

不同低温贮藏方式对牛羊肉品质的影响研究进展

贾荣杰¹, 王芊彤¹, 李继强¹, 郝剑刚², 韩永胜³, 刘昀阁^{1,*}, 张一敏^{1,*}

(1.山东农业大学食品科学与工程学院, 山东 泰安 271018; 2.国家肉牛牦牛产业技术体系乌拉盖试验站, 内蒙古 锡林郭勒 026321; 3.黑龙江省农业科学院畜牧兽医分院, 黑龙江 齐齐哈尔 161000)

摘 要: 低温贮藏是目前最常用的肉品保鲜方式, 其贮藏温度对肉品品质影响较大。因此, 本文就常用的冷藏、冰温、微冻和冷冻等贮藏方式, 对牛羊肉肉品保鲜效果进行论述。重点比较不同贮藏温度对牛羊肉肉色、保水性、嫩度、脂质氧化和微生物及货架期产生的差异, 并探讨相关影响机制, 以期对不同贮藏温度在肉类行业中的实际应用提供理论指导。

关键词: 贮藏温度; 肉品品质; 牛肉; 羊肉; 保鲜; 货架期

Research Progress on the Effects of Different Low-Temperature Storage Methods on the Quality of Beef and Mutton: A Review

JIA Rongjie¹, WANG Qiantong¹, LI Jiqiang¹, HAO Jiangang², HAN Yongsheng³, LIU Yunge^{1,*}, ZHANG Yimin^{1,*}

(1.College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;
2.Wulagai Station of the Modern Agricultural Industry Technology System (Beef), Xilingol 026321, China;
3.Animal Husbandry and Veterinary Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161000, China)

Abstract: Low-temperature storage is currently the most widespread method for meat preservation, during which the temperature has a great impact on meat quality. Therefore, the effect of common low-temperature storage methods, including chilled, super-chilled, controlled freezing-point, and frozen, on meat quality preservation is discussed herein. The focus is on the differences in the color, water-holding capacity, tenderness, lipid oxidation, microbial growth and shelf life caused by different storage temperatures and the underlying mechanism. We anticipate that this review will theoretically guide the practical application of different low-temperature storage methods in the meat industry.

Keywords: storage temperature; meat quality; beef; mutton; preservation; shelf life

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20230616-058

中图分类号: TS251.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2023) 08-0035-06

引文格式:

贾荣杰, 王芊彤, 李继强, 等. 不同低温贮藏方式对牛羊肉品质的影响研究进展[J]. 肉类研究, 2023, 37(8): 35-40.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20230616-058. <http://www.rlyj.net.cn>

JIA Rongjie, WANG Qiantong, LI Jiqiang, et al. Research progress on the effects of different low-temperature storage methods on the quality of beef and mutton: a review[J]. Meat Research, 2023, 37(8): 35-40. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20230616-058. <http://www.rlyj.net.cn>

肉类营养丰富, 能够满足蛋白质需求, 并且富含亚油酸、VB₆、VB₁₂、磷、钾、铁和锌等营养物质, 风味优

良, 深受人们的喜爱。目前, 我国牛羊肉类生产和消费也呈现稳步增长的趋势, 牛肉、羊肉产量分别从2010年

收稿日期: 2023-06-16

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-37); 山东省优秀青年基金项目 (ZR2022YQ27)

2023年山东省农业重大技术协同推广计划项目 (SDNYXTTG-2023-26)

第一作者简介: 贾荣杰 (2001—) (ORCID: 0009-0007-2277-5877), 女, 本科生, 研究方向为食品科学。

E-mail: 2993962707@qq.com

*通信作者简介: 刘昀阁 (1992—) (ORCID: 0000-0001-5955-3660), 女, 讲师, 博士, 研究方向为肉品科学。

E-mail: liuyunge@meatsci.com

张一敏 (1985—) (ORCID: 0000-0001-5240-7126), 女, 教授, 博士, 研究方向为肉品科学。

E-mail: ymzhang@sdaa.edu.cn

的629.07、406.02万t增长到2022年的718.26、524.53万t。随着经济发展和生活质量的提高,消费者对肉类品质的要求也越来越高,不仅需要满足数量、安全和营养健康的基本需求,还要满足肉色、保水性、嫩度等高品质要求。低温贮藏是肉制品最常用的贮藏方式,能够极大程度地保存肉制品的原有品质,延长保存期限。常用的低温贮藏方式分为冷藏($0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[1-2]、冰温($-0.5\sim -2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[3]、微冻($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$)和冷冻($-12\sim -18\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[3-4]等。已有一些研究发现,不同的贮藏温度对肉类的贮藏期、品质等会有显著影响^[3,5]。然而,不同低温贮藏方式下的温度对牛羊肉类肉色、保水性、嫩度、脂质氧化和微生物及货架期的影响差异还缺少系统总结。本文旨在系统阐述不同的低温贮藏方式(冷藏、冰温、微冻和冷冻)对肉类品质的影响及机制,对肉类产业中低温贮藏技术的合理应用具有十分重要的意义。

