

国家自然科学基金研究成果专著



# 生鲜食品

保质干燥新技术



## 理论与实践

张 懋 著



化学工业出版社

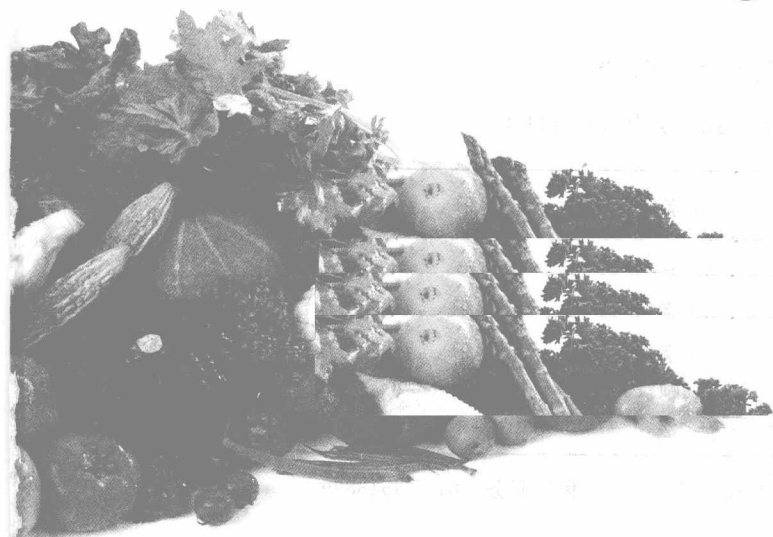
国家自然科学基金研究成果专著  
江南大学学术专著出版基金资助项目

# 生鲜食品

保质干燥新技术

理论与实践

张 慧 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书分上下两篇。上篇论述了生鲜食品干燥系统,内容包括脱水食品加工全过程品质调控新技术、生鲜食品的典型保质干燥新技术。下篇为干燥新技术实例,包括生鲜食品干燥前预处理品质调控、提高脱水品质的干燥新技术实例,提高脱水食品贮藏品质的新技术实例、脱水果蔬复水品质调控的新技术实例。内容翔实,实例丰富,工艺可靠。

本书可供高等院校食品工程专业的教师、研究生和高年级本科生参考。也可供食品或农产品、水产品的加工、保鲜、储运等相关企业的研发人员和工程技术人员阅读参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

生鲜食品保质干燥新技术理论与实践/张懋著. —北京:  
化学工业出版社, 2009.3  
ISBN 978-7-122-04635-2

I. 生… II. 张… III. 食品保鲜 IV. TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 007994 号

责任编辑: 刘俊之  
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 朱 恺  
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

装 订: 北京顺板装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 20 字数 457 千字 2009 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

# 序

生鲜食品干燥一直是国内外广泛研究的热门课题,也是我国各个时期生鲜食品加工工业发展的重点之一。国家对生鲜食品干燥节能技术的发展非常重视,“十一五”期间,包括“食品低能耗联合干燥技术与设备”(2007AA100406)在内的生鲜食品干燥节能项目被国家科学技术部列为国家高技术研究发展计划(863计划)重点项目,本书作者江南大学食品学院博士生导师张懋教授也承担了此重点项目“食品低能耗联合干燥技术与设备”(2007AA100406)之子课题“微波-冻干组合干燥技术研究”。

多年来,本书作者张懋教授牵头联合多家企业开展生鲜食品干燥研究和技术开发,建立了多种产学研联合研发机制,从而促进了相关科研成果的快速转化。本书的专题研究范例部分就是上述科研活动的产物。本书作者率领的课题组已在国际著名SCI刊物上发表食品干燥研究论文50多篇,授权国家发明专利24项,所研究的6个生鲜食品干燥项目也通过了省部级鉴定,其核心成果达到了国际先进水平,并分别获得中国轻工业联合会技术发明二等奖、高等学校技术发明二等奖、中国食品工业协会科学技术二等奖、教育部提名国家科技进步二等奖等7项省部级奖励。所承担的有关项目实践和得到的相关研究成果为本书的专题研究提供了第一手素材。

本书是一本凝集了作者多年来在生鲜食品干燥领域研究成果的专著。其中论及的生鲜食品的保质冷冻干燥、保质过热蒸汽干燥、保质流化床干燥、保质喷雾干燥、保质太阳能干燥等先进的干燥技术,对我国生鲜食品干燥领域的理论研究和先进技术的推广将起到非常积极的作用。

期待本书的出版将进一步丰富我国在生鲜食品干燥领域的基本理论和生产技术,同时为有关高校、研究院(所)和企业的研发人员以及高等院校食品专业的研究生、高年级本科生提供一本具有参考价值的专著。

