

# 喷雾干燥技术在食品工业中的应用现状

卢义龙<sup>1,2</sup>, 王明力<sup>1,2\*</sup>, 李慧慧<sup>1,2</sup>, 闫岩<sup>1</sup>

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州大学发酵工程与生物制药省重点实验室, 贵州贵阳 550003)

**摘要** 喷雾干燥是目前食品工业最常用的干燥方式之一。随着对喷雾干燥技术和设备的深入研究与开发, 喷雾干燥技术在食品工业中的应用将更广泛。简单介绍喷雾干燥的主要特点及存在的问题, 重点阐述了喷雾干燥技术在食品工业中的应用。

**关键词** 喷雾干燥; 食品工业; 应用; 现状

中图分类号 S509.9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)11-276-03

## Application Status of Spray Drying Technology in Food Industry

LU Yi-long<sup>1,2</sup>, WANG Ming-li<sup>1,2\*</sup>, LI Hui-hui<sup>1,2</sup> et al (1. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Key Laboratory of Fermentation Technology and Biological Pharmacy, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550003)

**Abstract** Spray drying is one of the most commonly way which is used in food industry at present. With the further research and development of spray drying technology and equipment, application of spray drying technology in food industry will be more widely. The main characteristics and existing problems of spray drying were analyzed, and the application of spray drying technology in food industry was elaborated.

**Key words** Spray drying; Food industry; Application; Status

喷雾干燥是目前食品工业最常用的干燥方式之一, 1872年美国人 Sam eulPercy 在其“干燥操作的改进及通过雾化将液体物料浓缩”的专利中清楚地论述了喷雾干燥过程的实质, 为喷雾干燥设备的诞生作出了重要贡献<sup>[1]</sup>。自从 1865年 LaMont 提出用喷雾干燥法来处理蛋品, 喷雾干燥技术已有一个多世纪的发展历史了, 但是在我国发展起步较晚, 20世纪 50 年代吉林染料厂从前苏联引进的旋转式喷雾干燥机, 用于染料的喷雾干燥<sup>[2]</sup>, 从此喷雾干燥技术在我国得到了工业化的应用。随着喷雾干燥技术的完善和研究的深入, 目前, 这项技术已得到了广泛应用, 尤其在食品加工业。20世纪初期首先应用于脱脂乳粉的制造<sup>[3]</sup>, 后来, 在乳品工业、固体饮料及固体调味料的制造上也广泛采用了喷雾干燥技术, 从而使食品工业得到了长足的发展。

## 1 喷雾干燥技术

喷雾干燥技术的研究始于 19 世纪初期, 随着喷雾干燥技术在工业上的广泛应用, 人们对它的基本原理和特点也进行了深入研究。

**1.1 喷雾干燥技术的原理** 喷雾干燥基本原理是物料经过过滤器由泵输送到喷雾干燥器顶端的雾化器, 利用雾化器将液态物料分散成雾滴, 由于雾滴半径较小, 比表面积和表面自由能大, 且高度分散, 雾滴表面湿分的蒸汽压比相同条件下平面液态湿分的蒸汽压要大, 所以水分挥发极快, 产品迅速得到干燥<sup>[4]</sup>。戴命和等根据质量守恒、能量守恒和牛顿第二定律推导了喷雾干燥过程一维双向静态数学模型, 从理论上研究了喷雾干燥的热干燥机理, 对提高喷雾干燥的技术水平具有重要意义<sup>[5]</sup>。

## 1.2 喷雾干燥技术的特点

**1.2.1 干燥迅速, 确保产品质量。** 食品中多含蛋白质和糖分, 而蛋白质一般在 60~80℃ 保持数分钟会产生变性, 在高

温下放置也会产生美拉德反应<sup>[6]</sup>。利用喷雾干燥, 仅需 3~10 s 就能够干燥产品, 这样可有效抑制干燥过程中食品的热变性和芳香成分的损失, 确保了产品的质量。

