

冷链

Key Technology of Cooling
in Cold-chain Logistics

物流供冷关键技术研究

刘斌 著



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

冷链物流供冷关键技术研究

刘 斌 著

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

冷链物流供冷关键技术研究 / 刘斌著. —天津:
天津大学出版社, 2018. 10
ISBN 978-7-5618-6275-9

I. ①冷… II. ①刘… III. ①冷冻食品—供冷—物流
管理 IV. ①TS205.7②F252.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 245121 号

出版发行 天津大学出版社
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647
网 址 publish.tju.edu.cn
印 刷 北京虎彩文化传播有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 12.5
字 数 325 千
版 次 2018 年 10 月第 1 版
印 次 2018 年 10 月第 1 次
定 价 50.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请与我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

序

随着我国经济的飞速发展以及人民生活水平的逐步提高,易腐食品(水果、蔬菜、肉类及肉制品、水产品、蛋类、乳制品等)产量和需求量逐年增长,消费者对食品品质和安全也更加重视。如何建立完善的低温物流体系,降低易腐食品的流通腐损率,保障易腐食品的品质及安全,已逐渐成为关系民生、影响农业及食品工业转型升级和可持续发展的热点问题。但是,中国低温物流业目前仍处于起步阶段,食品冷加工、低温技术、物流体系、信息管理系统等均与世界发达国家存在较大差距。

刘斌同志一直从事低温物流体系研究,特别是在农产品冷加工与保鲜贮藏方面取得了重要研究成果,现任国际制冷学会 D2 委员会委员、中国工程标准化委员会商贸分会理事,曾在爱丁堡大学、巴黎卡尚高等师范学校进行访问。针对我国农产品以个体农户生产为主的生产方式及以“农户+合作社+龙头公司”为主要流通方式的特征,本书研究了以产地为核心的“产贮运销”全程冷链物流中的关键技术问题,分别从产地预冷、产地贮藏冷库、蓄冷运输、冰温展示柜以及低温物流贮藏期的预测五个技术环节介绍低温物流体系的核心组成部分,形成了一个产地预冷、贮藏、蓄冷运输和冰温展销的适合我国现状的冷链物流模式,指出了如何建立完善的低温物流体系,对进一步推进低温物流关键技术的专项研究、高效开展低温物流体系建设将起到重要作用。

刘斌同志长期从事易腐食品的低温物流技术研究,发表的大量论文受到读者欢迎和重视,《冷链物流供冷关键技术研究》的出版基于其在低温物流领域长期的实践经验和知识积累,大量清晰的原理示意图、详细的技术对比分析表以及实验模拟图等可供读者学习参考,有助于读者理解并领会,我深信,读者们会从中受益良多。



2017年9月19日

前 言

本书针对我国农产品以个体农户生产为主的生产方式及以“农户+合作社+龙头公司”为主要流通方式的特征,研究了以产地为核心的“产贮运销”全程冷链物流中的关键技术问题,形成了一个产地预冷、贮藏、蓄冷运输和冰温展销的适合我国现状的冷链物流模式。本书主要特点如下:

(1)研究了产地差压预冷风速对预冷效果的影响,建立了差压预冷的优化目标函数,优化了产地差压预冷风速,建立了评价预冷效果的温降模型和水分失重模型;

(2)研究了产地微型冷库的整体性能,提出了产地微型冷库建设的一些结构性参数,并从生命周期的角度提出了优化的保温层厚度;

(3)提出了一种新型的纳米流体蓄冷材料,分析了蓄冷材料的物性变化规律,进行了蓄冷运输实验,提出了蓄冷运输中蓄冷材料的匹配比;

(4)研究了冰温展示柜的风幕最佳风速,提出了最佳风幕风速值;

(5)基于能量平衡的原理,提出了一种新的果蔬贮藏期的计算方法,并研究了其生理上的动力学机制。

本书共有5章内容。第1章是产地预冷,包括产地预冷技术分类、差压预冷技术和差压预冷工艺优化。第2章是产地贮藏冷库,包括产地贮藏冷库的结构优化和贮藏过程中果蔬失重研究。第3章是蓄冷运输,包括冷藏运输分类、蓄冷纳米流体的性质、纳米流体蓄冷运输工艺三部分。第4章是冰温展示柜,包括影响展示柜温度场的因素和实验两部分。第5章是低温物流贮藏期的预测,包括基于能量平衡的贮藏期预测、基于品质的切分菜货架期预测和小结。

