



食品的冻结及解冻技术研究进展

文 静, 梁显菊

(西南大学食品科学学院, 重庆 400716)

摘 要: 畜禽肉的冷冻在现代肉制品加工工业中起着十分重要的作用。本文对肉品冷冻的工艺、冻结方法以及冻结食品的解冻技术及其各自特点进行了综述, 同时简单介绍了一些新兴的解冻方法。

关键词: 冻结食品; 冻结方法; 解冻技术

Research Progress on Food Freezing and Thawing Technology

Wen Jing, Liang Xian-ju

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing, 400716, China)

Abstract: Meat freezing plays an important role in the industry of meat production. In this paper, the processing and methods for meat freezing and thawing technology are reviewed, and their characteristics are summarized.

Key words: Frozen food; Freezing methods; Thawing technology

中图分类号: TS201.1 文献标识码: B 文章编号: 1001-8123(2008)07-0076-05

冷冻加工能减缓食品劣变及病原体微生物的生长, 降低绝大多数生化反应速度, 在各种食品加工手段中具有高度的安全性。从肉的温度处理状况来看, 其工艺过程可分为冷却、冻结、冷藏、解冻4个环节。冷冻食品安全卫生、食用方便、营养合理、能耗低, 近年来风靡欧、美、日本。但我国的冷冻食品行业与发达国家相比还有较大差距。冷冻食品的质量不仅与原材料相关, 而且与冻结方式和解冻技术有很大的关系, 本文就冻结以及解冻技术的研究进展作一简单的综述, 希望可以给肉制品加工行业提供一些参考。

1 肉品的冷冻工艺

肉的冻结工艺分为两阶段冻结工艺和直接冻结工艺两种^[1], 英、美、德主张采用先预冷后冻结

的两阶段冻结工艺, 另外一些国家主张采用直接冻结工艺, 日本则两者兼用。

1.1 两阶段冻结工艺

两阶段冻结工艺是我国肉类冻结普遍采用的一种方法, 在 -15°C 冷却系统和 -33°C 冻结系统下进行。首先将加工处理过的肉胴体送入冷却间冷却, 待温度冷却至 $0\sim-4^{\circ}\text{C}$ 时再送入冻结间冻结。冻结间温度一般为 $-23\sim-25^{\circ}\text{C}$ 。

1.2 直接冻结工艺

直接冻结工艺是指将屠宰加工后的胴体在滴干体表水后直接进行冻结的工艺。胴体在直接冻结时, 一方面在低温和高速的空气流动作用下, 胴体内部的热量迅速向表层散热; 同时, 由于胴体表面迅速冻结从而加速了胴体内部的散热速度, 胴体温度能在 $16\sim 20\text{h}$ 内达到 -15°C 。

就两种冻结工艺比较而言,直接冻结工艺具有更多的优势:(1)缩短加工时间:直接冻结工艺的冷加工工艺的周期为两阶段冻结的一半;(2)减少水分蒸发,降低干耗;(3)减少了建筑面积,降低投资成本;(4)节省劳动力。但直接冻结工艺也存在一定的缺点,会使肉体出现寒冷收缩现象,尤其对牛羊肉影响较大,而且这种工艺对设备要求比较严格^[1]。

2 肉品的冻结方法

食品的冻结方法多种多样,根据冷却介质与食品的接触方式的不同可将其分为空气冻结法、间接接触冻结法和直接接触冻结法三种。另外也将对一些新型的冻结方法作简单的介绍。

2.1 常用冻结方法

2.1.1 空气冻结法

在冻结过程中,冷空气以自然对流或强制对流的方式与食品换热。虽然由于空气的导热性差,所需的冻结时间相对较长,但空气资源丰富,无毒副作用,所以以空气做介质进行冻结仍然是目前最普遍的冻结方法之一。空气式冻结装置以空气为中间媒体,其类型主要有以下几种:

2.1.1.1 隧道式连续冻结装置(Tunnel Freezer)

