

文章编号:1673-1689(2008)03-0006-07

冷冻生鲜食品品质调控的研究进展

张 慤, 黄略略

(食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 冷冻保藏是一种应用最为广泛的生鲜食品保藏方法, 结合其它技术和不同的预处理方法不仅可以缩短冻藏时间, 而且可以提高解冻后的产品质量。作者综述了高压冻结、超声波冻结、玻璃态冻结新技术和冻藏过程中的冻藏参数、预处理过程对冻藏中生鲜食品品质的影响以及几种解冻技术的研究进展。

关键词: 生鲜食品; 冷冻过程; 冻藏过程; 解冻过程

中图分类号: TS 205.7

文献标识码: A

Research Progress of Controlling the Quality of Frozen Fresh Foods

ZHANG Min, HUANG Lue-lue

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Frozen storage is the most popular preservation method used in food industry. Combining freezing process with other techniques and pretreated methods not only reduces the freezing time, but also improves the quality of thawing foods. Effect of new frozen methods including pressure freezing, ultrasound freezing, glassy freezing and quality related parameters in frozen storage and pretreatment with cryoprotectant on quality of frozen fresh foods and some technology of thawing were discussed in this review.

Key words: fresh foods; freezing process; frozen storage; thawing process

由于自身不断地进行各种反应, 如化学反应、物理反应、酶促反应等, 生鲜食品的质量下降很快, 其货架期很短, 但是绝大多数消费者都喜欢购买生鲜食品, 最重要的一点是因为生鲜食品最具营养价值。新鲜的水果蔬菜受到人们的青睐首先是因为它们的低热量, 其次是它们的某些成分对人体有保健作用。抗氧化性是其中一种重要的作用^[1], 而任何的加工过程都会使抗氧化作用降低。

冷冻是维持生鲜食品质量的一种最普遍的方法, 目前, 由于生鲜食品消费量日益增大, 冷冻保藏

也就越来越广泛。另外, 对工业冷冻新鲜原料的要求也提高了, 冷冻产品的质量越来越受到人们关注^[2]。冷冻产品的质量受整个冷冻过程和冻藏过程中多种因素以及解冻过程的影响, 例如: 冷冻方法、预处理工艺、冷冻温度、冷冻速率、冻藏温度、冻藏时间、解冻方法等。

与慢冻相比, 速冻食品具有很多方面的优点, 所以生产中多采用速冻。但就原料来说, 应根据原料的特点和生产的目选择适合的冷冻方法, 质构太软就不适合用高压冻结, 含水量太高则难以实现

收稿日期: 2007-09-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目(20776062).

作者简介: 张 慤(1962-), 男, 浙江平湖人, 教授, 工学博士, 博士生导师, 主要从事农产品贮藏加工研究. Email: min@jiangnan.edu.cn.

玻璃态冻结。恰当的预处理工艺和选择合适的防冻剂可以大大提高冷冻产品的品质。对于肉制品的冷冻,因为含水量低的缘故,冷冻速率对其品质影响不大,因此生产中采用慢冻即可,而水果蔬菜水分含量大,速冻则显得非常重要,应以最快的时间通过最大冰晶生成带使果蔬冻结。冻藏温度在可实现的低温范围内一般越低越好,但应考虑成本。冷冻产品的质量一般随冻藏时间的延长而下降,因此,在确定的冻藏时间内应利用其它影响因素来提高冷冻产品的质量。

1 冷冻过程新技术研究进展

1.1 高压冻结

高压冻结在食品中的应用已经有 10 多年了,高压冻结是基于高压下的相变实现的,高压冻结分为压力助冷冻(PAF)和变压冷冻(PSF)。从 1992 年开始,有关 PAF 和 PSF 在食品体系中的研究,主要集中在这些技术对食品品质的影响。PAF 和 PSF 影响食品质构和颜色的变化被广泛研究,因为它们是冷冻食品可接受性的质量参数^[3]。在气体压力下冷冻(压力 0.3~10 MPa, -20~-25 ℃)使得随后进行热风干燥的水果、蔬菜和肉制品的质量和在 -20 ℃ 不加压冷冻的产品相比有了一定的提高。气体压力下的冷冻由于有微小的气泡被吸入产品组织中,从而对结构的危害和皱缩影响较小。压力冷冻水果组织较软,可不经融化直接食用。

