


现代食品工业新技术系列

食品微胶囊技术

吴克刚 柴向华 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

食品微胶囊技术/吴克刚 柴向华编著. —北京:

中国轻工业出版社 2006.7

(现代食品工业新技术系列)

ISBN 7-5019-5403-8

I.食... II.①吴...②柴... III.微型胶囊-技术-应用-食品加工
IV.TS205

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第043296号

责任编辑:李亦兵 责任终审:劳国强 封面设计:王佳竣
版式设计:马金路 责任校对:燕杰 责任监印:胡兵

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号 邮编:100740)

印刷:印刷厂

经销:各地新华书店

版次:2006年7月第1版第1次印刷

开本:850×1168 1/32 印张:10.625

字数:276千字

书号:ISBN 7-5019-5403-8/TS·3144

定价:24.00元

读者服务部邮购热线电话:010—65241695 85111729 传真:85111730

发行电话:010—85119817 65128898 传真:85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

60306K1X101ZBW

前 言

微胶囊技术是一种利用天然或合成高分子材料,将固体、液体,甚至是气体物质包裹起来,形成具有半透性或密封囊膜的微型胶囊的技术。该技术的研究始于20世纪30年代,经过几十年的发展,微胶囊技术日益成熟,应用范围也从最初的药物包覆和无炭复写纸扩展到食品、轻工、医药、石化、农业及生物技术等领域。利用微胶囊技术,解决了许多传统技术手段无法解决的工艺问题,研制出很多焕然一新的高新技术产品。微胶囊技术在食品中的应用使食品添加剂能更方便、安全地应用,使食品的加工、新产品的开发更为方便,从而在色、香、味、型、营养、保健以及保鲜等方面提升产品的质量。

本人多年来一直从事食品微胶囊技术的研究、开发和教学工作。结合作者十余年来食品微胶囊技术的研究方向及研究成果,在收集参考了国内外较新的文献资料的基础上,编写了本书,力求反映国内外学者取得的最新科研成果以及研究动态。

全书共分8章,第一章介绍了微胶囊技术的基本概念、目的与意义、发展概况及其应用,第二章介绍了食品中采用的一些微胶囊化方法,第三章介绍了食品微胶囊技术使用的壁材及辅材,第四章至第八章根据包埋对象介绍了微胶囊技术在食品加工中的应用情况。

由于食品微胶囊技术方法异常繁多,而且发展迅速,限于作者的专业水平,加上时间仓促,书中错误和遗漏在所难免,恳请各位读者批评、指正(wukegang2003@163.com)。

吴克刚

2006年3月于广东工业大学

目 录

第一章 概论.....	(1)
第一节 微胶囊基本概念.....	(1)
第二节 微胶囊化的目的与意义.....	(4)
第三节 微胶囊技术的发展.....	(7)
第四节 微胶囊技术在食品中的应用.....	(8)
第二章 食品微胶囊化方法	(10)
第一节 喷雾成型法	(10)
第二节 相分离法	(25)
第三节 流化床包涂法	(30)
第四节 超分子包合物形成法	(35)
第五节 糖玻璃化技术	(51)
第六节 锐孔-凝固浴法	(59)
第七节 复相乳液法	(63)
第八节 蔗糖共结晶法	(64)
第九节 粉末床法与流化气床法	(66)
第十节 微胶囊新技术	(67)
第三章 食品微胶囊壁材及辅材	(84)
第一节 碳水化合物壁材	(85)
第二节 蛋白质类壁材.....	(152)
第三节 蜡及脂类壁材.....	(175)
第四节 复合壁材.....	(181)
第五节 抗结剂.....	(189)
第六节 交联剂.....	(193)

