

生鲜肉贮藏温度术语浅析

张德权, 陈 丽, 侯成立

(中国农业科学院农产品加工研究所, 农业农村部农产品质量安全收贮运管控重点实验室, 北京 100193)

摘 要: 肉类工业是第一大食品产业和国民经济支柱产业。生鲜肉占肉与肉制品生产与消费量的80%, 而贮藏是生鲜肉消费最重要的环节, 低温贮藏是生鲜肉贮藏的较优方法之一。根据贮藏温度不同, 生鲜肉的贮藏可分为冷藏、冰温、超冰温、微冻、冻结/冻藏等, 但一直以来概念混淆不清、温度范围模糊, 影响了肉类生产和行业的规范运行。本文综述低温贮藏中冷藏、冰温、超冰温、微冻、冻结/冻藏的术语, 旨在明晰其贮藏温度范围, 为后续研究和生产提供参考。

关键词: 生鲜肉; 贮藏; 低温; 术语; 温度范围

Review on Storage Temperature Terms for Fresh Meat

ZHANG Dequan, CHEN Li, HOU Chengli

(Key Laboratory of Agro-Products Quality and Safety Control in Storage and Transport Process, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The meat industry has developed into the largest sector of the food industry and a pillar industry of the national economy. Fresh meat account for 80% of the total production and consumption of meat and meat products, and storage is the most important link of fresh meat consumption. Low temperature storage is one of the best methods for fresh meat storage. According to different storage temperatures, fresh meat storage fall into cold storage, ice temperature storage, supercooling storage, partial freezing, frozen storage, etc. However, the concepts are always confused with each other and the temperature ranges are ambiguously defined, adversely affecting meat production and regulated operation of the meat industry. In the present review, we summarize these storage terms and clarify the storage temperature ranges, with the aim to provide references for future research and production.

Keywords: fresh meat; storage; low temperature; terms; temperature ranges

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201118-267

中图分类号: TS251.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2021) 05-0044-06

引文格式:

张德权, 陈丽, 侯成立. 生鲜肉贮藏温度术语浅析[J]. 肉类研究, 2021, 35(5): 44-49. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201118-267. <http://www.rlyj.net.cn>

ZHANG Dequan, CHEN Li, HOU Chengli. Review on storage temperature terms for fresh meat[J]. Meat Research, 2021, 35(5): 44-49. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20201118-267. <http://www.rlyj.net.cn>

我国肉类总产量一直占世界总产量的1/4左右, 连续30年位居世界首位^[1]。根据国家统计局数据, 2020年我国肉类总产量7 639 万t, 其中, 猪肉产量4 113 万t、牛肉产量672 万t、羊肉产量492 万t、禽肉产量2 361 万t^[2]。在我国肉与肉制品消费过程中, 生鲜肉占我国肉类生产与消费量的80%左右^[3], 除即杀即食的热鲜肉外, 2019年全国鲜、冷藏肉产量为2 817.5 万t^[4], 是生鲜肉生产和消费的主体。

生鲜肉被认为是最易腐烂的食物之一, 在肉类生产的各个环节, 如屠宰、分割、加工、贮藏、运输及消费过程中, 生鲜肉因其丰富的营养成分极易受到微生物污染和其他环境因素的影响, 从而导致腐败变质、变味、变色等^[5]。微生物的滋生是影响生鲜肉货架期的重要因素, 其在很大程度上受到贮藏温度的影响^[6]。贮藏温度选择不当会促进微生物生长和生鲜肉劣变, 使某些生鲜肉

收稿日期: 2020-11-18

基金项目: 国家农业科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2020-IFST-03); 国家现代农业(肉羊)产业技术体系建设专项(CARS-38)

