

正向近冰点温度下肉牛骨骼肌主要生化指标变化特性的研究

德力格尔桑¹, 刘慧燕¹, 艳茹¹, 李和², 崔丽娟¹, 王政纲¹, 陆绍跃²

(1. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2. 内蒙古科尔沁牛业股份有限公司, 内蒙古 通辽 028000)

摘要: 本文对 30 头肉牛宰后经电刺激的胴体从背最长肌肉处取样在近冰点温度($-1 \sim -1.7^{\circ}\text{C}$)下贮存 10d 过程中游离 Ca^{2+} 、ATP、总游离氨基酸、糖原、失水率的变化进行了研究。结果表明, 10d 中糖原、总游离氨基酸、ATP、失水率的变化几乎是同步的, 均在刚宰后的 0~1d(24h)中变化明显, 第 2d(48h)是转折点, 而游离 Ca^{2+} 第 3d(72h)是转折点。作出了相应的变化曲线图, 对指标间作 Pearson 相关性分析表明: 游离钙与可溶性磷、游离钙与失水率、可溶性磷与失水率、糖原与总游离氨基酸、糖原与可溶性磷之间相关系数均极显著($p < 0.01$); 游离钙与糖原之间相关系数显著($p < 0.05$); 并且得出了相应的相关方程。对牛肉样的五项指标进行综合分析可知: 所测定的牛肉样品在宰后约 13.5h 就进入了僵直起始阶段, 而到宰后接近 48h 僵直达到了最大化。

关键词: 肉牛骨骼肌; 电刺激; 近冰点; 僵直化; 生化指标

Changes of Biochemical Properties of Beef Skeletal Muscle Meat Stored at the Temperature Close to Cryoscopic Point

Deligeersang¹, LIU Hui-yan¹, YAN Ru¹, LI He², CUI Li-juan¹, WANG Zheng-gang¹, LU Shao-yue²

(1. College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China;

2. Inner Mongolia Kerqin Cattle Industrial Co. Ltd., Tongliao 028000, China)

Abstract: Changes of the level of free Ca^{2+} , ATP, total free amino acids, glycogen, water losing rate of the skeletal muscle meat (LD, longissimus dorsi) of 30 beef, and the beef skeletal muscle treated with electricity stimulate and stored for 10 days at the temperature close to cryoscopic point($-1 \sim -1.7^{\circ}\text{C}$) were studied. The results showed that the level of glycogen, total free amino acids, dissolubility phosphorus, water losing rate changed significantly in the second day after slaughtered, but became steady after that, while level of Ca^{2+} increased in the third day. The graphs of changes of properties have been created. The correlations among properties have been decided by Pearson analysis, correlations between Ca^{2+} and dissolubility phosphorus, Ca^{2+} and water losing rate, dissolubility phosphorus and water losing rate, glycogen and total free amino acids, glycogen and dissolubility phosphorus all of correlation coefficients were at significant level ($p < 0.01$), Ca^{2+} and glycogen was at significant level ($p < 0.05$), and the correlation equations have computed. It was concluded that rigor mortis initiated in 13.5 hours and terminated in 48 hours immediately after slaughtering by this research.

Key words: beef skeletal muscle meat; close to cryoscopic point; rigor mortis; biochemistry properties

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2006)10-0054-05

近冰点就是将肉保存在接近其冰点温度下, 而正向近冰点是指宰后肉在低温下由胴体温度逐渐降至接近其冰点温度。肉类的冻结点通常位于 -2°C 左右, 其中牛肉、

猪肉、羊肉的冻结点为 -1.7°C , 近冰点贮藏时仅在肉表层约 1cm 处形成冰晶, 较好地保持了肉的自然结构^[1]。正向近冰点温度在肉类产业中的应用目前还不太广泛,

收稿日期: 2006-08-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30470440)

作者简介: 德力格尔桑(1943-), 教授, 主要从事农畜产品贮藏与加工教学与科研。

对于经一定电刺激并在近冰点温度下($1 \sim -1$)保存的牛肉理化特性的研究国内外报道很少,尤其对于肌肉僵直的发生和发展的判断仅仅是凭经验和感官进行,缺乏科学的依据。本文通过对牛肉主要生化指标变化的研究,来揭示各生化指标在宰后的变化及相互关系,判断其在宰后肌肉僵直过程中的作用,为牛肉的生产提供理论基础。且创新性的综合各指标的变化对僵直启动和结束科学地进行判断,从而对于肉品企业保证产品质量一致及节约能源提供指导作用,促进牛肉的科学化生产。