本书是多年来作者带领研究生开展科学研究的成果总结,众多研究生为本书付出了大量的心血,包括牛健会、蔡景辉、王艳红、苏芸、孙小峰、李晓宇、王超、周晓静、杨兆丹、宋健飞、王瑞星、郭衡、许玉龙、王清伟等。在本书的编写阶段,研究生王美霞、许茹楠、李天颖、王亚会、李芹芹、单亮亮、王琪给予了大力支持。天津商业大学机械工程学院学科办主任刘圣春在本书的写作过程中也提供了大量的帮助。在此向他们表示衷心的感谢。

目 录

绪 论	1
0.1 低温贮藏的发展	1
0.1.1 古代低温贮藏	1
0.1.2 传统低温贮藏	2
0.1.3 现代低温贮藏	2
0.2 低温物流发展及其对国民经济的作用	3
0.2.1 低温物流发展	4
0.2.2 低温物流发展对国民经济的作用	5
0.3 低温物流的主要构成	6
0.3.1 冷加工技术	6
0.3.2 冷冻冷藏技术	7
0.3.3 冷藏运输技术	8
0.3.4 低温物流信息追溯技术	9
0.3.5 低温物流货架期预测技术	9
参考文献	10
第1章 产地预冷	12
1.1 产地预冷技术分类	12
1.1.1 差压预冷	12
1.1.2 水预冷	15
1.1.3 真空预冷	18
1.1.4 预冷过程的传热传质理论	21
1.1.5 单颗葡萄的集总参数法	25
1.1.6 葡萄预冷实验分析	27
1.2 差压预冷技术	29
1.2.1 差压预冷风速优化	29
1.2.2 风机能耗与预冷风速的分析	32
1.2.3 终止温度与风速的关系	33
1.3 差压预冷工艺优化	36
1.3.1 堆码方式的影响	36
1.3.2 实验结果及分析	37
1.3.3 外开孔方式的影响	38
1.3.4 实验验证	40

参考文献	45
第2章 产地贮藏冷库	47
2.1 产地贮藏冷库的结构优化	47
2.1.1 经济保温层厚度的确定	50
2.1.2 围护结构热负荷计算	53
2.1.3 冷库降温过程	55
2.1.4 产地贮藏冷库的气流分析	60
2.1.5 库内气流模型的建立	66
2.1.6 模拟结果	68
2.2 贮藏过程中果蔬失重研究	74
参考文献	76
第3章 蓄冷运输	78
3.1 冷藏运输分类	78
3.1.1 冷藏运输的特点与要求	78
3.1.2 冷藏列车	81
3.1.3 冷藏汽车	84
3.1.4 冷藏船	87
3.1.5 冷藏集装箱	87
3.2 蓄冷纳米流体的性质	90
3.2.1 蓄冷纳米流体的导热系数实验测量与分析	90
3.2.2 DSC(差式扫描量热仪)实验结果与分析	94
3.2.3 纳米流体相变蓄冷研究的测试结果与分析	101
3.3 纳米流体蓄冷运输工艺	105
3.3.1 常温蓄冷运输	105
3.3.2 纳米流体蓄冷材料与预冷工况对照实验	108
3.3.3 正交实验	110
3.3.4 堆码实验	117
3.3.5 模拟及结果分析	123
3.3.6 实验与模拟对比	130
参考文献	137
第4章 冰温展示柜	139
4.1 影响展示柜温度场的因素	139
4.1.1 数学模型的控制方程组	139
4.1.2 约束条件设定	140
4.1.3 网格划分	140
4.1.4 模拟方案	141
4.1.5 模拟结果和分析	141

4.1.6 小结	147
4.2 实验	150
4.2.1 冷藏柜热负荷的计算	150
4.2.2 制冷系统的选择	152
4.2.3 冷藏柜空载时的温度场测量	152
4.2.4 负载时冷藏柜内温度实验	160
4.2.5 温差分析	164
4.2.6 小结	166
参考文献	166
第5章 低温物流贮藏期的预测	168
5.1 基于能量平衡的贮藏期预测	168
5.2 基于品质的切分菜货架期预测	172
5.2.1 预测方法	172
5.2.2 鲜切蔬菜贮藏期品质动力学模型的建立	175
5.2.3 鲜切蔬菜货架期预测模型的建立	181
5.3 小结	187
参考文献	188

绪 论

以制冷技术为手段,使物品从生产到消费的各个环节始终处于规定的低温环境中,以保证物品质量安全、减少物品损耗的物流活动,称为低温物流。低温物流的适用范围包括三部分:初级农产品(蔬菜、水果、肉、禽、蛋、水产品、花卉产品等)、加工食品(速冻食品、禽、肉、水产等包装熟食,冰淇淋和乳制品,巧克力,快餐原料等)、特殊商品(药品、血浆、生物制剂等)。不同物品具体要求的低温物流关键技术和链条装备有所不同,本书所述低温物流的各技术环节主要适用于水果、蔬菜、肉类及肉制品、水产品、蛋、乳制品等易腐食品,基本流程为:产地生产及产后处理、预冷→冷加工→产地集货、冷藏→产地批发→冷藏运输→销地集货→销地加工、批发、配送→零售、消费。

