

# 脂肪含量对雪花牛排在高氧气调包装贮藏期间肉色稳定性的影响

刘文轩<sup>1</sup>, 罗欣<sup>1</sup>, 杨啸吟<sup>1</sup>, 张一敏<sup>1</sup>, 朱立贤<sup>1</sup>, 毛衍伟<sup>1</sup>, 梁荣蓉<sup>1\*</sup>, 马伟民<sup>2</sup>, 杨振刚<sup>3</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. 阳信亿利源清真肉类有限公司, 山东阳信 251800)

**摘要:** 为探究雪花牛排在高氧气调包装贮藏期间的肉色稳定性, 该实验选用两种不同脂肪含量(A1和A3等级)的雪花牛排, 进行高氧气调包装(80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub>)。在每个时间点(0、5和10 d), 测定其各个指标的变化。结果表明, 随着贮藏时间的延长两种等级的牛排脂质氧化程度均逐渐增大, 肌红蛋白还原力逐渐减弱, 使高铁肌红蛋白比例显著升高( $p<0.05$ )。在贮藏至5 d时, 两种等级的牛排肉色值未出现显著变化。而贮藏至10 d时, A3等级牛排褐变程度和脂肪氧化程度均显著大于A1等级, A1牛排的 $a^*$ 值仅下降至17.43, 而A3牛排的 $a^*$ 值却下降至12.22; A3等级牛排脂肪氧化值达到1.82 mg MDA/kg, 而A1等级牛排脂肪氧化值仅为1.09 mg MDA/kg; A3等级牛排MMb含量已经超过40%, 肉色已完全褐变。因此, 对于脂肪含量较高的高等级雪花牛排, 高氧气调包装只能在较短的贮藏时间内使其保持良好的肉色, 生产中若对此类高档牛排进行长期贮藏应谨慎使用高氧气调包装。

**关键词:** 雪花牛排; 高氧气调包装; 肉色; 脂质氧化; 褐变

文章篇号: 1673-9078(2022)02-110-118

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0529

## Effect of Fat Content on Color Stability of Marbling Steaks Stored under High Oxygen Modified Atmosphere Packaging

LIU Wenxuan<sup>1</sup>, LUO Xin<sup>1</sup>, YANG Xiaoyin<sup>1</sup>, ZHANG Yimin<sup>1</sup>, ZHU Lixian<sup>1</sup>, MAO Yanwei<sup>1</sup>,  
LIANG Rongrong<sup>1\*</sup>, MA Weimin<sup>2</sup>, YANG Zhengang<sup>3</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:** In order to explore the color stability of marbling beef stored under high oxygen modified atmosphere packaging (HiOx-MAP, 80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub>), the marbling steaks with different fat contents, grade A1 and A3, were selected. The steaks were packaged under HiOx-MAP. At each point (0, 5 and 10 d), the index was determined. The results showed the increased lipid oxidation, the decreased total reducing ability (TRA) and the higher MMb accumulation in both marbling grades steaks with the storage time prolonged ( $p<0.05$ ). The color of both two marbling grades did not show significant changes after 5 days of storage, but A3 grade showed darker browning and higher lipid oxidation than A1 grade. The  $a^*$  values decreased to 17.43, but it decreased to 12.22 in A3 grade. And the TBARS value reached to 1.82 mg MDA/kg in A3, but it was just 1.09 mg MDA/kg in A1, which was much lower than A3. And also, the MMb% exceeded 40% in A3 steaks which showed totally brown and was not acceptable to consumers. Therefore, the

引文格式:

刘文轩,罗欣,杨啸吟,等.脂肪含量对雪花牛排在高氧气调包装贮藏期间肉色稳定性的影响[J].现代食品科技,2022,38(2):110-118

LIU Wenxuan, LUO Xin, YANG Xiaoyin, et al. Effect of fat content on color stability of marbling steaks stored under high oxygen modified atmosphere packaging [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 110-118

收稿日期: 2021-05-19

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项目(2019ZDYF010)

作者简介: 刘文轩(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品科学, E-mail: 825992542@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: rrliang@sdau.edu.cn

lipid oxidation degree of marbling steaks with higher fat content were much greater under HiOx-MAP, which promoted the browning of meat color. So, the steaks of higher marbling grades with higher fat content can maintain the good color stability only for several days under HiOx-MAP. So, it should be paid more attention to these kinds of high marbling steaks in the production when HiOx-MAP is applied.

**Key words:** marbling steak; high oxygen modified atmosphere packaging; meat color; lipid oxidation; browning

随着近年来我国人民水平的提高,尤其是中产阶级群体的不断壮大,我国牛肉消费量逐渐增大,在消费量不断增长的同时,消费者日趋关注牛肉品质。雪花牛排因具有良好的外观、口感以及营养价值高而深受消费者喜爱。在众多品质指标(包括肉色、嫩和风味等)中,肉色是影响消费者购买与否的重要指标,消费者往往以肉色作为肉制品新鲜与否的重要指标<sup>[1]</sup>。消费者通常认为肉色为明亮的樱桃红色或者真空包装的紫红色表示肉制品新鲜可以放心食用<sup>[2]</sup>。为使雪花牛肉贮藏期间呈现良好的肉色,许多厂家采用高氧气调包装(High oxygen modified atmosphere packaging, HiOx-MAP, 80% O<sub>2</sub>/20% CO<sub>2</sub>)对其包装贮藏。该条件下的高浓度氧气可以与肉中的肌红蛋白结合,使肌红蛋白大部分以氧合肌红蛋白(Oxymyoglobin, Omb)的形式存在,使肉呈现明亮的樱桃红色,从而延长其肉色货架期<sup>[3]</sup>。但是,研究发现HiOx-MAP能够促进牛排展销期间的脂肪氧化<sup>[4]</sup>。而肉在贮藏过程中的脂肪氧化会产生一些初级和次级代谢产物,这些产物能促进肌红蛋白的氧化,从而导致肉色稳定性变差,最终导致肉色的褐变<sup>[5]</sup>。而与普通牛肉相比,雪花牛肉含有较高的肌内脂肪,高氧条件下,脂质氧化会比普通牛肉更加剧烈<sup>[6]</sup>,这可能会加剧肌红蛋白的氧化和雪花牛肉肉色的劣变,这对雪花牛肉的贮藏是不利的。

