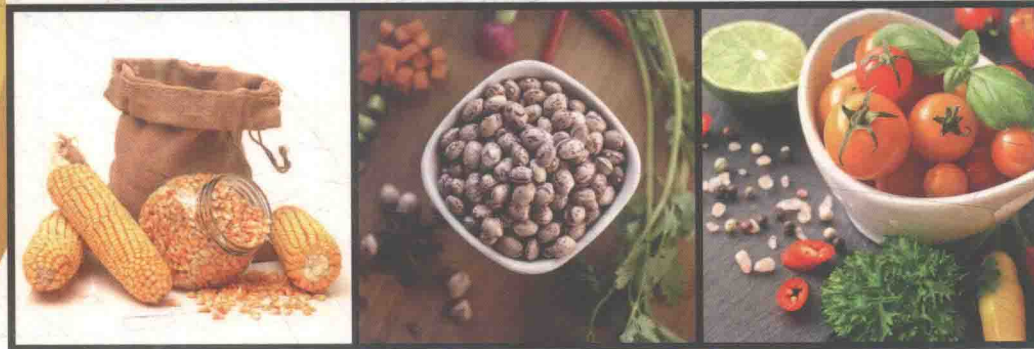


SHIPIN BAOCANG GONGYI
JI XINJISHU TANJIU

食品保藏工艺 及新技术探究

孙海燕 著



国家一级出版社”



中国纺织出版社

“全国百佳图书出版单位”

食品保藏工艺 及新技术探究

孙海燕 著

内 容 提 要

本书探讨了几种典型的食品保藏工艺,并对近年来新发展起来的一些保藏技术及其最新的研究进展作了较详细的阐述。全书主要内容包括食品保藏概论,食品的低温保藏,食品的气调保藏,食品的罐藏,食品的干燥保藏,食品的化学保藏,食品的辐照保藏,食品的发酵、腌制与烟熏保藏,食品保藏新技术等,可供食品行业的技术管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品保藏工艺及新技术探究/孙海燕著.--北京:
中国纺织出版社,2019.1

ISBN 978-7-5180-2015-7

I. ①食… II. ①孙… III. ①食品保鲜 ②食品贮藏
IV. ①TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 230008 号

责任编辑:姚 君 责任印制:储志伟

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010-67004422 传真:010-87155801

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@e-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 <http://www.weibo.com/2119887771>

北京虎彩文化传播有限公司印制 各地新华书店经销

2019 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本:710×1000 1/16 印张:19.5

字数:354 千字 定价:85.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

前 言

任何食品都离不开保藏,没有食品保藏就没有食品的储备、流通和市场。食品保藏是维护食品品质、减少损失、实现全球全年均衡供应的重要措施,具有重要的经济效益和社会效益。

食品保藏可以解决农产品出路问题,是农业产业化的重要环节,并已经成为解决“三农问题”的关键。从市场角度来看,工业食品已经进入人们的一日三餐,市场需求快速发展,尤其在自然灾害等情况下,食品保藏显得更加重要。从社会角度来看,食品保藏是民生问题,关系到国民健康与生活水平、食品安全与和谐社会创建等热点问题。从国家战略角度来看,食品属于战略物资,绝对不能完全依靠进口,否则,随时都会被其他国家所限制。所以,国家非常重视食品保藏,投巨资修粮食储备库、储藏保鲜果品冷库、肉品冻库等,这些充分反映了食品保藏的重要性。

本书针对我国食品保藏工艺与技术发展所处的新时期,着重介绍了食品的低温保藏,气调储藏,罐藏,干燥保藏,化学保藏,辐照保藏,发酵、腌制与烟熏保藏,以及一些食品保藏新技术,对这些保藏技术的原理、方法、相关设备和加工因素对食品品质的影响及在食品中的应用等方面进行了系统的论述。特别是对近年来新发展起来的一些保藏技术及其最新的研究进展作了较详细的阐述。本书注重在单元操作理论的叙述基础上,加强了工艺条件控制的分析与讨论,使读者明确工艺条件和方法的选择依据,进一步掌握工艺理论及应用。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免会有疏漏之处,恳请广大读者批评指正,不吝赐教。

