

# 肉制品食品抗冻剂的作用机制及其应用研究进展

王哲<sup>1,2</sup>, 王晓雯<sup>1,2</sup>, 张新笑<sup>1,2</sup>, 王灵娟<sup>1,2</sup>, 秦晓娟<sup>3</sup>, 徐为民<sup>1,2,3</sup>, 王道营<sup>1,2,\*</sup>, 邹烨<sup>1,2,\*</sup>  
(1.江苏省农业科学院农产品加工所, 江苏 南京 210014; 2.江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013;  
3.南京钦润生物科技有限公司, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 冷冻技术能够延长产品贮存期、降低长距离运输损耗, 并且使食品工业化成为可能。随着中国肉类预制菜市场的快速发展, 肉制品需要长时间冷冻运输贮存。然而, 目前肉制品冷冻技术仍面临冷冻期间易破损、品质下降、质构性能差、水分流失、口感降低等问题。食品抗冻剂种类多、来源广、成本低, 可以解决各类食品冷冻变性问题, 在冷冻肉制品品质改善方面发挥着极其重要的作用。因此, 食品抗冻剂的开发及应用直接关系到冷冻肉制品行业的发展。目前, 常用的食品抗冻剂主要有抗冻蛋白、磷酸盐、变性淀粉等, 它们通过不同的作用机制保护肉质品组分、减少冰晶破坏组织、增加保水性, 从而改善冷冻食品的品质。本文主要综述了目前食品中抗冻剂的种类、作用机制及应用现状, 旨在为肉质品抗冻剂广泛应用提供更多参考。

**关键词:** 抗冻剂; 冰晶; 应用; 品质改良

## Food Antifreeze Agents: Mechanism of Action and Application to Meat Products

WANG Zhe<sup>1,2</sup>, WANG Xiaowen<sup>1,2</sup>, ZHANG Xinxiao<sup>1,2</sup>, WANG Lingjuan<sup>1,2</sup>, QIN Xiaojuan<sup>3</sup>, XU Weimin<sup>1,2,3</sup>, WANG Daoying<sup>1,2,\*</sup>, ZOU Ye<sup>1,2,\*</sup>  
(1. Institute of Agricultural Products Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;  
2. School of Food and Engineering, Zhenjiang 212013, China;  
3. Nanjing Qinrun Biological Technology Co. Ltd., Nanjing 211100, China)

**Abstract:** Freezing technology extends the shelf life of products, reduces losses during long-distance transport, and makes it possible to industrialize food production. With the rapid growth of the prepared meat dish market in China, meat products need long-term cryogenic transportation and preservation. However, freezing technology faces some problems such as susceptibility to damage, quality decline, poor texture properties, water loss and taste deterioration during the freezing of meat products. Many kinds of food antifreeze agents are available now, which have a wide range of sources and low cost, and can solve the problem of freezing degeneration in various kinds of food. Therefore, food antifreeze agents play an extremely important role in improving the quality of frozen meat products. The development and application of food antifreeze agents are directly related to the development of the frozen meat industry. At present, the commonly used food antifreeze agents mainly include antifreeze protein, phosphate, and modified starch. Through different mechanisms of action, they can protect meat components, reduce ice crystal damage, increase water retention, and thus improve the quality of frozen food. In this paper, the types, mechanism of action and application of antifreeze agents in food are reviewed, aiming to provide more theoretical references for the wide application of antifreeze agents in meat products.

**Keywords:** antifreeze agent; ice crystals; application; quality improvement

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20231115-103

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2023) 11-0050-06

收稿时间: 2023-11-15

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-41); 江苏省农业科技自主创新资金项目 (CX (21) 2016); 江苏省重点研发计划 (现代农业) 项目 (BE2020301)

第一作者简介: 王哲 (1998—) (ORCID: 0009-0008-8507-3941), 男, 硕士研究生, 研究方向为畜禽产品加工与质量控制。

E-mail: 1478285101@qq.com

\*通信作者简介: 王道营 (1979—) (ORCID: 0000-0003-1776-5854), 男, 研究员, 博士, 研究方向为畜禽产品加工与质量控制。E-mail: wdy0373@aliyun.com

邹烨 (1986—) (ORCID: 0000-0002-2320-786X), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为畜禽产品加工与质量控制。E-mail: zouye@jaas.ac.cn

引文格式:

王哲, 王晓雯, 张新笑, 等. 肉制品食品抗冻剂的作用机制及其应用研究进展[J]. 肉类研究, 2023, 37(11): 50-55.

DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20231115-103. <http://www.rlyj.net.cn>

WANG Zhe, WANG Xiaowen, ZHANG Xinxiao, et al. Food antifreeze agents: mechanism of action and application to meat products[J]. Meat Research, 2023, 37(11): 50-55. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20231115-103.