1 材料与方法

1.1 材料

牛肉样品均来源于内蒙古科尔沁牛业有限公司。从宰后 3h 经电刺激(高频直流脉冲,电压 42V,电流 1.3A,频率 50MHz,时间 18s)30 头肉牛的胴体上取位于十二和十三脊椎之间的背最长肌约 1.5kg,分割成均匀的 10 份后,真空包装。近冰点($1 \sim -1$)冷库保存。

1.2 方法

分 10d 对牛肉中游离 Ca^{2+} 、可溶性磷、总游离氨基酸、糖原、失水率分别进行测定。第 0d 是在宰后 3h 进行的,第 1~9d 是在宰后 24~216h 测定,每次测定间隔 24h。

1.2.1 游离钙的测定 乙二胺四乙酸钠(EDTA- Na_2)滴定法^[2]。

1.2.2 糖原测定 利用蒽酮比色法测定^[3]。

1.2.3 总游离氨基酸的测定 茚三酮比色法^[4]。

1.2.4 ATP 的测定 对苯二酚—亚硫酸钠还原法定量分析 ATP 解离的磷含量,从而获得 ATP 的含量^[5]。

1.2.5 肉保水性测定 利用膨胀压缩仪,采用加压重量法测定^[6]。

2 结果与分析

2.1 各项指标的变化

对游离 Ca^{2+} 、ATP、总游离氨基酸、糖原、失水率的测定结果计算均值。据计算结果可作出宰后牛肉 10d 中游离 Ca^{2+} 、ATP、总游离氨基酸、糖原、失水率变化曲线图。

从图 1 可看出,游离钙的总体变化是先增加后减少。宰后 0d(3h)到第 3d(72h)游离钙的含量显著增加,第 4d(96h)与第 3d(72h)含量基本相等,从第 5d(120h)到第 9d(216h)游离钙持续平稳下降。

从图 2 可以看出,牛宰后肌肉糖原的含量总体趋势是不断减少的。第 0d(3h)到第 1d(24h)糖原含量下降幅度非常明显,第 1d(24h)的含量几乎是第 0d(3h)的一半,从

