

SHIPIN

食品工艺学

GONGYIXUE

● 周家春 编著



化学工业出版社



食品工艺学

周家春 编著

化学工业出版社
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

食品工艺学/周家春编著. —北京: 化学工业出版社,
2003. 1
ISBN 7-5025-4082-2

I. 食… II. 周… III. 食品工艺学 IV. TS201.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 083564 号

食品工艺学

周家春 编著

责任编辑: 路金辉

责任校对: 陈 静

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 467 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4082-2/TS·64

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

食品是人们生活的第一需要，食品工业不但是各个国家的命脉产业，而且还是其支柱产业。现代生活没有先进的食品工业是不可想象的，而食品工艺是食品工业最重要的支柱之一。从原始的自然风干、腌制保藏，到现代的辐照加工、高压杀菌，食品工艺学的发展始终处于科学技术发展的第一梯队，因为食品工艺是一门关系到社会上每一个体生活质量、健康状况的学科，所有人都在不知不觉中享受着食品工艺发展带来的便捷和健康。

风味是食品消费的第一要素，人们对美味的追求是食品工艺发展的重要动力，推动着食品加工工艺日新月异地变化，而对食品安全、营养的要求促使人们从基础上审视食品保藏、加工工艺的科学性，更加积极地运用新技术发展食品工业；现代生活的快节奏对方便食品提出了越来越高的要求，越来越多的家庭从厨房食品中摆脱出来，无限的商机同样引导着食品工艺向高新发展。

本书分为食品保藏、食品加工和食品加工新技术三部分，在食品保藏部分介绍食品的干藏、冷冻保藏、罐藏和食品辐照保藏，食品加工部分介绍乳制品、软饮料制品、巧克力制品和焙烤制品的生产工艺，在新技术部分较全面地介绍了超高温杀菌和无菌包装、微胶囊技术、膜分离技术和超临界萃取技术，同时还介绍了尚在研究中的高压技术等。本书在编写中摒弃了面面俱到的方式，根据食品工艺发展的潮流，在保藏部分舍弃了工业化程度低的较传统的工艺章节，减少了罐藏的篇幅，加强了辐照保藏的内容；在加工部分着重了发展迅速的乳制品生产工艺，在新技术部分收录前沿技术。

本书以介绍食品工艺的原理为主，弱化了可能随加工条件而变化的具体工艺过程，文字简练，可以作为食品工程专业本科学生的参考教材和从事食品生产、科研人员的参考书籍。

在本书的撰写过程中得到了华东理工大学徐玉佩、许学书、冯屏、葛宇、郑芸岭、王国英、曹宏等老师的热情帮助，在此向他们表示感谢。

由于本人学识水平所限，本书撰写中的不妥之处在所难免，望各位同仁和读者指正。

周家春

目 录

绪论	1
----	---

第一部分 食品保藏

一、引起食品腐败的因素	2
二、食品保藏中的品质变化	2
三、食品保藏的方法	3
第一章 食品干燥保藏	5
第一节 食品干燥保藏的基本原理	5
一、水分活度对微生物生长的影响	5
二、水分活度对脂肪氧化的影响	6
三、水分活度对酶活力的影响	6
四、水分活度对非酶褐变的影响	6
五、食品中水分活度的计算	7
第二节 食品干制的基本原理	7
一、影响热量和质量传递的重要因素	7
二、食品干制过程的特性	8
第三节 食品在干制过程中的主要变化	8
一、物理变化	8
二、化学变化	9
第四节 食品干制前的预处理	10
一、干制前的热处理	10
二、预防褐变和氧化的预处理	10
第五节 食品干制方法	10
一、空气对流干燥	11
二、接触式干燥	15
第六节 干制品的贮藏和复水	19
一、干制品的贮藏	19
二、干制品的复水	20
第二章 食品冷冻保藏	21
第一节 低温防腐的基本原理	21
一、低温对酶活力的影响	21
二、低温对微生物的影响	21
第二节 食品冷藏	22
一、食品的冷却	22
二、食品的冷藏	24
三、食品冷藏时的品质变化	26
四、食品冷藏条件的改善	29

第三节 食品冻藏	30
一、食品的冻结规律	30
二、冻结速度及影响冻结速度的因素	30
三、冻结对食品品质的影响	31
四、冻藏对食品品质的影响	32
五、食品的冻结方法	33
六、食品冻结前的处理	35
七、冷冻食品的解冻	35
八、高压下的食品冷处理	38
第三章 食品罐藏	40
第一节 罐藏容器	40
一、罐藏容器概述	40
二、制罐材料	40
第二节 空罐制造工艺	42
一、高频电阻焊罐的生产工艺	42
二、焊锡罐生产工艺	44
第三节 实罐生产工艺	47
一、空罐的清洗	47
二、装罐	47
三、预封	47
四、排气	48
五、罐头的密封	50
六、罐头食品的杀菌	51
七、罐头的冷却	56
八、罐头的检验	56
第四节 软罐头生产工艺	57
一、定义	57
二、软罐头的包装材料	57
三、软罐头的生产工艺流程	58
四、软罐头的特点	59
第四章 食品辐射保藏	60
第一节 电磁辐射的基本原理	60
一、电磁辐射线	60
二、辐射源	60