<http://www.rlyj.net.cn>

冷冻是一种通过降低和保持温度, 以达到改善保鲜贮藏、运输特性的食品加工方式。随着食品冷冻行业快速发展和人们生活节奏加快, 消费者对食品的要求越来越严格, 不仅要求种类丰富, 同时更多地注重食品营养价值及品质。冷冻技术在食品贮存、运输、加工工业中起着很重要作用<sup>[1]</sup>。

冷冻肉制品在低温条件下, 会导致其中酶活性下降, 自由水的流动性、溶解性减弱, 致使肉质品中的各类生化反应速率减慢, 并使大部分微生物生长受到抑制, 最终达到延长食品保质期、改变其加工特性的目的。在冷冻条件下细胞内水分子会形成大量冰晶而造成体积膨胀, 使食材的细胞组织破裂, 因此在解冻时会出现“渗水现象”。大冰晶还会导致乳状液破乳、泡沫结构坍塌和凝胶结构破坏。同时冷冻过程中还会产生浓缩效应, 使得肉制品的颜色、气味和口感均出现比较大的变化<sup>[2]</sup>。

目前, 已有多种方法用于改善肉制品在冷冻时受到的损害, 如大幅降低冷冻温度、改进冷冻设备等<sup>[1]</sup>, 但存在成本高、操作复杂的缺点。而食品抗冻剂作为一种能有效、方便、快速提高食品生产、贮藏和运输全过程的添加剂, 是近几年国内外研究的热点。各类食品抗冻剂在面制品、肉制品、乳制品中有着广泛应用。本文总结了食品抗冻剂的研究进展, 并重点结合其在国内外肉制品冷冻中的应用情况, 以期对肉制品冷冻工艺发展指明新方向。

## 1 食品抗冻剂的种类及作用机制

### 1.1 糖类抗冻剂

糖类抗冻剂种类有很多, 包括单糖、寡糖、多糖、变性淀粉、胶体等, 但应用并不相同。有些糖类通过改变蛋白质中水分的状态和性质, 以防止水分子与蛋白质分离, 直接对蛋白质起到保护作用<sup>[3]</sup>; 有些通过乳化的方式影响冷冻食品内部结构。目前, 商业糖类抗冻剂主要为木薯变性淀粉为代表的多糖和海藻糖为代表的小分子糖。其特点都是具有较强的亲水性, 能与冷冻肉制品中的自由水相互作用, 从而降低肉制品冷冻后的失水率。

#### 1.1.1 木薯变性淀粉抗冻剂

木薯变性淀粉是一种以甘薯、玉米淀粉、马铃薯淀

粉等为原料, 经过化学、物理、酶法综合处理后, 得到的具有特定用途的衍生物<sup>[4]</sup>, 将其应用于肉制品中可以提高贮存质量和品质。木薯变性淀粉具有良好的吸水性, 促进自由水向结合水转化, 减少水分迁移<sup>[5]</sup>。并且良好的吸水性可以极大程度降低可冻结水含量, 进而抑制冰晶形成, 有效减少冷冻贮存期间造成的肉制品汁液流失、质构劣化等。李璐等<sup>[6]</sup>对不同木薯变性淀粉在芋圆制作中的应用效果展开研究, 发现木薯变性淀粉可提高芋圆的保水率、色泽度。当变性淀粉添加量为60%左右时, 芋圆的感官品质和冷藏稳定性达到最佳。此外, 超过50%的肉制品在制作中离不开淀粉。Zhang Fengliang等<sup>[7]</sup>通过对木薯变性淀粉在火腿肠制作工艺中的应用进行分析并得出结论, 木薯变性淀粉可以明显增加火腿肠产品黏聚性与弹性, 降低咀嚼性、硬度, 改善口感, 提高色泽和弹性<sup>[8]</sup>, 原因可能是木薯变性淀粉富含磷酸基团、羧甲基、羟丙基等具有较强极性的基团, 亲水能力得到大幅改善。这些基团的引入会增强分散体系稳定性, 因此有良好的持水性以及抗冻融性。但是通过查阅大量相关文献得出, 在冷冻食品中添加木薯变性淀粉后抗冻效果会出现先上升后下降的情况, 因此木薯变性淀粉的添加不宜过量<sup>[9]</sup>。

#### 1.1.2 海藻糖抗冻剂

海藻糖作为一种非还原性糖, 能够很好地保护食品大分子和组织结构。海藻糖化学性质非常稳定, 具有对抗多种有害刺激损伤、提高抗冻保水效果、持水能力和凝胶冻融稳定性的作用<sup>[10]</sup>。目前研究者对于海藻糖的抗冻机制还没有确定的结论, 较认可的有“水替代”“优先排阻”或“玻璃态”3种假说。“玻璃态”学说认为海藻糖在冷冻干燥条件下会包裹住相近的分子, 形成一种糖分玻璃体<sup>[10]</sup>。这种玻璃体会导致基质内的分子运动减少, 化学反应速率下降。尤其在低温条件下, 能够维持生物分子一定的生物结构。在肉制品冷冻过程中, 由于温度降低, 大部分水被冻结, 食品内部溶液黏度会升高, 形成玻璃态。而“水替代”与“优先排阻”学说认为海藻糖不是优先与食品中的蛋白质结构相互作用, 而是直接与水结合, 使它们从蛋白质中的溶剂化层脱离, 进而使蛋白质的体积和可移动性降低, 最终使蛋白质结构更加紧密、保持稳定。研究表明, 海藻糖主要作用机理不是与食品中的蛋白质直接结合, 也不是代替食品中

