

# 高压处理对牛肉肌红蛋白及颜色变化的影响

马汉军<sup>1,2</sup>, 周光宏<sup>1</sup>, 徐幸莲<sup>1</sup>, D.A.Ledward<sup>3</sup>

(1.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

2.河南科技学院食品学院,河南 新乡 453003 3.School of Food Biosciences, The University of Reading, PO Box 226, Whiteknights, Reading RG6 6AP, UK)

**摘 要:** 室温下不同压力(200、400、600 和 800MPa), 20min 处理对绞碎牛肉颜色及肌红蛋白的影响进行了研究。结果显示: 随压力的上升,  $L^*$  值增加、 $a^*$  值下降, 肌肉逐渐失去红色变为灰棕色。同时, 肌红蛋白总量显著降低, 高铁肌红蛋白的比例在压力 400MPa 以上时显著增加。真空包装不能减轻压力导致的变色, 而添加亚硝酸钠能对色泽起到稳定作用。压力处理导致色泽变化的原因可能是由于二价铁的肌红蛋白氧化成三价铁的高铁肌红蛋白、球蛋白的变性及结构的变化所致, 可通过处理前腌制形成亚硝基肌红蛋白来稳定色泽。

**关键词:** 高压处理; 牛肉; 肌红蛋白; 颜色

## Effects of High Pressure Treatment on Myoglobin Changes and Color Changes in Minced Beef

MA Han-jun<sup>1,2</sup>, ZHOU Guang-hong<sup>1</sup>, XU Xin-lian<sup>1</sup>, D.A.Ledward<sup>3</sup>

(1.Key Laboratory of Agriculture and Animal Products Processing and Quality Control, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China 2.Food Science College, Henan College of Science and Technology, Xinxiang 453003, China 3.School of Food Biosciences, The University of Reading, PO Box 226, Whiteknights, Reading RG6 6AP, UK)

**Abstract:** The effects of high pressure (up to 800MPa) applied at room temperature for 20 minutes on minced beef color and myoglobin were studied. The results showed that color values  $L^*$  increased,  $a^*$  values decreased and the meat becoming grey-brown with the increasing pressure. Simultaneously, the total extractible myoglobin decreased and the proportion of metmyoglobin increased significantly when the pressure reached above 400MPa. Packaging of meat under vacuum could not reduce the negative effect of pressure on beef color. However, curing with  $\text{NaNO}_2$  could stabilize the meat red color prior to high pressure treatment. Beef discoloration through pressure processing might result from oxidation of ferrous myoglobin to ferric metmyoglobin, globin denaturation and structural changes. The former could be prevented by curing and forming nitrosomyoglobin before pressure treatment.

**Key words:** high pressure treatment; minced beef; myoglobin; color

中图分类号 0521.9

文献标识码 A

文章编号 1002-6630(2004)12-0036-04

自Macfarlane(1973)首次报道压力可提高牛肉的嫩度后, 高压处理技术在肉类加工中的应用引起人们极大的兴趣, 人们开始了高压对肉类各种特性的研究<sup>[1,2]</sup>。据报道, 高压处理能提高肌肉的嫩度、调节酶系统、改善肌原纤维蛋白的凝胶特性、延长肉类制品的贮存期, 并对肉中的营养物质具有保护功能<sup>[3~8]</sup>。与此同时, 高压处理将导致肌肉的结构发生一定的变化, 从而影响到其功能特性, 如颜色、脂肪氧化和风味等<sup>[2][8~10]</sup>。

颜色是肉类最重要的特性之一, 是消费者判断肉质

的标准。通常人们观察到肌肉的不同颜色与氧合肌红蛋白(鲜红色)、肌红蛋白(暗红色)和氧化肌红蛋白(灰棕色)三种蛋白的比例有关。肉颜色的稳定性是由二价铁的肌红蛋白的保持程度所决定的。压力能导致肉颜色的改变, 在某些条件下, 压力处理后肉的颜色会变亮, 红色会增强或变弱。据报道, 在碎牛肉或猪肉浆中, 压力 200MPa 时  $L^*$  值开始增加, 300~400MPa 时变得稳定<sup>[11]</sup>。肉表面亮度增加可能由于球蛋白变性和亚铁血红素被取代、汁液损失导致肉中水分含量的变化、或色素