编 者

2017年8月

目 录

第一章 食品保藏概论.....	1
第一节 食品保藏的相关概念.....	1
第二节 食品保藏的必要性及其原理.....	2
第三节 食品保藏技术的历史、现状和发展	6
第四节 食品保藏技术存在的问题和对策.....	7
第二章 食品的低温保藏.....	9
第一节 食品低温保藏的种类和一般工艺.....	9
第二节 食品低温保藏的基本原理.....	9
第三节 食品的冷却保藏	17
第四节 食品的冻结保藏	31
第三章 食品的气调储藏	44
第一节 气调储藏概述	44
第二节 食品气调储藏的原理	49
第三节 食品的气调储藏方法与设备	50
第四节 新型气调保鲜包装在食品中的应用	76
第四章 食品的罐藏	77
第一节 食品罐藏概述	77
第二节 食品罐藏的基本工艺流程	86
第三节 罐藏食品在储藏中的变化.....	100
第五章 食品的干燥保藏.....	117
第一节 食品干制的基本原理.....	117
第二节 食品在干燥过程中的变化.....	124
第三节 食品干燥的方法与设备.....	132
第四节 半干食品的保藏工艺流程及方法.....	171

第六章 食品的化学保藏	173
第一节 食品化学保藏概述.....	173
第二节 食品防腐剂.....	173
第三节 食品抗氧化剂与脱氧剂.....	179
第四节 食品保鲜剂.....	186
第五节 其他食品化学保藏方法.....	186
第七章 食品的辐照保藏	198
第一节 食品辐照保藏概述.....	198
第二节 食品辐照保藏的基本原理.....	201
第三节 辐照对食品成分的影响.....	204
第四节 食品辐照工艺及条件控制.....	208
第五节 食品辐照装置.....	218
第八章 食品的发酵、腌制与烟熏保藏	224
第一节 食品发酵的理论及影响因素.....	224
第二节 典型的食品发酵工艺及特点.....	228
第三节 食品腌渍保藏的基本原理.....	233
第四节 食品腌渍工艺与控制.....	237
第五节 烟熏的目的、作用及对食品的影响	246
第六节 食品烟熏工艺与控制.....	249
第九章 食品保藏新技术	253
第一节 食品超高压保藏技术.....	253
第二节 食品的脉冲电磁场杀菌技术.....	272
第三节 食品的微波处理技术.....	283
第四节 食品的包装膜保鲜技术.....	290
第五节 食品玻璃化保藏技术.....	292
参考文献	303

第一章 食品保藏概论

随着食品科学技术的进步、农产品产量的迅速增加、食品加工业的快速发展以及人们食品消费水平的提高,食品加工企业对农产品原料的质量与安全性的要求也越来越高,消费者对农产品及各种食品卫生与质量的要求也在逐年提高,国际市场对我国出口的农产品及食品质量的要求也不断提升,这些都要求食品生产企业不但要重视食品原料的生产和食品加工,而且也必须重视食品原料及加工食品的保藏及流通。食品保藏是指采取一系列技术措施在一段时间内尽可能保留食品中天然物质成分的过程,它既包括鲜活和生鲜的储藏保鲜,也包括食品原辅料、半成品和成品食品的保藏。

第一节 食品保藏的相关概念

(一)食品的货架期

食品的任何一种加工保藏方法都只能在一定时间范围内防止食品的变质,而不能无限期地保藏。对于保藏时间过久的食品,即使是尚未变质,消费者也往往会因此而失去购买欲望。

食品的货架期指食品在完成加工或包装之后,在特定的储藏条件下保持其安全性和可接受质量的时间间隔。通俗地讲,货架期是商品可以摆在卖场货架上的时间。食品货架期包括食品的微生物货架期、食品的化学货架期、食品的感官货架期三层含义,因此食品的货架期反映的是以上三个不同方面的综合效应。

除了内在质量外,货架期因食品的贮存温度、湿度、包装、光照等不同而有所不同。

(二)食物感染和食物中毒

食物感染和食物中毒统称为食源性疾病,是指通过摄食而进入人体的有毒有害物质,包括生物性病原体等致病因子所造成的疾病。常见的有

食物中毒、肠道传染病、人畜共患传染病、寄生虫病以及化学性有毒有害物质所引起的疾病。食源性疾患的发病率居各类疾病总发病率的前列,是当前世界上最突出的卫生问题,也是中国当前比较突出的食品安全问题。

