

高等水产院校交流讲义

水产品冷藏工艺学

上海水产学院主编

加工专业用

农业出版社

前 言

本教材是以上海水产学院馮志哲 1958 年編写的,水产品加工专业用魚类冷藏工艺学讲义为基础改編的。

这次改編过程中,我們根据以往教学經驗,对原讲义某些章节作了較大的修改,同时增添了概述和冷藏运输两章,在水产品冻结一章中,还补充了近几年来国际上魚类的新型冻结设备及其发展趋向和我国大跃进以来水产品冻结工艺过程的新創造。

本教材对魚类冷冻加工的理论基础、主要的工艺过程和冻结设备等作了較系统和詳細的阐述,可作为高等水产院校的冷藏工艺学讲义,亦可供有关专业技术人员参考。

本教材由課程小組成員山东海洋学院樓偉凤先生帮助作了校稿、抄写、繪图及整理个别章节等工作。

在編审过程中,上海水产学院翁斯鏗先生对大部分章节作了校閱;楊天錫同志帮助作了大部分繪图工作;上海魚品加工厂郎坚一同志和上海水产供銷公司冷冻总厂林良鴻同志对教材內容提了不少宝贵意見,謹此致謝。

限于資料、時間和編者水平,錯誤之处在所难免,尙請讀者批評指教。

編者 1961 年 6 月

目 录

前言

緒 論	1
第一章 概述	3
一、魚类的化学成分	3
二、低温对微生物的影响	4
三、低温对生物細胞的影响	6
四、魚的热指数	7
五、魚的几何形状	11
六、冷却介质的特性	13
第二章 魚类的冷却	18
一、冷却的基本情况	18
二、魚类的冷却時間	20
三、冷却时冷量的消耗	31
四、魚类冷却的几种方法	33
五、魚类預先冷却与抗菌素的使用	43
第三章 魚类的冻结	46
一、魚类在冻结时的变化	46
二、魚类冻结的条件	51
三、冻结的速度	59
四、冻结時間	64
五、魚类冻结时冷量的消耗	67
六、魚类冻结方法(分类)	69
七、我国水产品冻结的工艺流程	100
八、我国水产品冻结工艺过程的改进	103
九、水产品冷冻生产的檢驗工作	105
第四章 冷却魚片和冻结魚片的生产	113
一、魚体的剖割	115
二、剖魚片的方法	117
三、魚片的固定	118
四、魚片的造型	122

五、魚片的冷却、冻结·····	123
六、海水和淡水魚做魚片生产过程的技术操作程序·····	125
第五章 魚类的冷藏和冻藏·····	127
一、冷藏中魚体的变化·····	127
二、冷藏期間魚体重量的变化·····	131
三、冻结魚的藏冰·····	134
四、冷藏室中食品的堆置·····	137
五、冷藏室中空气的温度和湿度·····	138
六、目前防止冻魚脂肪氧化的方法·····	140
七、冷藏室的冷却方法和冷藏室中冷却器的安置方式·····	142
第六章 魚类的解冻·····	147
一、解冻的实质·····	147
二、解冻方法·····	148
三、解冻过程的速度·····	150
四、魚类解冻时热量的消耗·····	151
第七章 冷藏运输·····	153
一、冷藏列车·····	153
二、冷藏船·····	159
三、冷藏汽车·····	161
第八章 漁业冷藏庫·····	164
附录·····	166

緒 論

水产品加工工业中，除了醃制、干制、罐藏、综合利用等加工方法外，用冷冻来保藏和运输水产食品，亦有重要的意义。鱼类等新鲜水产品具有易于腐败的性质，同时在生产上具有地区、季节、产量高度集中的特点，特别是我国的亚热带地区，很多海水鱼的渔汛都集中在气温较高，最易于腐败的夏、秋季节。这样就造成渔获物保藏运输上的困难。采用冷冻加工方法，就能减少甚至避免这种困难。它不仅能使大量的鱼货长时间保持固有的营养和风味，而且便于人们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，在旺季保藏下来，到淡季供应市场消费，以调节产销、保证加工原料供应，因而冷冻加工成为渔业生产上一个极为重要的组成部分。

解放前，我国食品冷藏业是十分落后的，国内几个稍具规模的冷冻厂，多系帝国主义为掠夺食品资源而建立的。据统计1949年以前，在全国范围内冷藏库的总容量只有二万二千吨左右。其中用于水产品保藏的更是少得可怜。