江南大学食品学院教授 姚惠源

2008年10月

# 前言

干燥(脱水)是许多食品加工中重要的单元操作,它不仅是生鲜食品达到安全贮藏的手段之一,而且直接影响加工食品的品质和成本。干燥对于延长高含水率生鲜食品的货架寿命、减少腐烂损失以及提高附加值具有重要意义。生鲜食品脱水除可基本保持其原有品味外,还有如下特点:①体积缩小,重量减轻,便于运输和贮藏;②食用方便;③单位重量营养成分增加;④抑制微生物的生长和繁殖,耐贮藏;⑤有一定的复水率。随着脱水食品业的发展,成本低且品质好的脱水新产品不断出现,脱水食品已为人们逐渐认识和接受。食品干燥一直就是国内外广泛研究的课题。从“八五”、“九五”到“2010年远景规划”中,食品干燥技术开发一直是我国各个时期农产品加工业发展的重点之一。

目前,干燥食品已成为我国最重要的出口农产加工品之一,并已形成食品工业配料、调味品和生鲜食品替代品三个国内大市场。因此,解决国内外市场对干制食品的需求量不断上升和普通干制食品由于其本身缺陷导致量大利薄的矛盾已成为当务之急。我国加入WTO后,国际竞争进一步加剧,解决此矛盾的迫切性更加显著。目前生鲜食品主流干制品有常压热风(AD)脱水和真空冷冻干燥(FD)两大类产品。AD产品仍是我国出口干燥食品的主流产品,普通AD食品具有脱水时间长、能耗大、成本高、产品品质保存率低等难题,而新兴的FD食品具有高运行成本、高能耗、高投资的弊病,从而使我国生鲜食品干制业出现了在国际市场上价格滑坡、在国内市场打不开销路的严峻局面。唯有拓宽传统AD食品和新兴FD食品的功能,利用各种新型干燥方法及其合理组合进行品质调控,才能摆脱困境。由于目前所面临的困境,系统开展生鲜食品干燥品质调控新技术研究十分必要而且具有现实意义,但由于研究领域的边缘性特点,建立干燥过程品质调控技术理论体系并非易事。该领域的书籍非常缺乏,这成为写作本书的初衷。

近年来,食品加工贮藏学、农产品干燥学等传统领域发展迅速,其技术界限已开始模糊,各自的研究前沿逐渐有相互融合的趋势。从目前国内外发展的现状来看,脱水食品加工品质调控学尚处于研究阶段或开发前期,研究成果往往是多学科前沿知识交叉研究的结晶。因此无论对研究者还是生产者来说,脱水食品加工品质调控都是一个令人兴奋的前沿领域。但是由于缺乏系统的理论指导,研究和生产步履维艰,建立一门脱水食品加工品质调控学的新学科已迫在眉睫。

本书在学术思想上更强调应用学科间的相互渗透、相互交叉的研究和写作思路。在内容方面,采取按脱水原料、加工、保藏、消费前复水全过程进行分类研究,打破传统学科间的界限,扩大了视角和范围,尝试建立新型的脱水食品加工品质调控学体系。在

结构体系上,本书采用“两个结合”,即:通用研究理论和具体专题研究方法相结合;通过处理手段和机理探讨的融会贯通,使不同过程的品质调控实现有机结合。在写作特点上,采用了原理和方法提出与专题研究举例印证的写作方法,使读者易理解本书的观点和所采用的方法,起到举一反三的作用。本书的品质调控专题研究还具有下列特点:①以生鲜食品为研究对象,通过技术手段与品质指标体系的相互作用,找出品质调控的最佳方案;②研究面较广,涉及脱水原料、加工、保藏、消费前复水的全过程;③专题研究大多来自实际项目,具有现实意义。

本书从酝酿到出版花费了整整10年时间,在此期间生鲜食品干燥给予了笔者所在团队许多令人振奋的挑战,也大大加深了相关产业化单位对干燥过程品质调控的认识。本书中相关研究范例参与者有笔者指导的博士后、研究生和本科生,主要有肖功年、安建申、徐艳阳、胡庆国、曹晖、弓志青、宋贤聚、段续、黄略略、张春华、张骏、竹文礼、高乐怡、赵家丽、李瑞杰、成刚、李新林等,在此一并表示谢意;还要特别感谢姚惠源教授在百忙中为本书作序,也感谢夫人李春丽女士在本书成书过程中持续的支持和鼓励;最后,感谢化学工业出版社编辑的大力协助。

本书可供高等院校食品工程、农产品加工工程及食品加工专业的研究生和高年级本科生阅读,也可供研究院(所)和企业的研究及开发人员参考。由于笔者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

