

# 不同冰温条件对长期贮藏牛肉品质和货架期的影响研究

陈 雪<sup>1</sup>, 罗 欣<sup>1,2</sup>, 梁荣蓉<sup>1</sup>, 杨啸吟<sup>1</sup>, 董鹏程<sup>1</sup>, 朱立贤<sup>1</sup>,  
毛衍伟<sup>1</sup>, 韩明山<sup>3</sup>, 郝剑刚<sup>4</sup>, 张一敏<sup>1\*</sup>

(1. 山东农业大学食品科学与工程学院, 泰安 271018; 2. 江苏省肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 南京 210095;  
3. 国家肉牛牦牛产业技术体系通辽站, 通辽 028100; 4. 国家肉牛牦牛产业技术体系乌拉盖综合试验站, 乌拉盖 026300)

**摘 要:** 该研究旨在探究标准冰温(实验室恒温条件, -2~0℃)和商业冰温(工厂冰温库(-4~4℃))对长期贮藏牛肉品质的影响, 以此明确当前商业冰温条件对牛肉的保鲜效果。试验测定了贮藏期间(20周)两种冰温条件下真空包装牛肉的 pH 值、肉色、微生物菌落数、挥发性盐基氮(total volatile base-nitrogen, TVB-N)、脂肪氧化和感官品质等指标。结果表明: 2 种冰温条件下, 牛肉在 20 周的贮藏期内均可以维持良好的肉色及感官品质。贮藏第 9 周时, 商业冰温条件下牛肉样品的菌落总数和 TVB-N 值就已分别达到 7.09 lg CFU/cm<sup>2</sup> 和 15.59 mg/100g。而标准冰温条件下的牛肉样品在贮藏期间其菌落总数始终低于 7.00 lg CFU/cm<sup>2</sup>, TVB-N 值在贮藏第 12 周时才超出限量阈值(≤15 mg/100 g), 达到 16.66 mg/100 g。总体来看, 标准冰温条件对真空包装牛肉的保鲜效果更佳, 依据 TVB-N 值的限量标准, 建议标准冰温和商业冰温条件下牛肉的货架期分别不超过 9 周和 12 周。

**关键词:** 肉; 贮藏; 品质控制; 货架期

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.23.037

中图分类号: TS251.5<sup>+</sup>2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-23-0305-07

陈 雪, 罗 欣, 梁荣蓉, 杨啸吟, 董鹏程, 朱立贤, 毛衍伟, 韩明山, 郝剑刚, 张一敏. 不同冰温条件对长期贮藏牛肉品质和货架期的影响研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 305—311. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.23.037

http://www.tcsae.org

Chen Xue, Luo Xin, Liang Rongrong, Yang Xiaoyin, Dong Pengcheng, Zhu Lixian, Mao Yanwei, Han Mingshan, Hao Jiangang, Zhang Yimin. Effects of super-chilled conditions on quality and shelf life of beef cuts during long term storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(23): 305—311. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.23.037 http://www.tcsae.org

## 0 引 言

中国是牛肉生产和消费大国。近年来, 随着高品质牛肉需求量的增加, 牛肉贮藏保鲜新技术的开发已经成为肉品行业亟待解决的问题。目前常用的肉类低温贮藏方法主要分为冷藏和冻藏<sup>[1]</sup>。冷鲜肉具有良好的新鲜度及品质, 但其货架期较短, 不利于产品的周转、长距离运输及销售<sup>[2]</sup>。冷冻贮藏虽然可以保证较长的产品货架期, 但冻结和解冻过程会对肉品品质(风味、多汁性等)造成不良影响<sup>[3]</sup>; 与冷鲜肉相比, 消费者普遍认为冻肉的品质较低<sup>[4]</sup>。因此, 选择适当的贮藏方法在保证肉品品质的同时延长货架期尤为重要。

冰温保鲜技术是指将生鲜食品置于 0℃ 以下, 冰点以上的温度范围内, 使其保持低温而不冻结的状态, 在抑制微生物和酶的活性的同时, 更好地维持产品良好品质<sup>[5-6]</sup>。与传统的冷藏方式相比, 冰温贮藏可有效地延长

产品货架期 1.4~4 倍<sup>[7]</sup>。近年来, 该技术已经成功应用于肉品的贮藏保鲜<sup>[8-11]</sup>。Youssef 等<sup>[8]</sup>研究了不同贮藏温度对牛肉品质的影响, 发现与传统冷藏(2℃)相比, 冰温条件下可将牛肉的货架期延长 2 倍。Small 等<sup>[12]</sup>对比了澳大利亚不同工厂冰鲜牛肉长期贮藏期间微生物菌落数和感官品质的变化, 发现贮藏 26 周后各工厂样品仍能保持良好的感官品质及较低的微生物数量(约 6 lg CFU/cm<sup>2</sup>)。其中精确控温是冰温保鲜技术的关键, Lan 等<sup>[13]</sup>认为冰温条件下微小的温度差异也会对肉品货架期产生重要影响。本课题组前期的研究发现澳大利亚进口冰鲜牛肉在标准冰温(实验室恒温条件(0~2℃))条件下其感官货架期可达 20 周<sup>[14]</sup>。但目前, 由于技术和制冷设备制约, 国内冰温保鲜技术研究多集中在短期贮藏水平, 商业推广及应用尚不多见。而且国内商业冰温库存在精准控温难, 温度多波动等问题, 这也会影响产品贮藏期间的品质, 进而缩短肉品货架期。然而, 我们尚不清楚商业冰温条件下牛肉的品质变化和适宜的贮藏时间。因此, 为了明确当前长期贮藏期间商业冰温条件对牛肉的保鲜效果, 本试验设置了标准冰温(实验室恒温条件, -2~0℃)和商业冰温(工厂冰温库(-4~4℃))2 个贮藏条件。研究了这 2 种冰温条件下长期贮藏期间(20 周)牛肉的理化指标、微生物数量及感官品质等的变化, 旨在确定