第一作者简介: 张德权(1972—)(ORCID: 0000-0003-3277-6113), 男, 研究员, 博士, 研究方向为肉品科学与技术。

E-mail: dequan_zhang0118@126.com

在几小时或几天内腐败,严重影响货架期^[7];而在适温下贮藏的生鲜肉货架期可以维持数天或数周,冷冻肉甚至可以持续数月或数年^[8]。

低温贮藏是生鲜肉贮藏的最好方法之一,在低温条件下肌肉代谢酶活力下降,微生物生长繁殖的速率降低,且低温贮藏不会引起动物组织的根本变化,却能延缓由组织酶、氧以及热和光的作用而产生的化学和生物学变化过程,防止生鲜肉表面和内部的变质,从而达到保鲜效果。动物在屠宰时不可避免会受到微生物污染,若在较好卫生条件下进行屠宰,细菌总数为 $10^2 \sim 10^3$ CFU/g,但在国内大多数屠宰场,由于屠宰车间环境、刀具、工人习惯等因素的影响,分割肉品初始菌落总数平均为 10^3 CFU/g^[9],在初始菌数相对较高的情况下,低温贮藏尤为重要。在低温条件下,微生物生长速率随温度下降而降低,许立兴等^[10]通过比较 -3 °C微冻和 -1 °C冰温对羊肉品质的影响发现,与 -1 °C冰温相比, -3 °C微冻能很好地控制羊肉微生物菌落总数和总挥发性盐基氮含量,所以生鲜肉应尽可能在低温条件下进行贮藏。

国内外关于生鲜肉贮藏温度的研究很多,且已证实低温在生鲜肉贮藏保鲜中的关键作用,尤其在延长生鲜肉货架期、提高肉品品质方面^[11-13]作用显著。低温贮藏涉及冷藏、冰温、超冰温、微冻、冻结/冻藏等,但文献、标准中的术语概念不尽一致,温度范围相互交叉,导致在应用过程中区间混乱,影响行业内交流和规范。因此,本文基于生鲜肉的冻结曲线,详细阐述冷藏、冰温、超冰温、微冻、冻结/冻藏等术语和温度范围,明确其在生鲜肉贮藏中的温度区间,为生鲜肉实际生产提供指导。

1 生鲜肉冻结曲线关键温度点分析

食品冻结过程中,食品中心温度随时间推移的变化曲线称为食品的冻结曲线。水分是肉类原料中含量最多的组成成分,占总量的65%~80%^[14],在生鲜肉冷冻过程中,冻结的主要为水。但肉中还有蛋白质、脂肪、碳水化合物和无机成分,且肌肉中水分存在结合水、不易流动水和自由水3种形式,因此,肌肉的冻结曲线与水相似,但又存在差异。如图1所示,以牛肉冻结曲线为例,肉品冻结过程分为4个阶段。第1阶段是abc段,肉品从初温降到过冷点的过程,在此过程中肉品没有发生冻结,肉品的温度持续下降;第2阶段是cd段,当肉品的温度降到c点,肉品中的水开始结晶,发生固相转变,释放出冰的熔化潜热,使温度回升到冰点,这种低于正常冻结点发生结晶的现象称为过冷现象;第3阶段是de段,肉品中的纯水由外向内冻结成冰的结晶,在水不断冻结并释放潜热的一段时间内,温度保持相对恒定,该阶段为最大冰晶生成区,穿越最大冰晶生成区的时间与食品的冻结

品质密切相关;第4阶段是ef段,残留水分继续冻结成冰,和已经成冰的部分进一步降温至冻结终温的过程^[15-19]。

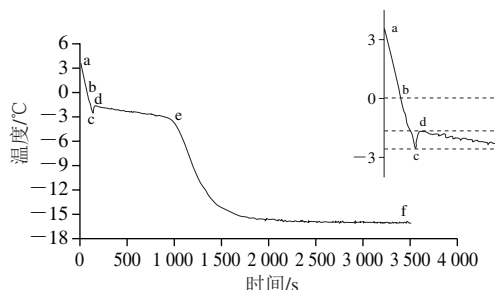


图1 牛肉的冻结曲线

Fig. 1 Freezing curve for beef

1.1 冰点/冻结点

广义上,冰点是指水的凝固点,即水由液态变为固态的温度,肉品的冰点也称冻结点,低于 0 °C。GB/T 18517—2012《制冷术语》^[20]标准中对冻结和冻结点进行了定义:冻结是指将物品温度降低到冻结点以下的过程;冻结点是指当除去热量后,液体将要冻结的温度(通常在标准大气压下)。肉品的冰点常用降温法测定,将生鲜肉放入恒温冰箱,采用温度记录仪每隔30~60 s采集肉品中心温度,用所得的温度和时间绘制降温曲线。在降温曲线上,温度反弹上升结束后,开始趋于稳定时的起始冻结温度或稳定时的平衡冻结温度为冰点温度^[21]。因此,肉品的冰点/冻结点即图1中d点对应的温度。