在详细阐述低温物流之前,先从低温贮藏的发展、低温物流发展及其对国民经济的作用和低温物流的主要构成三方面整体介绍低温物流体系。

0.1 低温贮藏的发展

狭义的低温贮藏指利用低温技术将食品温度降低,并维持在规定的低温状态,以阻止食品腐败变质,延长食品货架期,其一般工艺过程为:准备食品物料→前处理→冷却或冻结→冷藏或冻藏→回热或解冻。从广义上看,即使未采用低温技术,只要食品在合适的低温环境下,在品质得以保证的同时货架期被延长,也称为低温贮藏。

0.1.1 古代低温贮藏

先秦时期,《诗经·邶风·谷风》已载有“我有旨蓄,亦以御冬”的诗句,大意是:已贮藏质佳味美的蔬菜,可借以度过严冬。《诗经·国风·豳风·七月》亦曾这样记述:“二之日凿冰冲冲,三之日纳于凌阴。四之日其蚤,献羔祭韭。”凌阴是古代贮藏天然冰的场所,即冰窖。这首西周时期的农事诗记述了隆冬时节采收、贮存天然冰,冷藏韭菜,早春二月用于祭祀祖先的情景。

到了汉朝,人们已掌握用地窖贮藏天然冰的技术。三国时代,利用天然冰雪降温 and 冷藏食品已形成很大规模,当时这在世界上是非常了不起的。唐朝以后,天然冰雪作为冷藏介质被广泛利用。至元朝,《马可·波罗行纪》一书中介绍了我国13世纪用冰保存鲜肉及制造冰酪冷食的技术。明朝时期在运河两岸修建水库,向为宫廷运送鲜菜、鲜果的船只提供冰块,保持其鲜嫩。清代光绪年间,北京专设冰窖,用于贮藏蒜薹等果蔬、肉类,以保证向皇宫供应新鲜的食物。

0.1.2 传统低温贮藏

传统低温贮藏有堆藏、沟藏和窖藏三种方式,是广大劳动人民长期生产实践的经验和智慧的结晶,是现代贮藏保鲜技术的“祖先”。传统低温贮藏形式原始、生产加工方便、成本低,至今在农村仍占有一席之地。其保鲜时间短、损耗大、规模小,适合大宗、价廉、耐贮藏或适于假植的果蔬,如生姜、南瓜、红薯及土豆等。

0.1.3 现代低温贮藏

现代低温贮藏利用一定的制冷技术和场所满足食品品质的保鲜要求,主要包括机械冷藏、气调冷藏、冷冻贮藏、减压冷藏、真空冷冻干燥贮藏、冰温贮藏、辐照贮藏等。

现代制冷之父詹姆斯·哈里森(James Harrison),1851年在澳大利亚维多利亚州季隆市为世界上第一家制冰厂设计并制造出一台小型制冷压缩机及其辅助设备和冰池,之后几年内便出现了采用天然物质(如锯屑或软木)隔热的一些机械冷藏库。1879年,冻牛肉被从澳大利亚发运到英国,这是世界上易腐食品第一次成功地长距离海上运输。不久,用于苹果和梨的大型机械冷藏库投入生产,这标志着食品贮运保鲜进入现代贮运保鲜新时代,是食品贮运保鲜的一次技术性革命。

1916—1920年,英国科学家基德(F. Kidd)和韦斯特(C. West)围绕气体组成成分对苹果贮藏品质的影响进行了系统研究,为气调贮藏库的诞生提供了理论基础。1928年英国建立了第一座机械气调库,开创了果蔬气调贮藏保鲜新时代。这一时期,世界各国虽陆续开展对气调贮藏的研究,但进展缓慢。直至第二次世界大战后,气调技术迅速进入应用发展阶段,各个国家越来越多地将气调技术应用于商业性贮藏。目前,气调贮藏已成为美国、英国、法国、意大利、日本等发达国家进行果蔬保鲜的重要手段,气调技术由自发气调到机械气调,又到自动控制气调,大量用于农产品贮藏。

