

# 电刺激和延迟冷却对牛肉食用品质的影响

罗 欣, 周光宏

(南京农业大学食品科技学院, 南京 210095)

**摘要:** 【目的】探讨电刺激和延迟冷却对宰后牛胴体温度、pH降低速率和肉的食用品质的影响。【方法】24头鲁西黄牛杂交牛按试验设计进行电刺激(刺激时间60 s、电压42 V、电流0.7 A、频率50 Hz)和延迟冷却(温度 $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 、时间3 h, 随后转入常规冷却间至24 h)处理, 研究不同处理对牛肉食用品质的影响。【结果】电刺激处理没有改变胴体温度的降低速率, 但显著加快了胴体pH的降低速率; 电刺激和延迟冷却没有改变胴体的冷却失重, 但降低了背最长肌的保水性。两种处理均可以有效预防冷收缩、降低肉的剪切力值, 改善肉的嫩度。【结论】在肉牛屠宰加工流程中, 采用电刺激技术或延迟冷却处理可以有效改善肉的食用品质。

**关键词:** 电刺激; 延迟冷却; 嫩度; 食用品质; 剪切力值; 牛肉

## Effect of Electrical Stimulation and Delay Chilling on Eating Quality of Beef

LUO Xin, ZHOU Guang-hong

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

**Abstract:** 【Objective】The objective of this paper was to study the effects of electrical stimulation and delay chilling on drop rate of temperature and pH of carcass and eating quality of beef. 【Method】This article studied the effect of electrical stimulation (ES 60 s, 42 V, 0.7 A, 50 Hz) and delay chilling (DC ( $15 \pm 2^\circ\text{C}$ ) for 3 h, then changed into conventional chilling till 24 h) on eating quality of beef L-muscle. 【Result】Electrical stimulation of carcass had no effect on the carcass temperature drop, increased the rate of pH drop. Both ES and DC decreased water holding capacity of beef, though did not change the shrinkage of carcass. 【Conclusion】The results suggested that electrical stimulation and delay chilling could prevent cold shortening and lowered the shear force of beef.

**Key words:** Electrical stimulation; Delay chilling; Tenderness; Eating quality; Shear force; Beef

## 0 引言

【研究意义】牛肉的嫩度(客观指标是剪切力值)是牛肉最重要的食用品质。研究表明, 美国人可以接受的牛肉的剪切力值小于4.2 kg。为了改善牛肉的嫩度, 通常对牛肉进行2~3周的低温成熟。然而长时间的成熟既增加了牛肉的生产成本、降低了产业的经济效益, 又降低了牛肉的微生物安全性和保质期。因此, 如何采用新技术在保持牛肉食用品质的前提下加快牛肉的成熟, 一直是肉类研究的热点问题。【前人研究进展】畜禽宰后冷却的目的在于保证食品安全、最大

限度地延长产品的保质期并降低导致最终产品食用品质劣化的胴体变化——尽可能快地降低胴体的温度、抑制微生物的生长并减缓肌肉蛋白质的变性, 最佳的冷却程序在于尽可能地降低冷却时间和胴体失重, 并提供最佳的肉品品质<sup>[1]</sup>。工业中应用的冷却方式包括常规冷却、延迟冷却、快速冷却、喷淋冷却等。延迟冷却是指将胴体在冷却间外放置一定的时间后, 再进行冷却加工的胴体冷却过程<sup>[2]</sup>。1976年, Will<sup>[3]</sup>首次研究了两种冷却方式(1.1 $^\circ\text{C}$ 、48 h的常规冷却和16 $^\circ\text{C}$ 放置3、5、7 h的延迟冷却)对肉剪切力值的影响, 结果发现两种冷却程序对肉的品质影响不显著。随后,

收稿日期: 2006-10-30; 接受日期: 2006-12-15

基金项目: 国家“十五”科技攻关计划资助(2004BA514A04)

作者简介: 罗 欣(1961-), 男, 博士, 现为山东农业大学食品学院教授, 研究方向为畜产品加工。Tel: 0538-8242745; E-mail: luoxin@sdau.edu.cn