第四章 食品添加剂微胶囊技术.....	(194)
第一节 香精香料微胶囊技术.....	(194)
第二节 调味剂微胶囊技术.....	(226)
第三节 食用色素微胶囊技术.....	(233)
第四节 防腐剂微胶囊技术.....	(239)
第五节 膨松剂微胶囊技术.....	(242)
第五章 营养强化剂及生物活性物质微胶囊技术.....	(245)
第一节 功能性脂肪酸微胶囊技术.....	(245)
第二节 维生素微胶囊技术.....	(264)
第三节 氨基酸、多肽及蛋白微胶囊技术	(274)
第四节 无机盐微胶囊技术.....	(280)
第五节 其他生物活性物质微胶囊技术.....	(282)
第六章 酶制剂微胶囊技术.....	(285)
第一节 概述.....	(285)
第二节 酶类微胶囊化的必要性.....	(285)
第三节 酶类微胶囊化方法.....	(286)
第四节 微胶囊酶的应用.....	(297)
第七章 益生菌微胶囊技术.....	(299)
第一节 概述.....	(299)
第二节 益生菌的生理功能.....	(300)
第三节 益生菌微胶囊化的意义.....	(302)
第四节 益生菌的微胶囊化方法.....	(304)
第八章 微胶囊食品.....	(315)
第一节 粉末油脂.....	(315)
第二节 粉末酒.....	(319)
第三节 微胶囊饮料.....	(321)
参考文献.....	(325)

第一章 概 论

第一节 微胶囊基本概念

一、微胶囊及微胶囊化

微胶囊(microencapsule)是一种能包埋和保护某些物质的具有聚合物壁壳的半透性或密封的微型“容器”或“包装物”。广义上,微胶囊还包括一些能包纳、保护并控制释放其他物质,但并没有明显壁壳的微粒。

通过特殊的方法,利用天然或合成的高分子材料包覆固体、液体甚至是气体物质,制成有囊壁的微型胶囊以及保留或截留其他物质的微粒,从而达到保护、控释等效果,这一过程称为微胶囊化(microencapsulation),实现微胶囊化过程的技术称为微胶囊技术。

二、微胶囊芯材和壁材

微胶囊化时,被包覆、保护或控制释放的物质通常称为微胶囊的囊芯或芯材(core)、核(nucleus)或填充物(fill);用来包覆、保护或控制释放芯材的成囊物质称为微胶囊的囊壁或壁材(cell)、囊壳(shell)。壁材是构成微胶囊外壳的材料,也有的称为包衣或包材(coat)。

被包覆的芯材可以是油性、水溶性化合物或两者混合物,其状态可为固体、液体或气体。囊芯与壁材的溶解性能必须是不同的,即水溶性囊芯只能用油溶(疏水)性壁材包覆,而油性囊芯只能用水溶性壁材包覆。在食品工业生产中,凡食品中的必要成分或需要添加的物质,如需要改变性状并保持其特定性能,都可作为芯材。可作为芯材的食品成分有:生物活性物质(如活性多糖、茶

多酚、SOD 等)、各种氨基酸、矿质元素、各种食用油脂、维生素、香精香料、各种酶制剂、防腐剂。此外,甜味剂、酒类、微生物细胞、酸味剂和色素、酱油等也都可作为囊芯物质。

食品微胶囊的壁材首先应无毒,符合国家食品添加剂卫生标准。它必须性能稳定,不与芯材发生反应,具有一定强度,耐摩擦、耐挤压、耐热等性能。大多数为天然或合成的高分子材料,某些医药工业中所用的壁材尚不能用于食品工业。最常用的壁材为植物胶,如阿拉伯胶、海藻酸钠、卡拉胶、琼脂等;其次是淀粉及其衍生物,如各种类型的糊精、低聚糖。国外开发出许多淀粉衍生物具有很好的乳化性、成膜性、致密性,是很好的包埋香精的壁材。此外,明胶、酪蛋白、大豆蛋白、多种纤维素衍生物(CMC、乙基纤维素、甲基纤维素等)、蜡(虫蜡、石蜡、蜂蜡等)也都是很好的壁材。

三、微胶囊的形态

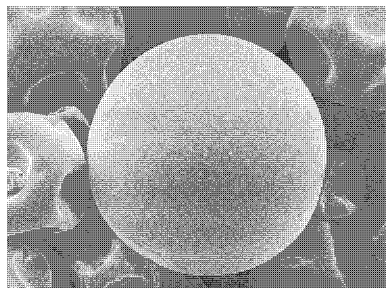
由于芯材、壁材和微胶囊化方法不同,微胶囊的大小、形态和结构变化较大。微胶囊的颗粒直径尺寸范围在零点几微米至几千微米之间,一般为 $5\sim 200\mu\text{m}$,囊壁厚度 $0.5\sim 150\mu\text{m}$ 。最近,已出现上至数毫米大的毫米级微胶囊,下至 $0.1\sim 1\text{nm}$ 的纳米级微胶囊。几种不同方法制备的微胶囊大小见表 1-1。

