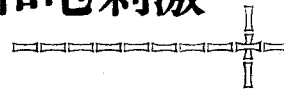




胴体的冷收缩，解冻僵直和电刺激



引言

牲畜从屠宰到销售，要间隔一段时间，使胴体进行理化变化，这样肉类才能有良好的感官质量。在胴体死后僵直的生化变化过程和熟化过程中，必须进行冷却，以免胴体中微生物大量繁殖。提高胴体冷却速度可减轻肉类的微生物污染，不过，由于肌肉变硬和汁液流失，而降低了感官质量，这是温度降低后产生肌肉收缩现象的结果（即冷收缩，Cold Shortening, raecooucissement par le froid ou cryo-choc），

解冻时出现的冷收缩（解冻僵直，thaw rigor, rigidite de decongelation），也会使早期冷冻（僵直前冷冻）的胴体产生肌肉发硬和汁液流失。

目前，正在研究能避免、至少是减轻僵直时肌肉收缩的技术。用高压交流电进行电刺激，可极大地提高肉类的质量。

收缩，每块肌肉的收缩程度，随肌肉的种类，肌肉和骨骼的附着情况以及温度高低而不同。

对胴体每块肌肉收缩程度和温度的关系做过研究，研究结果见图1。

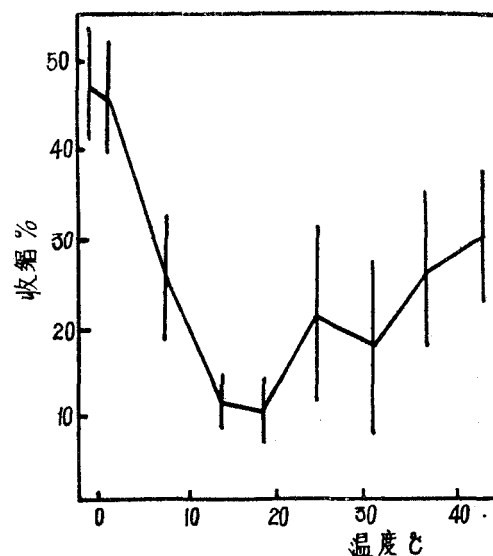


图1 不同贮温下的收缩情况(平均值)

一、温度对僵直的影响:

冷收缩问题

死后僵直时，胴体发生强弱不规则的收

电刺激屠体面和未经刺激的屠体面腰部
肌肉取样的沃纳-布拉茨剪
力平均值和品尝结果

表2

	电刺激面		对照面		差
	平均值	S.D	平均值	S.D	
剪力值 ^a (公斤)	7.62	1.30	12.29	3.03	4.67**
品尝组评分 ^b	5.84	0.91	3.70	1.46	2.14**

a. 指1.5×1.5cm方块

b. 按10分制: 0表示很老, 10表示很嫩

** P<0.01

收缩的缓和有关(克利斯托尔与哈格亚德, 1976; 戴维, 1976; 布顿, 1978), 与解脲酶活动的增强有关(萨维尔等人1977), 或者也可能与肌肉纤维超微结构的物理性断裂有关(萨维尔等人, 1978)。

本研究表明, 对牛屠体施以低压电(2.5—32V)可以明显地加速死后僵直的开始, 可以显著地改善肉的嫩度。(收稿日期80.7)

侯明义译自英文《Journal of Food Science》1980.1/2

40℃时,收缩程度约30%,温度降到14~19℃时,收缩程度降到10%,13℃以下时,收缩程度又有提高,0℃时达50%。这种现象叫冷收缩。这是屠宰后立即对胴体进行快速冷却时肌肉变硬的结果。

1. 冷冻——肌肉收缩的成因

研究不同时间发生的肌肉收缩时,发现两种前后衔接现象(见图2):

