

基础研究

加速胴体成熟的技术

朱 燕 罗 欣 王海燕 (山东农业大学食品科学系 泰安 271018)

摘 要 本文综述了肉类加工中常用的几种提高肉嫩度、加速胴体成熟的技术和方法,同时还从尸僵发生时的生化和生理变化及其肌原纤维小片的基础上对肉的成熟原因进行了分析,以期指导肉类生产。

关键词 快速成熟 冷收缩 延缓冷却 高温成熟 电刺激 胴体 嫩度

肉的嫩度是肉的食用品质中的一个重要指标。随着人们生活水平的提高,消费者对肉的食用品质的要求越来越高。美国优质牛肉要求在成熟排酸之后,肉的剪切力值小于 $3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 肉面。日本和澳大利亚也对其优质牛肉的嫩度制定了相应的要求。我国优质牛肉标准也即将出台,在标准中也将牛肉的嫩度放在一重要位置。这就要求在家畜屠宰之后,采用各种高新技术,加快肉的成熟,在不影响肉的优秀品质前提下,使成熟期尽量缩短,从而达到生产短周期优质牛肉的目的。近来在加速肉成熟的技术中,国内外肉类科技工作者进行了不断的研究,迄今为止主要有以下几种方法。

1 快速成熟与冷收缩

1.1 快速冷却

传统的屠宰过程是一费时的过程。根据微生物和食品法规的要求,胴体在运输或进一步深加工之前,其深层温度必须降到 7°C 以下,采用传统的冷却程序,除禽肉外达到这一温度一般需要 24~48 小时,不仅严重浪费了能源,而且还延缓肉的出库时间。

近几年来,企业为了缩短胴体在工厂停留时间所采用的最简单的方法是快速冷却。肌肉的冷却速率受多种因素的影响,如胴体大小、形状、脂肪覆盖率、冷却温度、相对温度和气流形式等。由于冷却空气温度不能很好的表征肌肉的冷却速率,因此在实际生产中,一般用偏差较小的肌肉温度来表示肌肉的冷却速率。快速冷却会导致较低的肌肉温度,在尸僵前期,很低的肌肉温度往往会产生冷收缩。

1.2 冷收缩

早在 1963 年,Locker 和 Hzygarol 发现接近完

全僵直的肌肉的收缩程度与温度具有很高的相关性,他们发现牛肉尸僵前 14~19 时的收缩最小(0~2%),在 37 $^\circ\text{C}$ 时具有中等程度的收缩,而当在 10 $^\circ\text{C}$ 以下时,则会出现过度收缩(40~50%)。经过近十年的研究,Bendall (1973) 指出,当肌肉 pH 值高于 6.2,而此时肌肉温度小于 12 $^\circ\text{C}$ 时,会引发冷收缩。这意味着糖原分解速度较慢的肌肉如牛、羊肌肉容易发生冷收缩,猪、禽类的肌肉糖原代谢速度较快,一般不会发生冷收缩。

牛、羊肉由于低温而引起的嫩度降低的现象被称之为“冷变硬”。“冷变硬”应包括由于冷而引起的肌肉过度收缩(冷收缩)和由于低温导致肌肉蛋白酶活性降低而引起的非肌节缩短的变硬两个方面。存在于肌肉中对肉的成熟过程起作用的内源蛋白酶有两大类:一为溶酶体组织蛋白酶,一为钙激活中性蛋白酶。组织蛋白酶一般存在于溶酶体中,不表现活性,只有在溶酶体膜破裂时,组织蛋白酶释放到胞质溶胶中才会起作用。溶酶体膜在高温下易破裂,而低温破裂的可能很少。同时高温与低 pH 值结合可加速钙离子从肌浆网中释放,从而激活钙激活中性蛋白酶。

2 延缓冷却

2.1 延缓冷却

延缓冷却和高温成熟是两个常被混淆的概念,但两者存在着本质的差别。延缓冷却是胴体屠宰后不立即进入预冷间,而在室温下放置一段时间的一种成熟方式;而高温成熟是剔骨后的分割肉放置于高温下成熟。

30 多年前,人们发现将牛胴体在进行正常冷却前在 37 $^\circ\text{C}$ 下放置 4~5 小时,可提高牛肉的嫩度,这

是延缓冷却技术的起源。后来经过很多肉类科技工作者的研究,表明牛肉胴体的延缓冷却确实可提高嫩度。经过延缓冷却的肉虽然嫩度得到提高,但是肌节长度没有发生变化。Marrtin (1983) 的研究证明,肉质硬度的降低除直接与肌肉保持在 10~42 有关外,还与肌肉收缩和成熟在内的复杂机制有关。Lochner (1980) 发现,肉嫩度评分与死后早期温度呈正相关,同样 Merrish 也发现宰后牛肉半片胴体在 37 下放置 3 小时的肉质要比正常冷却肉的肉质嫩。而 Smith 却发现在 13 下冷却胴体与在 3 下冷却胴体嫩度无差异

