

白 条 肉 的 电 刺 激

前 言

对热白条肉进行电刺激，并不是新事物，电刺激的目的是要加速牲畜死后，屠体肌肉中的生化变化过程。1749年，本杰明·富兰克林(BENJAMIN FRANKLIN)就发现电屠宰雌火鸡肉的软化。

最近 Harsham 和 Deatherage 指出，屠宰后对白条肉进行电刺激，会加速 pH 值的下降速度，并建议对牛屠体采用这项技术，以加快成熟阶段；这样在库存时，就可以得到很软的肉。但他们的专利并没有能够在实际当中得到应用。20年后，人们又重新对电刺激发生了兴趣。这并不是为了提高对消费者提供的肉的质量，而是为了解决由于肉的冷却所提出的问题。实际上24小时内将牛屠体的中心温度下降到 +7℃ 的规定，要求采用快速冷却的方法；但这种方法使肌肉产生冷收缩，现在，大家都了解到冷收缩对肌肉软化的有害作用。此外，人们注意到：当肌肉的pH值接近6.0时，冷收缩的现象减少了。如果在屠宰后马上对屠体进行电刺激，那么很快就可以达到上述的pH值。

在新西兰，建成了一些生产量很高(旺季每天一万头)的羊屠宰场，因此，必须在屠宰流水线后，对屠体进行连续冷冻，这就要使肉的质量不发生严重变质(解冻僵直)。在这种压力下，新西兰的研究者们最先着手解决使用电刺激所存在的问题。他们的研究工作使电刺激的方法走上了工业使用阶段。

一、肌肉的电刺激对死后僵直屠体糖分解的影响

研究活体内肌肉收缩机理的物理学家和生

化专家，深入研究了电刺激后，肌肉的生化反应和机理反应。目的是为了确定电刺激的条件——可加快死后僵直糖分解，而不会产生有损于肉质的肌肉组织变质。Karparkin 等人曾指出，肌肉在电刺激后迅速产生的乳酸盐与刺激频率成比例，至少在 Karparkin 等人所测定的频率范围内是如此。对屠宰后的肌肉进行电刺激起两种作用，首先在电刺激过程中，产生 pH 值下降，其次在电刺激之后，pH 值下降速度高于没有经过电刺激的对照样肌肉 pH 值的下降速度。下面，我们就这两点谈一下。

1. 电刺激过程中影响pH值下降的因素

屠宰与电刺激之间的时间

屠宰后到进行电刺激的间隔时间越长，肌肉活化(即开始收缩)所需矩形波刺激的电压越高(或时间越长)。或所需交流电的电压越高(或频率越低)。Chrystall 和 Devine 用同样的方式，对牛的肌肉进行观察时发现，在规定的电刺激方式下(200 伏特和 12.5 赫兹，刺激 2 分钟)，刺激前 pH 值越高，则刺激过程中 pH 值的下降幅度就越大(见表 1)。如果肌肉保持 +35℃，那么 3-4 小时内，pH 值可以降到 6.2。

表 1

最初pH值对在电刺激过程中pH下降值的影响

最 初 PH	Δ PH
7.2	0.7
7.0	0.5
6.5	0.15
6.2	0

死后僵直的肌肉对电刺激很敏感而产生 pH 值下降，肌肉神经结阻塞时也会产生这种现象。根据这种情况，Swatland 在报告中说，屠宰后肌肉组织对电刺激的敏感程度已降低到死后僵直几小时后的敏感度。Bendall 也指出了神经系统在屠宰后不长时间进行电刺激中所起到的重要作用。特别是用箭毒 (Curare) 一类的麻醉剂控制 plaques motrices 时，Bendall 采用 250 伏，15Hz 刺激两分钟的办法来限制电刺激作用 (见表 2)。

电刺激对带有箭毒或没有箭毒的背最长

肌中 pH 值下降的影响 表 2

	对 照	箭 毒	箭毒 + 刺激	刺 激
PHO	7.00	7.00	7.05	6.76
Δ PH	-0.05	-0.07	-0.05	-0.32

牲畜死后进行电刺激时，会使 pH 值较快下降。因此，这项技术很快就被运用到屠宰后的处理中。根据 Mirinz 向新西兰工业提出的建议，羊要在屠宰 30 分钟后进行电刺激，牛不能超过 45 分钟。

电流频率和刺激时间

Chrystall 和 Devine 研究了电流频率对电刺激过程中牛的肌肉 pH 值下降幅度的影响 (见表 3)。

电能(E)和频率(F)对pH值下降幅度的影响

200伏，刺激2分钟 表 3

F(Hz)	E (千焦耳)	Δ PH
100	7.2	0.50
50	3.6	0.52
25	1.8	0.59
16.7	1.2	0.68
14.3	1.0	0.72
12.5	0.9	0.74
11.1	0.8	0.72
5	0.3	0.70
2.5	0.2	0.45

