



全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

水产品冷冻工艺学

● 冯志哲 主编

● 水产品加工 制冷专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

水产品冷冻工艺学

冯志哲 主编

11151/24

水产品加工 制冷专业用



398318

中国农业出版社

前 言

新鲜优质的水产品与人民健康有着非常密切的关系。随着我国水产业生产的迅速发展,以及对外贸易的需要,对保持水产品原有的风味和质量的要求越来越高,利用冷冻来保持水产品的品质在世界各国已极为广泛,并取得很好的效果。例如鱼类、虾蟹类、贝类等以及其它水产品的贮藏和运输,都要采用冷藏的方法。改革开放以来,我国水产冷冻加工业取得了长足的发展,制冷与冷藏专业技术人员正在迅速增加,迫切需要有关水产品冷冻工艺方面的理论和技术知识。但我国目前这方面的书籍较少,因此,我们编写了《水产品冷冻工艺学》一书,以适应冷冻专业技术人员和教学的实际需要。

本书由上海水产大学任主编,厦门水产学院杨积庆任副主编,参加编写者厦门水产学院刘年生。编写分工:绪论,第一至第五章由冯志哲编写,第六章至第十章由杨积庆和刘年生编写。

在编写过程中,我们广泛收集了国内外冷冻水产品生产技术方面的资料,对于水产品的理化性质和水产品的实际冷冻工艺,均作了详细的阐述,既有明确的理论数据,又有较完整的工艺过程,力求使内容全面、系统,对教学、生产都有比较大的实用意义。由于近几年来国内外水产品冷冻技术发展很快,冷冻水产品种类繁多,加上我们水平有限,书中难免有许多不足之处,希望读者提出宝贵意见,以便补充修正。

编 者

1996年8月

目 录

绪论	1
第一章 水产品原料特性及冷藏加工原理	3
第一节 鱼、贝类的化学成分	3
一、鱼、贝类肌肉的组成	3
二、各种因素引起鱼、贝类肌肉成分的变动	5
第二节 低温对微生物的影响	6
第三节 低温对生物细胞的影响	8
第四节 低温对反应速率的影响	9
第五节 鱼和鱼制品的热力学性质	11
一、比热	11
二、热焐	12
三、导热系数	13
四、导温系数	14
第二章 鱼类的冷却保鲜	16
第一节 鱼类冷却保鲜的意义和要求	16
第二节 鱼类的冷却时间	17
第三节 鱼类冷却保鲜的方法	25
一、在空气中冷却鱼类保鲜	25
二、用冰冷却鱼类保鲜	26
三、冷海水或冷盐水冷却鱼类保鲜	29
四、鱼类的微冻保鲜	30
五、鱼类的气调	32
第三章 鱼类的冻结原理	34
第一节 鱼类冻结时的变化	34
一、鱼类冻结过程中的生物学变化	34
二、鱼类冻结过程中的组织学变化	35
三、鱼类冻结过程中的化学变化	35
四、鱼类冻结过程中的物理变化	37
第二节 冻结率	38
第三节 冻结速度与冰结晶分布情况	39
一、冻结速度	39
二、冰结晶条件	40
三、冻结速度与冰晶分布的关系	41
第四节 冻结温度曲线	42
第五节 冻结时放出的热量	43

一、鱼体冻结过程中热量变化	43
二、鱼体冻结过程中放出的热量计算	44
第六节 冻结时间	45
一、冻结时间计算	45
二、缩短冻结时间可选的途径	46
第四章 鱼类的冻结装置	48
第一节 间接式冻结装置	48
一、管架式冻结装置	48
二、半送风冻结装置	49
三、送风冻结装置	49
四、金属表面接触式冻结装置	54
五、间接式冻结装置的主要技术参数	55
第二节 直接冻结装置	57
一、在盐水中冻结	57
二、在冰盐混合物中冻结	59
三、液态氮冻结	60
第五章 鱼类的冻藏	62
第一节 鱼类冻藏时的物理学变化	62
一、冻藏鱼产生的干耗	62
二、冰结晶的成长	64
第二节 鱼类冻藏时的化学变化	65
一、色泽的变化	65
二、冻鱼脂肪氧化及防止方法	67
第三节 鱼类的冻藏温度	68
第四节 冻结食品的 T、T ₁ 、T ₂ 概念及其计算方法	70
一、冻结食品的 T、T ₁ 、T ₂ 概念	70
二、T、T ₁ 、T ₂ 的计算方法	71
第六章 冻鱼解冻	76
第一节 外部加热解冻装置	77
一、空气解冻装置	77
二、水解冻装置	78
三、水蒸气凝结解冻装置	79
四、接触解冻装置	81
第二节 内部加热解冻装置	81
一、低频电流解冻（电阻型）装置	81
二、高频、微波解冻装置	82
第三节 组合解冻	83
一、电和空气组合解冻	83
二、电和水组合解冻	84
三、微波和液氮组合解冻	84
四、二段解冻	85