食物感染涉及食用含有微生物的食品,然后微生物又在人体内生长而引发的疾病;食物中毒则涉及食用含有微生物分泌的毒素的食品后导致的疾病。可以引起食源性疾病的微生物及其毒素包括金黄色葡萄球菌分泌的毒素、肉毒梭状芽孢杆菌分泌的毒素、黄曲霉分泌的毒素以及沙门氏菌、痢疾志贺氏菌、副溶血性弧菌、链球菌等。因此在食品加工及保藏过程中,需要严格注意可能引起食源性疾病的微生物,因为被这些微生物污染的食品可能感官上还没有任何迹象,但是带来的危害却十分严重。

第二节 食品保藏的必要性及其原理

一、食品保藏的必要性

食品保藏的必要性可从以下若干方面进行阐述,其目的都是为了满足食品的感官品质、营养与利用率、安全性、方便性与保藏性。

人类食物主要来源于农副产品、畜牧产品、水产品,这些生物体脱离植株或被屠宰之后就不能再从外界获得物质来合成自身的成分,虽然合成已告结束,但是分解并没有停止。例如,水果、蔬菜和鲜蛋等鲜活食品的呼吸作用及其他生理活动仍在进行,体内的营养成分不断地被消耗;畜、禽、鱼肉等生鲜食品虽然不像蔬菜、水果那样进行呼吸,但体内的酶仍然在活动,一系列生化反应在持续不断地进行,较为稳定的大分子有机物逐渐降解为稳定性较差的小分子物质。食品内部各种各样的化学变化和物理变化都以不同的速率在进行着,引起蛋白质变性、淀粉老化、脂肪酸败、维生素氧化、色素分解,有的变化还产生有毒物质等有害作用。新鲜食品的水分散失或干燥食品吸附水分也会导致食品质量的下降。这些新鲜食物营养丰富,含有大量水分,是微生物生长和繁殖的良好培养基,当其他环境条件适宜时,微生物就会迅速生长和繁殖,把食品中的大分子物质降解为小分子物质,引起食品腐败、霉变和“发酵”等各种劣变现象,从而使食品的质量急速下降。总之,食品在流通中质量呈逐渐下降的趋势,与其他产品相比,食品更容易腐败变质。

有些食物的品质稳定性很差,如草莓、樱桃等,如不及时采取保鲜措施,可能早晨采摘到下午就不新鲜了。因此,对于这类易腐烂食品即使是就地销售、新鲜食用也必须考虑采取低温储藏、避免阳光照射、通风透气等保鲜措施。

食品加工过程中也容易发生食物变质。例如,在罐头食品加工过程中,中间过程的原料堆积时间过长、温度控制不当,可能会造成微生物大量生长和繁殖、酶促反应迅速,从而影响杀菌效果及产品品质;富含脂肪的食品在加工过程中,如需高温处理,在高温处理过程中容易发生脂肪氧化,导致食品风味和营养性发生变化,为防止脂肪氧化,一般采用真空条件下的高温处理;水果去皮后如不及时进行护色处理,很容易发生氧化变色。食品在加工后同样可能发生腐败变质,如饮料、糕点等,在销售和储存过程中如储存条件控制不好,则会发生变质现象。近年来,由于食用变质食品而导致的食品安全事件屡见不鲜,因此,控制食品污染,对保护食用者的健康具有重要意义。

随着人们生活水平和受教育程度的不断提高,消费者对食品消费的主观选择性也大大加强,对食品质量要求更高,不仅要求吃饱、吃好,更需要吃得营养与健康,吃得安全。

世界各地的气候与土壤条件各异,所生长食物资源的种类不尽相同,人们希望能够食用到世界上其他地区的新颖、不曾食用过或不常食用的食品,因此需要延长食物的保存期,以防食物在运输过程中发生腐败变质。同时,自然气候条件并不总是风调雨顺、适合植物生长的,在植物生长过程中如遇干旱、水灾或冰雹等自然灾害,就会出现歉收、粮食短缺的情况,这时就需要调用丰收年份储藏的粮食作为补充。植物性食物往往具有季节性,动物性食物屠宰后往往一次食用不完,这都需要将剩余的食物保藏起来,以便在今后相当长的一段时间里可以食用。食物保藏也是战略储备的需要。军队行军训练、外出旅游观光等均需要方便快捷的即食食品,如何延长即食食品的保质期也是食品保藏学所必须解决的问题。