**1.2.2 干燥产品具有良好的分散性、流动性和溶解性。** 对于干燥产品而言, 分散性、流动性和溶解性是产品质量的重要指标。在喷雾干燥过程中, 产品的干燥是在热空气中进行的, 所以产品基本上能保持与液滴相近似的球状<sup>[7]</sup>, 从而具有良好的分散性、流动性和溶解性。

**1.2.3 生产过程简化、操作控制方便, 适宜于连续化大规模生产。** 通过喷雾干燥获得的产品大部分都不需要再进行粉碎和筛选, 从而减少了生产工序, 简化了生产工艺流程。产品的粒径、松密度、水分, 在一定的范围内, 可以改变操作条件进行调整, 控制管理都很方便, 而且能适应工业化大规模生产的要求<sup>[7]</sup>。

**1.2.4 防止发生公害, 改善生产环境。** 由于喷雾干燥是在密闭的容器中进行, 能避免干燥过程中造成的粉尘飞扬, 避免了环境污染<sup>[7]</sup>。

**1.3 喷雾干燥存在的问题** 喷雾干燥技术的优点是显著的, 但是其不足之处也是不容忽视的。其缺点主要表现在动力消耗大, 体积传热系数和热效率均较低, 设备体积大, 易发生粘壁现象, 一次性投资较大等<sup>[4]</sup>。尤其是粘壁问题, 在喷雾干燥过程中如果发生粘壁物料由于长时间停留在热的内壁上, 有可能被烧焦或变质, 影响产品质量。周学永等对喷雾干燥粘壁的类型和原因进行了分析, 提出了喷雾干燥粘壁的 3 种类型: 半湿物料粘壁、低熔点物料的热熔性粘壁和干粉表面粘附, 并提出了解决各种类型粘壁的方案<sup>[8]</sup>。

## 2 喷雾干燥在食品工业中的应用

**2.1 喷雾干燥在果蔬粉生产中的应用** 我国是农业大国, 果蔬产业在国内已成为仅次于粮食的支柱产业<sup>[9]</sup>。果蔬粉因其具有独特的优点, 不仅能克服果蔬不耐贮藏、容易腐烂变质等缺点, 而且能够满足人们对果蔬多样化、高档化和新鲜化趋势的需求, 所以具有广阔的开发前景。果蔬粉制备技

**作者简介** 卢义龙(1990-), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术。\* 通讯作者, 教授, 硕士生导师, 从事食品生物技术和果蔬贮藏与加工研究。

**收稿日期** 2015-03-16

术较多,譬如,喷雾干燥、热风干燥、真空冷冻干燥、微波干燥、变温压差膨化干燥及超微粉碎技术等<sup>[10]</sup>,但喷雾干燥因其特有的优点,使其在果蔬粉的加工中占据着十分重要的位置。Vaibhav Patil 等应用响应面法(RSM)优化番石榴粉喷雾干燥工艺,当进口温度为 185 ℃和麦芽糊精浓度为 7%时,番石榴粉含有丰富的维生素<sup>[11]</sup>。王雅臣等研究了经酶处理的野木瓜速溶固体饮料的工艺条件,结果表明,野木瓜经酶处理,在进风温度为 175 ℃下进行喷雾干燥,可得到口味丰富、酸甜适宜的野木瓜速溶固体饮料<sup>[12]</sup>。狄建兵等以山药为试材,将其预煮制浆后采用喷雾干燥制粉,料水比为 1:2 g/ml,进风温度为 160 ℃,进料量为 500 ml/h,助干剂添加量为 4%时,制成的山药粉色泽洁白、粉末细腻、质量评价较高<sup>[13]</sup>。

