

高等学校“十一五”规划教材

食品工艺学

第二版

周家春 编著



化学工业出版社

高等学校“十一五”规划教材

食品工艺学

第二版

周家春 编著



化学工业出版社

·北京·

《食品工艺学》(第二版)是在教材第一版的基础上,结合该教材5年来的使用情况,对一些实际食品生产中陈旧的或一些没有研究进展、尚无工业化前景的技术内容进行了精简和删除。同时鉴于食品工业是我国发展最迅速的产业之一,在安全、方便、健康、美味的社会需求推动下,食品加工理论的研究、食品新资源的开发、食品生产工艺和设备的提高等方面都有了新的进步,传统的食品干燥设备不断更新,食品冷冻保藏的机理更加明确,而超高温杀菌技术等已经被广泛普及使用,超高压杀菌也已经部分产业化,以上这些新内容被补充进来,使全书在理论上更加完整,实用性也有所提高,同时保持了本书简约的风格。

该书可作为食品工程专业本科生教材,同时也可供从事食品生产、科研的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

食品工艺学/周家春编著.—2版.—北京:化学工业出版社,2008.8

高等学校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-03408-3

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(2008)第109415号

责任编辑:路金辉
责任校对:宋玮

装帧设计:刘丽华

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:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数437千字 2008年9月北京第2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:38.00元

版权所有 违者必究

再版前言

《食品工艺学》(第一版)自2003年出版以来,蒙广大读者的错爱,5年来重印6次。食品工业是国内发展最迅速的产业之一,在安全、方便、健康、美味的社会需求推动下,食品加工理论的研究、食品新资源的开发、食品生产工艺和设备的提高等方面都有了新的进步,传统的食品干燥设备不断更新,食品冷冻保藏的机理更加明确,而超高温杀菌技术等已经被广泛普及使用,超高压杀菌也已经部分产业化,在这样的背景下,需要对《食品工艺学》第一版作出相应的修正,以反映食品工业技术进步的现实情况。

《食品工艺学》(第二版)在“食品干燥保藏”部分,更新补充了物料的湿热传递原理,在食品干制方法一节增加了最新的技术方法,去除了部分旧内容。在“食品低温保藏”部分,冻结速率及影响冻结速率的因素更新了理论描述,食品的冻结方法部分更新了最新内容,增加了冷链中的TTT概念,在冷冻食品的解冻部分引入了新方法。根据食品工业的发展现状,将“食品罐藏”改写为“食品除菌保藏”,彻底改变了章节内容,增加了食品过滤除菌内容,把超高温杀菌组合到食品加热杀菌中,结合超高压杀菌内容组成新的一章。在“食品辐照保藏”部分,根据食品辐照法规的发展,更新了剂量限制、安全性方面的内容,在电磁辐射的基本概念中去掉了难懂的核子理论,组合和更新了食品的辐照保藏原理,强化了辐照效应的描述。在“乳制品工艺”部分,删除了牛乳中细菌种类的描述,更新了原料乳的检验方法。在酸乳生产工艺中更新了分类、菌种、工艺、质量控制,增加了益生菌酸奶制作,在乳粉生产工艺中删除了喷雾干燥的大段描写,增加了速溶工艺和母乳化乳粉,强化了干酪生产工艺。其他章节也各有更新,同时引进了双水相分离、超微粉碎等前沿技术,去除了一些没有研究进展,尚无工业化前景的技术,使全书在理论上更加完整,实用性也有所提高,同时保持了本书简约的风格。

由于本人水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请各位同仁批评指正。

周家春

2008.7

第一版前言

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；在加工部分着重介绍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

