

现 代 食 品 丛 书

高福成 主编

刘志胜 李修渠 编著

冻 干 食 品




中国轻工业出版社

现代食品丛书

冻干食品

高福成 主编
刘志胜 编著
李修渠

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

冻干食品/高福成主编, 刘志胜、李修渠编著. --北京:
中国轻工业出版社, 1998. 5 (1999. 8 重印)
(现代食品丛书)

ISBN 7-5019-2169-5

I. 冻… I. ①高… ②刘… ③李… Ⅱ. 冷冻食品 Ⅳ.
TS. 27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 28575 号

责任编辑: 熊慧珊 白洁

责任终审: 滕炎福 版式设计: 智苏亚

责任校对: 郎静瀛 封面设计: 李曙光

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 北京市卫顺印刷厂

经销: 各地新华书店

版次: 1998 年 5 月第 1 版 1999 年 8 月第 2 次印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 6.5

字数: 146 千字 印数: 3001-6000

书号: ISBN 7-5019-2169-5 /TS·1362 定价: 15.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

序 言

《现代食品丛书》的策划意图是为了适应我国将进入 21 世纪这一世纪性进程食品工业发展的迫切需要。

近几十年来，由于社会和科学技术的迅速发展，某些颇为引人注目的极富时代特征的新概念食品相继问世。本丛书将陆续介绍这类新概念食品，以期能在这一世纪性进程中起到催化这类食品工业化生产，促进这类食品稳定生产的作用。

值此套丛书即将面世之际，特为序。

在此期望广大读者和食品工业界专家给予大力支持，并提出宝贵建议。

无锡轻工大学

《现代食品丛书》主编 高福成

前 言

所谓冻干食品,是指经过冷冻干燥处理的脱水食品。就产品质量而言,冻干食品优于热风干燥、喷雾干燥、真空干燥等传统脱水食品;就运输和贮存费用而言,冻干食品优于速冻食品和罐藏食品。由于冻干食品容易复水,且最大限度地保留了新鲜食品の色、香、味,因此,许多冻干食品是高质量的速食方便食品;由于冻干食品最大限度地保留了食品原料的营养成分和生理活性成分,因此,许多功能性食品或其基料采用冻干食品。冻干食品的高附加值可以弥补其生产成本高的缺点,对于价格昂贵的食品原料更是如此。

我国冻干食品的发展虽然起步较晚,但我国可用于冻干的农副产品数量大、品种多、质量高、价格低,加上我国廉价的劳动力,因此,我国的冻干食品在国际市场上具有较强的竞争力。随着我国人民生活水平的提高,作为高档食品的冻干食品,日益受到消费者的青睐。

正是由于以上原因,近年来我国生产冻干食品的企业和有关冻干食品的研究越来越多。为了适应我国冻干食品发展的需要,我们在科研的基础上,参考国内外有关资料,编写了这本《冻干食品》,作为《现代食品丛书》之一,奉献给读者,希望能起到抛砖引玉的作用。

本书是在《现代食品丛书》主编高福成教授的策划、主持下编写完成。全书共分六章,其中绪论、第一、二、三、四、五章和附录一、二由刘志胜编写,第六章和附录三由李修渠编写。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

1998. 1. 16

目 录

绪 论	(1)
一、冻干食品的特点	(1)
二、国内外冻干食品发展概况	(3)
三、我国冻干食品发展前景	(6)
第一章 食物料的冻结	(8)
第一节 水溶液的冻结	(8)
一、水的冻结	(8)
二、水溶液的冻结	(10)
第二节 食品的冻结	(11)
一、食品的冻结点	(11)
二、食品的共晶点与共熔点	(13)
三、食品水分冻结率	(13)
四、冷冻曲线和最大冰晶生成带	(16)
五、晶核在食品冻结中的作用	(17)
第三节 冻结对食品结构的影响	(18)
一、固态食品的冻结	(18)
二、液态食品的冻结	(21)
第二章 冷冻干燥	(23)
第一节 升华干燥的基本原理	(23)
一、水的三相点	(23)
二、升华的基本条件	(24)
三、升华干燥的必要条件	(25)
第二节 冻干过程的一般描述	(26)
一、升华界面	(26)