表 1-1 不同方法制备的微胶囊大小

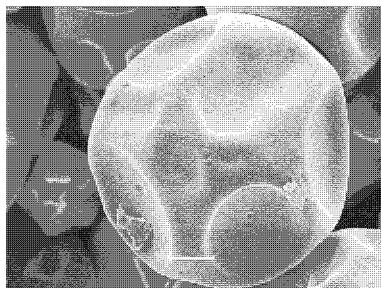
微胶囊化方法	颗粒直径尺寸范围/ μm	微胶囊化方法	颗粒直径尺寸范围/ μm
喷雾干燥	20~150	单/复凝聚	1~500
空气悬浮包衣	50~10 000	脂质体	0.1~1
锅包法	>500	纳米微胶囊技术	<1

芯材为固体微粒的微胶囊形状与囊内固体形状接近,芯材为液体或气体的微胶囊形状一般为球形,也有椭球形、柱形、米粒状、块状、絮状、无定形等形状,但最多的是球形(见图 1-1)。微胶囊

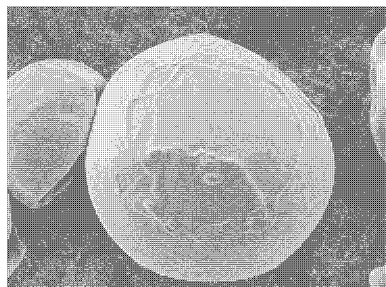
的外表面有光滑的,也有折叠和凹陷的。



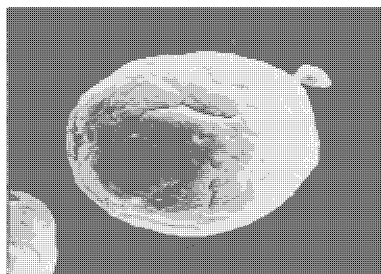
(1)



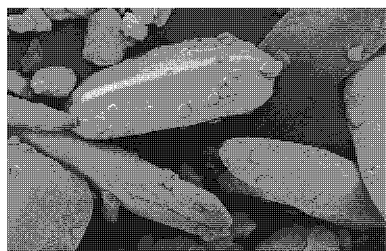
(2)



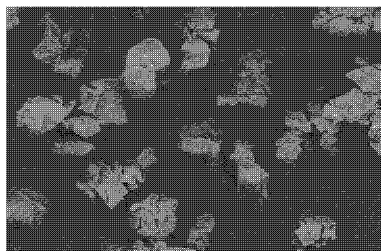
(3)



(4)



(5)



(6)

图 1-1 几种不同形态微胶囊的电镜照片

- (1) 球形光滑微胶囊 (2) 有凹陷的微胶囊 (3) 有皱褶的微胶囊
(4) 椭球形微胶囊 (5) 米粒状微胶囊 (6) 无定形微胶囊

微胶囊的结构是多种多样的,典型的有单核微胶囊(连续的芯

材被连续的壁材包埋)多核微胶囊(芯材被分隔成若干部分,嵌在壁材的连续相中)双壁或多膜微胶囊(连续的芯材被双层或多层连续的壁材环绕)及复合微胶囊(用连续的壁材包裹多个微胶囊)等(见图1-2)。复凝聚法制备的微胶囊为单核微胶囊,应用最广的喷雾干燥法微胶囊为多核微胶囊,对微胶囊进行二次包埋可得到复合微胶囊。