隧道式连续冻结装置是目前使用最多的一种装置:产品在一个长方形的、四周有隔热装置的通道中由输送带携载通过隧道,冷风从相反的方向通过,具有良好的冻结条件。根据食品通过隧道的方式,可分为传送带式冻结隧道、吊篮式冻结隧道和推盘式冻结隧道。输送带的速度可通过变速装置调节,与冻结温度相配合,采用自动开关隧道门,自动装载食品,根据冷冻需要分组供应能量以减少损耗,适用于分割肉、家禽、鱼、调理食品、面食类等形态较小的食品的冻结。

2.1.1.2 螺旋式连续冻结(Spiral Belt Freezer)

螺旋式冻结装置克服了传送带式隧道冻结装置占地面积大的缺点,将传动带做成多层,食品由输送带输入,进入旋转桶状冻结区,经冷风冷冻,再由输送带送出。这种装置冻结速率快,占地面积小,适用于冻结体积较小的食品,如肉禽、水产等食品,是大中规模冷冻食品厂广泛选用的冻结装置。

2.1.2 间接接触冻结法

间接冻结法是指把食品放在经制冷剂(或载冷剂)冷却的板、盘、带或其他冷壁上进行冻结,与冷壁直接接触,但与制冷剂(或载冷剂)间接接触。间接接触法动力消耗低、食品干耗小、品质优

良、操作简单,适用于水果、蔬菜、鱼、肉等的冷冻,其缺点是冻结后食品容易变形。

2.1.3 直接接触冻结法

直接接触冻结法要求食品与不冻液直接接触,换热后迅速降温冻结。食品与不冻液接触的方式有喷淋法、浸渍法或两种方法结合使用。

2.1.3.1 盐水浸渍式冻结装置(Brine Immersion Freezer)

该装置使用盐水、液态氮、丙二醇等作为制冷剂,在低温下将食品直接浸入制冷剂中或将制冷剂喷淋于食品上使之冻结。由于制冷剂直接与食品全面接触,所以具有冻结时间短、食品干耗小、色泽好等优点,适用于大型鱼类、屠体的冻结。

2.3.1.2 液化气式连续冻结

液化气式连续冻结是指利用沸点很低的制冷剂(如液氮及二氧化碳)在极低温下进行变态,吸热蒸发或升华的特性,将食品急速冻结的方法,其装置类型有隧道式和螺旋式。液化气式冻结法具有冻结速度快、时间短、干耗小、生产效率高等优点,且食品在冻结中避免与空气接触,不会产生食品的酸化、变色等问题,适用于各类食品的冻结,但操作成本偏高,主要是液氮的消耗和费用高。

2.2 新兴的冻结方法

2.2.1 被膜包裹冻结法(Capsule Packed Freezing)

被膜包裹冻结法也叫冰壳冻结法,包括被膜形成、缓慢冷却、快速冷却、冷却保存四个步骤^[2]。CPF法具有较多的优点:食品冻结时形成的被膜可以抑制食品膨胀变形,限制冷却速度,形成的冰晶细微,不会产生大的冰晶;防止细胞破坏,产品可以自然解冻食用;食品组织口感好,没有老化现象^[2]。

2.2.2 均温冻结法(Harmonizing Process Freezing)

均温冻结法属于浸渍式冻结,但在冻结时对食品进行均温处理,首先将食品浸渍或处于 -40°C 以下的冷媒中,使食品中心温度降至冰点附近,用 15°C 的大气或液态冷媒使其保持均温,然后用 -40°C 以下的液态冷媒使食品冷却至终温。食品经过均温处理可以使其在冻结过程中产生的膨胀压扩散,防止食品龟裂、变形,适用于较大型食品的冷冻^[2]。

2.2.3 高压冷冻(High Pressure Freezing)