二、冻干层的结构	(27)
三、升华干燥中的传热与传质	(27)
四、升华干燥的形式	(32)
五、冻干曲线	(33)
六、塌陷	(35)
七、解析干燥	(36)
第三节 冻干数学模型分析	(38)
一、升华干燥数学模型	(38)
二、干燥室压强对 λ 和 D' 的影响	(45)
第四节 降低冻干能耗的研究	(48)
一、物性参数和过程参数的研究	(48)
二、冻干过程模型的研究	(52)
三、过程操作和控制的研究	(53)
第三章 食品冻干工艺	(56)
第一节 食品冻干前的预处理	(56)
一、固态食品	(56)
二、液态食品	(60)
第二节 食品冻干工艺条件	(60)
一、冻干机的装载量	(61)
二、干燥温度	(62)
第三节 冻干果蔬	(68)
一、冻干蘑菇	(68)
二、冻干大蒜粉	(71)
三、冻干芦笋	(73)
四、冻干胡萝卜	(74)
第四节 冻干牛肉	(77)
一、影响冻干牛肉质量的主要因素	(77)
二、冻干生牛肉片	(78)
三、冻干熟牛肉片	(85)
四、赋形剂的使用	(86)
第五节 冻干速溶咖啡	(87)

一、速溶咖啡的品质指标	(87)
二、有关浓缩液冷冻的几项专利	(89)
三、冷冻速率和提取液浓度对咖啡质量的影响	(90)
四、冷冻及冻干条件对咖啡质量的影响的定量研究	(91)
第六节 冻干速溶茶	(101)
一、茶液共熔点的测定	(101)
二、茶液冻干曲线的确定	(102)
三、茶液浓度对冻干时间的影响	(103)
四、茶液的最佳冻干厚度	(103)
五、操作压力对冻干时间的影响	(103)
第七节 冻干鱼片	(106)
一、生产工艺流程	(106)
二、冻干鱼片质量	(107)
第四章 冻干食品的品质	(108)
第一节 冻干食品的感官品质	(108)
一、冻干食品的复水能力	(108)
二、冻干食品的风味、色泽与质构	(112)
三、冻干食品的体积质量	(116)
第二节 冻干食品的营养品质	(117)
一、脱水食品营养成分损失动力学	(117)
二、脱水对蛋白质、氨基酸的影响	(118)
三、脱水对维生素的影响	(121)
第五章 冻干食品的包装与贮存	(125)
第一节 冻干食品的水分含量与品质变化	(125)
一、冻干食品残留水分量	(125)
二、冻干食品的吸湿性	(126)
三、水分含量对冻干食品品质的影响	(128)
第二节 冻干食品的氧化	(130)
一、冻干食品中脂肪的氧化	(131)
二、冻干食品中类胡萝卜素的氧化	(132)
三、预防冻干食品氧化变质的措施	(132)

第三节	冻干食品中的微生物	(134)
第四节	冻干食品的包装	(136)
一、	干燥后处理	(136)
二、	冻干食品的包装材料	(136)
三、	包装前压缩	(139)
四、	对包装室的要求	(139)
第六章	冻干食品生产设备	(141)
第一节	冻结方法及装置	(141)
一、	形成多孔块状的高真空瞬间速冻设备	(142)
二、	流化床冻结器	(143)
三、	液体氟利昂冷冻器	(144)
四、	液氮冷冻装置	(145)
第二节	干燥室	(146)
一、	搁板	(146)
二、	料盘	(148)
第三节	加热系统	(150)
一、	传导加热	(150)
二、	辐射及微波加热	(153)
第四节	真空装置	(159)
一、	机械真空泵	(159)
二、	蒸汽喷射泵	(162)
第五节	水蒸气凝结器	(163)
一、	对水蒸气凝结器的要求	(164)
二、	水蒸气凝结器的结构型式	(165)
第六节	干燥设备	(167)
一、	间歇式冷冻干燥设备	(168)
二、	连续式冷冻干燥机	(172)
附录:		
附录一	脱水大蒜技术要求 (ISO 5560: 1997)	(180)
附录二	脱水洋葱技术要求 (ISO 5559: 1995)	(188)
主要参考文献		(196)

绪 论

随着科学技术的进步和经济的发展，人们对所食之物的要求日趋复杂化。传统的以保藏为目的的食品加工，满足了人们消费各种动植物食品不受季节和地域限制的愿望，但加工所造成的色、香、味劣变，营养成分和生理活性成分的损失，以及过分依赖添加剂所引起的安全性等问题，日益被消费者所关注和担忧，特别是消费者对饮食快捷化、方便化的迫切需求，使得冻干食品应运而生，且逐渐进入了人们的家庭。