**2.2 喷雾干燥技术在速溶茶饮料中的应用** 速溶茶饮料是一种能够迅速溶解于水的固体饮料茶,因具有冲饮携带方便、冲水速溶、不留余渣、农药残留少、易于调节浓淡或容易同其他食品调配等许多特点<sup>[14]</sup>,所以越来越受到人们的青睐。毕秋芸以灵芝与红茶为原料,采用喷雾干燥技术研究了灵芝红茶固体饮料生产工艺条件,其最佳配方和工艺条件为红茶浸提液添加量为 15%、灵芝浸提液添加量为 35%、柠檬酸添加量为 1%、白砂糖添加量为 8%、麦芽糊精添加量为 15%;喷雾干燥最佳工艺条件为进风温度为 180 ℃、出风温度为 80 ℃、进料量为 25 ml/min<sup>[15]</sup>。程健博等以黑苦荞麦为主要原料,采用喷雾干燥技术,研究制作速溶红枣黑苦荞奶茶的加工工艺,确定关键工艺喷雾干燥的进风温度为 185 ℃,出风温度为 90 ℃<sup>[16]</sup>。

**2.3 喷雾干燥在食品添加剂中的应用** 食品添加剂既能改善食品的色、香、味等感官品质,也能在一定程度上满足产品防腐和加工工艺的需要,大大促进了食品工业的发展,并被誉为现代食品工业的灵魂<sup>[17]</sup>。但是由于某些食品添加剂易受环境中光、氧、温度、水分等因素影响及食品添加剂自身存在的异味、臭味、辛辣味等不良气味,严重影响了其在食品中的应用,阻碍了食品工业的发展。20 世纪随着微胶囊技术的诞生,这些问题都迎刃而解,而微胶囊技术的关键就是喷雾干燥。Ng Lay Tze 等研究不同的麦芽糊精浓度和喷雾干燥入口温度对火龙果甜菜红素含量的影响,得到的最佳喷雾干燥条件是入口温度 155 ℃和 20%的麦芽糊精浓度<sup>[18]</sup>。刘楠楠以明胶、阿拉伯胶为壁材,采用复合凝聚法对葱油香精进行包埋,以微胶囊包埋率为评价指标,采用响应面分析法优化了影响包埋率的主要因素,壁材浓度、芯壁比和 pH<sup>[19]</sup>。研究发现,复凝聚法制备葱油香精微胶囊的最佳工艺参数为:壁材浓度为 1.82%、芯壁比 1:1.87、pH 4.16,并在此基础上,采用喷雾干燥法可以制备出葱油香精微胶囊白色粉状产品,微胶囊粒径大小较为均一,体积平均粒径为 65.54 μm。

**2.4 喷雾干燥在保健食品中的应用** 近年来,随着居民的经济和生活水平不断提高,一些现代文明病,如高血压、高血脂、糖尿病等也不断涌现<sup>[20]</sup>。鱼油中富含 ω-3 系多不饱和脂肪酸(DHA 和 EPA),具有抗炎、调节血脂等功效<sup>[21]</sup>,被誉为保健食品中的“常青树”<sup>[22]</sup>。随着我国国民经济的持续发展

和城乡居民生活水平的不断改善以及人口老龄化的不断加剧,鱼油市场不断扩大,鱼油消费也开始迅速增长。但是由于鱼油中的多不饱和脂肪酸(DHA 和 EPA)极易氧化<sup>[23]</sup>,严重阻碍其在保健食品中的应用及市场需求,而鱼油微胶囊化不仅可以有效防止其氧化变质,而且能够掩盖鱼腥味。Sri Haryani Anwar 等研究了各种干燥方法制备的微胶囊鱼油,比较了喷雾造粒干燥(SG)、喷雾干燥(SD)、冷冻干燥(FD)3 种方法制备的微胶囊鱼油的稳定性<sup>[24]</sup>。蜂胶含有丰富而独特的生物活性物质,具有抗菌、消炎、止痒、抗氧化、增强免疫、降血糖、降血脂、抗肿瘤等多种功能,对人体有着广泛的医疗、保健作用,是一种具有较高保健功能的产品<sup>[25]</sup>。张英宣采用喷雾干燥法对蜂胶提取物进行微胶囊化处理,通过测定微胶囊化蜂胶中主要活性物质总黄酮的活性,探讨蜂胶喷雾干燥法微胶囊化的工艺<sup>[26]</sup>。试验表明,以阿拉伯树胶和糊精 1:1 比例混合作为壁材,固形物含量为 20%,芯材与壁材比例为 1:4,进样量 20 ml/min,进风压力为 0.2 MPa,微胶囊化蜂胶中总黄酮的活性最高。