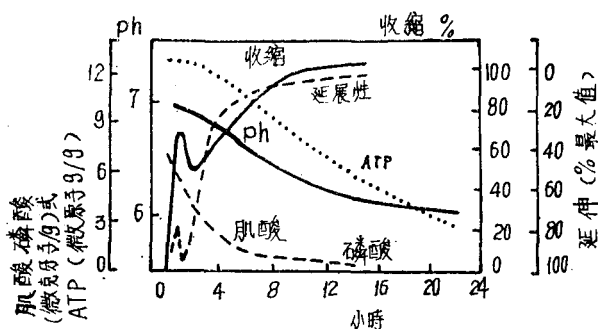


图2 1℃下贮存的牛Sternomandibularis的生化变化(4隻胴体的平均值):
平均最终PH值=5.78,平均总收缩率=原长度的35%左右。

①第一次收缩,冷却时立即出现的反应,部分可逆。

②第二次收缩,不可逆,与死后僵直同时发生。

第一次收缩是一种物理现象,是神经受到刺激后的反应,温度是刺激因素。温度刺激以去极化波的形式(Sous la forme d'une onde de depolarisation)沿肌纤维膜传到肌浆的网状结构。网状结构往肌浆中释放浓度约 10^{-7} 至 10^{-5} 的钙离子。这些离子附在肌动蛋白细丝上的原肌球蛋白——肌钙蛋白的复合体上(Complexes tropomyosine-troponine)。钙中和该复合体的抑制作用,并使细丝与粗丝的肌球蛋白分子(molecules de myosine)连接在一起:ATP酶(三磷酸腺苷酶)被激活并产生收缩。与逆反应链(chaine reactionnelle inverse)相符的松弛现象,是肌浆网状结构(reticulum sarcoplasmique——R.S.)通过钙的有效“转运”(pompage

active)而进行的。

第二次收缩可能来自肌浆网状结构(R.S.)。目前我们认为,和ATP的存在有关的肌浆网状结构的“钙泵”(Pompe a calcium)对低温很敏感。低温时,肌浆网状结构不易保留 Ca^{2+} 离子。25℃时,兔子白肌肉的肌浆网状结构固定钙的速度比牛肉Sternomandibularis的肌浆网状结构更迅速,甚至快两倍。0℃时,

兔肉肌浆网状结构固定钙的速度慢两倍多,而牛肉所需时间很短。这些试验结果表明,产生冷收缩的原因是钙泵(转运力)不足(deficienc de la pompe a calcium)。兔子的白肌肉在0℃时能保持钙的有效积聚(accumulation),证明兔肉不产生冷收缩。

与温度变化有关的脂类相(phase des lipides)变化或膜的蛋白质构造的变化,都会阻碍或破坏肌浆网状结构的钙泵的机制(mecanisme)。

在肌浆中的游离钙激活了ATP酶肌球蛋白(actomyosin),再加上ATP酶肌球蛋白的作用,从而加快了水解和收缩现象。

洛克(Locker)的试验说明,ATP酶在不同温度下有两种活力(activite)。试验还表明,5℃左右时,死后糖酵解(glycolyse post-mortem)的速度最低,1~5℃时也是如此。原因是,温度高时,网状结构的ATP酶活力很强,温度降低时,活力减弱。反之,低温时肌浆中大量的游离钙离子激活了肌原纤维中活力很强的ATP酶,从而产生收缩现象。

这些试验表明,冷收缩的整个生化过程和酶的反应过程还没有完全搞清楚。

不过可以认为,这种现象和被 Ca^{2+} 离子所激活的肌原纤维ATP酶的作用有关, Ca^{2+} 离子由于低温时肌浆网状结构的钙泵功能不好而游离于肌浆中。其结果,肌肉中ATP储量(reserves)消耗很快,肌肉收缩形成死后僵直。另外还表明,低温中活化的ATP酶为低于6的PH所抑制;肉类的过早酸化可避免冷收缩现象

(参阅本文之三：电刺激)。

2. 冷收缩和肉的嫩度

工业部门关心的是避免微生物繁殖、骨头发臭和干耗等现象，所以研究屠宰后尽快地冷却胴体的技术(用 $-3\sim-4^{\circ}\text{C}$ 吹风隧道，风速 $2\sim3$ 米/秒)。欧洲共同体的有关规定也主张对胴体进行快速冷却：使臀肌中心温度24小时内降到 7°C 。

