

SHIPIN RUANBAOZHUANG  
XIN JISHU

# 食品软包装 新技术

徐文达◎编著

——气调包装、活性包装和智能包装

上海科学技术出版社

# 食品软包装新技术

——气调包装、活性包装和智能包装

徐文达 编著

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书是由我国学者自己撰写的食品软包装新技术专著。作者综合了国内外食品软包装新技术近几十年来的发展成果及其本人多年来在该领域的研究成果,以期推动国内该领域学术研究及市场应用。

本书共分十一章,前九章介绍食品气调包装技术,包括气调包装材料类型和选用,尤其对新鲜食品(鱼、肉、蔬菜)气调包装工艺,熟食品与菜肴气调包装工艺,焙烤食品、面条和奶酪气调包装工艺,气调包装机械与气体混合设备的类型,以及气调包装产品安全保证体系等作重点阐述;后两章分别介绍国外近年来研究开发的主要的活性包装体系和智能包装体系。可作为高等院校包装工程专业和食品科学与工程专业教材或辅助教材,也可供食品科研或生产单位开发食品包装的研究人员或工程技术人员参考。

# 出版说明

食品气调包装、活性包装和智能包装是当今世界流行和倡导的三项食品软包装新技术,通过其应用可有效地延长食品的保藏期或货架期,保持食品的新鲜度、营养成分和感官质量,并可监测包装食品在贮藏、运输与销售过程中环境条件,获取食品质量与安全信息,对保障食品质量和安全发挥了积极作用。

围绕上述食品软包装新技术,国外学者自 20 世纪 80 年代以来发表了大量的研究成果,出版了不少学术专著。但在此领域国内相对滞后,有关学者及科技人员虽也开展了一些研究工作,但至今还没有一本由我国学者撰写的专著。

为了使食品气调包装、活性包装和智能包装新技术进一步在国内推广应用,造福于人民、造福于社会,首先必须对其有比较系统和全面的认识 and 了解,为此上海炬钢机械制造有限公司食品保鲜技术研究所和上海海洋大学食品学院特请徐文达教授编写了这本专著,以期推动国内该领域学术研究及市场应用。

徐文达教授多年来从事食品包装的教学及科研实践,积累了丰富的经验,取得了多项科研成果,特别是 20 世纪 90 年代就开始研究食品的气调包装技术,在鱼、肉和果蔬等新鲜食品及熟食品等方面的气调工艺与设备上做了大量研究工作,发表了多篇学术论文。退休后继续活跃在食品气调保鲜包装第一线,任上海炬钢机械制造有限公司食品保鲜技术研究所顾问,指导公司及研究所开展食品气调包装工艺及设备的研究与开发,为企业及行业发展提供了有力的技术支撑。此外,徐文达教授还被聘为上海海洋大学食品学院(食品)包装工程专业建设顾问,为我国食品包装人才的培养作出了贡献。

# 前 言

食品气调包装是通过改变包装内的气氛,使食品处在与空气组成不同的气氛环境中而延长保藏期或货架期的一种软包装技术。真空包装通过抽真空将包装内氧含量降低到 $0.5\% \sim 1\%$ 而保藏食品,因而也是一种简单的食品气调包装技术。虽然真空包装具有明显的保藏食品效果和操作简便优点,但它的应用仍受到包装内残氧水平难控制和不能适应不同食品保藏要求的限制。食品气调包装通过用不同气体(主要是二氧化碳、氧、氮)比例混合的保护性气体置换空气来满足各类食品的保藏要求,因而应用范围比真空包装更广泛。虽然食品气调包装技术是真空包装技术的进一步发展,事实上至今这两种包装技术仍同时在应用。

气调包装在商业上应用较晚,自20世纪80年代英国在零售新鲜肉气调包装取得重大的进展后,明显推动了气调包装技术的市场应用。目前,气调包装技术已在欧美新鲜食品(鱼、肉、果蔬)、熟食品(熟肉、三明治、比萨)、焙烤食品(面包、蛋糕等)、面条(意式新鲜面条和熟面条)、奶酪等包装中得到广泛应用。

我国自20世纪90年代开始食品气调包装的研究和应用以来,至今已有一些食品采用气调包装,并取得市场应用,如新鲜肉类与果蔬和熟食品等气调保鲜包装。与此同时,国内的食品包装机械企业也相应成功开发了适用于我国食品气调包装生产的袋式和盒式气调包装机械,从而具备开发各类食品气调包装市场应用的条件。目前我国农产品和食品加工业对气调包装市场需求主要有三个方面:果蔬类保鲜,如杨梅、枇杷、荔枝、桂圆、各种菇类和净菜(鲜切蔬菜);新鲜肉类,主要是猪肉、牛肉、禽肉;熟食类,如菜肴、方便餐。然而,目前我国食品气调包装市场应用进展较慢,主要原因是生产企业缺乏食品气调包装技术知识和必要的生产条件,以及产品运输销售可靠的冷藏链。随着城乡居民对高质量食品需求的增加,传统冷冻包装食品已不能满足人民的消费要求,因而高质量的冷藏保鲜食品深受市场欢迎。由于气调包装具有保持食品新鲜度和营养质量的优点,已成为国外冷藏食品的主要包装形式,但这种包装形式对包装工艺和生产管理以及产品贮运与销售管理有较严格的要求。国外学者已出版多种食品气调包装专著,政府管理部门为保证这类包装食品的质量与安全制订了相应的法规或指令,这些对推广市场应用都起了很大的作用。