三、射线与物质的相互作用	62	三、谷物及脱水水果的辐射	74
四、辐射剂量	64	四、调味品和脱水蔬菜的辐射	74
五、射线的穿透性	65	五、酒类辐射	74
第二节 食品的辐射效应	66	六、密封容器内食物的杀菌 (Radapper)	75
一、辐射的化学效应	66	七、食品加工参与物的辐射	75
二、辐射的生物学效应	69	第四节 辐射食品的安全性和卫生性	75
第三节 辐射在食品保藏和加工中的应用	74	一、辐射食品的安全性	75
一、禽畜肉、蛋和水产品的辐射	74	二、辐照食品的卫生性	75
二、果蔬类食品的辐射	74		

第二部分 食品加工

第五章 乳制品	78	五、杀菌和冷却	93
第一节 牛乳的成分和性质	78	六、灌装	93
一、乳蛋白质	78	第六节 酸乳生产工艺	94
二、乳脂类	79	一、酸乳的定义	94
三、乳糖	81	二、酸乳的菌相构成	94
四、盐类	82	三、酸乳必需菌相的性质	94
五、维生素	82	四、酸乳生产工艺过程	98
六、酶类	83	五、酸乳凝胶体的结构	100
七、酸和气体	84	六、影响酸乳硬度和乳清分离的因素	100
第二节 牛乳的物理性质	84	七、酸乳的风味物质	102
一、色泽和滋气味	84	第七节 乳粉生产工艺	103
二、沸点、冰点和比重	85	一、全脂乳粉生产工艺	103
三、酸度	85	二、乳粉的速溶方法	107
四、表面张力、黏度和电导率	86	三、乳粉的理化性质	108
第三节 牛乳中细菌的种类	86	四、影响乳粉质量的因素	110
一、乳酸菌	86	五、其他乳粉生产工艺	111
二、丙酸菌 (Propionilacterium)	87	第八节 冰淇淋生产工艺	112
三、丁酸菌 (Butyribacterium)	87	一、冰淇淋的质量标准	112
四、大肠菌群	87	二、冰淇淋的主要原料	113
五、脓化菌	87	三、冰淇淋的工艺流程	115
六、产碱菌	88	四、影响冰淇淋质量的因素	119
七、枯草杆菌	88	第九节 奶油和干酪生产工艺	120
八、病原菌	88	一、奶油生产工艺	120
九、牛乳中微生物的交替现象	89	二、干酪生产工艺	124
第四节 乳在加工过程中的变化	89	第六章 软饮料	127
一、乳在加热过程中的变化	89	第一节 软饮料的主要原料	127
二、乳在冻结过程中的变化	91	一、水和水处理	127
三、乳在均质过程中的变化	91	二、甜味剂和酸味剂	135
第五节 液态鲜乳生产工艺	92	三、食用香精	135
一、原料乳的检验	92	四、二氧化碳	135
二、净乳	93	五、其他原料	136
三、标准化	93	第二节 碳酸饮料生产工艺	136
四、预热和均质	93	一、糖浆的制备	136

二、碳酸化	137	第一节 焙烤制品的原材料	169
三、碳酸化方式和碳酸饮料的灌装	138	一、面粉	169
第三节 果汁和蔬菜汁饮料生产	139	二、水	171
一、果蔬汁的分类和化学组成	140	三、糖	171
二、果蔬汁饮料的生产工艺	142	四、油脂	172
三、典型果蔬汁的生产工艺	147	五、蛋和乳	173
第四节 天然矿泉水的生产	151	六、食盐	173
一、天然矿泉水的定义和分类	151	七、疏松剂	173
二、矿泉水理化特征的代表方法	153	八、面粉品质改良剂	173
三、饮用天然矿泉水的基本生产工艺	153	第二节 面包生产工艺	175
第五节 人工矿泉水的生产	155	一、调粉	176
第七章 巧克力制品	156	二、面团发酵	177
第一节 巧克力的分类与组成	156	三、整形	178
一、巧克力的分类	156	四、成型(最后醒发)	179
二、巧克力的基本组成	157	五、面包烘烤	179
三、巧克力的营养价值	160	六、面包的冷却	182
第二节 纯巧克力的生产工艺	161	第三节 饼干生产工艺	182
一、配料	161	一、饼干的分类	182
二、巧克力料的精磨	161	二、饼干面团的调制	183
三、巧克力料的精炼	162	三、面团的辊轧	185
四、巧克力料的调温	164	四、饼干的成形	187
五、巧克力注模成型	166	五、饼干的烘烤	189
第三节 巧克力制品生产工艺	167	六、饼干的冷却	191
第八章 焙烤制品	169		