世界人口的增长速度远远超过农产品产量的增长速度,这就要求食品工业充分利用各种食物资源和原料,降低储藏和加工过程的损耗,减少浪费,采用各种先进工业技术,生产出更多的色、香、味、质均好,保质期长的食品。

二、食品保藏的原理

食品保藏,即针对可能引起食品变质的各种因素而对食品采取的一定

处理手段,从而达到一定时间内保存食品、避免其变质的目的。从本质上看,食品保藏技术采用的基本原理包括:

- ①维持食品最低生命活动的保藏方法。
- ②抑制变质因素的活动来达到保藏目的的方法。
- ③通过发酵来保藏食品。
- ④利用无菌原理来保藏食品。

食品保藏方法依据食品保存时间的长短而大不相同。

(一)短时间保存

如果食品仅仅需要短期保存,那么需要把握下面两个原则。

①尽量保持食品的鲜活状态,鲜活的食物可以避免很多变质现象的发生,如鱼、虾、家禽、水果、蔬菜等,保持其鲜活对避免其变质的作用很大。再如土豆、胡萝卜、卷心菜、甜菜、萝卜等,人们常采用活体贮存的方式保持其品质。

食品的气调储藏在一定程度上就是利用了这一原理,但是同时尽可能降低活体食物的呼吸作用,维持其最低生命活动,从而实现较长时间保藏的目的。很多果蔬可以通过这种方式保藏,中国传统的窖藏就是一个典型的代表。

但是食品保持鲜活状态会给运输、销售、再加工等带来很多麻烦。

②如果必须杀死动物、植物,则必须将杀死后的动植物清洗、包装和冷却,如冷鲜肉等,才能保证食物的新鲜。但是这样处理也只能在较短时间内有效。

(二)长期保存

如果食品需要较长时间保存,则需要采取更进一步的手段,控制微生物的生长及食品自身酶的活性。

1. 控制微生物

引起食品腐败变质的微生物主要有细菌、霉菌、酵母菌。可以采用下列手段对微生物进行控制。

①高温处理。由表 1-1 可见,不同温型微生物的生长温度范围、主要分布场所均有所不同。为了确保商业无菌,通常将食品中所有致病菌中最耐热的肉毒梭状芽孢杆菌作为对象菌设计杀菌条件,设想其存在于待杀菌食品的最中心位置,在湿热条件下 121℃、15min 或更长的时间保温,可以将其杀死,从而确保食品安全,这也是罐头食品往往采用的手段。

表 1-1 不同温型微生物的生长温度范围

微生物类型		生长温度范围/℃			主要分布场所
		最低	最适	最高	
低温型(专性嗜冷)		—12	5~15	15~20	两极地区
兼性嗜冷		—5~0	10~20	25~30	海水及冷藏食品中
中温型	(室温型)	10~20	20~35	40~45	土壤空气及动植物表面和体内
	(体温型)	35~40			人和温血动物体内(寄生)
高温型		25~45	50~60	70~95	温泉、堆肥、土壤表层等

②低温处理。

③干燥处理。

④酸处理。微生物生长需要一定的 pH 值。除了嗜酸菌外,多数微生物在较低的 pH 值时活性低下。因为一定强度的酸可以使微生物蛋白质变性失活。

有实验表明,几种不同的酸混合使用比单一酸抑菌效果更好。

如果将酸处理和加热方式结合,会对微生物更具破坏性,所以食品保藏也往往采用组合的方式达到更好的防腐效果。

⑤腌渍(糖渍和盐腌)处理。

⑥烟熏处理。

⑦气体成分控制。食品中的微生物大多为好氧菌。对好氧菌来说,除去空气和氧使其生存极大受限。这是食品保藏中常常用到的方法。

对于厌氧菌来说,充入空气和氧气理论上可以抑制其生存,但是实际运作往往容易造成其他好氧菌的生长,所以需要综合考虑慎重对待。

食品气调储藏就是利用了降低食品的氧含量来实现抑制微生物的生长。

⑧化学品处理。许多化学品可以杀死微生物或抑制微生物的生长,这是食品化学保藏的基本原理。但是食品中可以使用的是国家规定的食品添加剂中具体所包含的各个品种,并且各种允许使用的食品添加剂只能够在特定的品种、规定的浓度限度内使用。