有学者比较了 PSF 法与空气流冷冻法对豆腐质量的影响,豆腐的压力释放冷冻可以保持其原来的形状和质构且没有水分损失,这是由于 PSF 豆腐中形成的冰晶很小,而在气流冷冻系统中冰晶很大。比较 PSF 法与传统冷冻法对椰菜质构的影响,PSF 法形成的冰晶颗粒小且均匀,对细胞损害较小,汁液流失也比传统冷冻低约 4%,但色泽不如市售冷冻椰菜^[4]。而多叶类蔬菜在 PSF 下脆性丧失,出现软化现象,如卷心菜和白菜。比较 PSF 法(压力 200~280 MPa, 温度 -28~-20 ℃)和空气冷冻下马铃薯的质量变化。结果表明,与空气冷冻相比,所有的 PSF 处理都使马铃薯的质构得到了提高,但不同条件下提高的程度不同;颜色方面,空气冷冻测得的 L^* 值比 PSF 法下降得更明显,表明 PSF 法可以降低马铃薯的褐变^[5]。另外,对融化产生的汁液,各种 PSF 法之间无明显差异,但均小于气流冷冻和空气解冻下的值。有研究表明,在茄子冷冻中,PSF 法与气流冷冻相比,汁液体积减少了 20%。

在对胡萝卜^[6]和草莓^[7]的 HPSF 研究中,单独应用 HPSF 不能减少组织损害和质构下降。HPSF 对胡萝卜硬度的保持只稍高于慢冻处理,但结合预处理质量分数 0.5% 的 CaCl_2 浸泡,然后 60 ℃ 热处理 30 min 或 300 MPa 高压处理 5 min 后,PSF 可显著提高胡萝卜的硬度且减少组织损害^[6]。预先用 100 U/mL 的果胶甲酯酶和 0.5% 的 CaCl_2 对草莓进行真空浸渍,然后 HPSF 33 min,可最大程度保持草莓的硬度^[7]。由此可知,高压冻结虽然有其自身的优点,但从工业化角度,应用于不同产品时应考虑结合其它的处理方法来获得维持冷冻食品的质量的最佳工艺条件,这样才能更好的满足消费者对冷冻产品的质量要求。

Levy 研究比较了 PSF 法(207 MPa, -18 ℃)与传统冷冻方法及 PAF(100 MPa, -9 ℃)对水-油乳状液的影响,结果 PSF 有更高的过冷点且产生了更多的晶核。此外,PSF 法没有改变油滴的分散体积。因此,当要求大片食品产生均匀的冰晶时,PSF 是很适合的方法。但通过 PSF 对龙虾的冷冻可知,虾仁明显变硬,这是由于高压导致了蛋白质的变性。虽然酶对高压的耐受力随来源不同而不同,但似乎酶尤其耐高压。在 0 ℃ 和 -20 ℃ 下,对各种与冷冻品质有关的酶进行 100、200、300 MPa 的高压处理,结果显示,0 ℃ 时,3 种高压条件都不会影响酶活;-20 ℃ 时 3 种高压处理 10 min 对果胶甲酯酶的活性无明显影响。100 MPa 处理 10 min,多聚半乳糖醛酸酶的活性降低了 76.6%;脂肪氧化酶的活性随压力的升高而下降,300 MPa 时其活性降低了 90.4%;300 MPa 下,过氧化物酶和多酚氧化酶分别失活 41.4% 和 36.0%^[8]。

1.2 超声波冻结

超声波在食品中的应用越来越广,它分为两类:MHz 级的高频低能诊断超声波和低频高频超声波。前者一般用于非破坏性的食品检测,但后者在食品中的应用相对较新。已证实超声波在很多领域都有潜在的发展,例如:结晶、干燥、提取、过滤、均质、杀菌等^[9]。在冷冻食品体系中,一个基本构成是冰晶分布于未冻结的水相中,频率在 20~100 kHz 的超声波能可以影响冻结过程冰晶的形成。在超声波能的影响下,产生小气泡,从而缩短了从开始结晶到完全形成冰的时间,也就减小了细胞损害^[10]。声波能通过水相传播,如果它的振幅超过某一特定值,可引起气穴现象的发生,这些孔穴作为冰晶成长的晶核或者破坏已形成的晶核。有学者研究发现,将大约 3 s 的超声波脉冲应用于冷冻的