Marsh<sup>[4]</sup>将牛半片胴体在 37℃ 条件下放置 3 h, 然后进入冷却间常规冷却, 发现肉的嫩度比单纯的常规冷却更好。Fields<sup>[5]</sup>将阉牛和奶牛的半片胴体在 14~19℃ 条件下放置 20 h, 与传统冷却方式相比获得了更嫩的肉, 同时, 高温成熟 7 d 的牛排, 其嫩度的感观评分更高。国内在此领域的研究仍是空白。到目前为止, 尽管大部分的研究结果证实延迟冷却对改变牛肉的嫩度方面具有积极的作用, 然而延迟冷却在改善肉的食用品质方面的研究尚没有完全一致的结果。电刺激是指对屠宰后的牛、羊胴体, 在一定的电压、频率下作用一定的时间。1749 年, Benjamin Franklin 首次对宰后火鸡进行电刺激, 发现刺激后火鸡肉的嫩度提高; 1951 年, 美国人 Harsham 和 Deatherage 获得了利用电刺激使肉嫩化的第一个专利, 但直到 1978 年美国旧金山的 Lefield 公司才首次将电刺激技术应用于肉品工业<sup>[6]</sup>。电刺激最早是用来预防牛、羊肉因冷收缩所致的韧化作用的<sup>[1]</sup>。刺激电流通过神经系统(宰后 4~6min 内)或是直接使肌膜去极化引起肌肉收缩, 使肉的糖酵解速率提高大约 100 倍<sup>[6]</sup>, 导致肉的 pH 快速降低, 从而使肉在较高的温度下进入尸僵状态, 避免冷收缩的发生。同时, 电刺激可以加快牛肉的死后嫩化过程, 减少肉的成熟时间, 是一种肉类的快速成熟技术<sup>[7]</sup>。另外, 电刺激还具有改善肉的颜色和外观, 避免热环(heat-ring)的产生等作用<sup>[8]</sup>。目前, 电刺激技术以其适用性和有效性已为国外很多肉牛屠宰企业应用。【本研究切入点】屠宰过程中的电刺激处理、宰后胴体的冷却速度(冷却方式)影响冷却过程中肌肉的时间-温度-pH 关系<sup>[9]</sup>, 决定了胴体僵直的性质、肌纤维收缩的程度、肉嫩化过程的起始时间和肉的嫩化程度, 对肉的食用品质有显著影响。不同温度对肌肉僵直的研究发现, 离体肌肉 12~15℃ 开始尸僵, 肉的收缩程度最小, 肉的嫩度最好<sup>[10,11]</sup>。低于 12℃ 导致胴体产生冷收缩, 高于 15℃ 则产生热收缩<sup>[12]</sup>。合理冷却程序的开发, 使肌肉在 12~15℃ 开始尸僵, 可以有效降低尸僵对肉品质的影响。但关于电刺激和延迟冷却对牛肉食用品质的影响迄今未见系统的研究报道。【拟解决的关键问题】探讨延迟冷却和电刺激对宰后肉的 pH、胴体温度降低速率和牛肉食用品质的影响, 以期获得更佳的胴体宰后处理程序和工序参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理

挑选 24 月龄左右、体重相近的鲁西黄牛、西门塔

尔杂交牛 24 头[体重(529.5±65.3) kg; 胴体重(279.1±28.3) kg], 随机分成 2 组。电刺激处理组: 12 头肉牛刺杀放血后采用德国 Freund 公司生产的 EST-601 型电刺激仪进行电刺激(刺激时间 60 s、电压 42 V、电流 0.7 A、频率 50 Hz), 经正常流程屠宰后, 再随机分为常规冷却处理(温度 0~4℃、风速 0.5m·s<sup>-1</sup>、时间 24 h; EC, electrical stimulation)和延迟冷却处理组[温度 15±2℃、时间 3 h, 随后转入常规冷却间至 24 h; EC&DC, electrical stimulation and delay chilling]; 对照组: 12 头肉牛常规屠宰后随机分为常规预冷组(N, normal chilling)和延迟冷却组(DC, delay chilling)。

胴体冷却后, 分别取不同处理胴体腰荐椎结合部位到 12~13 肋间的西冷肉, 分割成 3 mm 左右厚的肉块, 真空包装后在 0~4℃ 成熟 0、3、7、10 d, 按照试验设计要求检测各项指标。

肉牛按照伊斯兰屠宰方式屠宰, 生产工艺流程为: 肉牛验收→宰前休息与禁食→宰前淋浴→击昏→刺杀放血→电刺激→去头、蹄→预剥皮→机械撕皮→开膛去内脏→二分体(称重: 热胴体重)→胴体修整→冷却→成熟。

### 1.2 试验仪器与设备

电刺激仪, 型号 EST-601, 德国 Freund 公司产; 电热恒温水浴锅, 型号 DK-S28, 上海精宏实验设备有限公司产; 酸度计, 型号 MP-120, 梅特勒-托利多仪器有限公司产; 数字温度计, 型号 DM-6801A, 深圳胜利高电子科技有限公司产; 质构仪, 型号 TA-XT2i, 英国 Stable Micro System 公司产。

### 1.3 胴体温度与 pH 的测定

宰后 1 h 始, 每间隔 2 h 用 DM 6801A 型数字温度计和 MP-120 型酸度计测定胴体的温度与 pH, 测定位置为半胴体背最长肌 12~13 肋处, 探头插入深度为 2 cm, 连续测定 3 次, 取平均值。