⑨辐射处理。辐射保藏具有对食品感官性状(如色香味和质地)影响小、无残留、节省能源、适用范围广、效率高、射线穿透力强等特点。

不同种类的辐射包括 X 射线、微波、紫外线、电离辐射等,可以在不同程度使微生物失活。如大蒜可以通过 γ 射线辐照后大大延长其保存期。

2. 酶和其他因素的控制

食品自身存在的酶具有一定活性,可使食品发生一系列生化反应从而引起腐败变质。所以钝化酶活性,可以使食品避免因自身存在的酶引起的腐败变质。

实际上,前面所论述的高温、低温、干燥、化学品、辐射等处理方式可以抑制微生物的生长繁殖,但这些处理手段也同样可以造成食品自身存在的酶的变性甚至失活,但是低温或辐射时也可使某些酶依然存活。所以必须具体问题具体分析,针对具体的食品品种所特有的腐败模式选择恰当的保藏方式。

而降低食品自然成分的生命力、减缓其生命步伐也可以一定程度控制其变质速度,从而实现较长时间保藏的目的。比如食品气调储藏。

其他影响因素,如水分、空气、光等控制,可以采用食品包装保藏的技术进行。必须谈到的是,前面所述的多数保藏方法,也都必须结合食品包装的技术,达到较好保藏的效果。

第三节 食品保藏技术的历史、现状和发展

公元前 3000 年~前 1200 年,犹太人、中国人、希腊人分别使用腌制保藏技术来保存鱼类。公元前 1000 年,古罗马人使用低温保藏龙虾,烟熏保藏肉类。《诗经》中有“二之日凿冰冲冲,三之日纳入凌阴”的记载,说明那时的人们已经知道利用天然冰雪保存食品。《圣经》中记载了人们利用日光将枣子、无花果、杏及葡萄等晒成干果进行保藏的事情,我国古书中也常出现“焙”字,这些情况表明干藏技术已开始进入人们的日常生活。《北山酒经》中记载了瓶装酒加药密封煮沸后保存的方法,似乎可以看作是罐藏技术的萌芽。我国早就开始使用井窖、地沟、土窑洞保藏食品。1809 年,法国人尼古拉·阿佩尔(Nicolas Appert)发明罐藏食品被认为是现代食品保藏技术的开端。19 世纪上半叶冷媒出现,各种压缩制冷机发明,人工冷源逐渐取代自然冷源,到 1883 年,现代食品冷冻技术诞生。1908 年,出现化学保藏技术。1918 年,出现气调冷藏技术。1943 年,出现食品辐照保藏技术。

食品保藏技术的发展是不平衡的。它表现在不同食品保藏技术之间的发展不平衡及同种保藏技术中不同技术手段之间的发展不平衡。比如罐藏技术在相当长的一段时间内曾占据着食品保藏技术的主导地位,但是,随着人们生活水平的逐渐提高,食品保鲜保活技术的开发和广泛应用,罐头食品

在色、香、味等方面的缺陷以及相对较高的成本,使罐头工业的发展陷入困境。与此相反,食品低温保藏技术由于能较好地保存食品的色、香、味及营养价值,并能提供丰富多彩的冷冻食品而逐渐占据了食品工业的主导地位,其中,速冻食品特别是速冻调理食品的发展速度尤其令人瞩目,2012年,我国仅速冻米面食品产量即达410余万吨,是食品产业中发展最快的行业之一。目前,全世界速冻食品正以年平均20%的增长速度持续发展,年总产量已达到6000万吨,品种达3500种。预计未来的十年内,速冻食品的销售量将占全部食品销售量的60%以上。另外,在同种保藏方法的不同技术手段之间存在明显的发展不平衡状况,比如罐藏法中金属罐、玻璃罐藏技术发展缓慢,而塑料罐、软罐头及无菌罐装技术等发展潜力巨大。又如干藏法中普通热风干燥技术的发展处于相对停滞状态,而喷雾干燥及冻干技术的发展却非常迅速。总之,只有那些能适应现代化生产需要,能为人类提供高质量食品,并且具有合理生产成本的食品保藏技术才能获得较快发展。