20世纪30年代,生活在冷冻机时代的美国发明家克拉伦斯·伯兹埃伊首先意识到快速的冷冻处理才是使各种肉、禽、水产品等得到有效贮藏的关键,但当时对冷冻食品的品质保持、流通过程中的处理缺乏必要的知识。直到20世纪50年代,家用冰箱日益普及时,冷冻食品才开始在发达国家大量销售。20世纪60年代末冷冻食品进入中国,20世纪90年代随着冰箱在中国亿万家庭普及和制冷技术的高速发展,食品冷冻加工与贮藏成为节约和利用食品资源、保证食品质量、方便人民生活、提高健康水平的有效手段之一。目前冷冻食品已成为居民消费的一大主题。

1957年,沃克曼(Workman)和胡梅尔(Hummel)等同时发现,在对某些果蔬进行冷藏的同时降低其贮藏环境的气压,可比常规气调贮藏明显延长其贮藏寿命。1966年,美国的Burg等人提出了完整的减压贮藏理论和技术。之后,各国广泛开展实验室减压保鲜研究,最先应用于苹果,之后迅速扩展到其他水果、蔬菜、花卉、切花、苗木以及鱼、肉、禽等动物性食品,均取得显著的贮藏效果。由于减压贮藏需要将真空度降到正常大气压的1/10以下,

库体需承受很大的负压,故减压贮藏库的建造费用比普通冷库、气调贮藏库昂贵数倍,到目前为止,这种方法还处于实验研究阶段,尚未在商业上得到大规模应用。

真空冷冻干燥技术起源于20世纪30年代,1930年丹麦的Flosdoff开始进行食品冻干实验,1940年英国的Fikidd提出用冷冻干燥方法处理食品,1943年全球第一台食品真空冷冻干燥设备在丹麦问世,1961年英国食品部在Aberdeen实验工厂开始对食品冻干技术的研究,其研究成果证明,冻干技术用于食品加工是获得优质食品的有效方法之一。20世纪80年代中期至90年代末,是全球冻干技术快速发展的阶段,至目前经过半个多世纪的发展,欧、美、日等工业发达地区、国家的食品冻干技术已日臻成熟、完善,冻干食品已被人们广泛接受;我国则处于借鉴、消化吸收与自主创新相结合的阶段,与当今国际先进水平相比存在一定差距,真空冻干食品的加工与处理在国内市场尚不具备竞争力,但我国是原料生产大国,因此该技术应用前景十分广阔。

20世纪70年代初,日本某食品加工研究所的职员山根昭美博士在一次拟采用CA法贮藏梨的实验中,由于操作失误,原本设定的0℃的贮藏温度被降至-4℃,他将温度恢复到原贮藏温度后发现梨并未冻伤,反而恢复到了贮藏前的状态,且完全恢复了原来的色泽和味道,这就是冰温的发现。随后山根昭美博士对爱斯基摩人采用低于0℃的海水贮存肉食的方法和动物冬眠的机理进行研究,发现生物组织的冰点均低于0℃,当贮藏温度高于冰点时,细胞始终处于活体状态。山根昭美博士把此原理应用到食品贮藏中,将食品结冰点至0℃的温度区域定义为冰温带。冰温技术首先由日本研究开发,目前已形成一系列较为成熟的冰温贮藏和加工技术,近年来在美国、韩国等国家和我国台湾地区得到推广和普及,成为仅次于冷藏、冷冻的第三种保鲜技术。然而,由于冰温贮藏技术要求较高,方法不易控制,目前我国适合该技术的配套器材的研究与开发相对滞后,冰温贮藏在国内市场尚未得到广泛应用。

19世纪末德国物理学家威廉·康拉德·伦琴在阴极射线实验中偶然发现X射线,随后明克(Minck)通过实验证实X射线具有杀菌作用,20世纪40年代首次将X射线用于辐射保藏食品的研究。经过70多年的发展,各国在辐射保藏食品研究中主要用以 ^{60}Co 或 ^{137}Cs 为放射源的射线照射,也有用能量在 $10 \times 10^6 \text{ eV}$ 以下的电子射线照射的,均取得了很大的进展。目前对辐射保藏食品的安全性还在作进一步研究,除对马铃薯、洋葱、大蒜、蘑菇等一些特定产品单独进行各种实验分析确证安全无害后,由政府以法律形式批准用于商品生产外,其他食品的辐射保藏并未广泛应用于实际生产中。此外,自1982年日本三菱公司采用波长为650 nm的红色LED光源对温室番茄进行补光取得良好效果后,可见光对果蔬生长及贮藏品质的影响引起国内外学者高度关注,目前其光照波长、光配比、光强度及光均匀性等对果蔬的保鲜作用正在进一步探索中。