因此,为探究HiOx-MAP条件对雪花牛肉贮藏期间肉色稳定性的影响和该条件下的肉色货架期,本研究以两种不同脂肪含量的育肥牛肉(A1等级和A3等级)为研究对象,探究育肥牛肉在HiOx-MAP条件下的脂质氧化程度及其对肉色和肉色稳定性的影响,为HiOx-MAP在育肥牛肉包装中的应用提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验材料

在山东某肉牛屠宰场,选取一批统一饲养的饲养、体重相似、21月龄的安和杂交牛,宰前集中育肥6个月后屠宰。宰后在0~4℃排酸72h后分割,

按照日本牛肉分级标准进行分级,分别选取A1等级和A3等级的左半胴体背最长肌各6条(n=6)作为实验样品,真空热缩包装后在保温箱中(0~4℃)3h内运回实验室。背最长肌修整后,分割为2.54cm的牛排,分别进行HiOx-MAP包装后,在0~4℃黑暗环境中贮藏0、5和10d。在每个时间点,检测生鲜牛排pH值、肉色指标、不同状态肌红蛋白的比例、总还原力(The total reducing activity, TRA)和脂质氧化水平等指标。

包装材料:氧气阻隔膜(Lid 1050; Sealed Air Corp),气调包装盒(TQBC-0775; Sealed Air Corp),聚乙烯薄膜(水蒸气透过率:23.5 g/(m<sup>2</sup>·24 h),氧气透过率:16654 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·24 h·atm),二氧化碳透过率:64637 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·24 h·atm)。

### 1.2 仪器与设备

DT-6D气调包装机,大江机械设备有限公司;VORTEX1涡旋振荡器,上海汉诺仪器有限公司;SenvenGo pH计,Mettler Toledo公司;SP62便携式积分球分光光度计,X-Rite公司;T18高速分散机,IKA公司;BioTek Epoch2酶标仪,美国伯腾仪器有限公司;DHG-9240A电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;YP10002电子天平,上海光正医疗仪器有限公司;ST-255脂肪测定仪,FOSS公司;TGL-16MS台式高速冷冻离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;Distillation Unit K-355凯氏定氮仪,BUCHI公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 pH值的测定

参考Chen<sup>[7]</sup>的方法,在每个贮藏时间点,使用校正率为95%以上的pH计测定牛排的pH值,每块牛排测定6个点,取其平均值。

#### 1.3.2 水分含量的测定

参照GB 5009.3-2016<sup>[8]</sup>中的直接干燥法进行水分含量的测定。

#### 1.3.3 脂肪含量的测定

参照国标GB 5009.6-2016<sup>[9]</sup>中索氏提取法进行测定。

#### 1.3.4 蛋白含量的测定

参照国标 GB 5009.5-2016<sup>[10]</sup>凯氏定氮法进行测定。

### 1.3.5 肉色指标和 R630/580 的测定

使用 SP62 便携式积分球色差计测定牛排表面的肉色指标 ( $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值、 $C^*$ 值和  $H^*$ 值), 注意避开筋腱和脂肪组织。在贮藏 0 d 时, 需进行 30 min 发色后测定, 5 d 和 10 d 打开包装后直接测定。每块牛排随机测六个点, 取其平均值。在测定时, 同时读取生肉饼在 580 nm 和 630 nm 的反射率, 计算 630 nm 与 580 nm 的比值为 R630/580 值。其中:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$H^* = \tan^{-1}\left(\frac{a^*}{b^*}\right)$$

### 1.3.6 不同状态肌红蛋白比例的测定

使用 SP62 便携式积分球色差计分别测定波长为 473 nm、525 nm、572 nm 和 700 nm 处的反射率, 计算生鲜牛排中高铁肌红蛋白 (Metmyoglobin, MMb)、脱氧肌红蛋白 (Deoxymyoglobin, DMb) 和 OMb 的比例, 其计算公式如下:

$$\text{MMb}\% = (1.395 - \frac{A_{572} - A_{700}}{A_{525} - A_{700}}) \times 100\%$$

$$\text{DMb}\% = [2.375 \times (1 - \frac{A_{473} - A_{700}}{A_{525} - A_{700}})] \times 100\%$$

$$\text{OMb}\% = 100 - (\text{MMb}\% + \text{DMb}\%)$$

式中:

$$A = \log \frac{1}{R}, R \text{ 为折射率。}$$

### 1.3.7 肌红蛋白总还原力 (TRA) 的测定

根据王芳芳<sup>[11]</sup>的方法并作相应修改, 取 1 g 肉样切碎, 加入 5 mL pH 为 5.8 浓度为 25 mmol/L 的 PIPES 缓冲液后, 使其在冷冻研磨仪在 4 °C 破碎均匀。取 5 mL 均质液于 10 mL 容量瓶中, 加入 2 mL 5 mmol/L 的铁氰化钾溶液, 混合均匀后放入 4 °C 生化培养箱中 1 h, 其中每隔 10 min 搅拌一次, 使其混匀。孵育完成后, 加入 0.1 mL 0.5% 的氨基磺酸铵和 0.2 mL 0.5 mol/L 的醋酸铅, 在室温下放置 5 min 后, 加入 2.5 mL 20% 的三氯乙酸溶液, 用蒸馏水补足至 10 mL, 室温下放置 5 min 后, 用 Whatman 42# 滤纸过滤, 取滤液在 420 nm 下测定其吸光度。