著者

2008年10月于无锡

# 目 录

## 上篇 生鲜食品保质干燥新技术总论

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 第一章 绪论 .....                             | 3   |
| 第一节 生鲜食品干燥特点及概况 .....                    | 3   |
| 第二节 国内外典型干燥新技术条件下生鲜食品品质调控的研究概况 .....     | 4   |
| 第三节 国内外生鲜食品预处理、干燥、贮藏和复水过程品质调控的研究概况 ..... | 8   |
| 第四节 脱水食品品质调控研究的学科基础 .....                | 11  |
| 第五节 我国生鲜食品干燥业存在差距和发展对策 .....             | 13  |
| 第二章 脱水食品加工全过程品质调控新技术 .....               | 17  |
| 第一节 植物类生鲜食品脱水前保鲜处理过程品质调控 .....           | 17  |
| 第二节 生鲜食品干燥前预处理过程品质调控 .....               | 19  |
| 第三节 脱水食品干燥过程品质调控 .....                   | 36  |
| 第四节 脱水食品贮藏(保藏)过程品质调控 .....               | 49  |
| 第五节 脱水食品食用前复水过程品质调控 .....                | 55  |
| 第六节 脱水食品包装过程品质调控 .....                   | 57  |
| 第三章 生鲜食品的典型保质干燥新技术 .....                 | 71  |
| 第一节 生鲜食品的保质冷冻干燥新技术 .....                 | 71  |
| 第二节 生鲜食品的保质过热蒸汽干燥技术 .....                | 79  |
| 第三节 生鲜食品的保质流化床干燥技术 .....                 | 85  |
| 第四节 生鲜食品的保质喷雾干燥新技术 .....                 | 92  |
| 第五节 生鲜食品的太阳能保质干燥技术 .....                 | 98  |
| 第六节 生鲜食品的其他保质干燥新技术 .....                 | 104 |

## 下篇 生鲜食品保质干燥新技术实例

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第四章 生鲜食品干燥前预处理品质调控新技术实例 ..... | 115 |
| 第一节 改善脱水甘蓝加工品质的预处理实例 .....    | 115 |
| 第二节 海芦笋脱水前脱盐预处理实例 .....       | 125 |
| 第三节 高含水率脱水猕猴桃预处理实例 .....      | 133 |
| 第四节 半干半潮调味菜心降水分活度预处理实例 .....  | 143 |

|             |                                 |            |
|-------------|---------------------------------|------------|
| <b>第五章</b>  | <b>提高脱水品质的生鲜食品干燥技术实例 .....</b>  | <b>152</b> |
| 第一节         | 鱼片真空微波干燥实例 .....                | 152        |
| 第二节         | 海参的微波冻干实例 .....                 | 162        |
| 第三节         | 低含油率马铃薯脆片三阶段联合脱水实例 .....        | 175        |
| 第四节         | 脱水胡萝卜真空含浸技术的预干燥实例 .....         | 183        |
| 第五节         | 海芦笋真空微波干燥实例 .....               | 193        |
| 第六节         | 甘蓝粉的喷雾干燥实例 .....                | 201        |
| 第七节         | 高含水率猕猴桃渗透脱水过程实例 .....           | 206        |
| 第八节         | 毛豆真空微波厚层干燥实例 .....              | 217        |
| <b>第六章</b>  | <b>提高脱水食品贮藏品质的实例 .....</b>      | <b>230</b> |
| 第一节         | 海参低温干制品纳米银涂膜杀菌延长贮藏期的实例 .....    | 230        |
| 第二节         | 延长微波冻干鲍鱼货架期的纳米银涂膜抑制微生物的实例 ..... | 238        |
| 第三节         | 涂膜低温干制海参贮藏特性的实例 .....           | 244        |
| 第四节         | 脱水海芦笋贮藏期间色泽变化动力学实例 .....        | 251        |
| 第五节         | 延长冻干蔬菜块贮藏期的臭氧与紫外联合杀菌技术实例 .....  | 257        |
| 第六节         | 甘蓝粉和杨梅粉结块及贮藏稳定性实例 .....         | 265        |
| 第七节         | 高含水率脱水菜心贮藏品质稳定性实例 .....         | 276        |
| <b>第七章</b>  | <b>脱水果蔬复水品质调控实例 .....</b>       | <b>285</b> |
| 第一节         | 脱水蔬菜食用前复水效果实例 .....             | 285        |
| 第二节         | 温度对杨梅和甘蓝混合粉冲调性能影响的实例 .....      | 289        |
| 第三节         | 冻干草莓丁的涂膜及喷动床干燥实例 .....          | 295        |
| 第四节         | 提高海芦笋复水性的实例 .....               | 300        |
| <b>参考文献</b> | <b>.....</b>                    | <b>308</b> |

