

冰温贮藏甘南藏羊肉色稳定性与线粒体MMb还原能力研究

师希雄 张攀高 赵瑞娜 包晓明 范小宁

(甘肃农业大学食品科学与工程学院, 兰州 730070)

摘要: 为确定冰温贮藏甘南藏羊肉色稳定性与线粒体MMb还原能力及其相关性,以藏羊后腿肉为试验材料,分别在冰温(-1.4 ± 0.1 ℃)和冷藏(4 ± 1 ℃)条件下贮藏,测定贮藏期间(0、1、3、5、7、9 d)MRA、NADH含量、SDH活力、线粒体膜通透性、线粒体膜电位与色调角的变化。结果表明,贮藏9 d时,冰温组MRA、NADH含量、线粒体膜540 nm处吸光度、线粒体膜电位、SDH活力比对照组分别高16.67%、33.16%、25.45%、16.57%、40.45% ($P < 0.05$),冰温组色调角比冷藏组低13.13% ($P < 0.05$)。冰温组、冷藏组的MRA、NADH含量、线粒体膜540 nm处吸光度、线粒体膜电位、SDH活力均与色调角呈极显著负相关($P < 0.01$)。由此可见,冰温贮藏可延缓MRA、NADH含量的下降,同时维持线粒体结构的完整性,最终有利于宰后肉色的稳定,为改善藏羊肉色稳定提供了理论依据。

关键词: 藏羊肉; 冰温贮藏; 线粒体; 肉色稳定性; 高铁肌红蛋白还原能力

中图分类号: TS251.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)05-0400-06 OSID: 

Color Stability and Mitochondrial MMb Reducing Ability of Gannan Tibetan Sheep Meat by Freezing Point Storage

SHI Xixiong ZHANG Pan'gao ZHAO Ruina BAO Xiaoming FAN Xiaoning
(Department of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to clarify the effect of controlled freezing point storage on color stability and mitochondria metmyoglobin reduction ability of Tibetan sheep meat, the hind legs meat of Tibetan sheep were used as the material, and Tibetan sheep meat was controlled by freezing point storage and cold storage, and the duration of storage for 0 d, 1 d, 3 d, 5 d, 7 d and 9 d. The changes in MRA, NADH content, SDH activity, mitochondrial membrane permeability, mitochondrial membrane potential, Hue angle duration of storage were determined. The results showed that after aging of 9 d, controlled freezing point storage group MRA, NADH content, mitochondrial membrane permeability, mitochondrial membrane potential, SDH activity were significantly 16.67% ,33.16% ,25.45% ,16.57% and 40.45% higher than that of the cold storage group ($P < 0.05$), Hue angle of controlled freezing point storage group were significantly 13.13% lower than that of the cold storage group ($P < 0.05$). MRA, NADH content, SDH activity, mitochondrial absorbance at 540 nm, mitochondrial membrane permeability of controlled freezing point storage and cold group were negatively correlated with Hue angle values ($P < 0.01$). In conclusion, controlled freezing point storage could delay the decrease of MRA and NADH content, and maintain the integrity of mitochondrial structure, which were ultimately conducive to the stability of postmortdial meat color. The research results provided a theoretical basis for improving the color stability of Tibetan sheep meat.

Key words: Tibetan sheep meat; freezing point storage; mitochondrial; color stability; metmyoglobin-reduction ability

0 引言

藏羊可适应海拔3 000 m以上的高寒缺氧环

境^[1],其中,甘南藏羊包括欧拉型、乔科型与甘加型^[2]。欧拉型藏羊产肉性能良好,且形成了风味独特的羊肉产品^[3]。欧拉型藏羊肉在贮藏期间肉色

不稳定,极易发生劣变。因此,有必要研究藏羊肉贮藏期间肉色稳定性的调控。

影响肉色稳定性的因素有内在因素和外在因素:内在因素包括肉的pH值、高铁肌红蛋白还原酶活性(Metmyoglobin-reducing activity,MRA)等;外在因素有温度、光照、氧气、微生物等^[4]。高铁肌红蛋白还原酶使肌红蛋白处于还原状态,一旦形成高铁肌红蛋白,将使之还原,延长肉的货架期。冰温指冻结点以上,0℃以下的温度^[5]。冰温贮藏可通过调控高铁肌红蛋白还原酶系统从而影响肉色的稳定。文献[4]报道,冰温条件下,大尾寒羊与小尾寒羊杂交公羊的肉色稳定性与烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(Nicotinamide adenine dinucleotide,NADH)浓度、MRA有关。目前,冰温贮藏对畜禽肉、鱼肉及虾肉等品质的影响已有研究报道^[6-12]。