于华东理工大学

2002年10月

目 录

绪 论

第一部分 食品保藏

一、引起食品品质变化的因素	2
二、食品保藏的方法	5
第一章 食品干燥保藏	6
第一节 食品干燥保藏的基本原理	6
一、水分活度对微生物生长的影响	6
二、水分活度对脂肪氧化的影响	7
三、水分活度对酶活力的影响	8
四、水分活度对非酶褐变的影响	9
五、水分活度对其他食品营养成分的影响	9
六、食品中水分活度的计算	10
第二节 食品干制的基本原理	10
一、干制过程的湿热传递	10
二、影响热量和质量传递的重要因素	11
三、食品干制过程的特性	12
第三节 食品在干制过程中的主要变化	13
一、物理变化	13
二、化学变化	14
第四节 食品干制方法	15
一、空气对流干燥	15
二、传导式干燥	25
三、冷冻干燥	26
四、其他新型干燥方式	29
第五节 干制品的贮藏和复水	31
一、干制品的贮藏	31
二、干制品的复水	32
第二章 食品低温保藏	33
第一节 低温防腐的基本原理	33
一、低温对酶活力的影响	33
二、低温对微生物的影响	33
第二节 食品冷藏	34
一、食品的冷却	34
二、食品的冷藏	36
三、食品冷藏时的品质变化	37
四、食品冷藏条件的改善	39
五、食品冷却时的耗冷量和冷却时间	42
第三节 食品冻藏	42
一、食品的冻结规律	42
二、冻结速率及影响冻结速率的因素	43
三、冻结前食品物料的预处理	44
四、食品的冻结方法	45
五、冻结和冻藏过程对食品品质的影响	48
六、冷冻食品的解冻	50
第三章 食品除菌保藏	53
第一节 食品加热杀菌	53
一、加热杀菌原理	53
二、加热杀菌方法和装置	60
第二节 食品过滤除菌	69
一、空气过滤除菌原理	69
二、空气过滤器	70
三、液体过滤除菌	71
第三节 食品超高压杀菌	75
一、高压对微生物的影响	75
二、影响超高压杀菌的因素	77
三、超高压对食品中营养成分的影响	79

四、超高压技术处理食品的特点	80	一、辐照的化学效应	94
五、超高压处理装置	81	二、核酸的辐射化学	97
六、超高压技术存在的问题	83	三、辐照的生物学效应	98
第四节 包装材料的灭菌和无菌		第三节 食品的辐照保藏应用	100
包装	84	一、食品的辐照杀菌	101
一、包装材料的灭菌	84	二、食物发芽的辐照抑制	103
二、无菌包装系统	86	三、食物虫害的辐照控制	103
第四章 食品辐照保藏	90	四、果蔬成熟期的辐照延缓	104
第一节 电磁辐射的基本概念	90	五、酒类辐照	104
一、电磁辐射线	90	六、食品加工参与物的辐照	104
二、辐照源	90	第四节 辐照食品的安全性和	
三、辐照剂量单位	93	卫生性	104
四、辐照剂量计	94	一、辐照食品的安全性	105
第二节 食品的辐照保藏原理	94	二、辐照食品的卫生性	105

第二部分 食品加工

第五章 乳制品	107	第五节 酸乳生产工艺	120
第一节 牛乳的成分和性质	107	一、酸乳的定义与分类	120
一、乳蛋白质	107	二、酸乳发酵剂	120
二、乳脂类	108	三、酸乳生产工艺过程	123
三、乳糖	109	四、酸乳凝胶体的结构	124
四、盐类	110	五、影响酸乳硬度和乳清分离的	
五、维生素	110	因素	124
六、酶类	110	六、酸乳的风味物质	126
第二节 牛乳的物理性质	112	七、酸乳质量控制	126
一、色泽和滋气味	112	八、含益生菌酸乳的生产工艺	127
二、冰点、沸点和相对密度	112	第六节 乳粉生产工艺	128
三、酸度	112	一、全脂乳粉生产工艺	128
四、表面张力、黏度和电导率	113	二、乳粉的速溶方法	131
第三节 乳在加工过程中的变化	113	三、影响乳粉质量的因素	133
一、乳在加热过程中的变化	113	四、母乳化乳粉	134
二、乳在冻结过程中的变化	114	第七节 冰淇淋生产工艺	135
三、乳在均质过程中的变化	115	一、冰淇淋的分类和组成	135
第四节 液态鲜乳生产工艺	116	二、冰淇淋的主要原料	137
一、原料乳的检验	116	三、冰淇淋的工艺流程	138
二、净乳	118	四、影响冰淇淋质量的因素	142
三、标准化	118	第八节 干酪生产工艺	143
四、预热和均质	118	一、干酪的定义	143
五、杀菌和冷却	118	二、干酪的分类	143
六、灌装	119	三、天然干酪一般加工工艺	144