上篇

# 生鲜食品保质干燥新技术

总

论



### 第一节 生鲜食品干燥特点及概况

目前国内外有关食品专家根据食品来源及其加工程度把食品分成农业食品和工业食品两大系列。农业食品主要是由大农业（包括农、林、牧、副、渔等）生产、经简单处理的天然无污染食品，主要有植物性、动物性和矿物性食品三大类，其中来源于动植物的农业食品又称为生鲜食品。而工业食品即指各种农业食品原料通过机械、物理、化学、生物工程的加工变性处理，由大食品工业（包括常规食品工业、饮料工业、发酵工业、酿酒工业、农产品保藏工业等）生产所得的食品。

从结果和过程来看，干燥可定义为将液体、固体或半固体食品原料转化成含水量极低的固体产品的单元操作。从物理本质来看，干燥也可定义为通过给固体、半固体或液相物质提供热能引起相变，使液相或固相（通常为水或冰）转为气相而将其除去的单元操作。干燥涉及同时发生热质交换和动量传递的一个复杂过程。干燥通常伴随着化学或生物化学反应和伴随着收缩现象的相转变，如玻璃化转变和结晶。干燥过程发生的物理变化（如玻璃化转变或结晶化）会导致食品材料内部的传质机理和传热速率的改变，这些变化通常是无法预测的。

干燥对食品工业具有重要作用，因为干燥大约消耗此阶段总操作能量的10%。然而，选择干燥方法更多的是考虑产品品质，而不是节能潜力。环境影响和操作安全性也是选择干燥系统的影响因素。除了保藏食品和延长其货架寿命外，干燥还可能实现下列的一个或多个额外的目的：①获得期望的物理形态（如粉状、片状、颗粒状）；②获得期望的色泽、风味或组织；③减少体积或重量，便于运输；④生产新的产品，除了干燥外用其他方法不可行。

生鲜食品干燥是指从生鲜食品（如蔬菜、水果、牛奶、香料和谷物）的天然状态开始经过简单预处理后直接干燥。在操作过程中，被加工食品的生产有时可能在几个阶段都需要干燥。生鲜食品湿原料的形态可能是液态（浆料、悬浮液或溶液）、固态（颗粒、片、球或挤压状）或糊状。此外，三种主要生鲜食品原料类型是：液体溶液和凝胶、毛细管多孔刚性物质和毛细管多孔胶体物质。

生鲜食品干燥除可基本保持其原有品味外,还有如下特点:①体积缩小,重量减轻,便于运输和贮藏;②食用方便;③由于脱水浓缩,单位重量营养成分增加;④抑制微生物的生长和繁殖,耐贮藏;⑤有一定的复水率。随着干燥食品业的发展,成本低且品质好的干制新产品不断出现,干燥食品已被人们逐渐认识和接受。

生鲜食品脱水方法按压力分有常压和负压两种。目前常压热风干燥仍是生鲜食品脱水最常用的方法,但有采用各种干燥新手段(真空冻干、真空油炸、充氮干燥、声波干燥、热泵干燥、微波干燥、远红外干燥、减压干燥、过热蒸汽干燥、太阳能干燥、振动流化床干燥等)的发展趋势,并均有一定的应用。近年来新开发的生鲜食品干燥设备有喷射泵式真空冻干设备、真空油炸脆片设备、氮气干燥器、太阳能成套干燥设备、微波真空干燥机、振动流化床干燥机等。

近30年来,我国干燥食品业在国际贸易需求的形势下迅速发展起来,并形成了三个大市场,即:①食品工业原料或配料市场,例如,用作快餐食品中的配菜、食品添加剂等;②调味品市场,例如,用作调料的辣椒粉、洋葱粉等;③作为生鲜食品替代品的特殊市场,例如,在地质勘探、部队野营训练、海岛和雪山等边防哨卡、北欧冬季滑雪旅游业等特殊场合。

由于生鲜食品干燥领域的扩展,对生鲜食品加工的要求也越来越高,加上高档干制食品出口发展迅速,对高品质干制食品的需求激增,因此客观上不仅要求对各类生鲜食品干燥机理和建模进行研究,更重要的是对其工艺过程和品质调控(保质)进行深入的研究。

随着经济的发展,人们更注重产品品质和性能价格比。客观地说,我国目前生产的主流产品——常压热风干燥食品还存在不少品质调控难题,由此出现在国际市场上价格偏低、在国内市场打不开销路的严峻局面。为了结束这种令人不安的局面,有识之士已经认识到只有大幅度改善传统干燥食品品质,才能摆脱困境。品质调控型脱水食品可定义成脱水加工全过程品质调控而成的一大类产品。从发展的情况来看,此类产品尚处于研究阶段或开发前期。研究成果是多学科知识交叉的结晶。无论对研究者还是生产者来说,品质调控型干燥食品都是一个令人兴奋的前沿领域。