收稿日期: 2003-11-11

基金项目: 国家留学基金委资助项目(留金出[2001]3048)

作者简介: 马汉军(1965-), 男, 副教授, 博士研究生, 研究方向为畜产品贮藏加工。

蛋白结构中卟啉环被破坏及蛋白聚合等原因<sup>[2][5]</sup>。另据报道,碎牛肉在10℃,经500MPa,10min处理,碎猪肉在25℃经350MPa 10~20min处理,红色下降<sup>[5]</sup>。这种下降可能与高铁肌红蛋白( $\text{Fe}^{3+}$ )增加导致棕红色产生有关。

虽然对高压处理后肉类颜色的变化已有所研究,但高压处理对牛肉颜色、肌红蛋白含量的变化以及如何保持压力处理牛肉的色泽稳定尚无见到系统的报道。本研究的目的是探讨高压处理对牛肉的颜色及肌红蛋白、氧合肌红蛋白和氧化肌红蛋白含量变化的影响,并对压力处理后的牛肉获得稳定色泽的方法进行了探讨。

## 1 材料与方法

### 1.1 肉样制备

瘦牛肉购于ASDA超市。用不锈钢刀修整后,在室温下用绞肉机绞成大小3~5mm的颗粒。每份取约30g用Mulivac复合膜包装(规格大约为100×120mm)。一般情况下,带内含有部分空气。另有部分处理为真空封装,封装后的肉样马上进行高压处理。

腌制的肉样是先将亚硝酸钠(购于Sigma公司,添加量为150mg/kg)溶于5~10ml去离子水中,同时添加20g/kg的食盐混合均匀后置于4℃下24h以形成亚硝基肌红蛋白,然后用Mulivac复合膜包装进行压力处理。

### 1.2 高压处理

将肉样置于高压处理设备‘Food Lab’ high pressure rig(英国Stanstead Fluid Power公司制造)容器中,常温下分别于200、400、600和800MPa进行20min的处理。对于不同处理时间对颜色的影响,只采用200、400MPa及2、5、10、15和20min的处理。压力上升的速度大约为4MPa/s。为防止颜色的变化,对于所有测定颜色变化的试验,开袋后的样品尽快进行测定。

### 1.3 肌红蛋白总量及相关色素的测定

肉中肌红蛋白总量及氧合肌红蛋白、脱氧肌红蛋白和氧化肌红蛋白各部分之间的比例是以这三种分子在溶液中不同的吸收光谱为基础来测定的。肉样中的色素被抽提后测定其吸光率。取肉样20g,加入20ml浓度为0.04mol/L, pH6.8的磷酸钠缓冲剂,用韦林氏快速搅拌机(Waring blender)在室温下以转速10800r/min均质25s。置均质液于冰浴中放置1h,然后于1000×g、10~15℃下离心30min。将上清通过whatman 1#滤纸过滤,用同样的缓冲液补足至25ml。使用Unicam UV2分光光度计(英国剑桥制造)测定在525、545、565和572nm处的吸光率。肌红蛋白总量及脱氧肌红蛋白(deoxyMb)、氧合肌红蛋白(MbO<sub>2</sub>)和高铁肌红蛋白(MetMb)各部分的比例按照Krzywicki方法用下列公式计算<sup>[12]</sup>:

肌红蛋白总量(mmol/L/L) =  $-0.166A^{572} + 0.086A^{565} + 0.088A^{545} + 0.099A^{525}$

脱氧肌红蛋白(%) =  $(0.369R_1 + 1.140R_2 - 0.941R_3 + 0.015) \times 100$

氧合肌红蛋白(%) =  $(0.882R_1 - 1.267R_2 + 0.809R_3 - 0.361) \times 100$

高铁肌红蛋白(%) =  $(-2.541R_1 + 0.777R_2 + 0.800R_3 + 1.098) \times 100$

式中 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 分别是吸光率比值 $A^{572}/A^{525}$ 、 $A^{565}/A^{525}$ 、 $A^{545}/A^{525}$ 。