四、融化干酪的加工工艺·····	146	第三节 巧克力制品生产工艺·····	190
第六章 软饮料 ·····	148	一、夹心巧克力·····	190
第一节 软饮料的主要原料·····	148	二、果仁巧克力·····	190
一、水和水处理·····	148	三、抛光巧克力·····	190
二、甜味剂和酸味剂·····	157	第八章 焙烤制品 ·····	192
三、食用香精·····	157	第一节 焙烤制品的原材料·····	192
四、二氧化碳·····	157	一、面粉·····	192
五、其他原料·····	158	二、水·····	194
第二节 碳酸饮料·····	158	三、糖·····	194
一、糖浆的制备·····	158	四、油脂·····	195
二、碳酸化·····	159	五、蛋和乳·····	196
三、碳酸化方式和碳酸饮料的 灌装·····	160	六、食盐·····	196
第三节 果汁和蔬菜汁饮料生产·····	162	七、疏松剂·····	196
一、果蔬汁的分类和化学组成·····	162	八、面粉品质改良剂·····	196
二、果蔬汁饮料的生产工艺·····	165	第二节 面包生产工艺·····	197
三、典型果蔬汁的生产工艺·····	169	一、原辅材料的处理·····	198
第四节 纯净水和矿泉水的生产·····	171	二、面团的调制·····	199
一、纯净水生产工艺·····	171	三、面团发酵·····	200
二、矿泉水生产工艺·····	172	四、整形·····	201
第七章 巧克力制品 ·····	177	五、成型(最后醒发)·····	202
第一节 巧克力的分类与组成·····	177	六、面包烘烤·····	202
一、巧克力的分类·····	177	七、面包的冷却·····	204
二、巧克力的基本组成·····	178	第三节 饼干生产工艺·····	204
三、巧克力的营养价值·····	181	一、饼干的分类·····	204
第二节 纯巧克力的生产工艺·····	182	二、饼干生产的工艺流程·····	205
一、配料·····	182	三、饼干面团的调制·····	206
二、巧克力料的精磨·····	182	四、面团的辊轧·····	208
三、巧克力料的精炼·····	184	五、饼干的成型·····	209
四、巧克力料的调温·····	186	六、饼干的烘烤·····	211
五、巧克力注模成型·····	189	七、饼干的冷却·····	213

第三部分 食品工业新技术

第九章 食品超微粉碎和微胶囊技术

第一节 食品超微粉碎技术·····	214
一、食品超微粉碎的定义及 分类·····	214
二、食品超微粉碎技术的优点和 应用·····	216

三、超微技术在食品工业中的 应用·····	216
第二节 食品微胶囊技术·····	217
一、微胶囊的基本组成和作用·····	217
二、微胶囊化方法和材料·····	217
三、部分壁材的性能·····	218
四、微胶囊的主要制备方法·····	220

五、微胶囊技术在食品工业中的 应用.....	230	过程.....	241
第十章 食品分离技术	234	五、溶质和溶剂的分离.....	241
第一节 双水相萃取分离.....	234	六、超临界流体在食品工业中的 应用.....	243
一、双水相的形成及其特点.....	234	第三节 膜分离技术.....	244
二、影响物质分配平衡的因素.....	235	一、膜技术概述.....	244
三、双水相萃取的工艺流程.....	236	二、膜分离装置和工艺流程.....	250
四、双水相萃取的应用.....	237	三、反渗透 (RO)	255
第二节 超临界流体萃取技术.....	237	四、超滤 (UF)	259
一、超临界流体 (SCF) 的定义 和性质.....	237	五、微滤 (MF)	261
二、超临界流体的溶解能力.....	239	六、电渗析.....	262
三、超临界流体的选择性.....	240	七、气体分离和渗透蒸发.....	264
四、超临界流体萃取的工艺		参考文献	267