不过，快速冷却和早期冷却时，由于肌肉收缩，往往造成肌肉发硬。

从实际情况来看，蒸煮后肉发硬和肌纤维的收缩程度有直接关系。深入研究收缩程度和嫩度两者的关系后，可以看到(见图3)：

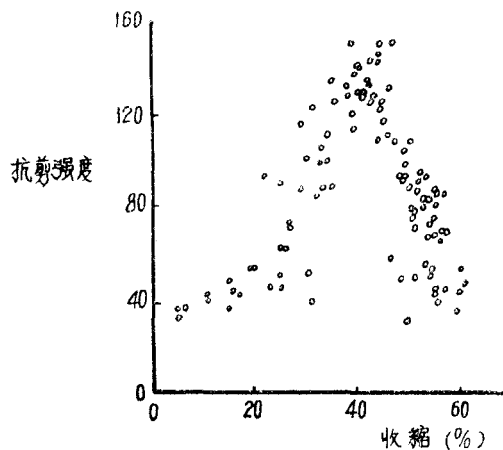


图3 僵直时温度变化所致收缩和嫩度的关系。收缩率为分割肉原长度的百分比。

①肌肉发硬情况随收缩程度提高而增加，收缩40%左右时，硬度最大；

②有一种自相矛盾的现象，收缩率40~60%时，硬度减轻的速度和收缩率20~40%时硬度增加的速度一样。玛斯(Marsh)等人指出，收缩结(noeud, 英文 knot)之间存在着纤维被大大拉长以至拉裂的收缩区(Zone)，这就逐渐减弱了(肌肉)组织的抗力(resistance)。

3. 冷收缩现象的特征。红纤维和白纤维

牛、羊胴体的冷收缩情况，已经基本上搞清楚了。

猪肉对低温的敏感较差。不过，也观察到猪的最长肌样品有收缩现象： 2°C 时收缩20%， 16°C 时收缩15%， 37°C 时收缩程度最高，达22%。

在另一组试验中也观察到收缩现象： 2°C 时收缩13~18%， 16°C 时收缩1~4%。收缩率相同时，“Poland China”猪的肌肉收缩速度比“Hampshire”猪的快。

收缩率较低的鸡的肌肉，对低温的敏感程度和火鸡的肌肉一样，但温度和收缩的比例关系稍有不同。鸡的白肌肉在 0°C 时收缩率(32%)大于 14°C 时(23%)，而 37°C 时收缩率(39%)大大超过 0°C 时的收缩率。

白纤维和红纤维对低温的敏感程度稍有差别；这两种纤维还可进一步分为皱褶纤维(fibres plissees—英文pleated)(不太敏感)和收缩强烈的纤维(敏感)。

瓦兰(Valin)认为，红纤维最敏感，这和肌浆网状结构的 Ca^{2+} 离子集聚(captage, 英文collecting)能力降低较快有关。

肌肉里无疑地有两种肌球蛋白，即快速肌球蛋白和慢速肌球蛋白，两者的ATP酶的活性有差别。快速肌球蛋白的纤维的特点是收缩很快，而慢速肌球蛋白的纤维收缩很慢。拉库尔(Lacourt)的试验表明，低温时，慢速肌球蛋白的ATP酶的活性受到抑制；低温时产生收缩的纤维，基本上是有快速肌球蛋白的纤维， $\text{pH}\leq 6$ 时，这种蛋白被抑制。

4. 预防冷收缩

肌肉的整个结构(完整的胴体)未受到损坏时，什么情况下会产生冷收缩呢？有些肌肉如血脖，修整时被切除，冷却时会产生收缩。其它肌肉如最长肌，由于其附着方式(mode d'insertion)也会产生收缩现象：最长肌的两端虽固定在骨骼上，组成最长肌的纤维以及以肌肉为轴呈 $30\sim40$ 度角的纤维，一头牢牢固定在脊椎骨头上，另一头却附着于皮下弹性组织，所以这些纤维出现不同的收缩现象。此外，两端牢牢固定住的一些肌肉，在不同冷却速度的

作用下,纵向肌肉会有部分收缩(大的牛屠体因肌肉太厚,冷却很慢)。不过,冷却时已被拉长的肌肉基本上不再收缩,由此可见胴体吊挂方式的重要性。

传统的吊挂方式是牛腿吊挂,现在倾向于骨盆吊挂,这可改善最长肌和股直肌(腰肌硬度增加不大)的质量。我们还研究了其它吊挂方式(见表1)。不同吊挂方式对各种肌肉的影响也不同。水平吊挂(position horizontale)