蔗糖溶液,每30 s一次,持续10 min,冰结晶破裂导致了冰晶体大小减小。用超声波处理过的蔗糖溶液,在其冷冻过程中,质量分数32%的水形成了50 μm 以上的冰晶,而没有用超声波处理过的蔗糖溶液中有77%的水形成了50 μm 以上的冰晶,因此超声波可应用于加速冰核形成。

有学者研究超声波冷冻对马铃薯的超微结构的影响,用25 kHz的超声波处理马铃薯块,然后在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷冻,与不用超声波处理的有着明显不同的超微结构。15.85 W的超声波能处理马铃薯,细胞壁没有被破坏,结构保持了最大程度的完整,这表明无论是细胞内、细胞外或是细胞壁上形成的冰晶都非常小。超声波能为7.34 W时,马铃薯细胞壁明显分离;超声波能为25.89 W时,马铃薯细胞内外同时形成冰晶,但胞外更显著。比较而言,应用15.85 W的超声波能,可显著提高冷冻马铃薯的质量^[10]。和其它方法相比,超声波具有3个方面的优点:第一,它的效率很高,一或两个脉冲就能达到要求;第二,可以改变液体的最初成核温度;第三,它不直接和食品接触^[9]。因此,超声波能已被研究用于辅助和加速冷冻过程。

1.3 玻璃态冻结

目前,对于玻璃态温度下冻藏食品的研究越来越受到关注。因为果蔬中的含水量很高,所以不能实现完全的玻璃化,此时玻璃态转化温度用 T_g' 表示。纯水的 T_g 约为 $-135\text{ }^{\circ}\text{C}$,而果蔬中高的含水量使得 T_g' 很低,液态冷却是否形成玻璃态,主要取决于动力学因素,冷却速率足够快,温度足够低,都可以形成玻璃态。例如草莓汁液的 T_g' 为 $-42.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,要想在如此低的温度下实现玻璃态冻结,成本会相当的大,因此如何提高 T_g' 成了玻璃态冻结食品的最大问题。加入多糖类物质可以提高 T_g' ,如草莓冻结前先放入多糖溶液中浸泡,使 T_g' 增大,容易实现。李淑媛等在猕猴桃中加入麦芽糖,使其可溶性固形物质量分数达20%左右,DSC测量结果显示,加入麦芽糖后其玻璃态转变温度从原来的 $-36.818\text{ }^{\circ}\text{C}$ 变为 $-31.345\text{ }^{\circ}\text{C}$,比不加麦芽糖的新鲜猕猴桃提高了 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,提高效果明显^[11]。D. Torregginani等人做了大量的研究,他们在草莓汁中添加了不同的可溶性糖,结果发现添加麦芽糖可以将草莓的 T_g' 提高近 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[12]。虽然如此,但 T_g' 和 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相比仍然有差距,若能寻求一种方法可将 T_g' 提高到 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或接近 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$,将给实际应用过程带来巨大的经济效益。

万方数据

2 冻藏过程研究进展

2.1 冻藏过程参数对品质影响的研究进展

食品冷冻之后需要在低温下贮藏,即冻藏,最普遍使用的冻藏温度是 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于冻藏期温度波动,会导致食品中冰结晶的成长,小的冰晶逐渐消失,大的冰晶越来越大,从而加大了细胞的机械损伤,蛋白质变性和汁液流失^[13]。因此,应该严格控制冻藏过程中的温度,避免温度波动过大。

在冷冻过程中,还应关注低温对冷冻食品的品质影响,对于果蔬而言,VC和花青素可作为冻藏后果蔬产品的质量指标。在不同的贮藏温度下(-5 、 -12 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$),冷冻椰菜、菠菜、柠檬汁和草莓中的VC都显著下降,在 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏一个月,VC的残留量接近0%。对冷冻草莓汁中花青素的研究结果表明,在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏3个月和8个月后,花青素质量分数分别下降了68.8%和69.7%;草莓在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏7个月,颜色有了明显的改善但花青素的总量并无不同;在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏6个月,草莓中花青素质量分数下降了11%~27.5%^[2]。由此可见,温度是影响花青素抗氧化能力的一个主要因素。