第七章 鱼、虾类冷加工工艺	86
第一节 鱼类的冷加工操作	86
一、对原料鱼的要求	86
二、原料的鲜度鉴定	88
三、鱼类冷加工工艺流程	93
四、摆盘	95
五、冻结	95
六、脱盘和裹冰衣	97
七、包装	97
八、冻藏	98
第二节 对虾冷加工操作	100
一、原料对虾前处理	100
二、对虾冷加工工艺	103
三、分级称重	104
四、摆盘	109
五、冻结	110
六、脱盘和包冰衣	110
七、包装检验	111
八、冻藏	111
第八章 冻结调理鱼、虾、贝类食品	115
第一节 冻结调理鱼、虾、贝类食品	115
一、冻结调理水产食品的原料和辅助材料	116
二、冻结调理水产食品加工工艺流程	117
第二节 冻结调理水产食品的变化	119
一、物理变化	119
二、化学变化	120
三、微生物的变化	121
第三节 冻结调理水产食品的容器	121
一、食品包装的一般要求和要考虑的其它因素	121
二、包装材料	122
三、包装工艺	123
第九章 渔业冷藏运输	125
第一节 冷藏运输的种类、要求和发展趋势	125
一、冷藏运输的种类	125
二、冷藏运输的要求	126
三、世界冷藏运输的发展趋势	127
第二节 冷藏车	128
一、冷藏车的基本要求和分类	129
二、我国渔业冷藏车的主要车型	130
三、易腐货物装车的一般条件和特点	134
第三节 冷藏汽车	135

第四节 冷藏船	137
第十章 渔业冷库的管理和卫生	140
第一节 冷库生产前的准备工作和对入库水产品的要求	140
一、冷库生产前的准备工作	140
二、对入库水产品的要求	140
第二节 水产冷库的卫生管理	143
一、库房和工具设备的卫生和消毒	143
二、水产冷库除霉	144
三、排除库房异味和灭鼠	145
第三节 冷冻水产品微生物及其控制	146
一、冷冻水产品微生物污染源及控制	146
二、冷冻调理水产食品微生物的检查及其控制	148

绪 论

水产品加工业中,除了腌干、罐藏、综合利用等加工方法外,用冷却或冻结法来保藏和运输水产品有其重要的意义。鱼类等新鲜水产品有易腐败的性质,同时在生产上具有地区、季节、产量高度集中的特点,特别是我国南部地区,很多海水渔获物保藏和运输存在着困难,在这多种多样的保藏法中,采用冷加工就能减少甚至克服困难。因为它能使大量鱼货长时间保持固有的营养、风味和质地,还便于把鲜度良好的水产品从生产集中的渔区运销到遥远的目的地。并在旺季时保藏下来,到淡季供应市场,以调节产销平衡。冷藏还有成本低,保藏质量好等优点。因而冷冻加工成为渔业生产上一种极为重要的加工方法。

我国解放前全国各类冷库的总容量只有 22000t。解放后,党和政府为了提高人民的生活水平,非常重视食品冷冻业的发展。到目前为止,全国的水产品类、肉类、蛋品类、果蔬类等各种温度冷库以及各加工厂的冷藏库,有了大幅度的发展,全国冷藏链基本形成,为我国食品冷藏业的进一步发展奠定了牢固的基础。

自改革开放以来,人们不断解放思想,从实际出发探索经济发展的新路子,使得全国的经济进入了持续、快速发展的轨道。中国水产业同样在改革开放中得到快速发展,全国 1994 年总产量达 2146 万吨,已跃居世界第一位,产品质量也有了很大提高。目前已有大、中、小水产冷库近 4000 座,冷藏能力 110.7 万吨,日冻结 6.09 万吨,日制冰 5.12 万吨,贮冰 567.3 万吨。目前,冷冻水产品占加工总产量的 70.9%。水产冷库担负着水产品的保鲜、冻结、冻藏和制冰等工艺过程,是渔业生产、加工、流通中的一个必不可少的组成部分,也是整个水产品冷藏链中的重要一环。

为了适应水产品加工生产上的需要,解放后,党和政府对于制冷技术人才的培养方面给予了很大的重视。在增设水产院校同时,设立了制冷专业。开设了食品冷冻工艺学、制冷原理与设备和冷库设计等课程,为培养制冷技术人才作出了应有的贡献。