现代食品包装新技术不仅要求阻隔食品免受环境污染,还要对食品的质量与安全 and 延长货架期起积极作用。近年来,国外食品包装业界为了保证食品安全和流通过程中对产品质量有效的监控和管理,将材料、化学物理、电子、光学和生物等学科最新技术应用到食品包装,发展成活性包装和智能包装的现代食品包装新技术。活性包装是改变食品保存条件而延长货架期,或改善食品安全与感官质量的包装技术;智能包装是在产品流通与销售过程中监测包装食品环境条件和获取食品质量与安全信息的包装技术。目前我国正在大力执行各项保证食品质量和安全的政策,研究开发活性包装和智能包装新技术将使各项有关政策得到更好的贯彻。

本书介绍了食品气调包装、活性包装和智能包装三项食品软包装新技术。重点介绍了食品气调包装,内容有食品气调包装基本原理、气调包装材料、气调包装机械、新鲜食品气调包装、熟食品气调包装工艺等。在活性包装和智能包装部分,介绍了国外近年研究开发的主要的活性包装体系和智能包装体系。活性包装体系主要介绍吸氧剂包装、乙烯吸附剂包装、二氧化碳和气味清除剂包装、抗菌活性包装系统和吸湿包装的原理和应用。智能包装体系主要介绍诊断或检测包装技术,包括时间-温度指示标签、新鲜度指示标签、氧指示标签、包装泄露标签、二氧化碳指示标签、致病菌指示标签。智能包装的另一类信息包装技术,如无线射频识别电子标签、防盗窃电子监视标签、电磁识别标签等暂未编入。

食品气调包装、活性包装和智能包装内容丰富,涉及化学、物理、材料、生物、微生物、机械与食品加工工艺等多门学科,因此需要业界人士齐心协力,努力探索,在包装技术上不断创新,并获得更令人满意的市场应用效益。

中国包装技术协会教育委员会副主任、中国包装工程高等教育教材编审委员会委员、上海大学金国斌教授和上海理工大学印刷包装工程系主任邓开发教授对本书进行了详细审阅并提出宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书可作为高等院校包装工程专业和食品科学与工程专业教材或辅助教材,也可供食品科研或生产单位开发食品包装的研究人员或工程技术人员使用。

徐文达  
2008年7月

# 目 录

第一章 食品气调包装基本知识	1
一、食品气调包装类型	1
二、食品气调防腐保鲜包装基本原理和保护气体	2
(一) 食品气调防腐保鲜包装基本原理	2
(二) 食品气调包装保护气体	3
三、食品气调包装混合气体组成和配比	5
四、气调包装抑制食品腐败微生物的作用	6
(一) 气调包装对抑制腐败微生物的作用	6
(二) 气调包装对抑制致病菌的作用	6
五、食品气调包装工艺要求	8
(一) 包装前食品污染程度	8
(二) 包装材料	8
(三) 气调包装产品的贮运和销售温度	9
六、食品气调包装的发展和市场应用	9
(一) 国外食品气调包装发展历史	9
(二) 国外食品气调包装的市场应用	11
(三) 我国食品气调包装的市场应用	12
第二章 食品气调包装材料	14
一、食品气调包装常用塑料性能	14
(一) 聚烯烃类	14
(二) 乙烯基聚合物	15
(三) 聚苯乙烯	16
(四) 聚酰胺	16
(五) 聚酯	17
二、塑料薄膜透气性、防雾薄膜和易开盖膜	20
(一) 塑料薄膜透气性	20
(二) 防雾薄膜和易开盖膜	22
三、食品气调包装塑料包装材料的应用	23
(一) 阻隔性塑料薄膜	23
(二) 透气性薄膜	27
第三章 食品气调包装机械	29
一、气体混合器	29
(一) 静态气体混合器类型和气体混合原理	29
(二) 动态气体混合器类型和气体混合原理	32