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，果蔬的呼吸仍在继续，动物性材料中的酶活性仍然很高，这些残存的生物活性会在短期内使食物材料品质劣化；而这些富于营养的材料都易受外界微生物等生命体的侵害。食物必须经过加工处理，才能较持久地保持其原有品质，并且便于保藏和运输，实现其商品的价值；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物，以满足人们的不同需要。人们生活中最易变化的是口味，工业产品中新产品推出最快的是食品，如果没有食品工业，这一切是不可能实现的。作为商品的食物必须具备以下要素，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，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，地区性的产品过剩和紧缺将同时发生，大量的食物资源会腐败变质，食物的价格会高许多，而且很多食品只有在一定的季节才能买到。食品工业在我国也同样是国家的支柱产业，1999年中国食品工业总产值为7828亿元，到2004年，中国食品工业总产值已超过16000亿元，我国“十五”期间食品工业总产值年均增长速度达15%以上。2003年全国食品工业总产值首次突破万亿元大关，超过12000亿元。2006年全国规模以上食品工业企业实现总产值超过21000亿元（不含烟草），占全国工业总产值的6.8%，同比增长23.5%。2007年1月至6月，食品工业总产值累计12816.2亿元人民币，同比增长29.9%。啤酒、食用油、饮料、味精等食品的总产量位居世界前列。根据《全国食品工业“十一五”发展规划》，中国食品工业在“十一五”期间的规模和效益将保持持续快速的生长，到2010年的总产值将增加到40900亿元，年均增长15%。食品工业产值与农业产值之比将从2005年的0.5:1提高到0.8:1。

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，通过食品加工可以实现提高食品品质、提高食用方便性、提高食品的卫生 and 安全性、延长食品的保藏期和提高农副产品价值等作用。

第一部分 食品保藏

一、引起食品品质变化的因素

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。总之，引起食品品质变化的因素是多样和复杂的，归结起来可以分为生物因素、化学因素等。

1. 生物因素

(1) 微生物 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。细菌可分解食品中的糖类，生成多种酸及一些低分子量的气体，使食品呈现酸味及不良气味；细菌作用于食品蛋白质时，可将蛋白质分解转化为腐胺、尸胺、粪臭素等，然后进一步分解成硫化氢、硫醇、氨、甲烷、二氧化碳等。细菌也促进脂肪的氧化分解，使油脂中的脂肪酸分解产生醛、酮、酸等。在这一系列分解过程中，伴随有中间产物的相互作用，从而产生大量毒性物质，并散发出令人讨厌的恶臭味。造成食品腐败的微生物主要有以下几种菌属：假单胞菌属、黄色杆菌属、无色杆菌属、变形杆菌属、梭状芽孢杆菌属和小球菌属。

霉菌利用食品中的碳水化合物、蛋白质为碳源和氮源生长繁殖，同时使食品外层长霉或颜色改变，且产生明显霉味；若霉变是由产毒霉菌造成的，则产生的毒素对人体健康有严重影响，如黄曲霉毒素可导致癌症。引起食品霉变的霉菌主要有：毛霉属的总状毛霉、大毛霉，根霉属的黑根霉，曲霉属的黄曲霉、灰绿曲霉、黑曲霉，青霉属的灰绿青霉。霉菌在较低的水分活度、较低的气温下仍能正常生长繁殖。

食品发酵造成的腐败有酒精（乙醇）发酵、醋酸发酵、乳酸发酵和酪酸发酵。酒精发酵是食品中的糖类物质在酵母作用下降解为乙醇的过程。水果、蔬菜、果汁、果酱和果蔬罐头等易产生酒精发酵现象。醋酸发酵是食品中的糖类物质经酒精发酵生成乙醇，进一步在醋酸杆菌作用下氧化为醋酸。食品醋酸发酵时，不但质量变劣，严重时完全失去食用价值。某些低度酒类、饮料（如果酒、啤酒、黄酒、果汁）和蔬菜罐头等常常发生醋酸发酵。乳酸发酵是食品中的糖类物质在乳酸杆菌作用下产生乳酸，使食品变酸的现象。鲜奶和奶制品易发生这种现象。酪酸发酵是食品中的糖类物质在酪酸菌作用下产生酪酸的现象。酪酸具有令人厌恶的气味。鲜奶、奶酪、豌豆类食品发生这种酸变时，食品质量严重下降。