## 第二节 国内外典型干燥新技术条件下 生鲜食品品质调控的研究概况

由于方便面、早餐谷物制品、鱼类、奶粉等一些大类产品仍处于快速增长阶段,在世界范围内干燥食品仍然占重要的地位。需大规模干燥操作的谷物、果蔬、水产品 and 奶粉在国际贸易中的数量相当大。我国也是果蔬、肉禽蛋奶、谷物等农产品的生产大国,每年生产的大量农产品用于当地消费或者出口。针对各种典型干燥条件下生鲜食品的品质变化及调控规律,国内外的研究者进行了大量的研究。下面主要介绍几种典型干燥新技术条件下生鲜食品品质调控的研究概况。

## 一、微波干燥条件

在用传统的空气干燥方法干燥食品过程中,由于水分迁移引起干燥产品的严重损伤,使产品品质发生了不良的变化。因此传统热风干燥在食品工业中的应用受到限制。食品热风干燥的主要缺点是在降速阶段所需时间长、效率低。因为在此阶段食品物料的热传导率较低,所以传统加热过程中热量向物料内部的传递受到限制。为了消除这种现象,防止其品质下降,实现快速、有效的热处理,食品干燥过程中微波技术得到了广泛的应用。微波干燥比传统热风干燥更快、能效更高、产品品质更均一。在这个方法中,湿度的降低速度提高,而且,由于没有对流,热量向固体的传递得到显著的降低。因为微波干燥系统能量集中,与传统的热风干燥设备比较,只占用其 20%~30% 的空间。然而,微波技术如果应用不当也容易引起产品品质的下降。

通常,干燥不是仅仅由介质加热引起的,大部分微波干燥系统都结合了传统的干燥手段。几种手段可以分段进行,也可以同时进行。微波干燥和传统干燥一样,都是由于内部和表面的蒸汽压不同而产生水分迁移的驱动力。这种方法在水分含量低于 20% 的产品中最有效。据报道,在微波技术的应用中,采用强制对流干燥和微波干燥的二段式干燥过程可以在节约能量和时间的同时得到品质更好的产品。水分在大部分生鲜食品体系(特别是高含水量果蔬)中占了很大的比例。因此,这些产品适合于应用微波技术,只要有残存水分就可以快速、有效地吸收微波的能量。微波应用于干燥具有很大的优势,例如,能量的吸收与残存的水分量成正比。蛋白质、油脂和其他的成分也可以吸收微波的能量,但是吸收率较低;干燥过程引起浸湿面从表面向内部退却。在传统的干燥系统中,作用在表面的热量必须穿透由于浸湿面后退而形成的绝热层。而在微波干燥系统中,微波可以轻易地穿透绝热层而被浸湿面的水分直接吸收。能量的迅速吸收引起了水分的快速蒸发,大大提高了传质速率。

已有研究表明,微波干燥适合于用在降速阶段或者低含水量时来完成干燥过程。另外,微波干燥可以通过改变输出功率来实现,如通过改变输出功率对胡萝卜进行的二段式微波干燥(Wang, Xi, 2004)。

近年来,微波干燥作为辅助干燥手段被广泛应用在水果、蔬菜、休闲食品和奶制品的品质改善和节能生产中。已有报道酸奶酪、酸果蔓、胡萝卜片、水果果冻、脱脂奶粉、全脂奶粉、酪蛋白粉、奶油和新鲜意大利面条、马铃薯片、葡萄、苹果和蘑菇、西洋参等多种产品已经成功地应用了微波与真空微波或对流联合的干燥技术。

## 二、红外线辐射干燥条件

红外干燥技术是基于水分吸收红外辐射的特性。红外线(IR)波长范围是 0.75~100 $\mu\text{m}$ ,其中可以细分为短波 IR (0.75~2 $\mu\text{m}$ )、中波 IR (2~4 $\mu\text{m}$ ) 和长波 IR (4~100 $\mu\text{m}$ )。生鲜产品干燥的机理是水分从物料内部向周围空气的扩散过程。红外线穿透物料一定深度并提高它的温度,随着温度的提高,水的扩散速率提高,水分蒸发到物料的表面,水分被干燥空气带走,从而获得较快的干燥速率。

利用红外线辐射技术干燥食品的优点主要是干燥时间短、热效高、最终产品品质较好、产品干燥过程中温度均一、不需要有气流穿过物料。红外辐射还有一个优点就是可以和传统的干燥技术联合使用。