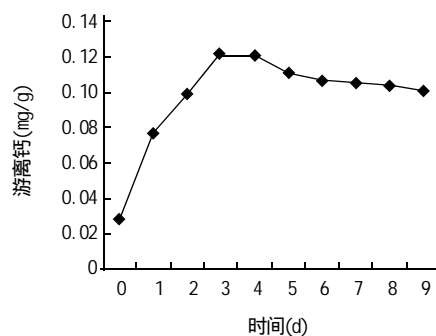


图1 牛肉游离钙含量的变化

Fig.1 Changes of the level of free Ca^{2+}

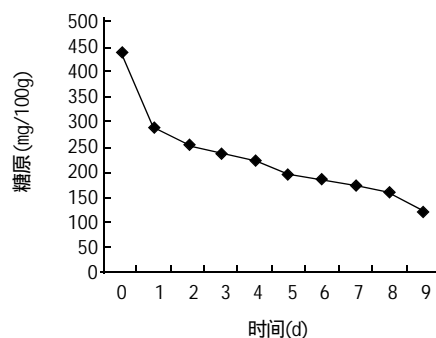


图2 牛肉糖原含量的变化

Fig.2 Changes of the level of glycogen

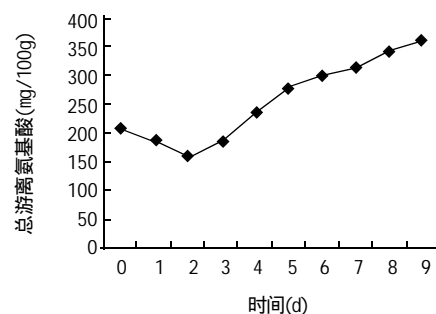


图3 宰后牛肉游离氨基酸的变化

Fig.3 Changes of the level of total free amino acids

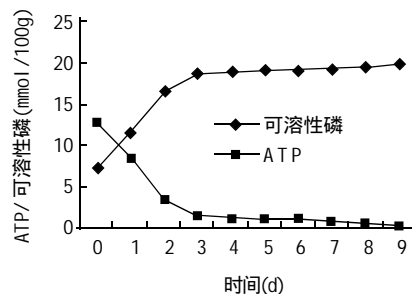


图4 牛肉可溶性磷及ATP的变化

Fig.4 Changes of the level of dissoluble phosphorus and ATP

第 1d(24h)开始糖原含量仍在下降,但幅度趋于平缓,直到第 9d(216h)。

从图 3 可以看出,牛宰后肌肉总游离氨基酸的含量总体变化是先减少后增加的。第 0d(3h)到第 2d(48h)总游离氨

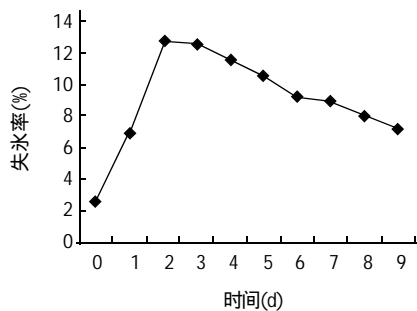


图5 牛肉失水率的变化

Fig.5 Changes of water losing rate

基酸含量有平缓的下降,从第2d(48h)开始含量逐渐明显增加,直到第9d(216h),总含量几乎是初始值的2倍。

从图4可以看出,牛宰后肌肉可溶性磷的含量总体变化是增加的。第0d(3h)到第2d(48h)可溶性磷的含量显著增加,第3d(72h)到第9d(216h)可溶性磷持续平稳上升。根据可溶性磷的变化可以相应的得出10d中ATP含量总体上是下降的,如图4中第0d(3h)到第2d(48h)下降幅度非常明显,后几天下降的幅度很小,直到最后ATP几乎耗尽。从图5可以看出,牛宰后肌肉失水率总体变化是先增加后减少的。第0d(3h)到第2d(48h)失水率显著增加,第2d(48h)几乎是初始值的6倍,从第3d(72h)到第9d(216h)失水率持续明显下降。

2.2 相关性分析

利用SAS软件对30头牛肉样的对指标间作Pearson进行相关性分析,结果见表1。从表1可以看出本实验中宰后牛肉所测得的各项指标都不是单独发生更不是单独发挥作用,而是相互影响相互作用,其中游离钙与可溶性磷($r=0.362$)、游离钙与失水率($r=0.666$)、可溶性磷与失水率($r=0.438$)之间呈正相关,而糖原与总游离氨基酸($r=-0.6280$)、糖原与可溶性磷($r=-0.6166$)呈现负相关,相关系数极显著($p < 0.01$);游离钙与糖原($r=-0.220$)之间呈现负相关,相关系数显著($p < 0.05$)。

表1 各指标间的相关性分析(r值)
Table 1 Correlative analysis among properties (r values)

	游离钙	糖原	总游离氨基酸	可溶性磷	失水率
游离钙	1.000	-0.220*	0.0406	0.362**	0.666**
糖原		1.000	-0.628**	-0.617**	-0.141
总游离氨基酸			1.000	-0.151	-0.164
可溶性磷				1.000	0.438**
失水率					1.000

注: * 为显著($p < 0.05$); ** 为极显著($p < 0.01$)。

2.3 肌肉僵直的判断

利用SAS软件的ANOVA过程,对30头牛肉样的各项指标测定结果进行综合方差分析可以看出宰后第0d(3h)到第2d(48h)各项指标综合变化同其余几天的变化相比差异显著($p < 0.05$),据此可以初步得出僵直就发生在

表2 五项指标10d(0~9d)中综合变化的多重比较结果($n=30$)

Table 2 Duncan's multiple range test for variable of properties

天数(d)	$\bar{X} \pm S D$	天数(d)	$\bar{X} \pm S D$
0	109.42 ± 188.67 ^a	5	80.30 ± 118.46 ^{bc}
9	96.63 ± 152.39 ^b	4	79.92 ± 121.92 ^{bc}
8	93.72 ± 142.84 ^{abc}	3	75.61 ± 116.76 ^{bc}
7	85.86 ± 133.15 ^{abc}	2	69.95 ± 113.76 ^c
6	82.84 ± 125.51 ^{bc}	1	58.34 ± 104.35 ^c