在对草莓的冷冻研究中,冻藏时间对草莓中VC质量分数的影响也非常显著,比较在某个冻藏温度下的平均VC质量分数,在 -12 、 -18 、 $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下VC分别下降64.5%、10.7%、8.9%。冻藏时间对花青素质量分数也有显著影响,在 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中,花青素质量分数下降了40.2%;在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,花青素质量分数在前15 d下降了34.3%;另外,在 $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,在前15 d花青素质量分数也出现了明显下降,降了17.6%。

冷冻方法对VC的影响,在上述3种冻藏温度下,慢冻和速冻中VC的质量分数没有显著差异,但这个结果与有些学者的研究结果相反,曾有报道说VC在速冻中下降程度比慢冻中的低,这可能是由于使用的草莓种类不同。花青素含量在慢冻和速冻中的3种温度下都有显著差异,可能是由于在速冻中花青素发生了复位(replacement)。

2.2 预处理对冻藏过程品质影响的研究进展

李淑媛等研究了冷冻甘薯片的护色工艺^[14]。冷冻甘薯片的褐变与多酚氧化酶的活性呈正相关性,护色剂可抑制酚类物质的氧化反应。比较漂烫后几种护色剂对甘薯片L值的影响,从结果可知,L-半胱氨酸作为护色剂的冷冻甘薯L值最大,说明其褐变程度小,且L-半胱氨酸在质量浓度比较低的情况下能明显抑制多酚氧化酶。其它几种护色剂

中,亚硫酸钠和柠檬酸效果较好,EDTA 和抗坏血酸效果最差,但 L 值随其质量浓度的升高有所上升。除此之外,还研究了美拉德反应产物(MRPs)对冷冻甘薯片褐变的抑制作用^[15]。氨基酸与葡萄糖在不同的反应条件下所形成的 MRPs 对甘薯中多酚氧化酶的抑制作用不同。正交实验结果表明,pH 值 3.0, L -半胱氨酸、氨基酸与葡萄糖的质量比为 1:2,反应时间 5 h 是护色效果最好的美拉德反应产物制备条件。

有人研究了用盐酸控制冷冻荔枝的褐变,用质量分数 1% 的盐酸处理荔枝,在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏 12 个月,分别在解冻 0、6、12 h 后评价其质量,指标包括色泽、口感、花青素浓度、多酚氧化酶活性以及总可溶固形物、可滴定酸度和 VC 浓度。荔枝在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冻藏 12 个月后,褐变指数达 4.6,另外,当在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 融化时,荔枝迅速褐变;用 1% 的盐酸处理 6 min 可抑制褐变,处理过的荔枝融化时仍保持红色,并且可在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下维持 12 h 不变色^[1]。口感方面,用 1% 的盐酸处理过的荔枝口感高于未处理过的样品,但两者并无显著差异。用 1% 的盐酸处理 6 min 可显著抑制 PPO 的活性,且处理过的荔枝中花青素含量更高,这表明了荔枝皮的褐变可能是由于花青素与 PPO 反应的结果。用 1% 盐酸处理的荔枝中 VC 质量分数高于未处理过的样品,可能是由于氧化活性降低的缘故。

E. K. Dermesonlouoglou 等人研究了渗透脱水作为冷冻番茄的冷冻预处理^[16]。选择了 4 种渗透剂:葡萄糖、高 DE 值的麦芽糊精、低聚果糖和海藻糖。海藻糖是一种非还原性二糖,它热量低,甜味低,甜度仅为蔗糖的 45%,它的性质很稳定,能够在有害的环境中保护生物细胞^[17]。最近研究发现,海藻糖对酶的热失活有保护作用,外源性的同样有保护作用,这种作用与它的高水合体积有关^[18]。比较经过预处理的番茄和直接冷冻的番茄在 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏 3 个月、6 个月和 12 个月之后颜色、VC 质量分数和质构的不同。用质量分数 56.5% 的葡萄糖、高 DE 值的麦芽糊精、低聚果糖以及低聚果糖/海藻糖混合溶液进行预处理,然后在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻藏 12 个月,番茄的 VC 保留率分别为 81%、66%、77% 和 88%。未经预处理的 VC 保留率为 44%,冷冻前进行漂烫的番茄 VC 保留率为 58%。冻藏于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下番茄片的 VC 质量分数和感官质量都高于 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的番茄^[16]。