二、气调包装机械 .....	35
(一) 气调包装方式 .....	35
(二) 塑料袋气调包装机械 .....	35
(三) 塑料盒气调包装机械 .....	40
第四章 食品气调包装的安全保证体系 .....	45
一、HACCP 在食品气调包装生产中的应用 .....	45
(一) HACCP 在国外食品气调包装生产中的应用 .....	45
(二) HACCP 在我国食品气调包装生产中的应用 .....	48
二、食品气调包装气体组分监控 .....	48
(一) 影响气调包装内气体组分达标的因素 .....	48
(二) 食品气调包装气体组分检测 .....	49
三、食品气调包装封口质量监控 .....	51
(一) 软包装密封性能检测 .....	51
(二) 软包装封口强度检测 .....	53
(三) 软包装耐内压、外压检测 .....	54
第五章 新鲜水产品气调包装 .....	57
一、新鲜水产品腐败变质特点 .....	57
二、新鲜水产品气调包装前预处理 .....	58
三、新鲜水产品气调包装气体混合配比 .....	59
(一) 国外新鲜水产品气调包装气体混合配比 .....	59
(二) 我国新鲜水产品气调包装气体混合配比 .....	64
四、气调包装后气体组分动态变化 .....	66
五、新鲜水产品气调包装的安全性 .....	68
第六章 新鲜畜禽肉类气调包装 .....	71
一、新鲜红肉类真空包装和气调包装 .....	71
(一) 鲜肉类的腐败变质 .....	72
(二) 鲜肉包装形式 .....	76
(三) 各种鲜肉气调包装的研究和商业应用 .....	83
二、新鲜家禽肉真空包装和气调包装 .....	87
第七章 新鲜果蔬气调包装 .....	90
一、新鲜果蔬的呼吸特点和呼吸速度测定方法 .....	90
(一) 新鲜果蔬的呼吸特点 .....	90
(二) 新鲜果蔬呼吸速度测定方法 .....	94
(三) 温度对呼吸速度的影响 .....	97
二、新鲜果蔬气调包装保鲜原理和气调建立的形式 .....	98
(一) 新鲜果蔬气调包装保鲜原理 .....	98
(二) 包装内气调建立形式 .....	98
(三) 影响果蔬气调包装效果的因素 .....	100
三、果蔬气调包装塑料薄膜应用 .....	104

四、果蔬气调包装研究的数学模型 .....	107
(一) 非稳态模型方程 .....	107
(二) 稳态模型方程 .....	108
五、鲜切蔬菜气调包装 .....	109
六、新鲜果蔬高氧气调包装 .....	117
(一) 新鲜果蔬高氧气调包装保鲜机理 .....	117
(二) 新鲜果蔬高氧气调包装应用 .....	120
第八章 焙烤食品、面条食品和奶酪气调包装 .....	126
一、焙烤食品和面条食品气调包装 .....	126
(一) 焙烤食品和面条食品分类 .....	126
(二) 焙烤食品和面条食品腐败变质机理 .....	128
(三) CO <sub>2</sub> 对焙烤食品和面条的抑菌作用 .....	131
(四) 焙烤食品的气调包装应用 .....	132
(五) 新鲜面条面食气调包装应用 .....	135
二、奶酪气调包装 .....	137
(一) 硬质奶酪气调包装应用 .....	137
(二) 霉熟奶酪和软质奶酪气调包装应用 .....	138
(三) 未熟或生奶酪和酸奶酪气调包装应用 .....	139
第九章 熟食品气调包装和 Sous Vide 包装 .....	141
一、熟食品气调包装 .....	141
(一) 熟肉制品气调包装 .....	142
(二) 各种肉制品或熟食品气调包装效果 .....	144
(三) 组合式熟食品气调包装效果 .....	149
二、Sous Vide 包装 .....	151
(一) Sous Vide 包装工艺 .....	152
(二) Sous Vide 产品安全性 .....	156
第十章 活性包装 .....	161
一、活性包装定义和系统分类 .....	161
(一) 活性包装和智能包装定义及概况 .....	161
(二) 活性包装系统分类 .....	162
二、吸氧剂包装 .....	165
(一) 吸氧剂的食品防腐保鲜作用 .....	165
(二) 吸氧剂分类 .....	166
(三) 吸氧剂吸氧原理 .....	166
(四) 吸氧剂包装形式 .....	168
(五) 影响吸氧剂包装效果的因素和吸氧剂用量 .....	170
(六) 日本和美国吸氧剂产品 .....	170
(七) 吸氧剂应用 .....	172
(八) 吸氧剂技术研究 .....	175

(九) 吸氧剂包装的安全性问题和优缺点 .....	176
三、乙烯吸附剂包装 .....	178
四、CO <sub>2</sub> 清除剂和气味清除剂包装 .....	180
(一) CO <sub>2</sub> 清除剂包装 .....	180
(二) 气味清除剂 .....	180
五、抗菌包装系统 .....	181
(一) 抗菌剂类型 .....	182
(二) 抗菌包装结构和包装形式 .....	185
(三) 乙醇释放剂抗菌包装 .....	187
(四) 银离子抗菌包装 .....	191
(五) 影响抗菌包装效果的因素 .....	194
六、吸湿包装 .....	196
(一) 干燥剂类型 .....	197
(二) 干燥剂选择 .....	199
第十一章 智能包装 .....	202
一、智能包装类型 .....	202
二、时间-温度标签(TTIs) .....	203
(一) TTIs 标签的工作原理和类型 .....	205
(二) 食品温度敏感性的数学模型 .....	209
(三) 食品质量变化与 TTIs 标签反应的关系 .....	210
(四) TTIs 标签的应用 .....	212
(五) 食品 TTIs 标签的应用研究 .....	213
三、包装泄漏指示标签 .....	219
(一) 氧指示标签 .....	219
(二) CO <sub>2</sub> 指示标签 .....	220
四、新鲜度指示标签 .....	220
(一) 微生物代谢物 .....	220
(二) 新鲜度指示标签类型 .....	222
五、致病菌和毒素指示标签 .....	225
六、其他新鲜度和致病菌快速检测技术 .....	225
附录 .....	228
附录 A 塑料包装材料英文缩写 .....	228
附录 B 二氧化碳、氧和氮气技术指标国家标准 .....	229

