

# 葡萄籽提取物和茶多酚抑制高氧气调包装牛肉饼的提前褐变现象

许宝琛<sup>1</sup>, 张一敏<sup>1</sup>, 罗欣<sup>1</sup>, 马伟民<sup>2</sup>, 杨振刚<sup>3</sup>, 梁荣蓉<sup>1\*</sup>

(1. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东泰安 271018) (2. 君博食品有限公司, 山东临清 252600)

(3. 亿利源清真肉类有限公司, 山东阳信 251800)

**摘要:** 肉类熟制过程中的提前褐变现象 (Premature Browning, PMB) 容易导致食品安全问题, 高氧气调包装是导致该现象的一个主要因素。为抑制高氧气调包装牛肉饼的 PMB 现象, 该研究向牛肉饼中添加葡萄籽提取物和茶多酚两种天然抗氧化物, 通过测定其 pH 值、生鲜肉色和熟制肉色、脂肪氧化值、菌落总数和感官品质等指标, 研究其对牛肉饼 PMB 现象的抑制作用。研究表明, 添加 0.1 g/kg 的葡萄籽提取物或 0.1 g/kg 茶多酚可以显著降低肉饼贮藏过程中的脂质氧化, 提高生肉饼的肉色稳定性。在贮藏第 6 d 时, 添加葡萄籽提取物和茶多酚能将肉饼脂质氧化值由对照组的 8.98 mg MDA/kg 分别降低至 5.62 mg MDA/kg 和 5.79 mg MDA/kg ( $p < 0.05$ ), 并使肉饼在中心温度 66 °C 时的中心  $a^*$  值显著高于其 72 °C 的中心  $a^*$  值 ( $p < 0.05$ ), 对高氧气调包装条件下肉饼的 PMB 有显著的抑制效果。同时, 两种天然抗氧化物对肉饼的感官品质无负面作用。因此, 生产中可以通过添加 0.1 g/kg 葡萄籽提取物或 0.1 g/kg 茶多酚来抑制高氧气调包装肉饼的 PMB, 提高食品安全性。

**关键词:** 葡萄籽提取物; 茶多酚; 牛肉饼; 提前褐变; 脂质氧化

文章编号: 1673-9078(2022)01-181-187

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.1.0520

## Inhibition of Grape Seed Extract and Tea Polyphenols on the Premature Browning of Beef Patties under High Oxygen Modified Packaging

XU Baochen<sup>1</sup>, ZHANG Yimin<sup>1</sup>, LUO Xin<sup>1</sup>, MA Weimin<sup>2</sup>, YANG Zhengang<sup>3</sup>, LIANG Rongrong<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

(2. Junbo Food Co. Ltd., Linqing 252600, China) (3. Yiliyuan Halal Meat Co. Ltd., Yangxin 251800, China)

**Abstract:** The premature browning (PMB) during meat cooking will lead to food safety problems, and high oxygen modified packaging is one of major factors leading to this phenomenon. In order to inhibit or reduce the PMB of beef patties, grape seed extract and tea polyphenols were added to beef patties to determine the inhibition effect on the PMB of beef patties. The pH value, meat color of both raw and cooked patties, TBARS, total viable counts (TVC) and the sensory quality were evaluated. The results showed that adding 0.1 g/kg of grape seed extract and 0.1 g/kg of tea polyphenols inhibited the lipid oxidation in beef patties during storage, improved the color stability of raw beef patties, and improved the  $a^*$  values of cooked color at 66 °C. On the day 6 of storage, the lipid oxidation was significantly reduced from 8.98 mg MDA/kg in control group to 5.62 mg MDA/kg and 5.79 mg MDA/kg ( $p < 0.05$ ) respectively by the addition of 0.1 g/kg of grape seed extract and 0.1 g/kg of tea polyphenols. And the central  $a^*$  values at 66 °C were significantly higher than those at 72 °C ( $p < 0.05$ ) and those of control at 66 °C ( $p < 0.05$ ), which showed a significant inhibitory effect on PMB of patties under the condition of high oxygen modified packaging. At the same time, there

引文格式:

许宝琛, 张一敏, 罗欣, 等. 葡萄籽提取物和茶多酚抑制高氧气调包装牛肉饼的提前褐变现象[J]. 现代食品科技, 2022, 38(1): 181-187, +344

XU Baochen, ZHANG Yimin, LUO Xin, et al. Inhibition of grape seed extract and tea polyphenols on the premature browning of beef patties under high oxygen modified packaging [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(1): 181-187, +344

收稿日期: 2021-05-18

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31871731); 山东省重点研发计划项目 (2019GNC106050); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系 (CARS-37); 滨州市重点研发计划 (2019ZDYF010)

作者简介: 许宝琛 (1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 肉品科学, E-mail: wshygc@qq.com

通讯作者: 梁荣蓉 (1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 肉品科学, E-mail: lrr327@126.com

was no negative effect of the two natural antioxidants on the sensory quality of the beef patties. Therefore, 0.1 g/kg of grape seed extract or 0.1 g/kg of tea polyphenols can be added to inhibit the PMB of beef patties under high oxygen modified packaging during cooking and thus improve the food safety.

