^[19-20]。需要指出的是蛋白质变性与否对保水性有直接的影响,这是因为蛋白质分子之间关联键被破坏而引起分子变性;如经冻结之后的肉类蛋白质在加工过程中容易变性,所以冻结肉的保水性低于鲜肉^[21-22]。在本实验中宰后经过速冷处理的处理组肉样的失水率高于对照组,即保水性低于对照组。

2.5 游离钙离子浓度

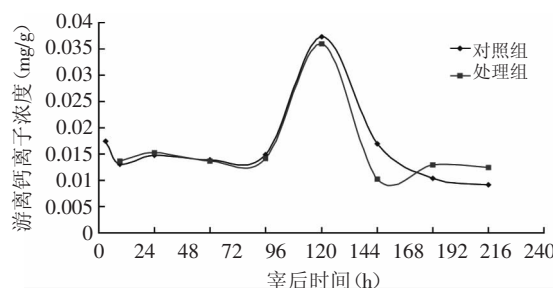


图5 对照组与处理组游离钙离子浓度变化

Fig.5 Changes of the free calcium concentration of the control group and the treatment group

由图5可以看出,对照组与处理组肉样在宰后3~216h内游离钙离子浓度总体变化是先升高后减少的。而且对照组与处理组游离钙离子浓度变化规律基本一致,均在宰后前72h中变化平缓,到96h时显著升高后又减少并趋于平缓($p < 0.05$)。

宰后肌肉在低温贮存期间,肌原纤维结构的脆弱化,是由于肌浆中钙离子浓度的增加所诱发。钙也能直接作用而催化肌原纤维的降解,其降解程度和肉的保水性及嫩度变化关系很大^[23]。而随着肌肉中糖原酵解的进行,ATP含量迅速降低导致肌肉僵直的发生,这样ATP减少及pH下降的双重作用,同时肌肉组织受到低温刺激,使肌浆网功能失常,发生崩解,肌浆网失去钙泵的作用,通透性增加,肌浆网里结合钙的蛋白质松动,内部保存的 Ca^{2+} 被释放,致使 Ca^{2+} 浓度增加^[24-26]。

2.6 游离氨基酸含量

由图6可以看出,对照组肉样游离氨基酸含量由宰后3h的24.919mg/100g下降到宰后48h的9.027mg/100g,随后逐渐升高到宰后120h的15.557mg/100g后转为下降($p < 0.05$)。处理组肉样游离氨基酸含量由宰后9h的14.073mg/100g升高到24h的17.551mg/100g后下降到宰后48h的13.005mg/100g,随后逐渐升高,到宰后120h达到最大值25.397mg/100g后转为下降($p < 0.05$)。处理组游离氨基酸含量在宰后144h以前高于对照组游离氨基酸含量,其中120h时对照组与处理组游离氨基酸含量差异极显著($p < 0.01$)。

新鲜肉中的游离氨基酸是肉中的非蛋白含氮物,属于含氮浸出物的一种,为肉的重要香气来源之一,在很大程度上影响肉的风味,含量较少^[20, 27]。但是

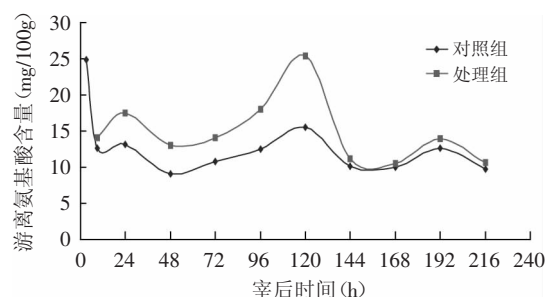


图6 对照组与处理组游离氨基酸含量变化

Fig.6 Changes of the free amino acid of the control group and the treatment group

随宰后肉进入尸僵、解僵、成熟、腐败各阶段游离氨基酸的量会逐渐增加^[9,21]。本实验中游离氨基酸在120h后又逐渐减少可能与肌肉成熟后发生的黑素反应有关。

2.7 游离羟脯氨酸含量

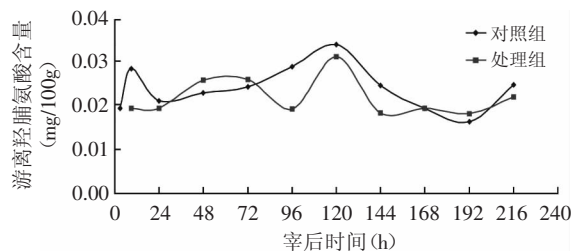


图7 对照组与处理组游离羟脯氨酸含量变化

Fig.7 Changes of the free hydroxyproline of the control group and the treatment group