不同食品的内部成分含量不同,冰点温度各不相同。关于畜禽肉冰点的研究结果显示:牛和羊各部位肉冰点均为 $-1.4 \sim -1.7$ °C^[22],猪肉冰点为 -0.9 °C^[23],鸡各部位肉冰点为 $-1.1 \sim -1.4$ °C^[22],鸭胸肉的冰点为 -1.5 °C^[24]。

1.2 过冷点

某些情况下组织温度虽在冰点以下,但不发生冻结,即组织的过冷现象。在致冷因素的持续作用下,当达到某种温度时,过冷状态瓦解,冻结迅速发生,此温度即为组织的过冷点^[18]。样品在冻结过程中,降到某一温度时开始释放潜热,样品温度上升至冰点后开始逐渐降低,通过采集被测样品的降温冻结曲线来观察被测样品的降温过程和相应的过冷点、冰点及整个相变过程。因此,肉品的过冷点即图1中c点对应的温度。

You等^[25]通过冻结曲线确定了牛肉的过冷点为 -4 °C, Mok等^[26]确定了鸡胸肉的过冷点为 -3.1 °C, Wang Zhaoming等^[27]确定了兔肉过冷点为 (-3.5 ± 0.5) °C。但环境温度不同会影响肉品的过冷点,许立兴等^[23]在环境温度分别为 -5 、 -4 、 -3 °C时监测猪肉的冻结曲线发现,猪肉的过冷点分别为 -4 、 -3.8 、 -3.2 °C。

2 肉品贮藏温度术语解析

低温贮藏能保持肉品品质和状态，在生鲜肉贮藏中被广泛应用。在实际应用中因采用的温度不同，肉品低温贮藏可分为冷藏、冰温、超冰温、微冻、冻结/冻藏等。

2.1 冷藏

表1 不同标准中的冷藏术语

Table 1 Terms for cold storage defined in different standards

标准	术语	定义
GB/T 18517—2012《制冷术语》 ^[20]	冷藏	在低于常温、不低于食品冰点温度条件下贮存食品的过程
SN/T 1995—2007《进出口食品冷藏、冷冻集装箱卫生规范》 ^[26]	冷藏	为保鲜和防腐的需要，将食品或原料置于冰点以上较低温度条件下贮存的过程，冷藏温度范围应为0~4℃
NY/T 2534—2013《生鲜畜禽肉冷链物流技术规范》 ^[29]	冷藏	在0~4℃的低温条件下贮存生鲜畜禽肉
GB/T 24616—2019《冷藏、冷冻食品物流包装、标志、运输和储存》 ^[30]	冷藏食品	在8℃以下、冻结点以上条件下储运及销售的食物
NY/T 3396—2018《屠宰冷藏加工人员技能要求》 ^[31]	肉类冷藏	肉类产品在低温条件下贮存，以免变质的一种工艺手段

表2 冷却肉推荐的冷藏温度和相对湿度^[32]

Table 2 Recommended cold storage temperature and relative humidity for chilled meat^[32]

品种	冷藏温度/℃	相对湿度/%
牛肉	-1.5~0	90
小牛肉	-1~0	90
羊肉	-1~0	85~90
猪肉	-1.5~0	85~90

不同的标准分别对冷藏术语进行了定义，对于肉品冷藏，通常指冷却后的肉品在冷藏温度下贮藏，但对冷藏温度尚未形成一致的表述。由表1可知，不同标准对冷藏术语的定义虽然上限不清，但下限均为冰点/冻结点。在《肉类工业手册》^[32]中也提到，使产品深处的温度降低到0~1℃、在0℃左右贮藏的方法称为冷却贮藏。肉品在冷却状态下冷藏的时间取决于冷藏环境的温度和相对湿度，根据国际制冷学会第四届委员会推荐冷却肉的冷藏条件（表2）和相关标准中关于冷藏的定义，可以确定冷藏的温度下限应该为肉品的冰点/冻结点温度。