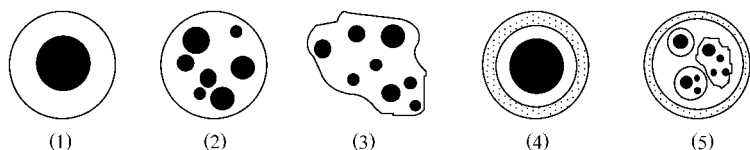


图 1-2 常见微胶囊的结构示意图

- (1) 单核微胶囊 (2) 多核微胶囊
(3) 多核无定形微胶囊 (4) 双壁微胶囊 (5) 复合微胶囊

第二节 微胶囊化的目的与意义

一、改变物料的存在状态、质量和体积

在食品工业中应用最早、最广泛的微胶囊功能是物料形态的改变,即把液态原料固体化,变成微细、具流动性的粉末,除便于使用、运输、保存外,它还能简化食品生产工艺和开发出新型产品,如粉末香精就是固体饮料开发的前提,粉末油脂的出现促成了许多方便食品的开发,如咖啡伴侣、维生素强化奶粉等。液体芯材经微胶囊化后可转变为自由流动粉末,其内部仍是液相,故仍能保持良好的液相反应性,这种粉末产品可以很容易地与其他原料混合均匀,便于加工处理,也便于使用保存。芯材经胶囊化后,其质量有所增加,也可制成含有空气或空心胶囊而使其体积增加。

二、保护敏感性成分

微胶囊化可使芯材免受外界不良因素(如光、氧气、温度、湿

度、pH)的影响,以保护食品成分原有的特性,提高其在加工时的稳定性并延长产品的货架寿命。许多食品添加剂制成微胶囊产品后,由于有壁材的保护,能够防止其氧化,避免或降低紫外线、温度和湿度等方面的影响,确保营养成分不损失,特殊功能不丧失。如茶饮料中的色素物质易受光、热、酸等因素作用而不稳定,经包埋后可形成稳定的包埋物,食品甜味剂天门冬酰苯丙氨酸甲酯,若制成微胶囊则稳定性提高很多,添加到烘烤食品中,受热分解损失大为降低,微胶囊化的维生素C在95℃的保存率为95%以上,而同样条件下未胶囊化的维生素C的保存率仅为42%~49%;应用于肉类香精和海鲜香精的美拉德反应产物是一种很重要的呈味物质,这种物质以液态形式存在时极不稳定,制成微胶囊产品后,稳定性有了极大的提高,应用起来更加方便、广泛。许多香料精油、维生素、高度不饱和的油脂(如DHA、EPA)等材料很易被氧化而失去功能,生产中又要求这些成分在食品中高度分散于易被氧化的环境中,微胶囊化就是解决这一矛盾的最好方法。香精香料等风味物质容易挥发,特别是受热挥发损失,经微胶囊化后可抑制挥发、延长其风味滞留期、减少其在加工、保存时的损失,降低了成本。另外,活性菌、活性酶等具有生物活性的物质容易受外界环境的影响而失活,从而丧失生理功能,通过微胶囊化可以将其包覆保护起来,避免与外界环境直接接触而失活。

三、控制芯材的释放

控制芯材释放速度,是微胶囊技术应用最广泛的功能之一,特别在医药、化肥工业中应用最广。食品工业有效成分需要控制释放的例子也很多。如在焙烤业中,某些膨松剂要求在面坯表面升温到某一程度,淀粉糊化和蛋白质变性已具备了保气功能后再产气,而生成气体形成气泡不会溢散。酸碱式膨松剂中的一种(通常为酸性材料)应先制成微胶囊,待达到所需温度后再释放气体。另外,日本有微胶囊化乙醇保鲜剂,在密封包装中缓缓释放乙醇蒸

气以防止霉菌。还有可以利用医药中的肠溶微胶囊技术制某些活菌制品,改善肠道消化状态。中国传统豆腐生产中使用石膏可生产出细嫩的南豆腐,就是利用了石膏天然缓释 Ca^{2+} 的功能;而 MgCl_2 没有缓释功能,但豆腐的风味更好,将 MgCl_2 微胶囊化后,就可以结合两者优点。

芯材释放分为瞬间释放和缓慢释放两种。瞬间释放是用各种形式的外力(如机械压碎、摩擦、变形等方法)使囊壁破裂,或在热的作用下使囊壁熔化,或用化学方法(如酶的攻击、用溶剂的溶解或提取的方法、混入一些膨胀剂到囊芯或使用电磁方法等)使胶囊破碎。缓慢释放是芯材通过囊壁扩散以及壁材的融蚀或降解而释放。壁材对芯材释放速率的影响主要为壁膜厚度、囊壁存在的孔洞、壁材变形(如吸水膨胀、溶解、降解)、结晶度、交链度等影响,而芯材的溶解度、扩散系数等也直接影响到其释放速率。芯材从微胶囊中释放的规律一般遵循零级或一级释放速率方程式。