由图7可以看出,宰后肉样游离羟脯氨酸含量是由宰后3h的0.0171mg/100g升高到0.0252mg/100g,再下降到宰后48h的0.0186mg/100g,随后逐渐升高到宰后120h达到最大值0.0300mg/100g后转为下降($p<0.05$)。处理组肉样游离羟脯氨酸含量由宰后9h的0.0171mg/100g升高72h的0.0230mg/100g后到宰后96h转而下降到0.0170mg/100g,随后逐渐升高到宰后120h达到最大值0.0275mg/100g后转为下降($p<0.05$)。游离羟脯氨酸含量只在宰后第96、120、144h时处理组稍低于对照组,但差异不显著。

一些研究发现胶原蛋白含量与肉的嫩度都有不同程度的相关性^[28-30]。实验发现在牛肉成熟的早期(14d)肌肉中胶原的结构并没受到破坏,其机械强度也变化很少^[29],Sharp (1959)的研究也证实成熟过程中胶原蛋白分子并没有发生变化,甚至在37℃贮存1年的无菌分割肉中可溶性的羟脯氨酸含量也没有变化^[2]。

2.8 僵直的判断

下面以各项指标的值为因变量,时间为自变量分别对对照组与处理组做函数,结果如下:

对照组:

糖原: $A=2E-10x^6-2E-07x^5+5E-05x^4-0.0061x^3+0.4081x^2-12.414x+168.53$

巯基: $B=-0.0002x+0.0368$

pH: $C=3E-13x^6-2E-10x^5+8E-08x^4-1E-05x^3+0.001x^2-0.0399x+6.5136$

失水率: $D=-3E-13x^6+2E-10x^5-4E-08x^4+5E-06x^3-0.0002x^2+0.0061x+0.0049$

游离钙: $E=-1E-13x^6+9E-11x^5-2E-08x^4+2E-06x^3-$

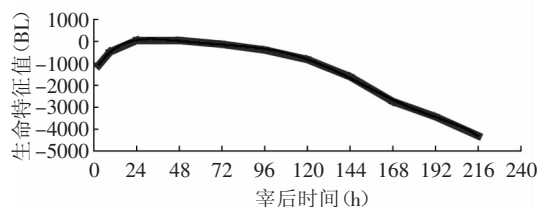


图8 对照组肉样主要理化指标综合变化

Fig.8 The general changes of properties of control group

$8E-05x^2+0.001x+0.0128$

游离氨基酸: $F=-9E-12x^6+4E-09x^5-3E-07x^4-0.0001x^3+0.0189x^2-0.9911x+24.943$

游离羟脯氨酸: $G=-4E-14x^6+3E-11x^5-7E-09x^4+8E-07x^3-4E-05x^2+0.0008x+0.0168$

处理组:

糖原: $A=4E-11x^6-3E-08x^5+9E-06x^4-0.0013x^3+0.092x^2-3.6051x+117.58$

巯基: $B=3E-14x^6-2E-11x^5+7E-09x^4-1E-06x^3+9E-05x^2-0.0036x+0.081$

pH: $C=-5E-13x^6+3E-10x^5-7E-08x^4+6E-06x^3-0.0002x^2-0.0097x+6.4431$

失水率: $D=-2E-13x^6+1E-10x^5-3E-08x^4+3E-06x^3-0.0002x^2+0.005x+0.0272$

游离钙: $E=-7E-13x^6+4E-10x^5-8E-08x^4+7E-06x^3-0.0003x^2+0.0064x-0.0222$

游离氨基酸: $F=-1E-10x^6+7E-08x^5-2E-05x^4+0.0021x^3-0.114x^2+2.6038x-1.7509$

游离羟脯氨酸: $G=2E-15x^6-1E-12x^5+2E-10x^4-1E-08x^3-9E-07x^2+0.0002x+0.015$

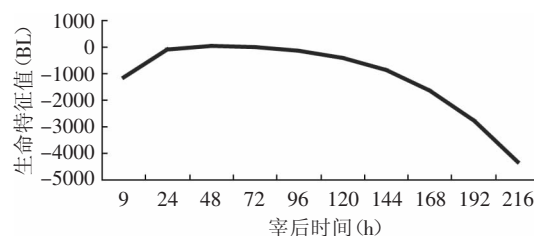


图9 处理组肉样主要理化指标综合变化

Fig.9 The general changes of properties of treatment group

综合以上结果,同时做了消除量纲的处理,可得 $BL = \sum ((A) + (B) + (C) + (D) + (E) + (F) + (G))$,其公式对照组为: $y = -3E-09x^6+2E-06x^5-0.0005x^4+0.0697x^3-4.553x^2+138.47x-1437.7$, $R^2=0.9993$ 。处理组为: $BL = -2E-09x^6+1E-06x^5-0.0004x^4+0.0635x^3-4.8401x^2+178.47x-2367.3$, $R^2=0.9996$ 。由METLAB软件对以上函数综合分析,并作图如图8、图9可看出,在宰后9h出现一个小的转折点,宰后24h是转折点,宰后48h是转折点。以后呈平缓下降趋势,据此可以判定僵直在宰后的9h开始发生,而在接近24h达到最大,在48h时僵直结束。且对照组宰后9h僵直启动时,糖原、巯基、pH、失水率、游离钙离子浓度、游离氨基酸及游离羟脯氨酸的值分别为:85.729546mg/100g、0.035mmol/mL、6.2287232、4.69942%、0.016652mg/g、17.479363mg/100g、0.021299mg/100g。48h僵直结束时,糖原、巯基、pH、失水率、游离钙离子浓度、游离氨基酸及游离羟脯氨酸的值分别为:55.215324mg/100g、0.0272mmol/mL、6.1738617、22.4815%、0.013205mg/g、9.1732158mg/100g、0.0215096mg/100g。

处理组僵直启动时,糖原、巯基、pH、失水率、游离钙离子浓度、游离氨基酸及游离羟脯氨酸的值分别为:91.695699mg/100g、0.0552058mmol/mL、6.3435322、5.799%、0.0157014mg/g、13.85306mg/100g、0.0167211mg/100g。僵直结束时,糖原、巯基、pH、失

水率、游离钙离子浓度、游离氨基酸及游离羟脯氨酸的值分别为:53.3544486mg/100g、0.03739775mmol/mL、5.87898878、0.19578%、0.03663089mg/g、3.26359871mg/100g、0.02225182mg/100g。

3 结论

3.1 在宰后10d中处理组的糖原含量、pH、失水率始终显著高于对照组;处理组巯基含量始终稍低于对照组,处理组游离羟脯氨酸含量稍低于对照组但差异不显著;游离钙离子浓度、游离氨基酸含量变化规律基本一致。

3.2 对肉样的七项指标进行主成分分析可知:在肌肉僵直化过程中糖原含量、pH、巯基含量、游离氨基酸含量值越大,失水率越小肌肉骨骼肌僵直化进程越小;游离钙离子浓度和游离羟脯氨酸含量值越大肌肉骨骼肌僵直化进程越大。

