

内部发行

制冷技术培训教材

(下册)

福建省水产厅
福建省农业标准化协会

1985

下 册 目 录

第三篇 水产品的低温保鲜

第十二章 低温保鲜原理

第一节 低温保鲜原理	(2)
第二节 水产品的变质过程	(3)
第三节 T.T.T.概念	(4)

第十三章 冷却保鲜

第一节 冷却保鲜原理	(6)
第二节 水产品冷却过程中的热量传递	(6)
第三节 冷却保鲜方法	(10)
第四节 微冻保鲜	(12)

第十四章 冻结保鲜

第一节 水产品冻结时的变化	(13)
第二节 冻结率和冻结速度	(14)
第三节 冻结温度曲线	(15)
第四节 冻结时放出的热量	(16)
第五节 冻结时间	(20)
第六节 冻结间	(22)
第七节 冻结设备	(24)

第十五章 平板冻结机

第一节 平板冻结机的主要特性	(30)
第二节 平板冻结机内的传热过程	(31)
第三节 鱼块的冻结时间	(33)
第四节 平板冻结机的结构形式	(35)
第五节 平板冻结机的主要零部件	(38)
第六节 液压装置	(40)
第七节 平板冻结机的供液方式	(51)
第八节 平板冻结机的安装与调试	(54)
第九节 平板冻结机的操作与维护	(57)
第十节 平板冻结机的综评	(64)

第十六章 水产品的冻藏

第一节 水产品冻藏时的变化	(66)
---------------	--------

第二节	冷藏间	(69)
第三节	冷分配设备	(72)
第十七章	制冰	
第一节	盐水制冰	(75)
第二节	自动脱冰式快速制冰	(80)
第四篇	制冷系统	
第十八章	制冷系统概述	
第一节	制冷系统与保鲜方式	(82)
第二节	制冷剂的选择	(86)
第三节	制冷系统的供液方式	(86)
第四节	冷藏库的耗冷量	(90)
第五节	制冷机组的选择	(92)
第六节	船用制冷装置的特殊要求	(93)
第七节	制冷系统原理流程图	(94)
第十九章	冷库制冷系统的安装工艺及技术要求	
第一节	制冷压缩机及机组的安装	(100)
第二节	辅助设备的安装	(101)
第三节	管道的安装与连接	(103)
第二十章	制冷系统的操作调整	
第一节	操作调整前准备工作	(111)
第二节	系统的操作调整	(115)
第三节	船用制冷装置的效用试验	(121)
第四节	制冷系统重大事故	(125)

附录

(一)	一些常用的国际单位制导出单位	(1)
(二)	几个常用单位的换算表	(2)
(三)	氨热力性质	(3)
(四)	R—12热力性质	(6)
(五)	R—22热力性质	(9)
(六)	R—13热力性质	(12)
(七)	R—502饱和液体及饱和蒸汽热力性质	(13)
(八)	单级氨压缩机工作工况与标准工况产冷量换算系数	(17)
(九)	立式和V、W型单作用氨压缩机输气系数 λq 值	(17)
(十)	双级低压氨压缩机(立式、V、W型)输气系数 λq 值	(18)
(十一)	氨单位容积制冷量	(18)
(十二)	R—12单位容积制冷量	(18)
(十三)	常用制冷剂的性质表	(19)
(十四)	氨压缩机单位冷量耗电率	(20)
(十五)	氨双级压缩机单位容积制冷量	(21)
(十六)	R—22单位容积制冷量	(22)
(十七)	空气的重度、体积、水蒸汽压力和含湿量表($P=760$ 毫米汞柱)	(23)
(十八)	氯化钠(NaCl)溶液特性	(25)
(十九)	氯化钙(CaCl_2)溶液特性	(25)
(二十)	氨压焓图	(27)
(二十一)	R—22压焓图	(28)
(二十二)	R—12压焓图	(29)

第三篇 水产品的低温保鲜

我国地处亚热带，东邻太平洋，毗连印度洋，海域辽阔；境内湖泊星罗棋布，水产资源非常丰富。党的十一届三中全会以来，我国水产事业迅速发展。据不完全统计，我国鱼类的年捕捞量居世界第三。营养丰富、滋味鲜美的水产品，为提高人民生活水平，发展对外贸易提供了重要的物质基础。然而在十亿人口的大国里，水产品的人均量还是很少的，水产品的产量和质量都有待进一步提高。特别是水产品保鲜工作，无论是技术水平，装备能力与日益增长的水产品产量还有相当大的差距，以致比例相当大的一部分水产品在流通过程中变质腐败，不堪食用，造成严重的人力、物力和资源的浪费。为了减少浪费，提高水产品的商业质量，保障人民健康，必须大力开发保鲜技术，特别是加强生产第一线上的保鲜，完善冷藏链。

大多数水产品都属于易腐食品。鱼类捕捞出水后，其品质在不断地劣化。水产品保鲜就是在流通期间，最大限度地保持其固有的色、香、味、营养、滋味成分。事实上，人类为了生存早就学会贮藏食品的技能。水产品是季节性、地区性的产品。其贮藏、运输就显得更加重要。随着人口增长，生活水平的提高，食品保鲜技术得以不断发展。时至今日，许多行之有效的保鲜方法都可应用于水产品，如罐藏、腌制、干制、低温和辐射等。实践证明，水产品低温保鲜是最有效、最经济的保鲜方法，并已在世界各国广为应用。

低温保鲜实质上是人们利用低温条件来保藏食品。早在公元前一千多年，我国劳动人民就已经开始利用天然冰雪来贮藏食品。由于天然冰雪受地区和季节的限制，以后人们千方百计地用贮藏冰雪的方法，来延长对天然冰雪的利用时间。随着人工制冷技术的发展，低温保鲜也随着发展。可以认为，低温保鲜是当今世界发展最快的工业之一。由于生产的发展，生活水平的提高，对于食品的质量要求越来越高。正是由于社会的需要推动了包括水产品在内的食品冷冻工业的发展。