1 不同低温贮藏方式的特点

传统的肉类保鲜中,冷藏($0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$)和冷冻($-12\sim -18\text{ }^{\circ}\text{C}$)是最常用的贮藏形式。随着科技的进步,低温贮藏所使用的温度被更加精细化,出现了冰温($-0.5\sim -2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$)、微冻($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$)等温度区间,目前对于这方面的研究受到了广泛关注。不同贮藏温度都有其各自的特点。

$0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冷藏能够在短期内能够抑制微生物活动和酶活性且对肉的组织结构破坏最小,能够最大限度地保存肉的品质^[6]。冷藏过程中肉伴随着成熟过程,其食用品质会得到一定程度的改善,但冷藏条件对酶的活性和微生物的生长繁殖抑制能力较弱,导致贮藏时间较短。冰温贮藏是指 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下、冰点以上的温度条件下贮藏。在该温度调节下,肉类在不发生冻结的同时,酶的活性和微生物的生长代谢能够受到抑制。但是,冰温贮藏的温度区间狭窄,其细微差异就会对保质期产生显著影响,对控温精确性要求较高,因此实际应用中温度的波动会影响冰温贮藏的效果,这极大地制约了冰温贮藏技术的发展。

微冻是指在低于冰点 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行贮藏,使肉中的部分水分被冻结,在表面形成一个冰层,使肉的内部形成冰库,在肉的贮藏和运输过程中能够更好地提供低温环境,并能节约运输过程中的能源成本。微冻贮藏能有效抑制酶的活性和微生物的生长代谢,保持肌肉组织的完整性并保持原有的品质。但是,彭涛等^[7]研究发现,当温度波动超过 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,已冻结的肉会产生冻融循环,使得冰晶进一步生长,破坏肉类组织结构,促进部分不易流动水转化为自由水,降低肉的保水性,加速贮藏后期蛋白质变性,加快肉的腐败进程。冷冻贮藏是指

在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以下的条件下进行贮藏,此时肉组织中大部分水被冻结,各类腐败进程被抑制,因此冷冻被广泛应用于肉类的长期贮藏。但冷冻速率的快慢会影响冰晶的形成,进而破坏肌肉组织,造成解冻后肉的汁液损失和蒸煮损失,并且使肉色稳定性下降^[8-10]。

2 不同低温贮藏方式对牛羊肉品质的影响

2.1 不同低温贮藏方式对牛羊肉颜色的影响

肉色可以直接反映肉品的新鲜度和品质,是影响消费者对肉品品质评价的重要因素,决定了消费者的购买意愿。肉色主要取决于肌肉中的肌红蛋白的含量和氧化还原状态(还原态肌红蛋白、氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白)。当肌肉中高铁肌红蛋白比例达30%时肉呈现稍暗的颜色,使消费者对肉品的可接受度下降。贮藏温度与肉色之间显著相关,其影响肉色的稳定性和肌红蛋白的氧化速率^[10]。

与新鲜羊肉相比,经过3周的冷藏($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)并在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和光源照射下零售展示了3~14 d的羊肉,其肉色可接受性下降明显^[11]。冷藏条件下造成肉色劣变的主要原因是 $0\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的贮藏温度不能有效抑制内源酶的活性和微生物繁殖,引起脂肪氧化,进而导致肉的褐变。同时,脂肪氧化和肌红蛋白的氧化之间又具有相互促进作用^[12],脂肪氧化产生的自由基会夺取肌红蛋白中血红素铁离子的电子,进而促进肌红蛋白的氧化。与冷藏相比,冰温贮藏可以维持较高的红度值(a^*),即保持较好的肉色稳定性。Jeremiah等^[13]发现,在冰温($-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)条件下贮藏24周牛肉的 a^* 大于15,但冷藏($2、5\text{ }^{\circ}\text{C}$)条件下样品已明显低于 a^* 的接受阈值(14.5)^[14],随贮藏温度($-1.5、2.0、5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$)的升高,牛肉 a^* 逐渐降低。辜雪冬等^[15]将牦牛肉分别置于冰温($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$)和冷藏($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)条件下贮藏,发现2种贮藏温度下牦牛肉 a^* 均呈现先增加后降低的变化趋势,但最终冰温条件下 a^* 降低程度更少。牛羊肉中 a^* 的变化与其所含肌红蛋白种类和含量以及高铁肌红蛋白还原酶活性密切相关。Li Xin等^[3]将羔羊肉分别置于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与 $-0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中保鲜,发现贮藏10 d后,冰温处理的样品中氧合肌红蛋白相对含量较高,而高铁肌红蛋白含量较低,并且发现冰温处理组高铁肌红蛋白还原酶活性高于冷藏组,羔羊肉经冰温处理可保存10 d,同时肉色稳定性优于冷藏组。此外,夏秀芳等^[16]研究发现,冰温条件更有利于保持高铁肌红蛋白还原酶活力,维持烟酰胺腺嘌呤二核苷酸的含量,使肌肉在贮藏过程中维持较好的肉色。因此,冰温条件贮藏可以明显降低高铁肌红蛋白的形成速率,起到护色效果,保持肉色稳定性。