一、冻干食品的特点

所谓冻干食品，就是水分含量较高的食品物料经冻结后，在低温通常也是低压下使物料中的冰升华为水蒸气而获得的干制品。冻干食品所采用的干燥方法有冷冻干燥、冷冻升华干燥和真空冷冻干燥。

（一）冻干食品的优点

食品冷冻干燥的首要目的就是要降低食品中的水分含量，使其能长期贮存，随时随地供人们食用。冻干食品由于脱水比较彻底，因而如包装适当，不加任何防腐剂也可安全地贮存较长时间。

冻干食品在贮存时对环境温度没有特别的要求，于室温条件下贮存即可，因此，其贮存、销售等经常性费用远远低于冷冻食品。

由于升华干燥前的冻结，使食品物料形成了一个稳定的固体骨架，冰晶升华后，固体骨架基本维持不变，因此，固体食品物料经冷冻干燥后获得的冻干食品，其收缩率远远低于其他干制品，

能够保持新鲜食品的形态。

冻结后，食品物料中的水分以冰晶的形式存在，原来溶于水中的无机盐等溶解物被均匀地分配在物料中。冰晶升华后，溶于水中的溶解物就地析出，避免了一般干燥时由于物料内部水分向表面迁移，使之所携带的无机盐等成分在表面析出现象。因此，冻干食品无表面硬化的问题。

由于冻干食品不存在表面硬化的问题，复水时水分可迅速渗入到冻干食品内部。此外，冻结后均匀分布的细小冰晶在升华后留下大量的空穴，致使冻干食品呈多孔海绵状，渗入的水分与干物料充分接触，使得冻干食品在几分钟甚至数十秒钟内完全复水。冻干食品的这种优异的复水性能，决定了它在即食方便食品中的地位。

食品物料中的许多成分具有热敏性和易氧化性。由于冷冻干燥是在低温下进行，而且只能在低温下进行，此外，生产中的升华干燥通常是在高真空度下进行的，这样就避免了加工时常见的食品中的热敏性成分被破坏、易氧化成分被氧化的现象。所以，冻干食品的营养成分及生理活性成分保留率最高，这是某些功能性食品采用冻干食品为基料的主要原因。

由于低温下各种化学反应的速率较低，故冷冻干燥时由于各种色素分解所造成的退色、酶和氨基酸所引起的褐变现象几乎不发生，所以冻干食品不需添加任何色素，其色泽依然赏心悦目，鲜艳如初。

由于低温下芳香成分的挥发性较低，故冷冻干燥时其挥发损失率相对较低，又由于其无氧化等劣变反应，故无异臭产生。此外，干燥后产品中的芳香成分浓度相对增加，因此，冻干食品风味不变，香气更加浓郁。

（二）冻干食品的缺点

冻干食品所具有的多孔海绵状结构，既有其有利的一面，也有其不利的一面。首先，冻干食品一旦暴露于空气中容易吸湿潮解，故包装材料要绝对隔湿防潮。其次，它具有较大的比表面积，

使得空气中的氧可与冻干食品充分接触，如果持续时间较长，食品中的脂肪就会氧化酸败。所以，冻干食品应真空包装，最好充氮包装。再次，由于它的相对密度较小，使得冻干食品所占体积相对较大，所以不利于包装、运输和销售。因此，冻干食品常被压缩之后再包装。此外，多孔疏松结构使得冻干食品在输送、销售途中极易破碎、粉末化。因此，对于那些不便压缩包装的冻干食品，应采用具有一定保护作用的包装材料或包装形式。

冻干食品的生产需要一整套高真空设备和低温制冷设备，因此，设备的投资费用较大。此外，为了防止食品物料中冰晶的融化，升华温度不宜太高。更主要的是，真空状态下多孔性物料的导热系数低、传热速率低，致使本来温度就不高的冰晶升华速率变得更低，所以，冷冻干燥的时间一般较长。在如此长的时间内，设备一方面要不停地制冷，另一方面要不停地供热，还要不停地抽真空，致使设备的操作费用较高。所有这些，导致了冻干食品的生产成本较高，大大地限制了冻干食品的发展。这也一直是科学工作者致力于研究的课题。