**Key words:** grape seed extract; tea polyphenols; beef patties; premature browning; lipid oxidation

生鲜肉色决定着消费者对生鲜肉品的购买欲, 而熟制肉色影响着消费者对肉品熟制程度的判断<sup>[1,2]</sup>。正常牛肉制品在加热过程中, 肉色会由红向棕褐色转变, 当中心肉色完全变为棕褐色时, 说明此时肉品熟制完成<sup>[3]</sup>。提前褐变现象 (Premature Browning, PMB) 是牛排和牛肉饼加热过程中的一种非典型颜色变化, 它是在低于破坏食源性病原体所需温度时, 中心肉色提前由红色变为褐色, 使消费者误以为此时的肉饼已熟制完全, 达到安全食用状态<sup>[4,5]</sup>。因此, 该现象容易导致食品安全问题。为防止 PMB 现象引起的食源性疾病, 美国农业部建议, 牛肉饼的熟制中心温度不能低于 71.1 °C<sup>[6]</sup>。

很多因素可以引起 PMB 现象, 已有研究发现, 高氧气调包装的牛肉由于贮藏期间的氧化程度较大, 在加热过程中更易发生 PMB 现象<sup>[7]</sup>, 因此, 通过添加抗氧化剂来降低氧化程度是抑制 PMB 现象的一种有效手段<sup>[8]</sup>。Sørheim 等<sup>[9]</sup>向碎牛肉中分别加入了抗坏血酸、迷迭香提取物、乳酸钠、多聚磷酸盐和林贡莓汁, 发现仅多聚磷酸盐减少了 PMB 现象的发生。Ramanathan 等<sup>[5]</sup>通过向碎牛肉中添加琥珀酸盐和氢氧化铵, 加热后发现琥珀酸盐可以抑制 PMB 现象的发生, 而加氢氧化铵的碎牛肉仍会产生 PMB 现象。此外, 壳聚糖和抗坏血酸等添加物均可对 PMB 现象的发生起到一定的抑制作用<sup>[10,11]</sup>。

目前, 天然抗氧化剂凭借其安全、高效的优点在肉品工业中得到了广泛应用, 但大多都以其对生肉的抗氧化性和抑菌作用为立足点进行研究, 其对加热后肉色变化的影响还鲜有报道。因此, 本实验选取抗氧化效果较好的葡萄籽提取物和茶多酚两种天然抗氧化剂, 探究两种抗氧化剂对 PMB 现象的抑制效果, 旨在为肉制品 PMB 现象的控制提供技术支持和数据参考, 提高食品安全性。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

西冷牛肉及脂肪, 山东阳信亿利源清真肉类有限公司; PCA 琼脂培养基, 陆桥科技股份有限公司; 茶多酚 (90%), 上海义润生物工程有限公司; 葡萄籽提取物 (85%), 西安萃之健生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

SenvenGo pH 计, 瑞士 Mettler Toledo 公司; BagMixrrR 400 拍打器, 法国 Interscience 公司; SP62 便携式积分球分光光度计, 美国 X-Rit 公司; DT-6D 气调包装机, 大江机械设备有限公司; C/E652 肉饼成型机, 意大利 La Minerva 公司。

### 1.3 实验设计

选取正常 pH 值范围的牛背最长肌, 真空包装后 0~4 °C 条件下运回实验室。经修整绞碎后 (包括 15% 的脂肪), 平均分为三组, 分别为对照组 (未添加天然抗氧化剂)、葡萄籽提取物处理组和茶多酚处理组。各组原料肉绞碎后分别添加 0.1 g/kg 的葡萄籽提取物和 0.1 g/kg 的茶多酚 (充分溶解后添加), 并同时添加 10% 水和 2% 食盐, 各组物料分别混合均匀后, 低速斩拌 15 s, 使用肉饼成型机制成 9 cm 直径、1.5 cm 厚的肉饼, 进行高氧气调包装 (80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub>), 置于 0~4 °C 环境中贮藏 0、3、6 d。在每个时间点将肉饼取出, 测定生肉 pH 值、肉色、脂质氧化值和菌落总数, 同时将肉饼在 177 °C 的温度下分别煎制至中心温度 66 °C、72 °C, 测定肉饼中心肉色和 pH 值, 并对 72 °C 的肉饼进行感官品评。本实验共重复三次, 每批实验的每个处理条件下均有三个肉饼作为平行。

### 1.4 pH 值的测定

生鲜肉饼 pH 值: 在每个贮藏时间点, 用校正后的 pH 计 (采用两点法校正, 即 pH 值为 4.00 和 7.00 的缓冲液) 直接测定肉饼中心 pH 值; 对于熟制肉饼, 测定肉饼冰浴 5 min 后切面中心位置的 pH 值。每个肉饼测量 3 次, 取平均值。

### 1.5 肉色指标的测定

生鲜肉色的测定: 参考 Yang 等<sup>[12]</sup>的测定方法, 每个贮藏时间点, 在打开包装后将肉饼沿中线切开, 用便携式积分球分光光度计直接测定切面的 L\*值 (亮度值)、a\*值 (红度值) 和 b\*值 (黄度值), 每个肉饼测定 6 次, 取其平均值。