3.3 由METLAB软件综合分析可以判定僵直在宰后的9h开始发生,而在接近24h达到最大化,48h时僵直结束即开始解僵。

参考文献

- [1] 陈伯华. 让“冷却肉”进入百姓家[J]. 农产品加工, 2010(3): 6-7.
- [2] 孔凡真. 冷却肉将成为我国未来生肉消费主流[J]. 肉类加工, 2004(5): 46.
- [3] 邓德文. 淡水鱼死后肌肉生化变化及其对鱼肉品质的影响[D]. 上海: 上海水产大学, 2001.
- [4] 陈会良, 鲍广刚. 黄牛血糖测定三种不同方法的比较研究[J]. 黄牛杂志, 2005, 31(1): 23-24.
- [5] 吕斌, 陈舜胜, 邓德文. 三种淡水鱼肌肉的糖原、乳酸含量和pH值及在冷藏中的变化[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(3): 239-242.
- [6] Ellman G. Tissue sulfhydryl groups[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1959, 32: 70-77.
- [7] 位天军. 集安全、卫生、营养于一身冷却肉将成为我国未来生肉消费主流[J]. 河南畜牧兽医, 2002, 23(2): 47.
- [8] 黄鸿兵, 徐幸莲. 冷冻及冻藏对猪肉冰晶形态及理化品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- [9] 吴信法. 肉品科学及肉品卫生检验[M]. 北京: 中国商业出版社, 1984: 61-63.
- [10] 靳敏, 夏玉宇. 食品检验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 434-438.
- [11] 杜苏英. 食品分析与检验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 15-18.
- [12] 赵爱菊. 茚三酮比色法测定酱油氨基酸氮含量中实验条件的探讨[J]. 山东轻工业学院学报, 1996, 10(2): 37-42.
- [13] 姜开连. 猪苍白肌游离氨基酸简易测定[J]. 肉类研究, 2004(1): 49-50.
- [14] 刘慧燕. 近冰点温度下牛肉骨骼肌主要生化指标变化特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [15] 刘凤民, 李同树, 井文倩, 等. 鸡肉羟脯氨酸含量测定及其嫩度比较[J]. 中国禽业导刊, 2003, 20(6): 17-18.
- [16] 明文, 南宇梅, 王新民. 分光光度法测定羟脯氨酸的改进[J]. 河南医科大学学报, 1994, 29(1): 74-78.
- [17] Maria Ýlä-Ajos, Marita Ruusunen, Eero Puolanne. The significance of the activity of glycogen debranching enzyme in glycolysis in porcine and bovine muscles[J]. Meat Science, 2006, 72: 532-538.
- [18] 高士昌, 张颖. 肉在鲜腐过程中pH值变动的规律性[J]. 中国兽医杂志, 1994, 20(11): 50-51.
- [19] J-R Ji, K Takahashi. Changes in concentration of sarcoplasmic free calcium during post-mortem ageing of meat[J]. Meat Science, 2006, 73: 395-403.
- [20] 刘成国. 电刺激对肌肉嫩度的影响及机理[J]. 肉类工业, 1999(7): 27-29.
- [21] 吴海波, 黄黎明. 肉牛宰后成熟阶段与食用品质相关指标的分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2002, 14(2): 77-81.
- [22] M. Cornet, J Bousset. Free amino acids and dipeptides in porcine muscles; differences between 'red' and 'white' muscles[J]. Meat Science, 2000, 55(2): 150-158.
- [23] 卢建仁, 林亮全. 屠前紧迫对屠后鸭只肌肉低温熟成时pH值、可抽出性钙及ATP含量变化之影响[J]. 中国畜牧学会志, 1997, 26(1): 99-108.
- [24] Koohmaraie M A S, Babiker A S, R A Merkel, et al. The role of Ca^{2+} -dependent proteases and lysosomal enzymes in postmortem changes in bovine skeletal muscle[J]. Food Science, 1998, 53: 12-53.
- [25] 陈明造. 肉品加工理论与应用[M]. 台北: 艺轩图书出版社, 1983: 321-323.
- [26] 孔保华, 罗欣. 肉制品工艺学[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2001.
- [27] 吕雪娟, 梁兰兰. 游离氨基酸含量对食品风味特征的影响[J]. 食品科学, 1996, 17(3): 10-12.
- [28] Seideman, S C. Methods of expressing collagen characteristics and their relationship to meat tenderness and muscle fiber types[J]. J Food Science, 1986, 51: 273-275.
- [29] Nishimura T, A Hattori, Kouri Takahashi. Changes in mechanical strength of intramuscular connective tissue during postmortem aging of beef[J]. J Animal Science, 1988, 76: 528-532.
- [30] Torrescano G, A Sanchez-escalante, B Gimenez, et al. Shear force values of raw samples of 14. Bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics[J]. Meat Science, 2003, 64: 85-91.

(上接第62页)

[8] Pilar PuyoL, M Dolores Perez, Lourdes Sanchez, et al. Effect of retinol and fatty acid Binding by bovine β -lactoglobulin on its resistance to trypsin digestion[J]. International Dairy Journal, 1993, 3(7): 589-597.

[9] Alberto Barbiroli, Tiziana Beringhelli. Bovine β -lactoglobulin acts as an acid-resistant drug carrier by exploiting its diverse binding regions[J]. Journal of Biological Chemistry, 2010, 391(1): 21-32.