TRA=1 mmol/L 铁氰化钾的吸光度-样品吸光度

### 1.3.8 脂肪氧化值 (Thiobarbituric acid reactive substances, TBARS) 的测定

根据 Yang 等<sup>[6]</sup>的方法稍作修改, 在每个贮藏时间点, 从生肉饼中随机称取 4 g 肉样, 剔除筋腱和

表面脂肪, 加入 20 mL 蒸馏水后插入冰盒中, 用均质机 14000 r/min 均质 1 min。随后在均质液中加入 16 mL 10% 三氯乙酸, 用玻璃棒搅拌均匀后使用 Whatman 1# 滤纸过滤。取 4 mL 滤液于离心管中, 加入 1 mL 硫代巴比妥酸溶液, 涡旋 30 s 使其混合均匀。混匀后将离心管 80 °C 水浴 90 min 后取出, 冷却至室温后, 使用酶标仪测定 532 nm 处的吸光度, 以 1,1,3,3-四乙氧基丙烷为标准品做标准曲线计算 TBARS 值, 最终结果表示为 mg MDA/kg 样品。

### 1.4 数据统计分析

数据使用 SAS 9.0 混合模型进行分析, 以贮藏时间、大理石花纹等级以及它们的交互作用为固定因素, 牛为随机因子, 进行各个指标的方差分析,  $p < 0.05$  为差异水平显著, 根据显著性用 Sigmaplot 12.5 进行作图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种等级育肥牛排的化学组分

表 1 两种等级牛排的化学组分

Table 1 The chemical composition of steaks from two

化学组分/%	大理石花纹等级	
	A1	A3
水分含量	67.38±1.37 <sup>m</sup>	59.52±2.78 <sup>n</sup>
脂肪含量	8.08±1.15 <sup>n</sup>	15.81±2.28 <sup>m</sup>
蛋白含量	21.06±1.59	21.04±1.95
水分+脂肪总含量	75.46	75.33

注: m~n 不同字母表示不同等级间存在显著差异 ( $p < 0.05$ )。

由表 1 可以看出, 两种等级的牛排蛋白质含量差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 但是 A1 和 A3 等级的牛排脂肪含量和水分含量差异显著 ( $p < 0.05$ )。A3 等级的肌肉脂肪含量为 15.81%, 显著高于 A1 等级, 而水分含量为 59.52%, 显著低于 A1 等级。两者脂肪含量与水分含量的总和差异不显著 ( $p > 0.05$ )。这是由于雪花牛肉的脂肪沉积于肌纤维之间, 部分取代了肌纤维之间的水分, 导致肌肉中水分降低<sup>[12,13]</sup>。这与董榕榕等人<sup>[14]</sup>的研究结果一致。他们也发现, 在育肥牛肉中水分含量与脂肪含量之和基本恒定。因此, 本研究选用的两个等级的牛排肌肉脂肪含量存在显著差异, 可以用于本研究。

### 2.2 不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间包装

### 盒顶隙空间气体成分的变化

由于肌肉组织的呼吸作用，气调包装中的气体成分并不是一成不变的，微生物繁殖以及包装膜的渗透，都会导致顶隙空间气体成分发生变化<sup>[15]</sup>。如表 3 所示，贮藏时间和等级的交互作用对顶隙空间 O<sub>2</sub> 含量和 CO<sub>2</sub> 含量影响不显著 ( $p>0.05$ )，仅贮藏时间对 O<sub>2</sub> 含量有主效应 ( $p<0.05$ )，随着贮藏时间的延长，O<sub>2</sub> 含量显著下降，但贮藏至 10 d 时，氧气含量仍然在 77%。CO<sub>2</sub> 含量在各处理组中保持稳定。这与杨啸吟<sup>[16]</sup>的结果一致，O<sub>2</sub> 含量的降低是由肌肉组织的呼吸作用以及肉制品自身氧化耗氧导致的。

表 2 两种不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间包装盒内顶隙空间气体成分分析

Table 2 Variation of gas composition in the package of steaks from two different marbling grades stored under HiOx-MAP

指标	大理石花纹等级	贮藏时间/d		
		0	5	10
O <sub>2</sub>	A1	79.03±0.33 <sup>a</sup>	77.62±0.10 <sup>b</sup>	77.38±0.07 <sup>b</sup>
	A3	79.03±0.33 <sup>a</sup>	77.62±0.24 <sup>b</sup>	77.33±0.18 <sup>b</sup>
CO <sub>2</sub>	A1	18.80±0.11	18.63±0.37	18.68±0.25
	A3	18.80±0.11	18.29±0.27	18.36±0.33

注：a~b 不同字母表示不同贮藏时间之间差异显著 ( $p<0.05$ )。

### 2.3 两种等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间 pH 值的变化

表 3 两种不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间 pH 值的变化

Table 3 Variation of pH values of steaks from two different marbling grades stored under HiOx-MAP

贮藏时间/d	大理石花纹等级	
	A1	A3
0	5.44±0.02 <sup>b</sup>	5.41±0.01 <sup>b</sup>
5	5.55±0.02 <sup>a</sup>	5.51±0.01 <sup>a</sup>
10	5.51±0.02 <sup>a</sup>	5.50±0.02 <sup>a</sup>

注：a~b 不同字母表示不同贮藏时间显著差异 ( $p<0.05$ )。

pH 值是影响肉色的重要因素，排酸 24 h 后，较高的 pH 会形成肉色发暗的 DFD (dark, firm and dry) 异质肉。表 3 显示，贮藏时间和等级的交互作用对 pH 值影响不显著 ( $p>0.05$ )，但贮藏时间对其影响显著 ( $p<0.05$ )，随着贮藏时间的延长，pH 值显著升高，但始终在正常范围 5.4~5.6 之间。Yuan 等人<sup>[17]</sup>以牛背最长肌、半膜肌为研究对象，探究了

4 °C 条件下，pH 值随着贮藏时间的变化情况，他们也发现随着贮藏时间的延长，4 °C 条件下的 pH 值显著升高 ( $p<0.05$ )。牛肉因其含有丰富的蛋白质，在贮藏期间易发生微生物污染，微生物对蛋白质的代谢，会产生游离氨基酸、胺类等碱性物质，导致 pH 值的升高<sup>[18]</sup>。