四、隔离组分

运用微胶囊技术,将可能相互反应的组分分别制成微胶囊产品,使它们稳定在一个物系中,各种有效成分有序地释放,分别在相应时刻发生作用,以提高和增进食品的风味和营养。例如:有些粉状食品对酸味剂十分敏感,因为酸味剂吸潮会引起产品结块,并且酸味剂所在部位 pH 变化很大,导致周围色泽变化,使整包产品外观不雅,将酸味剂微胶囊化以后,可延缓对敏感成分的接触和延长食品保存期限。在食品工业中,将具有活性的发酵剂用植物蜡或其他水溶性低熔点的天然化合物包囊,使囊壁破裂后,发酵剂即与被发酵物反应,从而达到理想的发酵效果。

五、掩蔽不良风味和色泽

有些食品添加剂,因带异味或色泽而影响被添加食品的品质。如果将其胶囊化,可掩盖其不良风味、色泽,改变其在食品加工中

的使用性。某些营养物质具有令人不愉快的气味或滋味,这些味道可以用微胶囊技术加以掩蔽,这种微胶囊产品在口腔里不溶化,而在消化道中才溶解,释放出内容物,发挥营养作用。如鱼肝油、鱼油、大蒜油等营养油脂含有令人不愉快的风味(如鱼腥味、辛辣味等),很大程度上限制了它们的应用和推广,将这些油脂分别制成微胶囊后,既保护了营养成分,又掩蔽了不良风味,扩大了应用范围。微胶囊化还能掩盖 B 族维生素、氨基酸以及一些植物提取物的苦味。

六、降低食品添加剂的添加量和毒副作用

由于微胶囊化能提高许多敏感性食品添加剂的稳定性,并且可控制释放,因此可降低其添加量和毒副作用。如硫酸亚铁包囊后,可通过控制释放速度以减轻对肠胃副作用。香精微胶囊化后,由于可降低加工和保存过程的挥发损失,从而可减少食品中添加量。

第三节 微胶囊技术的发展

微胶囊技术是在传统的胶囊化技术(将药物或有效成分分装在明胶胶囊中)的基础上发展起来的。在微胶囊技术领域内,D. E. Wurster 和 B. K. Green 可说是先驱者。人们对微胶囊技术的研究大约始于 20 世纪 30 年代。当时,美国人 Wurster 用物理方法制备了微胶囊,20 世纪 40 年代末,他又首先采用空气悬浮法制得了微胶囊,并成功地运用到药物方面。20 世纪 50 年代初,美国 Green 用相分离复合凝聚法制备了含油明胶微胶囊,并用于制备无炭复写纸,该方法首次使液体材料微胶囊化,具有划时代意义。美国 NCR 公司在 1954 年首次向市场投放了利用微胶囊制成的第一代无炭复写纸,开创了微胶囊新技术的时代。20 世纪 60 年代,由于利用相分离技术将物质包囊于高分子材料中,制成了能

定时释放药物的微胶囊,推动了微胶囊技术的发展。到20世纪70年代,微胶囊技术的工艺日益成熟,应用范围也逐渐扩大。20世纪80年代以来,微胶囊技术得到了更大的发展,而且开发出了粒径在纳米范围的胶囊。微胶囊的应用范围已从最初的药物包覆和无炭复写纸扩展到医药、食品、农药、饲料、肥料等各个行业。近20年,日本对微胶囊技术的大力开发和对微胶囊独特性能的研究,更使微胶囊技术发展迅速。微胶囊技术已应用到医药、农业、计算机、化学品、食品加工、化妆品等工业中,引起世界的广泛关注。尤其是随着微胶囊技术在生物、医学领域的推广应用,微胶囊技术已被广泛地用于动物细胞的大规模培养、细胞和酶的固定化、药物的控制释放、抗癌药物的筛选以及蛋白质等物质的分离方面。

目前,微胶囊技术在国外发展迅速,美国对它的研究一直处于领先地位。微胶囊技术作为食品加工中的一种新方法在欧美已较普及,在美国约有60%的食品采用这种技术。日本在20世纪60~70年代也逐步赶了上来,我国的研究起步较晚。在日本,每年申报的有关微胶囊技术方面的专利就达上百件。近几年,我国在微胶囊技术的应用方面有了许多发展,但同国外相比,国内的微胶囊技术仍处于起步阶段,进口微胶囊在生产中仍起着主导作用。根据市场的需求,以及我国目前的状况,在国内开展微胶囊技术的研究,特别是在进一步开发微胶囊技术的应用场合以及深化微胶囊基础理论的研究,具有重大的意义。