食品冷藏法就是一切使用低温来保藏食品,不使其腐败变质的方法。包括从人类最早使用地窖、天然冰雪保藏食物,发展到现代人造冰、干冰、液态氮、液态二氧化碳以及机械制冷等各种方式获得低温的方法和应用。它使贮藏食品的温度从 0°C 左右降低到 -20°C ,甚至更低的温度,从而使食品的保藏期从数天延长到数月,乃至半年以上,使鱼、虾、贝等最易变质的食品保持接近于原有的食用和商品价值。这种成果的获得是和科学家们对食品冷冻工艺和技术上不断研究和发展分不开的。与食品冷冻直接有关的科学技术,是制冷工艺和食品冷冻工艺学。前者是研究运用制冷装置获得低温的工艺方法和理论为主,后者是研究运用低温从事对食品的冷却保藏和冻结保藏的方法和理论为主。因此,水产品冷冻工艺学学习的范围包括水产品的冷却贮藏、冻结贮藏、冻结理论和冻结装置等内容。为了学好水产品冷冻工艺学,应当具备一定的基础知识,如传热学、微生物学、制冷工艺学、生物化学、生物组织细胞学,其中后三门学科有着密切的关系,需要通过对冻结食品的生化

营养变化和动、植物组织细胞变化的分析来改进冻结装置和冷却、冻藏方式。

任何一门科学或技术的发展，都是和社会生产的需求及其有关方面科学技术水平的提高分不开的。水产品冷冻工艺学也不能例外，改革开放中水产业在生产上得到了迅速发展和整个技术不断前进的有利条件下，同样会迅速的发展，对于从事于这门学科的科学技术人员队伍，也必然会不断成长和壮大。

第一章 水产品原料特性及冷藏加工原理

我国水产资源丰富,品种多而且分布广。其中,鱼类有200多种。1994年海水产品1241万吨,淡水产品904.9万吨,主要渔捞品种是海水鱼类是带鱼、鲈、鳗、远东拟沙丁鱼、马面鱼;贝类以贻贝、扇贝、蛤、牡蛎、蛏为主;虾蟹类以对虾、毛虾、梭子蟹、青蟹为主。淡水产的经济鱼类有青、草、鲢、鳙、鲤、鳊、鲫等为目的各地渔民的主要养殖对象,产量很大。另外,我国的远洋渔业近几年来发展很快,已形成年捕鱼量约70万吨的生产能力。上面所讲的鱼、虾、贝类都是冷加工的很好原料。

鱼类及其它水产动物的营养价值丰富,含有蛋白质、脂质、糖类、无机盐及维生素等化学成分,但其中最主要的是作为生命存在形式的蛋白质和从鱼油中分离出的 ω -3高度不饱和脂肪酸(如DHA和EPA)等对某些疾病有特别的疗效。

鱼、虾、贝类另一个特点,就是死后很容易腐败变质,这类鲜品一旦腐败,不仅降低了食用价值,而且容易引起食物中毒。因此,这些水产品加工原料无论从营养、风味和卫生上来考虑,如何保存它们的新鲜品质,就成了水产品加工科研和生产工作者的首要任务。

冷藏是保持水产品质量最有效的方法之一,低温对其微生物、细胞和生化反应是有重要影响的。

第一节 鱼、贝类的化学成分

一、鱼、贝类肌肉的组成

鱼、贝类主要种类的肌肉或可食部分的组成如表1-1所示,从表1-1中可知肌肉的水分含量为60%—80%,蛋白质约20%,灰分1%—2%,脂质含量较前三种成分变动幅度大,有的种类在1%以下,有的在20%以上,因种类而异。在同一种类中也因个体部位、性别、成长度、季节、生息水域和饵料等多种因素而不同。另外,不同品种间有时会有相当大的差异,下面加以说明。

(一)水分 多数鱼、贝肉的水分含量在60%—80%范围之内,偶尔也有超出这一范围的,如海蜇(95%以上)和海参是众所周知的水分较多的水产动物。

从表1-1中可以看出,水分和脂质之间存在相逆的相关关系,含脂质多的鱼、贝类水分较少,两种成分之和大约在80%左右。

生体组织的水分按其存在状态可以分为自由水(亦称游离水)和束缚水(包括结合水和吸附水)两类。水分的大部分系自由水,具有作为溶剂的机能,可在组织内部流动,以输送营养和代谢产物,并参与维持电解质平衡和调节渗透压。束缚水通过与蛋白质及碳水化合物化合物的羧基、羟基、氨基等形成氢键而结合或因这些大分子立体结构的毛细管作用而被吸附,它不能作为溶剂,难于被蒸发和冻结。束缚水被束缚的强弱程度不同,也有与自

由水不能截然区分而呈微弱结合状态的。因此，由于测定方法和条件的不同，束缚水的量会有相当大的变动，我们认为约占总水分的 15%~25%。

表 1-1 鱼贝类肌肉的化学成分 (%)