熟制肉色的测定: 立即从煎板取下, 装入真空包装袋中置于冰水中冰浴 5 min, 以防止温度继续上升,

冰浴完成后沿中线切开并立即测定其切面中心的  $L^*$  值、 $a^*$  值和  $b^*$  值, 每个肉饼测定 6 次, 取其平均值。

## 1.6 脂质氧化的测定

参考 Siu 等<sup>[13]</sup>的测定方法并稍作改动。在各个时间点, 从牛肉饼内部称取样品 4 g (剔除筋腱和脂肪), 加入 20 mL 蒸馏水混匀, 用均质机匀浆 1 min (均质 30 s 间隔 30 s 再均质 30 s)。随后, 向均质液中加入 20 mL 10% (W/V) 的三氯乙酸溶液, 混合均匀, 经 whatman NO.1 滤纸过滤, 留取滤液备用。取 4 mL 滤液, 加入 1 mL 60 mM 硫代巴比妥酸溶液混匀, 80 °C 水浴加热 90 min, 结束后取出冷却至室温。吸取 250  $\mu$ L 混合液转移至 96 孔板中, 使用酶标仪测定混合液在 532 nm 处的吸光度值, 最后通过标准曲线 (用已知浓度的 1,1,3,3-四乙氧基丙烷溶液得出) 计算出脂质氧化值, 结果表示为 mg MDA/kg 样品。

## 1.7 菌落总数的测定

参考 Yang 等<sup>[12]</sup>的测定方法并稍作改动。在各个取样点, 随机称取 10 g 肉饼表面及内部肉样, 置于无菌拍打袋中, 加入 90 mL 的 8.5% 无菌生理盐水 (含 0.01% 蛋白胨), 用拍击式均质器拍打 60 s。进行一系列梯度稀释后选择 2~3 个适宜稀释度的样品匀液在琼脂培养基中 37 °C 恒温培养 48 h 后计数, 记录下相应的稀释倍数和菌落数量, 菌落计数以菌落形成单位 (colony forming units, CFU) 表示。选取菌落数在 30 CFU~300 CFU 之间、无蔓延菌落生长的平板计算菌落总数。菌落总数以 logCFU/g 样品表示。

## 1.8 感官品评

参考 Maughan 等<sup>[14]</sup>的方法并做适当修改。选取 10 位长期从事牛肉品质研究的人员为品评人员, 在环境适宜的标准品评间里对各部分实验中煎至中心温度 72 °C 的肉饼进行品评。品评指标包括嫩度、多汁性、风味和整体可接受性; 打分采用 9 分制, 其中 5 分为标准限值, 具体如表 1 所示。

表 1 熟制牛肉饼感官品评表

Table 1 Ratings of sensory evaluation on cooked beef patties

指标	评分								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
嫩度	极老	非常老	很老	比较老	一般	比较嫩	很嫩	非常嫩	极嫩
多汁性	极干燥	非常干燥	很干燥	比较干燥	一般	比较多汁	很多汁	非常多汁	极多汁
风味	极难接受	非常难接受	很难接受	比较难接受	一般	比较易接受	很易接受	非常易接受	极易接受
异味	极浓	非常浓	很浓	比较浓	一般	比较轻微	很轻微	极轻微	无
总体可接受性	极难接受	非常难接受	很难接受	比较难接受	一般	比较易接受	很易接受	非常易接受	极易接受

样品准备时, 将牛肉饼煎制中心温度达到 72 °C 后立即从煎板移走, 去除边缘部分, 切成 2 cm×2 cm 的小块, 作为品评样品, 每个样品用三位数随机编码, 在 2 min 内呈递给品评人员。每位品评人员随机呈递每个处理组的 1 个样品。品评期间准备室温水和苏打饼干以清除品评期间残留的味道。每部分实验的感官品评均进行了 3 次。

## 1.9 数据统计分析

本实验中数据使用 SAS 软件 (9.0 版本), 进行混合模型分析, 结果表示为“平均值±标准差”表示。以添加的天然抗氧化剂、煎制中心温度、贮藏时间以及它们的交互作用为固定因素, 肉饼作为随机因素, 实验重复数  $n=3$ 。使用 SAS 的混合模型 (MIXED procedure) 进行方差分析, 差异显著水平为  $p<0.05$ , 用 Sigmaplot 12.5 软件进行作图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 pH 值

表 2 添加葡萄籽提取物和茶多酚对牛肉饼 pH 值的影响

Table 2 Effects of adding grape seed extract and tea polyphenols on pH value of beef patties

处理	中心温度/°C	贮藏时间/d		
		0	3	6
对照	4	5.52±0.01 <sup>amx</sup>	5.53±0.01 <sup>amx</sup>	5.55±0.01 <sup>amx</sup>
	66	5.70±0.01 <sup>alx</sup>	5.73±0.01 <sup>alx</sup>	5.74±0.01 <sup>aly</sup>
	72	5.73±0.02 <sup>alx</sup>	5.73±0.01 <sup>alx</sup>	5.74±0.02 <sup>aly</sup>
葡萄籽提取物	4	5.47±0.01 <sup>bny</sup>	5.52±0.01 <sup>amx</sup>	5.53±0.01 <sup>amx</sup>
	66	5.65±0.01 <sup>bmy</sup>	5.79±0.01 <sup>alx</sup>	5.80±0.02 <sup>alx</sup>
	72	5.65±0.02 <sup>blx</sup>	5.80±0.01 <sup>alx</sup>	5.80±0.02 <sup>alx</sup>
茶多酚	4	5.53±0.01 <sup>amx</sup>	5.54±0.01 <sup>amx</sup>	5.55±0.01 <sup>amx</sup>
	66	5.65±0.01 <sup>bly</sup>	5.78±0.02 <sup>alx</sup>	5.78±0.01 <sup>amx</sup>
	72	5.67±0.02 <sup>bly</sup>	5.79±0.02 <sup>alx</sup>	5.82±0.03 <sup>alx</sup>