0.2 低温物流发展及其对国民经济的作用

食品保鲜及流通,特别是易腐食品在流通过程中的保鲜,已逐渐成为关系民生、影响农业及食品工业转型升级和可持续发展的热点问题。低温物流能够为易腐食品流通提供适

宜的低温环境,是保障易腐食品品质、降低流通腐损率的一项关键技术,在推动国民经济发展和提高人民生活水平方面具有越来越重要的作用。

“十二五”以来,我国低温物流在农业、食品加工业、基础设施、交通等行业的带动下实现了快速发展,同时为满足人民对生活质量、食品安全保障等方面的需求,国家也逐步加大对低温物流的政策激励和投入力度。从产业规模看,我国是一个低温设备生产大国,但从技术发展水平看,自主研发并有国际影响力的共性技术或设备非常少。更重要的是,随着世界性节能环保要求日益提高,各国特别是发展中国家的传统低温物流技术急需升级换代,我国低温物流发展面临着巨大的压力和挑战。

0.2.1 低温物流发展

我国食品冷冻、冷藏行业主要分布在畜产品加工制造业、水产品加工制造业、果蔬加工业、速冻食品制造业、冷冻饮品生产制造业以及上述产品的流通领域。人民生活水平逐步提高,食品工业迅速发展,易腐食品的安全和品质受到前所未有的关注,这就要求低温物流市场具有更好的组织协调性。国家统计局数据显示,2015 年我国的水果产量为 27 375.03 万 t,蔬菜产量为 78 526.10 万 t,肉类产量为 8 625.04 万 t,水产品产量为 6 699.65 万 t,禽蛋产量为 2 999.22 万 t,牛奶产量为 3 754.67 万 t。其中,水果和蔬菜产量位居世界第一,超过世界总产量的一半,且蔬菜的人均占有量逾 500 kg,超过发达国家水平。巨大的产量和消费量进一步决定了易腐食品高效流通对低温物流市场的急切需求。然而,我国低温物流体系目前正处于初级阶段,每年易腐食品的总调运量逾 3 亿 t,但综合低温流通率仅为 19% (美、日等发达国家的冷链流通率已达 85% 以上),且在生产、储运、销售等环节中流通腐损率甚高,其中果蔬、肉类和水产品分别达到 25% ~ 30%、12%、15%,导致直接经济损失 6 800 亿元,造成了社会资源的极大浪费。因此,开展低温物流中关键技术和装备的研究与产业化,推进近零腐损低温物流的推广和应用,已成为当务之急,也是推动我国新常态经济稳步发展的一个重要举措。

分析低温物流市场各环节的发展现状发现,冷加工、冷冻冷藏、冷藏运输、冷链信息化四个主要技术环节均面临巨大挑战。例如:在被称为“最先一公里”的果蔬预冷技术方面,预冷工艺研究不完善,预冷装备能耗大、成本高,低能耗、高速率、适应田间生产的专用预冷设备的研发和应用严重不足;在速冻技术方面,速冻设备的适应性差,自动化水平低,故障率高,能耗大(速冻设备的耗电量占冷冻食品加工厂总耗电量的 30% ~ 50%),特别是在快速冻结方面,工艺基础和设备开发薄弱;在冷冻冷藏技术方面,冷库单位容量能耗大,涉氨冷库存在安全问题,低于 -60 ℃ 的超低温冷藏设备等特种功能型冷库欠缺,冷库认证分级工作缺失;在冷链信息化技术方面,冷链物流信息感知能力弱,各流通环节的上下游信息整合性差,设备与预测或决策模型耦合度低,急需建立低温物流大数据中心。

中国低温物流业在专业分工加快、需求专业化的市场细分背景下产生,食品安全保证体系的建立与健全受到政府及全社会的普遍关注,《农产品冷链物流发展规划》中明确规定:鼓励企业在产地、销地建设低温保鲜设施,从源头实现低温控制;建立以生产企业为核

心的冷链物流体系,实现产地市场和销地市场冷链物流的高效对接;鼓励大型零售企业加快生鲜食品配送中心建设,提供第三方冷链物流服务等。

政府推动与市场推动并举,2005年年底我国基本建成全国鲜活农产品流通“五纵二横绿色通道”网络,首次构建全国范围的低成本鲜活农产品运输网络;果蔬低温物流、乳制品低温物流、肉制品低温物流、水产品低温物流等细分市场保持良好发展势头,逐步走向规范化;生鲜电商、餐饮外卖、生鲜 O2O 快速发展,第三方冷链物流企业开始并购、融资、上市,第四方物流和平台型企业异军突起;2009 年以来,我国冷藏运输蓬勃发展,冷库建设掀起新高潮;制冷设备行业发展增速;低温物流发展范围由珠三角、长三角地区迅速向环渤海和中西部地区扩展。低温物流企业正进一步壮大,市场集中度明显提高,供应链管理呈加快发展趋势,增值型业务将成为新增长点,低温物流集聚区得到较快发展。