### 2.4 不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间肉色的变化

$a^*$  值表示肉样的红度值， $a^*$  值越大，表示肉色越鲜红。贮藏时间和等级的交互作用对  $a^*$  值影响显著 ( $p<0.05$ )。随着贮藏时间的延长，两种牛排的  $a^*$  值呈现先上升后下降的趋势，这是由于在贮藏初期，HiOx 环境下有利于 OMb 的形成，而 OMb 呈现明亮的樱桃红色<sup>[19,20]</sup>，使牛排  $a^*$  值呈上升趋势。随着贮藏时间的延长，OMb 长期处于高浓度氧的情况下，被氧化为 MMb，使 MMb 逐渐积累，最后使肉色呈现不良的棕褐色。在贮藏初期，两种等级的牛排  $a^*$  值差异不显著，随着贮藏时间的延长，A3 牛排的  $a^*$  值显著低于 A1，贮藏至 10 d 时，A1 牛排的  $a^*$  值仅下降至 17.43，而 A3 牛排的  $a^*$  值却下降至 12.22，已经低于消费者对生鲜肉肉色的可接受阈值， $a^*$  值  $>14.5$ <sup>[21]</sup>。这说明高脂肪含量的雪花牛排，在 HiOx-MAP 下更容易发生氧化，肉色褐变程度越大。Wang 等人<sup>[22]</sup>得出了与我们相似的结论，认为  $a^*$  值与脂肪氧化值呈显著负相关，随着脂质氧化程度的增大， $a^*$  值显著降低。

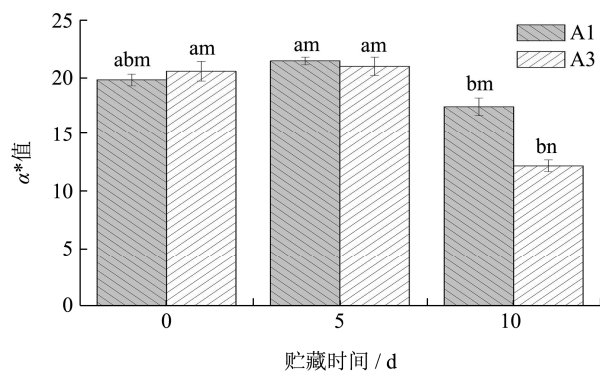


图 1 两种不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间  $a^*$  值的变化  
Fig.1 Variation of  $a^*$  value of steaks from two different marbling grades stored under HiOx-MAP

注：a~b：不同字母表示同一等级、不同贮藏时间存在显著差异 ( $p<0.05$ )；m~n：不同字母表示同一贮藏时间、不同等级间存在显著差异 ( $p<0.05$ )。

图 2 所展示的肉色变化趋势与  $a^*$  值变化趋势一致。图 2 显示，在前 5 d 贮藏期内，两个等级的牛

排肉色均呈现鲜红色，是消费者喜欢的色泽；在贮藏 10 d 时，两个等级的牛排肉色均出现劣变趋势，但是 A3 等级的肉色劣变显著快于 A1 等级，A3 等级已经出现肉眼可见的明显褐色，而 A1 等级的肉色仍为可接受的鲜红色。因此，高氧气调包装条件下 A3 等级的牛排贮藏至 10 d 时可能会导致消费者接受度降低，而 A1 等级的牛排仍可被接受。

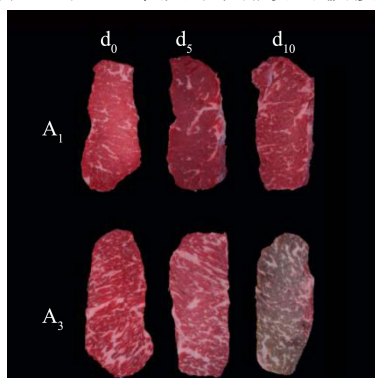


图 2 两种不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间肉色的变化

Fig.2 Variation of color of steaks from two different marbling grades stored under HiOx-MAP

表 4 两种不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间  $L^*$  值,  $b^*$  值,  $C^*$  值,  $H^*$  值和 R630/580 值的变化

Table 4 Variation of  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$  and R630/580 values of steaks from two different marbling grades stored under

肉色指标	贮藏时间/d	大理石花纹等级	
		A1	A3
$L^*$	0	38.29±1.61 <sup>b</sup>	40.58±0.47 <sup>b</sup>
	5	41.30±1.22 <sup>a</sup>	42.33±0.74 <sup>a</sup>
	10	41.80±1.56 <sup>a</sup>	43.24±0.28 <sup>a</sup>
$b^*$	0	15.75±0.80 <sup>b</sup>	16.83±0.48 <sup>a</sup>
	5	17.55±0.72 <sup>a</sup>	17.30±0.33 <sup>a</sup>
	10	16.02±0.69 <sup>ab</sup>	14.62±0.62 <sup>b</sup>
$C^*$	0	25.31±0.78 <sup>abm</sup>	26.57±0.91 <sup>am</sup>
	5	27.54±0.66 <sup>am</sup>	27.20±0.78 <sup>am</sup>
	10	23.68±0.97 <sup>bm</sup>	19.08±1.63 <sup>bn</sup>
$H^*$	0	38.44±1.25 <sup>bm</sup>	39.41±0.81 <sup>bm</sup>
	5	38.65±1.04 <sup>bm</sup>	39.63±0.74 <sup>bm</sup>
	10	42.42±1.26 <sup>am</sup>	50.97±2.32 <sup>am</sup>
R630/580	0	4.71±0.07 <sup>am</sup>	4.58±0.09 <sup>am</sup>
	5	4.55±0.05 <sup>bm</sup>	4.07±0.20 <sup>bm</sup>
	10	3.44±0.11 <sup>cm</sup>	2.20±0.45 <sup>cn</sup>