解放以来，我国的低温保鲜技术发展迅速。大批的冷藏库的建立，为水产品低温贮藏提供了重要的物质基础。各种海上保鲜设施和冷藏运输工具的生产，为水产品冷藏链的完善作出贡献。

本篇所讨论的水产品低温保鲜包括：

冷却保鲜；

冻结保鲜；

平板冻结机；

冻藏；

制冰。

所有这些章节都围绕水产品低温保鲜原理阐述保鲜装备的结构原理，操作方法和特性等方面的内容。水产品是人类食品中的一个品种，所以低温保鲜的原理及其技术装备具有普

遍的意义。它不仅适用于鱼、虾、蟹、贝；而且也适用于肉、禽等食品。

水产品低温保鲜技术装备种类繁多。按其使用环境可分为陆用和船用两种。这两种装备虽各具不同特点，但其工作原理，结构特性、操作方法都是相通的。

水产品船用保鲜设备属于生产第一线的保鲜设备，是我国重点发展的一项技术。其中船用制冷机组多采用氟利昂作制冷剂。这种制冷机组有较好的抗振，抗摇摆性，而且密封性，紧凑性等方面均优于陆用制冷机组。除外，还有船用平板冻结机，保温船等都相继投产应用，使我国水产品保鲜技术大为提高。一般地说，船用机组都适用于陆上操作；但陆用机组不一定适用于船上作业。所以船用机组都可称为船、陆两用机组。

第十二章 低温保鲜原理

鱼、虾、蟹、贝等动物性水产品是组分复杂的有机体。其主要营养、滋味成分有：蛋白质、脂肪、维生素等。这些物质在生产，贮运、销售过程中很容易受外界因素的影响，品质下降。水产品品质下降是肌体内部变化的外观表现。保鲜工作就是通过水产品品质下降过程的研究，掌握外界因素的影响程度，并予以人工控制，保持水产品的鲜度。低温保鲜就是通过温度这个影响因素的控制，使水产品在流通期中品质下降达到最少的程度。

第一节 低温保鲜原理

水产品的腐败变质，主要是由于微生物的生命活动和水产品中酶所进行的生物化学反应所造成的。这是因为鱼类丧失生命后，随着肌体中细胞组织的死亡，而不能控制酶的作用和抵抗微生物的入侵，造成水产品变质腐败的必然结果。但是微生物的生长和繁殖，酶的催化作用都需要有适当的温度和水分等条件。当温度条件不适应时，微生物就会停止繁殖，甚至死亡；酶也会丧失催化能力，甚至被破坏。另外，氧化等化学反应速度也与温度有关。一般地说，温度降低，化学反应就会显著减慢。如果把水产品放在 -18°C 的低温环境中，则微生物和酶的作用变得很微弱了。当水产品冻结时，水产品肌体内的水分生成冰晶而使微生物的细胞受到破坏，也使微生物丧失活力；酶的催化反应也受到严重抑制，水产品的化学变化就会变慢，因而可以较长时间地保持水产品的鲜度而不会发生腐败变质。这就是水产品低温保鲜的原理。

应当指出，水产品的低温保鲜只是对水产品肌体中的酶和某些化学反应的控制；对微生物的生命活动的抑制。一旦低温条件消失，各种生物和化学的作用都将恢复起来，同样可以较高的速度破坏水产品的品质。因此，低温保鲜只是控制环境条件的一个手段，而不能改善水产品的本身品质。为使水产品在消费者手中保持优秀品质，首先应当用鲜度好的水产品加工，并在流通的各个环节中均保持低温的状况。

低温保鲜温度范围，虽然也有例外的情况，但大致可按表(12-1)的温度范围来划分。

表(12—1) 低温保鲜的温度范围

名 称	冷 却	半 冻 结	冻 结
品 温 范 围 $^{\circ}\text{C}$	0 ~ 15	- 2 ~ - 3	- 12 ~ - 30
备 注	冷却但未冻结	稍微冻结	冻结坚硬

根据水产品的种类、性质、贮藏期、用途等的不同,选择其适用的保鲜温度。对于冷却来说,活体和非活体食品均可采用;对于冻结来说,只能以非活体食品作为对象。一般来说,水产品的贮藏期越长,所需选择的温度范围就越低。

第二节 水产品的变质过程

鱼类被捕获致死,其体内仍进行着各种复什的变化。这种变化主要是由鱼体内存在的酶和生前死后附着在鱼体的微生物不断作用的过程。

微生物是一种躯体微小的生物,要用显微镜才能看见。如果水产品长期贮藏,水产品本身为微生物准备了良好的培养基,使它迅速生长繁殖,促使水产品中营养成分分解,即由高分子物质分解为低分子物质。如鱼体蛋白质分解,可部分生成三甲胺,四氢化吡咯,六氢化吡啶、氨基戊醛、氨基戊酸等,因此,在水产品变质原因中,微生物往往是主要的。引起水产品变质、腐败的微生物有细菌、酵母和霉菌。由微生物引起水产品的腐败过程中,细菌的作用尤为显著。

酶是一种特殊蛋白生物催化剂。它能促使化学变化的发生而不消耗其自身。它最突出的一个性质就是“特异性”,即每一种酶只能催化小范围的某些反应。如蛋白酶能使蛋白质分解,脂肪酶能使油脂或含油成分分解。

水产品肌体内都含有酶。这些酶在一定的温度条件下,促使某些成分进行化学反应,例如蛋白质分解为氨基酸和其它含氮或不含氮的化合物;脂肪分解为脂肪酸;糖元醇解为乳酸。由于鱼体中氨基酸一类物质增多,为腐败微生物的繁殖提供了有利条件,使鱼类的品质急剧下降。