收稿日期: 2019-07-13 修订日期: 2019-11-04

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(肉牛 CARS-37); 山东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金(SDAIT-09-09)

作者简介: 陈 雪, 博士, 主要从事肉品科学研究。

Email: 2019010030@sdaa.edu.cn

\*通信作者: 张一敏, 博士, 副教授, 主要从事肉品科学研究。

Email: ymzhang@sdaa.edu.cn

当前不同冰温条件下的货架期和品质变化,为今后冰鲜技术的开发和优化提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验原料肉选自 10 头西门塔尔牛的腰背最长肌(约 24 月龄,胴体质量约 310 kg,内蒙古某肉牛屠宰企业)。Petrifilm 微生物测试片,美国 3M 公司;MRS 肉汤,英国 Oxoid 公司;NaCl,无水碳酸钠,氧化镁,2-硫代巴比妥酸,国药集团化学试剂有限公司;硼酸,盐酸,三氯乙酸,天津凯通化学试剂有限公司;1,1,3,3-丙二醛乙缩醛,美国 sigma 公司。

1.2 仪器与设备

Senven2Go pH 计,瑞士 Mettler Toledo 公司;SP62 便携式色差计:美国 X-Rite 公司;T18 高速分散机:德国 IKA 有限公司;CS501 恒温水浴锅:上海博迅实业有限公司;AB104-S 天平:美国梅特勒-托利多有限公司;SPX 型生化培养箱:宁波江南仪器厂;Bag Mixer400 均质器:法国 Interscience 公司;1400 生物安全柜:美国 Thermofisher 公司;冰温冷藏冰箱:佳郅机电设备有限公司;K-355 凯氏定氮仪,瑞士 BUCHI 公司;Logtag 温度记录仪,深圳中际冷链电子有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理

肉牛屠宰后,胴体于 2~4 ℃冷却 24 h,取西冷部位切分成 5 cm 左右样品(约 1 kg,共计 140 块),真空包装(氧气透过率 20 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·24 h,水蒸气透过率 5 g/m<sup>2</sup>·24 h)后,随机选取 70 块样品在常规冷链物流条件下运到实验室,置于-2~0 ℃条件下贮藏,记为处理组 A(即为标准冰温条件)。另 70 块样品于工厂冰温库中贮藏,并模拟牛肉销售环节,在 0、3、6、9、12、15 和 20 周时将样品运至实验室进行相关分析,记为处理组 B(即为商业冰温条件,运输时采用常规的肉品冷链物流模式)。采用 Logtag 温度记录仪记录期间的温度波动情况。贮藏第 0、3、6、9、12、15 和 20 周时,分别测定 2 组样品的 pH 值,肉色,微生物菌落数,挥发性盐基氮(total volatile base-nitrogen, TVBN),脂肪氧化(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)和感官品质等指标(每个时间点  $n=10$ )。

1.3.2 pH 值的测定

采用 pH 计直接插入待测样品中测定其 pH 值,每块样品随机测定 3 个点,取平均值用于后续数据分析。

1.3.3 肉色指标的测定

从每块样品切下一块牛排进行发色(4 ℃,30 min),使用便携式色差计(SP62,测量孔径 8 mm,光源 A,标准视角 10°)测定亮度值(lightness,  $L^*$ )、红度值(redness,  $a^*$ )和黄度值(yellowness,  $b^*$ )。每块牛排随机测定 6 个位点,取平均值。

1.3.4 脂肪氧化(TBARS)值的测定

脂肪氧化的测定参照 Siu 等<sup>[15]</sup>的方法并稍作修改。在

样品表面取 4 g 肉样(剔除筋腱和脂肪),置于 16 mL 蒸馏水中均质 1 min,而后加入 16 mL 浓度为 10%的三氯乙酸溶液,混匀后过滤。取 4 mL 滤液,加入 1 mL 浓度为 0.06 mol/L 的硫代巴比妥酸溶液,震荡混匀后,水浴加热(80 ℃,90 min),使其充分反应。冷却至室温,在 532 nm 处测定其吸光度 A,同时设置空白对照(2 mL 蒸馏水+2 mL 10%三氯乙酸溶液+1 mL 硫代巴比妥酸溶液)。依据标准曲线来得到样品中的脂肪氧化值。

1.3.5 挥发性盐基氮(TVBN)值的测定

参照国标 GB5009.228-2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》,采用自动凯氏定氮仪法进行测定。

1.3.6 微生物数量的测定

参照 Small 等<sup>[12]</sup>的方法稍作修改。采用无菌取样器从样品表面取 40 cm<sup>2</sup>肉样(厚度约 3 mm),置于无菌均质袋中(BagPage®,法国 Interscience 有限公司),加入 100 mL0.85% NaCl 无菌生理盐水,用拍打器拍打 1 min。取 1 mL 混合菌液分别置于 MRS 肉汤和 0.85% NaCl 梯度稀释液中进行梯度稀释,选取适当的梯度稀释液于微生物测试片中进行培养。梯度稀释液,细菌测试片及培养条件如表 1 所示。

表 1 微生物的培养条件  
Table 1 Incubatory conditions of different bacteria

微生物 Bacteria	梯度稀释液 Serial dilution	细菌测试片 Petrifilm aerobic films	培养条件 Incubatory condition
菌落总数 Total viable count	0.85% NaCl	Petrifilm 6404	25 ℃, 96 h, 好氧
乳酸菌 Lactic acid bacteria	MRS 肉汤	Petrifilm 6404	25 ℃, 120 h, 厌氧

1.3.7 感官评定

参照 Chen 等<sup>[14]</sup>的方法,感官品评小组由 10 名从事肉品研究的专业人员组成,在各个贮藏时间点分别对样品的外观、气味和整体喜爱度等进行评判。评定标准如表 2 所示。除整体气味强度外(高于 40 分视为不可接受),其他任意一项低于 60 分则视为不可接受<sup>[14]</sup>。