注: a~b: 不同字母表示同一处理、中心温度, 不同贮藏时间差异显著 ( $p<0.05$ ); l~n: 不同字母表示同一处理、贮藏时间,

不同中心温度差异显著 ( $p<0.05$ )；x-y: 不同字母表示同一贮藏时间、中心温度, 不同处理差异显著 ( $p<0.05$ )。表2、3同。

通过表2可以看出, 处理方式、中心温度和贮藏时间的三因素交互作用对牛肉饼中心 pH 值影响显著 ( $p<0.05$ )。添加葡萄籽提取物会使肉饼的初始 pH 值显著低于对照组肉饼<sup>[15]</sup>, 茶多酚的添加未影响肉饼的 pH 值, 这与 Ozvural 等<sup>[16]</sup>的研究结果相同。经贮藏后, 三种处理肉饼的 pH 值增大至 5.55, 仍处于正常 pH 值范围内。加热处理会使肉饼的 pH 值显著增大, 这与 Mancini 等<sup>[17]</sup>的研究一致。在贮藏 6 d, 处理组的肉饼熟制后 pH 值均增大至 5.80 及以上, 而对照组肉饼的熟制 pH 值仅为 5.74, 显著低于处理组 ( $p<0.05$ )。而 Hollenbeck 等<sup>[18]</sup>则发现, 肉饼中脂肪含量的增加会使 pH 值在加热过程中减小。目前仅知, 较高的生肉 pH 值可以提高肌红蛋白在加热过程中的稳定性, 这会对 PMB 现象具有抑制作用<sup>[8]</sup>。

## 2.2 肉色

### 2.2.1 $L^*$ 值

表3 添加葡萄籽提取物和茶多酚对牛肉饼  $L^*$ 值的影响

Table 3 Effects of adding grape seed extract and tea polyphenols on  $L^*$  value of beef patties

处理	中心温度/°C	贮藏时间/d		
		0	3	6
对照	4	52.08±0.42 <sup>amx</sup>	49.19±0.49 <sup>bmy</sup>	49.96±0.48 <sup>bny</sup>
	66	52.59±0.53 <sup>blmx</sup>	53.60±0.71 <sup>alx</sup>	53.74±0.57 <sup>amx</sup>
	72	53.24±0.52 <sup>bly</sup>	54.09±0.16 <sup>alx</sup>	54.61±0.71 <sup>alx</sup>
葡萄籽提取物	4	52.03±0.47 <sup>amx</sup>	49.93±0.25 <sup>bny</sup>	50.46±0.29 <sup>bmy</sup>
	66	52.43±0.48 <sup>almx</sup>	52.65±0.56 <sup>amy</sup>	52.80±0.59 <sup>amy</sup>
	72	53.47±0.47 <sup>aly</sup>	53.34±0.61 <sup>alx</sup>	54.03±0.79 <sup>alx</sup>
茶多酚	4	52.02±0.33 <sup>amx</sup>	51.18±0.08 <sup>bmx</sup>	50.98±0.61 <sup>bmx</sup>
	66	53.10±0.47 <sup>amx</sup>	53.19±0.34 <sup>alx</sup>	53.73±0.47 <sup>alxy</sup>
	72	53.90±0.48 <sup>alx</sup>	54.01±0.73 <sup>alx</sup>	54.63±0.73 <sup>alx</sup>

通过表3可以看出, 处理方式、中心温度和贮藏时间的三因素交互作用对牛肉饼中心  $L^*$ 值影响显著 ( $p<0.05$ )。随着贮藏时间的延长, 三种处理的生肉饼中心  $L^*$ 值均逐渐减小。对照组肉饼的  $L^*$ 值最终降至 50 以下, 而添加茶多酚的肉饼  $L^*$ 值显著高于其他两种处理 ( $p<0.05$ )。肉饼在加热过程中  $L^*$ 值持续增大, 并且经贮藏处理后,  $L^*$ 值增大的程度更大, 最高可达到 54.63。Yu 等<sup>[19]</sup>同样发现加热可以使  $L^*$ 值增大, 并且猜测, 这是由于肉中的蛋白质在加热过程中发生结构变化, 导致肉的保水能力下降, 而水分的渗出又会增加光反射, 导致熟肉的  $L^*$ 值比生肉高。此外, 肉中可溶性蛋白的流失也会导致熟肉的  $L^*$ 值增大<sup>[20]</sup>。

### 2.2.2 $a^*$ 值

表4 添加葡萄籽提取物和茶多酚对牛肉饼  $a^*$ 值的影响

Table 4 Effects of adding grape seed extract and tea polyphenols on  $a^*$  value of beef patties

处理	中心温度/°C	贮藏时间/d		
		0	3	6
对照	4	21.07±0.13 <sup>alx</sup>	20.30±0.06 <sup>blx</sup>	17.41±0.26 <sup>clx</sup>
	66	10.98±0.36 <sup>amx</sup>	7.93±0.38 <sup>bmy</sup>	7.88±0.21 <sup>cmx</sup>
	72	8.39±0.27 <sup>amx</sup>	7.83±0.04 <sup>amx</sup>	7.82±0.20 <sup>amx</sup>
葡萄籽提取物	4	21.46±0.08 <sup>alx</sup>	20.87±0.53 <sup>blx</sup>	20.11±0.13 <sup>clx</sup>
	66	11.18±0.35 <sup>amx</sup>	9.76±0.31 <sup>bmx</sup>	9.30±0.47 <sup>cmx</sup>
	72	8.27±0.13 <sup>amx</sup>	7.88±0.15 <sup>amx</sup>	7.83±0.14 <sup>amx</sup>
茶多酚	4	21.00±0.22 <sup>alx</sup>	20.53±0.49 <sup>alx</sup>	19.83±0.20 <sup>blx</sup>
	66	11.12±0.42 <sup>amx</sup>	9.79±0.08 <sup>bmx</sup>	9.03±0.28 <sup>cmx</sup>
	72	8.49±0.13 <sup>amx</sup>	7.90±0.13 <sup>bmx</sup>	7.82±0.11 <sup>bmx</sup>