高压冷冻也可称为解除超高压速冻法,其原理是在高压下可以得到 0°C 以下的不结冰的低温水,把此种状态下不结冰的食品迅速解除压力,就可以实现对食品的速冻^[3]。高压冷冻法在食品的表面和内部形成的冰晶都十分细小、均匀,可以显著

改善冷冻制品的品质,提高食品的口感。

王子达、闫泽生等^[4]研究了自然对流条件下加压空气冷冻食品时,空气压力与冷冻时间的关系,指出加压冷冻可以有效地提高冻结速度,缩短冷冻时间,当压力增加到550kPa(绝对压力),牛肉和猪肉的冻结时间比常压下缩短约41~45%。

神田幸忠等^[5]使用压力移动冻结法对豆腐冻结过程进行了研究,根据水在200MPa压力下其冻结点下降到-20℃以下的原理,把豆腐加压到200 MPa同时冷却到-20℃,此时豆腐中的水分未发生冻结,在此状态下迅速消除压力,水分瞬间在物料原来位置发生相转移,产生极大量细微而且分布均匀的冰晶体,进一步冷却能使物料迅速、均匀地冻结。用此法冻结的豆腐,冰晶细小,解冻后无流汁变形,外观、风味、口感与冻结前相同。随着高压技术理论与设备的不断完善,高压冷冻技术将会得到进一步的发展。

2.2.4 冰核活性细菌与冻结

冰核活性细菌(ice nucleation active bacteria,简称INA细菌)是近年来发现的一类能使微水滴在-2℃附近冻结的细菌,现已知道有8种,这类细菌含有一种冰核活性物质(蛋白质),能使过冷状态的水生成不均一的冰晶核,也就是使冻结容易发生^[6]。

小幡齐等利用冰核活性细菌及菌体外冰核活性物质进行有关冻结方面的研究,结果表明添加冰核活性胶囊的海水冻结,不发生过冷现象,时间缩短。在果汁中加入菌体外冰核活性物质或经海藻酸钙固定的菌体、膜组分,进行冻结浓缩试验^[5],也表明无过冷现象,冻结浓缩速度加快,不影响果汁的成分。

2.2.5 CAS冻结系统

CAS(Cell Alive System)指食品即时冻结,细胞不被破坏,解冻后其鲜度可以回复到像新鲜的一样。CAS系统对食品的口感和保水性都保持得较好^[7]。

3 冻结肉及其制品的解冻过程

解冻是使冻结肉及其制品中的冰晶融化成水并被肉吸收而恢复到冻结前的新鲜状态,可视为冻结的逆过程。冻结食品在消费或加工前必须解冻,解冻状态可分为半解冻和完全解冻。在解冻过程中应尽量使食品在解冻过程中品质下降最小,使解冻后的食品质量最大地接近于冻结前的食品质量。食品在解冻过程中常出现的主要问题是汁

液流失,其次是微生物繁殖和酶促或非酶促等不良生化反应。

汁液流失一般是不可避免的,汁液流失程度与肉的新鲜程度、切分状况、冻结和解冻方式等有关。如果在冻结与冷藏中冰晶对细胞组织和蛋白质的破坏很小,那么在合理的解冻方式下,部分融化的水可能重新渗入到细胞内,在蛋白质颗粒周围重新形成水化层,使汁液流失减少,保持了较好的营养和原有的风味。

在解冻过程中,微生物繁殖的程度和食品本身发生生化反应的速度随着解冻温度的升高而加剧。关于解冻速度对食品品质的影响一直存在着两种观点:一种认为快速解冻会使汁液没有足够的时间重新进入细胞内;另一种则认为快速解冻可减轻浓溶液对食品品质的影响,还可以缩短微生物繁殖和生化反应的时间。

解冻的一般要求有:(1)均匀解冻,以半解冻状态为好;(2)尽量减少解冻时的汁液流失率;(3)抑制细菌的繁殖生长;(4)解冻介质的温度不宜超过20℃;(5)解冻速度尽可能地快,尽量缩短食品在较高温度下停留的时间;(6)解冻结束后,应将食品立即放到0℃左右的温度下冷藏或及时加工。