第三部分 食品加工新技术

第九章 超高温杀菌和无菌包装	193	三、原位聚合法	224
第一节 超高温杀菌的基本原理	193	四、凝聚法	226
第二节 超高温杀菌的方法	195	五、囊芯交换法	230
一、直接加热法	195	六、空气悬浮成膜法	231
二、间接加热法	202	七、锐孔-凝固浴法	233
第三节 无菌包装	207	八、熔化分散冷凝法	235
一、纸容器无菌包装	207	第三节 微胶囊技术在食品工业中的应用	236
二、其他容器无菌包装	210	一、食品及原料的微胶囊	236
第十章 微胶囊技术	212	二、食品添加剂的微胶囊	236
第一节 微胶囊技术原理	212	三、营养强化剂的微胶囊	237
一、微胶囊的基本组成和作用	212	第十一章 膜分离技术	239
二、微胶囊化方法和材料	213	第一节 膜分离技术原理	241
三、部分壁材的性能	214	一、反渗透(RO)	241
四、微胶囊的性能参数	215	二、纳滤、超滤和微滤	244
五、微胶囊材料和工艺选用原则	218	第二节 分离膜的结构和材料	247
第二节 微胶囊的主要制备方法	219	一、分离膜的结构	247
一、喷雾干燥法	220	二、分离膜材料	247
二、界面聚合法	221	第三节 膜分离装置和工艺流程	255

一、膜分离装置·····	255	一、超临界流体(SCF)的定义和性质·····	270
二、膜分离工艺流程·····	259	二、超临界流体的溶解能力·····	272
第四节 膜的污染和控制·····	262	三、超临界流体的选择性·····	273
一、反渗透膜的污染和控制·····	262	四、超临界流体萃取的实验技术·····	274
二、纳滤膜的污染和控制·····	265	五、超临界流体萃取的工艺流程·····	275
三、超滤膜的污染和控制·····	265	六、溶质和溶剂的分离·····	276
四、微滤膜的污染·····	265	七、超临界流体在食品工业中的应用·····	278
第五节 膜分离技术在食品工业中的应用·····	266	第二节 食品高压加工技术·····	280
一、反渗透在食品工业中的应用·····	266	一、高压处理对食品成分的影响·····	281
二、纳滤在食品工业中的应用·····	267	二、高压处理对微生物的影响·····	282
三、超滤在食品工业中的应用·····	267	三、高压处理装置·····	287
四、微滤在食品工业中的应用·····	269	第三节 高压脉冲电场的杀菌作用·····	288
第十二章 其他食品加工技术·····	270	第四节 脉冲强光的杀菌作用·····	289
第一节 超临界流体萃取·····	270	参考文献·····	291

绪 论

人类的一切生命活动，包括生长发育、细胞更新、组织修复等等都必须从外界摄取物质和能量。为维持正常生活机能而经口摄入体内的含有营养素的物料统称为食物或食料。一般把经过加工的食物称为食品。

食品就其来源而言，可分为动物性食品、植物性食品。由于食品原料是一种“活”的产品——食物收获后其代谢并未停止，并且易受微生物等生命体的侵害，因此，食物必须经过加工处理，才能便于保藏和运输；同时，因食品原料的相对单调性与人们对食品风味多样性的要求，食物也必须经过加工，才能制成各种形态、风味和营养各异的食品，以满足人们的不同需要。作为商品的食品必须具备以下要素，即色、香、味、形、营养、卫生、方便和耐贮。

一个国家的食品工业的发展程度是该国技术水平的一项指标，我国也已经把食品工业列为国家的支柱产业。一个先进的国家中没有先进的食品工业是不可想象的，如果没有食品加工，国民的食物供应就会变得非常困难，食品的价格会高许多，而且很多食品只有在一定的季节才能买到。食品的供求是一个世界性的问题，面对不断增长的世界人口和有限的食物资源，有关食品的科学和工艺将变得日益重要。

食品工艺学是一门将基础科学（生物化学、微生物学、食品化学、物理学、化学等）应用于食品原料的收获、处理、包装、贮存、加工的科学。

第一部分 食品保藏

一、引起食品腐败的因素

食品原料的质量是食品工业生产的一个重要因素，无论何种加工工艺都不能改善原料的品质，至多能够保持原来的品质。蔬菜、水果、谷物、坚果和种子类的植物性原料在采收或离开植物母体之后仍然是活的，家禽、家畜和鱼类在屠宰后组织已经死亡，但细胞内酶的活动仍在进行；污染性的微生物在这些食物原料中仍然成活；空气中的氧能够使食物中的某些成分发生变化；虫、鼠等生物与人类竞争这些食物，并使其污染而失去食用价值。

(1) 微生物污染是引起食物原料变质的第一因素。新鲜食物是微生物的良好培养基，食物的存放为微生物的生长提供了条件。在微生物的作用下，食品中的高分子物质被分解为各种低分子物质，使食品品质下降，进而发生变质和腐败。有些微生物会产生气体，使食品呈泡沫状；有些会形成颜色，使食品变色；有少数还会产生毒素而导致食物中毒。引起食物腐败的微生物有细菌、霉菌和酵母，对于鱼、肉、果蔬类食品细菌作用最为显著，对于粮食、面制品则以霉菌作用最为明显。各种食物原料上污染微生物的种类和数量相差很大，不同微生物在不同原料上的生长能力各异，原料对微生物的抵御能力也各不相同。肉食品对微生物的入侵几乎不产生自然的抵抗力；水果的果皮有较强的抵抗微生物入侵的能力，但外皮破裂后微生物能迅速生长和入侵；干的粮谷和种子因其坚硬的外皮或外壳，以及坚实和低水分含量的内部组织结构，因而抵御微生物的能力最强。