解放后，党为了保证供应人民新鲜食品，调节国内市场供应，发展对外贸易，给予食品冷藏业以极大的重视。到1960年全国冷藏网已具雏形，冷藏库容量已达四十余万吨，相当于解放前的二十倍。水产品的冷冻保藏是其中重要的一部分，由于我国丰富的水产资源，在解放后得到迅速开拓，养殖和捕捞生产得到了高速度的发展，为了使加工保藏与养殖捕捞相适应，从而促进养殖、捕捞生产的更大发展，提供更多的水产食品，1958—1960年在浙江、上海、山东等渔区和主要消费城市，皆建立了以水产品保藏为主的冷冻厂，增添了冷藏船只及运输车辆。从国际上看，目前世界各国的水产品冷冻事业亦都发展很快。例如苏联1959—1965年的发展国民经济的七年计划中规定：冻鱼和鲜活鱼在鱼制品中的比重将由1950年的23%增加到54%。冷藏船只将由1958年（150匹马力以上）的31.3%，增加到65.3%。近几年来，日本的冷冻水产品生产也有所发展，出口量亦有所增长。不能例外，我国的水产品生产亦在迅速发展，我国水产品的冷冻加工业亦在相应地发展。

为了适应水产加工生产上的需要，解放后，党和国家对于冷冻技术人材的培养方面，给予了很大的注意。增设了很多水产院校，而且这些院校中的水产加工专业，都开设了水产品冷藏工艺学和制冷技术等课程。有的水产学院还设立了冷冻专业。

食品冷藏法：包括一切使用低温来保藏食品，不使腐败变质的方法。包括从人类最早使用地窖、天然冰雪保藏食物，发展到现代采用人造冰、干冰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

而使食品的保藏期限从数天延长到数月乃至半年以上,使鱼类等最易变质的食品保持接近于固有的食用价值和商品价值。这种成果的获得是和今天食品冷藏科学技术上的不断研究和发展分不开的。与食品冷藏直接有关的科学技术,主要有两个方面,即制冷技术和冷藏工艺学。前者以研究运用机械设备获得低温的方法和理论为主;而后者则是以研究运用低温从事保藏各种食品的方法和理论为主。因此,水产品冷藏工艺学学习的范围,包括水产品的冷藏、冷藏库的非冻结保藏与冻结保藏,以及车船运输等的基本原理、方法和设备。特别是有关适用于鱼类的快速冻结理论和技术等方面的研究,是今天食品冷藏工艺学的最主要部分。为了学好水产品冷藏工艺学,还必须具备一些基础知识,如热力学、热传导的理论、计算、物理化学与胶体化学、生物化学、微生物学、冷冻设备的结构、使用和维修的基本知识等。

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的各方面的科学技术水平的提高分不开的。水产冷藏工艺学也不能例外,在国家水产生产不断迅速发展和整个科学技术不断前进的有利条件下,同样会迅速的发展,从事于这门科学的科学技术人员队伍,也必然会不断成长、壮大。

第一章 概 述

魚类是营养丰富、产量很高的肉类食品之一,但在一般的条件下,新鮮魚类及其制品易于腐敗变质,因而很难长期保藏。引起魚类腐敗变质的原因非常复杂,到目前为止,尙未能彻底了解,就已知研究成果看来,不外乎两个方面:

(一) 内在因素: 魚类机体组成的特殊性——也就是魚体的蛋白质、脂肪、酶及其他成份在含量和品种上的特殊性,这是主要的因素。

(二) 外界因素: 微生物、温度、湿度及酸硷度等等方面。外因虽然是次要的,但它能影响和促进内因。因此,我們設法控制外因,即控制魚类保藏中的条件,就有可能防止或减缓它的腐敗速度。魚类的冷冻加工即是为了此目的而采取的主要方法。

关于魚类机体的化学成分及其特殊性已在生物化学中有了詳尽的介绍,微生物是引起魚类腐敗的重要因素之一,在微生物学中已有系統的叙述,所以这里仅作扼要的介绍。

一、魚类的化学成分

魚类的主要成分是: 水分、蛋白质、脂肪、碳水化合物、无机物,此外还有維生素及酶。表1列举了某些主要魚类的平均化学成分及維生素的含量。

水份在魚体中的含量一般在70—80%。魚肉中的蛋白质是营养价值很高的完全蛋白质,其氨基酸的組成和牛、猪等畜肉很相似。魚的肌肉蛋白质組織松软,比畜肉容易消化,蛋白质在微生物及外界条件作用下引起变化,不仅結構改变而且成分亦随之变化,而食物中蛋白质变性后,开始了腐敗的过程;使食品的食味、外觀等品质大大降低。

魚类的脂肪在某些上层魚类如鲱、鯖、沙丁魚等,其肌肉中的含量較少。而某些魚类肝脏中脂肪含量达60%,魚类的脂肪中不飽和脂肪酸含量較高,所以魚的脂肪在貯藏时很不稳定,在不飽和部份易发生氧化,从而使脂肪品质变坏——通常顏色变暗及气味变坏,以至于达到不能食用的程度,这种現象往往深入肌肉内层。冷冻加工的基本任务是在設法使蛋白质的变性及脂肪的氧化达到很小的程度。