# 第一章 食品气调包装基本知识

通常食品包装的目的是为了避免食品受到环境污染和机械损伤,但食品周围有利于细菌繁殖的空气是引起食品腐败变质的主要因素。人们在实践中发现,改变包装内食品周围环境(如降低氧含量和环境相对湿度)可以有效抑制细菌繁殖而延长保藏期。降低包装内氧含量的食品保藏方法早在 20 世纪初就应用如罐头食品和真空软包装食品。罐头食品将食品原料放入不透气的金属或玻璃容器,排除部分空气后密封并高温杀菌,由于罐内顶隙部分的氧含量低和高温杀菌后食品残存细菌很少,因而细菌繁殖缓慢,从而可以长期保藏。通常真空软包装食品是不经过高温杀菌处理的食品或新鲜食品原料,食品残存细菌多而不易保存,需要足够高的真空度,使氧含量降低到细菌不能繁殖的程度,才能延缓食品腐败。此外,塑料软包装材料都有一定的透气性,空气中氧渗透入包装使氧含量升高,因而食品不能长期保存。食品气调保鲜包装并不是新的概念,而是在原有降氧包装(oxygen reduced packaging, ORP)概念基础上进一步发展应用。气调包装是比真空包装复杂的食品保鲜包装技术,包装内气调气氛更有利于各种食品防腐保鲜,尤其是肉类、鱼类和果蔬等新鲜食品(表 1-1)。由于食品气调包装可以比真空包装为消费者提供更多保持天然风味和营养的新鲜食品或加工食品,所以自 20 世纪 80 年代以来在国外市场得到了广泛应用。

表 1-1 国外几种食品气调包装货架期

种 类	空气包装货架期(d)	气调包装货架期(d)
牛 肉 <sup>①</sup>	4	12
猪 肉 <sup>①</sup>	4	9
鸡 肉 <sup>①</sup>	6	18
熟 肉 <sup>①</sup>	7	28
鱼 <sup>①</sup>	2	10
面 包 <sup>②</sup>	7	21
咖 啡 <sup>②</sup>	3	18 个月

注: ① 为冷藏温度;② 为环境温度。

## 一、食品气调包装类型

国外气调包装名称有 MAP(modified atmosphere packaging)、CAP(controlled atmosphere packaging)、active packaging 等。为了统一对气调包装技术的认识,国际食品包装界对气调包装定义为“通过改变包装内气氛,使食品处于不同于空气组分(78.8% N<sub>2</sub>, 20.96% O<sub>2</sub>, 0.03% CO<sub>2</sub>)的气氛环境中而延长保藏期的包装”,凡符合这一定义的包装技术都称为 MAP 或 CAP。

广义气调包装主要包括以下几种类型：

### 1. 真空包装(vacuum packaging, VP)和真空贴体包装(vacuum skin packaging, VSP)

真空包装是最早应用的简单的气调包装形式,直到现在还广泛用于分割鲜肉、腌熏肉、硬奶酪和研磨咖啡等食品的包装。真空包装防腐保鲜的机理是:包装内的氧从21%降低到0.5%~1%时,大多数需氧细菌和真菌的繁殖受到抑制,从而延长食品的货架期。因此,真空包装要求采用氧高阻隔性包装材料和封口后包装内残氧达到0.5%~1%,才能有效地防腐保鲜食品。真空包装的优点是包装工艺简单和生产效率高,缺点是包装后软性食品易受大气压力挤压变形。1985年,德国Darflesh System进一步改进了真空包装技术,开发了真空贴体包装。真空贴体包装技术特点是:平面的塑料底膜与预热的塑料上膜进入真空室,真空室抽气使上膜被吸下覆盖并贴紧食品,形成与食品形状一致的包装膜,随后热封模具将上膜与底膜的四周热封。由于软化的上膜紧贴食品,空气被完全驱除,薄膜与食品间没有皱纹和空隙,而残氧量比一般的真空包装低,包装美观,货架期更长。

### 2. 巴氏杀菌真空包装(Sous Vide packaging)

20世纪80年代法国餐饮业成功开发了菜肴巴氏杀菌真空包装技术,集中供应餐饮业和个人消费者。这种技术的特点是将严格烹调加工的菜肴真空包装后巴氏杀菌、急速冷却和冷链贮运与销售,在食用前再加热以保证食用安全,在法国以及欧美各国的餐饮业得到了广泛应用。

### 3. 气调包装(modified atmosphere packaging, MAP/controller atmosphere packaging, CAP)

MAP的英文含义是改善气氛的包装,比较确切地表达这种包装技术的定义。CAP的英文含义是控制气氛的包装,由于软包装材料的透气性和食品与包装内气体相互作用使包装内气氛不可能控制,因而被认为是误称。虽然国际上MAP与CAP有时通用,但包装业界已逐步统一将气调包装称为MAP。MAP有时也称为气体包装(gas packaging),包装内充入单一气体如充氮( $N_2$ )、充二氧化碳( $CO_2$ ),也可充入两种气体如 $CO_2/N_2$ 或3种气体 $O_2/CO_2/N_2$ ,具体的气体种类和组分根据各类食品防腐保鲜要求。这种通过充入单一气体或混合气体来改变包装内气氛的气调包装是食品气调包装主要的包装形式。