### 1.4 牛肉品质的测定

1.4.1 冷却失重 预冷 24 h 后, 对胴体称重, 记为冷胴体重, 冷却过程中胴体失重按公式(1)计算(重复数为 6):

$$\text{冷却失重}(\%) = \frac{\text{热胴体重} - \text{冷胴体重}}{\text{热胴体重}} \times 100 \quad (1)$$

1.4.2 汁液损失 从半胴体背最长肌第 12~13 肋处取 2.5 cm 厚肉块, 修整去除可见的皮下脂肪和结缔组织。肉块称重(W<sub>1</sub>)后真空包装, 4℃ 放置 24 h, 打

开包装取出肉块, 用滤纸吸干肉块表面的汁液, 称重 ( $W_2$ )。汁液损失 (purge loss) 按公式 (2) 计算 (重复数为 9) :

$$\text{汁液损失(\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

1.4.3 蒸煮损失 称重 ( $W_2$ ) 后, 肉块封口包装在  $80^\circ\text{C}$  水浴中加热至肉块中心温度达到  $75^\circ\text{C}$ , 保持 20 min, 将熟肉块放于  $0\sim 4^\circ\text{C}$  过夜, 用滤纸吸干肉块表面汁液, 称重, 记作  $W_3$ ; 按公式 (3) 计算蒸煮损失 (cooking loss) (重复数为 9)。

$$\text{蒸煮损失(\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2} \times 100 \quad (3)$$

1.4.4 样品剪切力值的测定 本试验采用 Warner-Bratzler 法测定样品的剪切力值。样品水浴加热到中心温度  $75^\circ\text{C}$ 、保持 20 min, 冰箱内过夜。用直径为 1 cm 的空心取样器沿肌纤维方向取肉柱 (注意避开筋膜), 用质构分析仪 (TA-XT2i 英国 Stable Micro System) 的 HDP/BSW 探头测定肉柱的剪切力值, 每个肉块的剪切力值为各肉柱剪切力值的平均值 (重复数为 12)。

1.5 肌原纤维 MFI (myofibrillar fragment index) 的测定

参考 Culler<sup>[13]</sup>等提出的方法并稍加改进。剪取 4 g 经修整后的牛肉样品, 放入匀浆器中, 加 40 ml 预冷 ( $4^\circ\text{C}$ ) 的 MFI 缓冲液 ( $100 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ KCl}$ ,  $11.2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ K}_2\text{HPO}_4$ ,  $8.8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ KH}_2\text{PO}_4$ ,  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ EGTA}$ ,  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ MgCl}_2$ ,  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ NaN}_3$ ), 于冰浴中高速匀浆 3 次 ( $10\ 000 \text{ r/min}$ ), 每次 20 s (中间间隔 1 min), 匀浆后用 50 ml 离心管冷冻离心 ( $1\ 000\times g$ , 15 min,  $4^\circ\text{C}$ ), 弃去上清, 将沉淀用 40 ml 预冷后的 MFI 缓冲液悬浮后再离心 ( $1\ 000\times g$ , 15 min,  $4^\circ\text{C}$ ), 弃去上清, 用 10 ml 预冷的 MFI 缓冲液将沉淀充分悬浮, 将悬浮液用 150 目滤布过滤除去结缔组织后再用 10 ml 预冷的 MFI 缓冲液洗涤离心管, 并再次过滤。将滤液用双缩脲法测蛋白浓度, 然后用 MFI 缓冲液调整悬浮液蛋白浓度为  $0.5 \text{ mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ , 在  $540 \text{ nm}$  处测吸光度, 将所得结果乘以 200 后即为 MFI 值。

1.6 数据统计分析

数据用 SPSS11.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

2.1 电刺激和延迟冷却对胴体温度和 pH 下降的影响

2.1.1 电刺激和延迟冷却对胴体温度下降的影响 如图 1 所示, 宰后 1、3、5、7、9、11 h 内, 延迟冷却处理 (DC 和 EC&DC) 的胴体温度显著高于常规冷却处理和电刺激处理 (N 和 EC) ( $P<0.05$ ), 表明延迟冷却处理对胴体温度的下降速率有明显作用, 延迟冷却减缓了胴体温度的降低速度。延迟冷却处理 (DC) 的胴体温度和电刺激延迟冷却处理 (EC&DC) 的胴体温度之间没有显著差异, 常规冷却处理 (N) 和电刺激处理 (EC) 间也无显著差异 ( $P>0.05$ ), 显示电刺激处理对牛胴体温度降低速度无显著影响, 这与人所获得的电刺激处理对胴体温度降低速度无显著影响的结果一致<sup>[14]</sup>。宰后第 23 h 时, 所有的胴体温度都降到  $7^\circ\text{C}$  以下。