第四节 微胶囊技术在食品中的应用

微胶囊技术应用于食品工业始于20世纪50年代末,微胶囊技术使许多传统工艺无法解决的难题得以解决,为此,极大地促进微胶囊技术在食品领域中的应用。应用微胶囊技术可对一些食品配料或添加剂进行包裹,如香料、脂肪、维生素、矿物质和生物活性物质等。目前,对于油性物质微胶囊化研究较为成熟,而水溶性

物质微胶囊化则相对研究较少。当前,在食品工业中应用最广的微胶囊化技术是喷雾干燥法,应用领域主要是粉末香精、香料与粉末油脂,今后它们仍然要占主导地位。

借用医药工业中的经验与技术,对食品中的营养素、添加物进行微胶囊化加工一方面提高了这些成分耐贮、耐加工性能,另一方面免除了它们给食品带来的苦味、异味、颜色等不利因素,还能使某些肠道吸收的成分顺利通过胃释放,使某些不耐胃酸的活性菌或酶类在胃中保存其活性,顺利进入肠道发挥作用。这方面国内已有微胶囊化维生素 C、维生素 A、维生素 D、维生素 E 的生产;目前,市上流行的 DHA、EPA 等高不饱和脂肪酸的微胶囊已很普及;铁、锌等微量矿物质经微胶囊化后防止与食品中其他成分反应和免除它们对食品风味的影响。另外,食品添加剂中的酸味剂、甜味剂也已较多用微胶囊化处理。

目前,影响微胶囊技术在食品工业中推广的障碍主要是成本较高,其次是所应用的壁材中,相当一部分不属于食品添加剂范围,还必须开发同样性能的食品壁材。另外,还有一些适用于食品工业的微胶囊方法缺乏工业化生产设备。目前,文献中的许多微胶囊化方法仍处于专利或研究试验阶段,有些方法还遇到废水回收或处理等相关问题而限制了它的应用。因此,微胶囊技术在食品工业中推广应用,要不断开发既能应用于食品又适用微胶囊技术的新材料及设备。

第二章 食品微胶囊化方法

微胶囊的制备方法可以分为化学法、物理化学法和物理法。化学法是建立在化学反应基础上的微胶囊制备技术,主要是利用单体小分子发生聚合反应生成高分子成膜材料并将囊芯包裹,如界面聚合法、原位聚合法;物理化学法是通过改变条件,使溶解状态的成膜材料从溶液中聚沉出来,并将囊芯包覆形成微胶囊的方法,主要包括相分离法、干燥浴法、融化分散法与冷凝法、粉末床法、锐孔-凝固浴法;物理法是利用物理与机械原理制备微胶囊,包括空气悬浮包衣法、喷雾干燥法、挤压法、超分子包合物形成法、空气蒸发沉积法、静电结合法等。真正可用于食品工业的微胶囊方法则需符合以下条件:①能批量连续化生产;②生产成本低,能被食品工业接受;③有成套相应设备可引用、设备简单;④生产中不产生大量污染物,如含化学物或高浓 COD、BOD 的废水;⑤壁材是可食用的,符合食品卫生法和食品添加剂标准;⑥使用微胶囊技术后确实可简化生产工艺,提高食品质量(外观、口感或延长货架期)。因此,目前能在食品工业中应用的方法只有几种,主要有喷雾干燥法、空气悬浮包衣法、挤压法、超分子包合物形成法、相分离法、锐孔-凝固浴法等,其中应用最多的是喷雾干燥法、挤压法、超分子包合物形成法。