表3 不同标准中关于冷却肉/冷鲜肉的术语

Table 3 Terms for chilled meat defined in different standards

标准	术语	定义
SB/T 10731—2012《易腐食品冷链操作规范 畜禽肉》 ^[33]	冷却肉	在良好操作规范和卫生条件下，畜禽经宰前、宰后检验检疫合格、屠宰后胴体经冷却处理，并在后续分割加工、包装、贮藏、运输和销售过程中始终处于适宜的低温状态的肉；冷却肉在冷却后分割包装时温度不超过7℃，其后环节中温度处于-1~4℃
NY/T 1565—2007《冷却肉加工技术规范》 ^[34]	冷却肉	在良好操作规范和良好卫生条件下，活畜经宰前、宰后检验检疫合格屠宰后，胴体经冷却处理，其后腿肌肉深层中心温度在24 h内降至0~4℃，在10~12℃的车间内进行分割加工，并在后续包装、贮藏、流通和销售过程中始终保持在0~4℃的生鲜肉
NY/T 3224—2018《畜禽屠宰术语》 ^[35]	冷却肉	畜禽屠宰后经冷却处理，在24 h内使肉的中心温度降低到0~4℃，并在0~4℃的环境中贮存的新鲜肉
DB41/T 1793—2019《冷鲜肉产业链安全追溯管理规范》 ^[36]	冷鲜肉	在低于0℃环境下，将肉中心温度降低到0~4℃，而不产生冰晶的肉

目前，关于肉品冷藏的研究中，肉品冷藏温度的上限均为4℃。赵娟红^[37]研究冰温（-2℃）及冷藏（4℃）条件下猪肉品质及蛋白质变化规律；袁先群等^[38]研究0~4、7~11℃贮藏温度下牛肉品质的变化；Natalello等^[39]研究不同饲喂条件下的羊肉在4℃冷却24 h后的氧化稳定性；Wang Zhaoming等^[27]比较兔肉在（4±1）℃冷藏、-2℃冰温、（-3.5±0.5）℃超冰温条件下亚铁肌红蛋白、脂质和蛋白质氧化之间的相互关系。GB/T 24616—2019《冷藏、冷冻食品物流包装、标志、运输和储存》^[30]中冷藏食品的温度上限虽然为8℃，但其包括所有食品，经查阅部分水果蔬菜的冷藏温度上限可提高到8℃，而肉品为4℃。从表3关于冷却肉/冷鲜肉术语的定义中也可以看出，冷却肉的贮藏温度上限均为4℃。综上，建议肉品冷藏温度上限为4℃，即肉品冷藏温度范围为冰点/冻结点温度约4℃，见图2。

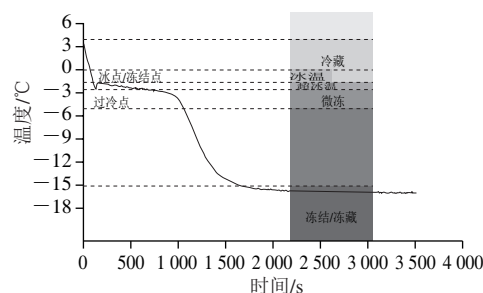


图2 生鲜肉不同贮藏条件的温度范围

Fig. 2 Temperature ranges in different storage conditions for fresh meat

2.2 冰温

冰温保鲜技术最早是由山根昭美博士在梨的保鲜研究中发现的，随后提出了冰温保鲜技术，并定义“冰温带”是指0℃以下、冰点以上的温度区域，该温度介于冷藏和微冻之间，简称冰温^[40]。随着低温生物学的研究发展，0℃到组织冻结点之间的区域备受关注，被称为冰温带，在此温度带，组织的状态是将冻而未冻，保持鲜活，但各种理化变化速率处于最低状态，从而使得食品的原有品质得以保持，不会产生冷冻食品在解冻时表现的汁液大量流失和组织冻结损伤的情况^[41-42]。

GB/T 18517—2012《制冷术语》^[20]中关于冰温的定义为，0℃到生物体内部溶液开始发生相变（冻结点）时的温度区域，在此温域可以维持其细胞的活体状态。NY/T 1401—2007《荔枝冰温贮藏》^[43]中关于冰温的定义为，从0℃以下起至各生物组织即将开始结冰时为止的温度。由此可以确定，不管是动物还是植物，冰温贮藏的温度范围均为0℃以下、冰点以上的温度区域，见图2。从温度范围的界定来看，冷藏的温度范围（冰点/冻结点约4℃）涵盖冰温的温度范围（冰点/冻结点约0℃），因此，冰温属冷藏的一部分。