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) 害虫和啮齿动物 害虫对于食品贮藏的危害相当惊人。由于害虫种类多、食性广、繁殖快、适应性强、分布广,根据联合国粮农组织的估计,每年由于虫害造成的粮食损失高达全年总产的5%以上。根据对谷象的生活规律研究,10对谷象在适宜环境中连续繁殖5年,其后代在5年中能吃掉400吨小麦!害虫不仅损耗粮食,而且使食品受到损伤,使之易于受微生物的感染,加上害虫活动产生的热量、排泄的水分,容易引发大面积的霉变;所遗弃的排泄物、皮壳和尸体等还会严重污染食品;虫卵会存留在加工后的食品中,引起循环污染,使食品丧失商品价值。对食品危害性大的害虫主要有甲虫类、蛾类、蟑螂类和螨类。如对禾谷类粮食及其加工品、水果蔬菜的干制品等危害最大的害虫主要是象虫科的米象、谷象、玉米象等甲虫类。

啮齿动物主要以鼠类对食品危害最大。鼠类是食性杂、食量大、繁殖快和适应性强的啮齿动物。老鼠虽小,但家族庞大,全世界现存的哺乳动物共有4154种,鼠类即占1687种。据估计全球“总鼠口”为全球总人口的四倍以上。鼠不但种多,而且分布广,适应性强,性成熟快,在温暖地带,一般每年能生4至6窝,每窝6~10只,最多可达23只,据推算一对褐家鼠一年可生殖96~120只幼鼠。据联合国粮农组织统计,全球每年因鼠害造成的农作物损失约占其总产的10%~20%,每年因老鼠损失贮粮3300万吨,因鼠害减产5000万吨,足可供3亿人吃1年。鼠不仅大量消耗食物,而且使食物受到污染,传播沙门菌病、钩端螺旋体病、斑疹伤寒和鼠疫等疾病。

2. 化学因素

(1) 酶 酶是食品工业不可缺少的重要材料,但在食品保藏中,由于食物材料采收后其体内的酶在适宜的条件下仍会保持活性,体内的新陈代谢活动继续进行。因此在加工和贮藏过程中,由于酶的作用,特别是氧化酶、水解酶类的催化而引起原料品质的严重下降。例如,呼吸作用是水果、蔬菜、原粮等各种植物在多种酶系统的参与下的生理活动,具有维持自身生存、抵抗病菌侵染的功能。但是,呼吸作用又是一个不断地消耗体内贮藏物质、释放热量、促使自身逐渐成熟衰老的生理过程,糖类、脂类、蛋白质、氨基酸、有机酸等物质的消耗随贮藏期延长而增加,导致色、香、味以及食用品质和营养价值降低,以及风味劣变、颜色褐变、维生素损失等。

成熟衰老变化通常是指水果蔬菜收获后进行的生理生化变化,当达到一定的成熟度收获后,在贮藏、流通中仍然进行着在田间尚未完成的成熟衰老过程。成熟使它们的色、香、味、质地得到改善,商品质量得到提高,但当进入衰老阶段时商品质量发生劣变,表现为色泽暗淡、质地疏松软化、风味和气味变差,更重要的是抗病性显著下降,易受病菌侵染而腐烂变质。

与食品品质有关的主要酶类有脂肪酶、蛋白酶、果胶酶、淀粉酶、过氧化物酶、多酚氧化酶等。脂肪酶能将脂肪分解为甘油和脂肪酸,许多含脂食品如干果等的变质原因常常是由于脂肪酶作用使游离脂肪酸增加所致;蛋白酶能水解蛋白质,这也是动物性食物材料质地软烂,甚至产生多肽苦味的重要原因,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;果胶物质是所有高等植物细胞壁和细胞间层中的成分,也存在于植物细胞汁液中,对于水果和蔬菜的食用质量有