Dransfield 等在 1992 年提出延缓冷却导致早期嫩化加快,但后期嫩化作用随冷却速度的加快而加快。他认为钙激活酶 I 的失活率与嫩化速度有关,其活性并不稳定,一旦激活就会很快降解,降解的活化能比蛋白分解的活化能稍高。因此,在温度较高时,嫩化作用较差。

2.2 延缓冷却的复杂机制

延缓冷却对嫩化影响的机制有两种:防止冷收缩和加速蛋白分解。此外,高温诱发糖原的快速分解,也可以使肌肉达到产生冷收缩的温度时所用时间较长。

延缓冷却提高嫩度的作用是由避免冷收缩引起,还是由蛋白分解导致,到目前为止还未有定论,对于其嫩化作用存在相反的观点。Yates (1983) 报道,置于 37 下的牛肉与置于 4 下相比,由 SDS 凝胶电泳检测发现,肌原纤维蛋白的分解提高,肌球蛋白和肌钙蛋白 T 亚基在 37 变化明显,肌球蛋白重链在 4 下培养无变化。将钙激活酶和肌原纤维在不同温度下培养无肌球蛋白降解。因此,在延缓冷却的肉样中观察到的现象表明,肌原纤维小片化模式中没有钙激活酶的作用。而 Wipple (1990) 研究肉在较高温度下成熟时,温度对钙激活酶和组织蛋白酶活性的影响时发现,较高温度对 Cathepsin 无影响,但能降低钙激活酶 I 和 Calpainsarin 的活性,对照组和延缓成熟组相比,参与蛋白降解的 Calpain 较少,从而得出延缓冷却肉中嫩度与 calpains 有关。这两个结论是相背离的。孰是孰非,还需以后的研究来证实。

同时,有的学者还认为尽管慢速冷却可避免冷收缩,但除非在死后很早时期内使肌肉在接近生理温度下放置一段时间,否则不会使嫩度得到明显改善。

3 电刺激

电刺激是采用探针或电极,利用电流对放血完全的胴体进行刺激的一种方法。电刺激也是一种防止冷收缩,加速肉成熟的方法。电刺激的有益作用早在 18 世纪就被认识到,直到二十世纪 50 年代才在美国建成了第一个电刺激的工作模式。

3.1 电刺激技术原理

电刺激所依据的原理主要是加速动物体内 ATP 和糖原代谢,使 pH 值快速下降。因动物在死后半小时内神经组织衰退迅速发生,电刺激应在宰后 1 小时内进行,低压电刺激应在放血完全后迅速实施。除此之外,与电刺激有关的其他因素还包括频率和场强。实践证实 14Hz 的频率不论是高压还是低压电刺激都会引起最快的 pH 下降速度;电场强度为 4v/cm 的效果要优于 2v/cm。

电刺激后 pH 的降低还与生物因素有关,如肌肉类型:收缩慢,氧化性纤维比收缩快的糖原代谢肌纤维对高压电刺激的敏感性较差。研究表明,为了确保电刺激效果在整个胴体中一致,低压电刺激要比高压电刺激效果好。

3.2 电刺激对肉品质的影响

- (1) 糖原代谢显著加快,使之快速降低到极限 pH 值;
- (2) 刺激肌肉的温度在宰后早期稍高;
- (3) 刺激肌肉由于肌浆蛋白变性增多,汁液损失增多;
- (4) 肌肉亮度由于肉中保水性降低,而使光反射增多,亮度增加;
- (5) 刺激肌肉进行快速冷却处理后在尸僵期间收缩程度较小;
- (6) 剪切力显著降低,嫩度评分增大。

为了防止产生过度刺激,必须采用特殊的办法进行控制,过强电刺激会导致严重的蛋白变性,肌肉颜色不均一和严重的汁液渗出。适宜的电刺激程序对肌肉的酶成熟到达最佳效果也起到重要的作用。

3.3 电刺激嫩化机制

电刺激后肌肉 pH 值的快速下降有利于肌浆网积累钙离子的能力快速不可逆的失活,从而导致了刺激肌肉成熟早期 pH 值的快速下降和胴体 pH 值下降速度加快。因此,电刺激有效减少了能诱发冷收缩产生的临界 pH 值/温度出现的几率。这是电刺激提高肉嫩度的主要因素。

电刺激除了能防止冷收缩外,还具有“额外的嫩化作用”。额外嫩化作用的机制有多种:

电刺激具有减少胶原交联的作用,使胶原蛋白溶解性增大,从而可以提高肉嫩度;