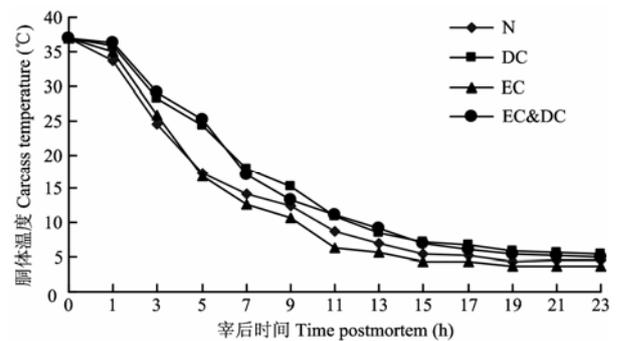


图 1 不同处理对胴体温度变化的影响

Fig. 1 Effects of different treatment on temperature decline of carcasses

2.1.2 电刺激和延迟冷却对胴体 pH 下降的影响 试验结果显示 (图 2), 宰后 1 h, 4 组胴体的 pH 均在 7.0 左右, 在其后的 9 h 内, 延迟冷却处理组 (DC)、电刺激组 (EC)、电刺激和延迟冷却处理组 (EC&DC) 的胴体 pH 均比常规冷却处理组 (N) 低 ( $P<0.05$ )。电刺激处理组 (EC) 宰后 3 h 时 pH 降到 6.0 以下, 而且, 电刺激处理延迟冷却组 (EC&DC) 的 pH 更低, 与 EC 组相比差异显著 ( $P<0.05$ ), 说明延迟冷却和电刺激处理加快了胴体 pH 的下降速度。延迟冷却降低了胴体温度的降低速率, 肌肉糖原酵解速率比对照组快, 使得肉的 pH 快速下降。电刺激处理加快了宰后胴体 ATP 的消耗, 使肉的糖酵解速率提

高大约 100 倍，较高的糖原酵解速度使肉的 pH 下降速度加快<sup>[2,15]</sup>。此后，4 个处理的 pH 缓慢下降，宰后 24 h 时，所有胴体接近最终 pH 5.4。

2.1.3 宰后胴体温度和 pH 之间的关系 宰后胴体温度和 pH 之间存在线性关系，4 个处理均具有相关性。

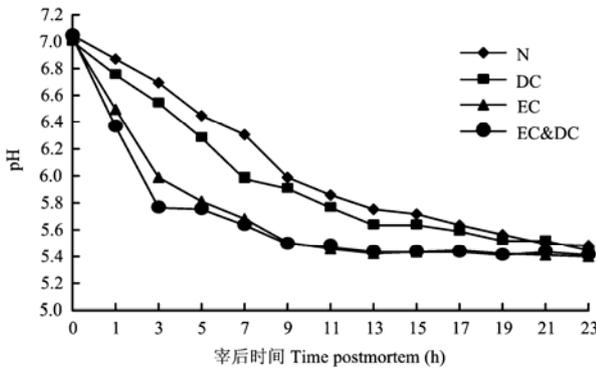


图 2 不同处理对牛胴体 pH 的影响

Fig. 2 Effect of different treatment on pH decline of carcasses

表 2 不同处理胴体温度和 pH 间的相互关系

Table 2 Relationships between pH values and temperatures of beef carcasses for different treatment

	pH 5.8 时肉的温度℃ Carcass temperature at pH 5.8	pH 6.2 时肉的温度℃ Carcass temperature at pH 6.2	温度 11℃ 时肉的 pH pH values at carcass temperature 11℃
常规冷却 N	8.1	16.6	5.94
延迟冷却 DC	12.3	21.3	5.70
电刺激 ES	14.8	24.8	5.65
电刺激+延迟冷却 ES&DC	18.8	30.2	5.52

2.2.1 电刺激和延迟冷却对胴体冷却失重的影响 试验结果表明(图 3),4 个处理的平均冷却失重为 1.48%，这个数值在 Kastner<sup>[16]</sup>所报道的冷却过程中胴体重量损失在 0.75%~2%。与常规冷却组相比，其它处理组胴体冷却失重均没有明显差异 ( $P>0.05$ )。这说明电刺激和延迟冷却处理对牛胴体的冷却失重没有显著影响。

2.2.2 电刺激和延迟冷却对背最长肌汁液损失的影响 肉的多汁性是一项重要的肉质指标。图 3 显示，延迟冷却和电刺激处理对牛背最长肌汁液损失有显著影响 ( $P<0.05$ )，延迟冷却和电刺激均增加了汁液损失，但 DC、EC、EC&DC 三组之间没有明显差异 ( $P>0.05$ )。与 Channon 等<sup>[17]</sup>关于低压电刺激使牛背最长肌汁液损失增加的结果一致。