蛋白质表面的结合水,而是通过改变存在于蛋白质分子中的水分状态与性质,间接发挥作用<sup>[11]</sup>。在冷冻肉制品中添加海藻糖除了能降低冰点外,还可以改善食品色泽和风味<sup>[12]</sup>。任婷婷等<sup>[13]</sup>研究发现超声配合海藻糖的添加显著提高了冷冻干燥罗非鱼片复水率,抗拉伸阻力以及咀嚼性等质构特性均有不同程度增强。这是由于海藻糖具有一定程度的保鲜作用,在对食品玻璃态起到促进作用的同时,减少冰晶增长,进而减少冰晶对细胞造成机械损伤、剪切力、质构性质的影响等。商用海藻糖成本低、抗冻效果好,因此海藻糖是糖类抗冻剂中最具有前景的种类之一。

### 1.2 磷酸盐类抗冻剂

磷酸盐抗冻剂是食品中常用的保水剂,其能增加馅料保水能力、降低解冻后水分流失率。磷酸盐类抗冻剂常与抗冻效果更强的糖类抗冻剂复配使用,可产生明显的协同作用,极大程度提高抗冻效果<sup>[14]</sup>。磷酸盐抗冻剂有2个抗冻作用机制。首先,磷酸盐呈弱碱性,可以作为缓冲物质,对肉制品等食品在冷冻过程中产生的酸进行中和,进而保持食品原有的弹性和水分<sup>[15]</sup>。此外磷酸盐解离肌动球蛋白的能力可以使肉制品中的肌动球蛋白解离为肌动蛋白和肌球蛋白,肌球蛋白具有盐溶性,可以在肌原纤维中脱离后提高肉制品保水性,并且在这个过程中会产生一种具有流动性和黏度的胶体物质,增加肉制品的抗冻能力<sup>[16]</sup>。李振坤等<sup>[17]</sup>通过研究复合抗冻剂中磷酸盐对黄鳍棘鲷抗冻效果的影响,使用磷酸盐优化的复合抗冻剂浸泡黄鳍棘鲷与空白组同在一18℃下冻藏30 d后,其鱼肉蛋白质溶解度、鱼糜破断力和破断距离都更接近新鲜鱼糜。张小利<sup>[18]</sup>将虾仁浸泡在不同配比复合磷酸盐、海藻糖与山梨糖醇的抗冻剂中,测定虾仁冻融后的解冻损失率、水分含量及分布、持水力、盐溶性蛋白、总巯基含量、质构特性并观察微观结构变化以评价各抗冻剂的效果。结果表明,添加复合磷酸盐、海藻糖、山梨糖醇的复配抗冻剂可以显著提高虾仁与水的结合能力,较好地抑制冻融过程中冰晶对肌肉组织的破坏<sup>[12]</sup>。磷酸盐类抗冻剂具有调节食品冷冻时酸度的能力,而且使用方便、价格低廉,多应用于肉类冷冻保护。但是磷酸盐类抗冻剂对人体的影响还存在争议,磷酸盐能够对骨骼健康造成潜在危害<sup>[19]</sup>。磷酸盐能够影响钙的吸收和利用,从而影响骨骼健康。长期高剂量磷酸盐摄入可能导致骨质疏松和骨折等问题<sup>[16]</sup>。此外,磷酸盐还可能对肾脏健康产生负面影响。人体需要通过尿液排出多余的磷酸盐,但长期过量摄入会导致肾脏负担加重,可能导致肾结石和肾功能障碍等问题。