Vanessa Losada 等人比较了冰泥和冰片对沙丁鱼冷冻预处理作用的不同^[19]。将沙丁鱼先贮藏于

冰泥中 2、5、9 d,然后在 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下冷冻 24 h,再冻藏在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下 1 个月、2 个月和 4 个月,最后分别进行感官分析和生化分析。冰泥由体积分数 40% 的冰和 60% 的过滤海水组成,温度为 $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于冰片预冷,在不同的冻藏期内 NaCl 无显著差异,但在冰泥预冷中,NaCl 的质量分数随预冷时间的延长而显著增加,预冷 5~9 d,NaCl 的质量分数明显高于冰片预冷的结果。比较两种预处理对脂氧化的影响:冰泥预冷 2 d 和 5 d 且冻藏 1 个月的沙丁鱼,其过氧化物值明显低于冰片预冷的,但是冰泥预冷 5 d,冻藏 4 个月的沙丁鱼过氧化物值又高于冰片预冷;TBARS 随预冷时间和冻藏时间的增加而增加。比较可知,冰泥预冷 5 d 或 9 d,冻藏 4 个月,TBARS 明显少于冰片预冷的;沙丁鱼在预冷 9 d,冻藏 4 个月后,冰泥预冷的荧光比率值明显小于冰片预冷的,说明冰泥预冷限制了脂的氧化和化合物之间的相互反应。感官评价表明,冰泥预冷代替冰片预冷可以延长冷冻沙丁鱼的货架期。

乳酸钠没有甜味且热量低,作为一种安全的添加剂。目前可用作乳化剂、增味剂、保湿剂等。研究海藻糖和乳酸钠对冻藏中鱼糜的防冻作用,用质量分数 8% 的海藻糖、质量分数 8% 的乳酸钠和商业中普遍使用的混合糖液(质量分数 4% 的蔗糖和质量分数 4% 的山梨醇)防冻剂作比较^[20]。在冻藏的前 9 周,加海藻糖和乳酸钠的样品中盐可溶蛋白(SEP)含量高于加混合糖液的样品;在 24 周的冻藏过程中,加海藻糖的样品有着很高的巯基含量;没有防冻剂的鱼糜凝胶的变形随冻藏时间的增加而不断下降,含防冻剂的鱼糜凝胶下降的程度很低。SEP 的下降是蛋白质变性的重要指示,巯基基团是蛋白质中最具反应活性的功能基团,冻藏中鱼糜凝胶形成能力的下降和通过蛋白链聚集产生的肌动蛋白变性有关。质量分数 8% 的海藻糖和乳酸钠可以有效抑制鱼糜中的蛋白质变性,又因为两者甜度较低,因此都可用作低甜味低卡路里的鱼糜防冻剂。

还可以通过改进预处理工艺来提高冻藏果蔬的品质。Piotr Gebczynaky 等人研究了传统漂烫工艺和预烹饪工艺对椰菜中抗氧化物含量的影响^[21]。传统法为 $96\sim 98\text{ }^{\circ}\text{C}$ 漂烫 3 min,而新方法是将菠菜放入盐质量分数 2% 的沸水中煮制 5 min,然后在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下分别冻藏 4 个月、8 个月和 12 个月。在此期间,总抗氧化活性逐渐降低,12 个月后,新工艺处理的椰菜含质量分数 29%~33% 的 VC,54%~66% 的多酚,80%~97% 的胡萝卜素,69%

~80%的 β -胡萝卜素,抗氧化值活性为原来的 29%~35%,新工艺处理的椰菜抗氧化值稍高于传统漂烫工艺的。冻藏于-30℃条件下的椰菜的抗氧化值明显高于-20℃条件下的。

比较只使用 ZnCl_2 和结合糖处理对冷冻猕猴桃块品质的影响。 ZnCl_2 溶液在质量浓度 223 mg/L 时达到最佳护色效果,结合真空渗糖后,护色剂对色差 $-a$ 值的贡献不大,对 VC 保留率的影响也不是很大。但真空渗糖与不渗糖相比,色差 $-a$ 值提高了一倍左右,VC 保留率也从不渗糖时的 0.8683%提高到了 1.1966%,提高效果显著^[11]。