电刺激处理组、常规冷却处理组和延迟冷却处理组胴体温度和 pH 之间的相关性高，而电刺激延迟冷却处理的相关性较低 (表 1)。

表 1 不同处理组宰后 24 h 内胴体温度和 pH 之间的关系

Table 1 Relationships between pH values and temperatures of beef carcasses within 24 h post mortem for different treatment

处理 Treatments	关系式 Regression equation	$R^2$
常规冷却 N	$pH_i=0.047T_i+5.4201$	0.947
延迟冷却 DC	$pH_i=0.0441T_i+5.2599$	0.989
电刺激 EC	$pH_i=0.04T_i+5.2079$	0.926
电刺激+延迟冷却 EC&DC	$pH_i=0.0351T_i+5.1378$	0.766

不同处理组宰后 24 h 内肉的 pH 和温度间的相互关系见表 2。

2.2 电刺激和延迟冷却对牛肉品质的影响

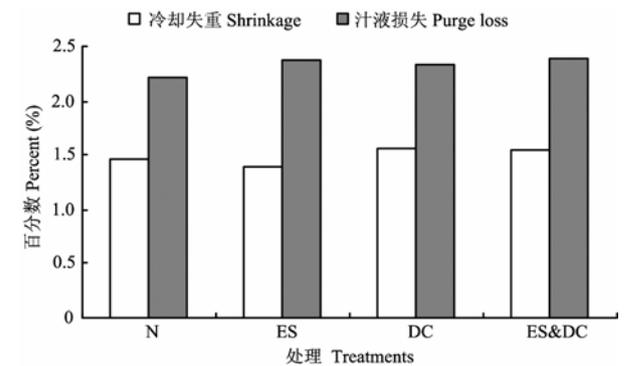


图 3 不同处理对胴体冷却失重和汁液损失影响

Fig. 3 Effects of different treatment on purge loss and shrinkage of carcass

2.2.3 电刺激和延迟冷却对背最长肌蒸煮损失的影响 试验结果(图4)表明,随着成熟时间的延长,牛背最长肌蒸煮损失呈下降趋势,这是因为动物死后由于没有足够的能量解离肌动球蛋白,肌肉处于收缩状态,其中空间减少,导致系水力下降,随着成熟时间的延长,尸僵逐渐消失,系水力又重新回升,蒸煮损失减少。与对照组相比,延迟冷却和电刺激处理使牛背最长肌蒸煮损失增加,其中,EC&DC组增加最为明显。Klont等<sup>[18]</sup>研究认为,糖原酵解较快的肌肉有较大的蒸煮损失,但未阐明原因。

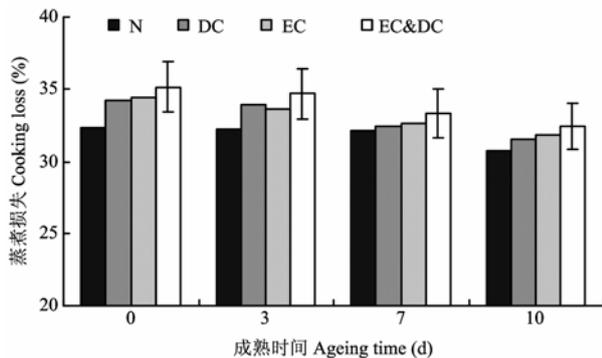


图4 不同处理对成熟中背最长肌蒸煮损失的影响

Fig. 4 Effect of different treatment on cooking loss

2.2.4 电刺激和延迟冷却对背最长肌剪切力值的影响 如图5所示,牛背最长肌成熟0、3、7、10 d时,延迟冷却处理组的剪切力值分别比常规冷却处理组低18.25%、12.11%、13.47%、11.03%;电刺激处理组的剪切力值分别比常规冷却处理组低23.15%、14.0%、21.38%、18.01%,说明延迟冷却和电刺激处理对牛肉的嫩化有积极作用,都促进了牛肉的成熟。

随着成熟时间延长,牛肉的剪切力值降低。在成熟的0、3、7 d,延迟冷却处理对牛肉的嫩化影响显著( $P < 0.05$ ),到成熟10 d时,两组处理无显著差异( $P > 0.05$ ),这可能是因为延迟冷却处理组的胴体温度较高,加快了肌肉糖原的酵解速度,同时,较高的胴体温度也提高了参与肌肉嫩化的内源酶的活性,提高了肌原纤维细胞骨架蛋白的降解速度,从而使牛肉嫩化的速度加快。但是高温和低pH的交互作用也使 $\mu$ -calpain被过早的分解消耗,从而在后续的成熟过程中牛肉的嫩化作用减弱<sup>[19,20]</sup>。因此,延迟冷却对牛肉的嫩化作用主要集中在成熟前期,似乎成熟后期的作用较小。该结果与Marsh和Fields所获得的结论是一