目前,我国整体经济快速发展,政府和全行业共同努力,把低温物流上下游连成供应链,进一步加强低温物流技术与新技术推广,我国低温物流将真正进入黄金发展期。

0.2.2 低温物流发展对国民经济的作用

农业、工业分别是我国国民经济的基础和主导,两者的良好发展带动运输业、建筑业等发展,商业和服务业等随之发展。食品保鲜及流通,特别是易腐食品在流通过程中的保鲜,一直以来都是农业和食品工业最为关注的热点。低温物流作为一项系统工程,能够有效保障易腐食品品质、降低流通腐损率,其发展与国民经济整体实力、科学技术水平及人民生活状况密不可分。

改革开放以来,消费者不仅对肉、蛋、奶、水产、水果、蔬菜等易腐产品的需求量迅速增加,而且对其品质和安全的要求越来越高。作为人口大国和农业大国,我国易腐产品产量大,但大量初级农产品几乎以原始状态投放市场,达不到质量保证要求,损耗率较高。我国果蔬损耗率为 25%~30%,而美国仅为 1%~3%,我国每年有总值约为 92.5 亿美元的农产品腐烂。易腐食品的保鲜与流通形势严峻,其生产规模大,但产业化水平低;流通规模大,但组织化程度低;流通技术设施不足,综合损失惊人;监管过程、管理规范不成体系,基本没有专用技术。低温物流体系的完善与发展直接影响农业、工业经济发展全局,对更好地满足劳动人民日益增长的物质和文化生活需要具有重大意义,是国民经济发展中不容忽视的一部分,具体表现如下。

(1) 我国易腐食品加工与运输系统进一步完善。促进低温物流各环节技术的发展,包括制冷技术、配送技术、加工技术及管理等,特别是一些高温释冷材料的开发可促进热带果蔬低温贮运技术的广泛应用,进一步保障流通食品的品质和安全,易腐食品低温贮运的国际竞争力得以提高,与国际标准接轨。

(2) 我国农业产业结构全面升级。目前我国果蔬产量居世界第一,但果蔬品质不高,具有较高经济价值的果蔬较少,在国际上不具有竞争力。建立适合我国农产品产销模式的低温物流体系可有效改变农产品的时空结构,延长其货架期,实现大范围的异地换季销售,提供更有竞争力的果蔬品种,实现农业可持续发展。

(3)农业是我国国民经济的基础,农村稳定是我国建设和谐社会的重要内容。低温物流体系的完善与发展可有效提高农产品附加值,增加农民收入,提高农村生活水平,解决“三农”问题,使国民经济健康、稳定、安全地发展。

(4)环境效益明显。我国易腐食品流通中每年仅果蔬损失就高达 25% ~ 30%,带来逾 1 亿 t 果蔬垃圾,严重破坏城乡环境面貌;同时,由于机械制冷设备的使用,每年造成大量制冷剂泄漏,破坏臭氧层。低温物流体系的完善与发展可有效减少易腐食品腐烂垃圾,减少氟利昂等制冷剂的使用,促进国民经济绿色发展。

0.3 低温物流的主要构成

冷加工、冷冻冷藏、冷藏运输、低温物流信息追溯、低温物流货架期预测五个主要技术环节作为低温物流体系的核心组成部分,在易腐食品加工、保鲜、储运、销售、信息追溯、食品安全等领域发挥着重要作用,其发展水平与组织协调直接影响环境、能源、食品价格、食品品质,是低温物流绿色可持续发展的关键。

0.3.1 冷加工技术

1. 预冷技术

预冷可迅速有效地排出采后果蔬田间热,降低呼吸作用,抑制酶和乙烯释放,延缓成熟衰老速度,延长果蔬货架期。目前预冷技术种类很多,表 0-1 对不同预冷方式的优缺点进行了综合比较,此外,本书第 1 章将重点介绍差压预冷技术及其工艺优化。

表 0-1 不同预冷方式比较

项目 预冷方式	预冷 速度	贮藏 功能	能耗	制造 条件	占地 面积	适用品种	包装	成本	设备 造价	操作
强制通风预冷	很慢	无	高	一般	小	果蔬	简单	较高	低	简单
差压预冷	慢	无	低	一般	大	果蔬	较复杂	低	低	简单,易实现控制
真空预冷	很快	无	高	严格	小	叶菜类	要求严格	高	高	复杂,易实现控制
冷水预冷	快	无	较高	一般	大	果实类、根茎类	要求严格	低	低	简单
微型冷库	极慢	有	高	一般	一般	果蔬	较复杂	较高	低	简单,易实现控制
冷墙式差压预冷库	一般	有	低	一般	一般	果蔬	较复杂	低	低	简单,易实现控制