食品保藏作为一种有效利用食品资源、减少食品损耗的重要手段,对于缓解当今因人口迅速膨胀而导致食物资源相对短缺的状况,具有不可替代的作用。开发更为有效、更为先进的食品保藏技术是从事食品研究与开发的所有人员义不容辞的义务与责任。

第四节 食品保藏技术存在的问题和对策

一、我国食品保藏行业存在的问题

尽管我国食品保藏行业近年来取得了很大发展,但是仍然存在很多问题,如下所示:

- ①低温储藏运输设置严重不足,冷链系统尚未完全建立。
- ②农业产业化体系不健全,食品生产、储藏、销售等环节严重脱节。
- ③食品的市场信息系统和服务体系不健全。
- ④企业经营规模小,管理水平低,硬件设施和技术投入不足。
- ⑤质量安全问题。

二、我国食品保藏行业的发展与对策

针对我国食品保藏行业存在的问题,为了减少食品资源浪费,提高农业

和保藏行业的经济效益,应该采取以下措施。

①依靠科技创新振兴我国食品保藏行业。我国在食品加工和食品保藏技术上整体技术含量不高,制约了本行业的可持续发展。

②按照农业系统工程和栅栏技术的理念来实施食品的保藏。如果农业生产环节与食品保藏环节相结合,将使食品保藏更能具有针对性。

③建立配套的食品物流体系和生产服务体系。从小农经济发展到全国乃至世界性的行业体系,必须有与之对应的物流和生产服务体系。只有这样,行业才能健康有序地发展。

食品运送过程中浪费严重,物流支出占食品运送成本中很大比重。据估计,我国每年约 700 亿元的食品在运送过程中腐败变质,一些易于腐败变质的食品其售价的 70% 是用来补贴物流过程的损失,这也是某些食品零售价格高居不下的原因。建立完整配套的食品物流体系可以从以下几方面着手。

①食品企业与 3PL 合作。

②食品企业与政府和物流行业协会合作,共同完善食品物流的法规和制度。

③引进先进的物流硬件设备和物流管理软件。

④强化食品的商品质量意识,重视食品的质量与安全,实施绿色品牌战略,增强其在国内外市场中的竞争力。

我国食品安全控制有着三大保障体系:农产品质量安全体系,保障食品源头安全;食品安全可追溯体系,保障食品加工过程的安全;依据《食品安全法》等法律法规,严格执法保障食品安全。民以食为天,所以在食品行业中,食品的质量和安​​全既是一种责任,也是行业生存的基本保障,食品储藏工作也因此而显得尤为重要。

第二章 食品的低温保藏

食品低温保藏是利用低温技术将食品温度降低并维持在低温状态以阻止食品腐败变质的方法。在低温条件下,食品中的水分结晶成冰,微生物活力丧失、酶活性受到抑制,从而达到延长食品货架期的目的。低温保藏不仅可以用于新鲜食品原料的储藏,也可以用于食品加工品、半成品的储藏。

第一节 食品低温保藏的种类和一般工艺

冻藏是指食品物料在冻结的状态下进行的储藏。一般冻藏的温度范围为 $-2^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$,常用的温度为 -18°C 。随着生食级水产品(如金枪鱼等)的发展,超低温($-55^{\circ}\text{C}\sim-60^{\circ}\text{C}$)冻藏已经进入产业化。冻藏食品物料有较长的储藏期,其储藏期从十几天到几百天。供食品物料冻藏用的冷库一般被称为低温(冷)库。食品冷藏和冻藏温度范围和储藏期见表 2-1。

表 2-1 食品冷藏和冻藏常用温度范围和储藏期

低温保藏的种类	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	食品的储藏期
冷藏	$15\sim-2$	几小时~十几天
冻藏	$-2\sim-30$	十几天~几百天

食品低温保藏的一般工艺过程为:

食品物料→前处理→冷却或冻结→冷链运输→冷藏或冻藏→冷链运输→回热或解冻。

第二节 食品低温保藏的基本原理

一、低温对微生物的影响

(一)低温和微生物的关系

从微生物的生长角度来看,不同的微生物有不同的生活温度习性(见表

2-2)。通常我们所说的低温处理是指,低于室温的降温过程。

表 2-2 微生物的最适生长温度与致死温度

微生物	最低生长温度	最适生长温度	最高生长温度	微生物	最低生长温度	最适生长温度	最高生长温度
嗜热菌	35~45	50~70	70~90	低温菌	-5~5	25~30	30~55
嗜温菌	5~15	30~45	45~55	嗜冷菌	-10~-5	12~15	15~25