致的<sup>[4,5]</sup>,他们均报道与常规冷却相比,延迟冷却可以获得更嫩的肉。然而Will<sup>[3]</sup>分别采用16°C、3、5、7 h的延迟冷却处理,发现样品间的剪切力值无显著差异;Jeremiah<sup>[21]</sup>应用12.5°C、2 h的延迟冷却处理并没有获得一致的样品物理性状的变化。

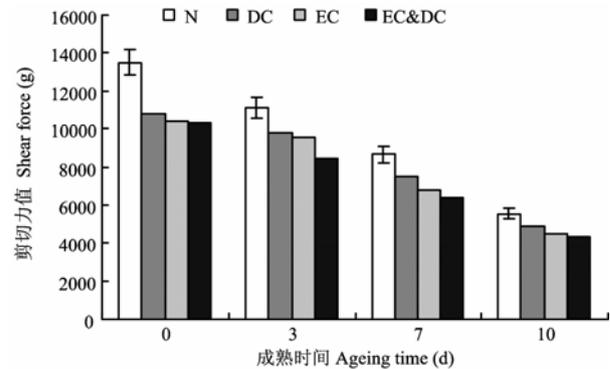


图5 不同处理对牛背最长肌剪切力值的影响

Fig. 5 Effect of different treatment on shear force values

电刺激处理组在成熟的0、3、7、10 d均对牛肉的嫩化有显著影响( $P < 0.05$ )。一方面电刺激处理诱导局部肌浆网钙离子的过量释放导致肌肉强直收缩,从而导致了背最长肌超微结构的改变(形成挛缩带contracture),破坏了肌纤维的物理结构,使肌原纤维的完整性丧失;另一方面,电刺激后的高温低pH环境提高了肌肉嫩化的内源酶的活性,加快了蛋白质的降解速度,从而改善了肉的嫩度<sup>[19,20]</sup>。

电刺激延迟冷却处理(EC&DC)组样品的剪切力值比对照样品更低,分别为23.57%、24.09%、26.53%和21.17%,表明电刺激的效果与冷却方式有密切关系。

### 2.3 电刺激和延迟冷却对肌原纤维MFI的影响

MFI值是反映肌细胞内部肌原纤维及其骨架蛋白完整程度的指标。MFI值越大,则表明肌原纤维内部结构完整性受到破坏的程度越大。大量研究显示,MFI值和肉的嫩度显著相关,并将MFI值作为预测牛肉嫩度的一个重要指标<sup>[13]</sup>。从图6可以看出,随着成熟时间的延长,MFI值逐步增加。冷却24 h后,EC、DC、EC&DC等3组之间差异不显著( $P > 0.05$ );成熟3 d和7 d时,4组处理均有显著差异( $P < 0.05$ ),其中以EC&DC组MFI值最大。成熟10 d时,EC、EC&DC处理MFI值均显著高于N( $P < 0.05$ ),DC组与N组无显著差异( $P > 0.05$ )。

本试验中，电刺激和延迟冷却的共同作用较显著（成熟 3、7、10 d）。说明过快过慢的冷却速度均不利于肉的嫩化，适宜的冷却方式对电刺激效果有非常重要的作用，这与 Bruce 和 Ball<sup>[22]</sup>的研究结论一致。

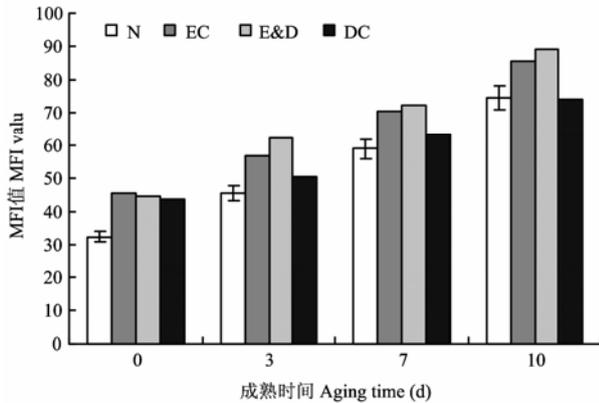


图 6 不同处理对牛肉肌原纤维小片化指数的影响

Fig. 6 Effect of different treatment on MFI of beef

## 2.4 成熟过程中 MFI 与剪切力值的回归分析

对成熟过程中不同处理组 MFI 和剪切力值进行线性回归，剪切力为自变量，MFI 值为应变量，得到回归结果如表 3。结果表明，4 组处理成熟 10 d 内的剪切力和 MFI 值之间均强相关。进一步说明在牛背最长肌成熟过程中，肌原纤维的降解情况与肉的嫩度密切相关。MFI 值是预测牛肉嫩度的一个重要指标。

