



食品工业制冷技术

轻工业出版社

孙时中 张孝若 边增林 译

# 食品工业制冷技术

〔罗〕奥勒耳·西沃拜努

加布瑞拉·拉斯库

瓦西里·贝尔塞斯库 著

里 迪·尼古列斯库

孙时中 张孝若 边增林 译

轻工业出版社

## 内 容 提 要

《食品工业制冷技术》的内容主要包括三篇，第一篇食品冷冻的基本原理及低温对食品质量影响的基本理论；第二篇食品制冷所应用的冷却、冻结、空调、气调、冻结干燥方面的先进技术和经验；第三篇制冷在各种食品行业（肉、禽、蛋、乳、水产、果蔬、冷饮、糕点等）中的应用，并附有用于制冷计算的一些图表。

本书可供轻工、商业、外贸、水产等部门从事食品加工制冷技术的科研、设计、教学、管理人员参考。

## COOLING TECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY

Aurel Ciobanu  
Gabriela Lascu  
Vasile Bercescu  
Lidia Niculescu  
ABACUS PRESS 1976

### 食品工业制冷技术

【罗】奥勒耳·西沃拜努 加布瑞拉·拉斯库 著  
瓦西里·贝尔塞斯库 里迪·尼古列斯库  
孙时中 张孝若 边增林 译

轻工业出版社出版

（北京阜成路3号）

通县觅子店印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米<sup>1/32</sup> 印张：21<sup>16/32</sup> 插页：2 字数：476千字

1986年3月 第一版第一次印刷

印数：1—13,000 定价：4.20元

统一书号：15042·1915

## 译者的话

一百多年来，制冷已经发展成为一门独立的学科，广泛应用于当代科学技术的各个方面。与人们物质生活密切相关的食品工业，是最早的，也是最普遍地应用制冷技术的领域。然而，迄今为止，专论食品工业中制冷技术的著作还不多见。

《食品工业制冷技术》一书汇集了七十年代某些发达国家的技术和经验，从科学背景、基本系统、实际应用等三个方面比较全面系统地作了阐述，采用了大量的实验和实用数据，备有必要的图表，列举了不少先进设备的性能，适合我国从事制冷技术工作的科研、设计、教学、管理人员使用和参考。尤其适合于轻工、商业、外贸、水产等部门的食品加工工业的有关人员阅读。

本书分章翻译的分工：第一、二章，孙时中；第四、十一、十四、十五、十六、十七、十八章，张孝若；第三、五、六、七、八、九、十、十二、十三章，边增林。由孙时中审校。

由于本书内容较多，又涉及许多学科，译文恐有不妥之处，请读者给予批评指正，深表感谢。

## 前 言

在食品工业中，制冷可能比其它任何单独的因素具有更加深远的影响。

最初，制冷主要是为贮藏和运输易腐食品提供适宜的条件，随后，制冷更多地是为制造各种食品创造理想的环境并为制造过程服务。

另外，已经出现了一种新兴的“速冻”或“深冻”食品工业。它之所以有惊人的发展，是因为发现包括预制食品在内的许多食品，用冻结形式加工和贮藏，可获得比其它任何方法更可口的风味以及更丰富的营养。

然而，业已发现，低温效应是十分复杂的。要防止在实际应用中失败，就要具备生物学、生物化学、物理化学、热工学等不同学科的多方面知识。不过，没有几本书能将如此广泛的知识集中在一本著作之中的，而且已有的几本书大多数已经过时。

显然，这类书籍只能是有选择性的，需要配备适当的参考资料。我们试图在本书中不仅包括实际的指导性生产线，也包括了能更好理解技术文献的基本原理。

本书的罗马尼亚文原版，是1971年由布加勒斯特技术出版社出版的。

但是，我们认为，在这本原版书出版后的一段时间里，不应忽视许多研究和发展工作所取得的成就。另外，我们感到还需要包括某些新的章节，而其它部分则需要增添更广泛的内容。

A·西沃拜努先生对本版进行了校订和重写的艰巨工作，原著也是在他监督下写成的。

本书的作者和译者谨向布加勒斯特“技术出版社”的玛丽亚·莫耳多文夫人所给予的有益建议和帮助，以及“阿巴斯印刷所”的约翰·哈默耳博士对本书译本的修辞所作的贡献，致以深切的谢意。