除了微生物和酶对水产品的品质有破坏作用之外,某些化学反应,如油脂与空气中的氧直接接触,发生氧化反应,生成醛、酮、酸、内脂、醚等,使油脂酸败,出现令人不愉快的“哈喇”味。

总之,微生物,酶和非酶(非酶化学反应)都是使水产品变质的根本原因。水产品变质过程要明确区分是困难的,但大体可分为死后僵硬、自溶和腐败变质三个阶段。

一、死 后 僵 硬

鱼类和一般陆生动物一样,死后不久即发生僵硬,颞骨和鳃盖紧闭,体内分泌的粘液大量增多。僵硬是由许多相互有关的酶解作用的综合发展的结果。当鱼体死后,正常的生理机能遭到破坏,如向肌肉细胞供应氧气停止,借皮肤和呼吸器官所进行的各种体温调节完全终止,然而与热量有关的变化仍在体内发生,故鱼体温度上升,从而进一步促进组织水解酶的

作用和微生物繁殖能力。因此当鱼类捕获后，如不马上进行冷却，就不能有效地及时地使以上的反应延缓下来，就会使僵硬期大大缩短。鱼类死后发生的僵硬，是鱼类处于新鲜状态的标志，但死后僵硬发生的迟早，延续时间的长短，是因鱼的种类、捕捞方法、渔获后致死的条件、运输和贮藏条件、温度等有关，其中温度的影响是主要的。温度越低，僵硬期开始时间越迟，僵硬持续时间越长。一般夏天气温中，僵硬期不超过数小时，在冬天或尽快地处于冰藏条件下，则可维持数天。某种鱼死后僵硬期随温度的变化，如表（12—2）所示。

表(12—2) 不同温度对僵硬期的影响

鱼体温度	35℃	15℃	10℃	5℃	1℃
死后僵硬期开始时间	3~10分钟	2小时	4小时	16小时	35小时
僵硬持续时间	30~40分钟	10~24小时	36小时	2~2.5昼夜	3~4昼夜

二、自溶作用阶段

经过僵硬阶段的鱼体，由于组织水解酶的作用，使蛋白质逐渐分解为氨基酸以及较多的简单碱性物质，所以鱼体在开始时由于乳酸和磷酸的积聚而成酸性，但随后为中性。鱼体进入自溶阶段，肌肉组织逐渐变软，失去固有弹性。应该指出：自溶作用的本身不是腐败分解。但由于鱼肉组织中蛋白质越来越多地变成氨基酸之类物质，则为腐败微生物的繁殖提供了有利条件，从而加速腐败进程。因此自溶阶段的鱼货鲜度已在下降。在低温保藏中，酶的活性受到抑制，自溶作用缓慢到几乎完全停止。

三、腐败变质阶段

鱼类腐败是一些腐败微生物在鱼体繁殖分解的结果。微生物之所以能在鱼体内这样急剧地繁殖，除温度条件外，还因为鱼肉组织比较脆弱，而且含水量又高，因此很容易被腐败性微生物所分解。严格地说，微生物的繁殖分解，自鱼死亡后就缓慢开始，是与死后僵硬和自溶同时进行的。但僵硬和自溶阶段，微生物的繁殖非常缓慢，特别是僵硬阶段更是如此。到自溶后期，分解物增多，微生物繁殖加快，到一定程度即进入腐败阶段。鱼货的腐败过程向组织深处移动时，其结果是使鱼体组织的蛋白质、氨基酸以及其它一些含氮物被分解为氨、三甲胺、硫化氢、吲哚以及尸胺、组胺等腐败产物。

综上所述，要保持鱼货的鲜度，就要设法延长僵硬期，抑制自溶作用和防止腐败变质。因此，鱼捕捞后应尽快用冷水洗净鱼体，对特种鱼必要时应去鳃、剖腹，清除内脏，洗净血迹和污物，然后迅速冷却或冻结保鲜。在鱼货运输、装卸、加工、销售各个环节中，都应该在低温环境中进行，并保持卫生条件，减少中转环节，并避免雨淋日晒、散装堆压现象。只有各个环节都能提高工作质量，才能有效地减少酶和微生物的作用，才能保持鱼货鲜度。

第三节 T.T.T.概念

大多数水产品都是以冻结状态进入流通的。它的品质主要取决于如下四个因素：原料的

固有品质，冻结前后的处理及包装，冻结方式，产品在流通过程中所经历的温度和时间。现在冻结的水产品，一般都使用品质或鲜度好的原料，如能正确地进行冻结前后处理，采用快速深温（ -18°C 以下）冻结，生产出来的产品就具有高的品质，称为初期品质优秀。但对于商品来说，更重要的是使用时的品质，也就是说初期品质优秀的水产品经过贮藏、运输、销售等流通环节后如何保持品质优秀的商品。概括地说，冻结品的初期品质主要受原料、冻结及其前后处理、包装，即P.P.P.条件的影响。冻结品的最终品质取决于流通时间（Time），贮藏温度（Temperature）和冻品的耐藏性（Tolerance），即T.T.T.条件。此即为T.T.T.概念。所以冻结品的品质，实际上是由P.P.P.和T.T.T.的条件所决定的。如果初期品质优秀的水产品，在流通过程中马马虎虎地处理，品温高低变化不定，就会失去它的优秀品质，甚至变质、腐败。根据T.T.T.概念可知：

1、冻结品的品质变化主要取决于温度。冻结品的品温越低优秀品质保持的时间越长。如把相同的冻品放在 -20°C 和 -30°C 的冷库中，则放在 -20°C 冷库中的冻品品质下降速度要比 -30°C 的快得多。又如销售时，相同的冻品分别放在 -18°C 和 -15°C 的冷藏柜中，则 -18°C 冻品的品质保持时间要比 -15°C 的长。