二、国内外冻干食品发展概况

(一) 冻干技术的发展

冻干食品的发展与冷冻干燥技术的发展密切相关。

利用冰升华进行脱水的原理早在 19 世纪初期就已有学者提出。1890 年，Altmann 在制作生物标本时，为了防止标本中的物质在有机溶剂中溶解而造成不可逆损失，他改变过去用有机溶剂脱水的方法，采用冷冻干燥法干燥生物的各种器官和组织，这是冷冻干燥技术在制作生物标本中的最早应用。

1900 年，Shachell 开始利用这种方法进行血清的干燥，以后，又连续有众多的研究者探讨有关补体，免疫血清，各种病原菌、病毒、酵母等在实验室内的保存性。但当时所使用的冻干装置差不

多都是用玻璃制造的小型装置，除去水蒸气的方法只是依靠真空的直接抽气和硫酸等的吸湿作用。

1912年，Carrel首先提出用冻干技术为器官移植保存器官组织。

1935年，第一台商业用冻干机问世。自此之后，冷冻干燥技术不再只是实验室内科学研究的手段。

1940年，冻干人血浆投放市场。第二次世界大战中，由于需要大量的冻干人血浆和青霉素，因而冻干技术在医药等方面的应用得到迅速发展。

1951年和1958年，在英国伦敦先后召开了第一届和第二届以冻干为主体的专题讨论会，后来国际制冷学会将冷冻干燥列为C1委员会的学术内容之一。

值得一提的是，Flosdorf、Elser、Greaves等人，当时一方面进行冻干基础理论的研究，一方面进行装置大型化、现代化的改进，为冻干技术从实验室向工业化生产和产品商业化方面发展做出了巨大贡献。

（二）国外冻干食品发展概况

冷冻干燥作为专门的干燥技术虽然只是近百年的事，但利用冷冻干燥加工与保藏食物很早就为人们所实践。如古代斯堪的纳维亚人(Vikings)利用北冰洋干爽寒冷的空气生产一种脆鱼(klipfish)，南美的古印第安人利用自然条件冷冻干燥生产一种称为chuno的马铃薯淀粉。

对食品进行冷冻干燥的研究始于1930年，当时Flosdorf首次在实验室进行了食品冻干的试验。

1934年，英国人Kidd利用热泵原理冷冻干燥食物；这可能是世界上第一项有关食品冻干的专利。

1949年，Flosdorf出版了世界上第一本有关冷冻干燥理论及技术的专著，他在书中对冻干技术在食品等方面的应用前景作了展望。

对食品冷冻干燥的系统研究始于 50 年代,其中规模最大的是英国食品部于 1950~1960 年在苏格兰的 Aberdeen 试验工厂进行的研究,研究成果中最为著名的是加速冻干法 (AFD)。

60 年代至 70 年代,国外对冷冻干燥尤其是食品冷冻干燥的研究非常活跃,仅 1966 年,美国就公布了 36 个食品冻干专利。

随着食品冻干技术及冻干设备水平的提高,冻干食品的生产不断扩大。1965 年,全球已有食品冻干厂 50 多家。到 1985 年,仅日本就有 25 家公司生产冻干食品,其总销售额为 1 700 亿日元。1969 年美国市场上的速溶咖啡有 20% 左右为冻干品,而在 1970 年则有 28%。目前,冻干速溶咖啡深受大众的喜爱。1992 年,日本冻干食品的生产量为 7 000t。

由于冻干食品质量轻,复水快,色、香、味俱佳,因此在国外,它在登山、航海、探险、军队野战等特殊场合中具有不可替代的地位。冻干食品一直是宇宙航飞行员在太空中的主要食品。

在国外,冻干食品在民用食品中也确立了稳固的地位。冻干食品问世之初,主要产品只是冻干速溶咖啡、冻干牛肉等,目前,在一些发达国家的市场上,除各种冻干果品、冻干蔬菜外,还有冻干鸡蛋片、冻干汤料、冻干虾、冻干蛋白粉、冻干海鲜、冻干速溶茶、冻干什锦米饭、冻干粥、冻干面条、冻干豆腐等。各种冻干野餐食品、休闲食品也深受消费者的欢迎。日本快速方便食品中有 50% 是冻干食品。冻干食品在一些发达国家中已经达到相当高的普及水平。