这些结果一方面表明频率范围小时仍有一

定的刺激作用，另一方面说明 Δ pH 值与刺激肌肉的能量没有直接关系。

另外，这两人还指出，pH 值下降的幅度随刺激时间和电压而加大 (见图 1)。刺激 2 分钟后， Δ pH 值无明显增加。同样，用 700 伏特高压电也不会得到有意义的好处。

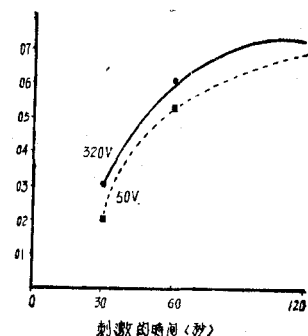


图 1 刺激的时间和电压对 pH 值下降幅度的影响

肌肉种类的影响

刺激的作用，对于尸体各部位的肌肉并不是相等的。Swatland 指出，对肌肉进行电刺激时，正是这些先已收缩了的白纤维 (厌氧糖酵解) 消耗掉糖原，产生乳酸。百分比少的红纤维 (需氧糖酵解) 在刺激时同样也有反应。最近，Swatland 指出：快速收缩的肌肉纤维还是在刺激时产生反应的纤维。这个观察与上面提到的是一致的。由 Bendall 在羔羊身上得到的结果证实了这一点。他在电刺激过程中观察到了在白肌肉如股二头肌中， Δ pH 值要比在红肌肉如 Triceps brachii 或 Longissimus dorsi 中的高。在刺激后 pH 值下降速度中同样可以得到类似的结果，在 Biceps femoris 肌肉中下降速度是 Longissimus dorsi 的两倍多 (见表 4)。人们对牛肉也做了类似的观察。

2. 影响刺激后 pH 下降速度的因素

刺激之后，就可以看到刺激过的肌肉中，pH 值下降要比未刺激的对照样品快 (见表 4)。

Bendall 等人对牛肉做了种假设，产生差别的原因就是温度。刺激过的尸体中，高温使

pH 值下降。实际上,在刺激后 pH 值的下降速度不同,其原因不仅仅是温度的不同。因此,Chrystall 和 Devine 指出:在同一温度下,刺激后, pH 值下降速度对于 Sternomandibularis 肌肉来讲,每小时为 0.3,而在未刺激的对照样品中,每小时为 0.18。他们同时还注意到,即使刺激的条件发生大的变化,不管是频率(12.5Hz 至 100Hz),还是电压(50—600 V),这种不同仍然存在。

电刺激(250伏特, 15赫兹2分钟)对于pH值下降和刺激后pH值下降速度的影响 表 4

	LD		BF	
	对 照	刺 激	对 照	刺 激
PH	6.94	6.94	6.95	6.95
Δ PH	-0.02	-0.42	-0.03	-0.67
Δ PH/ Δ t	-0.14	-0.27	-0.19	-0.55

注:下降速度所每小时的PH单位表示; LD: Longissimusdorsi; BF: Biceps femoris。

综上所述可看到,工艺学家还不能控制这项技术;如想马上使用这项技术,至少还要有一定的试验。

二、屠体的电刺激

1. 羊肉

在新西兰最初的试验中,羔羊屠体在死后僵直20-30分钟后,对+15℃的屠体采用250V,频率为17.5Hz的电压进行电刺激3个小时, pH 值就可达到0.6;而对照样品则需要15小时。不过在这些条件下,死后僵直5个小时后进行冷冻也不能完全排除软化变化。随着这项技术的发展,Chrystall 和 Hagyard用不到一个小时的时间,就将 Longissimus dorsi 肌肉的 pH 值降到6.0;而对照样品需库存14小时后才能达到这个值。他们两个人曾采用高电压(3600 V, 15Hz),在屠宰5分钟后,对未剥皮的牲畜进行电刺激。在这种情况下,被刺激屠体可以在死后僵直1小时后进行冷冻。

实际上,对未剥皮的屠体采用高电压并不

是必需的。只需将电极与皮下的肌肉直接接触就可以。为此, Bendall 在死后僵直15分钟后,采用250 V, 15Hz 的电刺激2分钟,可在2.3小时 \pm 1.6小时内将 pH 值降到6.0;屠体不同肌肉的平均时间为 \pm 1.6小时(longissimus dorsi 为2.1小时)。这表明在死后僵直3—4小时后,就可对屠体进行冷冻,而不产生软化变质的危险。新西兰的研究者建议他们的工业在羔羊屠宰线末端,在下列条件下,对屠宰后30分钟后的屠体进行电刺激:

交流电;脉冲宽度每秒10米;时间不少于90秒;频率14.3Hz;电压580 V。

这样就可以在死后僵直2小时至4小时之间进行冷冻。

2. 牛肉

按 Chrystall 和 Hagyard 对羔羊所采用的电刺激的条件,对死后僵直30分钟后牛的半屠体电刺激30分钟后, Davey 等人在3个小时内将 Longissimus dorsi 肌肉的 pH 值降到6.0;这时,肌肉的中心温度仍然近25℃(图2)。在这次试验中,电刺激结束后即对屠体进行快速冷却,这样就大大地延缓了 pH 值的下降。在对照样品 Longissimus dorsi 肌肉的情况中,则是在死后僵直大约36小时才降到6.0;这时,肌肉的中心温度在8个多小时内降到+10℃,这些条件对于冷收缩的发展是很有利的。实验结果表明电刺激可有效地避免这个危险。

Bendall 等人对死后僵直50—60分钟采用不同的刺激方式(700 V, 25Hz, 时间2钟,每30分钟电流反向一次)。与新西兰在同样条件下的电刺激法比较,他们的技术效果差一些。我们从 Tricepsbradmi, Semi-membranosus 和 Lonsissimus dorsi 三种肌肉的 pH 平均值来看:使 pH 值降到6.0采用 Doyey 等人的技术需1.5小时;而采用 Bendall 等人的技术需3.1小时。实际上并没有什么大的不同。因为,当 Davey 等人对屠体进行快速冷却时, Bendall 等人已将屠体温度降到+16℃。相反的是,在死后僵直15分钟后, Bendall 等人对未剥皮的

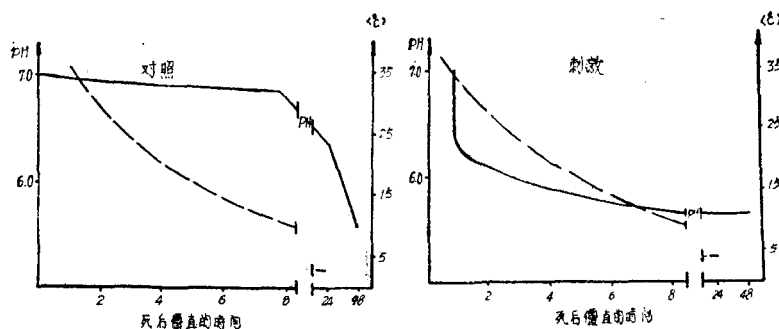


图2 电刺激对牛的 Longissimus dorsi 肌肉中 pH 值下降的影响

屠体进行电刺激，在 1.5 小时内将 pH 值降到 6.0。实际上也不可能说出我们刚刚观察过的效能有哪些不同，也许可以这样说：尽管 Bendall 等人的试验，最初的 pH 值接近 7.0，但在死后僵直 50—60 分钟后进行电刺激是有些太迟了。对牛的半屠体进行刺激，新西兰研究者实际上向他们的工业建议的条件如下(图2)。

死后僵直后的时间：低于 45 分钟

电的数据：正弦电流，频率 14.3Hz，脉冲宽度：10m/秒

电压：500V，时间 2 分钟以上。

三、电刺激对肉软化的影响

下面我们来研究一下电刺激使肉软化的性能，以及予防屠宰后进行冷却或快速冷冻而产生的软化变化的有效性。

1. 电刺激与加速软化

Marsham 和 Deatherage 曾把这作为肉软化的一种方法。Smith 对这种方法持保留意见，他认为，用这种处理法可以使牛肉的软度提高 15-46%，但这种作用并不是在所有的屠体中都相同。如果对 Savell 等人的试验结果考虑一下，就会在牛的 Longissimus dorsi 肌肉中观察到明显的软化作用。软化程度可以通过肌肉剪切的方法或品尝委员会进行评价。羊的 Longissimus dorsi 肌肉中，也有同样的作用；但后腿的肌肉 Semi-membranos 和 Biceps femoris 却没有。这些研究者们所使用的冷却条件与缓慢冷却相同，肌肉平均收缩的程度也没有什么根本

不同。牛肉试验中，热剔骨后的牛肩肉和死后僵直后 24 小时，温度 10℃ 下缓慢冷却的牛肩肉的试验结果相同(见表 5)。

电刺激对于热剔骨和在 +4℃ 下成熟 12 天的牛肉的影响 表 5

	软 度		肌小节的长度(m)	
	对 照	刺 激	对 照	刺 激
Triceps brachii	24	56	1.70	1.82(Ns)
infraspinatus	28	52	1.51	1.67(Ns)