表 2 冰鲜牛肉感官评定表  
Table 2 Sensory evaluation criterion for vacuum-packaged beef during super-chilled storage up to 20 weeks

过程 Process	感官指标 Sensory index	评分标准 Standard for evaluation	
		0 分 0 point	100 分 100 points
打开包装前 Pre-open	外观新鲜度	不新鲜	非常新鲜
打开包装后 Post-open	整体气味强度	无异味	异味强烈
	气味新鲜度	不新鲜	非常新鲜
发色后 Post-oxygenated	整体喜爱度	不喜欢	非常喜欢
	气味新鲜度	不新鲜	非常新鲜

1.3.8 数据分析

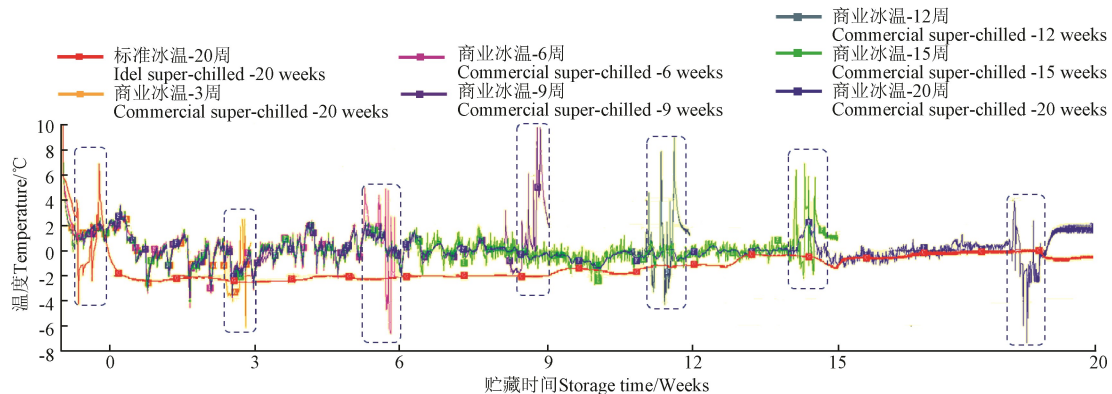
采用 SAS 9.2 程序中的混合模型(MIXED procedure)来进行显著性分析,其中随机效应为牛个体,固定效应为贮藏条件、贮藏时间以及它们之间的交互作用。差异显著水平为  $P<0.05$ 。结果采用均值±标准误的形式表示。采用 Sigma Plot 10.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同冰温条件下牛肉贮藏期间温度记录情况

2 种冰温条件下牛肉贮藏及运输期间（虚框线部分）温度波动情况如图 1 所示。相较于标准冰温条件（ $-2\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），商业冰温条件下温度波动幅度

较大，其中贮藏前 6 周其波动范围为 $-4\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，而后波动幅度减小（ $-2\sim 2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。商业化的肉品冷链物流模式下温度波动幅度约  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。精准控温难，温度波动过大等仍是当前国内肉品加工企业面临的主要问题。



注：图 1 中虚框表示真空包装牛肉运输期间温度波动情况。

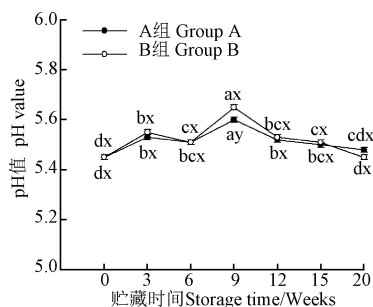
Note: The dashed boxes in Fig. 1 indicate the temperature fluctuation of vacuum packaged beef during transportation.

图 1 2 种冰温条件下真空包装牛肉温度记录情况

Fig.1 Logtag temperature profiles for vacuum packaged beef under two storage conditions

### 2.2 不同冰温条件对牛肉 pH 值的影响

pH 值可反映肉品的新鲜程度。如图 2 所示，贮藏条件和贮藏时间的交互作用对冰鲜牛肉的 pH 值影响显著（ $P<0.05$ ）。2 组冰鲜牛肉样品的初始 pH 值为 5.45，而后均随贮藏时间整体呈现先增加后降低的趋势。其中，贮藏第 9 周时 pH 值最高，分别为 5.60、5.65。贮藏期间（除第 9 周外），两组冰鲜牛肉样品的 pH 值差异均不显著（ $P>0.05$ ），且都符合正常 pH 值的范围<sup>[17]</sup>。Frank 等<sup>[16]</sup>也研究发现不同温度波动的冰温条件下对真空包装牛肉 pH 值影响不大，均可有效地维持其相对稳定。



注：a~d(下文 a~g)表示不同贮藏时间组间差异显著（ $P<0.05$ ）；x~y 表示不同处理组间差异显著（ $P<0.05$ ），下同。

Note: a-d (a-g below) means with different superscript uppercase letters within the same storage condition differ at  $P<0.05$ . x-y means with different superscript lowercase letters within the same storage week differ at  $P<0.05$ , the same below.

图 2 不同冰温条件对真空包装牛肉贮藏期间 pH 值的影响

Fig.2 Effects of super-chilled condition on pH value of vacuum-packaged beef cuts during storage

### 2.3 不同冰温条件对牛肉常规肉色指标的影响

由表 3 所示，贮藏条件和贮藏时间的交互作用及贮藏条件对  $L^*$  值， $a^*$  值和  $b^*$  值的影响均不显著（ $P>0.05$ ），但贮藏时间这一主效应对样品的常规肉色指标均具有显