许多低温菌和嗜冷菌的最低生长温度低于 0℃,有的甚至可低达 -8℃,如荧光杆菌的最低生长温度为 -8.9℃。食品储存温度处于微生物最低生长温度时,微生物的生长繁殖能力已减弱到极低的程度,再进一步降低温度,微生物就停止生长甚至死亡(表 2-3)。不过在低温下,微生物的死亡速度比在高温下缓慢得多。

表 2-3 不同温度下微生物繁殖时间

温度/℃	繁殖时间/h	温度/℃	繁殖时间/h
33	0.5	5	6
22	1	2	10
12	2	0	20
10	3	-30	60

冻结或冰冻介质容易促使微生物死亡,冻结导致大量的水分转变为冰晶体,对微生物有较大的破坏作用。例如,微生物在 -8℃ 的冰冻介质中的死亡速度比在 -8℃ 的过冷介质中明显快得多(图 2-1)。其中 2 代表冰冻介质,1 代表过冷介质。

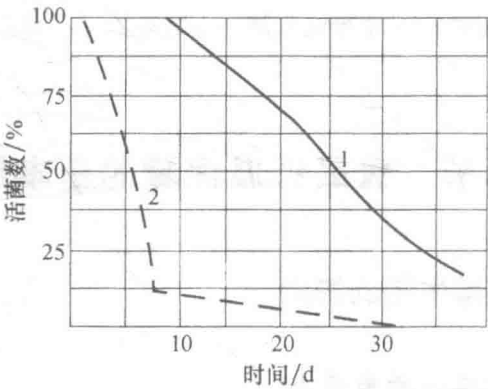


图 2-1 -8℃ 温度时神灵杆菌细胞的死亡情况

在 $-12^{\circ}\text{C}\sim-8^{\circ}\text{C}$ 温度下,因介质内有大量水分转变成冰晶体,对微生物的破坏作用特别厉害。以神灵杆菌(*bacterium prodigiosum*)为例,在 -8°C 的冰冻介质中它的死亡速度比过冷介质中明显快得多。不过在温度更低的冻结或冰冻介质中($-20^{\circ}\text{C}\sim-18^{\circ}\text{C}$)微生物的死亡速度却显著地变缓慢(表 2-4)。

表 2-4 不同温度和储藏期的冻鱼中细菌含量

储藏期/d	细菌残留率/%		
	-18°C	-15°C	-10°C
115	50.7	16.8	6.1
178	61.0	10.4	3.6
192	57.4	3.9	2.1
206	55.0	55.0	2.1
220	53.2	53.2	2.5

(二)低温导致微生物活力下降或死亡的原因

引起食品变质的微生物主要是细菌、霉菌和酵母菌。微生物的耐冷性因种类而异,一般球菌类比革兰氏阴性杆菌更耐冷,酵母菌和霉菌比细菌更耐冷。对于同种类的微生物,他们的耐冷性随培养基组成、培养时间、冷却速度、冷却终温及初始菌数等因素的变化而变化。不同食品中微生物生长发育的最低温度见表 2-5。

表 2-5 微生物在食品介质中发育的最低温度

食品	微生物	温度/ $^{\circ}\text{C}$	食品	微生物	温度/ $^{\circ}\text{C}$
肉类	霉菌、酵母菌	-5	柿子	酵母菌	-17.8
肉类	假单胞菌属	-7	冰淇淋	嗜冷菌	$-20\sim-10$
咸猪肉	嗜盐菌	-10	浓缩橘子汁	耐渗透酵母	-10
鱼类	细菌	-11	树梅	霉菌	-12.2

低温抑制微生物生长的主要原因是:

微生物低温下活性降低的影响因素包括如下几点。

①温度。温度越低对微生物的抑制越显著,在冻结点以下温度越低水分活性越低,其对微生物的抑制作用越明显,但低温对芽孢的活力影响较小。

②降温速率。在冻结点之上,降温速率越快,微生物适应性越差;水分