4 冻结肉的解冻方法

4.1 空气解冻

空气解冻多用于畜胴体的解冻,通过改变空气的温度、相对湿度、风速、风向达到不同的解冻工艺要求。一般要求空气温度为14~15℃,相对湿度为90%~98%,风速为2m/s左右^[8]。目前主要有低温微风解冻装置和压缩空气解冻装置,前者利用1m/s左右的低风速加湿空气解冻,解冻均匀,效果好;后者利用压力升高,冰点减低的原理,解冻时间短,产品质量好。

4.2 水解冻

4.2.1 常压水解冻

水解冻速度快,减少重量损失,但也存在一些问题,如水中的微生物容易污染冻结品和肉中的可溶性物质易流失等,因此水解冻多用于已包装肉品的解冻。

4.2.2 高静水压解冻(High Hydrostatic Pressure Thawing)

高静水压(50~1000MPa)解冻的原理是当压力上升到210MPa时水的凝固点下降,此时冰发生相转变,凝固点又上升,因此高压下水的未冻结区是潜在的解冻区域。相比传统方法,HHP速度快,且

对解冻后食品的外观和风味保持较好。

Mertens^[9]指出 HHP 法虽然导致了蛋白质大分子的变性,但许多与感官和营养性质相关的成分未受影响,而且较少需要加热,食品各部分受压均匀,外观不受损害。

Mandava 等^[10]研究表明 HHP 还可嫩化肉制品,改善猪腿肉、香肠等的蒸煮损失和质地。

HHP 过程中影响因素主要是压力大小和处理时间,压力越大,冻肉制品中心部位温度越低,但当温度低于 -24°C 或 -25°C 时,压力再高,冻肉制品也不能解冻。因此从节省能源的角度考虑,完全没必要使用大于 280MPa 的压力。在解冻过程中,合理的加热是有必要的,用于促进冰的融化,并且防止减压时发生重结晶。

4.3 电解冻

电解冻主要包括低频解冻、高频解冻、微波解冻和高压静电解冻。

4.3.1 低频解冻(Electrical Resistance Thawing)

低频解冻是将冻结食品视为电阻,利用电流通过电阻时产生的焦耳热,使冰融化。Cheol-Goo Yun^[11]研究表明先利用空气解冻或水解冻使冻结食品表面温度升高到 -10°C 左右后,再进行低频解冻,不但可以改善电极板与食品的接触状态,同时还可以减少随后解冻中的微生物繁殖。而在低电压时采用此法处理样品,其解冻后汁液流失率低,持水能力也得到较大的改善。

4.3.2 微波解冻(Microwave Thawing)

微波解冻(915MHz 或 2450MHz)是在交变电场作用下,利用物质本身的电性质来发热使冻结品解冻。微波应用于冷冻食品的解冻工艺可分为调温和融化两种。调温一般是在冷藏的食品解冻时,从较低温调到正好略低于水的冰点,即 $-4\sim-2^{\circ}\text{C}$ 。此时,物料处于固态,易于切片、切丁或进行其它加工。利用微波解冻进行解冻前的调温可以极大地提高解冻效率。融化是对冻鱼、冻肉进行微波快速解冻,只需将原料放在输送带上,微波直接照射。

利用微波解冻,它的优点在于:速度快,效率高,解冻后肉的质量接近新鲜肉;营养流失少,色泽好,操作简单,耗能少,可连续生产。

微波解冻过程中,频率是一个关键因素。一般说来,频率越高,其加热速度越快,但穿透深度越小。另外,频率对解冻食品的质量也有影响。

Jong Kyung Lee 等^[12]发现 915MHz 微波解冻比传统解冻的速度要快,与 4°C 以上的传统解冻相比,微波解冻后食品的汁液失率减少;但用 2450MHz 微