2、冻品在流通中因时间—温度的经历而引起的品质降低量是积累的，不可逆的，但是与所经历的顺序无关。例如把相同的冻品分别放在两种场合下进行冻藏：一种开始放在 -10°C 贮藏一个月，然后放在 -30°C 贮藏六个月；另一种是开始放在 -30°C 贮藏六个月，然后放在 -10°C 贮藏一个月，这两种场合分别贮藏七个月，其品质下降量是相等的。

3、水产品从生产出来一直到消费者手中，经历了冻藏、运输、销售店的冷藏及冷藏陈列等环节，其品质都在不断地降低。为保持商品的优秀品质，则必须从生产者到消费者之间的所有环节都维持在低温状况下，即用低温链把各个环节连接起来。也就是说，不仅生产地、消费地要冻结冷藏，而且生产地到消费地之间的运输及消费地冷藏库与销售店之间的运输都必须保持低温。这种从生产到消费之间的连续低温处理称为“冷藏链”。在一些发达的国家中，为保持冻结食品的优秀品质，非常重视冷藏链的问题。在这些国家中普及了低温运输的冷藏火车、冷藏汽车及冷藏船等设施。运输环节可以看作是冻结冷库的延续，所以仍需要保持较低的温度。1964年，国际制冷学会推荐深温冻结食品运输时的温度条件为：

鱼、贝类 $\leq -18^{\circ}\text{C}$ ，允许温升为 3°C

鱼（多脂肪） $\leq -20^{\circ}\text{C}$ ，允许温升为 3°C

解放后，我国水产品冷藏事业获得迅速发展，不同规模的水产品冷藏库不断建立、投产。它对于水产品保鲜工作起了很大的促进作用。但作为水产品冷藏链还很完善，特别是海上保鲜及冷藏运输等环节比较薄弱。近几年来，国家水产总局大力提倡发展“海上保鲜”设施，为完善水产品冷藏链向前迈进。实际上海上保鲜是获得初期优秀产品的重要手段，是保障优秀商品必不可少的设施。目前投产使用的8154冷冻渔轮，是将捕捞、加工、保鲜结合起来，在实际使用中已获得良好的经济效益。如果把冷藏运输、冷藏销售、贮存都搞起来，水产品冷藏链将获得更加完善。无疑，这些措施都将使优秀的初期产品转化为优秀的商品。

第十三章 冷 却 保 鲜

鲜鱼的冷却保鲜,是将鱼体温度降低到接近鱼体中液汁的冰点,从而抑制、减缓酶和微生物的作用,使鱼体在一定时间内保持良好的鲜度。理论和实践证明鱼在冷却过程中,只有采取快速冷却才能达到良好效果。冷却速度越快,生化过程越迟缓,冷耗越少;冷却速度越慢,则微生物的繁殖速度和生化过程都较快,结果使鱼体发生不良变化,从而缩短了保鲜期限。因此,要使鱼保持良好的鲜度,保鲜的重点应放在船上。当鱼捕获后,立即冷却,这是搞好保鲜工作的关键。

水产品的保鲜可以分为船上保鲜和陆上保鲜。渔船上保鲜是指鱼捕获后,从渔场保持到码头卸货这段时间内的鲜度。陆上保鲜则要保持鱼从卸货码头运输至加工、销售过程中的鲜度。鱼无论是在船上还是陆上的冷却保鲜,冷却的最终温度越低,保鲜的时间越长。

第一节 冷却保鲜原理

水产品冷却保鲜,一般使水产品的温度维持在 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 的范围内。在此温度范围内水产品保鲜的原理是:

- 1、鱼死后,组织中的糖元进行无氧分解生成乳酸。在形成乳酸的同时,磷酸肌酸分解为无机磷酸和肌酸。这些都是放热反应。反应过程放出的反应热将使鱼体温度升高 $2\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。冷却过程中可将反应热取走,并对蛋白酶的作用和微生物繁殖起到一定的抑制效果,从而保持了水产品的鲜度。

- 2、鱼体附着的水中细菌, $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的温度正好是它们繁殖的最适温度,冷却不仅可以减缓细菌的繁殖速度,而且还可以使一部分细菌因骤然遇冷而休克或死亡,减少了鱼体所附着的细菌数,从而达到良好的保鲜效果。

应当指出,鱼类在冷却温度的情况下,酶的分解作用,微生物的繁殖,氧化等作用并未充分抑制,因此水产品的冷却保鲜期一般不超过两周。尽管如此,水产品的冷却保鲜还是得到推广应用。特别是冷却品不需解冻,可防止组织液汁的流失,对于保持水产品的风味是有益的。某些甲壳类水产品,在冷却温度的条件下具有麻醉的作用,实际上可以达到“保活”的效果。

第二节 水产品冷却过程中的热量传递

水产品冷却过程实质上是水产品中的热量向冷却介质(冰、冷海水、或冷风等)的传递过程。自然界中,只要两物体中或一个物体的不同位置存在温度差,热量就会自动地由高温向低温的传递。热量实质上是能量的一种形式,其传递有三种方式:热传导、热对流和热辐射。

一、热 传 导

我们知道，温度是物体内部分子运动动能的宏观表现，温度高的物体，其分子运动动能也高；温度低的物体，其分子运动动能也低。分子运动动能较高的物体，则可通过与其相邻的分子，将动能传给分子运动动能较低的物体。这种运动动能传递的过程，在宏观上就表现为热量传递过程。实际上参与动能传递的不仅是分子，原子、离子、电子也都可以参与动能的传递。这种依靠物体中微观粒子（分子、原子、离子、电子）的微观运动而传递能量的过程称为热传导，简称导热。物理学家付立叶在研究固体热传导过程中指出，通过单位面积，单位时间热传导传递的热量与温差成正比、与物体厚度成反比，即

$$q_1 = \lambda \frac{\Delta t}{\delta} \quad (\text{千卡/米}^2 \cdot \text{时}) \quad (13-1)$$