著影响（ $P<0.05$ ）。各组冰鲜牛肉样品的  $L^*$  值均随贮藏时间的延长逐渐增加（ $P<0.05$ ），这可能是由于贮藏期间自由水含量增多引起折光率变化所导致的<sup>[18]</sup>。 $a^*$  值和  $b^*$  值也随贮藏时间整体呈现增加趋势。肉色是评价肉品好坏的重要依据，直接影响消费者的接受程度。其中，相较于  $L^*$  和  $b^*$  值， $a^*$  值是反映牛肉肉色最重要的指标，研究发现当  $a^*\geq 14.5$  时，消费者对肉色感到满意<sup>[19]</sup>。本研究中，贮藏期间，各组牛肉的  $a^*$  值（A 组：24.15~25.05，B 组：23.85~25.40）均始终高于这一消费者接受度阈值，维持相对稳定的鲜红肉色。与本研究结果一致，Frank 等<sup>[16]</sup>也发现不同冰温条件下的温度波动差异不会显著的影响真空包装牛肉的  $a^*$  和  $L^*$  值，均可维持牛肉良好的肉色，减缓肉色劣变。肉色与贮藏温度显著相关，有学者研究发现随贮藏温度（ $-1.5$ 、 $2$ 、 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）的提高，牛肉的  $a^*$  值逐渐降低<sup>[20]</sup>。与冷藏相比，冰温贮藏能够降低高铁肌红蛋白的形成速率，有效地维持肉色稳定性，延长肉色货架期<sup>[21]</sup>。

### 2.4 不同冰温条件对牛肉微生物数量的影响

微生物污染是导致牛肉货架期缩短及安全性降低的关键因素。如图 3 所示，贮藏条件和贮藏时间的交互作用对冰鲜牛肉的菌落总数和乳酸菌均具有显著影响（ $P<0.05$ ）。本研究中，2 组冰鲜牛肉的初始菌落总数为  $4.15\text{ lg CFU/cm}^2$ ，贮藏前 9 周，菌落总数均随贮藏时间的延长而显著增加（ $P<0.05$ ）。贮藏 9 周后趋于相对稳定（ $P>0.05$ ），其中 B 组样品的菌落总数达到  $7.09\text{ lg CFU/cm}^2$ ，超出  $7\text{ lg CFU/cm}^2$  的微生物限量阈值<sup>[22]</sup>，且在后期贮藏过程中，显著高于 A 组样品（ $P<0.05$ ）。但贮藏期间 A 组样品的菌落总数始终低于  $7\text{ lg CFU/cm}^2$ ，这表明标准冰温条件抑制微生物增殖的效果更佳。乳酸菌也呈现相似的增长趋势。初始乳酸菌落数为  $2.89\text{ lg CFU/cm}^2$ ，贮藏

前期, 2 组冰鲜牛肉样品的乳酸菌数量增加显著 ( $P<0.05$ ), 贮藏 9 周后趋于相对稳定。贮藏后期 (9~20 周), B 组冰鲜牛肉样品的乳酸菌数量显著高于 A 组样品 ( $P<0.05$ )。温度是影响微生物生长的重要因素<sup>[23]</sup>。

微生物菌落数的差异可能是贮藏期间温度波动的程度不同导致的。与本研究结果相似, 陈秦怡<sup>[24]</sup>、李建雄<sup>[25]</sup>和 Frank 等<sup>[16]</sup>学者也发现稳定的冰温条件可有效的减缓微生物的增殖速率, 更好的保持产品品质。

表 3 不同冰温条件对真空包装牛肉贮藏期间肉色指标的影响  
Table 3 Effects of super-chilled condition on color of vacuum-packaged beef cuts during storage

指标 Trait	贮藏时间 Storage time/Weeks	冰温条件 Storage condition		均值±标准误差 Means ± standard errors	P 值 P value		
		A	B		冰温条件 Storage condition	贮藏时间 Storage time	冰温条件×贮藏时间 Storage condition×Storage time
L*值 L* value	0	40.61±0.70	40.61±0.70	40.61±0.56 <sup>b</sup>	0.267 3	0.038 5	0.593 9
	3	40.39±0.70	40.34±0.70	40.37±0.56 <sup>b</sup>			
	6	42.06±0.70	40.72±0.70	41.39±0.56 <sup>ab</sup>			
	9	41.75±0.70	41.27±0.70	41.51±0.56 <sup>ab</sup>			
	12	41.08±0.70	41.36±0.70	41.22±0.56 <sup>ab</sup>			
	15	42.50±0.70	41.13±0.70	41.81±0.56 <sup>a</sup>			
	20	41.96±0.70	42.42±0.70	42.19±0.56 <sup>a</sup>			
均值±标准误差 Means ± standard errors		41.48±0.43 <sup>x</sup>	41.12±0.43 <sup>x</sup>				
a*值 a* value	0	24.15±0.44	24.15±0.44	24.15±0.33 <sup>b</sup>	0.613 9	0.028 4	0.916 6
	3	24.26±0.44	23.85±0.44	24.05±0.33 <sup>b</sup>			
	6	24.47±0.44	24.32±0.44	24.39±0.33 <sup>ab</sup>			
	9	24.52±0.44	23.86±0.44	24.19±0.33 <sup>b</sup>			
	12	24.67±0.44	24.64±0.44	24.66±0.33 <sup>ab</sup>			
	15	25.05±0.44	25.10±0.44	25.08±0.33 <sup>a</sup>			
	20	25.00±0.44	25.40±0.44	25.20±0.33 <sup>a</sup>			
均值±标准误差 Means ± standard errors		24.59±0.22 <sup>x</sup>	24.47±0.22 <sup>x</sup>				
b*值 b* value	0	15.72±0.43	15.72±0.43	15.72±0.33 <sup>b</sup>	0.173 3	0.013 7	0.702 7
	3	15.69±0.43	15.42±0.43	15.56±0.33 <sup>b</sup>			
	6	16.19±0.43	16.00±0.43	16.10±0.33 <sup>ab</sup>			
	9	16.01±0.43	15.04±0.43	15.53±0.33 <sup>b</sup>			
	12	16.17±0.43	16.27±0.43	16.22±0.33 <sup>ab</sup>			
	15	17.15±0.43	16.27±0.43	16.71±0.33 <sup>a</sup>			
	20	16.51±0.43	16.64±0.43	16.58±0.33 <sup>a</sup>			
均值±标准误差 Means ± standard errors		16.21±0.22 <sup>x</sup>	15.91±0.22 <sup>x</sup>				