吊挂方式对牛肉嫩度的影响 表1

肌 肉	吊挂时的平均抗剪强度(Kg)				
	垂 直	水 平	挂 颈	挂骨盆	挂骨盆 (前后腿分别捆住)
最长肌	6.0	4.7	4.8	4.9	4.9
半膜肌	5.0	4.4	4.7	4.3	4.5
半腱肌	5.3	5.0	4.9	4.9	4.4
股二头肌	4.2	4.3	4.3	5.0	4.6
股直肌	4.7	4.4	4.9	3.8	3.8
内收肌	4.7	3.8	4.4	4.0	4.3
中臀肌	4.9	3.9	4.3	3.7	3.6
腰大腿	3.7	3.8	4.3	4.2	4.4
三头肌	4.7	4.9	5.4	4.8	5.5
总平均数	4.8	4.4	4.7	4.4	4.4

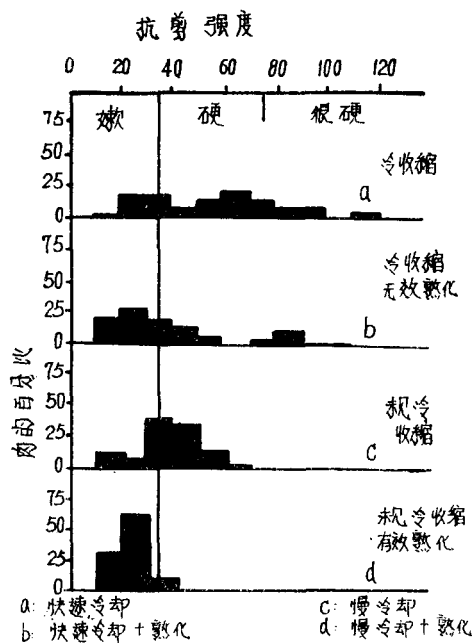


图4 快速或慢速冷却后的牛肉嫩度

和骨盆吊挂方式的差别不大,但实际操作中更多地采用后一种方式。和传统的产品形态(presentation traditionnelle)比较,吊挂方式不同,胴体的变形也不同。切割后,肉块的形态(Conformation)也不一样,有时可保证嫩度。

除吊挂方式的影响外,冷收缩现象主要和胴体的冷却速度有关:为避免胴体各部位都发生冷收缩,屠宰后10~12小时内,温度不能低于10℃~12℃。延缓熟化可保证慢速冷却肉的嫩度,但不能保证快速冷却肉的嫩度(见图4)。

二、胴体早期冷冻: 解冻僵直

屠宰后迅速冷冻的胴体,由于肉的硬度增加和汁液大量流失,所以解冻时会产生新的收缩。

1. 解冻僵直

僵直前(pre-rigor)进行冷冻的胴体,僵直时各种化学反应和生化反应都非常缓慢,接近于停止。ATP,肌酸磷酸和糖原的浓度都很高。

解冻时,冰晶融化使离子严重失调,冷冻——解冻过程中,肌浆网状结构受到破坏,失去集聚钙离子的能力,因此钙离子大量聚存在肌浆里并激活ATP酶肌球蛋白,这样就具备了造成肌肉收缩的各种条件。ATP很快降解,肌酸磷酸迅速消失,糖原很快变成乳酸,一小时内肌肉收缩形成胴体僵直(见图5)。

2. 僵直前进行冷冻的肉的嫩度和汁液

解冻时,肌肉纤维的冷收缩使肉的硬度增加。图6是抗剪强度,图7是品尝小组的评分。

解冻僵直的同时,还出现大量汁液流失。洛克(Locker)提供了羔羊最长肌在16~20℃时解冻的数值(见表2)。

解冻温度高,即解冻速度高时,汁液流失更多(见图8)。

3. 对僵直前(pre-rigor)冷冻的肉应采取的措施

为避免过早冷冻而带来的不良后果,屠宰

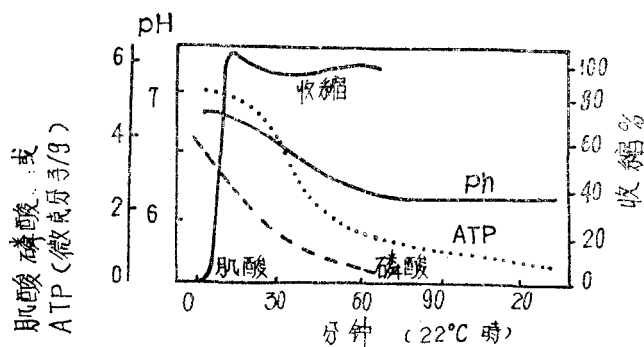


图5 死后2小时进行冷冻并在24小时后在22℃下解冻的牛肉sternomandibularis的理化变化。试验样品的切面约0.4 cm²，重25g。用酶的方法(Selon une methode enzymatique)测出ATP。总收缩率达样品原有长度的50%。收缩曲线中的凸起现象说明，可能有轻微的松弛现象。