然而,由于品种、生活习性与地域的差异,藏羊与普通羊肉的肉品质、生理生化特性存在差异^[13],这些可能会影响贮藏过程中品质的变化。对于冰温贮藏中线粒体高铁肌红蛋白(Metmyoglobin,MMb)还原能力与藏羊肉色稳定性关系尚未见报道。

参考文献[14]的方法,本文预试验测定藏羊肉的冰点温度为-1.5℃,考虑到设备温度±0.1℃波动,本文确定-1.4℃作为藏羊肉冰温贮藏温度。本研究以甘南藏羊后腿肉为试验材料,在冰温((-1.4±0.1)℃)与冷藏((4±1)℃)两种条件下分别贮藏,测定贮藏期间(0、1、3、5、7、9 d)MRA、NADH含量、琥珀酸脱氢酶(Succinate dehydrogenase,SDH)活力、线粒体膜通透性、线粒体膜电位与肉色色调角的变化,研究冰温贮藏甘南藏羊肉色稳定性与线粒体MMb还原能力的关系,从而为改善肉色提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验原料及样品处理

选取3岁去势甘南藏羊后腿肉宰后0.5 h肉样,一部分样品现场测定肉色指标后液氮速冻,用于测定“0 d”其他指标,剩余肉样除去脂肪与筋膜,之后,随机分为冰温组和冷藏组(取一份肉样进行冰点的测定,冷藏组为对照),用保鲜膜包裹后在-18℃冰箱降温,冷藏组与冰温组样品的中心温度分别达到4℃及0℃时取出,分别放入冷藏库((4±1)℃)和恒温恒湿试验箱((-1.4±0.1)℃),在贮藏1、3、5、7、9 d取出冰温组与冷藏组肉样,现场测定色度,其余样品在-80℃保存,测定其余指标。

1.1.2 试验仪器与试剂

试验仪器:恒温恒湿试验箱(QL-HWHS-100L型),合肥安科环境试验设备有限公司;色度计(Konica CR-10型),柯尼美能达光电股份有限公司;pH计(PHS-3C型),上海宁隆仪器有限公司;紫外-可见分光光度计(UV-2550型),岛津上海有限公司;高速冷冻离心机(TGL-24MC型),湖南平凡科技有限公司;荧光分光光度计(RF 5301-PC型),日本岛津公司;酶标仪(Spectramax M2型),美国美谷分子仪器有限公司。

试验试剂:肌红蛋白、Tris-HCl、Hepes、蔗糖、甘露醇,以上试剂均为分析纯。

线粒体的提取、膜电位测定(JC-1)及SDH活力检测所用的试剂盒购自北京索莱宝科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 MRA测定

参考文献[15]制备反应物。将MMb配制成0.75 mmol/L溶液;标准反应混合物由5.0 mmol/L乙二胺四乙酸(Ethylene diamine tetraacetic acid,EDTA)、3.0 mmol/L K₄Fe(CN)₆、2.0 mmol/L NADH、50 mmol/L磷酸盐缓冲液(pH值7.0)组成。

参考文献[15]的方法稍作修改制备高铁肌红蛋白还原酶。取肉样10 g加入20 mL冰预冷的磷酸盐缓冲液(2.0 mmol/L,pH值7.0),在冰浴条件下均质1 min。均质液在4℃条件下离心(10 000 r/min,20 min),上清液过滤除去脂肪。将滤液中的氧合肌红蛋白用稍过量的高铁氰化钾氧化后,用上述缓冲液在4℃条件下透析1 d,之后,在4℃条件下离心(12 000 r/min,20 min),用磷酸盐缓冲液将上清液定容至20 mL,即为粗酶液。