### 1.4 色泽 L\*、a\* 和 b\* 值测定

对照和处理的肉样分别用聚乙烯薄膜包裹,轻轻按压,用CIE-LAB系统测定L\*、a\*和b\*值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 压力处理对色泽和肌红蛋白含量的影响

#### 2.1.1 L\*、a\* 和 b\* 值的变化

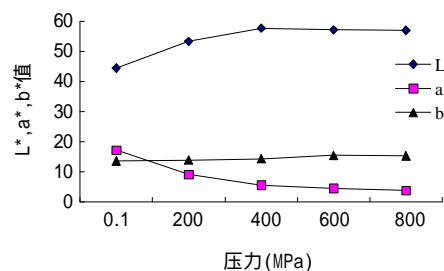


图1 压力处理后肌肉L\*、a\*、b\*的变化

肉样处理前为红色,经200MPa的压力处理后成为粉红色,400MPa及以上时变为灰棕色。L\*、a\*和b\*值的变化如图1。L\*值在压力为400MPa以前时随压力升高而增加,高于400MPa则保持稳定。a\*值则相反,随压力的上升而下降,高于400MPa后下降速度趋于减缓。b\*值则维持不变。本结果与Shigehisa et al的结果相似,Shigehisa et al通过对压力处理猪肉匀浆物颜色变化的研究后发现,L\*值在压力为100(L\*=66.2)至200MPa时开始增加,300至400MPa之间达到最大值(L\*=76.1),随后即使压力增至600MPa,L\*值也无变化。a\*值在压力为100(a\*=5.8)至200MPa时开始缓慢下降直至压力达600MPa(a\*=0.2)<sup>[11]</sup>。另有一些研究者也注意到在压力作用下金枪鱼L\*值的升高和牛肉a\*值的降低<sup>[2][5][13]</sup>。

#### 2.1.2 肌红蛋白和相关色素含量的变化

图2和图3分别显示了对照和压力处理后肉样抽提(pH 6.8的磷酸钠缓冲剂)的肌红蛋白吸收光谱和肌红蛋白总量的变化。随压力增加,吸光率值明显下降,肌红蛋白总量也随压力的上升而降低,但200MPa时光谱的波形没有明显改变,说明肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白之间的比例没有显著的变化。当压力在400MPa及以上时,肌红蛋白总量进一步下降,同时光

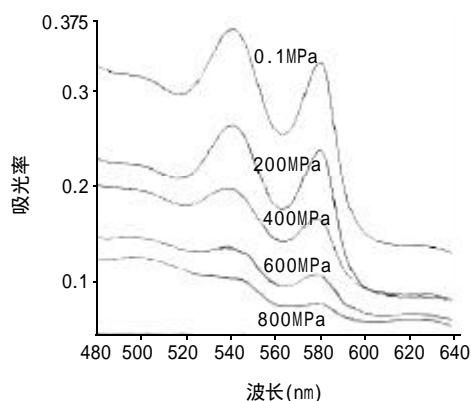


图2 肌肉压力处理后色素抽提液吸收光谱的变化

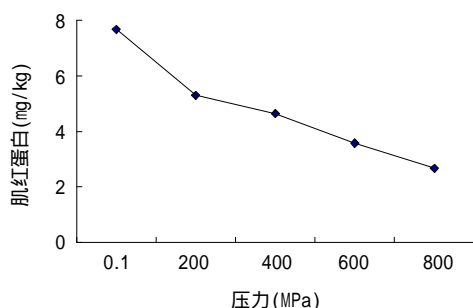


图3 压力处理后肌肉中肌红蛋白总量的变化

谱的波形发生了明显的改变, 540和580nm(反映氧合肌红蛋白特性)处的吸光率下降, 505和630nm(反映高铁肌红蛋白特性)处的吸光率增加, 说明高铁肌红蛋白的比例随压力的升高而增加。