注: a、b、c表示在同一列中,右上角标有不同字母的数据相互间的显著水平为 $p < 0.05$ 。

宰后的第0d(3h)到第2d(48h)之间(见表2)。

以各项指标的值为因变量,天数为自变量做函数,结果如下:

游离钙: $A=0.0006x^3 - 0.0126x^2 + 0.0793x - 0.038$;

糖原: $B=3.3191x^2 - 62.827x + 445.4$;

总游离氨基酸: $C=-1.0067x^3 + 18.52x^2 - 75.449x + 262.78$;

可溶性磷: $D=0.0434x^3 - 0.8721x^2 + 5.093x - 0.6985$;

失水率: $E=0.0817x^3 - 1.6776x^2 + 9.9624x - 5.89$ 。

综合以上结果,同时做消除量纲的处理,可得:

$BL = ([A] + [B] + [C] + [D] + [E])$

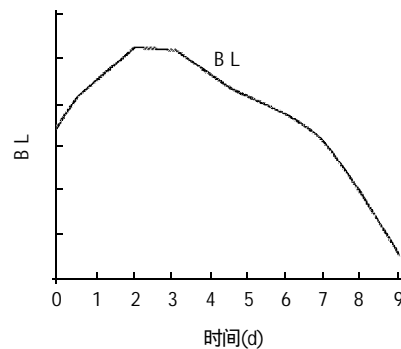


图6 宰后牛肉BL值随时间的变化图

Fig.6 Changes of BL of beef with time

用BL的大小变化来描述宰后肌肉的生物学生命状态。用METLAB软件对以上函数进行综合分析并作出BL随时间的变化曲线图可看出:宰后约0.5d(10.5h)出现一个小的转折点,在0.5d(10.5h)以前变化较平缓,而在0.5~2d(48h)之间变化非常剧烈,第2d(48h)是转折点,以后几天变化曲线呈光滑下降趋势,据此可以判定僵直在宰后约3h+10.5h=13.5h后开始发生的,而在接近48h达到最大化(见图6)。将13.5和48分别代入以上方程,可得:僵直启动时,游离钙、糖原、总游离氨基酸、可溶性磷、失水率的值分别为:0.05465mg/g、358.63mg/100g、187.88mg/100g、5.13mmol/100g、5.55%;僵直最大化时各项值分别为:0.09894mg/g、256.69mg/100g、159.30mg/100g、8.69mmol/100g、12.8%。

3 讨论

3.1 游离钙离子变化

实验证实肌浆网中 Ca^{2+} 的释放促进了肌肉的收缩, 有以下几种可能原因使 Ca^{2+} 游离出来^[7,8]: 僵直中 pH 值的下降; ATP 含量的下降; 由于蛋白的水解, Ca^{2+} 泵结构崩解; 本实验中, 游离钙的增加是与各个指标的变化是同时发生的, 这表明糖原降解、pH 值降低^[18]、ATP 降解、蛋白的水解都对其起作用。但在其它指标出现转折变化的时候, 游离钙仍在增加, 出现转折变化要比其它滞后, 这估计主要是由于蛋白质的降解造成的。

3.2 肌肉糖原的降解

糖原的完全降解依靠两种酶的作用, 即糖原磷酸化酶和糖原脱支酶(GDE)。糖原磷酸化酶受 pH 值很大, 最适 pH 值在 7 左右, 随着酸度升高而逐渐失去活性; 糖原脱支酶在一定程度上也受 pH 值的影响, Long 研究发现, GDE 在 pH 值为 5.5~6.2 范围内保持其活性, 而 Maria 实验表明 GDE 的活性当 pH 值为 6.5 时最大^[9]。本实验中第 0d(3h)到第 2d(48h)随着糖原含量的急剧下降, pH 值由中性下降到了最低^[18]。

3.3 总游离氨基酸的变化

本实验中总游离氨基酸的量宰后第 4d 有明显的增加, 而 Calkins、Dutson、Lawrie 等人认为溶酶体组织蛋白酶在牛肉成熟的早期作用不大。Chambers 认为宰后 14d 才有酶类仅有 11% 的增加。M. C. sanz 研究表明宰后 3~5d 内游离氨基酸有微小的增加, 直到 10d 后才有微小的增加^[10]。本研究结果与上述的说法都不同, 可能是因为对宰后牛体进行了电刺激, 促进了溶酶体膜的破裂和溶酶体组织蛋白酶的释放^[11]。Takahashi 也曾提出过蛋白降解作用的“钙理论”: 是当 0.1mmol/L Ca^{2+} 出现的时候骨架蛋白开始移动和分裂^[13]。增加的游离氨基酸也可能包括骨架蛋白降解的产物。M. S. Rhee 和 M. Seki kawa 的实验都表明低压电刺激会使骨架蛋白在 2 贮存时的降解加速^[12]。在本实验中牛肉宰后的前 2d 总游离氨基酸的含量有小幅下降, 尤其第 3d 降到最低, 这可能是因为随着僵直进行, 肌动蛋白与肌球蛋白结合强度增加, 氨基酸的游离量减少。