很大的影响。果胶酶降解果胶物质是导致许多水果、蔬菜在成熟后过分软化的原因；氧化酶类中的酚酶和多酚氧化酶，能迅速氧化单宁和黄酮类物质，在有氧条件下发生酶促褐变，这是马铃薯、香蕉、莲藕、苹果、梨等果蔬在加工过程中发生褐变的主要原因；其他氧化酶类如过氧化物酶、抗坏血酸氧化酶等也会引起食品颜色和风味的劣变及营养成分的损失。

(2) 变色 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。酶促褐变是果蔬组织受到损伤，在酚酶和多酚氧化酶催化下食品中的酚类物质经过一系列的氧化、聚合作用的结果。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。

食品在贮藏中发生的非酶褐变主要有美拉德反应和抗坏血酸氧化反应，焦糖化反应只发生在食品加工中。褐变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。

此外，植物色素主要有叶绿素、类胡萝卜素、花青素和叶黄素等，它们在贮藏加工中都会发生变化，从而影响食品的天然色泽。动物色主要有肌红素和血红素，呈鲜红色，当肌红素和血红素被氧化时呈暗红色或暗褐色，对于鲜肉及肉制品的质量影响很大。

(3) 氧化 脂肪酸败是食品在保藏中发生氧化的主要作用。脂肪酸败有各种途径，但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、羧基酸和酮基酸类等，产生酸败的耗味。醛、酮类物质对人体健康有害，如果食用酸败食品过多可引起腹泻，甚至影响肝脏的健康。脂肪酸败生成的羰基化合物与食品中的氨基化合物作用引发的褐变反应是干鱼、冻鱼出现的“油烧色”的原因。而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，这一途径称为水解酸败。

(4) 淀粉老化 淀粉老化是糊化的逆变化，其本质是分散的淀粉分子又自动排列成序。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、致密、高度晶化的不溶性淀粉分子微晶束。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。

(5) 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。蒸腾作用通常是指新鲜果品蔬菜在贮藏、流通过程进行的一种生理作用，即产品组织中的水分通过其表面以气态散失到环境中的现象。蒸腾失水不但造成产品数量方面的损失，而且使果蔬的新鲜度下降，失水严重时使外观萎蔫、质

地柔韧、抗病性降低、丧失贮藏性和商品价值。

(6) 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。

二、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

该方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, 但因脱离植株, 不再有养料的供应, 故其组织内的各种化学反应只能向分解方向进行。因此, 果蔬采摘后的生命活动越旺盛, 果蔬内储存物质的分解速度就越快, 品质的下降也越快。采用低温保藏或保鲜剂保藏, 抑制果蔬的呼吸作用, 使果蔬的新陈代谢活动维持在最低的水平上, 有利于延缓储存物质的分解, 能在较长时间内保持它的天然免疫性, 抵御微生物的入侵, 延缓腐败变质, 从而延长它们的保存期。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。在实际生产中, 这类保藏方法主要包括冷藏法、气调法等。保藏温度是质量控制最重要的因素, 而湿度是保持果蔬新鲜度的基本条件, 适当的气体成分是提高保藏质量的有力保证。

减压保藏是将贮藏室内的气体压力降低到一定程度, 由此可以实现真空预冷, 限制微生物的繁殖, 降低氧气浓度到保持果蔬最低呼吸需要, 迅速排除二氧化碳和乙烯等有害气体, 从而达到果蔬保鲜的目的。

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。冷冻保藏是将游离水凝结固定; 干制是减少食品中所含游离水和部分胶体结合水, 使制品可溶性固形物浓度提高; 糖制和腌制是利用一定浓度的食糖或食盐溶液渗入食品组织, 提高制品的渗透压而降低水分活度; 烟熏是利用燃烧产生的熏烟中的有机成分附着在食品表面, 起到抑制微生物和抗氧化作用; 适当使用食品添加剂能有效抑制微生物的增殖, 延缓食品氧化变质等, 在国标范围内使用是非常安全的。