相比于冷藏和冰温贮藏,微冻和冷冻的贮藏温度在冰点以下,能够更好维持肉色稳定性。Lu Xiao等^[17]发现,

与冷藏的样品相比,微冻贮藏牛肉的亮度值(L^*)和 a^* 的变化速率较慢,并且在24周的贮藏期中, a^* 一直在可接受的阈值内(大于14.5)。许立兴等^[18]研究发现,在贮藏期中微冻条件下羊肉的 a^* 也始终优于冰温条件。周星辰^[1]研究发现,不同条件(冰温、微冻、冷冻)的牛肉贮藏12 d时,冰温和微冻组牛肉的高铁肌红蛋白相对含量均小于40%,而冷冻组牛肉高铁肌红蛋白相对含量小于30%并可在较低水平进行缓慢增长,对减缓高铁肌红蛋白含量的效果优于其他3组。与微冻贮藏相比,冷冻贮藏能够显著保持肉色稳定性和延长货架期,但长期冷冻贮藏会使肉色变暗。Cho等^[19]研究发现,随着冷冻($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$)贮藏时间(0、3、6、9月)的延长,牛里脊肉的 L^* 降低。Holman等^[20]研究发现, $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冷冻的牛背最长肌 a^* 在52周的贮藏期内逐渐降低。这是因为随着冷冻贮藏时间的延长,冰晶破坏了细胞的完整性以及高铁肌红蛋白还原酶系统,促进肌红蛋白氧化为高铁肌红蛋白,使肉品中的高铁肌红蛋白含量不断增加,导致肉色劣变。表1系统总结了不同低温贮藏方式对牛羊肉肉色的影响。

表1 不同低温贮藏方式对牛羊肉肉色的影响

Table 1 Effects of different low-temperature storage methods on the meat color of beef and mutton

样品	贮藏方式	贮藏温度/ $^{\circ}\text{C}$	贮藏期	研究发现	参考文献
牛肉	冰温	-1.9	28 d	冰温能够有效减缓肉色变化	[21]
牛肉	微冻	-4	24 周	微冻能够抑制肉色的劣变	[17]
牛肉	冷冻	-18	52 周	随着贮藏时间延长,肉色稳定性下降	[20]
羊肉	冰温	-1	28 d	真空贴体包装28 d冰温组 L^* 低于冷藏组,冰温组 a^* 高于冷藏组	[22]
羊肉	微冻	-3	20 d	微冻利于肉色的保持	[18]
羊肉	冷冻	-20	8 d	冷冻会影响发色能力和肉色稳定性	[23]

2.2 不同低温贮藏方式对牛羊肉保水性的影响

肉的保水性又称系水力或持水力,指受到外界影响时肉品可以保持自身水分和外加水分的能力,是衡量肉品品质的重要指标。对于冷藏条件下的肉品来说,pH值、肌原纤维蛋白降解速率以及氧化程度是影响肌肉保水性的重要因素;而冻藏过程中,影响肉品保水性的因素主要是冰晶的生长和蛋白质冷冻变性。

不同的低温贮藏方式对牛羊肉的保水性具有显著影响。Choe等^[24]研究发现,冷藏条件贮藏的羊肉($3\text{ }^{\circ}\text{C}$)的汁液损失明显高于冰温($-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)条件。许立兴等^[18]比较微冻($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$)和冰温($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$)的羊肉在贮藏过程中的汁液流失率指标,发现微冻贮藏条件下汁液损失率是冰温贮藏下的4~5倍。冰温贮藏的肉类具有较好的保水性,因为该温度条件能抑制大部分微生物和内源酶的活性,降低肌原纤维蛋白的降解程度,使肌肉保持较高的完整性。卢晓等^[2]研究指出,在冷藏($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)、微冻($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$)和冷冻($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$)3种贮藏方式下,微冻