式中 Δt ——温度差 $^{\circ}\text{C}$

δ ——物体厚度 米

λ ——比例系数，表示物体在单位时间，单位距离，单位导热温差条件下物体的导热能力，其单位为 $(\text{千卡/米} \cdot \text{时} \cdot ^{\circ}\text{C})$

导热过程可以在固体、液体和气体中进行。导热系数大的物体，如金属称为热的良导体，导热系数小的物体，如气体称为绝热体。导热系数 $\lambda \leq 0.02$ $(\text{千卡/米} \cdot \text{时} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 的固体，称为隔热体。某些物质的导热系数如表(13-1)所示。某些固体材料因含有空气泡，其导热系数有显著下降，如木材的导热系数 $\lambda = 0.0224$ $(\text{千卡/米} \cdot \text{时} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，而木屑的导热系数 $\lambda = 0.06$ 而 $(\text{千卡/米} \cdot \text{时} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，后者仅为前者的1/4。某些隔热材料，因潮湿其导热系数有显著增加，而损失其隔热性，所以冷库的隔热层应具有有良好的隔潮层。各种物质的导热系数不仅与品种有关，而且与状态有关。例如，鲜鱼和冻鱼的导热系数相差好几倍。

表(13-1) 某些物质的导热系数 λ 千卡/时 $\cdot ^{\circ}\text{C}$

名 称	比 重 (公斤/米 ³)	λ	名 称	比 重 (公斤/米 ³)	λ
钢	7850	39	聚胺脂泡沫塑料	<45	0.022
不 锈 钢	7900	15	"	<65	0.024
铜	8800	330	鲜 鱼	970~990	0.377
铝	2670	175	冻鱼(-1 $^{\circ}\text{C}$)		0.6
聚苯乙烯泡沫	33	0.0276	"(-5 $^{\circ}\text{C}$)		1.0
"	25	0.0271	"(-10 $^{\circ}\text{C}$)		1.2
"	24	0.0215	"(-20 $^{\circ}\text{C}$)		1.4
"	11	0.0195	水	1000	0.43-0.53
软 木	100~300	0.035~0.055	冰		1.95
油 膜	—	0.10~0.13	冷 冻 油		0.1-0.13

二、热 对 流

在日常生活中会遇到这样的现象，冬天在房子里生炉子，整个房间的空气会逐渐暖和起来。这是由于炉子附近的空气受热后体积膨胀，密度变小而向上流动，而周围较冷的空气密度大而向下降落。于是冷、热空气形成了自然对流运动。在对流过程中发生热量由高温向低温的传递。这种由于流体从空间某一区域移动到不同温度的另一个区域时所造成的热量传递，称为热对流。显然，热对流是热量传递的基本方式之一。热对流只可能在流体中发生，而在固体内部是不可能存在热对流的存在。

流体在进行热对流的同时也一定存在热传导。实际上流体中热对流与热传导很难加以分开。工程上常把热对流和热传导联合参与的热量传递过程称为“放热”。鱼体冷却过程中，其表面是以放热的形式把热量传给冷却介质。同样，在冷凝器、蒸发器、冷藏设备中，其表面所发生的热量传递也属于放热。牛顿在研究放热过程时指出：单位时间、单位放热面积所传递的热量与温差成正比，即

$$q_2 = \alpha (t_s - t_f) \quad (\text{千卡/米}^2 \cdot \text{时}) \quad (13-2)$$

式中 t_s , t_f ——物体表面和冷却介质的温度 $^{\circ}\text{C}$;

α ——比例系数。它表示单位时间，单位面积，单位温度差条件下的传热量。 α 称为放热系数，其单位为 $(\text{千卡/米}^2 \cdot \text{时} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。显然，放热系数与参与放热过程的流体性质，运动状态，表面形状等因素有关。若干放热系数的经验值如表(13-2)所示。

表(13-2) 对 流 放 热 系 数 α (千卡/米²·小时^{°C})

放 热 情 况	α	放 热 情 况	α
空气冷却:		空气在管内强制对流	50~100
静止	4~20	空气在管外强制对流	15~40
流动	10~500	氨冷凝	4000~7000
液体冷却:		氨蒸发	7000~8000
静止	70~300	水蒸汽冷凝(水平管)	10000~20000
流动	200~1000	水沸腾	3000~8000
空气在管外自然对流	5~8	水蒸汽冷凝(垂直管)	3000~8000

由表(13-2)数据可见，流体与固体表面之间的放热过程可以分为四种情况，即自然对流、强制对流、液体沸腾和蒸汽冷凝。由于流体性质、状态差距很大，其放热系数 α 的差别也相当悬殊。

流体在固体表面上作自然对流放热时，流体是由于表面与流体之间的温度差而形成的。故流速比较小，放热系数比较小。鱼体在冷海水中冷却就属于自然对流放热，其放热系数约为400 $(\text{千卡/米}^2 \cdot \text{时} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。流体借泵，风机强制流过固体表面时，其间的放热过程称为强制对