选择预冷方式时一般从以下三方面考虑。

(1)预冷果蔬的特性、包装类型。大部分叶菜类适宜采用冷风预冷、真空预冷;根茎类适宜采用冷水预冷、冷风预冷;表/体比小的果蔬和结球叶菜适宜采用冷风预冷。如产地生产品种较多,数量又不太大,最好选择预冷库预冷或差压预冷;如产地主要生产叶菜且供应

市场对品质要求较高,可考虑用真空预冷;如产地以根茎类生产为主,且当地水源又比较充足,可考虑采用冷水预冷。

(2)设备成本以及市场对果蔬质量的要求。一般果蔬可能适合几种预冷方式,此时需根据自身财力和市场对果蔬的质量要求确定预冷方式。高成本设备一般预冷效率高、效果好,但在质量要求高的市场才能得到回报。

(3)离市场远近。离市场越远,流通时间越长,对果蔬预冷要求越高。因此,质量要求相同的市场,距离远的对预冷要求高。

2. 速冻技术

速冻是运用现代冻结技术在尽可能短的时间内将食品温度降低到其冻结点以下(预期温度通常为 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$)的技术。该技术使食品所含的全部或大部分水分随着食品热量外散而形成微小冰晶体,不严重损伤细胞组织,能最大限度地减少生命活动和生化变化所必需的液态水分,保留食品的天然品质,为低温冻藏提供良好基础。目前,我国的速冻设备可分为强烈鼓风机式、流化床式、隧道式、螺旋式、接触式及直接冻结式六大类型,其中前四种采用的是空气强制循环方式,接触式速冻属于板式热交换方式,直接冻结式速冻采用液体汽化制冷方式。各类型速冻设备的特点如表0-2所示。

表0-2 各类型速冻设备的特点

类型	优点	缺点
强烈鼓风机式	冻结速度较快	冻结不均匀,能耗大,生产成本低
流化床式	冻结均匀、速度较快	只适用于颗粒状物料
隧道式	冻结速度较快	装备占地面积大,结构复杂,能耗大
螺旋式	结构紧凑,生产能力大	能耗大,生产成本较高
接触式	能耗小	不能进行连续性生产
直接冻结式	冻结速度快	对冷媒的要求较高

0.3.2 冷冻冷藏技术

冷冻冷藏技术主要指冷库技术,典型的冷库按建筑形式可分为土建式冷库和装配式冷库,按技术可分为气调冷库、自动化立体冷库和冰温冷库。各种冷库的特点如表0-3所示。

表0-3 冷库的分类及特点

分类	特点
土建式冷库	主体结构和地基结构采用钢筋混凝土结构,围护结构墙体采用砖砌,就地取材,造价低,隔热材料选择范围大,热惰性大,建筑周期长,易出现建筑质量问题
装配式冷库	主体结构采用轻钢,围护结构由预制的聚氨酯或聚苯乙烯夹芯板拼装而成,库体组合灵活,建设速度快,维护简单,可整体供应

续表

分类	特点
气调冷库	除了控制库内温度和湿度外,还要控制库内氧气、氮气、二氧化碳和乙烯的含量,可以抑制果蔬的呼吸作用和新陈代谢,但设备成本投入较高
自动化立体冷库	在高架冷库中采用计算机控制技术、数字自动化制冷设备提高空间利用率、出入库能力
冰温冷库	将食品储藏在 0℃ 至各自的冻结点,储藏时间增加 2~10 倍,不破坏细胞

分析冷库容量和储藏技术,土建式及自动化立体冷库容量均较大,储藏方法以冷藏保鲜为主。而气调冷库在冷藏的基础上增加了气体成分调节,通过控制贮藏环境的温度、湿度,二氧化碳、氧气和乙烯的浓度等,抑制果蔬的呼吸作用,延缓其新陈代谢过程,更好地保持果蔬的新鲜度和商品性,通常气调贮藏比普通冷藏贮藏期延长 50%~100%,货架期延长 3~4 倍,但要求库体具有一定的气密性和耐压能力,因此气调冷库容量不宜过大。冰温冷库将食品温度控制在冰温带,维持细胞活体状态,因此在保持食品的新鲜度和风味方面具有独特优势,但为防止干耗、冻害等现象发生,需要设置喷雾器等辅助装置,库容也不宜过大。装配式冷库多为中、小型冷库,因具有安装方便、建设速度快、维护简单等优点,在国内大量应用。