组牛肉的汁液损失率显著高于冷藏组和冷冻组,其蒸煮损失的增加速率也高于冷藏组和冷冻组。其原因可能是冻藏温度影响肉品的总巯基含量和羰基含量。随着冻藏温度的升高,蛋白质表面疏水性增加,结合水的能力降低,肌原纤维蛋白降解程度增大,持水力下降,进而降低肉品的保水性。Leygonie等^[25]研究发现,冷冻-解冻肉的汁液损失和蒸煮损失高于新鲜肉。Shanks等^[26]提出了产生这些结果的机制,即冰晶对细胞膜的破坏和肌原纤维蛋白的降解促进了贮藏和蒸煮损失的增加。在冻结过程中,无论是微冻贮藏还是冷冻贮藏,肌肉中的水分都会形成冰晶,破坏细胞膜的完整性,进而破坏肌纤维结构的完整性,使得肌原纤维网络中不易流动水向自由水转化,为水分流失提供便利条件。但是,冷冻速率也会肉品的保水性产生一定的影响,缓慢冷冻时会在细胞外形成数量少但是体积较大的冰晶,对细胞结构产生不可逆转的破坏,而快速冷冻会在整个组织中形成大量分布均匀的小冰晶^[8],可以有效减少解冻时汁液的损失,从而使肉品具有较好的保水性。

2.3 不同低温贮藏方式对牛羊肉微生物生长的影响

牛羊肉含水量较高,有适宜的pH值(pH 5.5~5.6)以及丰富的营养物质,十分有利于微生物的生长繁殖。研究^[27-29]表明,细菌的种类和数量与肉类的腐败密切相关。肉中腐败微生物的生长繁殖明显受到贮藏温度的影响,低温贮藏能够抑制有害细菌的生长繁殖,延长肉的保存期限。

冷藏条件不能有效抑制微生物的活性,会引起腐败微生物的快速增殖。假单胞菌是典型的嗜冷菌和好氧微生物,在冷藏条件下能够生长繁殖,分解脂肪和氨基酸等营养物质,产生具有特殊气味的硫化物、醛、酮酸等代谢产物,致使肉类腐败变质^[30]。Lu Xiao等^[17]研究发现,冷藏的牛肉样品在贮藏8周菌落总数就达到 $6.6(\lg(\text{CFU/g}))$,已经达到腐败阈值($6(\lg(\text{CFU/g}))$)。相比于冷藏,冰温能够较好地抑制有害细菌的生长和繁殖。Tian Tian等^[14]研究表明,牛肉在不同温度下贮藏至7 d时,冷藏样品($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)的菌落总数远远超过鲜肉可耐受上限 $6(\lg(\text{CFU/g}))$;冰温样品($-2\text{ }^{\circ}\text{C}$)的菌落总数低于 $5(\lg(\text{CFU/g}))$ 。微冻和冷冻是在低于冰点的条件下贮藏,能够更好地抑制微生物的生长,且贮藏温度越低越有利于延长肉品的保质期。Liang Ce等^[31]研究比较冷藏($4\text{ }^{\circ}\text{C}$)、冰温($-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)、微冻($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$)以及亚冻结($-9\text{ }^{\circ}\text{C}$)对羊肉中菌落总数的影响,结果发现,假单胞菌在冷藏和冰温贮藏中是优势腐败菌,而且在贮藏后期微生物群落比较单一,假单胞菌占有绝对优势,但是降低贮藏温度(低于 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$)能够抑制假单胞菌的生长,而且 $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的样品优势腐败菌(罗尔斯通氏菌)的生长较缓慢,

菌群结构相对稳定。张晓颀^[32]研究发现,微冻能很大程度延长肉品的货架期,在冰温样品达到微生物限值时,微冻组仍然保持较好的微生物水平。冷冻会显著抑制微生物的增殖,冻结肉品中的细菌总数明显下降,菌群结构也明显不同于其他贮藏温度,在-30℃下冻结后,细菌总数能减少3~4 (lg (CFU/g))。Bellés等^[22]研究发现,长期冻藏的肉细菌总数会明显减少,推测是由于冷冻过程中冰晶的形成以及溶质浓度升高对细菌造成损害。相比之下,Leygonie等^[25]认为,冷冻和解冻都不会减少活菌数量,微生物仅在冷冻贮藏期间处于休眠状态,在解冻后细菌活性恢复,并加速增殖,这主要是由于解冻后水分活度上升,同时由于冰晶对肌肉结构的破坏,造成了易于微生物生长繁殖的环境,加速肉品腐败进程。但是,解冻初期的温度、营养物质、水分等外界环境不能很快达到微生物的生长要求,在该迟滞期内微生物并不立即生长,短期内肉品不会腐败变质。因此,冷冻肉解冻后应立即加工处理。总之,冷冻能够长时间使微生物保持在较低水平,但也受到冷冻速率和冰晶大小以及解冻后加工处理时间的影响。表2总结了不同低温贮藏方式下对牛羊肉菌落总数的差异。