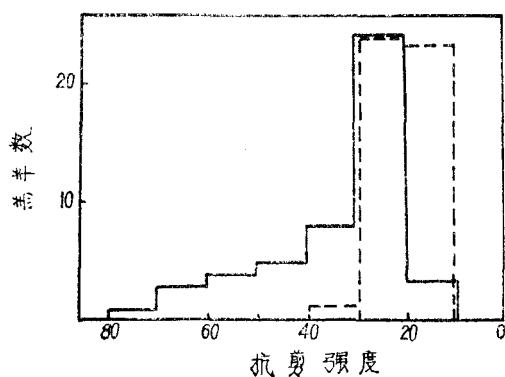


图6 死后的处理对抗剪强度的影响(每次试验用48只羔羊)。

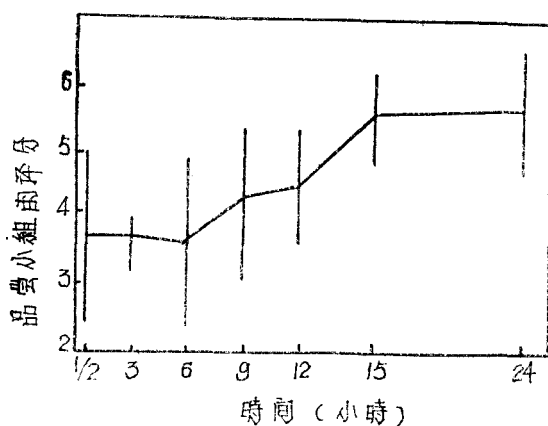


图7 进入冷冻隧道之前，18~24℃下贮存对嫩度的影响。每次试验用7只羔羊

后，对胴体最好能充分推迟进行冷冻的时间，使肌肉能接近于死后僵直的程度，胴体的这个处理阶段相当于“发汗冷却”(ressuage, 英文 sweating)。羔羊胴体发汗冷却24小时，可避免出现冷收缩和解冻僵直。消除解冻收缩所需的发汗冷却时间，比消除冷收缩的时间还要长，约需16小时。发汗冷却的温度最好是7℃左右，卫生要求才能有保证。

洛克(Locker)提出牛胴体的冷却和冷冻条件(见表3)。

这样，四天内(包括发汗冷却)就可得到高质量的肉，然后进行冷冻。任何情况下都必须严格遵守卫生要求。

冷冻状态下贮存时，死后僵直的生化反应并未完全停止。因此，贮期延长时，ATP和肌酸磷酸的储量(reserves)大量减少。糖酵解在-5~-12℃时仍继续进行；2~3星期后，羔羊胴体的PH降到6以下，解冻收缩实际上不