目前研究重点多放在降低磷酸盐类抗冻剂在冷冻肉制品添加时的危害和寻找磷酸盐类抗冻剂的替代品。

### 1.3 蛋白及其衍生物类抗冻剂

蛋白类抗冻剂分为抗冻蛋白和蛋白衍生物类抗冻剂。蛋白类抗冻剂是当今学术界研究的热点,此类抗冻剂具有生物活性,可作为碳水化合物类的替代品。

#### 1.3.1 抗冻蛋白抗冻剂

抗冻蛋白存在于不同生物体中,如植物、昆虫和鱼。抗冻蛋白避免了这些生物体中冰晶的形成,使它们能够在高寒地区生存。与其他抗冻剂相比,抗冻蛋白具有安全性高、资源丰富、抗冻特性突出等特点<sup>[20]</sup>。抗冻蛋白的作用机制是黏连在已经形成的冰晶上,进而抑制冰晶继续生长<sup>[21]</sup>。抗冻蛋白的性质是基于它们的热容量对晶体形态修改和对冰晶重结晶抑制<sup>[22]</sup>,改变冰晶生长行为,其中抑制冰晶重结晶最为重要。抗冻蛋白的作用机制目前还没有准确定论,有吸附抑制学说、偶极子-偶极子假说、氢原子结合模型、刚体能量学说、冰核抑制学说等<sup>[23-25]</sup>。科研人员普遍认同是基于吸附抑制理论,其详细说明了氢键和疏水键(残基)的具体作用和结构特征<sup>[26]</sup>。吸附抑制理论假说的特性是对冰晶进行一定修饰,从而降低冰点,以及通过大小冰晶所具有的生长方式,改变冰晶形成的形态,抑制水分重结晶<sup>[27]</sup>。抗冻蛋白在降低冷冻温度方面比任何其他已知的溶质分子有效500倍。当温度降低到一定程度时,冰结晶开始形成小的冰分子,由于范德华力、疏水相互作用及氢键作用,在冰核表面会吸附抗冻蛋白分子,抗冻蛋白分子会抑制冰晶分子的生长同时降低冰点,使冰晶不能聚集增大,称为冰的再结晶抑制。目前抗冻蛋白用于保持各种冷藏和冷冻食品质量,在动植物保护以及医学上都有广泛应用。目前已发现的抗冻蛋白分为5类,来自南极鱼科及北部鳕鱼体内<sup>[28]</sup>。抗冻蛋白虽然抗冻效果较好且安全性高,但抗冻蛋白天然来源较少,严重制约了其在食品行业中的广泛应用<sup>[29]</sup>。研究表明,抗冻蛋白的抗冻活性片段只存在于局部的特异多肽链结构域,其抗冻活性并不是整体蛋白质在起作用,因此通过特异性酶切位点水解,能够获得具有抗冻特性的多肽,这也极大弥补了抗冻蛋白资源不足的缺点,具有可控、高效的制备特点<sup>[30]</sup>。尽管体外、体内和人体研究表明抗冻蛋白无毒,但其安全性仍然是一个有争议的问题<sup>[31]</sup>,因此需要开展进一步研究以扩大对抗冻蛋白的认识,降低其大规模生产成本,并保证使用的安全性。

#### 1.3.2 蛋白衍生物类抗冻剂

蛋白衍生物是由蛋白质经特异型水解得到的蛋白水解产物,其中抗冻效果较好的又称为抗冻肽<sup>[32]</sup>。抗冻肽不同于抗冻蛋白,是一类将明胶用生物酶水解后,经抗冻活性检验、筛选、纯化得到的多肽物质<sup>[33]</sup>。另外经圆二色光谱研究发现,雪蚤抗冻蛋白的二级结构大部分呈现为无规卷曲,而明胶也同样含有大量无规卷曲,经水

解得到的多肽也大部分是无规卷曲的二级结构<sup>[34]</sup>。综合来看,抗冻肽的抗冻机制与抗冻蛋白相似具有一定科学依据。为得到较强抗冻作用的抗冻肽,研究人员以食源性蛋白质原料,通过特异性酶切位点水解,得到具有可控、显著抗冻效果的抗冻肽<sup>[35]</sup>。路晶<sup>[36]</sup>通过抗冻肽对生鲜肉冷冻保护作用的研究发现,抗冻肽可以有效减少猪肉肌原纤维蛋白在冷冻过程中的冷冻损伤,保持肌原纤维蛋白的完整性和稳定性。抗冻蛋白虽然符合低卡低糖的健康理念,却由于极少的产量和高昂的成本,使得其在食品工业中很难大量生产应用<sup>[37]</sup>。抗冻多肽取材自各种食用明胶及动物皮肤组织提取的明胶等,具有价格低廉、易获取及增加边角料等副产物的再利用。因此,它被研究者们认为是具有良好前景的新型抗冻剂。不同抗冻剂对比如表1所示。

表1 不同抗冻剂对比

Table 1 Comparison of different antifreeze agents

| 抗冻剂种类   | 原理                                              | 优点                 | 缺点                  | 适用范围             | 参考文献 |
|---------|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------|------|
| 糖类抗冻剂   | 改变食品中水的状态和性质,防止水分与蛋白质分离或者减少自由水的流动,形成新的结构,维持体系稳定 | 具有良好的保水、增稠与抗氧化效果   | 热量高、甜度大,不适用高血糖等人群   | 水产、面团、蔬菜         | [38] |
| 磷酸盐类抗冻剂 | 对食品体系的pH值、金属离子浓度等起到缓冲和螯合的作用,减少不良反应发生            | 增加食物结合水的含量,降低解冻损失率 | 添加过多有苦涩味,并会影响人体钙质吸收 | 水产、馅料            | [17] |
| 抗冻蛋白    | 黏连在已经形成的冰晶上,进而抑制冰晶增长                            | 抗冻效果好且安全性高         | 天然来源较少,难以大量应用       | 肉制品、面团、冰淇淋、水果、蔬菜 | [35] |