1975年秋 布加勒斯特

作者：奥勒耳·西沃拜努  
加布瑞拉·拉斯库  
瓦西里·贝尔塞斯库  
里迪·尼古列斯库

# 目 录

<b>第一篇 科学背景</b> .....	( 1 )
第一章 食品冷冻保藏的基本原理.....	( 1 )
第二章 低温对食品的影响.....	( 18 )
<b>第二篇 食品冷冻所应用的一般系统</b> .....	( 130 )
第三章 冷却.....	( 130 )
第四章 冻结.....	( 181 )
第五章 空气调节.....	( 296 )
第六章 冷冻的附加处理.....	( 328 )
第七章 冻结干燥.....	( 342 )
<b>第三篇 应用</b> .....	( 360 )
第八章 肉和肉制品.....	( 360 )
第九章 禽类.....	( 401 )
第十章 鱼和鱼制品.....	( 425 )
第十一章 乳和乳制品.....	( 468 )
第十二章 蛋品.....	( 496 )
第十三章 水果和蔬菜.....	( 510 )
第十四章 冰淇淋.....	( 561 )
第十五章 预制食品.....	( 588 )
第十六章 发酵饮料.....	( 612 )
第十七章 其它食品.....	( 629 )
第十八章 冷藏链.....	( 645 )
<b>附录 一些食品的焓值表</b> .....	( 674 )
单位换算表.....	( 676 )

莫里厄焓-湿量 ( $i-x$ )图 ..... (插页)  
凯里厄温度-湿度 ( $t, x$ )图 ..... (插页)



# 第一篇 科学背景

## 第一章 食品冷冻保藏的基本原理

### 第一节 导 言

在变性剂的作用下，食物的组成和性质会产生各种变化。低温能降低反应速度和直接作用于某些变性剂，以阻止或推迟这些变化。在一定限度内，温度越低，这种有利的效

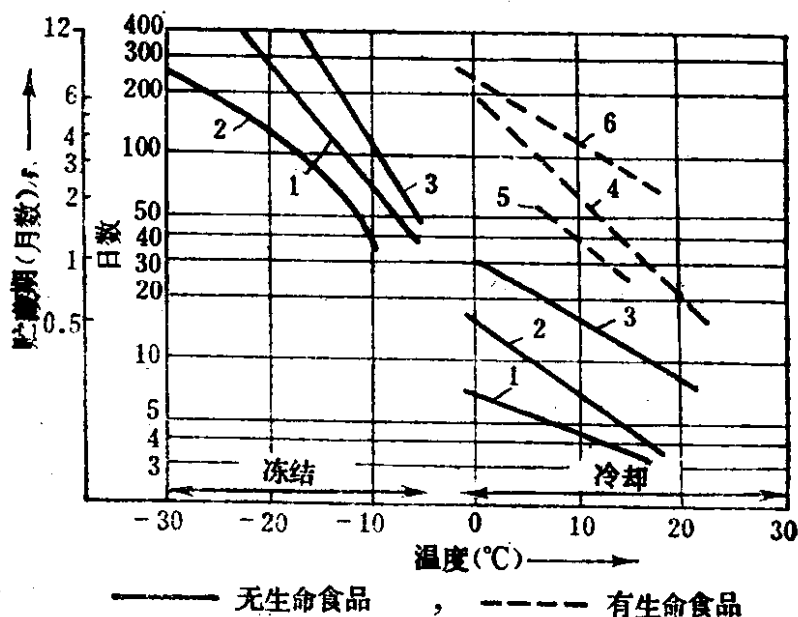


图 1.1 一些冷冻食品以温度为函数的贮藏期示意图

1. 生鸡；
2. 瘦鱼片；
3. 牛肉；
4. 长期贮藏的各种苹果；
5. 柑桔；
6. 带壳鸡蛋

果就越显著。这充分说明了由于降低温度，使食品延长了贮藏期，例子见图1.1。

本书中“冷冻食品”这一名称包括：(a)冷却食品，即食品所冷却到的低温没有引起食品结构结冰；(b)冻结食品，即食品冷却到的低温引起组成中可冻结水大部分转化成冰。在这两种情况下，冷冻食品必须经过精心设计的加工，使它在冷冻和以后的冷藏期间减少生物、生物化学、化学、物理化学和物理变化，以保持产品的卫生条件和质量。

## 第二节 低温对反应速度的影响

温度是物质分子或原子运动速度的计量。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震动；在液态物质中，运动和相互碰撞；在气态物质中，高速飞行和相互冲击。

当除去热量后，物质的动能减少，其组成颗粒的运动缓慢下来，温度也随着降低。很明显，分子和原子的运动速度确定了它们相互间的反应速度，因此反应速度取决于温度，随温度的降低而减小。