$a^*$ 值是肉色研究中最重要指标, 生肉的  $a^*$ 值表征着肉的红色, 直接影响消费者的购买意向, 而加热过程中的  $a^*$ 值变化则可以反映肉饼的熟制程度,  $a^*$ 值的降低表示熟肉棕褐色程度的增加。通过表4可以看出, 处理方式、中心温度和贮藏时间的三因素交互作用对牛肉饼中心  $a^*$ 值影响显著 ( $p<0.05$ )。贮藏过程中, 三种处理的生肉饼  $a^*$ 值均逐渐下降, 但两种天然抗氧化物处理组显著减缓了  $a^*$ 值的下降。贮藏 0 d 和 3 d 时各处理组的  $a^*$ 值差异不显著 ( $p>0.05$ ), 但是贮藏 6 d 时, 两种天然抗氧化物处理组的  $a^*$ 值均显著高于对照组 ( $p<0.05$ )。Holman 等<sup>[2]</sup>研究发现, 当牛肉的  $a^*$ 值高于 14.5 时, 大多数消费者认为其肉色较好, 可以引起消费欲望。本研究中三种处理的生肉饼  $a^*$ 值均高于 14.5, 表现出良好的肉色, 但是对照组已出现显著的下降趋势, 这说明两种天然抗氧化物有助于维持肉饼在高氧气调包装条件下的肉色稳定性。

加热处理会使肉饼的  $a^*$ 值下降, 此时, 肉色也由红色向棕褐色转变, 逐渐呈现熟肉色泽。本研究中设置 66 °C 为未完全熟制的温度, 用 66 °C 下的中心肉色衡量褐变程度, 而 72 °C 的中心肉色为熟制完全的肉色, 当 66 °C 的肉色与 72 °C 肉色无显著差异时, 我们认为此肉饼发生了 PMB 现象<sup>[20,21]</sup>。本研究中, 对照组肉饼贮藏至 6 d, 在中心温度达到 66 °C 时  $a^*$ 值下降至 7.88, 与 72 °C 无显著差异 ( $p>0.05$ ), 这说明加热至 66 °C 时肉饼已经呈现了熟制完全的色泽, 发生了 PMB 现象。而添加葡萄籽提取物和茶多酚的肉饼在加热至 66 °C 时的  $a^*$ 值分别为 9.30 和 9.03, 均显著高于 72 °C ( $p<0.05$ )。同时可以发现, 在 66 °C 时对照组肉饼的  $a^*$ 值显著低于处理组, 这说明添加葡萄籽提取物和茶多酚均能有效抑制高氧气调包装条件下的 PMB 现象。

抗氧化剂可以使肉中的肌红蛋白保持在亚铁形态, 此时肌红蛋白的热稳定性较强, 所以在理论上, 添加抗氧化剂可以延缓加热引起的肌红蛋白变性而导致的褐变<sup>[8,22]</sup>。除此之外, 添加抗氧化剂还可以抑制牛肉的脂质氧化或者提高牛肉的还原能力, 这有助于肉色的稳定。Sepe 等<sup>[11]</sup>在牛肉饼中添加 5 种合成抗氧化剂, 研究发现与对照组相比, 所有抗氧化剂均能降低脂质氧化, 增加牛肉饼的还原能力, 从而抑制 PMB 现象的发生。Suman 等<sup>[10]</sup>尝试添加壳聚糖来抑制作用 PMB 现象, 结果表明添加壳聚糖可以抑制托盘包装肉饼的 PMB 现象, 但未发现对高氧气调包装肉饼 PMB 现象的抑制作用。而 Mancini 等<sup>[23]</sup>研究发现, 乳酸的添加无法抑制牛肉饼的 PMB 现象。本研究使用的两种天然抗氧化剂均可以较好的抑制高氧气调包装肉饼的 PMB 现象, 这说明不同抗氧化剂的作用机制和抗氧化能力可能存在差异, 这点值得进行进一步研究。

### 2.2.3 $b^*$ 值

处理方式、中心温度和贮藏时间三因素对  $b^*$ 值交互作用不显著 ( $p>0.05$ ), 仅存在各因素的主效应 ( $p<0.05$ )。通过图 1a 可以看出, 肉饼的  $b^*$ 值在贮藏过程中由 15.70 显著降低至 13.51。图 1b 则说明添加葡萄籽提取物和茶多酚可以提高肉饼的  $b^*$ 值。图 1c 中, 肉饼的中心  $b^*$ 值随着中心温度的升高显著增大, 当肉饼熟制后,  $b^*$ 值达到 15.57。Sun 等<sup>[24]</sup>研究表明, 加热处理会使肉品的  $b^*$ 值升高。虽然目前关于肉品加热过程中  $b^*$ 值变化的研究较少, 但  $b^*$ 值正逐渐被用作判断肉品熟制程度的参考指标<sup>[25]</sup>。