MRA测定参考文献[16]的方法并修改,取一定量的肌肉提取液加入到标准反应混合物中,在580 nm波长处测定MbO₂和MMb的吸光度,MRA用反应线性阶段每克肉具有的活力单位(U/g)表征。

1.2.2 NADH含量测定

参考文献[17],根据试剂盒说明书进行操作。称取0.1 g肉样中加入0.5 mL碱性提取液,冰浴研磨,煮沸5 min,冰浴冷却后,4℃条件下离心(10 000 g,10 min),取上清200 μL,加入等体积酸性提取液混匀,4℃条件下离心(10 000 g,10 min),取上清,然后测定。

1.2.3 线粒体提取

按照试剂盒说明书进行。取肉样0.2 g,加入冰预冷的Lysis Buffer 1.0 mL,在冰浴条件进行20次

研磨,随后 4℃、1 000 g 离心 5 min,重复 1 次。取上清,离心 10 min(4℃,12 000 g),弃上清,沉淀中加入 Wash Buffer 0.5 mL 重新悬浮线粒体沉淀,离心(4℃、1 000 g)5 min,取上清,离心(4℃、12 000 g)10 min,弃上清,线粒体沉淀在管底,用 0.1 mL Store Buffer 重新悬浮沉淀,−80℃ 保存待用。

1.2.4 线粒体膜通透性测定

参考文献[18]的方法并做修改。取肉样 3 g,加入 30 mL 分离液(250 mmol/L 蔗糖,10 mmol/L Tris-HCl,1 mmol/L EDTA,pH 值 7.4),匀浆后离心 15 min(4℃,1 500 g),将上清液离心 20 min(4℃,12 000 g),用分离液洗涤沉淀两次后溶于缓冲液(250 mmol/L 蔗糖,10 mmol/L Tris-HCl,pH 值 7.4)中,即得到线粒体悬浮液,测定蛋白浓度并稀释。取 0.3 mL 稀释溶液加入到 2.7 mL 测试溶液(230 mmol/L 甘露醇,70 mmol/L 蔗糖,3 mmol/L Hepes,pH 值 7.4)中,25℃ 水浴 3 min 后,于 540 nm 处测吸光度。另外,以 3 mL 测试溶液作为对照。

1.2.5 线粒体膜电位测定

按照试剂盒说明书进行测定。线粒体蛋白(0.1 mg/mL)与 9 倍体积的 JC-1 染色工作液混合。在 490 nm 的激发波长、530 nm 的发射波长和 525 nm 的激发波长、590 nm 的发射波长条件下测定溶液单体荧光值和聚集态荧光值。单体荧光值与聚集态荧光值的比值即为线粒体膜电位。

1.2.6 SDH 活力测定

根据试剂盒说明书测定。在 0.5 g 肉样中加入 0.86% 的生理盐水 4.5 mL,冰浴匀浆后在 4℃、1 000 g 条件下离心 10 min,取上清测定。

1.2.7 色调角测定

参考文献[19]的方法,采用色差仪测定样品的 a^* 、 b^* 值,运用 $\arctan(b^*/a^*)$ 计算色调角^[20]。

1.3 数据处理

用 SPSS 19.0 软件做方差分析、相关性分析,多重比较采用 Duncan 法,Origin 9.0 软件绘制图形,所有的指标测定 3 次,试验结果以“平均数±标准差”来表示。

2 结果与分析

2.1 MRA

MRA 是肉色保持稳定的主要影响因素^[21]。从图 1(大写字母表示组内差异显著,小写字母表示组间差异显著($P<0.05$),下同)可知,随着时间的延长,冰温组和冷藏组 MRA 均呈逐渐下降的趋势。冰温组在贮藏 3、5、7、9 d 时,MRA 显著高于冷藏组($P<0.05$),9 d 时,冰温组的 MRA 比冷藏组高