种 类	水 分	蛋 白 质	脂 质	糖 质	灰 分
鲑	72.8	18.7	6.9	0.1	1.3
远东拟沙丁鱼	64.6	19.2	13.8	0.5	1.9
鳕 鲛 (养殖)	61.1	16.4	21.3	0.1	1.1
鳕	76.9	19.0	2.2	0.3	1.6
鲤 (养殖)	75.4	17.3	6.0	0.2	1.1
鲑	69.3	20.7	8.4	0.1	1.5
鲭 (鲈) 鱼	62.5	19.8	16.5	0.1	1.1
鲑 (大青鲑)	77.2	18.9	2.3	0.1	1.5
蓝点马鲛	68.6	20.1	9.7	0.1	1.5
鲷 (黑鲷)	75.7	21.2	1.7	+	1.4
鳕 鱼	82.7	15.7	0.4	+	1.2
虹鳟 (养殖)	70.2	20.0	8.2	0.1	1.5
鲑	65.3	16.0	17.0	0.1	1.6
海鲈	65.9	19.5	12.7	0.1	1.8
鲫鱼	78.0	18.2	2.5	0.1	1.2
鳊鱼	72.0	22.0	4.7	0.1	1.2
金枪鱼 (黄鳍金枪鱼)	73.7	24.3	0.5	0.1	1.4
鳗	71.0	22.0	5.3	0.1	1.6
鳗 鲡	78.0	15.7	0.5	3.5	2.3
鲈子	86.8	8.3	1.0	1.2	2.7
鲈	83.9	13.0	0.4	0.6	2.1
牡蛎 (养殖)	81.9	9.7	1.8	5.0	1.6
鲈	87.5	6.8	1.1	2.7	1.9
鲈 鲷	84.4	11.8	0.6	1.0	2.2
文蛤	84.2	10.4	0.9	1.9	2.6
扇贝	81.2	13.8	1.2	1.8	2.0
乌贼	81.8	15.6	1.0	0.1	1.5
虾 (长额虾)	80.9	17.0	0.5	+	1.6
蟹 (三疣梭子蟹)	78.0	18.9	0.9	0.1	2.1

(二) 蛋白质 在作一般成分分析时，蛋白质含量通常以包括非蛋白氮 (也称浸出物氮) 的总氮量乘以蛋白质换算系数 (水产品常使用 6.25) 算出，严密地应该称为粗蛋白质。

鱼、贝类的蛋白质，大部分种类在16%~25%范围内，与脂质相比，种类间的变动较小。但水分在80%以上，含糖质较多的软体类也有10%左右的蛋白质。

蛋白质含量是根据总含氮量计算的，故纯蛋白质含量要比这些数值低，特别是富含非蛋白氮的种类，其误差较大。表1-2所表示的是经分析所得的鱼、贝类粗蛋白质和纯蛋白质含量，从表1-2可知在非蛋白氮较多的白斑星鲨、鲑、三疣梭子蟹中，两者间的差值较大。

表 1-2 鱼、贝类肌肉的粗蛋白质与纯蛋白质含量

种 类	全 氮 量	粗蛋白质	蛋白态氮	纯蛋白质
鳀	4.04	25.3	3.29	20.6
鲤	2.84	17.8	2.54	15.9
狭鳕	3.03	18.9	2.64	16.5
海鲢	3.44	21.5	3.12	19.5
白斑星鲨	3.38	21.1	2.27	14.2
鲑	3.06	19.1	2.77	17.3
沙丁鱼	3.38	21.1	2.98	18.6
真鲷	3.51	21.9	3.14	19.6
文蛤	1.44	9.0	1.17	7.3
三疣梭子蟹	2.75	17.2	1.95	12.2

注 1. 纯蛋白质=蛋白氮 $\times$ 6.25

2. 以上数据为新鲜肉所占的百分含量

(三) 脂质 脂质含量是通过乙醚抽提试料的可溶性成分而测得的，因此严密的说，应该称作粗脂肪 (Crude fat)。

脂质是一般成分中变动最大的成分。根据化学分析，种类之间的变动在0.2%~64%，含量最低的种类与含量最高的种类之间，实际差别达320倍之多。而且即使是同一种类，也因年龄大小、生理状态、营养条件等而有很大差异。

(四) 灰分 灰分是指将试料在550℃加热，使有机物燃烧后的残渣，故来源于有机物的成分也包括在灰分中，但除特殊试料之外，其重量大致相当于无机物的重量。

除少数种类外，鱼、贝类的灰分在1%~2%，大体上呈一定值，变动较小。

(五) 糖质 所谓糖质是指除去纤维之外的碳水化合物，包括还原糖和非还原糖。在鱼类、甲壳类、节足类等肌肉中，只含有微量糖质的种类很多，但如运动活泼的洄游性鱼类，由于糖原含量高，所以糖质含量也升高。贝类中糖原含量高的种类较多，特别是牡蛎糖原含量高是众所周知的，但随季节不同变动性也较大。