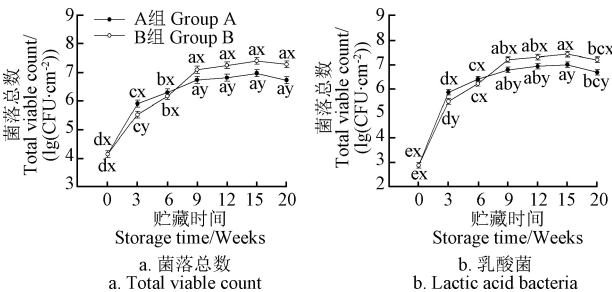


图 3 不同冰温条件对真空包装牛肉贮藏期间菌落总数和乳酸菌的影响  
Fig.3 Effects of super-chilled condition on total viable counts and lactic acid bacteria of vacuum-packaged beef cuts during storage

2.5 不同冰温条件对挥发性盐基氮和脂质氧化的影响

脂肪氧化可产生多种醛类物质, 加速高铁肌红蛋白的形成, 不利于肉色稳定性<sup>[26-27]</sup>。同时, 其产物积累过多也会导致鲜肉产生氧化异味, 影响消费者接受度。如表 4 所示, 贮藏条件和贮藏时间的交互作用对 TBARS 值影响不显著 ( $P>0.05$ ), 但贮藏条件和贮藏时间这两个主效应均显著影响牛肉的 TBARS 值 ( $P<0.05$ )。贮藏初期 (0~6 周), TBARS 值增加显著, 而后趋于相对稳定 ( $P>0.05$ )。且贮藏 6 周后, B 组样品的 TBARS 值略高于 A 组样品。温度是影响脂肪氧化的关键因素之一<sup>[28-29]</sup>, 本课题组近期的研究发现真空包装的牛肉在冷藏条件下 (2℃), 贮藏第 8 周时 TBARS 值就已接近 0.45 mg/kg<sup>[1]</sup>, 显著高于本研究中冰温条件下的 TBARS 值。冰温贮藏可

有效的减缓脂肪氧化速率<sup>[10]</sup>。本研究中, 贮藏期间尽管各组温度波动存在差异, 但均能抑制脂肪氧化程度, 维持较低的 TBARS 值 (0.19~0.39 mg/kg), 这说明冰温贮藏可有效的减缓脂肪氧化速率, 同时这也意味着脂肪氧化并不是真空冰鲜牛肉贮藏期间产品品质劣变的主要诱因<sup>[13]</sup>。

挥发性盐基氮是指由于微生物及酶的作用降解蛋白质产生的氨和胺类物质等碱性物质, 也是评价肉品新鲜度的重要指标<sup>[30]</sup>。如表 4 所示, 贮藏条件和贮藏时间的交互作用显著影响 TVB-N 值 ( $P<0.05$ )。2 组样品的初始 TVB-N 值为 11.94 mg/100 g。贮藏期间, 各组样品的 TVB-N 值均随贮藏时间逐渐增加 ( $P<0.05$ ), 且 B 组样品增加较快。A 组样品在贮藏第 12 周时达到 16.66 mg/100 g, B 组样品在贮藏第 9 周时就已达到 15.59 mg/100 g, 均已超出 GB 2707—2016 限量标准 (15 mg/100 g)。李建雄等<sup>[25]</sup>对比了不同贮藏温度对猪肉品质的影响, 同样发现与波动的冰温条件相比, 稳定的冰温条件可有效地抑制 TVB-N 值的增加。TVB-N 值与微生物菌落数存在正相关性<sup>[13]</sup>, 与以上菌落总数结果相符, 这种差异可能由于贮藏后期 B 组样品微生物菌落数较高所致。近期, 澳大利亚的学者研究发现, 真空包装的牛肉 (初始菌落总数 2.25 lg CFU/cm<sup>2</sup>) 在稳定的冰温条件下长期贮藏期间 (20 周) 其 TVB-N 值始终低于限量阈值<sup>[17]</sup>。因此, 降低初始微生物污染水平, 提高温度控制精度, 是有效地实现冰温保鲜效果的关键。

表 4 不同冰温条件对真空包装牛肉贮藏期间挥发性盐基氮和脂质氧化值的影响  
Table 4 Effects of super-chilled condition and storage time on TVBN and lipid oxidation of vacuum-packaged beef cuts during storage

指标 Trait	贮藏时间 Storage time /Weeks	贮藏条件 Storage condition		均值±标准误差 Means ± standard errors	P 值 P value		
		A	B		贮藏条件 Storage condition	贮藏时间 Storage time	贮藏条件×贮藏时间 Storage condition×storage time
硫代巴比妥酸 TBARS/ (mgMDA·kg <sup>-1</sup> )	0	0.19±0.03	0.19±0.03	0.19±0.02 <sup>c</sup>	0.022 1	<0.000 1	0.264 2
	3	0.29±0.03	0.27±0.03	0.28±0.02 <sup>b</sup>			
	6	0.29±0.03	0.39±0.03	0.34±0.02 <sup>a</sup>			
	9	0.34±0.03	0.36±0.03	0.35±0.02 <sup>a</sup>			
	12	0.34±0.03	0.37±0.03	0.36±0.02 <sup>a</sup>			
	15	0.33±0.03	0.35±0.03	0.34±0.02 <sup>a</sup>			
	20	0.31±0.03	0.35±0.03	0.33±0.02 <sup>a</sup>			
均值±标准误差 Means ± standard errors		0.30±0.02 <sup>y</sup>	0.33±0.02 <sup>x</sup>				
挥发性盐基氮 TVB-N/ (mg·100 g <sup>-1</sup> )	0	11.94±0.40 <sup>ex</sup>	11.94±0.40 <sup>ex</sup>	11.94±0.32	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
	3	12.53±0.40 <sup>ex</sup>	12.23±0.40 <sup>ex</sup>	12.38±0.32			
	6	13.56±0.40 <sup>dy</sup>	14.64±0.40 <sup>dx</sup>	14.10±0.32			
	9	14.79±0.40 <sup>ex</sup>	15.59±0.40 <sup>dx</sup>	15.19±0.32			
	12	16.66±0.40 <sup>by</sup>	18.35±0.40 <sup>ex</sup>	17.51±0.32			
	15	16.47±0.40 <sup>by</sup>	22.39±0.40 <sup>bx</sup>	19.43±0.32			
	20	20.11±0.40 <sup>ay</sup>	26.13±0.40 <sup>ax</sup>	23.12±0.32			
均值±标准误差 Means ± standard errors		15.15±0.25	17.32±0.25				