(2) 酶是食品工业不可缺少的重要材料，但在食品保藏中，一些酶类如水解酶类，会引起原料品质的严重下降。特别是鱼类的生化反应进行得很快，在相当短的时间内，经过一系列中间反应，蛋白质被分解为氨基酸和其他含氮化合物，脂肪被分解生成游离脂肪酸，糖元酵解成乳酸，为细菌生长提供了条件。乳酸的生成有利于畜肉的成熟，但生化反应继续进行，蛋白酶催化蛋白质分解生成氨，使肉呈碱性反应，为腐败细菌的繁殖创造了有利条件。果蔬类等蛋白含量少的食品，由于氧化酶的催化，促进了其呼吸作用，使其温度升高，加速了食品的腐败变质。

(3) 油脂与空气直接接触后发生氧化酸败。维生素 C 易被氧化脱氢，并进一步反应生成二酮基古洛糖酸，失去维生素 C 的生理功能。类胡萝卜素因其有较多的共轭双键，易被氧化脱色并失去生理功能。

(4) 虫类对谷物、果蔬特别有害。虫的危害不仅在于虫能吃掉食物，还在于虫能使食品受到损伤，易于受微生物的感染。虫卵会存留在加工后的食品中，引起循环污染。鼠不仅大量消耗食物，而且使食物受到污染，传播沙门氏菌病、钩端螺旋体病、斑症伤寒和鼠疫等疾病。

二、食品保藏中的品质变化

(1) 脂肪酸败。脂肪酸败有各种途径，在食品保藏中的酸败主要是自动氧化酸败以及酶催化导致的水解酸败。具有共轭双键的不饱和脂肪酸受到光照、加热、金属离子催化等因素的作用，很容易产生自由基并引发自动氧化酸败，在生成过氧化物后，脂肪酸被分解成许多小分子化合物，如醛类、醛酯类、内酯类、酮类、羧酸和酮基酸类等，产生酸败的耗味。

一些具有小分子脂肪酸的脂肪在酶的作用下水解，游离出脂肪酸，因这些小分子脂肪酸具有令人不快的气味而致酸败。

(2) 褐变。褐变作用按其发生机理可分为非酶褐变和酶促褐变两大类。在贮藏过程中的食物褐变会影响食物外观，降低营养价值和风味。

非酶褐变主要有羰氨反应、焦糖化反应和抗坏血酸的自动氧化作用。它对营养的影响主要是：氨基酸因形成色素和在 Strecker 降解反应中被破坏而损失；与色素以及糖结合的蛋白质溶解度降低，并且不易被酶分解，尤其是赖氨酸最易损失，从而降低蛋白质的营养效价；水果中维生素 C 因氧化而减少。非酶褐变的产物中有一些是呈味物质，能赋予食品以优或劣的气味和风味。

酶促褐变发生在水果、蔬菜等新鲜植物性食物中。果蔬采摘后，组织中仍在进行活跃的代谢活动。在正常情况下，完整的果蔬组织中氧化还原反应是偶联进行的，但当发生机械性损伤及处于异常的环境变化（如受冻、受热等）时，便会影响氧化还原作用的平衡，发生氧化产物的积累，造成变色。这类反应非常迅速，需要有酶催化，有氧参与。催化产生褐变的酶类主要是酚酶，其次是抗坏血酸氧化酶和过氧化物酶类等。

(3) 淀粉老化。淀粉老化是因为食品温度逐步降低时，已糊化淀粉的分子动能降低，分子间以一些原有的氢键结合点为起点重新聚合，相邻分子间的氢键结合逐步恢复，形成微晶结构。但老化淀粉的微晶束不再呈现原有状态，而是零乱组合。由于淀粉羟基很多，结合得十分牢固，所以难溶于水，也不易被酶水解。淀粉老化降低了食品的可口性，也降低了食品的营养价值。

(4) 食品新鲜度的下降。动物肌体在宰杀后由于呼吸的停止，ATP 不再生成。ATP 在一系列酶的作用下依次被分解为 ADP、AMP、IMP、HxR（肌苷）、Hx（次黄嘌呤）。这种能量物质的分解衰变是动物性食品新鲜度变化的本质。此外，糖元酵解使得肌体 pH 下降激活蛋白酶，使蛋白质分解，在形成风味的同时也为细菌繁殖创造了条件。植物性食物则主要是呼吸和蒸腾失水作用使食品新鲜度下降。