表 3 成熟过程中不同处理组 MFI 和剪切力值线性回归分析  
Table 3 Regression analysis between the result of shear force and MFI during postmortem storage

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	$R^2$	$P$
N	$Y = -5.2837x + 104.13$	0.9992	$P < 0.01$
DC	$Y = -5.1415x + 100.22$	0.9896	$P < 0.01$
EC	$Y = -6.411x + 114.65$	0.9801	$P < 0.01$
EC&DC	$Y = -7.242x + 120.37$	0.9854	$P < 0.01$

## 3 讨论

冷收缩的经典定义是 1973 年 Bendall 给出的，是指肌肉的 pH 降低到 6.2 以前，肌肉的温度降低到 12℃ 以下时肌肉发生的过渡收缩现象<sup>[23]</sup>。按照这一定义，本研究常规冷却、延迟冷却、电刺激和电刺激常规冷却 4 种处理中，胴体 pH 6.2 时的肉温分别为

16.6℃、21.3℃、24.8℃和 30.2℃（表 2），均高于产生冷收缩的临界温度 12℃，所以没有冷收缩现象发生。

Locker<sup>[11]</sup>则将冷收缩定义为尸僵开始前，肌肉的温度低于 14~19℃发生的过渡收缩现象。正常情况下，肌肉在 pH 5.7~5.8 时开始尸僵<sup>[24]</sup>。不同温度对胴体僵直程度的影响研究显示，离体肌肉在 15℃左右进入僵直状态时，肉的收缩程度最小，相应的肉的韧度最低，因此 Locker 给出的 14~19℃的温度范围显然过高。如果将他给出的温度范围的低限 14℃作为是否发生冷收缩的判断标准，那么本研究 4 种处理中，常规冷却和延迟冷却样品会发生冷收缩，而电刺激和电刺激延迟冷却处理则没有冷收缩的发生。

最近，学者 White<sup>[25]</sup>则以胴体温度 11℃时，肉的 pH 是否低于 6.2 作为判断冷收缩的标准。本研究 4 种处理中，胴体温度 11℃时所有的 pH 均低于 6.2（表 2），说明所有的样品均产生了冷收缩现象。

显然，按照上述 3 位学者给出的标准对本研究的 4 种处理进行判断，得出的结果完全不同。

发生冷收缩的肉，I 带完全消失，肉的硬度增加 3 倍<sup>[6]</sup>。本研究宰后 24 h 常规冷却处理样品的剪切力值为 13.5 kg，显著大于其它 3 种处理样品的剪切力值，是电刺激处理样品剪切力值的 129.8%。按照 Hwang<sup>[6]</sup>的判断标准，本研究中发生冷收缩的肉的剪切力值将超过 30 kg，这个数值是否是有点过高？

Hannula<sup>[24]</sup>认为，胴体的僵直开始前（pH 5.7~5.8），胴体的温度维持在 7~10℃，肉的成熟效果较好。本研究中，只有常规冷却样品符合这一条件，而本研究的结果显示，不仅宰后 24 h 常规冷却处理样品的剪切力值显著高于其它处理，而且成熟 10 d 后常规冷却样品的剪切力值仍显著高于其它处理（常规冷却处理样品剪切力值减少了 59.1%，而电刺激处理样品减少了 56.3%，本文未显示研究结果）。因此，作者认为已有的有关冷收缩的概念和判断标准需要进一步商榷和完善。