本书第 2 章将从冷库结构优化、冷库送风模式和冷库制冷机组匹配三方面重点介绍微型贮藏冷库,为产地冷库的建造和推广提供理论基础。

0.3.3 冷藏运输技术

冷藏运输是采用科学的手段和特殊的运输工具,在特别的运输条件下,迅速完好地把食品从一个地方运送到另一个地方的专门技术。目前冷藏运输技术的应用形式主要有公路、铁路、水路、航空四个方面,其特点如表 0-4 所示。在公路运输方面有机械冷藏车、液氮冷藏车、干冰冷藏车和冷板冷藏车;在铁路运输方面有机冷车和铁路冷藏集装箱;水路冷藏运输有渔业冷藏船、冷藏运输船;航空运输中使用的主要是航空集装箱(ULD)。

表 0-4 运输形式及其特点

运输形式	特点
公路	主要分为冷藏车和保温车,运输周期短,灵活性高,短途运输时经济性好
铁路	机冷车是铁路冷藏运输的重要工具,有运输量大、速度快、安全性高等优点,目前多以车组的形式出现,不过也有单节机冷车,主要缺点是成本高且难以管理
水路	以远洋运输和渔业捕捞应用为主,虽然运量大、经济性好,但是速度最慢,且易受恶劣天气的影响
航空	在各种运输工具中速度最快,但运费高昂,适合运送附加值高且腐烂快速的水果、鲜花等货品

纳米流体作为一种新型传热工质,因良好的传热性能、较大的蓄/释冷量、相变时更为稳定等突出优点,一出现便深受广大研究人员青睐。它可替代水(导热系数低,蓄冷传热

慢,且成核需要一定过冷度,系统的 COP 较小)作为新一代蓄冷工质,推动强化传热技术和相变蓄冷领域的发展,本书第 3 章将在实验研究的基础上重点介绍蓄冷纳米流体的性质及运输工艺。

0.3.4 低温物流信息追溯技术

低温物流信息追溯技术将低温物流过程与信息技术相结合,实时监测食品流通环境参数,保障食品质量安全。信息技术主要包括传感器技术、包装标识技术、远距离无线通信技术、过程跟踪与监控技术以及智能决策技术等。不同技术在包装仓储、物流配送和批发零售等各个物流信息化阶段各司其职,如图 0-1 所示。

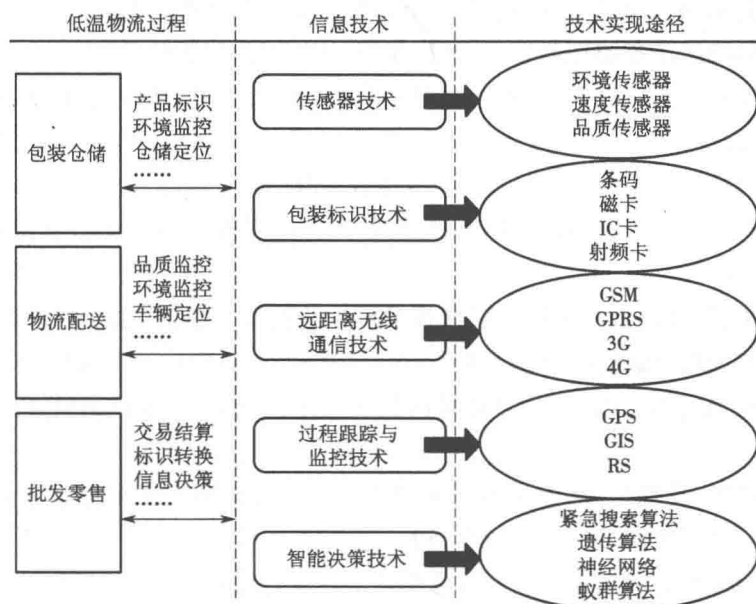


图 0-1 低温物流信息追溯技术结构图

然而,我国整个物流行业信息化进程起步较晚,总体水平不高,具体到低温物流信息技术,与发达国家的差距尤其显著。环境信息感知、产品位置感知、产品品质感知、产品包装标识等传感器研发水平不足;已开发的质量追溯系统、物流配送系统、库存管理系统、货架期预测系统等应用软件,多具有独立性和唯一性,只适合特定用户使用;低温物流信息化管理由于信息共享限制,信息断链问题经常出现。因此,我国迫切需要在低温物流信息技术研究和推广应用等方面加大投入力度。

0.3.5 低温物流货架期预测技术

货架期不但关系食品生产企业的产品质量、品牌信誉、工艺技术、货物流通、货架销售等方面,而且直接影响消费者的食用安全、消费偏好与接受程度。准确预测和计算产品在