**2.5 喷雾干燥在其他食品领域的应用** 随着喷雾干燥技术研究的深入,以及人们对食品的风味和营养价值的要求不断提高,市场上出现了越来越多的由喷雾干燥法生产的食品,如蛋黄粉<sup>[27]</sup>、杂粮粉<sup>[28]</sup>、调味粉<sup>[29]</sup>等。由于经济的发展,人民生活的改善,不少地区民众杂粮谷物的摄入量有所减少,而杂粮谷物中富含膳食纤维、矿物质等,这些物质又是机体不可或缺的,所以谷物粉备受消费者的喜爱。李居男以喷雾干燥技术为主要载体,对山药、黑米、玉米、荞麦、橙子等多种谷物及水果进行了制粉处理,并评价了喷雾干燥处理对其中功能活性成分的影响<sup>[30]</sup>;以各种喷雾干燥粉剂为基料,调配了 4 种冲调型功能性饮料。此外,喷雾干燥技术也常用于婴儿营养食品的加工中<sup>[31]</sup>,最常见的就是婴儿奶粉的加工。沈国辉等采用喷雾干燥技术制备微胶囊婴幼儿奶粉的研究表明,添加 DHA 微胶囊的婴幼儿奶粉最佳工艺条件是:均质压力为 40 MPa、均质温度为 40 ℃、喷雾干燥进风温度为 170 ℃、出风温度为 80 ℃,在此条件下制备添加 DHA 微胶囊的奶粉,在产品保质期内质量指标极为稳定,未发生任何不良反应<sup>[32]</sup>。

### 3 结语

喷雾干燥在食品工业中的应用已有多年的历史,最早只应用于奶粉的制造<sup>[33]</sup>,目前已广泛应用于食品工业,因其本身的优点,既克服了物料不易贮藏的缺点,又保留了物料的营养价值,为人们的健康提供了更好的保障<sup>[34]</sup>。随着对喷雾干燥技术和设备的深入研究与开发,以及人们对食品的风味和营养价值的要求不断提高,市场将出现越来越多的喷雾干燥产品,食品工业必将加速发展,前景广阔。

### 参考文献

- [1] 刘广文. 喷雾干燥实用技术大全[M]. 北京:中国轻工业出版社,2011.
- [2] 黄立新,王宗濂,唐金鑫. 我国喷雾干燥技术研究及进展[J]. 化学工程,2001,29(2):51-52.
- [3] 孙厚良. 喷雾干燥在环保领域中的应用[J]. 林产化工通讯,2005,39(6):92.
- [4] 林文,王志祥. 喷雾干燥技术及其在制药工业的应用[J]. 装备应用与