流放热。强制对流放热时，其流速比较大，故放热系数也比较大。液体沸腾或蒸汽冷凝都属于流体有集态变化的放热过程，其放热系数比较大。

三、热 辐 射

在日常生活中我们都会发现这样的现象，燃料在炉中燃烧时，炉门一打开就会感到热气逼人。我们身体并没有与炉接触，热量是怎么传过来呢？这是因为高温燃料中有一部分热能转变为辐射能，辐射能以电磁波的形式向四面八方传播，当身体吸收这部分电磁波后还会把电磁波的能量转变为热能。这样，热量就由燃气通过电磁波的形式传给人的身体。也就实现热量由高温物体自动地传给低温物体。严格地讲，任意温度下的物体都能辐射热能，也都能把所吸收的辐射能转化为热能。两个温度不同的物体，它们之间通过相互辐射，吸收热能。高温物体辐射大于吸收；低温物体的吸收大于辐射。总的效果是高温物体的热量传给低温物体。

低温保鲜操作中，鱼体与冷却介质的温差不大，辐射传热可以忽略不计。但冷藏库、柜外壳与太阳光之间的辐射传热是不能忽略的。由此可见，鱼类冷却过程实质上是鱼体内的热量从内部以导热的方式传到表面，再以对流放热的方式将表面上的热量传给冷却介质。设鱼体的初温为 $t_1^{\circ}\text{C}$ ，冷却终温为 $t_2^{\circ}\text{C}$ ，鱼体的重量为 G 公斤，那么鱼体传出的热量为：

$$Q = GC(t_1 - t_2) \quad (\text{千卡})$$

式中： C ——水产品的比热 $(\text{千卡/公斤}^{\circ}\text{C})$

水产品的比热因状态（冻结前和冻结后状态不同）和含水率而异，一般可用下式进行近似计算。

$$\text{冻结前} \quad C = a + 0.2b \quad (\text{千卡/公斤}^{\circ}\text{C})$$

$$\text{冻结后} \quad C = 0.5a + 0.2b \quad (\text{千卡/公斤}^{\circ}\text{C})$$

式中： a ——水产品的含水率；

b ——水产品中固形物的含有率。

水的比热最大， $C = 1 (\text{千卡/公斤}^{\circ}\text{C})$ 。所以含水率高的水产品比热大。冰的比热 $C = 0.5 (\text{千卡/公斤}^{\circ}\text{C})$ ，即冰的比热只有水比热的一半。所以水产品冻结前冷却时传出的热量，大即冷耗大。

水产品冷却过程中鱼体内的热量克服了导热热阻和放热热阻后才能传出的。由式（13—1）和（13—2）式可见，导热热阻 $R_1 = \frac{\delta}{\lambda}$ ；放热热阻 $R_2 = \frac{1}{\alpha}$ ，总热阻 $R = R_1 + R_2 = \frac{\lambda}{\delta} + \frac{1}{\alpha}$ 。热阻越大，传热速度越慢，冷却所需的时间也越长。水产品在温度为 $t_r^{\circ}\text{C}$ 的冷却介

质中，从 t_1 冷却到 $t_2^{\circ}\text{C}$ 。冷却所需的时间，因水产品的形状（即热阻）而异。其计算式如下：

$$\text{平板状} \quad Z = \frac{C\gamma}{4.65\lambda} a \left(a + \frac{5.3\lambda}{\alpha} \right) l_g \left(\frac{t_1 - t_r}{t_2 - t_r} \right), (\text{小时})$$

$$\text{圆柱状} \quad Z = \frac{C\gamma}{2.73\lambda} a \left(a + \frac{3.0\lambda}{\alpha} \right) l_g \left(\frac{t_1 - t_r}{t_2 - t_r} \right), (\text{小时})$$

$$\text{球状 } Z = \frac{C \gamma}{4.90 \lambda} a \left(a + \frac{3.7 \lambda}{\alpha} \right) \lg \left(\frac{t_1 - t_r}{t_2 - t_r} \right), \quad (\text{小时})$$

式中: C ——冷却物的比热 (千卡/公斤 $^{\circ}\text{C}$);

γ ——冷却物的重度 (公斤/米 3);

λ ——冷却物的导热系数 (千卡/米 $\cdot$ 小时 $^{\circ}\text{C}$);

t_1 ——冷却物的初温 $^{\circ}\text{C}$;

t_2 ——冷却物的终温 $^{\circ}\text{C}$;

t_r ——冷却介质温度 $^{\circ}\text{C}$;

α ——对流放热系数 (千卡/米 $^2\cdot$ 时 $^{\circ}\text{C}$);

a ——平板厚度, 圆柱体半径, 球体半径 (米)。

由上式可见, 水产品冷却时间 Z 与尺寸 a 成正比, 与对流放热系数成反比。所以冰鲜舱中鱼层厚度不宜过高; 冷海水保鲜中, 特大的鱼体是不适宜的。如果冷海水进行循环流动, 则冷却效果将会显著提高。

第三节 冷却保鲜方法

鱼类冷却保鲜方法主要有: 冰冷却, 保冷温度为 $0 \sim 3^{\circ}\text{C}$, 保鲜期为 $7 \sim 12$ 天; 冷海水保鲜, 保冷温度为 $0 \sim -1^{\circ}\text{C}$, 保鲜期为 $9 \sim 12$ 天。此外还有空气冷却保鲜、冰盐混合冷却等方法。

一、冰 鲜

冰冷却(即碎冰冷却, 又称冰藏或冰鲜)是新鲜水产品保藏和运输中使用最普遍的方法。由于冰鲜鱼最接近活鱼的生物特性, 故各国至今对这个传统保鲜方法仍然放在极重要的地位。水产品冰冷却的方法有撒冰法和冰水法两种。

(一) 撒冰法是将碎冰直接撒到鱼体表面。其优点是操作简便, 融冰水又可洗净鱼体表面, 除去细菌和粘液, 还可以防止表面氧化与干燥。撒冰法一般用于整鱼保鲜。其操作方法: 洗净鱼体 $\rightarrow$ 理鱼 $\rightarrow$ 撒冰装箱(撒冰要均匀, 层冰层鱼)。对特种鱼或大的鱼, 必要时可去鳃剖腹除内脏 $\rightarrow$ 洗净 $\rightarrow$ 腹内抱冰 $\rightarrow$ 撒冰装箱或装桶。箱或桶的底、壁及鱼表面都要均匀撒冰。