### 4. 气体吸收剂/释放剂的包装

通过放入包装内的气体吸收剂或释放剂小袋来改变包装内气氛的一种气调包装类型,如吸氧剂、乙烯吸收剂、二氧化碳释放剂和乙醇气体释放剂等,又称为活性包装(active packaging)。国外将主动地建立包装内气调气氛的包装都认为是活性包装的一种形式,如充入混合气体的MAP。

我国食品气调包装也有不同的名称,如充气包装、气体置换包装、换气包装、复合气调包装等,虽然气调包装的定义还没有统一的标准,但食品气调包装的称谓已为国内食品包装业界和消费者普遍接受。

## 二、食品气调防腐保鲜包装基本原理和保护气体

### (一) 食品气调防腐保鲜包装基本原理

许多食品在空气中由于水分减少或增加、氧化反应以及需氧微生物繁殖如细菌和霉

菌而快速腐败。微生物繁殖是导致食品组织、色泽、风味、营养价值变化的主要因素,使食品变味和食用不安全。食品在气调气氛环境中将减缓化学或生物化学反应和抑制微生物活性,从而延缓食品的腐败速度。在空气中的新鲜果蔬消耗其营养基质来维持正常需氧呼吸的新陈代谢活动而逐渐衰老枯黄,而在气调气氛中可减缓它的新陈代谢活动而得到保鲜。

食品气调包装防腐保鲜的基本原理是用保护性气体(单一或混合气体)置换包装内的空气,抑制腐败微生物繁殖,保持食品新鲜色泽以及减缓新鲜果蔬的新陈代谢活动,从而延长食品的货架期或保鲜期。气调包装内保护气体种类和组分要根据各类食品的防腐保鲜要求来确定,才能取得最佳的防腐保鲜效果。

## (二) 食品气调包装保护气体

### 1. 食品气调包装常用气体

1) 二氧化碳(CO<sub>2</sub>) CO<sub>2</sub> 是一种气体抑菌剂,空气中的正常含量为 0.03%,低浓度的 CO<sub>2</sub> 能促使微生物繁殖,高浓度 CO<sub>2</sub> 能阻碍引起食品腐败的大多数需氧微生物的生长繁殖。CO<sub>2</sub> 能延长微生物繁殖生长的停滞期(或潜伏期),延缓其对数增长期。CO<sub>2</sub> 易溶解于食品中的水分成为碳酸而降低食品的 pH,从而有利于食品保藏。CO<sub>2</sub> 在 100 kPa、20℃时溶解度为 1.57 g/kg,溶解度随温度降低而增加。因此 CO<sub>2</sub> 在 10℃时的抗菌活性比 15℃时明显大得多,这对气调包装食品的防腐有重要意义。CO<sub>2</sub> 亦溶解于食品中的脂肪和某些有机物。CO<sub>2</sub> 的抑菌机理和特点如下:

(1) CO<sub>2</sub> 抑菌的选择性:霉菌、极毛杆菌(*Acinetobacter*)和无色杆菌(*Achromobacter*)等需氧菌对 CO<sub>2</sub> 高度敏感而被抑制。相对而言,酵母对 CO<sub>2</sub> 有阻抗性或不敏感,CO<sub>2</sub> 对酵母的抑制作用不大。乳酸菌(*Lactobacillus*)等厌氧菌对 CO<sub>2</sub> 阻抗性较强或不敏感,无抑制作用。

包装内气氛环境决定何种微生物的生长繁殖。从图 1-1 可见,在 0~2℃时,无 CO<sub>2</sub> 的气氛环境中,革兰氏阳性菌如乳酸菌、热死环丝菌(*Brothotrix thermosphacta*)等的繁殖在贮藏过程中被革兰氏阴性菌的繁殖取代,而在有 CO<sub>2</sub> 的气氛环境中则相反。然而,不能就因此认为革兰氏阳性菌对 CO<sub>2</sub> 不敏感或不被抑制,而是两个菌种对 CO<sub>2</sub> 的敏感性程度不同。大部分革兰氏阳性菌是厌氧性或兼性的细菌。CO<sub>2</sub> 抑菌作用体现在延长细菌