注: a~b: 不同字母表示不同贮藏时间间存在显著差异 ( $p<0.05$ ); m~n 不同字母表示不同贮藏时间存在显著差异 ( $p<0.05$ )。

$L^*$  值表示肉样的亮度值。贮藏时间和等级的交互

作用对  $L^*$  值影响不显著 ( $p>0.05$ , 表 4), 只有贮藏时间对其影响显著 ( $p<0.05$ )。随着贮藏时间的延长,  $L^*$  值显著升高。Esmer 等人<sup>[23]</sup>的研究也表明,  $L^*$  值受贮藏时间影响显著。生鲜肉贮藏至 5 d 时,  $L^*$  值显著升高 ( $p<0.05$ ), 贮藏至 10 d 时,  $L^*$  值依然保持上升的趋势, 但此时肉色已经变暗。杨啸吟等<sup>[24]</sup>的研究也得出了相同的结论, HiOx-MAP 条件下, 牛排的  $L^*$  值在 0~10 d 内显著升高, 而  $a^*$  值从 5 d 开始显著下降。这可能是由于牛排汁液渗出较多, 表面水分增加了光的反射率导致  $L^*$  值升高<sup>[25]</sup>。

$b^*$  值表示肉样的黄度值。如表 4 所示, 贮藏时间和等级因素交互作用对  $b^*$  值影响不显著 ( $p>0.05$ , 表 4), 但贮藏时间对其影响显著 ( $p<0.05$ )。如表 4 所示, 随着贮藏时间的延长, 生鲜肉的  $b^*$  值与  $a^*$  值呈现相同的变化趋势。有人认为,  $b^*$  值与  $a^*$  值呈正相关, 并且  $b^*$  值与 MMb 的含量呈负相关,  $b^*$  值的降低代表着 MMb 的生成<sup>[23,26]</sup>。由此可以看出, 两种牛排在前 5 d 时能够保持良好的肉色, 而贮藏至 10 d 时, 肉色发生劣变。

$C^*$  值用来表示色彩饱和度,  $C^*$  值越大, 表示肉色的色彩饱和度越高, 说明肉色越鲜红。贮藏时间和等级两因素交互作用对  $C^*$  值影响显著 ( $p<0.05$ ), 生鲜肉的  $C^*$  值变化趋势与  $a^*$  值相同。随着贮藏时间的延长, 两种等级牛排的  $C^*$  值均呈现先上升后下降的趋势, 在贮藏至 10 d 时, A3 等级牛排  $C^*$  值降低更显著。这也说明了这两种牛排在 HiOx-MAP 中只能在较短时间保持鲜红的肉色, 随着贮藏时间的增加, 肉色都会劣变, 但脂肪含量更高的 A3 等级牛排劣变程度更大。

$H^*$  值用来表示肉色的变化情况,  $H^*$  值越接近于 0, 表示肉色越鲜红, 越接近于 90, 表示肉色越褐变<sup>[27]</sup>。贮藏时间和等级对生鲜肉  $H^*$  值影响显著 ( $p<0.05$ )。在贮藏前期, 生鲜肉的  $H^*$  值变化趋势不明显并且两种等级牛排之间差异不显著, 贮藏至 10 d 时, 两种等级牛排的  $H^*$  值显著增加并且 A3 等级牛排显著高于 A1 等级牛排。这表明在贮藏后期, 两种等级牛排都积累了大量 MMb 导致肉色劣变, 而 A3 等级牛排肉色劣变程度更大。

R630/580 值可以用来间接表示生鲜肉中 MMb 所占的比例。R630/580 值越低, MMb 所占的比例越高, 消费者的可接受程度越低。由表 4 可知, 贮藏时间和等级对 R630/580 值影响显著 ( $p<0.05$ )。两种等级生鲜牛排的 R630/580 值均随贮藏时间的延长而降低, 贮藏至 10 d 时, A3 牛排的 R630/580 值显著低于 A1, 并且低于消费者对于生鲜肉在接受

阈值 (R630/580>3) [11]。这说明 A3 等级的牛排在贮藏后期, MMb 开始大量积累, 造成肉色的劣变, 这与图 1 中的  $a^*$  值的变化规律一致。

### 2.5 不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间 TRA 的变化

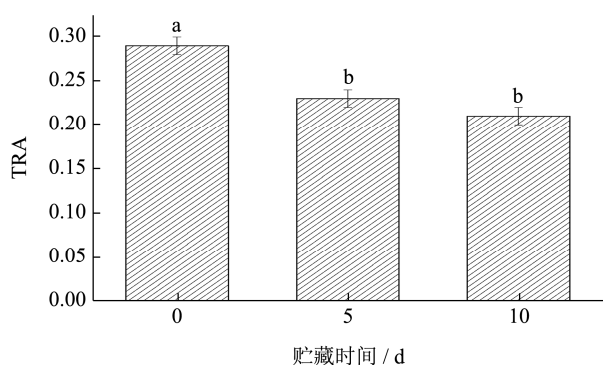


图 3 牛排 HiOx-MAP 贮藏期间 TRA 的变化

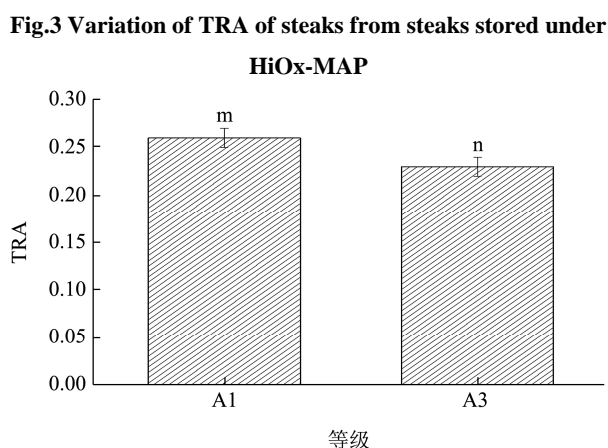


图 4 两种不同等级牛排 HiOx-MAP TRA 的变化

Fig.4 Variation of TRA of steaks from two different marbling grades under HiOx-MAP

注: a~b: 不同字母表示同一等级不同贮藏时间之间差异显著 ( $p<0.05$ ); m~n: 不同字母表示同一贮藏时间不同等级之间差异显著 ( $p<0.05$ )。