2.3 超冰温

超冰温保鲜技术是一种将食品贮藏在冰点以下并保证食品不发生冻结的一种新的贮藏技术。超冰温技术要求食品的温度降到冰点后并不会立即发生冻结,当温度继续降低至某一点时,跨越了一个能量栅栏,冰晶才会成核。超冰温保鲜技术在肉品保鲜中具有明显的效果,尤其是在肉品色泽保持上,这在Gill^[44]、Cyprian^[45]等的研究中均得到了确证。但一般来说,食品会很快地通过超冰温带发生冻结,所以超冰温温域很难达到。目前常采用物理场辅助技术来降低食品的过冷点来保持其非冻结状态,如静电场可对极性水分子施加力矩作用,破坏其在分子簇中的平衡状态,从而降低过冷点温度^[46];磁场会影响氢键的强度,削弱分子簇内的氢键,减小分子簇尺寸,从而延缓结晶^[47]。已有研究显示,脉冲电场和核磁联合处理可防止鸡胸肉突然形成冰核^[26],在-4℃条件下牛肉可保持过冷状态达14 d,且其新鲜度与贮藏初期无显著差异^[25]。

目前尚未在国家或行业标准中发现超冰温的定义,但是在本领域研究中有对此的描述。许立兴等^[23]的研究中提到,超冰温技术是一种将食品贮藏在冰点以下、过冷点以上的一种新的贮藏技术。荆红彭^[48]的研究中描述超冰温技术为将食品的内部温度控制在冰点和过冷点之间,且食品内部没有冰晶生成的一种贮藏新技术。Stonehouse等^[49]的综述中指出,过冷是将食品的温度降低到冻结点以下而不发生相变(形成冰晶)。由此可见,生鲜肉超冰温贮藏的温度范围为冰点以下、过冷点以上的温度区域,见图2。

2.4 微冻

微冻保鲜技术于1920年提出^[50],20世纪60年代广泛应用于水产品保鲜。微冻保鲜的基本原理是利用低温来抑制微生物的繁殖及酶的活力,在微冻温度下贮藏,食品内的部分水分发生冻结。由于水的性质发生了变化,改变了微生物细胞的生理生化反应,某些不适应的细菌开始死亡,大部分嗜冷菌虽未死亡,但其活动也受到了抑制,几乎不能繁殖。因此,微冻贮藏能使肉品在较长时间内保持鲜度而不发生腐败变质。

微冻保鲜是将食品的中心温度维持在其冻结点之下1~2℃,此时食品保持轻微冷冻状态,未冻结部分占70%~95%^[51]。胡玥等^[52]指出,在微冻条件下,肉品中5%~30%的水分被冻结,并且能在肉品表面形成1~3 mm的冰层。Yang Lan等^[53]的研究中指出,微冻用于描述食物贮藏在冻结点到冻结点以下1~2℃的过程,可以更好保持食品质量,并将大多数食品的货架期延长至少1.5~4倍。孙圳^[54]描述微冻是指在生物体冰点(冻结点)和冰点以下1~2℃的温度带轻度冷冻贮藏,也叫部分冷冻和过冷却冷藏。由此可知,微冻贮藏的前提

是食品发生了冻结,形成了冰晶。生鲜肉在冰点不发生冻结,继续降温至过冷点形成冰晶后迅速冻结,具有明显的过冷现象,因此生鲜肉微冻贮藏的温度上限为过冷点。微冻要保持肉品部分冻结而非全部冻结,通过对文献中的微冻温度进行梳理,发现其因畜禽品种差异而不同,多集中在-2~-5℃,因此不能明确界定其下限,基于文献中的描述,推荐生鲜肉微冻贮藏的温度下限为低于过冷点2℃。

2.5 冻结/冻藏

食品冻结可使食品中大部分甚至全部水分形成冰晶体,使微生物的生长受到抑制,适当的低温和冻结速率还会促使微生物死亡;酶的活力在低温和失去反应介质的作用下大大降低;脂肪酸败、维生素分解等作用在冻藏时也会减缓^[55]。因此,冻藏能够延缓食品腐败,而不能完全终止腐败。

食品冻藏是采用缓冻/速冻方法先将食品冻结,而后再在能保持食品冻结状态的温度下贮藏的保藏方法^[56]。彭欢欢^[57]指出,冻藏是将食品中心温度降至-15℃以下,使其发生冻结,并保持在-18℃及以下温度贮藏。何雪莹^[58]的研究中提到,冻藏保鲜方法是利用低温将肉品的中心温度降至-15℃以下,体内组织的水分绝大部分冻结。Muela等^[59]研究表明,-30、-40、-75℃3种贮藏温度在货架期内并未对羔羊肉品质造成显著影响。由此可见,肉品的冻结/冻藏保鲜的温度上限为-15℃,不设下限,见图2。