波解冻后汁液流失率高达 17% 。

4.3.3 高压静电解冻(High Electrostatic Voltage Field Thawing)

高压静电强化解冻是一种有极大开发应用前景的解冻新技术。此法是将冷冻食品放置于高压静电场中,电场设于 $0\sim-3^{\circ}\text{C}$ 左右的低温环境中,利用高压电场微能源产生的各种效应使食品解冻。

谢晶等^[13]以马铃薯为原料研究了高压静电不同电场场强对其冻结和解冻的影响,结果表明高压直流电场场强对马铃薯解冻过程的影响随着电场强度变化。

方胜、李英杰等^[14]在高压电场运用于加速食品解冻的研究中,以蒸馏水为例,在电场强度为 200 kV/m ,环境温度为 5°C 的条件下与相同温度和等量下的自然解冻进行比较,结果表明在电场处理下的解冻时间明显短于自然解冻。

目前日本已将高压静电技术应用于肉类解冻上,据报道,改技术在解冻时间和解冻质量上优于空气解冻和水解冻,在解冻产量和解冻控制上优于微波解冻和真空解冻。

4.3.4 高频解冻技术(Dielectric Thawing)

高频解冻是在交变电场作用下,利用水的极性分子随交变电场变化而旋转的性质,产生摩擦热使食品在极短的时间内完成加热和解冻。利用这种方法解冻,食品表面与电极并不接触,而且解冻更快,一般只需真空解冻时间的 20% ,而且解冻后汁液流失少,操作简单,安全卫生,目前国内外已有 30kW 左右的高频解冻设备投入市场,可以大量快速地对冷冻食品进行解冻。

Gustavo 等^[18]实验结果表明高频波比微波的解冻速度快,高频感应可以自动控制解冻的终点,因此高频解冻比微波解冻更适用于大块冻品的解冻。

4.4 新型解冻方法

4.4.1 超声波解冻(Ultrasonic Thawing)

超声波解冻是根据食品已冻结区对超声波的吸收比未冻区对超声波的吸收要高出几十倍,而食品初始冻结点附近对超声波的吸收最大来进行解冻的,从超声波的衰减温度曲线来看,超声波比微波更适用于快速稳定地解冻。

Miles 等^[15]发现在低频时(小于 430kHz),使用强度 $0.5\sim 2\text{W/cm}^2$ 会使肉制品发生空化现象,导致表面过热和很差的超声波穿透性。高频时(大于 740kHz)随着频率的增加衰减变大,也会产生表面过热。选用 500kHz 、 0.5W/cm^2 的超声波解冻,表面过热效应最小,冻结的牛肉、猪肉和鲑鱼样品在

2.5h内解冻深度达到7.6cm。

张绍志、陈光明等^[16]以牛肉为样品,对超声波解冻进行了研究,以800kHz超声波进行实验,得出理论计算值与实验结果总体上是一致的,证实了超声波的可行性。

4.4.2 远红外线辐射解冻 (Far-infrared Irradiation Thawing)

远红外线解冻是利用波长3~10 μm 的远红外线能被水很好的吸收,并能使水分子振动产生内部能量而促进冻肉解冻。这种方法在肉制品解冻中已经有一定的应用,如远红外烤箱中的食品解冻。

李建林、孙娟等^[17]对远红外辐射加热解冻进行了模拟实验,指出与传统方法相比,它提高了吸收能量的效率,但是由于冻结食品传热特性的限制,当中心达到相应温度时,食品表面的温度升高太多,利于细菌的繁殖,从而影响食品品质。所以在应用时,应选择低温远红外辐射加热器做为热源,且食品表面应有低温介质作为保护。

4.4.3 真空解冻 (Vacuum-steam Thawing)

真空解冻是利用真空中水蒸汽在冻结食品表面凝结所放出的潜热解冻。它的优点较多:食品表面不受高温介质影响,解冻快;解冻中减少或避免了食品的氧化变质;食品解冻后汁液流失少。但是解冻食品外观不佳,且成本高。