## 2 抗冻剂对肉制品中蛋白质性质与结构的影响

对于水产及肉制品而言,冻藏过程中常存在蛋白质变性问题。肉类蛋白质冷冻变性是指在冻藏过程中,肉类蛋白质因受到物理或化学因素的影响丧失分子内部原有高度规律性,引起空间结构变化,导致理化性质和生物学性质改变冷冻变性严重影响肉制品的风味、口感及持水性,造成肉类品质严重下降。

### 2.1 抗冻剂对肉制品盐溶性蛋白含量的影响

盐溶性蛋白又称肌原纤维蛋白,在肉制品冷冻时,由于氢键或疏水键的形成,以及二硫键和离子间相互作用引起蛋白质变性<sup>[39-42]</sup>,从而导致肌原纤维蛋白减少,其盐溶性下降,通常作为评价蛋白质变性程度的指标。Liu Chong等<sup>[43]</sup>研究发现,海鳗鱼糜中加入10%低聚糖冷冻7、14 d后,对照组和加低聚糖样本的盐溶性蛋白含量分别为35.5、47.8 mg/g和29.1、42.1 mg/g。这说明加入低聚糖对抑制鱼糜冷冻变性有较明显的效果。徐毓谦<sup>[44]</sup>在研究复合抗冻剂在冷冻调理牛肉制品中的应用发现,通过添加食品抗冻剂可以有效提高盐溶性蛋白溶解量和盐溶性蛋白凝胶保水性,并且可以有效减缓冷冻牛肉制品品质的劣变现象。现如今多采用低温速冻的方式对肉制

品处理,降低冷冻过程中盐溶性蛋白的流失,而添加食品抗冻剂与其相比有着方便、快捷、节约成本的优点。

### 2.2 抗冻剂对肉制品巯基含量的影响

巯基是蛋白质分子中最具有反应活性的基团。牛羊肉、海鲜中富含肌球蛋白分子,其中含有大量活性巯基<sup>[45]</sup>。低温冷冻的情况下,肌球蛋白分子结构发生变化可能导致其活性巯基暴露,进而氧化形成二硫键,巯基因氧化和聚集变性使其含量减少<sup>[46]</sup>。而添加食品抗冻剂后可较好地阻碍蛋白质构型发生变化,抑制巯基暴露,从而抑制二硫键形成。Lian Zeping等<sup>[47]</sup>发现,向红狗鲷鱼糜中同时加入藻酸盐和糖类抗冻剂进行复配,在-20℃贮藏17周后,其与对照组的巯基含量分别减少约15%和35%,表明加入抗冻剂可显著抑制巯基含量减少,提高鱼糜品质。

### 2.3 抗冻剂对肉制品表面疏水性的影响

表面疏水性是影响分子间相互作用的关键因素。在低温冷冻条件下,蛋白质可因变性而发生构型变化使原先位于蛋白质分子内部的疏水性氨基酸残基暴露,疏水性基团的降解会导致蛋白质表面疏水性增加。Herrera等<sup>[48]</sup>研究发现鱼糜中加入聚葡萄糖、拉克替醇、葡萄糖浆和蔗糖-山梨醇,减少肌动球蛋白表面疏水性残基暴露,使鱼糜蛋白表面疏水性降低,并通过鱼糜内部分子间疏水作用发生的聚集,改善冷冻鱼糜品质。

## 3 常见抗冻剂在冷冻肉制品中的应用

常见食品抗冻剂包括木薯变性淀粉、海藻糖、抗冻蛋白等。这些抗冻剂单独或复配使用在肉制品进行降温保鲜的过程中,能够保护细胞膜,让鲜度与营养在解冻后还原至原有的状况,进而起到冷冻保鲜的作用。

### 3.1 木薯变性淀粉的应用

在预制菜品热销的当下,新鲜肉类经过“蒸煮-冷冻-二次加热食用”会导致肉制品内部组织因冰晶增长而发生损伤,导致凝胶性能不足、产品质量下降。木薯变性淀粉因其廉价易得、支链基团占比高、在加热糊化时膨胀吸水、可极大提高冻融稳定性而广泛应用于冷冻工业中。预制菜肉品中添加木薯变性淀粉,会在加热过程中糊化膨胀填充因冰晶增长产生的缝隙进而减轻冰晶对细胞内部的损伤,并增加鲜肉组织交联程度<sup>[49]</sup>。木薯变性淀粉在冷冻肉中的应用不仅体现在抗冻上,还兼具增加色泽、提高弹性等。

### 3.2 海藻糖的应用

海藻糖温和爽口,还具有低龋齿性、矫味、保鲜等特性,使其在食品行业多个领域的应用都能获得良好效能。海藻糖添加于海鲜肉制品中,有利于防止脱水,防止蛋白质在冷冻、高温或干燥时变性<sup>[43]</sup>,且能非常有效