2.3 冻藏安全性

冷冻之所以保鲜果蔬,很重要的一点是冷冻可抑制微生物的生长活动,还能促使微生物死亡^[22]。但是一些有害的病原菌对低温的耐受力很强,如果在食品冻融过程中杀死有害的病原菌,将对人体健康非常有利。进一步研究压力响应的遗传学以及压力响应与冻融敏感性之间的关系,也许会提高病原菌对冷冻的敏感性^[23]。但冷冻食品的安全性不只和冷冻过程相关,在冻结之前就应把好原料关,对原料进行适当的预处理以保证食品的安全性。

3 解冻技术研究进展

不管冷冻过程如何完善,消费者关心的始终是解冻后的产品质量,如何解冻才能是最终的产品品质有所保证,这是一个很重要的问题。由于冻结过程与长期的冻结贮藏对食品的影响,不论用什么方法解冻食品,食品的质量都不可能完全恢复到冷冻前的水平^[24]。但这决不意味着解冻方法对食品解冻后的质量无关。相反,解冻方法是否适当,与解冻后食品的质量有密切关系。

3.1 高压解冻

虽然人们对高压解冻关注较少,但一些研究也表明高压融化可以维持食品的品质且减少解冻时间。和常压解冻相比,高压解冻可以有效地提高冷冻豆腐的质构^[25]。高压融化可减少其汁液流失,表明高压快速解冻可提高肉类和鱼类产品的持水性^[7]。高压解冻也可用于质构较硬的果蔬解冻,如马铃薯,高压可减少汁液流失,但 PSF(240 MPa)结合 PIF(290 MPa)会使马铃薯褐变程度更深^[26]。但对于质构较弱的水果,如草莓,高压解冻后的硬度不及室温解冻,因此并不适合用高压解冻^[7]。对颜色和渗透力都没有不利影响。压力水平和处理时间影响融化速率和产品质量,而产品的性质,例如体积和初温,则不会影响解冻速率,表明高压解冻

对于融化大体积的产品是非常有利的。

高压解冻的应用限制主要是成本过高,且高压会导致蛋白质的变性和肉的褪色,从而使肉制品组织结构变硬。如何解决这一问题成了应用此法的关键。

3.2 微波解冻

微波可以穿透食品内部一定的深度加热,从而可以加速融化过程,微波融化只需很短的时间和很小的空间,并可减少汁液流失,减少微生物和化学制剂的损害。微波解冻的融化速率取决于原料的性质和尺寸大小以及电磁辐射的频率^[24]。但是,局部过热限制了微波解冻在食品中的应用,加适量的盐可以提高微波解冻的均匀性,但这也仅限于肉制品中使用,而不能用于水果蔬菜中,否则会对口感产生不良影响。

3.3 远红外解冻

物质吸收红外线以后,产生自发的热效应。食品中的很多成分在 3~10 μm 的远红外区有强烈的吸收,因此,远红外线已较多地应用于冷冻食品的快速解冻中。用 300 W 的远红外线发射装置对块状食品进行解冻,结果表明,块状冷冻食品的中心温度快速上升,并且表面温度与中心温度能始终保持在大致相同的水平,所以远红外适宜用于冷冻食品的快速解冻^[22]。

3.4 欧姆解冻

在食品工业中,欧姆加热对颗粒状食品的杀菌作用曾受到过广泛关注,但目前已不再被研究。与微波加热相比,欧姆加热效率更高,几乎所有的能量都作为热量进入了食品中且没有穿透深度的限制。使用这种方法,冷冻食品可在-3~3℃下快速融化。另外,研究表明,欧姆解冻可以防止冷冻胡萝卜的汁液流失,细胞损伤及软化。频率改变对解冻时间没有显著影响。另外,当用低压解冻时,样品汁液流失很少,且可提高样品的持水能力^[27]。欧姆加热法解冻食品可使食品具有较高的质量,因此此法广泛应用于实际生产中。

3.5 声能解冻

50 多年前就开始研究声能解冻食品了,但它的一些负面作用限制了它的发展。如:穿透能力差,局部过热以及能量要求高。和仅使用传导加热相比,此法解冻速率较高。实验证明,使用 1 500 Hz、60 W 的声能对鲑鱼进行解冻比浸水解冻所需的时间减少了 71%。另外,约 500 kHz 的超声波可用于解冻鱼和肉^[24]。因此,若选择恰当的频率和能量,声能解冻仍然是一种有前景的解冻方法。