肌红蛋白 TRA 对肉色稳定性具有中要的作用。贮藏时间和等级的交互作用对 TRA 影响不显著 ( $p>0.05$ ), 但二者分别具有主效应 ( $p<0.05$ )。如图 3 所示, 随着贮藏时间的延长, 两种牛排的 TRA 显著下降, 且在整个贮藏期间, A3 牛排的 TRA 显著低于 A1。TRA 的下降不利于肌红蛋白的稳定, 会导致 MMb 的积累, 从而导生鲜肉色劣变现象的发生。因此, 在贮藏至 10 d, 两种等级的生鲜牛排肉色显著下降, 且 A3 等级牛排的下降速率更大。有学者研究了 TRA 与  $a^*$  值的关系, 结果表明, TRA 的提高有利于生鲜肉  $a^*$  值的提高 [28]。整体来看, A1

牛排的 TRA 显著高于 A3 牛排, 所以, 较高的脂肪含量不利于肌红蛋白 TRA 的维持, 这是导致 A3 级牛排肉色劣变速率较快的原因。

### 2.6 不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间不同状态的肌红蛋白比例的变化

肌肉中的肌红蛋白比例对肉色起到了至关重要的作用。肌红蛋白是一种单体血红素蛋白, 动物屠宰放血后, 肌红蛋白状态对肉色起决定性作用 [29]。如表 5 所示, 贮藏时间和等级的交互作用对 MMb% 影响显著 ( $p<0.05$ )。整体来看, A3 牛排的 MMb% 显著高于 A1 牛排, 贮藏前期两种牛排之间无显著差异, 但是在贮藏至 10 d 时, A3 牛排的 MMb% 显著高于 A1 牛排, 且 A3 牛排的 MMb% 已超过 40%, 导致 A3 牛排此时出现了显著的肉色劣变。Greene 等 [30] 的研究表明, 当 MMb 含量超过 40% 时, 肉色就不会被消费者接受。MMb% 与脂质氧化程度有关, Zakrys 等 [31] 认为, 脂质氧化产生的不饱和醛 (如 4-羟基壬烯醛), 能够促进肌红蛋白向 MMb 的转化。随着贮藏时间的延长, 两个等级牛排的 MMb% 显著升高。这与图 1 的结果基本一致。

表 5 两种不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间不同状态肌红蛋白比例的变化

Table 5 Variation of the ratio of different myoglobin forms of steaks from two different marbling grades of steaks stored under HiOx-MAP

肌红蛋白状态	贮藏时间 /d	大理石花纹等级	
		A1	A3
MMb%	0	19.16±1.43 <sup>bm</sup>	19.37±0.91 <sup>bm</sup>
	5	23.48±0.60 <sup>abm</sup>	24.97±1.12 <sup>bm</sup>
	10	28.36±1.19 <sup>am</sup>	41.89±3.49 <sup>am</sup>
DMb%	0	7.60±0.84 <sup>m</sup>	5.70±0.97 <sup>n</sup>
	5	10.06±1.28 <sup>m</sup>	5.36±0.26 <sup>n</sup>
	10	6.15±0.37 <sup>m</sup>	4.67±0.50 <sup>n</sup>
OMb%	0	73.24±1.02 <sup>am</sup>	74.93±1.17 <sup>am</sup>
	5	66.47±2.57 <sup>am</sup>	69.66±1.19 <sup>am</sup>
	10	65.49±1.35 <sup>am</sup>	53.45±2.04 <sup>bn</sup>

注: a~b: 不同字母表示同一等级、不同贮藏时间之间存在显著差异 ( $p<0.05$ ); m~n: 不同字母表示同一贮藏时间、不同等级间存在显著差异 ( $p<0.05$ )。

贮藏时间和等级的交互作用对 OMb% 影响显著 ( $p<0.05$ )。随着贮藏时间的延长, OMb% 显著降低, 这是因为长期暴露在高浓度氧气的环境中, OMb 部分被氧化为 MMb, 导致 MMb 的积累, 使肉色由

明亮的樱桃红色变成棕褐色。在整个贮藏期间, A3 牛排中的 OMB% 下降速率大于 A1。这说明 A3 牛排中, OMB 向 MMb 转化的速率更快。在整个贮藏期间, 脂肪含量较低的 A1 牛排 OMB% 降低了 7.75%, 而脂肪含量较高的 A3 牛排 21.48%, 显著大于 A1。OMB% 的降低趋势与  $a^*$  值的降低趋势和 MMb% 的增加趋势相一致。

贮藏时间和等级的交互作用对 DMb% 影响不显著 ( $p>0.05$ ), 但等级对其影响显著 ( $p<0.05$ )。虽然两个等级的牛排中, DMb% 均不高, 但 A1 牛排的 DMb% 显著高于 A3 牛排, 这说明脂肪含量较低的 A1 牛肉能保持较高的肌红蛋白还原状态, 这有利于维持牛排贮藏期间的肉色稳定性。

## 2.7 不同等级牛排 HiOx-MAP 贮藏期间

### TBARS 值的变化

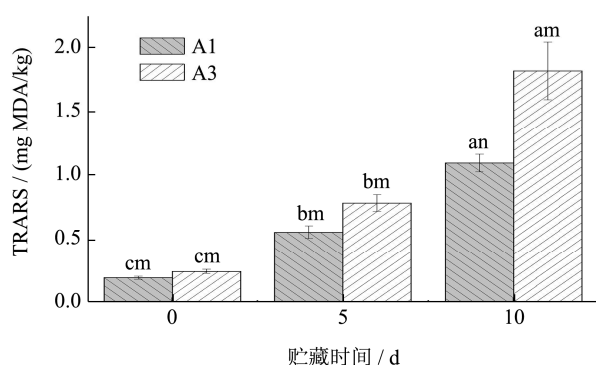


图5 贮藏时间对期间两种不同等级牛排 TBARS 值的影响变化

Fig.5 Variation of TBARS between two different marbling grades of steaks during storage