地保护蛋白质分子的天然结构,使其风味和质地保持不变。研究发现海藻糖可有效防止罗非鱼片在冷冻过程中发生蛋白质变性<sup>[20]</sup>、提高冷冻猪肉保水性及改善冷冻猪肉的品质<sup>[21]</sup>。山梨糖醇可提高发酵香肠保水性、改善肉糜品质<sup>[22-23]</sup>及抗蛋白冷冻变性<sup>[24]</sup>。柠檬酸钠可提高鱼糜及重组牛肉的保水性<sup>[25-26]</sup>。此外,新鲜的鱼在长时间冷冻贮藏时会因微生物腐败而产生三甲胺,且新鲜程度越低,产生的三甲胺越多。在冷冻运输前加入海藻糖,能显著抑制三甲胺生成、减少腥味产生、保持鱼口味新鲜。此外鸡肉等禽畜肉类的臊臭味主要成分也能被海藻糖所抑制<sup>[12]</sup>。

### 3.3 抗冻蛋白的应用

抗冻蛋白的研究虽然起步晚,但是其抗冻效果显著且绿色环保,一直是研究热点。根据抗冻蛋白的特点,近年来科学家将研究重点放在抗冻蛋白与基因工程研究上,运用DNA重组技术将控制合成抗冻蛋白的基因转移到目标中,并使之表达,得到的新品种具有很强的抗冻特性。目前发现的抗冻蛋白可以通过降低体系冰点、改变冰晶形态、抑制冰晶生长来防止低温胁迫对生物体造成伤害<sup>[50]</sup>。在低温冷链肉制品领域,如添加抗冻多肽的肉片、肉糜制品、海鲜等,在生产配方、加工、贮藏和分销等环节均可显著减小冰晶尺寸、重结晶和低温劣变,显著提高产品品质,延长产品货架期。

### 3.4 抗冻剂的应用前景

中国现在已经成为世界上最大的冷藏集装箱以及冷冻和冷藏食品进口国,相关研究院预测,未来10年我国冷冻肉制品食品行业仍将处于成长期,预计复合年增长率10%左右。冷冻保存运输技术给人们带来很多便利,其飞速发展之后也遇到瓶颈,而食品抗冻剂是突破这个瓶颈的关键。随着冷冻肉制品加工行业的蓬勃发展,食品抗冻剂的应用愈发广泛,除在传统肉制品中应用,食品抗冻剂在其他冷冻食品抗冻保护也有显著效果。

## 4 结 语

随着国家食品安全的政策支持与人们生活方式的改变,冷冻行业的发展对肉制品品质、营养和安全等方面有着极为重大的意义。食品抗冻剂因易获取、成本低、应用广、能够有效改变肉制品冷冻特性的优点而受到了研究者关注。尽管不同类别食品抗冻剂的作用机制以及应用种类不同,但无论畜禽还是海鲜,在使用食品抗冻剂后,肉制品组织细胞冻结后产生的冰晶均会较未添加抗冻剂时显著下降,缓解由于冰晶颗粒过大而造成的组织和细胞膜的机械损伤;同时,由于近些年来肉类预制菜市场的高速增长,冷链物流技术的快速发展,加上消费者对果蔬、肉制品以及海产等各个种类食品及其冷冻

产品需求量呈现出持续增长态势。传统食品抗冻剂的应用方式存在物料添加难以把握、不同种类应用范围单一、添加后难以保障抗冻剂在食品中分布均匀等问题。因此研究以抗冻蛋白、抗冻肽为代表的更加高效、安全的食品抗冻剂,对于提高我国装备制造和冷链物流竞争力和增加肉制品经济价值具有重要意义。将食品抗冻剂与新兴肉制品冷冻技术相结合,是今后科研人员重点探索的方向,食品抗冻剂在我国肉制品冷冻行业中必将会有广阔前景。