碳水化合物在魚的机体內含量少,而且沒有特殊性质,仅多醣如糖元($C_6H_{10}O_5$)_n在一些魚的肝脏及某些其他組織中儲存。

魚类的无机物一般种类較多,含量亦比兽肉稍高。碘的含量每公斤魚中达1毫克%—1毫克%。海产魚类是人們食物中碘的主要来源,无机物主要以介质及离子状态存在,它們能

表1 几种常食水产品营养成分表(每百克中含量)

水产品 名称	水分 (克)	蛋白质 (克)	脂肪 (克)	糖 (克)	钙 (克)	磷 (毫克)	铁 (毫克)	维生素A (国际单位)	硫胺素 (毫克)	核黄素 (毫克)	尼克酸 (毫克)
鲫鱼	85	13.0	1.1	0.1	54	203	2.5	—	0.06	0.07	2.4
鲤鱼	79	18.1	1.6	0.2	28	176	1.3	140	0.06	0.08	2.8
鳊鱼	81	17.9	0.5	0	27	53	4.6	180	0.02	0.95	3.1
带鱼	78	15.9	3.4	1.5	48	204	2.3	—	0.02	0.06	2.2
黄鱼	81	17.2	0.57	0.3	31	152	1.8	80	0.02	0.09	0.9
鲑鱼	76	14.9	8.7	0	—	—	—	—	0.08	0.07	2.9
鳊鱼	80	17.0	1.7	0.3	48	108	1.1	100	0.02	0.10	1.8
鳊鱼	80	15.1	0.8	2.3	—	—	—	230	0.08	0.09	2.4
螃蟹	71	14.0	5.9	7.4	129	145	13.0	5960	0.03	0.71	2.7
青虾	81	16.4	1.3	0.1	99	205	1.3	260	0.01	0.07	1.9
蛤蜊	80	10.8	1.6	4.8	37	22	14.2	400	0.03	0.15	1.7

保持溶液一定的渗透压,而降低液汁的冻结点。

维生素在海水鱼中主要是 V_{A_1} ,而在淡水鱼中则主要是 V_{A_2} 。维生素 A 分子结构中含有五个双键,故其化学性质很活泼,易被空气氧化而丧失其生理作用,故在冷藏鱼类及鱼肝时应密切注意。维生素 D 较少,它存在于鳕鱼及一般鱼的脂肪中。

酶的种类很多,各有其专一性,其活性受环境的影响,例如温度、pH 等。水产动物的酶的最适温度,由于种类不同相差甚大,约介于 $20-50^{\circ}\text{C}$ 之间,温度降低到 0°C ,酶的活性大大减小,但并不完全停止,温度越低其活性越小,不过温度回升时其活性仍可恢复。酶活性对环境 pH 的改变极为敏感,最适 pH 受很多因素的影响,但在一定条件下,各种酶均有其特有的最适 pH,微生物体内存在的酶其最适 pH 一般在 4 至 6.5 左右,动物体内存在的酶其最适 pH 一般在 6.5—8.0 左右。

二、低温对微生物的影响

微生物的存在很普遍,能迅速腐败许多食物。冷能抑制和减缓微生物的繁殖速度,但许多微生物,首先是霉菌,在冷藏室内(特别是温度维持在零上的冷藏室)的食品上、建筑物和设备上迅速的发育。微生物不仅能以食品作为自己的养料,就是木材、绝缘材料、泥灰等有机物也能充作养料。所以冷藏工艺学中了解低温对细菌、酵母及霉菌的作用是很重要的。

霉菌和酵母最能忍受低温。细菌对低温的耐力较差。低温只阻碍了微生物的活动,但并没有停止它们的活动,即还在缓慢的发育,并进行着重要的生化反应。这些活动仍能使食品变质。

低温对微生物的影响最显著的是八叠球菌,它的有效抑制期在 $+2^{\circ}\text{C}$ 时 15 昼夜, 0°C 时 22 昼夜, -2°C 时 87 昼夜。对鳕鱼肌肉的试验看出:细菌在 $-1.2^{\circ}\text{C} \sim -4^{\circ}\text{C}$ 时, 5—8

天后才明显的生长,低于 -4°C 则增至35天,在 -5°C 时达到42天,在 -6°C 时长至76天。类似的試驗得出在 -12°C 时,魚体内細菌的增长速度是很低了,它的活动几乎停止,仅在200天后才观察到有些发育。