表2 不同低温贮藏方式下牛羊肉的菌落总数
Table 2 Effects of different low-temperature storage methods on the total aerobic count of beef and mutton

样品	贮藏方式	贮藏温度/℃	贮藏期	菌落数 (lg (CFU/g))	参考文献
牛肉	冷藏	4	8周	6.6	[17]
	冰温	-4	24周	远未达腐败阈值	
牛肉	冰温	-1.5	30d	6.08	[33]
	冷藏	2	25d	6.01	
牛肉	冰温	-1.5	18周	7.32	[29]
羊肉	微冻	-4	30d	5.77	[32]
	冰温	-2	24d	5.94	
羊肉	冷藏	4	27d	5.69	[34]
	冷藏	10	6d	6.18	
	冰温	冰温	39d	6.45	
	冷藏	4	14d	7~8	
羊肉	冰温	-1.5	28d	7~8	[31]
	微冻	-4	70d	<5	
羊肉	冰温	-1	10d	>6	[18]

2.4 不同低温贮藏方式对牛羊肉嫩度的影响

肉的嫩度是指肉在食用时咀嚼的难易程度,是衡量肉品质的重要指标。在感官评定中,通过牙齿插入肉的难易程度、将肉嚼烂的难易程度及咀嚼后所剩残渣的数量来衡量肉的嫩度水平。而通过仪器测量时,通常是由剪切力这一数值进行表示,肉样剪切力的大小与嫩度呈负相关,剪切力越大,肉样嫩度越小^[35]。

肉的嫩度是一个受组织结构和代谢等多种因素影响的复杂属性,主要受到结缔组织数量、极限pH值、僵

直时肌肉收缩,以及钙激活酶系统、骨架蛋白和小热休克蛋白活性的影响^[28]。不同的贮藏温度通过影响以上各种生化反应和酶的活性来调节肉的嫩化。Choe等^[24]探究不同贮藏温度(-1.5、3.0、7.0℃)对肉嫩度的影响,发现随着温度的升高,肉的剪切力逐渐降低,这表明低温能延缓肌肉的成熟进程。此外,也可以发现冷藏条件下肌钙蛋白-T和肌间线蛋白的降解程度大,但是冷藏条件下钙激活酶的活性呈现显著的下降趋势,推测是由于μ-钙蛋白酶被激活后自溶导致的。尽管冷藏对嫩度有正面影响,但也有研究表明,延长冷藏时间对嫩度没有进一步的改善,因此建议羊肉在1~4℃贮藏7~10d^[36]。李培迪等^[37]研究发现,冰温组μ-钙蛋白酶的激活及失活均慢于冷藏组,冰温处理显著延长μ-钙蛋白酶存活时间,减缓肌肉成熟。这与低温能够抑制细菌酶和内源酶活性,减缓结缔组织和肌肉纤维分解有关。此外,Lu Xiao等^[38]研究表明,微冻和冷冻的样品剪切力的下降速度显著低于冷藏样品,微冻样品到24周才达到冷藏8周相似的剪切力。这是因为当肉被冷冻时,低温抑制了内源酶的活性,使得蛋白质的水解程度降低。但是冷冻-解冻后,细胞结构遭到破坏,钙蛋白酶的活性重新激活,导致蛋白质的水解加快,嫩化速度加快。Lagersted等^[39]比较牛肉在冷藏(4℃)和冷冻(-20℃)条件下贮藏2、7、14d剪切力的变化,发现冷冻-解冻的样品剪切力低于冷藏样品。在冷冻过程中,细胞内冰晶的形成破坏了肌原纤维并释放了蛋白酶,加速了蛋白质的水解,导致冷冻-解冻样品的峰值力下降。但是,感官测试发现冷藏样品嫩度明显优于冷冻-解冻样品。别雪等^[40]研究表明,不同贮藏温度、相同贮藏时间(48h),冷冻组(-20℃)羊肉的嫩度相比于冷藏组(4℃)羊肉的嫩度明显变差。同时发现,随着冷冻时间延长,羊肉嫩度也有所下降。冷冻-解冻后肉品嫩度减小,这与冷冻过程中冰晶含量增加密切相关。解冻后水分大量损失,使其肌肉收缩,肉的嫩度减小。冷冻时间也会影响肉的嫩度,随着冷冻时间的延长,蛋白质发生变性后又被降解,肌纤维破坏,肌肉的完整性受到影响,促进肉品发生氧化甚至冻结,使肉的硬度增加。因此,冷冻对嫩度的作用受到冷冻前成熟时间、冻结期间冰晶的大小和位置以及冷冻贮藏时间3个因素的影响。