在这种情况下的反应速度变化可用温度商数 $Q_{10}$ 表示，其关系式为

$$Q_{10} = \frac{k_{t+10}}{k_t} \quad (1.1)$$

式中  $k_t$  是温度为  $t^\circ\text{C}$  时的反应速度， $k_{t+10}$  是温度为  $(t+10)^\circ\text{C}$  时的反应速度。

因此，温度商数 $Q_{10}$ 表示温度每升高 $10^\circ\text{C}$ 时，反应速度所增加的倍数。其结果是，有关食品反应速度的 $Q_{10}$ 值越

高，低温保藏的效果就越显著。

反应的单位活化能量  $E$  对于  $Q_{10}$  值影响很大，起因于阿雷尼乌斯方程式，可改写成下式，当  $T_2 - T_1 = 10^\circ\text{C}$  时，

$$\log Q_{10} = \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{0.219E(T_2 - T_1)}{T_1 T_2} = \frac{2.19E}{T_1 T_2} \quad (1.2)$$

式中  $T$ ——绝对温度，K；

$k_1$ 、 $k_2$ ——二种不同温度下的反应速度；

$E$ ——活化能量，卡/克分子。

上述温度商数  $Q_{10}$  为反应速度的比值，库普里诺夫 (Kuprianoff<sup>20</sup>) 提出另一商数  $Q'_{10}$ ，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<sup>21</sup>。

许多化学和生物反应中，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<sup>18, 19</sup>。

举例来说，假设  $Q_{10}$  值为 2.5，温度从  $30^\circ\text{C}$  降到  $10^\circ\text{C}$ ，食品中的变化幅度可减少 6.25 倍，即允许保藏期约延长 6 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，对冷却和冻结食品，应考虑  $Q_{10}$  值有更大幅度，即在 2 与 16 之间，甚至更大些，这取决于产品的性质，温度范围和质量变化的类型<sup>6, 21</sup>。

在一种食品中，经常不只是一种反应过程，而是伴随着或相继地发生几种反应和过程。由于有些反应过程可能起相反作用，所以，上面谈到的情况可能被打乱，使产品的稳定性并不随温度的降低而增加<sup>24~29</sup> (见图 17.1)。为此，下面

的几种温度影响应加以区别：(1)正常的温度影响（反应速度较慢，稳定性随温度降低而增加），即 $Q_{10} > 1$ ；(2)无温度影响，即 $Q_{10} \approx 1$ ；(3)相反的温度影响（即反应速度较快，稳定性随温度的降低而减小），即 $Q_{10} < 1$ ；(4)交替影响，即根据温度水平， $Q_{10}$ 大于或小于1。

### 第三节 低温对主要变性剂的影响

#### 一、生物变性剂（微生物）

生物变性剂的作用是易腐食品在自然或冷却条件下起深刻变化的主要原因。它们在活动的第一阶段仅使食品的可口性变坏和降低营养价值，而最后可使食品腐败变质，影响食用安全<sup>2, 10</sup>。但是，在一些食品的加工中，<sup>1, 14</sup>某些微生物的活动是有益的。

##### (一) 概况

微生物的主要功能，包括繁殖和生长，都建立在复杂的生物化学反应基础上，而反应速度随温度降低而减慢。由于生长和繁殖之间不好区别，因而习惯上生长这一术语包括了微生物数量的增加和生长。

$Q_{10}$ 用于表示各种微生物的生长速度，其数值变动幅度非常宽广，在1.3到30之间。

$Q_{10}$ 值一般随温度降低而提高，这说明了低温抑制作用的强化。

温度降低的结果受许多因素的影响，其中有：基质（即食品）的性质、基质生物含水量、氢离子浓度、需氧量、氧化—还原电势、盐的浓度、抗菌和杀菌物质、微生物的性质和生理阶段、基质上的微生物菌落结构。这些因素都互相有

关，它们的联合影响决定着腐败性微生物菌落的作用，下面对一些因素进行分析。

水分活度 $A_w$ ——也称可用湿度或有用水，表示基质中所含水分能为微生物活动所运用的比例：

$$A_w = \frac{p}{p_0} \quad (1.3)$$

式中  $p$  ——基质中所含多扩散性溶液的水蒸气分压；

$p_0$  ——与  $p$  温度相同时的纯水水蒸气分压。

平衡状态时，水分活度 $A_w$ 恰巧与周围空气中以百分数表示的相对湿度的1/100相同<sup>9</sup>〔见第五章第一节一、(三)与图5.4〕。

食品周围不饱和空气的循环，因其水蒸气分压低于 $p$ ，促使食品附近的相对湿度降低，以致食品表面干燥，表层的水分活度 $A_w$ 降低，因而抑制了那里的微生物生长活动。