个别酵母在 -3°C 时停止发育,有的在 -5°C ,更有的在 -10°C 。

海水微生物只有在 -10°C 以上才有所发育。在冻结及冷却的大白鱈魚中取得9种酵母,发现 -5°C 时发育的有8种, -8°C 时发育的一种。

特别能忍受低温的是霉菌,在 -7.8°C ,甚至再低的温度时仍能发育。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 after 出现2种青霉菌菌株,而在11个月 after 这种生长才較清晰。从貯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,霉菌和酵母最能忍受低温而細菌則較差。因此,为了防止食品中微生物发育,魚及魚制品必須貯存在低于 -10°C 的条件下。但防止霉菌发育則需低于 $-12^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$ 。一般微生物忍受低温比高温要强得多,大多数的微生物能抵抗低温,細菌能存在于雪及冰中,甚至在干冰中亦发现有腐敗菌。若对微生物停止冷的作用,它的生命活动就可回复。有些微生物經长期的低温影响后,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。

緩慢降低冷却或冻结物的温度时,使一些嗜冷性細菌得到适应温度而能发育生长。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他因素;如在流动空气中那些生于食品表面层的霉菌,空气的流速愈大它的忍受力愈强,而且空气对被作用物在垂直流动时比平行流动霉菌更易发育。

契斯佳柯夫及其他学者研究証明:低温对微生物的作用,緩和的低温对微生物的影响較之深度低温更为有害。許多霉菌常常在 $-8^{\circ}\text{C}\sim-2^{\circ}\text{C}$ 死亡,而在 $-12^{\circ}\text{C}\sim-18^{\circ}\text{C}$ 时,却能忍耐12个月。某些微生物被低温所破坏是由于細胞液汁很緩慢地形成大的冰結晶,在另一种情况下,如果溶液在冻结范围内部份結冰,此时提高了溶液的渗透压,这种較高的压力抑制了微生物的活动。

在低温下微生物死亡的原因很多:由于形成冰結晶使細胞受到机械破坏、細胞沒有养料、部份原生质凝固、細胞脫水。此外,低温排除了酶正常活动的条件,使新陈代謝破坏,而新陈代謝的破坏使微生物細胞内积累了毒物及其他不氧物质。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 $0^{\circ}\text{C}\sim-5^{\circ}\text{C}$ 。

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,只有在外界环境較适宜的条件下,微生物及酶才能进行发育,可是无论对酶或微生物温度是外界因素中最基本的一个,正是温度最主要的决定了微生物的发育。

三、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较小,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活动速度减弱了。例:温度从 $+15^{\circ}\text{C}$ 降到 $+1^{\circ}\text{C}$,*Nitella* *Syncarpa* 藻的原生质的活动速度减小约12倍。

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部份溶液浓度增高,高浓度的溶液对原生质蛋白质起破坏作用,而引起细胞的死亡。

在1升溶液中含有1克分子物质时,液汁的冻结点相当于 -1.85°C 。植物液汁通常在 -1.5°C 冻结,因而它的浓度比1升中含有1克分子低。糖分较多的植物液汁,浓度较大其冻结点亦较低。例:成熟的果子冻结点从 -2°C ~ -4°C 。

1升中含有1克分子有机物的溶液,在 0°C 时它的渗透压达到22.35大气压,上面已述在此条件下溶液的冻结点是 -1.85°C ,因而在 0°C 时的渗透压在数值上20倍于冻结点温度(22.35:1.85)。按这种原理测量渗透压能确定细胞液汁的冻结点。

冻结植物时,水从细胞内流出来。但在动物组织内,这个过程没有象植物细胞那样容易进行,所流出的液体与形成的冰结晶取决于冻结速度。缓慢冻结时动物组织内,部分水分由于渗透作用而从肌肉纤维内流出来。愈是缓慢冻结水从纤维内到纤维之间的迁移时间愈长,留在纤维内的水分愈少。快速冻结时,水分来不及从纤维内流出来,它们在纤维内冻结,冰结晶较小。

细胞内形成冰结晶时,呈液态的水分丧失了溶剂本身的特性,它破坏了整个细胞的生命过程,阻碍了有机体内重要的生化反应。

环境的温度对鱼体的生命过程亦发生很大的影响。鱼是变温动物,它的体温由环境影响,不同的鱼能生活在不同温度下。例:鲟能忍受冻结环境,只要它体内溶液还未冻结。鱼类能忍受的温度变化有较广的范围,某些鱼甚至能经几十度的变化。鱼类不能忍受急剧的温度变化,即使 $5-7^{\circ}\text{C}$ 亦不行。

综上所述,鱼类由于组织结构与畜产动物有些不同,它比畜产动物更易腐败。引起腐败的原因目前已知的主要是酶及微生物的作用。降低温度,酶及微生物的活动能力大大减缓,使食品得以长期保存。温度降低化学反应亦减缓。如,脂肪的氧化,维生素的氧化都减缓了。所以冷藏能使食品保持固有的颜色,食味及营养,因之冷藏食品深受广大人民喜爱。

食品的种类不同,冷冻的程度亦不同。我们把冷到接近于食品液汁冰点的称为冷却,一般在 $+5^{\circ}\text{C}$ ~ -1°C 之间;而冷到食品内液汁结冰的称为冻结,一般在 -15°C ~ -18°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就较短,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 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,冻结之分,所以冷藏亦