5 结语

冷冻食品符合“绿色食品”、“方便食品”、“保健食品”的三大食品发展趋势,在工业化生产中,要针对不同的解冻对象选择合适的解冻方法,不仅要解冻速率与解冻食品品质结合起来,还要考虑产量、设备、工作环境等多方面因素。随着冷冻食品产量和种类的日益增大,相关科学技术的不断进步,冷冻食品理论和技术必将有长足发展。

参考文献

- [1] 田国庆.食品冷加工工艺[M].北京:机械工业出版社,2003,84~85.
- [2] 李勇.食品冷冻加工技术[M].北京:化学工业出版社,2005,95~97.
- [3] 李勇,苏世彦.超高压在速冻食品加工中的应用[J].食品与机械,2000(5):33~34.
- [4] 王子达,闫泽生,等.空气压力对食品冷冻速度的影响[J].制冷学报,1991(2):29~35.
- [5] 余小领,周光宏,等.肉品冷冻工艺及冻结方法

- [J].食品工业科技,2006,27(5):199~202.
- [6] 陈庆森.冰核活性菌体蛋白微冻保鲜虾体的应用研究[J].食品科学,2002,23(11):139~143.
- [7] 沈月新.食品冷冻冷藏新工艺.中国食品冷藏链新设备、新技术论坛论文集.
- [8] 尤瑜敏.冻结食品的解冻技术[J].食品科学,2001,22(8):87~90.
- [9] Mertens B. Development in high pressure food processing, ZFL-International ZFL-fuer Lebensmittel Technik-Marketing-Verpackung-und-Analytik,1993,44(3):100~104.
- [10] Mandava R. et al. Meat and meat products: use of high pressure treatment. Meat Focus Intern,1995,4:147~151.
- [11] Cheol-Goo Yun et al. Ohmic thawing of a frozen meat chunk. Food sci. & Tech,1998,30(4):842~847.
- [12] Jong-Kyung Lee et al. Rapid thawing of frozen pork by 915 MHz microwave. Food Sci. & Tech,1999,31(1):54~61.
- [13] 谢晶,等.食品在高压静电场中冻结的实验研究[J].食品科学,2000,21(11):14~18.
- [14] 方胜,李英杰,等.高压电场加速食品解冻的探讨[J].食品科学,1999,3:26~28.
- [15] 蔡志朋,沈昌斌.肉类解冻技术[J].肉类工业,2000,9:8~9.
- [16] 张绍志,陈光明,等.基于超声波的食品解冻技术研究[J].农业机械学报,2003,34(5):99~101.
- [17] 李建林,等.冻结肉类食品远红外辐射加热解冻的可行性研究[J].红外技术,1996,18(4):41~44.
- [18] 张芳,张俊杰.冻肉解冻技术发展综述[J].肉类工业,2005,4:7~10.
- [19] 潘治利,殷涌光.冻肉通电加热解冻的研究[J].食品与机械,2004,20(4):16~18.
- [20] 李修渠.高频波解冻新技术[J].肉类工业,2001,10:26~29.
- [21] 焦艳芬,李正英,等.冷冻羊腿几种解冻方法比较[J].农产品加工,2006,12:51~54.
- [22] 方胜,孙学兵,等.利用高压脉冲电场加速食物解冻的实验研究及其装置的研究[J].食品科学,2003,24(11):45~50.
- [23] 李修渠.食品解冻技术[J].食品科技,2002,2:27~30.
- [24] 周云霞.食品解冻新技术-非热技术[J].冷饮与速冻食品工业,2002,8(1):43~44.
- [25] 李志新,胡松青,等.食品冷冻理论和技术的进展[J].食品工业科技,2006,28(6):223~226.
- [26] 黄玉海.速冻食品的解冻质量及发展趋势[J].黄山学院学报,2005,7(3):98~99.