16.67% ($P<0.05$)。由此可见,冰温贮藏延缓了藏羊肉 MRA 的下降。这可能是由于温度对高铁肌红蛋白还原酶活性的影响^[22]。该结果与文献[4]报道的冰温对高铁肌红蛋白还原活性影响的结果相似。

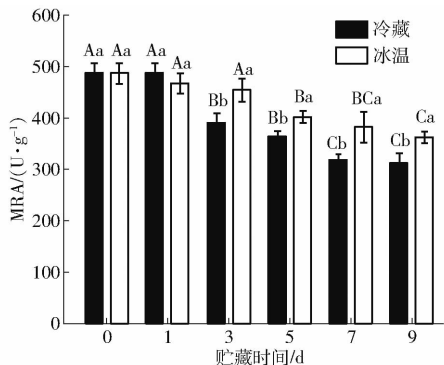


图 1 冰温贮藏对藏羊肉 MRA 的影响

Fig. 1 Effects of controlled freezing point storage on MRA in Tibetan sheep meat

2.2 NADH 含量

线粒体外膜 NADH 依赖型的 MMb 还原酶的酶促还原反应是线粒体将 MMb 还原的途径之一^[23]。在糖酵解和细胞呼吸作用的柠檬酸循环中产生 NADH,NADH 是辅酶,作为电子供体在 MMb 还原过程中发挥作用^[17]。从图 2 可知,随着时间的增加,冰温组和冷藏组 NADH 含量均呈逐渐下降的趋势。在第 9 天时,冰温组 NADH 含量(质量摩尔浓度)比冷藏组高 33.16% ($P<0.05$)。由此可见,冰温贮藏可延缓 NADH 含量的下降,可能由于冰温贮藏延缓了藏羊肉骨骼肌呼吸功能的破坏^[24]。

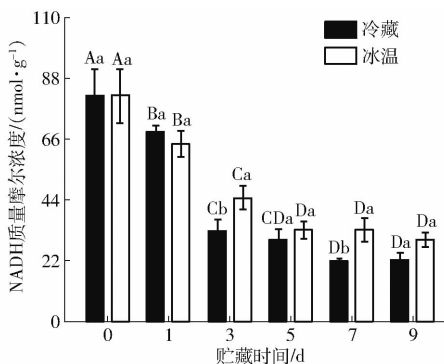


图 2 冰温贮藏对藏羊肉 NADH 含量的影响

Fig. 2 Effects of controlled freezing point storage on NADH content in Tibetan sheep meat

2.3 线粒体膜通透性

线粒体膜的通透性指数常用 540 nm 处吸光度表示,其越小,表示透过线粒体膜的光越多,线粒体膜通透性越大^[18]。从图 3 可知,在冰温和冷藏贮藏条件下吸光度随着贮藏时间的延长而逐渐下降,表明了线粒体膜的通透性不断增加。在第 9 天时,冰温组的吸光度比冷藏组高 25.45% ($P<0.01$)。由

此表明,冰温贮藏可延缓线粒体膜通透性的增大,这可能由于冰温贮藏延缓了线粒体结构的损伤^[24]。

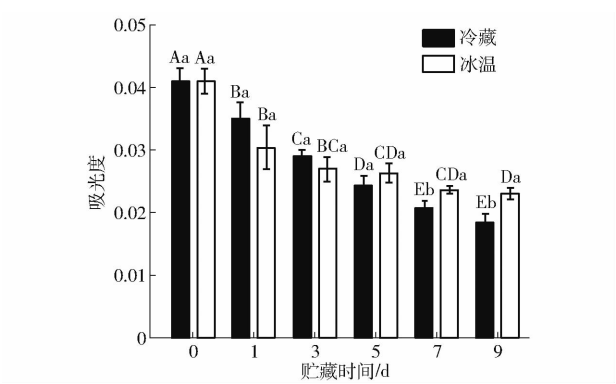


图 3 冰温贮藏对藏羊肉线粒体膜通透性的影响
Fig.3 Effects of controlled freezing point storage on mitochondrial membrane permeability in Tibetan sheep meat