2.5 不同低温贮藏方式对牛羊肉脂肪氧化的影响

肉中含有约75%水、19%蛋白质、2.5%脂肪、1.2%碳水化合物和1.65%含氮化合物,以及少量矿物质和微量元素。这种化学组成使得肉成为复杂的基质,适宜温度下极易发生氧化反应。适度的脂质氧化能改善肉制品的风味,但是过度的氧化会生成醛、酮等物质,产生酸败味等不良气味,同时促进蛋白质氧化,对肉色和持水力产生不利影响。

张晓颀^[32]研究中,冷藏和冰温的羊肉贮藏前期硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substances, TBARs)值增长缓慢,但是后期增长迅速,冷藏约8 d、冰温贮藏约24 d以及微冻贮藏约20 d有相似TBARs值。冷藏条件对各种化学反应和酶的活性抑制作用较差,脂肪和蛋白质的氧化仍在继续,脂肪很容易分解成小分子醛类和酮类^[41]。所以与冷藏相比,冰温能明显减缓脂肪氧化速率^[42]。不同的贮藏条件对牛羊肉的脂肪氧化有较大影响,冻藏可以更有效地延缓脂肪氧化。Lu Xiao等^[17]研究发现,随着贮藏时间的延长,冷藏、微冻和冷冻的牛肉TBARs值都呈现增长趋势,肉在冷藏时的氧化速率最快,微冻次之,冷冻最慢;贮藏后期,与冷冻牛肉相比,微冻牛肉脂肪氧化速率变快。这是因为微冻贮藏只能冻结肉中的自由水和部分不易流动水,还有大量水分促进氧化反应的发生。肉品在冷冻贮藏时,其冷冻温度和速率以及冰晶的大小和数量也会影响脂肪的氧化情况。Benjakul等^[43]研究表明,肌肉组织的冻结和解冻导致脂质氧化产物积累,主要与冰晶对细胞膜的损伤和随后释放的血红素等脂质促氧化剂有关。此外,长时间冷冻条件下,水的冻结使得细胞内外的溶质浓度增加,肉也会缓慢地被氧化。因此,冷冻贮藏期间要避免温度的波动,防止冰晶形成-融化-再形成对细胞膜造成严重破坏,从而抑制脂质氧化。表3对比了不同低温贮藏方式下牛羊肉的脂质氧化水平。

表3 不同低温贮藏方式下牛羊肉的脂质氧化水平
Table 3 Effects of different low-temperature storage methods on the lipid oxidation of beef and mutton

样品	贮藏方式	贮藏温度/℃	贮藏期	TBARs值/(mg MDA/kg)	参考文献
牛肉	冷藏	4	8周	>0.44	[17]
	冰温	-4	24周	>0.53	
	冷冻	-18	24周	>0.23	
牛肉	冷藏	4	15 d	0.62	[42]
	冰温	-1.5	15 d	0.52	
	冰温	-2~0	20周	0.19~0.39	[28]
	冰温	-0.5	30周	贮藏24周后风味仍可接受	[44]
	微冻	-4	24周	0.10~0.21	[45]
羊肉	冷藏	4	8 d	0.58	[32]
	冰温	-2	24 d	0.56	
	微冻	-4	30 d	0.58	
羊肉	冷冻	-18	12月	<0.2	[46]

3 结 语

低温贮藏作为目前肉类保存最便捷、常用的方式,其不同的贮藏温度对肉品品质有重要影响。本研究讨论了冷藏、冰温、微冻、冷冻等低温贮藏方式的特点,系统总结分析了不同低温贮藏方式对牛羊肉肉色、保水性、微生物、嫩度和脂肪氧化等的影响。冷藏能够在短

期内保持肉的良好品质,但由于温度过高不能有效抑制微生物和内源酶作用,一定程度上会加剧脂肪氧化,促进肉的褐变。冰温贮藏能有效抑制微生物的生长,延长货架期,较大程度保持细胞组织的完整性,减缓肉的劣变速率。微冻和冷冻都可以显著抑制微生物的生长和酶的作用,适用于肉的长期贮藏,但在解冻时会造成大量蛋白、多肽、氨基酸和各种无机盐类等营养物质的流失,同时肌肉中形成的冰晶对肌肉细胞造成机械损伤,容易造成肉品品质劣变,现在多通过快速冷冻来减缓冰晶形成造成的负面影响。