(5) 维生素的降解。食品中的维生素在贮藏中受到多种因素的影响，维生素易被破坏，特别是一些对热、光和氧气敏感的维生素更是如此。

三、食品保藏的方法

按照保藏原理分类，现有食品保藏技术大致可以分为下述四大类。

(1) 维持食品最低生命活动的保藏方法。此法主要用于保藏新鲜果蔬原料。果蔬采摘后，其生命活动依然进行着，但只是向分解方向进行。因此，采用低温保藏或保鲜剂保藏，抑制果蔬的呼吸作用，降低其生命活动，有利于延缓储存物质的分解，保持天然免疫力，抵御微生物的入侵。若空气湿度和流通控制良好，就能减少水分蒸发，降低果蔬成熟速度。但过度的抑制会使果蔬细胞进行无氧呼吸，加速其腐败；过低温度的保藏也会使果蔬组织发生冷伤害。

(2) 抑制食品生命活动的保藏方法。在某些物理化学因素的影响下，食品中微生物和酶的活力受到抑制，从而延缓了食品的腐败。但这些因素一旦消失，微生物和酶的活动迅即恢复，因此这只是一种暂时性保藏措施。属于这类的保藏方法有冷冻保藏、高渗透压保藏（如干制、腌制、糖制等）、烟熏及使用添加剂等。

(3) 利用生物发酵保藏的方法。借助于有益微生物的发酵活动（如乳酸发酵、醋酸发酵、酒精发酵等）的产物，建立起抑制腐败微生物生长的环境，达到防腐和增进风味的

作用。

(4) 利用无菌原理的保藏方法。利用热处理、辐射、过滤以及常温高压等方法处理，将食品中腐败微生物数量杀灭到在该菌数下食品能长期贮藏的程度，并维持这种状况，防止食品再次污染。

第一章 食品干燥保藏

干燥 (Drying) 是在自然条件或人工控制条件下促使食品中水分蒸发的工艺过程；脱水 (Dehydration) 是为保证食品品质变化最小，在人工控制条件下促使食品水分蒸发的工艺过程。脱水食品不仅应达到耐久贮藏的要求，而且要求复水后基本上能恢复原状。食品干燥是脱水干制品在它的水分降低到足以防止腐败变质的水平后，始终保持低水分进行长期贮藏的过程。

干燥是食品保藏最久远的方法之一。最经济、最简单方便的形式无疑是自然干燥。在世界上许多地方，现在仍然沿用日光干燥法，但该法有一些明显的缺点，例如：日光干燥依赖于某些无法严格控制的因数；干燥缓慢，不适用于许多优质产品；干燥产品的含水量偏高（一般都大于 15%），使许多食品的贮藏稳定性受到影响；需要相当大的干燥场地，约为人工脱水所需场地的 20 倍；露置的食品易受灰尘、虫、鼠和鸟类的侵害；在干燥过程中，果蔬组织因发酵和呼吸作用，糖类有所损失，颜色也在变化。

人工干制在室内进行，不再受气候条件限制，操作易于控制，干制时间显著缩短，相应的产品质量上升，得率有所提高。食品干燥不但有利于食品的保藏，而且方便运输，降低运输成本，在加工中可提高设备的生产能力以及提高废渣和副产品的利用价值。

第一节 食品干燥保藏的基本原理

一、水分活度对微生物生长的影响

各种微生物生长繁殖所需要的最低水分活度各不相同。对许多与食品有关的微生物的研究表明，水分活度小于 0.9 时，大多数重要的食品细菌就不会繁殖；有些耐高盐细菌在水分活度为 0.75 时仍能繁殖，但它们往往不是食品败坏的重要起因。一般酵母生长所需的水分活度值在 0.87~0.92 范围内，但耐渗透压酵母在水分活度为 0.75 时尚能生长。霉菌较之大多数细菌更耐干旱，大多数霉菌在水分活度为 0.8 以下停止生长。在水分活度低于 0.65 时，微生物的繁殖完全被抑制，这种水分活度在许多食品中相当于低于 20% 的总含水量，近乎十足干燥的产品。在水分活度低于 0.6 时大部分微生物都不能生存。

微生物生长繁殖所需水分活度的最小值并不是一个绝对值，而是受环境条件的影响。在通常情况下，环境条件（如微生物所需的营养状况、氧分压和食品的温度、pH 值等）越差，微生物生长的水分活度下限越高。如金黄色葡萄球菌在有氧和缺氧条件下对应的最低水分活度分别为 0.8 和 0.9。

水分活度能改变微生物对热、光和化学试剂的敏感性。一般情况下，在高水分活度时微生物最敏感，在中等水分活度下最不敏感。水分活度与微生物物理杀菌的关系如图 1.1 所示。