Ginzburg (1969)、Yagi 和 Kunii (1951) 在把红外技术应用在农业物料干燥方面做了早期的尝试。后来的研究证明, 红外辐射与对流和真空干燥相结合是一项很有前途的干燥方法。用间歇红外辐射和连续对流加热联合干燥多孔物料比只用对流干燥节省 20% 的时间, 同时产品具有良好的表面品质和较高的能效。

利用高能量的红外加热器进行的土豆的远红外干燥可以实现较高的干燥速率。研究表明, 当提供给远红外加热器的电能增加时, 样品获得的温度也随之提高, 从而获得了较高的干燥速率。为了进一步研究红外干燥的干燥机理和效果, Hashimoto、Hirota、Honda 等 (1991) 对远红外和红外干燥与热风干燥的热传递过程进行了定量比较。

### 三、冲击干燥条件

冲击干燥是利用单个或多个蒸汽喷嘴向物料表面垂直喷射气流。因为冲击喷射可以获得较高的热量和物质扩散系数, 所以被应用在冷冻、加热和干燥领域。干空气和过热蒸汽是在冲击干燥中最主要的两种干燥介质。用过热蒸汽作为干燥介质时, 在干燥开始的瞬间会有部分蒸汽凝结在产品的表面, 就像过热蒸汽与冷的固体接触是发生的现象一样。冲击干燥的一些特征包括: 干燥速度快、使用普遍、有多种喷嘴可供选择, 喷射温度和速率分别在  $100\sim 350^{\circ}\text{C}$ 、 $10\sim 100\text{m/s}$  范围内。

在食品加工业中, 空气冲击干燥技术被用在焙烤和烹饪中, 产品有玉米粉圆饼、土豆、比萨饼、饼干、面包和蛋糕等。这些产品比在对流烤箱中焙烤的更快、更均匀。在产品表面进行高速的空气冲击可以消除水-汽界面, 从而加速热量传递, 减少操作时间。空气连续流通以带走水分和重新加热。

这项技术也应用于咖啡、可可、大米和坚果等颗粒状产品的高品质干燥中。喷嘴产生的高速气流可以产生一个空气床, 使产品处于悬浮状态, 从而形成一个虚拟的颗粒流化床。颗粒状产品将获得更高的干燥速率, 并且水分含量分布均匀。

Lujan-Acosta、Moreira 和 Seyed-Yagoobi (1997) 用空气冲击干燥技术干燥玉米圆饼。通过提高干燥空气温度可以显著提高干燥速率, 通过提高对流加热传递效率可以稍微提高干燥速率。玉米圆饼在平衡水分含量时收缩  $10\%\sim 14\%$ 。空气温度对收缩率几乎没有影响, 对流传热效率越低收缩越严重。

过热蒸汽用于冲击干燥可以改善食品的质地, 冲击干燥可以生产出比空气干燥更脆的油炸产品。在生产过程中, 蒸汽可能引起产品质地的变化。

### 四、渗透干燥条件

简单地说, 渗透就是溶剂穿过半透膜从低浓度溶液流向高浓度溶液, 达到溶质化学势能平衡的过程 (Aguilera, Stanley, 1999)。在食品中, 渗透干燥是将含水物料浸在含有可食用溶质的高渗透压的水溶液中 (果汁或盐水), 实现物料部分脱水的过程。如

果膜是完美的半透膜,那么溶质就不会通过膜进入到细胞中。然而,由于食品中缺乏半透膜,总有一些溶质扩散到食品中,而食品中的一些内溶物流出,因此,渗透干燥中的物质传质实际上是水和溶质同时进行的连续的传质过程。

渗透脱水与传统干燥方法的不同主要表现在两点:首先,一个浸泡过程实现了脱水和配方加工的双重效果;第二,渗透脱水本身不能使产品达到品质稳定的低含水量。因此,经过渗透处理的产品需要进行进一步的加工,例如,热风、冷冻或者真空干燥等来达到产品品质要求,或者作为罐藏、冷藏和最低限度加工的预处理过程。最近,由于消费者对最低限度加工产品需求,使渗透脱水过程受到了更多的关注。

渗透脱水可以用来克服热加工对产品品质的不良影响。研究表明,空气或者冷冻干燥的果蔬产品的品质可以通过在干燥过程中增加一步渗透干燥预处理来加以改善。然而,只有当渗透液是产品的必需物质,渗透过程不浪费时间的前提下,渗透脱水才能作为空气干燥的预处理。据 Mazza (1983) 报道,当浸泡胡萝卜块的蔗糖溶液的浓度从 5% 增加到 60% 时,水分的传质速率有所下降。这可能是由于溶解的蔗糖引起水蒸气压下降造成的。另外,由于空气干燥过程中蔗糖的结晶,引起产品内水蒸气扩散速率的下降。据 Sankat、Cas taigne 和 Maharaj (1996) 报道,渗透处理过的香蕉片,随着蔗糖含量的升高干燥速率下降。氯化钠被认为是蔬菜渗透干燥过程中一种很好的渗透介质,由于氯化钠具有很高的水分活度,只要在渗透液中假如少量的氯化钠就会大大提高干燥过程的驱动力,同时也降低了水果的甜度。在空气干燥前,对胡椒粉用蔗糖和氯化钠联合进行局部渗透脱水,将对其保存品质有潜在的影响。