不同的低温贮藏温度各有利弊,对肉品行业来说,要根据不同的贮藏要求和目标选择合适的贮藏温度。无论采用何种贮藏温度,都要避免贮藏期间温度的波动,精准控温技术仍是目前亟待解决的问题。只有提高贮藏期间的温度控制水平,才能最大限度地发挥各温度条件的效果。肉品的低温贮藏与气调包装、真空贴体包装、超高压等新技术相结合进一步提高肉品保鲜的效果将是未来研究的热点,具有广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 周星辰. 不同低温贮藏方式对生鲜肉品质与加工特性的影响研究[D]. 成都: 成都大学, 2022: 1-20.
- [2] 卢晓, 董鹏程, 张一敏, 等. 微冻贮藏对牛肉保水性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(7): 253-259. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200330-430.
- [3] 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.07.010.
- [4] 秦乐蓉. 微冻贮藏过程中小龙虾品质变化规律及机制研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2022: 1-3.
- [5] KLUTH I K, TEUTEBERG V, PLOETZ M, et al. Effects of freezing temperatures and storage times on the quality and safety of raw turkey meat and sausage products[J]. Poultry Science, 2021, 100(10): 101305. DOI:10.1016/j.psj.2021.10.
- [6] ZHOU Kai, ZHOU Gan, XIE Yong, et al. Effects of different temperatures on the quality characteristics of prepared chicken steak during low-temperature storage[J]. 食品科学, 2021, 42(17): 210-217. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200709-139.
- [7] 彭涛, 邓洁红, 谭兴和, 等. 微冻贮藏对猪肉品质的影响研究[J]. 制冷学报, 2012, 33(3): 74-78.
- [8] 王芳芳, 张一敏, 罗欣, 等. 冷冻解冻对生鲜肉品质的影响及其新技术研究进展[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 295-302. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190515-164.
- [9] 吴兴阁, 曾茂茂, 何志勇, 等. 冻融对肌原纤维蛋白溶出猪肉糜体系蛋白质变性及其品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(19): 101-110. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.026709.
- [10] 王甜甜, 朱逸宸, 谢勇, 等. 肌红蛋白在加工贮藏过程中结构与功能特性的变化及其对肉制品色泽的影响研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(3): 393-399. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220127-280.
- [11] CALLEJAS-CÁRDENAS A R, CARO I, BLANCO C, et al. Effect of vacuum ageing on quality changes of lamb steaks from early fattening lambs during aerobic display[J]. Meat Science, 2014, 98(4): 646-651. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.06.036.