微生物根据需要的最低水分活度 $A_w$ 值各异，最低水分活度 $A_w$ 值如下：正常细菌，0.91~0.98；正常酵母，0.88~0.91；正常霉菌，0.80~0.88；嗜碱酵母，0.75；嗜干真菌，0.65；喜渗透酵母，0.60<sup>2, 22</sup>。孢子繁殖所需的最低水分活度 $A_w$ 值，在某些霉菌要求的0.62和另一些霉菌要求的0.93之间<sup>2</sup>。

以上的全部有关数值，系指在最佳生长温度下的情况。当温度下降时，最低水分活度 $A_w$ 值随之升高，因而允许采用较高的空气相对湿度贮藏食品。相反，温度上升，要求降低其最低水分活度 $A_w$ ，即降低周围空气的相对湿度。因此，对长期贮藏的肉胴体，在4℃时要求的相对湿度为75%，而在2℃时允许高达87%<sup>16</sup>。

使食品内可用水降低到微生物的最低水分活度 $A_w$ 以下！

的其它三个主要方法有：(1)增加溶质；(2)增加亲水胶体；(3)使水结成冰晶体，使可用水不再被微生物细胞所利用<sup>2</sup>。

微生物对氢离子浓度的反应是很不相同的，霉菌可以在很大的pH值范围内生长，即2~8.5，但其中大多数适应酸性反应，例如pH值为4~6。大多数酵母菌适应酸性pH值，如4~5，而在碱性介质中不易生长，除非经过适应变化后才能长好。大多数细菌在接近中性的pH值下生长得最好，但某些细菌适应酸性反应，而另外一些可在微酸性介质中生长，如酸性形成物；或在碱性介质中生长，如活性解脲菌等<sup>2, 18</sup>。

有关需氧性质，霉菌系需氧性的；酵母在有氧条件下生长最快，但发酵型菌类也可在无氧条件下生长，不过比较缓慢；细菌一般可分为需氧性、厌氧性和兼性的。兼性细菌无论在无氧或有氧条件下均可生长<sup>2</sup>。

某些情况下，不同类型微生物间的竞争也很重要。一些缺乏正常腐败菌落的食品，如经过消毒或煮熟的食品，一旦受一些病原菌污染后，比具有正常腐败菌落的食品更易造成对健康的危害<sup>27, 29</sup>。

## (二) 低温影响

高浓度盐溶液和不利的pH值，在低温时的抑制作用较常温时差，而抗菌物质（抗菌体、磺胺等）的抑制作用则随温度降低而增加<sup>15</sup>。

化学杀菌剂在低温时致死作用显著地减弱，因此，在低温下对房间和设备采用这种药剂消毒时，必须提高浓度<sup>15</sup>。

微生物的生命功能在最大值和最小值之间的一定温度范围内可以发展。当处于较它们的生存最低温度还要低的温度

下，虽然停止生长，但仍旧可以极缓慢地新陈代谢，维持生存。因此可建立一个所谓的“次生态”的平衡状态，使微生物在甚至低于生存最低温度下继续存活<sup>15</sup>。

虽然在次生态状态下的微生物代谢作用可使基质（即食品）发生一些变化，但和同样的微生物在高于生存最低的温度下<sup>11</sup>带来的变化相比，就显得不重要了。

假如在次生态维持一定时期后，温度升高超出生存最低温度，则微生物再度继续生长并恢复正常代谢。因而这种状况下的低温影响只是抗菌性的而非杀菌性的。

低温有某些杀菌（致命性）作用，但并非对基质中所有的微生物都是如此。特别快速降温的“冷冲击”中可能有致死作用，据报道可抑制某些细菌<sup>2·15</sup>和真菌<sup>2·12</sup>，尤其是冻结时效果更大，可杀死的微生物至少达50~60%<sup>2·15</sup>。

由于低温的杀菌作用仅仅是局部的，并由许多因素决定，在保藏食品的实际应用中不应考虑这种致死作用，而只有低温的抗菌作用才是食品冷却保藏的基础。这种抗菌效果可以是：（1）局部的；（2）全部的。取决于温度范围，微生物的性质和食品种类。