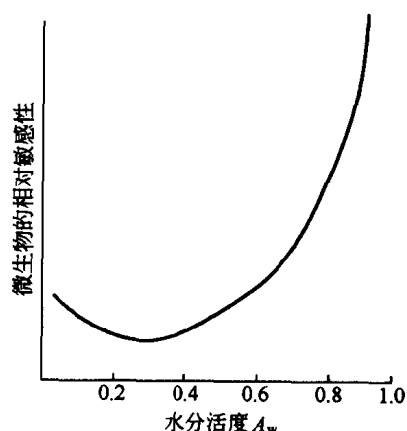


图 1.1 微生物对物理灭菌的敏感性与水分活度的关系

应该指出，微生物有时会对水分活度变化产生适应性，如果水分活度的降低是通过添加水溶性物质，而不是通过水的结晶或脱水来实现时，更易发生变异。在相同的水分活度下，微生物在不同溶质溶液中生长受抑制的状况也不同。如相同水分活度的果糖溶液、甘油溶液和氯化钠溶液对微生物的抑制作用依次加强，因此，若要利用水分活度控制微生物的生长，还需根据操作方法、溶质及微生物种类灵活应用。

微生物产生毒素所需的最低水分活度比微生物生长所需的最低水分活度高。因此，通过水分活度的控制来抑制微生物的生长时，虽然食品中可能有微生物生长，但不一定有毒素产生。

二、水分活度对脂肪氧化的影响

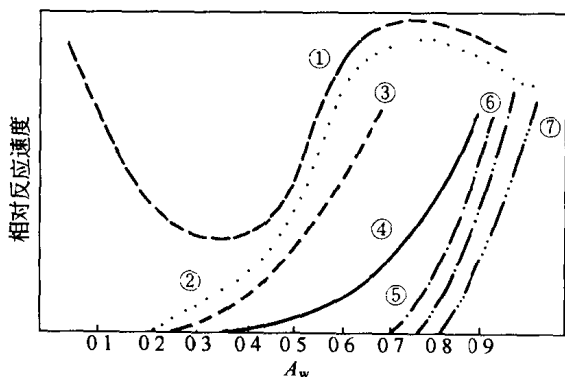


图 1.2 水分活度与食品中各种反应速度之间的关系

- ①—脂肪氧化作用；②—非酶褐变；③—水解反应；
- ④—酶活力；⑤—霉菌生长；
- ⑥—酵母生长；⑦—细菌生长

水分活度是影响食品中脂肪氧化的重要因素之一。水分活度在很高或很低时，脂肪都容易发生氧化，水分活度在 0.3~0.4 之间的酸败变化最小，如图 1.2 所示。

水分活度小于 0.1 的干燥食品因氧气与油脂结合的机会多，氧化速度非常快。当水分活度大于 0.55 时，水的存在提高了催化剂的流动性而使油脂氧化的速度增加。而水分活度在 0.3~0.4 之间时，食品中水分呈单分子层吸附，在自由基反应中与过氧化物发生氢键结合，减缓了过氧化物分解的初期速率；当这些水与微量的金属离子结合，能降低其催化活性或产生不溶性金属水合物而失去催化活性。

三、水分活度对酶活力的影响

食品中酶的来源多种多样，有食品的内源性酶、微生物分泌的胞外酶及人为添加的酶。酶反应的速度随水分活度的提高而增大，通常在水分活度为 0.75~0.95 的范围内酶活性达到最大，超过这个范围酶促反应速度下降，其原因可能是高水分活度对酶和底物的稀释作用。酶活性随水分活度呈非线性变化，在低水分活度时，水分活度的小幅度增加，会使酶促反应速度大幅度增加。水分活度影响酶促反应主要通过以下途径：① 水作为运动介质促进扩散作用；② 稳定酶的结构和构象；③ 水是水解反应的底物；④ 破坏极性基团的氢键；⑤ 从反应复合物中释放产物。

由于活性中心的反应速度大于底物或产物的扩散速度，因此运动性是限制酶促反应的主要因素。脂酶的底物是脂类，在底物是液态时水的运动作用就不很重要了，因此脂解作用能在极低的水分活度 ($A_w = 0.025 \sim 0.25$) 下进行。

四、水分活度对非酶褐变的影响

大部分的脱水食品以及几乎所有的中湿度食品都会发生非酶褐变。水分活度对该反应的影响很大，在中等湿度时褐变速率最大。水在非酶褐变中既作溶剂又是反应产物，在低水分活度下因扩散作用的受阻而反应缓慢；在高水分活度下，反应因反馈抑制作用和稀释作用而下降。水分活度对非酶褐变的影响见图 1.2。

五、食品中水分活度的计算

食品的水分活度一般由水分活度仪测定，在已知食品中每一成分的浓度时，可依下式计算水分活度，但在很低的水分含量下不适用：

$$A_w = 1.04 - 0.1(\sum S_i C_i) + 0.0045 \sum (S_i C_i)^2$$

式中， C_i 为成分*i*的质量分数； S_i 为成分*i*的蔗糖当量（见表 1.1）。

表 1.1 各种食品成分的蔗糖当量

成分	蔗糖	乳糖	转化糖	玉米糖浆 (45D. E.)	动物胶	淀粉及其他 多糖类	柠檬酸及 其盐类	氯化钠
蔗糖当量	1.0	1.0	1.3	0.8	1.3	0.8	2.5	9.0