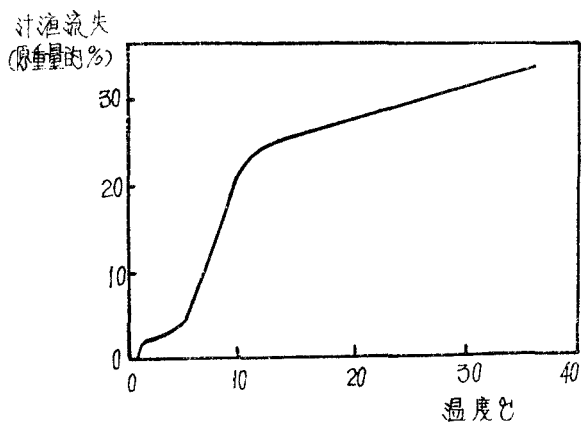


图8 僵直前冷冻的肌肉在解冻过程中温度对汁液流失的影响

解冻时的收缩和汁液流失		表 2
	僵直前冷冻的羔羊	僵直后冷冻的羔羊
收 缩	72%	5%
汁液流失的干耗	27%	3%

牛的半屠体的发汗冷却和熟化 表 3

包 装	半屠体的发汗冷却	切割肉块的熟化
	无	真空包装, 封合纸箱水平贮存
温 度	10℃±1℃	10℃±1℃
时 间 a.	装满的冷库中至少要18~24小时	结束冷却到开始冷冻需66~72小时
b.	61~72小时	结束冷却到冷冻需0~24小时
风 速	30~60m/秒(推荐的风速) 最低风速15m/秒	15m/秒
相对湿度	90~95%	
冷库中的位置	屠体的最小间隔5~8cm	纸箱平放, 上下层间隔应合适

再引起肌肉发硬。-18℃情况下能否取得同样效果, 有待进一步探明。希卡马(Shikama)等人认为, 在低于-20℃下进行短期贮存时, 由于蛋白质表面的水分子层已破裂, ATP酶肌球蛋白被钝化。贮温降到一定程度后, ATP酶肌球蛋白将部分钝化, 从而减轻了解冻时的收缩反应。

三、电刺激

延长发汗冷却时, 为避免在10℃左右情况下贮存胴体以及由此而产生的各种缺点(微生物造成的腐败, 大量贮存等), 可在屠宰后立即对胴体进行电刺激, 以加速胴体僵直。

1. 方法和结果

曾对牛、羊胴体做过电刺激试验。戴维(Davey)等人1976年做过牛胴体的试验, 效果不错。试验程序如下: 胴体劈半, 右半片进行电刺激, 左半片作对照样品。吊挂牛腿的钩作接地极, 第三、四节颈椎骨中插入一枚不锈钢针, 作为高压刺激极。电流为3600伏交流电, 频率为12Hz。电刺激和不进行电刺激的半屠体(慢速冷却或快速冷却)在冷库中存放24小时(见图9), 然后进行剔骨。

在这几种情况下所做的试验表明, 电刺激可立即使PH迅速下降, 并使死后不久的肌肉

酸化加快(见图10)。电刺激1~2分钟, 酸化速度最高。最终PH值达到时间为5小时, 而不是传统方法的24小时。

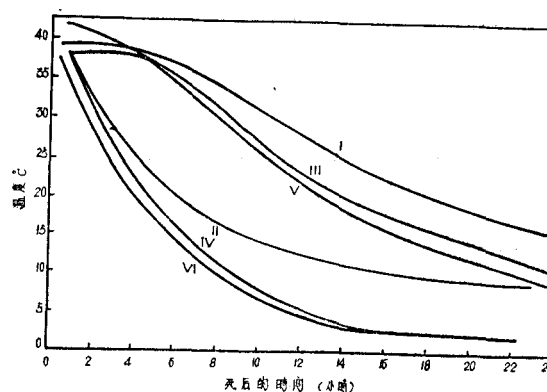


图9 牛半屠体的冷却曲线

图例说明1, 2: 不作电刺激的半屠体眼球深部和腰肌深部慢速冷却曲线。空气原来温度10℃, 24小时内降至8℃。

3, 4: 不作电刺激的半屠体眼球深部和腰肌深部快速冷却曲线。

5, 6: 电刺激的半屠体眼球深部和腰肌深部快速冷却曲线。

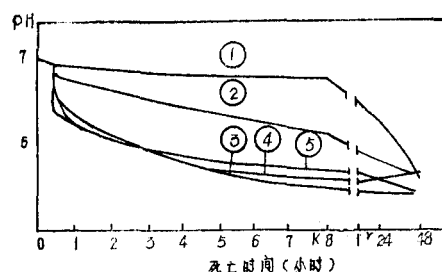


图10 牛的背长肌电刺激时间和PH下降的关系

1. 不刺激; 2. 刺激0.5分钟; 3. 刺激1分钟; 4. 刺激2分钟; 5. 刺激10分钟

对羊胴体也做过同样的试验。对羔羊胴体使用3000伏电压(5脉冲1m/秒)时, 引起约30秒的强烈收缩, 而后轻微颤动。胴体修整后(死后20分钟), 开始僵直, 40分钟后完全僵直, 这时PH约6.3, 肌肉不再发生冷收缩。