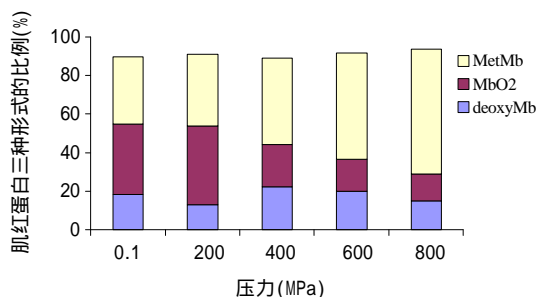


图4 压力处理对肌红蛋白存在形式的影响

肌红蛋白三种存在形式在压力作用下发生的变化如图4。显著变化发生在400MPa及以上的压力, 氧合肌红蛋白的比例随压力的上升而下降, 高铁肌红蛋白的比例在急剧上升。据报道, 金枪鱼肉在150MPa压力时高铁肌红蛋白的比例没有明显变化, 而300MPa时急剧增加至73.1%(对照组为37.1%), 尔后直到压力达500MPa仍保持同样水平<sup>[2]</sup>。这些结果证明, 压力处理后肉颜色变化的部分原因是由于氧合肌红蛋白氧化成高铁肌红蛋白。另外, 亚铁血红素被替代或分离导致球蛋白分子部分变性, 铁原子释放使卟啉环被修饰(铁原子的释放

能促进其氧化, 并与球蛋白的变性有关)等都能造成肌肉颜色的改变, 这些现象可能同时发生, 也可能先后发生。因此, 从试验中肌红蛋白总量、L\*值以及a\*值、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白变化可以看出, 色泽的变化至少是两种机制作用的结果。

### 2.1.3 处理时间的影响

肉样(含空气)包装后在20℃、200和400MPa压力分别处理2、5、10、15和20min。对L\*、a\*和b\*值以及肌红蛋白的不同存在形式进行了测定, 结果显示, 两个级别压力处理后, 都可观察到以下现象: 随着处理时间的延长, 肌肉的L\*值增加, a\*值降低(图5), 肌红蛋白总量下降, 高铁肌红蛋白比例上升, 氧合肌红蛋白比例下降, 且主要变化发生在10min之内, 处理时间在10min以上时, 没有进一步的变化。

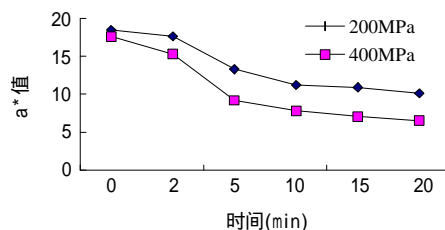


图5 不同处理时间a\*值的变化

### 2.2 真空包装的影响

肉样真空包装后, 在20℃不同压力下处理20min, 无论是肌红蛋白总量, 还是色泽L\*、a\*和b\*值, 以及肌红蛋白不同形式的比例(数据略), 与非真空包装比较没有明显的差异( $p > 0.05$ )。由此可见, 真空包装不能有效的除去肉糜中的氧气, 达不到保护色泽的目的。

### 2.3 腌制对色泽的稳定作用

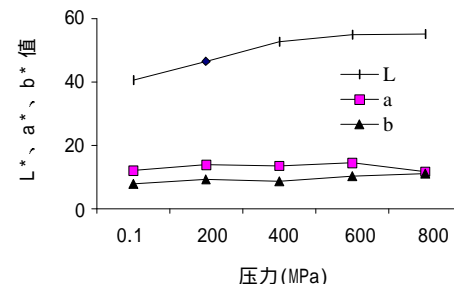


图6 腌制后肌肉进行高压处理L\*、a\*、b\*值的变化

腌制后的肉样, 经不同压力处理20min后, 其色泽L\*值、a\*值和b\*值的变化见图6。压力处理导致L\*值上升, 但a\*和b\*没有明显变化, 处理后样品的颜色为粉红色, 与热处理的非常相似。本结果也证实了压力处理导致颜色变化至少是由于两种不同机制作用的假设。在亚硝酸盐存在时, 稳定的亚硝基肌红蛋白

的形成避免了二价铁氧化成三价铁离子。然而,腌制不能有效阻止色泽的变白( $L^*$ 值升高),这可能是压力导致球蛋白的变性及肌肉失水造成的。Suzuke et al 的研究也得到了相似的结论,法兰克福肠经 400 或 600MPa ( $10\sim 40^\circ\text{C}$ ,  $10\sim 30\text{min}$ )处理,  $L^*$  值增加 5 个单位,而  $a^*$  和  $b^*$  值保持不变<sup>[14]</sup>。