- 研究,2009(11):36-37.
- [5] 戴命和,孙宁.喷雾干燥过程的热干燥机理研究及其仿真[J].湖南工程学院学报,2001,11(2):38-39.
- [6] 李勇.喷雾干燥设备的设计开发[J].中国乳品工业,1995,23(1):40-41.
- [7] 金国森.干燥设备[M].北京:化学工业出版社,2002:155-164.
- [8] 周学永,高建保.喷雾干燥粘壁的原因与解决途径[J].应用化工,2007,36(6):599-602.
- [9] 刘华敏,解新安,丁年平.喷雾干燥技术及在果蔬粉加工中的应用进展[J].食品工业科技,2009,30(2):304.
- [10] 毕金峰,陈芹芹,刘璇,等.国内外果蔬粉加工技术与产业现状及展望[J].中国食品学报,2013,13(3):8-9.
- [11] VAIBHAV PATIL,ANIL KUMAR CHAUHAN,RAVI PRATAP SINGH. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology[J]. Powder Technology,2014,253:230-236.
- [12] 王雅臣,王明力,徐若阳.酶处理野木瓜喷雾干燥速溶固体饮料的研究[J].食品研究与开发,2010,31(12):30-33.
- [13] 狄建兵,李泽珍,马军艳.喷雾干燥制作山药粉的研究[J].食品工业,2014,35(7):133-135.
- [14] 邹锋扬,金心怡,王淑凤.速溶茶粉产品的研究进展[J].饮料工业,2012,15(3):7.
- [15] 毕秋芸.灵芝红茶固体饮料生产工艺研究[J].食品工业,2014,35(7):81-83.
- [16] 程健博,丁锐,马野虬,等.速溶红枣黑苦荞奶茶的工艺研制[J].农产品加工,2014(2):24-26.
- [17] 黄文主.食品添加剂[M].北京:中国质检出版社,2013:1-3.
- [18] NG LAY TZE,CHONG PIK HAN,YUS ANIZA YUSOF,et al. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant[J]. Food Sci Biotechnol,2012,21(3):675-682.
- [19] 刘楠楠.响应面法优化葱油香精微胶囊制备工艺的研究[J].中国调味品,2012,9(37):110-113.
- [20] 刘跃红,徐艳钢,张文学.我国保健食品现状及监管分析[J].食品发酵与科技,2013,49(2):1-2.
- [21] FARZAD FARBOD,AHMAD KALBASI,SOHRAB MOINI,et al. Optimization of operational parameters to fortify Iranian UF-FETA cheese with fish oil using response surface methodology[J]. Journal of Food Processing and Preservation,2014,38:1898-1899.
- [22] 韩国强.鱼油市场将迎来新一轮快速扩展期[N].中国医药报,2009-09-17(A07).
- [23] 路宏波.富多不饱和脂肪酸鱼油的微胶囊化研究[D].无锡:江南大学,2008.
- [24] SRI HARYANI ANWAR,BENNO KUNZ. The influence of drying methods on the stabilization of fish oil microcapsules: Comparison of spray granulation, spray drying, and freeze drying[J]. Journal of Food Engineering, 2011,105:367-378.
- [25] 邴金龙,赵文婷,王盼,等.蜂胶的研究应用进展[J].中国食物与营养,2011,17(6):20-24.
- [26] 张英宣.蜂胶的微胶囊化工艺的研究[J].农产品加工,2012(10):79-80.
- [27] 胥伟,向涛,王海滨,等.不同干燥方式对蛋黄粉理化性质的影响[J].中国家禽,2014,36(4):25-27.
- [28] 王韵,罗红霞,王新龙,等.喷雾干燥杂粮粉预处理工艺研究[J].食品与机械,2014,30(2):211-215.
- [29] 刘青梅,董赞,高娟.喷雾干燥法制备乳酸发酵芥菜调味粉研究[J].食品科技,2014,39(7):283-288.
- [30] 李居男.喷雾干燥法生产谷物速溶粉的技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [31] AFOAKWAH A N,ADOMAKO C,OWUSU J. Spray drying an appropriate technology for food and pharmaceutical industry[J]. J Environ Sci Comp Sci and Eng Technol 2012,1:467-476.
- [32] 沈国辉,吴卫国. DHA 微胶囊的婴幼儿奶粉制备技术研究[J].农产品加工,2011(2):75-77.
- [33] 于才渊,王宝和,王喜忠.喷雾干燥技术[M].北京:化学工业出版社,2013:314-315.
- [34] 王丽梅,王明力,高晓明,等.喷雾干燥技术在固体饮料中的研究现状[J].贵州农业科学,2010,38(1):155-157.