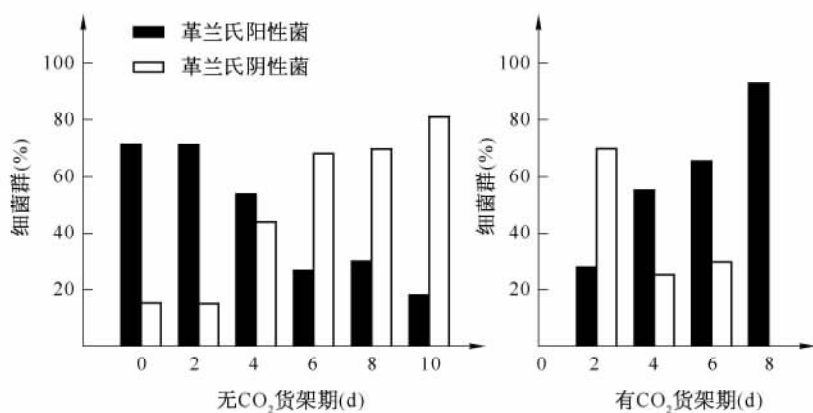


图 1-1 革兰氏阳性菌和阴性菌在无 CO<sub>2</sub> 和有 CO<sub>2</sub> 环境时的生长繁殖

生长的潜伏期(或停滞期)。图 1-2 是鸡肉在 4℃ 温度贮藏下 CO<sub>2</sub> 浓度对延长细菌繁殖

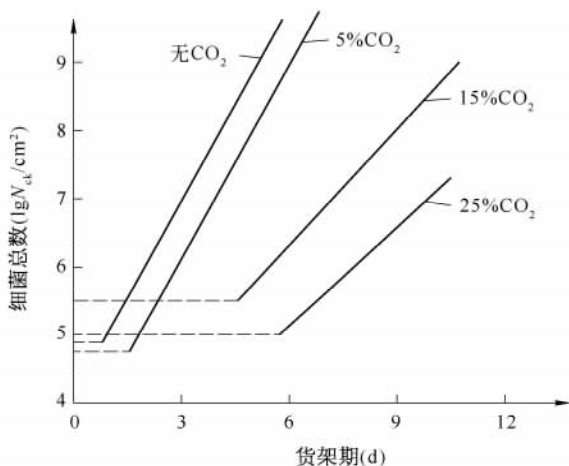


图 1-2 鸡肉在 4℃ 温度贮藏时 CO<sub>2</sub> 浓度对细菌繁殖的影响

生长潜伏期的影响。试验证明, CO<sub>2</sub> 有效抑菌浓度为 15%~20%。食品加工后立即包装和食品包装前污染的细菌处于潜伏期或污染很少时, CO<sub>2</sub> 的抑菌作用最有效。

(2) 影响 CO<sub>2</sub> 抑菌作用的因素

① CO<sub>2</sub> 浓度或分压: 在标准大气压力时, CO<sub>2</sub> 的分压愈大, 抑菌作用愈高。在标准大气压力以上, 绝对压力升高, 抑菌作用增加。

② 温度: 高 CO<sub>2</sub> 浓度包装的新鲜食品必须在冷藏温度下贮藏, 温度降低可使 CO<sub>2</sub> 的抑菌作用增加, 主要是 CO<sub>2</sub> 在低温易溶解于食品中的水

分成为碳酸而降低食品的 pH。

(3) CO<sub>2</sub> 的抑菌机理: 目前有 4 种假设:

- ① CO<sub>2</sub> 穿透细菌的细胞膜, 使细胞内 pH 下降, 降低细胞内酶的活性。
- ② 脱羟基酶被富集的 CO<sub>2</sub> 所抑制。
- ③ 存在非脱羟基酶的某种酶被 CO<sub>2</sub> 所抑制。
- ④ 由于细菌的细胞膜溶解 CO<sub>2</sub>, 它的性质发生变化, 某种功能被抑制。

2) 氧(O<sub>2</sub>) 通常气调包装尽量降低 O<sub>2</sub> 含量或无 O<sub>2</sub>, 但海产品气调包装时 O<sub>2</sub> 的存在可防止厌氧性致病菌如梭状芽孢杆菌繁殖。高氧可保持鲜肉的色泽, 低氧可降低新鲜果蔬呼吸速度的同时, 保持果蔬新鲜状态所需要的需氧呼吸新陈代谢活动。但鲜切蔬菜气调包装最新研究证明, 高浓度 O<sub>2</sub> (>40%) 能抑制许多需氧菌和厌氧菌的生长繁殖, 抑制蔬菜内源酶引起的褐变, 取得比空气包装或低氧包装更长的保鲜期。

3) 氮(N<sub>2</sub>) N<sub>2</sub> 是惰性气体, 与食品不起化学作用, 将 N<sub>2</sub> 用作充填气体可防 CO<sub>2</sub> 逸出后使包装坍塌。N<sub>2</sub> 在充氮包装中, 可降低食品中的脂肪、芳香物和色泽的氧化速度。图 1-3 是 N<sub>2</sub> 对降低过氧化物的作用。

## 2. 食品气调包装其他保护气体

除了以上 3 种常用气体外, 目前国际上还研究其他气体对食品的防腐保鲜作用, 具体如下。

1) 氩(Ar) Ar 与 N<sub>2</sub> 都是无色无味惰性气体, 但 Ar 的质量比 N<sub>2</sub> 重而溶解度是 N<sub>2</sub> 的 2 倍, 可取代 N<sub>2</sub> 作为混合气体的