## 五、卤素干燥条件

卤素干燥是在红外干燥的基础上发展起来的。卤素灯加热提供了近似的红外辐射(波长  $0.7\sim 5\mu\text{m}$ ),比发射中波红外线的典型的红外源的穿透深度要深。在烤箱中用卤素灯加热,辐射主要集中在食品的表面,这样有助于从表面移走水分,防止了干燥产品的返潮。当然,这种方法对挥发性物料存在一定的风险,然而,可以通过改变红外干燥参数的方法使产品的损失率达到其他干燥方法所能达到的水平。卤素灯-微波联合干燥结合了微波干燥省时的特点和卤素灯加热表面水分迁移的特点,是一项很有前景的节能保质干燥技术。

## 六、流化床干燥条件

在一个典型的流化床系统中,热空气被强制以高速穿过床层,克服颗粒状物料重力的影响,使颗粒暂时处在一个流化状态。流化床干燥已经被证明是一个在有限干燥体积下实现最优化的有效方法。

流化床干燥已经在食品颗粒状物料、陶瓷、医药和农产品的干燥中得到了实际的应用。流化床干燥容易操作而且具有以下优点 (Mujumdar, Devahastin, 2000): ① 由于气体和颗粒状物料充分接触,实现了最佳的热、质传质效率,从而得到了较高的干燥速

率；②节省空间；③较高的热效率；④设备购置、维护费用低；⑤工艺条件容易控制，从而易获得高品质。很多食品物料都适合于流化床干燥，例如，豆类、快状蔬菜、水果颗粒、洋葱片等。

## 七、冷冻干燥条件

冷冻干燥（冻干）已广泛应用于食品工业中来改善生鲜食品干燥时热敏性组分的稳定性和耐贮藏性。冷冻干燥的产品不仅具有较好的稳定性，而且运输贮藏方便。但是，冷冻干燥又是一个耗时、耗能的操作，如果工艺条件得不到优化的活，完成干燥过程可能需要几天甚至几周时间，从而对产品品质和成本产生不利影响。所以，干燥产品的稳定性及耐贮藏性和工艺时间是实现冷冻干燥工艺最优化的两个考虑的主要因素。

由于设备昂贵，而且工艺周期长、操作费用高，所以经济性是冷冻干燥最主要的缺点。研究者已经做了很多尝试去降低冷冻干燥的费用，例如与真空干燥联用，使用真空-冷冻干燥。在减少干燥时间和费用方面，Hanson（1961）提出了快速冷冻干燥法（AFD）。这种方法是通过加大压入产品内部的金属片，对产品两面同时加热来实现的。

据 Ponting 等（1966）、Farkas 和 Lazar（1969）报道，在冷冻干燥前先进行渗透干燥，可以脱除产品 50% 的水分，从而降低操作费用。Yang 等（1987）利用渗透和冷冻联合干燥生产葡萄干获得了成功。

微波辅助冷冻干燥的研究已有多方报道。大部分微波冷冻干燥的研究都集中在建立热、质传质模型来评价微波冷冻干燥肉片的微结构和风味上。Chen 等（1993）研究了冷冻干燥食品中易挥发物质的稳定性。Arsem 和 Ma（1990）建立了一个数学模型，用来发展微波辐射冷冻干燥机。Rahman（1978）、Rahman 等（1978）研究了一个热处理过程，将易碎的冷冻的干燥水果和蔬菜在压摸前进行微波加热来提高它的可塑性。这个方法是先将食品微粒冷冻干燥到含水量 35%，然后进行一个短时的微波加热，紧接着压缩到原体积的 5%~50%，最后用空气和真空干燥法将压缩后的食品干燥到最终水分含量 5%。