注: a~b: 不同字母表示同一等级、不同贮藏时间间存在显著差异 ( $p<0.05$ ); m~n: 不同字母表示同一贮藏时间、不同等级间存在显著差异 ( $p<0.05$ )。

丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 是脂肪氧化产生的一种次级代谢产物, 以 MDA 产生的毫克当量数来表征 TBARS 值和脂质氧化程度。有研究表明, 当包装体系中的  $O_2$  含量超过 21% 时, 就容易发生脂肪氧化, 产生 MDA<sup>[15]</sup>。由图 5 可以看出, 贮藏时间和等级的交互作用对 TBARS 值影响显著 ( $p<0.05$ ), 随着贮藏时间的延长, 两种牛排中 MDA 含量显著增大, 说明两种等级的牛排脂肪氧化程度显著增大 ( $p<0.05$ )。在贮藏 10 d 时, A3 牛排脂肪氧化程度显著高于 A1 ( $p<0.05$ )。这说明两个等级间由于脂肪含量的不同造成了两个等级牛肉之间显著的脂质氧化程度差异。而研究表明, 脂肪氧化程

度越高, 肉色稳定性越差<sup>[32]</sup>。Fourati 等<sup>[33]</sup>认为脂质氧化产生的化合物与蛋白氧化具有较强的相关性。由此我们可以推测, 随着脂质氧化程度的增大, 肌红蛋白氧化程度显著增大, 从而加速了雪花牛肉的褐变。Wang 等<sup>[34]</sup>以兔肉为研究对象探究 MDA 对肌红蛋白的影响, 结果表明, MDA 能够促进 MMb 的形成。由此可以看出, 脂肪氧化能够通过增加 MMb 的含量导致生鲜牛排的失色褐变。这是导致本研究中, A3 级牛肉肉色稳定性差于 A1 等级的重要原因。

## 3 结论

育肥牛肉大理石花纹等级越高, 其在高氧气调包装下的脂质氧化程度越大, 降低了高铁肌红蛋白总还原力, 促进了肌红蛋白的氧化和高铁肌红蛋白的积累, 加快了 HiOx-MAP 贮藏期间肉色的劣变。在 HiOx-MAP 中, 随着贮藏时间的延长, 两种等级牛排的肉色稳定性逐渐降低, 在贮藏后期, 高脂肪含量的 A3 的  $a^*$  值显著下降, 肉色劣变严重, 而 A1 能保持相对良好的肉色。基于该研究结果, 我们认为, HiOx-MAP 中, 脂肪含量较低的 A1 等级的牛排在 10 d 内能保持良好的肉色, 而脂肪含量高的 A3 等级牛排只能进行短时间的贮藏。因此, 我们建议脂肪含量较高的高档雪花牛肉若在较短时间 (5 d 内) 贮藏可以采用 HiOx-MAP 来保持鲜红的肉色, 但是, 若需要长时间贮藏, 应选用无氧包装方式, 避免脂质氧化造成的肉色劣变。

## 参考文献

- [1] Ponnampalam E N, Hopkins D L, Bruce H, et al. Causes and contributing factors to "dark cutting" meat: current trends and future directions: a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(1)
- [2] Faustman C, Cassens R G. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review [J]. Journal of Muscle Foods, 2010, 1(3): 217-243
- [3] Lindahl G. Colour stability of steaks from large beef cuts aged under vacuum or high oxygen modified atmosphere [J]. Meat Science, 2011, 87(4): 428-435
- [4] Resconi V C, Escudero A, Beltran J A, et al. Color, lipid oxidation, sensory quality, and aroma compounds of beef steaks displayed under different levels of oxygen in a modified atmosphere package [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(1-3): S10-S8
- [5] 刘文轩, 罗欣, 杨啸吟, 等. 脂质氧化对肉色影响的研究进展 [J]. 食品科学, 2019, 634(21): 238-247

- LIU Wenxuan, LUO Xin, YANG Xiaoyin, et al. Recent process in research on the effect of lipid oxidation on meat color [J]. Food Science, 2019, 634(21): 238-247
- [6] YANG Xiaoyin, ZHANG Yimin, Zhu Lixian, et al. Effect of packaging atmospheres on storage quality characteristics of heavily marbled beef longissimus steaks [J]. Meat Science, 2016, 117: 50-56
- [7] CHEN Xue, ZHANG Yimin, YANG Xiaoyin, et al. Shelf-life and microbial community dynamics of super-chilled beef imported from Australia to China [J]. Food Research International, 2019, 120: 784-792
- [8] GB 5009.3-2016.中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准-食品中水分的测定[S]  
GB 5009.3-2016. National Food and Drug Administration of the People's Republic of China National Health and Family Planning Commission. National Food Safety Standard-Determination of Moisture in Food [S]
- [9] GB 5009.5-2016.中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准-食品中蛋白质的测定[S]  
GB 5009.5-2016. National Food and Drug Administration of the People's Republic of China National Health and Family Planning Commission. National Food Safety Standard-Determination of Protein in Food [S]
- [10] GB 5009.6-2016.中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准-食品中脂肪的测定[S]  
GB 5009.6-2016. National Food and Drug Administration of the People's Republic of China National Health and Family Planning Commission. National Food Safety Standard-Determination of Fat content in Food [S]
- [11] 王芳芳.冷冻火锅牛肉卷肉色保持技术研究[D].泰安:山东农业大学,2020  
WANG Fangfang. Research on meat color preservation technology of frozen beef rolls for hot pot [D]. Tai'an: Shandong Agriculture University, 2020
- [12] Lawrence R J, Doyle J C, Elliott R, et al. Effect of biotin supplementation on meat quality of F1 Wagyu/Black Angus feedlot steers of known genotype [J]. Meat Science, 2007, 77(2): 228-237
- [13] 吴菊清,李春保,周光宏,等.宰后成熟过程中冷却牛肉、猪肉色泽和嫩度的变化[J].食品科学,2008,29(10):136-139  
WU Juching, LI Chunbao, ZHOU Guanghong, et al. Changes of meat color and tenderness of chilled beef and pork during postmortem aging [J]. Food Science, 2008, 29(10): 136-139
- [14] 董瑗榕,苗建军,彭忠利,等.年龄对舍饲育肥牦牛肉营养价值 and 抗氧化活性的影响[J].食品科学,2019,40(19):77-82  
DONG Airong, MIAO Jianjun, PENG Zhongli, et al. Effect of age on nutritional value and antioxidant activity of house-feeding yak meat [J]. Food Science, 2019, 40(19): 77-82
- [15] Mcmillin K W. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat [J]. Meat Science, 2008, 80(1): 43-65
- [16] 杨啸吟.不同气调包装方式对雪花牛肉货架期与品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2015  
YANG Xiaoyin. Effect of packaging at mospheres on shelf-life and quality characteristics of snowflake beef steaks [D]. Tai'an: Shandong Agriculture University, 2015
- [17] Yuan H K, Huff-Ionergan E, Sebranek J G, et al. High-oxygen modified atmosphere packaging system induces lipid and myoglobin oxidation and protein polymerization [J]. Meat Science, 2010, 85(4): 759-767
- [18] Karabagias I, Badeka A, Kontominas M G. Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging [J]. Meat Science, 2011, 88(1): 109-116
- [19] Mancini R A, Hunt M C. Current research in meat color [J]. Meat Science, 2005, 71(1): 100-121
- [20] Suman S P, Hunt M C, Nair M N, et al. Improving beef color stability: practical strategies and underlying mechanisms [J]. Meat Science, 2014, 98(3): 490-504
- [21] Holman B W B, Ven R J V D, Mao Y, et al. Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour [J]. Meat Science, 2017, 127(5): 57-62
- [22] WANG Xiaoting, WANG Zhangbin, ZHUANG Hong, et al. Changes in color, myoglobin, and lipid oxidation in beef patties treated by dielectric barrier discharge cold plasma during storage [J]. Meat Science, 2021, 176: 108456
- [23] Esmer O K, Irkin R, Degirmencioglu N, et al. The effects of modified atmosphere gas composition on microbiological criteria, color and oxidation values of minced beef meat [J]. Meat Science, 2011, 88(2): 221-226