2.6 不同冰温条件对感官品质的影响 爱度等。不同处理组冰鲜牛肉贮藏期间感官品质的变化  
冰鲜牛肉的感官指标主要包括外观、气味和整体喜 如表 5 所示。

表 5 不同贮藏条件对牛肉感官品质的影响  
Table 5 Effects of super-chilled condition and storage time on sensory attributes of vacuum-packaged beef cuts during super-chilled storage up to 20 weeks

指标 Trait	贮藏时间 Storage time /weeks	贮藏条件 Storage condition		P 值 P value		
		A	B	贮藏条件 Storage condition	贮藏时间 Storage time	贮藏条件×贮藏时间 Storage condition×Storage time
打开包装前 Pre-open	外观新鲜度	0 88.67±0.54 <sup>ax</sup>	88.67±0.54 <sup>ax</sup>	0.001 4	<0.000 1	<0.000 1
		3 83.53±0.54 <sup>by</sup>	85.22±0.54 <sup>bx</sup>			
		6 82.70±0.54 <sup>by</sup>	84.21±0.54 <sup>bx</sup>			
		9 82.97±0.54 <sup>bx</sup>	80.62±0.54 <sup>cy</sup>			
		12 79.49±0.54 <sup>cx</sup>	79.74±0.54 <sup>cx</sup>			
		15 78.55±0.54 <sup>cx</sup>	76.42±0.54 <sup>dy</sup>			
		20 73.15±0.54 <sup>dx</sup>	67.89±0.54 <sup>cy</sup>			
打开包装后 Post-open	整体气味强度	0 5.35±0.96 <sup>dx</sup>	5.35±0.96 <sup>dx</sup>	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
		3 10.01±0.96 <sup>cx</sup>	10.02±0.96 <sup>cx</sup>			
		6 10.01±0.96 <sup>cx</sup>	12.33±0.96 <sup>bcx</sup>			
		9 10.77±0.96 <sup>bcy</sup>	13.80±0.96 <sup>bx</sup>			
		12 13.21±0.96 <sup>bx</sup>	13.53±0.96 <sup>bx</sup>			
		15 15.36±0.96 <sup>aby</sup>	24.36±0.96 <sup>ax</sup>			
		20 17.23±0.96 <sup>ay</sup>	23.30±0.96 <sup>ax</sup>			
	气味新鲜度	0 91.81±0.99 <sup>ax</sup>	91.81±0.99 <sup>ax</sup>	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
		3 85.63±0.99 <sup>bx</sup>	87.51±0.99 <sup>bx</sup>			
		6 87.47±0.99 <sup>bx</sup>	86.03±0.99 <sup>bx</sup>			
		9 84.98±0.99 <sup>bx</sup>	81.10±0.99 <sup>cy</sup>			
		12 81.60±0.99 <sup>cx</sup>	82.54±0.99 <sup>cx</sup>			
		15 80.85±0.99 <sup>cdx</sup>	73.60±0.99 <sup>dy</sup>			
		20 78.48±0.99 <sup>dx</sup>	68.84±0.99 <sup>cy</sup>			
发色后 Post-oxygenated	整体喜爱度	0 92.71±0.58 <sup>ax</sup>	92.71±0.58 <sup>ax</sup>	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
		3 86.68±0.58 <sup>bx</sup>	87.33±0.58 <sup>bx</sup>			
		6 86.76±0.58 <sup>bx</sup>	84.86±0.58 <sup>cy</sup>			
		9 84.54±0.58 <sup>cx</sup>	81.91±0.58 <sup>dy</sup>			
		12 78.54±0.58 <sup>dy</sup>	80.11±0.58 <sup>cx</sup>			
		15 78.81±0.58 <sup>dx</sup>	76.84±0.58 <sup>fy</sup>			
		20 74.20±0.58 <sup>ex</sup>	68.33±0.58 <sup>gy</sup>			
	气味新鲜度	0 92.88±1.03 <sup>ax</sup>	92.88±1.03 <sup>ax</sup>	0.050 4	<0.000 1	0.006 8
		3 86.54±1.03 <sup>bx</sup>	86.25±1.03 <sup>bx</sup>			
		6 87.12±1.03 <sup>bx</sup>	83.91±1.03 <sup>by</sup>			
		9 81.95±1.03 <sup>cx</sup>	80.91±1.03 <sup>cx</sup>			
		12 76.65±1.03 <sup>dx</sup>	79.12±1.03 <sup>cx</sup>			
		15 75.81±1.03 <sup>dx</sup>	75.82±1.03 <sup>dx</sup>			
		20 71.16±1.03 <sup>ex</sup>	65.59±1.03 <sup>gy</sup>			

贮藏条件和贮藏时间的交互作用对牛肉的各感官指标均具有显著影响 ( $P < 0.05$ )。各组样品的外观新鲜度(包装内)、气味新鲜度(打开包装后)、发色后的整体喜爱度和气味新鲜度的感官评分均随贮藏时间的延长逐渐降低 ( $P < 0.05$ )。就包装内新鲜度而言,贮藏后期(15~20 周),A 组样品的感官评分要显著优于 B 组样品 ( $P < 0.05$ ); 气味方面(打开包装后),贮藏前期(0~6 周)两组样品的整体气味强度和气味新鲜度差异不显著,贮藏后期(15~20 周)A 组样品的气味感官评分更优 ( $P < 0.05$ ); 整体喜爱度和气味新鲜度方面(发色后),贮藏后期,A 组样品的感官品质更佳。感官品质是判定肉品货架期的最直接方式<sup>[13]</sup>, 本研究中贮藏期间各组样品的感官评分均能保持较高水平(高于 60 分), 具有较长的感官货架期(20 周)。