2.4 线粒体膜电位

线粒体膜通透性与线粒体膜电位的变化是线粒体膜损伤的标志^[18]。由图 4 可见,在冰温和冷藏两种贮藏条件下,线粒体膜电位随着时间的增加而下降。在第 9 天时,冰温组藏羊肉线粒体膜电位比冷藏组高 16.57% ($P < 0.05$)。由此可见,冰温贮藏可延缓藏羊肉贮藏过程中线粒体膜电位的下降,这可能是由于冰温抑制了线粒体膜的改变。

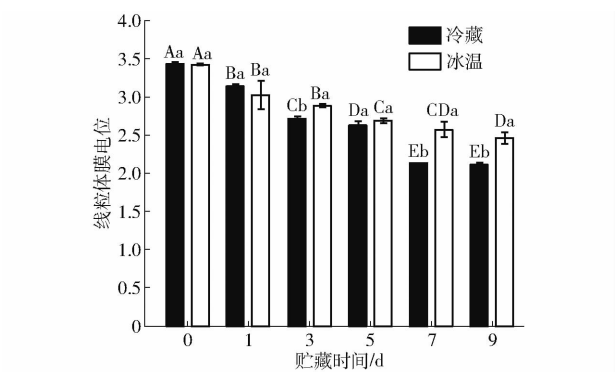


图 4 冰温贮藏对藏羊肉线粒体膜电位的影响
Fig.4 Effects of controlled freezing point storage on mitochondrial membrane potential in Tibetan sheep meat

2.5 SDH 活力

SDH 是线粒体的标志酶,它的活性能反映线粒体的功能^[25]。从图 5 可知,在冰温和冷藏两种贮藏条件下 SDH 活力随宰后贮藏时间的延长而显著降低。在第 9 天时,冰温组 SDH 活力显著高于冷藏组 ($P < 0.05$),比冷藏组高 40.45% ($P < 0.05$)。由此可见,冰温可延缓 SDH 活力的下降,这可能是由于低温延缓了酶活性的降低。

2.6 色调角

色调角代表褪色程度,其值越大,表明褪色速率越快^[26]。由图 6 可看出,冷藏组与冰温组的色调角总体呈现先上升后稳定的趋势。在第 9 天时,冰温

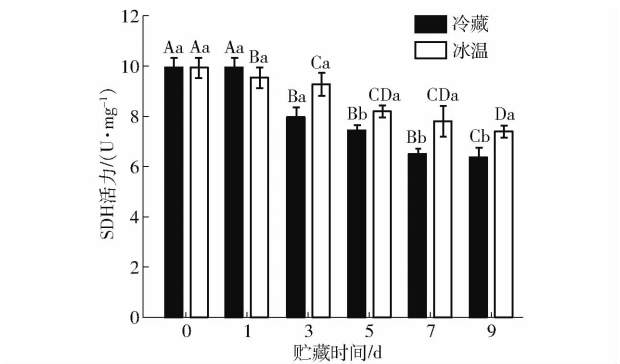


图 5 冰温贮藏对藏羊肉 SDH 活力的影响
Fig.5 Effects of controlled freezing point storage on SDH activity in Tibetan sheep meat

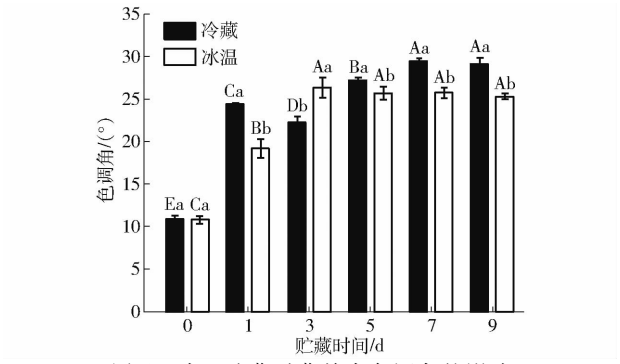


图 6 冰温贮藏对藏羊肉色调角的影响
Fig.6 Effects of controlled freezing point storage on Hue angle in Tibetan sheep meat