刺激肌肉中超微结构的破坏较大,出现“挛缩带”;

电刺激可使存在于牛肉和小牛肉背最长肌溶酶体酶的自由酶活性大大提高,但这种酶活性却因释放出的酶的自动分解而降低,高压和低压电刺激都能提高自由溶酶体酶的活性比率,但是只有高压电刺激时,自由溶酶体酶活性增加才能与嫩度的增加一致。

3.4 电刺激还会加速钙激活酶 I 的降解速度

这一发现说明电刺激诱发早期钙激活酶 I 活性,但后期由于钙激活酶 I 自动分解,钙激活酶 I 的活性钝化。电刺激降低钙激活酶抑制剂的活性,这使得在宰后早期抑制剂对钙激活酶 I 的抑制作用较小。

激活的钙激活酶比其酶原的热力学稳定性差,这使得电刺激和慢速冷却肌肉开始嫩化较快,后来速度变小。溶酶体组织蛋白酶和钙激活酶这两种酶系统的作用可能是一致的。添加钙离子或钙激活酶嫩化肉和钙螯合剂可抑制嫩化,这一结果表明在嫩化过程中钙激活酶起到主要的作用。另一方面,当 pH 值小于 6.0 时,钙激活酶活性较低,说明钙激活酶主要作用于死后变化的前期,死后变化后期的嫩化作用是由溶酶体组织蛋白酶产生的。

电刺激对成熟速度的影响和嫩化作用概括如下:电刺激除非与快速冷却相结合,使肌肉产生过强或过弱的收缩,否则,应用电刺激不能提高肉的嫩度。

4 热剔骨和半热剔骨

尸僵过程中,肌肉因为受到骨骼或物理束缚作用,其收缩受到一定程度的限制。热剔骨意味着在尸僵发生之前,将肌肉从其附着的骨骼上移走,肌肉可以达到最大程度的收缩。此外热剔骨的肌肉比附着在骨骼上的肌肉的温度下降得快,实行热剔骨容易产生冷收缩。

Van Lacck 等(1992)观察到热剔骨对牛肉腰大肌的嫩度具有不利的影响。死后 1 天,热剔骨组的腰大肌的剪切力值显著高于冷剔骨的对照组。但是在成熟 9 天,剪切力值间的差异消失,12 天后热剔骨腰大肌的嫩度好于冷剔骨肉。这一结果表明剔骨时间影响成熟反应。同时发现肌原纤维碎片中的 Calpains 和 Cathepsins 的活性相当,因而猜想热剔骨可能影响胶原纤维的定向,从而降低硬度。

在丹麦发展了一种称之为“半热剔骨”的独特的胴体剔骨方式。这一系统包括在-25 和-30 下短时间喷淋对半片胴体冷却,然后在 0~2 下平衡几小时,在死后大约 3 小时对肌肉进行分割和包装。为了避免僵直,包装后的背最长肌在进行 0 下深层冷却之前在 7 下冷却 3 小时。有人认为如果不考虑延缓冷却,半热剔骨和冷剔骨猪肉的嫩度相似。但是,半热剔骨和冷剔骨猪肉在贮存过程中不会使肉的嫩度增加,对此现象无较好的解释。有关猪肉的成熟,冷却对猪肉成熟效果影响和猪肉基因组成对成熟的影响还需要进一步的研究。

5 高温成熟

在肉类工业中,通常采用很多方法来避免热剔骨肉的冷收缩,高温成熟是在热剔骨前几天常用的防止肌肉变硬的方法。高温成熟与延缓冷却的前提在本质上是相同的:使肌肉保持在较高的温度,糖原分解加速,使温度缓慢降低,这样避免诱使冷收缩发生的临界 pH/时间组合的出现,从而防止冷收缩。

Scheidt 和 Gilbert (1970)发现热剔骨的牛肉分割肉在 15 下成熟 10 小时的肉嫩度与冷剔骨的对照组相同,使肉的成熟期缩短。根据肌原纤维小片化研究得出热剔骨和高温成熟比冷剔骨对照组成熟的结论。但高温成熟不会改善电刺激后无冷收缩的肉的嫩度。

6 加快肉成熟的特殊方法

近来很多研究表明对尸僵前期牛胴体或肌肉注射 CaCl_2 (0.3M) 会在死后第一天内起到完全嫩化的作用,另外成熟完成后, CaCl_2 处理组的嫩度要优于非处理组的嫩度。以下的现象表明 CaCl_2 的嫩化作用主要是影响钙激活酶的活性:

- a. CaCl_2 处理能够加速肌原纤维蛋白的分解,而这种降解作用是由于 Calpains 产生的。
- b. CaCl_2 处理可加速死后后期活性的丧失,Calpains 一旦被激活,其活性会慢慢丧失,这一现象也表明 CaCl_2 处理能激活 Calpains。
- c. 注射 ZnCl_2 (一种抑制剂) 能阻止嫩化和肌原纤维蛋白的分解。

对 CaCl_2 处理的嫩化作用还有一些其他解释,如离子强度影响肌原纤维蛋白的溶解性等,但是注射等体积的水和等离子强度的 NaCl 却不产生注射 CaCl_2 的嫩化作用。此外在尸僵前注射 CaCl_2 也会导致肌肉产生严重的收缩,Marsh and Carse (1974) 表明,严重的收缩会因破坏肌原纤维结构而起到嫩化

作用。因此,尸僵前注射CaCl₂的嫩化效果可能是由于强烈的收缩而产生。

7 加压加速成熟反应

对尸僵前肌肉加压(150Mpa)可提高嫩度:

a. 通过Calpains或Lysosomal enzy的作用加速肌原纤维结构的崩解

b. 肌原纤维的破裂是由于肌肉收缩过度而导致。

c. 肌动蛋白或肌球蛋白的解聚作用。

如果将尸僵后肌肉0时,在高压下放置3小时,嫩度不会有明显改善。然而当尸僵后肌肉在高压和高温结合条件下处理,可得到与低温高压处理尸僵前肌肉的相似结果。将经高压的产品进行SDS

凝胶电泳发现这些片段主要是溶菌酶的作用产生的。热-压处理主要是影响肌原纤维蛋白,对胶原蛋白几乎不产生影响。肌原纤维蛋白中的骨架蛋白尤其是Titin和nebulin更易发生改变。

与高压处理不同的一种被称为“Tender-TainerR”处理,即将尸僵前或尸僵后的肌肉放置于压力约为0.4Mpa的塑料容器内。很多理论认为在高压下发生的有益效果在低压下不会发生,例如要是溶菌酶释放出的压力为500~2000atm,用于处理的目的是为了改善肉的最终嫩度。因此这种“Tender-TainerR”作用机理不详,在真空包装的处理组和对照组试验中两者的嫩度差别不大,且SDS凝胶电泳检测结果基本无差异。

Accelerated Processing to Improve the Ageing Response of Meat

Zhuyan Luoxin W anghaiyan

ABSTRACT In this article, several technologies accelerating processing and improving the ageing response of meat were introduced. At the same time, the reasons for ageing based on the biochemistry and biophysics involved in rigor onset and myofibrillar fragmentation were discussed. Recommendations are given for the correct implementation in accelerated processing in meat industry practice.

KEY WORD rapid ageing; cold shorten; delay cooling; high temperature ageing; electric stimulation

(上接第4页)

建立并实施了科学规范的检疫检验程序,按照《肉品卫生检验试行规程》和《生猪屠宰产品品质检验规程》,同步进行宰前、宰后检疫检验合格,胴体盖有检疫检验合格印章和具备兽医检疫、品质检验合格证,且在整个屠宰加工过程中不受污染;五是猪肉(含片肉、分割肉)及副产品的冷却、冻结、冷藏工艺和产品质量均要符合原商业部《冷库管理规范(试行)》和国家肉类产品质量标准的规定。

3.4 规范猪肉运输销售

严格生猪产品运输、销售环节的卫生管理,防止再污染,是保证“绿色猪肉”质量的重要措施。一是销售场所和运输工具要符合《食品卫生法》第八条各款的规定。销售场所应具备生肉储存、剔骨场地所具有的冷藏设施,防蝇、防尘和防虫设施及洗涤、消毒和供排水设施。肉加工间、储存间、营业

室地面、墙壁和天花板,要符合卫生要求。运输工具要用密闭冷藏汽车式保温汽车,装前卸后都要进行消毒清洗,保持卫生清洁;二是“绿色猪肉”加工厂,要建立自己的配送中心和批发市场,实行连锁店或专卖店销售,并对肉店严格管理,防止其乱批乱购肉品销售,规范其销售行为;三是各肉店要建立完善的猪肉销售管理制度和卫生消毒制度,始终保持其周围环境和销售店内卫生,做到无蝇、无虫、无污物、无异味,使猪肉不受污染,保证“绿色猪肉”质量,维护消费者食肉安全。

参考文献

- 1 徐翔等 GDP对食物构成及营养摄入的影响 中国食物与营养, 200(1)
- 2 杨洁彬等 食品安全性 轻工业出版社

The Ever-growing living Standard Demand for Green Meat

Zhu Dexiu

ABSTRACT The precise definition of *Green meat* is given and the effects to the people's living standard are elaborated. Some basic measures for producing the *Green Meat* are illustrated.

KEY WORD pork; safe meat; *Green Meat*