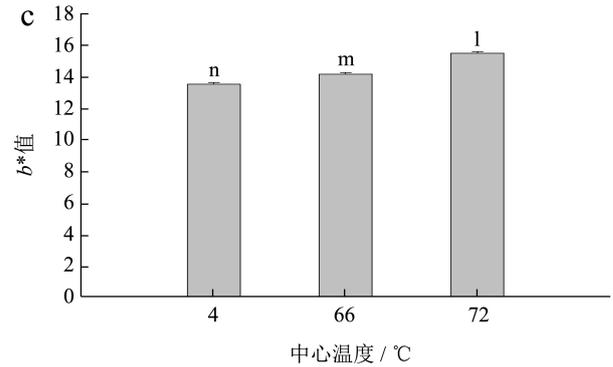
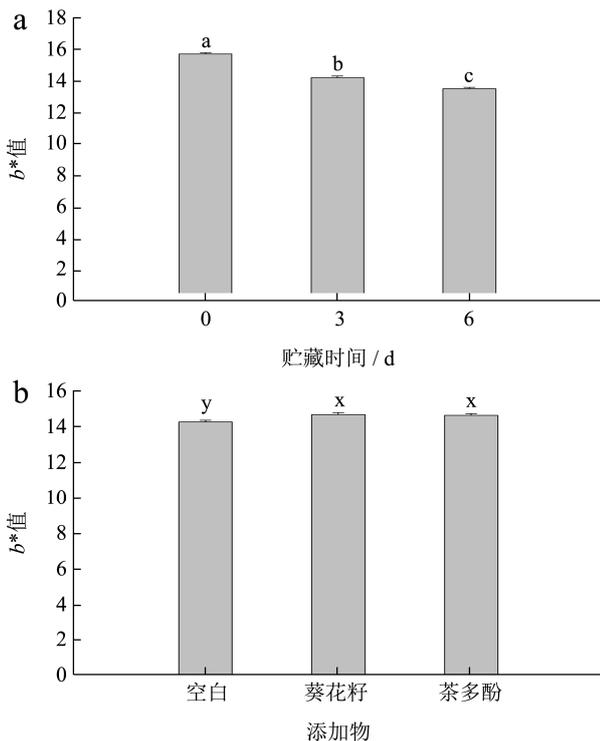


图1 贮藏时间、添加葡萄籽提取物和茶多酚、中心温度对牛肉饼  $b^*$ 值的影响

Fig.1 Effects of storage time, adding grape seed extract and tea polyphenols and central temperature on  $b^*$  value of patties

注: a~c: 不同字母表示同一处理、中心温度, 不同贮藏时间差异显著 ( $p<0.05$ ); l~n: 不同字母表示同一处理、贮藏时间, 不同中心温度差异显著 ( $p<0.05$ ); x~y: 不同字母表示同一贮藏时间、中心温度, 不同处理差异显著 ( $p<0.05$ )。

### 2.3 脂质氧化

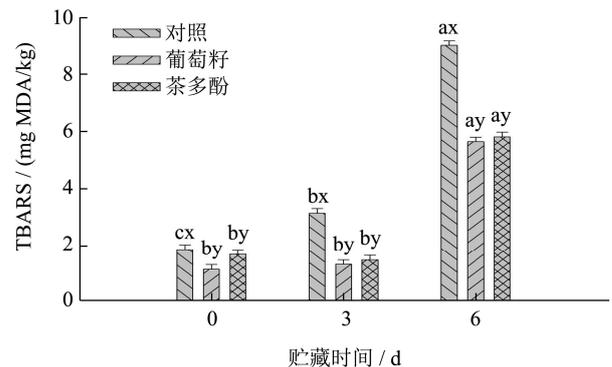


图2 添加葡萄籽提取物和茶多酚对牛肉饼脂质氧化的影响  
Fig.2 Effects of adding grape seed extract and tea polyphenols on TBARS of beef patties

注: a~b: 不同字母表示同一处理、中心温度, 不同贮藏时间差异显著 ( $p<0.05$ ); x~y: 不同字母表示同一贮藏时间、中心温度, 不同处理差异显著 ( $p<0.05$ )。

TBARS 值通常被用于评价肉品的脂质氧化程度<sup>[26]</sup>, 通过图 2 可以看出, 处理方式和贮藏时间的交互作用显著影响肉饼的脂质氧化程度 ( $p<0.05$ )。在贮藏过程中, 三种处理肉饼的脂质氧化程度均显著增大 ( $p<0.05$ ), 但添加天然抗氧化剂的肉饼显著低于对照组, 显著抑制了肉饼贮藏期间的脂质氧化。在第 0 d 刚加入天然抗氧化剂时, 葡萄籽提取物就表现出显著的抗氧化作用, 而此时添加茶多酚的肉饼 TBARS 值与对照组无显著差异 ( $p>0.05$ )。在第 3 d 时, 处理组肉饼的 TBARS 值为 1.31 和 1.47 mg MDA/kg, 与 0 d 时无显著差异, 而对照组肉饼已增大至 3.12 mg

MDA/kg。在第 6 d 对照组的 TBARS 值达到 8.98 mg MDA/kg 时, 处理组的 TBARS 值为 5.62 和 5.79 mg MDA/kg, 显著低于对照组 ( $p<0.05$ ), 且比对照组分别降低了 37.4%和 35.5%, 这说明两个处理组均抑制了脂质氧化程度的增大。许多研究也发现, 葡萄籽提取物和茶多酚均可以提高肉的抗氧化能力, 降低脂质氧化程度<sup>[15,27-29]</sup>。