## 4 结论

4.1 鉴于中国肉牛的体重和背膘厚度，目前工业上应用的常规冷却程序可能导致冷收缩现象的产生。

4.2 延迟冷却可以避免胴体冷收缩现象的产生，并具有改善肉的嫩度的作用。

4.3 电刺激可以避免胴体的冷收缩，并加快肉的嫩化过程。

4.4 胴体电刺激和延迟冷却处理不会增加胴体的冷却失重。

4.5 研究证实,胴体电刺激和延迟冷却处理显著影响宰后肉的温度—pH—时间关系,对肉的营养品质有影响。

## References

- [1] Savell J W, Muller S L, Baird B E. The chilling of carcass- a review. *Meat Science*, 2005, 70: 449-459.
- [2] Smulders F J M, Toldrá F, Flores J, Prieto M. *New Technologies for Meat and Meat Products*. Utrecht, The Netherlands: Audet Tijdschriften, 1992: 182, 186-188.
- [3] Will P A, Henrickson R L. The influence of delay chilling and hot boning on tenderness of bovine muscle. *Journal of Food Science*, 1976, 41: 1102-1106.
- [4] Marsh B B, Lochner J V, Takahashi G, Kragness D D. Effects of early post mortem pH and temperature on beef tenderness. *Meat Science*, 1980-81, 5: 479-483.
- [5] Fields P A, Carpenter Z L, Smity G C. Effects of elevated temperature conditioning on youthful and mature beef carcass. *Journal of Animal Science*, 1976, 42: 72-83.
- [6] Hwang I H, Devine C E, Hopkins D L. The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Meat Science*, 2003, 65: 677-691.
- [7] Ferguson D M, Jiang S T, Hearnshaw H, Rymill S R, Thompson J M. Effect of electrical stimulation on protease activity and tenderness of *M. longissimus* from cattle with different proportions of *Bos indicus* content. *Meat Science*, 2000, 55: 265-272.
- [8] Hopkins D L, Littlefield P J, Thompson J M. The effect of low voltage stimulation under control conditions on the tenderness of three muscles in lamb carcass. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 2000, 13(Suppl.): 362-365.
- [9] Rhee M S, Ryu Y C, Imm J Y, Kim B C. Combination of low voltage electrical stimulation and early postmortem temperature conditioning on degradation of myofibrillar proteins in Korean native cattle. *Meat Science*, 2000, 55: 391-396.
- [10] Tornberg E. Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat Science*, 1996, 43(Suppl.): S175-S191.
- [11] Locker R H, Hagyard C J. A cold shortening effect in beef muscles. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 1963, 14: 787-793.
- [12] Devine C E, Wahlgren N M, Tornberg E. Effect of rigor temperature on muscle shortening and tenderization of restrained and unrestrained beef *M. longissimus thoracis et lumborum*. *Meat Science*, 1999, 51: 61-72.
- [13] Culler R A, Parrish F C, Smith G C, Cross H R. Relationship of MFI to certain chemical, physical, and sensory characteristics of bovine LD muscle. *Journal of Food Science*, 1978, 43: 1177-1180.
- [14] Hwang I K, Thompson J M. The effect of type and time of electrical stimulation on the calpain system and meat tenderness in beef longissimus dorsi muscle. *Meat Science*, 2001, 58: 135-144.
- [15] 罗欣, 黄明, 朱燕. 电刺激技术在牛肉快速成熟中的应用研究. *农业工程学报*, 2001, 17(6): 127-131.  
Luo X, Huang M, Zhu Y. Application of electrical stimulation technology to accelerated ripening of beef. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2001, 17(6): 127-131. (in Chinese)
- [16] Kastner C L. Livestock and meat: Carcasses, primals, and subprimals. In: Finner E E (Ed.). *CRC Handbook of Transportation and Marketing in Agriculture: Food commodities*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Inc. 1981.
- [17] Channon H A, Walker P J, Kerr M G, Baud S R. Application of constant current, low voltage electrical stimulation systems to pig carcasses and its effects on pork quality. *Meat Science*, 2003, 65: 1309-1313.
- [18] Klont R E, Barnier V M H, Smulders F J M, van Dijk A, Hoving-bolink A H, Eikelenboom G. Post-mortem variation in pH, temperature, and colour profile of veal carcasses in relation to breed, blood haemoglobin content and carcass characteristics. *Meat Science*, 1999, 53: 195-202.
- [19] Dransfield E. Optimisation of tenderization, ageing and tenderness. *Meat Science*, 1994, 36: 105-121.
- [20] Koohmaraie M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 1996, 43(Suppl.): S193-S201.
- [21] Jeremiah L E, Martin A H, Murray A C. The effects of various post-mortem treatments on certain physical and sensory properties of three different bovine muscles. *Meat Science*, 1985, 12: 155-176.
- [22] Bruce H L, Jones C R, Ball R O. Interactive effects of low voltage electrical stimulation and leg restraint on meat quality of Charolais crossbred steer carcass. *Canalain Journal of Animal Science*, 1990, 70: 1131-1135.
- [23] Bendall J R. The biochemistry of rigor mortis and cold-contraction. In: *Proceeding of the 19th European Meeting of Meat Research Workers*, Paris, France, 1973: 1-27.
- [24] Hannula T, Puolanne E. The effect of cooling rate on beef tenderness: the significance of pH at 7°C. *Meat Science*, 2004, 67: 403-408.
- [25] White A. Manipulation of the pre-rigor phase to investigate the significance of proteolysis and sarcomere length in determining the tenderness of bovine *M. longissimus dorsi*. *Meat Science*, 2006, 73: 196-203.