分为冷藏及冻藏,对鱼,肉类一般所指冷藏多系冻藏。

食品在冷冻加工过程中要发生生物学,化学及物理的变化。这些变化在以后每章节中都有较详细的论述。

四、鱼的热指数

鱼及鱼制品在冷冻加工过程中不断放出热量,温度也逐渐降低,其速度不仅与热交换强度有关,也与冷却介质及冷冻物品的热力学参数有关。

为制定最适宜的冷冻加工条件及进行工艺计算,必须了解这些热力学参数。

比重:单位容积内的重量。常用的单位有[克/厘米³]或[公斤/米³]。鱼的比重随温度而变,在15°C时鲤的比重是0.987[克/厘米³],去内脏的鲤是1.082[克/厘米³],未冻结鱼的平均比重采用1010[公斤/米³]。

比热:物体每升高(或降低)1°C所吸收(或放出)的热量。常用的单位有[卡/克·°C]、[千卡/公斤·°C]或[千卡/米³·°C]。鱼类的比热除随温度而改变外,更重要的与鱼体含水量有密切关系,若在某一温度区间(视比热在该区间内不随温度而变)则比热与含水量间的关系可由下式表示:

$$C_P = C_B W + C_O n \quad \text{千卡/公斤} \cdot ^\circ\text{C}$$

式中:

C_P —鱼的比热,千卡/公斤·°C;

C_B —水的比热,千卡/公斤·°C;

C_O —干物比热,千卡/公斤·°C;

W 及 n —相对的含水量及干物量。

鱼类干物比热一般在0.334千卡/公斤·°C,而其肌肉比热为0.839千卡/公斤·°C,对于鱼类冷冻加工最具有实际意义的是0°C~-5°C间的比热,因为此时鱼体内大部分水分变成冰而放出热量。但当温度低于-25°C时,水分的继续结晶对鱼类的比热影响不大,此时鱼类肌肉组织比热约为0.440千卡/公斤·°C。

热焓:是物体的状态函数,表示物体从始态到指定终态时热量改变的状况。鱼类的热焓由比热及凝固热组成。不同的鱼由不同的化学成份,其热焓[千卡/公斤]也不等,在鱼类冷冻加工过程中主要是了解热焓的变化,即冷冻加工时鱼体热量的变化,在高于0°C及低于液汁冰点时鱼的热焓有重大的差别,高于0°C时可由下式决定:

$$i_1 = C_P \Delta t = C_P (t_H - t'_K) \quad \text{千卡/公斤}$$

式中:

i_1 —从温度 t_H 到 t'_K 热焓的变化,千卡/公斤;

C_P —鱼的比热,千卡/公斤·°C;

t_H —鱼体初温,°C;

t'_K —鱼体终温,°C; $t'_K \geq 0^\circ\text{C}$ 。

而低于 0°C 时的热焓为:

$$i_2 = W \cdot \omega \cdot r + W \cdot \omega \cdot C_H(t_s - t_K) + (1 - \omega)WC_0(t_s - t_K) \\ + (1 - W)C_{0-B}(t_s - t_K) \text{ 千卡/公斤}$$

式中:

W —含水量,每公斤鱼中的公斤数;

ω — t_K 时的冻结水量(%);

r —凝固热,千卡/公斤;

C_H —冰的比热,千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$;

C_0 —液汁比热,千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$;

C_{0-B} —鱼类干物比热,千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$;

t_s —鱼类液汁冻结点的温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_K —鱼类冻结最终温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

鱼体中水分冻结量可根据 Г. Б. Чижов 提出的公式求得:

$$\omega = \frac{A}{1 + \frac{B}{\log t_K}}$$

式中:

ω —温度 t_K 时的冻结水量(%);