脂质氧化程度的增大会促进牛肉饼加热过程中 PMB 现象的发生<sup>[7]</sup>。Bao 等<sup>[30]</sup>发现脂质氧化程度大的肉饼在加热过程中  $a^*$ 值的下降程度也较大, 但未与 PMB 现象联系。Mancini 等<sup>[17]</sup>向肉饼中添加了琥珀酸盐, 发现琥珀酸盐可以降低高氧气调包装肉饼的脂质氧化程度, 并且抑制了 PMB 现象的发生。这是由于脂质氧化可以促进肉中肌红蛋白氧化, 导致热稳定性较差的高铁肌红蛋白大量生成。由于高铁肌红蛋白在 55 °C 左右就会发生热变性, 产生棕色的高铁血色原, 因此生肉中大量积累的高铁肌红蛋白容易导致肉饼在加热过程中发生 PMB 现象<sup>[30]</sup>。此外, 脂质氧化产物还可以消耗肉中的还原物质, 降低还原能力, 同样会促进 PMB 现象的发生<sup>[20]</sup>。因此, 天然抗氧化剂可以通过降低肉中的脂质氧化程度来抑制 PMB 现象<sup>[8]</sup>。

## 2.4 菌落总数

表 5 添加葡萄籽提取物和茶多酚对牛肉饼菌落总数 (log CFU/g) 的影响

Table 5 Effects of adding grape seed extract and tea polyphenols on the total viable counts (log CFU/g) of beef patties

处理	贮藏时间/d		
	0	3	6
对照	3.48±0.12 <sup>c</sup>	3.81±0.06 <sup>b</sup>	4.34±0.04 <sup>a</sup>
葡萄籽提取物	3.40±0.15 <sup>c</sup>	3.75±0.10 <sup>b</sup>	4.25±0.04 <sup>a</sup>
茶多酚	3.32±0.09 <sup>c</sup>	3.73±0.05 <sup>b</sup>	4.23±0.01 <sup>a</sup>

注: a~b: 不同字母表示同一处理, 不同贮藏时间差异显著 ( $p<0.05$ )。表 6 同。

微生物可以分解利用肉中的碳水化合物和蛋白质等营养物质进行生长繁殖, 产生不良代谢物, 最终导致肉品腐败<sup>[31]</sup>。通过表 5 可以看出, 仅贮藏时间对菌落总数具有主效应 ( $p<0.05$ ), 在贮藏期内肉饼的菌落总数逐渐增加, 最大增加至 4.34 log CFU/g, 但未超过 7 log CFU/g 的货架期要求<sup>[32]</sup>。有研究发现, 葡萄籽提取物和茶多酚在添加到肉制品后, 均有一定的抑菌作用<sup>[33,34]</sup>。本研究结果中, 虽然添加天然抗氧化剂的抑菌效果不显著, 但仍可以看出, 处理后的肉饼在贮藏过程中的菌落总数始终低于对照组。

## 2.5 感官品评

表 6 贮藏时间对牛肉饼感官品质的影响

Table 6 Effects of storage time on the sensory quality of beef patties

指标	贮藏时间/d		
	0	3	6
嫩度	6.72±0.54 <sup>a</sup>	6.47±0.43 <sup>ab</sup>	6.22±0.45 <sup>b</sup>
多汁性	6.44±0.38 <sup>a</sup>	5.86±0.37 <sup>b</sup>	5.75±0.39 <sup>b</sup>
风味	6.69±0.41 <sup>a</sup>	6.39±0.45 <sup>ab</sup>	6.21±0.42 <sup>b</sup>
异味	6.94±0.35	6.67±0.45	6.48±0.45
总体可接受性	6.97±0.18 <sup>a</sup>	6.47±0.26 <sup>b</sup>	6.01±0.28 <sup>c</sup>

由表 6 可以看出, 添加两种天然抗氧化剂对熟制牛肉饼的各项感官指标影响不显著 ( $p>0.05$ ), 仅贮藏时间对熟制牛肉饼的嫩度、多汁性、风味和接受度影响显著 ( $p<0.05$ )。随着贮藏时间的延长, 熟制牛肉饼的各项品评得分逐渐下降, 但得分始终在 5 分以上, 保持在消费者可以接受的水平。异味是评价肉饼的不良气味, 本研究中贮藏时间和添加天然抗氧化剂均未对异味评分产生显著影响。在第 6 d, 熟肉饼的总体可接受性得分为 6.01, 属于消费者比较容易接受的水平, 这说明添加葡萄籽提取物和茶多酚没有对熟制肉饼的感官品质造成负面效果, 也未产生异味。

## 3 结论

高氧气调包装牛肉饼熟制过程中容易发生 PMB 现象。添加 0.1 g/kg 葡萄籽提取物和 0.1 g/kg 茶多酚可以显著抑制肉饼贮藏期间的脂质氧化, 提高生肉饼贮藏期间的肉色稳定性, 并提高了肉饼熟制过程中的红度值, 抑制了高氧气调包装包装条件下的 PMB 现象; 同时, 两种天然抗氧化剂对熟制牛肉饼的各项感官品评指标无不良影响。在生肉饼护色和肉饼熟制时 PMB 现象的抑制效果方面两种天然抗氧化物差异不显著。因此, 可以通过向牛肉饼中添加 0.1 g/kg 葡萄籽提取物或 0.1 g/kg 茶多酚, 抑制高氧气调包装牛肉饼加热过程中的 PMB 现象并改善生肉饼冷藏过程的肉色稳定性。