冰鲜中所用的冰有天然冰和机冰(有块状、片状、管状)。若用块冰保鲜, 使用前应将块冰轧碎。在远洋作业船上, 还可使用海水冰。海水冰的特点是没有固定的熔点, 在贮藏过程中会很快析出盐水, 变为淡水冰。海水冰的冰鲜比较适用于虾类, 降温快, 可防变色。海水冰不允许用港湾内的海水或污染的海水制造。目前日本新造渔轮上广泛采用海水淡水混合制片冰。片冰使用方便, 不易损伤鱼体, 撒布和冷却容易均匀。片冰制造设备简单, 可以安在船上及时生产使用。

冰在 0°C 时熔解热为 80 千卡/公斤。冰的熔化是吸热过程, 故冰熔化时吸收鱼体传出的热量而使鱼体冷却降温。冰和鱼间的传热是靠冰与鱼、熔冰与鱼以及空气与鱼的接触进行的。冷却刚开始时, 因冰和鱼温差很大, 冰迅速熔化, 冰的棱角减少, 接触面增大, 冷却速度较快。随着鱼体逐渐冷却, 冰和鱼温差减小, 鱼体冷却缓慢。留在冰和鱼体间的空气可以作

为传热的介质，它被冰冷却后去冷却鱼体，空气从鱼体吸收热量后又传递给冰，空气本身又被冷却，如此周而复始地传递热量。由于空气的比热和对流放热系数 α 都很小，故空气对鱼体的冷却作用不很显著。熔冰的水是冰冷却鱼体的中间产物。水由上而下经过鱼层吸收热量，经过冰层放出热量，所以冰水也是鱼体冷却的介质，与空气相比，冰水的传递热量能力比空气强得多。

鱼类冰鲜的保鲜期的长短取决于用冰量、碎冰大小及撒布是否均匀、船舱的隔热质量、卫生条件等因素。将鱼由 t_1 ℃冷却到 t_2 ℃，理论上的耗冰量为：

$$W = \frac{GC(t_1 - t_2)}{80} \quad (\text{公斤})$$

式中：G——冷却鱼的重量（公斤）；

C——鱼的比热（千卡/公斤℃）。

按上式计算，鱼体温度从25℃冷却到0℃，每公斤鱼只需要0.25公斤的冰。但实际上还存在鱼体冷却过程中放出的生化热、外界热量通过船舱渗入等因素的影响，耗冰量远超过上式计算值。如果规定保鲜期为13天，夏天每公斤鱼要耗1公斤的冰，冬季也需要0.5公斤。如果船上没有制冰设备，冰的运输将成为船上冷却保鲜作业的沉重负担。

冰鲜中，除了确保用冰量充足外，保鲜操作对保鲜期影响也很大。为了确保保鲜质量，冰鲜操作应注意如下：

- 1、鱼捕获后应尽快洗净鱼体。用淡水或清海水洗均可。必要时将鱼去鳃、剖腹、清除内脏，洗净血污和污物，注意防止细菌的污染。
- 2、理鱼要及时迅速。鱼货要按大小分类，不能食用的和有毒的鱼要及时剔除，压坏、破肚、损伤的鱼要挑出，另作处理。
- 3、用冰要充分，冰粒要细，撒冰要匀，层冰层鱼。每箱中鱼层不得超过三层。箱子叠堆不得超过七层。
- 4、熔冰水要及时排出
- 5、鱼舱、鱼箱都要事先洗净、消毒。
- 6、尽量减少中转。注意运输工具清洁卫生，防止日晒、雨淋。

二、水冰法

水冰法是先用水把清水或清海水降温（清水0℃，海水-1℃），然后把鱼泡入水冰中。其优点是冷却速度快，适用于死后僵硬快或捕获量大的鱼。冰的耗量可按下式计算：

$$W = \frac{(\text{水重} + \text{鱼重}) \times \text{水的初温}}{80} \quad \text{公斤}$$

由于外部热量的渗入，故实际用冰量应比上式略多一些。

水冰法一般用于鱼体迅速降温。待鱼体冷却到0℃时即取出，改用撒冰法保藏。整个冷却保鲜过程中，把鱼泡在水中是不适宜的。这是因为鱼肉会吸水溶胀，更容易变质。

三、冷海水保鲜

冷海水保鲜是把渔获物保藏在 $0\sim-1^{\circ}\text{C}$ 冷却海水中进行保鲜。海水冷却所需要的冷源可由制冷机组供应，该机组由制冷压缩机、冷却管组、海水冷却器、海水泵等组成。当然，也可以用冰作冷源。如果在捕获量很大的情况下，可以采用机、冰结合作冷源。

冷海水保鲜中鱼和海水的比例为 $7:3$ 比较适宜。保鲜操作时先将海水冷却到 $1.5\sim-1.5^{\circ}\text{C}$ ，然后边装鱼边供冷，直到满舱为止。鱼满舱加盖后，还要注入海水充满保鲜舱的空间，以免冷海水摇动船身。随后开动循环海水泵，使冰熔化以冷却鱼体。

冷海水保鲜特别适用于品种单一，渔获量高度集中的围网作业上。因为围网捕获的中、上层鱼，其活动力强，入舱后剧烈挣扎，很难做到层冰、层鱼。加之，这些鱼类血液多，酶活性强，胃食物中充满易腐败的饵料，当遇到大网头，采用冰鲜往往来不及处理。针对这种情况，采用冷海水保鲜，可使操作简单，鱼体冷却快，保鲜效果好。同时还可以利用吸鱼泵装卸鱼货，减轻劳动强度。