4 结 语

低温冷冻不仅能抑制微生物和酶的活动,而且与其它保藏方法相比,能更好地保持食品的外观、风味和营养价值,尤其是与其它方法联合使用,极大地保存了产品的感官和营养特性并且延长了产品的货架期。冷冻产品的质量和原料、冷冻方法、冻藏过程参数和预处理以及解冻的方法密切相关。就目前本领域的今后研究方向建议如下:

1)就高压冷冻来说,在压力释放之后,冷冻必须在压力容器内部完成,但在这里很难将潜在的结晶热有效地带走,在这个阶段,可通过将样品从压力容器移出,再用一种更有效的冷冻方法完成冷冻过程来减少相变时间,在这个理论下,应开发新的压力设备以便将这项新技术应用于实际生产中。另外,将高压与恰当的预处理结合应用也成为提高

冷冻产品质量的趋势。

2)目前对于超声波冷冻过程报道较少,超声波冷冻具有很多优点,对于不同的产品,应根据实际情况确定最适的超声波能,另外超声波处理对食品有无副作用也需要进行研究。

3)结合预处理以提高冷冻食品品质的冷冻过程已被广泛研究,除此之外,对冷冻过程进行监控,如用超声波监控冷冻过程也成为了冷冻研究的一个新方向。

4)冻藏条件与冷冻工艺密切相关,改进冷冻工艺可以使冷冻食品在相对较高的温度下贮藏,从而大大节省生产成本。

5)应根据产品的性质选择合适的解冻方法,此外建立合适的解冻模型,如利用高压驱动的空气冲击技术建立的二维模型,可以更好的控制食品解冻后的质量。

参考文献(References):

- [1] Yue ming Jiang, Yuebiao Li. Browning control, shelf life extension and quality maintenance of frozen litchi fruit by hydrochloric acid[J]. **Journal of Food Engineering**, 2004, 63:147-151.
- [2] Mohammad Ali Sahari, Mohsen Boostani F. Effect of low temperature on the ascorbic acid content and quality characteristics of frozen strawberry[J]. **Food Chemistry**, 2004, 86:357-363.
- [3] LeBail A, Chevalier D, Mussa D M. High pressure freezing and thawing of foods: a review[J]. **International Journal of Refrigeration**, 2002, 25:504-513.
- [4] Pedro Pablo Fernandez, Guadalupe Prieto, Laura Otero, Pedro D. Sanz. Assessment of cell damage in high-pressure-shift frozen broccoli: comparison with market samples[J]. **European Food Research and Technology**, 2006, 224:101-107.
- [5] G Urrutia-Benet, Balogh T, Schneider J, et al. Metastable phases during high-pressure-low temperature processing of potatoes and their impact on quality-related parameters[J]. **Journal of Food Engineering**, 2007, 78:375-389.
- [6] S Van Buggenhout, Lille M, Messagie I, et al. Impact of pretreatment and freezing conditions on the microstructure of frozen carrots: Quantification and relation to texture loss[J]. **European Food Research and Technology**, 2006, 222:543-553.
- [7] S Van Buggenhout, Messagie I, Maes V, et al. Minimizing texture loss of frozen strawberries: effect of infusion with pectinmethylesterase and calcium combined with different freezing conditions and effect of subsequent storage/thawing conditions[J]. **European Food Research and Technology**, 2006, 223:395-404.
- [8] Sandy Van Buggenhout, Inge Messagie, Iesl Van der Plancken. Influence of high-pressure low-temperature treatments on fruit and vegetable quality related enzymes[J]. **European Food Research and Technology**, 2006, 223:475-485.
- [9] Zheng Li yun, Sun Da-Wen. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes-a review[J]. **Trends in Food Science & Technology**, 2006, 17:16-23.
- [10] Sun Da-Wen, Li Bing. Microstructure change of potato tissues frozen by ultrasound-assisted immersion freezing[J]. **Journal of Food Engineering**, 2003, 57:337-345.
- [11] 李淑媛,张慤.糖处理对冷冻猕猴桃块品质的影响[J].食品与生物技术学报.2005,24(4):81-96.
LI Shu-yuan, ZHANG Min. The Effect of sugartreatment on frozen kiwifruit slices' quality[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2005, 24(4):81-96. (in Chinese)
- [12] 赵黎明. DSC和脉冲NMR研究食品的玻璃化转变温度[J].食品科技, 2001(1):14-161.
ZHAO Li-ming. The application of DSC and pulse NMR in studying the glassy and glass transition temperature of food[J]. **Food Science and Technology**, 2001(1):14-16. (in Chinese)
- [13] 赵丽芹.园艺产品贮藏加工学[M].北京:中国轻工业出版社, 2001.