- [24] 杨啸吟,张一敏,朱立贤,等.高氧气调包装贮藏牛排肉色稳定性的蛋白质组学[J].食品科学,2019,40(3): 231-237  
YANG Xiaoyin, ZHANG Yimin, ZHU Lixian, et al. Proteomic study of the color stability of high-oxygen modified packaged steak during chilled storage [J]. Food Science, 2019, 40(3): 231-237
- [25] 张福生,黄晶晶,鄢嫣,等.高氧气调包装对安徽品种猪肉低温贮藏期间品质的影响[J].食品工业科技,2021,11: 198-203  
ZHANG Fusheng, HUANG Jingjing, YAN Yan, et al. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on quality of longissimus dorsi muscles from Wei pig breeds in Anhui stored at chilling temperature [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 11: 198-203
- [26] O'sullivan M G, Byrne D V, Martens H, et al. Evaluation of pork color: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of color analysis [J]. Meat Science, 2003, 65(2): 909-918
- [27] Laack R L J M V, Berry B W, Solomon M B. Variations in internal color of cooked beef patties [J]. Journal of Food Science, 2010, 61(2): 410-414
- [28] Suman S P, Faustman C, Lee S, et al. Effect of erythorbate, storage and high-oxygen packaging on premature browning in ground beef [J]. Meat Science, 2005, 69(2): 363-369
- [29] Suman S P, Joseph P. Myoglobin chemistry and meat color [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2013, 4(1): 79-99
- [30] Greene B E, Hsin I, Zipser M, et al. Retardation of oxidative color changes in raw ground beef [J]. Journal of Food Science, 1971, 36(6): 940-942
- [31] Zakrys P I, Hogan S A, O'sullivan M G, et al. Effects of oxygen concentration on the sensory evaluation and quality indicators of beef muscle packed under modified atmosphere [J]. Meat Science, 2008, 79(4): 648-655
- [32] Mckenna D R, Mies P D, Baird B E, et al. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles [J]. Meat Science, 2005, 70(4): 665-682
- [33] Fourati M, Smaoui S, Hlima H B, et al. Synchronised interrelationship between lipid/protein oxidation analysis and sensory attributes in refrigerated minced beef meat formulated with *Punica granatum* peel extract [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(3): 1080-1087
- [34] WANG Zhaoming, HE Zhifei, GAN Xiao, et al. Interrelationship among ferrous myoglobin, lipid and protein oxidations in rabbit meat during refrigerated and superchilled storage [J]. Meat Science, 2018, 146: 131-139

---

(上接第 235 页)

- [27] 程华峰,林琳,葛孟甜,等.3 种生态环境中华绒螯蟹肉挥发性风味特征的比较[J].食品与发酵工业,2019,45(23): 247- 256  
CHENG Huafeng, LIN Lin, GE Mengtian, et al. Comparison of volatile flavor characteristics in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from three eco-environment systems [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(23): 247-256
- [28] Suhartini W, Yang F, Xia W. Physicochemical properties, volatile compounds and sensory evaluation of chili sauce shrimp paste from different regions in Indonesia [J]. Food and Nutrition Sciences, 2019, 10(3): 333-348
- [29] 曾萍,张业辉,张友胜,等.不同烹饪方式对盐渍鱼干风味和微观结构的影响[J].现代食品科技,2019,35(6): 207-215,138  
ZENG Ping, ZHANG Yehui, ZHANG Yousheng, et al. Effects of cooking methods on the flavor and microstructure of salted-dried fish [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(6): 207-215, 138
- [30] 丁浩宸,李栋芳,张燕平,等.南极磷虾虾仁与 4 种海虾虾仁挥发性风味成分对比[J].食品与发酵工业,2013,39(10): 57- 62  
DING Haochen, LI Dongfang, ZHANG Yanping, et al. Comparison of volatile flavor compounds among peeled Antarctic krill and four species of peeled marine shrimps [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(10): 57-62