组色调角比冷藏组低 13.13% ($P < 0.01$)。本研究表明,冰温贮藏可延缓色调角的上升,可能是由于冰温延缓了 MMb 的形成,因而有利于保持肉色稳定^[27]。

2.7 线粒体高铁肌红蛋白还原能力与肉色稳定性的相关性

由表 1 可知,冰温组、冷藏组 MRA、NADH 含量、线粒体膜 540 nm 处吸光度、线粒体膜电位、SDH 活力均与色调角呈极显著负相关 ($P < 0.01$)。由此可见,MRA、NADH 含量越高,线粒体结构损伤程度越小,MMb 还原能力越强,色调角越低,肉的颜色越稳定。MMb 还原酶是高铁肌红蛋白酶促还原反应的关键酶,在 NADH 存在的条件下,它可将高铁肌红蛋白还原^[28]。而且,畜禽宰后贮藏受损的线粒体结构会导致肉色稳定性显著降低^[21]。因此,MRA、NADH 含量越高,线粒体结构损伤程度越小,肉色越稳定。本试验结果与文献[4]报道的冰温贮藏通过影响大尾寒羊与小尾寒羊杂交公羊肉高铁肌红蛋白还原酶活性及 NADH 浓度调控肉色稳定的结果相似。

3 结束语

贮藏 9 d 时,冰温组 MRA、NADH 含量、线粒体

表 1 冰温与冷藏两种条件贮藏过程中各指标间的相关性

Tab.1 Correlation coefficients of various indicators under controlled freezing point storage and cold storage							
指标	贮藏方式	MRA	NADH 含量	SDH 活力	540 nm 处吸光度	线粒体膜电位	色调角
MRA	冰温	1					
	冷藏	1					
NADH 含量	冰温	0.851 **	1				
	冷藏	0.925 **	1				
SDH 活力	冰温	0.839 **	0.868 **	1			
	冷藏	0.919 **	0.870 **	1			
540 nm 处吸光度	冰温	0.715 **	0.885 **	0.863 **	1		
	冷藏	0.949 **	0.925 **	0.906 **	1		
线粒体膜电位	冰温	0.910 **	0.943 **	0.890 **	0.892 **	1	
	冷藏	0.959 **	0.932 **	0.919 **	0.969 **	1	
色调角	冰温	-0.677 **	-0.921 **	-0.836 **	-0.914 **	-0.874 **	1
	冷藏	-0.755 **	-0.819 **	-0.754 **	-0.874 **	-0.853 **	1

注：**表示相关性极显著($P<0.01$)。

膜的通透性指数、线粒体膜电位和 SDH 活力分别比冷藏组高 16.67%、33.16%、25.45%、16.57% 和 40.45%。色调角比冷藏组低 13.13%。因此,冰温贮藏延缓了藏羊肉 MRA、NADH 含量、线粒体膜

540 nm 处吸光度、线粒体膜电位和 SDH 活力的降低,色调角的升高,有利于维持线粒体高铁肌红蛋白还原能力,延缓线粒体结构的损伤,进而维持藏羊肉色的稳定。

参 考 文 献

[1] 周文静,袁泽湖,李熙成,等. 3 种不同类型藏羊的屠宰性能和肉品质的比较分析[J]. 草业科学, 2019, 36(7): 1869 – 1878. ZHOU Wenjing, YUAN Zehu, LI Xicheng, et al. Comparison of carcass and meat quality among three different types of Tibetan sheep[J]. Pratacultural Science, 2019, 36(7): 1869 – 1878. (in Chinese)

[2] 师希雄,岳建伟,张攀高,等. 宰后 H₂O₂ 处理的藏羊肉能量代谢、细胞凋亡及嫩化研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(3): 357 – 363. SHI Xixiong, YUE Jianwei, ZHANG Pan'gao, et al. Tibetan sheep meat energy metabolism, apoptosis and tenderization during postmortem aging after H₂O₂ treatment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(3): 357 – 363. (in Chinese)