- [14] 李淑媛,张懋.美拉德反应产物抑制冷冻甘薯片的褐变[J].食品与生物技术学报,2006,25(3):46-51.
LI Shu-yuan, ZHANG Min. Maillard reaction products(MRPS) inhibit browning of frozen sweet potato slices[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2006,25(3):46-51. (in Chinese)
- [15] 李淑媛,张懋,王亚楠.冷冻甘薯片的护色工艺[J].食品与生物技术学报,2005,24(2):55-59.
LI Shu-yuan, ZHANG Min, WANG Ya-nan. Studies on color-protecting of frozen sweet potato slices[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2005,24(2):55-59. (in Chinese)
- [16] Dermesonlouglou E K, Giannakourou M C, Taoukis P. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005,78: 272-280.
- [17] 蒙健宗,赵文报.海藻糖的性质及其在新型食品开发中的应用[J].食品科学,2005,26(6):281-283.
MENG Jian-zong, ZHAO Wen-bao. Properties and applications of trehalose in new food development[J]. *Food Science*, 2005,26(6):281-283. (in Chinese)
- [18] Richards A B, Krakowka S, Dexter L B, et al. Trehalose: a review of properties, history of use and human tolerance, and results of multiple safety studies[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2002, 40:871-898.
- [19] Vanesa Losada, Jorge Barros-Velazquez, Santiago P. Rancidity development in frozen pelagic fish influence of slurry ice as preliminary chilling treatment[J]. *LWT Food Science and Technology*, 2007,40(6):991-999.
- [20] Ai mei Zhou, Soottawat Benjakul, Ke Pan. Cryoprotective effects of trehalose and sodium lactate on tilapia (*Sarotherodon nilotica*) surimi during frozen storage[J]. *Food Chemistry*, 2006, 96:96-103.
- [21] Piotr Gebczynaky, Zofia Lisiewska. Comparison of the level of selected antioxidative compounds in frozen broccoli produced using traditional and modified methods[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2006,7: 239-245.
- [22] 高福成.现代食品工程高新技术[M].北京:中国轻工业出版社,1997.
- [23] Douglas L Archer. Freezing: an underutilized food safety technology? [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004,90:127-138.
- [24] Li Bing, Sun Da-Wen. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods a review[J]. *Journal of Food Engineering*, 2002, 54:175-182.
- [25] Michiko, Fuchigami, Noriko ogawa. Trehalose and hydrosatic pressure effects on the structure and sensory properties of frozen tofu[J]. *Food Science & Emerging Technologies*, 2002, 3(2): 139-147.
- [26] Urrutia Benet G, Chapleau N, Lille M, et al. Quality related aspects of high pressure low temperature processed whole potatoes[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2006(7):32-39.
- [27] yun Cheol-Goo. Ohmic thawing of a frozen meat chunk[J]. *Food science and technology*, 1998, 30(4): 842-847.

(责任编辑:朱明)

《食品与生物技术学报》2008 年征稿征订启事

《食品与生物技术学报》(双月刊)是教育部主管、江南大学主办的有关食品、生物工程及其相关研究的专业性学术期刊,为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国期刊方阵双效期刊,目前被美国化学文摘(CA)等国内外 10 余家著名检索系统收录。主要刊发食品科学与工程,食品营养学,粮食、油脂及植物蛋白工程,制糖工程,农产品及水产品加工与贮藏,动物营养与饲料工程,微生物发酵,生物制药工程,环境生物技术等专业最新科研成果(新理论、新方法、新技术)的学术论文,以及反映学科前沿研究动态的高质量综述文章等,供相关领域的高等院校、科研院所、企事业单位的教学、科研等专业技术人员、专业管理人员以及有关院校师生阅读,热忱欢迎广大读者订阅。

《食品与生物技术学报》为 A4(大 16K)开本,128 页,全年 6 期,每册定价 15.00 元,邮发代号:28-79,全国各地邮局均可订阅。

《食品与生物技术学报》编辑部