2. 影响糖酵解的几种参数

PH较高时, 通电后PH下降得更快, 从此可看到屠宰后可尽量提早进行电刺激(图11)。

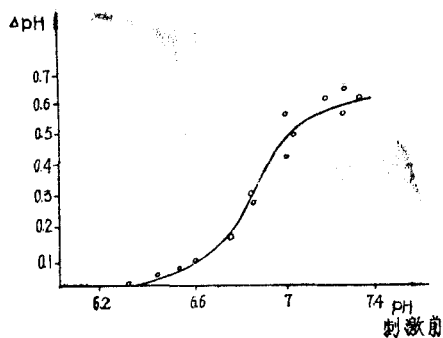


图11 PH和电刺激后PH下降(Δ PH)的关系(脉冲每秒12.5, 电压200伏, 电刺激120秒)。

电流方面, 频率是最重要的参数: 频率5~16Hz的电流刺激两分钟, PH下降幅度最大(见表4)。另外, 电刺激两分钟时, 酸化程度最高(见图10)。

电流频率对PH下降的影响 表4

频率(HZ)	PH	频率(HZ)	PH
100	0.50	12.5	0.74
50	0.50	11.11	0.72
25	0.59	5	0.70
16.67	0.68	2.5	0.45
14.29	0.72		

电压和肌肉酸化速度没有直接关系。

3. 电刺激和嫩度

戴维(Davey)等人在试验中还对用电刺激的样品和对照组样品的肌肉嫩度作了对比: ①测定的抗剪强度(表5), ②品尝小组的评分(表6)。

电刺激对背长肌抗剪强度值的影响
(每个数据都是48次测定的平均值) 表5

	熟化前($\pm$ E.M)	熟化后($\pm$ E.M)
未刺激, 慢速冷却*	37.1 (11.7)	28.5 (11.8)
未刺激, 快速冷却*	100.1 (25.4)	52.6 (19.6)
电刺激, 快速冷却*	36.4 (9.9)	25.2 (5.9)

* 参阅图9, 冷却曲线图

抗剪强度<30 很嫩
抗剪强度=30~40 稍嫩
抗剪强度=40~50 发硬
抗剪强度>50 很硬

熟化前后电刺激对牛肉腰肌, 园肌和
大腿内侧肉嫩度的影响 表6

	腰 肌		园 肌		大腿内侧肉	
	未刺激	刺 激	未刺激	刺 激	未刺激	刺 激
熟化前	3.0(1.3)	5.3*(1.3)	4.7(1.6)	5.1(1.4)	5.3(1.5)	5.2(1.4)
熟化后	4.3(1.6)	6.3*(1.3)	5.9(1.2)	6.1(1.2)	5.5(1.5)	5.8(1.5)

* $P<0.001$

羊 胴 体	牛 胴 体
屠宰后刺激30分钟 频率: 14.3 HZ 脉冲宽度: 10m/秒 电压: 580 伏 时间: 90 秒以上	死后时间: 45 分钟以内 正弦电流频率 14.3 HZ 脉冲宽度: 10m/秒 电压: 500 伏 时间: 2 分钟以上

品尝小组的评分:

嫩度>7 质量好
6<嫩度<7 质量中等
嫩度<6 质量不好

电刺激可极大地改善肉的嫩度: 可部分地加快有效熟化阶段。

对早期冷冻的胴体进行电刺激也可提高嫩度, 但嫩度还很不够, 特别是未经解冻就进行蒸煮时, 嫩度更差。解冻收缩是造成肉不够嫩的原因, 这表明, PH低于5.8时, 还有解冻僵直现象。