二、各种因素引起鱼、贝类肌肉成分的变动

鱼、贝肉的成分即使是同一种类，也因个体部位、成长度(大小)、季节、生息地区、饵料、雌雄等种种因素而有所不同，并且养殖鱼与天然鱼之间也有很大差别。由于这些因素所引起的肌肉成分变动，各自反映了鱼、贝类的生理状态和营养状态。在这类变动中，因脂质积累而呈美味的所谓肥满期的形成，或因地区不同而呈现各种特色等。

(一) **部位的差异** 比较不同鱼体部位普通肌肉的一般组成的特点, 可以看到, 腹部肉比背部肉、靠近头部的背肉比尾肉、表层肉比内层肉各自的脂质含量多。见表 1-3。

表 1-3 蛙肌肉各部位间脂质含量的差异 (%)

部 位	背 部				腹 部			
	外 层		内 层		外 层		内 层	
	水分	脂质	水分	脂质	水分	脂质	水分	脂质
前部	67.7	8.2	72.8	0.4	67.7	3.2	73.2	0.5
中部	67.6	4.0	73.4	0.3	68.9	5.4	72.4	0.5
后部	71.8	1.8	73.0	0.3	71.6	2.3	72.3	0.2

(二) **季节的差异** 对鱼、贝肉一般成分的季节变动, 经过大量测定表明。鱼类主要是脂质含量的变动较大, 而贝类主要是糖原含量的变动较大。这种季节变动是随着成长而发生的变化; 或是伴随着生殖周期而发生的变化; 有的是受饵料及海洋环境等因素的影响。变动原因是复杂的, 在鱼肉中“糖质的变化”的发育消费或积蓄脂质, 所以少脂期与产卵期相一致。在贝类中糖质的变化与鱼肉中脂质的变化相类似, 一般产卵期糖原的含量最低。

(三) **年龄的差异** 如前所述, 鱼肉的脂质含量季节变动很大, 而在相同的季节, 则是一般年龄大的脂质含量变动较大。

(四) **天然鱼、贝类与养殖鱼、贝类的差异** 随着养殖鱼、贝类的生产增加, 有些养殖品种的消费量要比天然品种多, 如真鲷、鳗鲡、鲤、虹鳟、牡蛎等上市的品种多为养殖品种。因此, 对养殖鱼、贝类一般组成的关心程度也随之增大。根据养殖鱼类的成分分析, 可以清楚的发现, 与天然的相比, 养殖鱼种共同的特性都是脂质多, 水分少, 该现象在腹肉中特别明显。

养殖鱼肉的脂质和碳水化合物较多的原因一般认为和饵料的品质、数量以及鱼体运动量等因素和天然产的不同有关。

第二节 低温对微生物的影响

食品由于霉菌、酵母菌和细菌等微生物的发育繁殖, 使食品的货架寿命大大缩短。不仅鱼类、肉类以及其它加工食品, 甚至水果和蔬菜类生鲜食品, 如果表面被细菌污染或因其内部机能发生障碍, 微生物会在那里繁殖起来。

微生物为取得发育繁殖所必需的营养成分, 需要对食品成分作化学分解。而这一化学反应又多受微生物酶的影响。这时食品成了微生物进行生物性营养的基质, 随着基质的被分解, 食品风味恶化, 结果出现食品腐败变质现象。

在微生物中, 与食物中毒和腐败关系最大的是细菌。一般来说, 细菌的发育和繁殖速度受温度影响, 在有的温度范围内快, 离开这个温度范围时则变慢, 这种温度影响因细菌种类不同而异, 根据温度对细菌繁殖的影响区分为高温细菌、中温细菌和低温细菌, 如表 1-4 所示。

表 1-4 细菌的发育温度 (°C)

种 类	最低温度	最适温度	最高温度
低温细菌	-7~-5	20~30	35~45
中温细菌	10~15	35~40	40~50
高温细菌	35~40	55~60	65~75

与食品腐败有关的许多细菌和病原菌属于中温菌，附着在鱼体上并与鱼体腐败有关的细菌有假单胞杆菌属、无色杆菌属、弧菌属等是低温细菌。在食品流通过程中所遇到的细菌主要是中温和低温细菌。但中温细菌也有的在高温范围附近繁殖的。例如需氧性的凝结芽孢杆菌（在鱼香肠内）在 60°C 左右也能繁殖。此外厌氧性的凝结芽孢杆菌和小球菌等也是在比较高的温度下繁殖。温度对食品中毒菌和低温细菌的影响见图 1-1。