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。果蔬腌制时常用3%~7%的食盐溶液, 在该浓度下腐败菌的生长受到抑制而乳酸菌可以生长, 当乳酸的浓度达到0.6%~0.8%时就足以抑制腐败菌和酶的活动, 泡菜和酸黄瓜就是采用这类方法保藏的食品; 葡萄酒则是利用酵母菌进行发酵产生酒精来保存食品。

4. 利用无菌原理的保藏方法

利用热处理、辐照、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, 并密封等处理维持这种状况, 防止食品再次污染。罐藏、辐照保藏及无菌包装技术等均属于这类方法。

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。食品干藏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素; 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

微生物的生长需要一定的水分活度, 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 0.91 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 时几乎所有微生物都不能生存 (见表 1.1)。

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。

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。如金黄色葡萄球菌能在水分活度 0.8 以上环境生长, 但其产生毒素时需要的水分活度在 0.87 以上; 黄曲霉菌生长所需最低 A_w 为 0.78~0.80, 而产生黄曲霉毒素时最低的 A_w 为 0.83~0.87; 但如果在干制前毒素已经产生, 因干制无法破坏这些毒素, 食用这种脱水食品

表 1.1 微生物生长需要的水分活度和相关食品

A_w 范围	适宜生长的微生物	该 A_w 范围内的部分食品
1.00~0.95	变形杆菌、克氏杆菌、芽孢杆菌、大肠杆菌、假单胞菌、部分酵母、志贺菌、产气荚膜梭菌	鲜豆腐、果蔬、鱼、肉、奶、罐头、熟香肠、面包、含糖 44% 或含盐 8% 以下的液态食品
0.95~0.91	沙门菌、副溶血弧菌、肉毒梭状芽孢杆菌、乳杆菌、沙霉菌、足球菌、部分霉菌、酵母	干酪、熏肉、火腿、一些浓缩果汁、含糖量为 44%~59% 或含盐 8%~14% 的液态食品
0.91~0.87	多数酵母(假丝酵母、圆酵母、汉逊酵母)、小球菌属	发酵香肠、松软糕点、腊肠、人造奶油、鱼粉、较干干酪、含糖 59% 或含盐 15% 以上的液态食品
0.87~0.80	多数霉菌(如产毒素青霉菌)、金黄色葡萄球菌、多数酵母菌、德巴利酵母	多数浓缩果汁、甜炼乳、面粉、大米、果糖浆、水果蛋糕、含水量 15%~17% 的食品
0.80~0.75	多数嗜盐菌、产毒素曲霉	果酱、橘子果汁、杏仁软糖、糖渍凉果
0.75~0.65	嗜干霉菌、二孢酵母	含水燕麦片、糖蜜、甘蔗糖、干坚果类、蜂蜜、太妃糖
0.65~0.60	耐渗酵母	含水量 12% 的面条、10% 的香料、5% 的全蛋粉
<0.60	没有微生物生长繁殖	曲奇饼、脆点心、干面包片、包装饼干、含水为 2%~3% 的奶粉、5% 的脱水蔬菜、5% 的爆玉米花

后有导致食物中毒的可能。芽孢菌形成芽孢时的 A_w 一般比营养细胞发育的 A_w 高，梭状芽孢杆菌的发芽发育的最低 A_w 为 0.96，而要形成完全的芽孢，在相同的培养基中 A_w 必须高于 0.98。

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。

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。

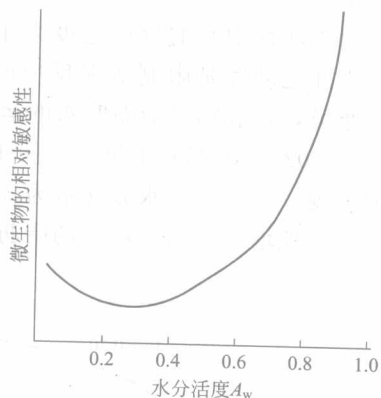


图 1.1 微生物对物理灭菌的敏感性与水分活度的关系

二、水分活度对脂肪氧化的影响

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 之间时的酸败变化最小。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。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。当水分活度大于 0.55 时，水的存在提高了催化剂的流动性和氧的溶解性，大分子吸水胀润而暴露更多催化部位，从而使油脂氧化的速度增加。当水分活度升高到大于 0.80 以后，由于催化剂被稀释，氧化速率将有所下降。