### 3 结 论

本实验研究了 2 种冰温条件(标准冰温和商业冰温)下长期贮藏期间(20 周)牛肉的理化指标、微生物数量及感官品质等的变化, 得出以下结论:

1) 2 种冰温条件下, 长期贮藏期间(20 周)均能维持牛肉较低的 TBARS 值(0.19~0.39 mg/kg)、良好的肉色( $a^*$ 值 23.85~25.40)及感官品质。

2) 贮藏后期, 相较于商业冰温样品, 标准冰温样品的 TBARS 值更低, 感官品质更佳。贮藏第 9 周时, 商业冰温条件下样品的菌落总数和 TVB-N 值就已分别达到 7.09 lg CFU/cm<sup>2</sup> 和 15.59 mg/100g。而标准冰温条件下的样品在贮藏期间其菌落总数始终低于 7.00 lg CFU/cm<sup>2</sup>, 贮藏第 12 周时 TVB-N 值才超出限量阈值 ( $\leq 15$  mg/100 g), 达到 16.66 mg/100 g。

综上所述, 稳定的冰温条件更能够有效的抑制微生物的增殖, 减缓 TVB-N 值的增加。依据 TVB-N 的 GB 2707-2016 限量标准, 建议标准冰温、商业冰温冰鲜牛肉的货架期不超过 12 和 9 周。因此, 提高温度控制精度, 降低初始微生物数量是有效地实现冰温保鲜效果、延长牛肉的货架期的关键因素。

### [参 考 文 献]

- [1] Lu Xiao, Zhang Yimin, Zhu Lixian, et al. Effect of superchilled storage on shelf life and quality characteristics of *M. longissimus lumborum* from Chinese Yellow cattle[J]. Meat Science, 2019, 149: 79-84.
- [2] Bellés M, Alonso V, Roncalés P, et al. The combined effects of superchilling and packaging on the shelf life of lamb[J]. Meat Science, 2017, 133: 126-132.
- [3] Coombs C E O, Holman B W B, Friend M A, et al. Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review[J]. Meat Science, 2016, 125: 84-94.
- [4] Lagerstedt A, Lundström K, Enfält L, et al. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*[J]. Meat Science, 2008, 80(2): 457-461.
- [5] 陈雪, 罗欣, 朱立贤, 等. 牛羊肉冰温保鲜技术研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(7): 314-319.
- Chen Xue, Luo Xin, Zhu Lixian, et al. A Review of the Application of Superchilling on Beef and Mutton[J]. Food

- science. 2019, 40(7): 314-319. (in Chinese with English abstract)
- [6] Pomponio L, Bukh C, Ruiz-carrascal J. Proteolysis in pork loins during superchilling and regular chilling storage[J]. Meat Science, 2018, 141: 57-65.
- [7] Magnussen O M, Haugland A, Torstveit Hemmingsen, et al. Advances in superchilling of food: Process characteristics and product quality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(8): 418-424.
- [8] Youssef M K, Gill C O, Yang X. Storage life at 2 °C or -1.5 °C 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.
- [9] Kaur M, Shang H, Tamplin M, et al. Culture-dependent and culture-independent assessment of spoilage community growth on VP lamb meat from packaging to past end of shelf-life[J]. Food Microbiology, 2017, 68: 71-80.
- [10] Pomponio L, Ruiz-Carrascal J. Oxidative deterioration of pork during superchilling storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97: 5211-5215.
- [11] Hughes J M, Mcphail N G, Kearney G, et al. Beef longissimus eating quality increases up to 20 weeks of storage and is unrelated to meat colour at carcass grading[J]. Animal Production Science, 2015, 55(2): 174-179.
- [12] Small A H, Jenson I, Kiermeier A, et al. Vacuum-packed beef primals with extremely long shelf-life have unusual microbiological counts[J]. Journal of Food Protection, 2012, 75: 1524-1527.
- [13] Lan Y, Shang Y, Song Y, et al. Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures[J]. Meat Science, 2016, 117: 173-181.
- [14] 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.
- [15] Siu G M, Draper H H. A survey of the malonaldehyde content of retail meats and fish[J]. Journal of Food Science, 1978, 43: 1147-1149.
- [16] Frank D, Zhang Y M, Li Y T, et al. Shelf life extension of vacuum packaged chilled beef in the Chinese supply chain[J]. Meat Science, 2019, 153: 135-143.
- [17] Matarneh S K, England E M, Scheffler T L, et al. The Conversion of Muscle to Meat[M]// Toldrá, F. Lawrie's Meat Science. Cambridge: Woodhead publishing. 2017: 159-182.
- [18] Kim Y H B, Frandsen M, Rosenvold K. Effect of ageing prior to freezing on colour stability of ovine longissimus muscle[J]. Meat Science, 2011, 88: 332-337.
- [19] Holman B W, Rj V D V, Mao Y, et al. Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour[J]. Meat Science, 2017, 127: 57-62.
- [20] Jeremiah L E, Gibson L L. The influence of storage temperature and storage time on color stability, retail properties and case-life of retail-ready beef[J]. Food Research International, 2001, 34(7): 621-631.
- [21] Li Xin, Zhang Yan, Li Zheng, et al. The effect of temperature in the range of -0.8 to 4 °C on lamb meat color stability[J]. Meat Science, 2017, 134: 28-33.
- [22] ICMSF. International commission on microbiological specifications for foods[M]// Microorganisms in foods. Sampling for microbiological analysis: Principles and specific application. Toronto: University of Toronto Press. 1986, 2nd ed.
- [23] Mills J, Donnison A, Brightwell G. Factors affecting microbial spoilage and shelf-life of chilled vacuum-packed lamb transported to distant markets: A review[J]. Meat Science, 2014, 98(1): 71-80.
- [24] 陈秦怡, 万金庆, 王国强. 温度波动对冰温贮藏鸭肉品质