第二节 食品干制的基本原理

一、影响热量和质量传递的重要因素

食品干制过程是水分和热量传递的过程，即食品吸收热量，逸出水分。同一操作条件对于这两个过程很难同时满足。在食品干燥过程中，以下因素对湿热传递有较大影响。

1. 表面面积

为了加速热量和质量的传递，我们通常将有待干燥的食品分切成小块或是薄片。分切后的食品增大了表面面积，也就增加了湿热交换的通道，并且缩短了热量传递到食品中心的距离和食品中心的水分运行到表面而逸出的距离。

2. 温度

加热介质与食品之间的温差越大，传入食品的热量的传递速率越高，从而为脱水提供推动力。当加热介质是空气时，空气的温度越高，其饱和蒸汽压越高，能够容纳的水分越多。水分以蒸汽形式逸出时，将在食品周围形成饱和的蒸汽，若不及时排除，将阻碍食品内水分的进一步外逸，从而降低水分的蒸发速度。因此，以空气为加热介质时，空气流动的作用较温度更大。

3. 空气流速

空气流速的增大，相当于与食品进行湿热交换的空气量增多，而且还能及时驱除食品表面的蒸汽，从而能显著地加速食品的干燥速度。

4. 空气的湿度

当空气为干燥介质时，空气越干燥，能够容纳的水分越多，食品的干燥速度越快。空气的干燥度也可决定被干燥食品的最低含水量。

脱水食品具有吸湿性，如果食品表面的蒸汽压低于空气的蒸汽压，食品就会吸收空气中的水蒸气，增加自己的水分含量，直至其表面蒸汽压与空气的蒸汽压互相平衡。此时的空气湿度为平衡相对湿度，食品的水分含量为平衡水分。因蒸汽压是温度的函数，因此，各种食品在不同温度下对应的平衡相对湿度各不相同，如经典的土豆吸湿等温线（图 1.3）所示。

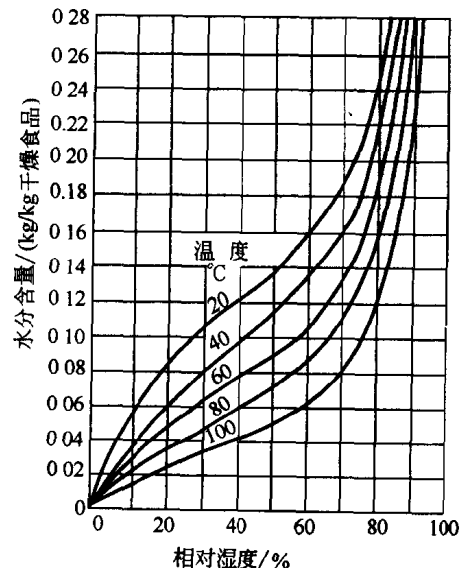


图 1.3 土豆吸湿等温线

5. 真空度

水的沸点反比于真空度，在相同的温度下，提高干燥室的真空度相当于增加了食品与空气之间的温差，因此能有效地加快食品内水分的蒸发速度，并能使干制品具有疏松的结构。热敏产品脱水干制时，低温真空条件和缩短干燥时间对保证产品品质极为重要。

二、食品干制过程的特性

食品干制过程的特性可由干燥曲线、干燥速率曲线和食品温度曲线的组合来表示（图 1.4）。

干燥曲线是干制过程中食品绝对水分和干制时间的关系曲线。食品绝对水分是以食品干物质的重量作为计算基础的食品水分。干燥速率曲线是干制过程中任何时间的干燥速率和该时间食品绝对水分的关系曲线。食品温度曲线是干制过程中食品温度和干制时间的关系曲线。

在食品初期加热阶段，食品温度迅速上升到湿球温度，干燥速率增至最大值。初期加热阶段的时间较短，有时不作介绍。食品的干燥主要发生在恒率干燥阶段，在此阶段中，干燥速率稳定不变，水分含量以线性方式下降，物料温度稳定在湿球温度，加热介质提供的热量全部消耗于水分的蒸发。当食品干制到第一临界水分时干燥速率开始下降，食品内水分含量沿曲线下降，逐渐趋近于平衡水分，食品温度逐步上升。当食品水分达到平衡水分时，干燥速率为零，食品温度达到干球温度。

干制过程中食品内部水分的扩散速率大于食品表面的蒸发速率，恒率干燥阶段可以延长；反之，则不存在恒率干燥阶段。干燥速率曲线随水分与物料的结合形式、水分扩散历程、物料结构和大小而异，有些食品在降速干燥阶段会出现第二个转折点，即第二临界点（见图 1.5）。水分从物料表面向周围介质的扩散称给湿，水分在物料内部的转移称导湿。干制过程中水分由中心向表面的转移取决于几个方面的作用力：表面蒸发后引起的水分梯度、物料内的毛细管力、溶质迁移到表面引起的渗透压。而物料内的温度梯度则促使水分由高温处向低温处转移，这种现象称为导湿温性。