## 参考文献

- [1] Neethling N E, Suman S P, Sigge G, et al. Exogenous and endogenous factors influencing color of fresh meat from ungulates [J]. Meat & Muscle Biology, 2017, 1(1): 253-275
- [2] Holman B W, Van R J, Mao Y W, et al. Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour [J]. Meat Science, 2017, 127:

- 57-62
- [3] 梁荣蓉,张一敏,毛衍伟,等.熟制牛肉肉色问题和影响因素研究进展[J].食品科学,2019,40(15):285-292  
LIANG Rongrong, ZHANG Yimin, MAO Yanwei, et al. Color problems in cooked beef and influencing factors: a review [J]. Food Science, 2019, 40(15): 285-292
- [4] Ramanathan R A, Lusk J L, Reuter R, et al. Consumer practices and risk factors that predispose to premature browning in cooked ground beef [J]. Meat and Muscle Biology, 2019, 19: 526-531
- [5] Ramanathan R, Mancini R A, Dady G A, et al. Effects of succinate and pH on cooked beef color [J]. Meat Science, 2013, 93(4): 888-892
- [6] Bigner-george M E, Berry B W. Thawing prior to cooking affects sensory, shear force, and cooking properties of beef patties [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(1): 2-8
- [7] Nicola J, King T, Whyte R. Does it look cooked? A review of factors that influence cooked meat color [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(4): R31-R40
- [8] Suman S P, Nair M N, Joseph P, et al. Factors influencing internal color of cooked meats [J]. Meat Science, 2016, 120(Oct.): 133-144
- [9] Sørheim O, Høy M. Effects of food ingredients and oxygen exposure on premature browning in cooked beef [J]. Meat Science, 2013, 93(1): 105-110
- [10] Suman S P, Mancini R A, Joseph P, et al. Chitosan inhibits premature browning in ground beef [J]. Meat Science, 2011, 88(3): 512-516
- [11] Sepe H A, Faustman C, Lee S, et al. Effects of reducing agents on premature browning in ground beef [J]. Food Chemistry, 2005, 93(4): 571-576
- [12] Yang X Y, Zhang Y M, Zhu L X, et al. Effect of packaging atmospheres on storage quality characteristics of heavily marbled beef longissimus steaks [J]. Meat Science, 2016, 117: 50-56
- [13] Siu G M, Draper H H. A survey of the malonaldehyde content of retail meats and fish [J]. Journal of Food Science, 1978, 43(4): 1147-1149
- [14] Maughan C, Tansawat R, Cornforth D, et al. Development of a beef flavor lexicon and its application to compare the flavor profile and consumer acceptance of rib steaks from grass-or grain-fed cattle [J]. Meat Science, 2012, 90(1): 116-121
- [15] Amin R A, Edris S N. Grape seed extract as natural antioxidant and antibacterial in minced beef [J]. PSM Biological Research, 2017, 2(2): 89-96
- [16] Ozvural, Emin, Burcin, et al. The comparison of quality and microbiological characteristic of hamburger patties enriched with green tea extract using three techniques: direct addition, edible coating and encapsulation [J]. Lwt Food Science & Technology, 2016, 68: 385-390
- [17] Mancini R A, Ramanathan R, Suman S P, et al. Effects of succinate on ground beef color and premature browning [J]. Meat Science, 2011, 89(2): 189-194
- [18] Hollenbeck J J, Apple J K, Yancey J W S, et al. Cooked color of precooked ground beef patties manufactured with mature bull trimmings [J]. Meat Science, 2019, 148: 41-49
- [19] Yu T, Morton J D, Clerens S, et al. Cooking-induced protein modifications in meat [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, 16(1): 141-159
- [20] Ledward D A. Color of raw and cooked meat [J]. Special Publication-Royal Society of Chemistry, 1992, 106(1): 128
- [21] Djimsa B A, Abraham A, Mafi G G, et al. Effects of metmyoglobin reducing activity and thermal stability of NADH-dependent reductase and lactate dehydrogenase on premature browning in ground beef [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(2): 304-313
- [22] Mancini R A, Ramanathan R. Molecular basis of meat color [J]. Meat Quality Analysis, 2020: 117-129
- [23] Mancini R A, Ramanathan R, Suman S P, et al. Effects of lactate and modified atmospheric packaging on premature browning in cooked ground beef patties [J]. Meat Science, 2010, 85(2): 339-346
- [24] Sun S Q, Faith D R, George A C, et al. Texture, color and sensory evaluation of sous-vide cooked beef steaks processed using high pressure processing as method of microbial control [J]. LWT, 2019, 103: 169-177
- [25] Dominguez-herandez E, Salaseviciene A, Ertbjerg P. Low-temperature long-time cooking of meat: eating quality and underlying mechanisms [J]. Meat Science, 2018, 143: 104-113
- [26] Fuentes V, Ventanas J, Morcuende D, et al. Lipid and protein oxidation and sensory properties of vacuum-packaged dry-cured ham subjected to high hydrostatic pressure [J]. Meat Science, 2010, 85(3): 506-514
- [27] Price A, Díaz P, Bañón S, et al. Natural extracts versus sodium ascorbate to extend the shelf life of meat-based ready-to-eat meals [J]. Food Science and Technology International, 2013, 19(5): 427-438