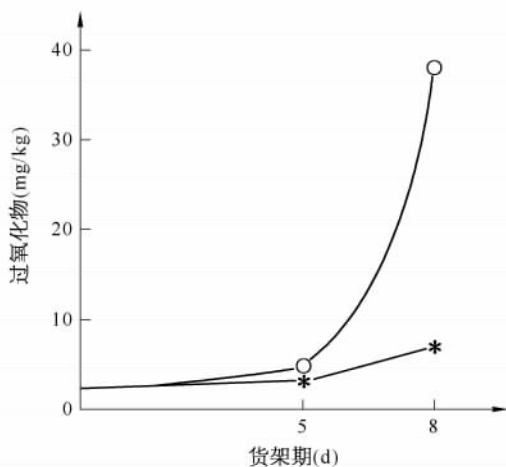


图 1-3 N<sub>2</sub> 对降低过氧化物的作用

充填气体。通常认为 Ar 与 N<sub>2</sub> 对微生物没有抑制作用,但最近试验研究证明 Ar 具有明显的抑菌作用,因为微生物对 Ar 敏感并改变了微生物细胞的膜流特性从而影响其功能。此外,Ar 原子大小类似 O<sub>2</sub>、密度大于 O<sub>2</sub> 以及溶解度较高,因而 Ar 可从植物细胞和酶的氧接收器中置换 O<sub>2</sub>,从而抑制氧化反应和减缓新陈代谢呼吸速度。

2) 一氧化碳(CO) Zagory 报道仅 1% CO 就可以有效地抑制许多细菌、酵母和霉菌尤其嗜冷性细菌。此外,CO 与鲜肉的肌红蛋白形成鲜红色的碳氧肌红蛋白而保持肉的新鲜色泽。国内外曾用 CO 气调包装或处理保持新鲜金枪鱼鱼片的红色色泽,但鱼肉腐败变质后仍保持新鲜红色色泽,这很容易引起食物中毒,尤其是食用生鱼片,因而我国制定的金枪鱼保鲜标准中禁用 CO 护色保鲜。由于 CO 有较高的毒性,浓度达到 12.5%~74.2% 时对包装机械操作者健康有害,一些国家管理部门不允许 CO 作为气调包装用气体,但美国在生菜气调包装中允许用低浓度 CO 抑制菜叶的褐色色变。

3) 二氧化硫(SO<sub>2</sub>) SO<sub>2</sub> 无束缚非离子态的分子具有抗菌作用,可以抑制软水果霉菌和细菌的繁殖(尤其是葡萄和干水果),亦可抑制果汁、白酒、虾和泡菜的细菌。SO<sub>2</sub> 对不同微生物的抑制效果与其浓度有关,如  $2.5 \times 10^{-5}$  SO<sub>2</sub> 抑制真菌类,而  $(1 \sim 2) \times 10^{-6}$  SO<sub>2</sub> 抑制细菌。SO<sub>2</sub> 抑制埃希氏大肠菌和假单胞菌等革兰氏阴性菌比抑制乳酸杆菌等革兰氏阳性菌更有效。但由于 SO<sub>2</sub> 有特殊气味,不适合作气调包装的气体,常作为果蔬包装前的杀菌处理。

### 三、食品气调包装混合气体组成和配比

空气是一种由 78.8% N<sub>2</sub>、20.96% O<sub>2</sub> 和 0.03% CO<sub>2</sub> 体积百分比组成的混合气体,因此置换空气的混合气体也是由体积百分比组成。气调包装的混合气体由 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 3 种气体中的 2 种气体或 3 种气体混合组成,各气体的体积百分比称为气体混合配比。食品气调包装的混合气体组成和气体混合配比,须根据食品的种类和保藏要求来选择。表 1-2 是国外推荐几种食品气调包装的混合气体组成与气体混合配比。表 1-3 是国内几种食品气调包装的混合气体组成和保藏期。

表 1-2 国外几种食品气调包装的混合气体组成与气体混合配比

种 类	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)
红 肉	60~85	15~40	—
熟肉/腌肉	—	20~35	65~80
家 禽	—	25	75
少脂鱼	30	40	30
多脂鱼	—	60	40
大马哈鱼	20	60	20
硬乳酪	—	100	—
软奶酪	—	30	70
面 包	—	60~70	30~40
无奶制品蛋糕	—	60	40
奶蛋糕	—	—	100
新鲜意大利面制品	—	—	100
水果蔬菜	3~5	3~5	85~95

注:材料取自 Parry(1993)。

表 1-3 国内几种食品气调包装的混合气体组成和保藏期

种 类	保 藏 效 果	温 度(°C)	混 合 气 体 组 成	保 藏 期(d)
广式月饼	防腐,防霉	25~30	CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	<60
蛋 糕	防腐,防霉	20~25	CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	30
鲜猪肉	防腐,保持色泽	0~4	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	10~12
青鱼段或鱼片	防腐	0~4	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	12~14
鲳 鱼	防腐	0~4	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	10
带鱼段	防腐	0~4	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	12
即食海蜇皮	防腐	20~25	CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	180
生豆腐干、烤麸	防腐,防霉	0~4	CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	10~14
叶菜类	保鲜	0~6	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	10
荔 枝	保鲜	0~6	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	30
草 莓	保鲜	0~6	O <sub>2</sub> 、CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub>	10

注:资料由上海海洋大学食品学院提供。

## 四、气调包装抑制食品腐败微生物的作用

微生物在食品中生长繁殖速度取决于食品内在条件[如 pH、水分活度( $A_w$ )]和食品所处的外部环境条件(如气氛、温度、相对湿度)。气调包装通过控制或调节食品外部气氛条件(或称气调)延缓微生物繁殖速度,达到延长食品货架期目的。气调包装对微生物的抑制作用有对腐败微生物和病原微生物的抑制两方面。