生鲜肉贮藏温度在-15℃以下时,通常还有3个温度值得注意:一是-35℃,即速冻库温度。SB/T 11073—2013《速冻食品术语》^[60]中速冻的定义为将被冻产品迅速通过最大冰晶区,使其热中心温度达到-18℃及以下的冻结过程。一般肉类速冻库的温度为-15~-35℃,但当肉类中心温度达到-18℃后会转移至冷冻库冻藏。二是-78.5℃,即干冰(固态二氧化碳)的熔点,升华的温度。干冰不会融化成水,较冰水冷藏更清洁、干净,对食物没用破坏作用,在高档水产、肉品冷冻冷藏中发挥重要作用。三是-196.56℃,即液氮(液态的氮气)的温度。生鲜肉经液氮快速冷却,可在较长时间内保持生鲜肉的品质,又能保证生鲜肉的卫生安全,在研究层面应用较多。

3 结 论

本文详细阐述了生鲜肉低温贮藏中冷藏、冰温、超冰温、微冻、冻结/冻藏的概念及贮藏温度范围,结合现有标准、文献报道和生产实际,明确了上述贮藏方式的概念和温度范围,其中肉类冷藏温度范围为冰点/冻结点温度到4℃;冰温贮藏的温度范围为0℃以下、冰点以

上;超冰温贮藏的温度范围为冰点以下、过冷点以上;微冻贮藏的温度上限为过冷点,温度下限为低于过冷点2℃;冻结/冻藏的温度上限为-15℃。生鲜肉贮藏温度概念和范围的进一步明晰,有助于肉类企业的发展和肉类行业的规范。

随着人们生活水平的提高和肉品加工技术的进步,消费者越来越多地关注生鲜肉的品质,而生鲜肉低温贮藏领域有2个方向值得进一步关注:一是适贮温度的选择和新型贮藏技术的研发,如冰温/超冰温保鲜技术、物理场辅助保鲜技术、亚过冷贮藏技术、电场辅助冷冻/解冻技术等,为提高生鲜肉品质、延长生鲜肉货架期提供新的手段;二是低温贮藏范畴由仓储向全程冷链物流的快速转变,尤其在非洲猪瘟、新冠肺炎疫情等多重影响下,生鲜肉的供应和安全备受关注,国家出台了系列政策,要求“从调猪到调肉”、鼓励“北肉南调”和“最后一公里”,这为生鲜肉冷链物流运输业的快速发展提供了契机,加之国家全面启动农产品仓储保鲜冷链物流设施建设工程,将加速肉品全程冷链物流建设,为规范低温贮藏、流通,减少贮运损耗提供切实保障。

参考文献:

- [1] 孔保华,崔旭海,刁新平.我国肉类加工业现状及发展趋势[J].农产品科技,2008,2(1):6-11.
- [2] 国家统计局.中华人民共和国2020年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2021-02-28)[2021-04-15].http://www.stats.gov.cn/zjtj/zthd/lhfw/2021/lh_hgj/202103/t20210301_1814216.html.
- [3] 张德权,侯成立.热鲜肉与冷却肉品质差异之管见[J].肉类研究,2020,34(5):83-90. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20200220-041.
- [4] 前瞻产业研究院.2019年1-12月全国鲜、冷藏肉产量为2817.5万吨[EB/OL].(2020-03-03)[2021-04-15].<https://bg.qianzhan.com/report/detail/459/200303-cb37fa72.html>.
- [5] 尹德凤,张莉,张大文,等.生鲜肉类产品中腐败细菌研究[J].农产品质量与安全,2018(3):21-29. DOI:10.3969/j.issn.1674-8255.2018.03.004.
- [6] DOULGERAKI A I, ERCOLINI D, VILLANI F, et al. Spoilage microbiota associated to the storage of raw meat in different conditions[J]. International Journal of Food Microbiology, 2012, 157(2): 130-141. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2012.05.020.
- [7] HERTOGE M L, UYSAL I, MCCARTHY U, et al. Shelf life modelling for first-expired-first-out warehouse management[J]. Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences, 2014, 372: 20130306. DOI:10.1098/rsta.2013.0306.
- [8] MERCIER S, VILLENEUVE S, MONDOR M, et al. Time-temperature management along the food cold chain: a review of recent developments[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(4): 647-667. DOI:10.1111/1541-4337.12269.
- [9] 靳玉龙,王涛,张强,等.冷鲜肉生产过程中微生物污染分析及控制对策[J].肉类工业,2015(2):35-39. DOI:10.3969/j.issn.1008-5467.2015.02.012.
- [10] 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.
- [11] 杜曼婷,李培迪,李欣,等.冰温贮藏结合不同包装方式对羊肉品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(14):324-328;343. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.14.056.
- [12] XIN Li, YAN Zhang, ZHENG Li, 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.
- [13] 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.
- [14] 尹靖东.动物肌肉生物学与肉品科学[M].北京:中国农业大学出版社,2011:58.
- [15] 原琦,罗爱平,何光中,等.低场核磁共振研究冻融过程中牦牛肉品质变化[J].食品工业科技,2015,36(4):116-119. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.04.016.
- [16] 段智英.高压脉冲电场预处理对果蔬冻结工艺与冻干速率的作用机理研究[D].太谷:山西农业大学,2017:15.
- [17] 李向阳.大洋性围网鲑鱼船上冷盐水冻结保鲜与品质控制技术[D].杭州:浙江工业大学,2014:5.
- [18] 张秋实,李玉明,张游,等.生物组织的过冷现象[J].承德医学院学报,1998(2):66-67.
- [19] KIM Y, HONG G P. Effects of artificial supercooling followed by slow freezing on the microstructure and qualities of pork loin[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2016, 36(5): 650-655. DOI:10.5851/kosfa.2016.36.5.650.15.
- [20] 中国制冷协会,北京工业大学,西安交通大学,等.制冷术语:GB/T 18517—2012[S].北京:中国标准出版社,2012:11.
- [21] 胡位荣,张昭其,蒋跃明,等.采后荔枝冰温贮藏的适宜参数研究[J].中国农业科学,2005,38(4):797-802. DOI:10.3321/j.issn:0578-1752.2005.04.024.
- [22] 荆红彭,刘敬斌,黄汝敏,等.鲜肉冰点及与主要理化指标的相关性[J].肉类研究,2014,28(8):1-4.
- [23] 许立兴,关文强,荆红彭,等.猪肉超冰温保鲜效果研究[C]//第七届中国冷冻冷藏新技术新设备研讨会.中国制冷空调工业协会与天津商业大学,商丘,2015:90-94.
- [24] 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. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201514043.
- [25] YOU Y, HER J Y, SHAFEL T, et al. Supercooling preservation on quality of beef steak[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 274: 109840. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2019.109840.
- [26] MOK J H, HER J Y, KANG T, et al. Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) combination technology on the extension of supercooling for chicken breasts[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 196: 27-35. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2016.10.002.
- [27] 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. DOI:10.1016/j.meatsci.2018.08.006.
- [28] 中华人民共和国天津出入境检验检疫局.进出口食品冷藏、冷冻集装箱卫生规范:SN/T 1995—2007[S].北京:中国标准出版社,2007:12.
- [29] 中国农业科学院农产品加工研究所,雨润集团,宁夏金福来羊产业有限公司,等.生鲜畜禽肉冷链物流技术规范:NY/T 2534—2013[S].北京:中国标准出版社,2013:12.
- [30] 中国物流与采购联合会,厦门市标准化研究院,上海市质量和标准化研究院,等.冷藏、冷冻食品物流包装、标志、运输和储存:GB/T 24616—2019[S].北京:中国标准出版社,2019:8.
- [31] 商务部流通产业促进中心,江苏雨润肉类产业集团有限公司.屠宰冷藏加工人员技能要求:NY/T 3396—2018[S].北京:中国标准出版社,2018:9.