由图 1-1 可见，属于中温细菌中的一般中毒细菌的发育，大体在 10°C 以下开始变慢，4.5°C 以下停止繁殖。低温细菌在 0°C 以下繁殖变慢，-10°C 以下停止。

酵母菌和霉菌同样受温度的影响，而且尤其能忍受低温，例如有的酵母菌在 -3°C 时停止发育，有的在 -5°C、有的在 -10°C 停止生长发育。其中霉菌更能忍受低温，在 -7.8°C，甚至更低的温度时仍能生长发育。霉菌的孢子能存在于氮的液体中（近 -270°C），霉菌孢子在 -8°C、-9°C 保藏 5~7 个月后会现两种青霉菌菌株，而在 11 个月后才较清晰。从贮藏于冷库中的冻结食品上观察到霉菌在低于 -10°C 时还在发育。可见，霉菌和酵母菌是最能忍受低温而细菌是较差。因此，为了防止食品中微

生物发育，鱼及鱼制品必须贮存在低于 -10°C 的条件下。但防止霉菌发育则需低于 -12~-15°C，一般微生物忍受低温能力比高温要强得多，大多数的微生物能抵抗低温，细菌能存在于雪及冰中，甚至于干冰中亦发现有腐败菌。若对微生物停止冷的抑制作用，它的生命活动就可恢复。有些微生物经长期的低温影响后，移入正常条件下时，已丧失其发育能力或发育能力极端微弱，与之相反，有些微生物却发育良好。

缓慢降低冷却或冻结物的温度时，使一些嗜冷性细菌得到适宜的温度而能发育生长。反之，急剧的改变温度时，抑制了嗜冷性微生物的生长及生化过程。

在空气中微生物活动的状况，除取决于温度外还有其它因素；如在流动空气中那些生于食品表面的霉菌，空气的流速愈大，它的忍受力愈强，而且空气垂直流经食品表面时比

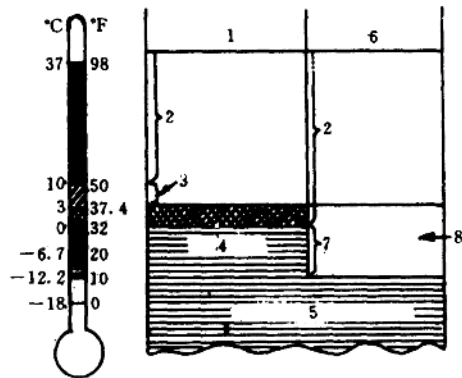


图 1-1 食物中毒和食物腐败微生物生长

1. 食物中毒微生物 2. 迅速生长 3. 某些微生物缓慢生长 4. 不生长 5. 逐渐死亡但不彻底 6. 无害的食品腐败微生物 7. 某种微生物缓慢生长 8. 食物缓慢腐败，但对健康无害的区域

平行流经食品表面时，霉菌更易发育。

研究证明，低温对微生物的作用，缓和的低温对微生物的影响比深度低温更为有害。许多霉菌常常在 $-8\sim-2^{\circ}\text{C}$ 死亡。而在 $-12\sim-18^{\circ}\text{C}$ 时，却能忍耐12个月。某些微生物被低温所破坏是由于细胞液汁很缓慢地形成大的冰结晶；在另一情况下，如果溶液在冻结范围内部分结冰，因而提高了溶液的渗透压，这种较高的压力抑制了微生物活动。

在低温下微生物死亡的原因很多：由于形成冰结晶使细胞受到机械破坏、细胞没有养料、部分原生质凝固、细胞脱水等等。此外，低温排除了酶正常活动的条件，使新陈代谢破坏，新陈代谢的破坏使微生物细胞内积累了毒物及其它不氧化物。这些物质能引起微生物的死亡。微生物死亡的最大温度范围是 $0\sim-5^{\circ}\text{C}$ 。

食品中蛋白质、脂肪、碳水化合物变坏是由很多因素作用的结果。但在这些因素中最主要的是微生物与酶的作用。试验证明温度对酶的活性影响，一般情况下，主要取决于基质的特性（成分、浓度、pH值、有无抑制剂或活化剂和反应时间）。

当温度降低时能使生物化学反应速度减缓，但没有使催化基质的酶活性钝化。

虽然有些酶类，例如脱氢酶，其活性在冻结中会受到强烈抑制，但大量的酶类，即使在冻结的基质中，仍然继续活动。例如转化酶、脂酶、脂肪氧化酶、催化酶、过氧化酶、某些脲酶（组织脲酶）、果胶水解酶等都是这样。