[3] 张灿,李鹤琼,余忠祥,等. 自然放牧方式下欧拉羊羊肉中矿物元素、脂肪酸及氨基酸含量分析[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(1): 159 – 163,167. ZHANG Can, LI Heqiong, YU Zhongxiang, et al. Meat mineral, fatty acid and amino acid profile of Oula lambs at pasture[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2020, 56(1): 159 – 163,167. (in Chinese)

[4] 张艳. 冰温技术调控羊肉肉质稳定性及蛋白质磷酸化水平的研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2016. ZHANG Yan. Study on regulating color stability and protein phosphorylation level of mutton meat by controlled freezing point storage technique[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2016. (in Chinese)

[5] 孙天利. 冰温保鲜技术对牛肉品质的影响研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2013. SUN Tianli. Influences of controlled freezing point storage on beef[D]. Shenyang:Shenyang Agricultural University, 2013. (in Chinese)

[6] ZHANG X, WANG H, LI M, et al. Near-freezing temperature storage (–2℃) for extension of shelf life of chilled yellow-feather broiler meat; a special breed in Asia[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2016, 40(2): 340 – 347.

[7] YOUSSEF M K, GILL C O, YANG X. Storage life at 2℃ or –1.5℃ of vacuum-packaged boneless and bone-in cuts from decontaminated beef carcasses[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2014, 94(15): 3118 – 3124.

[8] 宋志明. 温度对点篮子鱼幼鱼生长和代谢的影响[D]. 上海:上海海洋大学, 2015. SONG Zhiming. Effect of temperature on growth and metabolic of juvenile *Siganus guttatus*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015. (in Chinese)

[9] 许立兴,荆红彭,赵菲,等. 冰温贮藏对鸭胸肉品质变化的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(14):222 – 227. XU Lixing, JING Hongpeng, ZHAO Fei, et al. Quality properties of duck breasts during ice temperature storage[J]. Food Science, 2015, 36(14):222 – 227. (in Chinese)

[10] 周梁,卢艳,周佳,等. 猪肉冰温贮藏过程中的品质变化与机理研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(11): 1296 – 1311. ZHOU Liang, LU Yan, ZHOU Quan, et al. Changes in physical-chemical and sensory characteristics of pork under controlled freezing point storage conditions[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(11): 1296 – 1311. (in Chinese)