死后僵直 30 分钟后，对屠体用 600V，25Hz 的电流进行 2 分钟刺激，每 30 分钟电流反向一次。在死后僵直 2 小时后经电刺激的肌肉，pH 平均值为 6.2 ± 0.24 ，对照样品为 6.7 ± 0.17 。这些试验结果证实了 Savell 等人的试验结论，并进而证明在缓慢冷却的条件中，电刺激可以提高软度。

2. 电刺激和予防冷收缩

为了排除冷收缩现象，需要在温度下降到 +10℃ 以下之前，将 pH 值降到 6.0。如果采用电刺激就可以得到这个 pH 值，那么，目的也就达到了。Davey 等人的结果证实这是可能的。采用图 2 中的冷却条件冷却的 Longissimus dorsi 肌肉，对热屠体进行电刺激，就可以排除冷收缩作用(见表 6)。

经过电刺激和快速冷却的屠体肌肉具有软化特点，和缓慢冷却条件下的特点相同。这一

电刺激和冷却速度对牛的Longissimus
dorsi肌肉的影响 表 6

处 理	Longissimus dorsi	
	未 成 熟	成 熟
未刺激—缓慢冷却(DAVEY-6)	37.1±11.7	28.5±11.8
刺激—未快速冷却	1000.1±25.4	52.6±19.6
刺激—快速冷却	36.4±9.9	25.2±5.9

例子极好地表明了快速冷却对于软化的有害作用。但在同一试验中后腿深处的肌肉(如Semi-membranosus)冷收缩现象没有发生。Davey等人就没有发现屠体经电刺激后明显提高软度。

这些结果预示了热剔骨和采用冷却屠体的正常条件来冷却真空包装肉是可能的。Gilbert等人也做过这种试验。他们采用了上面提到过的电刺激条件,在死后僵直5小时后又进行慢速冷却(+4℃; 0.3m/秒)的屠体进行剔骨,与死后僵直24小时后剔骨的对照样品相比,在死后僵直5小时后进行剔骨的肉,在成熟后变的很软。但在这个试验中,热剔骨肉的温度始终不低于+10℃。后来, Davey 等人在死后僵直1小时后进行了剔骨。但通过这次试验,还不能说屠体经电刺激后能否完全避免冷收缩现象。因为在这次试验的具体条件下,贮存在+5℃中的,进行纸箱外包装的真空包装肉,贮存20小时后,肌肉的温度才降到+10℃。

3.电刺激与屠体的冷冻

对羊肉来说,实际上只有大规模生产中才使用电刺激。前面已经提到新西兰屠宰场采用电刺激的条件。Chrystall和Hagyard的试验结

电刺激对死后僵直1小时后冷冻羊肉
嫩度的影响 表 7

	剪 切 的 平 均 力 量			
	Longissimus dorsi	Biceps femoris	Gluteus medius	Semi membranosus
未刺激	77±26	49±16	57±17	76±19
刺激	37±11	21±8	22±12	36±15

果表明了它的效率(见表7)。

经过刺激和未刺激肌肉之间嫩度相差0.1%,这说明了这种处理法的效能。

嫩度利用蒸煮肉剪切的方法测量,并以数字单位表示。

四、结 论

根据目前对这项技术的掌握程度,必须认识到在对屠体进行电刺激上,实践经验占非常重要的位置。新西兰把很大一部分力量集中在羊肉处理上,可以这样说,工业提出的问题得到了解决。因为新西兰屠宰场可在屠宰后4个小时对羊屠体进行冷冻。在屠宰流水线结束和进入冷冻之间,也就是4小时的间隔可以进行屠体的分级。

根据已发表的试验结果,按要求进行电刺激的牛肉,屠宰后二至三小时后, pH 值会迅速下降到6。特别是对未剥皮的屠体进行电刺激时,一部分肌肉在屠宰后不到2个小时, pH 值就可以降到6.0。电刺激的条件(电压,频率)可以不一样,这就使采用电刺激的操作中有一定的灵活性;在不用的屠体肌肉中,特别是在牛肉中,处理的作用也常有差异;并且,对于这种差异范围还不了解,所以需要明确这种差异性,尤其是当人们想要热剔骨时。在这些条件下,所有的肌肉都将进行冷却,防止冷收缩也将只取决于 pH 值低于或等于6。目前,从发表的试验结果来看,我们还不敢说,经电刺激后热剔骨的肉进行迅速冷却,不会降低肉的嫩度。

另外,还有一项重要的工作要完成,就是使工艺控制机械。从这点来讲,电刺激对于死后僵直 pH 值下降的Cintique有反应,并对最后决定肉嫩度的成熟具有影响。

(收稿日期80.1)

龚新忠译自法文《冷冻概况》杂志

1978年7-8期