第一节 喷雾成型法

一、喷雾干燥法

(一) 原理及工艺流程

1. 基本原理

喷雾干燥法制备微胶囊的原理是将微细化芯材稳定地乳化分散于包囊材料的溶液中形成乳化分散液,然后通过雾化装置将此乳化分散液在干燥的热气流中雾化成微细液滴,溶解壁材的溶剂受热迅速蒸发,从而使包覆在微细化芯材周围的壁材形成一种具有筛分作用的网状膜结构,分子较大的芯材被包留在形成的囊膜内,而壁材中的水或其他溶剂等小分子物质因热蒸发而透过“网孔”顺利移出,使膜进一步干燥固化,得到干燥的粉粒状微胶囊。喷雾干燥的过程可分为恒速率干燥和降速率干燥两个过程。干燥时首先经过恒速率干燥,此期间干燥时间极短,约几分之一秒,甚至几十分之一秒,物料表面温度约 45°C (相对热风温度为 180°C 而言)。进入降速率干燥期,由于固形物的热阻较大和水分转移阻力增大,所以,干燥时间较长,一般需 $20\sim 30\text{s}$,此时粉末最高温度和干燥塔空气温度相同,一般约 $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。

根据雾化前起始液的情况,喷雾干燥法微胶囊化可分为3类:

(1) 水溶液系统 芯材是不溶于水的固体颗粒或液体,壁材是水溶性的材料,芯材分散或乳化于壁材的水溶液中构成起始液。该溶液在喷雾干燥器内雾化形成小液滴,芯材被水相包裹起来,水分由于高温而挥发,壁材在芯材表面成膜,将芯材包埋,形成微胶囊。食品工业的生产、应用以及研究中喷雾干燥法微胶囊化主要采用水溶液系统较多。对于水溶性芯材,也可通过水溶液系统包埋,此时得到的是芯材与壁材的混合物颗粒。

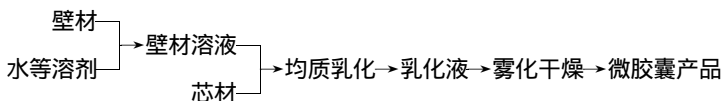
(2) 有机溶液系统 壁材是不溶于水的材料,其载体溶剂是某种有机溶剂,芯材既可以是不溶于水的,也可以是溶于水或与水反应的材料,但不溶于壁材载体溶剂。由于有机溶液系统成本较高,生产操作安全性要求较高,因此在食品工业上应用较少。

(3) 微囊浆系统 首先通过其他微胶囊方法制备微胶囊的分散液,然后将其喷雾干燥,得到微胶囊粉末。喷雾干燥对微胶囊主要起到脱水干燥的作用,若分散液中含有壁材,也会产生二次包埋

的作用。此方法制备的微胶囊,包埋效率很高,但包埋成本也较高,适合于对贵重产品或高附加值的产品进行包埋。

当芯材为固体时,只要芯材呈微细球形,微胶囊化后其均可被壁材完整包覆。如果芯材为不定形固体粉末颗粒,有许多凸出的“尖端”,这些位置就有可能裸露,达不到完整包埋的效果。

2. 工艺流程



(二) 微胶囊显微形态

喷雾干燥制备的微胶囊理想形态应是表面光滑的圆球形,可能会由于不同壁材性质的差异和实际生产时工艺条件的差异产生形态各异的微胶囊。图 2-1(1)为表面光滑的圆球形微胶囊,图 2-1(2)为表面凹陷的微胶囊,图 2-1(3)为表面皱缩的微胶囊,图 2-1(4)为表面有裂纹的微胶囊,图 2-1(5)为表面有微孔的微胶囊,图 2-1(6)为微胶囊的剖面显微结构。喷雾干燥制备的微胶囊中,表面光滑、圆整的微胶囊所占比例越多越好,产品的流动性越好;微胶囊表面的凹陷、皱缩以及裂纹和微孔导致芯材的渗漏,均会使微胶囊产品的流动性变差。由于微胶囊表面的裂纹和微孔会导致芯材的渗漏,使其失去壁材的保护作用,因此,微胶囊化时应尽量避免裂纹和微孔的出现。从微胶囊的剖面显微结构来看,喷雾干燥制备的微胶囊是一内部为空泡的较大微胶囊,其囊壁由无数更小的实心微胶囊构成,这些实心微胶囊所包埋的就是囊芯。

(三) 生产设备

喷雾干燥微胶囊化的主要设备包括配料罐、均质机、喷雾干燥塔等,其中最关键的设备是喷雾干燥塔(见图 2-2)。根据干燥塔的雾化器类型可将其分为 3 类,即气流雾化式、旋转雾化式和压力雾化式,它们各有优缺点,应根据产品特点和生产特性选择合适的