### 参考文献:

- [1] 王宁,李亮,毕凯媛,等.复合保水剂对冻藏大黄鱼持水性及质构特性的影响[J].食品工业科技,2018,39(9):228-232;238. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.09.040
- [2] 薛猛,仪淑敏,王崑,等.卡拉胶寡糖协同低温速冻对冷冻海鲈鱼品质的影响[C]//中国食品科学技术学会第十九届年会论文摘要集.合肥:中国食品科学技术学会,2022:2. DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.051133.
- [3] YANG S, JEONG S, LEE S Y. Elucidation of rheological properties and baking performance of frozen doughs under different thawing conditions[J]. Journal of Food Process Engineering, 2020, 284: 110084. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2020.110084.
- [4] WANG Z, MHASKE P, FARAHNAKY A, et al. Cassava starch: chemical modification and its impact on functional properties and digestibility, a review[J]. Food Hydrocolloid, 2022, 8: 129. DOI:10.1016/j.jfoodhyd.2022.1075542.
- [5] 胡艳灵,胡荣柳,高丹阳,等.不同木薯变性淀粉在保鲜湿面条中的应用研究[J].农产品加工,2020(9):17-19;23. DOI:10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2020.05.005.
- [6] 李璐,丁昊,霍栓,等.可得然胶与变性淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J].天津科技大学学报,2023,38(5):8-14. DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20220287.
- [7] ZHANG F L, LIANG Y, TAN C, et al. Research on the water-holding capacity of pork sausage with acetate cassava starch[J]. Starch Starke, 2014, 66(11/12): 1033-1040. DOI:10.1002/star.201400006.
- [8] LI M, WU Y, GUAN Z H. Effect of physical osmosis methods on quality of tilapia fillets processed by heat pump drying[J]. Polish Journal of Food & Nutrition Sciences, 2016, 67(2): 145-150. DOI:10.1515/pjfn-2016-0016.
- [9] BO P, LI Y Q, DING S Y, et al. Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by tea house[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 369-377. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.04.108.
- [10] NERI L, HERNANDO I, PEREZ-MUNUERA I, et al. Mechanical properties and microstructure of frozen carrots during storage as affected by blanching in water and sugar solutions[J]. Food Chemistry, 2014, 144: 65-73. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.07.123.
- [11] LI W, WANG H, YANG D L, et al. Effect of pectin oligosaccharide on quality control of quick-frozen pumpkin puree[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2021, 57(2): 1061-1073. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.07.123.
- [12] 王乃强,张艳君,薛雅莺,等.海藻糖的性质及应用[J].精细与专用化学品,2014,22(1):35-37. DOI:10.19482/j.cn11-3237.2014.01.012.
- [13] 任婷婷,关志强,李敏.超声波辅助渗透海藻糖提高冷冻干燥罗非鱼片品质的工艺优化[J].食品工业科技,2018,39(17):199-205;282. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.033.