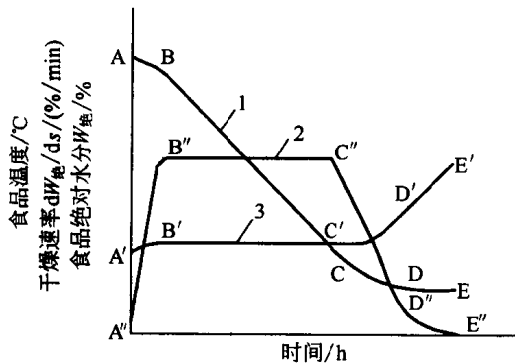


图 1.4 食品干制过程曲线

1—干燥曲线；2—干燥速率曲线；3—食品温度曲线

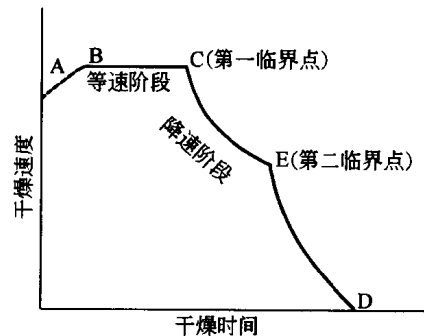


图 1.5 胡萝卜干燥速度曲线示意图

第三节 食品在干制过程中的主要变化

一、物理变化

1. 溶质迁移现象

食品干燥时表层收缩使深层受到压缩，组织中的液态成分穿过孔隙和毛细管向表层移

动，溶液到达表面后，水分即汽化逸出，外层液体的浓度逐步增加。干制品内部通常存在可溶物质分布的不均匀，愈接近表面，溶质愈多。当表层溶液的浓度逐渐增高，内层溶液的浓度仍未变化，于是在浓度差的推动下表层溶液中的溶质便向内层扩散，因此，在干燥中出现了两股方向相反的物质流，第一股物质流把溶质通过溶剂带往物料表面，第二股物质流因浓差扩散而使溶质重新回到内部，使溶质分布均匀化。干制品内部溶质分布是否均匀，最终取决于干燥速度。只要工艺条件控制适当，就可使干制品溶质分布均匀。

2. 干缩、表面硬化和热塑性

细胞壁结构有一定的弹性和硬度，即使细胞死亡，它们仍保持不同程度的弹性。但应力增大到一定数值，超过了细胞的弹性限度，发生了结构的屈服，在应力消失后细胞无法恢复原有形态，便产生了干缩。有充分弹性的细胞组织在均匀而缓慢地失水时，物料各部分会均匀地线性收缩，但更多情况是食品在高温和热烫后进行干燥，在中心干燥之前表面已经干燥变硬了，当中心干燥收缩时就会牵拉坚硬表面下各层次，导致内部开裂，有空隙和蜂窝等，因此，干制品的密度较低。低密度干制品容易吸收水分，复水较快，外观较好，但包装和贮藏费用大，贮藏期短，易氧化。高密度干制品则适于作进一步加工的原料。

含高浓度糖类和其他溶质的食品在干燥过程中的溶质迁移可能使溶质残留在食品表面，封闭了食品内部向表面蒸发的微孔和裂隙，加上干制时正常的收缩作用，在物料表面温度很高时，就会因为内部水分未能及时转移到物料表面而使表面迅速形成一层干硬膜，它的渗透性极低，使干燥速率急剧下降而将大部分水分保留在食品内。

果汁或蔬菜汁因缺乏组织结构而缺乏刚性，在干制时，即使所有水分都已逸出，其固体仍呈热塑性发粘状态，给人以仍含有水分的感觉，并且还会粘在输送带上难以除去。在冷却时，热塑性固体就硬化成结晶状或无定形玻璃状而易于除去。

3. 食品的多孔性

许多干燥技术或干燥前处理都使食品具有更多的微孔，以便于质量传递而加速干燥，但多孔的海绵状结构是优良的绝缘体，会减缓热量传入食品的速率。因此，干燥的效果将取决于多孔性结构在具体食品物料的干燥过程中是加快传质还是减缓传热。此外，表面硬化也易产生蜂窝状多孔结构。

4. 挥发性物质的损失

从食品中逸出的水蒸气中总是夹带着微量的各种挥发性物质，使食品特有的风味受到不可回复的损失。虽然我们能够从水蒸气中回收部分风味物质，但是目前减少挥发性物质损失的方法几乎没有。

5. 水分分布不均现象

食品干燥过程是食品表面水分不断汽化、内部水分不断向表面迁移的过程。推动水分迁移的主要动力是物料内外的水分梯度。从物料中心到物料表面，水分含量逐步降低，这个状态到干燥结束始终存在。因此，在干制品中水分的分布是不均匀的。

二、化学变化

1. 营养成分的损害

糖类含量较多的食品在加热时糖分极易分解和焦化，特别是葡萄糖和果糖，经高温长时间干燥易发生大量损耗。糖类因加热而引起的分解焦化是果蔬食品干燥时变质的主要原因之一。

脂肪氧化与干燥时的温度和氧气量有关。通常情况下，高温常压干燥比低温真空干燥引