### (一) 气调包装对抑制腐败微生物的作用

微生物腐败使食品发生色泽、组织、风味和气味等感官质量变化,造成食品不可接受或不可食用。当气调气氛中 CO<sub>2</sub> 超过 5% 就可使许多食品腐败微生物受到一定的抑制,尤其是嗜冷性细菌。通常革兰氏阴性菌比革兰氏阳性菌对 CO<sub>2</sub> 更敏感。

新鲜肉和家禽中常见的假单胞菌属(*Pseudomonas*)、不动杆菌/摩拉氏菌属(*Acinetobacter/Moracella*)等腐败微生物很快被 CO<sub>2</sub> 抑制。其他一些普通食品腐败微生物如微球菌(*Micrococcus*)对 CO<sub>2</sub> 也非常敏感。但乳酸菌对 CO<sub>2</sub> 有很大的抗性,在鲜肉气调包装中会取代需氧腐败菌。乳酸菌生长缓慢,在没有繁殖到大量细菌前不会产生难闻的气味。

引起许多食品腐败的霉菌是需氧繁殖的,对高浓度 CO<sub>2</sub> 敏感。低水分活度的焙烤食品也易受霉菌繁殖而变质,因而气调包装可以抑制霉菌繁殖而延长货架期。许多酵母可以在完全无氧条件下繁殖,而多数酵母对 CO<sub>2</sub> 比较有抗性。表 1-4 是按普通食品腐败菌和致病菌繁殖对氧的不同要求所作的分类。

### (二) 气调包装对抑制致病菌的作用

气调包装抑制致病菌尤其是单核细胞增生性李斯特菌(*L. monocytogenes*)、耶氏肠道菌(*Y. enterocolitica*)的效果还不完全了解。已发现高浓度 CO<sub>2</sub> 对抑制金黄色葡萄球菌

(*S. aureus*)、沙门氏菌属(*Salmonella*)、埃希氏大肠菌(*E. coli*)有效,抑制效果随温度升高而降低。已知蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)、E型肉毒梭状芽孢杆菌(*C. botulinum* type E)、单核细胞增生性李斯特菌、耶氏肠道菌、嗜水气单胞菌(*Aeromonas hydrophilia*) 5种引起食物中毒的致病菌(表1-5)能在低于5℃温度下繁殖。但有关嗜水气单胞菌引起肠道病的结论还有争论,还未被欧洲冷藏食品联盟认可。其他埃希氏大肠杆菌产肠毒素、金黄色葡萄球菌、弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)、沙门氏菌4种致病菌可以在5℃以上繁殖。因此,了解食品气调包装后所处的外部温度条件对能否抑制这些致病菌非常重要。然而一些无害的微生物如乳酸菌的繁殖不能与许多致病菌竞争,导致后者在温度误差时繁殖很快。蔬菜和家禽常污染的单核细胞增生性李斯特菌是兼性菌,也能在低温下繁殖,因而气调包装时需要引起重视。此外,肉毒梭状芽孢杆菌E型可以在低温和无氧条件下繁殖并产生引起食物中毒的毒素。但环境中含有2%以上的氧和温度低于3.3℃,就可以使污染肉毒梭状芽孢杆菌E型的食品有足够的安全防护。

表1-4 普通食品腐败菌和致病菌繁殖对氧的要求

类 型		菌 属
需氧菌	腐败菌	假单胞菌( <i>Pseudomonas</i> spp)、不动杆菌/摩拉氏菌、微球菌、霉菌
	致病菌	蜡状芽孢杆菌、耶氏肠道菌、弧菌
兼性菌	腐败菌	乳酸菌
	致病菌	空肠弯曲菌( <i>Campylobacter jejuni</i> )、单核细胞增生性李斯特菌
	腐败菌	热死环丝菌( <i>Brocothrix thermosphacta</i> )、肠杆菌( <i>Enterobacteriaceae</i> )、发酵酵母(Fermentative yeasts)
	致病菌	沙门氏菌、金黄色葡萄球菌
厌氧菌	致病菌	产气荚膜梭菌( <i>Clostridium perfringens</i> )、肉毒梭状芽孢杆菌

表1-5 致病菌的繁殖特性

细 菌 种 类	最低温度 (℃)	最小 pH	最小 $A_w$	需氧菌/ 厌氧菌
蜡状芽孢杆菌	4	4.3	0.95	需氧菌
空肠弯曲菌	32	4.9	0.99	兼性菌
肉毒梭状芽孢杆菌				
嗜温性蛋白水解型	10	4.6	0.93	厌氧菌
嗜冷性非蛋白水解型	3.3	5.0	0.97	厌氧菌
产气荚膜梭菌	12	5.0	0.95	厌氧菌
埃希氏大肠菌	7	4.4	0.95	兼性菌
0157 埃希氏大肠菌( <i>E. coli</i> 0157)	6.5	4.5	0.95	兼性菌
单核细胞增生性李斯特菌	0	4.3	0.92	兼性菌