A, B —系数,相当于 110.5 及 0.31。

不同的温度区间,焓值的变化相差极为悬殊如图 1 所示。

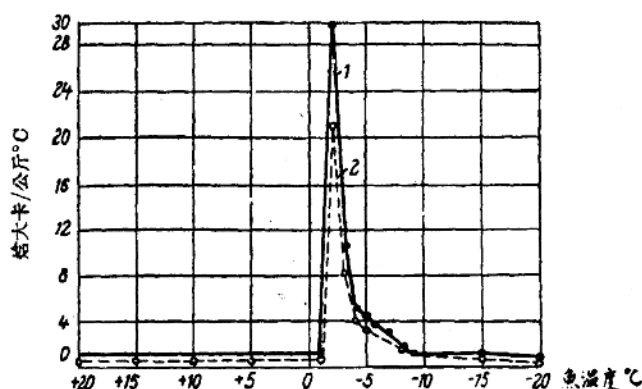


图 1 降低温度时鱼类焓值的变化

可见,在 $-1^{\circ}\text{C} \sim -2^{\circ}\text{C}$ 间焓值改变最显著,而 -8°C 以下则不明显。

表 2 列出了鱼及鱼片在各种温度时的焓值(把 -20°C 时的焓值当作零),由此可以很快得出在规定的温度下,鱼及鱼制品在冷冻加工时所需冷量。

表 2 某些魚及魚制品在不同溫度下的焓值

魚及魚制品 名 称	各 相 应 温 度 时 的 热 含 值																		
	-20	-18	-16	-12	-10	-8	-5	-3	-1	0	+1	+3	+5	+7	+10	+12	+15	+17	+20
瘦 的 鱈	0	1.2	3.4	5.9	8.0	10.4	15.3	21.3	50.9	63.5	64.4	66.1	67.7	69.4	71.9	73.6	76.1	77.8	80.3
肥 的 鱈	0	1.2	3.4	5.8	7.8	10.1	14.7	20.4	47.7	59.5	60.4	62.0	63.6	65.2	67.7	69.3	71.8	73.4	75.8
鱈 魚 片	0	1.2	3.4	6.1	8.3	10.9	16.0	22.4	50.7	67.3	68.2	69.6	71.7	73.4	76.0	77.8	82.1	82.1	84.8

导热系数 $[\lambda]$: 表明物体导热能力的一个参数, 其值是单位时间、单位长度上温度降低 1°C 时, 通过单位面积的热量。导热系数的单位是 $[\text{卡}/\text{厘米}\cdot\text{秒}\cdot^{\circ}\text{C}]$ 或 $[\text{千卡}/\text{米}\cdot\text{小时}\cdot^{\circ}\text{C}]$ 。它与物质的结构、比重、温度及压力有关, 对冷冻加工的时间有很大的作用。

根据混合计算法则, λ 的近似算法如下

$$\lambda = \lambda_0 W + \lambda_1 n \quad \text{千卡}/\text{米}\cdot\text{小时}\cdot^{\circ}\text{C}$$

式中:

λ —物品的导热系数, 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$;

λ_0 —水的导热系数, 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$;

λ_1 —干物的导热系数, 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$;

W 及 n —每公斤物品中干物及水的相对含量。

魚的导热系数在 $+30-0^{\circ}\text{C}$ 間变化不大, 因此工艺計算中往往作为常数。在冷却时則已确定, 鱈魚 $0.403-0.421$ 、鱈 0.396 、鰻 0.405 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$ 。而冻结状态, 特别是从冰点到 -20°C 之間, 由于水分的物态发生了强烈的改变, 所以即使温度降低 1°C , 也会引起导热系数的很大变动, 同时导热系数随温度而变, 由于不同的魚肉层有不同的温度, 因此要精确地求得每一点的数值是很困难的。然而它对魚类冻结过程的計算却很重要, 这有待于今后努力。

一般冻魚的导热系数在温度接近 -1°C 时, $\lambda=0.522$; -2°C 时, $\lambda=0.638$; 近 -4.5°C 时, $\lambda=0.94$; 在 -30°C 鱈魚肉的 $\lambda=1.5$ 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$ 。可見冷冻魚的导热系数比冷却魚大些。温度在 -4.5°C 时为冷却魚的一倍, 而对于整个冻结过程來說接近于 $1.0-1.2$ 之間。

导温系数 $[a]$: 是表示不稳定状态下热量傳播的特性, 正象导热系数表示稳定状态下热量傳播的特性一样。导温系数越高, 物质内部热量傳播越快。

导温系数, 导热系数、比热及比重的相互关系为:

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma} \quad \text{米}^2/\text{小时}$$

式中:

a —导温系数, 米²/小时;

λ —导热系数, 千卡/米·小时· $^{\circ}\text{C}$;

c —比热, 千卡/公斤· $^{\circ}\text{C}$;

γ —比重, 公斤/米³。

可见, 鱼肉的导温系数随导热系数的增加和比热、比重的减小而增大, 但在 30°C 到冻结点, 导温系数几乎不变(该区间内 λ , c , γ 差不得都不变)通常采用下列数据:

表 3 $40^{\circ}-0^{\circ}\text{C}$ 间鱼肉的导温系数

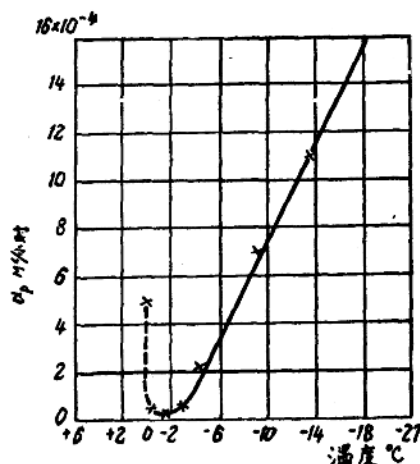
物品名称	γ [公斤/米 ³]	C [千卡/公斤 $\cdot^{\circ}\text{C}$]	λ [千卡/米 $\cdot$ 小时 $\cdot^{\circ}\text{C}$]	a [米 ² /小时]
鱼 肉	1050	0.83	0.327	0.000375
鱼 肉	1050	0.83	0.412	0.000473