**局部抗菌作用** 这种作用—冷却保藏食品的特性—是制止某类微生物的生长并大大减缓其它菌类的生长。这样，就防止了食物的分解作用，因此，与常温下相比，能延长食品的贮藏期。

关于减慢作用，显然的就是延长最初繁殖阶段（即延迟阶段和正加速阶段）<sup>2</sup>，结果，分裂繁殖时间延长，生长速度减慢，使食品的允许贮藏期限相应地增加。

图1.2说明两种嗜冷性细菌的分裂时间。分裂时间是指一个幼细胞的成长和分裂为二个新细胞的相距时间。例如某

类细菌的分裂时间为30分钟，10小时内的繁殖量可为初始细胞数的100万倍，但如果分裂时间为60分钟<sup>2</sup>，其繁殖量仅为1000倍。很明显，微生物的初始数量越少，食品的贮藏期越长。

**总抗菌作用** 这种作用是食品冻结贮藏的特点，它抑制了所有微生物的生长。

冻结的总抗菌作用和杀菌效果解释成不仅由于降低温度的关系，同时，也由于结冰后析出了水分（见第二章第二节）。

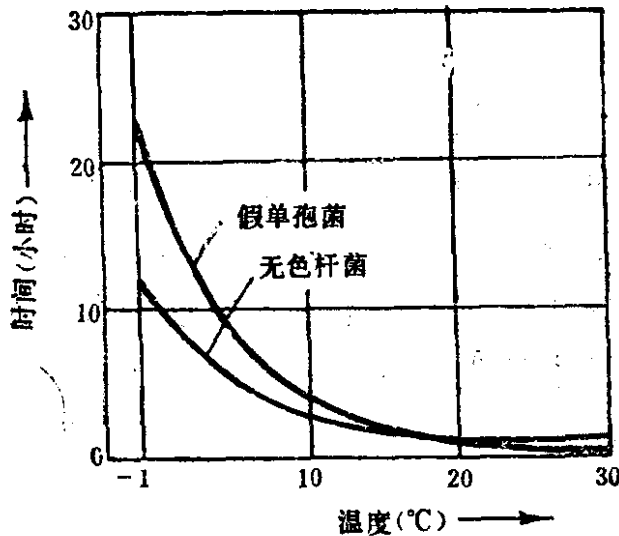


图 1.2 温度对于两种嗜冷菌分裂时间的影响<sup>11</sup>

根据微生物的特殊温度范围可分为三大类：嗜热菌、嗜温菌和嗜冷菌（表1.1）。应该着重指出，表内所列温度界限，仅是方向性的，许多微生物并不准确地属于其中任何一类。这说明了为什么目前对特征性温度还不能取得一致意见的原因<sup>15, 32</sup>。

有些微生物，根据它们随温度变化的表现，可列入两类



之间的过渡，如冷营养菌<sup>16</sup>就可列入嗜温菌和嗜冷菌的过渡。进一步说，嗜冷菌类又可再分为专性和兼性两种<sup>16</sup>。

表 1.1 微生物的温度要求<sup>1</sup>

种 类	最低温度(℃)	最佳温度(℃)	最高温度(℃)
嗜热菌	45	50到65	75到80
嗜温菌 <sup>a</sup>	10到15	30到35	35到40
嗜冷菌 <sup>b</sup>	-7到5	15到20	25到30

a 据斯契米特-洛伦兹 (Schmidt-Lorentz) 报道,嗜温菌的最高生存温度在40与50℃之间;最佳温度在30与40℃之间,而某些细菌的最低温度低于10℃,即约低5℃。

b 据另外一些学者<sup>38</sup>的论述,最低温度可能是-12℃,而据斯契米特-洛伦兹报道,甚至比这个数值更低。

在低温贮藏的实际应用中,嗜温菌、冷营养菌和嗜冷菌是最主要的。

### 1. 低温对嗜温性微生物类的影响

属于这类细菌中有孢子型的或非孢子型的、嗜氧或厌氧性的,其中有许多具有水解蛋白质的性质,能液化明胶。

大多数食物的致毒性微生物类和粪便污染性菌都属于嗜温菌类。粪便污染性菌类可用作微生物(卫生检验)指示剂,当它们的含量超出一定范围时即可指示出食物受致毒菌污染。

通常,食物致毒菌在温度低于10℃的环境中即不易生长,但并不产生毒素;不过某些细菌仍具有更低一些的最低生存温度值,如表1.2与图1.3所示。毒素一旦产生后,是不能用降低温度来使之失去活性的。降温对某些嗜温菌类生长