(三) 我国冻干食品发展概况

我国冻干食品的发展起步较晚,60 年代后期才开始在北京、上海等地建立了一些实验性冻干设备,70 年代中期在上海建立了年产 300t 的食品冻干车间,但由于当时还未实行对外开放政策,致使我国的冻干食品未能打入国际市场,最终因效益不佳而导致工厂停产。

进入 80 年代以后,冻干食品的生产在我国有了较大的发展,

青岛市第二食品厂率先引进日本冻干设备，生产冻干葱、冻干姜片等，之后，宁夏寒力冰食品有限公司引进意大利设备，厦门佳裕食品有限公司引进我国台湾省设备，湖南康宝食品有限公司引进丹麦阿特拉斯公司设备，相继生产出冻干食品，产品主要用于出口创汇，取得了良好的经济效益。

三、我国冻干食品发展前景

随着我国种植、养殖业的发展，动、植物产品的品种、数量不断增加，由于许多动、植物食品极易腐败变质，不符合商品流通和社会化大生产的需要，因此，食品的脱水、保藏加工业蓬勃发展，冷冻干燥作为脱水加工中的高新技术，也得到越来越广泛的应用。

生产成本高是冻干食品的最大缺点，这已为人们所熟知，但是随着冻干技术的提高，冻干设备的日益完善，尤其是冻干设备的国产化，冻干食品的生产成本必将而且已经进一步降低。另外，与罐装食品、冷冻食品相比，冻干食品的运输、贮存等经常性费用较低，而冻干食品的高质量所附加的高价值，可以弥补其成本高的缺点，尤其是对于价格高的食品物料，冻干成本在其产品销售价格中所占的比例并不大。

在国际市场上，冻干食品比传统脱水食品的价格要高4倍左右。1988年，冻干大蒜的售价高达5 000~5 500美元/t。日本1982年进口冻干蔬菜达12 400t。1988年，美国向日本出口冻干蔬菜2 778t，我国台湾省向日本出口冻干蔬菜3 326t。我国可用于冷冻干燥的食品资源十分丰富，例如，我国的香菇、草菇、侧耳、木耳等食用菌年产量达58.5万t，占世界总产量的29.1%，因此，发展冻干食品具有广阔的国际市场，这将大大增强我国食品的外贸出口创汇能力。

改革开放至今，人民的生活水平已有了很大的提高，人们对食品的要求也随之发生了质的变化，以往人们不敢问津的高档食

品已进入普通百姓家，特别是人们对高质量的婴幼儿食品和保健食品的需求量急剧增加。另外，高档餐饮业的迅速崛起、生活节奏的加快，这些都使人们对方便即食食品的需求量越来越大。再有，我国旅游、探险、航海事业必将有大的发展，我国野外食品的配给水平亟待提高，所有这些，都给冻干食品的推广普及提供了广阔的市场。

第一章 食品物料的冻结

冷冻干燥首先要将原料进行冻结，冻结的方法有自冻和预冻两种。自冻就是利用物料表面的水分蒸发从它自身吸收汽化潜热，促使物料温度下降，当物料的温度达到冻结点时，物料中的水分自行冻结。如能将干燥室迅速抽成高真空状态，即压力迅速下降，物料中的水分就会因水分瞬间大量蒸发而迅速降温冻结。大部分预煮的蔬菜可用此法冻结。不过，采用这种方法，在水分蒸发时，物料常会出现变形或发泡等现象，因此，此法对外观和形态要求高的食品并不适宜。但如果真空度调整适宜，这种变化可以减轻到最低程度。此法的优点是可降低每蒸发 1kg 水分所需要的总耗热量。预冻就是物料在干燥前用一般的冻结方法预先冻结，如高速冷空气循环法、低温盐水浸渍法、低温金属板接触法、液氮或氟利昂喷淋法等。

第一节 水溶液的冻结

一、水的冻结

就冷冻干燥而言，不把纯水看作是食品。但水是所有食品中的重要成分，而且是冻干过程中最重要的成分。众所周知，水的冰点为 0°C ，实际上，纯水降温到 0°C 时并不开始结冰，而是常常首先被冷却成过冷状态，即温度虽已下降到冰点以下但尚未发生相变。只有当温度降低到水中开始出现稳定性晶核时，水才会立即向冰晶体转化并释放潜热，放出的潜热使其温度回升到水的冰点。降温过程中水中开始形成稳定性晶核时的温度或温度开始回