3.4 宰后肌肉中可溶性磷及 ATP 的变化

可溶性磷主要是由肌肉中 ATP 和肌酸磷酸(CP)解离下来的磷组成, 而肌酸磷酸所解离下来的磷的量同 ATP 解离的磷相比量非常少, 几乎可以忽略^[15]。而且, 肌肉中肌酸磷酸的含量也很小, 它的解离也只是在最初的几个小时, 在以后几天的可溶性磷的变化仅仅是 ATP 中磷的变化所构成。通过宰后 10d 中对 ATP 的观测, 可以发现 ATP 急剧下降与肌肉开始发生僵直几乎是同时进行的, 在达到最大僵直时 ATP 几乎没有剩余。

3.5 失水率的变化

在本实验中, 宰后第 2d(48h)时, 肌肉 pH 值下降

至极限值^[18]时, 保水率最低。这是因为该 pH 值正是肌原纤维多数蛋白质的等电点附近, 所以, 此时即使蛋白质没有完全变性, 其持水性也会降低。本实验也证实宰后的牛肉随着 ATP 的急剧减少保水性明显下降。D. M. Ferguson 曾提出肉中结合水减少的三分之二是由于 ATP 的分解所致, 仅有三分之一是由于乳酸的生成 pH 值下降而结合水减少所造成^[13]。牛肉在 0~4 贮存时, 12、24、48h 的失水率分别为: 16%、19%、23%^[14]。而本实验中, 即使僵直达到了最大化时, 30 头牛中最大失水率仅为 18.71%, 这说明近冰点的温度下, 牛肉没有因发生寒冷收缩而使牛肉保水性异常降低的现象。

3.6 BL 值和宰后牛肉僵直

许多学者和生产者对于僵直的判断仅仅根据常识或某一指标的变化来进行, 而本实验是用综合五项指标的 BL 值来判断。BL 值在第一天到第 3d 是明显上升的, 推测是由于宰后肌肉中还有大量的能量物质存在, 使肌肉仍具有活性而呈现出部分生命特征, 从第 4d 开始综合变化持续平缓下降, 能量物质几乎消耗殆尽, 肌肉逐渐失去生命活性。在常温下宰后牛肉僵直一般是在 12h 以后, 温度越低开始越晚^[16,17], 而且在 0~4 僵直的完成需一周左右的时间。而僵直较早而又较快的发生, 推测是电刺激加速了僵直化进程。

4 结 论

4.1 在正向近冰点温度下, 肉牛宰后的 10d(0~9d)中, 骨骼肌肉中糖原、总游离氨基酸、ATP、失水率的变化几乎是同步的, 均在刚宰后的 0~1d(24h)中变化明显, 所测定的牛肉样品在宰后约 13.5h 就进入了僵直起始阶段, 第 2d(48h)达到转折点, 此时标志着尸僵达到最大化。而游离 Ca^{2+} 数量第 3d(72h)达到最大值。证明肌肉进入最大尸僵化之后钙离子继续被释放一段时间。

4.2 在正向近冰点温度下, 骨骼肌肉中各主要生化指标变化相互之间存在显著的相关性。其中, 游离钙与可溶性磷、游离钙与失水率、可溶性磷与失水率、糖原与总游离氨基酸、糖原与可溶性磷之间相关系数均极显著($p < 0.01$); 游离钙与糖原之间相关系数显著($p < 0.05$)。

4.3 宰后肌肉的生物学生命状态, 是由其主要生化特性综合作用决定的。并非单一因素影响所致。

参考文献:

- [1] 乌兰塔娜. 苏尼特羊肌肉共轭亚油酸含量分析及稳定性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2003. 1-20.
- [2] 孙玉明, 罗明. 畜禽肉品学[M]. 济南: 山东科技出版社, 1993. 313-315.
- [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. 11-18.
- [4] 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.