- [11] 王政纲,赵丽华,苏琳,等.贮藏羊肉电阻抗特性及肉品质相关性分析[J].食品科学,2019,40(1):249–255.
WANG Zhenggang, ZHAO Lihua, SU Lin, et al. Correlation analysis between electrical impedance and quality of mutton during controlled freezing-point storage[J]. Food Science, 2019, 40(1): 249–255. (in Chinese)
- [12] 秦求思,李思敏,孟粉,等.冰温贮藏对鹰爪虾鲜度及蛋白质特性的影响[J].包装工程,2020,41(17):46–54.
QIN Qiushi, LI Simin, MENG Fen, et al. Effects of freezing temperature storage on freshness and protein properties of prawn eagle[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(17): 46–54. (in Chinese)
- [13] 辜雪冬,孙术国,杨飞艳,等.冰温或冷藏对牦牛肉贮藏品质及水分迁移的影响[J].农业工程学报,2019,35(16):343–350.
GU Xuedong, SUN Shuguo, YANG Feiyan, et al. Effects of freezing temperature or cold storage on storage quality and water migration of yak beef[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(16): 343–350. (in Chinese)
- [14] 孙天利,岳喜庆,张平,等.冰温结合气调包装对牛肉品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(5):239–244.
SUN Tianli, YUE Xiqing, ZHANG Ping, et al. Effects of air conditioning packaging combined with freezing temperature on beef quality[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(5): 239–244. (in Chinese)
- [15] 陈景宜,牛力,黄明,等.乳酸钙对牛肉糜色泽稳定性的影响[J].食品科学,2012,33(13):31–35.
CHEN Jingyi, NIU Li, HUANG Ming, et al. Effect of calcium lactate on color stability of minced beef[J]. Food Science, 2012, 33(13): 31–35. (in Chinese)
- [16] REDDY I M, CARPENTER C E. Determination of metmyoglobin reductase activity in bovine skeletal muscles[J]. Journal of Food Science, 1991, 56(5): 1161–1164.
- [17] 刘金鑫.不同包装体系中乳酸钙对冷却牛肉肉色稳定性的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2018.
LIU Jinxin. Effect of calcium lactate with different packaging systems on stability of cool beef during storage[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [18] 张佳莹.线粒体通路信号介导细胞凋亡机制及对宰后牛肉嫩化影响[D].兰州:甘肃农业大学,2020.
ZHANG Jiaying. The mechanism of effects of mitochondrial pathway signaling mediated apoptosis on bovine muscle tenderization during postmortem aging[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020. (in Chinese)
- [19] ZUO Huixin, HAN Ling, YU Qunli, et al. Proteome changes on water-holding capacity of yak *Longissimus lumborum* during postmortem aging[J]. Meat Science, 2016, 121(11): 409–419.
- [20] 刘亚娜,孙宝忠,谢鹏,等.甘南牦牛和青海牦牛肉质特性的对比分析[J].食品工业科技,2016,37(1):71–75.
LIU Ya'na, SUN Baozhong, XIE Peng, et al. Comparative analysis of meat quality characteristics between Gannan yak and Qinghai yak[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(1): 71–75. (in Chinese)
- [21] 邵娜,葛玲,薛洋洋,等.线粒体介导高铁肌红蛋白还原活性与肉色变化关联性研究进展[J].肉类研究,2021,35(3):60–65.
GAO Na, GE Ling, XUE Yangyang, et al. Progress in understanding the relationship between mitochondria-mediated metmyoglobin reduction and changes in meat color[J]. Meat Research, 2021, 35(3): 60–65. (in Chinese)
- [22] 孙学朋.高铁肌红蛋白还原酶及其对肉色稳定性的作用综述[J].江西农业学报,2008,20(5):91–93.
SUN Xuepeng. Research progress in metmyoglobin reductase and its effects on stability of meatcolor[J]. Acta Agricultural Jiangxi, 2008, 20(5): 91–93. (in Chinese)
- [23] 陈骋,余群力,韩玲,等.丙二醛对牛肉线粒体高铁肌红蛋白还原能力的影响[J].农业机械学报,2015,46(12):253–259.
CHEN Cheng, YU Qunli, HAN Ling, et al. Effects of malondialdehyde on metmyoglobin reduction ability of bovine muscle mitochondria[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(12): 253–259. (in Chinese)
- [24] 吴爽,罗欣,毛衍伟,等.线粒体对肉色及其稳定性影响的研究进展[J].食品科学,2018,39(15):247–253.
WU Shuang, LUO Xin, MAO Yanwei, et al. A review of the effect of mitochondria on meat color and color stability[J]. Food Science, 2018, 39(15): 247–253. (in Chinese)
- [25] 王琳琳. Cyt-c 释放和介导宰后牦牛肉线粒体凋亡途径激活机制及对嫩度影响的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2018.
WANG Linlin. Study on the effect of cytochrome c release and its mediation mechanism of mitochondrial apoptosis activation on yak meat tenderness during postmortem aging[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [26] QUEVEDO R, VALENCIA E, CUEVAS G, et al. Color changes in the surface of fresh cut meat: a fractal kinetic application[J]. Food Research International, 2013, 54(2): 1430–1436.
- [27] 陈雪,罗欣,梁荣蓉,等.不同冰温条件对长期贮藏牛肉品质和货架期的影响[J].农业工程学报,2019,35(23):305–311.
CHEN Xue, LUO Xin, LIANG Rongrong, et al. Effects of super-chilled conditions on quality and shelf life of beef during long term storage[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(23): 305–311. (in Chinese)
- [28] 汤祥明.高铁肌红蛋白还原酶活力与肉色稳定性的研究[D].南京:南京师范大学,2006.
TANG Xiangming. Relationship between metmyoglobin reductase activity and meat color stability[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2006. (in Chinese)