4. 操作

这些试验使人想到, 连续处理时, 通过胴体吊挂轨道进行短暂电刺激后, 胴体就可进行冷却或冷冻, 而不产生冷收缩现象($PH<6.3$)。

这些胴体也可在屠宰后不久就进行切割和剔骨, 既节约时间又便于操作。对胴体进行电刺激, 可避免切割和热剔骨时存在的主要问题, 即僵直时的肌肉收缩。

当然, 进入工业使用之前, 这项技术还要进行改进, 特别是必须进一步明确工艺特点; 目前

我们还是参照新西兰人在这方面的试验结果。

结 论

新西兰虽在工业上成功地应用了电刺激(羊胴体)技术,我们认为,胴体冷却条件必须易于检测,肉类才能既符合卫生要求,感官质量又好。要避免发生下述两个缺点:①深层肌肉腐败,②快速冷却,即牛胴体进行8小时左右半冷却所造成的冷收缩(见图12中的曲线B)。胴体冷却时间太慢时(半冷却时间20小时),产气荚膜杆菌可能超过 $10^7/g$,而出现肌肉深层腐败(曲线C)。如冷却太快(半冷却时间4小时),也会产生冷收缩(曲线A)。胴体快速冷却后,贮温尽可能接近于 $0^{\circ}C$,可有效地抑制造成食物中毒的病原菌:葡萄球菌,产气荚膜杆菌,肉毒杆菌,沙门氏菌。抑制这些细菌的温度如下:

10 $^{\circ}C$ 葡萄球菌和肉毒杆菌A和B型停止产毒;

6.7 $^{\circ}C$ 葡萄球菌停止繁殖;

6.5 $^{\circ}C$ 产气荚膜杆菌停止繁殖;

5.2 $^{\circ}C$ 沙门氏菌停止繁殖。

根据法国一些屠宰厂的工艺水平,上述情况使我们可作这样的设想,应用过程中电刺激

还可能有更多的优点。因此,法国已把电刺激工艺的研究从实验室阶段过渡到第二阶段,即屠宰链实验阶段。(收稿日期80.7)

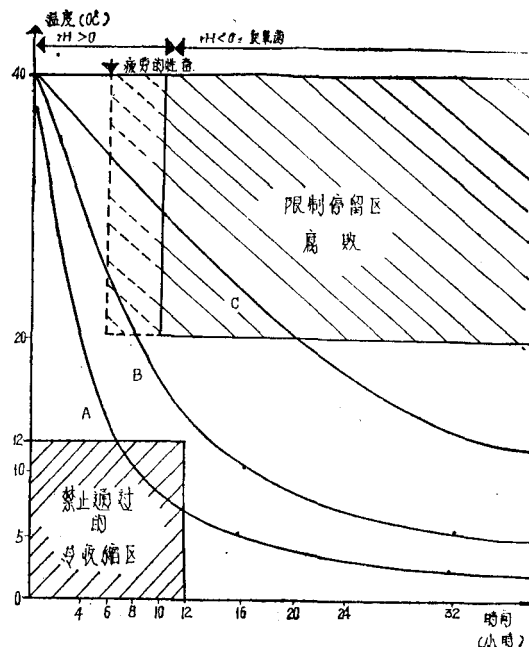


图12 牛肉冷却的理论曲线

曲线A: 超速冷却(半冷却时间4小时)会产生冷收缩

曲线B: 快速冷却(半冷却时间8小时)效果好

曲线C: 慢速冷却(半冷却时间20小时)会出现腐败现象

林洁 节译自法文《RTVA》

N $^{\circ}$ 155; 1980.1~2

由全国食品科技情报中心站和北京市食品研究所翻译、编辑的三册新书

已出版,现将各书内容简介如下:

《水果蔬菜气调贮存译文专辑》第二集

本书共收集了20篇国外有关水果、蔬菜气调贮存的技术、设备以及工艺等方面的文献,共15万字,带图,每册1.00元。

《尼罗替卡罗非鱼的养殖》

本书是日译文,原著者日本丸山为藏,书中介绍了我国正在试养的尼罗替卡罗非鱼的概况、食性、饲养形式、水体、养鱼池、越冬池、池塘的利用、网箱、种苗、海水驯化、冷水驯化、温泉养殖、温排水养殖以及商品体型、存

在问题和发展前景等。全书共六万余字,带图、每册定价0.50元。

《国外肉制品加工概况》

本书综述了国外目前在肉制品加工方面的工艺技术情况,共包括:国外肉制品发展趋势、品种种类,加工厂的布局、加工设备和工艺、人造肠衣等五部分。全书近6万字,每册0.50元。

以上三种书是由全国食品科技情报中心站和北京市食品研究所内部发行。愿购者请将书款寄往:北京市东单东总布胡同弘通巷3号,开户银行:北京市东四南分理处,收款单位:北京市食品研究所,银行帐号:8902—138。

食品科技杂志出版社1980.8。