脂酶和脂肪氧化酶甚至在极低温状态下还能保持轻微活性，尤其是在磷脂基质中更是这样。因而，某些脂酶甚至在 -29°C 时还能起催化作用，产生游离脂肪酸。在这温度下，一星期的催化作用，相当于 37°C 时45min的催化能力。

在某些情况下，酶类经过冻结和解冻后的活性，比原来的要高些或低些，但这只在一定时间内是这样。这个现象可解释为：由于生物胶体颗粒在其浓度低于1%时破裂，活性就上升；反之，由于生物胶体浓度超过1.5%积聚成大颗粒，酶活性才会降低。在某些解冻后的（甚至冻结后的）组织内，酶从细胞体中被析出，与相邻基质作反常的接触时，酶的活性比在新鲜产品内还要高。

已经充分证明，由菌原酶造成食品腐败，可在产酶微生物不能活动的更低温度下产生。

第三节 低温对生物细胞的影响

低温比高温对生物细胞的破坏性虽然很小，但低温使有机体的细胞亦进行着重要的变化。降低温度时细胞内原生质的活动速度将大大降低。

细胞液汁的成分是水溶液及无机盐，在温度低于冰点时，就析出冰结晶而使细胞液汁留下的部分溶液浓度增高，高浓度的溶液对原生质中的蛋白质起破坏作用，而引起细胞的死亡。

细胞间冰结晶的最后结果可能形成：进一步使细胞脱水，使它的含水量低到不能冻结；形成较大的外部结晶，能达到细胞大小的几倍；细胞分离；最后细胞破裂四种结果。

大多数植物性食品的组织要比骨骼肌肉更易形成不可逆的细胞分离（沿中间薄片分离）和细胞破裂，因骨骼肌肉具有更多的弹性的薄膜和结缔组织。这就是为什么即使由于大细胞外冰晶体造成纤维分离和变形，在解冻后仍能大部分恢复到原有肌肉排列的缘故。

细胞内冰结晶, 这可以引起所有的细胞内部结构的变位和破坏。由于细胞壁和细胞膜在冻结时被撕破或穿透, 在解冻时就会使细胞内的物质移向细胞外, 冰结晶越小, 其破裂作用范围也越小, 这些物质迁移也会越少。而且, 由于冰晶体大小随冻结速度增加和温度的降低而缩小, 当其它条件相同时, 就可期待温度越低, 冻结速度越快, 细胞结构的破坏越少, 细胞成分的迁移范围也越小。虽然有些资料看起来证实了植物组织在冻结过程中所发生的情况, 但动物组织在冻结时则情况可能相反。在测定鳕鱼片解冻液汁中的脱氧戊糖核酸中, 发现最大的细胞破裂峰值是在冻结时间为 1.5、25、75 和 140~280min 时, 而最小破坏是在冻结时间为 110~140min 之间。但有的科学家在对鲤鱼的肌肉作显微镜观察时发现, 肌纤维膜的破裂只是在冻结时间为 50min 或更长的时间上发生, 而在 16min 以下都没有发生。由于冻结肌肉纤维的组织变化没有什么重要的实际意义, 只要避免在较高的温度下长期贮藏就可以了。

上述实例和多数报道资料说明细胞内、细胞间冰结晶对组织的破坏作用有很大的不同, 要根据动物性或植物性食品的种类、纤维型式、生物化学或生理的情况等而定。但在冰结晶大小的重要性和冰晶体与冻结速度的关系上仍有些混乱。不过大多数资料说明, 细小冰结晶结构比大冰结晶的损伤要小。如果产生重新冰结晶, 原细小冰结晶结构就会变得不均匀。实验数据证明, 冻鱼在 -5.6°C 下保存 30 天, 冰晶体大小就扩大一倍, 但在 -14.4°C 时, 只扩大 25%。在贮藏期间冰晶体所以增大, 可能是由于变性蛋白质的结合水减少的原因。现在认为, 在 -20°C 以下常规冻藏时, 生物物质的冰再结晶作用是不明显的。

食品的种类不同, 冷冻的程度亦不同。我们把温度降到接近于食品液汁冰点称为冷却, 一般在 $5\sim-1^{\circ}\text{C}$ 之间; 而降到食品内液汁变为冰结晶时称为冻结, 一般在 $-15\sim-18^{\circ}\text{C}$ 或更低些。冷却食品所保持的食品固有性质比冻结食品大, 但冷却食品由于温度不够低, 保存的时间较短, 一般放在冰中的冷却鱼类只能保存半个月, 而冻结鱼类在 -18°C 以下能保存半年到一年。经冷冻处理后食品的贮藏称为冷藏。由于食品有冷却和冻结之分, 所以冷藏亦应分为冷却贮藏和冻结贮藏, 对鱼和肉类一般所指的冷藏多系冻藏(冻结贮藏)。