## 第三节 国内外生鲜食品预处理、干燥、贮藏和复水过程品质调控的研究概况

### 一、干燥前预处理和干燥过程品质提高研究

生鲜食品干燥后产品品质主要由色素保存、风味物质保存、营养成分保存、抑制褐变及外观控制五个方面决定，品质最后评定可根据模糊数学综合评判法进行。

目前，生鲜食品干燥品质提高主要从缩短干燥时间，降低干燥温度以及干燥前物理和化学预处理烫漂及各种化学溶液处理（以下简称预处理）等三个方面着手。

以果蔬为例,果蔬中天然色素在脱水过程中不稳定的色素主要有叶绿素和花青素,而胡萝卜素则容易在贮藏过程中褪色。传统的保绿技术是用微碱溶液浸泡来实现的,但会破坏维生素 C,故适合于含维生素 C 量少的物料,如刀豆、芹菜等。最近已出现用金属离子结合或置换叶绿素中镁离子来保绿的新方法,如:欧洲专利 EP0112178 介绍了罐装果蔬可用  $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  溶液烫漂来保绿,且不会出现异味;日本专利 JP59-29601 介绍了对具有硅化细胞的竹子、灯心草之类绿色植物的保绿,且用铜盐类和醋酸钠的水溶液进行浸泡可长期保持稳定的绿色。Feller 等 (1997) 发现,在贮藏过程中,含水率高对胡萝卜素的稳定性(小麦粉中)有很不利的影响;Mudahar 等 (1989) 通过响应表面法(二次旋转回归法)得出了在高温流化床中温度和着床时间对胡萝卜素损失率均有一定影响。花青素的化学性质很不稳定,遇酸呈红色,遇碱呈蓝色,在中性介质中呈紫色,遇金属离子形成络合物多呈淡蓝色或淡紫色,在光照或加热到一定程度时呈褐色。果蔬脱水中的首要任务是保持物料原色,即防止花青素变色。国外目前采用食盐预处理来破坏酚酶,可阻止色素的褪色和变色。干燥果蔬营养成分中含量较高且易于破坏的主要有抗坏血酸(即维生素 C)。由于抗坏血酸是水溶性,烫漂预处理对其影响很大,孙荣国等 (1990) 对几种果蔬进行了烫漂温度、时间变化对维生素 C 保存率的试验研究,确定了较佳烫漂温度和时间;刘斌 (1988),刘宜生等 (1990) 采用纯  $\text{N}_2$  作为热风介质干制刀豆、芹菜等物料,使维生素 C 保存率(在干制阶段)可达 90%~95%。

褐变由于发生的原因不同,可分为酶致褐变和非酶致褐变。由于酶的作用使生鲜食品中的氨基酸和单宁物质发生褐变称为酶致褐变,传统的方法是经过干制前热烫和硫化处理,或应用氯化钠、抗坏血酸等溶液预处理,以破坏酶的氧化系统和钝化酶的活性。近年来,由于美国食品和药品管理局(FDA)禁止使用亚硫酸盐,为此 Anon 等 (1997)、Labell 等 (1993)、Andress 等 (1995)、Duxbury 等 (1996)、Langdon 等 (1997) 进行了替代处理剂的研究,他们发现普通抗坏血酸(AA),异抗坏血酸(EA)或带柠檬酸基的钠盐有一定的效果,但由于难于进入细胞基质而效果不如亚硫酸盐;Seib 等 (1987) 发现用抗坏血酸-2 磷酸(AAP)和抗坏血酸-2-三磷酸(AATP)预处理,有较好的效果;Vamos 等 (1997) 报道了大量的抗褐变处理剂(包括酸化剂、螯合物、多酚氧化酶抑制剂、无机盐等)已被发现但未进入实用;Shannon 等 (1997)、Pifferi 等 (1994) 认为肉桂酸也是多酚氧化酶的良好抑制剂,并在苹果块和土豆块中已得到良好的结果;据 Duxbury 等 (1996) 报道,在美国,一种磷酸盐、柠檬酸和右旋葡萄糖的混合物已作为商用亚硫酸盐的替代物进入了市场。非酶褐变的原因主要有两种:一种是由于其所含的氨基酸与糖相互作用的结果,即美拉德反应;另一种是抗坏血酸在空气中的自动氧化。非酶褐变是土豆等物料变色的主要原因。Baldwin 等 (1993)、Scott (1993) 认为葡萄糖氧化酶(GOE)是取代亚硫酸盐的一种理想的添加剂,并被成功地用于防止干蛋粉的褐变;Low 等 (1998) 应用商业性 GOE 仅 0.01% 的含量,就使土豆提取液中易产生褐变的葡萄糖含量降至 22% 以下;Jiang 等 (1999) 对土豆块进行了 GOE 预防非酶褐变的试验研究,并对其处理条件进行了优化。

为了减少干制食品的皱缩,改善其外观,Cording 等 (1993) 采用压力膨化法,Eapen 等 (1996) 采用真空膨化法,Brown 等 (1992) 采用离心流化床,Jayaraman 等 (1992) 采用高温瞬时干燥,都取得了较好的效果。近年来,国外研究者常把可食用的