(上接第275页)

的结晶度,延缓了玉米淀粉的老化<sup>[9]</sup>。

**2.6 糖化酶浓度对玉米淀粉老化度的影响** 玉米淀粉用磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲液调节 pH 至 4.9,分别加入 0.003%、0.006%、0.009%、0.012%、0.015%、0.018% 的糖化酶,调成 60 g/L 的淀粉乳经糊化后,按照“1.2.2”的方法测定其老化度,重复 3 次取其平均值。糖化酶对玉米淀粉糊老化度的影响如图 6 所示。

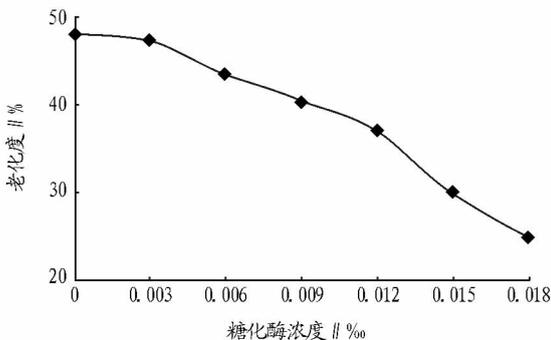


图 6 糖化酶浓度变化对淀粉老化的影响

由图 6 可知,随着糖化酶浓度的增加淀粉的老化度逐渐降低。原因可能是糖化酶作用于淀粉时是从非还原尾端开始,依次逐个切下一个葡萄糖单位,缩短了直链淀粉长度及支链淀粉分支的长度,减少了玉米淀粉重结晶的趋势<sup>[10]</sup>。另一方面,经糖化酶处理后的玉米淀粉支链结晶熔化热焓有

所降低,结晶度降低,回生受到抑制<sup>[11]</sup>。

### 3 结论

试验得出,随着氯化钠浓度的增大,玉米淀粉老化度也随着增大。不同添加剂对玉米淀粉的老化性有不同程度的改善作用。黄原胶、蔗糖、单甘脂、糖化酶对玉米淀粉糊的老化性影响较显著,而柠檬酸对其影响较小。因此,在玉米淀粉相关产品的生产过程中可适当添加一种或几种添加剂来改善其加工特性,延长货架期。

### 参考文献

- [1] RODRIGUEZ-SANDOVAL E,FEMANDEZ-QUINTERO A,CUVELIER G, et al. Starch retrogradation in cassava flour from cooked parenchyma [J]. Starch,2008,60:174-180.
- [2] 沈钟苏,陈全斌,湛志华,等. 脚板薯淀粉的理化性质研究[J]. 广西师范大学学报,2005,23(2):77-80.
- [3] 赖小玲,肖生鸿,陈华絮,等. 四种食品添加剂对菠萝蜜种子淀粉老化度与冻融稳定性的影响[J]. 食品研究与开发,2009(11):167-171.
- [4] 龙虎,蔡自建,刘鲁蜀,等. 不同添加剂对蕨根淀粉冻融稳定性影响的研究[J]. 西南民族大学学报:自然科学版,2007(1):96-100.
- [5] 顾艳丽. 淀粉的老化及抗老化方法[J]. 广西工学院学报,2006,17(3):40-42.
- [6] 汪东风. 食品化学[M]. 北京:化学工业出版社,2009:61-62.
- [7] 孟祥燕. 淀粉老化机理及影响因素研究[J]. 食品工程,2007,6(2):12-13.
- [8] 刘小杰,何国庆. 蔗糖酯的合成工艺及其应用研究[J]. 食品发酵工业,2001,27(1):64-69.
- [9] 王璋,许时婴,汤坚,等. 食品化学[M]北京:中国轻工业出版社,1999:104.
- [10] 魏西根,许琳,刘建伟. 大米淀粉回生的研究进展[J]. 农产品加工,2007,10(6):32-34.
- [11] 刘巧瑜,张晓鸣. 蔗糖单酯的结构和浓度对淀粉糊化和老化特性的影响[J]. 食品与发酵工业,2012,4(6):5-6.