Ca²⁺ 浸泡处理对发芽糙米生理指标 和 GABA 等物质含量的影响

韩永斌, 顾振新*, 蒋振辉

(南京农业大学 农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

摘 要: 本文研究了外源 Ca²⁺ 对糙米在浸泡发芽过程中生长状况、呼吸强度和 γ -氨基丁酸(GABA) 等几种物质含量的影响。结果表明, Ca²⁺ 处理浓度在 0.5 ~ 2.5 mmol/L 时可加速糙米生长, 处理浓度为 10 mmol/L 时抑制其生长; Ca²⁺ 能提高发芽糙米的呼吸强度, 有利于 GABA 的积累和抑制 Glu, 且浓度越高, 效果越明显; 但对可溶性蛋白质、游离氨基酸、淀粉和还原糖含量的影响不显著。

关键词: Ca²⁺; 发芽糙米; 生理指标; γ -氨基丁酸(GABA); 主要物质含量

Effect of Ca²⁺ on Some Physiological Indexes and Contents of γ -aminobutyric Acid and Other Essential Substances in Germinating Brown Rice Immersed into Aerobic Water

HAN Yong-bin, GU Zhen-xin*, JIANG Zhen-hui

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

Abstract: Immersed into the solutions containing 0.5, 2.5 and 10.0 mmol/L Ca²⁺ respectively and aerated at the speed of 1.50 L/min, brown rice germinated. The growth status, respiratory density of and several compounds contents in germinating brown rice were observed and assayed. The results suggested that Ca²⁺ could play double roles in brown rice germination, i.e. 0.5 mmol/L and 2.5 mmol/L Ca²⁺ could accelerate the growth of brown rice shoot, but 10 mmol/L Ca²⁺ inhibited this process. It

收稿日期: 2006-07-09

*通讯作者

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2004079)

作者简介: 韩永斌(1963-), 男, 副教授, 在职博士, 研究方向农产品贮藏加工。

- | | |
|---|--|
| [5] 靳敏, 夏玉宇. 食品检验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 434-438. | degradation of myofibrillar proteins in Korean native cattle (Hanwoo)[J]. Meat Science, 2000, 55(4): 391-396. |
| [6] 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. | [13] D M Ferguson, H L Bruce A, J M Thompson B. Factors affecting beef palatability-farmgate to chilled carcass[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2001, 41: 879-891. |
| [7] D J A Cole, R A Lawrie. Meat[M]. London: The Butterworth Group, 1975. 271-281. | [14] K J Wiliczk, C Podmore. Quality changes and shelf life of imported vacuum-packaged beef chuck during storage at 0 [J]. Meat Science, 2001, 59(1): 71-77. |
| [8] J C Forrest, D Aberle, B Hedrick, et al. Principles of meat science[M]. San Francisco: W H Freeman and Company, 1975. 148-188. | [15] R W Purchas, S M Rutherford, P D Pearce. Concentrations in beef and lamb of taurine, carnosine, coenzyme Q ₁₀ , and creatine[J]. Meat Science, 2004, 66(3): 629-637. |
| [9] Maria Ylä-Ajos, Mari ta Ruusunen, Eero Puolanne. Activity of porcine muscle glycogen debranching enzyme in relation to pH and temperature [J]. Meat Science, 2005, 69: 143-149. | [16] K O Honikel, P Roncalés, R Hamm. The influence of temperature on shortening and rigor onset in beef muscle[J]. Meat Science, 1983, 8(3): 221-241. |
| [10] C Feidt, A Petit. Release of free amino acids during ageing in bovine meat[J]. Meat Science, 1996, 44(2): 19-25. | [17] Robin E Jeacocke. The kinetics of rigor onset in beef muscle fibres[J]. Meat Science, 1984, 11(4): 237-251. |
| [11] M Seki kawa, K Seno. Contribution of transaminase affects accumulation of free amino acids in electrical stimulated beef[J]. Animal Science and Technology, 1990, 65: 1034-1043. | [18] 艳茹. 牛宰后肌肉生物电阻抗与pH值相关性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006. 15-20. |
| [12] M S Rhee, Y C Ryu, J Y Imm, et al. Combination of low voltage electrical stimulation and early postmortem temperature conditioning on | |