- [12] 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, 2020, 41(21): 238-247. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190916-201.
- [13] 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(9): 815-826. DOI:10.1016/S0963-9969(01)00104-1.
- [14] TIAN Tian, KANG Yu, LIU Lijia, et al. The effect of super-chilled preservation on shelf life and quality of beef during storage[J]. Food Science and Technology, 2022, 42(2): 73222. DOI:10.1590/fst.73222.
- [15] 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. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2019.16.038.
- [16] 夏秀芳, 李芳菲, 王博, 等. 冰温保鲜对牛肉肌原纤维蛋白结构和功能特性的影响[J]. 中国食品学报, 2015, 15(9): 54-60. DOI:10.16429/j.1009-7848.2015.09.008.
- [17] 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.11.014.
- [18] 许立兴, 薛晓东, 仵轩轩, 等. 微冻及冰温结合气调包装对羊肉的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 232-238. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201703038.
- [19] CHO S, SUN M K, SEONG P, et al. Effect of aging and freezing conditions on meat quality and storage stability of 1++ grade Hanwoo steer beef: implications for shelf life[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2017, 3(37): 440-448. DOI:10.5851/kosfa.2017.37.3.440.
- [20] HOLMAN B W B, COOMBS C E O, MORRIS S, et al. Effect of long term chilled (up to 5 weeks) then frozen (up to 12 months) storage at two different sub-zero holding temperatures on beef: 1. Meat quality and microbial loads[J]. Meat Science, 2017, 133: 133-142. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.06.015.
- [21] 岳喜庆, 张秀梅, 孙天利, 等. 冰温结合真空包装牛肉的品质变化[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(6): 225-229. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2013.06.040.
- [22] BELLÉS M, ALONSO V, RONCALES P, et al. The combined effects of superchilling and packaging on the shelf life of lamb[J]. Meat Science, 2017, 133: 126-132. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.06.013.
- [23] ALVARENGA T I R C, HOPKINS D L, RAMOS E M, et al. Ageing-freezing/thaw process affects blooming time and myoglobin forms of lamb meat during retail display[J]. Meat Science, 2019, 153: 19-25. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.02.016.
- [24] CHOE J H, STUART A, KIM Y H B. Effect of different aging temperatures prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins[J]. Meat Science, 2016, 116: 158-164. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.02.014.
- [25] LEYGONIE C, BRITZ T J, HOFFMAN L C. Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich *M. iliofibularis*[J]. Meat Science, 2012, 91(3): 364-368. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.02.020.
- [26] SHANKS B C, WULF D M, MADDOCK R J. Technical note: the effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef *Longissimus* steaks across several postmortem aging periods[J]. Journal of Animal Science, 2002, 8(80): 2122-2125. DOI:10.1046/j.1439-0396.2002.00384.x.
- [27] 顾春涛, 毕伟伟, 朱茉莉. 冷鲜牛肉贮藏中菌群结构及优势菌致病性的分析[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 76-82. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180925-263.
- [28] 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. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2019.23.037.
- [29] BRIGHTWELL G, CLEMENS R, ADAM K, et al. Comparison of culture-dependent and independent techniques for characterisation of the microflora of peroxyacetic acid treated, vacuum-packaged beef[J]. Food Microbiology, 2009, 26(3): 283-288. DOI:10.1016/j.fm.2008.12.010.
- [30] 王莹, 张建海, 王勇亮, 等. 包装方式和贮藏温度对羊肉微生物数量、细菌多样性和代谢途径的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(21): 305-314. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20210910-129.
- [31] LIANG Ce, ZHANG Dequan, ZHENG Xiaochun, et al. Effects of different storage temperatures on the physicochemical properties and bacterial community structure of fresh lamb meat[J]. Food Science of Animal Resources, 2021, 41(3): 509-526. DOI:10.5851/kosfa.2021.e15.
- [32] 张晓颀. 不同贮藏温度结合真空包装对羊肉品质的影响研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2019: 21-36.
- [33] 李茜. 包装方式结合冰温贮藏对牛肉品质的影响[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015: 52-53.
- [34] 孙丹丹, 卢士玲, 李开雄, 等. 贮藏温度对冷鲜羊肉微生物菌群生长变化的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(4): 327-331. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.04.053.
- [35] 胡斐斐, 钱书意, 李侠, 等. 低压静电场辅助冷藏对牛肉品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 132-138. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200106-071.
- [36] STARKEY C P, GEESINK G H, ODDY V H, et al. Explaining the variation in lamb longissimus shear force across and within ageing periods using protein degradation, sarcomere length and collagen characteristics[J]. Meat Science, 2015, 105: 32-37. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.02.011.
- [37] 李培迪, 李欣, 李铮, 等. 冰温贮藏对宰后肌肉成熟进程的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 554-562. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2016.03.013.
- [38] LU Xiao, ZHANG Yimin, XU Baochen, et al. Protein degradation and structure changes of beef muscle during superchilled storage[J]. Meat Science, 2020, 168: 108180. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108180.
- [39] LAGERSTEDT Å, ENFÄLT L, JOHANSSON 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2008.01.009.
- [40] 别雪, 杨万彪, 田晓雨, 等. 不同贮存方式和时间对滩羊肉品质的影响[J]. 饲料研究, 2023, 46(2): 109-112. DOI:10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2023.02.022.
- [41] 王红丽. 冷冻罗非鱼片品质综合评价及货架期预测模型的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022: 7-13.
- [42] 孙慧琳. 贮藏方式对牛肉的品质变化的影响[D]. 锦州: 锦州医科大学, 2021: 20-21.
- [43] BENJAKUL S, BAUER F. Biochemical and physicochemical changes in catfish (*Silurus glanis* Linne) muscle as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. Food Chemistry, 2001, 72(2): 207-217. DOI:10.1016/S0308-8146(00)00222-3.
- [44] HOLDHUS S A, IAN J, ANDREAS K, et al. Vacuum-packed beef primals with extremely long shelf life have unusual microbiological counts[J]. Journal of Food Protection, 2012, 75(8): 1524-1527. DOI:10.4315/0362-028X.JFP-12-042.
- [45] JI Xianqiu, LUO Xin, ZHU Lixian, et al. Effect of medium voltage electrical stimulation and prior ageing on beef shear force during superchilled storage[J]. Meat Science, 2021, 172: 108320. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108320.
- [46] MUELA E, MONGE P, SAÑUDO C, et al. Meat quality of lamb frozen stored up to 21 months: instrumental analyses on thawed meat during display[J]. Meat Science, 2015, 102: 35-40. DOI:10.1016/j.meatsci.2014.12.003.