实验表明，以单分子层水所对应的 A_w 为分界点，当 A_w 高于分界点时脂质氧化主要表现为受脂酶作用，使游离脂肪酸增加，而当 A_w 低于分界点时，脂质氧化主要表现为自动氧

化反应,使过氧化值急剧增大。图 1.2 描述了猪肉脂质氧化和 A_w 的关系。

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($A_w=0.025\sim0.25$)下进行。图 1.3 是在 30°C 下 A_w 值在 0.35~0.70 的范围内卵磷脂酶的活力表现。当面粉中水分含量为 3% 时,脂肪酶的活性未能检出;当水分含量为 14% 时,脂肪酶的活性增高,酶解产生的脂肪酸造成面食品的酸败。

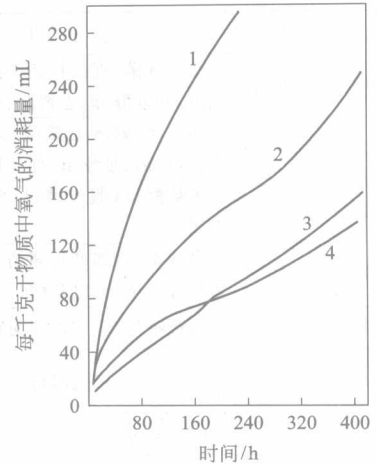


图 1.2 37°C 下猪肉的脂质氧化与 A_w 的关系

1— $A_w=0.75$; 2— $A_w=0$
3— $A_w=0.51$; 4— $A_w=0.21$

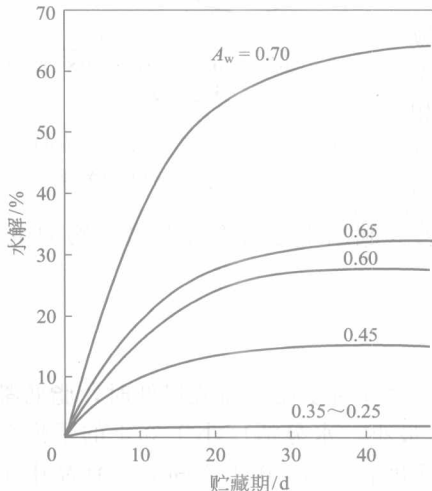


图 1.3 水分活度对卵磷脂酶解速率的影响

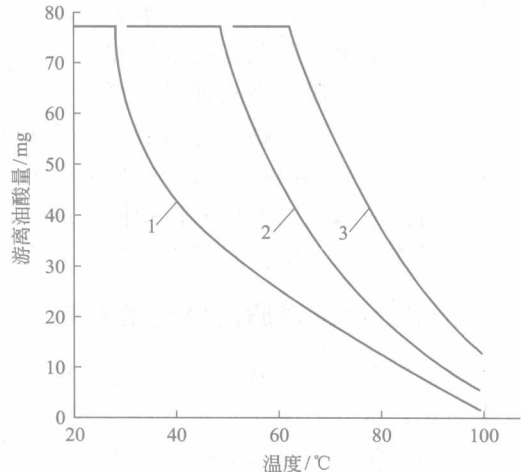


图 1.4 A_w 对黑麦脂酶热稳定性的影响

1—含水量 23%; 2—含水量 17%; 3—含水量 10%

水分活度对酶的热稳定性也有影响。图 1.4 为黑麦酯酶的热失活曲线,由图 1.4 可知,黑麦脂酶的起始失活温度随水分含量升高而降低,即酶在较高的水分活度环境中更容易发生热失活。脱水食品中的酶并未完全失活,这也是造成脱水食品在贮藏过程中质量变化的重要因素。