可是, 当温度低于冻结点时, 由于 λ , γ , c 等数值急剧改变, 导温系数也迅速变化, 甚至在鱼体温度变化很小时也是如此。鲢鱼肉的导温系数在温度 $0\sim-21.2^{\circ}\text{C}$ 之间 ($0\sim-1.2^{\circ}$, $-1.2\sim-2.1^{\circ}$, $-2.1\sim-3.8^{\circ}$,等) 如表 4 所示

表 4 $0\sim-21.2^{\circ}\text{C}$ 间鲢鱼肉的导温系数

测定时所处的温度区间($^{\circ}\text{C}$)	a (米 ² /小时)
从 0.0 到 -1.2	0.000054
从 -1.2 到 -2.1	0.000037
从 -2.1 到 -3.8	0.000064
从 -3.8 到 -6.8	0.00022
从 -6.8 到 -11.1	0.00068
从 -11.1 到 -15.8	0.0011
从 -15.8 到 -21.2	0.0016

上表不能认为是十分精确的, 因为在该温度区间内, 鱼肉的物理性质有很大的变化。图 2 所示为鱼肉的导温系数与温度的关系

图 2 鱼肉的导温系数 a_p 与温度关系

从上图可知, 温度在 $-1\sim-3^{\circ}\text{C}$ 时 α 有最小值, 大约在 -8°C 时相当于冷却鱼的导热系数值, 在 -20°C 时 α 值为冷却状态的三倍。

五、魚的几何形状

魚类按其栖息的环境和条件不同, 其外形亦是多种多样的, 在冷冻加工上有实际意义的几何形状可分为下列几种: 魚雷形、紡錘形、箭形、碾平形、鰻形。

魚雷形或紡錘形——魚体外形前部粗大, 后部很細, 兩側微收縮、厚度与高度几乎相等如鯖魚、鯊目、鮭科、鯡科、鰹科。

箭形魚类——魚体伸长、头部到背鳍几乎占魚体整个长度, 背鳍在魚体后部, 魚体高度均匀如狗魚、鄂針魚。

碾平形魚类——魚体兩側收縮, 体較高, 眼睛位置不对称如鰻、鰱魚也属此列。

鰻形魚类——魚体伸长呈蛇形或蠕虫状, 这种魚善于游泳如康吉鰻、鰻魚、海八目鰻。

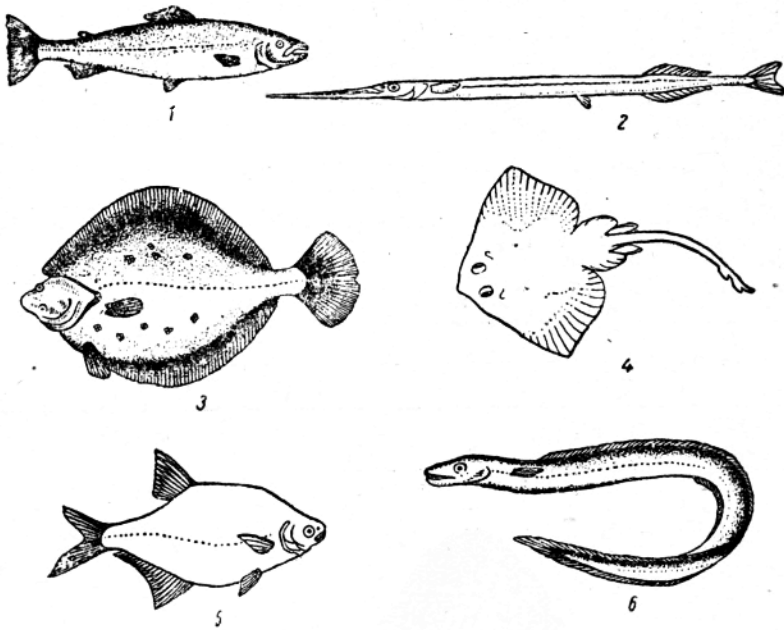


图3 各种魚的几何形状

魚类的高度与直径之比值 $n = H/D$ 随种类不同有很大差别, 鰻魚 $n = 10-20$, 比目魚 $n = 0.1$ 。这里 H —圓柱高度, D —圓柱直径, 当 $n = 1$ 时即 $H = D$ 时表面积与体积之比最小, 显然此时魚的形状接近于圓柱体, 其面积和体积之比

$$\frac{F}{V} = \frac{\pi DH + 2 \frac{\pi D^2}{4}}{H \frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4}{D} + \frac{2}{H}$$

D 、 n 和表面积与体积之比的关系如下图所示:

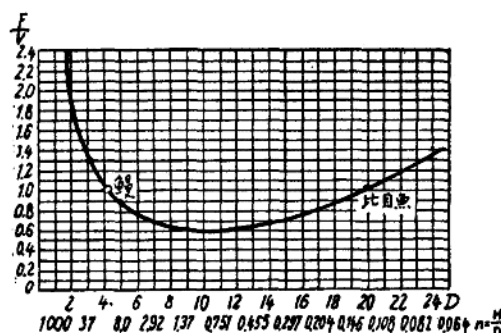


图4 鱼体表面积与体积之比的曲线

由上图可以看出,当 $H = D = 10$ 时, $n = 1$, $\frac{F}{V} = 0.6$ 并且在該区域内曲线的坡度最小,增大 n 值时,表面积较体积增加更为迅速(参阅图4)。

多数鱼类其 F 与 V 之比在 0.75—0.85 之間,外形亦非規則的圓柱形,而是橢圓形或卵形,因此横断面較大。 F 与 V 之比越大則对冷却、冻结越有利,因为在該情况下傳热迅速,可是对冻藏則 F 与 V 之比越小越有利,即可以减少干縮。

静止角:水平面上自由堆积大量魚貨时,垛斜面与水平面之間的角称为静止角。其数值与魚的种类和其状态有关,如下表所示:

表5 某些魚类的静止角(度数)

魚 名	魚 的 状 态			
	冻 魚	活 魚	死 魚	醃 魚
拟 鯉	51	34	37.5	27
鰱 魚	30	15.5	17.0	30
梭 羅	59.5	—	34	—
野 鯉	51.5	24	34	—

滑动角:魚在斜面上滑动时,該斜面与水平面之間形成的角称为滑动角。它亦可用摩擦系数来表示,如下表所列:

表6 在各种条件下的摩擦系数

魚 名	摩 擦 系 数		
	干 木 头 上	干 鉄 板	干 傳 送 带
拟 鯉	0.34—0.55	0.27—0.47	0.34—0.60
鰱 魚	0.45—0.61	0.36—0.58	0.38—0.58
梭 羅	0.45—0.58	0.46—0.47	0.45—0.58
野 鯉	0.55—0.69	0.34—0.49	0.51—0.58

六、冷却介质的特性

鱼类的冷冻加工是借助于介质的吸热来实现的, 介质有气体、液体和固体。保藏食品通常在空气中; 而冷却及短期保藏往往置于多相介质(碎冰、冰盐混合物等)中; 食品的冻结则在气体、液体及固体介质中。

气体介质: 最常见也被广泛采用的是空气。空气中或多或少含有一些水蒸汽。每一米³中水蒸汽的克数称为绝对湿度, 而在任何状态下所含的水蒸汽量与此状态下饱和水蒸汽克数之比称为相对湿度。一般相对湿度 $\varphi=30\%$ 认为是干燥的, $\varphi=50-60\%$ 是正常的, $\varphi \geq 80-90\%$ 是潮湿的, 当然 $\varphi=0\%$ 则是绝对干燥而 $\varphi=100\%$ 即空气为水蒸所饱和。

空气中的水蒸汽量也可用其蒸汽压(毫米汞柱或毫巴)来表示

$$a = \frac{0.8e}{1+\alpha t} \text{ 克/米}^3 \quad \text{或} \quad a = \frac{1.06e_1}{1+\alpha t} \text{ 克/米}^3$$

式中:

a —绝对湿度, 克/米³;

e —蒸汽压, 毫巴;

e_1 —蒸汽压, 毫米汞柱;

t —温度, °C;

α —换算系数等于 0.00366。

而相对湿度

$$\varphi = 100e/E\% \quad \text{或} \quad \varphi = 100a/A\%$$

式中:

φ —相对湿度;

E —饱和时水蒸汽压, 毫米汞柱或毫巴;

e —所求状态时的水蒸汽压, 毫米汞柱或毫巴;

A —饱和时水蒸汽的绝对值, 克/米³;

a —所求的状态时的水蒸汽量, 克/米³。

温度与饱和时水蒸汽量有密切关系:

表 7 温度与饱和水蒸汽压、绝对湿度的关系

空 气 温 度	+30	+20	+10	+5	0	-5	-10	-15	-20
饱和水蒸汽压(毫米汞柱)	31.82	17.54	9.21	6.42	4.58	3.16	2.14	1.43	0.95
饱和水蒸汽压(毫巴)	42.42	23.38	12.26	8.64	6.10	4.22	2.85	1.91	1.27
绝对湿度(克/米 ³)	30.38	17.32	9.41	5.32	4.86	3.41	2.85	1.60	1.08

若冷却间室温 0°C, 相对湿度 90%, 而外部空气温度是 20°C, 相对湿度为 50%, 则根据上表求出绝对湿度