第四节 低温对反应速率的影响

水产生物有机体中含有丰富的蛋白质、脂质和糖类等高级分子化合物, 在化学反应动力的推动下, 自发地向低能态的分子化合物转化。这一生化反应速率除了受反应物和生成物的本身特性影响外, 还受许多外界因素制约, 如: 催化剂、反应进行时环境条件等。其中, 温度是影响水产品内部生化反应速率最重要的参数之一。

温度是物质分子或原子运动速率的平均值。这些分子或原子处于不断的运动状态中, 在固态物质中作平衡状态的振动; 在液态物质中, 迁移和相互碰撞; 在气态物质中, 高速跳动和相互碰撞。

当除去部分热量后, 物质的内能减少, 其组成分子或原子的运动缓慢下来, 温度也随着降低。很明显, 分子或原子的运动速率越快, 发生有效碰撞的机率越高, 即反应速率越快。因此, 反应速率与反应时的温度密切相关, 随温度降低而减小。

在这种情况下的反应速率与温度之间的关系可用温度系数 Q_{10} 表示, 其关系式为:

$$Q_{10} = \frac{k_{t+10}}{k_t} \quad (1-1)$$

式中 k_t ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的反应速率。

k_{t+10} ——温度为 $(t+10)^\circ\text{C}$ 时的反应速率。

因此，温度系数 Q_{10} 表示温度每升高 10°C 时反应速率所增加的系数。其结果是：有关水产食品反应速率的 Q_{10} 值越大，即表明温度对反应速率的影响越大，低温保藏的效果越显著。

生化反应的单位活化能 E 对于 Q_{10} 值影响很大，根据阿雷尼乌斯方程式 (Arrhenius equation)：

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E}{RT^2} \quad (1-2)$$

式中 k 、 T 、 R 和 E 分别代表反应速率常数 (mol/s)、绝对温度 (K)、气体常数 ($8314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot K)$) 和活化能 (J/mol)，阿雷尼乌斯方程也可用下列形式：

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (1-3)$$

式中 k_1 和 k_2 分别代表绝对温度为 T_1 和 T_2 时的反应速率，当 $T_2 - T_1 = 10^\circ\text{C}$ 时，并将 (1-3) 式换成以 10 为底的对数代入 (1-1) 式中，整理就有：

$$\log Q_{10} = \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{0.0522E (T_2 - T_1)}{T_1 T_2} = \frac{0.522E}{T_1 T_2} \quad (1-4)$$

由上式可见，生化反应速率随温度升高而加快，并且活化能愈高，温度对生化反应速率的影响愈大，当有酶作为反应催化剂，大大降低反应活化能，则当温度下降时，酶促催化反应速率降低得较慢，所以当食品中有酶催化剂作用时，即使在常温条件下，其生化反应仍能保持较高的速率。

上述温度系数 Q_{10} 为反应速率的比值，库普里诺夫 (Kuprianoff) 提出另一系数 Q'_{10} ，它表示在 $t^\circ\text{C}$ 和 $(t+10)^\circ\text{C}$ 时各个允许贮藏期的比值。 Q'_{10} 值与 Q_{10} 值十分接近，因此可以根据 Q_{10} 值代替 Q'_{10} 值来推算食品在不同的温度下的贮藏期。

许多生化反应中，根据范特霍夫 (Van't Hoff) 定律， Q_{10} 值在 2 和 3 之间。对于降低到冷藏温度后长期贮藏的冷冻食品，通常可采用同样幅度的变化作为粗略的依据。

举例来说，假设某食品的 Q_{10} 值在 $35 \sim 0^\circ\text{C}$ 范围内为 2.5，温度从 30°C 降到 10°C ，该食品中的变化幅度可减少 6.25 (2.5×2.5) 倍，即 10°C 时食品允许贮藏期比 30°C 时约延长 6 倍，当最终品温降到 5°C 时，食品从 10°C 到 5°C 的温差为 5°C ，不满 10°C ，其温度系数值可用 $Q_{10}^{\frac{\Delta T}{10}}$ 式来计算，式中 ΔT 范围为 $0^\circ\text{C} < \Delta T < 10^\circ\text{C}$ ，在本题中， $\Delta T = 10^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C}$ ，则 $Q_{10}^{\frac{\Delta T}{10}} = 2.5^{\frac{5}{10}} = 1.58$ ，其食品中的变化幅度可减少 9.88 ($2.5 \times 2.5 \times 1.58$) 倍，即允许贮藏期 5°C 时比 30°C 时约延长 10 倍。

但是，应当注意，在广泛的温度变化范围内， Q_{10} 值是有变化的。最常见的是当冷却或冻结食品的温度接近冻结点时， Q_{10} 值大大增加，所以，对冷却和冻结水产食品应考虑 Q_{10} 值