### 3 结 论

高压处理导致肉的变色是一个复杂的现象,至少是两种机制共同作用的结果。色泽变白( $L^*$ 值升高)可能是由于高压导致肌红蛋白的变性所致。肉样中肌红蛋白总含量的较低,可能是由于高压造成肌红蛋白的可溶性降低(高压导致肌原纤维蛋白质凝聚)或是降低了仍然可溶但已变性的肌红蛋白的吸光率。红色  $a^*$  值的下降与肌红蛋白的氧化、球蛋白的变性及结构的破坏都有关系。

真空包装不能有效的阻止压力导致的肌红蛋白的氧化造成的变色。添加亚硝酸钠形成的亚硝基肌红蛋白能对色泽能起到稳定及保护作用,这为肉制品压力杀菌或加工处理时最大限度减小变色提供了实用的手段。

### 参考文献:

- [1] Macfarlane J J. Pre-rigor pressurization of muscle: Effects on pH, shear value and taste panel assessment[J]. Journal of Food Science, 1973, 38: 294-298.
- [2] Claude C J, Culioli J. Effect of high pressure on meat: A review[J]. Meat Science, 1997, 46: 211-236.
- [3] Farr D. High pressure technology in the food industry[J]. Trends in Food Technology, 1990, (7): 14-16.
- [4] Jung S, Ghoul M, De Lamballerie-Anton M. Changes in lysosomal enzyme activities and shear values of high pressure treated meat during ageing[J]. Meat science, 2000a, 56: 239-246.
- [5] Jung S, Ghoul M, De Lamballerie-Anton M. Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-technologie, 2004.
- [6] Jung S, Lamballerie-Anton M D, Taylor R G, et al. High pressure effects on lysosome integrity and lysosomal enzyme activity in bovine muscle[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2000b, 48: 2467-2471.
- [7] Ohmori T, Shigehisa T, Tajiri S, et al. Effect of high pressure on the protease activities in meat[J]. Agric Biol Chem, 1991, 55: 357-361.
- [8] Suzuki A, Homma N, Fukuda A, et al. Effects of high-pressure treatment on the flavor-related components in meat[J]. Meat Science, 1994, (3): 369-379.
- [9] Cheah P B, Ledward D A. High pressure effects on lipid oxidation[J]. Journal of American Oil Chemists Society, 1995, (9): 1059-1063.
- [10] Cheah P B, Ledward D A. High pressure effects on lipid oxidation in minced pork[J]. Meat Science, 1996, (2): 123-134.
- [11] Shigehisa T, Ohmori T, Saito A, et al. Effect of high hydrostatic pressure on characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products[J]. International Journal of Food Microbiology, 1991, (12): 207-216.
- [12] Krzywicki K. The determination of haem pigments in meat[J]. Meat Science, 1982, (7): 29-36.
- [13] Ledward D A. High pressure processing of meat and fish[C]. In Symposium on Fresh Novel Foods by High Pressure, 1998. 165-175.
- [14] Suzuki T, Takahashi T, Sato S, et al. High pressure treatment of various foods. In: Hayashi, R. (Eds), High Pressure Bioscience and Food Science[M]. Kyoto: San-Ei Pub.Co., pp. 1993. 365-371.

## 中国糖果

中国甜食期刊的领导者

地址: 北京市朝阳区 电话: +86 10 67328712 67328809

《中国糖果》杂志由中国食品工业协会糖果专业委员会主办, 创刊于1984年, 是中德糖果、巧克力、果冻、糖粉及甜食行业的权威刊物。

《中国糖果》杂志创刊15年来, 经过多次改版, 扩版, 发行量稳步增加, 读者已达数十万人。其中, 生产企业在45%左右, 经销商占40%, 食品行业协会和研究机构占10%, 食品原料辅料和包装材料占5%。《中国糖果》杂志在整个糖果、巧克力、果冻、糖粉及甜食行业有着独一无二的广泛影响力。《中国糖果》杂志同时被认定, 为是向该行业市场推广的权威刊物。



12th  
中国糖果