- [14] 王宁, 李亮, 李敏, 等. 海藻糖、山梨糖醇、柠檬酸钠对大黄花鱼肌原蛋白抗冷冻变性的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 232-236; 246. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.044.
- [15] 李敏涵, 李洪军, 李少博, 等. 抗冻保护剂在肉品及水产品贮藏保鲜中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 294-301. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20191230-361.
- [16] 杨峰, 蔡友琼, 迟海. 复配保鲜剂对冻藏南极大磷虾品质变化及货架期的影响[J]. 湖南农业科学, 2020(10): 86-91. DOI:10.16498/j.cnki.hnnykx.2020.010.023.
- [17] 李振坤, 石林凡, 任中阳, 等. 复合抗冻剂中磷酸盐对黄鳍棘鲷抗冻效果的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 320-326. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2021060176.
- [18] 张小利. 磷酸化海藻糖的制备及对冷冻虾仁的品质保障作用研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021. DOI:10.27747/d.cnki.gzjhy.2020.000276.
- [19] 邵颖, 姚洁玉, 江杨阳, 等. 抗冻剂对鱼肉蛋白质冷冻变性的保护作用[J]. 食品科学, 2018, 39(7): 291-297. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201807043.
- [20] 张龙腾, 洪惠, 罗永康, 等. 鱼糜副产物酶解物对冻融鲢鱼鱼糜品质的影响[J]. 肉类研究, 2019, 33(10): 1-7. DOI:10.7506/rlyj1001-8123-20190509-102.
- [21] 葛宇, 袁勤生. 海藻糖对生物活性物质的保护作用机理研究进展[J]. 药物生物技术, 2002(5): 297-300. DOI:10.19526/j.cnki.1005-8915.2002.05.014.
- [22] ZHOU X L, ZHU H, ZHANG S Z, et al. Freeze-drying of human platelets: influence of intracellular trehalose and extracellular protectants[J]. 2006, 27(1): 43-50. DOI:10.37473/dac/10.1089/bio.2020.0167.
- [23] MURTHY L N, PHADKE G G, SIDDALAH V K, et al. Effect of frozen storage and cryoprotectants functional properties of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) fish[J]. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, 2017, 5(3): 1597-1606. DOI:10.1016/s0308-8146(01)00328-4.
- [24] 刘蒙佳, 周强, 戴玉梅, 等. 不同解冻方法及添加抗冻剂处理对冷冻海鲈鱼鱼片解冻品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 210-218. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023031.
- [25] HAWES TC. A root bond between ice and antifreeze protein[J]. Cryobiology, 2016, 73: 147-151. DOI:10.1016/j.cryobiol.2016.08.007.
- [26] 杜跃庭, 张楠, 张利绒, 等. 第一类鱼抗冻蛋白与天然气水合物吸附结合过程中局部结构变化研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2023, 54(3): 251-260. DOI:10.13484/j.nmgdxzbk.20230305.
- [27] PAN N, BAI X, KONG B H, et al. The dynamic change in the degradation and in vitro digestive properties of porcine myofibrillar protein during freezing storage[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 234: 123682. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2023.123682.
- [28] 张艳杰, 王金慧, 艾志录, 等. 植物源抗冻蛋白对面筋蛋白性质影响研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(9): 267-273; 279. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.028578.
- [29] ZHANG Y J, ZHANG H, DING X L, et al. Purification and identification of antifreeze protein from cold-acclimated oat (*Avena sativa* L) and the cryoprotective activities in ice cream[J]. Food Bioprocess Technology, 2016, 9: 1-10. DOI:10.1007/s11947-016-1750-x.
- [30] 赖先军, 张义正, 古英洪, 等. 转昆虫抗冻蛋白基因增强甘薯抗冻能力[J]. 植物学报, 2020, 55: 9-20. DOI:10.11983/CBB19133.
- [31] LIU M, LIANG Y, ZHANG H, et al. Production of a recombinant carrot antifreeze protein by *Pichia pastoris* GS115 and its cryoprotective effects on frozen dough properties and bread quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 96: 543-550. DOI:10.1016/j.lwt.2018.05.074.
- [32] 刘晓霞. 抗冻蛋白与冰晶不同晶面吸附结合的分子动力学模拟[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2021. DOI:10.27224/d.cnki.gnmdu.2021.001265.
- [33] 袁承志. 抗冻肽调控冷冻鱼糜品质变化的作用模式及其构效关系[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2022. DOI:10.26985/d.cnki.gcsjc.2022.000407.
- [34] BRO R, JAKOBSEN M. Exploring complex interactions in designed data using GEMANOVA. Color changes in fresh beef during storage[J]. Journal of Chemometrics, 2002, 16(6): 294-304. DOI:10.1002/cem.722.
- [35] 李炜男. 罗非鱼皮抗冻肽制备及其对鼠李糖乳杆菌ATCC7469抗冻保护机理研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021. DOI:10.27747/d.cnki.gzjhy.2021.000211.
- [36] 路晶. 猪皮明胶抗冻肽对生鲜肉冷冻保护作用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2023. DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2022.000729.
- [37] 马庆保. 南极磷虾抗冻蛋白的制备及理化特性[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020. DOI:10.27314/d.cnki.gsscu.2019.000008.
- [38] 徐世杰, 赵钟, 周辉, 等. 糖类食品抗冻剂研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 198-205. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2021.12.031.
- [39] 黄晓红. 抗冻剂结合包装方式对猪肉微冻贮藏过程中品质影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2022. DOI:10.27345/d.cnki.gsnyu.2022.000827.
- [40] 王超伟, 刘佳, 刘梅, 等. 不同解冻温度和湿度对冷冻牛肉品质的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 130-136. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.07.024.
- [41] 徐世杰. 小分子糖对猪肉冻藏品质的影响及机理探究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2023. DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2022.000728.
- [42] 陈清敏. 反复冻融牛肉品质变化评价技术的适用性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2021. DOI:10.27169/d.cnki.gwqgu.2020.001044.
- [43] LIU C, HONG J, ZHENG X. Effect of heat-moisture treatment on morphological, structural and functional characteristics of ball-milled wheat starches[J]. Starch Starke, 2017, 69: 5-6. DOI:10.1002/star.201500141.
- [44] 徐毓谦. 复合抗冻剂在冷冻调理牛肉制品中的应用[D]. 银川: 宁夏大学, 2022. DOI:10.27257/d.cnki.gnxhc.2021.000907.
- [45] 赵茜. 低温液态速冻对美国红鱼冻藏品质和肌原纤维蛋白冷冻变性的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2022. DOI:10.27190/d.cnki.gjzsc.2020.000773.
- [46] 杭瑜瑜, 齐丹, 张阳, 等. 聚葡萄糖对罗非鱼鱼糜肌原纤维蛋白冷冻保护作用及其机制[J]. 食品科技, 2023, 48(11): 144-150. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2023.11.040.
- [47] LIAN Z P, LEE CM, HUFNAGEL L. Physicochemical properties of frozen red hake (*Urophycis chuss*) mince as affected by cryoprotective ingredients[J]. Food Science, 2000, 65(7): 1117-1123. DOI:10.1111/j.1365-2621.2000.tb10249.x.
- [48] HERRERA JR, MACKIE IM. Cryoprotection of frozen-stored actomyosin of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by some sugars and polyols[J]. Food Chemistry, 2019, 84: 91-97. DOI:10.1016/s0308-8146(03)00178-x.
- [49] 王浩. 木薯变性淀粉在食品工业中的应用概述[J]. 现代食品, 2023, 29(2): 69-71. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2023.2.022.
- [50] 郭庭赫. 抗冻蛋白热滞活性的不可逆随机吸附抑制模型[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2022. DOI:10.27224/d.cnki.gnmdu.2022.001726.