- [32] 南庆贤. 肉类工业手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 175.
- [33] 中国制冷协会, 广州大学, 国内贸易工程设计研究院, 等. 易腐食品冷藏链操作规范 畜禽肉: SB/T 10731—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 8.
- [34] 中国农业科学院农产品加工研究所, 宁夏金福来羊产业有限公司. 冷却肉加工技术规范: NY/T 1565—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 12.
- [35] 中国农业科学院农产品加工研究所, 中国动物疾病预防控制中心(农业农村部屠宰技术中心), 中国肉类食品综合研究中心, 等. 畜禽屠宰术语: NY/T 3224—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 5.
- [36] 河南省标准化研究院, 雏鹰农牧集团股份有限公司. 冷鲜肉产业链安全追溯管理规范: DB41/T 1793—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019: 3.
- [37] 赵娟红. 基于蛋白质组学分析不同贮藏温度下猪肉的品质变化机制[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019: 10.
- [38] 袁先群, 贺稚非, 李洪军, 等. 不同贮藏温度黑牛肉品质变化规律研究[J]. 食品科学, 2012, 33(16): 302-307.
- [39] NATALELLO A, PRIOLO A, VALENTI B, et al. Dietary pomegranate by-product improves oxidative stability of lamb meat[J]. Meat Science, 2020, 162: 108037. DOI:10.1016/j.meatsci.2019.108037.
- [40] 山根昭美, 陈石榕. 最新水果保鲜法: 冰温贮藏(CF贮藏)[J]. 中国果品研究, 1987(2): 31-32.
- [41] 申江, 刘斌, 李林. 冰温贮藏保鲜关键技术[C]//中国食品冷藏链新设备、新技术论坛. 杭州: 中国制冷与空调协会, 天津商业大学, 国家农产品保鲜工程技术研究中心. 2007: 7-13.
- [42] 张德权. 冷却羊肉加工技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 66.
- [43] 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 华南农业大学园艺学院, 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 等. 荔枝冰温贮藏: NY/T 1401—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007: 6.
- [44] GILL C O, MCGINNIS J C. The effects of residual oxygen concentration and temperature on the degradation of the colour of beef packaged under oxygen-depleted atmospheres[J]. Meat Science, 1995, 39(3): 387-394. DOI:10.1016/0309-1740(94)00013-W.
- [45] CYPRIAN O, LAUZON H L, JÓHANSSON R, et al. Shelf life of air and modified atmosphere-packaged fresh tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets stored under chilled and superchilled conditions[J]. Food Science and Nutrition, 2013, 1(2): 130-140. DOI:10.1002/fsn3.18.
- [46] MOK J H, CHOI W, PARK S H, et al. Emerging pulsed electric field (PEF) and static magnetic field (SMF) combination technology for food freezing[J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 50: 137-145. DOI:10.1016/j.ijrefrig.2014.10.025.
- [47] 周子鹏, 赵红华, 赵红霞, 等. 交变磁场对水及生理盐水过冷过程的影响[J]. 高校化学工程学报, 2013(2): 205-209. DOI:10.3969/j.issn.1003-9015.2013.02.005.
- [48] 荆红彭. 猪肉超冰温保鲜技术研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2015: 2.
- [49] STONEHOUSE G G, EVANS J A. The use of supercooling for fresh foods: a review[J]. Journal of Food Engineering 2015, 148: 74-79. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2014.08.007.
- [50] LE DANOIS E. Nouvelle methode de frigorification du poisson: French, 506. 296[P]. 1980-05-03.
- [51] DUUN A S, RUSTAD T. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets[J]. Food Chemistry, 2007, 105(3): 1067-1075. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.05.020.
- [52] 胡玥, 吴春华, 姜晴晴, 等. 微冻技术在水产品保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015(9): 384-390. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.09.075.
- [53] YANG Lan, SHANG Yongbiao, YING Song, et al. Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures[J]. Meat Science, 2016, 117: 173-181. DOI:10.1016/j.meatsci.2016.02.017.
- [54] 孙圳. 牛肉亚冻结保藏品质变化与水分迁移机制[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017: 3.
- [55] TEUTEBERG V, KLUTH I K, PLOETZ M, et al. Effects of duration and temperature of frozen storage on the quality and food safety characteristics of pork after thawing and after storage under modified atmosphere[J]. Meat Science, 2020, 174(12): 108419. DOI:10.1016/j.meatsci.2020.108419.
- [56] 妥国泉, 蔡军. 冻结食品的贮藏管理[J]. 商品储运与养护, 1994(5): 14-15; 17.
- [57] 彭欢欢. 冻藏对中华绒螯蟹品质影响及其控制研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 1.
- [58] 何雪莹. 冰温保鲜对鲤鱼鱼肉品质特性及其理化特性影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012: 3.
- [59] MUELA E, SAUDO C, CAMPO M M, et al. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display[J]. Meat Science, 2010, 84(4): 662-669. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.10.028.
- [60] 中华人民共和国商务部. 速冻食品术语: SB/T 11073—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 4.