- 的影响[J]. 食品工业, 2008(3): 1—3.  
Chen Qinyi, Wan Jinqing, Wang guoqiang. Effect of Duck Quality Caused by Fluctuating Temperature under Freezing point Temperature Storage[J]. The Food Industry, 2008(3): 1—3. (in Chinese with English abstract)
- [25] 李建雄, 谢晶, 潘迎捷. 冰温对猪肉的新鲜度和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(9): 67—70.  
Li Jianxiong, Xie Jing, Pan Yingjie. Effect of superchilling on freshness and quality of pork[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(9): 67—70. (in Chinese with English abstract)
- [26] Faustman C, Sun Q, Mancini R, et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 86—94.
- [27] 张培培, 吴雪燕, 汪淼, 等. 肉制品中脂肪氧化与蛋白质氧化及相互影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(5): 143—148.
- [28] Wang Z, He Z, Gan X, Li H. Interrelationship among ferrous myoglobin, lipid and protein oxidations in rabbit meat during refrigerated and superchilled storage[J]. Meat Science, 2018, 146: 131—139.
- [29] Campo M M, Nute G R, Hughes S I, Enser, et al. Flavour perception of oxidation in beef[J]. Meat Science, 2006, 72(2): 303—311.
- [30] Qiao Lu, Tang Xiuying, Dong Jun. A feasibility quantification study of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content in duck meat for freshness evaluation[J]. Food Chemistry, 2017, 237: 1179—1185.

## Effects of super-chilled conditions on quality and shelf life of beef cuts during long term storage

Chen Xue<sup>1</sup>, Luo Xin<sup>1,2</sup>, Liang Rongrong<sup>1</sup>, Yang Xiaoyin<sup>1</sup>, Dong Pengcheng<sup>1</sup>, Zhu Lixian<sup>1</sup>,  
Mao Yanwei<sup>1</sup>, Han Mingshan<sup>3</sup>, Hao Jiangang<sup>4</sup>, Zhang Yimin<sup>1\*</sup>

(1. Lab of Beef Processing and Quality Control, College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; 2. Jiangsu Synergetic Innovation Center of Meat Production and Processing Quality and Safety Control, Nanjing 210000, China; 3. National Beef Cattle Industrial Technology System, Tongliao Station, Tongliao 028100, China; 4. National Beef Cattle Industrial Technology System, Wulagai Station, East Ujimqin 026321, China)

**Abstract:** Fresh beef is perishable product, which is an ideal substrate for the growth of spoilage microorganisms. Thus, it is essential to apply adequate preservation technologies to retard the bacterial spoilage and maintain beef quality and safety. Super-chilled storage with an intense microbial growth delay, less protein denaturation and structural damage, was considered as an advantageous technology for meat products. Currently, this technology has been successfully applied in the preservation of beef, extending the shelf life up to 20 to 30 weeks. Excellent temperature control is critical to enable a long shelf life; Subtle differences in super-chilled temperature might exert a significant effect on shelf life of meat products. The application of super-chilled storage in domestic meat industry is scarce, due to the restriction of technology and equipment in China. Temperature fluctuation is the major issue in domestic commercial super-chilled condition, which may affect the meat products quality during storage. However, little information is available looking at the effects of commercial super-chilled condition on beef quality during long term storage. Therefore, this study aimed to explore the effects of commercial super-chilled condition ( $-4\sim-4^{\circ}\text{C}$ ) on beef quality during long term storage, with the comparison of the ideal super-chilled condition under lab control ( $-2\sim-0^{\circ}\text{C}$ ). Physicochemical, microbial counts and sensory attributes of vacuum-packaged beef cuts stored under two conditions were analyzed during 20 weeks. The results showed that the  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values increased gradually over the entire storage time for both ideal and commercial super-chilled samples. Moreover, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) values of both samples exhibited slight changes over time, and were in the range of 0.19–0.35 mg/kg. Noteworthy, the different growth rates for total viable counts (TVC) and lactic acid bacteria (LAB) counts were found in different storage treatments. The TVC counts of the samples stored at commercial super-chilled condition grew more rapidly as compared to that in samples under ideal super-chilled condition, reaching  $7.09\lg\text{CFU}/\text{cm}^2$  after 9 weeks. Whereas, the samples under ideal super-chilled condition were below the spoilage thresholds ( $7\lg\text{CFU}/\text{cm}^2$ ) during the entire storage period. For sensory evaluation, samples under ideal super-chilled condition showed better sensory attributes than those in commercial super-chilled condition at the 20th weeks of storage. One noticeable point in the present study was that samples from both storage treatments maintained high consumer acceptance (scores higher than 60) after 20 weeks storage, and exhibited longer shelf-life in term of sensory attributes. In addition, the TVB-N values of samples under commercial super-chilled condition exceeded the threshold ( $\leq 15\text{ mg}/100\text{ g}$ ) at 9 weeks, reaching  $15.59\text{ mg}/100\text{ g}$ . Compared to commercial super-chilled condition, ideal super-chilled condition exerted a better preservative effect for beef cuts, the TVB-N values reached  $16.66\text{ mg}/100\text{ g}$  at 12 weeks. The present results here indicated that the acceptable shelf life of super-chilled beef cuts under ideal super-chilled and commercial super-chilled conditions were less than 12 weeks and 9 weeks, respectively, according to the Chinese National Food Safety Standard GB 2707—2016. Differences in temperature fluctuations during super-chilled storage and large temperature fluctuations during transportation had significant influences on beef quality and shelf life.

**Keywords:** meat; storage; quality control; shelf-life