冷海水保鲜的主要缺点是鱼体在冷海水中吸收盐和水分，使鱼体溶胀，鱼肉略咸，体表稍有变色等。如何改进冷海水保鲜效果，仍然是国内外需要进一步研究的课题。

第四节 微冻保鲜

微冻是将渔获物保藏在 -3°C 左右的介质中的一种轻度冷冻保鲜方法，故又称为“过冷却”或“部分冻结”。该保鲜温度主要作用是抑制细菌的生长繁殖。微冻在船上应用时，只要将普通鱼舱改为隔热舱，并配备较小能量的制冷机组，以盐水或吹风方式对渔获物进行微冻；也可以用冰、盐混合物进行微冻保鲜。上述各种微冻方法都可以收到显著的保鲜效果。

一、冰盐混合微冻

冰盐混合物是一种有效的“起寒剂”。当盐掺在碎冰里，盐就会在冰中熔解而发生吸热作用，使冰的温度降低。冰盐混合在一起，在同一时间内发生两种作用：一种是冰的熔化吸收熔化热；另一种是盐的溶解吸收溶解热。因此，在短时间内能吸收大量的热，从而使冰盐混合物温度迅速下降，它比单纯冰的温度要低得多。

冰盐混合物的温度取决于冰中掺入盐的百分数。如用盐量为冰的 29% 时，最低温度可达 -21°C 。因此，利用冰盐混合物，可以进行渔获物的冷却和冻结。要使渔获物达到微冻温度 -3°C ，一般可在冰中掺入占其量 3% 的食盐。冰盐混合要均匀，才能达到最好的冷却冻结效果。

由于冰熔化快，冷却温度也低，冰熔化后，冰水吸热温度回升，渔获物温度的回升也快。因此，在冰盐微冻过程中需要逐日补充适当的冰和盐，以期保温。利用冰盐混合物微冻梭子蟹，其保鲜效果较好。一般操作方法是：一层蟹（约 10 厘米厚）加一层碎冰（约 5 厘米厚），再掺入冰重 2% 的渔用盐。在鱼箱或鱼舱的面冰上，应逐日补充适当的冰和盐，保鲜期可达 12 天左右，比一般冰鲜的保鲜时间增长一倍以上。

二、低温盐水微冻

由于盐水放热系数大，一般为 $300\sim 400(\text{千卡}/\text{米}^2\cdot^\circ\text{C})$ ，而空气仅为 $10\sim 15(\text{千卡}/\text{米}^2\cdot^\circ\text{C})$ ，因此，将渔获物浸在 $-1\sim -5^\circ\text{C}$ 的低温盐水里进行冷却与冻结，其速度较快。

盐水微冻船的主要装置有：盐水微冻舱、保温鱼舱和制冷机组三部分。

盐水微冻保鲜的操作工艺：首先预制好一定量的冷盐水，即用泵将清洁海水抽进微冻舱，配成海水（盐水）浓度为 10°Be 左右，这部份工作应在渔获物起网前做好；然后将渔获物经冲洗后装入盐水舱中的网袋进行微冻，当盐水温度回升后，又使其降到 -5°C 左右，即鱼体中心温度达到 -2°C 时（一般盐水和鱼体温度相差 $2\sim 4^\circ\text{C}$ ），微冻完毕；最后将渔获物用吊杆起出盐水舱，移入保温鱼舱，并由冷风机吹风保冷，维持鱼舱温度为 $-3^\circ\pm 1^\circ\text{C}$ 。每次微冻后的盐水要测定浓度，以便补充相应的盐量，盐水中污染严重时，要及时更换清洁盐水。为防止盐水蒸发器结冰，蒸发压力不宜过低。

这种工艺的关键在于选择适当的盐水浓度。试验研究认为选择盐水浓度 10°Be 左右，鱼货在盐水中浸泡 $3\sim 4$ 小时，鱼货微冻的质量最好。

盐水浓度在共晶点范围之内，浓度越高凝固点越低，对制冷系统越有利，越不会产生系统阻塞。但由于浓度过高，盐分对鱼体的渗透性过大，致使鲜鱼偏咸，影响了鱼肉的风味。

第十四章 冻结保鲜

水产品冷却保鲜，虽然使酶和微生物的作用受到一定的抑制，但仍然以相当的速度使水产品的品质劣化。因此冷却保鲜的鱼类都不能长期贮藏，而只是作为鲜鱼的运输、加工、销售的暂时贮藏。

为了较长时间地贮藏鱼货，必须将鱼体温度降到更低的限度，以使鱼体内大约有90%的水分结成冰，即所谓的冻结保鲜。在一定范围内，鱼体温度越低，越有利于长期贮藏。这是因鱼体内部液汁的水结成冰，而使液态水分大大降低，微生物本身也产生了生理干燥，造成不良的渗透条件，微生物就无法利用周围的营养，也无法排出代谢产物。同时也由于细胞内某些毒物的积累，阻碍微生物的生命活动。另外，低温还大大减缓鱼体内的生物化学反应，从而使鱼类得到长期的贮藏条件。目前，水产品冻结保鲜有低温化的倾向。一般地说微生物在 -12°C 时，繁殖速度已降到很低的程度，但酶和非酶的作用还存在，所以实际上冻结保鲜的推荐温度为 -18°C 。

第一节 水产品冻结时的变化

水产品冻结时，首先是水的冻结。水的温度从 4°C 降到 0°C 时，其体积大约要增大9%；而冰每降 1°C ，体积要收缩 $0.01\sim 0.015\%$ 。胀和缩相比，胀要大于缩，所以水产品冻结时其体积是要膨胀的。另外，水产品冻结时总是由表及里。当内部水分冻结时，其体积膨胀将